

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ (Α.Μ. 5379)
ΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗΣ ΑΝΑΣΤΟΣ (Α.Μ. 5443)**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

Πρόλογος

Αποφοιτώντας από το τμήμα Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΤΕΙ Πατρών νοιώθουμε την ανάγκη να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους όσους μας συμπαραστάθηκαν και μας βοήθησαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Τα τέσσερα αυτά χρόνια που διήρκησαν οι σπουδές μας είχαμε και δύσκολες και εύκολες στιγμές οι οποίες θα μας μείνουν χαραγμένες στη μνήμη μας για πάντα.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές μας για την βοήθεια και τις γνώσεις που μας προσέφεραν.

Όσον αφορά την πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας μας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Δρ. Διονύσιο Παναγιωτάρα που μας ανέθεσε αυτό το αξιόλογο και ενδιαφέρον θέμα και που ήταν κοντά μας σε όλη την πορεία ολοκλήρωσης της πτυχιακής μας .Η βοήθεια του υπήρξε καθοριστική σε όλα τα στάδια προετοιμασίας της πτυχιακής από την ανεύρεση πληροφοριών έως και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας οι οποίοι ήταν και θα είναι πάντα δίπλα μας σε κάθε μας προσπάθεια. Με την ολοκλήρωση των σπουδών μας βλέπουν πως οι κόποι τους όλα αυτά τα χρόνια έπιασαν τόπο.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας και να τους ευχηθούμε καλή σταδιοδρομία και καλή επιτυχία.

Θεοδωρόπουλος Αντώνιος - Καραγκούνης Ανάστος
Πάτρα 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα πρόβλημα που απασχολεί όλο και περισσότερο την κοινωνία παγκοσμίως είναι η διαχείριση των στερεών αστικών αποβλήτων (ΑΣΑ). Το πρόβλημα αυτό αποτελεί ίσως το σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα στην σύγχρονη κοινωνία καθώς παράγονται ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες απορριμμάτων καθημερινά ειδικά στις οικονομικά ανεπτυγμένες κοινωνίες. Οι διαδικασίες και οι μέθοδοι για την διαχείριση των αποβλήτων είναι πολλές αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνονται αποδεκτές τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από τεχνοοικονομικής πλευράς.

Εδώ και λίγες δεκαετίες η ανησυχία σχετικά με τη σύντομη και μακροπρόθεσμη διαχείριση των περιοχών εναπόθεσης απορριμμάτων, ιδιαίτερα η καθιέρωση νέων περιοχών, καθώς και το κόστος της διάθεσης αποβλήτων, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των τεχνολογιών που μετατρέπουν τα απόβλητα σε ενέργεια ή χρήσιμα υποπροϊόντα. Έχει γίνει πλέον επιτακτικό να βρεθούν λύσεις που να αξιοποιούν ταυτόχρονα με την επεξεργασία τους, το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων το οποίο γίνεται συνεχώς μεγαλύτερο λόγω της ραγδαίας χρήσης του πλαστικού και των υλικών συσκευασίας.

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία με Θέμα: Τεχνολογίες Αξιοποίησης Αποβλήτων αναλύονται οι διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας (Μηχανική-Βιολογική, Θερμική, κτλ.) και ενεργειακής αξιοποίησης των στερεών απορριμμάτων καθώς επίσης και οι επιπτώσεις και τα οφέλη αυτών στην σύγχρονη κοινωνία.

Αρχικά αναφέρονται οι τρόποι παραγωγής, τα είδη των αποβλήτων και τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τους. Στην συνέχεια παρουσιάζετε η νομοθεσία που αφορά την διαχείριση των ΑΣΑ στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα και οι στόχοι που έχουν τεθεί διεθνώς.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνολογίες Μηχανικής – Βιολογικής επεξεργασίας (Χυτά, αναερόβια χώνευση, ανακύκλωση, κομποστοποίηση, κτλ.) με ιδιαίτερη αναφορά στην κομποστοποίηση και τον μηχανολογικό εξοπλισμό (κάδοι, τεμαχιστές, χοάνες, ταινιόδρομοι, κτλ.) που χρησιμοποιείται στις μεθόδους μηχανικής – βιολογικής επεξεργασίας.

Έπειτα ακολουθεί εκτενής παρουσίαση όλων των τεχνολογιών Θερμικής επεξεργασίας (Καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση, τεχνολογία πλάσματος, κτλ.) και του μηχανολογικού εξοπλισμού (λέβητες, αντιδραστήρες, εσχάρες, γερανοί, κλίβανοι, κτλ.) για κάθε τεχνολογία. Το συγκεκριμένο κομμάτι είναι το μεγαλύτερο της πτυχιακής και μαζί με το επόμενο κεφάλαιο που αναφέρονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και τα συστήματα ελέγχου των αέριων εκπομπών καθώς επίσης και οι επιπτώσεις στην δημόσια υγεία αποτελούν το σημαντικότερο τμήμα της εργασίας αυτής.

Στο τελευταίο μέρος συγκρίνονται και αξιολογούνται οι τεχνολογίες λαμβάνοντας υπόψη το κόστος λειτουργίας και το κόστος ανέγερσης των εγκαταστάσεων καθώς επίσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Γίνετε μια προσπάθεια να επιλεγεί η καλύτερη και πιο συμφέρουσα λύση σύμφωνα πάντα με τα ελληνικά δεδομένα. Στο τέλος προκύπτουν τα τελικά συμπεράσματα και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

Περίληψη

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Εισαγωγή | 1 |
| 1. Παραγωγή αποβλήτων | 4 |
| 1.1. Εισαγωγή | 4 |
| 1.2. Είδη Αποβλήτων | 5 |
| 1.2.1. Αστικά Απόβλητα | 6 |
| 1.2.2. Ειδικά Απόβλητα | 7 |
| 1.3. Ποιοτικά – Ποσοτικά Χαρακτηριστικά | 13 |
| 1.3.1. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά | 13 |
| 1.3.2. Ποσοτικά Χαρακτηριστικά | 15 |
| 2. Νομοθεσία Διαχείρισης Αποβλήτων | 18 |
| 2.1. Νομοθετικό Πλαίσιο στην Ελλάδα | 18 |
| 2.2. Νομοθετικό Πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση | 19 |
| 2.3. Εθνικοί Στόχοι για τη Διαχείριση Απορριμμάτων | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 3. Τεχνολογίες Διαχείρισης & Μηχανικής/Βιολογικής Επεξεργασίας Απορριμμάτων | 27 |
| 3.1. Εισαγωγή | 27 |
| 3.2. Ανακύκλωση | 29 |
| 3.3. Κομποστοποίηση | 30 |
| 3.3.1. Ως σύστημα παραγωγής βελτιωτικού εδάφους | 30 |
| 3.3.2. Ως σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων | 30 |
| 3.3.3. Βασικοί Παράγοντες | 31 |
| 3.3.4. Συστήματα κομποστοποίησης | 32 |
| 3.3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα | 33 |
| 3.4. Αναερόβια Χώνευση | 34 |
| 3.5. Αλκοολική Ζύμωση | 35 |
| 3.6. Χ.Υ.Τ.Α | 36 |
| 3.6.1. Μέθοδοι Υγειονομικής Ταφής | 38 |
| 3.7. Χημική Αναγωγή | 39 |
| 3.8. Μηχανολογικός Εξοπλισμός | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας Αποβλήτων | 45 |
| 4.1. Εισαγωγή | 45 |
| 4.2. Καύση | 48 |
| 4.2.1. Εισαγωγή | 48 |
| 4.2.2. Συστήματα Καύσης | 49 |
| 4.2.2.1. Συστήματα Μη Επεξεργασμένων Απορριμμάτων | 49 |
| 4.2.2.2. Συστήματα Επεξεργασμένων Απορριμμάτων | 50 |
| 4.2.2.3. Συστήματα Ρευστοποιημένης Κλίνης | 51 |
| 4.2.2.4. Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας | 52 |
| 4.2.2.5. Επιλογή Καταλληλότερου Συστήματος | 52 |
| 4.2.3. Θερμογόνος Δύναμη Απορριμμάτων | 53 |
| 4.2.4. Παράμετροι Επηρεασμού Καύσης | 55 |
| 4.2.5. Βασικά Χαρακτηριστικά & Προϊόντα Καύσης | 56 |
| 4.2.6. Δομή Μονάδας Καύσης | 57 |
| 4.2.7. Περιγραφή Λειτουργίας Μονάδας Καύσης | 66 |
| 4.2.8. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα | 68 |
| 4.3. Πυρόλυση | 69 |
| 4.3.1. Εισαγωγή | 69 |
| 4.3.2. Περιγραφή Διαδικασίας | 69 |
| 4.3.3. Κλίβανοι Πυρόλυσης | 73 |
| 4.3.4. Λέβητες Πυρόλυσης | 73 |
| 4.3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα | 74 |
| 4.4. Αεριοποίηση | 75 |
| 4.4.1. Εισαγωγή | 75 |
| 4.4.2. Αντιδράσεις Αεριοποίησης | 75 |
| 4.4.3. Προϊόντα Αεριοποίησης | 75 |
| 4.4.4. Συνδυασμένη Αεριοποίηση Απορριμμάτων & Λιγνίτη | 76 |
| 4.5. Αεριοποίηση με Τεχνολογία Πλάσματος | 79 |
| 4.5.1. Εισαγωγή | 79 |
| 4.5.2. Περιγραφή Λειτουργίας Μονάδας Πλάσματος | 81 |
| 4.5.2.1. Χειρισμός Υλικών | 81 |
| 4.5.2.2. Θερμικός Μετασχηματισμός Απορριμμάτων | 82 |
| 4.5.2.3. Επεξεργασία Παραγόμενων Αερίων | 82 |
| 4.5.2.4. Παραγωγή Ενέργειας | 84 |
| 4.5.3. Βασικά Μέρη Μονάδας Πλάσματος | 84 |
| 4.5.4. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα | 86 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6. Καινοτόμες Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας | 87 |
| 4.6.1. Θερμόλυση | 87 |
| 4.6.2. Μέθοδος Siemens | 88 |
| 4.6.3. Μέθοδος Thermoselect | 89 |
| 4.6.4. Μέθοδος Noell | 91 |
| 4.6.5. Μέθοδος EDDITH | 92 |
| 4.6.6. Μέθοδος Von Roll | 93 |
| 4.6.6.1. Διεργασία RCP | 94 |
| 4.6.7. Μέθοδος TPS | 94 |
| 4.6.8. Μέθοδος NKK | 95 |
| 4.6.9. Μέθοδος PKA | 96 |
| 4.6.10. Μέθοδος P.I.T Pyroflan | 97 |
| 4.6.11. Μέθοδος Nexus | 97 |
| 4.6.12. Μέθοδος Andco Torrax | 98 |
| 4.6.13. Μέθοδος WGT | 99 |

5. Συγκριτική Αποτίμηση των τεχνολογιών επεξεργασίας & Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις 100

| | |
|--|------------|
| 5.1. Ευαίσθητες & κίνδυνοι από την εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων | 100 |
| 5.1.1. Καύση | 100 |
| 5.1.2. Αεριοποίηση – Πυρόλυση | 100 |
| 5.1.3. Τεχνολογία Πλάσματος | 101 |
| 5.1.4. Μονάδες Μηχανικής/Βιολογικής Επεξεργασίας | 101 |
| 5.2. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις | 102 |
| 5.2.1. Επιπτώσεις στον Αέρα | 102 |
| 5.2.2. Μέθοδοι μείωσης εκπομπών σερρών | 105 |
| 5.2.2.1. Μηχανικά και Αερόβια στάδια επεξεργασίας | 105 |
| 5.2.2.2. Καύση | 106 |
| 5.2.2.3. Απομάκρυνση σωματιδίων | 107 |
| 5.2.2.4. Χημικός καθαρισμός Απαερίων | 110 |
| 5.2.2.5. Μείωση Νοχ | 114 |
| 5.2.3. Εκπομπές στα Νερά | 114 |
| 5.2.4. Υπολείμματα στο Έδαφος | 115 |
| 5.2.5. Εκπομπές Καινοτόμων Τεχνολογιών | 116 |
| 5.2.6. Επιπτώσεις στη Δημόσια Υγεία | 117 |
| 5.2.6.1. Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων σε εργοστάσια καύσης | 118 |
| 5.2.6.2. Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία κατοίκων που γειτνιάζουν με εργοστάσια καύσης | 119 |

| | |
|---|------------|
| 6. Επιλογή Κατάλληλης Τεχνολογίας/Μεθόδου Επεξεργασίας | 120 |
| 6.1. Κριτήρια επιλογής | 120 |
| 6.2. Κόστη Διαφόρων Μεθόδων | 121 |
| 6.2.1. ΧΥΤΑ | 121 |
| 6.2.2. Μηχανική/Βιολογική Επεξεργασία | 122 |
| 6.2.3. Τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας | 124 |
| 6.3. Επιλογή Καταλληλότερης Μεθόδου | 126 |
| 7. Τα ΑΣΑ ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας | 128 |
| 7.1. Εισαγωγή | 128 |
| 7.2. Μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να καθορίζουν το βιογενές κλάσμα των απορριμμάτων | 129 |
| 7.3. Ποσοστό συμμετοχής ΑΣΑ στις ΑΠΕ στην Ε.Ε. | 130 |
| 8. Συμπεράσματα | 132 |
| 9. Βιβλιογραφία | 135 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΒΕ: Βελτιωτικό εδάφους
ΔΑ: Διαχείριση Αποβλήτων
ΔΣΠ: Διαλογή Στην Πηγή
Ε.Ε: Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΑΑ: Εθνικό Συλλογικό Σύστημα Ανακύκλωσης
ΕΚ: Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ΕΚΑ: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων
ΕΣΔΑ: Ευρωπαϊκή Σύμβαση για τα Δικαιώματα του Ανθρώπου
Θ.Ε: Θερμική Επεξεργασία
ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΚΔΑΥ: Κέντρο διαλογής Ανάκτησης υλικών
ΜΒΕ: Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία
ΣΑ: Στερεά Απόβλητα
ΧΥΤΑ: Χώροι υγειονομικής Ταφής

EWC: European Waste Catalog (Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων)
RDF; Refuse Derived Fuel
SRF: solid derived fuel
WTE: Waste To Energy

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φύση δεν παράγει απορρίμματα. Στα φυσικά οικοσυστήματα, αυτό που θεωρείται απόβλητο από ένα οργανισμό, αποτελεί χρήσιμη πρώτη ύλη για κάποιον άλλο, και έτσι, τίποτα δεν χάνεται και συνεχίζεται αρμονικά ο αένας κύκλος της ζωής. Οι σύγχρονες ανθρώπινες κοινωνίες διαταράσσουν αυτόν τον κύκλο.

Πρώτον, ο άνθρωπος έχει δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα ουσιών και υλικών που δεν υπήρχαν στη φύση ή δεν προϋπήρχαν σ' αυτή τη μορφή. Δεύτερον, οι ρυθμοί παραγωγής απορριμμάτων στις σύγχρονες βιομηχανικές κοινωνίες ξεπερνούν τη δυνατότητα των οικοσυστημάτων να αφομοιώσουν γρήγορα τα απορρίμματα με φυσικές διεργασίες, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση τεράστιων όγκων σκουπιδιών που αποτελούν πλέον ένα μείζον πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να διαχειριστούμε. Ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε συνεχώς αυξάνει λόγω της αύξησης του ρυθμού ανάπτυξης αλλά και της αλλαγής στα καταναλωτικά πρότυπα. Επιτακτική μοιάζει να είναι η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, με τα τόσα περιβαλλοντικά προβλήματα, για διαχείριση του περιβάλλοντος κατά αειφόρο τρόπο.

Σήμερα υπάρχουν αρκετοί τρόποι διάθεσης των απορριμμάτων. Οι περισσότεροι όμως δε λύνουν το πρόβλημα. Ταυτόχρονα αυξάνεται και η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης και γίνεται ολοένα και πιο έντονη η απαίτηση των πολιτών, για την ορθή διαχείρισή των απορριμμάτων. Κάθε σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων, πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο ο οποίος θα εξασφαλίζει, με σειρά προτεραιότητας, τα παρακάτω:

- Την ελαχιστοποίηση της παραγωγής απορριμμάτων, με ενθάρρυνση της μείωσης δημιουργίας,
- Την επαναχρησιμοποίηση των υλικών,
- Την ανακύκλωση των υλικών και
- Την ανάκτηση ενέργειας.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι εφαρμόζοντας τις παραπάνω αρχές στη διαχείριση των απορριμμάτων, τα τελευταία, όχι μόνο δεν θα αποτελούν επιβάρυνση για το περιβάλλον, αλλά θα μπορούν να θεωρηθούν ως μια πολύ σημαντική πηγή ενέργειας και μάλιστα σε μια εποχή όπου οι φυσικοί πόροι εξαντλούνται. Έτσι, δίνεται λύση στην εύρεση νέων πηγών ενέργειας, καθώς μπορούν να χρησιμοποιούνται και τα απορρίμματα, σε συνδυασμό με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (αιολική, ηλιακή), για την παραγωγή ενέργειας.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παραθέσει όλες τις δυνατές μεθόδους ενεργειακής διαχείρισης και επεξεργασίας των απορριμμάτων και να γίνει κατανοητό ότι «τα σκουπίδια δεν είναι για πέταμα, είναι πρώτη ύλη».

Συγκεκριμένα γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων (κομποστοποίηση, αναερόβια χώνευση, μηχανική-βιολογική επεξεργασία, καύση,

αεριοποίηση, πυρόλυση, τεχνική πλάσματος κτλ.) που χρησιμοποιούνται για την ενεργειακή αξιοποίησή τους καθώς επίσης γίνεται καταγραφή των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους.

Αξίζει να επισημανθεί ότι το θέμα της επιλογής της κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας & αξιοποίησης των ΑΣΑ, είναι ένα σύνθετο και περίπλοκο ζήτημα ή πρόβλημα, στο οποίο απαιτείται να συναξιολογηθούν μια σειρά από τεχνικό-οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παραμέτρους. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά και διαφορετικών δυνατοτήτων εργαλεία όπως η ανάλυση κύκλου ζωής, η ανάλυση ροών υλικών, η στρατηγική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα μοντέλα περιβαλλοντικής οικονομίας, σειρά πολυκριτηριακών αναλύσεων κ.α. ωστόσο κανένα από αυτά τα εργαλεία δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι καλύπτει επαρκώς από μόνο του το πρόβλημα, αν και αρκετά από αυτά φωτίζουν με ιδιαίτερο τρόπο πολλές πλευρές του.

Γενικότερα όμως, θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η επεξεργασία των στερεών αποβλήτων δεν είναι η λύση στο μείζον πρόβλημα, η οποία μάλιστα ελάχιστα επηρεάζει τις ρίζες του, δηλαδή το καταναλωτικό μοντέλο και τις παραγωγικές δομές που ωθούν συστηματικά σε διαρκή αύξηση της παραγωγής αποβλήτων.

Είναι σαφές ότι ο πρώτος παράγοντας που ωθεί στην ιδέα της επεξεργασίας αποβλήτων, με στόχο τη μείωση του όγκου και της επικινδυνότητας αυτών, είναι η σημερινή τους διαχείριση. Η λύση της υγειονομικής ταφής αποτελεί αναμφίβολα ένα πολύ σημαντικό βήμα προς τα εμπρός.

Ωστόσο η υγειονομική ταφή δεν είναι τίποτα παραπάνω από την ασφαλή μέσο- μακροπρόθεσμη αποθήκευση των αποβλήτων, με στόχο τον έλεγχο και την τεχνικά ορθή διαχείριση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

Στην υγειονομική ταφή, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την ποσότητα και τη σύσταση των απόβλητων, λαμβάνοντας χώρα σε ελεγχόμενες συνθήκες και γίνονται αντικείμενο διαχείρισης με στόχο την ελαχιστοποίηση τους.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της υγειονομικής ταφής είναι ότι αποτελεί αναπόσπαστο μέρος κάθε συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης απόβλητων, σε όλο τον κόσμο εφόσον κάθε διαχείριση θα αφήσει κάποιο τελικό υπόλειμμα. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της υγειονομικής ταφής είναι ότι αποτελεί αναμφίβολα μια πολύ απλή και φθηνή μέθοδο διάθεσης των απόβλητων.

Κάθε Σύστημα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Απορριμμάτων είναι εκ φύσεως σύνθετο, καθώς εμπεριέχει διαφορετικά αλληλοσυνδεδεμένα προβλήματα, ενώ καλείται να ανταποκριθεί σε συχνά αντικρουόμενους αντικειμενικούς σκοπούς και στόχους.

Οι δυνητικές ενέργειες που περιλαμβάνει ένα Σύστημα Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Απορριμμάτων, ακολουθούν μία ιεραρχική δομή, η οποία χαρακτηρίζεται αρχικά ως διαδοχικά αποκλειστική, καθώς:

Στο επίπεδο 1 (μεταφόρτωση) τα απορρίμματα συμπιέζονται για μείωση του όγκου τους.

Στο επίπεδο 2 (επεξεργασία, μετασχηματισμός και ανάκτηση όρων σε Μονάδες Ανάκτησης Υλικών ή/και Κομποστοποίησης και Μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας) τα απορρίμματα υπόκεινται σε διεργασίες που αποσκοπούν στην εκτροπή τους από το επίπεδο 3.

Στο επίπεδο 3 (Τελική Διάθεση σε ΧΥΤΑ) αποτίθεται στη γη οτιδήποτε δεν κατέστη δυνατόν να ανακτηθεί στο επίπεδο 2.

1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε μεγάλα αστικά κέντρα και η παράλληλη εκβιομηχάνιση, είχαν σαν συνέπεια την αύξηση των παραγόμενων απορριμμάτων και την ανάγκη οργάνωσης της διαδικασίας απόρριψής τους. Έτσι σταδιακά άρχισαν με την παρέμβαση της πολιτείας να διατυπώνονται και να εφαρμόζονται κάποιοι κανόνες διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, ενώ ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τα απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας, επιδιώκεται όλο και περισσότερο η ανακύκλωσή τους.

<<Στερεά Απόβλητα>> νοούνται ουσίες ή αντικείμενα που εμφανίζονται κυρίως σε στερεά φυσική κατάσταση, από τις οποίες ο κάτοχός τους θέλει ή υποχρεούται να απαλλαγεί, και δεν περιλαμβάνεται στον κατάλογο επικινδύνων αποβλήτων της Ευρωπαϊκή Ένωσης». Ο παραπάνω όρος είναι γενικός και περιλαμβάνει την ετερογενή μάζα των ΣΑ από τις αστικές κοινότητες, όπως επίσης και την πιο ομοιογενή μάζα γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων, όπως και μπαζών. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται διαγραμματικά μια γενικευμένη διάκριση των αποβλήτων. Ο χαρακτηρισμός μιας ουσίας ως «απόβλητο» δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητές της αλλά και από:

- Τις ισχύουσες οικονομικές συνθήκες (η αξία των υλικών μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά).
- Το κόστος της απόρριψης (μπορεί να αυξηθεί με την επιβολή τελών).
- Την ισχύουσα νομοθεσία (πρόστιμο πλημμελούς ή παράνομης απόρριψης).

Συγκεκριμένα στην κατηγορία των ΣΑ περιλαμβάνονται όλα τα απόβλητα με εξαίρεση:

- Απόβλητα σε υγρή φάση χωρίς αξιολογικό ποσοστό αιωρούμενων ρύπων (*υγρά απόβλητα*).
- *Αέριους ρύπους*.

<<Διαχείριση Αποβλήτων>> είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής, μεταφοράς, μεταφόρτωσης, επεξεργασίας, αξιοποίησης, επαναχρησιμοποίησης ή τελικής διάθεσης σε φυσικούς αποδεκτές.

<<**Αστικά Στερεά Απόβλητα**>> είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των εμπορικών δραστηριοτήτων, των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα αναφέρονται και ως Δημοτικά Στερεά Απόβλητα. Στην οδηγία 1999\31\ΕΚ ως αστικά απόβλητα ορίζονται τα οικιακά απόβλητα καθώς και αλλιά απόβλητα, τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά.

<<**Παραγωγός**>> είναι κάθε πρόσωπο φυσικό ή νομικό, του οποίου η δραστηριότητα παρήγαγε απόβλητα ή κάθε πρόσωπο που έχει πραγματοποιήσει εργασίες προεπεξεργασίας, ανάμειξης ή άλλες οι οποίες οδηγούν σε μεταβολή της φύσης ή της σύνθεσης των αποβλήτων αυτών.

<<**Επεξεργασία**>> είναι η εφαρμογή ή ο συνδυασμός φυσικών, χημικών, θερμικών και βιολογικών διεργασιών που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων έτσι ώστε να περιορίζεται ο όγκος ή οι επικίνδυνες ιδιότητες τους, να διευκολύνεται ο χειρισμός τους και να επιτυγχάνεται η ανάκτηση υλικών ή ενέργειας.

<<**Αξιοποίηση**>> είναι κάθε εργασία ανακύκλωσης ή και ανάκτησης υλικών ή ενέργειας από τα απόβλητα.

1.2. ΕΙΔΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Τα ΣΑ ομαδοποιούνται γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

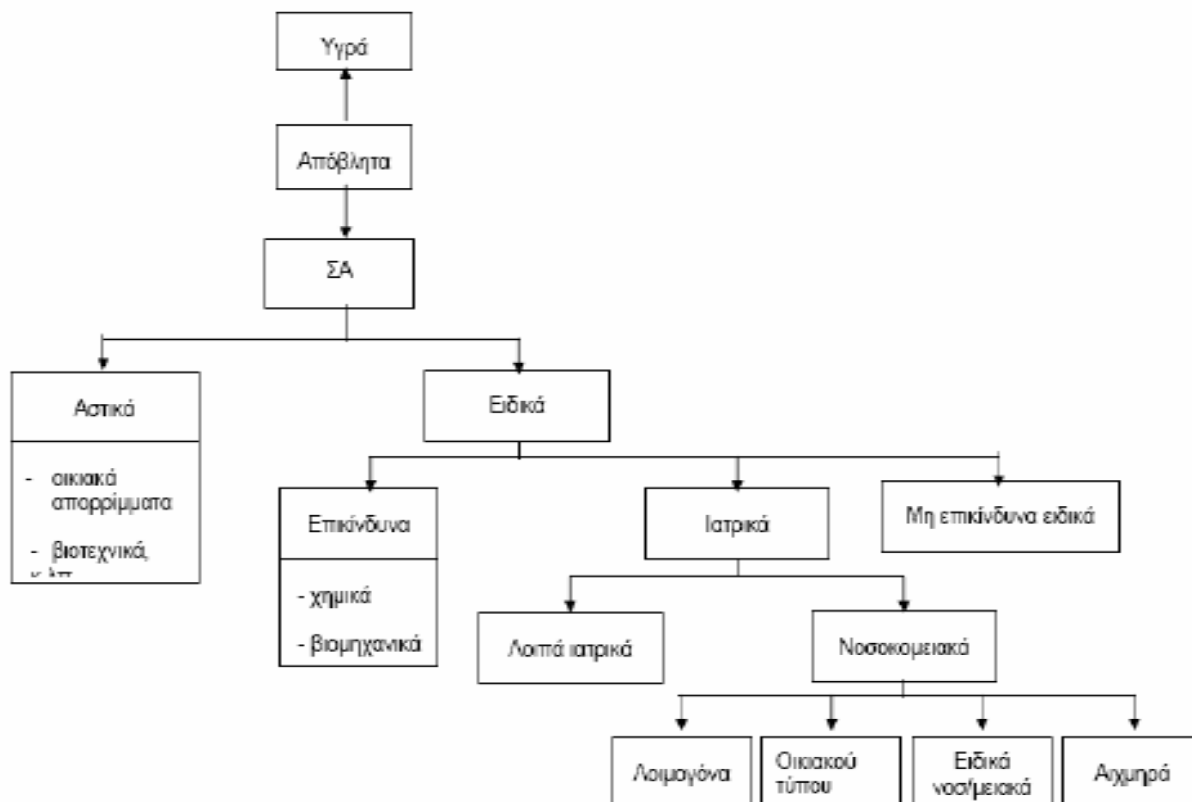
α. Αστικά απόβλητα (απορρίμματα).

β. Ειδικά απόβλητα:

- **β1. Επικίνδυνα απόβλητα.**
- **β2. Μη επικίνδυνα ειδικά.**
- **β3. Ιατρικά απόβλητα.**

Αναλυτικότερα τα ΣΑ περιλαμβάνουν:

- ✓ Αστικά απορρίμματα (οικιακά, βιοτεχνικά, εμπορικά, οδοκαθαρισμού κλπ.)
- ✓ Στερεά ή υδαρή (με αξιόλογο ποσοστό αιωρούμενων ουσιών) απόβλητα που δε μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά (ορισμένα βιομηχανικά, τοξικά ή αδρανή, και απόβλητα της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας).
- ✓ Πετρελαιοειδή απόβλητα (προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου, διυλιστήρια, χημικά εργοστάσια, ναυπηγεία, κλπ.).
- ✓ Απόβλητα γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων.
- ✓ Απόβλητα ορυχείων και μεταλλείων.
- ✓ Απόβλητα εκσκαφών (από ξηρά και θάλασσα).
- ✓ Απόβλητα οικοδομικών κατεδαφίσεων.
- ✓ Ιλεις από την επεξεργασία αστικών λυμάτων και τη βιομηχανία.
- ✓ Απόβλητα εμπορικών δραστηριοτήτων.
- ✓ Ιατρικά απόβλητα.
- ✓ Ελαστικά.
- ✓ Σκράπ (π.χ. αποσυρθέντων αυτοκινήτων, παλαιών ηλεκτρονικών υπολογιστών, κ.λπ.).



Σχήμα: 1.1:Διάγραμμα Ροής Αποβλήτων (www.ypeka.gr)

1.2.1 Αστικά Απόβλητα

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα οικιακά απορρίμματα και όλα εκείνα που προσομοιάζουν με αυτά και παράγονται από τα εμπορικά καταστήματα, τα ιδρύματα και τις βιοτεχνίες. Εξάιρεση αποτελούν τα απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων, όπως επίσης και τα κατεστραμμένα αυτοκίνητα.

Τα οικιακά απορρίμματα αποτελούν ένα ιδιαίτερος ανομοιογενές συνονθύλευμα υλικών. Η ποιοτική ανάλυση των οικιακών απορριμμάτων αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιορισθεί πληροφορία απαραίτητη για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους (ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, κ.λπ.). Η πιο δόκιμη κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων, όπως προκύπτει από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τις εξής ομάδες (κλάσματα) υλικών:

- **Ζυμώσιμα.** Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας και κήπου.
- **Χαρτί.** Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.

- **Μέταλλα.** Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Είναι δόκιμος ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- **Γυαλί.** Η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Είναι δόκιμος ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- **Πλαστικό.** Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών (στροφή σε συσκευασμένα προϊόντα, κ.λπ.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Ύφασμα. Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα (ΔΞΛΥ).
- Αδρανή. Εδώ περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα (π.χ. χρώματα, πέτρες, κ.λπ.).
- Λοιπά. Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.

1.2.2 Ειδικά Απόβλητα

α. Επικίνδυνα απόβλητα

Ως επικίνδυνο απόβλητο ορίζεται κάθε ΣΑ ή συνδυασμός ΣΑ, τα οποία λόγω της ποιότητάς τους, της συγκέντρωσης των συστατικών τους ή και των φυσικών, χημικών ή μεταδοτικών χαρακτηριστικών τους, έχουν την ιδιότητα να:

- Προκαλούν ασθένειες που μπορούν να οδηγήσουν έως και το θάνατο.
- Μολύνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον (έδαφος, νερό και ατμόσφαιρα) με αποτέλεσμα την καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας.

β. Μη επικίνδυνα απόβλητα

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλα τα ειδικά απόβλητα που δεν είναι επικίνδυνα (περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω).

γ. Ιατρικά απόβλητα Διακρίνονται σε:

- Νοσοκομειακά.
- Λοιπά ιατρικά και φαρμακευτικά απόβλητα.

