



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING ΚΑΙ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ

Επιβλέπων : Μαρία Γ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15/03/2012

.....

Μαρία Γ. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....

Νικόλας Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

.....
ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ

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

Copyright © ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΒΛΑΧΟΥΛΗΣ, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον Ευθύμιο Καραλή για όλη την βοήθεια που μου παρείχε για την εκπόνηση αυτής της εργασίας και στην Καθηγήτρια Κα Μ.Ιωαννίδου που μου την ανέθεσε!

Στον Τάσο Καλαντζή, στο Αστεροσκοπείο Πεντέλης, στην Tanja Groth από την Stirling DK, για τις πληροφορίες που μου παρείχαν!

Στο φυτώριο ΦΥΣΗ για την ψυχολογική υποστήριξη, αφού ήταν ο χώρος όπου γράφτηκε το μεγαλύτερο κομμάτι της εργασίας!

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στους **ΑΝ.Α.Φ.Η.** και στον πραγματικό αγώνα που δίνουν για μία καλύτερη ζωή και μία καλύτερη κοινωνία! Για όλα αυτά που περάσαμε και αλληλοδίδαχτήκαμε!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή ασχολείται με την Συμπαραγωγή θερμότητας και Ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) σε θερμοκήπια με χρήση βιομάζας. Αποτελείται από τρία κύρια κεφάλαια. Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός της έννοιας «Συμπαραγωγή» και οι διάφορες εφαρμογές της μεθόδου. Στην συνέχεια, αναλύονται οι διάφορες τεχνολογίες Συμπαραγωγής, συγκρίνονται μεταξύ τους και παρουσιάζεται μεθοδολογία για την διαστασιολόγηση τέτοιων έργων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο ορίζεται η βιομάζα, καθορίζονται οι πηγές βιομάζας και αναλύονται οι τρόποι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Ακόμα δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για την επιλογή του είδους της βιομάζας και του τρόπου ενεργειακής χρήσης της για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται προσπάθεια χρήσης της θεωρητικής γνώσης που περιγράφεται προηγούμενα. Συγκεκριμένα, επιλέχτηκε μία εγκατάσταση θερμοκηπίου στην Αττική, έγινε μελέτη των θερμικών της φορτίων και προσπάθεια κάλυψης αυτών των φορτίων με Συμπαραγωγή. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στη ΔΕΗ. Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι οι μηχανές Stirling. Τέλος γίνεται μία συνοπτική οικονομική μελέτη για την εγκατάσταση και εξάγονται κάποια συμπεράσματα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Συστήματα Συμπαραγωγής (ΣΗΘ), Μηχανές Stirling, Θερμοκήπιο, Βιομάζα, Αεριοποίηση, Πριονίδι, Θερμικά Φορτία, Ηλεκτρικά Φορτία

ABSTRACT

This paper is about Cogeneration of Heat and Power (CHP) which uses biomass as fuel, with application in greenhouses. It consists of three chapters. In the first chapter, we analyze the definition of CHP and we provide information regarding CHP's applications. Furthermore, CHP's technologies are presented, compared and a methodology of construction CHP units is described.

In the second chapter, the definition of biomass and the sources of biomass are mentioned and the methods of using all the kinds of biomass, as fuel are described. Also, it is examined which kind of biomass and which kind of technology is appropriate in each realization.

In the third chapter, we try to use the previous knowledge. Specifically, we study an application in a greenhouse. The greenhouse is in Attiki. We found the thermal load of this facility and we used a CHP unit with Stirling engines to supply the basic thermal load. We sell the electric energy, which is produced, in the national electrical net. Finally, we wrote an economical research and the conclusion of this work.

KEY WORDS

Cogeneration (CHP), Stirling engines, Greenhouse, Biomass, Gasification, Wood chips, Thermal Loads, Electric Loads

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ.....</u>	<u>13</u>
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	13
1.2 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΣΗΘ ΓΕΝΙΚΑ	14
1.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΣΗΘ ΣΤΗ ΕΛΛΑΔΑ	15
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΗΘ	17
1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΗΘ	19
1.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	21
1.6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΕΝΝΟΙΩΝ	21
1.6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΗΘ	23
1.6.2.1 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	24
1.6.2.1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ	26
1.6.2.1.1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	27
1.6.2.1.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ	27
1.6.2.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE (ORC RANKINE)	28
1.6.2.2 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ	29
1.6.2.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	31
1.6.2.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	33
1.6.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΜΕΚ)	34
1.6.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	40
1.6.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING	42
1.6.2.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ	43
1.6.2.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ DIESEL	44
1.6.2.8 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	44
1.6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΗΘ	46
1.6.4 ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	49
1.6.5 ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ	50
1.6.5.1 ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	51
1.6.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	53
1.6.6.1 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΗ Χ.Τ.	56
1.6.6.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΗ Μ.Τ.	58
1.6.7 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ	59
1.6.8 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ	64
1.6.9 ΤΥΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΗΘ	64
1.6.10 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	66
1.6.11 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ	70
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΜΑΖΑ.....</u>	<u>74</u>
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	74
2.2 ΒΙΟΜΑΖΑ	75
2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	75
2.2.2 ΕΙΔΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ	76
2.2.3 ΠΗΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	77
2.2.4 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	79
2.2.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	83

2.2.6 ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	83
2.2.7 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ	84
2.2.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	90
2.2.9 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	91
2.2.9.1 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ	92
2.2.9.1.1 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ	92
2.2.9.1.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ	94
2.2.9.1.3 ΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ-ΒΡΑΔΕΙΑ ΠΥΡΟΛΥΣΗ	96
2.2.9.1.4 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ	97
2.2.9.2 ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ	100
2.2.9.2.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	100
2.2.9.2.2 ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ	103
2.2.9.2.3 ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΕΣΤΡΟΠΟΙΗΣΗ	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	105
3.1 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	105
3.2 ΤΡΟΠΟΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	106
3.2.1 ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ	107
3.2.2 ΑΕΡΟΘΕΡΜΑ	108
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	108
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΚΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	110
3.4.1 ΠΡΟΣΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	110
3.4.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	112
3.4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΒΑΣΗΣ	116
3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	116
3.5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	117
3.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	120
3.7 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	121
3.8 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	122
3.8.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΛΙΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ	122
3.8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	125
3.8.3 ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	126
3.8.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	126
3.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	127
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	135
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

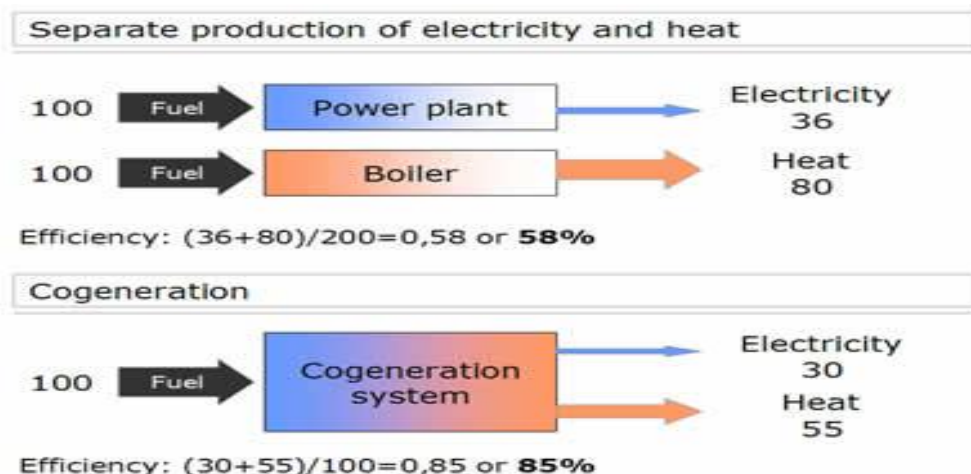
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός καταναλωτή (ή μιας ομάδας καταναλωτών) είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κ.λπ.) για την παραγωγή θερμότητας. Όμως, 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.). Συνεπώς, ο συμβατικός τρόπος για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων έχει ως αποτέλεσμα την «σπατάλη» ενέργειας. Με την έννοια ότι ένα μεγάλο μέρος της, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, εκλύεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας. Αυτή η «σπατάλη» ενέργειας (ακόμα και μέσα στο μικρό, ιστορικά, χρόνο που παρουσιάζεται) έχει διαφορετική σημασία και βαρύτητα, ανάλογα με τις κοινωνικές, πολιτικές, οικονομικές συνθήκες που επικρατούν, την τεχνολογική ανάπτυξη, τα αποτελέσματα από την εκμετάλλευση του περιβάλλοντος και τις πολιτιστικές αξίες της κοινωνίας μας. Λόγω των σημερινών συσχετισμών σε όλα αυτά τα πεδία, η προσπάθεια καλύτερης διαχείρισης των ενεργειακών μας αναγκών έρχεται όλο και περισσότερο στο προσκήνιο. Μία ιδέα είναι ο περιορισμός στην κατανάλωση καυσίμων, μέσω της αύξησης της απόδοσης των συστημάτων παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούμε και μία εφαρμογή αυτής της ιδέας απαντιέται στη Συμπααραγωγή ηλεκτρικής (μηχανικής) και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ, Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP).

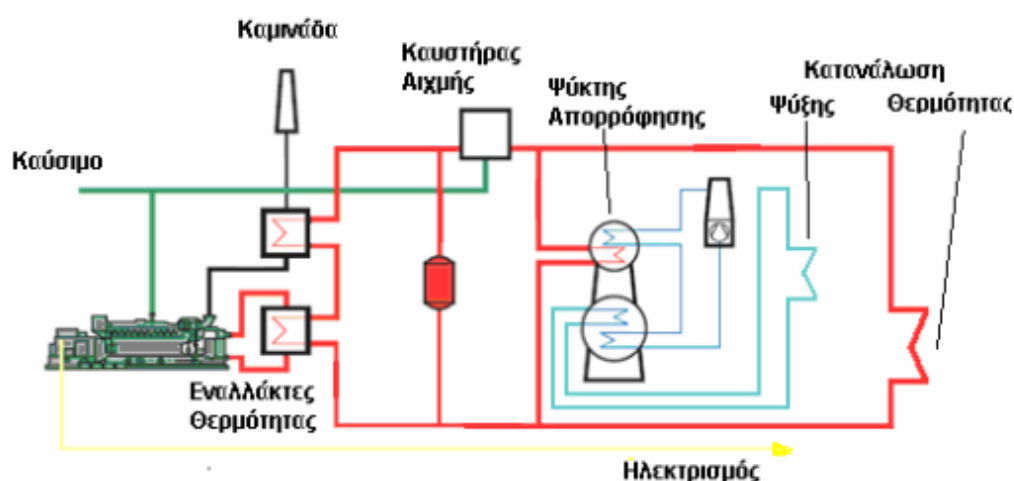
Συμπααραγωγή είναι η ταυτόχρονη παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ή αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας.

Η κύρια αρχή της Συμπααραγωγής είναι η πλήρης εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί ο συνολικός βαθμός απόδοσης της διεργασίας.

Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30-45% και η ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας κυμαίνεται στο 60%, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπααραγωγής φθάνει το 80-85%. Μία σχηματική απεικόνιση αυτής της διαπίστωσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η θερμική ενέργεια από τα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη ή κλιματισμό που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Με παράλληλο όφελος την αποφυγή χρήσης των HCFC/CFC ψυκτικών υγρών και την μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για **Τριπαραγωγή ηλεκτρισμού-θερμότητας-ψύξης**.



Σύστημα Τριπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας-ψύξης

Επομένως, με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ΣΗΘ, εξοικονομείται μία σημαντική ποσότητα καυσίμου που κυμαίνεται από 15-40% σε σχέση με τον κυρίαρχο σήμερα τρόπο παραγωγής ενέργειας.

1.2 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΣΗΘ ΓΕΝΙΚΑ

Στα τέλη του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο ατμός ήταν η κύρια πηγή μηχανικής ενέργειας και κάθε βιομηχανική μονάδα είχε συνήθως ένα δικό της σύστημα παραγωγής ατμού με την καύση κάποιου καυσίμου ώστε να παρέχει κίνηση στις μηχανές της και να καλύπτει της ανάγκες της σε θέρμανση. Με την ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρισμού οι μονάδες αυτές συνειδητοποίησαν ότι με την χρήση ατμού μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που ήταν πολύ πιο χρηστική και έτσι στις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα εμφανίζονται και οι πρώτες μονάδες ΣΗΘ που λειτουργούσαν με ατμολέβητα-στρόβιλο και έκαιγαν άνθρακα. Αρχικά παρήγαγαν ηλεκτρισμό και διοχέτευαν απλώς τα καυσαέρια μέσω σωλήνων στα κτίρια που ήθελαν να θερμάνουν, πριν τα αποβάλλουν στο περιβάλλον. Πιθανότατα η πρώτη εφαρμογή αυτής της ιδέας χρονολογείται το 1884 στο Del Coronado Hotel στο San Diego των ΗΠΑ. Από εκεί και πέρα στις ΗΠΑ η ΣΗΘ φτάνει να καλύπτει μέχρι το 1930-1940 το 58% της ζήτησης σε ηλεκτρισμό. Και κάτι αντίστοιχο ισχύει και στην Ευρώπη.

Ωστόσο από το χρονικό διάστημα 1940-1970 οι μονάδες ΣΗΘ συρρικνώνονται για 3+1 λόγους: (1) Τα καυσαέρια από την χρήση των μονάδων ΣΗΘ, η συνεχής ανάπτυξη της βιομηχανίας και η δόμηση οικισμών των εργατών γύρω από τα εργοστάσια είχαν δημιουργήσει την ανάγκη για μεταφορά της ηλεκτροπαραγωγής μακριά από τις πόλεις (2) η ανάγκη αυτή εξυπηρετούνταν με την ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια (3) η διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, έκανε τη λειτουργία

λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα και τέλος (4) δεν είχε αναπτυχθεί η τεχνολογία ψύξης και κλιματισμού με αποτέλεσμα οι ΣΗΘ να μην μπορούν να χρησιμοποιούνται ως Τριπαραγωγή και να δημιουργούν προβλήματα κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.

Από το 1973 όμως και την τότε οικονομική κρίση που χαρακτηρίστηκε ως πετρελαϊκή κρίση λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου η ιδέα της Συμπαραγωγής και η εφαρμογή της άρχισε να επιστρέφει! Η ανοδική πορεία στη διάδοση της ΣΗΘ συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και οι εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται, αλλά ήδη η συμπαραγωγή έχει φθάσει σε ένα επίπεδο ωριμότητας με αποδεδειγμένη αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Έτσι πλέον υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία από πλευράς είδους, μεγέθους και λειτουργικών χαρακτηριστικών στα συστήματα Συμπαραγωγής και επίσης χρησιμοποιούνται νέα καύσιμα πέρα από τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Σε αυτή την ανάπτυξη βοήθησε και η σχετική νομοθεσία κυρίως στις ΗΠΑ και λιγότερο στην Ευρώπη. Με ορισμένες χώρες της Ευρώπης όμως, με την δική τους εθνική νομοθεσία να προωθούν τις μονάδες ΣΗΘ και στις Δανία, Φιλανδία, Ολλανδία αλλά και στην Ιταλία να υπάρχει αύξηση των μονάδων Συμπαραγωγής.



Ποσοστό ΣΗΘ στην ηλεκτροπαραγωγή στις χώρες της Ε.Ε.

1.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΣΗΘ ΣΤΗ ΕΛΛΑΔΑ

Η ΣΗΘ εμφανίστηκε στην Ελλάδα στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ σε ευρύτερη κλίμακα οι πρώτες μονάδες ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Το 2009 το σύνολο της ετήσιας ηλεκτροπαραγωγής των μονάδων συμπαραγωγής που λειτουργούσαν ήταν της τάξης των 900.000 MWh και αποτελούσε περίπου το 2,5% της όλης ηλεκτροπαραγωγής της χώρας. Το πρώτο παράδειγμα συμπαραγωγής στην Ελλάδα ήταν στην κεραμοποιεία Τσαλαπάτα στο Βόλο, το οποίο σχεδιάστηκε από Βέλγους μηχανικούς, και στην συνέχεια μία σειρά από βιομηχανίες μετάλλου, χάρτου, ζάχαρης, κλωστοϋφαντουργίας, λιπασμάτων και διυλιστήρια πετρελαίου

εισήγαγαν συστήματα ΣΗΘ. Σήμερα, πέρα από το βιομηχανικό τομέα και άλλους τομείς, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να καλύπτουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με δίκτυα τηλεθέρμανσης όπως στην Κοζάνη, την Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο και την Μεγαλόπολη .

α/α	Βιομηχανία	Είδος Βιομηχανίας	Τοποθεσία	Τεχνολογία Συμπαράγωγής	Εγκατεστημένη ηλ. ισχύς (MW)
1.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Βιομ. Ζάχαρης	Λάρισα	Ατμοστρόβιλος	12,00
2.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Βιομ. Ζάχαρης	Πλατύ	Ατμοστρόβιλος	12,00
3.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Βιομ. Ζάχαρης	Σέρρες	Ατμοστρόβιλος	6,00
4.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Βιομ. Ζάχαρης	Ξάνθη	Ατμοστρόβιλος	16,00
5.	Ελλ. Βιομ. Ζάχαρης	Βιομ. Ζάχαρης	Ορεστιάδα	Ατμοστρόβιλος	10,00
6.	ΕΤΜΑ	Κλωστούφγία	Αθήνα	Ατμοστρόβιλος	9,40
7.	Πειραιϊκή Πατραϊκή*	Κλωστούφγία	Πάτρα	Ατμοστρόβιλος	1,25
8.	Αθηναϊκή Χαρτοποιία*	Χαρτοποιία	Δράμα	Κινητήρας Diesel	34,55
9.	Θεσσαλική Χαρτοποιία	Χαρτοποιία	Λάρισα	Ατμοστρόβιλος	5,50
10.	Λαδόπουλος*	Χαρτοποιία	Πάτρα	Ατμοστρόβιλος	3,00
11.	Χαλιβουργική*	Χαλιβουργία	Ελευσίνα	Ατμοστρόβιλος	80,00
12.	Motor Oil	Διύλιτήριο	Κόρινθος	Αεριοστρόβιλος	23,00
13.	Ελλ. Διύλ. Ασφροπύργου	Διύλιτήριο	Ασφρόπυργος	Αεριοστρόβιλοι	34,00
				Ατμοστρόβιλος	16,00
14.	Ε.Π.Β. Αιγαίου	Εξόρ. Πετρελαίου	Καβάλα	Αεριοστρόβιλοι	11,00
				Ατμοστρόβιλος	5,50
15.	Α.Ε.Ε.Χ.Π.Α.	Λιπάσματα	Δραπετσώνα	Ατμοστρόβιλος	11,80
16.	Β.Φ. Λιπασμάτων	Λιπάσματα	Καβάλα	Ατμοστρόβιλος	25,00
17.	Χ.Β.Β.Ε.	Λιπάσματα	Θεσσαλονίκη	Ατμοστρόβιλος	11,00
18.	Αλουμίνιο Ελλάδος	Παραγ. Αλουμινίου	Βοιωτία	Ατμοστρόβιλος	11,60
19.	Εκκοκιστήρια Βάμβακος Λαύλειας, Α.Ε.Β.Ε.	Εκκοκιστήρια	Δαύλεια Βοιωτίας	Ατμοστρόβιλος	0,5
Ολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς:					339,10
Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των λειτουργούντων συστημάτων:					220,30
* Δέν λειτουργεί.					
Συνομογραφίες:					
ΕΤΜΑ:		Εταιρεία Τεχνητής Μετάξης Ε.Τ.Μ.Α. Α.Ε.			
Ε.Π.Β. Αιγαίου:		Εταιρεία Πετρελαίου Βορείου Αιγαίου			
Α.Ε.Ε.Χ.Π.Α.		Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων			
Β.Φ. Λιπασμάτων:		Βιομηχανία Φωσφορικών Λιπασμάτων			
Χ.Β.Β.Ε.:		Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος			

Συστήματα ΣΗΘ στην Ελλάδα το 1998.

Σύμφωνα με τα στοιχεία των εγκαταστάσεων φαίνεται ότι από τις αρχές της δεκαετίας του '90 και έπειτα υπήρξαν σημαντικές βελτιώσεις στις ελληνικές εγκαταστάσεις

ΣΗΘ. Όμως αν και τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν πολλές εγκαταστάσεις ΣΗΘ στην Ελλάδα, η συμπαραγωγή ακόμα δεν έχει τη θέση που αναμενόταν. Σε αυτό συνέβαλαν διάφορα εμπόδια, όπως η αύξηση των τιμών του πετρελαίου και κατά συνέπεια και του φυσικού αερίου, η έλλειψη ανταγωνιστικής τιμολογιακής πολιτικής, δυσκολίες για την περαιτέρω ανάπτυξη του δικτύου διανομής φυσικού αερίου καθώς και η έλλειψη εμπειρίας στην ενεργειακή διαχείριση και αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων. Συνεπώς, η σημερινή βραχυπρόθεσμη εμπειρία από τις ΣΗΘ είναι αρνητική αφού η λειτουργία των λίγων υφιστάμενων μονάδων είναι ζημιογόνα και πολλές εγκαταστάσεις που έχουν επιδοτηθεί στα πλαίσια του ΕΠΑΝ δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στη σημερινή εξαιρετικά δύσκολη συγκυρία στο τομέα της Ενέργειας. Ωστόσο η ΣΗΘ είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος που με την εκμετάλλευση και νέων καυσίμων μπορεί να δώσει λύσεις σε αρκετά ενεργειακά προβλήματα της χώρας.

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΣΗΘ

Όπως κάθε εφαρμογή, έτσι και η διάδοση των μονάδων Συμπαραγωγής έχει θετικές και αρνητικές όψεις. Τα πλεονεκτήματα από την χρήση της ΣΗΘ που μπορούν να αυξηθούν και ταυτόχρονα η μελέτη για τον περιορισμό των μειονεκτημάτων της, την καθιστούν αρκετά ελπιδοφόρα. Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μπορούν να μετριασθούν ή και να εξαιρεθούν με σωστή επιλογή του είδους και της θέσης του συστήματος συμπαραγωγής, την προσεκτική ένταξή του στο ευρύτερο ενεργειακό σύστημα της περιοχής ή της χώρας και με την επιμελημένη συντήρηση κατά τη διάρκεια ζωής των μονάδων.

Τα αποτελέσματα της συμπαραγωγής αφορούν τον οικονομικό, πολιτικό, ιδεολογικό και περιβαλλοντικό τομέα:

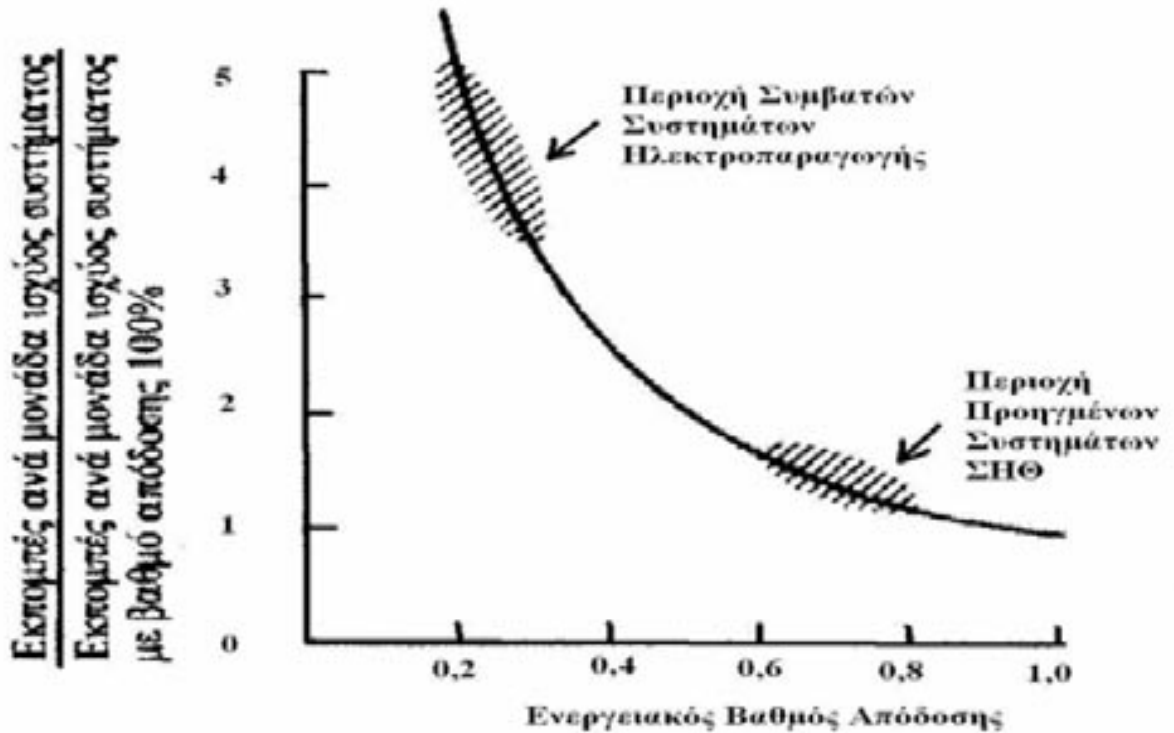
Μεγαλύτερη απόδοση

- Η συμπαραγωγή αυξάνει την απόδοση των μηχανών σε σχέση με την διαχωρισμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους τους, αφού για τις ίδιες ώρες λειτουργίας αποφέρουν μεγαλύτερα ποσά ωφέλιμης ενέργειας. Αυτό για την χώρα μας είναι αρκετά σημαντικό αν σκεφτούμε ότι μία από τις τέσσερις μεγαλύτερες κατηγορίες εισαγωγών είναι αυτή των μηχανών-μηχανημάτων.
- Η μεγαλύτερη απόδοση συνεπάγεται εξοικονόμηση στην κατανάλωση καυσίμου και αντίστοιχα, πάλι μείωση μίας από τις μεγαλύτερες κατηγορίας εισαγωγών, δηλαδή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου διευρύνοντας την πολιτική και οικονομική ανεξαρτησία της Ελλάδας κατά την άσκηση ενεργειακής πολιτικής. Αυτό βέβαια με την υπόθεση ότι οι μονάδες ΣΗΘ χρησιμοποιούν το ίδιο καύσιμο με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή καύσιμο που παράγεται από την ίδια την χώρα.
- Η μείωση της χρήσης καυσίμου έχει θετικές συνέπειες για το περιβάλλον παγκοσμίως με την ελάττωση των εργασιών εξόρυξης και επεξεργασίας των πρώτων υλών για την παραγωγή ενέργειας.

Μείωση εκπομπής ρύπων

- Η μείωση στην κατανάλωση καυσίμου μειώνει συνολικά της εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως CO₂ βοηθώντας στον περιορισμό της περιβαλλοντικής καταστροφής που είναι αναγκαία αν σκεφτούμε τις επιπτώσεις της σε οικονομικό και βιοτικό επίπεδο (π.χ. πυρκαγιές, άνοδος της στάθμης της θάλασσας κλπ). Και η Τριπαραγωγή μειώνει την χρήση χλωροφθοροανθράκων HCFC/CFC που έχουν

μεγάλη συμμετοχή στο πρόβλημα της τρύπας του όζοντος. Έτσι, καταφέρνουμε καλύτερα να ανταποκρινόμαστε και στις διεθνείς συνθήκες για την προστασία του περιβάλλοντος (π.χ. Κιότο). Ωστόσο η μείωση των εκπεμπόμενων αερίων επιτυγχάνεται πάλι με την υπόθεση ότι στην ΣΗΘ χρησιμοποιείται το ίδιο είδος καυσίμου ή αν χρησιμοποιείται καύσιμο κατώτερης ποιότητας είναι τέτοια η διαφορά απόδοσης που οδηγεί σε μείωση εκπομπών.



Εκπομπές ρύπων για συστήματα ξεχωριστής ηλεκτροπαραγωγής και Συμπαγωγής

Τοπικότητα

- Αν και η ΣΗΘ μειώνουν συνολικά τους εκπεμπόμενους ρύπους από την άλλη οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής βρίσκονται συνήθως εκτός οικισμών και έχουν ψηλές καπνοδόχους που διαχέουν σε μεγάλη έκταση τα καυσαέρια ενώ οι μονάδες ΣΗΘ μπορεί να βρίσκονται και εντός οικισμών. Πράγμα που σημαίνει ότι σε αυτή την περίπτωση μπορούν να αυξάνουν τα καυσαέρια, την θερμοκρασία και την ηχορύπανση τοπικά. Ωστόσο η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας και ρύθμιση διαφόρων άλλων παραγόντων μπορεί να επιλύσει σε μεγάλο βαθμό αυτές τις προβληματικές και η ευαισθητοποίηση που υπάρχει ιδεολογικά γύρω από ζητήματα περιβάλλοντος πιθανότατα να επιτρέψει την αποδοχή διεύρυνσης αυτής της μεθόδου.
- Οι μονάδες ΣΗΘ αποκεντρώνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την μεταφέρουν σε τοπικό επίπεδο γεγονός που μειώνει την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της μείωσης των απωλειών κατά την μεταφορά του και βελτιώνει την ποιότητα του. Λόγω αυτής της αποκέντρωσης η ΔΕΗ θα μπορούσε να εξοικονομεί πόρους από την δημιουργία νέων μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης η σχετική αυτονομία των συστημάτων συμπαγωγής εξυπηρετεί την γεωγραφία της Ελλάδας με τα πολλά ορεινά χωριά και τα νησιά διασφαλίζοντας τους ρεύμα, θέρμανση και καλύπτοντας τις μεγάλες ανάγκες τους σε ψύξη-κλιματισμό. Μειώνονται δηλαδή οι πιθανότητες αυτές οι περιοχές να έχουν έλλειψη λόγω βλαβών του δικτύου ηλεκτροδότησης. Ειδικά στην περίπτωση

που αυτές δεν λειτουργούν με ΦΑ (φυσικό αέριο) και δεν είναι απαραίτητη η επέκτασή του δικτύου του.

- Η διασπορά της παραγωγής ηλεκτρισμού τοπικά και η κεντροποίηση της θέρμανσης και της ψύξης σε οικισμούς δημιουργεί περισσότερο έλεγχο από την κοινωνία και μοιράζει περισσότερο τα περιβαλλοντικά προβλήματα σε όλους, κάτι που θα μπορούσε να ωθήσει την ανάπτυξη πιο φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών.
- Η διακίνηση και η αποθήκευση των καυσίμων και η απομάκρυνση των στερεών καταλοίπων της καύσης που μπορεί να προκαλέσει ρύπανση του εδάφους και των υδάτων προϋποθέτει την ύπαρξη μελετών, μεθόδων και εγκαταστάσεων που πιθανότατα δεν υπάρχουν και πρέπει να γίνουν πριν την κατασκευή μονάδας ΣΗΘ σε μία ορισμένη περιοχή.

Σε σχέση με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρισμού

- Πολλές μικρές μονάδες συμπαραγωγής, που λειτουργούν παράλληλα με τους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, αυξάνουν την αξιοπιστία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι ενδεχόμενο να δημιουργήσουν και 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.
- Γενικά με την ύπαρξη πολλών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται προβλήματα για την ΔΕΗ όπως μείωση του έλεγχου της εταιρείας πάνω στο σύστημα και δυσκολία στις ενέργειες του προγραμματισμού ιδιαίτερα του μακροπρόθεσμου, μείωση του συντελεστή φορτίου της εταιρείας, μεγαλύτερη αβεβαιότητα σε σχέση με τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος, ανάγκη σε ορισμένες περιπτώσεις η εταιρεία να αγοράζει το πλεόνασμα του συμπαραγωγού σε μια τιμή η οποία άλλοτε είναι διαπραγματεύσιμη κι άλλοτε επιβάλλεται από κανονιστικές διατάξεις, μείωση των εσόδων της εταιρείας με πιθανές αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο μέσο καταναλωτή.

1.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΗΘ

Όπως γίνεται αντιληπτό, η Συμπαραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αρκεί αυτό να κρίνεται βιώσιμο με οικονομικούς όρους και να μην δημιουργεί προβλήματα κατά το πλείστον, περιβαλλοντικά.

Οι 4 τομείς που υπάρχουν μονάδες ΣΗΘ και υπάρχει προοπτική στο μέλλον αυτές να αυξηθούν είναι:

- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού (ΔΕΗ)
- Χώροι ρίψης απορριμμάτων
- Βιομηχανικός τομέας
- Εμπορικός-κτηριακός τομέας
- Αγροτικός-κτηνοτροφικός τομέας

Συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού

Όλες οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να μετατραπούν σε μονάδες ΣΗΘ και να καλύπτουν με τηλεθέρμανση τις ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη στις γειτονικές περιοχές τους. Η τηλεθέρμανση αυτή μπορεί να παρέχεται τόσο στους κοντινότερους οικισμούς όσο και στον βιομηχανικό, αγροτικό και τριτογενή τομέα.

Χώροι ρίψης απορριμμάτων

Με μία σωστή πολιτική Διαχείρισης Απορριμμάτων οι χώροι αυτοί θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή λιπασμάτων και την παραγωγή βιομάζας-βιοαερίου ικανού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια που θα παράγεται από την ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως στην περίπτωση των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Τέτοια παραδείγματα στην Ελλάδα αποτελούν οι σταθμοί στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων στην Αττική με ισχύ 24MW και στον ΧΥΤΑ στους Ταγαράδες της Θεσσαλονίκης με ισχύ 5MW.

Βιομηχανικός τομέας

Στον βιομηχανικό τομέα πολλές διεργασίες απαιτούν θερμότητα παράλληλα με τις ανάγκες για ηλεκτρισμό. Οι βιομηχανίες ανάλογα με την δραστηριότητά τους και τις θερμοκρασίες που απαιτούνται διακρίνονται σε αυτές που έχουν διεργασίες χαμηλών θερμοκρασιών (μικρότερων των 100°C), μέτριων θερμοκρασιών (100°C έως 300°C) και υψηλών θερμοκρασιών (300°C έως 700°C). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ΣΗΘ παρουσιάζουν οι κλάδοι: τροφίμων και ποτών, κλωστοϋφαντουργίας, χάρτου, οι χημικές βιομηχανίες, οι βιομηχανίες τσιμέντου και βασικές μεταλλουργικές βιομηχανίες (χαλυβουργεία, εργοστάσια παραγωγής αλουμινίου κλπ). Μικρότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι υαλουργίες, οι βιομηχανίες κεραμικών υλικών και οι ξυλοβιομηχανίες.

Η εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής σε βιομηχανίες 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 λειτουργήσει επί αρκετές ώρες το έτος. Οι παράγοντες αυτοί είναι εύκολο να ικανοποιηθούν σε οργανωμένες ζώνες βιομηχανικής ανάπτυξης, όπως π.χ. στις Βιομηχανικές Περιοχές (ΒΙΠΕ). Τέτοιες περιοχές υπάρχουν στη Θεσσαλονίκη, στο Βόλο, στην Πάτρα και αλλού.

Εμπορικός-κτηριακός τομέας

Οι εφαρμογές ΣΗΘ σε αυτό τον τομέα αναφέρονται σε νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα, σχολεία, αθλητικές εγκαταστάσεις, κτίρια γραφείων, κατοικίες κλπ και εξυπηρετούν τόσο τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θέρμανση όσο και σε ψύξη και κλιματισμό.

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

- νοσοκομεία και ξενοδοχεία
- πολυκατοικίες
- κτίρια γραφείων

Ο καθένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη μορφή της καμπύλης φορτίου και άλλου είδους κτίρια έχουν καμπύλες φορτίου που προκύπτουν με συνδυασμό των τριών κύριων υποτομέων.

Σε κάθε εγκατάσταση Συμπαραγωγής σε αυτό τον τομέα πρέπει 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. Μία φθηνή λύση με εύκολη συντήρηση προσφέρουν οι μηχανές αυτοκινήτων, αφού υποστούν μικρές μετατροπές, που έχουν σχέση κυρίως με το χρησιμοποιούμενο καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο αντί βενζίνης) και το σύστημα ρύθμισης και ελέγχου. Μειονέκτημα αυτών είναι η σχετικά

μικρή διάρκεια ζωής τους (20.000-30.000 ώρες). Μεγαλύτερες μηχανές βιομηχανικού τύπου, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά και μεγαλύτερο αρχικό κόστος. Ο ετεροχρονισμός μεταξύ θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου στις κατοικίες, καθώς και η μεταβολή της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια του 24ώρου, κάνουν συχνά αναγκαία την ύπαρξη συστήματος αποθήκευσης θερμότητας, προκειμένου να επιτευχθεί οικονομική εκμετάλλευση του συστήματος συμπαραγωγής.

Αγροτικός-κτηνοτροφικός τομέας

Στον αγροτικό-κτηνοτροφικό τομέα οι μονάδες ΣΗΘ θα μπορούσαν να έχουν μεγάλη εφαρμογή. Επιπλέον προοπτικές δίνει και η ανάπτυξη των βιοκαυσίμων. Εγκαταστάσεις όπως θερμοκήπια και κτηνοτροφικές μονάδες έχουν αρκετούς μήνες το χρόνο ανάγκη από θέρμανση και ηλεκτρισμό και αρκετές βιομηχανίες επεξεργασίας και ξήρανσης γεωργικών και κτηνοτροφικών προϊόντων βρίσκονται κοντά σε μικρούς οικισμούς και θα μπορούσαν να τους διασφαλίσουν θέρμανση και ηλεκτροδότηση. Δυστυχώς στην Ελλάδα τα παραδείγματα σε αυτό τον τομέα είναι ελάχιστα. Κάποια από αυτά είναι η μονάδα ατμοστροβίλου, που είναι εγκατεστημένη στα Εκκοκκιστήρια Βάμβακος Δαύλειας, Α.Ε.Β.Ε που από τα απορρίμματα κατά τον εκκοκκισμό του βαμβακιού για ορισμένες περιόδους του χρόνου καλύπτει το φορτίο της σε ρεύμα και θερμότητα και προσφέρει θερμότητα και στην τοπική κοινότητα. Καθώς και το θερμοκήπιο της εταιρείας AGRITEX ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε. στην Αλεξάνδρεια Ημαθίας που λειτουργεί ως αυτόνομος σταθμός συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 4,8 MWel και θερμικής ισχύος 5,22 MWth και αποτελείται από τρεις Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ) που καίνε ΦΑ.

1.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

1.6.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΕΝΝΟΙΩΝ

Για την περιγραφή και την σύγκριση των συστημάτων Συμπαραγωγής είναι αναγκαίος ο ορισμός και η χρησιμοποίηση κάποιων δεικτών.

Ακολουθούμε τους παρακάτω συμβολισμούς των φυσικών εννοιών:

W: ηλεκτρική (ή μηχανική) ισχύς

Q : θερμική ισχύς

H_{fz}: ισχύς καυσίμου που καταναλίσκεται από το σύστημα συμπαραγωγής:

$$H_{fz} = m_{fz} H_u$$

Όπου m_f : παροχή καυσίμου,

H_u : κατώτερη θερμογόνο ικανότητα καυσίμου,

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

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

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

$$H_{fx} = H_{fw} + H_{fQ} = (m_f H_u)_{W+} + (m_f H_u)_{Q}$$

E_Q: ροή θερμικής εξέργειας που αντιστοιχεί στη θερμική ισχύ Q

E_f: ροή εξέργειας καυσίμου:

$$E_f = m_f \varepsilon_f$$

Όπου ε_f: ειδική εξέργεια καυσίμου.

Με βάση αυτούς τους συμβολισμούς ορίζουμε τους παρακάτω δείκτες, που είναι οι σημαντικότεροι:

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης: $\eta_e = \frac{W}{H_{f\Sigma}}$

Θερμικός βαθμός απόδοσης: $\eta_h = \frac{Q}{H_{f\Sigma}}$

Ολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης: $\eta = \eta_e + \eta_h = \frac{W+Q}{H_{f\Sigma}}$

Ολικός εξεργειακός βαθμός απόδοσης: $\zeta = \frac{W+E_Q}{E_{f\Sigma}}$

Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (power to heat ratio): $PHR = \frac{W}{Q}$

Λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμου (fuel energy savings ratio): $FESR = \frac{(H_{fX} - H_{f\Sigma})}{H_{fX}}$

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

$$\eta = \eta_e \left(1 + \frac{1}{PHR}\right) \leftrightarrow PHR = \frac{\eta_e}{(\eta - \eta_e)} = \frac{\eta_e}{\eta_h}$$

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 κυμαίνεται μεταξύ κάποιων γνωστών ορίων.

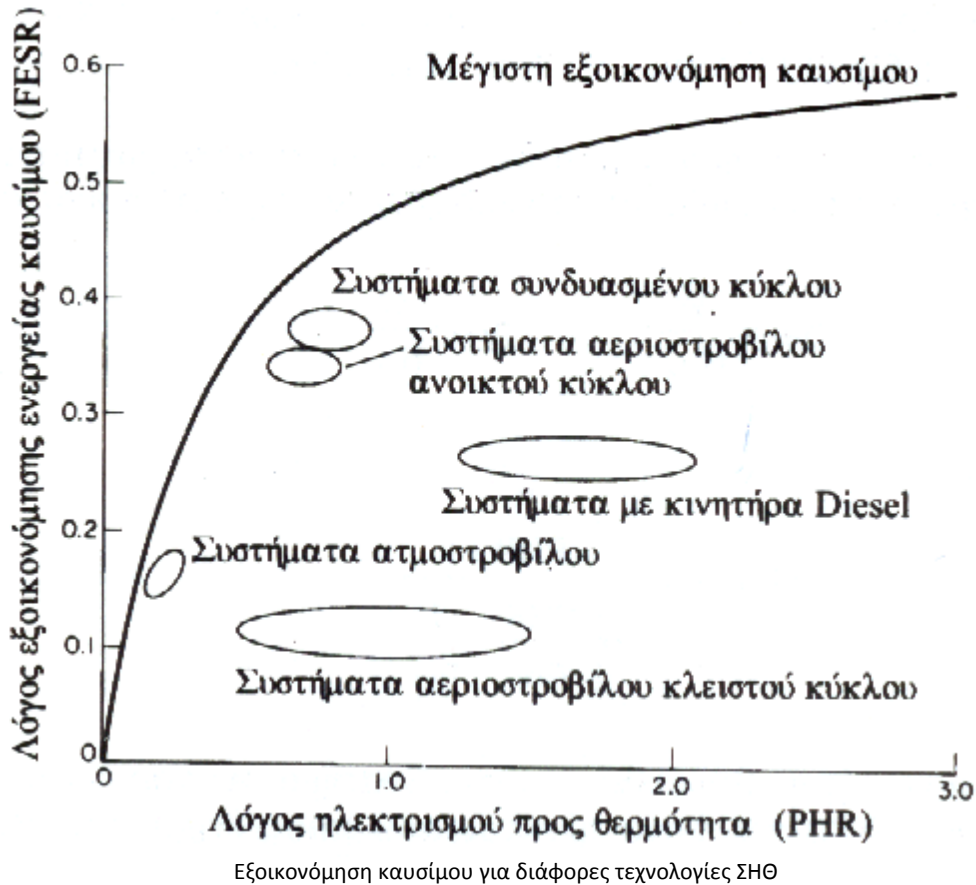
Εάν θεωρηθεί ότι το σύστημα συμπαραγωγής αντικαθιστά χωριστές μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης η_w και η_Q αντίστοιχα, όπου

$$\eta_w = \frac{W}{H_{fW}} \text{ και}$$

$$\eta_Q = \frac{Q}{H_{fQ}}$$

τότε αποδεικνύεται ότι: $FESR = 1 - \left[\left(\frac{PHR+1}{\eta} \right) \left(\frac{PHR}{\eta_w} + \frac{1}{\eta_Q} \right) \right]$

Η αποδοτικότητα των μονάδων ΣΗΘ προσδιορίζεται από την εξοικονόμηση ενέργειας και άρα καυσίμου που επιτυγχάνεται σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι περιοχές τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα, PHR , και του λόγου εξοικονόμησης καυσίμου, $FESR$, για τους πέντε βασικούς τύπους συστημάτων συμπαραγωγής φαίνονται παρακάτω:



Τα όρια των περιοχών αυτών δεν είναι απόλυτα αυστηρά αλλά μπορούν μέχρι ένα βαθμό να μεταβληθούν με πρόσθετο εξοπλισμό. Για τον λόγο αυτόν, το παραπάνω σχήμα χρησιμοποιείτε μόνον για μια πρώτη ένδειξη του είδους συστήματος, που θα ήταν κατάλληλο για κάποια εφαρμογή. Και η τελική επιλογή πρέπει να στηριχθεί στις προδιαγραφές των μηχανημάτων που δίνουν οι κατασκευαστές.

1.6.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΗΘ

Με κριτήρια την κατηγορία του κτηρίου, τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, τον χρόνο ζωής και τις ώρες λειτουργίας, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι μηχανών.

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν:

- ως συστήματα κορυφής (topping systems) όπου 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.
- ως συστήματα βάσης (bottoming systems) όπου παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ., σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, 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.

Οι τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή σήμερα στη ΣΗΘ είναι οι παρακάτω:

- Ατμοστρόβιλος
- Αεριοστρόβιλος
- Παλινδρομικές μηχανές (ΜΕΚ)
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Μηχανές Stirling
- Κυψέλες καυσίμου
- Τυποποιημένες μονάδες αποκλειστικά για Συμπαραγωγή με Μικροστρόβιλο
- Τυποποιημένες μονάδες αποκλειστικά για Συμπαραγωγή με κινητήρα diesel

Πέρα από τις κυψέλες καυσίμου, όλες οι άλλες τεχνολογίες αποτελούν θερμικές μηχανές. Δηλαδή, συσκευές που μετατρέπουν την θερμική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια, και η λειτουργία τους μπορεί να παρασταθεί καλύτερα από ένα θερμοδυναμικό κύκλο όπως οι κύκλοι Otto, Diesel, Brayton, Stirling και Rankine

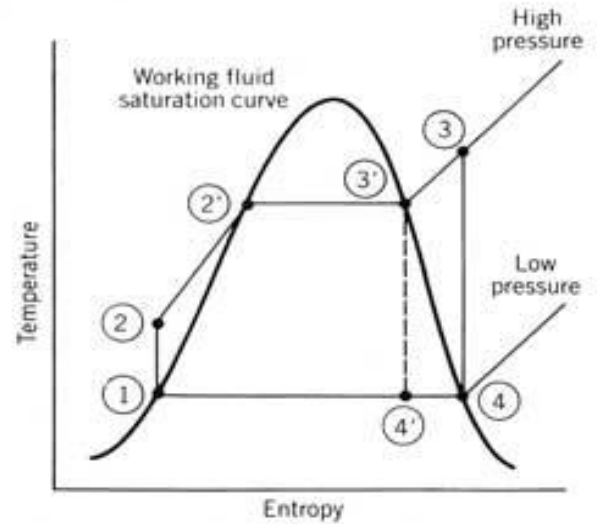
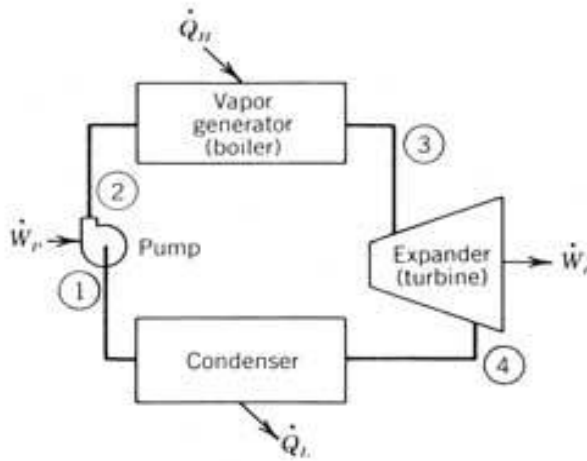
1.6.2.1 ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μονάδων ΣΗΘ που έχουν κατασκευαστεί λειτουργούν με ατμοστρόβιλους. Μπορούν να χρησιμοποιούν οποιοδήποτε τύπο καυσίμου και μπορούν να κατασκευαστούν για να παράγουν ισχύ από 500KW μέχρι 100MW. Στα καύσιμα των συστημάτων με ατμοστρόβιλους συμπεριλαμβάνονται ορυκτά καύσιμα, όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ή ανανεώσιμα καύσιμα όπως οι διάφοροι τύποι βιομάζας αρκεί οι λέβητες τους να είναι εφοδιασμένοι με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Επίσης σε δοκιμαστικό στάδιο χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες διατάξεις και η ηλιακή ενέργεια (εφαρμογές ORC RANKINE). Τα συστήματα ατμοστρόβιλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης τους είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα.

Η λειτουργία αυτών των διατάξεων κυρίως περιγράφεται ιδανικά από το θερμοδυναμικό κύκλο Rankine, παρόλο που εφαρμόζονται και κάποιοι άλλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης, και ο συνδυασμένος κύκλος:

Κύκλος Rankine:

Ο κύκλος Rankine αντιστοιχεί σε μια θερμική μηχανή με κύκλο ισχύος ατμού. Το πιο κοινό εργαζόμενο μέσο είναι το νερό.



Οι κύριες μεταβολές του μέσου είναι οι εξής:

- Από το 1 στο 2 ισεντροπική συμπίεση στην αντλία
- Από το 2 στο 3 θέρμανση υπό σταθερή πίεση στο λέβητα (προθέρμανση-πλήρης αεριοποίηση-υπερθέρμανση)
- Από το 3 στο 4 ισεντροπική εκτόνωση στον ατμοστρόβιλο
- Από το 4 στο 1 αποβολή θερμότητας υπό σταθερή πίεση στο ψυγείο

Ορίζουμε:

W: Το έργο

Q: Την θερμότητα

h: Την ενθαλπία

m: Την μάζα του μέσου (νερό)

και έτσι το παραγόμενο έργο του κύκλου στον ατμοστρόβιλο W_1 και στην αντλία W_2 είναι:

$$W_1 = m(h_3 - h_4)$$

$$W_2 = m(h_1 - h_2)$$

Η θερμότητα στον κύκλο από το λέβητα Q_1 και στο συμπυκνωτή Q_2 είναι:

$$Q_1 = m(h_3 - h_2)$$

$$Q_2 = m(h_1 - h_4)$$

Οπότε το ωφέλιμο έργο του κύκλου είναι $W = W_1 + W_2$ και ο θερμικός βαθμός απόδοσης ενός κύκλου Rankine ορίζεται τότε ως:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

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

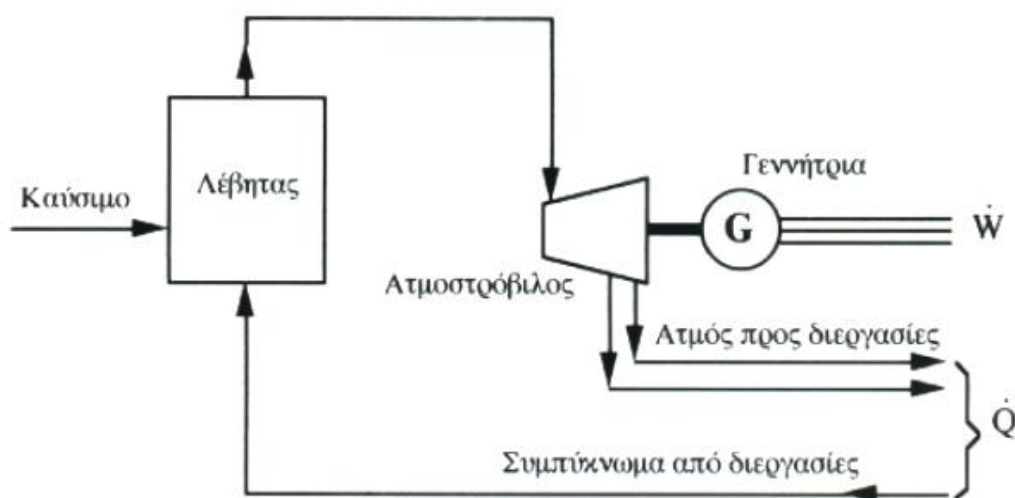
Οι συνθήκες λειτουργίας μπορούν να ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό. Για τις εφαρμογές συμπαραγωγής, η πίεση ατμού μπορεί να κυμανθεί από μερικά bar μέχρι και 100 bar καθώς και ακόμα υψηλότερες πιέσεις. Η θερμοκρασία ατμού μπορεί να πλησιάσει τους 450 °C ενώ σε ορισμένες εφαρμογές έως και 540 °C. Η ισχύς εξόδου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

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούν ατμοστρόβιλους αποτελούνται βασικά από έναν ατμολέβητα, τον ατμοστρόβιλο και ένα ψυγείο-συμπυκνωτή. Το απλούστερο δυνατό σχήμα διεργασίας που υλοποιεί τη συμπαραγωγή είναι η διάταξη με αντίθλιψη. Εξαιτίας της ισχυρής σύζευξης που εισάγει η συμπύκνωση της συνολικής παροχής μάζας του υδρατμού στο συγκεκριμένο σχήμα διεργασίας, παραμένει πρακτικά σταθερός ο λόγος ηλεκτρικής-θερμικής ισχύος και μικρές μεταβολές του είναι εφικτές με διακύμανση της θερμοκρασίας ζωντανού ατμού. Όμως ένας μεταβλητός λόγος ηλεκτρικής-θερμικής ισχύος είναι απαραίτητος σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται στην πράξη πιο σύνθετοι κύκλοι με ενδιάμεση απομάστευση ατμού οι οποίοι επιτρέπουν ευρεία διακύμανση του λόγου ηλεκτρικής-θερμικής ισχύος αναλόγως των αναγκών του καταναλωτή. Έτσι στις μονάδες ΣΗΘ, οι διατάξεις με ατμοστρόβιλο μπορεί να αποτελούνται από πολλές βαθμίδες, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να οριστεί με την ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μία υψηλότερη σε μία χαμηλότερη πίεση.

