



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ, ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΞΥΛΟΥ ΚΑΙ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

«Κινητές μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας από βιομάζα και
αστικά και βιομηχανικά υπολείμματα»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΓΥΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής: ΝΤΑΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ 2022

«Κινητές μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας από βιομάζα και αστικά και βιομηχανικά υπολείμματα»

Εξεταστική επιτροπή :

«Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΔΕΞΥΣ»

Υπογραφή:

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία με θέμα: «Κινητές μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας από βιομάζα και αστικά και βιομηχανικά υπολείμματα» αποτελεί τη διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος του τμήματος.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νταλό Γεώργιο του Τμήματος, για την ανάθεση αυτής της εργασίας, για την υποστήριξη, βοήθεια, καθώς και την πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε. Επίσης θα ήταν άδικο να μην αναφέρω την Κα. Μητάνη Ανδρομάχη PhD για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχε στο εργαστήριο.

Τέλος, ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω στους δικούς μου ανθρώπους, τη σύντροφό μου Ελένη, το γιο μου Άρη, την κόρη μου Άννα και τον πατέρα μου Βασίλη για την ψυχολογική και οικονομική υποστήριξη που μου παρείχαν, διότι χωρίς αυτούς δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρώσω την παρούσα εργασία.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες..... | 3 |
| Συνομογραφίες..... | 6 |
| Περίληψη..... | 8 |
| 1 Εισαγωγή..... | 9 |
| 2 Θεωρητικό μέρος..... | 10 |
| 2.1 Συστήματα Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας (ΣΗΘ).... | 10 |
| 2.2 Βασικές αρχές της συμπαραγωγής..... | 11 |
| 2.2.1 Θερμικές μηχανές..... | 11 |
| 2.2.2 Μηχανές εσωτερικής καύσης..... | 12 |
| 2.2.2.1 Μηχανή Otto..... | 13 |
| 2.2.2.2 Κύκλος Diesel..... | 14 |
| 2.2.3 Αεριοστρόβιλοι..... | 15 |
| 2.2.3.1 Ο κύκλος Brayton (ή Joule)..... | 16 |
| 2.2.4 Ατμοστρόβιλοι..... | 18 |
| 2.2.4.1 Ο κύκλος Rankine..... | 19 |
| 2.2.5 Μικροστρόβιλοι..... | 20 |
| 2.3 Δείκτες αποδοτικότητας των συστημάτων συμπαραγωγής..... | 23 |
| 2.4 Ταξινόμηση των συστημάτων συμπαραγωγής..... | 27 |
| 2.4.1 Τύποι σχημάτων συμπαραγωγής..... | 27 |
| 2.4.2 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής..... | 28 |
| 2.5 Σύνοψη πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων συμπαραγωγής..... | 30 |
| 2.6 Πεδία εφαρμογών ΣΗΘ..... | 33 |
| 2.7 Ιστορική Αναδρομή στην Ελλάδα..... | 34 |
| 2.8 Νομοθεσία στην Ελλάδα για ΣΗΘ..... | 35 |
| 3 Ανάλυση πρακτικών εφαρμογών συστημάτων ΣΗΘ στην Ελλάδα..... | 38 |
| 3.1 Πρωτογενής τομέας..... | 38 |
| 3.1.1 Θερμοκήπια Δράμας..... | 38 |
| 3.2 Δευτερογενής τομέας..... | 39 |
| 3.2.1 Αλουμίνιο της Ελλάδας..... | 40 |
| 3.3 Τριτογενής τομέας..... | 41 |
| 3.3.1 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο..... | 41 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.2 | Τηλεθέρμανση Σερρών..... | 42 |
| 3.3.3 | AlfaWood, Γρεβενά | 43 |
| 3.4 | Εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου σε χώρους ταφής αποβλήτων στην Ελλάδα | 43 |
| 3.4.1 | ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων | 44 |
| 3.4.2 | ΧΥΤΑ Βόλου | 45 |
| 3.4.3 | ΧΥΤΑ Ταγαράδων..... | 46 |
| 3.4.4 | Παράδοση νέου σταθμού ΣΗΘ - Βιοαερίου στη Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων Ηπείρου (Μ.Ε.Α Ηπείρου)..... | 47 |
| 3.4.5 | Προμελέτη εφαρμογής μονάδας αναερόβιας ζύμωσης..... | 49 |
| 4 | Μέθοδοι και Υλικά | 56 |
| 4.1 | Πρώτες ύλες και προετοιμασία δειγμάτων | 56 |
| 4.2 | Υπολογισμός Θερμογόνου δύναμης | 58 |
| 4.3 | Αρχή λειτουργίας Θερμιδομέτρησης με τη μέθοδο της Οξυγονοβόμβας..... | 62 |
| 4.4 | Αποτελέσματα | 62 |
| 4.5 | Συμπεράσματα | 64 |
| 4.6 | Προτάσεις για συμπληρωματική μελέτη | 65 |
| 5 | Συζήτηση | 65 |
| 6 | Συμπεράσματα | 66 |
| 7 | Βιβλιογραφία..... | 69 |

Κατάλογος πινάκων

Κατάλογος εικόνων

Συντομογραφίες

Πίνακας συντομογραφιών

| | |
|--------|--|
| ΣΗΘ | Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού (ή Ηλεκτρικής Ενέργειας) και Θερμότητας |
| ΜΕΚ | Μονάδες Εσωτερικής Καύσης |
| ΜΕΑ | Μονάδα Ενεργειακής Αξιοποίησης |
| ΑΣΑ | Αστικά Στερεά Απόβλητα |
| ΜΜΔ | Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού |
| ΞΑΖ | Ξηρή Αναερόβια Ζύμωση |
| ΔΕΣΜΗΕ | Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΔΕΗ | Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού |
| ΦοΔΣΑ | Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων |
| ΧΥΤΥ | Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων |
| ΧΥΤΑ | Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων |
| ΗΕ | Ηλεκτρική Ενέργεια |
| ΔΕΗ | Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού |
| ΑΠΕ | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας |
| ΣΗΘΥΑ | Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης |
| ΠΠΔ | Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις |
| ΜΠΕ | Μελέτη Περιβαλλοντικών Δεσμεύσεων |
| ΦΑ | Φυσικό Αέριο |
| ΔΕΠΑ | Δημόσια Επιχείρηση Αερίου |

| | |
|-----------------|--|
| ΔΕΣΜΗΕ | Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας |
| ΜΜΔ | Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού |
| ΜΕΑ | Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων |
| | |
| CH ₄ | μεθάνιο |
| T | Temperature (θερμοκρασία) |
| P | Pressure (πίεση) |
| V | Volume (όγκος) |
| s | εντροπία |
| FESR | Fuel Energy Spare Ratio (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων) |
| PHR | Power to Heat Ratio (λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα) |
| t/y | tone/year (τόνος ανά έτος) |

Περίληψη

Για την ολοκλήρωση του Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «ΠΟΛΥΒΙΟ» στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Δασοπονίας, Ξύλου και Σχεδιασμού αποφάσισα να εκπονήσω την κάτωθι εργασία. Ο τίτλος της εργασίας είναι: «Κινητές μονάδες συμπαραγωγής ενέργειας από βιομάζα και αστικά και βιομηχανικά υπολείμματα.»

Σκοπός της εργασίας είναι να συγκεντρώσει τις τελευταίες εξελίξεις πάνω στις κινητές Μονάδες Συμπαραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας (ΣΗΘ) και να ερευνήσει τις δυνατότητες αυτών στην αξιοποίηση τους στην επανάχρηση και εμπορική εκμετάλλευση υπολειμμάτων βιομάζας. Επιπρόσθετα θα εξεταστεί το ενδεχόμενο χρήσης τους για την καύση αστικών και βιομηχανικών υπολειμμάτων.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται ο ορισμός της συμπαραγωγής και παρουσιάζονται οι βασικές αρχές λειτουργίας, που διέπουν τα συστήματα συμπαραγωγής, καθώς και οι τρόποι ταξινόμησής τους. Επίσης, παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής και αναφέρονται οι τομείς στους οποίους μπορεί να βρει εφαρμογή η συγκεκριμένη τεχνολογία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται πρακτικές εφαρμογές συστημάτων ΣΗΘ και αναλύεται η αποτελεσματικότητά τους.

Στο τέταρτο παρατίθεται το πειραματικό κομμάτι. Η μέθοδος, τα υλικά, φωτογραφίες αυτών καθώς και τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Λέξεις κλειδιά: συμπαραγωγή, υπολείμματα, βιομάζα

1 Εισαγωγή

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

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

Η ανοδική πορεία στη διάδοση της συμπαραγωγής συνοδεύτηκε και από αξιοσημείωτη πρόοδο της σχετικής τεχνολογίας. Οι βελτιώσεις και εξελίξεις συνεχίζονται και νέες τεχνικές αναπτύσσονται και δοκιμάζονται. Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή, συντελεί, εν γένει, σε μείωση και των εκπεμπόμενων ρύπων.

Οι εφαρμογές της συμπαραγωγής διακρίνονται σε τέσσερις κύριους τομείς: σύστημα ηλεκτρισμού της χώρας, βιομηχανικός, εμπορικός-κτιριακός και αγροτικός τομέας. Σε πολλές εφαρμογές του βιομηχανικού τομέα υπάρχει ταυτόχρονη ανάγκη για ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης αυτών των αναγκών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο κλπ) για την παραγωγή θερμότητας. Ωστόσο οι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί μετατρέπουν μόνο περίπου το 1/3 της ενέργειας του καυσίμου σε ηλεκτρισμό. Τα υπόλοιπα 2/3 είναι απώλειες υπό τη μορφή θερμότητας. Έτσι η μέση αποδοτικότητα ενός τέτοιου σταθμού είναι 33%. Στην Ελλάδα η αποδοτικότητα είναι αρκετά χαμηλότερη, εξαιτίας κυρίως της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία και της χαμηλής θερμογόνου δύναμης του λιγνίτη.

Όπως γίνεται αντιληπτό η παραγωγή ηλεκτρισμού με συμβατικό τρόπο δεν είναι πλέον αποδοτική διαδικασία. Επιπρόσθετα, η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων οδηγεί στην αναζήτηση όλο και πιο αποδοτικών διαδικασιών παραγωγής ενέργειας. Μια μέθοδος για την ορθολογικότερη χρήση καυσίμου είναι η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, όπου πάνω από τα 4/5 της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπονται σε εκμεταλλεύσιμη ενέργεια, με ανάλογα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Είναι προφανές ότι οι απώλειες ενός συστήματος ΣΗΘ είναι σημαντικά μικρότερες από το σύνολο των απωλειών παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με ξεχωριστά συστήματα. Οι απώλειες μεταφοράς από σταθμό ΣΗΘ είναι μικρότερες της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής, διότι ο ηλεκτρισμός καταναλώνεται τοπικά. Επιπλέον αντί της απόρριψης της περίσσειας θερμότητας, αυτή χρησιμοποιείται σε αντικατάσταση της αγοράς καυσίμων για ανάγκες θέρμανσης. Η θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τόσο για θέρμανση, όσο και για ψύξη ή κλιματισμό.

Σε χώρες όπου η ΣΗΘ έχει εφαρμοστεί, η μείωση των τιμών ήταν 20-30% και η αποπληρωμή της επένδυσης έγινε σε 2-3 χρόνια.

2 Θεωρητικό μέρος

2.1 Συστήματα Συμπαγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας (ΣΗΘ)

Τα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική (ή/και μηχανική) και θερμική ενέργεια σε ένα σύστημα.

Η θερμική ενέργεια που ανακτάται σε ένα σύστημα ΣΗΘ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία ή τα κτίρια. Επειδή η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν, η συνολική απόδοση αυτών των συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων.

Η ΣΗΘ δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά έναν συνδυασμό τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/και ψύξης, καθώς και ηλεκτρική ενέργεια των καταναλωτών. Τα προηγμένα υλικά και οι τεχνικές σχεδίασης έχουν αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού. Η αύξηση της αποδοτικότητας με τη ΣΗΘ οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τη συμβατική παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Το όλο σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως δύο υποσυστήματα, το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος (συνήθως μια μηχανή ή ένας στρόβιλος) και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (συνήθως κάποιος τύπος λέβητα). Η απόδοση του συνολικού συστήματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας. Τα αποδοτικότερα συστήματα ΣΗΘ (με πάνω από 80% συνολικό βαθμό απόδοσης) είναι εκείνα που ικανοποιούν μεγάλη θερμική ζήτηση με την ταυτόχρονη παραγωγή σχετικά μικρότερης ηλεκτρικής ισχύος.

Η μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική για τα οικονομικά της ΣΗΘ, καθώς η διάθεση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά είναι τεχνικά ευκολότερη απ' ό τι είναι στην περίπτωση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας.

Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας που συνήθως χρησιμοποιούνται και τα καύσιμα που χρησιμοποιούν είναι:

| | |
|---|---|
| Συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας | Καύσιμα |
| Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ) | Υγρά & αέρια ορυκτά, βιοαέριο |
| Αεριοστρόβιλοι | Υγρά & αέρια ορυκτά, αεριοποιημένα στερεά |
| Ατμοστρόβιλοι | Στερεά, υγρά & αέρια ορυκτά, βιομάζα, βιοαέριο, γεωθερμία |
| Μονάδες Stirling | Υγρά και αέρια ορυκτά, βιομάζα, βιοαέριο, γεωθερμία |
| Κυψέλες Καυσίμου | H ₂ , CH ₄ , CO ₂ |

2.2 Βασικές αρχές της συμπαραγωγής

2.2.1 Θερμικές μηχανές

Οι βασικές επιλογές για τη συμπαραγωγή είναι:

- Συμπαραγωγή με ατμοστρόβιλο: Χρησιμοποιείται άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, ξύλα, απόβλητα, τύρφη και πυρηνικά καύσιμα. Ο ατμός είναι το μέσο με το οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.
- Συμπαραγωγή με αεριοστρόβιλο: Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο είναι τα μόνα κατάλληλα καύσιμα. Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας είναι τα καυσαέρια του θαλάμου καύσης.
- Συμπαραγωγή με συνδυασμένο κύκλο: Η υψηλή θερμότητα και περιεκτικότητα σε οξυγόνο των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιούνται σε μια δεύτερη διεργασία με έναν ατμοστρόβιλο.
- Συμπαραγωγή με παλινδρομική μηχανή: Η χημικά δεσμευμένη ενέργεια του φυσικού αερίου ή του πετρελαίου diesel, για παράδειγμα, μετασχηματίζεται άμεσα με την καύση σε μηχανική ενέργεια.

Οι παραπάνω τεχνολογίες είναι σε θέση να παράγουν, τόσο ηλεκτρική, όσο και θερμική ενέργεια, και χαρακτηρίζονται ως «θερμικές μηχανές». Επιπλέον, η λειτουργία μιας θερμικής μηχανής μπορεί να παρασταθεί καλύτερα από ένα θερμοδυναμικό

κύκλο. Μερικά παραδείγματα είναι οι κύκλοι Otto, Diesel, Brayton, Stirling και Rankine.

2.2.2 Μηχανές εσωτερικής καύσης

Μεταξύ των πιο ευρέως διαδεδομένων και περισσότερων αποδοτικών κύριων πηγών ενέργειας για ΣΗΘ είναι οι παλινδρομικές μηχανές ή μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Διάφοροι τύποι αυτών των μηχανών είναι εμπορικά διαθέσιμοι, αλλά δύο από αυτούς έχουν περισσότερη σημασία σε στατικές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής, πιο συγκεκριμένα:

- οι τετράχρονοι μηχανές με σπινθηριστή (κύκλος Otto) και
- οι μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση (κύκλος Diesel).

Τα κύρια μηχανικά μέρη των μηχανών κύκλου Otto και Diesel είναι τα ίδια. Και οι δύο χρησιμοποιούν ένα κυλινδρικό θάλαμο καύσης κατά μήκος του οποίου κινείται ένα κατάλληλα εφαρμοσμένο έμβολο. Το έμβολο συνδέεται σε έναν στροφαλοφόρο άξονα που μετασχηματίζει τη γραμμική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο σε περιστροφική κίνηση στο στροφαλοφόρο άξονα. Τόσο οι μηχανές κύκλου Otto, όσο και οι τετράχρονοι μηχανές Diesel ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο. Οι κινήσεις αυτές περιλαμβάνουν:

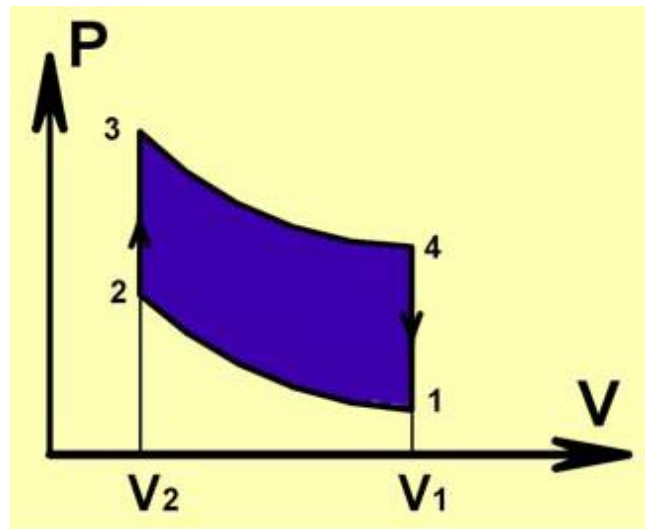
1. εισαγωγή του αέρα (ή του μίγματος αέρα-καυσίμου) στον κύλινδρο,
2. συμπίεση με καύση του καυσίμου,
3. επιτάχυνση του εμβόλου από τη δύναμη της καύσης (κίνηση ισχύος), και
4. αποβολή των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των κύκλων Otto και Diesel είναι η μέθοδος της καύσης του καυσίμου. Στον κύκλο Otto χρησιμοποιείται ένας σπινθηριστής για την ανάφλεξη ενός έτοιμου μίγματος αέρα καυσίμου που εισάγεται στον κύλινδρο. Από την άλλη, μια μηχανή Diesel συμπιέζει τον αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο σε υψηλή πίεση, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του στα επίπεδα της θερμοκρασίας ανάφλεξης του καυσίμου που εγχέεται υπό υψηλή πίεση.