Ο όρος «**νοσοκομειακά απόβλητα**» αναφέρεται στα απόβλητα που προέρχονται (παράγονται) από κάθε οργανισμό ή υπηρεσία που ασχολείται με την υγεία των έμβιων όντων, όπως τα νοσοκομεία, τα ιατρικά κέντρα, οι κλινικές και τα ιατρικά και βιολογικά εργαστήρια. Επεκτείνοντας τον όρο σε «ιατρικά απόβλητα» περιλαμβάνουμε τα απόβλητα φαρμακευτικών βιομηχανιών και εκείνα που προέρχονται από την περίθαλψη των ασθενών εντός της οικίας τους. Γενικά, στα ιατρικά απόβλητα περιλαμβάνονται ανατομικά, παθολογικά, μολυσματικά, επικίνδυνα και άλλα μη επικίνδυνα απόβλητα. Η κοινή γνώμη, εξαιτίας του διλήμματος που προκάλεσε τις τελευταίες δεκαετίες η νόσος του AIDS και των υπολοίπων μεταδοτικών ασθενειών όπως η ηπατίτιδα Β, ανησυχεί διαρκώς και περισσότερο για τη διαχείριση των ιατρικών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία και επιτακτική η σωστή διαχείρισή τους, ώστε να προστατευθεί το περιβάλλον, η υγεία των πολιτών και η ποιότητα ζωής τους.

Ειδικά - βιομηχανικά στερεά απόβλητα

Η βασική κατηγορία των ειδικών - βιομηχανικών ΣΑ περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους κατηγορίες:

- **Αδρανή απόβλητα κατασκευαστικών δραστηριοτήτων.**

Προέρχονται από δραστηριότητες όπως ανεγέρσεις οικοδομών, κατεδαφίσεις και εκσκαφές, τόσο στις πόλεις όσο και στο ύπαιθρο. Τα παραγόμενα απόβλητα είναι σε μεγάλο βαθμό αδρανή και ογκώδη όπως χώμα, άμμος, χαλίκι, σκυρόδεμα, πέτρες και τούβλα, αλλά ακόμη και υλικά όπως ξύλο, μέταλλα, γυαλί, πλαστικά, χαρτί και ύφασμα. Τα απόβλητα που παράγονται στην κατασκευή ή καταστροφή ενός κτιρίου ή ακόμα και μιας οδού διαφέρουν όχι μόνο ανάλογα από τον τύπο κατασκευής, αλλά ανάλογα και με την τοποθεσία. Η ποσότητα των αδρανών αποβλήτων που παράγονται παρουσιάζει εν γένει μία αυξητική τάση κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών που φυσικά είναι συνδεδεμένη άμεσα με την οικοδομική δραστηριότητα. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι παραγόμενες ποσότητες αδρανών αποβλήτων είναι γενικά πολλαπλάσιες των οικιακών στην χώρα μας.

Πίνακας 1.1: Παραγόμενες ποσότητες διαφόρων τύπων ΣΑ στην Ελλάδα (ΥΠΕΧΩΔΕ 1998)

| Τύπος απορριμμάτων | Παραγόμενη ποσότητα - έτος |
|---------------------------|---|
| Μη επικίνδυνα βιομηχανικά | 13.505.000 ton/year - 1997 |
| Ερυθρά ιλύς | 1.100.000 m ³ /year - 1997 |
| Επικίνδυνα βιομηχανικά | 230.000 tons/year - 1998 |
| Σκραπ αυτοκινήτων | 3.279.330 οχήματα/year - 1997 |
| Χρησιμοποιημένα ελαστικά | 41.170 ton/year - 1997 (από όλους τους τύπους οχημάτων) |
| Υλικά οικοδομών | 1.300.000 ton/year -1996 |
| Μπαταρίες | Pb: 17.000 ton/year -1997 MnO ₂ : 3.500 ton/year - 1997 Ni-Cd: 400 ton/year - 1997 Others: 20 ton/year - 1997 |
| Ιατρικά | 14.590 ton/year -1998 |

Σε γενικές γραμμές τα απόβλητα που παράγονται από τη οικοδόμηση ή την καταστροφή ενός κτιρίου είναι κυρίως χώμα, άμμος, χαλίκι, σκυρόδεμα, πέτρες, τούβλα, ξύλο, μέταλλα, γυαλί, πλαστικά, χαρτί, και ύφασμα.

- **Στερεά απόβλητα οχημάτων.** Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν τα **ελαστικά επίσωτρα**, οι χρησιμοποιημένοι **καταλύτες** αλλά και τα ίδια τα **οχήματα** όταν παύσουν να χρησιμοποιούνται. Τα ελαστικά επίσωτρα συσσωρεύονται συνήθως στα βουλκανιζατέρ, και έχουν υψηλή θερμογόνο δύναμη, καθώς αποτελούνται κυρίως από λάστιχο (πέραν του μεταλλικού πλέγματος).

- **Ελαστικά επίσωτρα.** Η διαχείριση των ελαστικών αποτελεί εδώ και αρκετά χρόνια ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα στη χώρα μας. Η προβληματικότητα τους έγκειται τόσο στο μεγάλο όγκο τους - εξαιτίας του διαρκώς αυξανόμενου στόλου οχημάτων - όσο και στην επικινδυνότητα τους για την δημόσια υγεία. Οι ποσότητες ελαστικών που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους παρουσιάζουν σημαντική αύξηση κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας στον Ελληνικό χώρο. Ειδικότερα παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της δεκαετίας 1987-1997 τα ελαστικά αυξήθηκαν κατά 70%. Το γεγονός αυτό οφείλεται όχι μόνο στην αύξηση των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν αλλά και στην απόσυρση μεγάλου αριθμού τους. Σήμερα αποσύρονται 43000 τόνοι ελαστικών, από τα οποία το 55% προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας . Οι αιτίες φθοράς και συνεπώς απόσυρσης των ελαστικών είναι:
 - Η κακή κατάσταση του οδικού δικτύου (κακή κατασκευή, παλιά οδοστρώματα που δεν έχουν επισκευαστεί, τρύπες στο οδόστρωμα κ.ά.)

 - Η κακή οδική συμπεριφορά (απότομα φρεναρίσματα με ή χωρίς μπλοκάρισμα των τροχών, υπερβολική ταχύτητα ειδικότερα σε στροφές, πλαγιολίσθηση του οχήματος, ταχεία επιτάχυνση).

 - Αναπόφευκτες φθορές (αεροδυναμικές φθορές, τριβή με το οδόστρωμα φορτίσεις στην επαφή με τον άξονα, καιρικές συνθήκες, κ.ά.).

- **Αυτοκίνητα.** Το σύνολο των οχημάτων στο Ελληνικό χώρο το 1997 ανήλθε περίπου σε 3.280.000. Κατά το διάστημα 1988-1997 υπήρξε αύξηση των επιβατικών οχημάτων της τάξης του 67%. Η μέση ηλικία των καταλυτικών επιβατικών αυτοκινήτων εκτιμάται σε 4,5 έτη ενώ για τα συμβατικά η μέση ηλικία ανέρχεται σε 13,2 έτη. Ο αριθμός αυτοκινήτων που αποσύρονται κάθε έτος λόγω παλαιότητας τους καθώς και λόγω ατυχημάτων κυμαίνεται σε ποσοστό 0,6% έως 0,8%. επί του συνολικού αριθμού των εν κυκλοφορία οχημάτων. Κατά τα έτη 1991 και 1992 η εφαρμογή του μέτρου της απόσυρσης των παλαιών αυτοκινήτων οδήγησε στην απομάκρυνση από την κυκλοφορία 284.550 επιβατικών αυτοκινήτων και 47.220 ελαφρών φορτηγών.

- **Καταλύτες.** Οι καταλύτες έχουν όριο ζωής περίπου 100.000 χιλιομέτρων. Οι εξαντλημένοι καταλύτες είναι τοξικοί και επικίνδυνοι για την δημόσια υγεία και απαιτούν ειδική μεταχείριση. Περιέχουν όμως πολύτιμα μέταλλα (πλατίνα) και μπορούν να επανενεργοποιηθούν με μια (ή ακόμα και συνδυασμό) από διάφορες μεθόδους. Η διαδικασία της επανενεργοποίησης μπορεί να γίνει από τα συνεργεία ή και στις παραγωγικές μονάδες (με μεγαλύτερο κόστος φυσικά). Τελικά ο καταλύτης θα χάσει την ικανότητά του για επανενεργοποίηση και θα πρέπει να ανακτηθούν τα πολύτιμα και ημί-πολύτιμα μέταλλα που περιέχει. Μέχρι στιγμής στην Ελλάδα έχουν τεθεί σε κυκλοφορία πλέον των 500.000 καταλυτικών αυτοκινήτων και ο αριθμός τους θα φτάσει 4.000.000 περίπου σε δέκα χρόνια. Συνεπώς (με χρόνο αντικατάστασης των καταλυτών ανά τετραετία) θα δημιουργηθεί σύντομα ένα τεράστιο πρόβλημα περισυλλογής, διάθεσης και ανακύκλωσης των καταλυτών.
- **Αγροτικά στερεά απόβλητα.** Εδώ περιλαμβάνονται τα απορρίμματα από κτηνοτροφικές και γεωργικές δραστηριότητες. Ως κτηνοτροφικά χαρακτηρίζονται τα απόβλητα που παράγονται από κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες. Γεωργικά ΣΑ θεωρούνται τα φυτικά υπολείμματα και παραπροϊόντα των διαφόρων καλλιεργειών και διακρίνονται στα ακόλουθα είδη: **α)** ό,τι απομένει μετά τη συγκομιδή του προϊόντος, π.χ. άχυρο σιτηρών, στελέχη καπνού, αραβοσίτου, βαμβακιού, ηλίανθου και άλλων παρόμοιων ετήσιων καλλιεργειών, **β)** κλαδεύματα οπωροφόρων δέντρων και αμπελώνων, **γ)** υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών όπως κελύφη (αμύγδαλα, φουντούκια, κ.λπ.) και κουκούτσια (ροδάκινα, δαμάσκηνα κ.λπ.) καρπών.

Στην Ελλάδα υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό σε αγροτικά υπολείμματα τα οποία όμως αξιοποιούνται κύρια ως τροφή των ζώων ελευθέρως βοσκής ή διατίθενται στη γη για τη βελτίωση του εδάφους. Προβλήματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων δημιουργούν τα γεωργικά προϊόντα που αποσύρονται (χωματερές) ή τα υπολείμματα της πρώτης ύλης των γεωργικών βιομηχανιών (κονσερβοποιία ντομάτας κ.α.). Εκτός από την χρησιμοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων στην κτηνοτροφία ή στην γεωργία ως Βελτιωτικό Εδάφους (ΒΕ) σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρείται το φαινόμενο της ελεύθερης καύσης ενώ σύνηθες είναι και το φαινόμενο γεωργικά υπολείμματα (κλαδεύσεις δένδρων και υπολείμματα δημοτικών εκμεταλλεύσεων, πάρκα, κλπ.) να καταλήγουν στις χωματερές καταλαμβάνοντας ωφέλιμο χώρο και σαφώς χωρίς να αξιοποιούνται. Τα γεωργικά υπολείμματα εξαρτώνται κύρια από το είδος της καλλιέργειας. Όπως αναφέρθηκε τα υπολείμματα αυτά χρησιμοποιούνται κύρια για τροφή στα ζώα και ως ΒΕ. Θα μπορούσαν όμως σε συνδυασμό με τα κτηνοτροφικά απόβλητα να αξιοποιηθούν για κομποστοποίηση ή για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- **Κτηνοτροφικά απόβλητα.** Η κτηνοτροφία έχει τρεις πηγές παραγωγής αποβλήτων:
 1. Μάντρες εκτροφής ζώων.
 2. Σφαγεία.
 3. Εργοστάσια παραγωγής κρέατος.

Οι μεγαλύτερες ποσότητες των στερεών κτηνοτροφικών αποβλήτων αξιοποιούνται στη γεωργία ως ΒΕ. Έτσι στις περιοχές που η κτηνοτροφία δεν είναι ιδιαίτερη αναπτυγμένη σε σχέση με τη γεωργία και οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις είναι εκτατικής μορφής, δεν υπάρχει πρόβλημα διαχείρισης των κτηνοτροφικών αποβλήτων γιατί αυτά αξιοποιούνται στη γεωργία. Στις περιοχές όμως με μεγάλη συγκέντρωση κτηνοτροφικών μονάδων υπάρχουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων που δεν αξιοποιούνται και δημιουργούν δυσοσμία, ρύπανση της ατμόσφαιρας και νιτρορύπανση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

- **Ιλύς.** Κατά την επεξεργασία καθαρισμού των αποβλήτων, μαζί με την τελική απορροή που πρέπει να διατεθεί κατάλληλα, παράγονται ταυτόχρονα και ορισμένα παραπροϊόντα, όπως τα σαχάρια, η άμμος, τα ξαφρίσματα, και η λάσπη από τις δεξαμενές καθιζήσεως. Από τα παραπροϊόντα αυτά το σημαντικότερο σε όγκο και δυσκολότερο σε χειρισμό και διάθεση είναι η λάσπη (ιλύς). Η λάσπη είναι ένα παχύρευστο υγρό που περιέχει, σαν νωπή, 40 περίπου φορές περισσότερες στερεές ουσίες από ό,τι τα αστικά λύματα. Μόνο μετά την επεξεργασία συμπυκνώσεως, χωνεύσεως, αφυδατώσεως η λάσπη παίρνει μία σχετικά στερεή μορφή, και πάντοτε με αρκετή ακόμα υγρασία (60%). Οι ίλεις παράγονται από τις εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού τόσο των αστικών όσο και των βιομηχανικών λυμάτων. Έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και για αυτό ενδείκνυται να αφυδατώνονται επιτόπου πριν μεταφερθούν. Σημαντική παράμετρος για τις περαιτέρω δυνατότητες αξιοποίησής τους είναι οι περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα και άλλους ρύπους, η οποία καθορίζεται από την φύση των λυμάτων και το είδος της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού τους.
- **Στερεά βιομηχανικά απόβλητα.** Πρόκειται για τα πάσης φύσεως ΣΑ που παράγονται από βιομηχανικές δραστηριότητες, τόσο από την ίδια την παραγωγική διαδικασία όσο και τα απορρίμματα εκείνα που ομοιάζουν με τα οικιακά. Στον όρο "βιομηχανία" περιλαμβάνονται από περιβαλλοντικής άποψη όλες οι μικρές και μεγάλες σταθερές πηγές ρύπανσης. Στην Ελλάδα δραστηριοποιείται ένας σημαντικός αριθμός βιομηχανικών μονάδων από την παραγωγική διαδικασία των οποίων προκύπτουν ΣΑ τα οποία σύμφωνα με την ταξινόμηση του EWC (Ευρωπαϊκού Κατάλογου Αποβλήτων) δεν είναι επικίνδυνα. Οι κύριοι βιομηχανικοί κλάδοι στην Ελλάδα οι οποίοι παράγουν μη επικίνδυνα απόβλητα είναι:
 - ✓ Βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων.
 - ✓ Βιομηχανίες παραγωγής ποτών και χυμών.
 - ✓ Ελαιουργεία.
 - ✓ Βιομηχανίες παραγωγής πολτού και χαρτιού.
 - ✓ Μονάδες εκτύπωσης έντυπου υλικού.
 - ✓ Βιομηχανίες πρωτογενούς παραγωγής μετάλλων.
 - ✓ Βιομηχανίες δευτερογενούς παραγωγής μετάλλων.

- ✓ Βιομηχανίες πλαστικών.
- ✓ Βιομηχανίες παραγωγής ανόργανων λιπασμάτων.
- ✓ Βιομηχανίες παραγωγής γυαλιού.
- ✓ Βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων ξυλείας.
- ✓ Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί.

Η συνολική ποσότητα μη επικίνδυνων αποβλήτων που παρήχθησαν το 1988 από βιομηχανικές μονάδες ανέρχεται σε 4.486.000 τόνους, ενώ το 1997 η αντίστοιχη ποσότητα ανήλθε στους 3.617.000 τόνους. Η μείωση της παραγωγής κατά 19% αποδίδεται στην μείωση της παραγωγικής δυναμικότητας όπως και στην παύση λειτουργίας ορισμένων σημαντικών μονάδων.

- **Επικίνδυνα απόβλητα.** Τα επικίνδυνα απόβλητα προέρχονται από βιομηχανίες όπως βυρσοδεψία, μονάδες επιφανειακής επεξεργασίας μετάλλων, κλωστοϋφαντουργία, βαφεία-φινιριστήρια, μονάδες παραγωγής γεωργικών φαρμάκων, και συσσωρευτών μολύβδου. Στην κατηγορία των επικίνδυνων αποβλήτων εντάσσονται και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB's), τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη σε μεγάλο βαθμό ως διηλεκτρικά υγρά σε μετασχηματιστές της ΔΕΗ. Η διαχείριση των βιομηχανικών επικίνδυνων αποβλήτων στην Ελλάδα εμφανίζει μία πλειάδα προβλημάτων που οφείλονται:

α. Στην γενικότερη σχέση της με την διαχείριση ΣΑ.

β. Σε πτυχές σχετικές με την βιομηχανία και λοιπές ιδιωτικές δραστηριότητες και λειτουργίες. Η συνολική ποσότητα για τα έτη 1988 και 1998 ανέρχεται σε 340.000 τόνους και σε 280.000 τόνους αντίστοιχα. Το 1998 υπήρχαν περίπου 20 μεγάλες βιομηχανίες και περισσότερες από 600 μεσαίες και μικρές μονάδες (βυρσοδεψία, μονάδες επιφανειακής επεξεργασίας μετάλλων, κλωστοϋφαντουργία, βαφεία-φινιριστήρια, μονάδες παραγωγής γεωργικών φαρμάκων, και συσσωρευτών μολύβδου) που παρήγαγαν τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα.

Επίσης, εκτός από τους βιομηχανικούς κλάδους, επικίνδυνα απόβλητα παράγονται και από τα ναυπηγεία, από τα οποία το 1998 παρήχθησαν 850 τόνοι πετρελαιοειδών καταλοίπων ενώ 1000 τόνοι παρήχθησαν το 1998 (κυρίως από επεξεργασία σλοπς και ερμάτων).

Βασικά χαρακτηριστικά των επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων, είναι:

1. Αναφλεξιμότητα.
2. Διαβρωτικότητα.
3. Δραστικότητα.
4. Τοξικότητα.

Χημικές ενώσεις που θεωρούνται επικίνδυνα απόβλητα περιέχουν μία ποικιλία από στερεά, πτητικά, και ημιπτητικά συστατικά, τα οποία σχηματίζουν ένα στερεό σύνολο. Πολλές από τις ενώσεις, κυρίως όσα απόβλητα περιέχουν οργανικές ουσίες ή είναι εξ ολοκλήρου οργανικά, αυτές είναι κατάλληλες για αποτέφρωση.

Μία ειδική κατηγορία επικινδύνων αποβλήτων αποτελούν τα PCB's, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν και ακόμη χρησιμοποιούνται σε σημαντικό αριθμό συσκευών κλειστού κυκλώματος (μετασχηματιστές και πυκνωτές) ως διηλεκτρικό υγρό. Κατά εφαρμογή του Νόμου 1310/86 έχει σταματήσει η προμήθεια - αγορά συσκευών που περιέχουν PCB's. Το 1991 οι ποσότητες PCB's σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις στην Ελλάδα εκτιμάται ότι ανέρχονταν σε 1400 τόνους περίπου. Στο διάστημα 1991-1998 μεταφέρθηκαν στο εξωτερικό από τέσσερις εταιρίες μεταφοράς επικινδύνων αποβλήτων, 794 τόνοι μολυσμένων συσκευών συμπεριλαμβανομένων των περιεχόμενων PCB's.

1.3 ΠΟΙΟΤΙΚΑ – ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

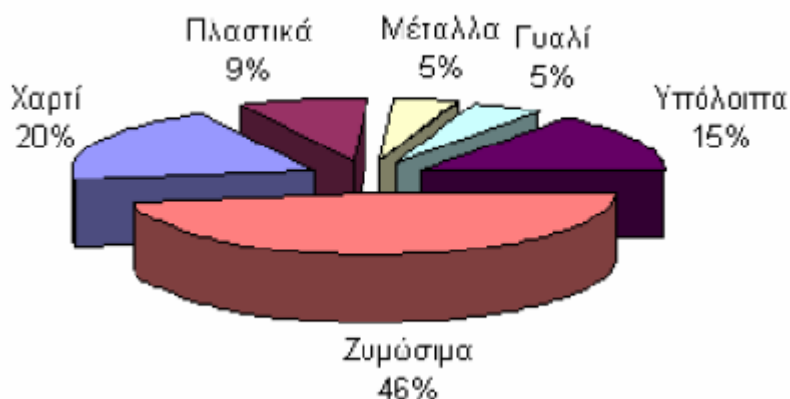
1.3.1 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Η χάραξη μίας βιώσιμης πολιτικής διάθεσης απορριμμάτων πέρα από την απλή απόθεση (δηλ. η ανάκτηση υλικών ή και ενέργειας με κάποιο τρόπο από αυτά) για μία περιοχή προϋποθέτει τη γνώση της περιεκτικότητάς τους σε διάφορα υλικά και στοιχεία. Οι παράγοντες που επιδρούν στην παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων επιδρούν ακόμη στην ποιότητα και τη σύσταση .

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Φυσικά** - ανάλογα την εκατοστιαία φυσική σύσταση κατά βάρος σε ευδιάκριτα υλικά, όπως χαρτί, γυαλί, μέταλλα, κ.ά. το ειδικό βάρος, το μέγεθος-κατανομή μεγεθών και τη διαπερατότητα των απορριμμάτων.
- **Χημικά** - ανάλογα τη χημική σύσταση, όπως υγρασία, περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά, περιεκτικότητα σε ανόργανα, ποσοστιαία σύσταση σε χημικά στοιχεία (άνθρακας, οξυγόνο, κ.λπ.), κ.ά. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων καθώς και η περιεκτικότητά τους σε επικίνδυνα συστατικά.
- **Μικροβιολογικά** - που ορίζονται από το ποσοστό των μολυσματικών αποβλήτων στην παραγόμενη ποσότητα.
- **Βιολογικά** - ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του οργανικού κλάσματος των στερεών απορριμμάτων είναι η δυνατότητα μετασχηματισμού τους μέσω βιολογικών διεργασιών σε αέρια συστατικά και σχετικά αδρανή οργανικά και αέρια στερεό συστατικά. Η έκλυση οσμών και η προσέλκυση εντόμων έχει

άμεση σχέση με τις διαδικασίες σήψης των οργανικών συστατικών και ιδιαίτερα των υπολειμμάτων τροφών.



Εικόνα 1.1: Μέση ποιοτική σύσταση των οικιακών αποβλήτων (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998).

Πίνακας 1.2: Εξάρτηση της φυσικής σύστασης των απορριμμάτων από το οικονομικοκοινωνικό επίπεδο των πολιτών (Gunnerson et al., 1986).

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ | | | | | | | | | |
| Μπρούκλιν (ΗΠΑ) | 35 | 9 | 13 | 10 | - | 4 | 4 | 22 | 4 |
| Λονδίνο (Μεγ. Βρετανία) | 37 | 8 | 8 | 2 | - | 2 | - | 28 | 15 |
| Ρώμη (Ιταλία) | 18 | 4 | 3 | 4 | - | - | - | 50 | 21 |
| ΜΕΣΑΙΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ | | | | | | | | | |
| Σιγκαπούρη | 43 | 1 | 3 | 6 | - | 9 | - | 5 | 32 |
| Χονγκ-Κονγκ (Κίνα) | 32 | 10 | 2 | 6 | - | 10 | - | 9 | 31 |
| Μέντελιν (Κολομβία) | 22 | 2 | 1 | 5 | - | 4 | - | 56 | 10 |
| Λάγος (Νιγηρία) | 14 | 3 | 4 | - | - | - | - | 60 | 19 |
| Μανίλα (Φιλιππίνες) | 17 | 5 | 2 | 4 | 4 | 4 | 6 | 43 | 17 |
| ΧΑΜΗΛΟΥ ΕΙΣΟΔΗΜΑΤΟΣ | | | | | | | | | |
| Τζακάρτα (Ινδονησία) | 2 | 1 | 4 | 3 | - | 1 | 4 | 82 | 3 |
| Λαχόρα (Πακιστάν) | 4 | 3 | 4 | 2 | 7 | 5 | 2 | 49 | 24 |
| Λάνκοβ (Ινδία) | 2 | 6 | 3 | 4 | - | 3 | 1 | 80 | 2 |

Πίνακας 1.3: Ποσοστιαία ποιοτική σύσταση απορριμμάτων στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης, όπως μετρήθηκε το 1987, 1997 και 1998 στην είσοδο του ΧΥΤΑ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΕ, 1999).

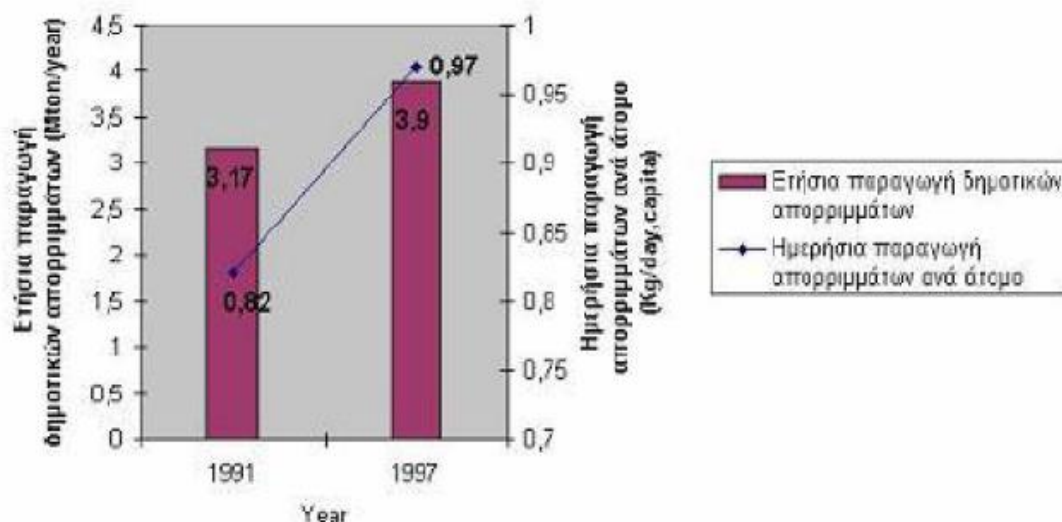
| | 1987 | 1997 | 1998 |
|--------------------------|--------|--------|--------|
| Αδρανή υλικά | 4.00% | 2.40% | 4.00% |
| Μέταλλα | 5.90% | 3.70% | 4.43% |
| Γυαλί | 4.10% | 3.50% | 3.61% |
| Δέρμα-Ξύλο-Υφασμα-Λοιπά* | 9.40% | 4.50% | 9.13% |
| Χαρτί | 17.70% | 22.70% | 29.21% |
| Οργανικά | 51.70% | 43.00% | 26.66% |
| Πλαστικά | 7.20% | 13.60% | 17.90% |
| Λοιπά | 0% | 6.60% | 5.06% |

1.3.2 Ποσοτικά Χαρακτηριστικά

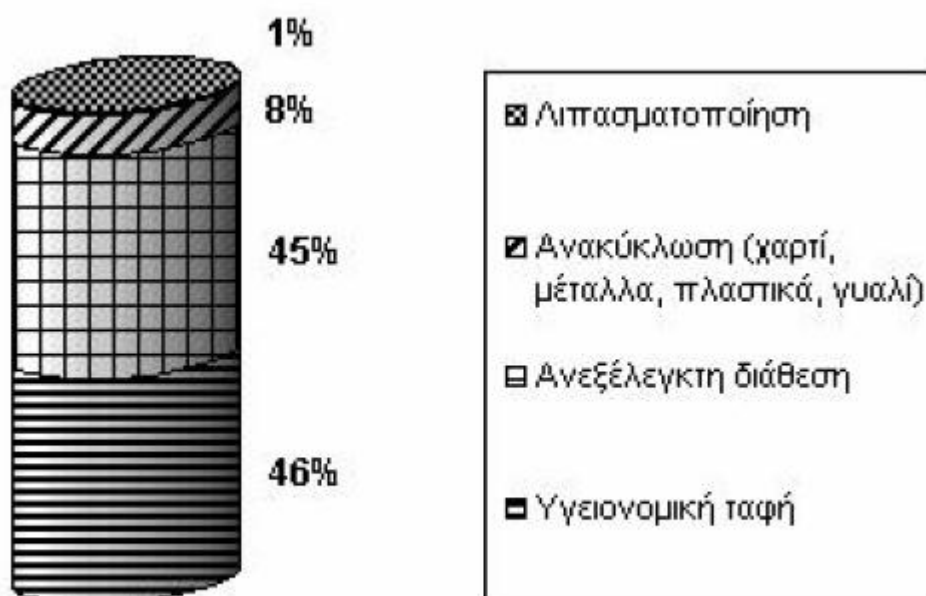
Στην Ελλάδα παράγονται περίπου 3.900.000 (1997) τόνοι αστικών ΣΑ το χρόνο, δηλαδή στον κάθε πολίτη αντιστοιχεί περίπου μία παραγωγή **ενός κιλού απορριμμάτων ανά ημέρα**. Στην Εικόνα 1.2 φαίνονται οι ποσότητες των παραγόμενων αστικών αποβλήτων για τα έτη 1991 και 1997 καθώς και η μέση ημερήσια παραγωγή αποβλήτων ανά κάτοικο για τα παραπάνω έτη. Από τη συνολική ετήσια παραγόμενη ποσότητα προκύπτει ότι:

- Το 85% συλλέγεται και διατίθεται συστηματικά, ενώ για το υπόλοιπο 15%, που αφορά κυρίως σε απομονωμένες ορεινές και νησιωτικές περιοχές, οι επιστήμονες έχουν εντοπίσει σοβαρά προβλήματα ακόμα και στο σύστημα συλλογής, πέρα από το σύστημα διαχείρισής τους.
- Το 20% αφορά απορριπτόμενα υλικά συσκευασίας.
- Περίπου το 9% των συλλεγόμενων αστικών απορριμμάτων ανακυκλώνεται ενώ το υπόλοιπο διατίθεται σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) (50.3%) ή χωματερές (49,7%) (Εικόνα 1.3).

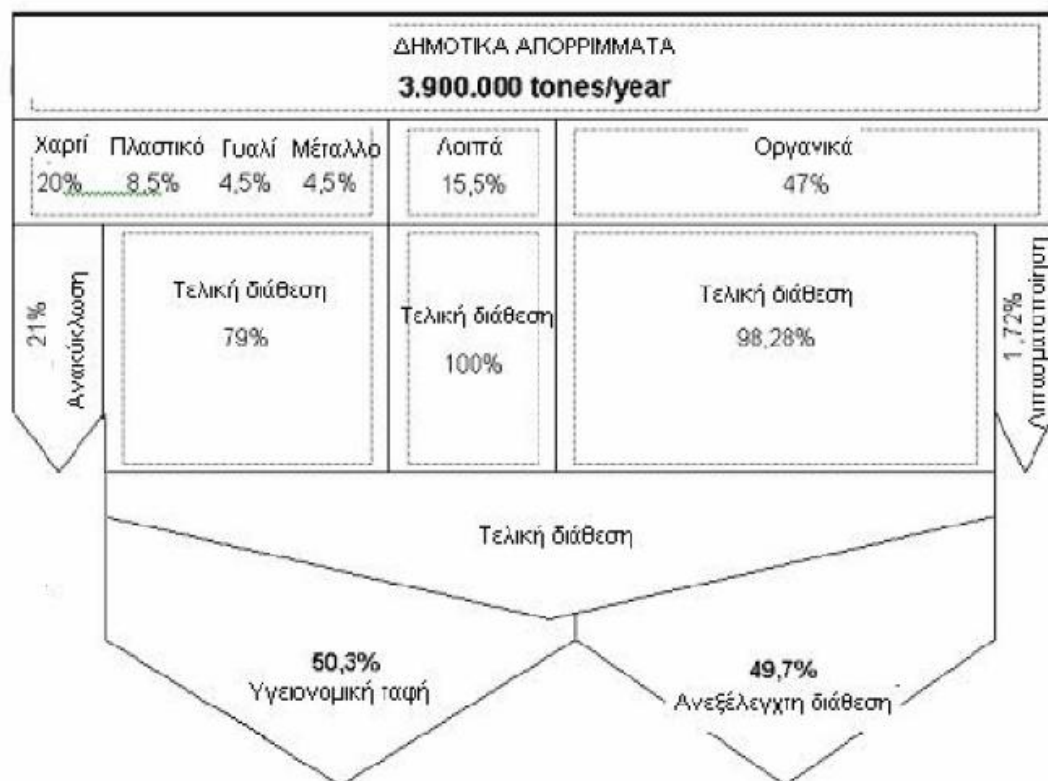
Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά η ΔΑ στην Ελλάδα για το 1998.