Ακολουθεί μία παρουσίαση των διατάξεων με ατμοστρόβιλους που χρησιμοποιούνται στην Συμπαραγωγή:

1.6.2.1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ

Ατμός υψηλής πίεσης 20-100 bar και θερμοκρασίας 480-540 °C παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση ατμοστρόβιλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός βγαίνει από τον στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος αντίθλιψη οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής 3-20 bar.



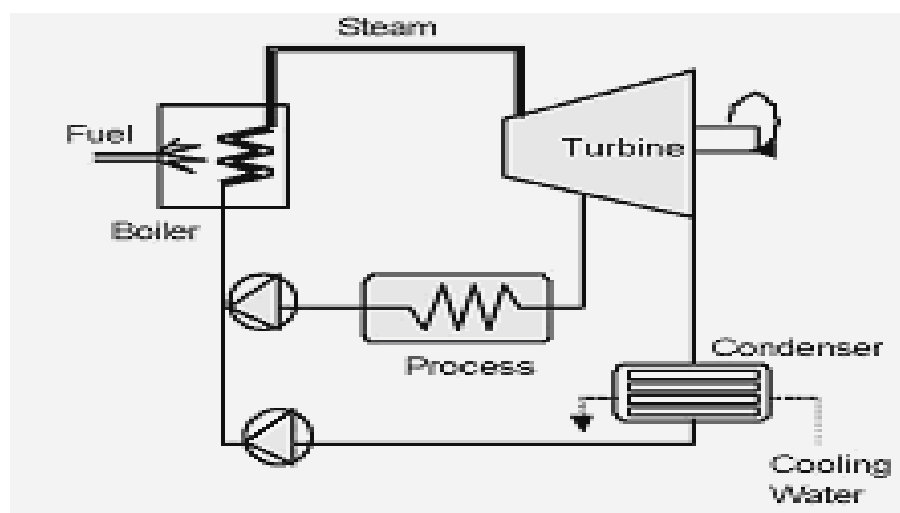
Απομάστευση δηλαδή εξαγωγή μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στρόβιλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή. Μετά από την έξοδο από το στρόβιλο, ο ατμός διοχετεύεται στο φορτίο, όπου όντας συμπυκνωμένος απελευθερώνει τη θερμότητά του. Το συμπύκνωμα επιστρέφει στο σύστημα με ένα ποσοστό ροής που μπορεί να είναι χαμηλότερο από το ποσοστό ροής ατμού, εάν η μάζα ατμού χρησιμοποιείται στη διαδικασία ή εάν υπάρχουν απώλειες κατά μήκος των σωλήνων διοχέτευσης

Σε σύγκριση με τα συστήματα ατμοστρόβιλων με απομάστευση, αυτά με αντίθλιψη έχουν απλούστερη κατασκευή, μπορούν να φτάσουν σε πολύ μεγάλη ισχύ μέχρι και 500MW, μικρότερο αρχικό κόστος, μειωμένη ή και μηδενική ανάγκη ψυκτικού νερού, υψηλότερο βαθμό απόδοσης περίπου 85%, κυρίως διότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω του συμπυκνωτή

Από την άλλη, όπως αναφέρθηκε και πρωτίτερα, το ποσοστό ροής ατμού μέσω του στροβίλου εξαρτάται από το θερμικό φορτίο. Συνεπώς, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον ατμό ελέγχεται από το θερμικό φορτίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυσκολία αντιστοίχισης ηλεκτρικής παραγωγής και ηλεκτρικού φορτίου. Επομένως, υπάρχει ανάγκη μιας διπλής κατεύθυνσης σύνδεσης στο δίκτυο για την αγορά της συμπληρωματικής ηλεκτρικής ενέργειας ή την πώληση της περίσσειας που παράγεται. Ακόμα η αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής με απευθείας απομάκρυνση του υπέρθερμου ατμού στην ατμόσφαιρα δεν ενδείκνυται για περιβαλλοντικούς λόγους και τέλος ο ατμοστρόβιλος είναι μεγαλύτερος για την ίδια παραγωγή ισχύος, επειδή λειτουργεί κάτω από χαμηλότερη διαφορά ενθαλπίας του ατμού.

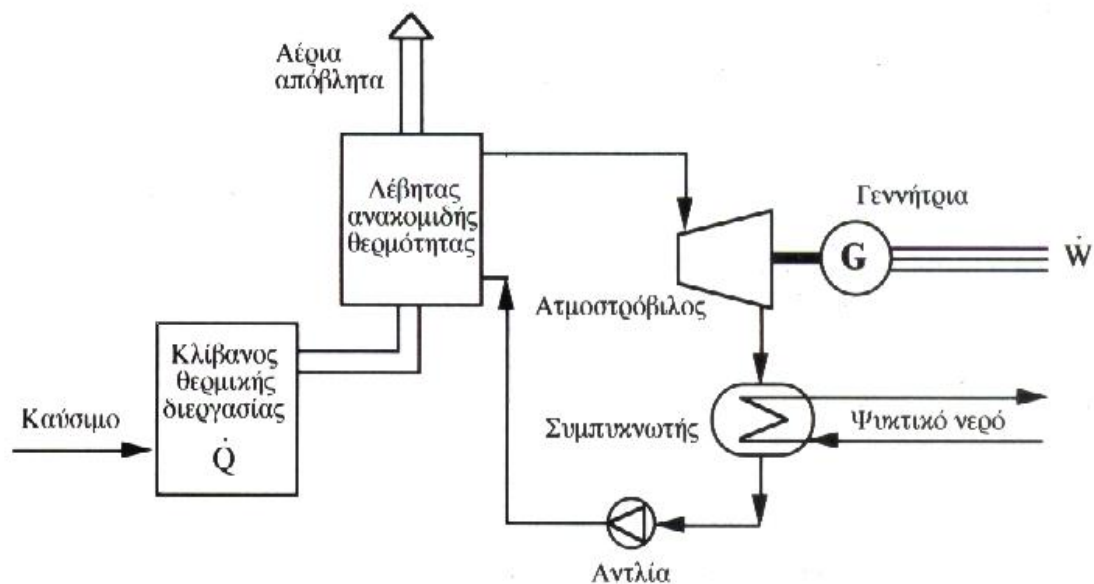
1.6.2.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ

Μέρος του ατμού απομαστεύεται από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή που είναι 0,05-0,10 bar. 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.



1.6.2.1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΣΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ

Αρκετές βιομηχανίες (χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κλπ) έχουν αέρια απόβλητα

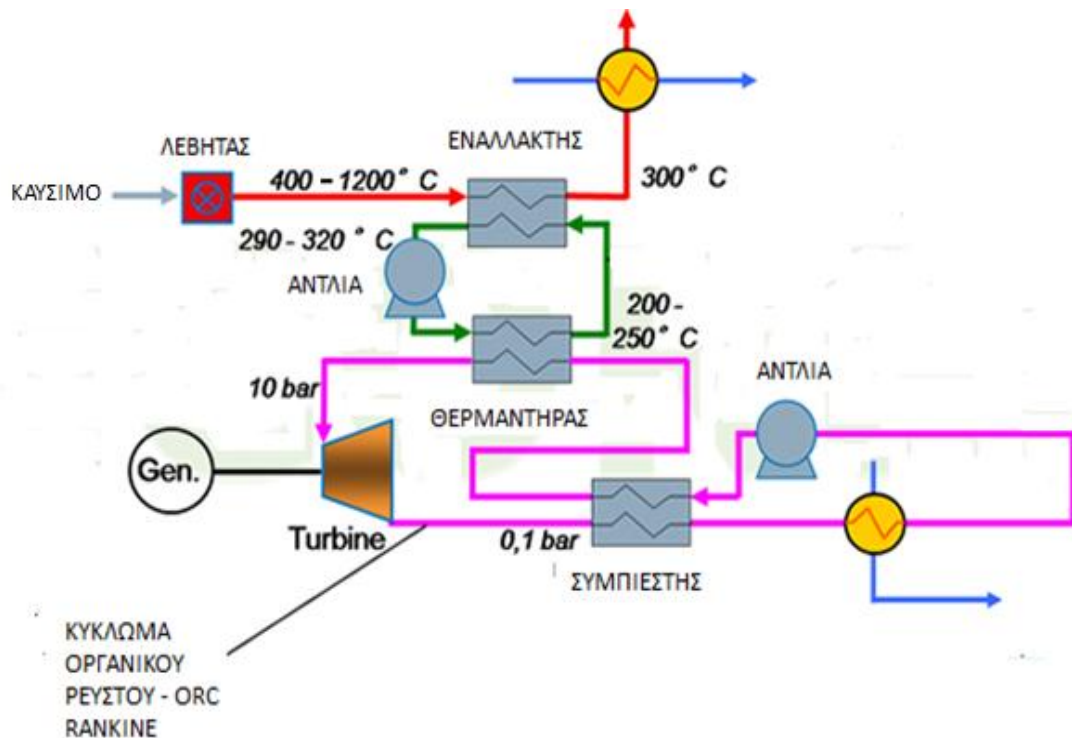


υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θερμική διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας, όπου παράγεται ατμός που κινεί μια ατμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού.

1.6.2.1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE (ORC RANKINE)

Συνήθως, στον κύκλο βάσης το εργαζόμενο μέσο είναι το νερό, που εξατμίζεται με ανάκτηση θερμότητας από αέρια υψηλής θερμοκρασίας 600 °C ή και υψηλότερης. Λιγότερο συνηθισμένη είναι η χρήση κύκλου Rankine με οργανικά ρευστά:

Σε αυτή την περίπτωση η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας 80-300 °C είναι δυνατή εάν χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, ισοπεντάνιο, ισοοκτάνιο, αμμωνία που αναμειγνύονται με νερό και τα μίγματα έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερη εκείνης του νερού. Έτσι, πηγές θερμότητας μπορούν να είναι ακόμα και η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, καυσαέρια ή θερμότητα ψύξης μηχανών, κα. Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 kW – 10 MW. Ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός, 10-30% κατά την παραγωγή ηλεκτρισμού, 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 ανοξειδωτού 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%. Πολλές φορές στις νέες τεχνολογίες η χρήση συμπυκνωτή δεν είναι απαραίτητη. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη.



Γενικά λοιπόν για τους αμοστροβίλους 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 $PHR = 0,1-0.5$. 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 αμοστροβίλο.

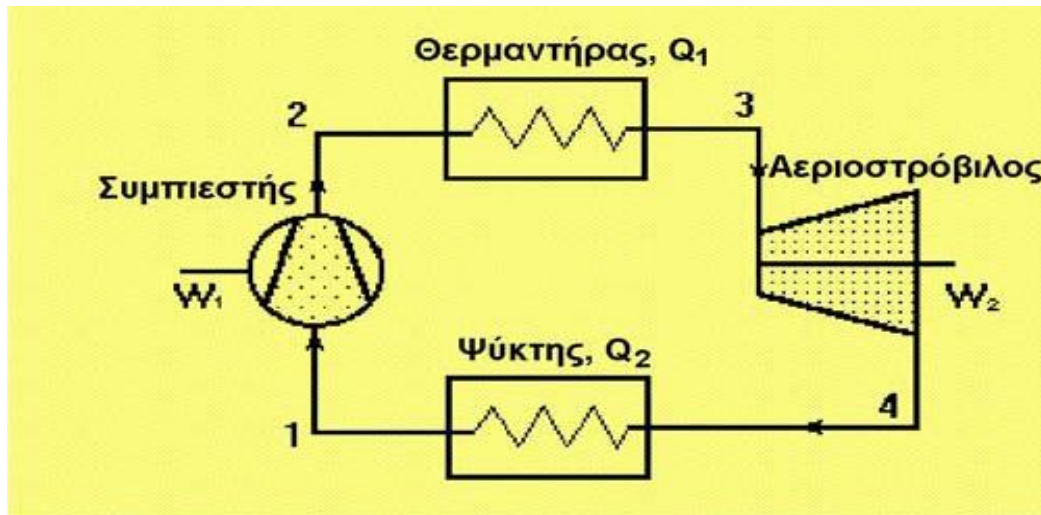
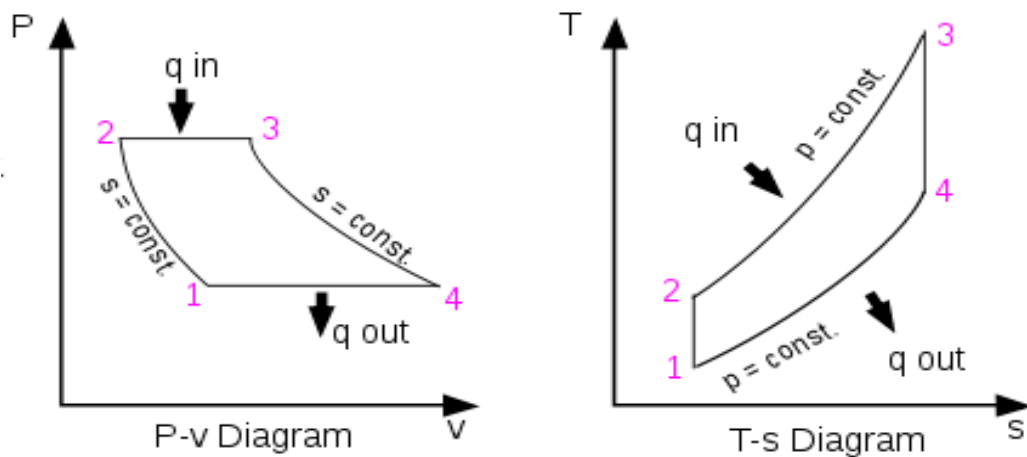
1.6.2.2 ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Οι αεριοστροβίλοι επιτρέπουν την ανάπτυξη διατάξεων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας με ιδιαίτερα πλεονεκτικούς όρους. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες των καυσαερίων σε ανοικτές διατάξεις αεριοστροβίλων βρίσκονται στην περιοχή των 400 – 500 °C, εφόσον δεν χρησιμοποιούνται αναγεννητές. Οι αεριοστροβίλοι 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. Γενικά, έχουν ως χαρακτηριστικά την γρήγορη εκκίνηση και τη γρήγορη απάντηση στο μεταβαλλόμενο φορτίο. Και τα δύο σχέδια αεριοστροβίλων 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 μηχανές αυτές χρησιμοποιούν τα θερμά αέρια που παράγονται άμεσα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τα θερμά αέρια εκτονώνονται μέσα από τα πτερύγια του δρομέα του στροβίλου αναγκάζοντας τα να κινηθούν.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεριοστροβιλικών 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 στρόβιλου. Η αναπτυσσόμενη ισχύς χρησιμοποιείται για την κίνηση του συμπιεστή και της ηλεκτρογεννήτριας.

Ο ΚΥΚΛΟΣ BRAYTON

Στον κύκλο Brayton η εισαγωγή όσο και η απόρριψη της θερμότητας γίνεται υπό σταθερή πίεση, και για το λόγο αυτό ο κύκλος είναι επίσης γνωστός ως κύκλος σταθερής πίεσης.



Οι κύριες διεργασίες αυτού του κύκλου είναι οι εξής:

- Από το 1 στο 2 ισεντροπική συμπίεση
- Από το 2 στο 3 θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- Από το 3 στο 4 ισεντροπική εκτόνωση
- Από το 4 στο 1 αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση

Ορίζουμε:

W: Το έργο
Q: Την θερμότητα
h: Την ενθαλπία
m: Την μάζα του μέσου
T: την θερμοκρασία

Και έχουμε ότι το εισαγόμενο έργο στον κύκλο (συμπιεστής) W_1 και το παραγόμενο έργο από τον κύκλο (στρόβιλος) W_2 είναι:

$$W_1 = m(h_2 - h_1)$$

$$W_2 = m(h_3 - h_4)$$

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

$$Q_1 = m(h_3 - h_2)$$

$$Q_2 = m(h_4 - h_1)$$

Και ο θερμοκός βαθμός απόδοσης του κύκλου με ενεργειακό μέσο ένα τέλειο αέριο είναι:

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Αποδεικνύεται ότι η παραπάνω σχέση μπορεί να αναχθεί στην εξής:

$$\eta = 1 - r^\rho$$

Όπου $r = \frac{P_2}{P_1}$ και $\rho = -1 + \frac{1}{\gamma}$ που είναι μία σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα.

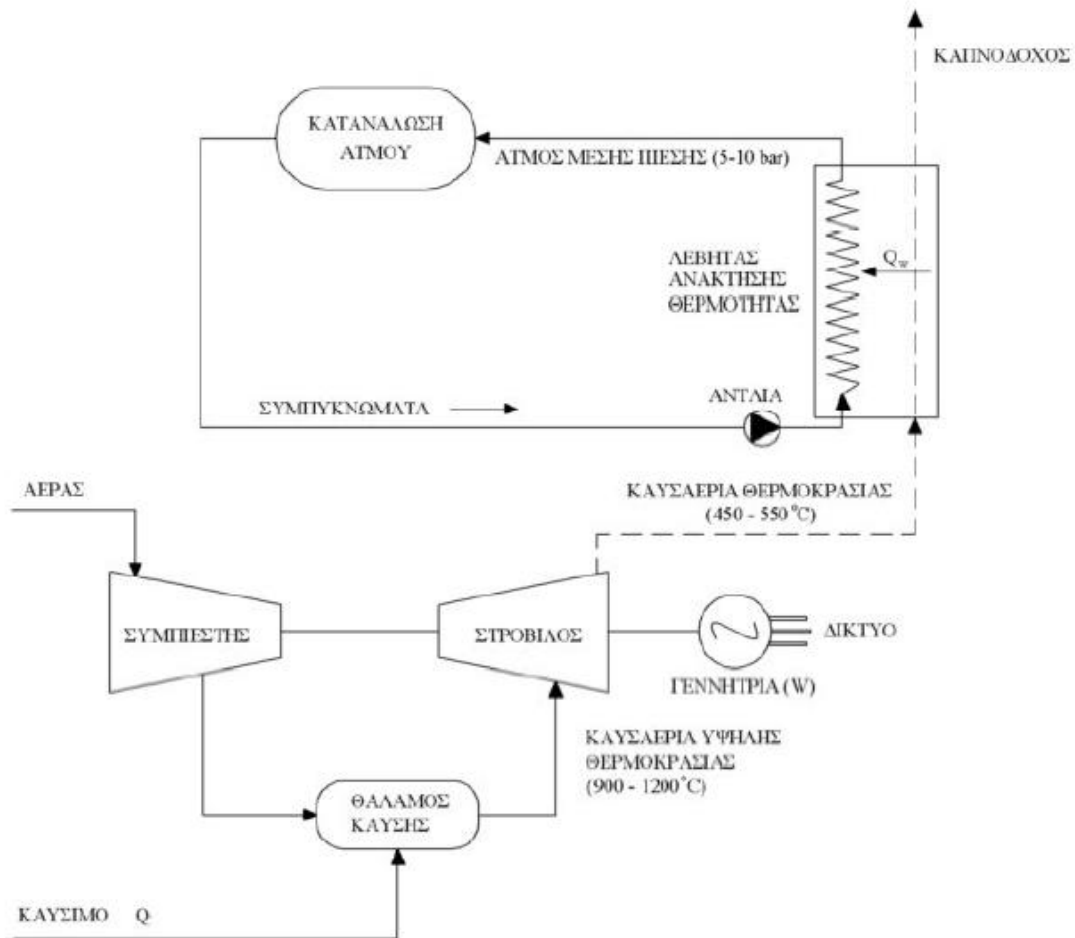
Υπάρχουν δύο βασικές διατάξεις αεριοστροβίλων

- Ανοικτού κύκλου
- Κλειστού κύκλου

Που περιγράφονται παρακάτω:

1.6.2.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΟΒΙΛΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Οι περισσότερες αεριοστροβιλικές μονάδες είναι ανοικτού τύπου: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο βγαίνουν με θερμοκρασία 300°C-600°C. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%). Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης τους στο 60-80%.



Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων. Πρώτον με άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση, κ.λπ.) και δεύτερον με διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα πιο πάνω. Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνον για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστρόβιλου (σύστημα συνδυασμένου).

Και στους δύο τρόπους, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας, όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων. Καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100kW-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.

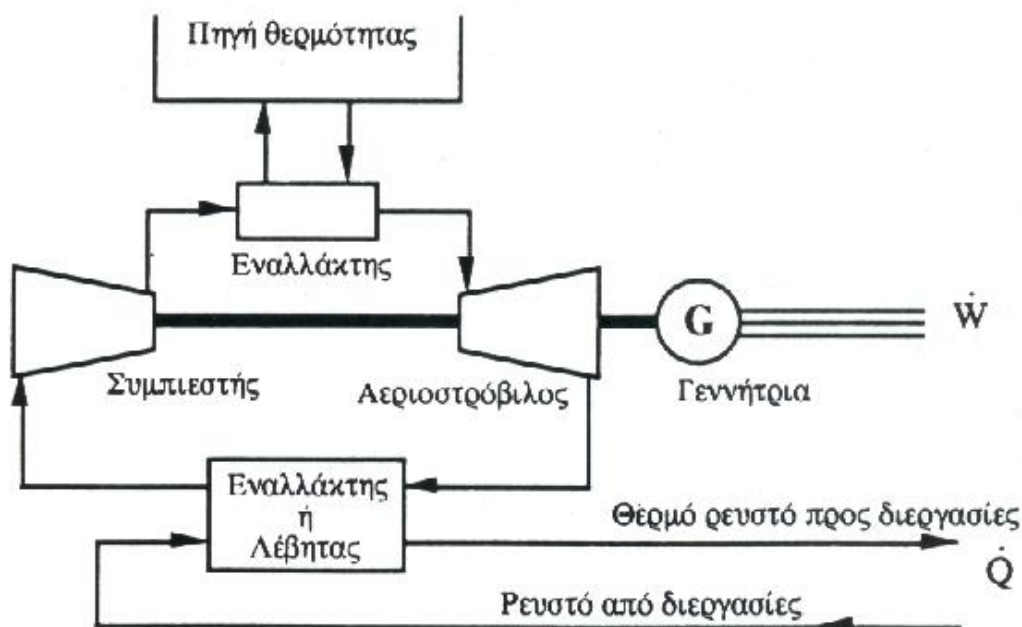
Γενικά, πάντως, χρειάζεται προσοχή, επειδή τα πτερύγια του αεριοστρόβιλου είναι εκτεθειμένα στα προϊόντα της καύσης, τα προϊόντα αυτά πρέπει να μην έχουν συστατικά που προκαλούν διάβρωση (νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, βανάδιο, θείο, κ.λπ.) και τα στερεά σωματίδια πρέπει να είναι αρκετά μικρού μεγέθους ώστε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

1.6.2.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

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. Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστροβίλου από τα προϊόντα της καύσης. Η εξωτερική καύση επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λπ. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας.

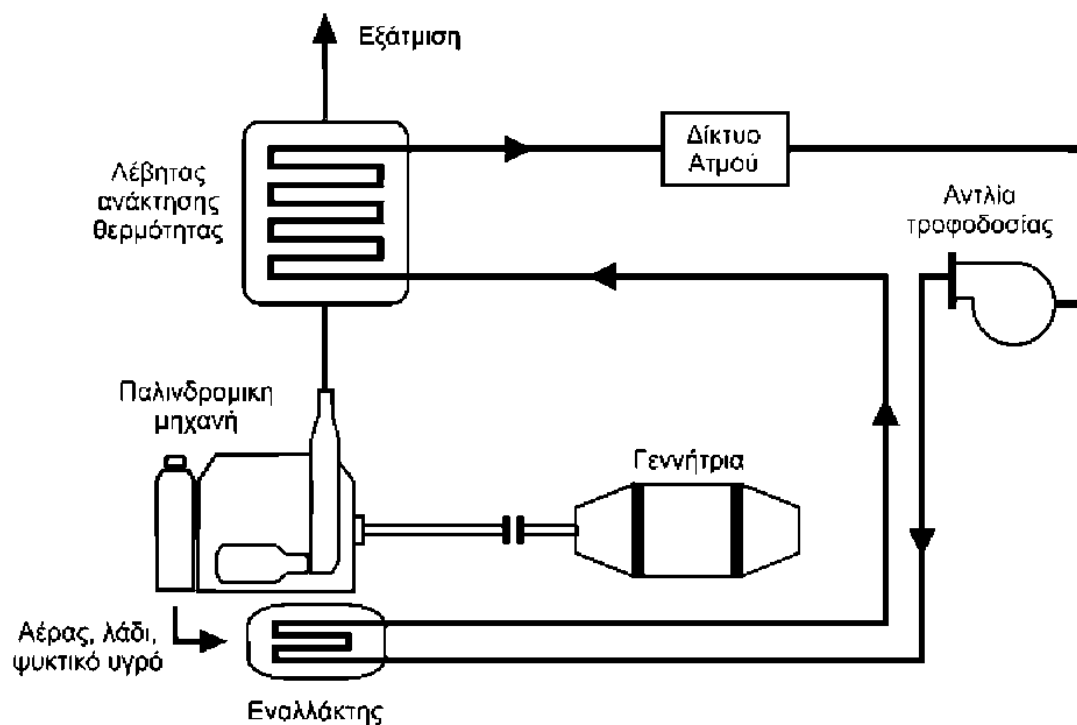


Στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία λειτουργούν συστήματα αυτού του τύπου με ισχύ από 2-50 MW, ο αριθμός τους όμως είναι περιορισμένος. Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι

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.

1.6.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΜΕΚ)

Οι παλινδρομικές μηχανές ή αλλιώς μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) είναι άλλη μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται αρκετά στην Συμπαραγωγή ειδικά για μικρής ισχύος μονάδες σε κτιριακές και εμπορικές εγκαταστάσεις.



Η χρησιμοποίησή τους αφορά κυρίως εφαρμογές όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ηλεκτρική απόδοση και υψηλό λόγο ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια και χαμηλές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα της παραγόμενης θερμότητας. Το ποσοστό της ενέργειας του καυσίμου που μετατρέπεται σε μηχανική και ακολούθως ηλεκτρική ενέργεια, κυμαίνεται μεταξύ 33% (κινητήρες αερίου με στοιχειομετρική καύση) και 42% (κινητήρες diesel με καύσιμο πετρέλαιο diesel κίνησης). Ενώ η ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι από 50kW έως 10MW για μηχανές φυσικού αερίου και από 50kW έως 50MW για μηχανές diesel. Μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιηθούν σε αυτές τις μηχανές πολλά είδη υγρών και αέριων καυσίμων που μεταβάλλουν όμως τις αποδόσεις τους. Κατά την συμπαραγωγή, ο βαθμός εκμετάλλευσης ενέργειας του καυσίμου μπορεί να φτάσει το 85% και οι τιμές λόγου ηλεκτρικής – θερμικής ισχύος κυμαίνονται κοντά στο 0.6 kWel/kWth και ακόμα η ηλεκτρική διαθεσιμότητα είναι αρκετά υψηλή της τάξης του 80%-90%. Γενικά, οι διατάξεις αυτές έχουν χαμηλό αρχικό κόστος επένδυσης αλλά υψηλό σε σχέση με άλλες τεχνολογίες κόστος συντήρησης και μικρή διάρκεια ζωής.

Μία πρώτη διάκρισή τους μπορεί να γίνει με βάση το είδος και την κατάσταση του καυσίμου τους, σε:

- Αεριομηχανές που ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, π.χ., φυσικό αέριο, βιοαέριο, υγραέριο κλπ

- Μηχανές Diesel που καίνε κυρίως υγρά καύσιμα π.χ. diesel, διάφορα αποστάγματα πετρελαίου, biodiesel κλπ

Μία δεύτερη κατηγοριοποίηση τους γίνεται με βάση την ισχύ τους, σε:

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

Και τέλος μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τον θερμοδυναμικό κύκλο με τον οποίο περιγράφεται η λειτουργία τους, σε:

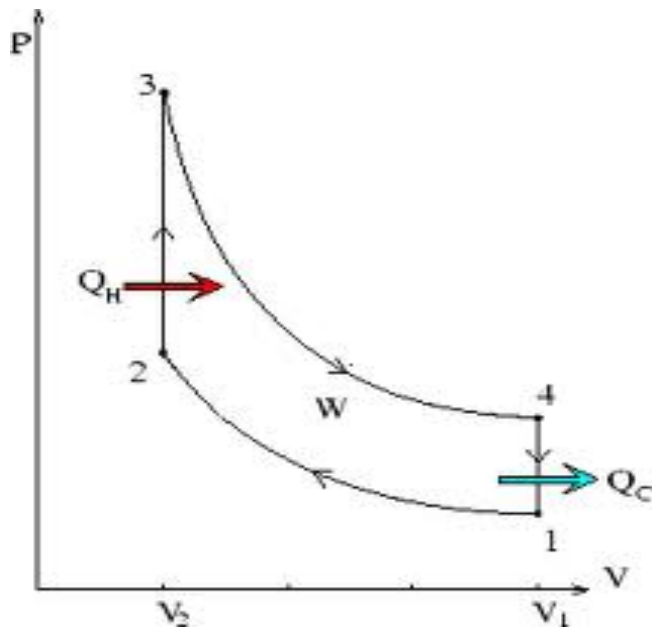
- Μηχανές που λειτουργούν με κύκλο Otto όπου ένα μίγμα αέρα και καυσίμου συμπιέζονται σε κάθε κύλινδρο και η ανάφλεξη προκαλείται από έναν εξωτερικά παρεχόμενο σπινθήρα. Με πιο διαδεδομένη εμπορικά εφαρμογή την τετράχρονη μηχανή με σπινθριστή.
- Μηχανές που λειτουργούν με κύκλο Diesel όπου μόνο ο αέρας 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 :

- εισαγωγή του αέρα ή του μίγματος αέρα – καυσίμου στον κύλινδρο
- συμπίεση με καύση του καυσίμου
- επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης
- αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο

ΚΥΚΛΟΣ ΟΤΤΟ

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



- Από το 1 στο 2 ισεντροπική συμπίεση
- Από το 2 στο 3 αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο
- Από το 3 στο 4 ισεντροπική εκτόνωση
- Από το 4 στο 1 αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.

Ορίζουμε:

T: την θερμοκρασία

Και έχουμε ότι

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

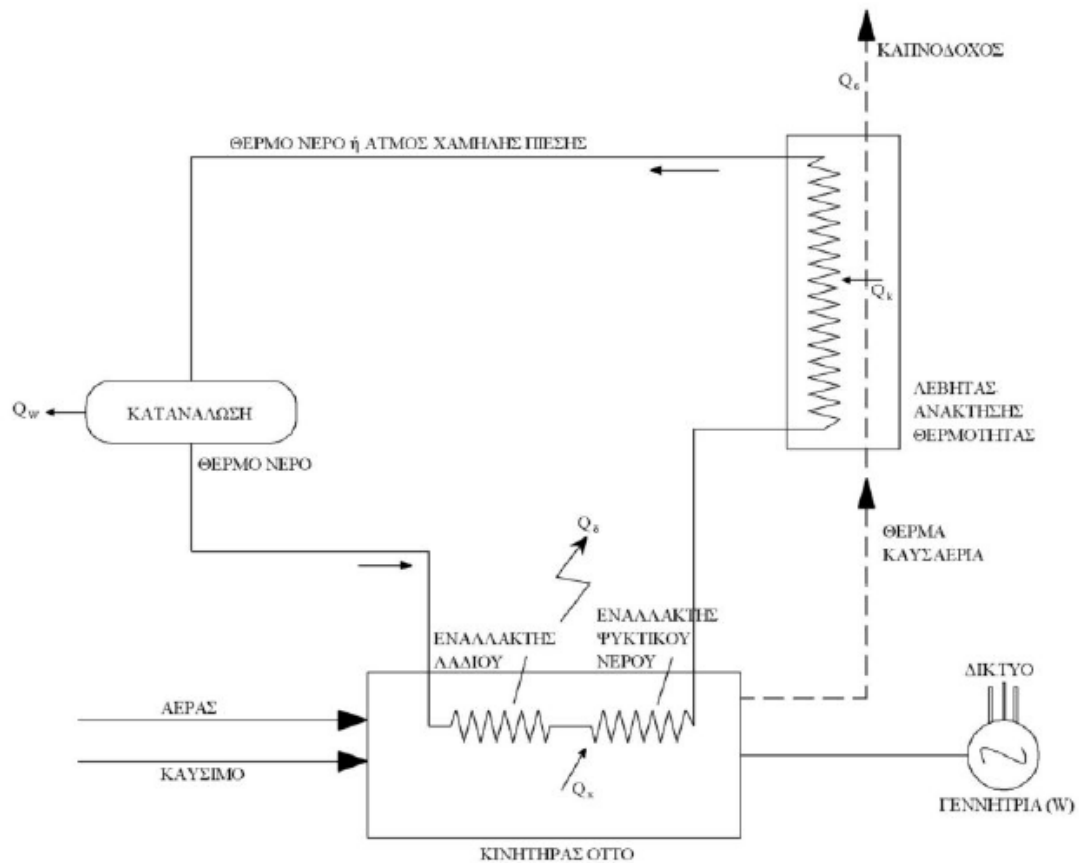
$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Και αποδεικνύεται ότι η ανωτέρω σχέση μπορεί να αναχθεί στην ακόλουθη: $\eta = 1 - r^\rho$

$$\eta = 1 - r^\rho$$

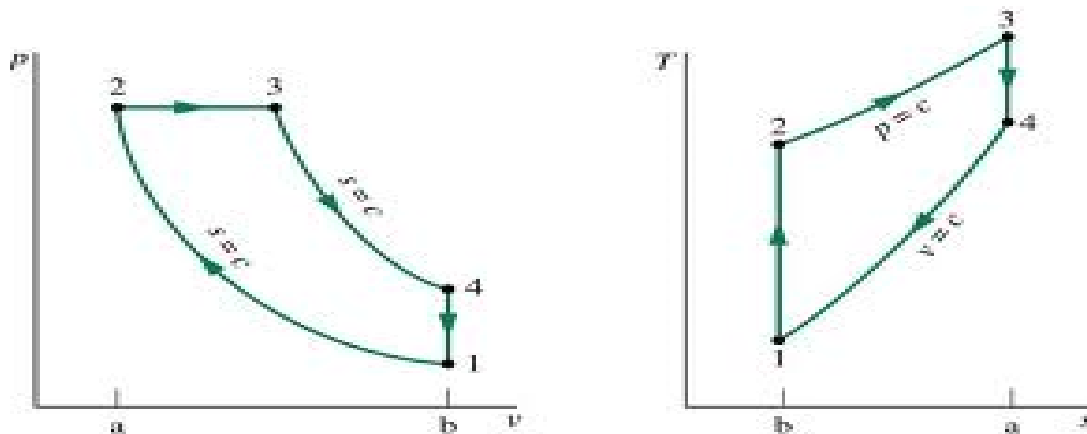
Όπου $r = \frac{V_1}{V_2}$ είναι ο λόγος συμπίεσης, και $\rho = 1 - \gamma$, όπου γ μια σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα.

Τα μικρής και μέσης ισχύος συστήματα ΣΗΘ με μηχανές Otto κατασκευάζονται για ισχύ από 15 έως 1300kW, παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 32-35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 50-60% και ολικό βαθμό απόδοσης 80 - 85%, ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια είναι 0,5-0,8 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 10 έτη.



ΚΥΚΛΟΣ DIESEL

Ο κύκλος Diesel μοιάζει πολύ με αυτόν του Otto και χρησιμοποιείται και αυτός στη περιγραφή ΜΕΚ. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι ο πρώτος είναι κύκλος συμπίεσης-ανάφλεξης και ο δεύτερος είναι κύκλος σπινθρισμού-ανάφλεξης.



Οι τέσσερις μεταβολές του κύκλου diesel είναι:

- Από το 1 στο 2 ισεντροπική συμπίεση
- Από το 2 στο 3 αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- Από το 3 στο 4 ισεντροπική εκτόνωση
- Από το 4 στο 1 αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.

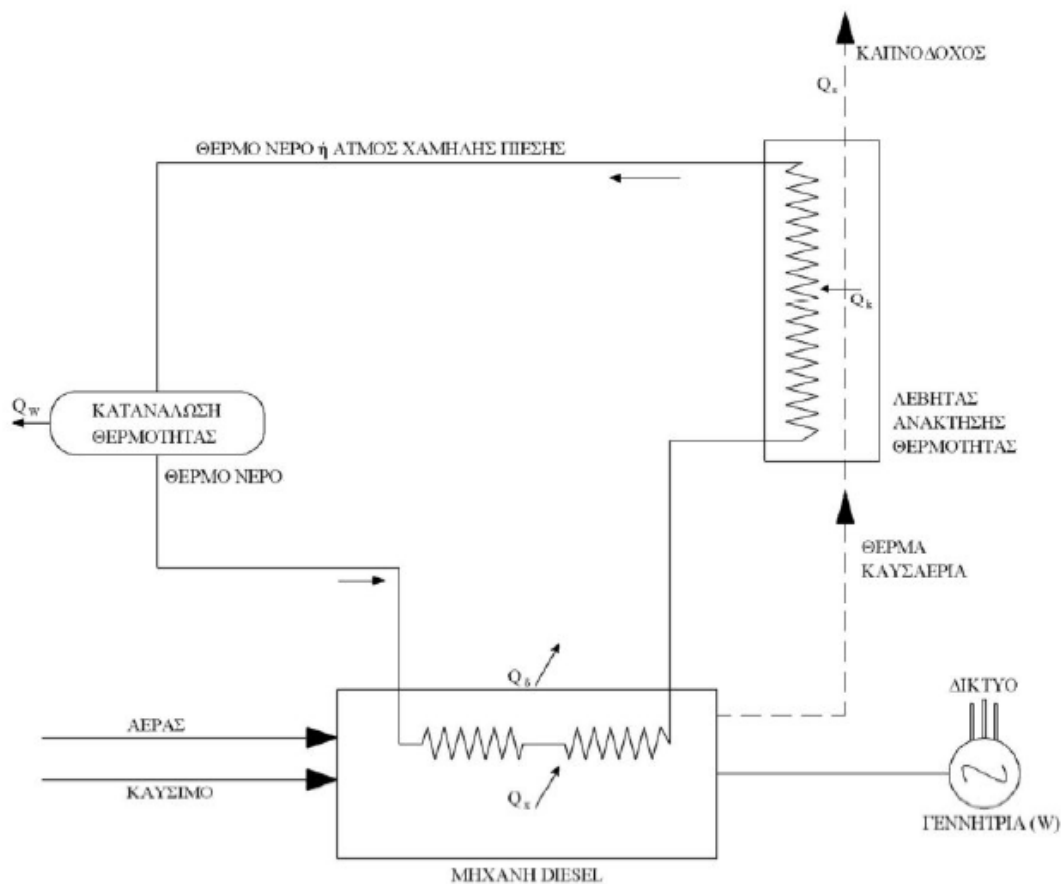
Ορίζοντας τον λόγο συμπίεσης $r = \frac{V_1}{V_2}$ και το λόγο αποκοπής $\beta = \frac{V_3}{V_2}$, ο

θερμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Diesel με τέλειο αέριο ως ρευστό λειτουργίας είναι:

$$\eta = 1 - \frac{r(\beta^\gamma - 1)}{(\beta - 1)\gamma r^\gamma}$$

Όπου γ είναι μία σταθερά που εξαρτάται από την ειδική θερμοχωρητικότητα.

Τα συστήματα ΣΗΘ με μηχανές Diesel κατασκευάζονται για ισχύ από 100kW έως και λίγο μεγαλύτερη των 20MW, παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 35-45%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% και ολικό βαθμό απόδοσης 75 - 90%, ο λόγος της ηλεκτρικής προς τη θερμική ενέργεια είναι 0,70 - 0,90 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 - 20 έτη



Διάφοροι τύποι παλινδρομικών μηχανών είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο όπως:

- Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Είναι συνήθως μικρές μηχανές (15-30kW), 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 200kW. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των

κεφαλών και του μηχανισμού των βαλβίδων, που επιβάλλονται από το ότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή. Η μετατροπή συνήθως δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περίσσειας αέρα.

- Σταθερές μηχανές 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 3MW και 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 6MW. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση 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:

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

- Καθώς και οι τετράχρονες μηχανές με σπινθηριστή και οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεστη που λειτουργούν αποκλειστικά με υγρά καύσιμα.

Τα καυσαέρια αυτών των κινητήρων για την παραγωγή χρήσιμης θερμότητας βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση αντίστοιχα με τους αεριοστρόβιλους. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400°C και έτσι υπάρχει μεγαλύτερη 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.

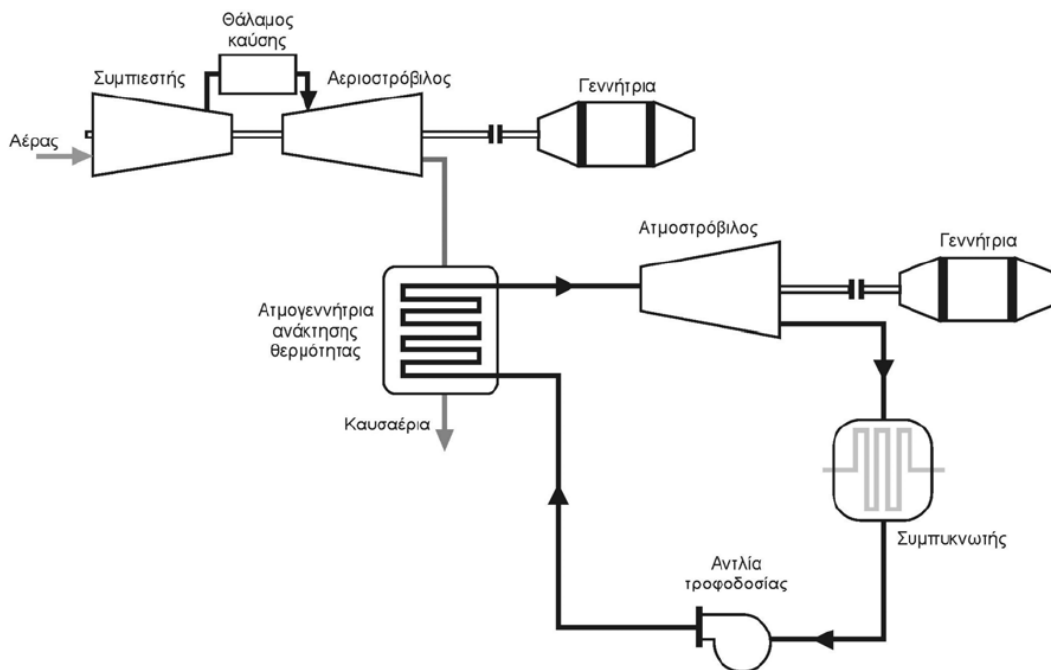
Συγκεντρωτικά, ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35-45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο βαθμός απόδοσης μίας μονάδας ΣΗΘ με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης και τέλος οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση από ότι τα προηγούμενα συστήματα με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90%.

1.6.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

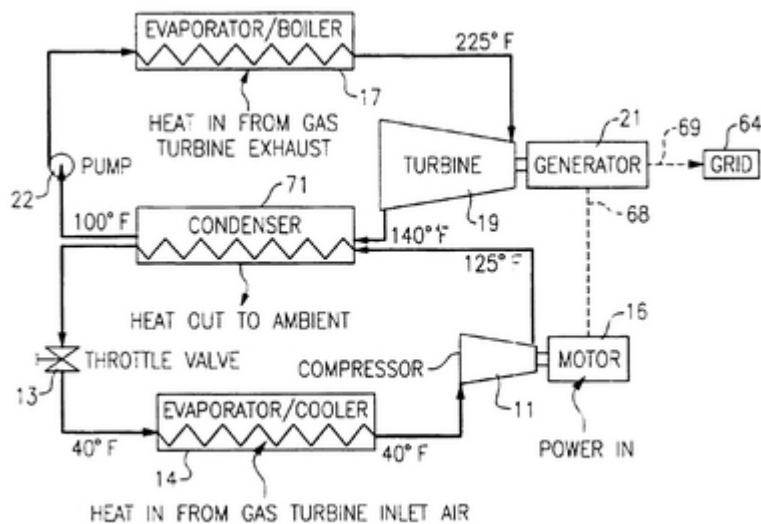
Τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου αναφέρονται σε διατάξεις που συνδυάζουν δύο θερμοδυναμικούς κύκλους. Οι κύκλοι αυτοί λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και διακρίνονται έτσι σε κορυφής και βάσης. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης.

Τέτοιες διατάξεις βρίσκουν σήμερα ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία γιατί η συγκεκριμένη διεργασία είναι αρκετά ευέλικτη, ιδιαίτερα εάν συνυπάρχει και πρόσθετη πηγή θερμότητας από καύση στον αμοπαγωγό. Οι απαιτήσεις των βιομηχανικών διεργασιών για περισσότερα δίκτυα ατμού με διαφορετικά επίπεδα πίεσης μπορούν να αντιμετωπιστούν με τέτοιες διατάξεις. Η ύπαρξη του πρόσθετου λέβητα εξασφαλίζει την διαθεσιμότητα ατμού σε κάθε περίπτωση, ανεξαρτήτως της διακύμανσης των αναγκών ηλεκτρικής – θερμικής ισχύος. Ιδιαίτερα στην περίπτωση διεργασιών της χημικής βιομηχανίας, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ατμού για πολύ διαφορετικές διεργασίες, που περιλαμβάνουν για παράδειγμα θέρμανση αντιδραστήρων, κίνηση συμπιεστών μέσω αμοστροβίλων, εισαγωγή ατμού ως αντιδρώντος σε χημικές αντιδράσεις, εφαρμογή ατμού σε διεργασίες ξήρασης, εξάτμισης, απόσταξης και κλασματικής απόσταξης

Ο συνηθέστερος και πιο πρακτικός συνδυασμός είναι αυτός του κύκλου Brayton-Rankine που φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Ενώ κι ένας ακόμα συνδυασμός με πολύ μικρότερη εφαρμογή είναι αυτός του Diesel-Rankine:



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ BRAYTON-RANKINE

Αυτός ο συνδυασμός είναι ο συνηθέστερος γιατί 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 αρκετά πιο δύσκολες.

Τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου έχουν συνήθως ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 20-400MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης και μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11MW. Η συγκέντρωση ισχύος (ισχύς ανά μονάδα όγκου) των συστημάτων αυτών είναι υψηλότερη από τη συγκέντρωση ισχύος των συστημάτων απλού κύκλου αεριοστροβίλου ή ατμοστροβίλου. Τα καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιούνται, όπως και στους αεριοστροβίλους είναι σχεδόν κάθε είδος καύσιμο. Ο χρόνος εγκατάστασης είναι 2-3 έτη. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των διατάξεων είναι η δυνατότητα να ολοκληρωθεί πρώτα η μονάδα αεριοστροβίλου, που μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες και 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.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ DIESEL-RANKINE

Σημαντική διαφορά με τον προηγούμενο συνδυασμό είναι ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο στα προϊόντα της καύσης μιας μηχανής diesel είναι χαμηλή και ο ανεφοδιασμός του πρόσθετου αέρα στο λέβητα είναι απαραίτητος. Ακόμα η συμπληρωματική τροφοδοσία στο λέβητα αερίου είναι επίσης δυνατή και αναγκαία λόγω της μικρότερης θερμοκρασίας των καυσαερίων σε σχέση με τους αεριοστροβίλους.

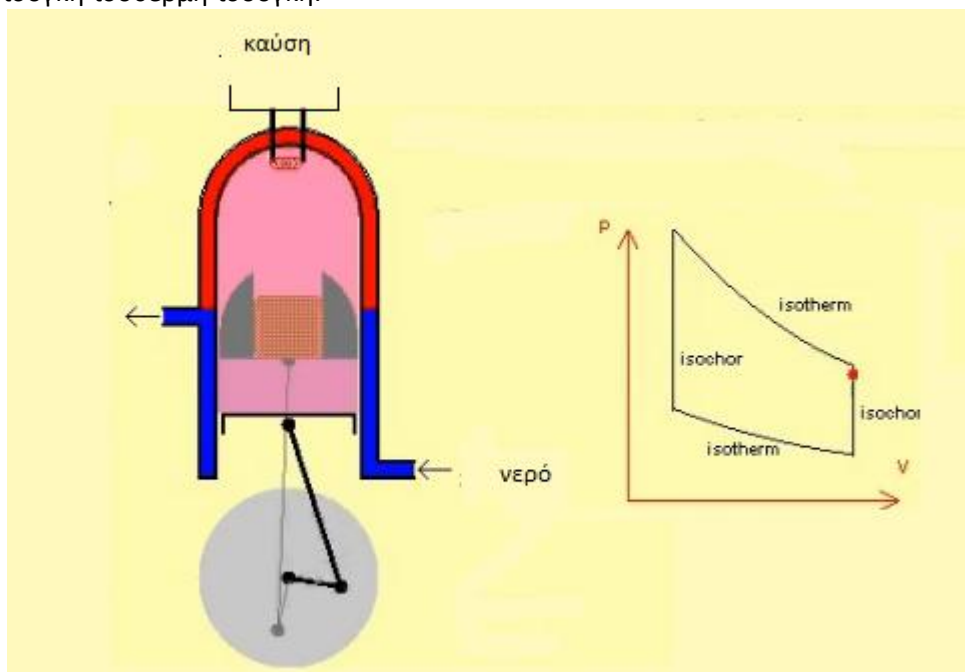
Οι διατάξεις αυτού του τύπου συνδυασμένου κύκλου σε συστήματα ΣΗΘ είναι οικονομικά εφικτή σε μηχανές μέσης και μεγάλης ισχύος. Όμως αυτές οι μηχανές έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και υψηλότερο κόστος συντήρησης από τις αντίστοιχες με κύκλο Brayton.

1.6.2.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING

Η μηχανή Stirling είναι μία μηχανή εξωτερικής καύσης όπου αέριο (π.χ. υδρογόνο, ήλιο, κλπ) συμπιέζεται και εκτονώνεται σε διάταξη κυλίνδρου δύο εμβόλων, με αποτέλεσμα την περιστροφή στροφαλοφόρου άξονα. Το αέριο θερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας χωρίς να συμμετέχει στην καύση.

Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διάφορων καυσίμων, π.χ. υγρά ή αέρια καύσιμα, άνθρακα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα ακόμα 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.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος Stirling αποτελείται από τέσσερις μεταβολές: ισόθερμη-ισόγκη-ισόθερμη-ισόογκη.



Η τεχνολογία αυτή δεν έχει ακόμα μεγάλη εφαρμογή αλλά αναπτύσσεται γιατί παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με συστήματα κινητήρων Diesel, αεριοστροβίλων ή ατμοστροβίλων όπως η δυνατότητα υψηλότερου βαθμού απόδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμου, καλή συμπεριφορά σε μερικό φορτίο, χαμηλές εκπομπές ρύπων, χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

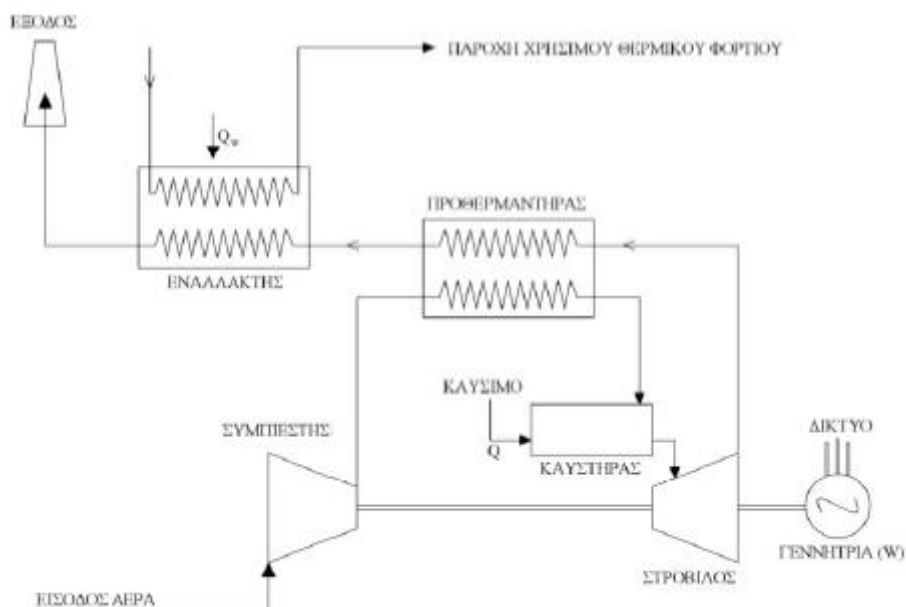
Οι κινητήρες αυτή κατασκευάζονται για ισχύ 3-150kW και μέσο χρόνο ζωής τα 20 έτη, αλλά γίνεται προσπάθεια να επιτευχθούν κινητήρες ισχύος μέχρι 1-1,5 MW με αναμενόμενη διάρκεια ζωής της τάξεως των 20 ετών. Καθώς τα συστήματα βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα στοιχεία για 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. Έχουν χαμηλή ηχορύπανση και χημική ρύπανση

σε σχέση με μηχανές Diesel και απαιτούν συντήρηση σε αραιά χρονικά διαστήματα. Η κατασκευή αποτελεσματικών διατάξεων με ικανοποιητική διάρκεια ζωής είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπισθούν.

1.6.2.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

Ο μικροστρόβιλος είναι ουσιαστικά, μία κατηγορία αεριοστρόβιλου. Οι λόγοι για τους οποίους διαχωρίζεται είναι ότι αποτελεί μηχανή μικρού μεγέθους, με μεγάλη ταχύτητα και ηλεκτρονικά ισχύος για την αυτοματοποίηση του ελέγχου του και την σύνδεσή του με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Κι έτσι, οι μικροστρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για Συμπαραγωγή σε μικρή κλίμακα.

Ο μικροστρόβιλος αποτελείται από έναν αεριοστρόβιλο, ένα συμπιεστή, μία γεννήτρια και όπως αναφέρθηκε από τα απαραίτητα ηλεκτρονικά ισχύος.



Στους μικροστρόβιλους, 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 χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα αέρια μετά την καύση διέρχονται από τον αεριοστρόβιλο μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική και έπειτα σε ηλεκτρική. Τα αέρια που εξέρχονται από τον αεριοστρόβιλο διέρχονται από τον αναθερμαντήρα και στη συνέχεια τον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την παροχή θερμότητας και τη θέρμανση νερού.