2.2.2.1 Μηχανή Otto

Διάφορες μηχανές μπορούν να προσομοιωθούν από τον κύκλο Otto, όπως είναι οι μηχανές βενζίνης και οι μηχανές αερίου. Ο κύκλος Otto είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται από τέσσερα στάδια (Βλέπε Εικόνα 1)

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

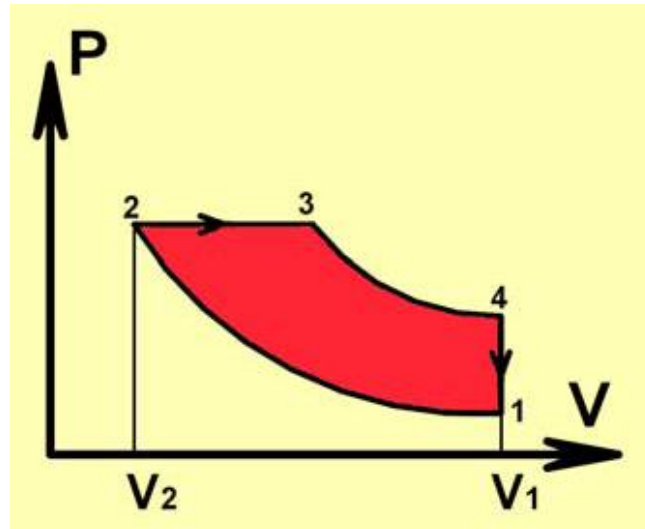


Εικόνα 1: Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Otto (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.2.2 Κύκλος Diesel

Ο κύκλος Diesel είναι ένας ιδανικός τυποποιημένος κύκλος του αέρα που αποτελείται επίσης από τέσσερα στάδια όπως φαίνεται στην Εικόνα 2:

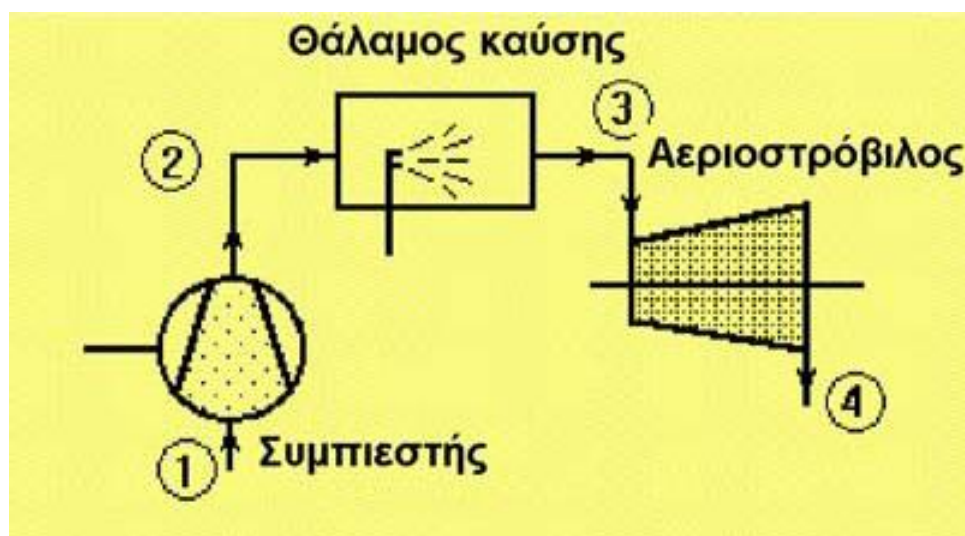
- ✓ 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- ✓ 2 έως 3: Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- ✓ 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- ✓ 4 έως 1: Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο.



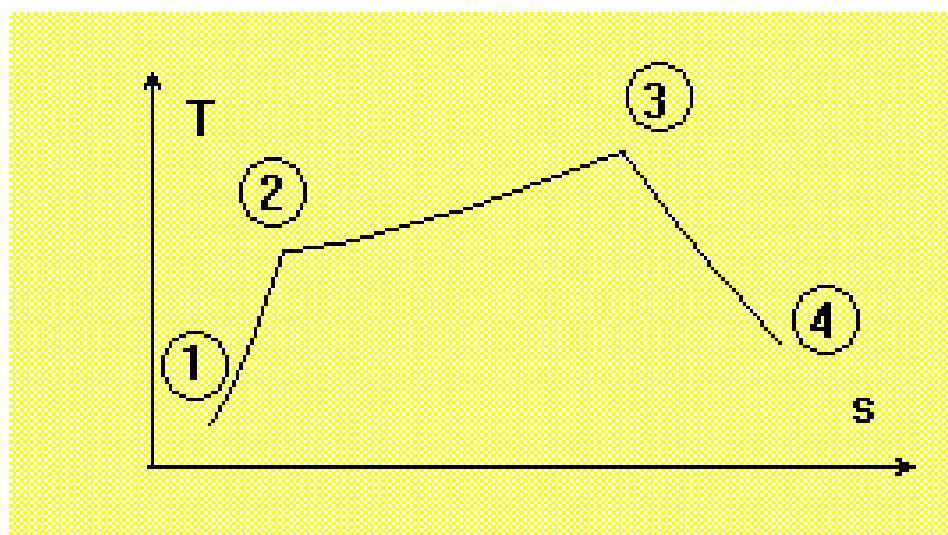
Εικόνα 2: Διάγραμμα P-V ενός κύκλου Diesel (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.3 Αεριοστρόβιλοι

Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν τα θερμά αέρια που παράγονται άμεσα από την καύση ορυκτών καυσίμων. Το θερμό αέριο εκτονώνεται μέσα από τα πτερύγια του δρομέα του στρόβιλου αναγκάζοντας τα να κινηθούν. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διεργασία του αεριοστρόβιλου. Η διεργασία 3-4, που παρουσιάζεται στο διάγραμμα T-s του αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου του παρακάτω σχήματος, αντιστοιχεί σε μια μη αναστρέψιμη αλλά σχεδόν αδιαβατική εκτόνωση των αερίων της καύσης.



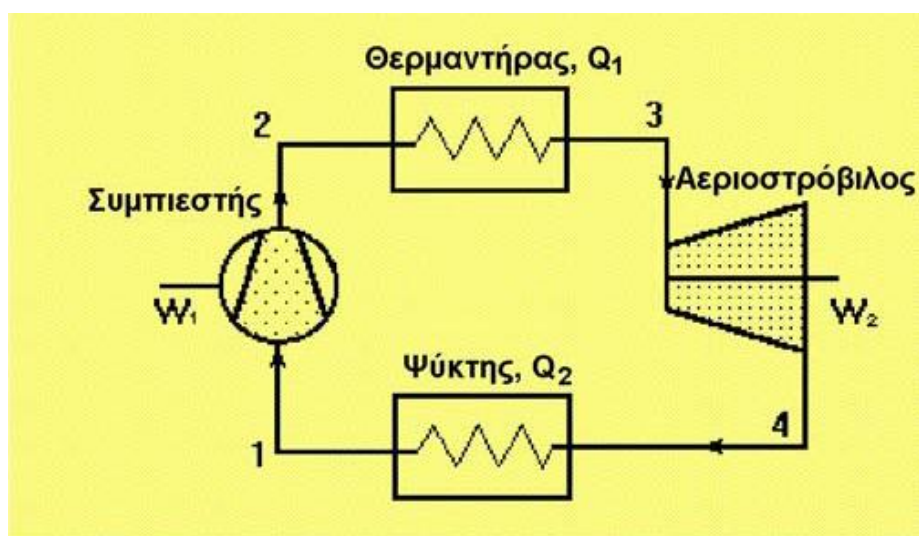
Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση ενός αεριοστρόβιλου ανοικτού κύκλου (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)



Εικόνα 4: Διάγραμμα T-s (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.3.1 Ο κύκλος Brayton (ή Joule)

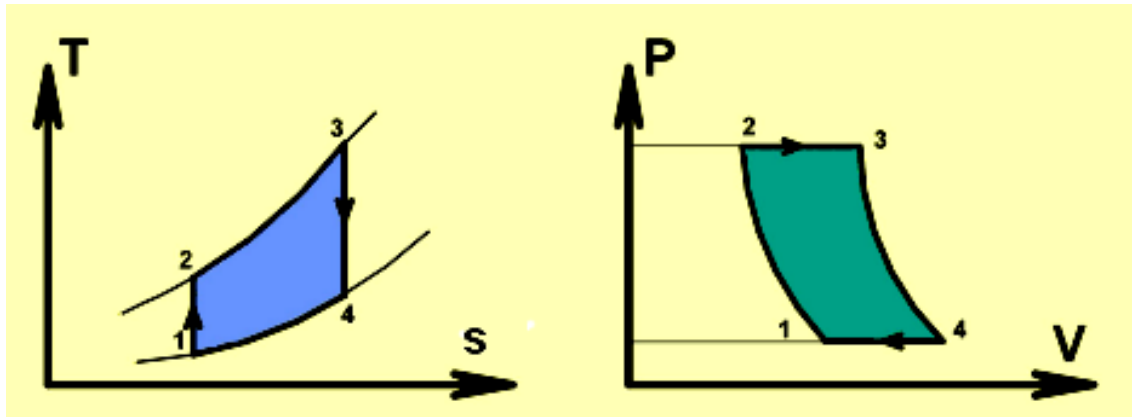
Ο θερμοδυναμικός κύκλος που σχετίζεται με την πλειοψηφία των αεροστροβλικών συστημάτων είναι ο κύκλος Brayton, στον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας, που είναι το εργαζόμενο μέσο, διέρχεται από τον στρόβιλο μόνο μία φορά. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες του κύκλου Brayton περιλαμβάνουν τη συμπίεση του ατμοσφαιρικού 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. Οι κύριες συνιστώσες ενός αεροστρόβιλου παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5: Μια μονάδα αεροστρόβιλου κλειστού κύκλου (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

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

- ✓ 1 έως 2: Ισεντροπική συμπίεση.
- ✓ 2 έως 3: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση.
- ✓ 3 έως 4: Ισεντροπική εκτόνωση.
- ✓ 4 έως 1: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση.

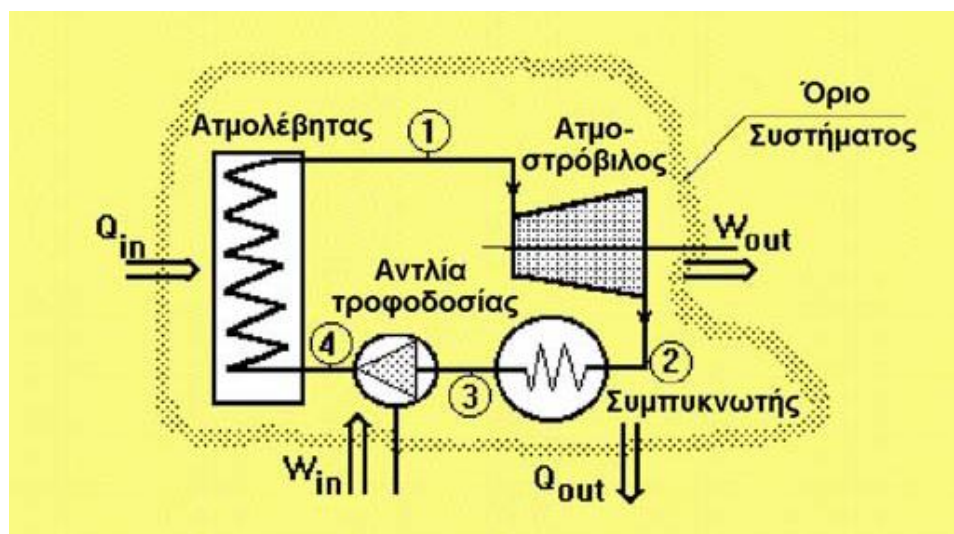


Εικόνα 6: Διαγράμματα T-s και P-V του κύκλου Brayton (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.4 Ατμοστρόβιλοι

Ο ατμοστρόβιλος εξαρτάται από κάποια χωριστή πηγή ενέργειας και δεν μετατρέπει άμεσα το καύσιμο σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ατμοστρόβιλοι απαιτούν μία πηγή ατμού υψηλής πίεσης που παράγεται σε κάποιο λέβητα ή ατμοπαραγωγό ανάκτησης θερμότητας. Στα καύσιμα των λεβήτων συμπεριλαμβάνονται ορυκτά καύσιμα, όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ή ανανεώσιμα καύσιμα, όπως το ξύλο ή τα αστικά απορρίμματα. Ο ατμοστρόβιλος μπορεί να αποτελείται από πολλές βαθμίδες, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να οριστεί με την ανάλυση της εκτόνωσης του ατμού από μία υψηλότερη σε μία χαμηλότερη πίεση.

Ο θερμοδυναμικός κύκλος του ατμοστρόβιλου είναι ο κύκλος Rankine, παρόλο που εφαρμόζονται και κάποιοι άλλοι, όπως οι κύκλοι αναθέρμανσης και αναγέννησης, και ο συνδυασμένος κύκλος. Ο κύκλος Rankine είναι ο βασικός κύκλος των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και συνίσταται κατ' αρχήν από μια πηγή θερμότητας (λέβητας) που μετατρέπει το νερό σε ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός ρέει μέσα από το στρόβιλο και παράγει μηχανική ισχύ, και μπορεί να είναι υγρός, ξηρός κορεσμένος ή υπέρθερμος. Όταν εξέρχεται από τον στρόβιλο συμπυκνώνεται και επιστέφει στο λέβητα για να επαναληφθεί η διαδικασία, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

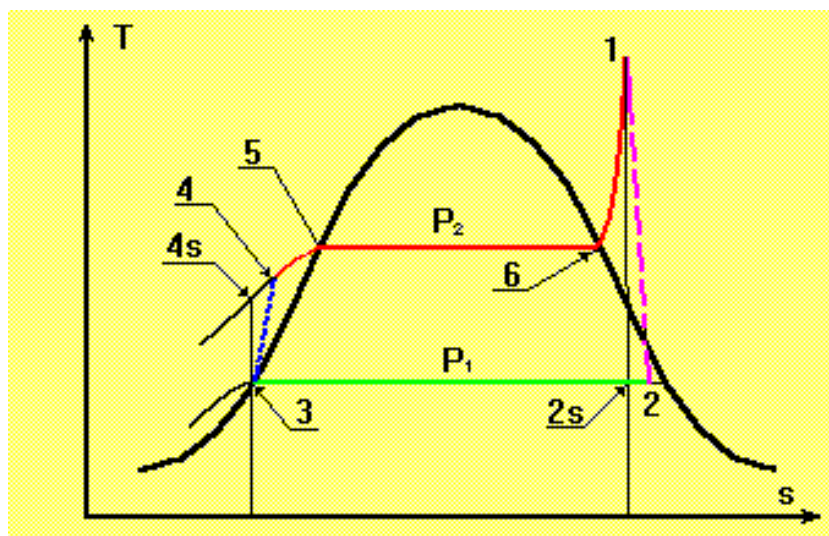


Εικόνα 7: Τα στάδια ενός ολοκληρωμένου συστήματος ατμοστρόβιλου (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.4.1 Ο κύκλος Rankine

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

- ✓ 1 έως 2: Ισεντροπική εκτόνωση (ατμοστρόβιλος).
- ✓ 2 έως 3: Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση (συμπυκνωτής).
- ✓ 3 έως 4: Ισεντροπική συμπίεση (αντλία).
- ✓ 4 έως 1: Θέρμανση υπό σταθερή πίεση (λέβητας).



Εικόνα 8: Διάγραμμα T-s του κύκλου Rankine (πηγή: Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας, Γ.Δ. Ενέργειας και Μεταφοράς, Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

2.2.5 Μικροστρόβιλοι

Οι μικροστρόβιλοι είναι στην ουσία πολύ μικροί αεριοστρόβιλοι. Αναπτύχθηκαν ως πηγές ισχύος για στάσιμες και κινητές εφαρμογές τα τελευταία έτη. Αρχικά βασίζονταν στην τεχνολογία στροβιλοσυμπιεστών φορτηγών που αξιοποιούν την ενέργεια των καυσαερίων για να συμπιέσουν τον αναρροφώμενο αέρα της μηχανής. Οι μικροστρόβιλοι είναι μηχανικά απλές, μικρών διαστάσεων κατασκευές. Παλαιότερα υπήρχε ένα μεγάλο πλήθος ανταγωνιστικών συστημάτων υπό ανάπτυξη, κυρίως κατά τη δεκαετία του 1990. Σήμερα, ύστερα από μία περίοδο εμπορικής διάδοσης, τα εμπορικά συστήματα μικροστροβίλων ΣΗΘ έχουν κλίμακα ισχύος που κυμαίνεται μεταξύ 30-250 kW για συστήματα απλού στροβίλου, ενώ μπορούν να φτάσουν και τα 1000 kW για συστήματα πολλαπλών στροβίλων. (πηγή: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017)

Το σύστημα ΣΗΘ με μικροστρόβιλο είναι κατά κανόνα μονάδα μικρού μεγέθους, υψηλής ταχύτητας και συμπεριλαμβάνει τον στρόβιλο (turbine), τον συμπιεστή (compressor), τη γεννήτρια και τα ηλεκτρονικά ισχύος για τη σύνδεσή τους με το δίκτυο. Τυπικά, λειτουργεί με καύσιμο το φυσικό αέριο, αλλά δέχεται για τη λειτουργία της και άλλα βιομηχανικά καύσιμα, όπως προπάνιο, ελαφρύ πετρέλαιο (diesel) και κηροζίνη, αλλά και καύσιμα από ανανεώσιμες πηγές όπως βιοαέριο ή αέριο σύνθεσης από αεριοποίηση στερεής βιομάζας.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής, ο αέρας εισέρχεται στο συμπιεστή και μετά από τη συμπίεσή του στα 3-5 bar διέρχεται από τον προθερμαντήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται από τα καυσαέρια εκτόνωσης. Στη συνέχεια, ο αέρας εισέρχεται στον καυστήρα, όπου αναμειγνύεται με το καύσιμο, το οποίο αναφλέγεται και καίγεται. Ο αναφλεκτήρας (ignitor) χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και κατόπιν η φλόγα είναι αυτοσυντηρούμενη. Τα καυσαέρια μετά την καύση εισέρχονται στο στρόβιλο σε θερμοκρασία 900-950 °C όπου και εκτονώνονται μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Τα αέρια που εξέρχονται από το στρόβιλο εισέρχονται στον προθερμαντήρα και στη συνέχεια στον εναλλάκτη θερμότητας (θερμαντική στήλη) για την πρόσδοση θερμότητας και τη θέρμανση νερού.