Εικόνα 1.2. Ποσότητες παραγόμενων αστικών απορριμμάτων για τα έτη 1991 και 1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998).



Εικόνα 1.3: Ποσοστιαία κατά βάρος κατανομή των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων ανά μέθοδο διαχείρισης για το 1997 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998).



Εικόνα 1.4: Κατάσταση της ΔΑ στην Ελλάδα για το 1998 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998).

2. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι υποχρεωμένα να ενσωματώνουν στην εθνική τους νομοθεσία, τις Οδηγίες που εκδίδει το Ευρωπαϊκό συμβούλιο. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των απορριμμάτων σε Εθνικό Επίπεδο.

Βάση του νομοθετικού μας πλαισίου για το περιβάλλον και κατ' επέκταση τη διαχείριση των αποβλήτων, αποτελεί ο Νόμος **1650/1986** «για την προστασία του περιβάλλοντος». Ο νόμος αυτός θέτει το γενικό πλαίσιο, τους στόχους και τα μέσα για την προστασία του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με το άρθρο 12, ορίζονται αρμόδιοι φορείς για τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων είναι οι ΟΤΑ, οι οποίοι όμως έχουν τη δυνατότητα να μην διαχειρίζονται απόβλητα που λόγω της σύστασής τους δεν μπορούν να διατεθούν μαζί με τα οικιακά απορρίμματα.

Πρόσφατα το άρθρο αυτό αναθεωρήθηκε με το άρθρο 30 του Ν.3536/2007, όπου ορίστηκε πλέον ότι αρμόδιοι για τη διαχείριση των ΑΣΑ θα είναι οι Φορείς Διαχείρισης που θα συστήσουν οι ΟΤΑ που αποτελούν μια συγκεκριμένη γεωγραφική ενότητα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (σύμφωνα με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 50910/2003).

Η ΚΥΑ 114218/97 «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων», ουσιαστικά εξειδικεύει το νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, θέτοντας συγκεκριμένες προδιαγραφές για τα έργα.

Ωστόσο, οι προδιαγραφές αυτές θεωρούνται ότι δεν συνάδουν με το γενικότερο πλαίσιο και τις τάσεις που διαμορφώνονται σε ευρωπαϊκό επίπεδο και θα πρέπει άμεσα να επικαιροποιηθούν.

Ο Νόμος 2939/2001 διαμορφώνει το θεσμικό πλαίσιο «για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων». Με το νόμο αυτό ενσωματώνεται η Οδηγία 94/62/ΕΟΚ στο Εθνικό Δίκαιο και καθορίζεται το πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης, αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (μπαταρίες, ηλεκτρονικά, ελαστικά κ.α.), με τη θέσπιση συγκεκριμένων ποσοτικών στόχων και χρονικών ορίων για την προσέγγισή τους. Ειδικά, τα σχετικά προεδρικά διατάγματα καθορίζουν τους επιμέρους όρους για το κάθε ρεύμα αποβλήτου. Ως σήμερα έχουν εκδοθεί τα Π.2. 82/2004, 109/2004, 115/2004, 116/2004, 117/2004 και 15/2006 για τα ορυκτέλαια, τα ελαστικά, τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές, τα οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής τους και τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, αντίστοιχα.

Η ΚΥΑ 29407/2002 θέτει τους «όρους και τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της υγειονομικής ταφής των στερεών αποβλήτων», προς συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 99/31/ΕΚ.

Το 2003 δημοσιεύεται η **ΚΥΑ 37591/2031/2003 «για τη διαχείριση των αποβλήτων από Υγειονομικές Μονάδες».** Με βάση την ΚΥΑ αυτή υποχρεούνται οι Υγειονομικές Μονάδες να εκπονήσουν Εσωτερικό Κανονισμό Διαχείρισης Επικινδύνων Ιατρικών Αποβλήτων (ΕΙΑ), ενώ απαιτείται και η παράλληλη ενεργοποίηση και συμμετοχή των Επιτροπών Υγιεινής και Ασφάλειας των Υγειονομικών Μονάδων, οι οποίες θα πρέπει να παίξουν καθοριστικό ρόλο τόσο στην ενημέρωση των εργαζομένων, όσο και στην εποπτεία της ορθής λειτουργίας του συστήματος διαχείρισης των ΕΙΑ.

Την ίδια χρονιά δημοσιεύεται η **ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης»** για την πλήρη συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 91/156/ΕΟΚ. Στην ΚΥΑ αυτή καθορίζονται οι στόχοι και οι αρχές της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, καθώς και οι προδιαγραφές του εθνικού (ΕΣΔΑ) αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Επιπλέον, καθορίζονται οι υπόχρεοι φορείς για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων (ΦοΣΔΑ), καθώς και μέτρα για την αποκατάσταση και αξιοποίηση των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων.

Τέλος, η πιο πρόσφατη νομοθετική ρύθμιση αναφορικά με τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, είναι η **ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων».** Στην απόφαση αυτή καθορίζονται οι υποχρεώσεις των παραγωγών και των φορέων διαχείρισης επικινδύνων αποβλήτων, ενώ πρόσφατα καθορίστηκαν και οι τεχνικές προδιαγραφές για τη διαχείριση των επικινδύνων στερεών αποβλήτων (ΚΥΑ 24944/1159/2006), καθώς και το περιεχόμενο του εθνικού σχεδιασμού διαχείρισης επικινδύνων αποβλήτων, ο οποίος εκπονήθηκε από το ΥΠΕΧΩΔΕ (ΚΥΑ 8668/2007)

2.2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ (Ε.Ε)

Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης βασίζεται στην πεποίθηση ότι η ύπαρξη υψηλών περιβαλλοντικών προτύπων τονώνει την καινοτομία και τις εμπορικές ευκαιρίες.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει γενικά αναλάβει να διασφαλίσει ότι:

- οι νόμοι όχι μόνο θεσπίζονται αλλά και εφαρμόζονται στην πράξη,
- στις πολιτικές της ΕΕ (π.χ. γεωργία, ανάπτυξη, ενέργεια, αλιεία, βιομηχανία, εσωτερική αγορά, μεταφορές) συνεκτιμάται ο αντίκτυπος που αυτές θα έχουν στο περιβάλλον,
- οι επιχειρήσεις και οι καταναλωτές συμμετέχουν ενεργά στην εξεύρεση λύσεων για τα οικολογικά προβλήματα,

- οι πολίτες έχουν στη διάθεσή τους τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε να κάνουν φιλικές προς το περιβάλλον επιλογές,
- αυξάνεται η ευαισθητοποίηση σχετικά με τη σημασία που έχει η ορθολογική χρησιμοποίηση των γαιών για την προστασία των φυσικών ενδιαιτημάτων και τοπίων και για την ελαχιστοποίηση της αστικής ρύπανσης.

Η Κοινότητα δίνει προτεραιότητα στους ακόλουθους τομείς δράσης:

- η αειφόρος διαχείριση των φυσικών πόρων: εδάφη, ύδατα, φυσικές και παράκτιες ζώνες,
- η ολοκληρωμένη καταπολέμηση της ρύπανσης και προληπτική δράση όσον αφορά τα απόβλητα,
- η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές,
- η βελτίωση της διαχείρισης της κινητικότητας, με την ανάπτυξη αποτελεσματικών και καθαρών τρόπων μεταφοράς,
- η επεξεργασία ενός συνεκτικού συνόλου μέτρων για τη βελτίωση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος,
- η βελτίωση της υγείας και της ασφάλειας, ιδίως σε θέματα διαχείρισης των βιομηχανικών κινδύνων, της πυρηνικής ασφάλειας και της ακτινοπροστασίας.

Η Κοινοτική πολιτική για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με τη Σύνοδο Κορυφής των Παρισίων, το 1974. Ακολούθησαν τα “προγράμματα δράσης” της Κοινότητας και ήδη από το 1975 προβλέπονται στον κοινοτικό προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το 1981, οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στη Γενική Διεύθυνση (περιβάλλον, πυρηνική ασφάλεια, προστασία πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1η Ιουλίου 1987), ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον. Την ίδια χρονιά, υιοθετείται το 4ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον, με βασικό στόχο την αποτελεσματική εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη.

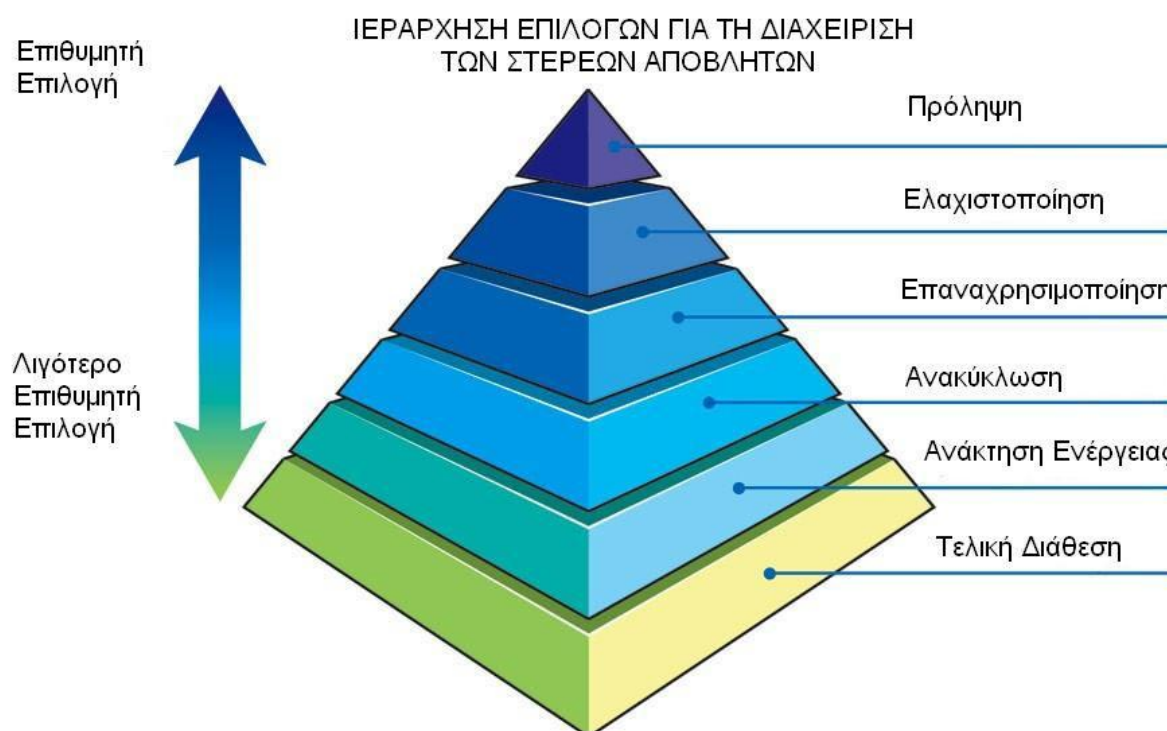
Ακολούθησε το 5ο Πρόγραμμα Δράσεως για το Περιβάλλον “προς μια αειφόρο ανάπτυξη”, το οποίο θέσπισε τις αρχές μιας πιο ενεργητικής Ευρωπαϊκής στρατηγικής για την περίοδο 1992-2000 και σηματοδότησε την αρχή μιας οριζόντιας κοινοτικής δράσεως, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες ρύπανσης (βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές, γεωργία).

Σήμερα, είναι σε εξέλιξη το 6ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον, το οποίο προσδιορίζει γενικούς στόχους και καθορίζει κατάλογο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων μέχρι και το έτος 2010. Το πρόγραμμα "Περιβάλλον 2010: Το μέλλον μας, η επιλογή μας" εμπνέεται από το πέμπτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον, το οποίο κάλυψε τη χρονική περίοδο 1992-2000.

Τα βασικότερα σημεία της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι τα εξής:

- Η πρόληψη είναι προτιμότερη από τη λήψη διορθωτικών μέτρων.
- Τα περιβαλλοντικά προβλήματα πρέπει να αντιμετωπίζονται στην πηγή τους.
- Ο ρυπαίνων πρέπει να πληρώνει το κόστος των μέτρων που θα ληφθούν για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η περιβαλλοντική πολιτική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να αποτελεί τμήμα των άλλων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Ολόκληρη η περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. βασίζεται στην αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει". Οι πληρωμές μπορεί να πραγματοποιηθούν με τη μορφή επενδύσεων για να επιτευχθεί συμμόρφωση προς αυστηρότερα πρότυπα ή με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα (π.χ. ορισμένους τύπους συσκευασιών). Ειδικότερα, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων - με βάση τις κοινοτικές Οδηγίες - ιεραρχείται βάσει του παρακάτω διαγράμματος στις εξής αρχές:



Διάγραμμα 2.1: Ιεράρχηση Επιλογών Ευρωπαϊκής Πολιτικής (<http://ec.europa.eu>)

Αρχή της πρόληψης ή και μείωσης των παραγόμενων αποβλήτων : Βασικό ζήτημα στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων, αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής παρθένων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν, σε

αρκετά παγιωμένη μορφή, μέθοδοι αναλύσεων κύκλου ζωής για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κλπ. Ήδη, όμως, έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. LIFE), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις, η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στη χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων), ώστε να προλαμβάνεται σε μεταγενέστερο στάδιο η δημιουργία επικίνδυνων αποβλήτων. Άλλοι τρόποι συνεισφοράς στην πρόληψη, είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του Δημόσιου ή του Ιδιωτικού τομέα (οικολογικό σήμα) και η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράσουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο.

Αρχή επαναχρησιμοποίησης των υλικών: Με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών όρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών), αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και η ανάκτησή τους.

Αρχή ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών: Η ανάκτηση από τα απορρίμματα αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική, επίσης, προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

Αρχή ανάκτησης ενέργειας: Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών - λόγω τεχνικών περιορισμών - θα πρέπει να οδηγούνται τα απόβλητα με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο σε μονάδες καύσης, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δεν δύναται να αξιοποιηθεί.

Αρχή της ασφαλούς διάθεσης: Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση. Χρησιμοποιείται εκτενώς μιας και είναι η οικονομικότερη λύση, αλλά οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να καταλήγουν σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

Το Δεκέμβριο του 2005, ανακοινώθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή η νέα θεματική στρατηγική για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων (**COM(2005)666/EK: Θεματική Στρατηγική για την πρόληψη της δημιουργίας και την ανακύκλωση των αποβλήτων**). Στόχος της στρατηγικής είναι να μειωθούν οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αποβλήτων καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή μέχρι την τελική διάθεσή τους, μέσω της ανακύκλωσης.

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε είδος αποβλήτων όχι μόνο ως πηγή ρύπανσης που επιβάλλεται να μειωθεί, αλλά και ως ενδεχόμενος

πόρος που προσφέρεται για εκμετάλλευση. Η νέα στρατηγική προβλέπει την απλοποίηση της κείμενης νομοθεσίας, αποσκοπώντας στην συγχώνευση της οδηγίας για τα επικίνδυνα απόβλητα και της οδηγίας για τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, αλλά και στην εξάλειψη των αλληλοεπικαλύψεων μεταξύ της οδηγίας πλαισίου για τα απόβλητα και της οδηγίας για την ολοκληρωμένη πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης. Επιπροσθέτως, προβλέπει την ενθάρρυνση του τομέα της ανακύκλωσης, με στόχο την επανένταξη με ελάχιστο περιβαλλοντικό αντίκτυπο των αποβλήτων στον οικονομικό κύκλο με τη μορφή προϊόντων ποιότητας.

Η νέα στρατηγική προβλέπει και άλλα μέτρα, όπως η ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τη φορολογία της οριστικής εναπόθεσης των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο καθώς και, μακροπρόθεσμα, τη λήψη μέτρων βάσει της φύσης των υλικών και ενδεχομένως μέτρων συμπλήρωσης των μηχανισμών της αγοράς, σε περίπτωση που δεν επαρκέσουν για την εξασφάλιση της ανάπτυξης της ανακύκλωσης.

Η εξειδίκευση της νέας αυτής θεματικής στρατηγικής για τα απόβλητα πραγματοποιήθηκε με τη θέσπιση της **Οδηγίας 2006/12/ΕΚ** για τα απόβλητα, η οποία και αντικαθιστά την Οδηγία πλαίσιο 75/442/ΕΟΚ (είχε επανειλημμένα τροποποιηθεί και για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμη για λόγους σαφήνειας και ορθολογισμού η κωδικοποίηση της εν λόγω Οδηγίας).

Στη νέα αυτή Οδηγία τίθεται, πλέον σαφώς, η έννοια της προ-επεξεργασίας του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων, ως αναγκαιότητα για την αξιοποίησή τους είτε σαν πρώτη ύλη που θα εισέλθει στην παραγωγική διαδικασία για την παραγωγή νέου προϊόντος, είτε σαν φυσικός πόρος για την παραγωγή ενέργειας, πριν την τελική διάθεσή τους. Αξίζει να επισημανθεί ότι η έννοια της προ-επεξεργασίας των ΑΣΑ, ως υποχρέωση πριν την ταφή των απορριμμάτων, έχει τεθεί με την Οδηγία 99/31/ΕΚ.

Επιπλέον, τίθενται με την **Οδηγία 2006/12/ΕΚ** μια σειρά από άλλα μέτρα, όπως το ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να εκπονήσουν το ταχύτερο δυνατό σχέδια για τη συλλογή, την αξιοποίηση, αλλά και τον περιορισμό της παραγωγής των αποβλήτων, καθώς και να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να περιοριστούν οι μεταφορές των αποβλήτων. Παράλληλα, καθορίζονται οι διαδικασίες που απαιτούνται για την αδειοδότηση μονάδων επεξεργασίας και επισημαίνεται ότι η δαπάνη της διαχείρισης των αποβλήτων βαρύνει τον παραγωγό ή και τελικό κάτοχο αυτών.

Προκειμένου να γίνει αποτελεσματικότερη η διαχείριση των αποβλήτων στην Κοινότητα, απαιτούνται κοινή ορολογία και ορισμός των αποβλήτων. Με βάση την προσπάθεια για κοινή στρατηγική στο θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) με την **Απόφαση 94/32/ΕΚ**. Ο ΕΚΑ είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, δηλαδή κατάλογος ο οποίος πρόκειται ανά τακτά διαστήματα να αναθεωρείται και εφόσον είναι απαραίτητο, να ανασκευάζεται σύμφωνα με την διαδικασία της Επιτροπής. Ο ΕΚΑ αποτελεί σήμερα ονοματολογία αναφοράς, παρέχοντας κοινή για όλη την Κοινότητα ορολογία, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων. Τα απόβλητα του ΕΚΑ που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο, όπως ορίζει η **Απόφαση**

2000/532/ΕΚ. Θα πρέπει, τέλος, να τονιστεί ότι ένα υλικό που περιλαμβάνεται στον ΕΚΑ, δεν είναι απόβλητο υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Ο όρος είναι δόκιμος μόνο όταν ικανοποιείται ο ορισμός του με βάση το άρθρο 1 της **Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ.**

Η Οδηγία 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» διατυπώνει αυστηρούς όρους και προϋποθέσεις για τη συλλογή, μεταφορά, αξιοποίηση και διάθεση των τοξικών και επικίνδυνων κατηγοριών απορριμμάτων, καθώς και ειδικές απαιτήσεις που τα κράτη μέλη υποχρεώνονται να εφαρμόζουν.

Η Οδηγία 1999/31/ΕΚ «περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων» στοχεύει στην πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της ταφής αποβλήτων στο περιβάλλον και ειδικότερα στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα ή στην υγεία του ανθρώπου. Η Οδηγία ταξινομεί τους χώρους ταφής σε τρεις (3) κατηγορίες:

- ΧΩΡΟΙ ΤΑΦΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
- ΧΩΡΟΙ ΤΑΦΗΣ ΜΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
- ΧΩΡΟΙ ΤΑΦΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.

Επιπροσθέτως, προβλέπει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρου ταφής και απαγορεύει τη διάθεση αποβλήτων όπως τα ελαστικά, τα νοσοκομειακά απόβλητα κ.α. Με βάση την Οδηγία, τα κράτη μέλη οφείλουν να διαμορφώσουν εθνική στρατηγική για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που καταλήγει σε χώρους ταφής, καθώς θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι.

Αναφορικά με την «αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων», αυτή καλύπτεται από την **Οδηγία 2000/76/ΕΚ.** Στόχος της Οδηγίας, είναι η πρόληψη ή ο περιορισμός των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την αποτέφρωση και τη συνδυασμένη αποτέφρωση αποβλήτων, καθώς και των κινδύνων που απορρέουν για την ανθρώπινη υγεία. Η Οδηγία αφορά όχι μόνο τις προοριζόμενες για την αποτέφρωση αποβλήτων εγκαταστάσεις (“ειδικευμένες εγκαταστάσεις αποτέφρωσης”), αλλά και τις εγκαταστάσεις “συνδυασμένης αποτέφρωσης”. Οι τελευταίες, είναι εγκαταστάσεις των οποίων βασικός σκοπός είναι η παραγωγή ενέργειας ή υλικών προϊόντων και οι οποίες χρησιμοποιούν ως κύριο ή βοηθητικό καύσιμο τα απόβλητα, αφού αυτά υποβληθούν σε θερμική επεξεργασία για την τελική διάθεσή τους.

2.3. ΕΘΝΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Το ζήτημα της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, αποτελεί σημείο - κλειδί για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα. Οι αλλαγές που απαιτούνται για την επίτευξη των στόχων της κοινοτικής οδηγίας 99/31/ΕΚ, προϋποθέτουν μια σταδιακή στροφή της διαχείρισης των αποβλήτων προς καινούρια κατεύθυνση.

Οι αλλαγές που απαιτούνται είναι σημαντικές σε σχέση με την σημερινή κατάσταση, η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από την εδαφική διάθεση των αποβλήτων σε ΧΥΤΑ, αλλά και ανεξέλεγκτα σε ορισμένες περιοχές της χώρας. Οι νέες απαιτήσεις οδηγούν σε πολύ υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών και σε γενικευμένη επεξεργασία των απορριμμάτων πριν την ταφή.

Για τους παραπάνω λόγους, η επιτυχής υλοποίηση των στόχων και κατευθύνσεων της κοινοτικής οδηγίας 99/31/ΕΚ, προαπαιτεί σημαντικές αλλαγές σε όλα τα επίπεδα διαχείρισης στερεών αποβλήτων. Οι αλλαγές αυτές αφορούν τόσο στη φιλοσοφία προσέγγισης της διαχείρισης αποβλήτων, όσο και στις τεχνικές προσεγγίσεις που αναπτύσσονται.

Οι εθνικοί στόχοι για την εκτροπή των βιοαποδομήσιμων από την ταφή, σε υλοποίηση του άρθρου 4 της ΚΥΑ ΗΠ 29407/3508/2002, σε εναρμόνιση με τις απαιτήσεις της κοινοτικής οδηγίας 99/31/ΕΚ, έχουν ως εξής:

- Το έτος 2010, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που θα εκτρέπονται από τους ΧΥΤΑ δεν θα είναι λιγότερα από 1.100.000 τόνους ή το 25% της συνολικής παραγωγής βιοαποδομήσιμων αποβλήτων με έτος αναφοράς το 1995 (4,4 εκατ. T).
- Το έτος 2013, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που θα εκτρέπονται από τους ΧΥΤΑ δεν θα είναι λιγότερα από 1.900.000 τόνους ή το 50% της συνολικής παραγωγής βιοαποδομήσιμων αποβλήτων με έτος αναφοράς το 1995.
- Το έτος 2020, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που θα εκτρέπονται από τους ΧΥΤΑ δεν θα είναι λιγότερα από 2.700.000 τόνους ή το 65% της συνολικής παραγωγής βιοαποδομήσιμων αποβλήτων με έτος αναφοράς το 1995.

Οι πιθανές επιλογές, βάσει του ορισμού που δίνεται στην ΚΥΑ ΗΠ 29407/3508/2002, για τον όρο «επεξεργασία» μπορεί να είναι:

- Η Διαλογή υλικών στην Πηγή και ανακύκλωση των συσκευασιών, οργανικών, πράσινων, επικίνδυνων οικιακών, κλπ.
- Η Μηχανική Διαλογή και ανάκτηση υλικών από τα σύμμεικτα απορρίμματα.
- Όλες οι Τεχνολογίες Θερμικής, Φυσικής, Χημικής και Βιολογικής επεξεργασίας και οι συνδυασμοί τους (π.χ. καύση σύμμεικτων ΑΣΑ ή πιστοποιημένων δευτερογενών καυσίμων στερεά απορρίμματα, κομποστοποίηση, αναερόβια χώνευση, ΜΒΕ, κλπ.)

Η κατασκευή και λειτουργία μιας σύγχρονης μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων έχει σημαντικά οφέλη για την εξυπηρετούμενη περιοχή:

- Μείωση του όγκου των προς διάθεση αποβλήτων.
- Μείωση της επικινδυνότητας των προς διάθεση αποβλήτων.
- Αύξηση της διάρκειας λειτουργίας των υφιστάμενων ΧΥΤΑ, οι οποίοι θα μετατραπούν σε ΧΥΤΥ με μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- Περιορισμό της πιθανότητας ρύπανσης των υδροφόρων οριζόντων.
- Εξάλειψη των αναγκών διαρκούς αναζήτησης νέων εκτάσεων για υγειονομική ταφή και των συνδεόμενων με αυτό το θέμα κοινωνικών αντιδράσεων.
- Δυνατότητα γρήγορης και εύκολης αποκατάστασης των ΧΥΤΥ και απόδοσης νέων χρήσεων γης σε αυτού

Σε εθνικό επίπεδο, οι στόχοι που οφείλει να επιτύχει η χώρα για την ανακύκλωση υλικών (κυρίως για τα υλικά συσκευασίας – Οδηγίες 94/62 & 2004/12/EK – όπως το χαρτί/χαρτόνι, τα πλαστικά, τα μέταλλα/αλουμίνιο, το γυαλί, το ξύλο) προβλέπεται να υλοποιηθούν με την εφαρμογή προγραμμάτων Ανακύκλωσης, τα οποία σταδιακά αναπτύσσει το Εθνικό Συλλογικό Σύστημα για την Ανακύκλωση Συσκευασιών (ΕΕΑΑ Α.Ε.).

Όσον αφορά όμως, τους στόχους που έχουν τεθεί για την επεξεργασία και την εκτροπή από την ταφή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ (κυρίως για τα υπολείμματα τροφής & κήπου και δευτερευόντως το έντυπο χαρτί, για το οποίο ετοιμάζεται ήδη από το ΥΠΕΧΩΔΕ το θεσμικό πλαίσιο για την αξιοποίησή του ως ανακυκλώσιμο ή ενεργειακά αξιοποιήσιμο υλικό, έναντι της θεώρησης του σαν βιοαποδομήσιμο υλικό που θα πρέπει να επεξεργαστεί πριν την ταφή του), λαμβάνοντας υπόψη την εν γένει αδυναμία εφαρμογής και επιτυχίας ενός προγράμματος ανακύκλωσης των βιοαποδομήσιμων υλικών στη χώρα μας, κρίνεται επιβεβλημένη η κατασκευή μονάδων, ικανών τουλάχιστον να πραγματοποιούν βιοσταθεροποίηση των ΑΣΑ.

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ / ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία (ΜΒΕ) δεν είναι μια σαφώς καθορισμένη μέθοδος επεξεργασίας, αλλά περισσότερο ένας γενικευμένος όρος που περιγράφει μια ευρεία ομάδα διεργασιών που συνδυάζονται με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους προκειμένου να διαχωρίσουν και να ανακτήσουν υλικά από τα ΑΣΑ. Πρόκειται δηλαδή για μια «οικογένεια» τεχνολογιών επεξεργασίας, που μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους τόσο ως προς την πολυπλοκότητα, και συνεπώς το κόστος, όσο και ως προς τους τελικούς στόχους της επεξεργασίας. Η απόδοση των διαφορετικών συνδυασμών μπορεί να ποικίλει ευρέως και κάθε προσέγγιση έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει συνδυασμός που να αποτελεί την «βέλτιστη λύση» αλλά κάποιοι συνδυασμοί μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλοι για συγκεκριμένες συνθήκες και έργα.

Οι εγκαταστάσεις ΜΒΕ συνδυάζουν μια ποικιλία μηχανικών και βιολογικών διεργασιών με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τα επιθυμητά προϊόντα και τους στόχους της επεξεργασίας. Οι μηχανικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση των ξηρών ανακυκλώσιμων και ενός ομογενοποιημένου στερεού καυσίμου (RDF - refuse derived fuel ή SRF - solid refuse fuel) ενώ οι βιολογικές για την απομάκρυνση της υγρασίας από τα απόβλητα (βιολογική ξήρανση), τη σταθεροποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος και την παραγωγή (χαμηλής ποιότητας) κομπόστ και/ή βιοαερίου. Σε πολύ αδρές γραμμές η ΜΒΕ μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός δύο μονάδων: ενός κέντρου διαλογής και ανάκτησης υλικών (ΚΔΑΥ) και μιας μονάδας βιολογικής επεξεργασίας. Οι κυριότερες διεργασίες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν:

- Τεχνικές διάνοιξης σάκων (διατάξεις τύπου μεταλλικών ταινιών, κοχλία, χτενιού, λάμας, κλπ).
- Τεχνικές μείωσης του μεγέθους (κονιορτοποίηση και τεμαχισμός, σε τεμαχιστές, περιστρεφόμενα τύμπανα, κλπ).
- Τεχνικές διαχωρισμού (βάση μεγέθους, αεροδιαχωρισμού, βαλλιστικού διαχωρισμού και άλλες διεργασίες μηχανικής ταξινόμησης των αποβλήτων).
- Τεχνικές μαγνητικού διαχωρισμού για το διαχωρισμό των σιδηρούχων μετάλλων και επαγωγικών ρευμάτων, για το αλουμίνιο.

- Βιολογική ξήρανση.
- Κομποστοποίηση του εμπλουτισμένου οργανικού κλάσματος.
- Αναερόβια χώνευση.

Το κοινό στοιχείο όλων των μονάδων MBE είναι ότι χρησιμοποιούν διεργασίες μηχανικού διαχωρισμού για να διαχωρίσουν σύμμεικτα απόβλητα σε διαφορετικά ρεύματα και να ανακτήσουν κάποια ξηρά ανακυκλώσιμα. Επιπλέον, ανάλογα με το σχεδιασμό τους έχουν έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους στόχους:

- Να σταθεροποιήσουν επαρκώς το βιοαποδομήσιμο κλάσμα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό επικάλυψης σε ΧΥΤΑ ή να ταφεί χωρίς να θεωρείται ως βιοαποδομήσιμο απόβλητο για τους στόχους της Οδηγίας για την Υγειονομική Ταφή.
- Να παράγουν ένα εμπλουτισμένο οργανικό κλάσμα για κομποστοποίηση ή αναερόβια χώνευση. Το παραγόμενο υπόστρωμα σε αυτή την περίπτωση είναι χαμηλής ποιότητας και περιορισμένης χρήσης (π.χ. υλικό κάλυψης σε ΧΥΤΑ ή για αποκατάσταση λατομείων, ορυχείων κλπ.).
- Να παράγουν ένα διαχωρισμένο, σχετικά ομογενοποιημένο κλάσμα υψηλής θερμογόνου δύναμης, το οποίο αποτελείται κυρίως από χαρτί, πλαστικά και άλλα καύσιμα υλικά (RDF ή SRF), προς αξιοποίηση σε ειδική εγκατάσταση καύσης με ανάκτηση ενέργειας ή σε υπάρχοντες βιομηχανικούς κλιβάνους (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία).