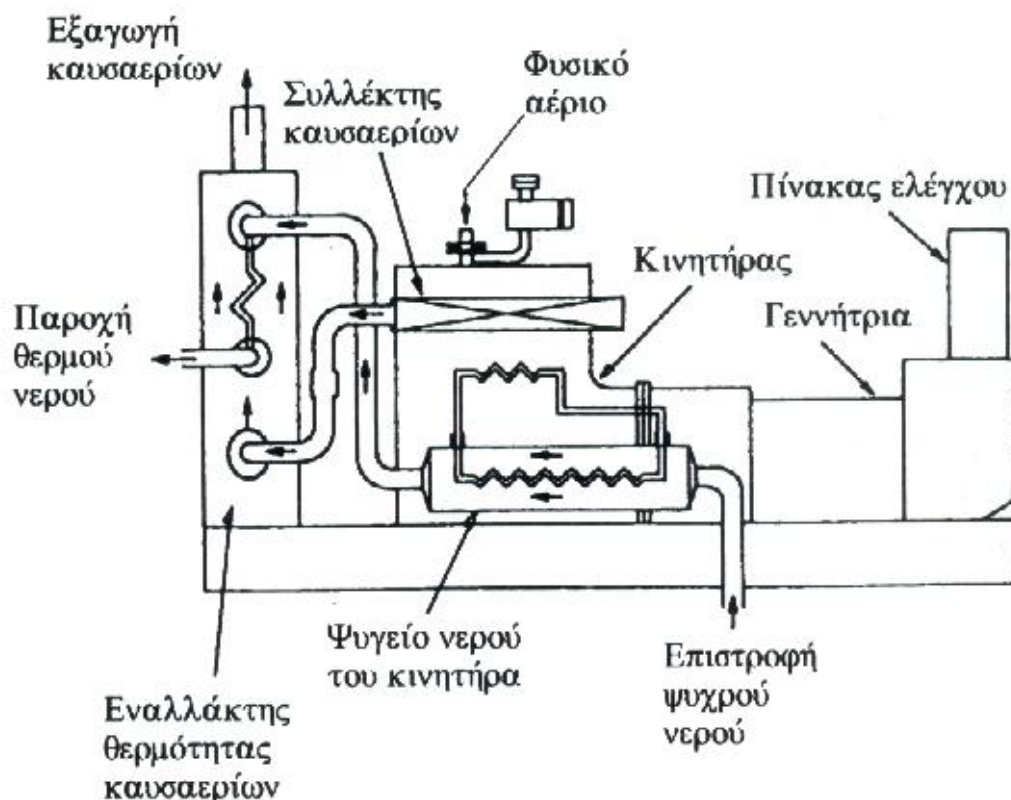
Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως φυσικό αέριο είτε υψηλής είτε χαμηλής πίεσης, αλλά και προπάνιο, πετρέλαιο diesel, κηροζίνη, φωτιστικό αέριο ακόμα και βιοαέριο.

Οι μονάδες ΣΗΘ με μικροστρόβιλο έχουν ισχύ 25kW έως 200kW, ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 25% έως 35%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40% έως 50% και στις περιπτώσεις της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65% και ολικό βαθμό απόδοσης

70% έως 85%. Ακόμα ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια είναι 0,6 με 0,8 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη.

1.6.2.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ DIESEL

Οι τυποποιημένες μονάδες με κινητήρα diesel, για την εφαρμογή της ΣΗΘ, είναι στην πραγματικότητα μία εμπορική πρόταση για την μεγαλύτερη διείσδυση και διάδοση στον κτιρικό-εμπορικό και στον αγροτικό τομέα. Δηλαδή για μικρής κλίμακας Συμπαγωγή.

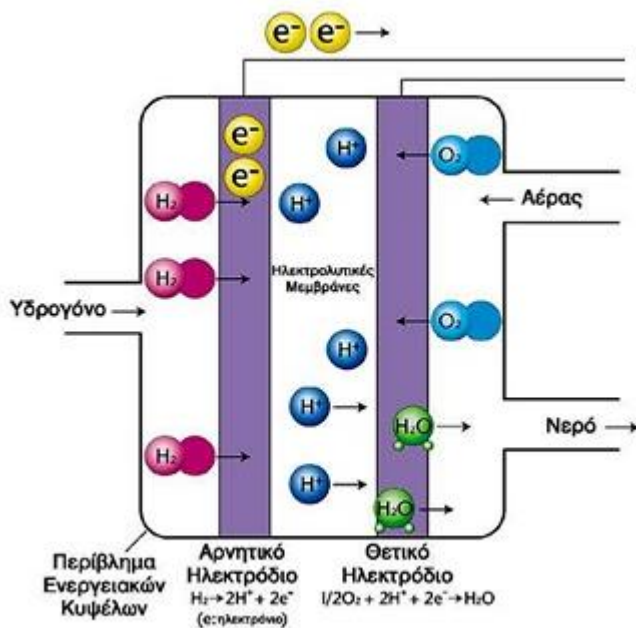


Τα πακέτα αυτά κατασκευάζονται για ισχύς από 15kW έως 2000kW και χρησιμοποιούν τα ίδια καύσιμα με τις παλινδρομικές μηχανές. Το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα. Ακόμα, αν και υπάρχει επιφύλαξη λόγω του μικρού αριθμού μελετών, ένας μέσος όρος διαθεσιμότητας είναι το 79% με τυπική απόκλιση 22,9%. Η διαθεσιμότητα των μονάδων με επιμελημένη κατασκευή και συντήρηση φθάνει το 90%. Σημαντική συμβολή στο σημείο αυτό έχει ο αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των μονάδων. Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στον χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τα 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. Ένα τέτοιο δίκτυο παρακολούθησης συστημάτων συμπαγωγής μικρής κλίμακας έχει εγκατασταθεί στην Αγγλία με πολύ καλά αποτελέσματα.

1.6.2.8 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Σε αντίθεση με όλες τις άλλες τεχνολογίες για ΣΗΘ, που είναι θερμικές μηχανές, οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές. Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας, μετατρέποντας υδρογόνο και

οξυγόνο σε νερό παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. (Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα καύσιμα όπως CO₂ ή κάποιοι υδρογονάνθρακες.) Αυτά τα δύο στοιχεία αντιδρούν μεταξύ τους, παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ηλεκτρική τάση, η οποία προκαλεί ροή ηλεκτρονίων στο εξωτερικό κύκλωμα. Επειδή η αντίδραση αυτή, είναι εξώθερμη, παράγεται και θερμότητα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος σαν μια μπαταρία αλλά σε σύγκριση με τη μπαταρία ποτέ δεν αδειάζει και συνεχίζει να παράγει ενέργεια για όσο διάστημα η κυψέλη τροφοδοτείται με υδρογόνο. Έτσι σε περίπτωση που το ρεύμα τροφοδοτεί το κεντρικό δίκτυο χρειάζεται κατάλληλος μετατροπέας (converter).



Το επιθυμητό καύσιμο, είναι καθαρό υδρογόνο που μπορεί όμως να παραχθεί και από κάποιο άλλο καύσιμο που είναι φορέας υδρογόνου, μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Συνήθως χρησιμοποιείται μεθάνιο (CH₄), που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και δευτερευόντος αμμωνία, παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο και η βιομάζα. Καθαρό υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση νερού, όταν αυτή επιτυγχάνεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική και γεωθερμία. Συγκριτικά, σήμερα το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο και επιτρέπει αρκετές εφαρμογές τους στον εμπορικό και κτηριακό τομέα.

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν:

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

AFC :Alcaline Fuel Cells (αλκαλικές κυψέλες καυσίμου)
PEM :Polymer Electrolyte Membranes (κυψέλες καυσίμου πολυμερικής μεμβράνης)
PAFC :Phosphoric Acid Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως)
MCFC :Molten Carbonate Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων)
SOFC :Solid Oxide Fuel Cells (κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου)

Οι κυψέλες καυσίμου παρουσιάζουν μία σειρά από πλεονεκτήματα με πιο βασικά την έλλειψη μηχανικών μερών, την αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ, τον υψηλό βαθμό απόδοσης, την ευκολία αυτοματισμού, τις χαμηλές εκπομπές ρύπων και τη 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.

Από την άλλη μεριά, έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής.

Στην Συμπαραγωγή οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται για ηλεκτρική ισχύ από 3 kW και πάνω και παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20-30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 25-35% και ολικό βαθμό απόδοσης συστήματος 45-60%. Ο λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια είναι 0,70-1,0 και ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου πέντε έτη, δηλαδή εξαιρετικά μικρός σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη. Οι κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας (<80 °C) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μονάδων ΣΗΘ.

1.6.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΣΗΘ

Συγκεντρωτικά λοιπόν, από την παραπάνω παρουσίαση μπορούμε να έχουμε μία πιο σφαιρική εικόνα των δεικτών απόδοσης για τις εγκαταστάσεις ΣΗΘ, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Επίσης, μπορούμε να συγκρίνουμε τα βασικά χαρακτηριστικά των διάφορων τεχνολογιών και να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για το ποιες τεχνολογίες είναι καταλληλότερες για κάθε εφαρμογή από πλευράς ενεργειακών απαιτήσεων και ακροθιγώς από οικονομικής πλευράς.

Στους επόμενους πίνακες παρατίθενται τα χαρακτηριστικά και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με βάση την μηχανή-συσκευή που επιλέγεται κατά την κατασκευή μίας μονάδας Συμπαραγωγής:

	Ισχύς:	Τύπος καυσίμου:	Διαθεσιμότητα:	Χρόνος ζωής:	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης:	Θερμικός βαθμός απόδοσης:	Ολικός βαθμός απόδοσης:	Λόγος ηλεκτρικής προς θερμική ενέργεια:
ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ	500kW-100MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, πυρηνική ενέργεια	90-95%	20-35έτη	15-20% σχετικά σταθερός	60-70%	60-85%	0,1-0,3
ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	500kW-100MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, πυρηνική ενέργεια	90-95%	20-35έτη	15-20% σχετικά σταθερός	60-70%	80%	0,1-0,3
ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΟ ΣΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ	500kW-100MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, πυρηνική ενέργεια	90-95%	20-35έτη	5-15%	60-70%	60-85%	0,1-0,3
ORC RANKINE	2kW-10MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, ηλιακή ενέργεια, πυρηνική ενέργεια	80-90%	20έτη	5-30% με πιο συνηθισμένους τους 10-20%	60-70%	60-85%	0,1-0,3
ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	100kW-100MW	φυσικό αέριο, ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου, βιοντίζελ	90-95%	15-20έτη	25-35%	40-50%	60-80%	0,25-0,8 συνήθως όμως 0,5-0,8
ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	2MW-50MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, ηλιακή ενέργεια, πυρηνική ενέργεια	95%	20έτη	25-35%	40-50%	60-80%	0,25-0,8 συνήθως όμως 0,5-0,8
ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ (ΜΕΚ)	50kW-10MW	diesel, διάφορα αποστάγματα πετρελαίου, biodiesel, φυσικό αέριο, βιοαέριο, υγραέριο	80-90%	15-20έτη	35-45%	40-45%	60-80%	0,5-2,5
ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	4MW-100MW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομαζα, πυρηνική ενέργεια	75-85%	20-35έτη	30-40%	50-60%	70-90%	0,6-2
ΜΗΧΑΝΕΣ STIRLING	3kW-150kW	γαϊάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, βιομάζα	85-90%	20έτη	35-50%	50-60%	80-85%	0,5-1,2
ΜΙΚΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ	25kW-200kW	πετρέλαιο diesel, φυσικό αέριο, προπάνιο, φωτιστικό αέριο, κηροζίνη, βιοέριο	80-85%	15έτη	25%-35%	40-60%	65-90%	0,6-0,8
ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ DIESEL	15kW-2MW	φυσικό αέριο, πετρέλαιο diesel	80-85%	15έτη	25-35%	40-50%	60-80%	0,5-0,7
ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	3kW-50MW	υδρογόνο και υδρογόνο προερχόμενο από φυσικό αέριο, αμμωνία, παράγωγα του πετρελαίου, υγρό προπάνιο, βιομάζα	90-95%	5έτη	30-45%	40-60%	60-85%	0,7-1

	<u>Πλεονεκτήματα</u>	<u>Μειονεκτήματα</u>
Ατμοστρόβιλοι	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή απόδοση Μεγάλη ποικιλία καυσίμων Μεταβαλλόμενος λόγος θέρμανση προς ισχύ ,δυνατότητα κάλυψης περισσότερων της μιας βαθμίδων θερμότητας Διαθέσιμο μεγάλο εύρος μεγεθών Μεγάλη διάρκεια ζωής 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Αργή εκκίνηση
Αεριοστρόβιλοι	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή αξιοπιστία Σταθερή υψηλή ταχύτητα που επιτρέπει – έλεγχο συχνότητας της ηλεκτρικής παραγωγής Υψηλός λόγος ισχύος ανά μονάδα όγκου Σχετικά φθινό κόστος επένδυσης ανά KWe Μεγάλο εύρος καυσίμων (diesel, LPG, νάφθα, βιομάζα) Χαμηλές εκπομπές ρύπων. 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένος αριθμός μεγεθών Μειωμένη μηχανική απόδοση σε σύγκριση με τις ΜΕΚ Υψηλά επίπεδα θορύβου Χαμηλή απόδοση σε μερικό φορτίο Η παραγωγή μειώνεται με την άνοδο της εξωτερικής θερμοκρασίας
Μηχανές εσωτερικής καύσης	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή απόδοση ισχύος για ένα μεγάλο εύρος φορτίων Η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτερη, χωρίς να παρουσιάζεται έντονη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου κατά τις μεταβατικές περιόδους Σχετικά φθινό κόστος επένδυσης ανά KWe Μεγάλο εύρος μεγεθών από 3KWe Γρήγορη εκκίνηση (15sec) ακόμη και σε πλήρες φορτίο – σε αεριοστρόβιλους 0.5-2ώρες Χαμηλό κόστος επένδυσης σε μικρά μεγέθη Λειτουργία ακόμη και με αέριο χαμηλής πίεσης(κάτω από 1 bar). 	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλες ανάγκες ψύξης Χαμηλός λόγος ισχύος ανά μονάδα όγκου Υψηλά επίπεδα θορύβου Υψηλό κόστος συντήρησης
Μηχανές Stirling	<ul style="list-style-type: none"> Λιγότερα κινούμενα μέρη, λιγότερες τριβές Κατάλληλο για μαζική παραγωγή Παραγωγή ισχύος ανεξάρτητη από την παραγωγή θερμότητας Υψηλός θεωρητικά βαθμός απόδοσης Εύκολος έλεγχος 	<ul style="list-style-type: none"> Έλλειψη εμπειρίας Μεγάλο κόστος λόγω της νέας τεχνολογίας
Μικροτουρμπίνες	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλή αξιοπιστία χάρη στα λίγα κινούμενα μέρη Απλή εγκατάσταση Μικρό κόστος συντήρησης Συμπαγές μέγεθος Χαμηλό βάρος Χαμηλά επίπεδα θορύβου Χαμηλά επίπεδα εκπομπών ρύπων Υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος
Κυψέλες καυσίμου	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλά επίπεδα ρύπων και θορύβου Υψηλή απόδοση για ένα μεγάλο εύρος φορτίων Βαθμωτός σχεδιασμός, απλή κατασκευή Γρήγορες αλλαγές φορτίου, μικρό κόστος συντήρησης Μεταβαλλόμενος λόγος θέρμανση προς ισχύ 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος Μειωμένη Αργή εκκίνηση Διάβρωση των ηλεκτρολυτών
Συνδυασμένου κύκλου	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλη ισχύς συγκέντρωσης(ισχύς/ μονάδα όγκου) 	<ul style="list-style-type: none"> Περίπλοκη εγκατάσταση(διάταξη ρυθμίσεων και ελέγχου) Μειωμένος βαθμός απόδοσης σε λειτουργία σε μερικό φορτίο

1.6.4 ΜΙΚΡΟΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

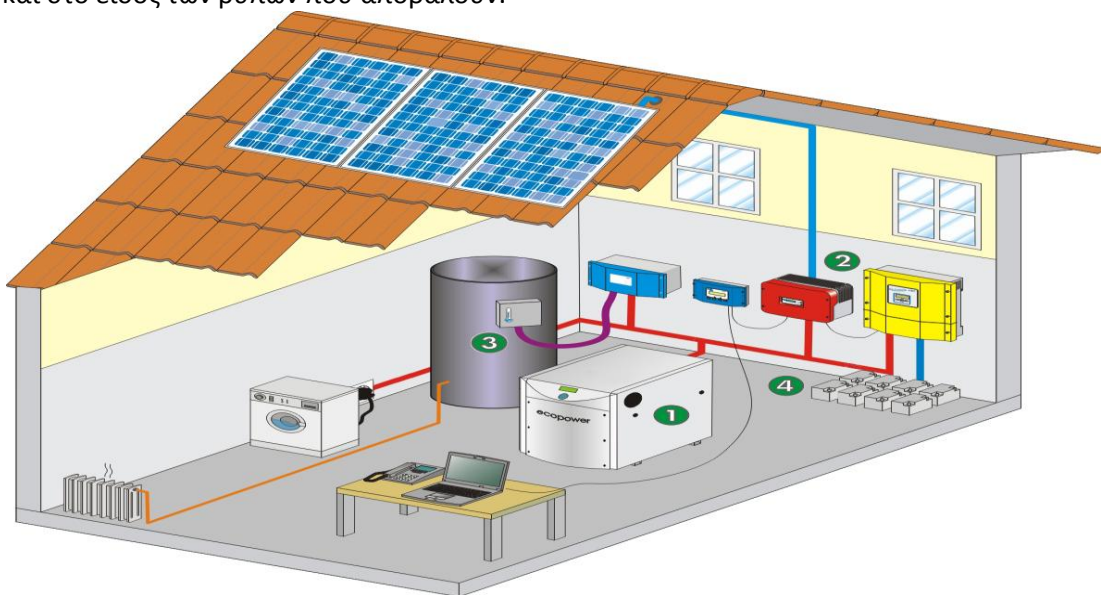
Ο όρος Μικροσυμπαγωγή χρησιμοποιείται για συστήματα Συμπαγωγής και Τριπαγωγής που κατασκευάζονται για ισχύ μικρότερη από 1MW.

Δηλαδή αποτελεί μία υποκατηγορία της συμπαγωγής. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αφορά την βασική τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Κυρίως γίνεται για εμπορικούς λόγους αφού, αυτά τα συστήματα βρίσκουν εφαρμογή στον εμπορικό και κτιριακό τομέα και στον αγροτικό. Έτσι χρειάζεται μία πιο συγκεκριμένη μελέτη τους για να μπορούν να απαντούν στις απαιτήσεις και στις δυνατότητες του αγοραστικού κοινού στο οποίο αναφέρονται.

Μία μονάδα μικροσυμπαγωγής συνδυάζει τις δυνατότητες ενός υψηλής απόδοσης λέβητα με μία μικρή γεννήτρια η οποία συνήθως είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον έλεγχο αυτών των μονάδων είναι αναγκαία η χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών συστημάτων ώστε να γίνονται αυτόματα. Οι διαστάσεις της είναι αντίστοιχες με αυτές ενός λέβητα, έχει κέλυφος ηχομόνωσης και η εγκατάστασή της είναι αρκετά εύκολη. Ακόμα οι διάφορες εφαρμογές μικροσυμπαγωγής έχουν δυνατότητα να ρυθμιστούν ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του κάθε καταναλωτή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή είναι εύκολη η διαστασιολόγηση τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις ανάγκες ενός καταναλωτή σε θέρμανση και ψύξη αλλά ταυτόχρονα παράγουν και ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο τις περισσότερες φορές πουλιέται στην ΔΕΗ και τροφοδοτεί το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επίσης παράλληλα μπορεί να παράγεται και Ζ.Ν.Χ. (ζεστό νερό χρήσης).

Όπως φάνηκε και από την παρουσίαση των τεχνολογιών Συμπαγωγής, αυτές που χρησιμοποιούνται ως μικροσυμπαγωγή είναι οι τυποποιημένες μονάδες με παλινδρομική μηχανή και οι μικροστρόβιλοι. Μπορούν όμως εξίσου και να χρησιμοποιηθούν και οι μηχανές Stirling, μηχανές που χρησιμοποιούν τον οργανικό κύκλο Rankine (ORC RANKINE), καθώς και κυψέλες καυσίμου.

Τα συνηθέστερα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι πετρέλαιο diesel, φυσικό αέριο, υγραέριο και άλλα συμβατικά καύσιμα. Συνεχώς όμως αυξάνεται και η χρήση βιομάζας ή και ηλιακής ενέργειας. Ενώ επειδή εγκαθίστανται κυρίως σε κατοικημένες περιοχές υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό τους στα καυσαέρια και στο είδος των ρύπων που αποβάλλουν.



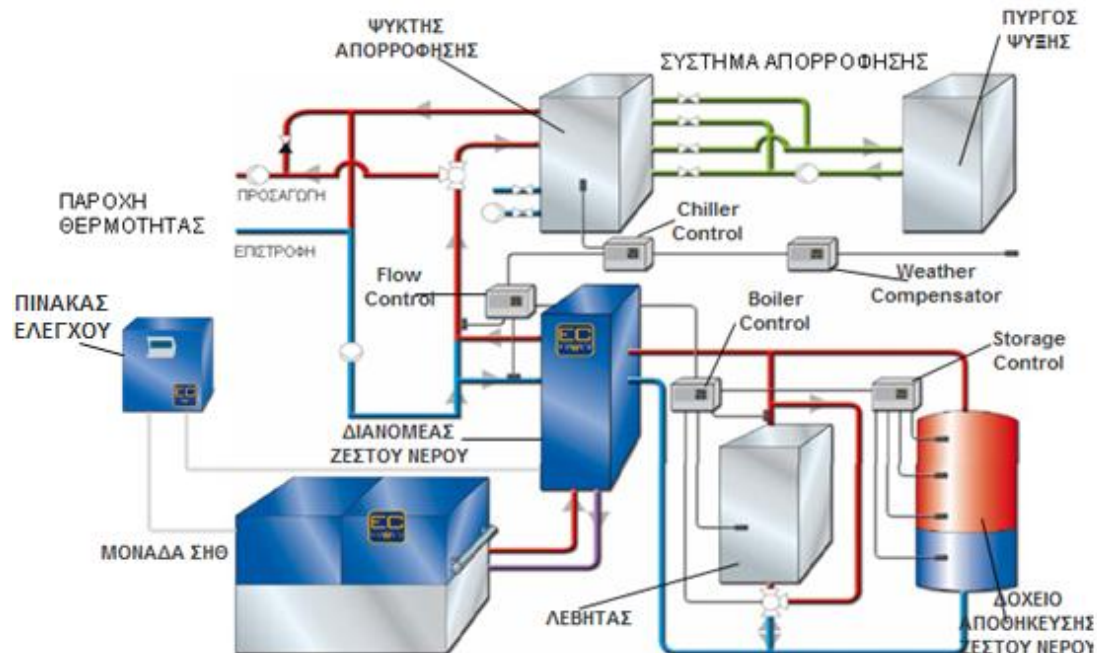
1.6.5 ΤΡΙΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ως Τριπαραγωγή (CHCP), ορίζεται η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από την ίδια θερμογόνο πηγή, όπου η θερμότητα χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για θέρμανση αλλά και για ψύξη.

Άρα και η Τριπαραγωγή αποτελεί μία υποκατηγορία της Συμπαραγωγής ή καλύτερα μία διεύρυνση της. Από την άποψη της βασικής διεργασίας, που είναι η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, στην Τριπαραγωγή δεν χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνολογίες από αυτές που έχουν περιγραφεί. Απλώς η εφαρμογή στην πράξη αυτών των συστημάτων προϋποθέτει και την μελέτη των συσκευών ψύξης. Οι μηχανές που έχουν χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες εφαρμογές που λειτουργούν είναι οι παλινδρομικές μηχανές (ΜΕΚ) και οι μικροστρόβιλοι, όμως σχεδόν όλες οι τεχνολογίες που περιγράφηκαν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και γίνονται έρευνες προς αυτή την κατεύθυνση. Για την ψύξη χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ψύκτες απορρόφησης, σε αντίθεση με τους ψύκτες που έχουν μηχανικό συμπιεστή.

Το κύριο καύσιμο που χρησιμοποιείται στην Τριπαραγωγή είναι το φυσικό αέριο λόγω της τεχνολογίας των μηχανών που χρησιμοποιούνται και των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει το φυσικό αέριο σε συνδυασμό με την ανάγκη για ψύξη και κλιματισμό κυρίως σε αστικές περιοχές. Παρόλα αυτά και άλλα καύσιμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και να έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από το φυσικό αέριο.

Η Τριπαραγωγή θα μπορούσε να έχει μεγάλα οφέλη σε χώρες όπως η Ελλάδα και σε χώρες με θερμότερο κλίμα, στις οποίες οι ανάγκες για θέρμανση είναι μικρές και αντιστρόφως οι ανάγκες για ψύξη μεγάλες. Στην χώρα μας περίπου 5 μήνες των χρόνων έχουμε ανάγκη για θέρμανση και 4 μήνες ανάγκη για ψύξη. Τα συστήματα Τριπαραγωγής κατασκευάζονται στις περιπτώσεις όπου οι ανάγκες σε θέρμανση-ψύξη-ηλεκτρισμό ξεπερνούν τις 4000 με 4500 ώρες



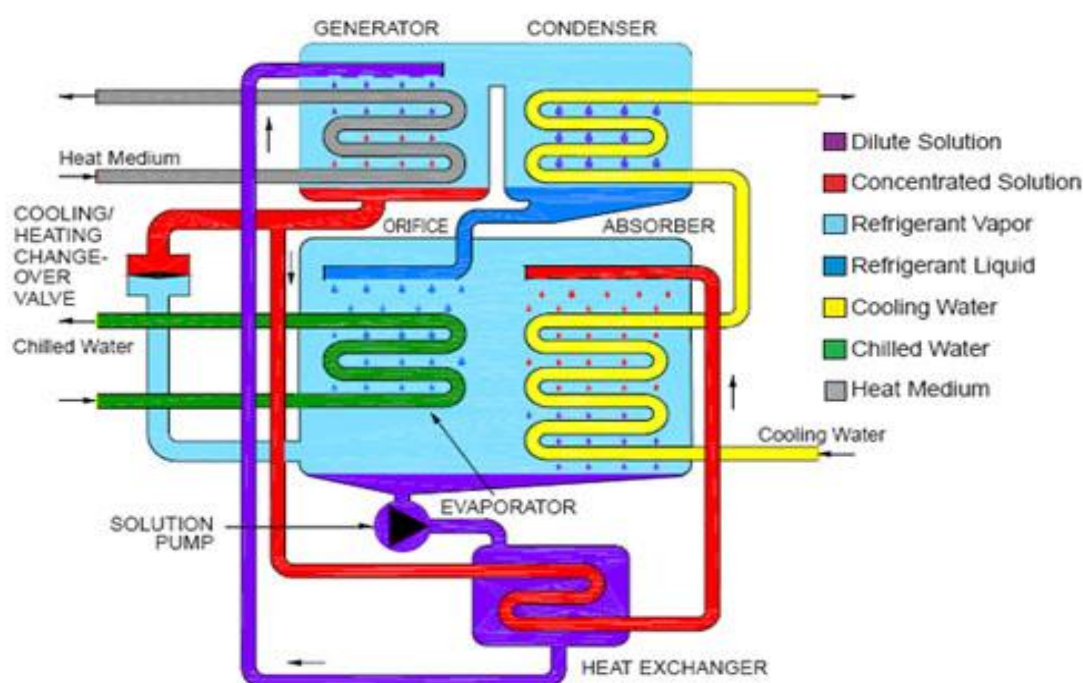
Όθηση στην εφαρμογή αυτής της ιδέας έχει δώσει τα τελευταία χρόνια η βελτίωση των ψυκτών απορρόφησης και η προσπάθεια από διάφορες χώρες της Ευρώπης και τις ΗΠΑ για κατασκευή κεντρικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής-τηλεθέρμανσης-

τηλεψύξης. Δίκτυο τηλεθέρμανσης-τηλεψύξης έχει φτιαχτεί στην Στοκχόλμη και φτιάχνεται και στο Αμστερνταμ. Στην Ελλάδα δυστυχώς, τα παραδείγματα Τριπαραγωγής είναι ελάχιστα και τα πρώτα που κατασκευάστηκαν έχουν επέλθει σε αχρηστία.

1.6.5.1 ΨΥΞΗ ΜΕ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούν τις διεργασίες της συμπύκνωσης-εξάτμισης, για την παραγωγή ψύξης. Η μηχανική συμπίεση και συμπύκνωση των ατμών αντικαθίσταται από την χημική απορρόφηση και έτσι η πηγή ενέργειας είναι η θερμότητα. Η θερμότητα αυτή μπορεί να προέρχεται με άμεση καύση από καυστήρα ή έμμεσα από ατμό, ζεστό νερό, απορριπτόμενη θερμότητα η οποία μπορεί να είναι και από συστήματα ΣΗΘ. Το ψυκτικό που χρησιμοποιείται είναι το νερό σε συνδυασμό με ένα πυκνό υγροσκοπικό διάλυμα σαν απορροφητικό. Έτσι δεν έχουμε χρήση των περιβαλλοντικά επιβλαβών CFC's και HCFC's.

Η βασική διάταξη των ψυκτών απορρόφησης αποτελείται από εξατμιστή, συμπυκνωτή, απορροφητή, μια γεννήτρια και μια αντλία διαλύματος.



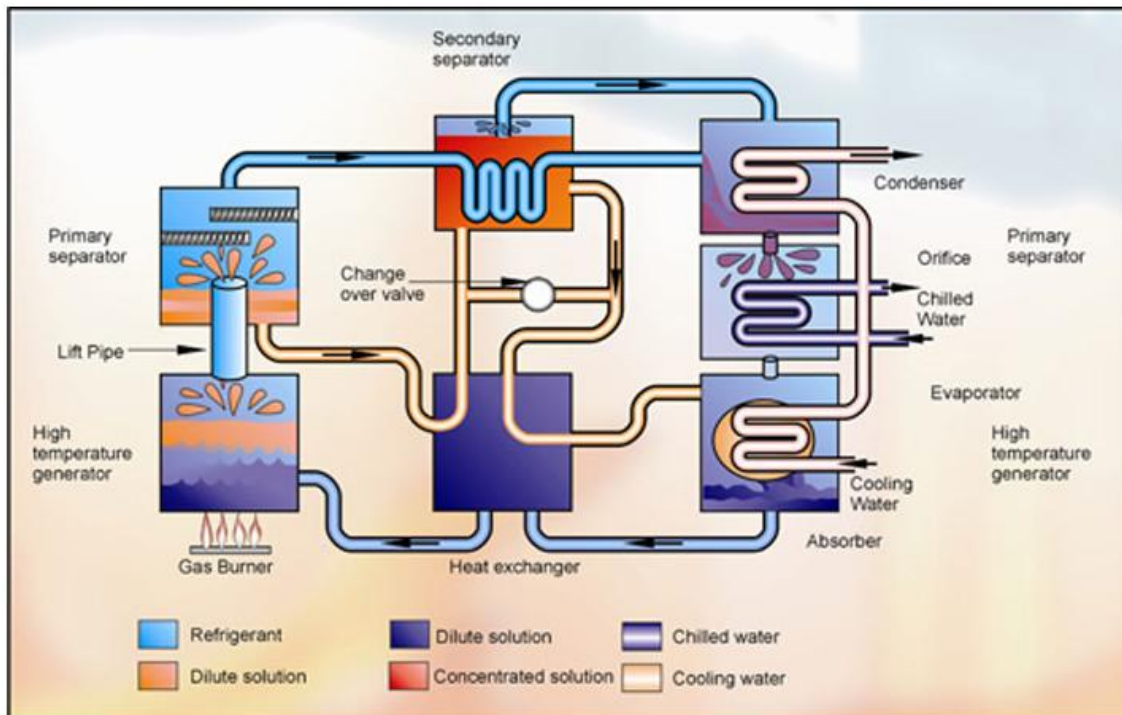
Στον κύκλο απορρόφησης, η συμπίεση ατμού του ψυκτικού μέσου πραγματοποιείται με συνδυασμό του απορροφητή, της αντλίας διαλύματος και της γεννήτριας. Ο ατμός του ψυκτικού μέσου που παράγεται στον εξατμιστή απορροφάται σε ένα απορροφητικό υγρό μέσα στον απορροφητή. Το απορροφητικό που έχει απορροφήσει το ψυκτικό μέσο, το ασθενές απορροφητικό (αραιό διάλυμα), διοχετεύεται με αντλίες στη γεννήτρια όπου το ψυκτικό μέσο αποδεσμεύεται ως ατμός. Ο ατμός αυτός συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή. Το αναγεννημένο ή ισχυρό απορροφητικό (ισχυρό διάλυμα) οδηγείται στη συνέχεια πίσω στον απορροφητή για να συλλέξει εκ νέου ψυκτικό ατμό. Η θερμότητα παρέχεται στη γεννήτρια, σε συγκριτικά υψηλή θερμοκρασία και απορρίπτεται από τον απορροφητή, σε συγκριτικά χαμηλό επίπεδο.

Οι ροές θερμότητας στο βασικό κύκλο είναι οι εξής:

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

- παροχή θερμότητας στη γεννήτρια, σε υψηλό θερμοκρασιακό επίπεδο.

Για την βελτίωση της αποδοτικότητας των ψυκτών πρέπει η παρεχόμενη θερμότητα σε αυτόν να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν σε μεγαλύτερο βαθμό. Για αυτό τον λόγο συνήθως εναλλάσσεται θερμότητα μεταξύ του αραιού διαλύματος που εξέρχεται από τον απορροφητή και του ισχυρού διαλύματος που εισέρχεται σε αυτόν. Ακόμα μπορεί να σχεδιάζονται ψύκτες απορρόφησης διπλού σταδίου που απεικονίζονται παρακάτω και χρησιμοποιούν δύο διατάξεις γεννήτριας-απορροφητήρα σε σειρά, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν τη θερμότητα που παρέχεται περίπου δύο φορές. Η θερμότητα παρέχεται σε περίπου 170 °C στην πρώτη γεννήτρια και η θερμότητα που απορρίφθηκε από τον αντίστοιχο συμπυκνωτή χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια στη δεύτερη γεννήτρια σε χαμηλότερο επίπεδο, της τάξης των 100 °C όπως σε συστήματα μονού σταδίου.



Με αυτές τις δύο τροποποιήσεις ο συντελεστής απόδοσης της ψύξης (COP) μεταβάλλεται από 0,5-0,6 σε 0,7 για την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ των δύο διαλυμάτων και στο 0,9-1,2 στη συνέχεια στην κατασκευή ψυκτών διπλού σταδίου. Στους ψύκτες διπλού σταδίου η απόδοση δεν διπλασιάζεται ακριβώς εξαιτίας της ατελούς εναλλαγής θερμότητας ανάμεσα στα ρεύματα καθώς και λόγω της εξάτμισης του ψυκτικού μέσου που είναι αναγκαστικά υψηλότερη όταν εξατμίζεται από ένα διάλυμα παρά από ένα καθαρό υγρό.

Σε έναν κύκλο απορρόφησης, ψυκτικό μέσο και απορροφητικό συγκροτούν το «ζεύγος εργασίας». Στην πάροδο των ετών έχουν δοκιμαστεί πολλά ζεύγη εργασίας αλλά τα δύο που έχουν επικρατήσει και χρησιμοποιούνται ευρέως είναι το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου (Li-Br), ως απορροφητικό, με νερό και η αμμωνία (NH₃) με νερό. Για συστήματα ψύξης βρωμιούχου λιθίου - νερού, η πηγή θερμότητας πρέπει να είναι σε ελάχιστη θερμοκρασία των 70-90 °C για συστήματα μονού σταδίου. Σε συστήματα που χρησιμοποιούν αμμωνία η θερμική ενέργεια παρέχεται σε θερμοκρασία 100-120 °C (μονού σταδίου). Το ζεύγος “νερού - διαλύματος βρωμιούχου λιθίου-νερού” χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ψύξης αέρα, όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 0 °C. Ενώ, Το ζεύγος αμμωνίας-νερού χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές κατάψυξης, με χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μικρότερες των 0 °C. Τα επίπεδα πίεσης της μηχανής αμμωνίας-

νερού είναι συνήθως υψηλότερα της ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ οι μηχανές νερού - βρωμιούχου λιθίου-νερού λειτουργούν κατά κανόνα σε μερικό κενό.

Μία σύγκριση των διαφορετικών ψυκτών απορρόφησης που χρησιμοποιούνται στην Τριπαραγωγή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Εφαρμογή - Στάδιο	NH ₃ Απορρόφηση	LiBr – Απορρόφηση	
	Μονό	Μονό	Διπλό
Ψυκτική Ικανότητα (kW _ψ)	20- 2500	300 – 5000	300 – 5000
Συντελεστής συμπεριφοράς COP	0.6 – 0.7	0.5 – 0.6	0.9 – 1.1
Εύρος Θερμοκρασίας προσδιδόμενης θερμότητας (°C)	120 – 132	120 – 132	150 – 170*

Οι ψύκτες βρωμιούχου λιθίου-νερού μονού σταδίου μπορούν να αντλούν θερμότητα από καυσαέρια ή ατμό θερμοκρασίας 110-120 °C και από νερό θερμοκρασίας 110-150 °C με μέγιστη πίεση 9 bar. Η κατανάλωση ατμού είναι περίπου 2,3 kg/h ανά kWth και η παροχή του ζεστού νερού κυμαίνεται από 30 έως 72 kg/h ανά kWth ανάλογα με την επιτρεπόμενη θερμοκρασιακή διαφορά.

Στους διπλού σταδίου, ο ατμός θα πρέπει να έχει πίεση μεταξύ 9-10 bar, συνθήκες που αντιστοιχούν σε θερμοκρασία από 175 έως 185°C. Σύμφωνα με συλλεχθείσες πληροφορίες, είναι επίσης δυνατόν η τροφοδότηση των συσκευών αυτών με ζεστό νερό, θερμοκρασίας μεταξύ 155 και 205°C. Ο συντελεστής απόδοσης COP 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.

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

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

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

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

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

1.6.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΗΘ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Κατά την σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ, όπως και κάθε μονάδας διασπαρμένης παραγωγής στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να μην προκαλούνται ανεπιτρεπτες διαταραχές της παροχής ηλεκτρικής ισχύος των ήδη συνδεδεμένων μονάδων (παραγωγών ή καταναλωτών). Ενώ όταν συμβαίνουν διαταραχές της κανονικής λειτουργίας των συστημάτων ή/και του δικτύου, από διάφορα σφάλματα ή άλλα αίτια, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατόν και ότι δεν δημιουργούνται επικίνδυνες καταστάσεις για τον εξοπλισμό ή και την ασφάλεια των ανθρώπων. Ακόμα ένα άλλο πρόβλημα είναι η ποιότητα της παρεχόμενης τάσης από τις μονάδες διασπαρμένης παραγωγής. Στην Ευρώπη, οι καταναλωτές χρησιμοποιούν 220 V μονοφασικό ή τριφασικό ρεύμα ανάλογα με το φορτίο και με συχνότητα 50Hz.

Τα δίκτυα διανομής γενικά χαρακτηρίζονται από ροή ισχύος μόνο προς την κατεύθυνση του καταναλωτή. Ωστόσο, η σύνδεση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής και, ειδικά, των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις ροής ισχύος προς δύο κατευθύνσεις στους κλάδους του δικτύου. Ενώ ακόμα, οι εγκαταστάσεις των μονάδων Συμπααραγωγής μπορεί να παρέχουν ισχύ στο δίκτυο κάποιες χρονικές περιόδους και σε άλλες χρονικές περιόδους μπορεί να τροφοδοτούνται από αυτό. Το θέμα αυτό πρέπει να αντιμετωπίζεται από τον διαχειριστή δικτύου, γιατί η έλλειψη των απαραίτητων τεχνικών κανόνων μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις στις οποίες τα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να δίνουν ισχύ στο δίκτυο όταν συμβαίνουν βραχυκυκλώματα χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον διαχειριστή. Ακόμα, εάν δεν καθορισθεί ένα κοινό πλαίσιο ένταξης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο, υπάρχει κίνδυνος σύνδεσής τους σε διάφορα σημεία του δικτύου, χωρίς κάτι τέτοιο να έχει γνωστοποιηθεί στον διαχειριστή δικτύου. Και συνεπώς, τα σφάλματα των συστημάτων μπορεί να μη γίνονται αντιληπτά από τον διαχειριστή δικτύου, ενώ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το προσωπικό που καλείται να τα αντιμετωπίσει να μην γνωρίζει την κατεύθυνση της ροής ισχύος στο δίκτυο. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην ασφάλεια ανθρώπων και εξοπλισμού του δικτύου.

Η σύνδεση των μονάδων ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού γίνεται έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο οικονομική και καλύπτοντας τα όρια διαταραχών που θέτει ο Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου. Έτσι, τα συστήματα ΣΗΘ συνδέονται όσο το δυνατό πλησιέστερα προς τα φορτία, ώστε να περιορίζονται οι ροές ισχύος των κλάδων του δικτύου διανομής. Επίσης αποφεύγονται λειτουργικές καταστάσεις εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και επιδιώκεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη βελτίωση των τάσεων και μείωση των απωλειών ισχύος. Η επιλογή του ΣΚΣ αποφασίζεται μετά από το σχετικό έλεγχο και εάν ικανοποιούνται όλες οι απαιτούμενες προϋποθέσεις σύνδεσης στο δίκτυο διανομής. Επιπλέον, μετά από την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ ελέγχεται ο βαθμός ικανοποίησης όλων των απαιτούμενων προϋποθέσεων. Ειδικότερα, στην περίπτωση που το ΣΣΔ διαφοροποιείται από το ΣΚΣ, όπως συμβαίνει κατά τη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, μπορεί να γίνονται δεκτά ευρύτερα όρια από αυτά που ισχύουν για το ΣΚΣ.

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, πέρα από την γεννήτρια που μπορεί να είναι σύγχρονη, ασύγχρονη και αυτοδιεγερόμενη ασύγχρονη, που είναι αναγκαίος για την σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, δηλαδή τα μέσα ζεύξης και προστασίας είναι τα εξής:

- Μετασχηματιστής ισχύος: Που χρειάζεται για τη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ στο δίκτυο Μέσης Τάσης. Τις περισσότερες φορές, απαιτείται να εγκατασταθούν ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές ισχύος με κατάλληλες τιμές φαινόμενης ισχύος έτσι ώστε να μετασχηματίζεται η τάση στο επίπεδο της Χαμηλής Τάσης.
- Συσκευή Αποσύνδεσης: Που είναι ένας χειροκίνητος διακόπτης που θα αποσυνδέει τη μονάδα ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής.

- Αυτόματος Διακόπτης Γεννήτριας (ΑΔΓ): Κάθε μονάδα ΣΗΘ περιλαμβάνει έναν ΑΔΓ με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχός της και επιτυγχάνεται η προστασία της μέσω των κατάλληλων αισθητηρίων. Ο ΑΔΓ βρίσκεται συνήθως κοντά στη μονάδα ΣΗΘ και είναι συχνά της ίδιας τάσεως.
- Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ): Που επιτρέπει τη ζεύξη ή την απομόνωση των εγκαταστάσεων των συστημάτων ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής και απαιτείται σε περιπτώσεις που υπάρχουν περισσότερες από μια μονάδες ΣΗΘ σε απόσταση μεταξύ τους και, κυρίως, όταν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού που περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως των αυτόματων διακοπών οι οποίοι διαρρέονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί θα πρέπει να συνεργάζονται με τα προηγούμενα μέσα προστασίας του δικτύου διανομής που προκαλούν την οριστική διακοπή, όπως είναι για παράδειγμα οι ηλεκτρονόμοι χρονικής καθυστέρησης των διακοπών ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Γενικά, το ρεύμα βραχυκύκλωσης από την πλευρά του δικτύου διανομής είναι πάντοτε αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ενεργοποίηση των αντίστοιχων αυτόματων διακοπών. Αντίθετα, το ρεύμα βραχυκύκλωσης από την πλευρά του συστήματος ΣΗΘ είναι συχνά σχετικά μικρό έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ενεργοποίηση των ηλεκτρονόμων υπερεντάσεως, ειδικά στις περιπτώσεις που αφορούν ασύγχρονες γεννήτριες.
- Ηλεκτρονόμοι Ορίων Τάσεως και Συχνότητας: Οι προστασίες αυτές συμβάλλουν στην απομόνωση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από το δίκτυο διανομής σε περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων, διότι τα σφάλματα αυτά συνοδεύονται από σημαντικές αποκλίσεις των τάσεων από τις ονομαστικές τιμές τους. Οι προστασίες των ορίων συχνότητας αφορούν κύρια την ανίχνευση της νησιδοποίησης (σε συνδυασμό με τον έλεγχο των ορίων τάσεως), διότι μετά από την αποσύνδεση από το δίκτυο διανομής μεταβάλλεται απότομα η ταχύτητα περιστροφής των μονάδων ΣΗΘ και, επομένως, η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Μία επιπρόσθετη προστασία για την αποφυγή της νησιδοποίησης είναι η προστασία ομοπολικής τάσης. Σε συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας, που κύρια αφορούν μεγάλης ισχύος συστήματα ΣΗΘ, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση προστασιών που θα εξασφαλίζουν πιο αποτελεσματικά την απομόνωση της εγκατάστασης σε περιπτώσεις μόνιμων σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής, ακόμα και εάν απαιτείται σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα. Η εγκατάσταση των προστασιών αυτών θα αποφασίζεται από το Διαχειριστή Δικτύου σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη του συστήματος ΣΗΘ.
- Ασφαλειοαποζεύκτες: Απαιτούνται ασφαλειοαποζεύκτες υπέρτασης, υπότασης, υπερσυχνότητας και υποσυχνότητας.
- Ρυθμιστής Τάσης: Που μπορεί να απαιτείται ανάλογα με το σύστημα ΣΗΘ που εγκαθίσταται και χρειάζεται για να διατηρεί την τάση εξόδου της αντίστοιχης μονάδας σε συγκεκριμένη τιμή.
- Γείωση: Κατά τη διάρκεια των καταστάσεων κανονικής λειτουργίας του δικτύου, η μέθοδος γείωσης που επιλέγεται για την εγκατάσταση του συστήματος ΣΗΘ δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Όμως, κατά τη διάρκεια εκδήλωσης σφαλμάτων στο δίκτυο, η επιλογή του τρόπου γείωσης έχει ξεχωριστή σημασία καθώς αποτελεί ένα μέσο για την προστασία των ανθρώπων και του εξοπλισμού. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι γείωσης οι οποίες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος και μπορεί να περιλαμβάνουν την απευθείας γείωση χωρίς την ύπαρξη σύνθετης αντίστασης, τη γείωση μέσω ωμικής αντιστάσεως ή επαγωγικού πηνίου, τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σημείων γείωσης κ.α.

Η λειτουργία κάθε μονάδας ΣΗΘ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο δίκτυο και είναι πιθανό να απαιτείται η βελτίωση του συστήματος προστασίας και η αναβάθμιση των χρησιμοποιούμενων γραμμών διανομής έτσι ώστε να μην προκαλούνται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία του συστήματος ΣΗΘ και του δικτύου διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απομονωμένη και τη μη απομονωμένη λειτουργία του δικτύου. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής αποτελούν τον κύριο τρόπο ανίχνευσης των σφαλμάτων που συμβαίνουν σε αυτό και οι παραδοσιακές μέθοδοι προστασίας χρησιμοποιούνται. Όμως, η συνεισφορά των βραχυκυκλωμάτων στα συστήματα ΣΗΘ είναι σημαντική και η προστασία του δικτύου διανομής από τα σφάλματα αυτά αποτελεί μία περισσότερο πολύπλοκη διαδικασία. Λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων ΣΗΘ, η συνεισφορά των ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων είναι περιορισμένη ενώ οι αντίστοιχες μονάδες θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με εξελιγμένες συσκευές διέγερσης έτσι ώστε το ρεύμα βραχυκύκλωσης να είναι αρκετά μεγαλύτερο από τις απαιτούμενες τιμές. Επομένως, η ενεργοποίηση του συστήματος προστασίας και η απομόνωση του συστήματος ΣΗΘ εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής, ενώ πρέπει να εξασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων η μονάδα ΣΗΘ δε θα τροφοδοτεί το υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης, κατά τη διαδικασία επαναφοράς τα επιμέρους τμήματα του δικτύου πρέπει να είναι συγχρονισμένα και, για το σκοπό αυτό, απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού στα σημεία επαναφοράς έτσι ώστε η διαφορά της τάσης στα δύο τμήματα του δικτύου να λαμβάνει τη μικρότερη δυνατή τιμή. Τέλος, σημειώνεται ότι συχνά απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού αναγνώρισης των καταστάσεων νησιδοποίησης των τμημάτων του δικτύου διανομής από τις πηγές του. Στις καταστάσεις αυτές μπορεί να απαιτείται η ενεργοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού ζεύξης που ευρίσκεται κανονικά σε κατάσταση ανοικτής λειτουργίας, έτσι ώστε να μπορούν να επανατροφοδοτηθούν τα αντίστοιχα φορτία σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

1.6.6.1 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΗ Χ.Τ.

Οι μονάδες ΣΗΘ με μέγιστη ισχύ μικρότερη των 100kW_e συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. (χαμηλής τάσης). Επίσης οι εγκαταστάσεις Συμπαγωγής μπορούν να τροφοδοτούν και με μονοφασικό ρεύμα το δίκτυο αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις η μέγιστη ισχύς τους πρέπει να είναι μικρότερη από 5kW_e.

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την σύνδεση στη Χ.Τ. είναι η παρακάτω:

- Όταν χρησιμοποιούνται ασύγχρονες γεννήτριες, η ζεύξη τους θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει τάση στους ακροδέκτες τους και ενώ περιστρέφονται με ταχύτητα η οποία απέχει λιγότερο από 5% από τις σύγχρονες στροφές. Με τη χρήση «διατάξεων ομαλής εκκίνησης», είναι δυνατό να επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση των ρευμάτων ζεύξης και, επομένως, των προκαλούμενων διαταραχών που σημαίνει ότι η εγκατάστασή τους είναι σημαντική.
- Όταν χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες, πρέπει να εξασφαλίζονται οι ακόλουθες ελάχιστες συνθήκες συγχρονισμού:
 - Διαφορά τάσης $\Delta U < \pm 10 \%$
 - Διαφορά συχνότητας $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
 - Διαφορά φασικής γωνίας $\Delta \phi < \pm 10^\circ$
- Στην περίπτωση που η εγκατάσταση του ΣΗΘ έχει κατασκευαστεί για λειτουργεί και απομονωμένη, πρέπει να εγκαθίσταται ΑΔΔ ο οποίος θα διαθέτει διάταξη συγχρονισμού αντίστοιχη αυτής των σύγχρονων γεννητριών.

- Οι πυκνωτές αντιστάθμισης κάθε μοναδιαίας εγκατάστασης συστημάτων ΣΗΘ πρέπει να συνδέονται μετά τον παραλληλισμό της μονάδας ΣΗΘ και να τίθενται αυτόματα εκτός λειτουργίας με το άνοιγμα του διακόπτη της μονάδας. Το ίδιο ισχύει και για τις διατάξεις κεντρικής αντιστάθμισης εγκαταστάσεων ΣΗΘ οι οποίες δεν διαθέτουν δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας.
- Για εγκαταστάσεις με σύγχρονες και ασύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής κλίμακας Συμπαγωγής απαιτούνται οι προστασίες που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

Τύπος Ηλεκτρονόμου	Περιοχή Ρυθμίσεων	Συνιστώμενη Ρύθμιση ⁽¹⁾
Υπότασης (mV)	$0.70 \cdot U_n + 1.00 \cdot U_n$	$0.80 \cdot U_n$
Υπέρτασης (MV)	$1.00 \cdot U_n + 1.15 \cdot U_n$	$1.10 \cdot U_n + 1.15 \cdot U_n$
Υποσυχνότητας (mf)	48 ÷ 50 Hz	49.5 (48) Hz
Υπερσυχνότητας (Mf)	50 ÷ 52 Hz	50.5 (51) Hz

όπου U_n είναι η ονομαστική τάση του δικτύου XT (230/400 V)

⁽¹⁾ Οι τιμές εντός των παρενθέσεων αφορούν τα νησιωτικά συστήματα

Ο βασικός σκοπός είναι η ανίχνευση των σφαλμάτων που συμβαίνουν στο δίκτυο διανομής και η άμεση αποσύνδεση της εγκατάστασης του συστήματος ΣΗΘ από αυτό. Σημειώνεται ότι είναι δυνατή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ, μόνο σε περιπτώσεις που η συγκεκριμένη λειτουργική διαδικασία έχει προβλεφθεί κατά τον σχεδιασμό του και έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα.