Οι μικροστρόβιλοι είναι κατάλληλοι για εφαρμογές αποκεντρωμένης παραγωγής λόγω της ευελιξίας τους όσον αφορά τη διασυνδεσιμότητά τους. Σε αυτές τις εφαρμογές, η αξιοπιστία είναι πολύ σημαντική καθώς οι τοποθεσίες αυτές μπορεί να βρίσκονται μακριά από το δίκτυο και ως εκ τούτου τυχόν προβλήματα στη λειτουργία έχουν μεγάλες αρνητικές οικονομικές συνέπειες.

Σε γενικές γραμμές, η διαθεσιμότητα εμπορικών μικροστροβίλων είναι περιορισμένη καθώς η δυναμικότητα παραγωγής τους δεν έχει φτάσει οικονομικά αποδεκτά επίπεδα. Οι κυριότερες προκλήσεις για την τεχνολογία ποικίλλουν. Εξαιτίας

του μικρού τους μεγέθους, είναι πολύ ακριβή η κατασκευή πτερυγίων που να ελαχιστοποιούν τις απώλειες διακένων αποτελεσματικά. Επιπλέον, λόγω της μικρής διαμέτρου τους σε συνδυασμό με τη μικρή τους ισχύ, οι μικροστρόβιλοι πρέπει να λειτουργούν σε πολύ υψηλές ταχύτητες για να λειτουργήσουν με καλό βαθμό απόδοσης.

Στην περίπτωση που ο μικροστρόβιλος είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, το σύστημα ελέγχου ακολουθεί συνήθως το θερμικό φορτίο. Η παραγόμενη ηλεκτρική ή θερμική ισχύς του μικροστρόβιλου μπορεί να μειωθεί με μείωση της περιστροφικής ταχύτητας του άξονα. Ταυτόχρονα μειώνεται και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στο στρόβιλο ώστε να αποφευχθεί η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του προθερμαντήρα. Αυτό επηρεάζει το σημείο λειτουργίας του μικροστρόβιλου και το βαθμό απόδοσής του.

Οι μικροστρόβιλοι λειτουργούν ιδανικά με καλής ποιότητας καύσιμα όπως φυσικό αέριο, υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο, diesel και κηροζίνη. Στην περίπτωση που γίνεται χρήση χαμηλής ποιότητας καυσίμου, όπως βιοαέριο ή βιομηχανικά καυσαέρια, το καύσιμο συχνά περιέχει οξέα συστατικά και μπορεί να απαιτεί προεπεξεργασία. Οι μικροστρόβιλοι έχουν χαμηλό χρόνο εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας, της τάξεως των λίγων λεπτών.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά συστημάτων ΣΗΘ με μικροστρόβιλους είναι τα εξής:

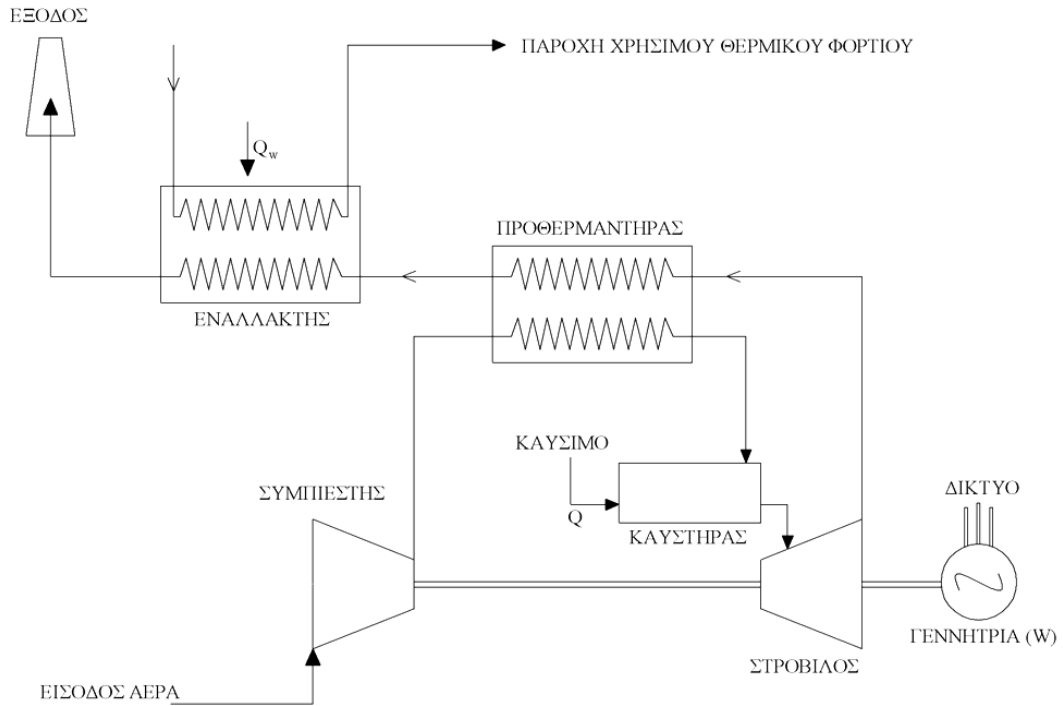
- κατασκευάζονται για ισχύ 30 έως 300 kW
- παρουσιάζουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20-30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 40-45% (στην περίπτωση της εγκατάστασης συστήματος ανάκτησης θερμότητας έως και 65%) και ολικό βαθμό απόδοσης 70-80%
- ο λόγος C είναι 0,2-0,5
- ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου 15 έτη.

Οι μικροστρόβιλοι παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα (πηγή: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017):

- Λίγα κινούμενα μέρη
- Μικρό μέγεθος
- Χαμηλές εκπομπές
- Μη απαίτηση ψύξης

Παρουσιάζουν όμως και τα παρακάτω μειονεκτήματά [3.1]:

- Υψηλά κόστη
- Σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης
- Μειωμένη θερμοκρασία παραγόμενης θερμότητας



Εικόνα 9: Διάταξη και τρόπος λειτουργίας μικροστροβίλου (πηγή: Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια», Α' έκδοση, Σεπτέμβριος 2017)

2.3 Δείκτες αποδοτικότητας των συστημάτων συμπαραγωγής

Μετά από την παρουσίαση των θερμικών μηχανών που έγινε παραπάνω, είναι απαραίτητο να καθοριστούν συγκεκριμένοι δείκτες, οι οποίοι προσδιορίζουν τη θερμοδυναμική απόδοση ενός συστήματος συμπαραγωγής και διευκολύνουν τη σύγκριση των εναλλακτικών συστημάτων.

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

$$\eta_m = \frac{W_s}{H_f} = \frac{W_s}{m_f * H_u}$$

Όπου:

- W_s είναι η ισχύς στον άξονα της κύριας πηγής ενέργειας,
- H_f είναι η ισχύς του καυσίμου (η παροχή ενέργειας του καυσίμου) που καταναλώνεται από το σύστημα ($H_f = m_f * H_u$),
- m_f είναι η παροχή μάζας του καυσίμου, και
- H_u η κατώτερη θερμογόνο δύναμή του.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

$$\eta_e = \frac{W_e}{H_f} = \frac{W_e}{m_f * H_u}$$

Όπου:

- W_e είναι η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος του συστήματος (η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται από το βοηθητικό εξοπλισμό αφαιρείται από την ηλεκτρική ισχύ της γεννήτριας).

Επίσης, ο θερμικός βαθμός απόδοσης του μέρους παραγωγής της θερμότητας του συστήματος είναι:

$$\eta_{th} = \frac{Q}{H_f} = \frac{Q}{m_f * H_u}$$

Όπου:

- Q είναι η ωφέλιμη θερμική ισχύς του συστήματος συμπαραγωγής.

Τέλος, ο συνολικός ενεργειακός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής είναι:

$$\eta = \eta_e + \eta_{th} = \frac{W_e + Q}{H_f}$$

Η ποιότητα της θερμότητας είναι χαμηλότερη από αυτήν της ηλεκτρικής ενέργειας και ελαττώνεται με τη θερμοκρασία στην οποία είναι διαθέσιμη (δηλαδή η ποιότητα της θερμότητας υπό μορφή ζεστού νερού είναι χαμηλότερη από την ποιότητα της υπό μορφή ατμού). Συνεπώς, δεν είναι σκόπιμο να προστίθεται η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα και μερικές φορές είναι παραπλανητική μια σύγκριση μεταξύ συστημάτων με βάση τον ενεργειακό βαθμό απόδοσης. Ακόμα κι αν μέχρι τώρα συνήθως χρησιμοποιούνται οι ενεργειακοί βαθμοί απόδοσης, μία θερμοδυναμικά ακριβέστερη αξιολόγηση και μία δικαιότερη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να γίνει βάσει των ενεργειακών αποδοτικότητων.

Υπάρχουν όμως και άλλες σημαντικές παράμετροι που πρέπει να εξετάζονται στα συστήματα ΣΗΘ, όπως είναι ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα (PHR):

$$PHR = \frac{W_e}{Q}$$

και ο λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων:

$$FESR = \frac{H_{fs} - H_{fc}}{H_{fs}}$$

όπου:

- H_{fs} είναι η συνολική ισχύς των καυσίμων για χωριστή παραγωγή της W_e και της Q , και
- H_{fc} είναι η ισχύς των καυσίμων του συστήματος συμπαραγωγής που παράγουν τις ίδιες ποσότητες W_e και Q .

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

Οι παραπάνω εξισώσεις οδηγούν στις παρακάτω σχέσεις:

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

$$PHR = \frac{\eta_e}{\eta_{th}} = \frac{\eta_e}{\eta - \eta_e}$$

οι οποίες βοηθούν στον καθορισμό αποδεκτών τιμών του λόγου ηλεκτρισμού προς θερμότητα ενός συστήματος, όταν είναι γνωστός ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσής του. Πρέπει να αναφερθεί ότι, σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες για την επιλογή ενός συστήματος συμπαραγωγής.

Εάν θεωρηθεί ότι ένα σύστημα ΣΗΘ αντικαθιστά διακριτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας με βαθμούς απόδοσης η_w και η_Q , αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι

$$FESR = 1 - \frac{PHR + 1}{\eta * \left(\frac{PHR}{\eta_w} + \frac{1}{\eta_Q} \right)}$$

όπου οι δείκτες W και Q υποδηλώνουν τη διακριτή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας (π.χ. από μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής και έναν λέβητα), αντίστοιχα.

Κατά συνέπεια, εάν ένα σύστημα ΣΗΘ με συνολικό βαθμό απόδοσης $\eta=0,80$ και λόγο ηλεκτρισμού προς θερμότητα $PHR=0,60$ υποκαθιστά μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής με απόδοση $\eta_w=0,35$ και έναν λέβητα αποδοτικότητας $\eta_Q=0,85$, τότε από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει: $FESR=0,325$. Αυτό σημαίνει ότι η συμπαραγωγή μειώνει τη συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά 32,5%. Η απόδοση ενός συστήματος εξαρτάται από το φορτίο και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Από την άλλη, ο βαθμός χρησιμοποίησης των παραγόμενων ενεργειακών μορφών επηρεάζεται από την αρχική επιλογή (σχεδιασμός) του συστήματος, τη στρατηγική της συμπαραγωγής (λειτουργικός έλεγχος) και τη σύμπτωση μεταξύ της παραγωγής και χρήσης των ωφέλιμων ενεργειακών μορφών. Για τους λόγους αυτούς, οι ολοκληρωτικοί δείκτες για μία χρονική περίοδο, π.χ. οι ετήσιοι δείκτες, είναι συχνά σημαντικότεροι από τους στιγμιαίους ή τους ονομαστικούς, δεδομένου ότι είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικοί της πραγματικής απόδοσης του συστήματος.

Επιπλέον υπάρχουν νομικά ζητήματα που καθιστούν σημαντικές τις ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών. Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με το σχετικό νόμο για τα θέματα συμπαραγωγής στην Ελλάδα, για να μπορεί ένα σύστημα ΣΗΘ να είναι επιλέξιμο για επιδότηση πρέπει να έχει ένα ετήσιο συνολικό βαθμό απόδοσης τουλάχιστον 65% στο βιομηχανικό τομέα, και τουλάχιστον 60% στον τριτογενή τομέα.

Εντούτοις, σε όλα τα προηγούμενα χρησιμοποιήθηκαν η ηλεκτρική και θερμική ισχύς και η ισχύς των καυσίμων (ενέργεια ανά μονάδα χρόνου), καταλήγοντας σε τιμές δεικτών που ισχύουν μόνο για μια ορισμένη χρονική στιγμή ή για ένα συγκεκριμένο φορτίο. Όλοι οι ανωτέρω ορισμοί ισχύουν επίσης εάν η ισχύς αντικατασταθεί από την ενέργεια σε μία ορισμένη χρονική περίοδο. Τότε, οι προκύπτουσες ολοκληρωτικές τιμές των δεικτών υποδηλώνουν την απόδοση του συστήματος κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής.

Έτσι, η εξίσωση

$$\eta = \eta_e + \eta_{th} = \frac{W_e + Q}{H_f}$$

μπορεί να γραφτεί επίσης ως εξής:

$$\eta_a = \frac{W_{ea} + Q_a}{H_{fa}}$$

όπου:

- W_{ea} είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα ΣΗΘ κατά τη διάρκεια ενός έτους,
- Q_a είναι η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας, και
- H_{fa} είναι η ενέργεια των καυσίμων που καταναλώνονται κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Συνεπώς, η εξίσωση αυτή παρέχει τον ετήσιο ολικό βαθμό απόδοσης η_a του συστήματος.

2.4 Ταξινόμηση των συστημάτων συμπαραγωγής

2.4.1 Τύποι σχημάτων συμπαραγωγής

Ήδη από το 1900 υπήρχε η πρώτη εφαρμογή αυτού που είναι σήμερα γνωστό ως «συμπαραγωγή» σε μερικές μεγάλες πόλεις και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο κύριος κινητήρας των γεννητριών ήταν παλινδρομικές ατμομηχανές που συνήθως απέβαλαν ατμό χαμηλής πίεσης σε κεντρικούς αγωγούς διανομής, οι οποίοι τροφοδοτούσαν με αυτόν συστήματα θέρμανσης και παραγωγικών διεργασιών. Με τον τρόπο αυτό γεννήθηκαν οι πρώτες εγκαταστάσεις «συμπαραγωγής αιχμής», οι οποίες πήραν την ονομασία αυτή από την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Η εν λόγω ορολογία δεν χρησιμοποιήθηκε γι' αυτόν τον τύπο παραγωγής μέχρι τη δεκαετία του '70, και ο όρος «αιχμή» αναφέρεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από τον κύριο κινητήρα ως πρωταρχική λειτουργία και η θερμική ενέργεια που απορρίπτεται από αυτόν χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τις διεργασίες της μονάδας. Η άλλη διάταξη, κατά την οποία η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από απορριπτόμενο ατμό, είναι γνωστή ως κύκλος «βάσης». Κατά συνέπεια, διακρίνονται δύο κύριοι τύποι συμπαραγωγής: τα συστήματα «αιχμής» και «βάσης».

Υπάρχουν τέσσερις τύποι συστημάτων συμπαραγωγής κύκλου αιχμής.

- I. Στον πρώτο τύπο τα καύσιμα καταναλώνονται σε έναν αεριοστρόβιλο ή μια μηχανή diesel για την παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος. Τα καυσαέρια παρέχουν θερμότητα για διεργασίες, ή οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός για τη λειτουργία ενός δευτερεύοντος αμμοστροβίλου. Αυτό είναι ένα σύστημα αιχμής συνδυασμένου κύκλου.
- II. Ο δεύτερος τύπος συστήματος καταναλώνει καύσιμα για την παραγωγή ατμού υψηλής πίεσης, ο οποίος στη συνέχεια οδηγείται σε αμμοστροβίλο παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η εξαγωγή παρέχει ατμό διεργασιών χαμηλής πίεσης. Αυτό είναι ένα αμμοστροβιλικό σύστημα αιχμής.
- III. Ο τρίτος τύπος καταναλώνει καύσιμα όπως είναι το φυσικό αέριο, το diesel, τα ξύλα, ο αεριοποιημένος άνθρακας, ή το αέριο ΧΥΤΑ. Το ζεστό νερό από το σύστημα ψύξης των χιτωνίων της μηχανής οδηγείται σε έναν λέβητα ανάκτησης θερμότητας, όπου μετατρέπεται σε ατμό διεργασιών και ζεστό νερό για θέρμανση χώρων.
- IV. Ο τέταρτος τύπος είναι ένα αεριοστροβιλικό σύστημα αιχμής. Ένας στρόβιλος φυσικού αερίου οδηγεί μια γεννήτρια και τα καυσαέρια οδηγούνται σε ένα λέβητα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ατμός και θερμότητα διεργασιών. Σε μία μονάδα κύκλου αιχμής χρησιμοποιούνται πάντοτε κάποια πρόσθετα καύσιμα, πέραν αυτών που απαιτούνται για την παραγωγική διεργασία, και έτσι υφίσταται ένα λειτουργικό κόστος που σχετίζεται με την ηλεκτροπαραγωγή.