Οι μονάδες MBE έχουν διαφορετικά προϊόντα, ανάλογα με τον συνδυασμό των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν, οι οποίες περιγράφονται στην συνέχεια.

- Μηχανική διαλογή και κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος

Αρχικά διαχωρίζονται μηχανικά τα ρεύματα των αποβλήτων, όπου ανακτώνται ανακυκλώσιμα υλικά. Το οργανικό κλάσμα οδηγείται για αερόβια κομποστοποίηση (παραγωγή εδαφοβελτιωτικού – compost), ενώ από μέρος των υπολειμμάτων της μηχανικής διαλογής παράγεται δευτερογενές καύσιμο RDF (Recovered Derived Fuel).

- Μηχανική διαλογή και αναερόβια χώνευση με ή χωρίς μετά-κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος

Αρχικά διαχωρίζονται μηχανικά τα ρεύματα των αποβλήτων, όπου ανακτώνται ανακυκλώσιμα υλικά. Το οργανικό κλάσμα οδηγείται για αναερόβια χώνευση (παραγωγή βιοαερίου) με το χωνευμένο υλικό (digestate) που μένει να οδηγείται για μετακομποστοποίηση (παραγωγή εδαφοβελτιωτικού – compost). Από μέρος των υπολειμμάτων της μηχανικής διαλογής παράγεται δευτερογενές καύσιμο RDF (Recovered Derived Fuel).

- Μηχανική διαλογή και Βιολογική ξήρανση

Αρχικά διαχωρίζονται μηχανικά τα ρεύματα των αποβλήτων, όπου ανακτώνται ανακυκλώσιμα υλικά, ενώ τα υπολείμματα που περιέχουν και το οργανικό κλάσμα οδηγούνται για βιολογική ξήρανση, με σκοπό την παραγωγή ενός δευτερογενούς καυσίμου SRF (Solid Recovered Fuel). Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή λειτουργία των μονάδων Μηχανικής – Βιολογικής Επεξεργασίας, είναι η εξασφάλιση της αξιοποίησης των παραγόμενων δευτερογενών προϊόντων.

3.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Ως ανακύκλωση μπορεί να ορισθεί η διαδικασία της συστηματικής συλλογής, διαλογής και επαναφοράς υλικών από τα απορρίμματα στον κοινωνικό και οικονομικό κύκλο. Σήμερα μπορούμε να πούμε ότι η ανακύκλωση αποτελεί σύγχρονη απαίτηση και αναπόσπαστο συστατικό της διαχείρισης των απορριμμάτων. Τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι κυρίως χαρτί, πλαστικό, γυαλί και αλουμίνιο.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για να πετύχει η ανακύκλωση είναι να εφαρμόζεται στην πηγή. Με τον όρο ανακύκλωση στην πηγή εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία οι πολίτες διαχωρίζουν τα απορρίμματα τους σε ανακυκλώσιμα και μη πριν την διάθεσή τους. Η ανακύκλωση ορισμένων κατηγοριών απορριμμάτων, είναι μία μέθοδος που μπορεί να μειώσει σημαντικά τον όγκο των παραγομένων απορριμμάτων. Τα πιθανά οφέλη από την ανακύκλωση είναι τα παρακάτω:

- Περιορίζεται ο όγκος της συλλογής των απορριμμάτων που πρέπει να μεταφερθούν στο χώρο υγειονομικής ταφής.
- Περιορίζεται ο όγκος της κατόρυξης και έτσι χρειάζεται λιγότερη γη για ΧΥΤΑ.
- Εξοικονομούνται πολύτιμες πρώτες ύλες (π.χ. χαρτί κ.λπ.).
- Υπάρχει κάποιο κέρδος από την πώληση των ανακυκλωμένων υλικών.
- Ικανοποιείται η περιβαλλοντική ευαισθησία των πολιτών.
- Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να βελτιωθεί και το ισοζύγιο πληρωμών (π.χ. το χαρτί στην Ελλάδα είναι συνήθως εισαγόμενο.)
- Δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας.

Η βιωσιμότητά της εξαρτάται από παραμέτρους όπως η διαθεσιμότητα ανακυκλώσιμων υλικών, το κόστος των άλλων μεθόδων διαχείρισης και η ύπαρξη αγοράς για την απορρόφηση των ανακυκλωμένων υλικών. Οι γενικές προϋποθέσεις επιτυχίας είναι η ενημέρωση και συμμετοχή του κοινού, καθώς και το ξεπέραςμα των οργανωτικών δυσκολιών. Με την εφαρμογή της δε λύνεται οριστικά το πρόβλημα.

3.3 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η κομποστοποίηση είναι γνωστή από παλιά ως μια διαδικασία επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων αστικής ή αγροτικής προέλευσης, η οποία είναι σε θέση να παράγει χρήσιμα σε διάφορες γεωργικές εφαρμογές προϊόντα. Για το λόγω αυτό, η κομποστοποίηση εξετάζεται ταυτόχρονα από δύο διαφορετικές σκοπιές:

3.3.1. Ως σύστημα παραγωγής βελτιωτικού εδάφους:

Η παραγωγή βελτιωτικού εδάφους με τη διαδικασία της κομποστοποίησης παρουσιάζει αυξημένο ενδιαφέρον εξαιτίας των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών στη γεωργία για:

- ❖ οργανικά λιπάσματα,
- ❖ πρόσθετα εδάφους για τη βελτίωση της υφής και δομής υποβαθμισμένων εδαφών και
- ❖ χώμα ειδικό για φυτά σε γλάστρες.

Στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 10 εταιρίες μικρομεσαίου μεγέθους που σχετίζονται με την παραγωγή compost ή παρόμοιων βελτιωτικών εδάφους. Είναι χαρακτηριστικό ότι κανένα από τα προϊόντα της αγοράς δε φέρει το όνομα κομπόστ. Σε κάποιες περιπτώσεις η διαδικασία κομποστοποίησης χρησιμοποιείται μόνο ως αρχικό στάδιο για την παραγωγή του αρχικού υλικού, που θα αναμιχθεί με φυτικά θρεπτικά συστατικά και ιχνοστοιχεία προκειμένου να παραχθεί κάποιο είδος λιπάσματος σε σπυρωτή-κοκκώδη μορφή.

Εκτός από τις παραπάνω γνωστές εμπορικές εγκαταστάσεις παραγωγής βελτιωτικού, υπάρχουν και μικρές επιχειρήσεις σε διάφορα μέρη της χώρας που λειτουργούν κανονικά ή σποραδικά, παράγοντας μικρές ποσότητες κομπόστ από τοπικά οργανικά απορρίμματα, όπως κοπριά ή υπολείμματα από βιομηχανίες οίνου και ελαιοπαραγωγικές βιομηχανίες.

3.3.2. Ως σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων

Η υιοθέτηση διαδικασιών κομποστοποίησης στη διαχείριση απορριμμάτων άρχισε πριν λίγα χρόνια με μεγάλες προσδοκίες, που σύντομα συνοδεύτηκαν από μεγάλες απογοητεύσεις. Ειδικότερα την προηγούμενη δεκαετία, κάτω από την πίεση του αυξανόμενου όγκου των αστικών απορριμμάτων και της δημόσιας απαίτησης για καθαρό περιβάλλον, πολλά δημοτικά συμβούλια, ειδικά των μεγάλων πόλεων, υποκινούμενα από κάποιες κατασκευαστικές εταιρίες δέχθηκαν την κομποστοποίηση ως σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων. Η ιδανική εικόνα που παρουσίασαν οι ενδιαφερόμενες εταιρίες έδωσε τη λανθασμένη εντύπωση σε μερικές δημοτικές αρχές ότι το σύστημα αυτό μπορούσε να γίνει μια νέα πηγή εισοδήματος.

Οι δυο βασικές βιολογικές διαδικασίες μετατροπής του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα σταθερό τελικό προϊόν είναι η αερόβια και η αναερόβια κομποστοποίηση. Σε γενικές γραμμές η αναερόβια κομποστοποίηση είναι πιο πολύπλοκη από την αερόβια, αλλά έχει το πλεονέκτημα της ανάκτησης ενέργειας μέσω της παραγωγής του αερίου CH_4 . Αντίθετα η αερόβια κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται από κατανάλωση ενέργειας λόγω του απαιτούμενου οξυγόνου.

Επομένως με τον όρο composting μπορούμε να πούμε ότι αποδίδουμε την αερόβια βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες που εξασφαλίζει : α) ικανοποιητική αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης από τα στερεά υπολείμματα και β) ανακύκλωση της οργανικής ύλης με την επαναφορά της στο φυσικό αποδέκτη της το χώμα, σε χουμοποιημένη μορφή, που συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους και τη διατήρηση της γονιμότητάς του.



Εικόνα 3.1 : Κάθετη μονάδα κομποστοποίησής (ΑΡΒΙΣ Α.Ε)

3.3.3. Βασικοί παράγοντες

Η σωστή και γρήγορη βιολογική αποδόμηση των οργανικών υλικών, με τη διαδικασία του composting, εξαρτάται από ορισμένους βασικούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι : α) οι αερόβιες συνθήκες, β) η υγρασία, γ) η σχέση άνθρακα προς άζωτο (C/N), δ) το μέγεθος των τεμαχιδίων του προς ζύμωση υλικού, ε) η θερμοκρασία ζύμωσης και στ) το pH.

Ο περιοδικός αερισμός του ζυμούμενου υλικού είναι απαραίτητος για να παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου στους αερόβιους μικροοργανισμούς που πραγματοποιούν τη ζύμωση του υλικού. Όταν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στη ζυμούμενη μάζα πέσει κάτω του 5% περίπου, τότε

αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες που επιβραδύνουν τη ζύμωση και προκαλούν την παραγωγή δύσσομων αερίων. Η οξυγόνωση των απορριμμάτων γίνεται, είτε με ρεύμα αέρα (κλίβανοι χωνεύσεως), είτε με γύρισμα των σωρών, ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τον προγραμματισμένο χρόνο λιπασματοποιήσεως (κάθε 2-3 ημέρες ή περισσότερο).

Η παρουσία ελεύθερου νερού στο ζυμούμενο υλικό είναι απαραίτητη για τις βιοτικές ανάγκες και τη μετακίνηση των μικροοργανισμών. Η συνολική ποσότητα υγρασίας που απαιτείται για την ομαλή πορεία της ζύμωσης εξαρτάται από τη φύση του υλικού (υδατοϊκανότητα) και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του 55% και 65% σε υγρή βάση. Περίσσεια όμως νερού κλείνει τους πόρους εισόδου του αέρα και την τροφοδότηση σε οξυγόνο.

Η σχέση C/N επηρεάζει αποφασιστικά την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης του υλικού γιατί από τη διαθέσιμη ποσότητα του βασικού στοιχείου N στους μικροοργανισμούς, εξαρτάται η ταχύτητα της αποδόμησης των οργανικών ενώσεων του C για τον προσδιορισμό από αυτούς της απαιτούμενης ποσότητας C και ενέργειας. Με βάση την περιεκτικότητα του μικροβιακού κυττάρου σε C και N και το δεδομένο ότι μόνο το 1/3 του μεταβολιζόμενου C χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς το δε άλλο αποβάλλεται κυρίως ως CO₂, η άριστη σχέση C/N στο ζυμούμενο υλικό υπολογίζεται γύρω στο 30:1. Ωστόσο, τα απορρίμματα (ιδίως με πολύ χαρτί) έχουν δυσμενή λόγο θρεπτικών υλικών (C/N μέχρι 60:1), που μπορεί όμως να βελτιωθεί με την προσθήκη αζωτούχων ενώσεων (π.χ. λάσπη λυμάτων με C/N 12:1). Στο τελικό προϊόν της λιπασματοποιήσεως ο λόγος C/N γίνεται περίπου ίσος με 20, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να δεσμευθεί κατά τη ζύμωση το άζωτο του εδάφους.

Το μέγεθος των τεμαχιδίων του υλικού επηρεάζει την ποσότητα του νερού και αέρα που μπορεί το υλικό να συγκρατήσει κατά τη ζύμωση αλλά και ταυτόχρονα τη διαθέσιμη συνολική επιφάνεια που προσφέρεται στους μικροοργανισμούς για προσβολή. Μια ορισμένη κοκκομετρική σύσταση του υλικού από τεμαχίδια με διάμετρο λίγων χιλιοστών μέχρι και πέντε εκατοστών περίπου θεωρείται ικανοποιητική.

Η θερμοκρασία ζύμωσης του υλικού εξασφαλίζει την ανάπτυξη της κατάλληλης μικροχλωρίδας και ταυτόχρονα τη νέκρωση διάφορων παθογόνων του ανθρώπου και των φυτών όπως επίσης και των σπόρων διάφορων ανεπιθύμητων ζιζανίων και φυτών. Η αποδόμηση των οργανικών ουσιών είναι γενικά εξώθερμη αντίδραση, με αποτέλεσμα να ανεβαίνει αρχικά η θερμοκρασία του σωρού (στους 65-70 °C) και προοδευτικά να ελαττώνεται, με όριο τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν ολοκληρωθεί πρακτικά η αποδόμηση και απομείνει η ωρίμανση.

3.3.4. Συστήματα Κομποστοποίησης

Τα συστήματα κομποστοποίησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ανοικτά και κλειστά συστήματα. Στα ανοικτά συστήματα η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα στην ύπαιθρο ή σε ημίκλειστα κτίρια. Στα κλειστά συστήματα η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε ειδικά σχεδιασμένους βιοαντιδραστήρες ή σε κλειστά κτίρια, απ' όπου είναι εφικτή η απαγωγή και επεξεργασία του αέρα και των οσμών, οι οποίες

αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για πολλές μονάδες κομποστοποίησης, ειδικά όταν είναι εγκατεστημένες κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Πίνακας 3.1: Συστήματα Κομποστοποίησης (Τ.Ε.Ε. , 2007)

| ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ |
|---|--|
| - Αναδευόμενοι σωροί (windrows) - Στατικοί σωροί (aerated static piles - ASP) ● με απορρόφηση αέρα ● με εμφύσηση αέρα ● με μεταβαλλόμενο αερισμό (απορρόφηση και εμφύσηση) ● με εμφύσηση ή/και απορρόφηση αέρα σε συνδυασμό με έλεγχο θερμοκρασίας | Κάθετοι αντιδραστήρες - συνεχούς ροής - ασυνεχούς ροής Οριζόντιοι αντιδραστήρες - στατικοί - με κίνηση του υλικού |

3.3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η κομποστοποίηση σαν μέθοδος έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι μια φυσική βιολογική διεργασία και σαν τέτοια δεν προκαλεί καμιά διαταραχή σε κανένα οικοσύστημα.
- Παρέχει τη δυνατότητα επιστροφής της οργανικής ύλης, με τη μορφή του χούμου, στο έδαφος.
- Συμβάλλει στη διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών κι ακόμη στη μείωση της διάβρωσης σε επικλινείς αναδασωτές περιοχές.

Έχει όμως κι αυτή τα μειονεκτήματά της από τα οποία τα κυριότερα είναι:

- Το μεγάλο κόστος : Το κόστος της λιπασματοποίησης ανά τόνο σκουπιδιών είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος της ελεγχόμενης απόρριψης, ενώ δεν διαφέρει σημαντικά από την απλή καύση. Δεδομένου όμως ότι ένα μέρος της δαπάνης καλύπτεται από τη διάθεση του παραγόμενου compost το τελικό κόστος της λιπασματοποίησης των οικιακών απορριμμάτων , σε πολλές περιπτώσεις, είναι μικρότερο της καύσης αλλά πάντα μεγαλύτερο της ελεγχόμενης απόρριψης.
- Η ανάγκη ταφής τουλάχιστον ενός μέρους από το μη ζυμώσιμο κλάσμα των σκουπιδιών. Το οποίο προέρχεται βασικά από το μη ζυμωμένο κλάσμα (ανόργανα υλικά) και επομένως το ύψος του εξαρτάται: α) από τη σύνθεση των σκουπιδιών και β) από τη δυνατότητα που υπάρχει ή όχι στην περιοχή για τη διάθεση των διαχωριζόμενων μετάλλων, γυαλιών κ.λ.π σε αντίστοιχες βιομηχανίες. Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι αυτό το ποσοστό είναι σχετικά χαμηλό και μηδενικής σχεδόν ρυπαντικής ικανότητας.

3.4 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία κατά την οποία το οργανικό κλάσμα των ενώσεων διασπάται από μικροοργανισμούς απουσία οξυγόνου. Κατά την αναερόβια χώνευση υπάρχουν 4 στάδια όπου το κάθε ένα από αυτά καταλήγει σε διάφορα προϊόντα. Συγκεκριμένα Ο όρος «αναερόβια χώνευση» αναφέρεται στην ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (αναερόβιες συνθήκες) και οδηγεί στην παραγωγή βιοαερίου (ένα μείγμα CH_4 και CO_2 το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας) και ενός υδαρούς υπολείμματος (digestate = χωνεμένη ιλύς). Η χωνεμένη ιλύς μπορεί να διατεθεί απ' ευθείας στο έδαφος ή να υποστεί περαιτέρω αερόβια επεξεργασία για τη σταθεροποίηση της και να μετατραπεί σε compost (με την προϋπόθεση ότι ικανοποιεί κάποια θεσμοθετημένα κριτήρια ποιότητας).

Η αναερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για αρκετές δεκαετίες για την επεξεργασία της βιολογικής ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων ή ρευστών αγροτικών αποβλήτων, αλλά μόνο σχετικά πρόσφατα εφαρμόζεται ως μέθοδος βιοεπεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, συχνά σε συνδυασμό με ιλύ βιολογικών καθαρισμών και / ή κτηνοτροφικά απόβλητα.

Η αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων συχνά αναφέρεται και ως βιοαεριοποίηση (biogasification). Ο τελευταίος όρος υπονοεί τη μερική μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε αέριο (βιοαέριο), κύριο συστατικό του οποίου είναι το καύσιμο μεθάνιο. Η παραγωγή του μεθανίου κάνει την αναερόβια χώνευση μία βιολογική διεργασία μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια (waste to energy). Η αναερόβια χώνευση, η οποία αποτελεί μία διεργασία που λαμβάνει χώρα αυθόρμητα σε αναερόβια περιβάλλοντα, όπως οι ορυζώνες, τα έλη, οι ΧΥΤΑ και οι χωματερές, μπορεί να λειτουργήσει κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες σε ειδικές εγκαταστάσεις, με στόχο τη μεγιστοποίηση του παραγόμενου μεθανίου καθώς και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών προβλημάτων και οχλήσεων (π.χ. διαφυγή μεθανίου, οσμές).



Εικόνα 3.2: Αντιδραστήρας Αναερόβιας Χώνευσης (www.microbiokosmos.org)

Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει βιολογικές διεργασίες που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διακριτές φάσεις:

- Υδρόλυση των πολυμερών οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια και μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ).
- Ζύμωση των παραπάνω διαλυτών προϊόντων και μετατροπή τους σε μια ποικιλία ενδιάμεσων προϊόντων, όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.
- Οξεογένεση, δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου με τη βοήθεια υποχρεωτικά οξεογενών βακτηρίων. Στη φάση αυτή το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.
- Μεθανιογένεση, κατά την οποία τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανιογενή βακτήρια.

Καθεμία από τις παραπάνω φάσεις λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια συγκεκριμένων ομάδων βακτηρίων, τα οποία ταξινομούνται με βάση τις τροφικές τους απαιτήσεις. Ταυτόχρονα, λαμβάνουν χώρα πολλές άλλες αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν και ομάδες βακτηρίων, ανταγωνιστικές με τα μεθανιογενή. Η όλη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από την καλή ισορροπία και συνύπαρξη των παραπάνω ομάδων μικροοργανισμών, καθώς καμία από τις ομάδες δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνη της. Έτσι, για παράδειγμα αν εκλείψουν τα αργά αναπτυσσόμενα μεθανιογενή βακτήρια, τότε το οξικό οξύ και τα άλλα οργανικά οξέα που παράγονται κατά τις προηγούμενες φάσεις δεν θα αποδομούνται και η οξύτητα του συστήματος θα αυξηθεί σταδιακά σε επίπεδα που θα παρεμποδίζουν τόσο τη ζύμωση όσο και την οξεογένεση. Λόγω αυτής της αλληλεξάρτησης, η αναερόβια χώνευση είναι αρκετά πιο ευαίσθητη και απαιτητική διεργασία σε σχέση με την κομποστοποίηση και απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου.

3.5 ΑΛΚΟΟΛΙΚΗ ΖΥΜΩΣΗ

Η αλκοολική ζύμωση είναι μια διαδικασία γνωστή από την αρχαιότητα. Η αιθυλική αλκοόλη $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (αιθανόλη) σχηματίζεται από τη διάσπαση της γλυκόζης κατά τη συνοπτική αντίδραση: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 (\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) + 2\text{CO}_2$.

Συνήθως, χρησιμοποιείται ζύμη, η οποία περιέχει διάφορους σακχαρομύκητες. Πολλοί υδατάνθρακες είναι δυνατό να διασπαστούν σε ζυμώσιμα σάκχαρα και στη συνέχεια να ζυμωθούν και να δώσουν τελικό προϊόν την αιθανόλη. Έτσι, είναι δυνατό να πάρουμε αιθανόλη από άμυλο, ξύλο, άχυρο κτλ. Η αλκοολική ζύμωση σακχαρούχων διαλυμάτων μπορεί να είναι ασυνεχής (Batch Process), ημισυνεχής (Semi-Continuous), ή συνεχής (Continuous). Η πρώτη είναι η συνηθέστερη, αν και η τελευταία είναι δυνατό να έχει μεγαλύτερες αποδόσεις κατά 1-2% και ο χρόνος για την παραγωγή μιας ίδιας ποσότητας προϊόντος είναι αρκετά μικρότερος. Η ασυνεχής διαδικασία είναι απλούστερη και δε χρειάζονται διαδικασίες αποστείρωσης της ζύμης

όπως στη συνεχή, όπου οι επιπτώσεις ενδεχόμενης μόλυνσης της ζύμης είναι πολύ σοβαρότερες.

Ένα πολύ σοβαρότερο πρόβλημα στην παραγωγή αιθανόλης με αλκοολική ζύμωση είναι ότι η ζύμωση σταματά, όταν η συγκέντρωση της αιθανόλης στο διάλυμα φτάσει στο 9-10% περίπου. Επομένως το αρχικό διάλυμα πρέπει να έχει χαμηλή συγκέντρωση σακχάρου (10-10%), οπότε το κόστος για την απόσταξη μιας ποσότητας αιθανόλης είναι σημαντικό. Έχει γίνει προσπάθεια, με θετικά αποτελέσματα, για την ανάπτυξη ειδικών τύπων σακχαρομυκητών που αντέχουν και ζυμώνουν διαλύματα με περιεκτικότητα σε αιθανόλη μέχρι 12%. Παραπέρα έρευνα έχει γίνει για το συνεχή διαχωρισμό της αιθανόλης από τα ζυμούμενα διαλύματα με διάφορες μεθόδους. Τέτοια έρευνα είναι δυνατό να γίνει και στη χώρα μας. Πιστεύουμε ότι, αν δεν έχουν γίνει σοβαρές προσπάθειες μέχρι σήμερα, οφείλεται στο ότι το κόστος των υγρών καυσίμων ήταν χαμηλό.

Το pH του αρχικού διαλύματος για ζύμωση πρέπει να είναι περίπου 4-5. Προστίθεται ζύμη περίπου 5% κατά όγκο. Η οξύτητα μειώνεται με NH_3 . Κατά τη ζύμωση έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος, η οποία πρέπει να διατηρείται στους 30 - 32 °C. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την εξάτμιση νερού και τη διαφυγή του CO_2 καθώς και με κάποιο εναλλάκτη θερμότητας, στον οποίο κυκλοφορεί νερό στη φυσική του θερμοκρασία. Πολύ σπάνια απαιτείται ψύξη με τεχνητά μέσα (σε πολύ θερμά κλίματα).

3.6 ΧΥΤΑ

Οι χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων αποτελούν τον πιο διαδεδομένο αλλά ταυτόχρονα παρωχημένο τρόπο διαχείρισης απορριμμάτων. Η χώρα μας βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό, άνω του 80% στα ΧΥΤΑ. Η κατασκευή ενός ΧΥΤΑ ξεκινάει με το σκάψιμο ενός χώρου στο έδαφος και καλύπτεται από μία μη διαπερατή μεμβράνη. Έπειτα τα απορρίμματα διαστρώνονται σε διαδοχικές στρώσεις των 80 περίπου εκατοστών μέχρι συνολικού πάχους 3 μέτρων. Για περιορισμό της δυσοσμίας, των εντόμων και της πιθανότητας ανάφλεξης τίθεται μεταξύ των στρώσεων αδρανές υλικό πάχους 20 εκατοστών περίπου σαν επικάλυψη (χώμα, άμμος κλπ.). Στο τέλος της εκμετάλλευσης ενός χώρου πρέπει να τοποθετείται μια αργιλική στρώση και από πάνω ένα στρώμα χύματος κατάλληλο για δένδροφύτευση, ώστε να αποκαθίσταται το τοπίο. Αφού θαφτούν στην γη στα σκουπίδια αρχίζει η ζύμωσή τους με συνέπεια να παράγεται βιοαέριο και παράγονται υγρά που ονομάζονται στραγγίσματα. Τα στραγγίσματα συλλέγονται μέσω σωλήνων και επεξεργάζονται με ειδικούς τρόπους ενώ το βιοαέριο που είναι ένα μίγμα μεθανίου, διοξειδίου του άνθρακα και λοιπών αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Η διαφυγή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα καθότι το μεθάνιο είναι ισχυρό θερμοκηπικό αέριο.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό στοιχείο που ποτέ δεν πρέπει να ξεχνιέται, όπως άλλωστε προκύπτει και από την στρατηγική διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, είναι ότι ανεξάρτητα από το ποιο είναι το συνολικό σχήμα διαχείρισης των στερεών αποβλήτων (Ολοκληρωμένα Συστήματα), ένας χώρος υγειονομικής ταφής είναι πάντα απαραίτητος, διότι όποια μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων και να επιλεγεί πάντα υπάρχουν σημαντικές ποσότητες στερεών υπολειμμάτων. Οι χώροι

υγειονομικής ταφής δεν πρέπει να συγχέονται με τους χώρους ανεξέλεγκτης απόρριψης, φαινόμενο ιδιαίτερα συχνό στη χώρα μας, οι οποίοι αποτελούν εστίες ρύπανσης του περιβάλλοντος και πηγές ανάφλεξης. Αντίθετα η υγειονομική ταφή είναι όχι απλώς μια περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης αλλά επίσης ένας άριστος τρόπος για την αξιοποίηση ακρήστων χώρων και για την περιβαλλοντική τους αποκατάσταση. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός χώρου υγειονομικής ταφής προϋποθέτει την εφαρμογή μιας σειράς επιστημονικών, τεχνικών και οικονομικών αρχών.

Οι διεργασίες στους χώρους της Υγειονομικής Ταφής είναι η γήρανση, η αποσάθρωση και η δημιουργία στραγγισμάτων.

Η γήρανση είναι το σύνολο των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο εναποτιθέμενο υλικό που σε κανονικές συνθήκες υγρασίας δεν επηρεάζονται από παράγοντες που προέρχονται από την επιφάνεια. Πρόκειται κυρίως για αναερόβια διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται με την βιολογική αποσύνθεση σε Humus. Παράλληλα συμβαίνει και ισχυρή ορυκτοποίηση με μετατροπή των υδροξειδίων των μετάλλων σε σουλφίδια, ανθρακικά, πυριτικά και φωσφορικά άλατα.

Η αποσάθρωση δρα αντίστροφα. Διαβρώνει το υλικό και σχηματίζει πολλές ευδιάλυτες ουσίες. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ αποσάθρωσης και γήρανσης. Η φυσική αποσάθρωση που οφείλεται στο οξυγόνο και το CO₂, επιδρά με μείωση του pH, διάλυση στερεών λόγω ανθρακικού οξέος και οξείδωση.

Η βιολογική αποσάθρωση οδηγεί σε οξείδωση των οργανικών ουσιών προς CO₂ και των οργανικών αζωτούχων σε οργανικές ενώσεις που περιέχουν και θείο.

Τα στραγγίσματα αφορούν όλες τις ευδιάλυτες ουσίες που σχηματίστηκαν κατά τη γήρανση και τα διαλυτά προϊόντα της γήρανσης και της αποσάθρωσης. Οι ποσότητες τους εξαρτώνται από τη διεισδυτικότητα του νερού και ευνοείται η δημιουργία τους από μεγάλου ύψους στρώματα απορριμμάτων. Η αλληλοεπίδραση των φυσικοχημικών και βιολογικών φαινομένων που εξελίσσονται στη μάζα των απορριμμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία του χώρου διάθεσης.

Η εξεύρεση χώρων για τη διάθεση των απορριμμάτων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η Τοπική Αυτοδιοίκηση. Αυτό οφείλεται στο σχετικά μικρό διαθέσιμο χώρο της κάθε περιοχής, στην κακή διάθεση των απορριμμάτων μέχρι σήμερα (ανεξέλεγκτη απόρριψη), στην αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση των κατοίκων και στο ότι δεν υπάρχει σωστός σχεδιασμός γι' αυτό το τόσο σοβαρό θέμα.

Είναι λοιπόν επιτακτική ανάγκη της εποχής μας να επιλεγούν οι χώροι διάθεσης των απορριμμάτων με αντικειμενικά και σωστά κριτήρια. Ο προσδιορισμός του χώρου πρέπει να συνοδεύεται από στοιχεία που θα αποδεικνύουν ότι πράγματι δεν υπάρχει καταλληλότερος χώρος. Η συλλογή, η κωδικοποίηση και η αξιολόγηση των στοιχείων είναι από τα πλέον βασικά πράγματα για την εξεύρεση και προεπιλογή των χώρων διάθεσης. Από την ορθή συλλογή και την αξιοπιστία των στοιχείων εξαρτάται και η σωστή ή καλύτερη τελική απόφαση της επιλογής του χώρου.

3.6.1. Μέθοδοι Υγειονομικής Ταφής

Βασικό στοιχείο σχεδιασμού ενός χώρου υγειονομικής ταφής αποτελεί η μέθοδος που θα ακολουθηθεί για τη διάσπρωση των απορριμμάτων. Δεν υπάρχει μέθοδος κατάλληλη για όλους τους χώρους. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά από τη μορφολογία του εδάφους και το είδος των απορριμμάτων που θα διατεθούν. Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι: η “επιφανειακή μέθοδος”, η μέθοδος των διαδοχικών τάφρων και η μέθοδος “πλήρωσης λάκκων”. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται ένας συνδυασμός των τριών μεθόδων.

➤ Επιφανειακή Μέθοδος

Εφαρμόζεται όταν είναι δύσκολη η εκσκαφή του εδάφους για τη διάνοιξη τάφρων. Τα απορρίμματα ξεφορτώνονται και διαστρώνονται σε στενές λωρίδες στην επιφάνεια του εδάφους σχηματίζονται στρώσεις βάθους περίπου 50 - 80 cm. Κάθε στρώση συμπιέζεται καθώς προχωρεί η διαδικασία πλήρωσης του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας μέχρις ότου το πάχος των συμπιεσμένων απορριμμάτων φθάσει τα 2,50 – 3 μέτρα. Στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα καλύπτονται με στρώση κατάλληλου αδρανούς υλικού, πάχους περίπου 15 - 30 cm το οποίο επίσης πρέπει να συμπιεσθεί. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται από εκσκαφές στο γύρω χώρο, ή μεταφέρεται με φορτηγά από αλλού.