- Για τις σύγχρονες μονάδες πολύ μικρής και μικρής κλίμακας Συμπαγωγής θα πρέπει να υπάρχει προστασία υπερέντασης. Οι ρυθμίσεις των προστασιών επιλέγονται από τον Διαχειριστή Δικτύου, εντός του εύρους των αντίστοιχων περιοχών, και μπορούν να διαφοροποιούνται από τις συνιστώμενες τιμές που φαίνονται στον προηγούμενο πίνακα μόνο εάν οι ιδιαίτερες συνθήκες του δικτύου διανομής και του συστήματος ΣΗΘ το επιβάλλουν.
- Ο έλεγχος της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, για να εξασφαλίζεται ότι οι περιπτώσεις στις οποίες εκδηλώνονται μονοφασικές διακοπές ή βυθίσεις θα αναγνωρίζονται με ασφάλεια. Η χρονική καθυστέρηση διέγερσης των προστασιών υπότασης και υπέρτασης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα τρία δευτερόλεπτα. Γενικά, προτείνεται η επιλογή των ρυθμίσεων να είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, διότι έτσι εξασφαλίζεται η αποσύνδεση του συστήματος ΣΗΘ πριν από την ενδεχόμενη ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου. Όμως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η επιλογή πολύ μικρών τιμών χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ανεπιθύμητων αποζεύξεων του συστήματος ΣΗΘ από το Δίκτυο. Ακόμα η χρονική καθυστέρηση της προστασίας συχνότητας πρέπει επίσης να ρυθμίζεται σε μικρές τιμές (μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο).
- Η ανίχνευση των καταστάσεων της απομονωμένης λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω άλλων διατάξεων προστασίας, όπως για παράδειγμα ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής διανύσματος ή ηλεκτρονόμων απότομης μεταβολής φορτίου. Επίσης, οι σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ με μετατροπείς ισχύος συχνά διαθέτουν πιο προηγμένες διατάξεις ανίχνευσης, ενσωματωμένες στα κυκλώματα ελέγχου του μετατροπέα εξόδου, οι οποίες γίνονται αποδεκτές μετά από συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες του Διαχειριστή Δικτύου. Εκτός από τις ελάχιστες υποχρεωτικές προστασίες του προηγούμενου πίνακα, μπορούν να εγκαθίστανται επιπρόσθετες προστασίες με πρωτοβουλία του παραγωγού, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αρτιότερη προστασία του συστήματος ΣΗΘ. Επιπλέον, η

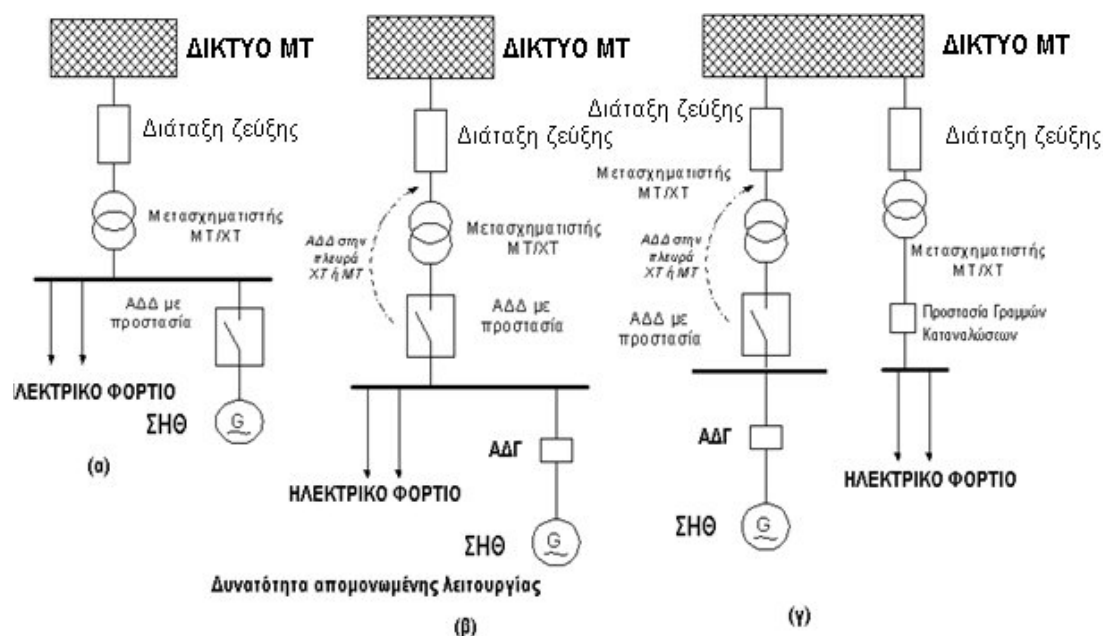
παροχή της εγκατάστασης θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο μέσο προστασίας έναντι σφαλμάτων, όπως συμβαίνει στις εγκαταστάσεις των καταναλωτών ΧΤ.

- Το σύστημα προστασίας του ΑΔΔ, εάν χρησιμοποιείται, πρέπει να ασφαρίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου.

1.6.6.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΗ Μ.Τ.

Στο τριφασικό δίκτυο Μ.Τ. (μέσης τάσης) συνδέονται μονάδες ΣΗΘ με ισχύ μεγαλύτερη από 100kW_e. Για την σύνδεση, πρέπει να εξεταστεί το μέγεθος της μονάδας και οι δυνατότητες του δικτύου της ΔΕΗ τοπικά. \

Η εξέταση για τον προσδιορισμό του ΣΚΣ θα πρέπει να αρχίζει από το πλησιέστερο προς το σύστημα ΣΗΘ σημείο του δικτύου διανομής και βαθμιαία να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε σημεία πλησιέστερα προς τον υποσταθμό ΥΤ/ΜΤ, δηλαδή σε σημεία με υψηλότερη στάθμη βραχυκύκλωσης. Ο τρόπος και το σημείο του δικτύου διανομής στο οποίο θα πραγματοποιείται η σύνδεση, καθώς και το είδος των εγκαταστάσεων ζεύξης και μέτρησης, προσδιορίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου ΜΤ και τη θέση και το μέγεθος του σχετικού συστήματος ΣΗΘ. Ο εξοπλισμός ζεύξης πρέπει να περιλαμβάνει μέσο με ικανότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου, να εξασφαλίζει την απόζευξη κατά τρόπο που να επιτρέπει την ασφαλή εκτέλεση εργασιών και να είναι προσιτός ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό του Διαχειριστή Δικτύου. Για λόγους καλής λειτουργίας, η εναέρια εγκατάσταση της ζεύξης περιορίζεται μόνο για εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ μικρής σχετικά ισχύος, όπως είναι αυτές που υπάρχουν σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Η διάταξη της σύνδεσης θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή των καταναλωτών ΜΤ. Το όριο διαχωρισμού της ευθύνης Διαχειριστή Δικτύου και παραγωγού αποτελεί το ακροκιβώτιο του καλωδίου σύνδεσης προς την πλευρά του δικτύου διανομής, για παροχές από εναέριο δίκτυο, ή το ακροκιβώτιο του καλωδίου εξόδου από τον πίνακα ζεύξης του Διαχειριστή Δικτύου, για παροχές από υπόγειο δίκτυο.



Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται τυπικά μονογραμμικά διαγράμματα σύνδεσης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο ΜΤ. Για μικρές εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγών, με ισχύ έως 500 kVA, υποδεικνύεται ο τρόπος σύνδεσης (α), όπου η διάταξη ζεύξης – μέτρησης θα πρέπει να εξασφαλίζει και την προστασία του δικτύου σε περίπτωση σφάλματος της εγκατάστασης μέχρι και τους ζυγούς ΧΤ του μετασχηματιστή ισχύος. Εάν είναι επιθυμητή η απομονωμένη λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ΑΔΓ

δεν εξασφαλίζει τις απαιτήσεις που τίθενται για τον ΑΔΔ, υποδεικνύεται η εφαρμογή του τρόπου συνδεσμολογίας (β). Ο ΑΔΔ μπορεί να εγκαθίσταται στην πλευρά της ΧΤ ή της ΜΤ. Όταν η λειτουργική κατάσταση του συστήματος ΣΗΘ είναι τέτοια ώστε ολόκληρη η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος να εγχέεται στο δίκτυο διανομής ΜΤ εφαρμόζεται ο τρόπος συνδεσμολογίας (γ). Ενώ η ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του αντίστοιχου καταναλωτή ικανοποιείται μόνο από το δίκτυο διανομής.

1.6.7 ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΡΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΡΥΠΩΝ

Κατά την Συμπααραγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα καυσίμων. Αν και η Συμπααραγωγή γενικά μειώνει τις εκπομπές ρύπων, ωστόσο σε τοπικό επίπεδο μπορεί να προκαλέσει αύξηση της ρύπανσης του αέρα. Και ακόμα, κατά την διακίνηση των καυσίμων και την απομάκρυνση των στερεών αποβλήτων της καύσης, υπάρχει ο κίνδυνος να μολυνθούν τοπικά το έδαφος και τα ύδατα. Επομένως κατά την κατασκευή των εγκαταστάσεων ΣΗΘ ειδικά σε κατοικημένες περιοχές πρέπει να γίνεται επιλογή τεχνολογίας με χαμηλές εκπομπές ρύπων, προσεκτική επιλογή του τύπου εγκατάστασης, τοποθέτηση εξοπλισμού ελέγχου και περιορισμού των εκπεμπομένων ρύπων. Ακόμα είναι αναγκαία η κατασκευή καπνοδόχου υψηλότερης των γειτονικών κτιρίων και η εγκατάσταση μέσων συλλογής και αποκομιδής των στερεών και υγρών καταλοίπων.

Η ποσότητα και το είδος των ρύπων που εκλύονται από μία μονάδα ΣΗΘ εξαρτάται πρώτα από την σύσταση του καυσίμου και δεύτερον από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και η χρήση καταλυτικών μετατροπών.

Οι ποικιλία των ρύπων είναι η ίδια με αυτή που προκύπτει από κάθε διαδικασία καύσης υδρογονανθράκων. Οι κυριότεροι ρύποι παρουσιάζονται παρακάτω:

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂): Το CO₂ αποτελεί τη μεγαλύτερη συνιστώσα των προϊόντων της καύσης και η αύξηση των συγκεντρώσεών του στην ατμόσφαιρα, αποτελεί τη βασική αιτία του φαινομένου του θερμοκηπίου και των κινδύνων από την κλιματική αλλαγή. Η παραγωγή του είναι ανάλογη προς την ποσότητα του καυσίμου που καίγεται και έτσι η υψηλής αποδοτικότητας ΣΗΘ οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών του, σε σχέση με την απλή ΣΗΘ. Η εκπομπή CO₂ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του καυσίμου: π.χ. η καύση λιθάνθρακα ή λιγνίτη παράγει σημαντικά υψηλότερες ποσότητες CO₂ από αυτές που παράγει η καύση φυσικού αερίου.

Μονοξείδιο του άνθρακα (CO): Το CO είναι ένα δηλητηριώδες αέριο που παράγεται μέσω της ατελούς καύσης και μπορεί να περιοριστεί σε αμελητέα επίπεδα, εάν υπάρξει ικανοποιητικός έλεγχος του αέρα και του καυσίμου κατά τη διάρκεια της καύσης.

Διοξείδιο του θείου (SO₂): Το SO₂ είναι ένα όξινο αέριο που παράγεται μόνο κατά την καύση του θείου. Θείο περιέχεται σε καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το βιοαέριο. Το SO₂ με την παρουσία υγρασίας μετατρέπεται σε θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο, εάν συμπυκνωθεί, προκαλεί τη διάβρωση των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ανάκτηση της θερμότητας ή στα συστήματα εξάτμισης. Επιπλέον, είναι η αιτία της όξινης βροχής. Σε εγκαταστάσεις ΣΗΘ, οι εκπομπές SO₂ δεν μπορούν να μειωθούν με τη λήψη μέτρων που αφορούν στο σχεδιασμό των κινητήρων, μπορεί όμως να εξαλειφθούν από τα καυσαέρια, μέσω εγκατάστασης μονάδας αποθείωσης.

Οξειδία του αζώτου (NO_x): Το NO_x είναι ένα μίγμα των οξειδίων του αζώτου που παράγονται από την καύση οποιουδήποτε καυσίμου στον αέρα. Η σύστασή του επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες της καύσης, όπως η θερμοκρασία, ο χρόνος παραμονής και η αναλογία αέρα-καυσίμου. Στην ατμόσφαιρα, το NO_x υπόκειται σε διάφορες χημικές αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό του όζοντος και της αιθαλομίχλης. Συμβάλλει επίσης στη δημιουργία της όξινης βροχής. Το NO_x θεωρείται ένας

από τους μεγαλύτερους αστικούς ρύπους, έχοντας ως βασική πηγή την κυκλοφορία των οχημάτων και τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (C_nH_m): Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες παράγονται σε μεγάλο βαθμό από παλινδρομικές μηχανές ΜΕΚ. Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες αιτίες δημιουργίας του νέφους και του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η αποδοτικότητα των συστημάτων ΣΗΘ στην μείωση των ρύπων, εξετάζεται σε σύγκριση με την εκπομπή ρύπων στην ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Και η σύγκριση αυτή, μπορεί να γίνει με την υπόθεση ότι χρησιμοποιείται το ίδιο καύσιμο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η προσπάθεια μείωσης της εκπομπής ρύπων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης του συστήματος. Αυτός συμβαίνει στην περίπτωση των NO_x, του CO και των άκαυστων υδρογονοανθράκων.

Εξετάζοντας την παραγωγή CO₂ για ένα δεδομένο καύσιμο έχουμε:

$$m_{CO_2} = \mu_{CO_2} m_f$$

όπου

$$\mu_{CO_2} = \frac{44}{12}c$$

$$m_f = \frac{E}{\eta H_u}$$

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

μ_{CO_2} : μάζα εκπεμπομένου 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.

Με την 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 πιο κάτω.

Καύσιμο	Περιεκτικότητα σε άνθρακα (c·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.

Με βάση αυτές τις τιμές έχει γίνει προσδιορισμός των εκπομπών CO₂ συστημάτων Συμπαράγωγής και συστημάτων ξεχωριστής παραγωγής που παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες.

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.

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 συσκευές εξουδετέρωσης εκπομπών NO_x και SO₂.

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 βάση τους παραπάνω πίνακες. 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.

Το αποτέλεσμα της Συμπαραγωγής στην μείωση των ρύπων υπολογίζεται από την σχέση:

$$\Delta M_X = M_{X\Sigma\Sigma} - M_{X\text{H}} - M_{X\Theta}$$

όπου

ΔM_X : η διαφορά εκπομπών του ρύπου X

$M_{X\Sigma\Sigma}$: η εκπομπή ρύπου X του συστήματος συμπαραγωγής,

$M_{X\text{H}}$: 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.

Εάν ο προσδιορισμός των εκπομπών πρόκειται να στηριχθεί στα δεδομένα των παραπάνω πινάκων, τότε:

$$M_{X\Sigma\Sigma} = m_{X\Sigma\Sigma} \frac{E_H}{100\text{kWh}}$$

$$M_{X\text{H}} = m_{X\text{H}} \frac{E_H}{100\text{kWh}}$$

$$M_{X\Theta} = m_{X\Theta} \frac{E_\Theta}{100\text{kWh}} = \frac{m_{X\Theta}}{\text{PHR}} \frac{E_H}{100\text{kWh}}$$

όπου

$m_{X\Sigma\Sigma}$, $m_{X\text{H}}$, και $m_{X\Theta}$ (σε gr): οι εκπομπές του ρύπου X για παραγωγή ενέργειας 100 kWh

E_H : η ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής,

E_Θ : η θερμότητα που παράγεται από το σύστημα συμπαραγωγής

Μερικά παραδείγματα σύγκρισης παρουσιάζονται πιο κάτω. Εντυπωσιακή είναι η μείωση εκπομπών CO₂: 50–100kg ανά 100 kWh ηλεκτρικής διαστήματος αυτού, δηλαδή 50 kg ανά 100 kWh, τότε σε κάθε TWh^{*} ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται με συμπαραγωγή, αντιστοιχεί μείωση 5 10⁵ τόνων CO₂. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση καυσίμου δικαιολογεί τη θέσπιση κινήτρων για τη διάδοση της συμπαραγωγής.

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

Συστήματα χωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας

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

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

Ιδιαίτερα πλεονεκτήματα στην μείωση της εκπομπής ρύπων έχουμε όταν καύσιμο

σε συστήματα συμπαραγωγής είναι το φυσικό αέριο. Σε αυτή την περίπτωση, οι εκπομπές οξειδίων του θείου και στερεών σωματιδίων, που παρουσιάζονται από την καύση άνθρακα ή υγρών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, σχεδόν εξαφανίζονται. Ενώ αξιοσημείωτη είναι επίσης η μεγάλη η μείωση εκπομπών NO_x που επιτυγχάνεται.

1.6.8 ΗΧΟΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΡΑΔΑΣΜΟΙ

Τα επίπεδα ηχορύπανσης και οι κραδασμοί μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στους εργαζόμενους στις εγκαταστάσεις ΣΗΘ. Και ακόμα μπορεί να καταστήσουν απορριπτέα μια εφαρμογή ΣΗΘ που ικανοποιεί όλα τα άλλα κριτήρια.

Τα επίπεδα θορύβου στις μονάδες Συμπαραγωγής είναι της τάξης των άνω των 95dB. Πράγμα που σημαίνει ότι ανάλογα με το που γίνεται η εγκατάστασή τους, θα πρέπει να λαμβάνονται και τα αντίστοιχα μέτρα ώστε αυτές οι μονάδες να συμμορφώνονται με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται ελαστική έδραση και ηχητική μόνωση των συστημάτων ΣΗΘ. Πιο συγκεκριμένα για της μονάδες που εγκαθίστανται σε κτήρια απαιτείται:

- Περιορισμός του θορύβου στο χώρο εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας ένα ακουστικό περίβλημα, το οποίο θα μειώσει το επίπεδο θορύβου κατά τουλάχιστον 25 dB.
- Χρήση ακουστικού αποσβεστήρα στον αγωγό εισαγωγής αέρα στο θάλαμο καύσης.
- Χρήση ηχομονωτικών υλικών στους τοίχους.
- Περιορισμό του θορύβου στους χώρους κοντά στο χώρο εγκατάστασης της ΣΗΘ, με πιθανή ενίσχυση της τοιχοποιίας, της οροφής και του δαπέδου, εφόσον απαιτείται.
- Μείωση του αριθμού των παραθύρων και των θυρών, στο ελάχιστο δυνατό.
- Περιορισμός του θορύβου προς το εξωτερικό περιβάλλον, με τη χρησιμοποίηση ακουστικού διαφράγματος στην εξάτμιση του συστήματος ΣΗΘ.

Σε πολλές εφαρμογές απαιτείται για την αντιμετώπιση του θορύβου και των κραδασμών, η τοποθέτηση της μονάδας ΣΗΘ και των συστημάτων ελέγχου είτε εντός του κτηρίου με τη μονάδα ΣΗΘ να τοποθετείται σε αντικραδασμικούς μηχανισμούς, είτε εκτός κτηρίου σε μονωμένο κιβώτιο με σιγαστήρες στους αγωγούς εισαγωγής και εξαγωγής αέρα και στους εξαεριστήρες. Η εγκατάσταση αυτή, με τις διπλές ηχομονωτικές πόρτες και χωρίς άλλα ανοίγματα, μπορεί να μειώσει το επίπεδο θορύβου της μονάδας συμπαραγωγής σε 30 dB σε απόσταση 60m από το μονωμένο κιβώτιο.

1.6.9 ΤΥΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΗΘ

Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας των συστημάτων ΣΗΘ που αφορούν πρώτον, τον προσδιορισμό της κύριας λειτουργίας μεταξύ της θέρμανσης-ψύξης και της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Δεύτερον την ηλεκτρική και την θερμική ισχύ που αποδίδει το σύστημα σε σχέση με το θερμικό και ηλεκτρικό φορτίο που απαιτεί η εγκατάσταση. Και τρίτον, την δυνατότητα γρήγορης απόσβεσης της μονάδας, δηλαδή τις οικονομικές συνθήκες που επικρατούν για την αγορά και πώληση ηλεκτρικού ρεύματος (και σε σπάνιες περιπτώσεις θερμότητας) και τις τιμές του περεταίρω εξοπλισμού, πέρα από τον βασικό, που απαιτεί κάθε παραλλαγή του τρόπου λειτουργίας.

Έτσι λοιπόν διακρίνονται οι παρακάτω βασικοί τρόποι λειτουργίας:

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, η ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας του συστήματος συμπαραγωγής είναι ίση με το θερμικό φορτίο, χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ. 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. Σε αυτόν τον τύπο λειτουργίας εάν το επιτρέπει το ισχύον νομικό πλαίσιο και οι τιμές αγοράς και πώλησης του ρεύματος, τότε το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί και να πωλείται εξολοκλήρου στο κεντρικό δίκτυο και να υπάρχει άλλη σύνδεση με αυτό ώστε να καλύπτονται οι ηλεκτρικές ανάγκες της εγκατάστασης. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό στην χώρα μας σήμερα.

- Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης: Το σύστημα ΣΗΘ λειτουργεί, έτσι ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Υπάρχουν παράλληλα εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες που 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, και οι τιμές, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, επίσης μπορεί το ηλεκτρικό ρεύμα να πωλείται και εξολοκλήρου στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου: Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο, χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ. Εάν η θερμότητα που παράγεται είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο, πρέπει να υπάρχει ένας βοηθητικός λέβητας που 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 λειτουργεί έτσι ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης. 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 ή σε τοπικό δίκτυο τηλεθέρμανσης
- 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: Σε αυτή την περίπτωση γίνεται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. 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. Εναλλακτικά, θα πρέπει να υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο που να καλύπτει τις επιπλέον ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα, όταν αυτές προκύπτουν

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου και καλύτερη οικονομική απόδοση. Στις

εταιρίες 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.

Η εφαρμογή όμως, γενικών κανόνων δεν είναι η καλύτερη προσέγγιση για την περίπτωση της συμπαραγωγής. Αφού, κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και να έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο. Έτσι κι αλλιώς, κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μπορεί να μεταβάλλονται οι διάφορες τεχνικές και οικονομικές παράμετροι με την ημέρα και τη χρονική στιγμή. Επομένως, 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, πιο συγκεκριμένα, διατίθενται συστήματα ελέγχου βασισμένα σε μικροεπεξεργαστές, τα οποία 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 οικονομικότερα 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. Επιπρόσθετα, με την παρακολούθηση των παραμέτρων λειτουργίας, όπως είναι η αποδοτικότητα, οι ώρες λειτουργίας, η θερμοκρασία των καυσαερίων, οι θερμοκρασίες του νερού ψύξης, κ.α., ο μικρο-επεξεργαστής 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.

1.6.10 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Τα βασικά κομμάτια των νόμων που αφορούν την εγκατάσταση και την λειτουργία των μονάδων ΣΗΘ την τελευταία εικοσαετία δίνεται παρακάτω:

Α/Α	Νόμος - ΚΥΑ	Τίτλος Νόμου / ΚΥΑ
1	N.2244/1994	«Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»
<p>Ο Ν.2244/94 ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 MW_e, οι οποίες αξιοποιούν ΑΠΕ ή είναι μονάδες ΣΗΘ. Δινόταν επίσης η δυνατότητα ΣΗΘ με φυσικό αέριο. Για τους ανεξάρτητους παραγωγούς, ο Ν.2244/94 προέβλεπε τη δυνατότητα ΣΗΘ, με μονάδες συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο το Φ.Α. και με ισχύ το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται. Για τους αυτοπαραγωγούς, επιτρεπόταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με παραγωγή θερμότητας / ψύξης με ισχύ σταθμού το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των εγκαταστάσεων του αυτοπαραγωγού, εφόσον πρόκειται για ΣΗΘ από συμβατικά καύσιμα, και αντίστοιχα χωρίς περιορισμό ισχύος, εφόσον πρόκειται για ενεργειακή αξιοποίηση υποπαραγώνων βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της ΣΗΘ με την απόδοση κινήτρων και την προσπάθεια απλούστευσης των διαδικασιών και ρυθμιζόνταν θέματα σχετικά με τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αγοράς της Η.Ε. οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες ΣΗΘ καύσης ΦΑ, η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της ΔΕΗ και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ). Σχετικά με τις άδειες ο Νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της ΔΕΗ για την απορρόφηση της Η.Ε. και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το Ν.2773/99.</p>		
2	N.2273/1999	«Για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας»
<p>Με το N.2273/1999 ρυθμιζόνταν και θέματα ΣΗΘ, σύμφωνα με το πνεύμα της Οδηγίας 96/92/ΕΚ, την οποία ο νόμος ενσωμάτωνε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο. Με τον νόμο προβλεπόταν η δυνατότητα να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για τη συμπαραγόμενη Η.Ε. και καθοριζόνταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ. Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ ή ΣΗΘ.</p>		

3	N.3175/2003	«Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις»
<p>Ο N.3175/2003 δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού αλλά και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας μέσα από δίκτυα θερμότητας, περιγράφοντας τη διαδικασία διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους και καθορίζοντας την αδειοδοτική διαδικασία για τη λειτουργία δικτύων διανομής θερμότητας και ειδικότερα αυτών που σχετίζονται με εγκαταστάσεις ΣΗΘ. Με την άδεια καθορίζονται ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής του δικτύου θερμότητας, η τεχνολογία και οι όροι της διανομής θερμότητας στους καταναλωτές. Αν η θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις ΣΗΘ, η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.</p>		
4	ΚΥΑ ΥΠΑΝ-ΥΠΕΧΩΔΕ 4 Νοεμβρίου 2004	«Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντιστοίχισης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία»
<p>Η ΚΥΑ αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία.</p> <p>Η ΚΥΑ έλυσε το χρόνιο πρόβλημα με την αδειοδότηση της ΣΗΘ σε κτήρια, που προηγούμενα απαγορευόταν λόγω όχλησης.</p>		
	Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EC	«Προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ»
<p>Η Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EC δημιουργεί το πλαίσιο για την προώθηση συμπαραγωγής ενέργειας με βάση τη ζήτηση για χρήσιμη θερμότητα. Εισάγει την έννοια της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας, κατηγοριοποιώντας τα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα με την ισχύ τους σε πολύ μικρή ΣΗΘ (έως 50 kW_e), μικρή ΣΗΘ (έως 1 MW_e) και ΣΗΘ (>1 MW_e).</p>		
5	Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC	«Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια» (Eco-design of energy-using products).
<p>Η Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής- και μικρής- ΣΗΘ.</p>		

6	N. 3468/2006	«Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και ΣΗΘ Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) και λοιπές διατάξεις»
<p>Ο N.3468/2006 εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από <u>ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας</u> (ΣΗΘΥΑ). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από την ΚΟ 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις ΣΗΘΥΑ και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα ΣΗΘΥΑ. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ. Καθορίζεται η τιμολόγηση της Η.Ε. που παράγεται από ΣΗΘΥΑ και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της ΔΕΗ και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων ΣΗΘΥΑ, ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των ΠΠΕ/ΜΠΕ και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.</p>		
7	N. 3734/09	«Πρώιμη της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρησίμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις»
<p>Ο N. 3734/09 ενσωματώνει πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, ο υπολογισμός αποδοτικότητας της ΣΗΘ. Επίσης σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΣΗΘΥΑ, ως προς το όριο του 1 MW_e (μικρή ΣΗΘ), εγκρίνοντας ή όχι άπαξ, διάφορους τύπους μηχανών διαφόρων κατασκευαστών, για την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Έτσι, ο κάθε επενδυτής θα υποβάλλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.</p>		
8	Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15. 6. 2009	«Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας»
9	Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15.6.2009	«Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘ και της αποδοτικότητας ΣΗΘ»
<p>Η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.), Α/Α 8, καθορίζει τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, τους απαιτούμενους διορθωτικούς συντελεστές για τις τιμές αυτές και η Υ.Α., Α/Α 9, καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο 2004/8.</p>		
10	N. 3851/2010	«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις»

<p>Ο Ν. 3851/2010 ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης Η.Ε., από σταθμούς ΣΗΘΥΑ έως 1 MW που κάνουν χρήση Φ.Α. Κύριο λόγο στην τιμολόγηση έχει η μέση μηνιαία τιμή Φ.Α. (ΜΤΦΑ), καθώς και η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος ΣΗΘ.</p>		
11	<p>ΥΠΕΚΑ 2010 Σχέδιο διαβούλευσης ΥΑ (12/2010)</p>	<p>«Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ».</p>
<p>Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ.</p>		
12	<p>Κώδικες Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής ενέργειας</p>	
<p>Οι κώδικες μεταφοράς και διανομής Η.Ε. εγκρίνονται από τη ΡΑΕ και είναι η βάση διασύνδεσης του συστήματος ΣΗΘ με το Δίκτυο.</p>		
13	<p>ΡΑΕ Σχέδιο διαβούλευσης (12/2010)</p>	<p>«Εφαρμογή του Συστήματος Εγγυήσεων Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και μηχανισμού διασφάλισης του».</p>
<p>Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, το σύστημα Εγγυήσεων Προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ και μηχανισμού διασφάλισης του.</p>		

1.6.11 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΗΘ

Η επιλογή της τεχνολογίας (ή των τεχνολογιών) ΣΗΘ που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή, ο τρόπος λειτουργίας της σε σχέση με το δίκτυο ηλεκτρισμού και θέρμανσης, καθώς και η μετατροπή της σε Τριταραγωγή, είναι ένα πολύ-παραγοντικό πρόβλημα, με μία σειρά από αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν. Η επιλογή αυτή γίνεται για της συγκεκριμένες συνθήκες, της συγκεκριμένης εφαρμογής και τα κύρια κριτήρια που εξετάζει είναι:

1. Η κάλυψη των ενεργειακών φορτίων
2. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος
3. Η εξοικονόμηση καυσίμου
4. Η αξιοπιστία του συστήματος
5. Τα περιβαλλοντικά οφέλη
6. Η οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης
7. Η συμμόρφωση με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο

Γενικά, η μεθοδολογία για την ορθή επιλογή μίας μονάδας ΣΗΘ μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια:

- Την προμελέτη
- Την τεχνικό-οικονομική μελέτη για κάθε σενάριο πιθανής εφαρμογής
- Την μελέτη εφαρμογής

ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ

Σε αυτή την διαδικασία, πρώτα γίνεται μια ενεργειακή επιθεώρηση της εγκατάστασης στην οποία θέλουμε Συμπαραγωγή και κρίνεται αν πριν την τοποθέτηση της μονάδας ΣΗΘ, απαιτούνται αλλαγές για την καλύτερη ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Οι αλλαγές αυτές θα έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων, και θα οδηγούν σε μείωση του κόστους της αρχικής επένδυσης, γεγονός που θα την κάνει πιο βιώσιμη. Αυτή η επιθεώρηση ενδείκνυται, ειδικά, για την εγκατάσταση μεγάλης ισχύος συστημάτων, όπως στο βιομηχανικό τομέα. Στη συνέχεια καταγράφονται τα χαρακτηριστικά, δηλαδή τα επίπεδα και η διάρκεια του θερμικού και του ηλεκτρικού φορτίου. Εδώ είναι αναγκαία η καταγραφή των ακρότατων και των μέσων τιμών. Αυτή η καταγραφή μπορεί να γίνει μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας και των λογαριασμών κατανάλωσης καυσίμου για την διάρκεια ενός έτους ή και μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος. Ακόμα καλύτερα όμως μπορεί να γίνει με την χρήση αξιόπιστων μετρητών. Έπειτα εξετάζονται οι δυνατότητες διασύνδεσης της μονάδας ΣΗΘ με το υπάρχον δίκτυο ηλεκτροδότησης και τηλεθέρμανσης, και επίσης με τα δίκτυα τροφοδοσίας συγκεκριμένων καυσίμων. Στην περίπτωση που η εφαρμογή είναι απομονωμένη γίνεται και μελέτη για την αναγκαιότητα και την ένταξη περαιτέρω εξοπλισμού όπως π.χ. μπαταρίες. Τέλος, εξετάζεται η συμβατότητα των θερμικών φορτίων με την φύση της θερμότητας που παρέχει μια συγκεκριμένη τεχνολογία ΣΗΘ, οι δυνατότητες από άποψη χώρου για την εγκατάσταση και το νομικό πλαίσιο που μπορεί να θέτει περιορισμούς, όπως για παράδειγμα στα επίπεδα ηχορύπανσης.

Για εγκαταστάσεις που βρίσκονται στη φάση σχεδιασμού ή αρχικής κατασκευής, η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί κατά τη διάρκεια της προμελέτης είναι παρόμοια, με την διαφορά ότι θα γίνουν υποθέσεις και παραδοχές οι οποίες θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικές. Το θετικό σε αυτή την περίπτωση είναι ότι η εγκατάσταση και η διασύνδεση του συστήματος ΣΗΘ είναι πιο εύκολη και έτσι αυξάνονται οι πιθανότητες οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης.

Στο τέλος της διαδικασίας προμελέτης, παράγονται τεχνικά σχέδια για την κατανόηση των πιθανών εμποδίων ή προβλημάτων που θα προκύψουν.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Το στάδιο αυτό είναι το σημαντικότερο, καθώς σε αυτό λαμβάνονται οι κυριότερες αποφάσεις. Σε αυτό αναλύονται πιο διεξοδικά τα στοιχεία από την προμελέτη, αποφασίζεται πόσες μονάδες θα χρησιμοποιηθούν και το είδος των μηχανών σε αυτές, ώστε να καλύπτονται αποτελεσματικότερα το θερμικό και το ηλεκτρικό φορτίο. Και γίνεται και η οικονομική μελέτη για να κριθεί αν αξίζει να προχωρήσει το έργο κατασκευής της μονάδας ΣΗΘ.

Πιο συγκεκριμένα από τεχνικής πλευράς:

- Από την συλλογή των στοιχείων, γίνεται σχεδιασμός των διαγραμμάτων φορτίων για την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα υπό μορφή ατμού σε διάφορα επίπεδα πίεσης και θερμοκρασίας, τη θερμότητα υπό μορφή καυτού ύδατος κατόπιν των διάφορων θερμοκρασιών, τις απαιτήσεις ψύξης κλπ.
- Γίνεται συλλογή των πληροφοριών για τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων, καθώς επίσης και για τα νομικά και νομοθετικά ζητήματα.
- Επιλέγεται η τεχνολογία συμπαραγωγής που μπορεί να παρέχει την ποιότητα της θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται και έχει το απαραίτητο PHR
- Επιλέγεται ο αριθμός των μονάδων και της ικανότητας κάθε μονάδας που από την άποψη της ενεργειακής απόδοσης, πρέπει να είναι τέτοια ώστε να έχουμε την μικρότερη δυνατή απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον
- Επιλέγεται ο τρόπος λειτουργίας της εγκατάστασης

- Υπολογίζονται όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα ή/και συστήματα που απαιτούνται, ώστε η μονάδα να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα (πχ αντλίες, συνδέσεις με δίκτυα ενέργειας, κλπ.
- Υπολογίζεται η χωροταξική τοποθέτησή του καθώς και τα έργα πολιτικού μηχανικού, εφόσον απαιτούνται
- Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη διαφορά φάσης μεταξύ του ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου, εξετάζεται η δυνατότητα κατασκευής μιας εγκατάστασης αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ή μιας εγκατάστασης ηλεκτρικής αποθήκευσης, προκειμένου να αυξηθεί η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Από οικονομικής πλευράς:

- Υπολογίζονται όλα τα πιθανά κόστη της επένδυσης, λαμβάνονται υπόψη, δηλαδή τα ίδια κεφάλαια, το τυχόν δανειακό κεφάλαιο, και εφόσον υπάρχει, η κρατική επιχορήγηση για το έργο
- Υπολογίζεται η απόσβεση της επένδυσης με τις ισχύουσες ενεργειακές τιμές (αγοράς/πώλησης ΗΕ)
- Υπολογίζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης
- Βρίσκεται η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης.
- Καθώς και όποιος άλλος οικονομικός δείκτης κρίνεται αναγκαίος από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η επένδυση

Στο τέλος αυτού του σταδίου, σχεδιάζονται γενικά σχέδια (μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά, κλπ), υπό κλίμακα και συμπληρώνονται τα απαιτούμενα έντυπα παραγγελίας του εξοπλισμού.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι αυτή η διαδικασία μπορεί να καταλήξει σε περισσότερα από ένα πιθανά σενάρια επιλογής τεχνολογίας Συμπαγωγής. Έτσι, οι διάφορες διαδικασίες θα πρέπει να επαναληφθούν για κάθε σενάριο και στο τέλος να γίνει επιλογή του πιο αποδοτικού από αυτά.

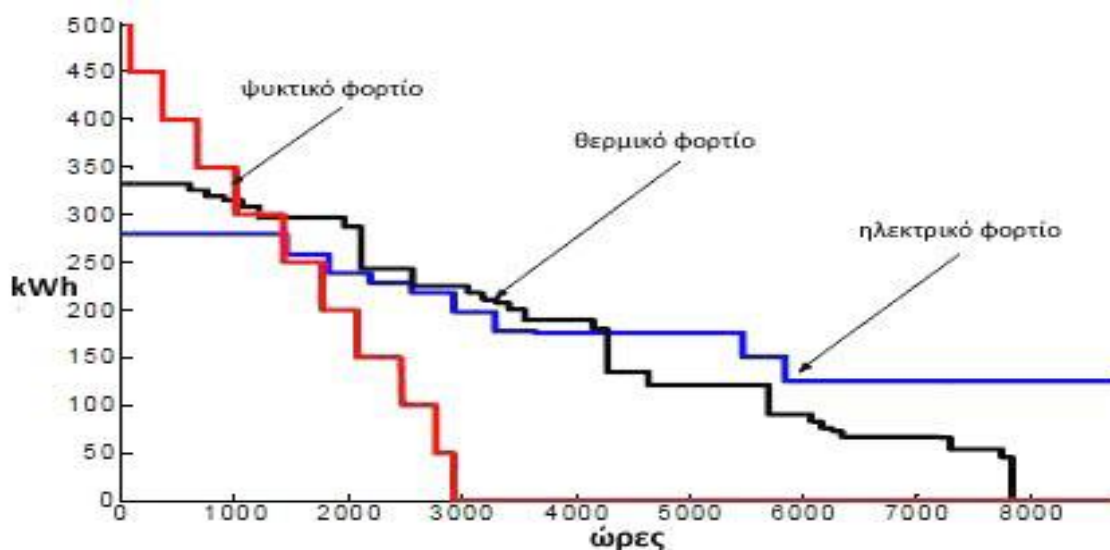
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΦΟΡΤΙΟΥ-ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Οι καμπύλες φορτίου είναι διαγράμματα που απεικονίζουν την απαιτούμενη ισχύ συναρτήσει του χρόνου. Η σχεδίαση τους είναι εξαιρετικά σημαντική για την μελέτη της ενεργειακής κατάστασης μίας εγκατάστασης. Στην περίπτωση της Συμπαγωγής τα φορτία ενέργειας που πρέπει να καταγραφούν είναι δύο. Τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και της θερμικής-ψυκτικής. Τα φορτία αυτά μπορεί να έχουν διαφορετικές ώρες αιχμής και διαφορετική ζήτηση τόσο κατά την διάρκεια μίας ημέρας, όσο και με την αλλαγή των εποχών. Προφανώς επειδή είναι αρκετά δύσκολη η καταγραφή των φορτίων αυτών για κάθε ώρα και κάθε ημέρα του χρόνου, συνήθως γίνεται καταγραφεί για μία «τυπική ημέρα» κάθε μήνα του χρόνου. Ακόμα μπορεί να γίνεται καταγραφεί στο σύνολο των ημερών ενός μήνα και για τους δώδεκα μήνες του χρόνου. Στην περίπτωση υπό κατασκευής εγκαταστάσεων συνήθως οι καμπύλες φορτίου σχεδιάζονται με στοιχεία που υπάρχουν από παρόμοια κτήρια. Γενικά κατά τον σχεδιασμό μίας μονάδας ΣΗΘ, θα πρέπει να γίνουν προβλέψεις για πιθανές μελλοντικές αυξήσεις ή μειώσεις σε κάθε φορτίο. Ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης υπάρχουν και διαφορετικά μοντέλα για τον προσδιορισμό κάθε καμπύλης φορτίου.

Από τις καμπύλες φορτίου μπορούν να προκύψουν οι καμπύλες διάρκειας φορτίου που παρουσιάζουν τη κατανάλωση (ή ζήτηση) ισχύος στην διάρκεια μίας χρονικής περιόδου. Από αυτές τις καμπύλες μπορεί να προσδιοριστεί το φορτίο βάσης καθώς και η βέλτιστη ισχύς του συστήματος ΣΗΘ που πρέπει να επιλεγεί. Κριτήριο είναι η αύξηση των ωρών λειτουργίας του συστήματος ΣΗΘ, ώστε να είναι και πιο γρήγορη οι απόσβεσή του.

Συνήθως επιλέγεται είτε η ισχύς που απαιτείται για 5000-5500h μέσα στις 8760h ενός έτους, είτε με άξονα x-τις ώρες και άξονα y-το φορτίο, το σημείο όπου το περικλειόμενο εμβαδό χυ μεγιστοποιείται.

Ένα παράδειγμα καμπυλών διάρκειας φορτίων για ένα νοσοκομείο φαίνεται παρακάτω:



ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η μελέτη εφαρμογής αποτελεί το τελικό στάδιο σχεδιασμού πριν την υλοποίηση του έργου. Στη μελέτη εφαρμογής, ο ενεργειακός μελετητής της εγκατάστασης ΣΗΘ σχεδιάζει λεπτομερώς τα τελικά σχέδια.

Τα σχέδια αφορούν κυρίως:

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΒΙΟΜΑΖΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

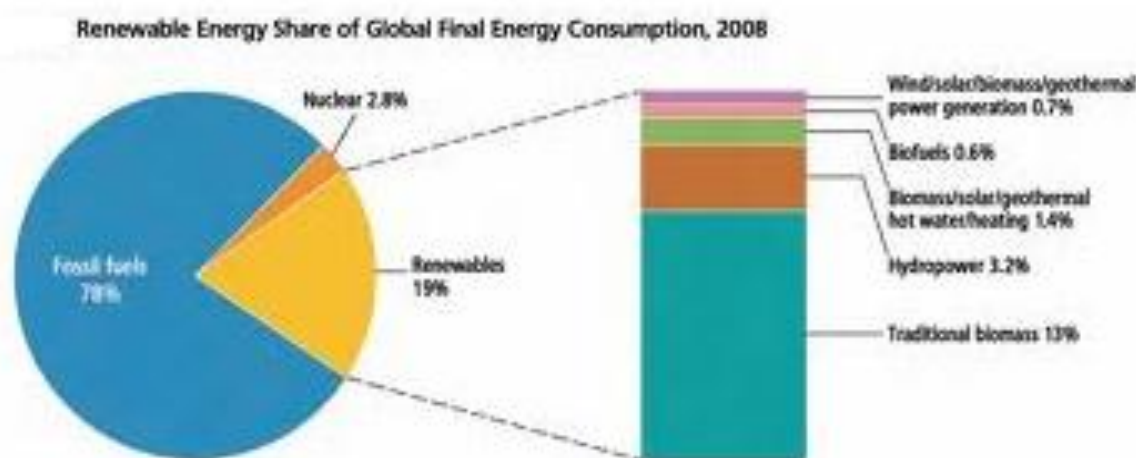
Στην έννοια των «ανανεώσιμων πηγών ενέργειας» (ΑΠΕ) εντάσσεται γενικά κάθε μορφή ενέργειας η οποία μπορεί να αναπαράγεται μέσω φυσικών φαινομένων. Αφαιρετικά, όλες οι ΑΠΕ προκύπτουν από την ηλιακή ενέργεια, την δεσμευμένη ενέργεια στο εσωτερικό της γης και την βαρύτητα. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, οι υδατοπτώσεις, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από τα κύματα, από τους ωκεανούς και από της παλίρροιες καθώς και άλλες μορφές ενέργειας που δεν είναι μπορούν να είναι ακόμα εκμεταλλεύσιμες.

Οι ΑΠΕ και κυρίως η αιολική ενέργεια χρησιμοποιούνταν και στο παρελθόν. Σήμερα το ενδιαφέρον για αυτές τις μορφές ενέργειας, σε αντιδιαστολή με την ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα προέκυψε πρώτον, μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 και την αύξηση των τιμών όλων των πετρελαιοειδών, δεύτερον λόγω της διόγκωσης τα τελευταία χρόνια των περιβαλλοντικών προβλημάτων και της μείωσης των επιπτώσεων τους από την χρήση ΑΠΕ και τρίτον λόγω της μεγάλης επικινδυνότητας που υπάρχει στην χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, οι ΑΠΕ δημιουργούν και επιλύουν γεωπολιτικά προβλήματα που σχετίζονται με την εισαγωγή και την εξαγωγή ενέργειας από μία χώρα, την αγορά ρύπων μεταξύ των διαφόρων κρατών κ.α.

Το δυναμικό των ΑΠΕ θεωρείται ότι υπερβαίνει κατά πολύ την σημερινή ζήτηση ενέργειας. Ωστόσο για μία σειρά από λόγους μάλλον πολιτικούς και λιγότερο τεχνολογικούς οι ΑΠΕ δεν έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό την χρήση των ορυκτών καυσίμων. Παρόλα αυτά, ακριβώς λόγω των προβλημάτων που επιλύουν, τα τελευταία χρόνια η διείσδυση των ΑΠΕ διαρκώς και αυξάνεται. Οι ΑΠΕ αρχίζουν να αντικαθιστούν τα συμβατικά καύσιμα σε τέσσερις κύριους τομείς:

1. Στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος
2. Στο ζεστό νερό και στη θέρμανση χώρου
3. Στα καύσιμα μεταφοράς
4. Στην αγροτική ενέργεια.

Όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα (REN21) το 2008 οι ΑΠΕ καταλάμβαναν το 19% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, με την βιομάζα να αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος τους. Βέβαια η περισσότερη από αυτή την βιομάζα καταναλώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες αποκλειστικά για θέρμανση.



Οι ΑΠΕ συντελούν σημαντικά στη μείωση των κύριων περιβαλλοντικών προβλημάτων, αφού μειώνουν σε τεράστιο βαθμό τις εκπομπές CO₂, τα τοξικά απόβλητα και τα ραδιενεργά απόβλητα. Επίσης μειώνουν τις εξορύξεις, τις καύσεις, τους κινδύνους

κατά την μεταφορά ενέργειας και την αποθήκευσή της, που έχουν οδηγήσει αρκετές φορές σε καταστροφή μεγάλων οικοσυστημάτων και οικιστικών περιοχών. Όμως η εγκατάστασή τους μπορεί να δημιουργεί τοπικά, μικρής έκτασης περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το κύριο μειονέκτημα των ΑΠΕ είναι η μικρή απόδοσή τους και το αρχικά υψηλό κόστος επένδυσης, για την δημιουργία μία μονάδας παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, η πηγή ενέργειας είναι φθηνή και ανεξάντλητη κάτι που σε συνδυασμό με τον μεγάλο χρόνο ζωής κάποιων τεχνολογιών και το μικρό κόστος συντήρησής τους, τις καθιστά οικονομικά συμφέρουσες. Ενώ πολλά κράτη λόγω της περιβαλλοντικής και γεωπολιτικής διάστασης των ΑΠΕ επιχορηγούν την εγκατάστασή τους.

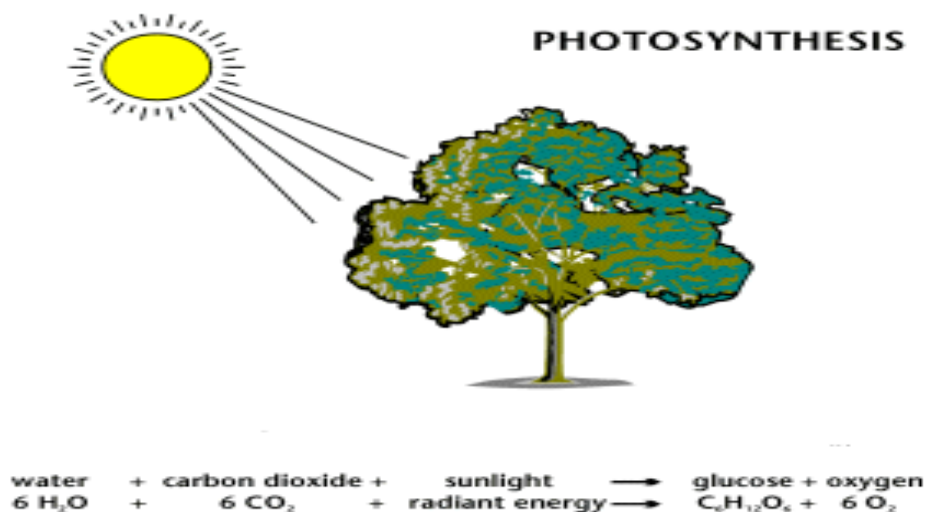
2.2 ΒΙΟΜΑΖΑ

2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο βιομάζα αναφερόμαστε ουσιαστικά σε κάθε μορφή ύλης που έχει οργανική-βιολογική προέλευση.

Πιο συγκεκριμένα ως βιομάζα ορίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων (Ν. 3468/2006).

Η βιομάζα περιέχει αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια καθώς είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών. Οι βασικές πρώτες ύλες για αυτό είναι το νερό και το CO₂ που αφθονούν στην φύση και δευτερεύοντος ανόργανα στοιχεία που είναι απαραίτητα στα φυτά. Οι θεμελιώδεις αντιδράσεις πραγματοποιούνται στους χλωροπλάστες, οι οποίοι μέσω της χλωροφύλλης, συλλαμβάνουν τα φωτόνια και στη συνέχεια ενεργοποιούν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης που ανάγει το CO₂ σε υδατάνθρακες. Κατά την πορεία της φωτοσύνθεσης σχηματίζονται οργανικές ενώσεις, δηλαδή βιομάζα. Εδώ φαίνεται και ο σπουδαίος ρόλος της γεωργίας ως παραγωγού ενέργειας, αφού απορροφά το CO₂ και το μετατρέπει σε βιομάζα. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει αυτή την διαδικασία:



Η αξία της βιομάζας από ενεργειακής πλευράς έγκειται στο γεγονός ότι αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο και έτσι να ανακτηθεί το ενεργειακό της περιεχόμενο. Και ακόμα και πιο σημαντικά στο γεγονός ότι η βιομάζα είναι μία ανανεώσιμη

πηγή ενέργειας με την έννοια ότι καίγεται αλλά και αναπαράγεται συνεχώς. Ο φυσικός ενεργειακός κύκλος της βιομάζας που φαίνεται πιο κάτω βασίζεται στην αέναη χρήση των φυσικών ενεργειακών ροών και μιμείται τους οικολογικούς κύκλους της Γης. Έτσι, ελαχιστοποιεί την εκπομπή ρύπων στον αέρα, τους ποταμούς και τους ωκεανούς. Το μεγαλύτερο μέρος του άνθρακα για την δημιουργία της βιομάζας προσλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα και αργότερα επιστρέφει σε αυτήν. Ενώ, και οι θρεπτικές ουσίες για την δημιουργία της λαμβάνονται από το έδαφος και στη συνέχεια επιστρέφουν σε αυτό. Δηλαδή, τα υπολείμματα ενός σταδίου του κύκλου συνιστούν τις εισροές του επόμενου σταδίου.



Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σε αυτήν εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που αποτελούσαν την βασική πηγή ενέργειας στο μεγαλύτερο μέχρι σήμερα μέρος της ιστορία της ανθρωπότητας. Στη χώρα μας μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, η βιομάζα κάλυπτε το 97% των ενεργειακών αναγκών. Η ουσιαστική εκτόπιση της βιομάζας ως καύσιμου έγινε σταδιακά με την βιομηχανική επανάσταση όπου υπήρξε ανάγκη για καύσιμα με μεγάλη θερμογόνο δύναμη και όπου τα ορυκτά καύσιμα υπήρχαν σε πληθώρα και αποτελούσαν μία φθηνή λύση, χωρίς να φαίνονται οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Ακόμα και στην διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, κατά τον οποίο πολλές παραγωγικές δυνάμεις είχαν καταστραφεί, η βιομάζα χρησιμοποιούταν αρκετά, ακόμα και σε εφαρμογές όπως η κίνηση οχημάτων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα φορτηγά που είχαν μεγάλες φιάλες στις οποίες αποθήκευαν αέριο παραγόμενο από βιομάζα.

2.2.2 ΕΙΔΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Ως βιοκάυσιμα ορίζονται τα υγρά και αέρια καύσιμα που παράγονται από βιομάζα. Ενώ τα στερεά καύσιμα που είναι τα ξύλα, τα pellets, οι μπριγκέτες, τα κουκούτσια από διάφορους καρπούς (π.χ. πυρήνας ελιάς, κουκούτσια ροδάκινου κ.α.), η πούδρα ξύλου, τα πριονίδια κλπ αναφέρονται απλώς ως βιομάζα. Τα βιοκάυσιμα είναι:

- **Βιοαιθανόλη:** αιθανόλη η οποία παράγεται από βιομάζα ή/και από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων, για χρήση ως βιοκάυσιμο.
- **Βιοντίζελ:** μεθυλεστέρας ο οποίος παράγεται από φυτικά ή ζωικά έλαια, ποιότητας ντίζελ, για χρήση ως βιοκάυσιμο.
- **Βιοαέριο:** καύσιμο αέριο το οποίο παράγεται από βιομάζα ή/και από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαριστεί φτάνοντας ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως βιοκάυσιμο ή ξυλαέριο.
- **Βιομεθανόλη:** μεθανόλη η οποία παράγεται από βιομάζα, για χρήση ως βιοκάυσιμο.
- **Βιοδιμεθυλαιθέρας:** διμεθυλαιθέρας ο οποίος παράγεται από βιομάζα, για χρήση ως βιοκάυσιμο.
- **Βιο-ETBE:** ETBE ο οποίος παράγεται από βιοαιθανόλη. Το κατ' οίκον ποσοστό βιο-ETBE το οποίο υπολογίζεται ως βιοκάυσιμο ανέρχεται σε 47%.
- **Βιο-MTBE:** καύσιμο το οποίο παράγεται από βιομεθανόλη. Το κατ' οίκον ποσοστό βιο-MTBE που υπολογίζεται ως βιοκάυσιμο ανέρχεται σε 36%.
- **Συνθετικά βιοκάυσιμα:** συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μίγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα.
- **Βιουδρογόνο:** υδρογόνο το οποίο παράγεται από βιομάζα ή/και από βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων για χρήση ως βιοκάυσιμο.
- **Καθαρά φυτικά έλαια:** έλαια από ελαιούχα φυτά, παραγόμενα με συμπίεση, έκθλιψη ή ανάλογες μεθόδους, φυσικά ή εξευγενισμένα αλλά μη χημικώς τροποποιημένα, όταν είναι συμβατά με τον τύπο του οικείου κινητήρα και τις αντίστοιχες προϋποθέσεις όσον αφορά τις εκπομπές.