Τα συστήματα κύκλου «βάσης» είναι πολύ λιγότερο συνηθισμένα από τα αντίστοιχα κύκλου «αιχμής». Τέτοια συστήματα συναντώνται σε βαριές βιομηχανίες, όπως αυτές του γυαλιού ή οι μεταλλουργικές, όπου χρησιμοποιούνται φούρνοι πολύ υψηλών θερμοκρασιών. Ένας λέβητας ανάκτησης της απόβλητης θερμότητας συλλέγει τη θερμότητα που αποβάλλεται από κάποια θερμική παραγωγική διεργασία. Αυτή η απορριπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να παραχθεί ατμός ο οποίος κινεί έναν ατμοστρόβιλο που παράγει ηλεκτρισμό. Δεδομένου ότι το καύσιμο καίγεται πρώτα κατά την παραγωγική διεργασία, δεν απαιτείται καμία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4.2 Τρόποι λειτουργίας των συστημάτων συμπαραγωγής

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

- 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). Εάν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερη από το φορτίο η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, ενώ εάν είναι μικρότερη η συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια αγοράζεται από το δίκτυο.
- Κάλυψη του θερμικού φορτίου βάσης: Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα ΣΗΘ διαστασιολογείται, ώστε να παρέχει την ελάχιστη απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση. Εφεδρικοί λέβητες ή καυστήρες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ζήτηση θερμότητας είναι υψηλότερη. Ο κύριος κινητήρας της μονάδας λειτουργεί πάντα υπό πλήρες φορτίο. Εάν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης υπερβαίνει αυτήν που μπορεί να παρέχει ο κύριος κινητήρας, τότε η υπόλοιπη ποσότητα μπορεί να αγοραστεί από το δίκτυο. Αντίστοιχα, εάν το επιτρέπουν οι ισχύοντες νόμοι, η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να πωληθεί στην ηλεκτρική εταιρεία.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου: Κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση με το ηλεκτρικό φορτίο (χωρίς υπέρβαση της δυναμικότητας του συστήματος ΣΗΘ). Εάν η συμπαραγόμενη θερμότητα είναι μικρότερη από το θερμικό φορτίο ένας βοηθητικός λέβητας υποβοηθά στην κάλυψη των αναγκών, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη η πλεονάζουσα θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω συσκευών ψύξης ή μέσω των καυσαερίων.
- Κάλυψη του ηλεκτρικού φορτίου βάσης: Σε αυτήν τη διάταξη, η μονάδα ΣΗΘ διαστασιολογείται ώστε να ικανοποιεί την ελάχιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης, βάσει της καμπύλης των αναγκών. Οι υπόλοιπες ανάγκες σε ηλεκτρισμό καλύπτονται από το δίκτυο. Οι θερμικές ανάγκες της εγκατάστασης θα μπορούσαν να καλυφθούν από το σύστημα συμπαραγωγής

μόνο ή με πρόσθετους λέβητες. Εάν η θερμική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης υπερβαίνει τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, και εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες, η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωληθεί σε γειτονικούς πελάτες.

- Μικτή κάλυψη: Σε ορισμένες χρονικές περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του θερμικού φορτίου, ενώ σε άλλες περιόδους ακολουθείται ο τρόπος κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου. Η απόφαση βασίζεται στην εκτίμηση παραμέτρων όπως είναι τα επίπεδα των φορτίων, η τιμή των καυσίμων και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την συγκεκριμένη ημέρα και ώρα.
- Αυτόνομη λειτουργία: Υφίσταται πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή χωρίς σύνδεση με το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος απαιτεί να διαθέτει το σύστημα ηλεκτρική και θερμική δυνατότητα εφεδρείας, έτσι ώστε στην περίπτωση που μια μονάδα τεθεί εκτός λειτουργίας για οποιοδήποτε λόγο, οι υπόλοιπες μονάδες να είναι σε θέση να καλύψουν το ηλεκτρικό και το θερμικό φορτίο. Αυτή είναι και η πιο δαπανηρή στρατηγική, τουλάχιστον από την άποψη του αρχικού κόστους του συστήματος.

Γενικά, η λειτουργία κάλυψης του θερμικού φορτίου οδηγεί στον υψηλότερο βαθμό αξιοποίησης του καυσίμου (λόγος εξοικονόμησης ενέργειας καυσίμων-FESR) και ίσως στην καλύτερη οικονομική απόδοση της συμπαραγωγής, τόσο στο βιομηχανικό, όσο και στον κτιριακό τομέα. Στον τομέα των εταιριών ηλεκτροπαραγωγής, ο τρόπος λειτουργίας εξαρτάται από:

- α) το συνολικό φορτίο του δικτύου,
- β) τη διαθεσιμότητα των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και
- γ) τις υποχρεώσεις της εταιρίας προς τους πελάτες της, όσον αφορά την τροφοδοσία τους με ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Κάθε εφαρμογή έχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, υπάρχει μια πληθώρα συστημάτων ΣΗΘ (ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος, τη διαμόρφωση), ενώ η σχεδίαση ενός συστήματος συμπαραγωγής μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του χρήστη και έχει επιπτώσεις στους δυνατούς τρόπους λειτουργίας του, και το αντίστροφο.

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.

2.5 Σύνοψη πλεονεκτημάτων – μειονεκτημάτων συμπαραγωγής

Τα πλεονεκτήματα των ΣΗΘ είναι:

Οικονομικά:

1. Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της ενέργειας. Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
2. Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές. Επιπλέον, συμβάλλοντας στην απελευθέρωση της ηλεκτροπαραγωγής, βελτιώνει την ανταγωνιστικότητα.
3. Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.
4. Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/και θερμική ενέργεια. Η ΣΗΘ συνεισφέρει στην εξισορρόπηση μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους της αιχμιακής ζήτησης, μειώνοντας τον κίνδυνο πτώσης του δικτύου (blackout).
5. Εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα.
6. Αυξημένη απασχόληση αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

Περιβαλλοντικά:

1. Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ που είναι το σημαντικότερο αέριο στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
2. Μείωση της υπερβολικής όχλησης συγκεκριμένων περιοχών (πχ. Κοζάνη)
3. Αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων τοπικών καυσίμων και ιδιαίτερα της βιομάζας.

Η βιομηχανία επεξεργασίας βιομάζας ή γενικότερα μονάδες που παράγουν απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως βιομάζα, έχουν άλλο ένα πλεονέκτημα εκτός από τα δύο παραπάνω: μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως καύσιμο τα ίδια τους τα απόβλητα μειώνοντας ακόμα περισσότερο το κόστος λειτουργίας τους. Και επιπλέον υπάρχουν οι γνωστές δυνατότητες χρηματοδοτήσεων και εξασφάλισης εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο κάτω από το ευνοϊκό νομικό καθεστώς που διέπει την ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ, για όποιες απ' αυτές μπορούν να παράγουν περίσσεια ρεύματος. Τέτοιες βιομηχανίες όπου η ΣΗΘ είναι μια δυνατότητα που αξίζει να εξεταστεί, είναι τα εργοστάσια επεξεργασίας ζαχαροκάλαμου για την παραγωγή ζάχαρης που παράγουν μελάσα ως απόβλητο, τα εργοστάσια αποφλοιώσης ρυζιού, η βιομηχανία παραγωγής χαρτιού, η βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου, μεγάλες κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες, κ.ά.

Συνεπώς, τα συστήματα συμπαραγωγής παράγουν ηλεκτρισμό, θερμότητα και ψύξη χρησιμοποιώντας την πρωτογενή ενέργεια του καυσίμου πιο αποδοτικά, οικονομικά, αξιόπιστα και με λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον από την κεντρική ξεχωριστή παραγωγή.

Τα μειονεκτήματα των ΣΗΘ είναι:

Παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα της ΣΗΘ, υπάρχουν διάφορα πιθανά προβλήματα από την περαιτέρω ανάπτυξή της, τα οποία συνοψίζονται γενικά στα εξής:

1. Δεν είναι πάντα βέβαιο ότι η ΣΗΘ μειώνει τις συνολικές εκπομπές. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από την τεχνολογία ΣΗΘ, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανεξάρτητη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και τα καύσιμα σε αυτές. Είναι πιθανό να μειώνεται ένας ρύπος (π.χ. CO₂) αλλά να αυξάνεται ένας άλλος (π.χ. NO_x).
2. Όλα τα συστήματα συμπαραγωγής εξοικονομούν καύσιμο, διότι έχουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Όμως, το αν είναι συμφέρουσα η όχι η αντικατάσταση συστημάτων ξεχωριστής παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με ένα σύστημα συμπαραγωγής εξαρτάται από τα καύσιμα που αυτά χρησιμοποιούν. Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής εξαρτώνται από εισαγόμενα καύσιμα. Γενικά, η επιλογή των συστημάτων συμπαραγωγής και του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθούν, είναι σκόπιμο να εναρμονίζονται με μια γενικότερη εθνική ενεργειακή πολιτική.
3. Τεχνικά ζητήματα και προκλήσεις από τη σύνδεση συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο και την αλλαγή της ροής ισχύος σε αυτό, όπως:
 - α. η μεταβολή των μεθόδων προστασίας του δικτύου που στα περισσότερα σημερινά δίκτυα διανομής προβλέπεται μονόδρομη ροή ισχύος.
 - β. η μεταβολή των χαρακτηριστικών των βραχυκυκλωμάτων του δικτύου και η δημιουργία υπερτάσεων και υποτάσεων κατά την είσοδο και έξοδο των μονάδων ΣΗΘ. Επιπλέον, η αποσύνδεση και επανασύνδεση των

μονάδων ενδέχεται να δημιουργήσει πρόβλημα στην ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά περιορίζονται ή αποφεύγονται όταν το σύστημα συμπαραγωγής και η σύνδεσή του με το δίκτυο πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η συνεννόηση με τις αρμόδιες υπηρεσίες της Δ.Ε.Η.

4. Η εξάπλωση της συμπαραγωγής θα μπορούσε να έχει αρνητικές οικονομικές επιπτώσεις στο εθνικό σύστημα ηλεκτρισμού, αν αυτό έχει ικανότητα παραγωγής μεγαλύτερη από τη ζήτηση ή αν ο ρυθμός αύξησης της ικανότητας με κατασκευή νέων σταθμών είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό αύξησης της ζήτησης και για διάφορους λόγους δεν μπορεί να επιβραδυνθεί. Τότε, το κόστος κεφαλαίου μοιράζεται σε μικρότερη ποσότητα παραγόμενου ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα την αύξηση του μοναδιαίου κόστους. Τέτοιο ενδεχόμενο δε φαίνεται να υπάρχει για την Ελλάδα, διότι αφενός μεν μέρος των αναγκών καλύπτεται με εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αφετέρου δε το αναπτυξιακό πρόγραμμα της Δ.Ε.Η. αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα και επομένως μπορεί να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες.
5. Οι μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις που αντικαθιστούν σταθμούς βάσης μπορεί σε τοπικό επίπεδο να αυξήσουν τις εκπομπές ρύπων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κεντρικές μονάδες είναι συνήθως μακριά από τα αστικά κέντρα γεγονός που καθιστά τον έλεγχό τους με αντιρρυπαντική τεχνολογία ευκολότερο. Επομένως, πρέπει ο έλεγχος της συντήρησης των μονάδων και των εκπομπών τους εντός του αστικού ιστού να είναι αυστηρός.
6. Η αποκομιδή των καταλοίπων της καύσης καθώς και η διακίνηση των καυσίμων, μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση του εδάφους σε τοπικό επίπεδο. Επιπροσθέτως, εντός του αστικού ιστού ενδέχεται να δημιουργηθούν και προβλήματα ηχορύπανσης.

2.6 Πεδία εφαρμογών ΣΗΘ

- A. Δυνητικοί Χρήστες (θέρμανση και ψύξη χώρων-παραγωγή ζεστού νερού χρήσης)
 - Νοσοκομεία
 - Ξενοδοχεία
 - Κλειστά Γυμναστήρια
 - Εμπορικά Κέντρα και Κτίρια Διοίκησης

- B. Κολυμβητήρια (θέρμανση πισίνας-παραγωγή ζεστού νερού χρήσης)

- C. Βιομηχανίες (θερμικές διεργασίες στην παραγωγική διαδικασία)
 - Τροφίμων και Ποτών
 - Βαφεία Νημάτων
 - Κεραμοποιία
 - Ζυθοποιία
 - Πλινθοποιία
 - Χάλυβα
 - Κλωστοϋφαντουργία
 - Φαρμάκων

2.7 Ιστορική Αναδρομή στην Ελλάδα

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

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

Αν και αρκετές νέες εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν την τελευταία δεκαετία, παίρνοντας μάλιστα χρηματοδότηση από τα υπάρχοντα επενδυτικά προγράμματα, πολλές από τις εγκαταστάσεις ΣΗΘ με φυσικό αέριο έχουν βγει εκτός λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στη σχετικά υψηλή τιμή αγοράς του φυσικού αερίου και τη χαμηλή τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου οι δύο αυτές παράμετροι παίζουν καθοριστικό ρόλο για την βιωσιμότητα επενδύσεων ΣΗΘ.

Γενικά η αγορά της συμπαραγωγής μέχρι και σήμερα, παραμένει δύσπιστη και σε κατάσταση αναμονής, γιατί έχει συναντήσει έναν αριθμό εμποδίων. Σαν συνέπεια, η συμμετοχή της ΣΗΘ στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι σήμερα της τάξης του 2% και στην εγκατεστημένη ισχύ είναι επίσης της τάξης του 2%, σε αντίθεση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπου 11 χώρες παράγουν πάνω από το 20% της ηλεκτρικής τους ενέργειας από ΣΗΘ και 4 χώρες πάνω από 50%. Ο ευρωπαϊκός μέσος όρος είναι περίπου στο 10%. Από τη συμπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια το 40% παράγεται από καύση φυσικού αερίου, το 19% από καύση άνθρακα και το 10% από ΑΠΕ.

2.8 Νομοθεσία στην Ελλάδα για ΣΗΘ

Η συμπαραγωγή δίνει στον καταναλωτή σημαντική δυνατότητα της κάλυψης των τελικών ενεργειακών του αναγκών, αλλά και στον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας τη δυνατότητα παραγωγής με πολύ υψηλότερη θερμοδυναμική απόδοση απ' ό,τι οι παραδοσιακές μέθοδοι. Επομένως θα έπρεπε, λογικά, η ευρύτερη διάδοση των τεχνολογιών της συμπαραγωγής να εξαρτάται κυρίως από την οικονομικότητα των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών και η προσπάθεια να κατευθύνεται προς τη σταδιακή μείωση του κόστους των συστημάτων αυτών, ώστε να αυξάνει το επιχειρηματικό ενδιαφέρον. Αυτό όμως δε συνέβαινε για αρκετά χρόνια στην Ελλάδα, αφού μόνο τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση, κυρίως με τους νόμους 3468/2006 και 3851/2010.

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 φυσικό αέριο 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 υποπαραγωγών βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας.

Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της ΣΗΘ με την απόδοση κινητήρων και την προσπάθεια απλούστευσης των διαδικασιών και ρυθμίζονταν θέματα σχετικά με τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίες των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

Η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας 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 φυσικού αερίου, 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 ηλεκτρικής ενέργειας και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με τον Ν.2773/99.

Με τον Ν.2273/1999 ρυθμίζονταν 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 συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ. Επίσης, ο νόμος αυτός, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ ή ΣΗΘ.

Ο Ν.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 τη διαδικασία αδειοδότησης 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.

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 (> 1MW_e).

Η Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής ΣΗΘ.

Ο Ν.3468/2006 εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας (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.

Ο Ν. 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 υποβάλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.

Ο νόμος Ν. 3851/2010 με τίτλο «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής

Αλλαγής» προωθεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης) ως εξής:

- i. Καθορίζει σαφώς την έννοια του παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας όπως φαίνεται:
 - α. Παραγωγός από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ: Ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή από μονάδες συμπαραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας.
 - β. Υψηλής Απόδοσης Αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ: Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο σύστημα ή στο δίκτυο.
 - γ. Αυτόνομος Παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ: Ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα ή το δίκτυο. (Ο ορισμός αυτός επεκτείνεται έμμεσα και για τις μονάδες συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης)
- ii. Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι είκοσι έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Όμως οι παραγωγοί με ΣΗΘΥΑ έως 1 MW εγκατεστημένης ισχύος απαλλάσσονται από την υποχρέωση της άδειας.
- iii. Καθορίζεται η τιμή της πωλούμενης στο δίκτυο ενέργειας, συναρτήσει του της τιμής του φυσικού αερίου ως εξής: Τιμή Ενέργειας (€/MWh)=87,85*ΣΡ, όπου ΣΡ είναι ο συντελεστής ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος ορίζεται ως εξής: $\Sigma P = 1 + (M.T.\Phi.A.-26) / (100*\eta_{el})$

Όπου:

M.T.Φ.Α.: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανώτερης θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.

η_{el} : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανώτερης θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. < = 1 MW_e, και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. > 1 MW_e.

Η τιμή του ΣΡ δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Όπως φαίνεται τα πλεονεκτήματα των συστημάτων Σ.Η.Θ. με καύση φυσικού αερίου στην Ελλάδα παρουσίασαν κάποια εμπόδια στη διάδοσή τους, κυρίως λόγω της ελλιπούς ενημερώσεως και υποστηρίξεως επενδυτών, καθώς και λόγω οικονομικής και επιχειρηματικής αδράνειας. Πλέον, όμως, υπάρχουν στελέχη επιχειρήσεων την απαραίτητη γνώση του αντικειμένου, ενώ υπάρχει και εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις δε δυσκολεύονται στην ετοιμασία του φακέλου μιας προτάσεως προς έγκριση και ενδεχομένως και χρηματοδότηση. Ακόμη, το ύψος της αρχικής επένδυσης μειώνεται διαρκώς, ενώ στην τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει συγκεκριμένη πολιτική.