➤ Μέθοδος Διαδοχικών Τάφρων

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται όταν στο χώρο υπάρχει υλικό επικάλυψης σε αρκετό βάθος και όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ χαμηλός. Τα απορρίμματα αποτίθενται σε τάφρους μήκους 30 - 120 m, βάθους 1 -2 m και πλάτους 5 -8 m.

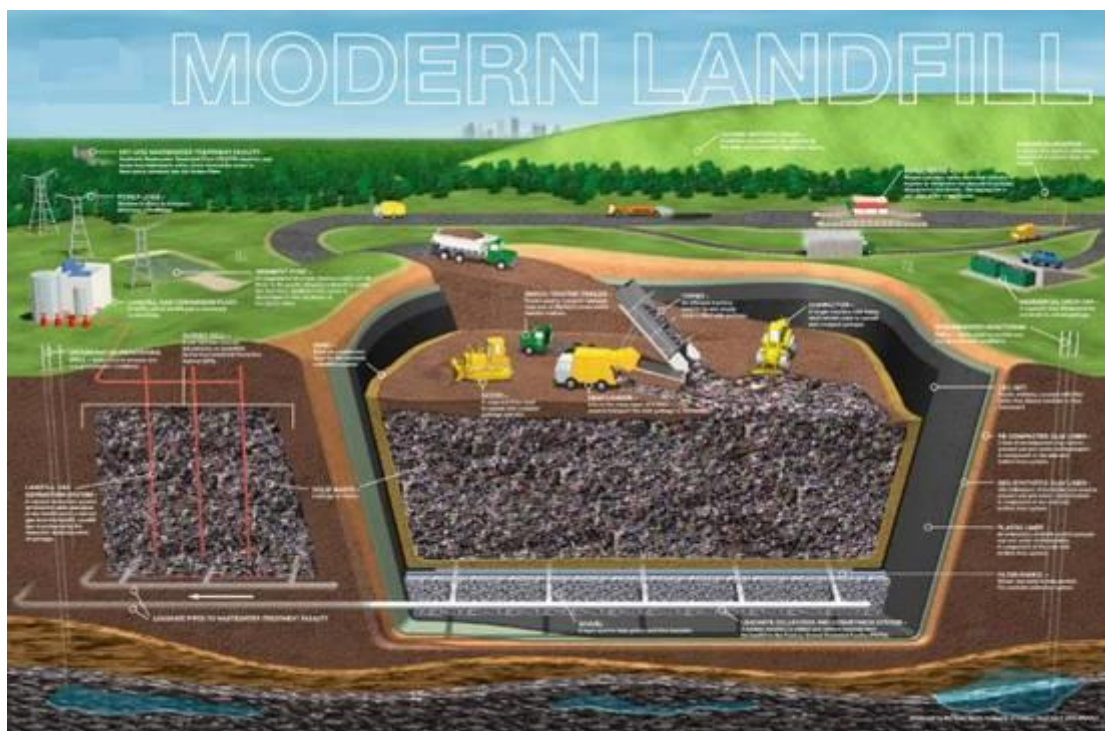
Στην αρχή της διαδικασίας γίνεται εκσκαφή ενός τμήματος της τάφρου και το χώμα αποτίθεται σε σωρό, στο πίσω μέρος της πρώτης τάφρου. Τα απορρίμματα κατόπιν αποτίθενται στην τάφρο, διαστρώνονται σε λεπτές στρώσεις πάχους 50 - 80 cm και συμπιέζονται. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος. Το μήκος της τάφρου που χρησιμοποιείται κάθε μέρα πρέπει να υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε στο τέλος της ημέρας τα απορρίμματα να έχουν φθάσει το επιθυμητό ύψος, το μήκος επίσης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις των απορριμματοφόρων που έρχονται να ξεφορτώσουν. Το υλικό επικάλυψης εξασφαλίζεται με την εκσκαφή της διπλανής τάφρου ή συνεχίζοντας την εκσκαφή της τάφρου που ήδη χρησιμοποιείται.

➤ Μέθοδος πλήρωσης κοιλοτήτων του εδάφους

Σε περιοχές που υπάρχουν φυσικές ή τεχνητές κοιλοότητες του εδάφους (χαράδρες, ρεματιές, ορυχεία, λατομεία), μπορούν κάλλιστα αυτές να χρησιμοποιηθούν για υγειονομική ταφή απορριμμάτων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διάσπρωση και συμπίεση των απορριμμάτων στις διάφορες κοιλοότητες εξαρτώνται από τη γεωμετρία του χώρου, τα χαρακτηριστικά του υλικού επικάλυψης, την υδρολογία και γεωλογία της περιοχής και την δυνατότητα πρόσβασης.

Σε χαράδρες που ο πυθμένας είναι κάπως επίπεδος η πρώτη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί όπως στη μέθοδο των διαδοχικών τάφρων που αναφέρθηκε παραπάνω.

Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων. Επίσης μπορεί στον ίδιο χώρο να χρησιμοποιηθούν περισσότερες της μίας μέθοδοι. Αν για παράδειγμα στα περισσότερα σημεία του πυθμένα ενός χώρου υπάρχει ένα μεγάλο πάχος χώματος ενώ στα υπόλοιπα το χώμα είναι πολύ ρηχό, μπορεί να διανοιχτούν τάφροι, όπου αυτό είναι δυνατόν και το χώμα που θα εξασφαλισθεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό επικάλυψης και για τον υπόλοιπο χώρο που θα χρησιμοποιηθεί η επιφανειακή μέθοδος.



Εικόνα 3.8: Διάταξη σύγχρονων ΧΥΤΑ (www.wtert.gr)

3.7 ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΓΩΓΗ

Με χημικές και φυσικές μεθόδους μετατρέπεται η βιομάζα σε χρήσιμο υγρό καύσιμο ή υποκατάστατο φυσικού αερίου (Substitute Natural Gas = SNG). Χρησιμοποιούνται αλκαλικοί καταλυτές (π.χ. Na_2CO_3) και ατμός σε θερμοκρασίες 300-4000 °C. Η πίεση είναι 14-28*106N/m και η πρώτη ύλη (κυρίως κυτταρίνη) περιέχει περίπου 85% νερό. Χρειάζεται επίσης ισχυρή ανάδευση και παράγεται ένα υγρό καύσιμο (λάδι) με τον εμπειρικό τύπο $(\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O})_n$. Το ενεργειακό περιεχόμενο είναι 40 MJ/kg. Οι χημικές αντιδράσεις, που οδηγούν στο τελικό προϊόν, δεν έχουν διευκρινιστεί τελείως. Με τις συνθήκες της αντίδρασης σχηματίζεται υδρογόνο $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Το υδρογόνο ανάγει τους υδατάνθρακες σε υδρογονάνθρακες.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μετατρέπονται τόσο η κυτταρίνη όσο και η λιγνίνη που περιέχονται στους ξυλώδεις ιστούς. Ακόμα και τοξικές ουσίες είναι δεκτές, πράγμα σημαντικό για τη χρησιμοποίηση των αποβλήτων.

3.8 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η πρώτη κατηγορία μηχανολογικού εξοπλισμού που διατίθεται για την προεπεξεργασία των απορριμμάτων είναι οι κατεργαστές (processors), οι οποίοι επιτυγχάνουν την ελάττωση του όγκου, το σχίσιμο των σακουλών και την αποκατάσταση της ομοιομορφίας. Οι συσκευές αυτές συνοδεύονται από βοηθητικό εξοπλισμό όπως σιλό και μεταφορικές ταινίες. Οι σημαντικότερες συσκευές κατεργασίας είναι οι θραυστήρες κρούσης, οι σφυρόμυλοι, οι περιστροφικοί κόπτες, οι θραυστήρες κυλίνδρου, οι σφαιρόμυλοι και οι θραυστήρες σιαγόνων.

Η δεύτερη κατηγορία μηχανολογικού εξοπλισμού είναι οι διαχωριστές (separators), οι οποίοι επιτυγχάνουν τον διαχωρισμό της εισερχόμενης μάζας των απορριμμάτων σε δύο ρεύματα, όπου το ένα περιέχει το προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση, ενώ το άλλο είναι απαλλαγμένο από την παρουσία του. Οι πιο διαδεδομένες συσκευές διαχωρισμού είναι τα κόσκινα (δονούμενα, περιστροφικά, κόσκινα Mogensen), οι τράπεζες διαχωρισμού (διαχωρισμός με βάση τη βαρύτητα, την τριβή και την υδραυλική ροή), οι βαλλιστικοί διαχωριστές, οι αεροδιαχωριστές, οι ηλεκτρομαγνητικοί διαχωριστές, οι διαχωριστές με ρεύματα Eddy (διαχωρισμός αλουμινίου), οι οπτικοί διαχωριστές και οι διαχωριστές με επίπλευση αφρού.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικότερες συσκευές-μηχανήματα :

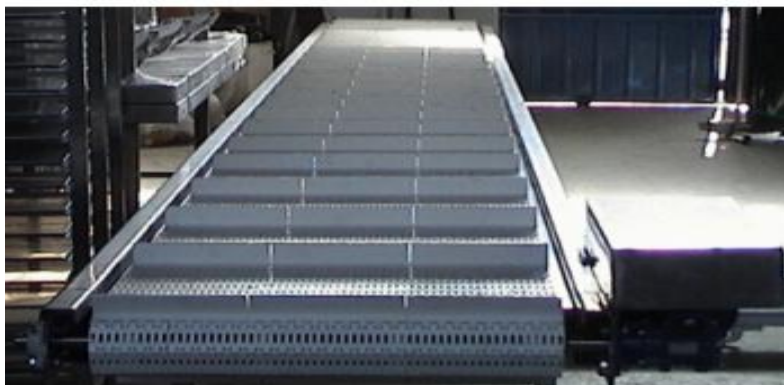
- ❖ Χοάνες υποδοχής απορριμμάτων: Τοποθετούνται τόσο στην αρχή της γραμμής επεξεργασίας των απορριμμάτων όσο και στα ενδιάμεσα στάδια. Οι χοάνες της αρχικής υποδοχής κατασκευάζονται κυρίως από οπλισμένο σκυρόδεμα μετά από κατάλληλη διαμόρφωση του εδάφους (τάφρος) και των τοιχωμάτων τους, ώστε τα απορρίμματα να οδηγούνται στον πυθμένα όπου είναι εγκατεστημένος ταινιόδρομος για την απαγωγή ή μεταφορά τους στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Το σχήμα της τάφρου αρχικής παραλαβής δε θα έχει τη διατομή χοάνης αλλά θα είναι μία απλή παραλληλεπίπεδος τάφρος, μόνον όταν η απαγωγή των απορριμμάτων γίνεται μέσω γερανογέφυρας εφοδιασμένης με μηχανική ή υδραυλική αρπάγη. Οι χοάνες των ενδιάμεσων σταδίων είναι μεταλλικές και φυσικά μικρότερων διαστάσεων. Σχεδόν πάντοτε κατασκευάζονται από συγκολλημένα ελάσματα θερμής έλασης και στερεώνονται στο μηχανισμό που τροφοδοτούν με φλάντζες. Εφόσον απαιτείται αυξημένη μηχανική αντοχή, οι πλευρές της χοάνης μορφοποιούνται με πρέσες πριν από την τελική συγκόλληση ή ενισχύονται με νευρώσεις.
- ❖ Θραυστήρες πλαστικών σάκων: Τα συστήματα θραύσεως των σάκων έχουν διαφορές στην κατασκευή τους. Αντιπροσωπευτικότερα είναι το σύστημα μύλου άλεσης (δε διαφέρει από μύλο παρά στις αυξημένες ανοχές μεταξύ των περιστρεφόμενων μαχαιριών κοπής ώστε να σχίζεται μόνον ο σάκος και να μην τεμαχίζεται το περιεχόμενο), το σύστημα παλινδρομικής χτένας (τα δόντια της οριζοντίως παλινδρομούσας χτένας έχουν τέτοιες ανοχές ώστε να σχίζονται

μόνον οι σάκοι) και το σύστημα οδοντοφόρων κυλιόμενων αλυσίδων (οι κυλιόμενες αλυσίδες φέρουν στερεωμένα μεταξύ των αρθρώσεών τους αιχμηρά δόντια).



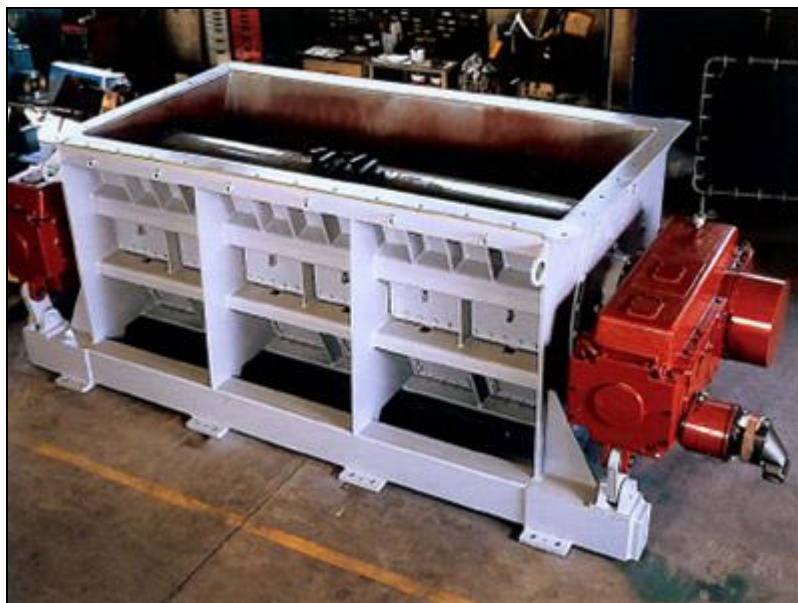
Εικόνα 3.3: Θραυστήρας σε Χυτά (www.mascus.gr)

- ❖ Ταινιόδρομοι (ταινίες μεταφοράς): Αυτός ο τρόπος της μεταφοράς αποτελεί κανόνα, από την αρχή της παραλαβής μέχρι και μετά το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των απορριμμάτων, όπου οδηγούνται με τις ταινίες μεταφοράς στα δοχεία συλλογής των υποπροϊόντων ή στον τόπο εναπόθεσης. Οι μεταφορικές ταινίες αποτελούνται από τη μεταλλική κατασκευή έδρασης, τα ελεύθερα περιστρεφόμενα ράουλα- οδηγούς (επάνω στα οποία κινείται η ταινία της οποίας το φορτίο υποβαστάζουν), την ταινία μεταφοράς και το μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης. Η ταινία αποτελείται από χαλύβδινα αρθρωτά τμήματα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με πείρους, ή από συνθετικό ιμάντα ενισχυμένο με στρώσεις λινών. Ο μηχανισμός κίνησης αποτελείται συνήθως από ηλεκτροκινητήρα-μειωτήρα-ράουλα κίνησης της ταινίας.



Εικόνα 3.4: Ταινιόδρομος Μεταφοράς(Tecnica Inox A.E)

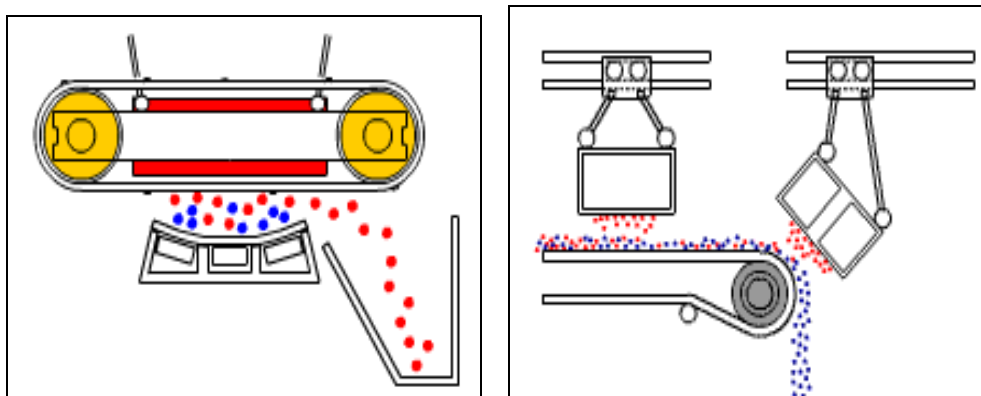
- ❖ Μύλοι (λειτουργησιτές): Στις συσκευές αυτές λαμβάνει χώρα λειτουργησιμός απορριμμάτων, τα οποία στην έξοδό τους έχουν συγκεκριμένη ογκομετρική σύσταση που εξαρτάται από το επόμενο επιθυμητό στάδιο επεξεργασίας τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι όπως ο βαλλιστικός μύλος με διπλό κόσκινο, ο σφυρόμυλος με διπλό κύλινδρο, ο μύλος πρόσκρουσης, ο μύλος με μαχαίρια (μύλος-κόπτης), ο μύλος με μαχαίρια-τύμπανα, ο μύλος με περιστρεφόμενα ψαλίδια, ο σφαιρόμυλος, ο μύλος σωλήνα τρίφτη, οι διαδοχικοί σφαιρόμυλοι, ο απλός τεμαχιστής και ο κάθετος τεμαχιστής. Οι τύποι αυτοί ομαδοποιούνται περαιτέρω σε δύο γενικές κατηγορίες, εκείνους με κατακόρυφο άξονα περιστροφής των μαχαιριών και εκείνους με έναν (μύλοι πρόσκρουσης ή μύλοι με τύμπανο) ή δύο (σφυρόμυλοι) οριζόντιους άξονες περιστροφής. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει ο περιστρεφόμενος άξονας (ένας ή δύο, κατακόρυφος ή οριζόντιος), ο οποίος εδράζεται μέσω ένσφαιρων εδράνων ολίσθησης στα μεταλλικά τοιχώματα του κελύφους και στον οποίο τοποθετούνται τα μαχαίρια, σφυριά ή οι δίσκοι της άλεσης. Η κίνηση μεταδίδεται στους άξονες είτε απευθείας είτε από μειωτήρα μέσω τροχαλιών και ιμάντων. Η ειδική τεχνολογία στον κάθε λειτουργησιστή αφορά στη μορφή του κελύφους (ανοχές μεταξύ των περιστρεφόμενων και των σταθερών μαχαιριών που είναι αναρτημένα στο κέλυφος και βαλλιστική εξαγωγή των ογκωδών αντικειμένων από ειδική θυρίδα), στο σχεδιασμό των μαχαιριών ή δίσκων (ανοχές μεταξύ αυτών, υπολογισμένες ειδικά για τον τεμαχισμό συγκεκριμένων υλικών και σε συνάρτηση με την επιθυμητή τελική ογκομετρική τους σύσταση) και στη μεταλλουργία των διαφόρων εξαρτημάτων (αντοχή σε μηχανική φθορά και διάβρωση).



Εικόνα 3.5: Τεμαχιστές ογκωδών Αντικειμένων (ΑΡΒΙΣ Α.Ε)

- ❖ Μαγνητικοί διαλογείς: Με τους ηλεκτρομαγνήτες ή τα μαγνητικά ράουλα επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των μικρών σιδηρούχων αντικειμένων. Ένα συγκρότημα ηλεκτρομαγνήτη περιλαμβάνει το ηλεκτρολογικό μέρος (αποτελείται συνήθως από περιέλιξη συνδεδεμένη με συνεχές ρεύμα για τη δημιουργία του μαγνητικού πεδίου), το μεταλλικό περίβλημα (περιλαμβάνει και την ηλεκτρική μόνωση), τον ατέρμονα σύνθετο ιμάντα (κινείται γύρω από το κιβώτιο του ηλεκτρομαγνήτη) και το μηχανισμό έδρασης και κίνησης αυτού (αποτελείται από 3-4 μεταλλικά ράουλα, τη φέρουσα μεταλλική κατασκευή έδρασης των ραούλων

και των μειωτήρα μετάδοσης κίνησης σε συνήθως ένα από αυτά). Στην περίπτωση μαγνητικών ραούλων ο διαχωρισμός των μεταλλικών αντικειμένων γίνεται στο τέλος των ταινιόδρομων μεταφοράς, τοποθετώντας στη θέση του ραούλου έλξης ένα ράουλο κατασκευασμένο από δίσκους μονίμου μαγνήτη. Με τον τρόπο αυτό, ενώ το ράουλο περιστρέφεται έλκοντας την ταινία, συγχρόνως έλκει τα σιδηρούχα που μένουν προσκολλημένα σε αυτήν μέχρις ότου αυτή τα απομακρύνει από το μαγνητικό πεδίο του ραούλου. Τότε αυτά αποκολλώνται και πέφτουν σε κάδο συλλογής, διαχωριζόμενα με τον τρόπο αυτό από το υπόλοιπο ρεύμα.



Εικόνα 3.6 : Μαγνητικοί διαλογείς (ΑΡΒΙΣ Α.Ε)

- ❖ **Κόσκινα:** Με τα μηχανικά κόσκινα επιτυγχάνεται η ταξινόμηση των υλικών σε ομάδες ανάλογα με το μέγεθος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι όπως το κόσκινο δόνησης, το κόσκινο τύμπανου ανάμιξης-ομογενοποίησης και το απλό κόσκινο τύμπανου. Τα δονητικά κόσκινα είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε οι δονήσεις να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την επιφάνεια για να επιτυγχάνεται σωστή επιστρωμάτωση του υλικού. Η κίνηση επιτυγχάνεται μέσω του κινητήρα ιμάντων-τροχαλιών ή απευθείας με σύζευξη (συμπλέκτης). Το κόσκινο στηρίζεται στο βασικό πλαίσιο και στα ελατήρια. Η δόνηση, ο αριθμός των ταλαντώσεων και η γωνία του κόσκινου ορίζονται ανάλογα με το υλικό. Μεταξύ έδρασης και κόσκινου υπάρχουν αποσβεστικά ελατήρια υψηλής αντοχής.



Εικόνα 3.7: Κόσκινο περιστρεφόμενο (ΑΡΒΙΣ Α.Ε)

- ❖ Διαχωριστές: Υπάρχουν διάφοροι τύποι διαχωριστών όπως ο ζικ-ζακ αεροδιαχωριστήρας, ο περιστρεφόμενος αεροδιαχωριστήρας, ο απλός αεροδιαχωριστήρας, ο βαλλιστικός διαχωριστήρας, ο ηλεκτρομαγνητικός αεροδιαχωριστήρας ιμάντα, το μαγνητικό τύμπανο, το ηλεκτρομαγνητικό τύμπανο και ο οπτικός διαχωριστήρας. Στους βαλλιστικούς διαχωριστές συνήθως διαχωρίζονται τα οργανικά από τα ανόργανα μέρη. Οι βαλλιστικοί διαχωριστές ουσιαστικά αποτελούνται από τη χοάνη τροφοδοσίας του μύλου, το βαλλιστικό μύλο, τα διαφράγματα και τις χοάνες διαχωρισμού των υλικών και τη φέρουσα κατασκευή. Ο βαλλιστικός μύλος αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο άξονα που εδράζεται σε έδρανα εγκατεστημένα στις φωλιές του συνήθως χυτοσιδηρού κελύφους και επί του οποίου είναι τοποθετημένα δύο χαλύβδινα πτερύγια που προκαλούν την εκτόξευση των τεμαχίων. Η κίνηση μεταδίδεται στον άξονα από ηλεκτροκινητήρα με μειωτήρα, τροχαλίες και ιμάντα. Μία εγκατάσταση αεροδιαχωρισμού περιλαμβάνει ουσιαστικά τον ανεμιστήρα, τους αεραγωγούς και το φυγοκεντρικό διαχωριστή (κυκλώνιο). Ο χρησιμοποιούμενος ανεμιστήρας είναι συνήθως φυγοκεντρικός. Οι αεραγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από γαλβανισμένη λαμαρίνα θερμής έλασης. Επειδή ο αεροδιαχωρισμός των υλικών γίνεται πρώτα στους αεραγωγούς και κατόπιν στο κυκλώνιο, η ιδιαιτερότητα των χρησιμοποιούμενων και δοκιμαζόμενων τεχνολογιών έγκειται κυρίως στο σχεδιασμό των αεραγωγών. Συνήθως καθορίζεται ένα σχήμα "ζικ-ζακ" στα κατακόρυφα τμήματά τους, γιατί η διαδρομή αυτή προκαλεί την ταχύτερη απώλεια της κινητικής ενέργειας των βαρύτερων αντικειμένων και συνήθως την κατακρήμνισή τους επιτυγχάνοντας καλύτερο διαχωρισμό των υλικών. Στο κυκλώνιο επιτυγχάνεται πλήρης απαλλαγή του αέρα από τα εκεί πνευματικώς μεταφερθέντα στερεά και το ρεύμα αέρα οδηγείται πίσω στον κύκλο του ή απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα.

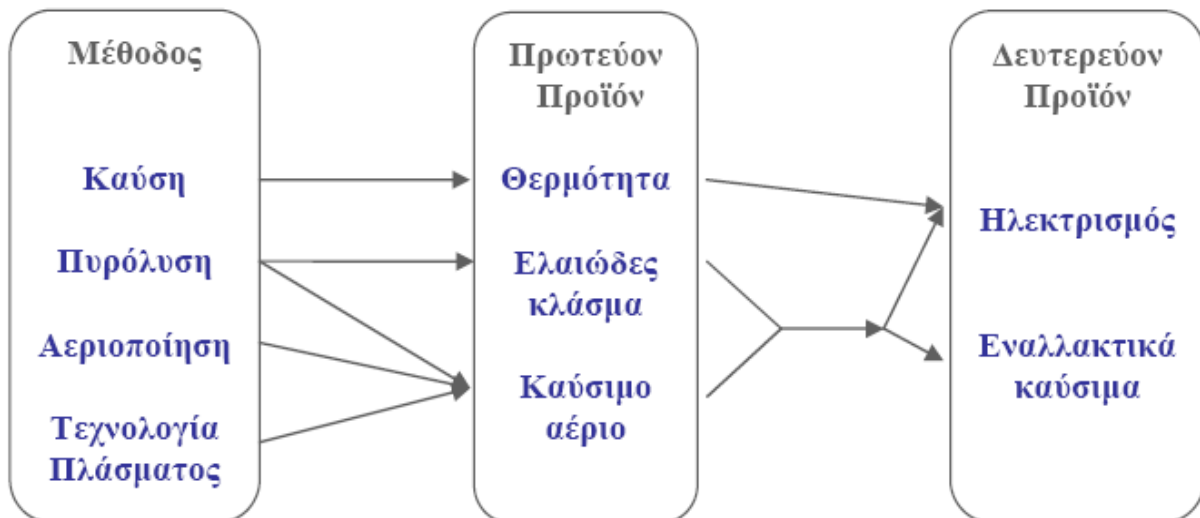
4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος θερμική επεξεργασία παλαιότερα συνδεόταν άμεσα με μια κυρίως τεχνολογική επιλογή, την καύση των αποβλήτων. Εξαιτίας όμως της αυστηρότερης νομοθεσίας με την πάροδο των χρόνων για τις αέριες εκπομπές (π.χ. διοξίνες, φουράνια) και το στερεό υπόλειμμα της διεργασίας (π.χ. τοξική τέφρα με βαρέα μέταλλα), αυξήθηκε το ενδιαφέρον για σύγχρονες τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, όπως είναι η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η τεχνολογία πλάσματος.

Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας(Θ.Ε) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: αποτέφρωση - καύση (incineration - combustion), αεριοποίηση (gasification), πυρόλυση (pyrolysis) και τεχνική του πλάσματος (plasma technology). Τα συστήματα θερμικής επεξεργασίας κατηγοριοποιούνται με βάση τη ζήτηση οξυγόνου:

- Στοιχειομετρική καύση (καύση των απορριμμάτων με παροχή της ακριβούς ποσότητας οξυγόνου που προβλέπεται από την στοιχειομετρία των αντιδράσεων).
- Καύση με περίσσια οξυγόνου.
- Αεριοποίηση (μερική καύση των απορριμμάτων σε υπο-στοιχειομετρικές συνθήκες για την παραγωγή καύσιμου αερίου που περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και καύσιμους υδρογονάνθρακες).
- Πυρόλυση (θερμική επεξεργασία των απορριμμάτων απουσία οξυγόνου).



Σχήμα 4.1 : Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας (Belgiorno et al. 2003)

Οι σημαντικότεροι στόχοι της Θ.Ε. είναι:

- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ.
- Η αδρανοποίηση τους (μετατροπή τους σε υλικά λιγότερο επιβλαβή).
- Η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμης τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα, καύσιμη ύλη).

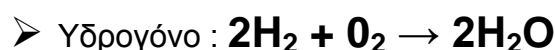
Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων (ΣΑ) διαθέτει τα εξής βασικά πλεονεκτήματα:

- Μειώνει τον όγκο τους έως και 90% & τη μάζα τους έως και 70%.
- Μπορεί να σχεδιασθεί τόσο για μικρές όσο και για μεγάλες ποσότητες αποβλήτων.
- Επιτυγχάνεται ανάκτηση και αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο) στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της ΘΕ είναι:

- Υψηλό κόστος κατασκευής & λειτουργίας
- Ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού.
- Δυσκολία αξιοποίησης της παραγόμενης θερμότητας (ιδίως σε μικρές εγκαταστάσεις).
- Χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- Εκπομπές επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων.

Οι βασικές αντιδράσεις για τη στοιχειομετρική καύση του άνθρακα, του υδρογόνου και του θείου που περιέχονται στα στερεά απορρίμματα είναι οι παρακάτω:



Σε ότι αφορά τη θερμότητα που εκλύεται κατά την καύση, αυτή εν μέρει αποθηκεύεται στα προϊόντα της καύσης και εν μέρει μεταφέρεται μέσω μεταφοράς, μετάδοσης, και ακτινοβολίας στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, στο εισερχόμενο καύσιμο και στο σχηματιζόμενο στερεό υπόλειμμα της καύσης. Αν είναι γνωστή η στοιχειακή σύσταση των απορριμμάτων, το ενεργειακό τους περιεχόμενο μπορεί να υπολογιστεί από την τροποποιημένη εξίσωση του Dulong:

$$\text{Btu / lb} = 145 * \text{C} + 61p * (\text{H}_2 - 1/8 \text{O}_2) + 40 * \text{S} + 10 * \text{N}$$

Όπου C, H₂, O₂, S και N τα ποσοστά % κ.β. των άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου, θείου και αζώτου στα απορρίμματα.

Η πλέον διαδεδομένη από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας με πολλές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη είναι η καύση όπου αξιοποιείται μόνο η θερμική ενέργεια των καυσαερίων της διεργασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Δύο είναι τα βασικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας; τα πολυδάπανα συστήματα καθαρισμού που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της παραγωγής διοξεινίων, φουρανίων και άλλων τοξικών αέριων ρύπων και το τοξικό στερεό υπόλειμμα που μένει ως παραπροϊόν της διεργασίας και το οποίο πρέπει να υποστεί ειδική επεξεργασία πριν εναποτεθεί στους διαθέσιμους ΧΥΤΑ.

Από τις άλλες τρεις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, η πυρόλυση και η αεριοποίηση αποτελούν εδώ και αρκετά χρόνια τεχνολογίες δοκιμασμένες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά καύσιμα (κάρβουνο, pet coke), ενώ τα τελευταία χρόνια, όσον αφορά την επεξεργασία αποβλήτων, παρατηρείται αύξηση στις μονάδες που λειτουργούν εμπορικά. Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι δύο αυτές μέθοδοι όταν το υλικό τροφοδοσίας είναι τα απόβλητα, σχετίζονται με την εν γένει ανομοιογένεια αυτού του υλικού τροφοδοσίας που προκαλεί προβλήματα στην διεργασία και διακυμάνσεις στην ποιότητα των πρωτευόντων προϊόντων (του φυσικού αερίου όσο και του ελαιώδους κλάσματος), με αποτέλεσμα αυτά να μην μπορούν να οδηγηθούν αποδοτικά προς αξιοποίηση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή εναλλακτικών καυσίμων.