2.2.3 ΠΗΓΕΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Όπως φάνηκε από τον πιο πάνω ορισμό, κάθε οργανικό υλικό, που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από την φυτική παραγωγή, με εξαίρεση τα ορυκτά καύσιμα, μπορεί να θεωρηθεί βιομάζα. Η βιομάζα προέρχεται από τα φυτά, τα δέντρα, υλικά όπως η ζωική κοπριά και το άχυρο, το χαρτί και τα απόβλητα του, τα απόβλητα σφαγείων, τα οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, τα απόβλητα φυτικά λάδια και τα υπολείμματα τροφίμων. Όλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικά συστήματα για την παραγωγή τόσο θερμότητας, όσο και μηχανικής-ηλεκτρικής ενέργειας.

Κύριες πηγές βιομάζας, σε μεγάλες ποσότητες μπορούν να είναι:

Η υλοτομία και οι βιομηχανίες ξυλείας:

Χωρίς την περαιτέρω υλοτόμηση των δασών αλλά με την αξιοποίηση των παραπροϊόντων ξύλου, τα οποία παραμένουν, συνήθως, ανεκμετάλλευτα, προκύπτουν άμεσα ή μετά από επεξεργασία βιοκάυσιμα ικανά για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών. Τα ξυλώδη υπολείμματα που λαμβάνονται από την επεξεργασία του ξύλου (πριονίδι, ροκανίδι, θρύμματα ξύλου, κλπ.), καθώς και υπολείμματα ξυλείας που παράγονται κατά

την υλοτόμηση των δέντρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή για να καλύψουν ανάγκες θέρμανσης.

Περιοχές με γεωργική δραστηριότητα

Τα υπολείμματα από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως π.χ. το άχυρο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή καύσιμης ύλης. Τα κλαδέματα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες μπορούν να αξιοποιηθούν και να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας στερεά βιοκαύσιμα, προσφέροντας, ταυτόχρονα, ένα επιπλέον έσοδο για τους παραγωγούς.

Παράλληλα τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται σε πολλές χώρες καλλιέργειες αποκλειστικά για την παραγωγή βιοκαυσίμων, με καλλιέργεια δενδρωδών ειδών ταχείας ανάπτυξης. Οι ενεργειακές καλλιέργειες, όπως λέγονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας άμεσα ή έμμεσα μέσω εναλλακτικών αέριων βιοκαυσίμων (βιοαέριο), υγρών βιοκαυσίμων (βιοντίζελ) καθώς και στερεών βιοκαυσίμων (pellets). Η επέκταση όμως αυτών των καλλιεργειών έχει ήδη αρχίσει να δημιουργεί κοινωνικά προβλήματα κυρίως λόγω της μείωσης των καλλιεργειών για σίτιση.

Περιοχές με κτηνοτροφική δραστηριότητα

Το βασικό απόβλητο όλων των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι η ζωική κοπριά. Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισης της γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά την μαζική εκτροφή ζώων (συνήθως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών) σε περιορισμένους και συστεγασμένους χώρους. Μία επιστημονική διαχείριση των απορριμμάτων αυτών των αποβλήτων είναι πολύ σημαντική και πιθανότατα θα οδηγούσε και σε εκμετάλλευση των αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας. Έτσι λοιπόν, με τη βοήθεια της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης τα υγρά ζωικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο. Μετά την παραγωγή του, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιείται για θέρμανση, κίνηση ή σε σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Ταυτόχρονα τα χωνεμένα υπολείμματα της κοπριάς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιολογικό λίπασμα.

Βιομηχανίες τροφίμων

Τα απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων, είτε βρίσκονται σε στερεά ή σε υγρή μορφή, μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά, επίσης μέσω της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης και της παραγωγής βιοαερίου. Έτσι, υγρά απόβλητα που φημίζονται για το υψηλό ρυπαντικό τους φορτίο (π.χ. τυρόγαλα, κασίγαρος, απόβλητα σφαγείων, απόβλητα χυμοποιείων, ζυθοποιείων και βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών) και την έντονη ρύπανση που προκαλούν κατά την ανεξέλεγκτη διάθεση τους, σταματούν, πλέον, να αποτελούν πρόβλημα για τους παραγωγούς καθώς μετατρέπονται σε ωφέλιμη ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων προκύπτουν πολλαπλά οφέλη: διακόπτεται η περιβαλλοντική υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών από την λειτουργία των ρυπογόνων βιομηχανιών με τρόπο που όχι μόνο δεν κοστίζει στον παραγωγό του αποβλήτου, αλλά του προσφέρει επιπλέον έσοδα από την πώληση της εναλλακτικής ενέργειας και την αποφυγή των υψηλών προστίμων που οφείλει να πληρώνει για την ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων του. Αντιστοίχως και για τα στερεά οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, υπάρχουν αποτελεσματικές τεχνολογίες χρήσης τους για την παραγωγή βιοαερίου και ωφέλιμης ενέργειας.

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μία κατηγοριοποίηση της βιομάζας ως προς την χρήση της και αναφέρονται οι πηγές από όπου μπορεί να αντληθεί κάθε κατηγορία βιομάζας:

Απόβλητα	φυτικής παραγωγής ζωικής παραγωγής επεξεργασίας αγροτικών προϊόντων (βιομηχανία τροφίμων & ζωοτροφών) υπολείμματα καλλιεργειών βιομηχανίας ξύλου αστικά απόβλητα
Δασική Βιομάζα	ξύλο υπολείμματα δασικής ξυλείας (φλοιοί, κλαδιά, φύλλα και πριονίδια) δένδρα, θάμνοι και υπολείμματα του δασικού κύκλου
Ενεργειακές Καλλιέργειες	δασικές καλλιέργειες μικρού κύκλου φυλλώδεις δασικές καλλιέργειες μονοετείς μη-ξύλιδες καλλιέργειες δημητριακά σακχαρώδεις καλλιέργειες (τεύτλα, ζαχαρόχορτο, ζαχαροκάλαμο)
	κτηνοτροφικές καλλιέργειες (τριφύλλι, βοσκότοποι) ελαιούχες καλλιέργειες (κράμβη, σόγια, ηλίανθος) υδροβία φυτά (άλγες, καλαμιώνες, υδροβίος υάκινθος)

Τα ανανεώσιμα αποθέματα βιομάζας, ως προς πηγές από τις οποίες προέρχονται, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες (Demirbas, 2001):

- ξύλο και απόβλητα ξυλείας 64 %
- αστικά απόβλητα 24 %
- αγροτικά/ζωικά απόβλητα 5 %
- αέρια ΧΥΤΑ 5 %

Το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την χρήση βιομάζας εξαρτάται κάθε φορά από την συγκεκριμένη εφαρμογή. Γενικά όμως, από τις παραπάνω κατηγορίες βιομάζας οι πιο αποδοτικές οικονομικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι τα υπολείμματα, δηλαδή τα οργανικά υποπροϊόντα τροφών, ινών και δασικής παραγωγής. Λόγω κυρίως του χαμηλού κόστους προμήθειάς τους. Ακόμα, κοντά σε αστικά και βιομηχανικά κέντρα, υλικά χαμηλού κόστους μπορούν να είναι τα υπολείμματα καθαρού ξύλου (άχρηστες παλέτες και κασόνια, υπολείμματα ξυλουργείων, κλπ) καθώς και τα αστικά λύματα. Η χρησιμοποίηση των υπολειμμάτων βιομάζας ως καύσιμο μπορεί να υποκαταστήσει τις αγορές συμβατικών καυσίμων, σε κάποιες χρήσεις, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψής τους.

Συμπερασματικά, πηγές βιομάζας μεγαλύτερες οι μικρότερες υπάρχουν κοντά σε κάθε πιθανή εφαρμογή, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι μπορούν όλες οι τοπικές πηγές να χρησιμοποιηθούν. Αυτό το οποίο είναι αναγκαίο με βάση τις σημερινές συνθήκες είναι μία σωστή πολιτική στην Διαχείριση Απορριμμάτων, που να βασίζεται σε επιστημονικές μελέτες και που θα οδηγούσε και στην πολύ μεγαλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της βιομάζας ως καυσίμου.

2.2.4 ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Παρακάτω δίνονται πίνακες με την κατώτατη θερμογόνο δύναμη που αποδίδουν διάφορα είδη βιομάζας, και συγκρίσεις σε σχέση με καύσιμα όπως το αργώ πετρέλαιο. Επίσης φαίνονται και αλλά στοιχεία σχετικά με την υγρασία κάθε είδους και την πυκνότητα τους:

Typical calorific values of Biomass vs Fuel

	Moisture	kWh / kg	kcal / kg	Weight kg / m3	kg = 1liter fuel
Bark fir	50%	2,14	1,84	280	4,65
Briquettes	20%	4,9	4,214	660	2,03
Forest wood chip dry	40%	2,89	2,511	240	3,44
Forest wood chip fresh	55%	2	1,72	310	4,98
Miscanthus	10%	4,4	3,78	140	2,26
Rapeseed	9%	6,83	5,87	700	1,46
Sawdust	6%	4,2	3,629	160	2,36
Stover rapeseed	15%	4,17	3,58	115	2,43
Sunflower	9%	5,56	4,78	600	1,79
Wheat	15%	4,17	3,58	700	2,4
Wheat Straw	15%	4	3,44	100	2,49
Wood chip	20%	4,22	3,629	175	2,36
Wood granulate	8%	4,44	3,81	600	2,24
Woodlogs ash	45%	2,61	2,245	650	3,81
Woodlogs ash dry	20%	4,08	3,509	400	2,44
Coal	10%	7	6,02	750	1,36
Fuel gasoil		11,8	11,2	840	0,84
Natural gas		10,83	9,314	0	0

Energy data for selected agricultural by-products

Product	Moisture	Approx. Ash content	LHV
	(%, dry basis)	(%)	(MJ/kg)
Bagasse Sugarcane	18	4	17-18
Coconut husks	5-10	6	16,7
Coffee husks	13	8-10	16,7
Corn Stover	5-6	8	17-19
Corn cobs	15	1-2	19,3
Cotton husks	5-10	3	16,7
Groundnut shells	3-10	4-14	16,7
Miscnathus	14	1-3	19-20
Oil-palm fibres	55	10	7-8
Oil-palm husks	55	5	7-8
Poplar wood	5-15	1.2	17-19
Rice hulls	9-11	15-20	13-15
Rice straw and husk	15-30	15-20	17-18
Switchgrass	8-15	6	18-20
Wheat straw and husk	7-15	8-9	17-19
Willow wood	12	1-5	17-19

Typical biomass fuels net calorific values

Biomass source	Biomass feedstock	kWh/kg	MJ/kg	toe/t
Agricultural residue	Fresh fruits	4.1	14.7	0.35
	Citrus fruits	4.1	14.7	0.35
	Dry fruits	4.1	14.7	0.35
	Olives	5.0	18.1	0.43
	Vineyard	4.9	17.8	0.42
	Wheat	4.8	17.1	0.40
	Maize	4.5	16.3	0.38
	Barley	4.5	16.2	0.38
	Oats	4.6	16.6	0.39

Calorific power - Bio Mass - Guide values table of various solid and liquid fuels

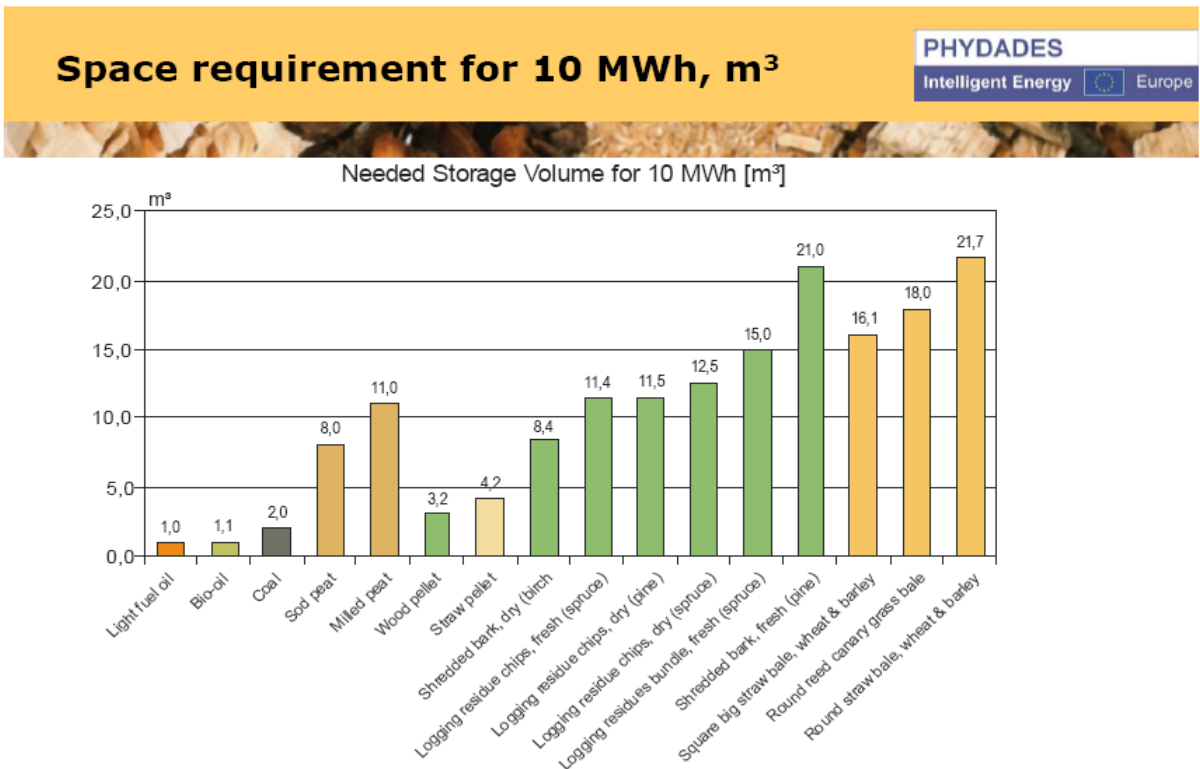
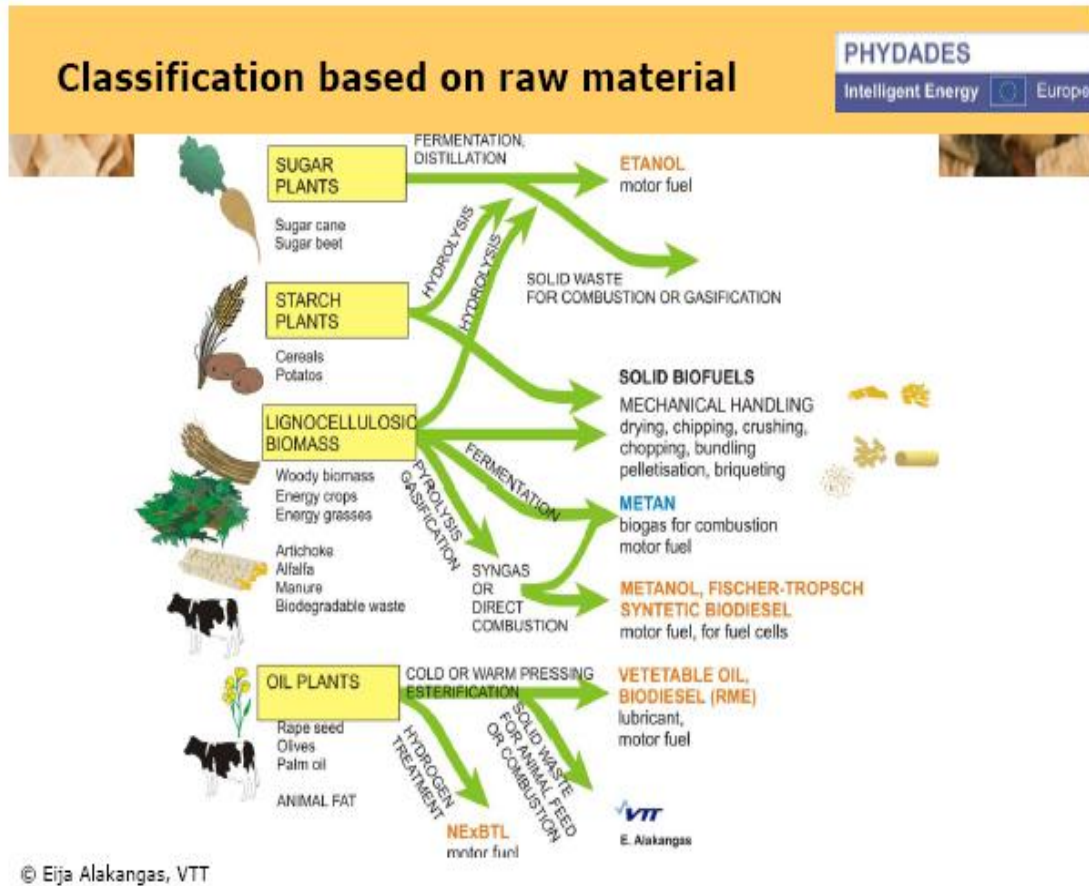
Fuels - Bio Mass	~ calorific power (CPu)kJ/kgs	~ calorific power (CPu) kWh/kgs	~ calorific power (CPu) kcal/kgs	~ calorific power (CPu) BTU
Bark, wet	5.460	1,5	1.300	5.155
Bark (during summer)	20.100	5,5	4.800	19.045
Bark, average value	9.450	2,6	2.255	8.945
Chips, wet	13.800	3,8	3.290	13.055
Sanding dust	16.700-17.500	4,6-4,8	3.985-4.180	15.810-16.585
Saw dust & shavings, wet	9.600	2,6	2.290	9.085
Saw dust & shavings, dry	14.600	4,4	3.785	15.015
Timber (wood), dry	15.500	4,3	3.700	14.680
Timber (wood), wet	10.500	2,9	2.500	9.920
Timber (bone dried),	18.900	5,2	4.500	17.855
Pellets	18.900	5,2	4.515	17.915
Wooden briquette	18.900	5,2	4.500	17.855

Types of fossil fuels				
Crude oil	46.200	12,8	11.035	43.785
Fuel oil (EL) (EU Standard)	42.500	12,9	11.150	44.240
Mineral coal (Germany)	29.400	8,1	7.020	27.855
Natural gas	35.170(m³)	9,7(m³)	8.400(m³)	33.330(m³)
Soft coal (brown coal), raw	10.000	2,7	2.385	9.460
Soft coal briquette (brown coal) (Germany)	20.100	5,5	4.800	19.045

Fuel	Net calorific value (MJ/kg)	Annual yield per hectare (t/ha.a)	Energy per ha p.a.	
			GJ/ha.a	MWh/ha.a
Wood (forestry residues, SRW, thinnings, etc.) @ 30% MC	13	2.9 (2 odt)	37	10.3
Wood (SRC Willow) @ 30% MC	13	12.9 (9 odt)	167	46
Miscanthus @ 25% MC	13	17.3 (13 odt)	225	63
Wheat straw @ 20% MC	13.5	4.6 (3.7 odt)	62	17
Biodiesel (from rapeseed oil)	37	1.1	41	11.3
Bioethanol (from sugar beet)	27	4.4	119	33
Bioethanol (from wheat)	27	2.3	62	17
Biogas (from cattle slurry)	20	0.88	18	4.9
Biogas (from sugar beet)	20	5.3	106	29

	Specific Energy Density by mass (MJ/kg)	Energy Density by volume (MJ/liter)	in Btu per lb	In BTU per US gallon
Rapeseed oil		34 - 36		
Sunflower oil	39	33		
Gas Oil			19,200	
Fuel Oil (Bunker)			18,300	
Coal (Bituminous)	27		10,200 - 14,600	
Charcoal	30			
Wood	15 - 18		6,000	
Dry cow (camel) dung	10 - 15			

Ακόμα στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται διάφορες πηγές βιομάζας και τα βιοκαύσιμα που παράγουν και επίσης ο αποθηκευτικός χώρος που χρειάζεται για την παραγωγή 10MWh:

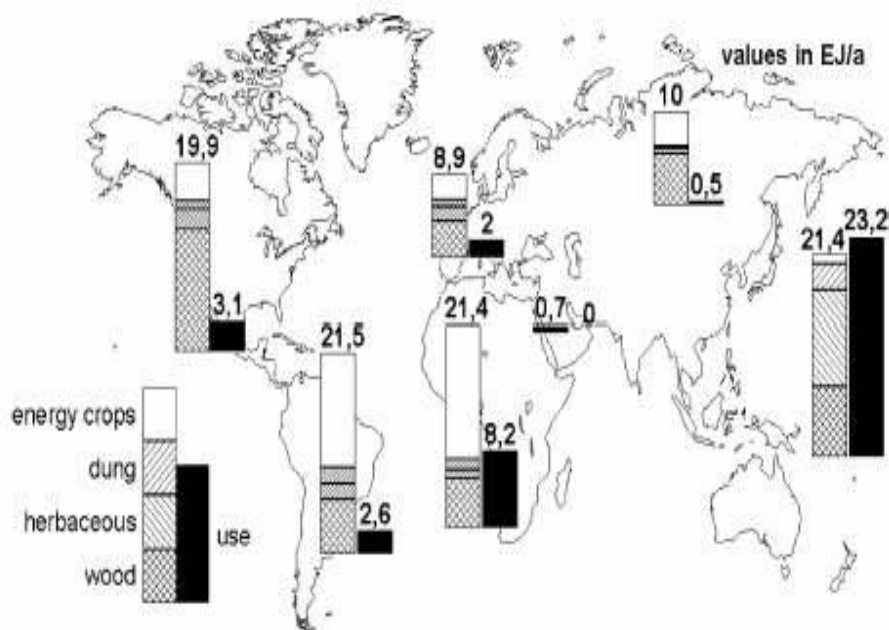


2.2.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Η Διαχείριση Απορριμμάτων (ΔΑ) περιλαμβάνει μία σειρά από διαδικασίες, σε κάθε μία από τις οποίες μπορούν να γίνουν μελέτες για την επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων ή την βέλτιστη από περιβαλλοντικής, υγιεινής, κοινωνικής πλευράς, διαχείρισης τους. Αυτές οι διαδικασίες είναι η προσωρινή αποθήκευση τους (π.χ. κάδοι για τα αστικά λύματα), η συλλογή των σκουπιδιών, η διαλογή τους, η μεταφορά τους. Ακόμα η μεταφόρτωσή των απορριμμάτων, η επεξεργασία τους, η αξιοποίηση τους (π.χ. μέσω ανακύκλωσης, λιπασματοποίησης, παραγωγής βιοκαυσίμων) και η διάθεσή τους στην αγορά. Ταυτόχρονα στη ΔΑ συγκαταλέγονται και όλες οι διαδικασίες επίβλεψης αυτών των διεργασιών, η κατασκευή και η συντήρηση των αναγκαίων εγκαταστάσεων και τέλος η έρευνα για αυτές. Άρα η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, ουσιαστικά αποτελεί περὰ από μία υπό-δραστηριότητα της παραγωγής ενέργειας και μία υπό-δραστηριότητα της ΔΑ.

2.2.6 ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δις. τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.)



Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας καταναλώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην Ευρώπη οι μεγαλύτεροι καταναλωτές βιομάζας για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών είναι η Γερμανία, η Γαλλία και η Σουηδία με μεγάλη διαφορά από τις υπόλοιπες χώρες. Οι δυνατότητες της βιομάζας για το έτος 2050 για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 25 υπολογίζεται να βρίσκεται περίπου σε 600.000 ktoe/έτος (Κομπελίτου & Κοσκινά, 2004). Η ολική εγκατεστημένη ισχύς από βιομάζα ήταν 17 GW το 2005 στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 (EurObserv'ER, Solid Biomass Barometer 2007, 2008).

Στην Ελλάδα υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο τα διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου με την παραδοχή

ότι 1 τόνος βιομάζας αποδίδει τόση ενέργεια όσο 0,4 τόνοι πετρελαίου (υπάρχουν κατηγορίες βιομάζας που αποδίδουν είτε περισσότερο, είτε λιγότερο). Ενώ, το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Ωστόσο, με τα σημερινά δεδομένα, η βιομάζα καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάλιοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδακίνων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά. Παρόλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι θετικές, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε αρκετές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

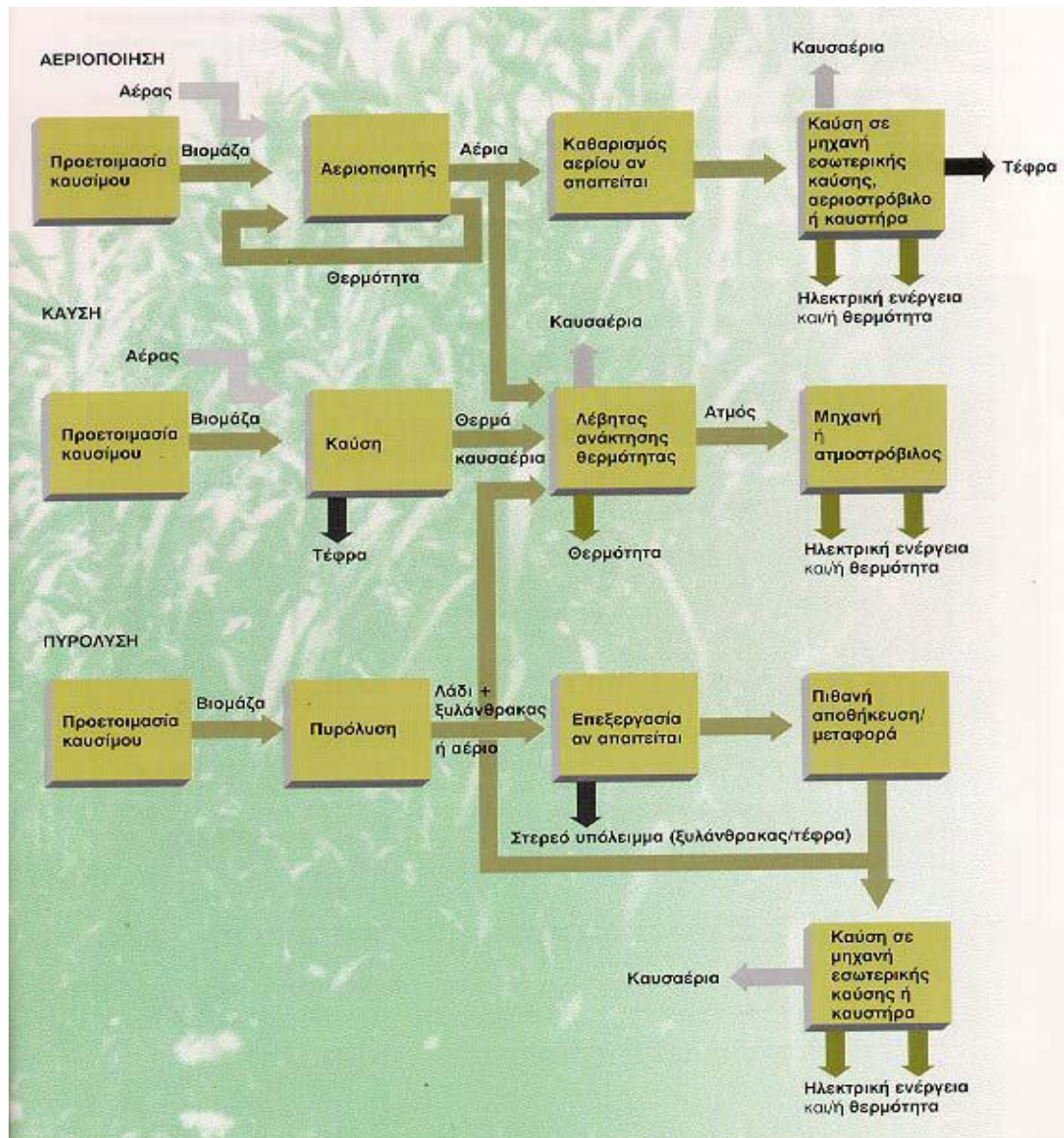
Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα. Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

2.2.7 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας (π.χ. θερμότητα, ψύξη, ηλεκτρισμός κλπ) είτε με απ' ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών. Ένας σχετικός περιορισμός που υπάρχει για τις εφαρμογές με βιομάζα είναι ότι επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής-μεταποίησης- μεταφοράς-αποθήκευσης, επιβάλλεται η αξιοποίησή της να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον τόπο παραγωγής της. Ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν και άλλοι περιορισμοί από πολλές πλευρές που συμπληκνώνονται στο υπάρχον θεσμικό πλαίσιο.

Οι βασικές παραγωγικές δραστηριότητες στις οποίες χρησιμοποιείται η βιομάζα είναι:

1. Η θέρμανση
2. Η Συμπαγωγή θερμότητας-ψύξης και ηλεκτρισμού
3. Η παραγωγή βιοκαυσίμων
4. Η παραγωγή λιπασμάτων
5. Η δημιουργία ενεργειακών καλλιεργειών



Μερικά παραδείγματα ευρέων εφαρμογών με βιομάζα στην χώρα μας αναλύονται παρακάτω συνοπτικά:

Η χρήση της βιομάζας για θέρμανση είναι η αρχαιότερη χρήση της και έχει μία σειρά από εφαρμογές:

Θέρμανση κτηρίων (οικιστικών-εμπορικών-βιοτεχνικών)

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση κτιρίων με τζάκι, σόμπα ή σύστημα κεντρικής θέρμανσης. Σε αντίθεση με τα κλασικά τζάκια, τα σύγχρονα ενεργειακά

τζάκια έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση ενός κτιρίου όπως μία οικία. Επίσης συνεχώς αυξάνεται η χρήση συστημάτων κεντρικής θέρμανσης με χρήση ξύλων, πυρηνόξυλου, μπριγκετών και pellets. Οι καυστήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σαν εναλλακτική λύση των συστημάτων θέρμανσης με καυστήρα πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Στην περίπτωση του πυρηνόξυλου, επειδή είναι διαβρωτικό, λόγω του ότι περιέχει υπολείμματα οξέων, θα πρέπει το σύστημα καύσης να κατασκευάζεται από ανθεκτικά υλικά. Η ενεργειακή αξία του ξύλου και του πυρηνόξυλου αντιστοιχεί περίπου στο 1/3 του πετρελαίου συγκρίνοντας 1Kg με 1lt, ενώ η τιμή τους είναι περίπου στο 1/8 της τιμής του πετρελαίου. Για τα pellets και τις μπριγκετές αντίστοιχα οι αναλογίες είναι περίπου 1/2 στην θερμογόνο δύναμη και 1/4 περίπου στην τιμή. Επομένως, σε αρκετές περιπτώσεις είναι συμφέρουσα η θέρμανση κτηρίων με βιομάζα. Τέλος για θέρμανση επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα είδη βιομάζας, όπως δασικά υπολείμματα, γεωργικά υπολείμματα, υπολείμματα ξυλουργείων κλπ.

Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών

Τηλεθέρμανση ονομάζεται η εξασφάλιση ζεστού νερού τόσο για τη θέρμανση των χώρων, όσο και για την απευθείας χρήση του σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μία πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα μεταφέρεται με δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια. Η τηλεθέρμανση παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη σε πολλές χώρες, καθώς εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η επίτευξη υψηλότερου βαθμού απόδοσης, ο περιορισμός της ρύπανσης του περιβάλλοντος και η δυνατότητα χρησιμοποίησης μη συμβατικών καυσίμων, οπότε προκύπτουν επιπλέον οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Γενικά η άμεση καύση βιομάζας με τους πιο συνηθισμένους τρόπους (π.χ. κλασικά τζάκια, κλασικές σόμπες) έχει χαμηλές ενεργειακές αποδόσεις. Στην Ελλάδα έχει ήδη εγκατασταθεί η πρώτη μονάδα τηλεθέρμανσης με χρήση βιομάζας. Η μονάδα αυτή, που βρίσκεται στην κοινότητα Νυμφασίας του Νομού Αρκαδίας, έχει ονομαστική ισχύ 1.200.000 kcal/h και καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης 80 κατοικιών και 600m² κοινοτικών χώρων. Ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούνται τρίμματα ξύλου, τα οποία προέρχονται από τεμαχισμό σε ειδικό μηχάνημα υπολειμμάτων υλοτομίας από γειτονικό δάσος ελάτων. Το έργο αυτό αποτελεί πρότυπο για την ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών σε κοινότητες και δήμους της χώρας, δεδομένου ότι εξασφαλίζει σημαντική εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, αξιοποίηση των τοπικών ενεργειακών πόρων και συνεισφέρει στη βελτίωση του περιβάλλοντος.

Θέρμανση θερμοκηπίων

Η αξιοποίηση της βιομάζας σε μονάδες παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί μία ενδιαφέρουσα και οικονομικά συμφέρουσα προοπτική για τους ιδιοκτήτες τους. Ήδη, στο 10% περίπου της συνολικής έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας, αξιοποιούνται διάφορα είδη βιομάζας. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους χρήσης της βιομάζας αποτελεί μία θερμοκηπιακή μονάδα έκτασης 2 στρεμμάτων, στο Νομό Σερρών, στην οποία καλλιεργούνται οπωροκηπευτικά. Σε αυτή τη μονάδα έχει εγκατασταθεί σύστημα παραγωγής θερμότητας, συνολικής θερμικής ισχύος 400.000 kcal/h, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο άχυρο σιτηρών. Η ετήσια εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων που επιτυγχάνεται φθάνει τους 40 τόνους πετρελαίου. Ακόμα πολλά θερμοκήπια στην Κρήτη θερμαίνονται με την χρήση των κλαδεμάτων ελιάς και του πηρυνόξυλου. Η μέθοδος αυτή θέρμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα θερμοκήπια βρίσκονται κοντά σε ελαιοπαραγωγικές περιοχές, που υπάρχει διαθέσιμο

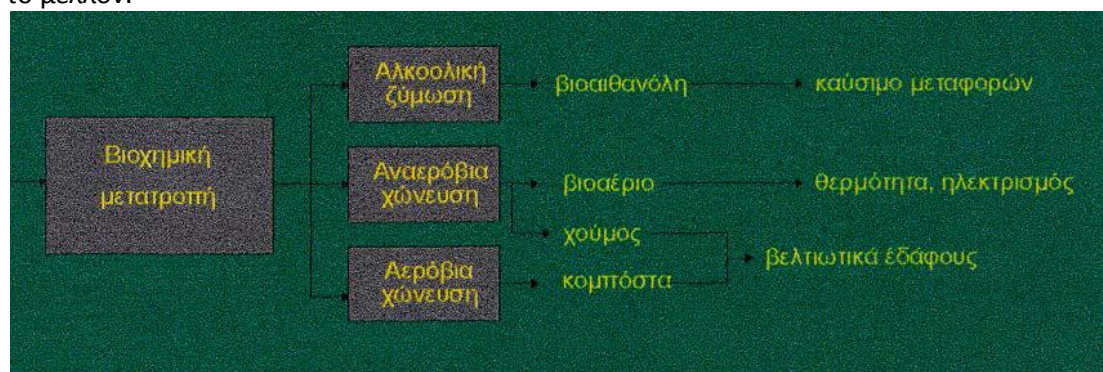
ελαιοπυρηνόξυλο, διαφορετικά η μεταφορά του κοστίζει αρκετά. Ωστόσο οι καυστήρες πυρηνόξυλου έχουν μικρή διάρκεια ζωής και χρειάζονται τακτικά συντήρηση.

Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες

Η χρήση της βιομάζας στη Συμπααραγωγή είναι μία τεχνολογία που αναπτύσσεται κυρίως τα τελευταία χρόνια. Η συμπααραγωγή από βιομάζα στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον σε αστικό-περιφερειακό επίπεδο. Η εξάπλωση της εφαρμογής της πρέπει να εξετασθεί με βασικό στόχο τη δημιουργία πολλών μικρών αποκεντρωμένων σταθμών συμπααραγωγής. Αυτοί θα πρέπει να εγκατασταθούν σε περιοχές της χώρας με σημαντικές ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, οι οποίες να βρίσκονται συγχρόνως κοντά σε καταναλωτές θερμότητας, καθώς η μεταφορά της θερμότητας παρουσιάζει υψηλές απώλειες και αυξημένο κόστος. Οι καταναλωτές της παραγόμενης θερμότητας των προαναφερθέντων σταθμών συμπααραγωγής μπορεί να είναι χωριά ή πόλεις, τα οποία θα θερμαίνονται μέσω κάποιας εγκατάστασης συστήματος τηλεθέρμανσης, θερμοκήπια, βιομηχανικές μονάδες με αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα κ.ά. Η παραγόμενη από τα συστήματα συμπααραγωγής ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό είτε να ιδιοκαταναλώνεται είτε να πωλείται στη ΔΕΗ, σύμφωνα με όσα ορίζονται στο Ν. 2244/94 (Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα). Ανάλογα με το είδος της βιομάζας και του βιοκαυσίμου είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι περισσότερες τεχνολογίες συμπααραγωγής.

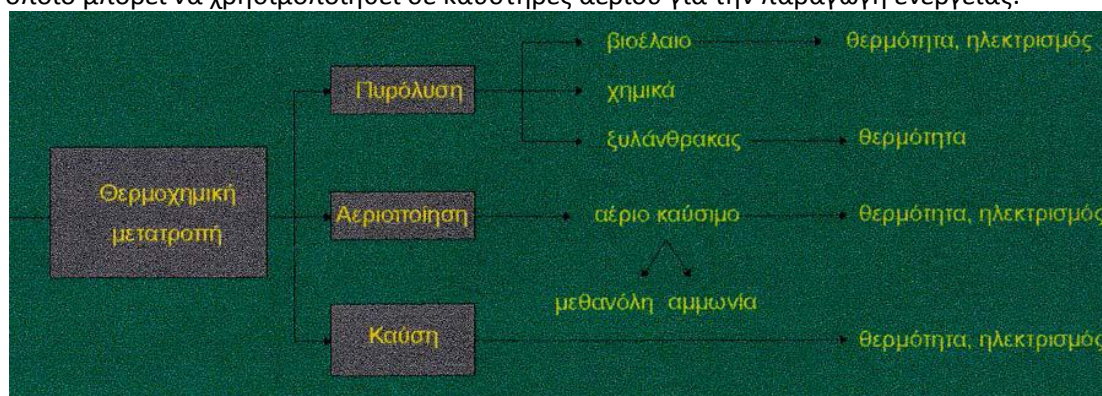
Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας

Και η παραγωγή βιοκαυσίμων είναι μία διαδικασία που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια παράλληλα κυρίως με την συμπααραγωγή από βιομάζα και λιγότερο από την χρήση της βιομάζας στις μεταφορές. Η παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική διεργασία επικεντρώνεται, κυρίως, στην παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος) με ζύμωση σακχάρων, αμύλου, κυτταρινών και ημικυτταρινών που προέρχονται από διάφορα είδη βιομάζας (αραβόσιτος, σόργο το σακχαρούχο κ.ά.). Η τεχνολογία ζύμωσης των σακχάρων είναι σήμερα γνωστή και ανεπτυγμένη, ενώ εκείνη της ζύμωσης των κυτταρινών και ημικυτταρινών βρίσκεται υπό εξέλιξη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη, ως καύσιμο κίνησης. Παρά το γεγονός ότι, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων (π.χ. αντικατάσταση αεροπορικής βενζίνης), το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμο κίνησης αυξάνει συνεχώς ανά τον κόσμο, με προεξάρχουσες τη Βραζιλία και τις ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι αφ' ενός η βιοαιθανόλη είναι καθαρότερο καύσιμο από περιβαλλοντικής πλευράς και αφ' ετέρου δίνει διέξοδο στα γεωργικά προβλήματα. Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή και χρήση της βιοαιθανόλης παρουσιάζουν εξαιρετικά ευνοϊκές προοπτικές για το μέλλον.



Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή βιομάζας

Η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας οδηγεί είτε στην απ'ευθείας παραγωγή ενέργειας (καύση), είτε στην παραγωγή καυσίμου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα. Η τεχνολογία της αστραπιαίας πυρόλυσης αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Κατ' αυτήν, τα ογκώδη δασικά και αγροτικά υπολείμματα, αφού ψιλοτεμαχισθούν, μετατρέπονται, με τη βοήθεια ειδικού αντιδραστήρα, σε υγρό καύσιμο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, το βιοέλαιο. Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λίγο μικρότερη από τη μισή θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου) σε εφαρμογές θέρμανσης (λέβητες, φούρνους κλπ) αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μηχανές εσωτερικής καύσης κ.α. Η αστραπιαία πυρόλυση της βιομάζας αποτελεί την οικονομικότερη διεργασία ηλεκτροπαραγωγής, ιδίως στην περιοχή μικρής κλίμακας ισχύος (<5MWe). Με την αεριοποίηση που βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, παράγεται αέριο καύσιμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καυστήρες αερίου για την παραγωγή ενέργειας.



Παραγωγή βιοαερίου

Σημαντικές ενεργειακές ανάγκες μπορούν επίσης να καλυφθούν με τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου σε μηχανές εσωτερικής καύσης, για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Αυτό αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύμματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφικών, βουστασίων, καθώς και βιομηχανικών, γεωργικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων.

Στην περίπτωση των κτηνοτροφικών αποβλήτων, η παραγωγή του βιοαερίου γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, απλούστερες ή συνθετότερες, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Σ' αυτές, εκτός από το βιοαέριο, παράγεται και πολύ καλής ποιότητας οργανικό λίπασμα, του οποίου η διάθεση στην αγορά μπορεί να συμβάλλει στην οικονομική βιωσιμότητα μίας εφαρμογής αυτού του είδους.

Στην περίπτωση των αστικών απορριμμάτων, το βιοαέριο παράγεται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Η μάζα του μπορεί να αρχίσει μετά από το δεύτερο ή τρίτο χρόνο της απόθεσης των απορριμμάτων αυτών και εξαρτάται από την ποσότητά τους. Από την άλλη πλευρά, η ποσότητα του βιοαερίου που μαστεύεται εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα των αποτιθεμένων απορριμμάτων σε οργανικά υλικά, καθώς και από την ποιότητα του υλικού επικάλυψης των στρώσεων. Αυτό θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο στεγανό, ώστε να επιτυγχάνεται η αναερόβια χώνευση, εμποδίζοντας, ταυτόχρονα, την απαέρωση του παραγόμενου βιοαερίου.

Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα

Η χρησιμοποίηση των αγροτικών αποβλήτων για την λίπανση του εδάφους είναι μία πολύ παλιά μέθοδος. Από διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας της βιομάζας μπορούν να προκύψουν βιολογικά λιπάσματα, όπως π.χ. και από μονάδες αεριοποίησης.

Ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής υπάρχει στην περιοχή των Μεγάρων, όπου εγκαταστάθηκε μονάδα παραγωγής οργανικών λιπασμάτων από την επεξεργασία των

αποβλήτων των πολυάριθμων πτηνοτροφείων της περιοχής. Μια τέτοια μονάδα έχει σημαντικές ευνοϊκές επιπτώσεις στο περιβάλλον, δεδομένου ότι η περιοχή απαλλάσσεται από σημαντικές ποσότητες πτηνοτροφικών αποβλήτων, που προκαλούν προβλήματα στους κατοίκους λόγω της τοξικότητάς τους και του κινδύνου διάδοσης μολυσματικών ασθενειών. Ακόμα, συμβάλλει και στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, τα οποία θα απαιτούνταν για την κατ' άλλο τρόπο παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων ίσης λιπαντικής αξίας. Η μονάδα έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 30.000 τόνων πτηνοτροφικών αποβλήτων ετησίως και η ηλεκτρική ενέργεια που εξοικονομείται, στο ίδιο διάστημα, φθάνει περίπου τις 500 MWh.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο ορισμένα καλλιεργούμενα είδη όσο και άγρια φυτά, έχουν σαν σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς. Οι κυριότεροι τομείς στους οποίους επικεντρώνεται η έρευνα στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών είναι:

- η αποδοτικότητα και προσαρμοστικότητα κάτω από διάφορες εδαφοκλιματικές συνθήκες
- η κατάλληλη καλλιεργητική τεχνική (εποχή σποράς, αποστάσεις φύτευσης, επίπεδα άρδευσης και λίπανσης, εποχή και τεχνική συγκομιδής)
- οι επιπτώσεις των φυτών αυτών στο περιβάλλον (επίδραση στους υδατικούς και εδαφικούς πόρους επιπτώσεις στη ρύπανση των υπογείων υδροφορέων και της ατμόσφαιρας).

Ως ενεργειακές καλλιέργειες θεωρούνται τόσο οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων, όσο και νέες καλλιέργειες με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης. Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται σε ετήσιες και πολυετείς και οι κυριότερες από τις οποίες είναι:

- Πολυετείς γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες: Μίσχανθος, Αγριοαγκινάρα, Switchgrass, Καλάμι
- Ετήσιες γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες: Ελαιοκράμβη, Αραβόσιτος, Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο, Κενάφ, Ηλίανθος, Κριθάρι, Ζαχαρότευτλα και Σιτάρι

Οι ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είναι ο ηλίανθος και η ελαιοκράμβη για βιοντήζελ και το κριθάρι, το σιτάρι, τα τεύτλα, ο αραβόσιτος και το γλυκό σόργο για βιοαιθανόλη. Οι κυριότερες καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων είναι ο ευκάλυπτος, η ψευδακακία, το καλάμι, ο μίσχανθος, η αγριοαγκινάρα, το switchgrass, το κυτταρινούχο σόργο και το κενάφ.

Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα, και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής. Υπολογίζεται ότι, την προσεχή δεκαετία, θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων. Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται

υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΙΠ (1 ΜΤΙΠ= 106 ΤΙΠ, όπου ΤΙΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα. Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία. Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, δηλαδή 1-1,6 ΤΙΠ. Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, δηλαδή 0,7-1,2 ΤΙΠ.

2.2.8 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Αυτά πολλές φορές εξετάζονται, σε σύγκριση με τον κυρίαρχο τρόπο κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης που είναι η καύση ορυκτών καυσίμων.

Γενικά, από όλες τις εφαρμογές χρήσης της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, τα βασικότερα πλεονεκτήματα παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Αν και κατά την καύση βιομάζας παράγεται CO₂, η καύση αυτή δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου στην ατμόσφαιρα όσο τα ορυκτά καύσιμα γιατί, κατά την ανά-παραγωγή της βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες CO₂.
- Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO₂) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.
- Εφόσον η βιομάζα παράγεται στην ίδια χώρα που καταναλώνεται, συμβάλει στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου. Έτσι προκύπτουν τόσο οικονομικά όσο και πολιτικά οφέλη.
- Η εξασφάλιση εργασίας και η συγκράτηση των αγροτικών πληθυσμών στις παραμεθόριες και τις άλλες γεωργικές περιοχές. Αυτό οφείλεται τόσο στην ενασχόληση των αγροτών με ενεργειακές καλλιέργειες, όσο και στην αξιοποίηση των αγροτικών-κτηνοτροφικών υπολειμμάτων, ως μία νέα πηγή εσόδων. Δηλαδή η χρήση βιομάζας ευνοεί την περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.
- Ο περιορισμός της κατασκευής μεγάλων ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Πολλές φορές αν και οι σταθμοί αυτοί παρέχουν θέσεις εργασίας, μπορεί να καταστρέψουν το οικοσύστημα μίας περιοχής, να περιορίσουν τις αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες και να καταστρέψουν την τουριστική αξία μίας περιοχής.
- Η ανάπτυξη του βιομηχανικού τομέα τοπικά, λόγω της μείωσης των εξόδων για την κάλυψη των ενεργειακών φορτίων και της δημιουργίας βιομηχανιών παραγωγής βιοκαυσίμων και παράλληλα λιπασμάτων.

Απεναντίας τα βασικότερα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, είναι:

- Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.

- Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.
- Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της.

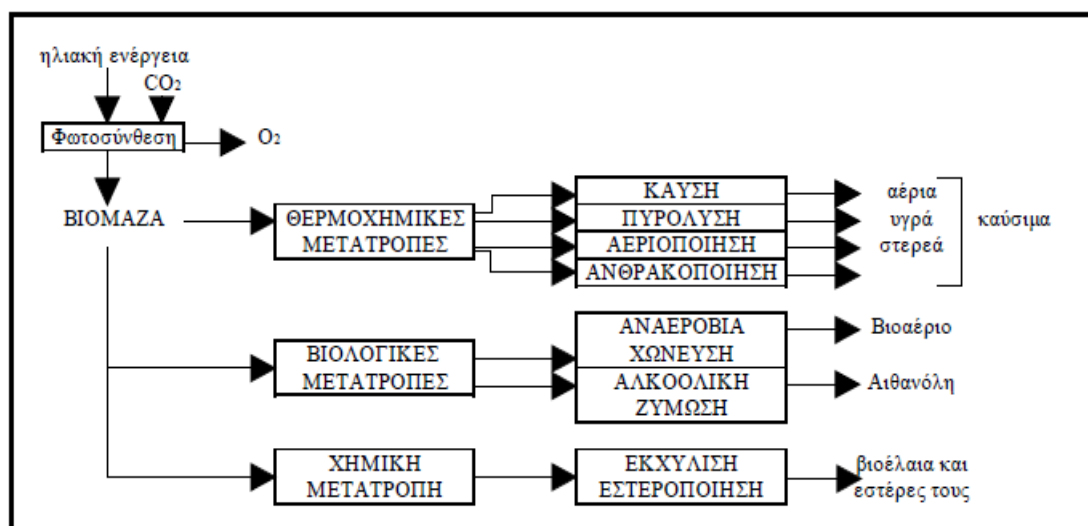
Τα μειονεκτήματα αυτά περιορίζουν το φάσμα των δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν βιομάζα, κυρίως σε τοπικές εφαρμογές κοντά στον τόπο παραγωγής της βιομάζας.

Συμπερασματικά, η χρήση βιομάζας εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, που αυξάνονται συνεχώς, με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου, με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, με την τεχνολογική ανάπτυξη των συστημάτων παραγωγής και χρήσης βιομάζας και με την ανάπτυξη της αγοράς τέτοιων συστημάτων καθώς και των διαφόρων ειδών βιομάζας.

2.2.9 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκμετάλλευσης της χημικής ενέργειας που υπάρχει στην βιομάζα. Οι τρόποι αυτή αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται αφενός, γιατί λίγα είδη βιομάζας μπορούν να αποδώσουν την χημική τους ενέργεια με άμεση καύση (κυρίως προϊόντα ξυλείας) και αφετέρου γιατί στα διάφορα είδη βιομάζας υπάρχουν παράγοντες όπως π.χ. η υγρασία ή η πυκνότητα που επηρεάζουν την θερμογόνο δύναμη και δεν επιτρέπουν τον σαφή προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους, ως καυσίμων. Έτσι λοιπόν, οι τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας που έχουν αναπτυχθεί, αφορούν σε τυποποιημένα στερεά, υγρά ή αέρια βιοκαύσιμα με σταθερές ιδιότητες και αυξημένη θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα όγκου σε σχέση με το αρχικό υλικό, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη διευκόλυνση χειρισμών όπως η μεταφορά και η αποθήκευση.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται οι διάφορες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, καθώς και τα παράγωγα κάθε διαδικασίας:



Όπως παρατηρούμε, οι διάφορες τεχνικές ομαδοποιούνται με κριτήριο την βασική διαδικασία που οδηγεί στην μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμο, σε τρεις ομάδες:

1. Τις θερμοχημικές μετατροπές
2. Τις βιολογικές μετατροπές
3. Τις χημικές μετατροπές

Οι βιολογικές και οι χημικές επεξεργασίες, πολλές φορές ομαδοποιούνται και αυτές σαν βιοχημικές, επειδή και οι δύο είναι αποτέλεσμα της ενζυματικής δράσης μικροοργανισμών. Ενώ οι θερμοχημικές χρησιμοποιούν την θερμότητα και την οξείδωση για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η βιοχημικές μετατροπές απαιτούν πρώτη ύλη με περιεκτικότητα σε σάκχαρα ή υδρογονάνθρακες καθώς και με περιεκτικότητα σε νερό μεγαλύτερη του 40%. Οι θερμοχημικές μέθοδοι εφαρμόζονται καλύτερα στην ξηρή βιομάζα (περιεχόμενη υγρασία μικρότερη του 10%) η οποία είναι πλούσια σε λιγνίνη, όπως στο άχυρο, στο ξύλο και σε λοιπά γεωργικά απόβλητα. Ειδικότερα, η λιγνίνη είναι λιγότερο κατάλληλο υπόστρωμα για τη βιοχημική μετατροπή, καθώς δεν αποδομείται εύκολα μέσω της ενζυματικής δραστηριότητας.

Οι κυριότερες τεχνικές προκλήσεις και εμπόδια στη βιοχημική μετατροπή περιλαμβάνουν το χειρισμό της ποικιλομορφίας των πηγών βιομάζας, τη γενικότερη δυστροπία των λιγνοκυτταρινικών υλικών στη χημική και/ή βιολογική αποδόμηση καθώς και την ανάγκη για βελτιωμένη αποτελεσματικότητα των ενζύμων κυτταρίνης και των μικροοργανισμών ζύμωσης.