Πλέον μπορούν να λειτουργήσουν σχήματα χρηματοδότησης από τρίτους (Third Party Financing) και οι εταιρίες παροχής ενεργειακών υπηρεσιών (Ε.Π.Ε.Υ. ή στα Αγγλικά Energy Service Companies). Επιπλέον λόγω πρόσφατου νομικού πλαισίου, διευκολύνεται η συμπαραγωγή σε Βιομηχανικές Περιοχές ή κοινοπραξίες επιχειρήσεων. Η συμπαραγωγή από ανεξάρτητους παραγωγούς επιτρέπεται όχι μόνον με τη χρήση φυσικού αερίου, αλλά και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με το ρόλο της ΔΕΗ να είναι ιδιαιτέρως αποδυναμωμένος.

3 Ανάλυση πρακτικών εφαρμογών συστημάτων ΣΗΘ στην Ελλάδα

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, δεν είναι κάτι καινούριο στην Ελλάδα. Οι πρώτες μεγάλες μονάδες ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν την δεκαετία του '70. Λειτουργούν μονάδες συμπαραγωγής στις βιομηχανίες ζάχαρης και χάρτου, κλωστοϋφαντουργίες και διυλιστήρια. Επίσης, αρκετές μονάδες της ΔΕΗ έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να καλύψουν θερμικές ανάγκες γειτονικών αστικών περιοχών. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά και ως «τηλεθέρμανση» και λειτουργούν στην Πτολεμαΐδα, το Αμύνταιο, την Μεγαλόπολη και την Κοζάνη.

3.1 Πρωτογενής τομέας

3.1.1 Θερμοκήπια Δράμας

Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΕΣΣΗΘ

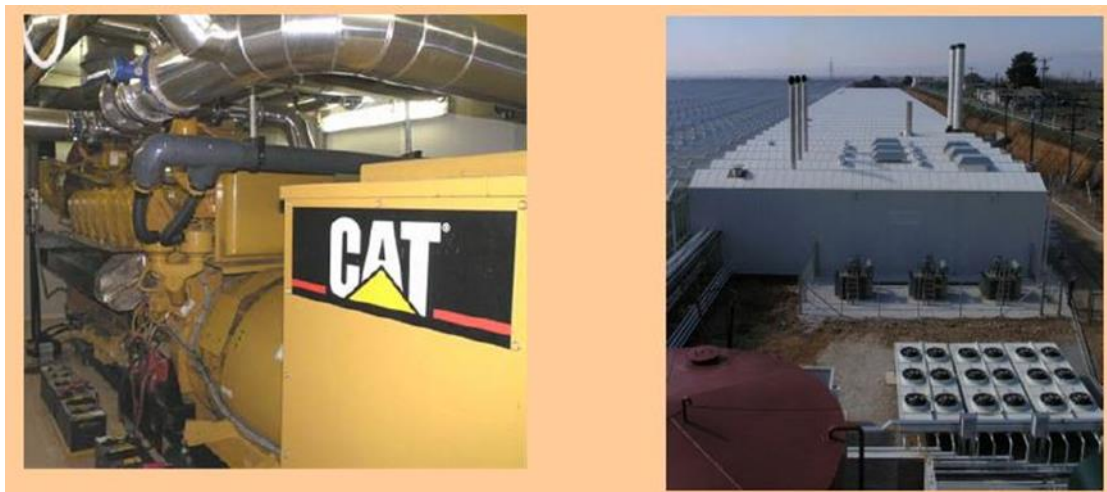
Εφαρμογή ΣΗΘΥΑ για μείωση κόστους παραγωγής σε μοντέρνο υαλόφρακτο θερμοκήπιο 100 στρεμμάτων με ταυτόχρονο καθαρισμό και αξιοποίηση των καυσαερίων.

1. 100.000 m² γυάλινου θερμοκηπίου ύψους 6,1 m



Εικόνα 10: Γυάλινο θερμοκήπιο, Δράμα

2. Σταθμός ΣΗΘΥΑ συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 4,8 MWe



Εικόνα 11: Σταθμός ΣΗΘΥΑ, θερμοκήπια Δράμας

3.2 Δευτερογενής τομέας

Σε συνάρτηση με την πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον κτηριακό τομέα, εξίσου σημαντικές είναι και οι πολιτικές εξοικονόμησης και βελτιστοποίησης στον βιομηχανικό τομέα. Η μετεξέλιξη των πρωτογενών πηγών ενέργειας στη βιομηχανία αναμένεται να είναι τα βιοκαύσιμα. Όμως, ο κίνδυνος αυτά να μην επαρκούν, είναι ισχυρός. Η υιοθέτηση της συμπαραγωγής από τη βιομηχανία μοιάζει να είναι αναγκαία. Σαν πρωτογενή καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν το φυσικό αέριο, η βιομάζα, το βιοαέριο, ακόμη και οι ΑΠΕ. Η συμπαραγωγή εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής ενέργειας και την καλύτερη εκμετάλλευσή της. Όση από την παραγόμενη θερμότητα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, μπορεί να διατίθεται για θέρμανση χώρων.

3.2.1 Αλουμίνιο της Ελλάδας

Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΕΣΣΗΘ

Διάταξη συμπαραγωγικού συνδυασμένου κύκλου:

- Καύση φυσικού αερίου και εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς 334 MW.
- Η λειτουργία της μονάδας μειώνει την ανάγκη καύσης μαζούτ που απαιτείται για την παραγωγή ατμού και βελτιώνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις.
- Με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενισχύεται το Εθνικό Σύστημα με 2.500.000 MWh ετησίως.



Εικόνα 12: Μονάδα ΣΗΘ



Εικόνα 13: Εγκατάσταση ΣΗΘ

3.3 Τριτογενής τομέας

Η μείωση της παραγωγής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής και η αύξηση από ΑΠΕ είναι καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση των τεχνικών προδιαγραφών των σύγχρονων κτηρίων. Οι κανονισμοί θερμομόνωσης αναμένεται να γίνουν πιο αυστηροί και η ζήτηση για θέρμανση να μειωθεί. Όμως τόσο η ζήτηση σε ζεστό νερό χρήσης και η ζήτηση σε ψύξη θα αυξηθούν. Επίσης, η μείωση της ζήτησης για θέρμανση ανά «χώρο» μπορεί να μειωθεί, όμως με την ανάπτυξη του οικιστικού τομέα συνολικά θα αυξηθεί. Η πολύ μικρή ΣΗΘ και τα συστήματα πακέτου θα βρουν ευρεία εφαρμογή. Είναι η καλύτερη εναλλακτική για αντικατάσταση των υπαρχόντων λεβήτων, ενώ η ηλεκτροπαραγωγή της ανακουφίζει το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα. Επιπροσθέτως, μπορεί να συνδυαστεί με αντλίες θερμότητας για περαιτέρω αξιοποίηση της ενέργειας που θα παράγει.

3.3.1 Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΕΣΣΗΘ

Διάταξη εμβολοφόρου αεριομηχανής με στόχο:

- Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς ίδια χρήση
- Την υποκατάσταση της πηγής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης (ηλεκτρική προς θερμική)
- Την ανάκτηση θερμότητας για θέρμανση χώρων (υποκατάσταση πετρελαίου)

3.3.2 Τηλεθέρμανση Σερρών

Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΕΣΣΗΘ

Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης και δίκτυο τηλεθέρμανσης Σερρών

- ❖ 4 εμβολοφόρες ΜΕΚ συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 16 ΜWε



Εικόνα 14: Εμβολοφόρες ΜΕΚ

- ❖ Γενική άποψη σταθμού, υποσταθμού θερμικού καταναλωτή και δικτύου τηλεθέρμανσης



Εικόνα 15: Κάτοψη εγκατάστασης ΣΗΘ, καταναλωτές και δίκτυο

3.3.3 AlfaWood, Γρεβενά

Πηγή: Επικοινωνία με τον Γενικό Διευθυντή της AlfaWood, κ. Κούμπουρα Απόστολο.

Συμπααραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με βαθμό απόδοσης 90%.

Καύση βιομάζας (υπολείμματα ξύλου, 12.000 τόνοι) σε λεβητοστάσιο.

Παραγωγή 7200 Gwh ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση στο δίκτυο και 25.200 Gwh ζεστού νερού στους 35 °C περίπου, απορριπτόμενη θερμότητα από τη ψύξη της γεννήτριας. Ψύξη με dry coolers κλειστό κύκλωμα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για θερμοκήπια ή σε υψηλότερη θερμοκρασία για τηλεθέρμανση.



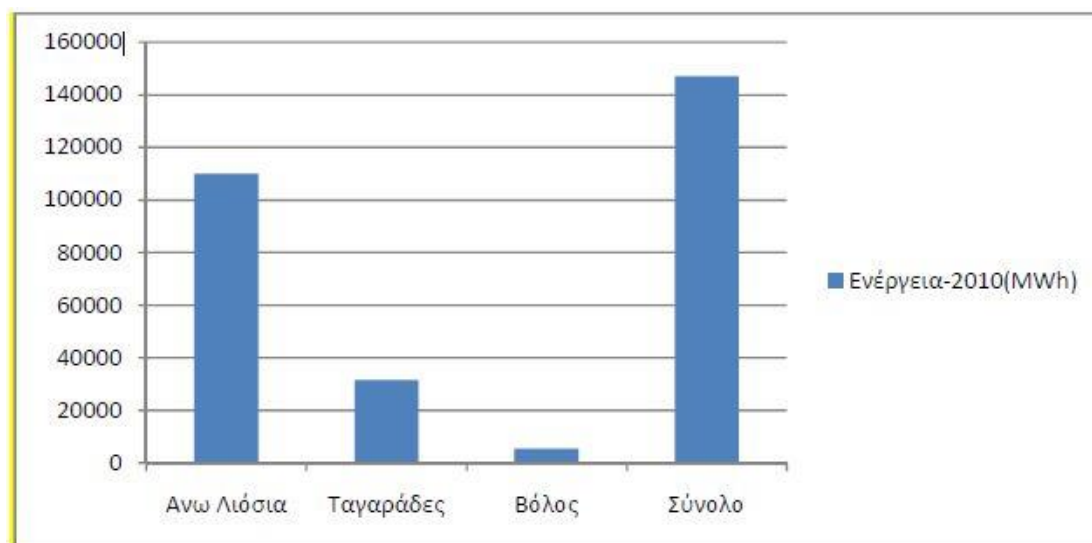
Εικόνα 16: Εγκαταστάσεις AlfaWood, Γρεβενά

3.4 Εγκαταστάσεις ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου σε χώρους ταφής αποβλήτων στην Ελλάδα

Η κύρια πρακτική διαχείρισης των ΑΣΑ στην Ελλάδα είναι η υγειονομική τους ταφή ή ακόμη και η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους σε χωματερές. Οι χώροι διάθεσης απορριμμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως μεγάλοι αναερόβιοι χωνευτήρες και αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πηγές παραγωγής μεθανίου. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να αξιοποιηθεί από σταθμούς ΣΗΘ για τη συμπααραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Το ηλεκτρικό ρεύμα πωλείται στη ΔΕΗ ή και σε ιδιώτες, ενώ η θερμότητα συνήθως εξαιτίας της μεγάλης απόστασης των μονάδων αυτών από οικισμούς χρησιμοποιείται για εσωτερική κατανάλωση της εγκατάστασης. Η περιεκτικότητα βιοαερίου σε μεθάνιο, στο οποίο είναι χημικά δεσμευμένη η ενέργεια, μπορεί να φτάσει σε ΧΥΤΑ έως και το 60%, ανάλογα με το στάδιο αποσύνθεσης των απορριμμάτων (Γεωργόπουλος, 2011).

Στην Ελλάδα λειτουργούν επί του παρόντος 3 εργοστάσια ανάκτησης βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας.

1. Στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων της Αττικής (φορέας λειτουργίας ΒΕΑΛ Α.Ε., σύμπραξη ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε. με Energy Development Ltd.)
2. Στον ΧΥΤΑ Βόλου της Θεσσαλίας (Βιοενέργεια ΕΠΕ)
3. Στον ΧΥΤΑ Ταγαράδων Θεσσαλονίκης της Κεντρικής Μακεδονίας (ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε. και ΣΟΤΑΜΘ)



Εικόνα 17: Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αέριο ΧΥΤΑ στην Ελλάδα (Καλογήρου et al.)

3.4.1 ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων

Η εγκατάσταση ΣΗΘ στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων τέθηκε σε λειτουργία το 2001 και αρχικά αποτελούνταν από 11 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη συνολικής ηλεκτρικής ισχύος 13,8 MWeI (11*1261 kW) και μέσης διαθεσιμότητας πάνω από 85%. Το αρχικό κόστος επένδυσης ανήλθε στα 19,4 εκατομμύρια ευρώ από τα οποία το 45% προήλθε από την επιδότηση του «Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας» του Β' Κ.Π.Σ. Η άντληση και η συλλογή του βιοαερίου γινόταν μέσω συστήματος 350 κατακόρυφων φρεατίων και οριζοντίου δικτύου σωληνώσεων μήκους 25.000 m περίπου. Στις αρχές του 2007 πραγματοποιήθηκε επέκταση της μονάδας με την εγκατάσταση 4 νέων ηλεκτροπαραγωγών ζευγών συνολικής ισχύος 9,7 MWeI (4*2340 kW) που αξιοποιούν το νέο τμήμα του ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων με τη βοήθεια δικτύου συλλογής βιοαερίου 150 φρεατίων. Έτσι, σήμερα η συνολική ισχύς της εγκατάστασης ανέρχεται στα 23,5 MWeI και μπορεί να διαθέσει περίπου 150.000 MWh/έτος στο δίκτυο της χώρας (Γεωργόπουλος, 2011).



Εικόνα 18: Μηχανές εσωτερικής καύσης στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων (www.helector.gr)

3.4.2 ΧΥΤΑ Βόλου

Η εγκατάσταση κατασκευάστηκε και άρχισε να λειτουργεί τον Ιούνιο του 2008 στον ΧΥΤΑ του ΣΥ.ΔΙ.Σ.Α. Νομού Μαγνησίας με χρηματοδότηση της «ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε.». Η εγκατάσταση είναι η τρίτη κατά σειρά και πιο νέα μονάδα ΣΗΘ με ανάκτηση βιοαερίου που κατασκευάστηκε σε ΧΥΤΑ στην Ελλάδα. Το εργοστάσιο αποτελείται από 2 ανεξάρτητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ηλεκτρικής ισχύος 625 kW_{el} ανεβάζοντας έτσι τη συνολική ισχύ της εγκατάστασης στα 1,25 MW_{el}. Το δίκτυο συλλογής βιοαερίου αποτελείται από 47 γεωτρήσεις συνολικού βάθους 450m. Το 2008 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας ανήλθε στις 2.500 MWh, ενώ το 2009 ανήλθε στις 3.700 MWh, καταγράφοντας μια αύξηση της παραγωγικότητας κατά 48% και το 2010 κλείνει με 5.500 MWh. (www.vioenergeia.gr)



Εικόνα 19: Αριστερά: Δίκτυο συλλογής και μεταφοράς του βιοαερίου, Δεξιά: Μονάδα ΣΗΘ στον ΧΥΤΑ Βόλου (www.vioenergeia.gr/gallery, 2010)



Εικόνα 20: Μηχανές εσωτερικής καύσης της μονάδας ΣΗΘ στον ΧΥΤΑ Βόλου (www.vioenergeia.gr/gallery, 2010)

3.4.3 ΧΥΤΑ Ταγαράδων

Στην περιοχή του πρώην ΧΥΤΑ Ταγαράδων του Νομού Θεσσαλονίκης, κατασκευάστηκε από την ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε., εγκατάσταση ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου συνολικής ισχύος 5 MWel. Η μονάδα αποτελείται από 4 ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη Deutz A.G. 620K και αντλεί βιοαέριο και από τις 3 φάσεις ανάπλασης του ΧΥΤΑ. Η κατασκευή της εγκατάστασης κόστισε περίπου 6.200.000 ευρώ από τα οποία το 40% ήταν επιδότηση στα πλαίσια του προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα». (Χατζηδημούλας, 2012).



Εικόνα 21: Εγκατάσταση ΣΗΘ στην περιοχή του ΧΥΤΑ Ταγαράδων



Εικόνα 22: Πηγάδια άντλησης βιοαερίου της Β' φάσης ανάπλασης του ΧΥΤΑ Ταγαράδων

3.4.4 Παράδοση νέου σταθμού ΣΗΘ - Βιοαερίου στη Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων Ηλείου (Μ.Ε.Α Ηλείου).

Ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2019 η εκκίνηση και δοκιμαστική λειτουργία μονάδας ΣΗΘΥΑ Βιοαερίου ισχύος 1,56 MWel, στη νέα υπερσύγχρονη Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων Ηπείρου.

Το έργο υλοποιήθηκε από την Περιφέρεια Ηπείρου και την «Αειφορική Ηπείρου», εταιρεία μέλος του «Ομίλου ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ» και πρόκειται για μια από τις πιο σύγχρονες μονάδες επεξεργασίας απορριμμάτων (Μ.Ε.Α) της Ευρώπης.

Αποτελεί την πρώτη μονάδα στην Ελλάδα που παράγει βιοαέριο από δημοτικά στερεά απόβλητα. Μέσα από τη διαδικασία επεξεργασίας των απορριμμάτων, παράγεται βιοαέριο το οποίο μέσω της μονάδας ΣΗΘΥΑ μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια η οποία διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού της χώρας.

Με συνολικό ύψος επένδυσης €52,6εκ., ετήσια δυναμικότητα διαχείρισης 105,000 τόνων απορριμμάτων, ανάκτησης 17,000 τόνων ανακυκλώσιμων υλικών και παραγωγής και 10,800 kWh ηλεκτρικής ενέργειας, το έργο αυτό έχει πολλαπλά οφέλη για την περιφέρεια καθώς απαλλάσσει οριστικά την περιφέρεια Ηπείρου από το ακανθώδες πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων και συμβάλει στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος, την μείωση των απορριμμάτων, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την παραγωγή Πράσινης Ενέργειας.