4.2 ΚΑΥΣΗ

4.2.1. Εισαγωγή

Η καύση των απορριμμάτων αποτελεί μία σημαντική εναλλακτική περίπτωση διαχείρισης απορριμμάτων, η οποία δεν έχει τύχει ακόμη καμιάς εφαρμογής στην Ελλάδα. Με τον όρο "Καύση Απορριμμάτων" δεν εννοείται βέβαια η ανεξέλεγκτη καύση διαφόρων ειδών απορριμμάτων σε ανεξέλεγκτες χωματερές ή υπαίθριους χώρους. Εννοείται η θερμική καταστροφή των καταλλήλων προς καύση απορριμμάτων σε ειδικές εγκαταστάσεις με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας. Καύση είναι η χημική οξείδωση των απορριμμάτων παρουσία αέρα, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό αερίων προϊόντων, κυρίως αζώτου, διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών, και στερεών προϊόντων (τέφρας). Μέρος της εκλυόμενης κατά την παραπάνω αντίδραση ενέργειας μπορεί να ανακτηθεί με εναλλαγή θερμότητας από τα αέρια προϊόντα της καύσης. Σε πολλές Ευρωπαϊκές Χώρες, και όχι μόνο, η καύση αποτελεί βασική μέθοδο επεξεργασίας απορριμμάτων και μάλιστα κερδίζει ολοένα και περισσότερους υποστηρικτές. Στον Πίνακα 4.1, φαίνεται ο αριθμός των εργοστασίων αποτέφρωσης που βρίσκονται σε λειτουργία σε διάφορες Ευρωπαϊκές Χώρες, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία.

Πίνακας 4.1: Εργοστάσια καύσης στην Ευρώπη. (Eurostat, 2006).

| ΧΩΡΑ | ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΥΣΗΣ |
|----------|-------------------|
| ΒΕΛΓΙΟ | 9 |
| ΔΑΝΙΑ | 68 |
| ΓΕΡΜΑΝΙΑ | 154 |
| ΕΛΛΑΔΑ | - |
| ΓΑΛΛΙΑ | 305 |
| ΟΛΛΑΝΔΙΑ | 14 |
| ΑΥΣΤΡΙΑ | 9 |
| ΙΤΑΛΙΑ | 164 |
| ΝΟΡΒΗΓΙΑ | 9 |
| ΣΛΟΒΑΚΙΑ | 92 |
| ΙΣΠΑΝΙΑ | 13 |



Διάγραμμα 4.1: Εργοστάσια Καύσης στις ΗΠΑ (Κυρκίτσος 2009)

4.2.2. Συστήματα Κάυσης

Τα συστήματα καύσης απορριμμάτων μπορούν να τροφοδοτηθούν με δύο τύπους καυσίμων: (α) στερεά απορρίμματα ως έχουν (Commingled Solid Waste), και (β) καύσιμα που έχουν προκύψει από την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων (refuse-derived-fuels RDF).

4.2.2.1. Συστήματα μη επεξεργασμένων απορριμμάτων

Στα συστήματα αυτού του τύπου η επεξεργασία που υπόκεινται τα στερεά απορρίμματα πριν από την καύση είναι υποτυπώδης. Μια τέτοια εγκατάσταση διαθέτει ένα σύστημα αρπάγης που τροφοδοτεί το θάλαμο καύσης με απορρίμματα. Ο χειριστής του συστήματος αυτού είναι υπεύθυνος για την απομάκρυνση τυχόν αντικειμένων που δεν πρέπει να τροφοδοτηθούν προς καύση. Παρόλα αυτά, η διαστασιολόγηση και σχεδίαση του συστήματος καύσης γίνεται με βάση το σκεπτικό ότι κάθε είδους αντικείμενο, ανεξάρτητα από το μέγεθός του (π.χ. ψυγείο) ή τη σύστασή του (π.χ. τοξικές ουσίες), μπορεί να διαφύγει της αντίληψης του χειριστή και να εισέλθει στο θάλαμο καύσης.

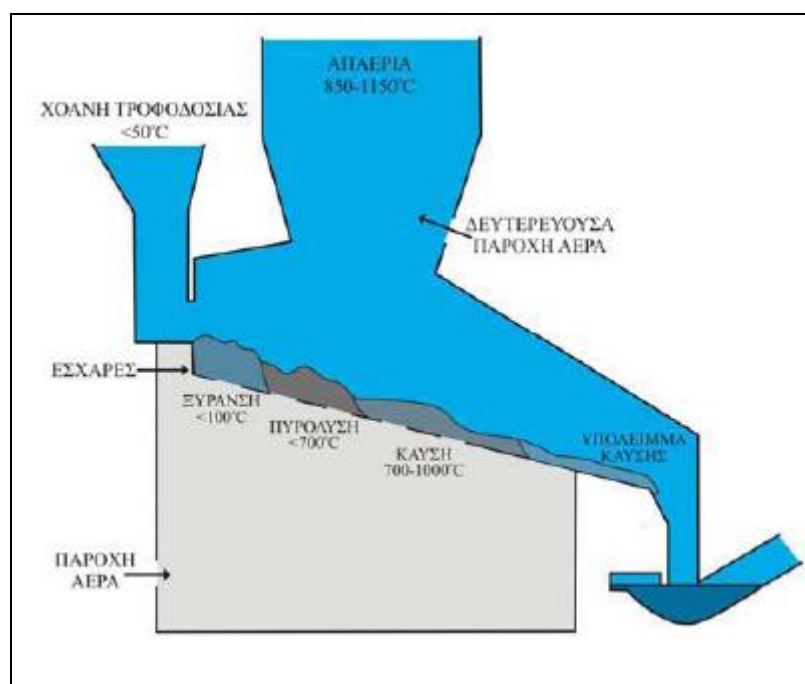
Το ενεργειακό περιεχόμενο των μη επεξεργασμένων απορριμμάτων μπορεί να κυμαίνεται ευρύτατα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, την εποχή του έτους και τις πηγές των απορριμμάτων. Ένα από τα κρισιμότερα σημεία της σχεδίασης και λειτουργίας ενός συστήματος καύσης μη επεξεργασμένων απορριμμάτων είναι η εσχάρα (grate) του θαλάμου καύσης, η οποία εκτελεί πολλαπλές λειτουργίες, από την προώθηση των απορριμμάτων στην εστία καύσης και την ανάμιξη των απορριμμάτων, ως την τροφοδοσία του αέρα καύσης. Πλήθος σχεδιαστικών λύσεων

έχουν προταθεί από διάφορους κατασκευαστές, συμπεριλαμβανομένων περιστρεφόμενων, παλινδρομικών και κυλιόμενων συστημάτων.

4.2.2.2. Συστήματα επεξεργασμένων απορριμμάτων

Τα επεξεργασμένα στερεά απορρίμματα καίγονται συνήθως σε κυλιόμενες εσχάρες (εικόνα 4.1) ειδικά κατασκευασμένες για τον συγκεκριμένο τύπο καυσίμου. Ικανοποιητικά αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί όμως και σε συστήματα του ίδιου τύπου που είχαν αρχικά σχεδιαστεί για να τροφοδοτούνται με γαιάνθρακα. Στα συστήματα αυτά ο αέρας της καύσης διοχετεύεται κάτω από την εσχάρα, έτσι ώστε να ενισχύει την ανάμιξη των απορριμμάτων και την ομοιομορφία της καύσης.

Η επεξεργασία των απορριμμάτων πριν από την καύση συνίσταται αρχικά στην απομάκρυνση μετάλλων, γυαλιών και άλλων άκαυστων συστατικών. Στη συνέχεια, τα εναπομένοντα συστατικά μορφοποιούνται σε παλέτες (pelets) ή κύβους μικρών διαστάσεων ή παραμένουν στην κατατεμαχισμένη μορφή που εξήλθαν από τους θρυμματοποιητές (shredders). Το τελικώς παραγόμενο από την παραπάνω διαδικασία καύσιμο, ύστερα από σχετική ομογενοποίηση, χαρακτηρίζεται από το λιγότερο κυμαινόμενο και υψηλότερο θερμιδικό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους, σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα απορρίμματα.

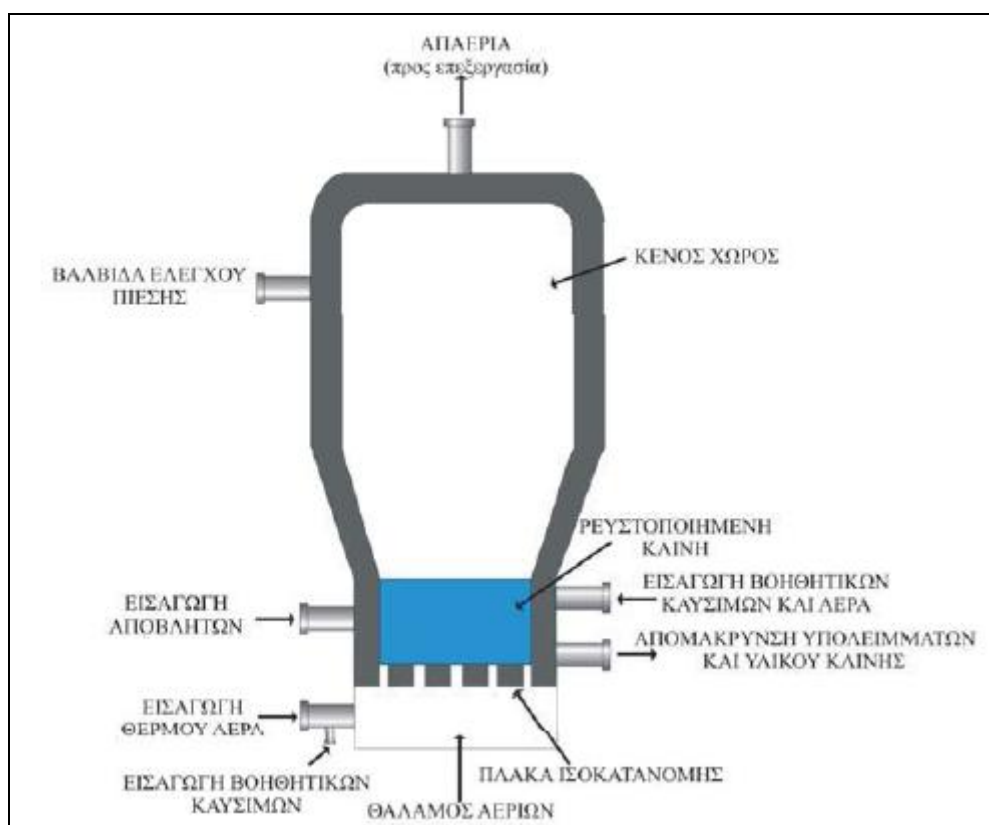


Εικόνα 4.1: Καύση με κινούμενες εσχάρες (Γιδαράκος, 2006).

Πλεονέκτημα των συγκεκριμένων συστημάτων καύσης είναι οι περιορισμένες διαστάσεις τους σε σχέση με τα συστήματα που καίνε μη επεξεργασμένα απορρίμματα. Επιπρόσθετα, τα εν λόγω συστήματα παρέχουν βελτιωμένες δυνατότητες ελέγχου των συνθηκών καύσης και περιορισμού των εκλυόμενων αερίων εκπομπών, συνέπεια της ομογενούς σύστασης των απορριμμάτων.

4.2.2.3. Συστήματα Ρευστοποιημένης κλίνης

Οι μονάδες ρευστοποιημένης ή ρευστοστερεάς κλίνης, στην απλούστερή τους μορφή, αποτελούνται από ένα κατακόρυφο κύλινδρο (εικόνα.4.2) επενδυμένο από πυρίμαχα υλικά, μια κλίνη άμμου, μια εσχάρα υποστήριξης και μια σειρά ακροφυσίων αέρα. Όταν αέρας διοχετεύεται στο εσωτερικό του κυλίνδρου διαμέσου των ακροφυσίων, η άμμος έρχεται σε αιώρηση και αναπτύσσεται σε διπλάσιο ύψος σε σχέση με αυτό που καταλάμβανε κατά τη φάση της ηρεμίας της. Το καύσιμο εισέρχεται πάνω ή κάτω από την αιωρούμενη κλίνη της άμμου, αναμειγνύεται με τους κόκκους της άμμου και αναφλέγεται αφού ανακτήσει θερμότητα από τους περιβάλλοντες κόκκους.



Εικόνα 4.2 : Σύστημα ρευστοποιημένης Κλίνης (LaGrega M. et al., 2001).

Τα συστήματα ρευστοποιημένης κλίνης πλεονεκτούν λόγω της δυνατότητας να κάψουν καύσιμα διαφορετικών προδιαγραφών, από γαιάνθρακες διαφόρων τύπων, μέχρι επεξεργασμένα στερεά απορρίμματα, χημικά απορρίμματα και ιλύες βιολογικών καθαρισμών. Επιπλέον, η χρήση ασβεστολιθικής άμμου για τη δημιουργία της κλίνης επιτρέπει την τροφοδοσία καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το παραγόμενο κατά την καύση διοξείδιο του θείου αντιδρά με το οξείδιο του ασβεστίου και σχηματίζει γύψο (CaSO_4), ο οποίος απομακρύνεται σε στερεά μορφή μαζί με την τέφρα.

4.2.2.4. Συστήματα Ανάκτησης Θερμότητας

Η ανάκτηση θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί είτε με την κατασκευή θαλάμων καύσης που στα τοιχώματα τους κυκλοφορεί το θερμαινόμενο ρευστό (waterwall combustion chambers), είτε με την κατασκευή λεβήτων ζεστού νερού (boilers) που ανακτούν θερμότητα από τα παραγόμενα καυσαέρια.

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα καύσης στερεών καυσίμων εφαρμόζουν κάποια μορφή ανάκτησης θερμότητας αποσκοπώντας στη μείωση του κόστους επενδύσεων σε εξοπλισμό ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του κόστους λειτουργίας. Ένα σύστημα που διαθέτει ανάκτηση θερμότητας απαιτεί 50-100% περίσσεια αέρα για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ροής και καύσης του στερεού καυσίμου και ελέγχου των προβλημάτων επικάθισης τηγμένων ουσιών στις εσωτερικές επιφάνειες του θαλάμου καύσης. Ένα σύστημα που δεν διαθέτει ανάκτηση θερμότητας απαιτεί 100-200% περίσσεια αέρα για τον ίδιο σκοπό. Αυτή η αύξηση της περισσειας αέρα συνεπάγεται ανάλογη αύξηση του όγκου των παραγόμενων καυσαερίων και κατ' επέκταση αύξηση των διαστάσεων του εξοπλισμού κατακράτησης των αερίων εκπομπών.

4.2.2.5. Επιλογή καταλληλότερου συστήματος

Η επιλογή του κατάλληλου κατά περίπτωση συστήματος καύσης βασίζεται σε τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Τα τεχνικά κριτήρια καθορίζονται από τις προδιαγραφές απόδοσης που τίθενται από τους μηχανικούς περιβάλλοντος που σχεδιάζουν το σύστημα.

Οι προδιαγραφές αυτές περιλαμβάνουν συνήθως τις ακόλουθες παραμέτρους:

- (α) ικανοποίηση ορίων αερίων εκπομπών,
- (β) μείωση του όγκου των προς διάθεση στερεών υπολειμμάτων,
- (γ) ενεργειακή απόδοση,
- (δ) απαιτήσεις σε χώρο και προσωπικό,
- (ε) αξιοπιστία της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας.

Ως οικονομικό κριτήριο στις περισσότερες περιπτώσεις εξετάζεται το συνολικό κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας της.

4.2.3. Θερμογόνος Δύναμη Απορριμμάτων

Γενικά, τα απορρίμματα από την πλευρά της δυνατότητας καύσης τους μπορούν να καταταγούν σε δύο κατηγορίες: αυτά που μπορούν να καούν όπως τα ζυμώσιμα υλικά, πλαστικό, χαρτί, ξύλο, ελαστικά, δέρμα, υφάσματα, κ.α., και αυτά που δεν καίγονται όπως το γυαλί, τα μέταλλα, τα αδρανή, κ.α.

Η περιεκτικότητα των απορριμμάτων σε υγρασία και τέφρα, καθώς και σε καύσιμη ύλη, εξαρτώνται από τη σύσταση των απορριμμάτων, το είδος δηλαδή των διαφόρων υλικών που περιέχονται σε αυτά.

Η καύση και γενικότερα η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων, συνδέεται με το ποσό της θερμότητας που μπορεί να εκλυθεί κατά την καύση τους. Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά την καύση της μονάδας μάζας ενός υλικού εκφράζεται ως η θερμογόνος δύναμη του υλικού αυτού. Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση των υδρατμών που παράγονται κατά την καύση, η θερμογόνος δύναμη αναφέρεται ως ανώτερη (οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε υγρό) και σε κατώτερη (οι υδρατμοί παραμένουν στην αέρια φάση).

Η θερμογόνος δύναμη ενός υλικού εξαρτάται από την περιεκτικότητά του στα βασικά καύσιμα στοιχεία, που είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο και σε μικρότερο ποσοστό το θείο. Σημαντικές παραμέτρους για τη δυνατότητα καύσης ενός υλικού, αποτελούν η περιεκτικότητά του σε υγρασία και τέφρα.

Η υγρασία (στην ουσία το νερό) που περιέχεται στα απορρίμματα αποτελεί εμπόδιο για την εύκολη καύση τους επειδή απαιτεί σημαντικό ποσό ενέργειας για να απομακρυνθεί ώστε να μπορέσουν τα απορρίμματα να καούν και να αποδώσουν το θερμικό φορτίο που περιέχουν.

Από την άλλη, η τέφρα αποτελείται από ανόργανα συστατικά που περιέχονται στα απορρίμματα (μέταλλα, γυαλί, και άλλα αδρανή όπως χώμα) τα οποία δε μπορούν να καούν, και επιπρόσθετα θα πρέπει να απομακρυνθούν από το χώρο στον οποίο γίνεται η καύση των απορριμμάτων. Η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\checkmark \text{ AΘΔ} = 80,8 \text{ C} + 344 (\text{H} - (\text{O}/8)) + 25\text{S}$$

όπου **AΘΔ**, η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)

C η περιεκτικότητα (%) σε άνθρακα,

H η περιεκτικότητα (%) σε υδρογόνο,

O η περιεκτικότητα (%) σε οξυγόνο και

S η περιεκτικότητα (%) σε θείο.

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται αφαιρώντας από την ανώτερη θερμογόνο δύναμη τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης των υδρατμών :

$$\checkmark \text{ΚΘΔ} = \text{ΑΘΔ} - 580(\text{H}+\text{W})$$

όπου **ΚΘΔ** η κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)

H η περιεκτικότητα (%) σε υδρογόνο και

W η περιεκτικότητα (%) σε υγρασία.

Η θερμογόνος δύναμη των απορριμμάτων, μπορεί επομένως να εκτιμηθεί με βάση τη μέση σύσταση των απορριμμάτων και τη μέση θερμογόνο δύναμη της κάθε κατηγορίας. Έτσι, ο Πίνακας 4.2 δίνει στοιχεία σχετικά με το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων της Ελλάδας.

Πίνακας 4.2: Θερμογόνος δύναμη και ενεργειακά στοιχεία στα Ελληνικά οικιακά απορρίμματα. (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998)

| Υλικά | Περιεκτικότητ α, % κ.β | Κατώτερη Κ.Θ.Δ. kcal/kg | Ενέργεια στα 100 kg, kcal | Συμμετοχή στην ενέργεια, % |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Χαρτί | 20.0 | 3.960 | 79.300 | 32.3 |
| Πλαστικά | 8.5 | 7.700 | 65.450 | 26.7 |
| Ζυμώσιμα | 49.0 | 1.100 | 53.900 | 22.0 |
| Γυαλί | 4.5 | 33 | 748 | - |
| Μέταλλα | 4.5 | 165 | 742 | - |
| Δέρμα, Ξύλο, Ύφασμα | 3.0 | 4.400 | 13.200 | 5.4 |
| Αδρανή | 5.0 | 30 | 150 | - |
| Υπόλοιπα | 5.5 | 5.770 | 31.735 | 12.9 |

Τα απορρίμματα καίγονται όταν η περιεκτικότητά τους σε νερό δεν ξεπερνά το 50%, η περιεκτικότητα σε τέφρα το 60% και η καύσιμη ύλη να είναι τουλάχιστον 25%, δηλαδή όταν η κατώτερη θερμογόνος δύναμή τους είναι 3.350 kJ/kg.

4.2.4. Παράμετροι Επηηρεασμού Καύσης

Τη διαδικασία της θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων επηρεάζουν οι ακόλουθοι παράμετροι :

- η ομοιογένεια,
- το μέγεθος των κόκκων ή τεμαχίων καθώς και η κατανομή τους,
- η ειδική επιφάνειά τους,
- η θερμική τους αγωγιμότητα,
- η θερμοκρασία ανάφλεξης,
- η δυνατότητα αποθήκευσης,
- το ειδικό βάρος,
- η θερμογόνος δύναμη της καύσιμης ύλης,
- η ποσοτική σύνθεση της καύσιμης ύλης , τέφρα και νερό,
- η περιεκτικότητα σε πτητικά,
- η περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες και
- το σημείο τήξης της τέφρας.

Η ειδική επιφάνεια και η αγωγιμότητα επηρεάζουν την ταχύτητα της θερμικής διαδικασίας. Η επίδραση αυτών των παραμέτρων είναι δύσκολο να προσδιορισθεί, λόγω της ανομοιογένειας του υλικού.

Η θερμοκρασία ανάφλεξης επηρεάζει την ικανότητα αντίδρασης και αυξάνεται από την περιεκτικότητα σε πτητικά. Η θερμοκρασία ανάφλεξης υπολογίζεται στους 400 °C.

Η πυκνότητα των απορριμμάτων εξαρτάται από την υγρασία τους και κυμαίνεται στην περιοχή 150 - 350 kg/m³.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα των οικιακών απορριμμάτων κυμαίνεται στην περιοχή 26 – 33 % κ.β ενώ η υγρασία των απορριμμάτων είναι από 25 - 50 % κ .β.

4.2.5. Βασικά Χαρακτηριστικά Καύσης & Προϊόντα Καύσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά της καύσης είναι :

- η φλόγα (μέτωπο, ταχύτητα, θερμοκρασία, σταθερότητα)
- θερμοκρασία φλογοθαλάμου
- έλεγχος φλόγας
- χρόνος παραμονής της καύσιμης ύλης και των αερίων που παράγονται]

Η φλόγα είναι η ζώνη που λαμβάνουν χώρα οι αντιδράσεις της καύσης και παράγεται ορατή ακτινοβολία . Το μέτωπο της φλόγας ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ του μίγματος των απορριμμάτων - αέρα και των προϊόντων της καύσης . Όλες οι αντιδράσεις στην καύση είναι εξώθερμες και σε μια πλήρη καύση , από τους υδρογονάνθρακες σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα , αιθάλη και ελεύθερες ρίζες. Η πραγματική θερμοκρασία της φλόγας διαφέρει από την θεωρητική , γιατί υπάρχουν απώλειες. Το σύνολο των απωλειών κατά την καύση κυμαίνεται από 7-32% και αφορά : τα καυσαέρια 6-20%, τα άκαυστα υλικά 0.5-3.5% και τις απώλειες θερμότητας από τα άκαυστα αέρια καύσιμα 0-3%.

Η θερμοκρασία του φλογοθαλάμου εξαρτάται από την θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων, τον σχεδιασμό του φλογοθαλάμου, την παροχή του αέρα, και τον έλεγχο της καύσης. **Έλεγχος της θερμοκρασίας** σημαίνει έλεγχος του μίγματος αέρα – καύσιμης ύλης και της μεταφοράς θερμότητας. Όλες οι μονάδες καύσης χρησιμοποιούν για την καταστροφή του κλάσματος το οποίο καίγεται στα απορρίμματα, αέρα και θερμότητα. Για τον λόγο αυτό οι υπολογισμοί για την καύση είναι βασικά οι ίδιοι για κάθε σύστημα.

Τα προϊόντα της καύσης είναι τα ακόλουθα :

- απαέρια (με υδρατμούς) που μετά τον καθαρισμό τους είναι κατάλληλα για διάθεση στην ατμόσφαιρα,
- ανόργανη τέφρα από την οποία με περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να γίνει ανάκτηση υλικών. Το σκραπ που είναι δυνατόν να ανακτηθεί είναι περίπου το 2,5% της ποσότητας των τροφοδοτούμενων απορριμμάτων. Η τελικά προκύπτουσα τέφρα χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό για δομικές χρήσεις, όπως για παράδειγμα στην οδοποιία, τσιμεντοβιομηχανία, είτε οδεύει προς υγειονομική ταφή,
- υγρό απόβλητο αποτέλεσμα των διαδικασιών σβέσης της τέφρας και ψύξης των αερίων και
- θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την καύση λαμβάνουν χώρα οι εξής φυσικές και χημικές διεργασίες:

- I. Ξήρανση
- II. Απαερίωση
- III. Εξαερίωση
- IV. Καύση

- I. Η ξήρανση** των απορριμμάτων επιτυγχάνεται από την ακτινοβολία περίπου στους 100°C. Η απαιτούμενη για την ξήρανση θερμότητα εξαρτάται από την σύνθεση των απορριμμάτων και την περιεκτικότητά τους σε υγρασία.
- II. Η απαερίωση** συντελείται στους 250-900°C, κατά την οποία απομακρύνονται οι πτητικές ουσίες.
- III. Η εξαερίωση** περιλαμβάνει την μετατροπή των ανθρακούχων υλικών με υψηλές θερμοκρασίες, σε αέριο καύσιμο υλικό. Η θερμοκρασία σ' αυτή τη ζώνη είναι 800°C - 1150°C και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 1150°C. Εάν ξεπεράσει αυτή τη θερμοκρασία θα δημιουργηθεί πρόβλημα διάβρωσης από τη τήξη της στάχτης.

Ωστόσο πριν από την καύση πρέπει να προηγηθούν ορισμένες προεπεξεργασίες όπως :

- ο Ομογενοποίηση των απορριμμάτων. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη και πραγματοποιείται μέσα στο φούρνο, μέσω κινητών προωθούμενων εσχάρων ή μέσω θραύσης των απορριμμάτων .
- ο Ενδεχομένη διαλογή. Αφαίρεση του σιδήρου μέσω μαγνητών, καθώς και άλλων αξιόλογων υλικών .
- ο Λιπασματοποίηση. Μπορεί να γίνει συνδυασμός μιας εγκατάστασης λιπασματοποίησης και ενός αποτεφρωτήρα.

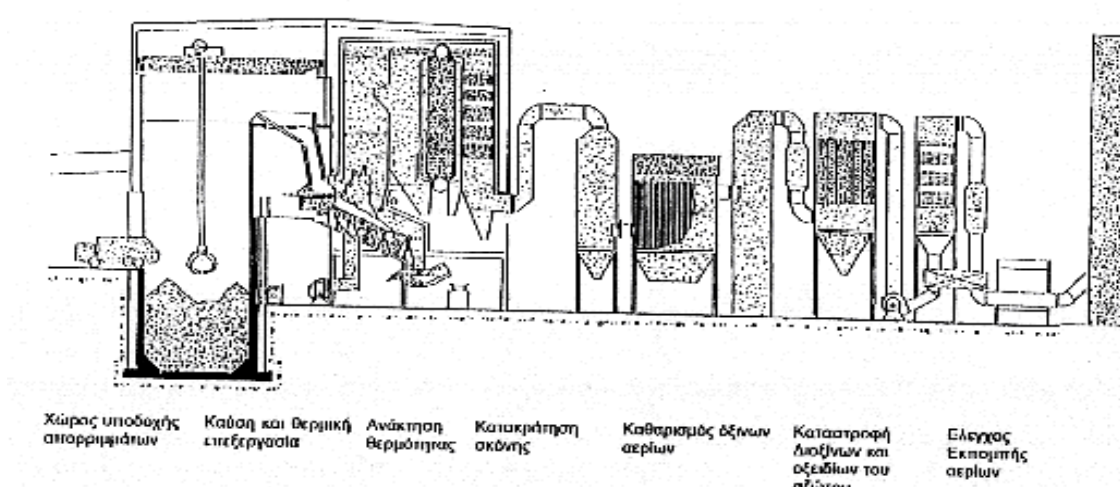
Η καύση μπορεί να ακολουθηθεί από μεταγενέστερες επεξεργασίες όπως :

- ο Η εξουδετέρωση μέσω καύσης, ορισμένων πτητικών οργανικών ουσιών πριν την έξοδό τους στην ατμόσφαιρα. Αυτή γίνεται σε ένα δεύτερο θάλαμο στο επάνω μέρος του φούρνου εξοπλισμένου με καυστήρα , μετά από έγχυση αέρα,
- ο Η ψύξη με νερό των πυρακτωμένων σταχτών που βγαίνουν από το φούρνο, που απαιτεί ακολούθως καθαρισμό του χρησιμοποιηθέντος νερού (καθίζηση),
- ο Η αποκονίωση και ο καθαρισμός των αερίων της καύσης,
- ο Η ανάκτηση της θερμότητας, για την παραγωγή θερμού νερού ή ατμού.

4.2.6. Δομή Μονάδας Καύσης

Μια μονάδα καύσης αποτελείται από τα τμήματα:

1. Παραλαβής των απορριμμάτων (Χώρος Υποδοχής)
2. Προεπεξεργασίας
3. Τροφοδοσίας
4. Εστίας Καύσης
5. Λέβητα - αξιοποίησης θερμότητας
6. Απομάκρυνσης υπολειμμάτων (Σκωρίας)
7. Καθαρισμού αερίων – Καπνοδόχου



Εικόνα 4.3 :Τομή μιας μονάδας καύσης απορριμμάτων (LaGrega M. et al., 2001).



Εικόνα 4.4 : Τυπική διάταξη μονάδας καύσης (www.wtert.gr)

Αναλυτικότερα μια μονάδα καύσης αποτελείται από τον εξής εξοπλισμό:

1. Ζυγιστήριο

Η ζύγιση των απορριμμάτων στοχεύει στη μέτρηση της ποσότητας των απορριμμάτων και προσδιορίζει το κόστος διάθεσης τους. Η ζύγιση μπορεί να γίνει μηχανικώς ή ηλεκτρομηχανικώς. Το ηλεκτρομαγνητικό σύστημα είναι πιο πρακτικό και ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση τόσο κατά την είσοδο όσο και κατά την έξοδο του απορριμματοφόρου. Κάθε απορριμματοφόρο είναι εφοδιασμένο με την δική του κάρτα.

2. Χώρος υποδοχής

Η προσκόμιση και προσωρινή αποθήκευση των απορριμμάτων αντιμετωπίζονται από κοινού. Επειδή η προσκόμιση των απορριμμάτων δεν είναι συνεχής, σε αντίθεση με την τροφοδοσία της εγκατάστασης, είναι απαραίτητη η αποθήκευση. Η ομογενοποίηση των απορριμμάτων μπορεί να γίνει στον χώρο υποδοχής, ο οποίος είναι υπέργειος ή υπόγειος. Ο χρόνος ξεφόρτωσης κυμαίνεται συνήθως από 0,5-5 λεπτά της ώρας. Κάθε χώρος υποδοχής πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

- να παραλαμβάνει όλα τα προσκομιζόμενα απορρίμματα,
- να επιτυγχάνει εξισορρόπηση των προσκομιζόμενων προς τροφοδοσία απορριμμάτων,
- να τροφοδοτεί χωρίς πρόβλημα την μονάδα και
- να μη δημιουργεί πρόβλημα σκόνης και οσμών στην περιοχή.
- Από την εβδομαδιαία ποσότητα των απορριμμάτων ή τη μέγιστη δυνατή επεξεργασία προσδιορίζεται το μέγεθος, ο αριθμός και γενικά η ισχύς των μεσών μεταφοράς (γερανοί ή ταινίες).

3. Τάφρος υποδοχής απορριμμάτων

Ο γεωμετρικός όγκος της τάφρου υποδοχής απορριμμάτων, προκύπτει από το γινόμενο του μήκους, του πλάτους και του βάθους της. Το βάθος μετριέται από την αποβάθρα εκφόρτωσης, μέχρι τον πυθμένα της τάφρου. Με την χρήση κινητής γέφυρας, μπορεί να αυξηθεί το ωφέλιμο ύψος αποθήκευσης, πάνω από τη στάθμη της αποβάθρας εκφόρτωσης. Μπορούν δε να χρησιμοποιηθούν και παραπετάσματα, που όμως εμποδίζουν την εκφόρτωση των απορριμματοφόρων.