Η θερμοχημική τεχνική για την παραγωγή βιοκαυσίμων γενικά αξιοποιεί είτε την αεριοποίηση είτε την πυρόλυση. Η αεριοποίηση περιλαμβάνει θερμική αποδόμηση του λιγνοκυτταρινικού υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες, ακολουθούμενη από μερική οξείδωση προς παραγωγή πρωτογενούς αερίου (syngas, με κύρια συστατικά τα αέρια CO και H₂). Μετά από τον καθαρισμό του αερίου, αυτό αντιδρά καταλυτικά για την παραγωγή αλκοολών ή υδρογονανθράκων, με τη μέθοδο Fischer – Tropsch. Ακόμα, η πυρόλυση περιλαμβάνει, επίσης, θερμική αποδόμηση, ωστόσο υλοποιείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και με απουσία οξυγόνου – προς παραγωγή υγρού βιοκαυσίμου. Μετά από καθαρισμό και σταθεροποίηση, το ανωτέρω βιοκαύσιμο είναι κατάλληλη πρώτη ύλη σε ένα διυλιστήριο πετρελαίου. Εξάλλου, συγκριτικά με τη βιοχημική διεργασία, τόσο η αεριοποίηση όσο και η πυρόλυση θεωρούνται προσεγγίσεις «ωμής δύναμης». Οι ανωτέρω δύο διεργασίες δεν απαιτούν ένζυμα ή μικροοργανισμούς και είναι εφαρμόσιμες σε μια μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών. Κατά συνέπεια, οι διεργασίες αυτές είναι, γενικώς, συμβατές με τις συμβατικές τεχνολογίες επεξεργασίας πετρελαίου.

Παρόλα αυτά, παραμένουν ισχυρές οι προκλήσεις βελτίωσης των θερμοχημικών διεργασιών. Ενδεικτικά αναφέρονται η προκατεργασία της βιομάζας και ο τρόπος τροφοδότησής της στις θερμικές μονάδες, ενώ για την αεριοποίηση αντίστοιχες προκλήσεις/βελτιώσεις περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του σχηματισμού πίσσας και την ανάπτυξη αποτελεσματικών καταλυτών. Αναφορικά με την πυρόλυση, οι κυριότερες προκλήσεις αφορούν τον καθαρισμό του υγρού καυσίμου και την αποτελεσματική σταθεροποίησή του για πρακτική διανομή και χρήση σε ένα διυλιστήριο πετρελαίου. Εξάλλου, η επιτάχυνση των διαδικασιών έρευνας και ανάπτυξης οδεύει προς αναζήτηση εναλλακτικών και οικονομικών καυσίμων, σε σχέση με τα υπάρχοντα συμβατικά καύσιμα. Η κυρίως εστίαση της έρευνας είναι ο ανασχεδιασμός των βιολογικών διεργασιών για την ανάπτυξη νέων και περισσότερο αποτελεσματικών μεθόδων μετατροπής των λιγνοκυτταρινικών υλικών σε αιθανόλη και άλλα βιοκαύσιμα.

2.2.9.1 ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ

2.2.9.1.1 ΑΜΕΣΗ ΚΑΥΣΗ

Η καύση της βιομάζας είναι ο πιο διευρυμένος τρόπος ενεργειακής αξιοποίησής της. Ως καύση ορίζεται η αντίδραση των οργανικών ενώσεων της εκάστοτε βιομάζας με οξυγόνο, από την οποία παράγεται CO₂, νερό και θερμότητα.

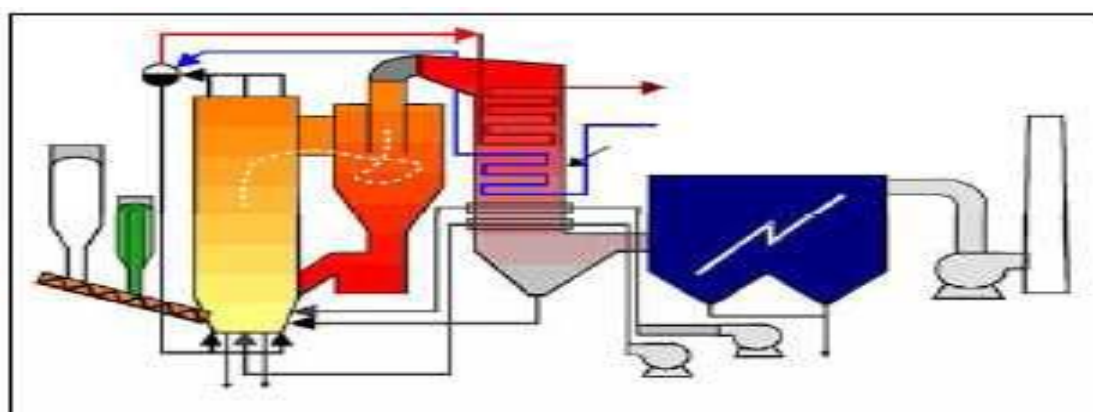
Η άμεση καύση της βιομάζας αναπτύσσεται συνεχώς ως διαδικασία, με την ανάπτυξη συστημάτων άμεσης τροφοδοσίας, συστημάτων προεπεξεργασίας της βιομάζας

(π.χ. ξήρανση, θρυμματισμός, διαχωρισμός ανάλογα το μέγεθος), συστημάτων ευκολότερης συντήρησης, συστημάτων με καλύτερη θερμική μόνωση και συστημάτων καλύτερου ελέγχου της καύσης και συνεπώς μεγαλύτερης απόδοσης.

Παρότι υπάρχουν αρκετοί τρόποι καύσης της βιομάζας σε διάφορες εφαρμογές, οι δύο συνηθέστεροι τρόποι είναι, η καύση βιομάζας σε εστίες με σταθερές ή κινούμενες εσχάρες είτε σε λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης.



Λέβητας Εσχάρας



Ρευστοποιημένη κλίνη

Παρόλο που οι εστίες με σταθερές ή κινούμενες εσχάρες είναι το πρότυπο για παλαιού τύπου σταθμούς παραγωγής ενέργειας με βιομάζα, οι λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης προτιμώνται για καύση βιομάζας εξαιτίας των χαμηλών εκπομπών NO_x . Έτσι δεν χρειάζεται επιπλέον συσκευή ή διαδικασία απονίτρωσης. Κι ακόμα, η διαδικασία αποθείωσης είναι ευκολότερη στους λέβητες ρευστοποιημένης κλίνης.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος καύσης της βιομάζας πρέπει να εκτιμηθεί ότι η φωτιά απαιτεί τρεις παράγοντες για να αρχίσει και να συνεχίσει να υπάρχει δηλαδή καύσιμο, οξυγόνο και θερμότητα. Ο έλεγχος της φωτιάς γίνεται με τον έλεγχο των τριών αυτών παραγόντων. Για τον σχεδιασμό της εστίας καύσης ή του λέβητα όπου θα γίνεται καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας, αναλύεται η ακολουθία των διεργασιών, που συντελούνται κατά την καύση των στερεών καυσίμων. Στο πρώτο βήμα αυτής της αλληλουχίας καταναλώνεται ενέργεια: πρόκειται για την εξάτμιση του περιεχομένου νερού στο καύσιμο, δηλαδή την ξήρανση. Χρησιμοποιώντας όμως βιομάζα, η οποία έχει ξηραθεί σε ικανοποιητικό βαθμό, στο βήμα αυτό καταναλώνεται ένα μικρό ποσοστό της συνολικής ενέργειας. Η διεργασία της καύσης πραγματοποιείται σε στάδια. Αμέσως μετά την είσοδο του καυσίμου στο θάλαμο καύσης θερμαίνεται γρήγορα λόγω ακτινοβολίας των τοιχωμάτων και λόγω συναγωγής από τα θερμά αέρια που υπάρχουν στο θάλαμο. Η

υγρασία του καυσίμου απομακρύνεται, όπως απομακρύνονται και τα πτητικά συστατικά του. Τότε τα πτητικά αναφλέγονται και παραμένει ο καθαρός άνθρακας που καίγεται. Η διάρκεια του κάθε βήματος, όπως επίσης και ο συνολικά απαιτούμενος χρόνος εξαρτάται από τη φύση του καυσίμου και το μέγεθος των σωματιδίων του.

Χαρακτηριστικό των βιοκαυσίμων είναι ότι τα 3/4 ή και περισσότερο της ενέργειας τους περιέχεται στην πτητική ύλη. Επομένως είναι υψίστης σημασίας ο σχεδιασμός οποιουδήποτε καυστήρα ή λέβητα να εξασφαλίζει την καύση των πτητικών ουσιών ώστε να μη διαφεύγουν από την καμινάδα άκαυστα. Για την πλήρη καύση, ο αέρας πρέπει να έρχεται σε επαφή με όλη τη μάζα του καυσίμου, γεγονός που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας καύσιμο τεμαχισμένο σε μικρά κομμάτια (Ωστόσο, όταν η βιομάζα βρίσκεται υπό μορφή πολύ μικρών κόκκων είναι επιθυμητό πολλές φορές να μετατραπεί σε μπριγκέτες και αυτό επιτυγχάνεται με τη μορφοποίησή της σε κατάλληλα μηχανήματα με υψηλή πίεση). Σε αυτήν την περίπτωση η τέφρα περιέχει λεπτόκοκκα σωματίδια, τα οποία παρασύρονται από τα καυσαέρια. Η ροή του αέρα πρέπει να είναι ελεγχόμενη. Μικρή ποσότητα οξυγόνου οδηγεί σε ατελή καύση και παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα ενώ μεγάλη περίσσεια αέρα είναι ενεργοβόρα, δεδομένου ότι μεταφέρει τη θερμότητα στο ρεύμα καυσαερίων. Το μέγεθος των τεμαχιδίων επηρεάζει άμεσα το χρόνο παραμονής τους στο θάλαμο καύσης. Για ορισμένα καύσιμα όπως ο άνθρακας ή τα pellets, υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης του εύρους που κυμαίνονται τα σωματίδια, αλλά για τα αστικά απορρίμματα και τα μη κατεργάσιμα προϊόντα δασικής βιομάζας είναι πολύ δύσκολη η εκτίμηση. Στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί πλήρης καύση του οργανικού υλικού, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής. Η ποσότητα του αέρα που καταναλώνεται κατά τη διεργασία ποικίλλει ανάλογα με το ρυθμό τροφοδοσίας του καυσίμου αλλά και τη σύστασή του. Ο άνθρακας απαιτεί περίσσεια αέρα που δεν ξεπερνά το 25%, ενώ για την καύση αστικών απορριμμάτων η περίσσεια μπορεί να φτάσει το 200%. Η υπερβολικά μεγάλη ποσότητα αέρα στο θάλαμο καύσης έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό του βαθμού απόδοσης της διεργασίας, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθούν και φαινόμενα αναστολής της καύσης, λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας από την απαιτούμενη στο θάλαμο καύσης.

Οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον μπορούν να ελαχιστοποιηθούν κατά τη καύση της βιομάζας, εφόσον η εστία καύσης περικλείεται σε κάποια τοιχώματα. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας με μεταφορά. Ταυτόχρονα τα τοιχώματα θα πρέπει να απορροφούν την ακτινοβολούμενη θερμότητα, μέρος της οποίας θα πρέπει να ακτινοβολούν πάλι. Η θερμότητα που χάνεται με τα αέρια καύσης μπορεί να ανακτηθεί σε σημαντικό βαθμό, εφόσον χρησιμοποιηθεί κατάλληλος εναλλάκτης θερμότητας.

2.2.9.1.2 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

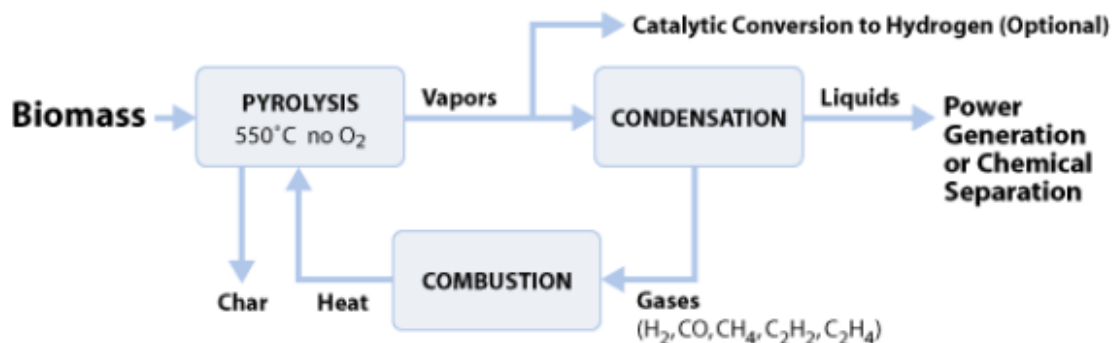
Ως πυρόλυση ορίζεται η θερμική αποικοδόμηση των ανθρακούχων ενώσεων σε θερμοκρασίες από 400C° έως και 1050C° είτε με πλήρη απουσία οξυγόνου, είτε με μερική παρουσία του, τόση ώστε η αεριοποίηση να μην είναι σημαντική και ταυτόχρονα να μην γίνεται καύση. Η θερμότητα, που απαιτείται για την πυρόλυση, μπορεί να προμηθευθεί με άμεσο (μέσω θερμών στερεών ή αερίων) ή έμμεσο (με εξωτερική καύση του παραγόμενου πυρολυτικού αερίου και θέρμανση μέσω επιφανειών) τρόπο.

Τα προϊόντα της πυρόλυσης μπορεί να είναι αέρια (πυρολυτικά αέρια), υγρά (πυρολυτικά-πυρολιγνικά υγρά) ή στερεά (ξυλάνθρακας-βιοάνθρακας), ενώ οι σχετικές αναλογίες κάθε προϊόντος εξαρτώνται από τη μέθοδο της πυρόλυσης και τις παραμέτρους αντίδρασης (θερμοκρασία, χρόνο παραμονής αερίων και ταχύτητα ψύξης τους).

Οι μέθοδοι πυρόλυσης διακρίνονται στην βραδεία, συμβατική και ταχεία -ακαριαία πυρόλυση. Συχνά, με τον όρο πυρόλυση αναφερόμαστε στις δύο τελευταίες μεθόδους, ενώ η πρώτη αναφέρεται ως ανθρακοποίηση.

Η συμβατική πυρόλυση αποδίδει περίπου ίση ποσότητα στερεών, υγρών και αερίων προϊόντων. Είναι η λιγότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος, λόγω της δυσκολίας χειρισμού και της ανάγκης εισαγωγής στην αγορά τριών προϊόντων, της χαμηλής απόδοσης σε αέρια και των προβλημάτων, που σχετίζονται με τη μεταφορά θερμότητας στον αντιδραστήρα.

Η ταχεία-ακαριαία πυρόλυση γίνεται σε πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς θερμότητας σε χαμηλές θερμοκρασίες και με ταχεία, άμεση ψύξη προϊόντων που επιτρέπουν τη συμπύκνωση των ενδιάμεσων προϊόντων της πυρόλυσης, πριν τη διάσπαση τους σε χαμηλού μοριακού βάρους, μη-συμπυκνούμενα αέρια. Η διεργασία αυτή ελαχιστοποιεί την παραγωγή στερεών προϊόντων. Στην περίπτωση που ίδια διαδικασία γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, τα κύρια προϊόντα είναι αέρια.



© SunTechnics

Ειδικότερα, η ταχεία πυρόλυση της βιομάζας (biomass fast pyrolysis) είναι μια διεργασία κατά την οποία η πρώτη ύλη τις περισσότερες φορές θερμαίνεται ταχύτατα σε θερμοκρασίες 450-500 °C, σε συνθήκες έλλειψης αέρα (οπότε και οξυγόνου). Σε αυτές τις συνθήκες παράγονται, ατμοί οργανικών ενώσεων, μη συμπυκνώσιμα αέρια και ρευστή πίσσα. Οι ατμοί των οργανικών ενώσεων στη συνέχεια συμπυκνώνονται, παράγοντας το έλαιο πυρόλυσης (pyrolysis oil) ή βιοέλαιο (bio-oil). Στις συνήθεις περιπτώσεις, περίπου 50-75% κατά βάρος της τροφοδοτούμενης βιομάζας μετατρέπεται σε έλαιο πυρόλυσης.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της διεργασίας είναι ότι μετατρέπει οποιαδήποτε προβληματική στη διαχείριση βιομάζα, διαφορετικής προέλευσης, σε ένα καθαρό και ομοιογενές υγρό καύσιμο. Το έλαιο πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, καυσίμων ή χημικών προϊόντων. Η ενεργειακή πυκνότητα του ελαίου, δηλαδή η ενέργεια που αποδίδει ανά μονάδα όγκου του, είναι έως 5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της αρχικής βιομάζας, γεγονός που προσφέρει ουσιαστικά διαχειριστικά πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρήσης του ελαίου σε υψηλότερης απόδοσης στροβίλους παραγωγής ενέργειας. Τέλος, η δυνατότητα μεταφοράς του καυσίμου από το σημείο παραγωγής του σε διαφορετικό σημείο παραγωγής ενέργειας παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας αποφασιστικά τις απώλειες του δικτύου.

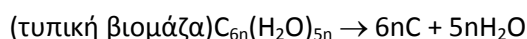
Είναι πολύ σημαντικό ότι μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ειδών βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διεργασία. Για την επιτυχημένη μετατροπή της βιομάζας είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία της: τεμαχισμός της σε ομοιόμορφα μικρά κομμάτια (μικρότερα από 10 mm) και ξήρανση της ώστε η υγρασία της να είναι μικρότερη από 10%. Με ορθό ενεργειακό σχεδιασμό της μονάδας πυρόλυσης, η απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση της βιομάζας μπορεί να προέλθει από την ίδια την μονάδα, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά της κόστη και ενισχύοντας το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα.

Τα πλεονεκτήματα που συνοδεύουν την τεχνολογία ταχείας πυρόλυσης της βιομάζας έχουν οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση των ερευνητικών προσπαθειών στο αντικείμενο. Ως επιστέγασμα των προσπαθειών αυτών, έρχεται η εμφάνιση των πρώτων μονάδων πυρόλυσης της βιομάζας σε εμπορική, πλέον, κλίμακα.

2.2.9.1.3 ΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ-ΒΡΑΔΕΙΑ ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Η βραδεία πυρόλυση ή ανθρακοποίηση γίνεται σε μικρές ταχύτητες αντίδρασης, σε χαμηλές θερμοκρασίες και αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση των στερεών προϊόντων (βιοάνθρακα). Τα υγρά και αέρια προϊόντα θεωρούνται υποπροϊόντα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φορείς θερμότητας κατά τη διεργασία, για παραγωγή χημικών ή να θεωρηθούν ως απόβλητα, καταστρεφόμενα με θερμική αποτέφρωση.

Πιο συγκεκριμένα, η ανθρακοποίηση είναι μία διεργασία όπου η βιομάζα (συνήθως ξύλο) θερμαίνεται παρουσία αέρα σε αναλογία μικρότερη από τη στοιχειομετρική, και σαν προϊόν παράγεται το κάρβουνο καθώς και υγρά και αέρια παραπροϊόντα. Η διεργασία της ανθρακοποίησης γίνεται σε 4 στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η ξήρανση της βιομάζας που πρόκειται να ανθρακοποιηθεί και καταναλώνεται ενέργεια. Η θερμοκρασία είναι περίπου 200°C. Το δεύτερο στάδιο είναι η φάση της προανθρακοποίησης και γίνεται σε θερμοκρασίες 170-300°C, ενώ παράγονται υγρά και αέρια προϊόντα. Και στο στάδιο αυτό απαιτείται κατανάλωση ενέργειας. Το τρίτο στάδιο που παράγεται ενέργεια, γίνεται σε θερμοκρασίες 250-300°C. Σε αυτό το στάδιο, εκλύονται υγρά και αέρια παραπροϊόντα, ενώ η βιομάζα ανθρακοποιείται πλήρως. Τέλος, στο τέταρτο στάδιο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 300°C απομακρύνονται όλες οι πτητικές ουσίες από το κάρβουνο και προκύπτει το τελικό προϊόν. Η βασική χημική αντίδραση κατά την ανθρακοποίηση της βιομάζας είναι:



ενώ ταυτόχρονα γίνονται και παράλληλες αντιδράσεις.

Μετά το πέρας της ανθρακοποίησης το κάρβουνο ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η πυκνότητά του κυμαίνεται περίπου 250-300 kg/m³, ενώ η θερμιδική του αξία είναι συνήθως γύρω στα 25 MJ/kg. Ο τελικός όγκος του παραγόμενου κάρβουνου είναι περίπου το μισό του αρχικού όγκου της ανθρακοποιημένης βιομάζας. Οι ιδιότητες του κάρβουνου εξαρτώνται από:

- Την υγρασία της βιομάζας
- Τον τύπο του ξύλου και τη χημική του σύσταση
- Τη θερμοκρασία της ανθρακοποίησης

Η σύσταση κάρβουνου ικανοποιητικής ποιότητας είναι :

- Άνθρακας περισσότερο από 70%
- Πτητικές ουσίες 25%
- Στάχτη 5%

Υπάρχουν διάφορα συστήματα για την ανθρακοποίηση της βιομάζας, τα οποία είναι συνήθως απλής κατασκευής. Η διάρκεια της διαδικασίας ανθρακοποίησης είναι συνήθως 2-20 ημέρες, ενώ η απόδοση κυμαίνεται σε 15-25%.

Συνολικά, οι διάφορες μέθοδοι πυρόλυσης και τα προϊόντα τους παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Παραλλαγή πυρόλυσης	Χρόνος παραμονής αερίων	Ταχύτητα μεταφοράς θερμότητας	Περιβάλλον αντίδρασης	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)	Κύριο προϊόν
Ανθρακοποίηση	Ωρες-μέρες	Πολύ μικρή	Προϊόντα καύσης	1	400	Στερεά
Συμβατική	10sec-10min	Μικρή-μεσαία	Πρωτοταγή και δευτεροταγή προϊόντα	1	<600	Στερεά, υγρά και αέρια
Αστραπιαία (υγρά)	<1sec	Υψηλή	Πρωτοταγή προϊόντα	1	<600	Υγρά
Αστραπιαία (αέρια)	<1sec	Υψηλή	Πρωτοταγή προϊόντα	1	>700	Αέρια
Υδροπυρόλυση	<10sec	Υψηλή	H ₂ και πρωτοταγή προϊόντα	20	<500	Υγρά
Μεθανοπυρόλυση	0.5-1.5sec	Υψηλή	CH ₄ και δευτεροταγή προϊόντα	3	1050	Βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο και ολεφίνες

Πηγή: (Κομπελίτου & Κοσκινά, 2004)

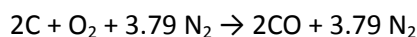
2.2.9.1.4 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μία ενδόθερμη θερμοχημική διαδικασία μερικής οξείδωσης, κατά την οποία κυρίως στερεή αλλά και υγρή ή αέρια βιομάζα, μετατρέπεται σε αέριο καύσιμο. Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas) και αποτελεί μίγμα πολλών καυσίμων και μη αερίων, όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO, CO₂), υδρογόνο (H₂), μεθάνιο (CH₄), υδρατμοί (H₂O), ίχνη υδρογονανθράκων (π.χ. C₂H₆, C₂H₄) και άζωτο (N₂, σε περίπτωση που για την διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο). Πέραν των παραπάνω ενώσεων στο αέριο προϊόν εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές κυριότεροι εκ των οποίων είναι σωματίδια πίσσας, τέφρα, αμμωνία, οξέα και σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

Γενικά, από χημικής πλευράς, η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας είναι αρκετά σύνθετη και περιλαμβάνει, κατά σειρά, τα ακόλουθα επιμέρους στάδια:

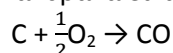
1. Αποσύνθεση της οργανικής βιομάζας σε μη συμπυκνώσιμο αέριο, υδρατμούς και πίσσα
2. Θερμική διάσπαση των ατμών σε αέριο σύνθεσης και πίσσα
3. Αεριοποίηση της πίσσας και μερική οξείδωση του αερίου σύνθεσης, των ατμών και της πίσσας

Η βασική χημική αντίδραση κατά την αεριοποίηση της βιομάζας, η οποία γίνεται σε περισσότερα του ενός στάδια, είναι :

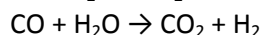
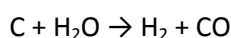


Η βασική διαδικασία που ακολουθείται κατά την αεριοποίηση είναι η τοποθέτηση του στερεού καυσίμου σε υψηλή θερμοκρασία της τάξης των 1000 °C, παρουσία οξυγόνου και ατμού. Η πίεση μπορεί να κυμαίνεται από τιμές λίγο μεγαλύτερες από την ατμοσφαιρική πίεση μέχρι τριάντα φορές πάνω από την ατμοσφαιρική. Αρχικά απελευθερώνονται τα πτητικά υλικά. Η αλληλεπίδραση του καυσίμου με το οξυγόνο και τον ατμό έχει σαν συνέπεια την παραγωγή ενός μείγματος αερίου αποτελούμενου κατά κύριο λόγο από μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, κάποια ποσότητα μεθανίου, άλλων υδρογονανθράκων αλλά και πίσσας. Παράλληλα παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Περεταίρω συνέχιση της διαδικασίας θα έχει σαν συνέπεια την παραγωγή καθαρότερου αερίου προϊόντος. Αν αντί για οξυγόνο χρησιμοποιηθεί αέρας, θα υπάρχει

επίσης άζωτο στο παραγόμενο αέριο με αποτέλεσμα το αέριο καύσιμο που θα παραχθεί να έχει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξης του 3 με 5 MJ/Nm³. Η χρήση καθαρού οξυγόνου έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή καλύτερου καυσίμου, έχει όμως αυξημένο κόστος, επομένως συμφέρει να χρησιμοποιηθεί μόνο αν γίνεται παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα. Κατά την αεριοποίηση λαμβάνουν χώρα διαδοχικές χημικές διεργασίες. Αρχικά, καθώς ζεσταίνεται το στερεό καύσιμο απελευθερώνονται τα πτητικά υλικά και στη συνέχεια γίνεται πυρόλυση και το καύσιμο χάνει το 70% του βάρους του. Ακολούθως, πραγματοποιείται καύση με λ μικρότερο από το στοιχειομετρικό. Τα πτητικά προϊόντα και μέρος του στερεού καυσίμου αντιδρούν με το οξυγόνο παράγοντας διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα παρέχοντας την απαραίτητη θερμότητα για τη συνέχιση των αντιδράσεων της αεριοποίησης. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα στο στάδιο αυτό, αν αναπαραστήσουμε το καύσιμο με έναν άνθρακα είναι η ακόλουθη:



Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αεριοποίηση του στερεού καυσίμου όπου έχουμε τις παρακάτω αντιδράσεις:



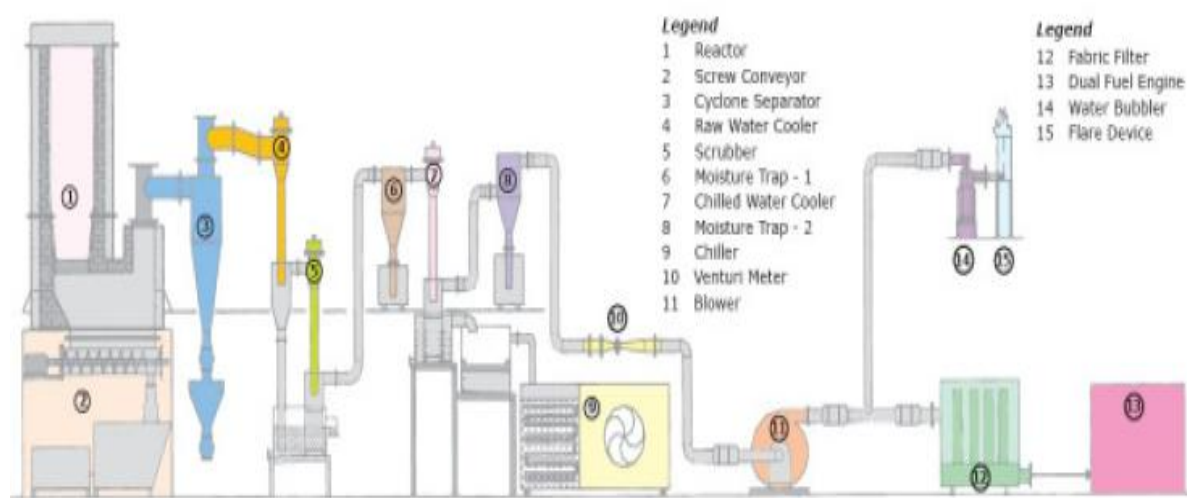
Αυτό που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας, ουσιαστικά είναι ότι επιτρέπουμε σε μικρή ποσότητα οξυγόνου να αντιδράσει με το καύσιμο, πραγματοποιώντας ατελή καύση, με αποτέλεσμα την παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα και ενέργειας που έχει σαν συνέπεια την πρόκληση περεταίρω αντιδράσεων που καταλήγουν στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου. Στο τέλος της διαδικασίας το αέριο που παράγεται έχει βρεθεί σε μια ισορροπία με συγκεκριμένες συγκεντρώσεις από όλα τα συστατικά που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Ανάλογα με το είδος του αεριοποιητή και των συνθηκών αντίδρασης, είναι δυνατόν να παραχθούν αέρια καύσιμα χαμηλής, μέσης ή υψηλής θερμογόνου δύναμης. Αν η χρήση του παραγόμενου αερίου καυσίμου είναι άμεση και επιτόπια, τότε η παραγωγή αερίου χαμηλής θερμογόνου δύναμης (4-7 MJ/Nm³) είναι η πιο ενδιαφέρουσα λύση, λόγω της σχετικής απλότητας της διεργασίας. Αν το παραγόμενο αέριο πρόκειται να μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση ή πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη, για την σύνθεση χημικών(αμμωνία, μεθανόλη κλπ), τότε απαιτείται αέριο με μέση θερμογόνο δύναμη (15-25 MJ/Nm³). Τέλος είναι δυνατόν να παραχθεί αέριο υψηλής θερμογόνου δύναμης (30-40MJ/Nm³), για αντικατάσταση του φυσικού αερίου. Η τεχνολογία, για παραγωγή αερίου υψηλής θερμογόνου δύναμης, έχει αναπτυχθεί πολύ πρόσφατα, έτσι η διεργασία αυτή είναι οικονομικά αποδεκτή, μόνο σε περιοχές, όπου η χρήση του φυσικού αερίου είναι επιθυμητή, αλλά σπανίζει, ενώ η διανομή του είναι δύσκολη και πολύ δαπανηρή.

Μετά την παραγωγή του, το παραγόμενο αυτό αέριο υφίσταται καθαρισμό όπου απομακρύνονται η πίσσα και τα διάφορα σωματίδια. Δηλαδή, είναι απαιτούμενη η προεπεξεργασία του ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που περιέχονται σε αυτό (πίσσα, αμμωνία, θείο που περιέχεται σε πολύ μικρότερες ποσότητες από τα ορυκτά καύσιμα, κλπ) καθώς και η ψύξη του. Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, η διεργασία παράγει και κάποιες ποσότητες πίσσας (η ποσότητας της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως π.χ. το είδος της βιομάζας). Εξαιτίας της υψηλής θερμογόνου δύναμης της, ως βέλτιστος τρόπος διαχείρισής της πίσσας θεωρείται η ενεργειακή εκμετάλλευσή της εντός της μονάδας αεριοποίησης. Το καύσιμο λοιπόν που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απευθείας παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού με άμεση καύση και ύστερα με οδήγηση του καυσαερίου σε στροβίλους ή καύση απευθείας σε λέβητες μετά από κατάλληλο καθαρισμό. Εναλλακτικά, το παράγωγο αέριο μπορεί να αναμορφωθεί για να παράγει καύσιμα όπως μεθανόλη και υδρογόνο τα οποία έπειτα να χρησιμοποιηθούν σε κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους κ.α.

Καθοριστικό ρόλο στη διεργασία αεριοποίησης έχει και το είδος της φυτικής βιομάζας. Οι ιδιότητες της μπορεί να διαφέρουν σημαντικά αναλόγως την προέλευση της βιομάζας, με άμεση συνέπεια στην τεχνολογία της διεργασίας και την βιωσιμότητα της μονάδας. Οι παράμετροι της βιομάζας που εξετάζονται περισσότερο είναι η υγρασία του υλικού, η περιεκτικότητα της σε τέφρα, η στοιχειακή της ανάλυση, η θερμογόνος δύναμή της, η πυκνότητα και η κοκκομετρία της.

Συνεπώς μία μονάδα αεριοποίησης βιομάζας αποτελείται από τον σύστημα αποθήκευσης, επεξεργασίας και τροφοδοσίας της βιομάζας, τον αεριοποιητή, τα συστήματα ψύξης, το σύστημα καθαρισμού του αερίου και τα συστήματα καύσης ή αποθήκευσης και μεταφοράς του τελικού προϊόντος. Μία σχηματική απεικόνιση, μίας τέτοιας μονάδας παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα:



© SunTechnics

Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες αεριοποιητών ανάλογα με τις αναγκαιότητες των εφαρμογών όπου χρησιμοποιούνται. Οι αεριοποιητές διακρίνονται ανάλογα με το μέσο αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο ή ατμός), τον τρόπο παροχής της απαιτούμενης θερμότητας (αυτοθερμικοί ή αλλοθερμικοί αεριοποιητές), την πίεση λειτουργίας (ατμοσφαιρικοί ή υπό πίεση αντιδραστήρες) και τον σχεδιασμό τους (σταθερής ή ρευστοποιημένης ή παρασυρόμενης κλίνης). Ενώ στις περισσότερες κατηγορίες υπάρχουν και υποκατηγορίες. Στον παρακάτω πίνακα, δίνονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας κάποιων κατηγοριών αντιδραστήρων αεριοποίησης:

Τύπος αντιδραστήρα	ΚΑΘΟΔΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	ΑΝΟΔΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΜΕ- ΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ	ΠΑΡΑΣΥΡΟΜΕ- ΝΗΣ ΚΛΙΝΗΣ
Ισχύς (MWth)	< 2	< 20	10 - 100	> 50
Χρόνος εκκίνησης (h)	< 0.5	< 1	> 5	> 24
Ευαισθησία στην ποιότητα πρώτης ύλης	Μεγάλη	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια
Πίσσα σε πλήρες φορτίο (g/Nm ³)	< 0.5	1 - 15	1 -10	< 0.5
Ευαισθησία στις διακυμάνσεις φορτίου	Μεγάλη	Μικρή	Μέτρια προς μεγάλη	Μέτρια
Συντελεστής ελάχιστης ισχύος	3 - 4	5 -10	2 -3	2 - 3
Απόδοση κρύου αερίου	65 - 75	40 - 60	65 - 75	70 - 80
Απόδοση θερμού αερίου	85 - 90	90 - 95	86 -95	> 90
Χρήσεις	ΜΕΚ, Δέβητας	ΜΕΚ, Δέβητας	ΜΕΚ, Δέβητας, Αεριοστρόβιλος, Σύνθεση	ΜΕΚ, Αεριοστρόβιλος, Σύνθεση

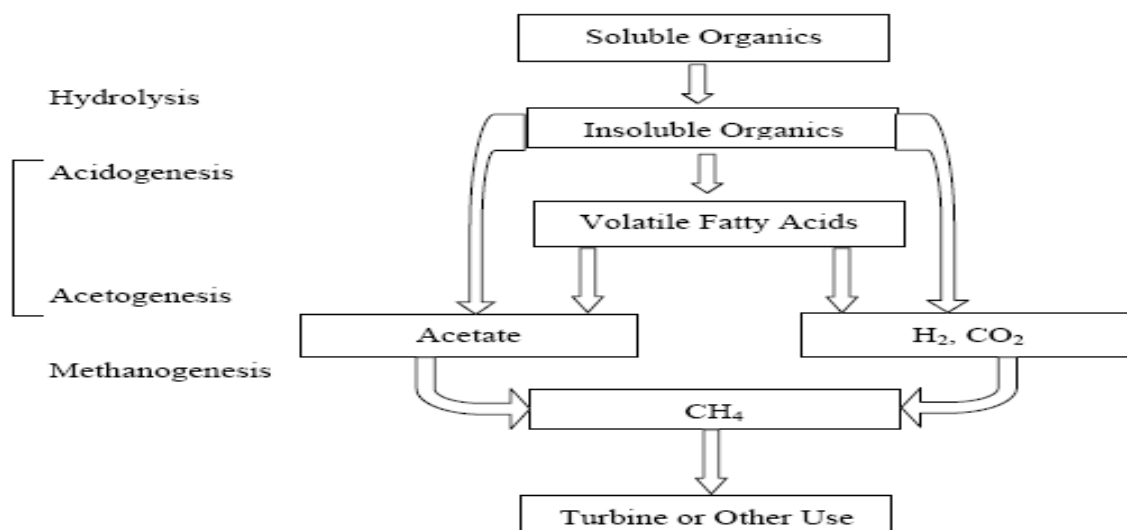
2.2.9.2 ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ

2.2.9.2.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας είναι μία βιολογική διαδικασία που περιλαμβάνει τη μικροβιακή αποδόμηση σύνθετων οργανικών μορίων προς απλούστερα μόρια σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Αν και για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας, θα μπορούσε να γίνεται και αερόβια χώνευση η οποία παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα, ωστόσο λόγω της μεγάλης ποσότητας αποβλήτων που παράγονται από αυτή την διαδικασία, επιλέγεται σχεδόν καθολικά η αναερόβια χώνευση.

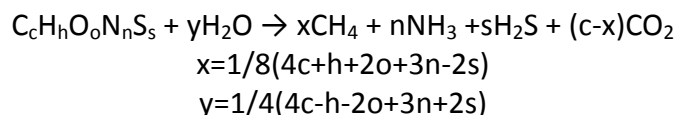
Με την μέθοδο αυτή παράγεται βιοαέριο το οποίο χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο. Η ακριβής σύσταση του βιοαερίου καθορίζεται από το είδος της βιομάζας που αποσυντίθεται. Τα βασικά στοιχεία του βιοαερίου είναι το CH₄ και το CO₂ σε ποσοότητες περίπου 55-70% και 30-45%, αντίστοιχα. Η πυκνότητα του βιοαερίου σε κανονικές συνθήκες είναι συνήθως 1,15kg/m³ και δεδομένου ότι το βιοαέριο περιέχει μεθάνιο σε ποσοστό μεταξύ 55 και 70%, εμφανίζει θερμογόνου δύναμη που κυμαίνεται μεταξύ 6 και 7,5 Kwh/m³. Τα όρια αναφλεξιμότητας του στον αέρα είναι μεταξύ 6 και 12%, ενώ η θερμοκρασία ανάφλεξης του κυμαίνεται μεταξύ 650-750° C. Για το σκοπό της παροχής βιοαερίου για την υγραεριοκίνηση των αυτοκινήτων ή την παροχή αερίου στο δίκτυο της πόλεως γίνεται αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο με αφαίρεση CO₂. Μετά την αναβάθμιση το παραγόμενο αέριο είναι ποιοτικά όμοιο με το φυσικό αέριο (98-99% μεθάνιο CH₄). Η μόνη διαφορά είναι η προέλευση αυτού του αερίου.

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε τρεις φάσεις και σε κάθε φάση χρησιμοποιούνται διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών, όπου τα παράγωγα της μίας ομάδας χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία της άλλης. Οι τρεις αυτές φάσεις είναι η υγρή φάση (υδρόλυση), η όξινη (οξεογένεση, οξικογένεση) και η φάση την παραγωγής μεθανίου (μεθανογένεση) όπως παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα. Και οι τρεις αυτές φάσεις πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και σε ισορροπία μεταξύ τους που αν μεταβληθεί επηρεάζεται και η ποσότητα μεθανίου, στο αέριο καύσιμο.



Κατά το στάδιο της υδρόλυσης, οι οργανικές ενώσεις μακράς μοριακής αλυσίδας (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη) διασπώνται σε ενώσεις μικρότερης μοριακής αλυσίδας. Διαφορετικής προέλευσης μικροοργανισμοί παράγουν ειδικά ένζυμα που δρουν καταλυτικά ως προς την διάσπαση των μακρομορίων, καθιστώντας την εφικτή σε λογικό χρονικό διάστημα. Σε μια ισορροπημένη διεργασία αναερόβιας χώνευσης περίπου το 50% των οργανικών ενώσεων διασπώνται σε οξικό οξύ (CH₃COOH). Σε διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο μετατρέπεται το 20%, ενώ το απομένον 30% διασπάται σε μικρής μοριακής αλυσίδας λιπαρά οξέα (VFAs). Η διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας αποδόμησης των λιπαρών αυτών οξέων είναι καθοριστικός παράγοντας για την αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης, αφού αν διαταραχτεί η ισορροπία και αυξηθεί η συγκέντρωσή τους, η όλη διαδικασία επιβραδύνεται, λόγω του γεγονότος ότι οι μικροοργανισμοί που διασπούν τα λιπαρά οξέα έχουν μικρό ρυθμό ανάπτυξης. Το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας διαδικασίας αφορά την μεθανογένεση και πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Η δράση των βακτηρίων αυτών αφορά αφενός στην αποδόμηση του οξικού οξέως που προέκυψε από το στάδιο της οξυγένεσης σε μεθάνιο και αφετέρου στην παραγωγή μεθανίου από το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο που προέκυψαν. Σε ομαλές συνθήκες χώνευσης, περίπου το 70% του μεθανίου προέρχεται από διάσπαση οξικού οξέος και το υπόλοιπο 30% από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το υδρογόνο. Τα μεθανογενή βακτήρια παρουσιάζουν τον βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης από όλους τους άλλους τύπους και για αυτό η δράση τους κρίνεται αποφασιστικής σημασίας για την ταχύτητα και την απόδοση ολόκληρης της διεργασίας. Αξίζει να σημειωθεί για τα δυο τελευταία στάδια της χώνευσης ότι αναστολή του ενός οδηγεί και σε αναστολή του άλλου, εφόσον είναι απόλυτα προσαρμοσμένα.

Εφόσον η στοιχειακή σύσταση του υλικού τροφοδοσίας είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί το θεωρητικό ποσό του παραγόμενου βιοαερίου και η σύστασή του βάσει της εξίσωσης του Buswell:



Η αναερόβια χώνευση της βιομάζας μπορεί να γίνει σε τρεις θερμοκρασιακές ζώνες, την ψυχρόφιλη ζώνη στους 0-20 °C, την μεσόφιλη ζώνη στους 30-40 °C και την θερμόφιλη ζώνη στους 50-60 °C. Όταν η χώνευση γίνεται στη ψυχρόφιλη ζώνη, ο χρόνος της χώνευσης είναι τουλάχιστον 14 ημέρες. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η χώνευση γίνεται ταχύτερα και η απόδοση αυξάνεται.

Γενικότερα οι παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση είναι:

- Οι αναερόβιες συνθήκες
- Η θερμοκρασία
- Η οξύτητα
- Το είδος της βιομάζας
- Ο ρυθμός οργανικής φόρτισης

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η απόδοση διαφόρων ειδών βιομάζας σε συγκεκριμένο αντιδραστήρα, με βιοαέριο σύστασης περίπου 60% CH₄ και 40% CO₂:

ΑΠΟΔΟΣΗ ΒΙΑΕΡΙΟΥ			
Απόβλητο	Απόδοση βιαερίου m ³ /t	Απόβλητο	Απόδοση βιαερίου m ³ /t
Απορρίματα αγελάδων φυσικά (85-88% υγρασία)	54	Πολτός πατάτας (91% υγρασία)	32
Απορρίματα αγελάδων (94% υγρασία)	22	Λίπος (καθαρό, 0% υγρασία)	1300
Απορρίματα γουρουινών (85% υγρασία)	62	Λίπη από λιποσυλλέκτες (πολτός λιπών)	250
Απορρίματα γουρουινών (94% υγρασία)	25	Απόβλητα σφαγείων (μόνο αίμα, κοιλιές, μαλακοί ιστοί)	300
Απορρίματα πτηνών νωπά (75% υγρασία)	103	Ρίζες λαχανικών	100
Απορρίματα πτηνών ανακατεμμένα (60% υγρασία)	90	Τεχνική γλυκερίνη	500
Καλαμπόκι	180	Υπολείμματα ψαριών	300
Φρέσκο γρασίδι	200	Πολτός κοκκινογούλιων (78% υγρασία)	119
Ορός γάλακτος	50	Μολάσσα	633
Σπόροι, αλεύρι, ψωμί	538	Σπόροι διυλιστηρίου από σπόρους (93% υγρασία)	40
Συμπιεσμένη μάζα φρούτων, λαχανικών (80% υγρασία)	108	Σπόροι διυλιστηρίου από μολάσσα (90% υγρασία)	50
		Αναλωμένοι σπόροι ζυθοποιίας	99
		Πολτός καλαμποκιού (80% υγρασία)	85

Μία μονάδα αναερόβιας χώνευση αποτελείται από το σύστημα τροφοδοσίας, τους χωνευτές-βιοαντιδραστήρες που περιλαμβάνουν αναμείκτες, αναδευτήρες κ.α., ένα σύστημα αποθήκευσης του βιοαερίου που συνήθως είναι ενσωματωμένο στους χωνευτές και ένα σύστημα μεταφοράς του βιοαερίου.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι αντιδραστήρων αναερόβιας χώνευσης:

1. Αντιδραστήρες ενός σταδίου που είναι ο συνηθέστερος τύπος, με μεγάλους χρόνους παραμονής και χαμηλή φόρτιση 1-4 kgTS/m³d . Το βιοαέριο συλλέγεται μέσα στον αντιδραστήρα.
2. Αντιδραστήρες δύο σταδίων με διαχωρισμό φάσεων που γίνεται διαχωρισμός της φάσης οξυγένεσης-οξικογένεσης από τη φάση μεθανογένεσης. Έχει χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών απορριμμάτων αλλά δεν υπάρχει εμπειρία στον αγροτικό τομέα.
3. Αντιδραστήρες μεθανογένεσης δύο σταδίων χωρίς διαχωρισμό φάσεων όπου πρόκειται για τεχνολογία που βρίσκει μεγάλη εφαρμογή κυρίως στη χώνευση ξηρών υποστρωμάτων. Ο πρώτος αντιδραστήρας λειτουργεί για εξισορρόπηση και ομογενοποίηση των υποστρωμάτων με υψηλή φόρτιση 3-7 kgTS/m³d αλλά μπορεί να φθάσει και μέχρι τα 15 kgTS/m³d ενώ ο δεύτερος για την συλλογή του υπόλοιπου βιοαερίου.

4. Αντιδραστήρες εμβολοειδούς ροής που επιτυγχάνουν φορτίσεις της τάξης 10 kgTS/m³d και είναι γνωστοί από την τεχνολογία της χώνευσης απορριμμάτων αλλά δεν υπάρχει εμπειρία στη χώνευση βιομάζας.

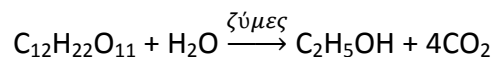
Οι βιοαντιδραστήρες χώνευσης της βιομάζας μπορεί να είναι συνεχούς ή διαλείποντος έργου. Για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι απαραίτητη η μόνωση και πιθανώς η θέρμανση του βιοαντιδραστήρα. Το βιοαέριο που παράγεται μπορεί να αποθηκευθεί. Εφόσον αποθηκευθεί υπό συνήθη πίεση, απαιτούνται μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι αλλά εάν συμπιεσθεί και υγροποιηθεί, απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Έτσι, για οικονομικούς λόγους προτιμάται η άμεση καύση του είτε για παραγωγή θερμότητας είτε για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε πολλές εφαρμογές αναερόβιας χώνευσης γίνεται και παράλληλα, παραγωγή λιπασμάτων από τα απόβλητα που προκύπτουν μετά την διεργασία. Η απόδοση του βιολιπάσματος καθορίζεται από την δραστικότητα των ουσιών N-P-K που περιέχονται στις βιολογικές ενώσεις. Η βιομάζα στην έξοδο των μονάδων βιαερίου διατηρεί όλες τις δραστικές ενώσεις και βρίσκεται συνήθως σε υγρή μορφή.

2.2.9.2.2 ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ

Η αλκοολική ζύμωση είναι μία πανάρχαια μέθοδος για την παραγωγή ποτών. Ωστόσο η παραγόμενη αιθανόλη μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί και ως πολύ καλό καύσιμο που προέρχεται από μία μεγάλη ποικιλία ειδών βιομάζας.

Πιο συγκεκριμένα για την παραγωγή αιθανόλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σακχαρούχες, αμυλούχες και κυτταρινούχες ουσίες. Οι σακχαρούχες ύλες είναι οι πιο ελκυστικές για την παραγωγή αιθανόλης, καθώς περιέχουν σάκχαρα ζυμώσιμα σε αλκοόλη. Η μετατροπή της σουκρόζης σε αλκοόλη γίνεται σύμφωνα με τη σχέση :



Η αναερόβια ζύμωση γίνεται κυρίως από τη ζύμη *Saccharomyces cerevisiae*.

Η ζύμωση σταματά σε κάποιο σημείο καθώς συγκεντρώσεις αλκοόλης στο ζυμούμενο διάλυμα πάνω από 10-12% καθιστούν απαγορευτικό τον μεταβολισμό των ζυμών και συνεπώς υψηλότερες συγκεντρώσεις αλκοόλης μέχρι 95% επιτυγχάνονται με απόσταξη. Στη συγκέντρωση 95% αιθανόλη και 5% νερό σχηματίζεται αζεοτροπικό μίγμα και συνεπώς με απόσταξη δεν μπορούν να επιτευχθούν υψηλότερες συγκεντρώσεις αιθανόλης. Διάφορες γεωργικές πρώτες ύλες με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή αιθανόλης. Ενδεικτικά αναφέρονται τα τεύτλα, το σακχαροκάλαμο, το γλυκό σόργο κ.ά. Παραπροϊόντα ή απόβλητα επίσης της βιομηχανίας τροφίμων πλούσια σε σάκχαρα όπως οι μολάσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παραγωγή αιθανόλης. Σήμερα το σακχαροκάλαμο αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη που παράγονται μεγάλες ποσότητες αιθανόλης παγκοσμίως. Έτσι στη Βραζιλία από δεκαετίες χρησιμοποιείται το γεωργικό αυτό προϊόν για τη παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αιθανόλης και αυτή για τη κίνηση εκατομμυρίων αυτοκινήτων.

Αμυλούχες πρώτες ύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης αφού πρώτα υδρολυθεί το άμυλο σε σάκχαρα και στη συνέχεια ζυμωθούν τα σάκχαρα. Η υδρόλυση του αμύλου μπορεί να είναι είτε ενζυματική παρουσία κατάλληλων μικροοργανισμών είτε όξινη σε pH 1,5 και στις 2 atm.

Κυτταρινούχες πρώτες ύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή αιθανόλης αφού πρώτα υδρολυθεί η κυτταρίνη σε σάκχαρα. Η υδρόλυση μπορεί να είναι όξινη ή ενζυματική όπως στην περίπτωση του αμύλου, είναι όμως πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή.

Κατά τη ζύμωση των σακχάρων το pH πρέπει να είναι περίπου 4-5 και η θερμοκρασία 30-32°C. Η αλκοολική ζύμωση μπορεί να είναι διαλείπωντος έργου, ημισυνεχής ή συνεχής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός οκτανίων της καθαρής αιθανόλης όταν χρησιμοποιείται σαν καύσιμο οχημάτων είναι 106 σε σύγκριση με 95 της αμόλυβδης βενζίνης. Η παραγωγή αιθανόλης από σακχαρούχες γεωργικές πρώτες ύλες συνεπάγεται τη δέσμευση σημαντικών εκτάσεων γης που διαφορετικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή τροφίμων.

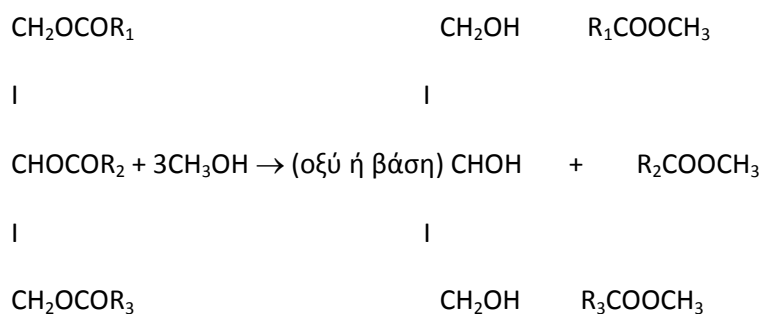
Σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης παρουσιάζουν τα απόβλητα της ζύμωσης και της απόσταξης. Έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα επεξεργάσιμα. Ανάμιξη της αιθανόλης με βενζίνη σε ποσοστό μέχρι 20% δεν συνεπάγεται αλλαγές στο κινητήρα του αυτοκινήτου. Εφόσον αναμιχθεί η αιθανόλη σε μεγαλύτερο ποσοστό ή χρησιμοποιηθεί καθαρή αιθανόλη, απαιτούνται όμως μικρές αλλαγές στο κινητήρα του αυτοκινήτου. Η χρήση της αιθανόλης σαν καύσιμο στα οχήματα μειώνει τις αέριες εκπομπές υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου.

2.2.9.2.3 ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΕΣΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη λήψη ελαίου από τους καρπούς είναι η ίδια είτε το λάδι χρησιμοποιείται για βρώσιμο είτε για καύσιμο. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαίων από σπόρους ή καρπούς που είναι πλούσιοι σε αυτά είναι: η μηχανική συμπίεση και η εκχύλιση ελαίου με την χρήση συνήθως εξανίου ως διαλύτη.

Τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμα σε οχήματα που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ντήζελ όπως η αιθανόλη μπορεί να υποκαταστήσει τη βενζίνη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό λάδι ή μίγμα ελαίου - ντήζελ. Τα γλυκερίδια των ελαίων αν μετατραπούν σε εστέρες η συμπεριφορά τους σαν καύσιμο είναι καλύτερη από αυτή του πετρελαίου ντίζελ.