Το σύστημα ΣΗΘ αποτελείται από ένα συγκρότημα MWM TCG2020 V16 και είναι εγκατεστημένο μαζί με όλο το περιφερειακό εξοπλισμό του εντός MWM Container, και παραδίδεται έτοιμο προς λειτουργία. Είναι πλήρως αυτοματοποιημένο και προσαρμόζει τη λειτουργία του σε πραγματικό χρόνο σε συνάρτηση με την ποσότητα των απορριμμάτων που διαχειρίζεται η Μ.Ε.Α.

Παράγει ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 1,56 MWel, με βαθμό απόδοσης 42,2%, έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί ακόμα και με αέριο χαμηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο, ενώ χάρη στην ανάκτηση της παραγόμενης από την λειτουργία της ΜΕΚ θερμότητας, η οποία αξιοποιείται στις υπόλοιπες διαδικασίες της Μ.Ε.Α, ο συνολικός βαθμός απόδοσης αγγίζει το 84,2%.

Σχετικά με την Α.Ε.Ι.Μ.Α: Η Α.Ε.Ι.Μ.Α ΑΕΒΕ ιδρύθηκε το 1947 στον Πειραιά. Έχει κατακτήσει ηγετική θέση στην Ελλάδα στην προμήθεια, εγκατάσταση και συντήρηση Μονάδων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας ως αποκλειστικός αντιπρόσωπος της CATERPILLAR ENERGY SOLUTIONS GMBH (για προϊόντα MWM). Παράλληλα διαχειρίζεται την προμήθεια βιομηχανικών και ναυτικών πετρελαιοκινητήρων και πετρελαιοκίνητων Ηλεκτροπαραγωγών Ζευγών (H/Z) καθώς και το after sales αυτών, ως αντιπρόσωπος της DEUTZ AG στην Ελλάδα. Το 2006 ολοκληρώθηκε η πιο πρόσφατη συνεργασία της, με την MITSUBISHI TURBOCHARGER AND ENGINE EUROPE B.V. για ναυτικούς πετρελαιοκινητήρες και ναυτικά Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη. Η Α.Ε.Ι.Μ.Α ΑΕΒΕ, στηριζόμενη στα 70 χρόνια

εμπειρίας της, συνεχίζει τη δυναμική της πορεία ως μια ισχυρή, υγιής και αξιόπιστη εταιρία.

3.4.5 Προμελέτη εφαρμογής μονάδας αναερόβιας ζύμωσης

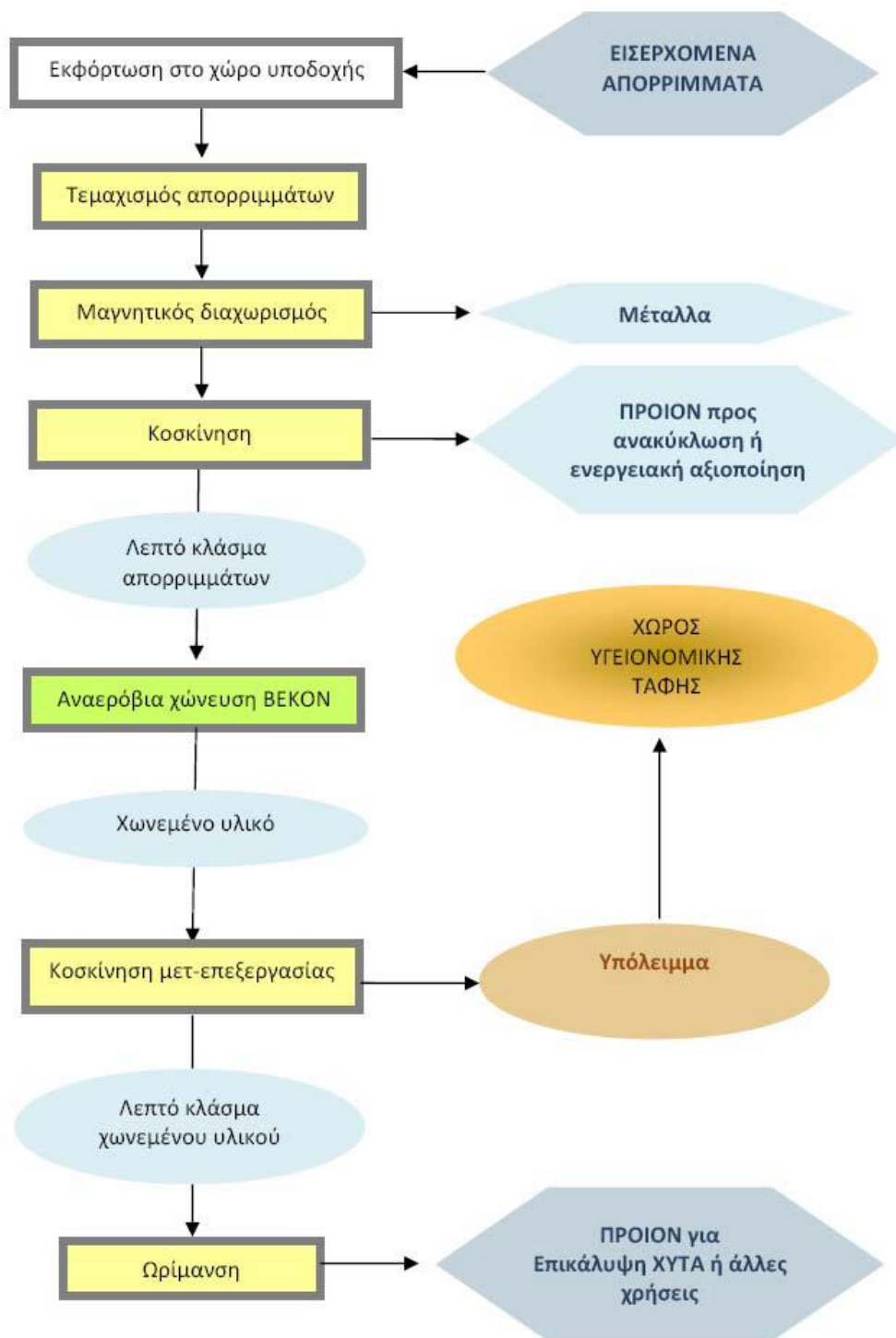
Εξετάσθηκε για την περίπτωση της Πιερίας η εφαρμογή της ξηρής αναερόβιας ζύμωσης. Η μονάδα περιλαμβάνει δύο τμήματα:

1. Πλήρη Μονάδα Μηχανικού Διαχωρισμού (ΜΜΔ) των ΑΣΑ σε ανακυκλώσιμα (χαρτί, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί) και ζυμώσιμα
2. Πλήρη μονάδα παραλαβής των ζυμώσιμων και εφαρμογής αναερόβιας ζύμωσης, παραγωγής βιοαερίου, καύσης του βιοαερίου σε μονάδα ΣΗΘ (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας) και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που πωλείται στο δίκτυο και θερμικής ενέργειας με μορφή θερμού νερού, που είναι διαθέσιμη για πώληση ή απόρριψη στο περιβάλλον.

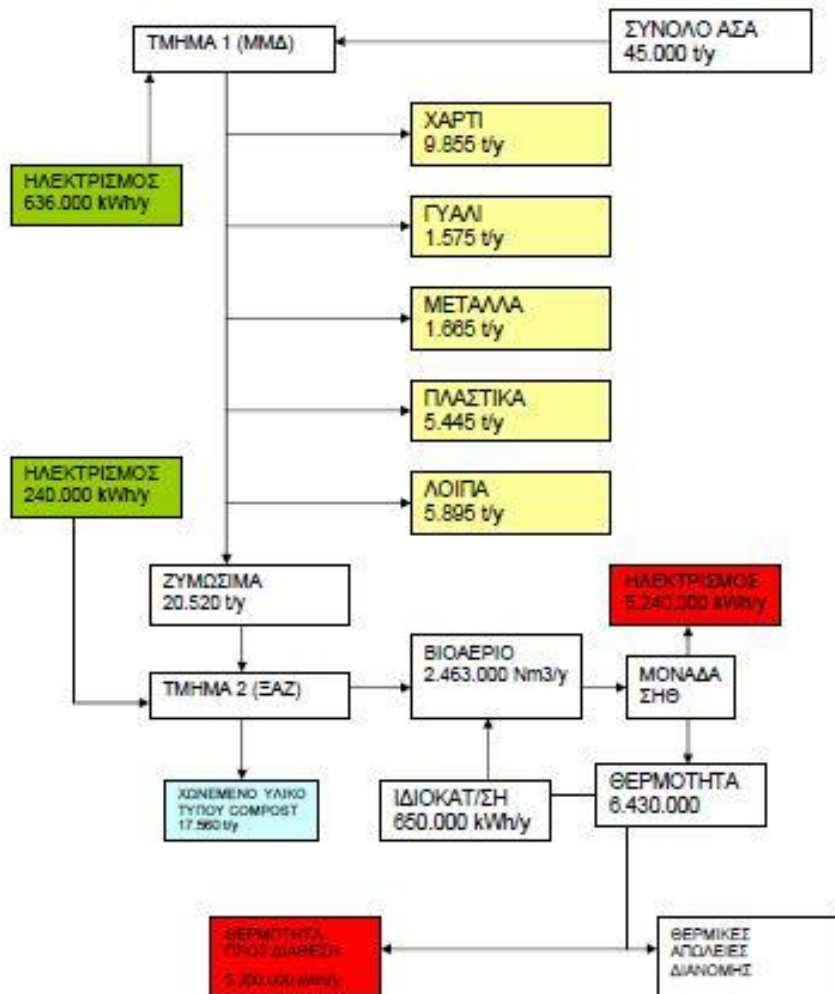
Η σχεδιαστική ποσότητα των ΑΣΑ Πιερίας ελήφθη για το 2009 υπολογιστικά από την μέση ετήσια αύξηση, με βάση το έτος 2001, σε 45.000 t/y. Η ποσότητα αυτή εισέρχεται στην ΜΜΔ και έχουμε έξοδο 20.520 t/y ζυμώσιμα που διαχωρίζονται και εισέρχονται για ξηρή αναερόβια ζύμωση (ΞΑΖ). Το τμήμα 2 περιλαμβάνει για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου 2 (δύο) μονάδες ΣΗΘ με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Παραγόμενη Ηλεκτρική ισχύς ανά μονάδα: 330 kW_{el}
- Συμπαραγόμενη Θερμική ισχύς ανά μονάδα: 405 kW_{th}
- Θερμοκρασία θερμού νερού μεταφοράς (σε πλήρες φορτίο): 70/90 °C
- Κατανάλωση βιοαερίου / μονάδα (σε πλήρες φορτίο): 852 kW
- Περιεκτικότητα αερίων (related to 5% O₂) NO_x 500 mg/Nm³, CO 1,000 mg/Nm³ (ανοχή 5-8 %)
- Μείωση όγκου ΑΣΑ με την προϋπόθεση ανακύκλωσης: μέχρι 60%

Όλο το παραγόμενο βιοαέριο καταναλώνεται στις 2 μονάδες ΣΗΘ, χωρίς απαίτηση συμπληρωματικού καυσίμου. Η συμπαραγόμενη θερμότητα απορρίπτεται στο περιβάλλον με ψήκτρες, δεδομένου ότι η χρήση της απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος για κατασκευή κατάλληλου δικτύου τηλεθέρμανσης από την θέση της ΜΕΑ των ΑΣΑ., μέχρι τους δυνητικούς καταναλωτές θερμότητας.



Εικόνα 23: Διάγραμμα ροής εφαρμογής ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία



Εικόνα 24: Ισοζύγιο μάζας-ενέργειας μονάδος ξηρής αναερόβιας ζύμωσης στην Πιερία

Στην εικόνα φαίνεται το ισοζύγιο μάζας και ενέργειας της Μονάδας Ενεργειακής Αξιοποίησης (ΜΕΑ) των ΑΣΑ με ξηρή αναερόβια ζύμωση, σύμφωνα με τον προμηθευτή.

Το κόστος αποσυναρμολόγησης και διάθεσης της μονάδας ξηρής αναερόβιας ζύμωσης μετά την 20ετία εκτιμάται σε 80.000 € συμπεριλαμβανομένων εσόδων – εξόδων. Από τον πίνακα 31 το «απόθεμα σε μετρητά» τον 20ο χρόνο είναι 1.337.000 € άρα η επένδυση καλύπτει το κόστος αυτό.

Από την σύγκριση εφαρμογής των δύο τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ (ξηρή αναερόβια ζύμωση και μονάδα πυρόλυσης) προκύπτουν:

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- Η μονάδα πυρόλυσης ενδείκνυται όχι τόσο για ΑΣΑ όσο για άλλου τύπου οργανικά και επικίνδυνα απόβλητα που απαιτούν παράλληλα

θερμική επεξεργασία (νοσοκομειακά, ελαστικά κλπ) και όπου δεν είναι δυνατή ή βιώσιμη η ανακύκλωση. Παράλληλα πρέπει να αξιοποιηθεί και ποσοστό 70-80% της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας (68.000 MWh) για βελτίωση της βιωσιμότητας της.

- Η ξηρή αναερόβια ζύμωση είναι προτιμότερη για τα ΑΣΑ και ειδικά για την περιοχή της Κ. Μακεδονίας. Η αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμότητας έχει δευτερεύουσα σημασία οικονομικά, λόγω μικρότερης ποσότητας από τη μονάδα πυρόλυσης (5.200 MWh) και γιατί απαιτεί επιπλέον πάγιο κόστος και δημιουργία νέας αγοράς.

Δυνατότητες σύνδεσης μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης σε υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας.

Εφόσον η μονάδα εξασφαλίζει σταθερό παραγόμενο ηλεκτρικό φορτίο βάσης, έχει προτεραιότητα έγχυσης της ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ. (Ν.3468/2006). Οι λεπτομέρειες προσδιορίζονται με τους όρους σύνδεσης της ΔΕΗ.

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει στην υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της ικανότητας παραγωγής βιοκαυσίμων (βιοντίζελ, μεθανόλη, υδρογόνο).

Παρά τους περιορισμούς στη χρήση της, όπως η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, η ινώδης δομή (που συνεπάγεται δυσκολία στο χειρισμό), η συχνά υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και πτητικές οργανικές ενώσεις και η υγροσκοπική της φύση, η χρησιμότητα της βιομάζας εξαπλώνεται με ταχείς ρυθμούς στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Η καύση βιομάζας είναι πλέον μία τεχνολογία που εφαρμόζεται σε ποικίλες μονάδες παγκοσμίως, με περιορισμένη ενεργειακή αποδοτικότητα και υψηλά λειτουργικά και επενδυτικά κόστη, παράγοντες που οδηγούν σε χαμηλά κέρδη.

Το κύριο πλεονέκτημα, ωστόσο, της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η προσαρμοστικότητά της σε διαφορετικά είδη καυσίμου (αγροτικά, αστικά και βιομηχανικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες), σε μονάδες των οποίων η δυναμικότητα τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 2-50 MW_{el}.

Με βάση τη δυναμικότητα, τα συστήματα καύσης βιομάζας κατηγοριοποιούνται γενικά σε συστήματα:

1. μικρής κλίμακας (< 200 kW_{th}),
2. μεσαίας κλίμακας (200 kW_{th} - 20 MW_{th}),
3. μεγάλης κλίμακας (> 20 MW_{th})
4. σύγκαισης με άνθρακα σε συμβατικούς θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (μερικοί μπορούν να φθάσουν εκατοντάδες MW_{th} ή ακόμη και 1000 MW_{th}) [30].

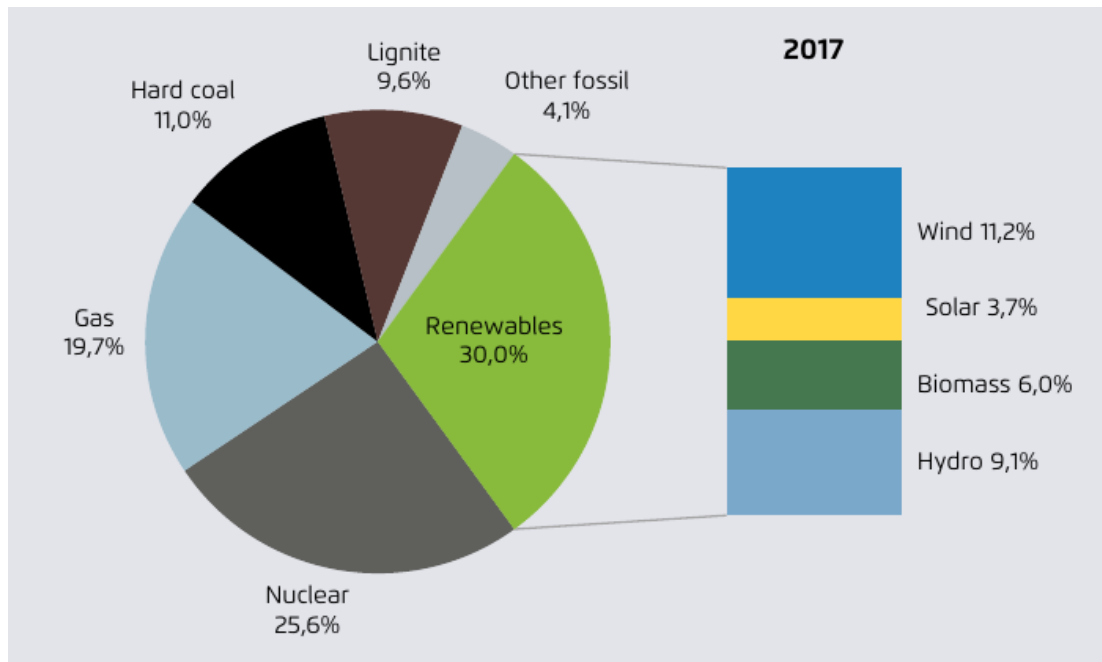
Η απόδοση των θερμικών σταθμών καύσης βιομάζας τυπικά κυμαίνεται μεταξύ 20-40 %. Μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται είτε σε μεγαλύτερες μονάδες (πάνω

από 100 MW_{el}) ή με τη σύγκαιση βιομάζας σε ανθρακικούς θερμικούς σταθμούς. Η σύγκαιση βιομάζας σε ανθρακικούς θερμικούς σταθμούς προσέλκυσε αρκετό ενδιαφέρον ακριβώς επειδή εκμεταλλεύεται τους υψηλούς βαθμούς απόδοσης αυτών των μονάδων. Οι μεγαλύτερες μονάδες αμιγούς καύσης βιομάζας σαφώς επωφελούνται από τους μεγαλύτερους ηλεκτρικούς βαθμούς απόδοσης που επιτυγχάνουν (τυπικά από 22-23% κατ' ελάχιστον), αλλά παράλληλα αντιμετωπίζουν πολύ μεγαλύτερες προκλήσεις στον ανεφοδιασμό τους με καύσιμη ύλη, καθώς η βιομάζα ως πρώτη ύλη συχνά εμφανίζει υψηλά μεταφορικά κόστη, ελλείψεις και εποχικότητα, με αποτέλεσμα η βιομάζα ως καύσιμο να προτιμάται σε μονάδες μικρού έως μεσαίου μεγέθους, και σε αναλογίες έως 20% ως προς το βάρος του συνολικού καυσίμου.