4. Δομικά Χαρακτηριστικά

Ο πυθμένας του υποδοχέα πρέπει να κατασκευασθεί έτσι ώστε να μην υφίσταται αλλοιώσεις από τα τυχόν χτυπήματα του γερανού καθώς επίσης να μην προξενούνται σπινθήρες από τη κρούση των βραχιόνων του γερανού. Αυτό μπορεί να γίνει με ειδική κατασκευή από μπετόν. Επίσης ο πυθμένας να έχει κλίση για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων και των νερών έκπλυσης. Λόγω της δημιουργίας σκόνης πρέπει να προβλέπει σύστημα απομάκρυνσης και ανανέωσης. Επειδή συνήθως ο απαιτούμενος αέρας για την εστία καύσης λαμβάνεται από τον υποδοχέα, δημιουργείται στο χώρο μια μικρή υποπίεση. Αυτό βοηθά στο να εξέλθουν οι οσμές και η σκόνη από τον χώρο υποδοχής.

5. Γερανοί

Η μεταφορά των απορριμμάτων από τον χώρο υποδοχής στην εγκατάσταση γίνεται συνήθως με γερανό. Ο αριθμός των απαιτούμενων γερανών εξαρτάται από τις γραμμές καύσης και την ωριαία δυνατότητα καύσης της μονάδας. Η αντιστοιχία είναι ένας γερανός ανά δυο λέβητες. Σε κάθε εγκατάσταση υπάρχει και ένας γερανός σε εφεδρεία. Ο γερανός κινείται πάνω σε μια γερανογέφυρα. Ο χειρισμός του γερανού γίνεται από μια καμπίνα μονωμένη από τον υπόλοιπο χώρο. Ο συνηθισμένος τύπος γερανού είναι αυτός του πολύποδα και αποτελείται από 4-6 τεμάχια (βραχίονες). Οι βραχίονες πρέπει να κλείνουν καλά έτσι ώστε κατά την μεταφορά των απορριμμάτων

να μη πέφτει υλικό, με αποτέλεσμα να δημιουργείται επί πλέον σκόνη στον υποδοχέα. Το άνοιγμα και κλείσιμο των βραχιόνων επιτυγχάνεται με ειδικό κινητήρα. Η ταχύτητα των γερανών κατά μήκος της γέφυρας κυμαίνεται από 45 - 80 m/min, του κυλιόμενου μηχανισμού της γερανογέφυρας από 30 – 60m/min, και της άρσης από 40 - 80 m/min. Για να υπάρχει πλήρης έλεγχος της τροφοδότησης, κάθε γερανός είναι εφοδιασμένος με αυτόματο σύστημα ζύγισης.

6. Εκφόρτωση των απορριμματοφόρων

Η εκφόρτωση των απορριμμάτων γίνεται με άδειασμα κατευθείαν μέσα στην τάφρο, από τη μία ή και τις δύο πλευρές, ανάλογα με τη λύση που εκλέγεται. Για να μην γίνουν συγκρούσεις με την αρπάγη της κινητής γέφυρας, δίνεται μια κλίση από τη μεριά της αποβάθρας προς την τάφρο, σχ. . Για την αποφυγή της ανύψωσης της σκόνης, έχουν εφαρμοστεί διάφορα συστήματα (κλειστή αίθουσα κλπ.), με πιο αποτελεσματική την δημιουργία ελαττωμένης πίεσης στο χώρο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι, η αναρρόφηση του αέρα με αεριστήρες και η διοχέτευση των αερίων στο φούρνο.

7. Καυστήρας ανάφλεξης και στήριξης

Η ανάφλεξη των απορριμμάτων στις μονάδες καύσης επιτυγχάνεται με ειδικό καυστήρα ο οποίος λειτουργεί με πετρέλαιο. Επίσης ο ίδιος καυστήρας χρησιμοποιείται για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στα επιθυμητά όρια. Ο καυστήρας ανάφλεξης βρίσκεται στο φλογοθάλαμο, ενώ ο καυστήρας στήριξης στη είσοδο του λέβητα. Ο απαιτούμενος αέρας για την καύση στους καυστήρες ανάφλεξης και στήριξης προέρχεται από εξωτερικούς φυσητήρες, ανεξάρτητα από τον αέρα για την καύση της μονάδας.

8. ΕΣΤΙΑ ΚΑΥΣΗΣ

Εστίες καύσης είναι οι χώροι στους οποίους πραγματοποιείται η καύση των απορριμμάτων. Η διαδικασία της καύσης στον κλίβανο γίνεται σε δύο στάδια, την πρωτογενή και την δευτερογενή καύση. Η πρωτογενής καύση αφορά τις φυσικές και χημικές αλλαγές: την ξήρανση, την πτητικότητα και την ανάφλεξη. Η δευτερογενής καύση αφορά την οξειδωση των αερίων και υλικών τα οποία προέρχονται από την πρωτογενή καύση.

Η εστία καύσης χαρακτηρίζεται και ως εστία ανάμιξης. Η μορφή της επηρεάζει την έκταση και την πληρότητα της διαδικασίας καύσης. Ο χρόνος, η θερμοκρασία και ο στροβιλισμός είναι οι πλέον βασικοί παράγοντες για την καύση των απορριμμάτων. Η κύρια εστία καύσης οριοθετείται από τις εσχάρες, τα τοιχώματα και την οροφή ή την επιφάνεια των θερμαντικών στοιχείων του λέβητα.

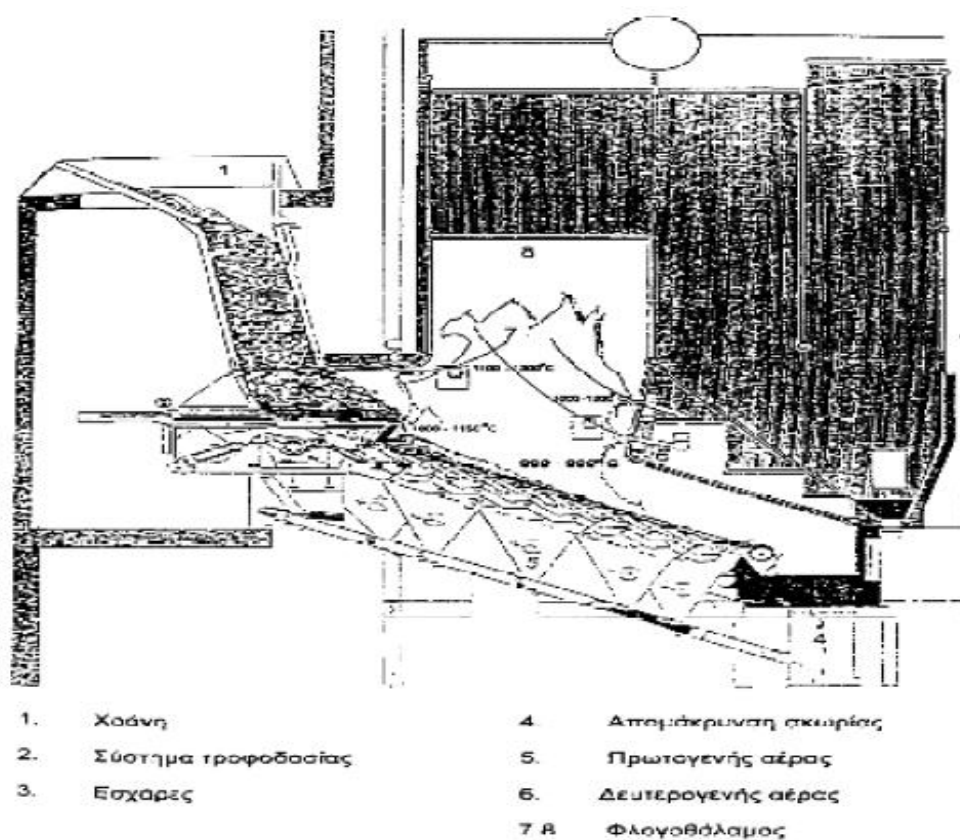
Επειδή τα απορρίμματα είναι καύσιμη ύλη με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά μέρη η καύση λαμβάνει χώρα μόνο εν μέρει επί των εσχάρων. Ως επί το πλείστον η όλη διαδικασία καύσης γίνεται στην εστία καύσης. Ένα άλλο αξιοπρόσεκτο σημείο αναφορικά με την καύση των απορριμμάτων είναι η μεγάλη σε ύψος φλόγα στην εστία καύσης. Η ξήρανση των απορριμμάτων επιτυγχάνεται από την ακτινοβολία της φλόγας στο τέλος του συστήματος τροφοδοσίας πριν καν εισέλθουν τα απορρίμματα στις εσχάρες.

Η γεωμετρία της εστίας καύσης εξαρτάται από:

- το σχήμα και μέγεθος των εσχάρων καύσης,
- την διαδικασία καύσης επί των εσχάρων (ξήρανση, απαερίωση, καύση, μετάκαυση),
- τον στροβιλισμό και την ομογενοποίηση του ρεύματος των αερίων,
- τον αρκετό χρόνο παραμονής των αερίων στην περιοχή καύσης,
- την ψύξη των αερίων.

Σήμερα κυριαρχεί η άποψη, ότι για την εξασφάλιση μιας καλής καύσης απαιτούνται:

1. καλή κατασκευή εσχάρων και
2. βέλτιστη γεωμετρία του φλογοθάλαμου.



Εικόνα 4.5: Τομή εστίας καύσης (LaGrega M. et al., 2001).

9. Φλογοθάλαμος

Σχηματίζεται με τοιχώματα επενδεδυμένα εσωτερικά με ανθιστάμενα υλικά, ευρισκόμενα πάνω από την εσχάρα. Ένα άνοιγμα επιτρέπει την εκκένωση των αερίων. Ο θάλαμος έχει δύο σκοπούς: Να επιτρέπει μια εσωτερική ανάμιξη του δευτερεύοντος αέρα που εισάγεται πάνω από την εσχάρα και των ατελώς καιγομένων αερίων, για να πραγματοποιείται μια καύση όσο το δυνατό πιο τέλεια και να ζεσταίνει με ακτινοβολία τα νωπά απορρίμματα, να τα ξηραίνει και να επιτρέπει με τη μεγάλη του θερμική αδράνεια, την συγκράτηση μιας ικανοποιητικής θερμοκρασίας, για μια καλή καύση των αερίων.

10. Εσχάρες

Το σύστημα των εσχάρων είναι ένα από τα πλέον βασικά μέρη μιας εγκατάστασης καύσης. Οι εσχάρες είναι στερεωμένες στα τοιχώματα της εστίας καύσης πάνω σε ένα φέροντα μηχανισμό. Οι κύριες λειτουργίες των εσχάρων είναι η μεταφορά των απορριμμάτων από το δοσομετρικό σύστημα στο σύστημα απομάκρυνσης της σκωρίας, η ομοιογενής παροχή πρωτογενούς αέρα, η αναμόχλευση της φωτιάς στη ζώνη καύσιμης ύλης και η μεταφορά της στάχτης. Ο πρωτογενής αέρας ο οποίος εισέρχεται από τις εσχάρες αποτελεί το 40-60% του ολικού απαιτούμενου σε μια μονάδα αέρα. Παράλληλα αυτός ο αέρας ψύχει και τις εσχάρες. Η ομοιογενής παροχή του αέρα επιτυγχάνεται με τις απώλειες της πίεσης των διαφόρων συστημάτων. Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τις κατασκευαστικές ιδιότητες των εσχάρων, τα χαρακτηριστικά των απορριμμάτων, τη θερμοκρασία και την ποσότητα του αέρα.

11. Σύστημα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων

Κατά την καύση των απορριμμάτων παραμένουν στερεά υπολείμματα, τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40% του βάρους των απορριμμάτων. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από την σύνθεση των απορριμμάτων όσο και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Τα υπολείμματα χωρίζονται σε αυτά που διαπερνούν τις εσχάρες και αυτά που εξέρχονται από τις εσχάρες. Στο κάτω μέρος του λέβητα συγκεντρώνονται τα αιωρούμενα στερεά, τα οποία ακολούθως μεταφέρονται στον χώρο συγκέντρωσης της σκωρίας. Επίσης κατά την αποκονίωση των φίλτρων η σκόνη συγκεντρώνεται στο χώρο συλλογής της σκωρίας ή σε ειδικά σιλό. Οι βασικές παράμετροι του συστήματος απομάκρυνσης των υπολειμμάτων είναι:

1. η ψύξη και
2. η αφύγρανση.

Οι ποσοστιαίες ποσότητες υπολειμμάτων ανά βάρος απορριμμάτων είναι οι εξής:

- Υπολείμματα τα οποία εξέρχονται από τις εσχάρες 20 - 35%
- Υπολείμματα τα οποία διαπερνούν τις εσχάρες 1 - 2%
- Αιωρούμενα στερεά και σκόνη των φίλτρων 3 - 6%

Τα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε χοάνες στο τέλος των εσχάρων και από εκεί με ιμάντες μεταφέρονται σε ειδικά μπάνια για ψύξη. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι οι υψηλές θερμοκρασίες της σκωρίας 600–900°C.

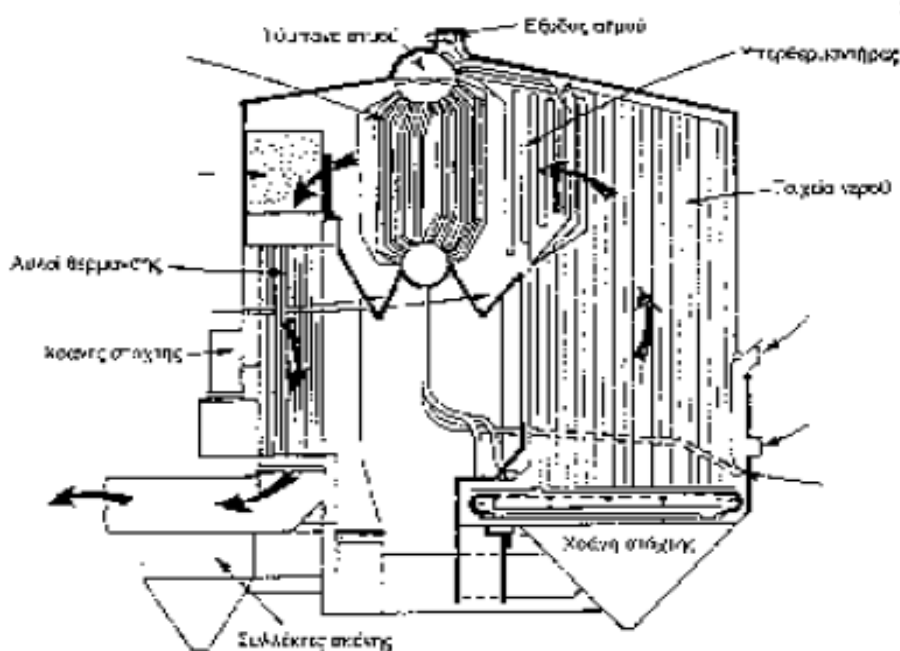
Τα κυριότερα συστήματα απομάκρυνσης των υπολειμμάτων είναι:

- το πνευματικό σύστημα
- το σύστημα των κοχλιών και
- το σύστημα με τις πλάκες παρεκκλίσεως

Στο τέλος της εσχάρας βρίσκεται το φρεάτιο των υπολειμμάτων μέσω του οποίου πέφτουν τα υπολείμματα στο μπάνιο νερού για να σβήσουν. Η θερμότητα της προς σβέση σκωρίας εξαρτάται από την σύνθεση και θερμοκρασία που κυμαίνεται από 600 - 1000 MJ/t. Οι απαιτούμενες ποσότητες νερού για το σβήσιμο της σκωρίας είναι 3,5 - 6,0 m³ ανά τόνο. Κατά την ψύξη με εξάτμιση μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει την θερμότητα εξάτμισης. Αυτή εκτιμάται στο νερό σε 2500 KJ/t. M'

αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνει κανείς εξοικονόμηση νερού. Το πλάτος του συστήματος απομάκρυνσης των υπολειμμάτων είναι συνήθως 80% του πλάτους των εσχάρων. Ως υλικό κατασκευής του μπάνιου χρησιμοποιείται η ασάλινη λαμαρίνα. Τα πλέον συνηθισμένα είδη είναι το σύστημα του ιγδιόχειρου, των δίσκων και των αλυσίδων. Ο όγκος του νερού ελέγχεται αυτόματα με μαγνητική βαλβίδα.

12. Λέβητες & Ατμοπαραγωγοί



Εικόνα 4.6 : Ατμοπαραγωγός (Παπακωνσταντίνου –Φώτου 2004)

Ο λέβητας είναι το σύστημα με το οποίο μεταδίδεται η ενεργειακή θερμότητα μιας καύσιμης ύλης σε ένα ενεργειακό φορέα. Σήμερα χρησιμοποιείται και η λέξη "ατμοπαραγωγός". Στον ατμοπαραγωγό το νερό με προσαγωγή θερμότητας μετατρέπεται σε ατμό. Όταν το νερό στον λέβητα έχει την ίδια θερμοκρασία με τον ατμό τότε έχουμε τη θερμοκρασία κορεσμού. Έτσι κατά την διάρκεια της διαδικασίας η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Η αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού επιτυγχάνεται με υπερθέρμανσή του. Στην περίπτωση που αυξάνεται η ενθαλπία του ατμού, λόγω της πρόσθετης θερμότητας τότε αυξάνεται και η θερμοκρασία του. Οι διατάξεις για την παραγωγή ατμού ή θερμού νερού είναι ίδιες ανεξάρτητα από το μέγεθος, τη δομή και τη χρησιμοποιούμενη καύσιμη ύλη. Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τους λέβητες είναι: η πίεση, η θερμοκρασία και η παραγωγή του ατμού, δηλαδή αυτό που εξέρχεται από τον λέβητα. Ο ατμός ή το νερό περιγράφεται από την ποιότητα και ποσότητα.

Άλλα χαρακτηριστικά του λέβητα είναι η ειδική ατμοποίηση, η φόρτωση της εσχάρας, φόρτιση διατομής του φλογοθαλάμου, η ροή των αερίων στους αυλούς, η διάταξη των αυλών και τύμπανων, η εσωτερική κυκλοφορία του νερού κλπ. Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζεται ένας μοντέρνος ατμοπαραγωγός. Στον ατμοπαραγωγό πρέπει να υπάρχει ταυτότητα μεταξύ των εσχάρων και του φλογοθαλάμου. Τα καπναέρια πρέπει να καίγονται σε θερμοκρασία τουλάχιστον 850° C με χρόνο παραμονής 25sec και καλή μίξη με το οξυγόνο. Ταυτόχρονα όμως δεν πρέπει να

ξεπερασθεί η θερμοκρασία των 1100°C γιατί σε αυτή την περίπτωση θα υπάρχουν επικαθίσεις ιπτάμενης τέφρας στα τοιχώματα του φλογοθαλάμου.

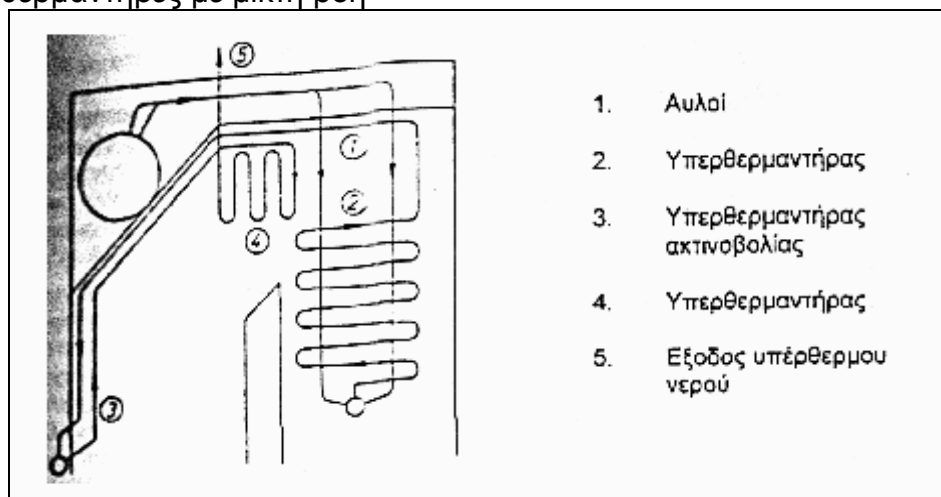
Οι αγωγοί φέρουν ακροφύσια και έτσι δημιουργούνται ακτίνες με αέρα με αποτέλεσμα όλες οι δέσμες των καπναερίων να διέρχονται απ' αυτές τις ζώνες και να έρχονται σε επαφή με τον αέρα. Τα καπναέρια εμποδίζονται να φύγουν γρήγορα και αυξάνεται ο χρόνος παραμονής τους σε μια ζώνη που η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 950-1100°C. Στη δεύτερη διαδρομή βρίσκονται οι αυλοί του υπερθερμαντή και στην τρίτη διαδρομή το σύστημα εξάτμισης. Ανάλογα με το είδος κατασκευής διακρίνονται σε λέβητες θερμού νερού, υπέρθερμου νερού, κορεσμένου ατμού και υπέρθερμου ατμού.

Στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ατμολέβητες και λέβητες υπέρθερμου νερού. Από τους ατμολέβητες, ευρεία χρήση έχουν οι ατμοπαραγωγοί φυσικής κυκλοφορίας, εξαναγκασμένης κυκλοφορίας και εξαναγκασμένης ροής. Τα προβλήματα διάβρωσης και η βέλτιστη θερμοδυναμική χρήση του ατμού είναι δύσκολα να αξιοποιηθούν οικονομικά. Για καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες και πίεσης. Οι ατμοπαραγωγοί των εγκαταστάσεων καύσης των απορριμμάτων με εσχάρες έχουν αναπτυχθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια. Μπορεί να είναι σε οριζόντια ή κάθετη μορφή.

13. Υπερθερμαντήρες

Με τον υπερθερμαντήρα υπερθερμαίνεται ο ατμός ο οποίος εξέρχεται από τον κύριως λέβητα. Τους διακρίνουμε σε 3 κατηγορίες ως προς τη ροή των αερίων:

- Υπερθερμαντήρες με ομόρροπη ροή
- Υπερθερμαντήρες με αντίρροπη ροή
- Υπερθερμαντήρες με μικτή ροή



Εικόνα 4.7: Διάταξη υπερθερμαντήρα (Παπακωνσταντίνου –Φώτου 2004).

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η ροή του ατμού στα διάφορα τμήματά του Υπερθερμαντήρα. Ο ατμός από τον κύριο λέβητα πηγαίνει στη δεύτερη διαδρομή (2). Ακολούθως οδηγείται στη πρώτη διαδρομή (1) όπου θερμαίνεται με ακτινοβολία (3). Η θερμοκρασία ρυθμίζεται στο τμήμα (4) όπου και εξέρχεται ο υπέρθερμος ατμός (5).

14. Ψύκτης ατμού

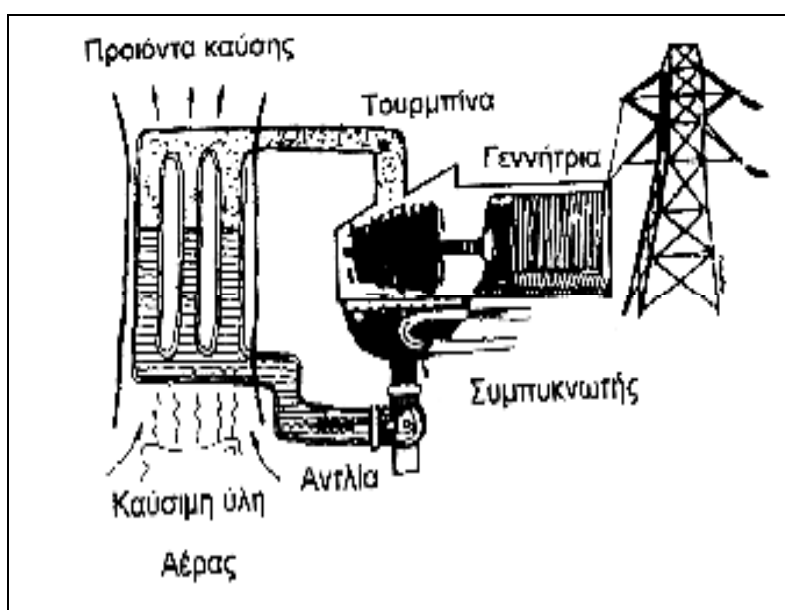
Ο ψύκτης ατμού έχει σκοπό να κρατά τη θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού στη έξοδο του υπερθερμαντή σταθερή. Η θερμοκρασία του ατμού του υπερθερμαντή ανέρχεται από 330 °C στους 430°C.

Ως μέσα μεταφοράς ενέργειας στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας παρατηρούνται το υπέρθερμο νερό ή ατμός με υψηλή πίεση.

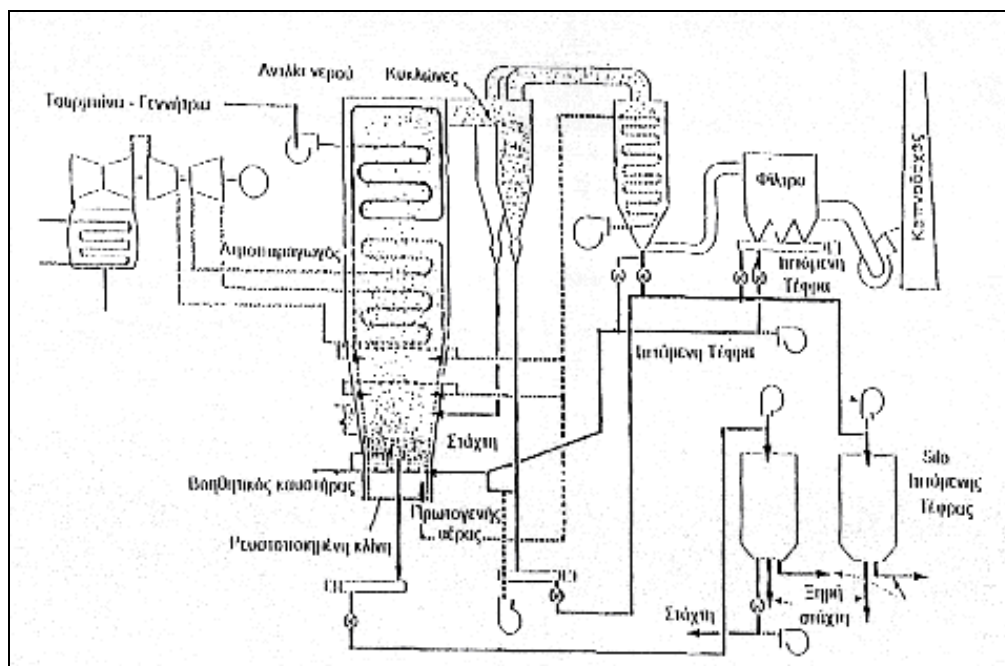
15. Αξιοποίηση Θερμότητας

Οι μοντέρνες εγκαταστάσεις καύσης των οικιακών απορριμμάτων έχουν βασικό σκοπό αφενός μεν να ελαττώσουν τον όγκο των απορριμμάτων αφετέρου να αξιοποιήσουν την θερμότητα. Μέσα μεταφοράς της ενέργειας είναι το υπέρθερμο νερό ή ο ατμός σε υψηλές πιέσεις. Στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας με ανάκτηση ενέργειας ως επί το πλείστον ανακτάται ατμός παρά υπέρθερμο νερό ή θερμός αέρας, γιατί ο ατμός είναι πιο εύχρηστος στις εφαρμογές. Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται η σχηματική παράσταση μιας εγκατάστασης με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση μετατρέπει το περιεχόμενο της ενέργειας των απορριμμάτων σε θερμότητα με την παραγωγή θερμών αερίων. Τα θερμά αέρια ψύχονται σε εναλλάκτες θερμότητας (150 - 200°C) όπου η περιεκτικότητά τους σε θερμότητα μεταφέρεται σε νερό και αυτό σε ατμό. Ο ατμός παράγει μηχανική ενέργεια σε ένα ατμοστρόβιλο την οποία μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια.

Θεωρητικά ο βαθμός ανάκτησης φθάνει το 80% και εξαρτάται από το σύστημα ανάκτησης που χρησιμοποιείται. Η παραγωγή του ατμού κυμαίνεται μεταξύ 1-4 kg/kg απορρίμματα. Οι θερμοκρασίες καθώς και οι ταχύτητες των αερίων αποτελούν βασικές παραμέτρους στον σχεδιασμό.



Εικόνα 4.8: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Παπακωνσταντίνου – Φώτου 2004).



Εικόνα 4.9: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Παπακωνσταντίνου –Φώτου 2004).

Εναλλακτικές μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας είναι:

- θέρμανση
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (εικ.4.9)
- Ο συνδυασμός θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ως μέσα μεταφοράς ενέργειας στις εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας παρατηρούνται το υπέρθερμο νερό ή ατμός με υψηλή πίεση .Οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες επιλέγονται βάσει των οικονομικών δυνατοτήτων και απαιτήσεων .Η τηλεθέρμανση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: με υπέρθερμο νερό ή με ατμό(παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).

4.2.7. Περιγραφή λειτουργίας μονάδας καύσης

Η διαδικασία ξεκινά με την εκφόρτωση των απορριμμάτων από τα απορριμματοφόρα στον χώρο αποθήκευσης (σιλό). Από το σιλό μέσω του εναέριου γερανού τα απορρίμματα εισέρχονται στη χοάνη παροχής που ρυθμίζει μια συνεχή ροή απορριμμάτων στις σειόμενες κινούμενες εσχάρες όπου γίνεται παροχή θερμού αέρα καύσης μέσω ενός φυσητήρα, κάτω από την εσχάρα μεταφοράς με αποτέλεσμα, με τη βοήθεια της ακτινοβολίας από τα αντανακλαστικά τοιχώματα του κλιβάνου, την αφαίρεση ενός μεγάλου μέρους από την υγρασία των απορριμμάτων που πρόκειται να καούν. Ακολουθεί η φάση της εξαερίωσης των πτητικών αερίων σε θερμοκρασία 250^oC. Κατόπιν μέσω των κινούμενων σχαρών τα απορρίμματα οδηγούνται στην εστία όπου αναμειγνύονται με την κατάλληλη ποσότητα αέρα, αναφλέγονται (σε θερμοκρασίες 500 - 600 ^oC). Η θεωρητική ποσότητα του αέρα καύσης μπορεί να υπολογιστεί από αναλύσεις που γίνονται στα απορρίμματα. Συνήθως όμως χρειάζεται μεγάλη περίσσεια αέρα για να πραγματοποιηθεί τέλεια καύση και να αποφευχθεί η διάβρωση του λέβητα. Η καύση συντηρείται από μόνη της λόγω της υψηλής θερμογόνου δύναμης των απορριμμάτων ή με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων βοηθητικού καυσίμου.

Η θερμοκρασία στο χώρο καύσης είναι συνήθως μεταξύ 300-1200 °C. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες αποφεύγονται γιατί προκαλείται μερική τήξη της στάχτης που επικολλάται πάνω στα τοιχώματα και δημιουργούν προβλήματα σκωρίας. Η εστία του κλιβάνου έχει συνήθως ανθεκτικά πυρίμαχα ανακλαστικά τοιχώματα. Νεότεροι τύποι κλιβάνου διαθέτουν υδάτινα τοιχώματα με άμεση μεταφορά θερμότητας από το χώρο καύσης στο νερό των σωλήνων. Διαφορετικά, μετά την πυρίμαχη εστία υπάρχει ο ατμολέβητας που τα καυσαέρια αποδίδουν ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας των προς παραγωγή ατμών. Η διαφορετική σύνθεση των απορριμμάτων από εποχή σε εποχή ή ακόμη και από περιοχή σε περιοχή ως και η ποσότητα τους μέσα στο θάλαμο καύσης έχουν σαν αποτέλεσμα τον διαφορετικό χρόνο παραμονής τους. Για να γίνει πλήρης καύση, τα απορρίμματα πρέπει να παραμείνουν στο θάλαμο καύσης από μία μέχρι 3 ώρες και 30 λεπτά. Επειδή πολλές από τις οργανικές ενώσεις που περιέχουν τα απορρίμματα είναι οργανικά ασταθείς, ελευθερώνονται πολλά επιβλαβή αέρια. Αυτά σε μοντέρνες εγκαταστάσεις μετά την κύρια εστία καύσης και πριν τον ατμολέβητα διέρχονται από ένα μετακαυστήρα για να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση τους. Κατά τη διάρκεια της καύσης εκπέμπονται αέρια, παράγεται τέφρα καθώς επίσης και υγρά απόβλητα, τα οποία προέρχονται από τον καθαρισμό των αερίων. Τα εκπεμπόμενα αέρια αποτελούνται από αιωρούμενα σωματίδια, προϊόντα καύσης και οργανικά σώματα που δεν έχουν καεί.