Η εστεροποίηση γίνεται με την αντίδραση των τριγλυκεριδίων με μεθανόλη ή αιθανόλη σύμφωνα με την πιο κάτω αντίδραση. Η αντίδραση γίνεται σε ήπιες συνθήκες θερμοκρασιών 30-60°C παρουσία αλκαλικών ή όξινων καταλυτών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Τα θερμοκήπια είναι εγκαταστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται στην αγροτική παραγωγή. Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός σχετικά ελεγχόμενου περιβάλλοντος, έτσι ώστε να μπορούν να καλλιεργηθούν φυτά με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, ακόμα και αν οι κλιματολογικές συνθήκες του συγκεκριμένου τόπου δεν ευνοούν την συγκεκριμένη καλλιέργεια. Στα θερμοκήπια ρυθμίζονται αρκετοί περιβαλλοντικοί παράγοντες, ώστε να βοηθηθεί η ανάπτυξη των φυτών.

Το πρώτο θερμοκήπιο πιθανότατα κατασκευάστηκε το 1680 στη Βοημία και το πρώτο θερμαινόμενο θερμοκήπιο περίπου το 1750 στο Λιχτενστάιν. Γενικά το θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, από ξύλο ή μέταλλο, η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατό περισσότερου φυσικού φωτισμού, που είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυτών. Και μπορεί να είναι θερμαινόμενα ή μη. Πιο αναλυτικά, τα θερμοκήπια ανάλογα με το σχήμα τους χωρίζονται σε τοξωτά, αμφίριχτα ή αμφικλινή. Επίσης σε ψηλά ή χαμηλά. Τα υλικά κατασκευής τους μπορεί να είναι το ξύλο και το μέταλλο (γαλβανισμένος χάλυβας, αλουμίνιο). Τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιούνται είναι το γυαλί και διάφορα είδη πλαστικών όπως, πολυαιθυλένιο(PE), πολυβινοχλωρίδιο(P.V.C), ενισχυμένος πολυεστέρας(FIBERGLASS) κ.α. Κάθε ένα από αυτά τα υλικά έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που σχετίζονται από τις ιδιότητες του και από το κόστος του. Οι ιδιότητες υλικών κάλυψης έχουν να κάνουν κυρίως με:

1. Περαιτότητα στο ηλιακό φως ,στην υπεριώδη ακτινοβολία και στη μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία,
2. Μηχανική αντοχή,
3. Θερμοπερατότητα,
4. Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες, στη συγκράτηση σκόνης.

Σημαντικός παράγοντας για την κατασκευή ενός θερμοκηπίου είναι η θέση του και ο προσανατολισμός του. Κατά την επιλογή της θέσης του θερμοκηπίου εξετάζονται: η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία, η υγρασία, το ανάγλυφο της περιοχής, το έδαφος, η στράγγιση, το νερό κ.α. Για παράδειγμα η κατάλληλη θέση ενός θερμοκηπίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη φωτεινότητα ιδιαίτερα τον χειμώνα, που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρή και να αποφεύγονται εμπόδια όπως ψηλά δέντρα ή κτίρια δίπλα στο θερμοκήπιο γιατί θα προκαλούν σκίαση. Σκοπός είναι η μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσον αφορά την θερμοκρασία, γενικά προτιμούνται περιοχές με ήπιο κλίμα όπως οι παραθαλάσσιες. Περιοχές με συχνούς ανέμους το καλοκαίρι είναι επιθυμητές γιατί ευνοούν τον αποτελεσματικό εξαερισμό του θερμοκηπίου.

Ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου, καθορίζεται από τμήματα του θερμοκηπίου που ήδη υπάρχουν, ή από την κατεύθυνση των πιο ισχυρών ανέμων. Οι κύριες κατευθύνσεις του μεγάλου άξονα του θερμοκηπίου είναι Βορράς-Νότος. Οι άλλοι προσανατολισμοί δημιουργούν ενδιάμεσες συνθήκες. Αυτά που έχουν προσανατολισμό Βορρά-Νότο, παρουσιάζουν μικρότερη ετερογένεια θερμοκρασίας και δέχονται στο εσωτερικό τους περισσότερη ηλιακή ενέργεια τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες. Επίσης ο προσανατολισμός αυτός βελτιώνει την αντοχή του θερμοκηπίου στους βόρειους ή νότιους ανέμους.

Κατά την λειτουργία των θερμοκηπίων οι δύο πιο βασικές διαδικασίες είναι ο αερισμός και η θέρμανση.

Με τον όρο αερισμό εννοούμε δύο διαφορετικές τεχνικές:

1. Την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, έτσι επιδιώκονται ομοιόμορφες συνθήκες περιβάλλοντος στον χώρο.
2. Την ανταλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα(εξαερισμός). Με αυτήν την τεχνική επιδιώκεται ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο κατά την θερμή περίοδο και η διόρθωση της αναλογίας των διαφόρων συστατικών του αέρα όπως π.χ. το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και οι υδρατμοί. Την περίοδο του χειμώνα στόχος είναι η ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο χώρο των φυτών, με ανάδευση του αέρα του θερμοκηπίου. Αντιθέτως το καλοκαίρι στόχος είναι η μείωση της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο χώρο του θερμοκηπίου από την αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία.

Κατά την θέρμανση, για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η ροή θερμότητας από το θερμοκήπιο προς το περιβάλλοντα χώρο και αντιστρόφως. Οι μηχανισμοί με τους οποίους μεταδίδεται η θερμότητα είναι οι εξής:

1. Ακτινοβολία: είναι ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
2. Αγωγή: είναι ο μηχανισμός με τον οποίο η θερμότητα διαχέεται σε ένα στερεό ή σε ακίνητο ρευστό, όταν στο μέσο υπάρχει θερμοκρασιακή κλίση.
3. Συναγωγή: είναι η μετάδοση θερμότητας που πραγματοποιείται μεταξύ μιας επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού σε επαφή με την επιφάνεια, όταν αυτά βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία.
4. Εξάτμιση νερού.

3.2 ΤΡΟΠΟΙ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Για την εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης σε θερμοκήπιο υπάρχει μία σειρά από παράγοντες που πρέπει να μελετήσουμε. Αυτοί οι παράγοντες είναι οι επόμενοι:

1. Η μείωση του φυσικού φωτισμού που προκαλείται στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή.
2. Ο χώρος που καταλαμβάνει το σύστημα θέρμανσης δεν θα πρέπει να είναι σε βάρος του χώρου καλλιέργειας.
3. Η θέση όπου τοποθετείται δεν θα πρέπει να δυσχεραίνει τις καλλιεργητικές εργασίες ή την απόδοση εργασίας.
4. Μια πιθανή αύξηση της ταχύτητας του αέρα δεν θα πρέπει να προκαλεί τοπικούς κραδασμούς ή τοπικές αφυδατώσεις των φυτών
5. Δεν πρέπει να αυξάνεται κατά πολύ ο ολικός συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου. Πολύ μεγάλες ταχύτητες του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο ή πολύ μεγάλες επιφάνειες θερμαντικών στοιχείων, αυξάνουν τις απώλειες ενέργειας.
6. Η κατανομή της θερμότητας στο χώρο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφη, ώστε να αποφευχθούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τοπικά και επομένως ανομοιομορφία κατανάλωσης νερού και ρυθμού αύξησης των φυτών.
7. Το σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να μειώνει αποτελεσματικά και τη συμπύκνωση υδρατμών επάνω στα φυτά.

8. Θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλο σύστημα ελέγχου, ώστε το σύστημα να αντιδρά γρήγορα στις μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων.
9. Τέλος, σημαντικό επίσης είναι η ασφάλεια και αξιοπιστία στη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, καθώς και το μικρό κόστος συντήρησης.

Για την θέρμανση της εγκατάστασης του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται σωληνώσεις θερμού νερού, αερόθερμα και. Μία συνοπτική περιγραφή των συστημάτων αυτών γίνεται πιο κάτω:

3.2.1 ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

Κατά την χρησιμοποίηση αυτού του τρόπου θέρμανσης, θερμό νερό που θερμαίνεται από θερμαντική συσκευή (π.χ. καυστήρα) διοχετεύεται με την βοήθεια αντλίας στο σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του θερμοκηπίου. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους οι σωλήνες μπορούν να θερμαίνουν τον χώρο.

Το σύστημα αυτό είναι το πιο διαδεδομένο, καθώς παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως

- Μικρές διατομές σωλήνων, άρα οικονομικότερες και κομψότερες εγκαταστάσεις
- Μικρότερες απώλειες θερμότητας
- Γρηγορότερη θέρμανση χώρου
- Μεγάλη ευχέρεια χώρου ως προς τη διάταξη των σωληνώσεων
- Δεν υπάρχει αδράνεια στο νερό (σχετική οικονομία στα καύσιμα)

Εναέριοι σωλήνες

Το σύστημα αποδίδει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με συνδυασμό ακτινοβολίας και φυσικής συναγωγής. Η σχέση μεταξύ του ποσού της θερμότητας που αποδίδεται με ακτινοβολία και συναγωγή εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ρευστού και τη διάμετρο του σωλήνα. Στις συνήθεις περιπτώσεις ζεστού νερού 60-80°C, η αποδιδόμενη ενέργεια με συναγωγή είναι περίπου ίση με την ακτινοβολούμενη.

Υποδαπέδιοι σωλήνες

Η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και θερμαίνει το δάπεδο και πάλι με αγωγή από το δάπεδο θερμαίνονται οι γλάστρες και η ρίζα των φυτών. Οπωσδήποτε όμως τα φυτά δέχονται και αρκετή ενέργεια από ακτινοβολία και συναγωγή από τις ακάλυπτες περιοχές.

Επιδαπέδιοι σωλήνες

Τα συστήματα αυτά αποδίδουν θερμότητα με συνδυασμό αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Περιλαμβάνονται συστήματα θέρμανσης με χαμηλή θερμοκρασία νερού, που κυκλοφορεί σε μεγάλης επιφάνειας σωλήνες, συνήθως πλαστικούς, οι οποίοι τοποθετούνται στο δάπεδο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα μεταφέρεται με φυσική συναγωγή στον αέρα, με θερμική ακτινοβολία στα φύλλα των φυτών και με αγωγή στο έδαφος.

Σωλήνες στην οροφή του θερμοκηπίου και πάνελ υπέρυθρης ακτινοβολίας

Στα συστήματα αυτά η θερμότητα μεταδίδεται απ' ευθείας από την πηγή με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (υπέρυθη ακτινοβολία) που μεταδίδονται σε ευθεία γραμμή προς τα φυτά και το έδαφος. Ο αέρας δεν θερμαίνεται απ' ευθείας από την ακτινοβολία, αλλά με συναγωγή λόγω της επαφής του με τα φυτά, το έδαφος και τα υπόλοιπα αντικείμενα που θερμαίνονται άμεσα. Σε αυτή την περίπτωση το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες πρέπει να έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από ότι στις προηγούμενες.

Συνήθως, κατά τη λειτουργία αυτών των συστημάτων, η θερμοκρασία των φυτών είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Το έδαφος έχει συνήθως υψηλότερη θερμοκρασία από τη συνήθη αν δεν σκιάζεται από τα φυτά, ενώ αν σκιάζεται η θερμοκρασία του μπορεί να είναι σημαντικά κάτω από την επιθυμητή. Όλα τα αντικείμενα που δέχονται στην επιφάνειά τους αυτή την ακτινοβολία θερμαίνονται. Οι πηγές ακτινοβολίας δεν πρέπει να είναι κοντά στα φυτά, διότι δημιουργούν προβλήματα υπερθέρμανσής τους. Η θερμοκρασία του αέρα κρατιέται γύρω στους 4°C χαμηλότερα σε σχέση με ένα θερμοκήπιο με συνηθισμένη θέρμανση. Η χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες θερμότητας που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.

3.2.2 ΑΕΡΟΘΕΡΜΑ

Η χρησιμοποίηση αερόθερμων για θέρμανση θερμοκηπίων απαντιέται αρκετά συχνά καθώς το κόστος της αρχικής εγκατάστασης είναι μικρότερο από αυτό της θέρμανσης με σωλήνες νερού. Τα αερόθερμα έχουν υψηλή απόδοση, η λειτουργία τους αυτοματοποιείται εύκολα και δεν παρουσιάζουν αδράνεια στην αύξηση της θερμοκρασίας χώρου. Σε πολύ μικρό χρόνο από τότε που ο θερμοστάτης θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει θερμαίνεται ο αέρας του θερμοκηπίου και το ίδιο γρήγορα ψύχεται όταν σταματήσει η λειτουργία του. Παρότι η γρήγορη θέρμανση είναι πλεονέκτημα, η γρήγορη ψύχρανση του αέρα αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις μειονέκτημα. Ακόμα ένα πρόβλημα με τα αερόθερμα είναι ότι δεν θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος και δεν συνίστανται σε καλλιέργειες, όπου η ρίζα του φυτού είναι σημαντικό να θερμαίνεται.

Υπάρχουν τρεις τύποι αερόθερμων που χρησιμοποιούνται: τα ηλεκτρικά αερόθερμα, τα αερόθερμα ζεστού νερού και τα αερόθερμα αερίου ή πετρελαίου. Στα θερμοκήπια ωστόσο ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται οι δύο τελευταίοι τύποι.

Αερόθερμα ζεστού νερού

Σε αυτές τις συσκευές περνά ζεστό νερό από ένα σύστημα σωληνώσεων και ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει μεταξύ τους και να θερμανθεί. Τα αερόθερμα αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπληρωματική θέρμανση σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης με σωλήνες θερμού νερού. Τοποθετούνται ψηλά στο χώρο του θερμοκηπίου, για βελτίωση της κίνησης του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Αερόθερμα αερίου ή πετρελαίου

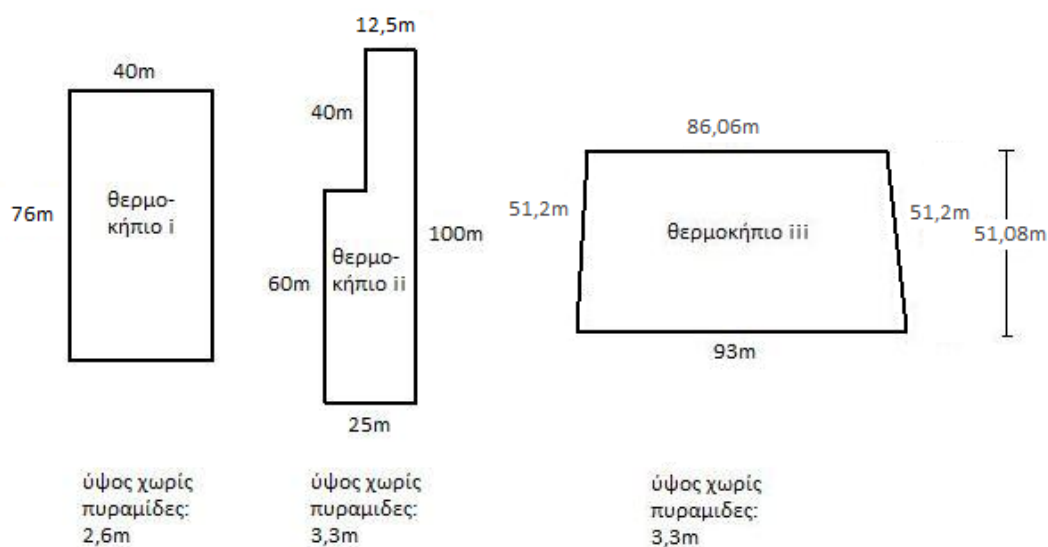
Τα αερόθερμα αερίων καυσίμων διαθέτουν ενσωματωμένο καυστήρα ο οποίος μπορεί να έχει, είτε ανοιχτό θάλαμο καύσης με φλόγιστρα, είτε κλειστό. Στη περίπτωση του ανοιχτού θαλάμου καύσης, που συναντάται σε σχετικά μικρές μονάδες, ο αναγκαίος για την καύση του καυσίμου αέρας προέρχεται από τον αέρα του θερμοκηπίου και τα καυσαέρια απελευθερώνονται πάλι μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας που λειτουργεί η φωτοσύνθεση, όταν τα αερόθερμα λειτουργούν και εφόσον το καύσιμο είναι καθαρό, τα φυτά επωφελούνται από το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται στο χώρο. Η μείωση όμως της συγκέντρωσης του οξυγόνου όταν το θερμοκήπιο είναι κλειστό, έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της καύσης και την καθαρότητα του αέρα στο χώρο του.

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των θερμικών φορτίων μίας εγκατάστασης θερμοκηπίων και η δυνατότητα κάλυψης της ζήτησης θερμότητας από σύστημα Συμπαγωγής με μηχανές Stirling που θα χρησιμοποιεί βιομάζα.

Η εγκατάσταση στην οποία θα γίνει η μελέτη είναι τα θερμοκήπια της εταιρείας «ΚΑΛΑΤΖΗΣ ΦΥΤΑ» στον Μαραθώνα, Αττικής. Επειδή δεν βρέθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας και έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για την συγκεκριμένη περιοχή, θα χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις του «ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΤΗΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ», για την περιοχή της Πεντέλης που είναι κοντά στον Μαραθώνα. Ακόμα η μελέτη του θερμικού φορτίου θα γίνει με βάση τα δεδομένα του έτους 2011, **όπου πρέπει να σημειώσουμε πως ο χειμώνας ήταν σχετικά θερμός.**

Η εγκατάσταση της «ΚΑΛΑΤΖΗΣ ΦΥΤΑ» αποτελείται από τρία θερμοκήπια που παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω:



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Το θερμοκήπιο i: έχει κατασκευαστεί από πλαστικό της εταιρείας «ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.» και συγκεκριμένα το KRITIFIL UV 2900 πριν από 2 χρόνια. Η οροφή του αποτελείται από πυραμίδες με βάση (5m x 3m) και ύψος 0,8m. Και δεν διαθέτει θερμοκουρτίνα.

Άρα έχει:

$$S_{\text{δαπέδου},i} = 40\text{m} \times 76\text{m} = 3040\text{m}^2$$

$$(\text{Αριθμός πυραμίδων}) = 8$$

$$S_{\text{επιφάνεια εκτός πυραμίδων},i} = (2 \times 40\text{m} \times 2,6\text{m}) + (2 \times 76\text{m} \times 2,6\text{m}) = 603,2\text{m}^2$$

$$S_{\text{πυραμίδων},i} = 8 \times [(2 \times 76\text{m} \times 2,625\text{m}) + (2 \times 0,5 \times 5\text{m} \times 0,8\text{m})] = 3224\text{m}^2$$

$$S_{\theta,i} = 3827,2\text{m}^2$$

$$V_{\theta,i} = (40\text{m} \times 76\text{m} \times 2,6\text{m}) + (8 \times 101,33\text{m}^3) = 3242,67\text{m}^3$$

$$U = 3,5 \text{ W / m}^2 \text{ K} \rightarrow k = 3,01 \text{ kcal / h m}^2 \text{ k}$$

$$LT = 85\% = 0,85$$

$$n = 2$$

Το θερμοκήπιο ii: είναι κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό με το θερμοκήπιο i, αλλά πριν από 5 χρόνια και έχει θερμοκουρτίνα. Η θερμοκουρτίνα είναι XLS 17 FIREBREAK

SVENSSON και κλείνει όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 17 °C από τις 16:00 μέχρι τις 8:00 κάθε μερα. Η οροφή του έχει πυραμίδες με βάση (5m x 3m) και ύψος 1m.

Άρα έχει:

$$S_{\text{δαπέδου,ii}} = (40\text{m} \times 12,5\text{m}) + (60\text{m} \times 25\text{m}) = 2000\text{m}^2$$

$$(\text{Αριθμός πυραμίδων}) = 12 + 8 = 20$$

$$S_{\text{επιφάνεια εκτός πυραμίδων,ii}} = (100\text{m} + 25\text{m} + 60\text{m} + 12,5\text{m} + 40\text{m} + 12,5\text{m}) \times 3,3\text{m} = 825\text{m}^2$$

$$S_{\text{πυραμίδων,ii}} = 12 \times (2 \times 25\text{m} \times 2,693\text{m} + 5\text{m} \times 1\text{m}) + 8 \times (2 \times 12,5\text{m} \times 2,693\text{m} + 5\text{m} \times 1\text{m}) = 2254,4\text{m}^2$$

$$S_{\theta,ii} = 3079,4\text{m}^2$$

$$V_{\theta,ii} = (60\text{m} \times 25\text{m} \times 3,3\text{m}) + (40\text{m} \times 12,5\text{m} \times 3,3\text{m}) + 12 \times 41,67\text{m}^3 + 8 \times 20,83\text{m}^3 = 7266,68\text{m}^3$$

$$U = 3,5 \text{ W / m}^2 \text{ K} \rightarrow k = 3,01 \text{ kcal / h m}^2 \text{ k}$$

$$LT = 85\% = 0,85$$

$$n = 2$$

Το θερμοκήπιο iii: Είναι κατασκευασμένο από γυαλί πριν από 15 χρόνια. Διαθέτει θερμοκουρτίνα που είναι η ίδια και λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, όπως στο θερμοκήπιο ii. Και η οροφή του αποτελείται από πυραμίδες με βάση (3,2m x 3m) και ύψος 1m.

Άρα έχει:

$$S_{\text{δαπέδου,iii}} = \left(\frac{86,06\text{m} + 93\text{m}}{2} \right) 51,08\text{m} = 4573,1924\text{m}^2$$

$$(\text{Αριθμός πυραμίδων}) = 16$$

$$S_{\text{επιφάνεια εκτός πυραμίδων,iii}} = (86,06\text{m} \times 3,3\text{m}) + (93\text{m} \times 3,3\text{m}) + (52,345\text{m} \times 3,3\text{m}) + (2 \times 3,3\text{m} \times 51,2\text{m}) = 928,818\text{m}^2$$

$$S_{\text{πυραμίδων,iii}} = 5457,259\text{m}^2$$

$$S_{\theta,iii} = 6386,077\text{m}^2$$

$$V_{\theta,iii} = (4573,1924\text{m}^2 \times 3,3\text{m}) + 1529,784\text{m}^3 = 16621,31892\text{m}^3$$

$$U = 5,9 \text{ W / m}^2 \text{ K} \rightarrow k = 5,07 \text{ kcal / h m}^2 \text{ k}$$

$$LT = 89\% = 0,89$$

$$n = 2,5$$

Το υποθετικό θερμοκήπιο απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:

Ακόμα σε όλα τα θερμοκήπια η επιθυμητή θερμοκρασία κατά τους μήνες που θα εξετάσουμε είναι στους 17 °C και το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από καυστήρες RIELLO P 140 T/G και P 300 T/G που καίνε μαζούτ. Η θέρμανση των θερμοκηπίων γίνεται με υποδαπέδιες και επιδαπέδιες σωληνώσεις ζεστού νερού και συμπληρωματικά με αερόθερμα ζεστού νερού.

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των θερμικών φορτίων ενός θερμοκηπίου. Θα χρησιμοποιήσουμε μία από αυτές για να προσδιορίσουμε την αναγκαία παροχή θερμικής ενέργειας στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Κατά τον προσδιορισμό πρέπει να λάβουμε υπόψη μας, ότι στα θερμοκήπια, έχουμε τόσο απώλειες θερμότητας όσο και προσαγωγή.

3.4.1 ΠΡΟΣΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Η προσαγωγή θερμότητας οφείλεται σε τέσσερεις παράγοντες:

- 1) την ηλιακή ακτινοβολία
- 2) την θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης
- 3) την θερμότητα από την αναπνοή των φυτών
- 4) την θερμότητα που παρέχεται από τα συστήματα θέρμανσης όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την επιθυμητή

Όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, αυτή χωρίζεται στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και στην διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_1 = S_{\theta} LT I$$

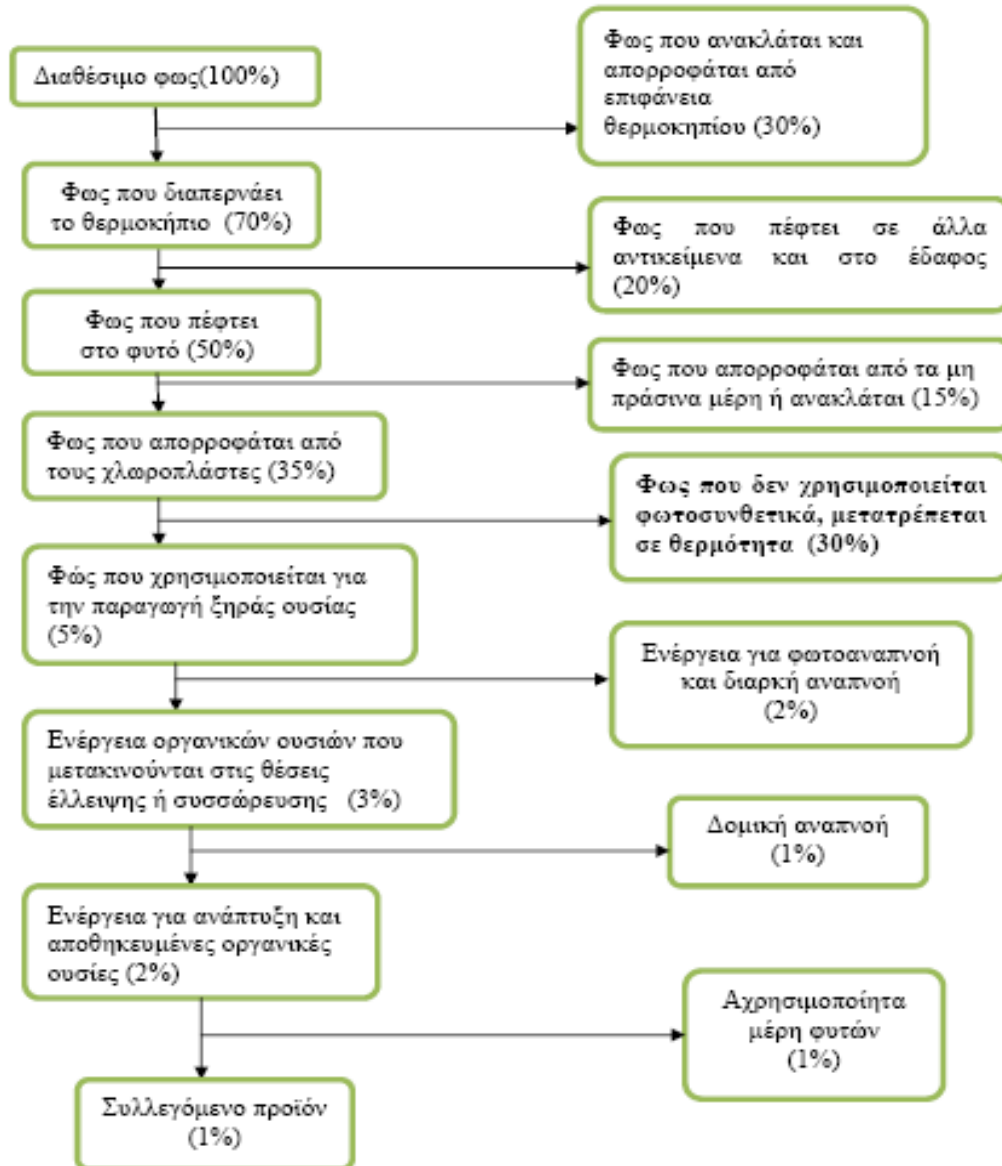
όπου,

S_{θ} : είναι το εμβαδόν επιφάνειας θερμοκηπίου σε m^2 (αυτού που προεξέχει από το έδαφος, όχι δηλαδή το εμβαδόν εδάφους)

LT: το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά τη διαφανή κάλυψη του θερμοκηπίου ή αλλιώς light transmission

I : ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε $kcal/hm^2$. Στους υπολογισμούς που θα γίνουν θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία που λήφθηκαν από το Αστεροσκοπείο της Πεντέλης. Πιο συγκεκριμένα επειδή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται για κάθε ώρα της ημέρας, θα χρησιμοποιήσουμε τον μέσο όρο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε ημέρα των μηνών που μας ενδιαφέρουν.

Από το συνολικό διαθέσιμο ηλιακό φως δεν περνάει τελικά όλο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπως επίσης και δεν απορροφάται το 100% από τα φυτά. Πιο συγκεκριμένα, μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 30% τελικά είναι αυτό που θερμαίνει ουσιαστικά το θερμοκήπιο, καθώς σύμφωνα με τον S.Warren Wilson, η ηλιακή ενέργεια ακολουθεί μια πορεία μέσα στο θερμοκήπιο όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Η θερμότητα q_2 η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης θεωρείται αμελητέα καθώς αποτελεί το 0,02% των απαιτήσεων του θερμοκηπίου σε θέρμανση.

Όσον αφορά τη θερμότητα q_3 που οφείλεται στην αναπνοή των φυτών. Και αυτή αμελείται στους υπολογισμούς γιατί αντιπροσωπεύει το 0,3-0,4% της θερμότητας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.

Συνεπώς, το συνολικό κέρδος της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τον τύπο:

$$Q_K = 0,3 q_1$$

3.4.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, τότε έχουμε μεταφορά θερμότητας από το θερμοκήπιο προς το περιβάλλον. Οι διαδικασίες με τις οποίες γίνεται αυτή η μεταφορά και ο τρόπος υπολογισμού, της ενέργειας που μεταφέρεται, αναφέρονται παρακάτω.

1) Απώλειες λόγω αερισμού

Οι απώλειες αυτές, προκαλούνται από τις κατασκευαστικές ατέλειες του θερμοκηπίου και από τον απαιτούμενο εξαερισμό μέσω των παραθύρων. Η εναλλαγή αυτή του αέρα προκαλεί μεγάλες απώλειες θερμότητας. Η εναλλασσόμενη θερμότητα Q_1 προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$Q_1 = m (H_{in} - H_{out})$$

όπου:

m : η μάζα αέρα που εναλλάσσεται σε kg

H_{in} : η ενθαλπία του εσωτερικού αέρα σε kWh/kg

H_{out} : η ενθαλπία του εξωτερικού αέρα σε kWh/kg

Όμως ισχύει ότι η ειδική θερμότητα C_p του αέρα, υπό σταθερή πίεση δίνεται από τον τύπο:

$$C_p = \frac{dH}{dT}$$

Όπου dT είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας.

Ο όγκος του αέρα V_a που εναλλάσσεται και δημιουργεί τις απώλειες θερμότητας είναι ανάλογος με τον όγκο του θερμοκηπίου V_θ και δίνεται από την σχέση

$$V_a = nV_\theta$$

Όπου n είναι ένας συντελεστής που προσδιορίζει τις εναλλαγές.

Έτσι, αν P η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 , τότε η ολική μάζα του αέρα που εναλλάσσεται είναι:

$$m = P V_a = P n V_\theta$$

Οπότε η Q_1 προκύπτει:

$$Q_1 = m c_p dT$$

Με dT την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα έξω από το θερμοκήπιο και μέσα σε αυτό. Και τελικά για $c_p=0,24$ kcal/kg °C και $P=1,3$ kg/m³ έχουμε:

$$Q_1 = 0,31 n V_\theta dT \text{ kcal/h}$$

Ενώ, ο αριθμός n εναλλαγών του αέρα ανά ώρα παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- $n=0,8-1$ για νέα κατασκευή-γυαλί
- $n=0,8-2,5$ για νέα κατασκευή-απλό πλαστικό
- $n=0,6-1,2$ για νέα κατασκευή-διπλό πλαστικό
- $n=1,5$ για παλιά κατασκευή-γυαλί(καλή συντήρηση)
- $n=2,5$ για παλιά κατασκευή-γυαλί(κακή συντήρηση)
- $n=50$ για ανοικτό θερμοκήπιο

2) Απώλειες λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται από διαφανή υλικά έτσι ώστε, να μπορεί να περάσει το ηλιακό φως και να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση των φυτών. Όμως τα υλικά αυτά έχουν μικρό πάχος και συνεπώς μικρή θερμική μόνωση με αποτέλεσμα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, η ροή θερμότητας προς τα έξω να είναι μεγάλη. Οι

απώλειες αυτές γίνονται κυρίως με αγωγιμότητα από τα διαφανή μέρη και δίνονται από τον τύπο του Gray:

$$Q_2 = k S dT \text{ kcal/h}$$

όπου:

K : ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του υλικού κάλυψης σε Kcal / m² h °C

S : η επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου σε m²

dT : η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο σε °C

Αν μερικά τμήματα του καλύμματος έχουν διαφορετικό συντελεστή αγωγιμότητας ή αν τα διαφανή μέρη αποτελούνται από διαφορετικά υλικά, τότε οι απώλειες θερμότητας δίνονται από το άθροισμα:

$$Q_2 = \sum_i K_i S_i dT$$

Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας K των συνηθισμένων υλικών κάλυψης παίρνει τις εξής τιμές σε Kcal / m² h °C

- Γυαλί πάχους 3mm K=5,1
- Γυαλί πάχους 6mm K=4,9
- Πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm K=5,7
- Πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm διπλό K=2-3
- Πολυαιθυλένιο πάχους 12/100 mm K=5,4
- Πολυαιθυλένιο πάχους 1,5 mm K=4,8

Ακόμα στην περίπτωση που στο θερμοκήπιο χρησιμοποιείται θερμική κουρτίνα τότε αυτός ο τύπος μεταβάλλεται στον:

$$Q_2 = \sum_i k_i S_i dT + \sum_j k_j S_j dT \left(\frac{\text{ώρες με κουρτίνα}}{24} 0,8 + \frac{\text{ώρες χωρίς κουρτίνα}}{24} \right) \text{ kcal/h}$$

3) Απώλειες λόγω αγωγιμότητας από το έδαφος

Στα θερμοκήπια έχουμε ροή ενέργειας προς το έδαφος, η οποία στο μεν κεντρικό τμήμα του οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας εδάφους-αέρα του εσωτερικού του θερμοκηπίου, ενώ περιμετρικά οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Ο τύπος που δίνει τις απώλειες αυτές είναι ο ακόλουθος:

$$Q_3 = k_{\text{εδάφους}} S_{\text{εδάφους}} dT \text{ kcal/h}$$

όπου:

K_{εδάφους} : ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του εδάφους, ο οποίος για ένα μέσο γεωργικό έδαφος ισούται με **1,6 kcal/h m² °C**

S_{εδάφους} : η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m²

dT : η διαφορά θερμοκρασίας αέρα-εδάφους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε °C

Στα μεγάλα συγκροτήματα θεωρείται ότι οι απώλειες είναι ομοιόμορφες σε όλη την επιφάνεια του εδάφους. Η θερμοκρασία, όμως, του εδάφους και η ροή θερμότητας προς αυτό είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν και γι' αυτό στην πράξη **σαν dT, στον παραπάνω τύπο, λαμβάνεται η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα.**

4) Απώλειες λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από τα φυτά και το έδαφος

Όλα τα σώματα εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (3,5-100m). Τέτοιου είδους ακτινοβολία εκπέμπεται και από τα καλλιεργούμενα φυτά και το έδαφος ενός θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται απώλειες θερμότητας. Αυτές δίνονται από τον εξής τύπο:

$$Q_4 = \sigma P F S_{\text{εδάφους}} (\epsilon_f T_i^4 - \epsilon_a T_e^4) \text{ kcal/h}$$

όπου:

σ : η σταθερά Stefan-Boltzmann σε kWh/ m² k

P : το ποσοστό περατότητας του καλύμματος στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος

F : το ποσοστό της επιφάνειας του καλύμματος που δεν καλύπτεται από συμπυκνωμένους υδρατμούς.

S_{εδάφους} : η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m²

ϵ_f : ο συντελεστής εκπομπής του εδάφους και των φυτών του θερμοκηπίου

ϵ_a : ο συντελεστής εκπομπής της ατμόσφαιρας

T_i : η απόλυτη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου σε K

T_e : η θερμοκρασία του ουρανού σε K.

Η θερμοκρασία του ουρανού δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς, γιατί όπως σημειώθηκε από τον Atwater και Ball (1978), εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα, την εποχή και τη γεωγραφική θέση. Γι' αυτό θεωρείται σχετική και περίπου ίση με την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα όπως προτείνεται από τον Swinback, 1963. Ο συντελεστής εκπομπής των φυτών και του εδάφους παίρνει συνήθως την τιμή 0,9. Ο συντελεστής εκπομπής του ουρανού λαμβάνεται 0,73-0,8 για καθαρές νύχτες και 1 για πλήρη συννεφιά. Το ποσοστό περατότητας P της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από το κάλυμμα του θερμοκηπίου, διαφέρει για τα διάφορα υλικά κάλυψης.

Στην πράξη θεωρείται ότι οι απώλειες θερμότητας λόγω της ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους αντιπροσωπεύουν, για τις ελληνικές συνθήκες, το 25% των άλλων απωλειών του θερμοκηπίου. Έτσι δίνονται από τον τύπο:

$$Q_4 = 0,25 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

5) Απώλειες λόγω της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από το έδαφος

Οι απώλειες αυτές είναι μεγάλες, κυρίως τις ημέρες με ισχυρή ηλιοφάνεια ενώ κατά τη νύχτα είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Έχει υπολογιστεί, ότι από την ακτινοβολία που εισέρχεται τελικά στο θερμοκήπιο, ένα ποσοστό της τάξης του 70% καταναλώνεται για εξατμισοδιαπνοή και απλή εξάτμιση. **Αυτές οι απώλειες αμελούνται, μιας και λήφθηκαν υπόψη κατά τον υπολογισμό των ηλιακών κερδών.**

6) Απώλειες θερμότητας λόγω φωτοσύνθεσης φυτών

Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές συγκριτικά με τις άλλες απώλειες του θερμοκηπίου και για το λόγο αυτό **συνήθως παραλείπονται στους υπολογισμούς**, καθώς έχει βρεθεί ότι από την εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ακτινοβολία ένα ποσοστό της τάξης του 1% χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών.

7) Απώλειες λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου

Κι αυτές οι απώλειες θεωρούνται αμελητέες καθώς είναι εξαιρετικά μικρό ποσοστό των συνολικών απωλειών ενός θερμοκηπίου.

Συμπερασματικά λοιπόν, οι συνολικές θερμικές απώλειες ενός θερμοκηπίου θα δίνονται από την σχέση:

$$Q_A = 1,25 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

Και το θερμικό φορτίο που απαιτείται, για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του θερμοκηπίου θα είναι:

$$Q = Q_A - Q_K$$

3.4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΒΑΣΗΣ

Οι μήνες που απαιτείται θέρμανση σε ένα θερμοκήπιο στην περιοχή Μαραθώνα Αττικής και γενικότερα στην Ελλάδα είναι συνήθως από τον Οκτώβριο ως τον Απρίλιο. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει και από τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα που εξετάσαμε κατά το έτος 2011. Οι υπολογισμοί της θερμικής ζήτησης για κάθε έναν από τους ενδιαφέροντες μήνες δίνονται στο Παράρτημα 1. Σε αυτούς τους πίνακες παρουσιάζεται το αναγκαίο θερμικό φορτίο για κάθε μέρα με βάση την μέση θερμοκρασία κάθε ημέρας και την μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης υπολογίζεται ο μέσος όρος για κάθε μήνα ώστε να προσδιοριστεί το φορτίο για μία «μέση» μέρα και το συνολικό φορτίο ενέργειας για κάθε μήνα. Τέλος υπολογίζεται η αιχμή φορτίου για κάθε μήνα χρησιμοποιώντας την χαμηλότερη μέση θερμοκρασία ημέρας και μηδενική ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που ισχύει κατά την διάρκεια της νύχτας.

Για τον υπολογισμό του φορτίου βάσης ακολουθήσαμε την εξής μέθοδο, όπως περιγράφηκε και πιο πάνω. Βρήκαμε το φορτίο κατά το οποίο μεγιστοποιείται η παραγόμενη από το σύστημα θέρμανσης ενέργεια. Δηλαδή το φορτίο που αν αποδίδει το σύστημα θέρμανσης επί τις ώρες λειτουργίας του θα δίνει το μέγιστο δυνατό γινόμενο. Έτσι λοιπόν, το φορτίο βάσης είναι στα 503,5 kW για 1176 ώρες λειτουργίας.

3.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

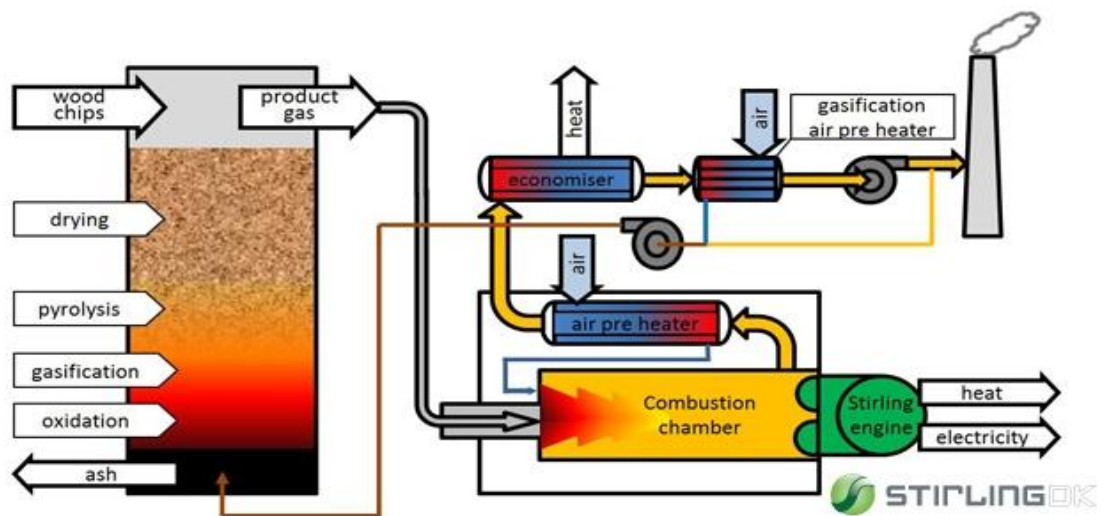
Η διαστασιολόγηση της εφαρμογής μας, γίνεται με βάση όλη την προηγούμενη ανάλυση και θεωρώντας ως πιο σημαντική την κάλυψη του θερμικού φορτίου με σύστημα συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιεί βιομάζα. Όπως αναφέραμε και προηγούμενα η τεχνολογία που θα χρησιμοποιήσουμε είναι οι μηχανές Stirling. Ο κύριος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται αυτή η τεχνολογία αυτή είναι ότι είναι μία αναπτυσσόμενη και αρκετά ελπιδοφόρα τεχνολογία για την Συμπαραγωγή με πολύ καλό βαθμό απόδοσης θερμοδυναμικού κύκλου. Ακόμα έχει δυνατότητες για πολύ καλή αναλογία ηλεκτρικής ενέργειας προς θερμική. Και όταν το βασικό είναι η κάλυψη της θέρμανσης μίας εγκατάστασης, η αναλογία ηλεκτρικής προς θερμική ισχύ είναι και επί του παρόντος καλύτερη σε σχέση με τις τεχνολογίες ατμοστροβίλων και κυρίως της ORC Rankine που αναφέρεται στη συμπαραγωγή με βιομάζα σε φορτία κοντά στα 500kW. Επίσης οι μηχανές Stirling κατασκευάζονται κυρίως για να καίνε βιομάζα και λιγότερο για ηλιακή ενέργεια. Έτσι, σε σχέση με τις μηχανές MEK και τους μικροστροβίλους που προς το παρόν εμπορικά παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις και μικρότερη τιμή, υπάρχει το πρόβλημα ότι δεν κατασκευάζονται κυρίως για βιομάζα και διατίθενται στο εμπόριο χωρίς τα αντίστοιχα συστήματα καύσης, γεγονός που θα απαιτούσε την προμήθεια βιοκαυσίμων με μεγαλύτερη τιμή και δυσκολότερη τροφοδότηση στο θερμοκήπιο. Η αλλιώς την ξεχωριστή εγκατάσταση των συστημάτων παραγωγής βιοκαυσίμων στο θερμοκήπιο. Τέλος και οι κυψέλες καυσίμου

δεν κατασκευάζονται κυρίως για βιομάζα και έχουν τα ίδια ελαττώματα με τις ΜΕΚ και τους μικροστροβίλους, ενώ έχουν και πολύ μικρό χρόνο ζωής.

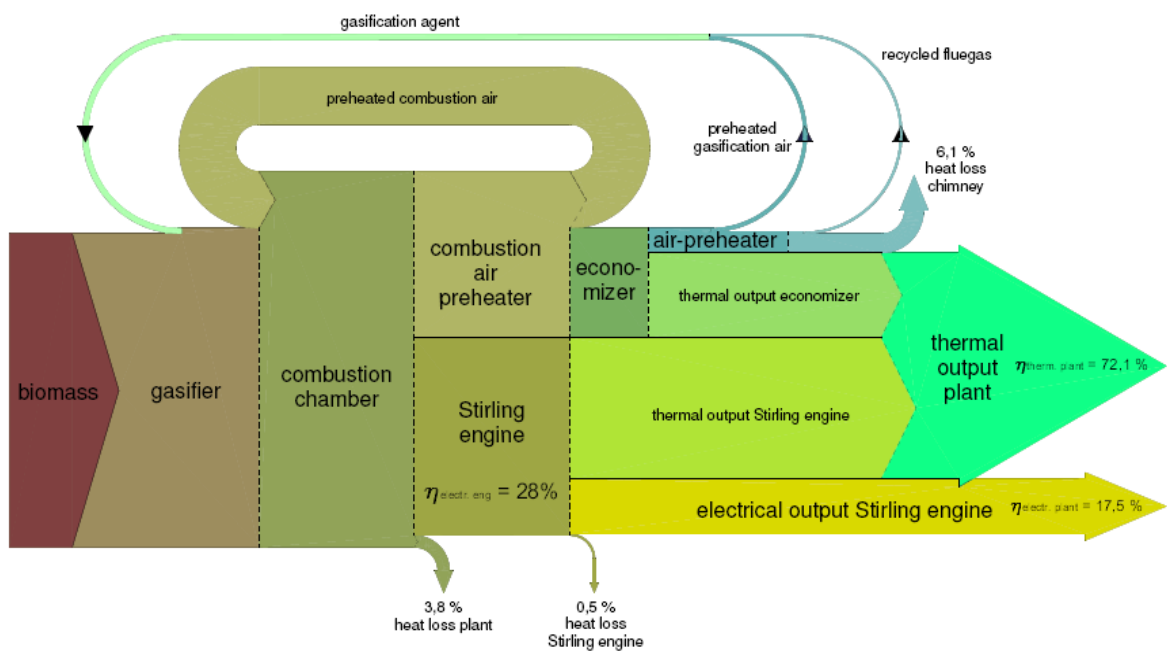
Η εμπορική χρήση των μηχανών Stirling βρίσκεται σε εμβρυακό στάδιο και ειδικά για τις τιμές φορτίου στις οποίες κινείται το θερμοκήπιο. Από τα προϊόντα που υπάρχουν, η εταιρεία η οποία επιλέχθηκε είναι η Stirling DK και το μοντέλο SD4-E.

3.5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Για τη εγκατάσταση του θερμοκηπίου που μελετάμε θα χρησιμοποιηθούν 4 ανεξάρτητες μονάδες με μηχανές SD4-E που θα καίνε ως καύσιμο πριονίδι με την μέθοδο της θερμικής αεριοποίησης. Ένα σχηματικό διάγραμμα της κάθε μονάδας φαίνεται παρακάτω μαζί και με το αντίστοιχο διάγραμμα ροής ενέργειας:



Energy-flow Stirling plant

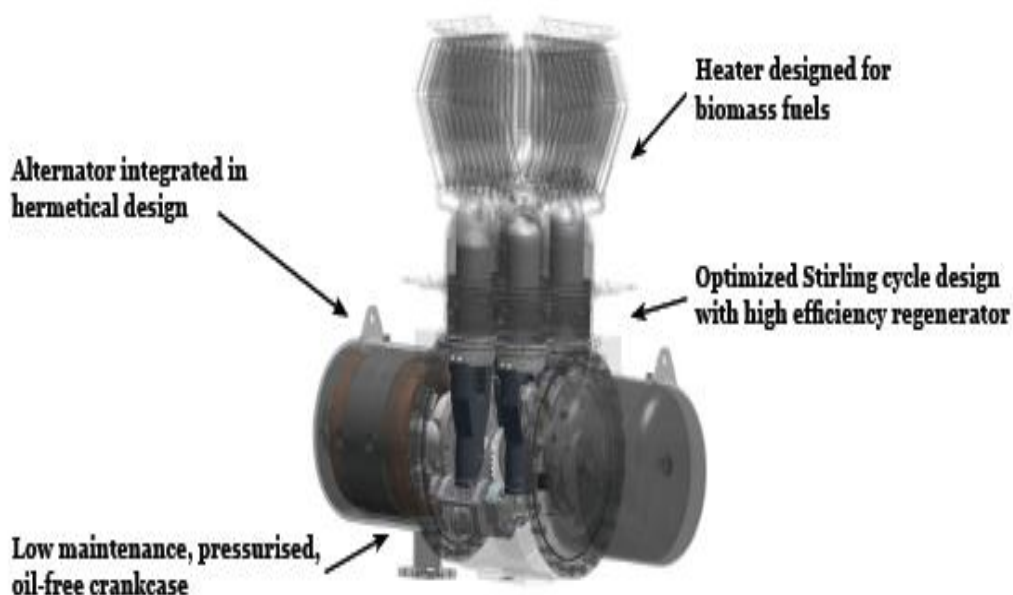


Η μηχανή SD4-E είναι μηχανή Stirling δηλαδή εξωτερικής καύσης με δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας περίπου στους 1000 °C. Σχεδιάζεται για να είναι ερμητικά κλειστή και έχει ενσωματωμένα γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο κινητήρας

αποτελείται από τέσσερις κυλίνδρους που τοποθετούνται σε διάταξη τετραγώνου και το εργαζόμενο αέριο στο εσωτερικό της μηχανής είναι το ήλιο σε πιέσεις περίπου 4,5 MPa. Το ήλιο είναι μη τοξικά επικίνδυνο σε περίπτωση διαρροής. Τα κινούμενα μέρη της μηχανής έχουν γρασαριστεί εξαρχής και δεν χρειάζεται να λιπαίνεται πέρα από την απαιτούμενη συντήρηση στις 4000 με 6000 ώρες λειτουργίας. Τα πιστόνια και οι θάλαμοι γύρω από αυτά είναι κατασκευασμένοι με υλικό που έχει ως βάση το PTFE. Ο εσωτερικός σχεδιασμός της μηχανής μειώνει την ανάγκη για υλικά με αντοχή σε υψηλές πιέσεις που δημιουργεί προβλήματα σε αρκετές μηχανές Stirling. Η γεννήτρια είναι ασύγχρονη εξαπολική με ταχύτητα περιστροφής περίπου τους 1000rpm, όταν είναι συνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος. Η γεννήτρια χρησιμοποιείται και ως κινητήρας για την έναυση της μηχανής. Ο σχεδιασμός της μηχανής και το γεγονός ότι είναι ερμητικά κλειστή την καθιστά εξαιρετικά ανθεκτική σε περιβάλλοντα με σκόνη και έχει ως αποτέλεσμα μεγάλη διάρκεια ζωής. Ο χρόνος ζωής προσδιορίζεται στις 100000 ώρες λειτουργίας. Επειδή δεν χρησιμοποιείται λάδι στο εσωτερικό της μηχανής και για την μεταφορά θερμότητας δεν υπάρχουν κίνδυνοι διαρροών και ατυχημάτων από αυτή την πλευρά. Τα κινούμενα μέρη της μηχανής είναι λίγα συγκριτικά με άλλες μηχανές. Ακόμα η SD4-E είναι σχεδιασμένη για να καίει βιομάζα. Τέλος όλες οι διαδικασίες της μηχανής είναι αυτοματοποιημένες και η μόνη ανθρώπινη παρέμβαση που χρειάζεται είναι η τροφοδοσία καυσίμου (πριονιδιού) και η απομάκρυνση της στάχτης από τον αεριοποιητή που καίει βιομάζα. Συνεπώς δεν απαιτείται η πρόσληψη προσωπικού για την λειτουργία της μονάδας αφού τις διαδικασίες που απαιτούνται μπορεί να τις κάνει οποιοσδήποτε ανειδίκευτος εργάτης σε μικρό χρόνο.

Παρακάτω δίνονται σχέδια της μηχανής και τα τεχνικά της χαρακτηριστικά:

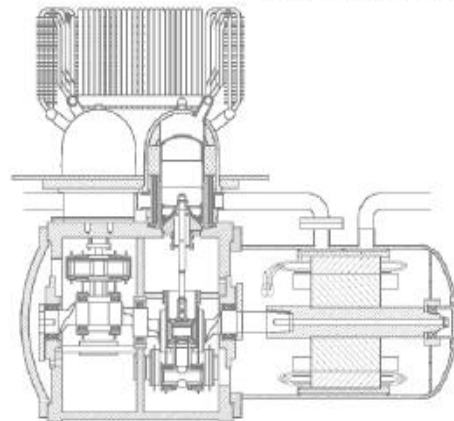
Engine Model SD4-E



Close-up of heater



35 kW 4-cylinder engine



ENGINE SPECIFICATION

Engine type SD4E

• No. of cylinders	4
• Bore, mm	142
• Stroke, mm	76
• Phase angle	90°
• Working gas	Helium
• Helium filling, Nm ³	9
• Mean pressure, MPa	4.5
• Min/max process pressure, MPa	3.3 / 5.7
• Alternator poles for 50 / 60 Hz	6 / 8
• Engine speed at 50 / 60 Hz, rpm	1014 / 914
• Maximum Continuous Rating, KWe	35 / 32
• Heat output in water, kWt	88.5
• Heater temperature °C	700±50
• Heat input to heater at MCR, kW	125
• Max cooling water inlet temperature °C	60
• Mass in kg	2500

Η μηχανή SD4-E θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη εφαρμογή με αεριοποιητή σταθερής κλίσης και ανοδικού ρεύματος. Ο αεριοποιητής τροφοδοτείται με φρέσκο πριονίδι το οποίο καίγεται αργά σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου και παράγει αέριο. Το αέριο με την σειρά του διοχετεύεται στον θάλαμο καύσης της μηχανής όπου γίνεται άμεση καύση με παρουσία οξυγόνου και παρέχεται η κατάλληλη θερμική ενέργεια για την κίνηση της μηχανής Stirling. Σε αυτή την διαδικασία δεν απαιτούνται συσκευές καθαρισμού και διατήρησης του παραγόμενου αερίου.