Η ηλεκτροπαραγωγή, ωστόσο, συμφέρει περισσότερο σε μονάδες μεγάλης κλίμακας λόγω των υψηλότερων βαθμών απόδοσης που αυτές επιτυγχάνουν, αλλά και λόγω της μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας των αντιρρυπαντικών συστημάτων που αυτές διαθέτουν. Γενικά, ο συνδυασμός υψηλών αποδόσεων με χαμηλές εκπομπές ρύπων είναι αρκετά πιο δύσκολος στην περίπτωση της βιομάζας απ' ό, τι στα ορυκτά καύσιμα. Το κόστος είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας στην εγκατάσταση αντιρρυπαντικών συστημάτων, και ως εκ τούτου οι μεγάλες μονάδες προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στην εγκατάσταση δαπανηρών διατάξεων, καθώς εκμεταλλεύονται τις οικονομίες κλίμακας.

Ένας τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων με την καύση βιομάζας είναι η συμπύκνωση του καυσίμου με διάφορες κατεργασίες, συνήθως με πελλετοποίηση. Μία πρόσφατα αναπτυχθείσα εναλλακτική για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι ο συνδυασμός μονάδας συμπαραγωγής βιομάζας με εγκατάσταση συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας.

Σύμφωνα με στοιχεία του World Bioenergy Association (WBA), η χρήση βιοενέργειας ως τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 1,23 EJ - μία καθαρή αύξηση κατά 0,05% σε σύγκριση με το 2015. Το ποσοστό βιοενέργειας επί της τελικής παγκόσμιας κατανάλωσης διαμορφώθηκε στο 13,9%. Η βιοενέργεια είναι η τρίτη σε παραγόμενη ισχύ ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, και η πρώτη στους τομείς της άμεσης θέρμανσης, της παραγόμενης θερμότητας και των μεταφορών. Πιο αναλυτικά το 2013 παράχθηκαν 0,9 EJ παραγόμενης θερμότητας παγκοσμίως. Το 77% της παραγωγής πραγματοποιήθηκε στην Ευρώπη. Η Σουηδία είναι η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα παραγόμενης θερμότητας από βιομάζα, ενώ η Γερμανία είναι η μεγαλύτερη παραγωγός ηλεκτρισμού από βιομάζα. Το έτος 2017, η συνολική καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανήλθε στις 3.244 TWh, το 30% της οποίας προήλθε από ΑΠΕ, εκ του οποίου το 6% παράχθηκε από μονάδες βιομάζας. Οι συνολικές εκπομπές CO₂ του τομέα ηλεκτροπαραγωγής για το 2017 ανήλθαν στα 1019 εκατομμύρια τόνους. Τέλος, εκ των 8,1 εκατομμυρίων θέσεων εργασίας που δημιουργήθηκαν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παγκοσμίως, τα 3,7 εκατομμύρια δημιουργήθηκαν στον τομέα της βιοενέργειας.



Εικόνα 25: Συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε. το 2017

Συμπαράγωγή και τηλεθέρμανση με καύση ξύλου

Το ξύλο είναι ίσως η πρώτη πηγή βιομάζας που αξιοποιήθηκε για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού σε βιομηχανικές μονάδες, και ακόμη και σήμερα τα κατάλοιπα της επεξεργασίας του καίγονται για το σκοπό αυτό (π.χ. σε βιομηχανίες πολτού και χάρτου, ξυλουργεία). Σε ολόκληρη τη Σκανδιναβία, αλλά και στον Καναδά χρησιμοποιούνται ευρέως εδώ και δεκαετίες τσιπς και πελλέτες ξύλου σε μονάδες τηλεθέρμανσης, αεριοποίησης και συμπαράγωγής, μάλιστα έχει εκτιμηθεί ότι η τηλεθέρμανση με βιομάζα είναι πιο φτηνή από την τηλεθέρμανση με φυσικό αέριο.

Σε μεγάλης κλίμακας θερμικούς σταθμούς, λόγω μεγάλων απαιτήσεων σε καύσιμο προτιμάται η καύση (ή σύγκαιση) επεξεργασμένου καυσίμου, συνήθως με τη μέθοδο της φρύξης, καθώς αυτή είναι η μόνη κατεργασία που βρίσκεται σε τροχιά εισαγωγής στο διεθνές εμπόριο στερεών βιοκαυσίμων.

Συμπαράγωγή και τηλεθέρμανση με καύση άχυρου σιτηρών

Ενώ το ξύλο χρησιμοποιείται εξίσου σε μικρές-οικιακές και μεγάλες μονάδες, η ποώδης βιομάζα αξιοποιείται αποκλειστικά σε μεγάλου μεγέθους μονάδες, αφού μόνο σε αυτές υπάρχει αποτελεσματικό σύστημα καθαρισμού καυσαερίων για τη μείωση των τοξικών ρύπων, όπως βαρέα μέταλλα και ενώσεις χλωρίου.

Στη Δανία βρίσκονται σε λειτουργία μονάδες συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με άχυρο σιτηρών ως καύσιμο από το 1996. Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων συμπαράγωγής με καύση άχυρου είναι υψηλά. Το άχυρο εμφανίζει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άζωτο, θείο, κάλιο και χλώριο από το ξύλο, εκπέμποντας μεγαλύτερες ποσότητες NOX, στάχτης και σωματιδίων, αλλά και

επιταχύνοντας τους μηχανισμούς διάβρωσης και επικάλυψης σκωρίας. Για το λόγο αυτό, οι μονάδες ΣΗΘ με καύση άχυρων κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σχετικά εύκολη η αντικατάσταση των διαβρωμένων σωλήνων στην έξοδο του λέβητα. Η αντικατάσταση αυτή είναι κοστοβόρα και απαιτεί να μείνει η μονάδα κλειστή κατά τη διάρκειά της. Οι εξελίξεις, ωστόσο, στους τομείς της τεχνολογίας των υλικών και του σχεδιασμού του λέβητα προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση, μεγαλύτερες θερμοκρασίες και πιέσεις και σαφώς μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης.

Σε έναν σταθμό συμπαραγωγής με καύση βιοαερίου πραγματοποιούνται οι εξής διακριτές, κύριες δραστηριότητες:

1. Παραγωγή του βιοαερίου μέσω επεξεργασίας (αναερόβιας χώνευσης) οργανικών αποβλήτων και προϊόντων ενεργειακών καλλιεργειών
2. Ηλεκτροπαραγωγή με καύση του βιοαερίου

Η λειτουργία ενός σταθμού ΣΗΘ βιοαερίου περιλαμβάνει συνοπτικά τα εξής στάδια:

- Μεταφορά και αποθήκευση των πρώτων υλών (οργανικά απόβλητα και προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών)
- Προεπεξεργασία (προϋδρόλυση, εξυγίανση) των οργανικών αποβλήτων
- Ανάμειξη των αποβλήτων με τα προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών
- Αναερόβια χώνευση του μείγματος και παραγωγή βιοαερίου
- Επεξεργασία/καθαρισμός του βιοαερίου (αποθείωση)
- Καύση του βιοαερίου σε ΜΕΚ και συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- Επεξεργασίας και διαχείριση χωνευμένης ιλύος

4 Μέθοδοι και Υλικά

4.1 Πρώτες ύλες και προετοιμασία δειγμάτων

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

1. Φύλλα λεύκης από κλαδέματα του Δήμου Καρδίτσας
2. Κλαδέματα λεύκης από κλαδέματα του Δήμου Καρδίτσας
3. Εφημερίδα από τοπική εφημερίδα της Καρδίτσας
4. Χαρτόκουτο
5. Παλέτα EUR/GR/DB
6. Καφάσι EUR/GR/DB
7. Άχυρο



Εικόνα 26: Παλέτα (αριστερά) και καφάσι (δεξιά).



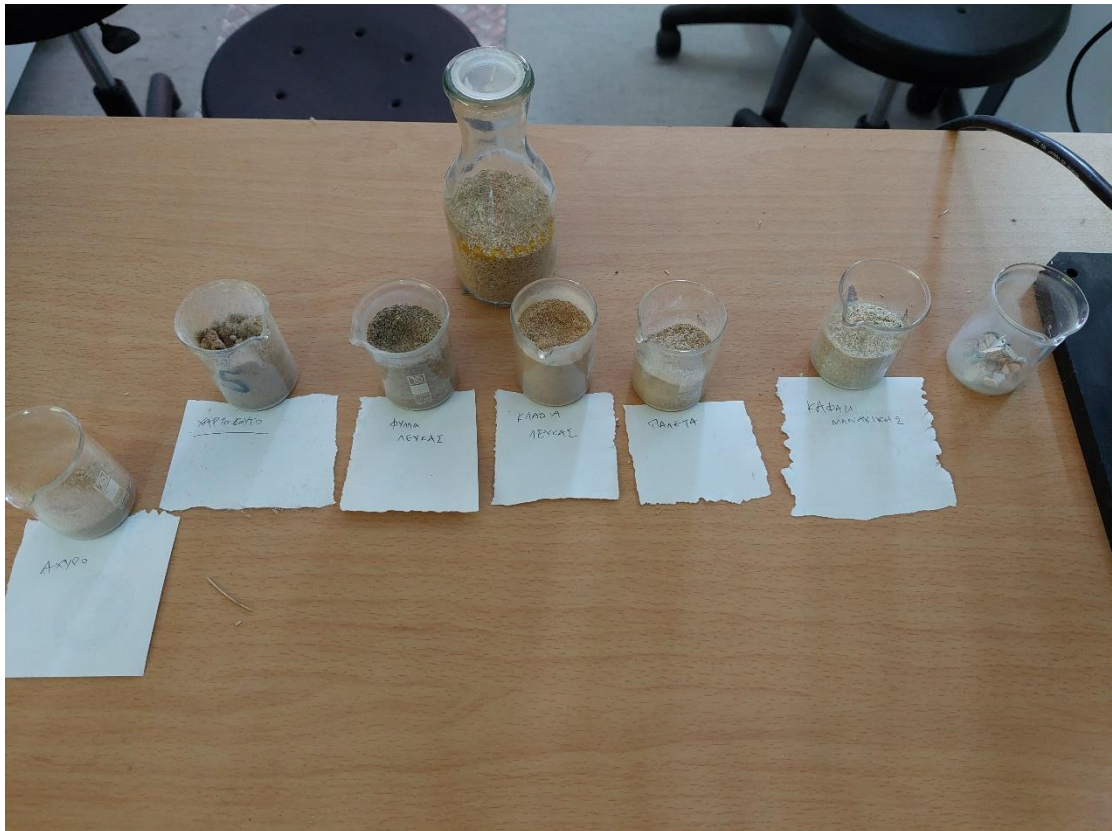
Εικόνα 27: Φύλλα λεύκης (αριστερά) και εφημερίδα (δεξιά).



Εικόνα 28: Χαρτόκουτο (αριστερά) και άχυρο (δεξιά).

Στην συνέχεια, όλα τα δείγματα κονιοροποιήθηκαν σε μύλο, εκτός από την εφημερίδα που λόγω φύσης του υλικού έπρεπε να περάσει από επεξεργασία με το χέρι.





Εικόνα 29: Τα κονιορτοποιημένα δείγματα.

4.2 Υπολογισμός Θερμογόνου δύναμης

Ο υπολογισμός της θερμογόνου δύναμης έγινε με τη μέθοδο της βόμβας. Χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα SUNDY STC715.



Εικόνα 30: Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε.

Κάθε κονιορτοποιημένο υλικό τοποθετήθηκε ανά περίπου 1g μέσα στη θερμοβομβίδα, με 10 ml απεσταγμένο νερό.



Εικόνα 31: Τα δείγματα πριν τοποθετηθούν στη βομβίδα.



Εικόνα 32: Πλήρωση της βομβίδας με 10ml απεσταγμένο νερό.

Αφού έγινε η πλήρωση της βομβίδας με το απεσταγμένο νερό, τα δείγματα τοποθετήθηκαν εντός αυτής.



Εικόνα 33: Το δείγμα πριν την τοποθέτηση εντός της βομβίδας.

Για να υπάρξει ανάφλεξη χρησιμοποιήθηκε ειδικό σύρμα υψηλής αγωγιμότητας που έκανε επαφή με το δείγμα.



Εικόνα 34: Το σύρμα που εισέρχεται στο δείγμα (δεξιά) και η τοποθέτηση του δείγματος εντός της βομβίδας (αριστερά).

Αφού η βομβίδα σφραγίστηκε, πληρώθηκε με οξυγόνο υπό πίεση 3atm.



Εικόνα 35: Πλήρωση με οξυγόνο.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκε εντός του μηχανήματος SUNDY.



Εικόνα 36: Τοποθέτηση εντός μηχανήματος.

Μετά από 15 περίπου λεπτά είχαμε την εξαγωγή αποτελεσμάτων για το κάθε δείγμα. Αξίζει να σημειωθεί πως πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις για το κάθε δείγμα και αυτές θα παρατεθούν στη συνέχεια. Με το πέρας της διαδικασίας, η βομβίδα έπρεπε να αφαιρεθεί από το μηχάνημα και να αποσυμπιεστεί.



Εικόνα 37: Η βομβίδα με την ειδική κεφαλή αποσυμπίεσης.

4.3 Αρχή λειτουργίας Θερμιδομέτρησης με τη μέθοδο της Οξυγονοβόμβας

Η Θερμογόνος δύναμη που παράγεται εντός της θερμιδοβόμβας συγκρίνεται με τη δύναμη που παράχθηκε κατά τη διάρκεια καύσης από παρόμοιας ποσότητας βενζοϊκό οξύ. Οι μετρήσεις παίρνονται από την καύση των δειγμάτων υπό πίεση 3 atm σε απομονωμένο περιβάλλον, εντός ενός μεταλλικού δοχείου, αλλιώς θερμιδοβόμβα.

Η διάταξη αποτελείται από 4 βασικά στοιχεία:

1. Ένα μεταλλικό παχύ δοχείο (βόμβα) μέσα στο οποίο θα αναφλεγεί το δείγμα
2. Ένα δεύτερο, μεγαλύτερο δοχείο-περιέκτης-που θα περιέχει τη βόμβα, γεμάτο με πεπερασμένη ποσότητα νερού
3. Ένα μονωτικό υλικό που θα προστατεύσει τον περιέκτη κατά τη διάρκεια της ανάφλεξης του δείγματος, από τις περιβαλλοντικές συνθήκες
4. Ένα θερμόμετρο και άλλοι αισθητήρες που θα αναγνώσουν τα αποτελέσματα των διεξαγόμενων πειραμάτων.

4.4 Αποτελέσματα

Προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας: Η σχέση μεταξύ της μάζας του νερού που περιέχεται στη βιομάζα, και της απόλυτης ξηρής μάζας της βιομάζας παριστάνει την ποσοστιαία περιεχόμενη υγρασία της βιομάζας.

Για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια από τις παρακάτω τρεις μεθόδους υπολογισμού:

- 1) Μέθοδος ξήρανσης και ζύγισης.
- 2) Μέθοδος απόσταξης.
- 3) Μέθοδος ηλεκτρικών υγρόμετρων.

Αφού προσδιορίστηκε η αρχική μάζα των δειγμάτων με ζύγιση σε ζυγό ακριβείας 0.0001 gr. επιλέξαμε την πρώτη και πιο κλασική μέθοδο της ξήρανσης και ζύγισης. Η ξήρανση έγινε σε κλίβανο memmert και είχε διάρκεια 24 ωρών.



Εικόνα 38: Κλίβανος memmert.

Έχοντας υπολογίσει την αρχική μάζα του δείγματος και την ξηρή μάζα του, μπορούμε χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση να υπολογίζουμε την περιεχόμενη υγρασία η οποία εκφράζεται (%).

$$Y = \frac{m_u - m_o}{m_o} * 100$$

όπου, Y : περιεχόμενη υγρασία βιομάζας,

m_u : η μάζα του δείγματος πριν από την ξήρανση,

m_o : η μάζα απόλυτα ξηρού δείγματος ($Y=0\%$)

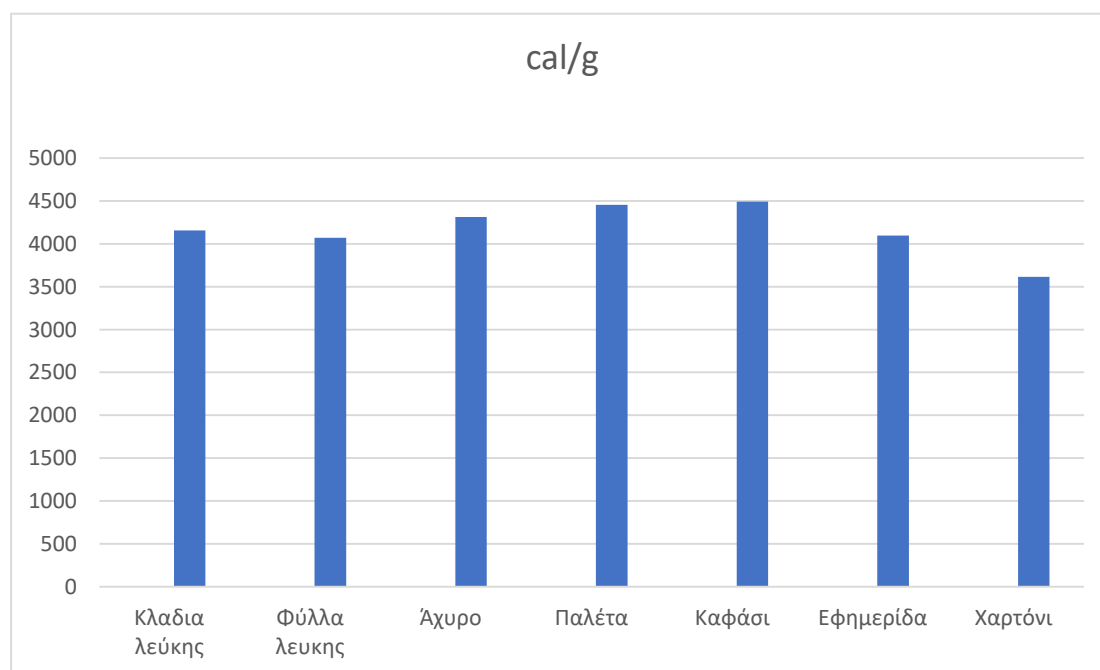
Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η περιεχόμενη υγρασίας των δειγμάτων καθώς και οι μετρήσεις της θερμιδικής αξίας.

| A/A | Είδος | Υγρασία % | Θερμιδική αξία cal/gr μέτρηση 1 | Θερμιδική αξία cal/gr μέτρηση 2 |
|-----|---------------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Κλαδιά λεύκας | 4.58 | 4187 | 4157 |

| | | | | |
|---|--------------|----------------------|------|------|
| 2 | Φύλλα λεύκας | 6.21 | 3960 | 4069 |
| 3 | Άχυρο | 8.82 | 4285 | 4312 |
| 4 | Παλέτα | 5.42 | 4442 | 4455 |
| 5 | Καφάσι | 4.51 | 4474 | 4493 |
| 6 | Εφημερίδα | Δεν ήταν εκτεθειμένα | 4112 | 4096 |
| 7 | Χαρτόνι | Δεν ήταν εκτεθειμένα | 3775 | 3615 |

Μετά την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων προκύπτει:

| A/A | Είδος | Θερμιδική αξία cal/gr |
|-----|---------------|-----------------------|
| 1 | Κλαδιά λεύκης | 4172 |
| 2 | Φύλλα λεύκης | 4014.5 |
| 3 | Άχυρο | 4298.5 |
| 4 | Παλέτα | 4448.5 |
| 5 | Καφάσι | 4483.5 |
| 6 | Εφημερίδα | 4104 |
| 7 | Χαρτόνι | 3696 |



Όπως παρατηρούμε, την μέγιστη θερμιδική αξία cal/gr έχει το καφάσι με δεύτερη την παλέτα και τρίτο στη σειρά το άχυρο.

4.5 Προτάσεις για συμπληρωματική μελέτη

Θα πρέπει να ληφθούν περισσότερα δείγματα από καφάσια και παλέτες και να μελετηθούν σε βάθος, έτσι ώστε να καταγραφεί με ακρίβεια:

1. η επεξεργασία που έχουν υποστεί,
2. το είδος του ξύλου που χρησιμοποιήθηκε,
3. Οι χημικές ουσίες που ενδεχομένως περιέχουν.

Επίσης, θα πρέπει να μελετηθεί ο παράγοντας της επαναχρησιμοποίησης από τους χρήστες, εγγράφως από μεγάλες εταιρίες και με τη μέθοδο της συνέντευξης από επαγγελματίες της γεωργίας, πριν αυτά υποστούν την απαραίτητη επεξεργασία για την καύση τους.

5 Συζήτηση

Παρόλο που η ΣΗΘ είναι αποδεδειγμένα η βασική συνιστώσα αειφορίας, συνεισφέροντας στη μείωση κατανάλωσης καυσίμων, στη μείωση εκπομπών CO₂ και στην ισόρροπη κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, η διείσδυσή της στις τοπικές ενεργειακές αγορές είναι δυσχερής, λόγω του ότι υπάρχουν διοικητικά και οικονομικά εμπόδια.

Διοικητικά εμπόδια

Δαιδαλώδεις διαδικασίες αδειοδότησης και σύμβασης πώλησης ηλεκτρισμού

- Η ΣΗΘ διέπεται αδειοδοτικά από τις διαδικασίες που αφορούν στις ΑΠΕ, δεν υπάρχει ενιαίο πλαίσιο γι' αυτήν, καθώς ακόμη και η διανομή θερμότητας υπάγεται στις διατάξεις ξεχωριστού Νόμου (Ν. 3175/2003)
- Έλλειψη θεσμοθετημένων χρηματοδοτικών εργαλείων, όπως η Χρηματοδότηση Από Τρίτους (ΧΑΤ), τα οποία θα διευκολύνουν σημαντικά την εξάπλωση της ΣΗΘ.
- Οι χειριστές των θεμάτων στις υπηρεσίες είναι ελάχιστα ενήμεροι για τις σχετικές τεχνολογίες.

Βεβαίως, τα διοικητικά εμπόδια μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Το 2009 έγινε νόμος του κράτους (Ν. 3734/2009) η Κοινοτική Οδηγία για την προώθηση της ΣΗΘ.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα άρθρα 10 και 11.

Άρθρο 10:

Θεσμοθετείται η «Τυποποιημένη μονάδα ΣΗΘ», η οποία με απλές πλέον διαδικασίες μπορεί να εγκαθίσταται στον τριτογενή τομέα.

Άρθρο 11:

Θεσμοθετείται διαδικασία εποπτευόμενη από το Υπουργείο Ανάπτυξης για την πορεία διείσδυσης της ΣΗΘ, τις δυσχέρειες που αντιμετωπίζει, όπως και τον προσδιορισμό του δυναμικού της ΣΗΘ στην Ελλάδα.

Η θεσμοθετούμενη διαδικασία είναι απαραίτητα και ελπιδοφόρα, ζητούμενο όμως συνεχίζει να παραμένει η ταχύτητα και ποιότητας εφαρμογής της.

Οικονομικά εμπόδια

Σε σχέση με τις ΑΠΕ υπάρχει τιμολογιακή στρέβλωση για την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΣΗΘ, εφόσον δεν προέρχεται από βιομάζα, είναι κοστολογικά συνδεδεμένη με το κόστος καυσίμου, συνεπώς το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων ΣΗΘ βαθμιαία αποβαίνει απαγορευτικό για τη λειτουργία τους. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος μη διείσδυσης της ΣΗΘ στην Ελλάδα.

6 Συμπεράσματα

Εφόσον η τιμή πώλησης δεν συνδέεται με το κόστος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων ΣΗΘ βαθμιαία αποβαίνει απαγορευτικό για τη λειτουργία τους.



Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΕΣΣΗΘ

Η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου που επιτυγχάνεται με τη συμπαραγωγή συντελεί στη μείωση των εκπεμπόμενων αερίων. Επίσης, στις χώρες που έχει εφαρμοστεί η ΣΗΘ, η μείωση των τιμών ήταν της τάξης του 20-30% και η αποπληρωμή της επένδυσης έγινε σε 2-3 χρόνια.

Οι βασικές τεχνικές της ΣΗΘ είναι διάφοροι τύποι ΜΕΚ. Ενώ γενικότερα στη μηχανολογία εξετάζεται ο βαθμός απόδοσης μιας ΜΕΚ όταν επεξεργαζόμαστε δεδομένα που αφορούν στη ΣΗΘ θα πρέπει να δίνουμε ιδιαίτερη βαρύτητα στον ετήσιο ολικό βαθμό απόδοσης. Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του χρήστη καθώς υπάρχει πληθώρα συστημάτων ανάλογα με τον τύπο της τεχνολογίας, το μέγεθος της εγκατάστασης καθώς και η διαμόρφωση αυτής.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να συνοψίσουμε τα πλεονεκτήματα της ΣΗΘ στο ότι έχουν:

- αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της ενέργειας
- παρουσιάζουν σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων
- παρέχουν εξοικονόμηση πρωτογενούς καυσίμου, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα

ενώ ταυτόχρονα:

- έχουμε, συνήθως, χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προς το περιβάλλον
- μείωση όχλησης συγκεκριμένων και επιβαρυνμένων περιοχών και
- αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων πόρων και ιδιαίτερα της, κατά τόπους, διαθέσιμης βιομάζας.

Ως πεδία εφαρμογής της ΣΗΘ θα μπορούσαμε να καταδείξουμε τα:

- Νοσοκομεία
- Ξενοδοχεία
- Εμπορικά Κέντρα
- Κτήρια διοίκησης
- Κολυμβητήρια,

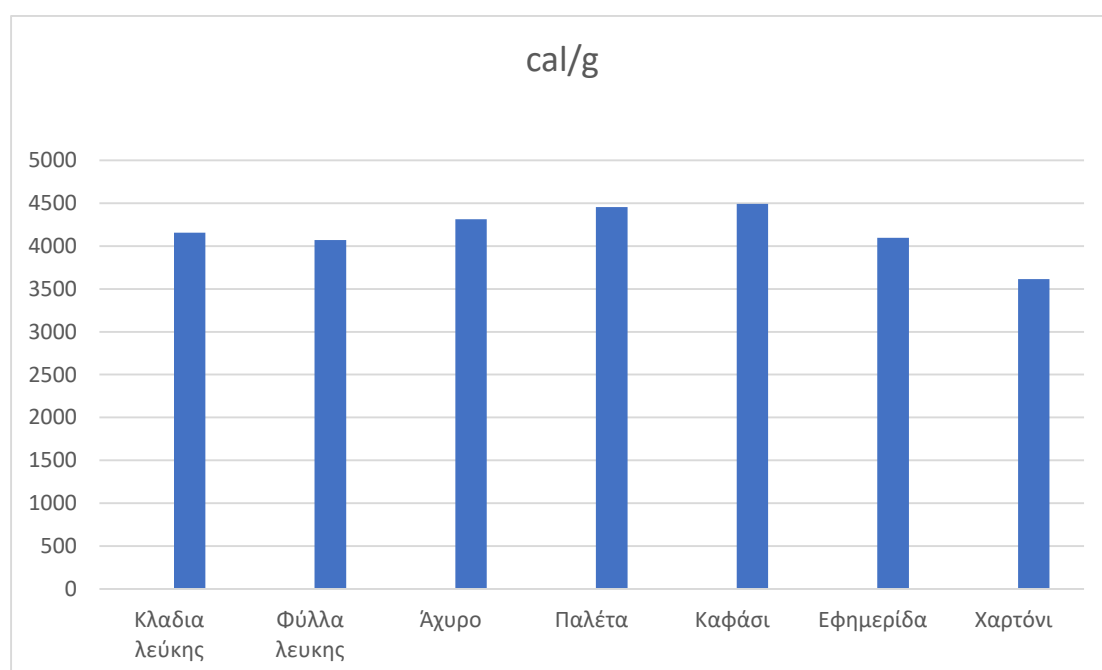
όπως επίσης και τις Βιομηχανίες:

- Τροφίμων και ποτών
- Ζυθοποιία
- Χάλυβα
- Φαρμάκων

Στην Ελλάδα παρουσιάζονται κάποια εμπόδια στην διάδοση της τεχνολογίας ΣΗΘ όπως η ελλιπής ενημέρωση και υποστήριξη πιθανών επενδυτών. Η προετοιμασία των

φακέλων με τα προς έγκριση επενδυτικά πλάνα παραμένει δυσχερείς για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις καθώς δεν διαθέτουν κατάλληλα εξειδικευμένα στελέχη.

Σε ότι αφορά στο πειραματικό κομμάτι, παρατηρούμε, την μέγιστη θερμιδική αξία cal/gr έχει το καφάσι με δεύτερη την παλέτα και τρίτο στη σειρά το άχυρο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε έναν αριθμό παραγόντων όπως ότι στο καφάσι και την παλέτα υπάρχουν διάφορες προσμίξεις χημικών υλικών όπως βερνίκια και αντιδιαβρωτικά που ενδέχεται να αυξάνουν την θερμογόνο δύναμη των δειγμάτων.



7 Βιβλιογραφία

- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-5/2017, «Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού, Θερμότητας & Ψύξης: Εγκαταστάσεις σε Κτήρια»
- BEKON Energie Technologies Gmbh (www.bekon-energy.de)
- ECN/ORBIT e.V. Animal-By-Products Regulation Workshop 2003, Pres. No. 24
- “Dry digestion process” – Dr. F. Bosse
- Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης ΑΕ (ιστοσελίδα www.herrco.gr)
- ΠΕΣΔΑ (2006), Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
- Περιφέρειας Κ. Μακεδονίας, όπως εγκρίθηκε από την ΠΚΜ στις 22-12-2005 και τροποποιήθηκε στις 29-3-2006.

[1] Ανέστης Γ. Αναστασιάδης, Διδακτορική Διατριβή, «Συμβολή στη Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Νοέμβριος 2014

[2] Κωνσταντίνος Καββαδίας, Διδακτορική Διατριβή, «Αριστοποίηση Συστήματος Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας Ψύξης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ιούλιος 2012

[3] Martin Pehnt, «Micro Cogeneration Technology»

[4] Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., «Μικρό-Συμπαραγωγή», διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesis-ape/periexomena/sithya-mikro-symparagogi/mikro-symparagogi-micro-chp/>

[5] Simader G., Kranwinkler R., Trnka G., «Micro CHP Systems: state-of-the-art», Final Report, Deliverable 8 of Green Lodges Project (EIE/04/252/S07.38608), Vienna, March 2006

- [6] CODE2-Cogeneration Observatory and Dissemination Europe, «Οδικός χάρτης (Roadmap) συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας για την Ελλάδα», Νοέμβριος 2014
- [7] Röder M., Thornley P., «Waste wood as bioenergy feedstock. Climate change impacts and related emission uncertainties from waste wood based energy systems in the UK» Waste manag, UK, April 2018
- [8] Kim PyoungChung, Lloyd J., Kim JaeWoo, Labbe N., «Thermal desorption of creosote remaining in used railroad ties: investigation by TGA (thermogravimetric analysis) and Py-GC/MS (pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry) », The University of Tennessee, 2016
- [9] Jamilu S., Ningbo Gao, Cui Gao, «Techno-economic Assesment of Go-gasification of Rice Husk and Plastic Waste as an Off-grid Power Source for Small Rice Milling – an Aspen Plus Model», Journal Of Analytical and Applied Pyrolysis, April 2021
- [10] Patuzzi F., Basso D., Vakalis S., Antolini D., Piazzzi S., Benedetti V., Cordioli E., Baratieri M., « State-of-the-art of small-scale biomass gasification systems: An extensive and unique monitoring review», Energy 223:120039, February 2021
- [11] Wei Wu, Harrison S., «Residential net-zero energy buildings: Review and Persperctive», Renewable and Sustainable Energy Reviews, March 2020
- [12] Livio de Santoli, Gianluigi Lo Basso, Benedetto Nastasi, «Innovative Hybrid CHP systems for high temperature heating plant in existing buildings», Residential net-zero energy buildings: Review and perspective, Matera, May 2017
- [13] Elsner W., Wysocki M., Niegodajew P., Borecki R., «Experimental and economic study of small-scale CHP installation equipped with downdraft gasifier and internal combustion engine», Applied Energy 202:213-227, September 2017
- [14] Ting Wang, Yuening Li, Jing Zhang, Yan Liu, Luna Sun, Boyang Liu, Hongjun Mao, Yingchao Lin, Weizun Li, Meiting Ju, Fudong Zhu, «Evaluation of the potential of pelletized biomass from different municipal solid wastes for use as solid fuel», Waste Management 260-266 Vol.74, July 2017

- [15] A.C Maccarini, Bessa M.R., Errera M.R., «Energy valuation of urban pruning residues feasibility assessment», *Biomass and Bioenergy* 142(Issue 2):105763, November 2020
- [16] Vanneste J., Tom Van Gerven, Erika Vander Putten, Bart Van der Bruggen, Helsen L., «Energetic valorization of wood waste: Estimation of the Reduction in CO2 emissions», *Science of The Total Environment* 409(19):3595-602, June 2011
- [17] Nzotcha U., Kenfack J., «Contribution of the wood-processing industry for sustainable power generation: Viability of biomass-fueled cogeneration in Sub-Saharan Africa», *Biomass and Bioenergy* 120:324-331, University of Yaounde, December 2018
- [18] Jinying Yan, Karlsson A., Zhi Zou, Deliang D., Urica Edlund, «Contamination of heavy metals and metalloids in biomass and waste fuels: Comparative characterization and trend estimation», *Science of the Environment* Vol.700, Stockholm, January 2020
- [19] Amaral F.A., Previtali D., Bassani A., Italiano C., Palella A., Pino L., Vita A., Bozzano G., Pirola C., Maneti F., «Biogas beyond GHP: The HPC(heat, power& chemicals) process», *Energy* Vol.203, Polytechnic University of Milan, Milan, July 2020
- [20] Takayuki Yoshioka, Satoshi Hirata, Yuhiko Matsumura, Kinya Sakanishi, «Woody biomass resources and conversion in Japan: The current situation and projections to 2010-2050», *Biomass and Bioenergy* 29(5):336-346, Akita University, Akita, May 2020
- [21] Paul E. desRoisers, John H. Skinner, «Advances in Dioxin Risk Management Control Technologies», Environment Protection Agent, Washington DC, 1989
- [22] Kok Siew Ng, Ian M. Head, Premier G., Scott K., Eileen Yu, Jon R. Llyod, Sadhukhan j., « A multilevel sustainability analysis of zinc recovery from wastes» *Resources Conservation and Recycling* 113:88-105, Guildford, October 2016