Στην περίπτωση αυτή, η θερμότητα που περισσεύει κατά την καύση του αερίου χρησιμοποιείται για να προθερμάνει το αέρα καύσης στον θάλαμο μέσω του προθερμαστή και στην συνέχεια χρησιμοποιείται από τον εξοικονομητή (economizer) για την παροχή θερμότητας στο κύκλωμα θέρμανσης. Μετά τον εξοικονομητή αντλείται θερμότητα για την θέρμανση του αεριοποιητή μέσω ενός δεύτερου προθερμαστή και με την μεταφορά θερμότητας από το πέρασμα των καυσαερίων πριν τη καμινάδα από τον αεριοποιητή.

Επιπλέον το σύστημα θέρμανσης τροφοδοτείται με την αποβαλλόμενη θερμότητα από την μηχανή Stirling.

Τα κατάλοιπα αυτής της διαδικασίας είναι καυσαέρια χαμηλής θερμοκρασίας με χαμηλές εκπομπές CO και NO_x. Καθώς και στάχτη στο πάτο του αεριποιητή.

Σε αυτή την περίπτωση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας φαίνονται παρακάτω:

Specifications

Engine type	SD4
Fuel	Wood chips
Moisture content	35-55%
Electrical power	35 kW
Own consumption	app. 4 kW
Heat production	140 kW
Water flow @ 45°C/80°C	3.5 m ³ /hr
Fuel consumption	200 kW
@ 40% moist	70 kg/hr
Electrical efficiency, net	17.5%
Plant efficiency	89.2%
Service intervals	4-6,000 hrs

Emissions

Typ. values measured (mg/m³):

CO	190
NOX	150
TOC	5.2



Επομένως, κάθε μία από τις τέσσερις μονάδες που θα χρησιμοποιήσουμε θα παράγει 140kWth και 35kWe ενώ θα καταναλώνει πριονίδι με θερμογόνο δύναμη 200kW με υγρασία μεταξύ 35%-55%. Η κάθε μηχανή θα συνδέεται ξεχωριστά στο κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

3.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Η συνολική μονάδα θα αποτελείται από τέσσερις **ανεξάρτητες** μονάδες όπως περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

1. Όταν θα υπάρχει μηδενική ζήτηση θερμότητας δεν θα λειτουργεί καμία μηχανή
2. Όταν υπάρχει θερμική ζήτηση και το θερμικό φορτίο είναι μικρότερο από 560kWth, τότε θα λειτουργούν και οι τέσσερις μονάδες και η επιπλέον θερμότητα θα μπορεί να μεταφέρεται μέσω κατάλληλου υδραυλικού συστήματος σε μία δεξαμενή θερμότητας ζεστού νερού, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά το φορτίο αιχμής. Ενώ θα παράγονται 140kWe.
3. Για θερμική ζήτηση μεγαλύτερη από 560kWth θα λειτουργούν και οι τέσσερις μονάδες, θα παράγονται 140kWe και θα χρησιμοποιείται η δεξαμενή θερμότητας μαζί με τους υπάρχοντες καυστήρες μαζούτ.

Όλη η ηλεκτρική ενέργεια θα πωλείται στο δίκτυο διανομής της ΔΕΗ. Ο λόγος που θα χρησιμοποιούνται και οι τέσσερις μονάδες και όχι κάθε μία χωριστά είναι ότι αυξάνεται το οικονομικό κέρδος. Ο λόγος για τον οποίο οι μονάδες θα είναι ανεξάρτητες είναι γιατί σε περίπτωση βλάβης ή και συντήρησης θα μπορούν κάποιες από αυτές να λειτουργούν και γιατί σε περίπτωση αύξησης της τιμής του πριονιδιού θα είναι πιο οικονομικό ίσως να λειτουργούν με το ακόλουθο τρόπο:

1. Όταν θα υπάρχει μηδενική ζήτηση θερμότητας δεν θα λειτουργεί καμία μηχανή
2. Όταν υπάρχει θερμική ζήτηση και το θερμικό φορτίο είναι μικρότερο από 140kWth, τότε θα λειτουργεί μία μονάδα και η επιπλέον θερμότητα θα μπορεί να μεταφέρεται μέσω κατάλληλου υδραυλικού συστήματος σε μία δεξαμενή θερμότητας ζεστού νερού, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά το φορτίο αιχμής. Ενώ θα παράγονται 35kWe.
3. Όταν το θερμικό φορτίο θα είναι μεταξύ 140kWth και 280kWth θα μπαίνει σε λειτουργία και η δεύτερη μονάδα και πάλι η περίσσεια θερμότητας θα οδηγείται στην δεξαμενή θερμότητας με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 70kWe.
4. Όταν το θερμικό φορτίο θα είναι μεταξύ 280kWth και 420kWth τότε θα λειτουργούν τρεις μηχανές με αντίστοιχο τρόπο και θα παράγονται 105kWe.
5. Όταν το θερμικό φορτίο θα είναι μεταξύ 420kWth και 560kWth θα λειτουργούν όλες οι μονάδες με την περίσσεια να οδηγείται στην δεξαμενή ζεστού νερού και την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι στα 140kWe.
6. Για θερμική ζήτηση μεγαλύτερη από 560kWth θα λειτουργούν και οι τέσσερις μονάδες, θα παράγονται 140kWe και θα χρησιμοποιείται η δεξαμενή θερμότητας μαζί με τους υπάρχοντες καυστήρες μαζούτ.

Η στάχτη από όλη την διαδικασία θα μπορεί να παρέχεται σε εταιρείες παραγωγής δομικών υλικών ή και να χρησιμοποιείται για λίπανση κάποιων εδαφών. Ενώ τα καυσαέρια αν φιλτράρονται κατάλληλα μπορούν να διοχετεύουν τα θερμοκήπια με CO₂, εάν είναι επιθυμητό

Προβλήματα χώρου για την εγκατάσταση δεν υπάρχουν και επειδή το θερμοκήπιο βρίσκεται σχετικά μακριά από κατοικημένη περιοχή δεν υπάρχουν προβλήματα ηχορύπανσης

3.7 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Συνεπώς το τελικό σύστημα θέρμανσης με Συμπααραγωγή θα αποτελείται από:

- Τις τέσσερις μηχανές Stirling με αεριοποιητές
- Τους καυστήρες μαζούτ και τους αντίστοιχους λέβητες που υπήρχαν
- Την δεξαμενή θερμότητας ζεστού νερού

- Το υδραυλικό σύστημα που θα στέλνει ζεστό νερό από το σύστημα Συμπαραγωγής στην δεξαμενή θερμότητας και στο δίκτυο σωληνώσεων
- Το δίκτυο σωληνώσεων
- Τα αερόθερμα θερμού νερού
- Τον απαραίτητο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος
- Τα συστήματα ασφάλειας

3.8 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Θεωρούμε ότι το έργο θα γίνει με ίδια κεφάλαια, δηλαδή χωρίς δανεισμό καθώς και χωρίς επιδότηση, οπότε τα κέρδη θα φορολογούνται με 30%.

3.8.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΛΙΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

Θα συγκρίνουμε τα ετήσια λειτουργικά έσοδα και έξοδα για την κάλυψη της θερμικής ζήτησης του θερμοκηπίου, όταν αυτό χρησιμοποιεί μόνο τους καυστήρες μαζούτ για θέρμανση και όταν χρησιμοποιεί και το σύστημα Συμπαραγωγής που περιγράφηκε.

Το συνολικό θερμικό φορτίο κατά το έτος 2011 στο θερμοκήπιο που εξετάζουμε ήταν:

$$\boxed{(\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ}) = 1320,412 \text{ MWh} = 1320412 \text{ kWh}}$$

1^η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Παραθέτουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καυστήρων μαζούτ:

Model		▼ P 140 T/G	▼ P 200 T/G	▼ P 300 T/G	▼ P 450 T/G
Bumer operation mode		Three stage			
Modulation ratio at max. output		3 : 1			
Servomotor	type	-			
	run time	-			
Heat output	kW	380/830-1660	557/1186-2372	712/1779-3560	890/2670-5340
	Mcal/h	327/714-1428	479/1020-2040	612/1530-3062	765/2296-4592
	kg/h	32/70-140	47/100-200	60/150-300	75/225-450
Working temperature		°C min./max. 0/40			
Net calorific value	kWh/kg	11,86			
	kcal/kg	10200			
Viscosity		mm ² /s (cSt) 4 + 6 (at 20°C)			
Pump	type	J7	J7	TA2	TA3
	delivery	kg/h 190 (20 bar)	190 (20 bar)	340 (20 bar)	525 (20 bar)
Atomised pressure		bar 12			
Fuel temperature		max. °C 50			
Fuel pre-heater		NO			
Fan		type Centrifugal with forward curve blades			
Air temperature		max. °C 60			
Electrical supply		Ph/Hz/V 3N/50/400~(±10%) Δ 3/50/230~(±10%) Δ			
Auxiliary electrical supply		Ph/Hz/V 1/50/230 (±10%)			
Control box		type RMO			
Total electrical power		kW 4,5	5,5	10	18
Auxiliary electrical power		kW 1,5	1,5	2,5	3
Heaters electrical power		kW -			
Protection level		IP 40			
Pump motor electrical power		kW -			
Rated pump motor current		A -			
Pump motor start up current		A -			
Pump motor protection level		IP -			
Fan motor electrical power		kW 3	4	7,5	15
Rated fan motor current		A 8/13,5	9,5/16,4	17,5/30	29/50,2
Fan motor start up current		A 51/86	48/83	113/195	167/291
Fan motor protection level		IP 55			
Ignition transformer		type V1 - V2 230 V - 2x6 kV I1 - I2 2,3 A - 35 mA			
Operation		Intermittent (at least one stop every 24 h)			
Sound pressure		dBA 86,5	85,5	89,5	90
Sound power		W --			
CO emission		mg/kWh < 70			
Grade of smoke indicator		N° Bacharach < 2			
C _x H _y emission		mg/kWh --			
NO _x emission		mg/kWh < 230			
Directive		89/336 (2004/108) - 73/23 (2006/95)			89/336 (2004/108)
Conforming to		- 92/42 - 98/37 EC			- 73/23 (2006/95) - 98/37 EC
Certification		EN 267			
Approval		DIN 5G455/2000	DIN 5G456/2000	DIN 5G457/2000	--

Για απόδοση των P140T/N ΚΑΙ P300T/N στο 80%, έχουμε ότι η ενέργεια που πρέπει να παρέχει το καύσιμο στους καυστήρες είναι:

$$(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΑΖΟΥΤ) = \frac{1320,412 \text{ MWh}}{0,80} = 1650,515 \text{ MWh}$$

Για θερμογόνο δύναμη του μίγματος ελαφριού και βαρέως μαζούτ που χρησιμοποιεί το θερμοκήπιο, τις **12,5 kWh/kg** προκύπτει:

$$(ΣΥΝΟΛΙΚΑ \text{ kg MAZΟΥΤ ΕΤΗΣΙΟΣ}) = \frac{1650515 \text{ kWh}}{12,5 \text{ kWh/kg}} = 132041,2 \text{ kg}$$

Το θερμοκήπιο αγόρασε τον Ιανουάριο του 2011 αυτό το μίγμα μαζούτ προς 941 ευρώ τον τόνο άρα προς **0,941 ευρώ/kg** οπότε έχουμε:

$$(ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΜΑΖΟΥΤ) = 124250,77 \text{ ευρώ}$$

2^η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Όταν χρησιμοποιούμε την μονάδα Συμπαγωγής όπως περιγράφηκε τότε η συνολική ενέργεια που θα πρέπει να περιέχεται ως θερμογόνος δύναμη στο πριονίδι είναι:

$$(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ) = 2342,4 \text{ MWh} = 2342400 \text{ kWh}$$

Το σύστημα συμπαγωγής μπορεί να καίει πριονίδι με αρκετά διαφορετική περιεκτικότητα σε υγρασία. Θεωρούμε ότι η υγρασία του θα είναι κοντά στο 30% και η θερμογόνος δύναμη αυτού του στις **4 kWh/kg**. Επομένως θα ισχύει ότι:

$$(ΣΥΝΟΛΙΚΑ \text{ kg ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ ΕΤΗΣΙΟΣ}) = \frac{2342400 \text{ kWh}}{4 \text{ kWh/kg}} = 585600 \text{ kg}$$

Το πριονίδι αποτελεί κατάλοιπο σχεδόν όλων των ξυλουργικών διαδικασιών και τις περισσότερες φορές πετιέται σαν σκουπίδι. Το τελευταίο μόνο χρονικό διάστημα πουλιέται κυρίως σε εταιρείες κατασκευής pellets. Η τιμή του τόνου μαζί με Φ.Π.Α. για πριονίδι που δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε κυμαίνεται στα 30-40 ευρώ. Μαζί με τα μεταφορικά έξοδα για την παράδοση φορτηγών 20 τόνων στο θερμοκήπιο που βρίσκεται στην Αττική εκτιμούμε το κόστος στα 60 ευρώ/τόνο. Έτσι λοιπόν η τιμή που θα χρησιμοποιήσουμε είναι τα **0,06 ευρώ/kg** και συνεπώς το ετήσιο κόστος για την λειτουργία της μονάδας συμπαγωγής θα είναι:

$$(ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΙΟΝΙΔΙΟΥ ΜΟΝΑΔΑΣ CHP) = 35136 \text{ ευρώ}$$

Από την λειτουργία της μονάδας συμπαγωγής, όπως την περιγράψαμε προκύπτει ότι θα παράγονται:

$$(ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ) = 409,92 \text{ MWh} = 409920 \text{ kWh}$$

Σύμφωνα με τον νόμο (ν.3851/Ιούνιος2010) πληροφορούμαστε ότι για πώληση ρεύματος στην ΔΕΗ με Συμπαγωγή και χρήση βιομάζας, όπως γίνεται στην εφαρμογή μας (<1MW), η τιμή της MWh είναι **200 ευρώ/MWh** και έτσι θα έχουμε:

$$(ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ) = 81984 \text{ ευρώ}$$

Η ενέργεια που θα παρέχουν οι καυστήρες μαζούτ στην περίπτωση Συμπαραγωγής με 80% απόδοσή είναι:

$$\begin{aligned} \text{(ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΑΖΟΥΤ ΓΙΑ CHP)} &= \frac{240,9633 \text{ MWh}}{0.80} \\ &= 301,204 \text{ MWh} \end{aligned}$$

$$\text{(ΣΥΝΟΛΙΚΑ kg ΜΑΖΟΥΤ ΕΤΗΣΙΟΣ ΓΙΑ CHP)} = \frac{301204 \text{ kWh}}{12,5 \text{ kWh/kg}} = 24096,32 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{(ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΟΝΟ ΜΕ ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΜΑΖΟΥΤ ΓΙΑ CHP)} \\ &= 22674,64 \text{ ευρώ} \end{aligned}$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η κατανάλωση σε μαζούτ προκύπτει χωρίς να υπολογίζεται η χρήση της δεξαμενής θερμότητας, άρα στην πραγματικότητα θα είναι μικρότερη.

Έτσι λοιπόν οι λειτουργικές δαπάνες με την χρήση της Συμπαραγωγής που επιλέχτηκε και το ετήσιο όφελος από την αλλαγή του συστήματος θέρμανσης θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{(ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΓΙΑ CHP)} \\ &= 22674,64 \text{ ευρώ} + 35136 \text{ ευρώ} - 81984 \text{ ευρώ} = -24173,36 \text{ ευρώ} \end{aligned}$$

Αυτό το κέρδος θα φορολογηθεί με 30% άρα θα έχουμε καθαρό κέρδος:

$$\text{(ΚΕΡΔΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΦΟΡΟΥΣ)} = 16921,35 \text{ ευρώ}$$

$$\begin{aligned} \text{(ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ)} \\ &= 124250,77 \text{ ευρώ} + 16921,35 \text{ ευρώ} = 141172,12 \text{ ευρώ} \end{aligned}$$

3.8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Οι μηχανές Stirling με τον τρόπο που περιγράψαμε θα λειτουργούν **ετησίως 2928h**, με βάση τα δεδομένα του 2011 και θεωρώντας ότι θα λειτουργούν για 24h κάθε ημέρα που χρειάζεται θερμότητα στο θερμοκήπιο.

Επομένως ο χρόνος ζωής της επένδυσης θα είναι:

$$\text{(ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ)} = \frac{100000 \text{ h}}{2928 \text{ h/έτος}} \approx 34 \text{ έτη}$$

Η συντήρηση των μηχανών γίνεται κάθε 4000h με 6000h λειτουργίας και το κόστος συντήρησης είναι 5000ευρώ για κάθε μονάδα. Συνεπώς θα ισχύει:

$$\text{(ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ)} \approx 2 \text{ έτη}$$

$$\text{(ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ)} = \frac{4 * 5000 \text{ ευρώ}}{2 \text{ έτη}} = 10000 \text{ ευρώ}$$

Και έτσι το ετήσιο όφελος μεταβάλλεται σε:

$$\boxed{\text{(ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΑΖΙ ΜΕ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ)}} \\ = 141172,12\text{ευρώ} - 10000\text{ευρώ} = 131172,12\text{ευρώ}$$

3.8.3 ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Δυστυχώς δεν ήταν δυνατό να πληροφορηθούμε το κόστος των μονάδων Συμπαραγωγής για το σκοπό που τον θέλαμε, δηλαδή για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Από έρευνα στο διαδίκτυο, οι τιμές των μηχανών Stirling μπορούν να κυμαίνονται από 1500ευρώ/kWe έως 50000ευρώ/kWe, καθώς πολλές από αυτές δεν παράγονται για εμπορική διάθεση αλλά για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Η πληροφορία που βρήκαμε είναι ότι το πρηγούμενο μοντέλο της εταιρείας το SD3 για αντίστοιχη εφαρμογή θα κοστολογούταν στα 150000 με 160000 ευρώ. Το κόστος των αεριοποιητών (gasifier), επίσης δεν μπορέσαμε να το μάθουμε, οπότε θα το εκτιμήσουμε αναλογικά σε σχέση με μικρότερους αεριοποιητές που συλλέξαμε στοιχεία από την αγορά στην Ελλάδα.

Έτσι λοιπόν, λαμβάνοντας υπόψη την θέση που κατέχει η Stirling DK, στην παραγωγή και την αγορά μηχανών τέτοιου τύπου καταλήγουμε στα παρακάτω:

- Κόστος μηχανών Stirling 640000ευρώ
- Κόστος αεριοποιητών 60000ευρώ
- Κόστος δεξαμενής θερμότητας 30000ευρώ
- Κόστος ηλεκτρολογικού εξοπλισμού για σύνδεση στο δίκτυο 50000ευρώ
- Κόστος μεταφοράς, εγκαταστάσεων και λοιπά έξοδα 20000ευρώ

Επομένως εκτιμούμε ένα συνολικό κόστος:

$$\boxed{\text{(ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ)} = 800000\text{ευρώ}}$$

3.8.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η εκτίμηση της επένδυσης θα γίνει αρχικά με το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας,:

$$ΚΠΑ = -(\text{ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ}) + \sum_{1}^{20} \frac{\text{(ΕΤΗΣΙΟ ΟΦΕΛΟΣ)}}{(1 + \text{ΕΠΙΤΟΚΙΟ})^t}$$

Θα εξετάσουμε την περίπτωση για επιτόκιο της τάξης του 5% ενώ ο χρόνος ζωής της επένδυσης θα περιοριστεί στα 20έτη καθώς τόσο διαρκεί το συμβόλαιο πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος. Επομένως έχουμε:

$$\boxed{ΚΠΑ = 834694,6\text{ευρώ} > 0}$$

Άρα με αυτά τα δεδομένα η επένδυση θα μπορούσε να γίνει.

Ακόμα θα προσδιορίσουμε τον Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης (EBA), δηλαδή το μέγιστο επιτόκιο, κάτω από το οποίο μπορεί να γίνει η επένδυση:

$$\boxed{EBA \approx 0,1532 = 15,32\%}$$

Και τέλος θα υπολογιστεί σε ποιο έτος θα μηδενιστεί η ΚΠΑ για επιτόκιο 5%, δηλαδή στα πόσα χρόνια θα έχει γίνει απόσβεση:

3.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από αυτή την εργασία προκύπτει ότι η Συμπαραγωγή είναι μία πάρα πολύ σημαντική μέθοδος για την παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής-ψυκτικής ενέργειας. Τα οφέλη είναι σε διάφορα επίπεδα όπως οικονομικά, περιβαλλοντικά, γεωπολιτικά, αυτόνομης παραγωγής σε δύσκολα προσεγγίσιμες περιοχές κ.α.. Έτσι, είναι σημαντική η στροφή της ερευνητικής διαδικασίας προς αυτή την μέθοδο για μεγιστοποίηση των πλεονεκτημάτων της και μείωση των μειονεκτημάτων της. Υπάρχει μία μεγάλη σειρά από τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για Συμπαραγωγή και κάθε μία μπορεί να είναι η καταλληλότερη ανάλογα την συγκεκριμένη εφαρμογή. Πολλές από αυτές τις τεχνολογίες, όπως και οι μηχανές Stirling, βρίσκονται σε πρωτόλειο στάδιο παραγωγής για εμπορική χρήση και αποτελούν ένα πεδίο για έρευνα με πιθανά σημαντικά οφέλη. Ακόμα είναι ουσιαστική για την επίλυση κυρίως των προβλημάτων ακριβής αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς (παραγωγικό, κτιριακό-εμπορικό, οικιακό) η επέκταση της Συμπαραγωγής όπου αυτό είναι δυνατό με τις υπάρχουσες τεχνολογικές και οικονομικές συνθήκες.

Επιπλέον η Συμπαραγωγή με βιομάζα αποκτά μεγαλύτερη βαρύτητα σε μία περίοδο όπου η αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων δημιουργεί νέα «πετρελαϊκή» κρίση και ειδικά σε μία χώρα όπως η Ελλάδα που κάνει εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου ενώ έχει τεράστιο ενεργειακό δυναμικό βιομάζας. Και παράλληλα, η βιομάζα ως ΑΠΕ με την γενικότερη έννοια μπορεί να δώσει επιμέρους λύσεις σε περιβαλλοντικά προβλήματα. Επίσης υπάρχουν αρκετές μέθοδοι αξιοποίησης της χημικής ενέργειας που υπάρχει στην βιομάζα με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και η παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ένας από τους υποσχόμενους τομείς για την επίλυση σημαντικών προβλημάτων. Οι πιο αποδοτικές οικονομικά χρήσεις της βιομάζας ως καυσίμου είναι ίσως αυτές που αναφέρονται σε τοπικό επίπεδο και προσφέρουν ανεπεξέργαστη βιομάζα σε εξαιρετικά χαμηλές τιμές.

Οι μηχανές Stirling, εξετάστηκαν καθώς αποτελούν μία από τις πιο ελπιδοφόρες τεχνολογίες για χρήση βιομάζας. Έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι μηχανές εξωτερικής καύσης με δυνατότητα πολύ καλών αποδόσεων, αν και ακόμα δεν έχουν προκύψει εμπορικές εφαρμογές αρκετά ελκυστικές

Στη εφαρμογή που αναλύθηκε, δηλαδή στην Συμπαραγωγή σε θερμοκήπιο υπάρχει το πρόβλημα της σχετικά μικρής χρονικά περιόδου ζήτησης θερμικών φορτίων και η πολύ μικρή ζήτηση για ψύξη. Επιπλέον τα κεφάλαια που απαιτούνται προς το παρόν είναι αρκετά μεγάλα για μία επιχείρηση όπως ένα θερμοκήπιο και με χαμηλές οικονομικές αποδόσεις. Κατά την επιλογή καυσίμου κρίθηκε ότι τα απόβλητα ενός θερμοκηπίου δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες του σε θέρμανση και ηλεκτρισμό. Συνεπώς χρησιμοποιήθηκε ως βιομάζα το πριονίδι ακριβώς γιατί αποτελεί μία σχετικά μη επεξεργασμένη βιομάζα με πολύ μικρό κόστος, εύκολη μεταφορά χωρίς κινδύνους και εύκολη αποθήκευση. Πιθανότατα η Συμπαραγωγή με βιομάζα να παρουσίαζε πολύ σημαντικότερα οφέλη στην περίπτωση συλλογικής επιλογής της από συγκροτήματα θερμοκηπίων καθώς στην Ελλάδα υπάρχουν περιοχές όπου συγκεντρώνονται αρκετά θερμοκήπια.

Συμπερασματικά, η Συμπαραγωγή με βιομάζα θα έπρεπε να αποτελέσει κρατική ή κοινοτική επιλογή με ενίσχυση της έρευνας και παράλληλα της εφαρμογής της. Η επιστημονική Διαχείριση Απορριμμάτων και η επιστημονική Ενεργειακή Πολιτική θα μπορούσαν να δώσουν σημαντική ώθηση σε αυτή την εφαρμογή και να βοηθήσουν στην επίλυση κεντρικών προβλημάτων της χώρας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-ian	49,92	42,92347388	0,04992	9,23	7,77	610471,7	709,9785	
2-ian	13,66	11,74548584	0,01366	10,85	6,15	560379,7	651,7216	
3-ian	49,39	42,46775591	0,04939	9,94	7,06	543272,4	631,8258	
4-ian	50,89	43,75752375	0,05089	8,78	8,22	652184,4	758,4905	
5-ian	91,47	78,65004319	0,09147	7,99	9,01	608176,9	707,3097	
6-ian	97	83,40498731	0,097	8,62	8,38	530273,9	616,7085	
7-ian	111,27	95,67497874	0,11127	9,17	7,83	433354,4	503,9911	
8-ian	109,11	93,81771305	0,10911	9,90	7,10	368463,1	428,5225	
9-ian	108,33	93,14703377	0,10833	11,84	5,16	181244,8	210,7877	
10-ian	63,22	54,35941544	0,06322	12,72	4,28	229537,1	266,9516	
11-ian	72,36	62,21840084	0,07236	13,33	3,67	143389,2	166,7616	
12-ian	50,31	43,25881352	0,05031	12,54	4,46	285646,6	332,207	
13-ian	69,39	59,66466051	0,06939	11,74	5,26	306921	356,9492	
14-ian	71,6	61,56491847	0,0716	11,98	5,02	277092,2	322,2582	
15-ian	113,49	97,58383515	0,11349	13,28	3,72	25611,89	29,78663	
16-ian	77,33	66,49183164	0,07733	11,32	5,68	324931,7	377,8955	
17-ian	132,89	114,2648326	0,13289	10,80	6,20	210229,8	244,4973	
18-ian	121,71	104,6517629	0,12171	10,76	6,24	247157,8	287,4445	
19-ian	120,97	104,0154775	0,12097	10,93	6,07	232532,9	270,4357	
20-ian	101,79	87,52364596	0,10179	11,55	5,45	229589,2	267,0122	
21-ian	57,31	49,27773013	0,05731	11,74	5,26	343325,6	399,2877	
22-ian	127,79	109,8796219	0,12779	13,29	3,71	-17810	-20,7131	
23-ian	77,62	66,74118675	0,07762	12,44	4,56	214268,6	249,1944	
24-ian	53,23	45,76956159	0,05323	9,93	7,07	532205,6	618,9552	
25-ian	73,11	62,86328477	0,07311	6,03	10,97	854043,9	993,253	
26-ian	129,19	111,0834053	0,12919	5,72	11,28	717355,3	834,2842	
27-ian	115,14	99,00257978	0,11514	7,64	9,36	571846,1	665,057	
28-ian	33,08	28,44368021	0,03308	9,19	7,81	664545,1	772,866	
29-ian	57,34	49,30352549	0,05734	7,58	9,42	750373	872,6837	
30-ian	86,41	74,29922632	0,08641	7,08	9,92	711818,2	827,8446	
31-ian	70,57	60,67927788	0,07057	7,71	9,29	698118,4	811,9117	
							489,231	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							364,485	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						1102400	1282,091	ΦΟΡΤΙΟ ΑΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Φεβ	103,92	89,3551163	0,10392	6,28	10,72	738246,2	858,5804	
2-Φεβ	143,45	123,3447982	0,14345	6,72	10,28	577455,5	671,5808	
3-Φεβ	11,22	9,647463481	0,01122	7,17	9,83	926980,7	1078,079	
4-Φεβ	46,58	40,05159081	0,04658	6,73	10,27	864967	1005,957	
5-Φεβ	149,45	128,5038696	0,14945	7,91	9,09	443102,7	515,3284	
6-Φεβ	154,93	133,2158215	0,15493	9,99	7,01	223147,9	259,521	
7-Φεβ	151,62	130,3697338	0,15162	12,17	4,83	20555,55	23,90611	
8-Φεβ	157,46	135,3912299	0,15746	13,67	3,33	-143442	-166,823	
9-Φεβ	151,76	130,4901121	0,15176	12,46	4,54	-8778,44	-10,2093	
10-Φεβ	153,99	132,407567	0,15399	11,27	5,73	101446,9	117,9828	
11-Φεβ	156,37	134,4539986	0,15637	10,49	6,51	169858,2	197,5451	
12-Φεβ	163,09	140,2321586	0,16309	12,84	4,16	-79094,5	-91,9869	
13-Φεβ	156,62	134,6689599	0,15662	12,71	4,29	-47762,3	-55,5476	
14-Φεβ	144,85	124,5485816	0,14485	12,33	4,67	24668,36	28,6893	
15-Φεβ	87,33	75,09028394	0,08733	10,76	6,24	349523,2	406,4955	
16-Φεβ	162,12	139,3981087	0,16212	10,50	6,50	151917,4	176,6799	
17-Φεβ	138,16	118,796217	0,13816	13,39	3,61	-59010,7	-68,6294	
18-Φεβ	136,97	117,7730012	0,13697	14,56	2,44	-169524	-197,157	
19-Φεβ	96,11	82,63972506	0,09611	11,74	5,26	227769	264,8954	
20-Φεβ	57,3	49,26913168	0,0573	11,22	5,78	394044,6	458,2739	
21-Φεβ	93,23	80,16337079	0,09323	11,32	5,68	277719,7	322,988	
22-Φεβ	95,36	81,99484113	0,09536	12,11	4,89	193858,5	225,4574	
23-Φεβ	138,62	119,1917458	0,13862	11,85	5,15	90226,25	104,9331	
24-Φεβ	72,45	62,29578691	0,07245	11,48	5,52	323187	375,8665	
25-Φεβ	94,97	81,65950149	0,09497	9,44	7,56	455673	529,9477	
26-Φεβ	35,67	30,67067935	0,03567	7,01	9,99	870575,1	1012,479	
27-Φεβ	40,17	34,53998289	0,04017	6,46	10,54	910177,1	1058,536	
28-Φεβ	35,6	30,61049019	0,0356	7,66	9,34	806524,4	937,9879	
							358,6199	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							255,161	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						1047975	1218,795	ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Μαρ	56,4	48,49527097	0,0564	8,50	8,50	663165,9	771,2619	
2-Μαρ	25,79	22,17540848	0,02579	8,11	8,89	791867,5	920,9419	
3-Μαρ	98,38	84,59157373	0,09838	10,06	6,94	385315,6	448,1221	
4-Μαρ	120,15	103,3104044	0,12015	9,37	7,63	388040,1	451,2906	
5-Μαρ	128,79	110,7394672	0,12879	9,15	7,85	383060,4	445,4992	
6-Μαρ	133,07	114,4196048	0,13307	10,82	6,18	207798,3	241,6695	
7-Μαρ	40,35	34,69475503	0,04035	6,83	10,17	873507,8	1015,89	
8-Μαρ	93,7	80,56749805	0,0937	2,55	14,45	1132780	1317,423	
9-Μαρ	230,14	197,8847812	0,23014	1,98	15,02	781924,6	909,3783	
10-Μαρ	229,39	197,2398973	0,22939	5,30	11,70	459963,1	534,9371	
11-Μαρ	219,16	188,4436806	0,21916	8,88	8,12	141004,8	163,9886	
12-Μαρ	224,27	192,8374897	0,22427	10,97	6,03	-78681	-91,506	
13-Μαρ	217,73	187,2141019	0,21773	12,19	4,81	-178523	-207,622	
14-Μαρ	218,87	188,1943255	0,21887	13,58	3,42	-317953	-369,779	
15-Μαρ	211,06	181,4789342	0,21106	14,91	2,09	-424598	-493,808	
16-Μαρ	169,33	145,5975928	0,16933	15,06	1,94	-315294	-366,686	
17-Μαρ	62,98	54,15305259	0,06298	14,76	2,24	31409,08	36,52876	
18-Μαρ	204,37	175,7265697	0,20437	15,66	1,34	-477970	-555,879	
19-Μαρ	215,28	185,1074811	0,21528	14,63	2,37	-409481	-476,226	
20-Μαρ	83,17	71,51332778	0,08317	13,00	4,00	142699,6	165,9597	
21-Μαρ	128,69	110,6534826	0,12869	10,14	6,86	286832,5	333,5862	
22-Μαρ	243,63	209,4840934	0,24363	9,13	7,87	43636,24	50,74895	
23-Μαρ	249,33	214,3852112	0,24933	10,24	6,76	-82504	-95,9522	
24-Μαρ	145,84	125,3998283	0,14584	13,13	3,87	-56711	-65,9549	
25-Μαρ	252,88	217,4376618	0,25288	14,79	2,21	-537430	-625,031	
26-Μαρ	232,9	200,2579541	0,2329	15,10	1,90	-508019	-590,826	
27-Μαρ	229,21	197,0851252	0,22921	15,59	1,41	-545488	-634,402	
28-Μαρ	255,08	219,3293213	0,25508	15,57	1,43	-620149	-721,233	
29-Μαρ	160,43	137,9449702	0,16043	15,55	1,45	-336827	-391,73	
30-Μαρ	224,63	193,147034	0,22463	16,64	0,36	-634065	-737,418	
31-Μαρ	49,5	42,56233889	0,0495	14,74	2,26	73214,69	85,14868	
							47,36518	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							189,417	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						1467846	1707,105	ΦΟΡΤΙΟ ΑΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Apr	101,37	87,16251097	0,10137	14,60	2,40	-67941	-79,0154	
2-Apr	97,52	83,85210683	0,09752	12,84	4,16	116221,5	135,1655	
3-Apr	248,53	213,697335	0,24853	14,15	2,85	-461743	-537,007	
4-Apr	226,73	194,952709	0,22673	14,24	2,76	-406137	-472,337	
5-Apr	254,62	218,9337925	0,25462	14,77	2,23	-540987	-629,167	
6-Apr	212,88	183,0438526	0,21288	15,36	1,64	-474417	-551,747	
7-Apr	253,62	218,0739472	0,25362	14,66	2,34	-527010	-612,912	
8-Apr	265,97	228,6930358	0,26597	16,43	0,57	-736913	-857,03	
9-Apr	281,25	241,8314709	0,28125	19,70	-2,70	-1117244	-1299,36	
10-Apr	284,36	244,5055896	0,28436	18,95	-1,95	-1049758	-1220,87	
11-Apr	288,79	248,314704	0,28879	15,04	1,96	-669302	-778,398	
12-Apr	278,07	239,0971631	0,27807	13,52	3,48	-488286	-567,877	
13-Apr	283,8	244,0240763	0,2838	17,12	-0,12	-858357	-998,27	
14-Apr	282,82	243,1814279	0,28282	16,48	0,52	-792428	-921,594	
15-Apr	202,59	174,1960451	0,20259	15,02	1,98	-409943	-476,764	
16-Apr	128,72	110,679278	0,12872	14,18	2,82	-107914	-125,503	
17-Apr	36,82	31,65950137	0,03682	10,14	6,86	561053,9	652,5057	
18-Apr	207,34	178,28031	0,20734	10,98	6,02	-29851,1	-34,7168	
19-Apr	129,09	110,9974207	0,12909	11,56	5,44	147164,3	171,1521	
20-Apr	123,01	105,7695617	0,12301	13,22	3,78	2372,474	2,759188	
21-Apr	322,35	277,1711099	0,32235	13,76	3,24	-643883	-748,836	
22-Apr	320,96	275,975925	0,32096	15,15	1,85	-775365	-901,75	
23-Apr	308,71	265,442821	0,30871	15,31	1,69	-754739	-877,761	
24-Apr	303,12	260,6362861	0,30312	16,03	0,97	-808945	-940,803	
25-Apr	269,38	231,6251081	0,26938	15,76	1,24	-681911	-793,063	
26-Apr	212,91	183,0696479	0,21291	14,82	2,18	-421559	-490,273	
27-Apr	71,8	61,73688751	0,0718	12,85	4,15	192064,1	223,3706	
28-Apr	188,28	161,8916599	0,18828	15,68	1,32	-432051	-502,475	
29-Apr	283,88	244,0928639	0,28388	16,67	0,33	-813915	-946,584	
30-Apr	272,27	234,1100608	0,27227	17,37	-0,37	-849865	-988,393	
							-538,918	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							28,43887	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						670794,1	780,1336	ΦΟΡΤΙΟ ΑΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (οC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Οκτ	195,96	168,4952713	0,19596	20,39	-3,39	-935123	-1087,55	
2-Οκτ	200,29	172,2184011	0,20029	21,19	-4,19	-1030662	-1198,66	
3-Οκτ	216,39	186,0619093	0,21639	22,06	-5,06	-1168096	-1358,5	
4-Οκτ	199,41	171,4617373	0,19941	21,22	-4,22	-1030595	-1198,58	
5-Οκτ	187,06	160,8426487	0,18706	21,10	-4,10	-982286	-1142,4	
6-Οκτ	202,17	173,8349101	0,20217	21,04	-4,04	-1020931	-1187,34	
7-Οκτ	185,08	159,1401552	0,18508	21,71	-4,71	-1038573	-1207,86	
8-Οκτ	177,9	152,9664664	0,1779	22,15	-5,15	-1063175	-1236,47	
9-Οκτ	169,79	145,9931216	0,16979	20,59	-3,59	-877144	-1020,12	
10-Οκτ	49,78	42,80309555	0,04978	13,94	3,06	150867,5	175,4589	
11-Οκτ	154,9	133,1900261	0,1549	14,55	2,45	-222382	-258,631	
12-Οκτ	180,17	154,9183151	0,18017	18,43	-1,43	-685310	-797,015	
13-Οκτ	187,62	161,3241621	0,18762	19,96	-2,96	-865967	-1007,12	
14-Οκτ	161,51	138,8736031	0,16151	19,08	-2,08	-696995	-810,605	
15-Οκτ	80,88	69,5442822	0,08088	16,15	0,85	-158269	-184,067	
16-Οκτ	33,13	28,48667247	0,03313	11,98	5,02	392395,6	456,356	
17-Οκτ	91,62	78,77901997	0,09162	10,56	6,44	356867,1	415,0365	
18-Οκτ	189,91	163,2932076	0,18991	11,97	5,03	-73889,3	-85,9333	
19-Οκτ	190,49	163,7919179	0,19049	14,32	2,68	-305927	-355,793	
20-Οκτ	183,45	157,7386074	0,18345	15,40	1,60	-390753	-454,446	
21-Οκτ	160,72	138,1943254	0,16072	16,28	0,72	-409103	-475,786	
22-Οκτ	164,5	141,4445403	0,1645	16,63	0,37	-454163	-528,192	
23-Οκτ	156,57	134,6259677	0,15657	16,17	0,83	-385067	-447,833	
24-Οκτ	120,68	103,7661224	0,12068	16,42	0,58	-303042	-352,437	
25-Οκτ	139,16	119,6560622	0,13916	16,10	0,90	-327142	-380,466	
26-Οκτ	138,29	118,9079969	0,13829	15,88	1,12	-302824	-352,185	
27-Οκτ	139,51	119,957008	0,13951	14,39	2,61	-160823	-187,037	
28-Οκτ	166,15	142,863285	0,16615	14,37	2,63	-237808	-276,571	
29-Οκτ	161,04	138,4694758	0,16104	14,00	3,00	-186772	-217,216	
30-Οκτ	74,2	63,80051607	0,0742	14,10	2,90	62394,6	72,56493	
31-Οκτ	157,49	135,4170253	0,15749	13,32	3,68	-109810	-127,709	
							-542,487	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							26,86599	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						629936,1	732,6157	ΦΟΡΤΙΟ ΑΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

	I watt/m ²	I kcal/hm ²	I kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Νοε	154,38	132,7429066	0,15438	12,74	4,26	-44026,2	-51,2024	
2-Νοε	144,48	124,2304388	0,14448	12,94	4,06	-33646,1	-39,1304	
3-Νοε	122,87	105,6491834	0,12287	13,14	3,86	11014,31	12,80964	
4-Νοε	143,28	123,1986246	0,14328	13,30	3,70	-65469,5	-76,141	
5-Νοε	146,14	125,6577819	0,14614	13,47	3,53	-90431,6	-105,172	
6-Νοε	148,93	128,0567501	0,14893	13,88	3,12	-138439	-161,005	
7-Νοε	125,3	107,7386073	0,1253	14,91	2,09	-169045	-196,599	
8-Νοε	132,44	113,8779023	0,13244	14,81	2,19	-180703	-210,158	
9-Νοε	91,48	78,65864164	0,09148	14,62	2,38	-39780,2	-46,2644	
10-Νοε	99,85	85,85554622	0,09985	15,72	1,28	-172576	-200,706	
11-Νοε	101,22	87,03353418	0,10122	13,99	3,01	-7066,78	-8,21867	
12-Νοε	67,96	58,43508183	0,06796	10,05	6,95	476553,8	554,2321	
13-Νοε	59,66	51,29836642	0,05966	8,74	8,26	629840,4	732,5044	
14-Νοε	44,99	38,6844369	0,04499	9,06	7,94	641613,8	746,1969	
15-Νοε	47,83	41,12639735	0,04783	9,73	7,27	568223,7	660,8441	
16-Νοε	46,01	39,56147903	0,04601	9,80	7,20	566431,4	658,7597	
17-Νοε	84,73	72,85468634	0,08473	9,36	7,64	494328,6	574,9041	
18-Νοε	85,76	73,74032692	0,08576	9,77	7,23	451566,8	525,1722	
19-Νοε	124,69	107,2141017	0,12469	10,14	6,86	299053,2	347,7989	
20-Νοε	121,93	104,8409289	0,12193	10,21	6,79	300062,6	348,9728	
21-Νοε	118,37	101,7798799	0,11837	10,20	6,80	312276,7	363,1778	
22-Νοε	93,03	79,99140175	0,09303	10,51	6,49	356929,8	415,1094	
23-Νοε	79,61	68,45227876	0,07961	12,47	4,53	205283,5	238,7447	
24-Νοε	108,53	93,31900281	0,10853	11,64	5,36	200076,5	232,6889	
25-Νοε	99,36	85,43422205	0,09936	10,44	6,56	344879,4	401,0947	
26-Νοε	58,33	50,15477227	0,05833	9,33	7,67	575418,1	669,2112	
27-Νοε	87,88	75,56319881	0,08788	9,72	7,28	449257,5	522,4865	
28-Νοε	114,67	98,59845252	0,11467	10,03	6,97	339742,4	395,1205	
29-Νοε	109,2	93,89509912	0,1092	12,01	4,99	161996	188,4013	
30-Νοε	108,36	93,17282912	0,10836	11,71	5,29	193767,4	225,3514	
							257,2995	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							211,5259	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						807654,1	939,3018	ΦΟΡΤΙΟ ΑΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2011

	Watt/m ²	kcal/hm ²	kW/m ²	T (oC)	dT	Q kcal/h	Q kW	
1-Δεκ	111,61	95,96732612	0,11161	11,21	5,79	233487	271,5454	
2-Δεκ	108,66	93,43078269	0,10866	11,69	5,31	194753	226,4977	
3-Δεκ	108,93	93,6629409	0,10893	12,34	4,66	130846,1	152,174	
4-Δεκ	103,35	88,86500452	0,10335	13,30	3,70	54021,78	62,82733	
5-Δεκ	109,61	94,24763566	0,10961	14,87	2,13	-117998	-137,232	
6-Δεκ	71,54	61,51332775	0,07154	16,54	0,46	-167879	-195,244	
7-Δεκ	65,65	56,44883935	0,06565	13,81	3,19	116062,8	134,981	
8-Δεκ	115,03	98,90799681	0,11503	12,28	4,72	118656	137,997	
9-Δεκ	112,95	97,11951873	0,11295	10,40	6,60	308570,7	358,8677	
10-Δεκ	108,67	93,43938114	0,10867	11,36	5,64	227073,1	264,086	
11-Δεκ	102,89	88,46947571	0,10289	14,12	2,88	-24882,8	-28,9387	
12-Δεκ	104,5	89,85382654	0,1045	14,74	2,26	-90883	-105,697	
13-Δεκ	80,02	68,8048153	0,08002	14,51	2,49	4540,156	5,280201	
14-Δεκ	104,34	89,7162513	0,10434	13,58	3,42	23114,46	26,88212	
15-Δεκ	100,39	86,31986264	0,10039	13,64	3,36	29695,3	34,53563	
16-Δεκ	108,33	93,14703377	0,10833	14,35	2,65	-63461,8	-73,8061	
17-Δεκ	60,55	52,06362868	0,06055	16,19	0,81	-101177	-117,669	
18-Δεκ	35,09	30,17196912	0,03509	14,19	2,81	170003	197,7135	
19-Δεκ	34,8	29,922614	0,0348	13,23	3,77	265121,2	308,336	
20-Δεκ	88,39	76,00171988	0,08839	11,22	5,78	301095,6	350,1741	
21-Δεκ	105,92	91,07480676	0,10592	10,70	6,30	299969	348,864	
22-Δεκ	32,72	28,13413593	0,03272	10,59	6,41	529320,8	615,6001	
23-Δεκ	31,72	27,2742907	0,03172	6,50	10,50	932081,7	1084,011	
24-Δεκ	95,63	82,22699934	0,09563	7,47	9,53	646149	751,4713	
25-Δεκ	108,5	93,29320746	0,1085	6,81	10,19	672490,3	782,1062	
26-Δεκ	84,39	72,56233896	0,08439	7,24	9,76	702414	816,9075	
27-Δεκ	98,46	84,66036135	0,09846	7,52	9,48	633321,1	736,5525	
28-Δεκ	98,8	84,95270872	0,0988	7,27	9,73	657069,4	764,1717	
29-Δεκ	104,57	89,9140157	0,10457	7,50	9,50	617107,5	717,696	
30-Δεκ	50,73	43,61994852	0,05073	10,48	6,52	486426,1	565,7136	
31-Δεκ	92	79,10576116	0,092	10,03	6,97	406955,4	473,2892	
							307,4095	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ ΜΗΝΑ
							244,5187	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΜΗΝΑ (MWh)
						1026622	1193,961	ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΧΜΗΣ ΜΗΝΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Σ.Παπαθανασίου, Γ.Τσιτίλος, Γ.Αντωνόπουλος, Δ.Σταυρόπουλος Δ.Ε.Η. Α.Ε.
2. Έργο PERCH: “Παραγωγή ηλεκτρισμού με μικρά συστήματα ΑΠΕ & ΣΗΘ για κατοικίες και μικρές επιχειρήσεις” ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ
3. ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε./2010, Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε κτήρια, Α΄ έκδοση, Αθήνα, Δεκέμβριος 2010
4. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ & ΨΥΞΗΣ επενδυτική πρόκληση ή ανάγκη;, Δημήτρης Γαλανάκης
5. ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ΚΑΠΕ
6. ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ, ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Αθήνα 9/6/2005
7. Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ & ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΕΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΠΙΟ, ΗΜΕΡΙΔΑ ΤΕΕ «ΛΙΓΝΙΤΗΣ ΚΑΙ ΦΑ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ», ΚΩΝ. ΓΡ. ΘΕΟΦΥΛΑΚΤΟΣ
8. Η ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ, Δήμητρα Ξ. Πανονίδου, Θεόκλητος Σ. Καρακατσάνης
9. «ΑΧΥΡΟ–ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ–ΥΓΡΑ ΚΑΥΣΙΜΑ», ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ
10. Properties of solid biofuels and comparison to fossil fuels, Eija Alakangas, VTT
11. ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΥΣΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΗΣ, Εισαγωγή στη Βιομάζα: Πηγές-Ιδιότητες-Βιοκαύσιμα, Καθ. Φούντη Μ. Δ. Γιαννόπουλος, Μηχ. Μηχ., Γιαννόπουλος Μηχ Μηχ MSc
12. Ενεργειακή Αξιοποίηση Δασικής Βιομάζας: Η Περίπτωση του Μετσόβου, Μπουτέτσιου Ελένη, Διαχείριση Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων
13. Αξιοποίηση της Βιομάζας στον Ελλαδικό Χώρο για την Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΝΤΩΝΙΟΣ Π. ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ, ΣΩΤΗΡΙΟΣ Β. ΣΩΤΗΡΙΟΥ
14. Η αγροτική βιομάζα ως απόβλητο και η βελτιστοποίηση της ενεργειακής αξιοποίησής της, Α.Ρεντιζέλας, Η.Τατσιόπουλος, Κ.Αραβώσης, Α.Τόλης
15. 2007 BIOFUELS&FEEDSTOCKS, Prospects & Challenges of Biomass & Biofuels usage in power generation, Suntechnics
16. Τ.Ε.Ε. ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ & ΔΥΤΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΔΙΗΜΕΡΙΔΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΤΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, ΕΥΡΙΠΙΔΗΣ ΛΟΗΣ, ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΛΑΜΠΡΟΥ, ΛΑΡΙΣΑ 01/12/07
17. Βιομηχανική παραγωγή βιοντίζελ στην Θεσσαλία, Κόκκαλης Ι. Αθανάσιος Χημικός Μηχ/κός, MSc Υπεύθυνος παραγωγής
18. ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ, Προοπτικές συμπαράγωγής θερμότητας / ηλεκτρισμού, ΤΕΕ / ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ & ΔΥΤΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας - Η θέση τους στο νέο ενεργειακό τοπίο της χώρας και στην περιοχή της Θεσσαλίας Λάρισα, 29 Νοεμβρίου -1 Δεκεμβρίου 2007, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Γιώργος Κουφοδήμος, Μηχανολόγος Μηχανικός, MSc
19. Βιοκαύσιμα και Ενεργειακές Καλλιέργειες, Κ. Κίττας, Θ. Γέμτος, Σ. Φουντάς, Θ. Μπαρτζάνας

20. Encyclopedia of Energy, Scott Bennett, First Edition, 2007
21. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΓΙΑΝΝΗ ΒΟΥΡΔΟΥΜΠΑ ΧΗΜΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ, Μ. Sc., Χ Α Ν Ι Α 1 9 9 8
22. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ – ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΧΕΠΑ, Λουκαδοπούλου Μ. Ευγενία, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009
23. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ, Γεώργιος Αγτζόγλου, Βασίλειος Ζιώγος, Θεσσαλονίκη 2008
24. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ AGRITEX ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΚΑΛΤΣΑ Δ. ΕΛΕΝΗ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2010
25. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ, Χρυσή Σ. Πετκέλη, Ελένη Χ. Γάκου, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2009
26. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ, Μαχαίρα Σουλτάνα-Μάρθα, Σιμούλη Ασπασία, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2009
27. Μελέτη ένταξης σταθμών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας υπό τεχνοοικονομικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς, ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Ε. ΠΑΡΑΣΤΕΦΑΝΑΚΘΣ, Αθήνα, Ιούλιος 2009
28. Κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε θερμοκήπια, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ του Χ.Μεϊντάνη, Αθήνα, Οκτώβριος 2010

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf
2. <http://www.mie.uth.gr/labs/ltte/grk/.../cogeneration.pdf>
3. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/GR_ENERGEIAS/COPRODUCTION/totee2001a.pdf
4. http://www.greenlodges.net/Deliverables/folleto%20microcogeneracion/greek_brochure_micro_CHP.pdf
5. http://www.cres.gr/kape/pdf/sollet_pdf/1.3_pellets.pdf
6. <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/biomass/161-biomass-pellets-production-stages-part-2-pellet-production>
7. http://www.anatoliki.gr/anatoliki/upload/el/%CE%9A%CF%89%CE%BD%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%85_%CE%9A%CF%8E%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%82.pdf
8. http://www.hellenic-pellets.gr/articles.asp?article_id=56&lang_id=gr
9. <http://www.greaterdemocracy.org/archives/678>
10. <http://www.northernwoodheat.net/htm/Publications/FinnsihInfoCard5.pdf>
11. <http://www.ecoren.fr/cycle-organique-de-rankine-ORC.php>
12. <http://www.stratelis.gr/2/usedfuels.htm>
13. http://www.ceere.org/iac/iac_combined.html

14. http://library.tee.gr/digital/m2413/m2413_theofilaktos.pdf
15. <http://hachp.gr/uploads/fckeditor/sith.pdf?phpMyAdmin=618d7b47d9d2ca854060fc9577668ec2>
16. http://www.3genenergy.gr/pdfs/Introduction_to_CHP.pdf
17. <http://arvis.simor.ntua.gr/PAPERS/H%20agrotiki%20viomaza%20os%20apovlito.pdf>
18. <http://www.erga.biz/modules.php?name=News&file=print&sid=79>
19. <http://www.biomassenergy.gr/articles/articles/technology/biomass/16-biomass-resources>
20. http://www.biofuelsb2b.com/useful_info.php?page=Typic
21. <http://www.biomassenergycentre.org.uk>
22. http://www.storch-ind.com/eng/heizwert_eng.htmhttp://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,163231&_dad=portal&_schema=PORTAL
23. <http://www.jatrofuels.com/170-0-Calorific+Values.html>
24. <http://zorg-biogas.gr/equipment/reactor?lang=gr>
25. http://solarenergy.gr/solar-energy/article/what_is_a_greenhouse
26. <http://www.simpas.gr/grpage5.html>
27. <http://83.206.51.29/richelportal/easysite/go/02o-000006-015/english/our-specialist-areas/glass-greenhouses>
28. http://www.rielloburners.co.uk/popup.php?img=riello_presstgtechnicaldata.jpg&caption=Technical%20Data&title=
29. <http://www.rielloburners.co.uk/index.php?section=98&page=1264>
30. <http://www.stirling.dk/>