Στα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνονται ανόργανα σωματίδια καθώς και τέφρα. Το μέγεθος τους ποικίλει από λιγότερο του ενός μικρού μέχρι και το μέγεθος της άμμου. Τα αιωρούμενα σωματίδια θεωρούνται πολύ επικίνδυνα διότι μπορεί να μεταφέρουν οργανικές ουσίες επικίνδυνες για τον άνθρωπο, προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα. Η συνήθης τιμή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι 15LP/t. Η εκπομπή μπορεί να αντιμετωπισθεί μειώνοντας την ταχύτητα του αέρα κατά την είσοδο του ή με ανάμιξη των απορριμμάτων, αλλά αυτό πιθανώς να δημιουργήσει προβλήματα στην καύση. Η πλέον επιτυχημένη μέθοδος είναι να απομακρυνθούν τα αιωρούμενα σωματίδια με τη χρήση ηλεκτροστατικών φίλτρων ή με μηχανικό διαχωρισμό.

Τα προϊόντα της καύσης είναι ατμοί νερού, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο και οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, μεταλλικά και μη μεταλλικά οξείδια και οξέα. Η εκπομπή των απαερίων καύσης πρέπει να ελέγχεται και να εφαρμόζονται οι κατάλληλες μέθοδοι δέσμευσής τους, ώστε οι συγκεντρώσεις τους κατά την εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια, που καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/76/EE.

Κατά την καύση παράγονται και οργανικές ουσίες, πολλές από τις οποίες είναι καρκινογόνες και μπορούν να μειωθούν με μια καλύτερη καύση. Επίσης η τέφρα που παράγεται περιέχει πολλά μέταλλα, αδρανή υλικά και πιθανών μερικά οργανικά. Η συνηθισμένη διάθεσή της γίνεται με ταφή.

Τα αέρια που εκπέμπονται κατά την καύση διέρχονται από το σύστημα καθαρισμού όπου καθαρίζονται με καταιονισμό νερού. Κατά τον καθαρισμό των αερίων απομακρύνονται τα όξινα αέρια όπως το HCl, που παράγονται κατά την καύση των χλωριωμένων υδρογονανθράκων και χλωριωμένων πλαστικών, καθώς και μικρά οργανικά σωματίδια.

Τα καυσαέρια κατόπιν διοχετεύονται στα ηλεκτροστατικά φίλτρα, τα οποία συγκρατούν τα ανόργανα αιωρούμενα σωματίδια και την αιρούμενη τέφρα. Για να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτροστατικά φίλτρα αυτά, η θερμοκρασία των καυσαερίων πρέπει να βρίσκεται περίπου στους 400°C. Έτσι τα αέρια διαβιβάζονται σε εναλλάκτη θερμότητας με σύγχρονη παραγωγή ατμού. Κατόπιν οδηγούνται στην καμινάδα όπου συνήθως ένας ισχυρός ανεμιστήρας εξασφαλίζει τον αναγκαίο αερισμό. Τα υπολείμματα καύσης (τέφρα και άκαυστο υλικό ψύχονται με νερό στα λουτρά ψύξης και ακολούθως μεταφέρονται με ταινίες σε σπαστήρα και μετά στην εγκατάσταση διαλογής όπου με μαγνήτες έλκονται τα μεταλλικά αντικείμενα προς ανακύκλωση τους.

Από ένα άνοιγμα στη βάση του θαλάμου καύσης απομακρύνεται η ιπτάμενη τέφρα. Τα υπολείμματα της καύσης μετά τους μαγνητικούς διαχωριστές καθώς και ιπτάμενη τέφρα οδηγούνται πλέον για ταφή, ενώ τελευταία γίνονται προσπάθειες αξιοποίησής τους, σαν αδρανή υλικά στην οδοποιία ή στην τσιμεντοβιομηχανία.

Τέλος, τα υγρά απόβλητα από την έκπλυση των ρύπων στα διάφορα στάδια της καύσης, οδηγούνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

4.2.8. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της καύσης είναι :

- Με την καύση των οικιακών απορριμμάτων επιτυγχάνεται μείωση του αρχικού όγκου τους κατά 70-80%.
- Μείωση του αρχικού βάρους κατά 40% επιτυγχάνοντας σε ικανοποιητικό βαθμό έναν από τους βασικούς στόχους όλων των μεθόδων ανάκτησης υλικών ή ενέργειας από τα απορρίμματα, την ελαχιστοποίηση δηλαδή των απορριμμάτων που οδηγούνται προς ταφή.
- Θεωρείται η καύση ως η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος σε ορισμένες πυκνοκατοικημένες (αλλά χωρίς προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης) περιοχές του εξωτερικού όπου είναι δύσκολο να ευρεθεί χώρος υγειονομικής ταφής ακόμα και μακριά από κατοικημένες περιοχές.
- Είναι η μόνη ενδεδειγμένη και υποχρεωτική μέθοδος ασφαλούς διάθεσης του πλέον μολυσματικού μέρους των αστικών απορριμμάτων, των μολυσματικών δηλαδή νοσοκομειακών απορριμμάτων τα οποία σύμφωνα και με την ισχύουσα νομοθεσία πρέπει να συλλέγονται και να διατίθενται χωριστά από τα υπόλοιπα αστικά απορρίμματα.
- Η παραγωγή ενέργειας (από την ανάκτηση της θερμότητας των παραγόμενων καυσαερίων) είναι επίσης ένα από τα πολύ θετικά στοιχεία της μεθόδου προς την κατεύθυνση επίλυσης των ενεργειακών προβλημάτων του πλανήτη.

Η καύση όμως σαν μέθοδος έχει αρκετά μειονεκτήματα τα οποία είναι :

- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των εγκαταστάσεων καύσης και το οποίο περιορίζει σημαντικά της δυνατότητες εφαρμογής της, είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Μια μονάδα καύσης, όσο καλά κι αν κατάφερνε να προσαρμοστεί στις ελληνικές συνθήκες, πέρα από το σημαντικό υλικό κόστος λειτουργίας, θα είχε και προβλήματα από την πολύ έντονη εποχιακή διακύμανση της φυσικής σύνθεσης των απορριμμάτων.

- Επίσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη έκτασης γης κοντά στο χώρο των εγκαταστάσεων καύσης για την υγειονομική ταφή της τέφρας με, ανάλογα της τοξικότητάς της, μέτρα ασφαλούς διάθεσης. Ο χώρος αυτός θα πρέπει να μπορεί να δέχεται και ολόκληρη την ποσότητα των απορριμμάτων σε περίπτωση βλάβης της εγκατάστασης.
- Οι πιθανότητες βλάβης της εγκατάστασης καύσης είναι αρκετά μεγάλες εξαιτίας του χαρακτήρα του καυσίμου (διαβρωτικό, ογκώδες κλπ), γεγονός που συνεπάγεται πρόσθετη οικονομικά επιβάρυνση για τη συντήρηση και τις επισκευές της.

4.3 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

4.3.1. Εισαγωγή

Η πλέον συνηθισμένη μέθοδος θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων είναι η καύση. Παρότι αναπτύχθηκε μεγάλη πρόοδος στην τεχνολογία της καύσης εξακολουθούν και υπάρχουν μερικά κενά, ιδιαίτερα στο τομέα της προστασία του περιβάλλοντος. Με στόχο την καλύτερη θερμική επεξεργασία οδηγήθηκαν οι ερευνητές στην θερμική διάσπαση των οργανικών χωρίς ή με ελάχιστη την παρουσία του ελεύθερου οξυγόνου δηλ. στην Πυρόλυση (εικόνα 4.10) . Η μετατροπή των απορριμμάτων είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και περιλαμβάνει πολλαπλές φυσικές και χημικές διαδικασίες. Είναι μια πολύ ελαστική διαδικασία, η οποία παρέχει τη δυνατότητα για παρασκευή πολλών καυσίμων από μια ποικιλία πρώτων υλών.



Εικόνα 4.10: Εγκατάσταση Πυρόλυσης (www.boingboing.net/pyrolysis)

4.3.2. Περιγραφή Διαδικασίας

Κατά την πυρόλυση διασπώνται χημικοί δεσμοί και λαμβάνονται προϊόντα υψηλού ενεργειακού περιεχομένου, τα οποία ανάλογα με τις συνθήκες, μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα μέσα σε ειδικό κλίβανο υπό πίεση, λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική σε θερμοκρασία 500°C, για την

παραγωγή υγρού (λαδιού), ή μέχρι 700 °C, οπότε παράγεται κυρίως αέριο και κάρβουνο. Η τροφοδοσία του κλιβάνου, ανάλογα με τον τύπο του, μπορεί να γίνεται είτε με ακατέργαστα απορρίμματα, είτε με κατεργασμένα σε μορφή μικρών τεμαχίων.

Στη πυρόλυση των απορριμμάτων κύριο λόγο έχουν τα οργανικά υλικά. Εκτιμάται ότι το ποσοστό των οργανικών στα οικιακά απορρίμματα κυμαίνεται μεταξύ 50%- 60%(χαρτί, υπολείμματα κουζίνας, δέρμα, υφάσματα, ξύλο). Το μεγαλύτερο μέρος των υλικών τα οποία περιέχουν άνθρακα αποτελείται από κυτταρίνη. Ο εμπειρικός τύπος των απορριμμάτων είναι (C₆H₁₀O₅). Άλλη μια επίσης σπουδαία παράμετρος είναι η υγρασία των απορριμμάτων η οποία στα ελληνικά απορρίμματα είναι μεγαλύτερη του 30%.

Η ενέργεια (θερμότητα) που απαιτείται για την επίτευξη της πυρόλυσης, συνήθως αντλείται από την καύση ενός μέρους (1:5) των παραγόμενων αερίων καυσίμων. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί, ότι η περιεκτικότητα σε νερό της πρώτης ύλης πρέπει να είναι μικρότερη από 40%, διαφορετικά δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί η μέθοδος. Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης οι περισσότερες από τις θερμικά ασταθείς οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε χρήσιμα καύσιμα αέρια (κυρίως H₂, N₂, CH₄, CO, CO₂, C₂H₄, C₂H₆ (αιθάνιο), C₆H₆ (βενζόλιο), C₇H₈ (τουλουένιο) κλπ) των οποίων η θερμογόνο δύναμη εξαρτάται από το είδος του πυρολυτικού αντιδραστήρα, όπου γίνεται η αντίδραση χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας και από τη σύσταση των απορριμμάτων.

Επίσης, προκύπτει ένα κλάσμα που αποτελείται από πίσσα και διάφορα ελαιώδη προϊόντα, που υπό κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι σε υγρή κατάσταση και περιέχει χημικές ενώσεις όπως οξικό οξύ, ακετόνη, μεθανόλη, ακεταλδεϋδη κλπ. Η θερμογόνο δύναμη του κλάσματος αυτού είναι 10000 BTU/Lb.

Τέλος, προκύπτει ένα στερεό υπόλειμμα που περιέχει στερεό άνθρακα και μερικά άλλα αδρανή υλικά, με πολύ μικρή θερμογόνο δύναμη που στην ουσία το καθιστούν άχρηστο ως καύσιμο.

Οι χημικές αντιδράσεις της πυρόλυσης είναι ενδόθερμες (σε αντίθεση με αυτές της καύσης) και η ενέργεια που παράγεται είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για την πυρόλυση θερμότητα. Ειδικά στις κυτταρίνες υπάρχει η ακόλουθη αντίδραση : C₆H₁₀O₅ -> CH₄ + 3H₂O + 3C .

Δηλαδή παράγεται ένα μίγμα αερίου το οποίο περιέχει μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα και υγρασία. Τα δύο πρώτα αέρια καίγονται .Σ' αυτή την ιδανική αντίδραση δεν προστίθεται οξυγόνο. Οι περισσότερες οργανικές ουσίες στα απορρίμματα πυρολύονται κατά 75 - 90%σε πτητικά και 10 - 25% σε κώκ. Λόγω όμως της παρουσίας υγρασίας και ανόργανων ουσιών, η ποσότητα των πτητικών κυμαίνεται από 60 - 70% και του κώκ από 30 - 40%.Επειδή πρόκειται για πολύπλοκη διαδικασία γίνεται προσπάθεια ανάλυσης αυτού του φαινομένου με θερμοδυναμικές παρατηρήσεις στην αρχή και στο τέλος των αντιδράσεων. Μέσω αυτών των θερμοδυναμικών παρατηρήσεων δίνεται η δυνατότητα να υπολογισθεί η ενέργεια που ελευθερώνεται ή απαιτείται μέσω των ισοζυγίων μάζας και ενθαλπίας.

Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά την πυρόλυση είναι:

- ο Η ξήρανση (100-200°C)

- ο Διάσπαση της οξειδωσης, αποθείωση, αρχή της διάσπασης του υδρόθειου και διοξειδίου του άνθρακα (250°C)
- ο Διάσπαση των συνδέσμων των αλιφατικών ενώσεων.
- ο Εμπλουτισμός του υλικού σε άνθρακα (380°C)
- ο Διάσπαση των δεσμών του άνθρακα-οξυγόνου και άνθρακα-αζώτου (400°C)
- ο Μετατροπή των πισσασφαλούχων υλικών σε καύσιμη ύλη και πίσσα
- ο Σχάση των πισσασφαλούχων υλικών σε υλικά ανθεκτικά στη θερμότητα.
- ο Θερμική δημιουργία σε βενζόλιο και άλλες αρωματικές ενώσεις.

Τα παραγόμενα προϊόντα διαφέρουν στη σύνθεση τους και εξαρτώνται από τη θερμοκρασία της αντίδρασης, την πίεση στον αντιδραστήρα και την ποσότητα του αέρα η οποία εισέρχεται στον αντιδραστήρα.

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η σύνθεση του παραγόμενου αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το αέριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη γιατί δεν περιέχει σωματίδια και οργανικά οξέα. Το αέριο της πυρόλυσης χρησιμοποιείται αποκλειστικά στους θαλάμους μετάκαυσης.

Πίνακας 4.3: Πυρολυτική αποδόμηση οργανικών ενώσεων (Bilitewski B. Et al., 1997).

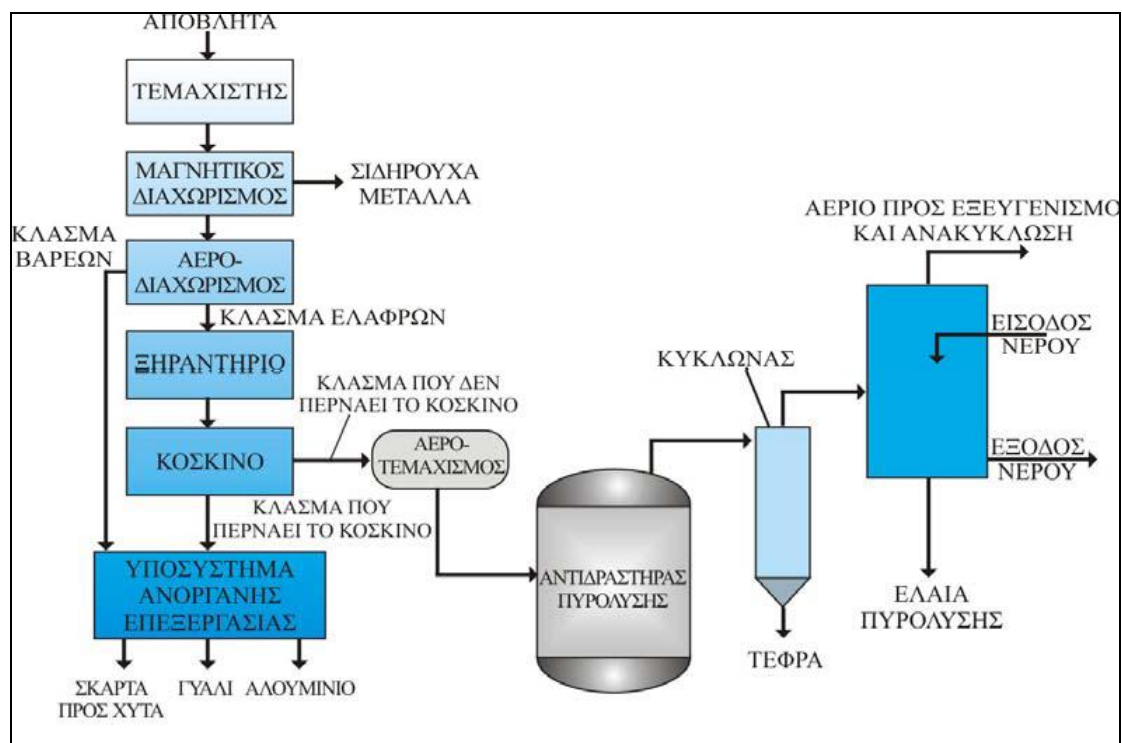
| Θερμοκρασία (°C) | Χημική αντίδραση |
|------------------|---|
| 100 έως 120 | Θερμική ξήρανση, αφυδάτωση |
| 250 | Αναγωγή, αποθείωση, μοριακή διάσπαση H ₂ O και CO ₂ , διάσπαση πολυμερισμένων μορίων, έναρξη διαχωρισμού H ₂ S |
| 340 | Διάσπαση δεσμών αλιφατικών ενώσεων, έναρξη διάσπασης μεθανίου και άλλων αλιφατικών ενώσεων |
| 380 | Φάση ανθρακοποίησης, συγκέντρωση άνθρακα στα υπολλείμματα |
| 400 | Διάσπαση δεσμών άνθρακα-οξυγόνου και άνθρακα-αζώτου |
| 400 μέχρι 600 | Αποσύνθεση ασφαλτούχων υλικών προς σχηματισμό χαμηλής θερμοκρασίας ελαιώδους φάσης και πίσσας |
| 600 | Διάσπαση ασφαλτούχων υλικών προς θερμοανθεκτικά υλικά (αέρια, μικρής αλυσίδας υδρογονάνθρακες), σχηματισμός αρωματικών ενώσεων (προϊόντων βενζολίου) |
| >600 | Διμερισμός ολεφινών (αιθυλενίου) σε βουτυλένιο, αφυδρογόνωση προς σχηματισμό βουταδιένιου, αντίδραση αιθυλενίου προς σχηματισμό κυκλοεξανίου, θερμική αρωματοποίηση προς σχηματισμό βενζολίου και αρωματικών ενώσεων υψηλής πτητικότητας. |

Πίνακας 4.4 : Σύνθεση αερίου πυρόλυσης (Ανδρεαδάκης, 2001)

| Σύνθεση αερίου | Θερμοκρασίες Πυρόλυση °C | | | |
|--------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | 500 | 650 | 815 | 926 |
| Μονοξείδιο του άνθρακα | 33.6 | 30.5 | 34.1 | 35.3 |
| Διοξείδιο του άνθρακα | 44.8 | 31.8 | 20.6 | 18.3 |
| Υδρογόνο | 5.6 | 16.5 | 28.6 | 32.4 |
| Μεθάνιο | 12.5 | 15.9 | 13.7 | 10.5 |
| Αιθάνιο | 3.0 | 3.1 | 0.8 | 1.1 |
| Αιθυλένιο | 0.5 | 2.2 | 2.2 | 2.4 |
| Θερμογόνος τιμή btu/Stlt | 312 | 403 | 392 | 385 |

Τα απορρίμματα όταν εισέλθουν στον αντιδραστήρα θερμαίνονται και ξηραίνονται στους 100°C, όπου και απομακρύνεται το νερό με την μορφή του ατμού. Αυξανόμενη της θερμοκρασίας αρχίζει η πυρολυτική διαδικασία.

Ελευθερώνονται οι υδρογονάνθρακες έως ότου μείνει ένα στερεό υπόλειμμα το κώκ. Τα παραγόμενα αέρια της πυρόλυσης λαμβάνουν την υψηλή θερμοκρασία και διασπώνται σε χαμηλομοριακούς υδρογονάνθρακες. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η πορεία όλης της διαδικασίας της πυρόλυσης.

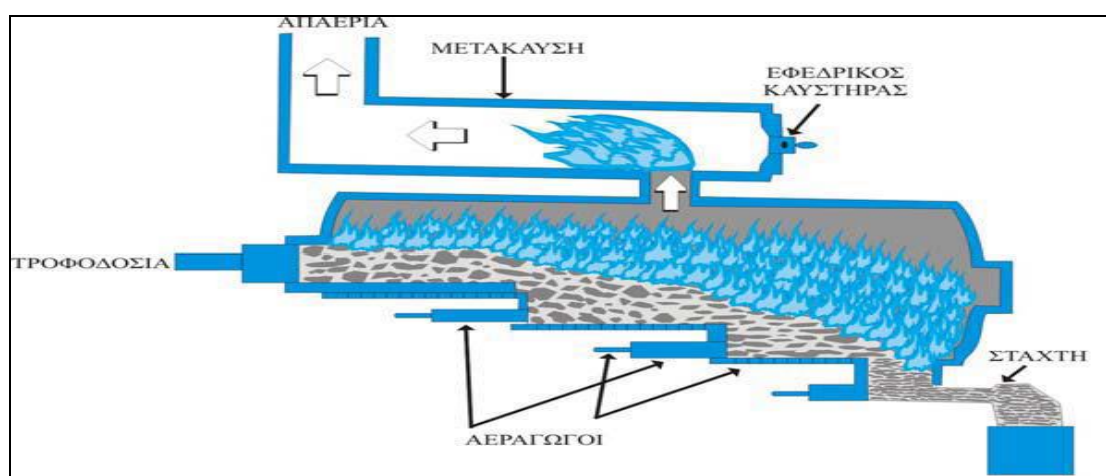


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα Ροής Πυρόλυσης (Γιδαράκος, 2006)

4.3.3. Κλίβανοι πυρόλυσης

Ως αντιδραστήρες για την πυρόλυση των απορριμμάτων ή RDF χρησιμοποιούνται οι λέβητες τήξης, οι κλασικοί κλίβανοι, οι περιστροφικοί ή μη κλίβανοι, ή τύμπανα και οι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης.

Ο πιο οικονομικός είναι ο κατακόρυφος (Vertical Shaft), στον οποίο η πρώτη ύλη προσάγεται από την κορυφή και κατακάθεται με τη βαρύτητα. Τα αέρια από την πυρόλυση συγκεντρώνονται στην κορυφή του φούρνου και απάγονται με σωλήνα προς το αεριοφυλάκιο, αφού προηγουμένως περάσουν από οξέα (Acid Scrubbers) αλκάλια (Caustic Scrubbers), για να απαλλαγούν από ανεπιθύμητες προσμίξεις. Τα καύσιμα, στερεά και υγρά, συλλέγονται στον πυθμένα του φούρνου.



Εικόνα 4.9: Διαταξή Πυρολυτικού Αντιδραστήρα (Γιδαράκος, 2006)

4.3.4. Λέβητες Πυρόλυσης

Υπάρχουν διάφορα είδη λεβήτων για τα αέρια πυρόλυσης. Κυριότεροι απ' αυτούς είναι: α) Οι λέβητες με εξωτερικό θάλαμο καύσης και β) Οι λέβητες με ενσωματωμένο φλογοθάλαμο. Ο λέβητας με εξωτερικό θάλαμο καύσης είναι σχεδιασμένος ως ατμοπαραγωγός φυσικής κυκλοφορίας.



Εικόνα 4.11: Πυρολυτικός Αντιδραστήρας (www.boingboing.net/pyrolysis)

4.3.5. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η πυρόλυση απαιτεί υψηλής τεχνολογίας και ανάπτυξης μηχανολογικές εγκαταστάσεις ωστόσο έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- Η θερμοκρασία διάσπασης είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία καύσης, με ανάλογη πολύ μικρότερη θερμική καταπόνηση όλης της εγκατάστασης.
- Η διάσπαση γίνεται σε αναγωγική ατμόσφαιρα και όχι οξειδωτική όπως η καύση.
- Η περιεκτικότητα της τέφρας σε άνθρακα είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι στην καύση.
- Τα μέταλλα που περιέχουν τα απορρίμματα δεν οξειδώνονται κατά την πυρόλυση και είναι πιο εύκολα εμπορεύσιμα.
- Το παραγόμενο αέριο αξιοποιείται σε άλλη εστία και ίσως σε άλλο χώρο από τον πυρολυτικό αντιδραστήρα.
- Από την καύση του αερίου της πυρόλυσης δεν παράγεται τέφρα και ο καθαρισμός των αερίων είναι απλούστερος.
- Ο αρχικός όγκος των απορριμμάτων μειώνεται περισσότερο απ' ότι στην καύση.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου της πυρόλυσης είναι τα εξής :

- Το μεγαλύτερο πρόβλημα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται τεμαχισμός και διαχωρισμός των απορριμμάτων πριν την πυρόλυση και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αρκετά υψηλό κόστος για την εγκατάσταση και τη λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας.
- Επίσης, η συνεχής χρησιμοποίηση βοηθητικού καύσιμου για να γίνει η πυρόλυση, δρα σαν ανασταλτικός παράγοντας.
- Τα παράγωγα της πυρόλυσης έχουν αρκετά προβλήματα και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να διατεθούν στο περιβάλλον όπως έχουν.
- Οι εγκαταστάσεις καθαρισμού των αερίων και των υγρών αποβλήτων απαιτούν πολύ μεγάλο κόστος.
- Η τεχνική της πυρόλυσης των απορριμμάτων είναι μια σχετικά νέα, αρκετά υποσχόμενη μέθοδος, η οποία όμως από εμπειρία εγκαταστάσεων που λειτουργούν κυρίως στις ΗΠΑ και την πρώην Δ. Γερμανία, δεν έχει δώσει ακόμα ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εφαρμογές βιομηχανικής κλίμακας, ιδιαίτερα για τα οικιακά απορρίμματα. Μεγαλύτερες προοπτικές εξέλιξης δείχνουν πάντως να έχουν οι αντιδραστήρες μέσης θερμοκρασίας με τη μορφή περιστροφικού τυμπάνου ή ρευστοποιημένης κλίνης.

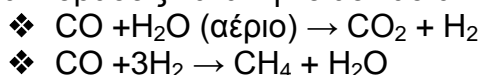
4.4 Αεριοποίηση

4.4.1. Εισαγωγή

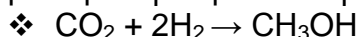
Με τον όρο αεριοποίηση χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία κάθε στερεή ή υγρή ουσία οργανικής προέλευσης, με προσθήκη ατμού και αέρα, μετατρέπεται σε αέριο. Η διεργασία πραγματοποιείται σε ειδικούς αντιδραστήρες οι οποίοι καλούνται αεριογόνα. Ενώ κατά την πυρόλυση έχουμε θέρμανση χωρίς παρουσία οξυγόνου, κατά την αεριοποίηση τα προς επεξεργασία απορρίμματα θερμαίνονται παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου, για τη μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, γνωστό διεθνώς ως synthesis gas, αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (H₂) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ισχύος αλλά και ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία. Η αεριοποίηση μπορεί να γίνει με O₂ ή αέρα. Στη δεύτερη περίπτωση το τελικό αέριο περιέχει περίπου 40% N₂, πράγμα που μειώνει τη θερμοαντική αξία του αερίου από 13 MJ/m³ σε 7 MJ/m³. Επίσης, επειδή επιδιώκεται μετατροπή του αερίου σε κάποιο πιο χρήσιμο προϊόν, και συγκεκριμένα μεθανόλη, ή αμμωνία, υπό υψηλή πίεση, καλό είναι να αποφεύγεται η παρουσία του N₂, που είναι αδρανές.,

4.4.2. Αντιδράσεις Αεριοποίησης

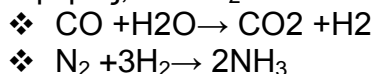
Οι κύριες αντιδράσεις κατά την διαδικασία της αεριοποίησης είναι οι εξής:



Η πρώτη αντίδραση είναι απαραίτητη για την αύξηση του H₂ στο μίγμα, στην αναλογία περίπου 1CO:3H₂. Η δεύτερη είναι ισχυρά εξώθερμη αντίδραση γι' αυτό πρέπει να απάγεται θερμότητα, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται γύρω στους 4000C. Η μετατροπή σε μεθανόλη γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



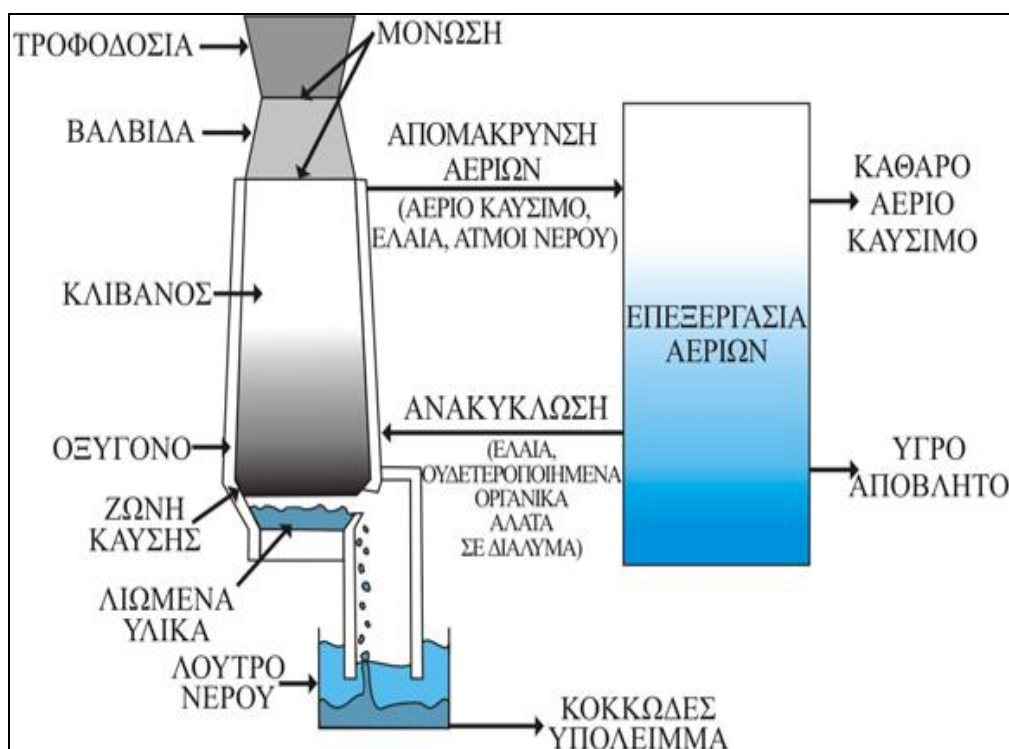
Η αντίδραση αυτή, όπως και οι προηγούμενες, γίνεται παρουσία κατάλληλων καταλυτών. Το τελικό προϊόν περιέχει σαν πρόσμιξη αιθανόλη, νερό και ανώτερες αλκοόλες, αλλά η περιεκτικότητα σε μεθανόλη είναι 98% περίπου. Για τη μετατροπή σε αμμωνία απαιτείται απομάκρυνση όλου του CO, το οποίο μετατρέπεται, κατά το μεγαλύτερο μέρος, σε CO₂ και δίνει H₂:



4.4.3. Προϊόντα αεριοποίησης

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι :

- Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο
- Στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα που παρουσιάζει σύσταση παρόμοια με αυτή του υγρού κλάσματος που παράγεται κατά την πυρόλυση.

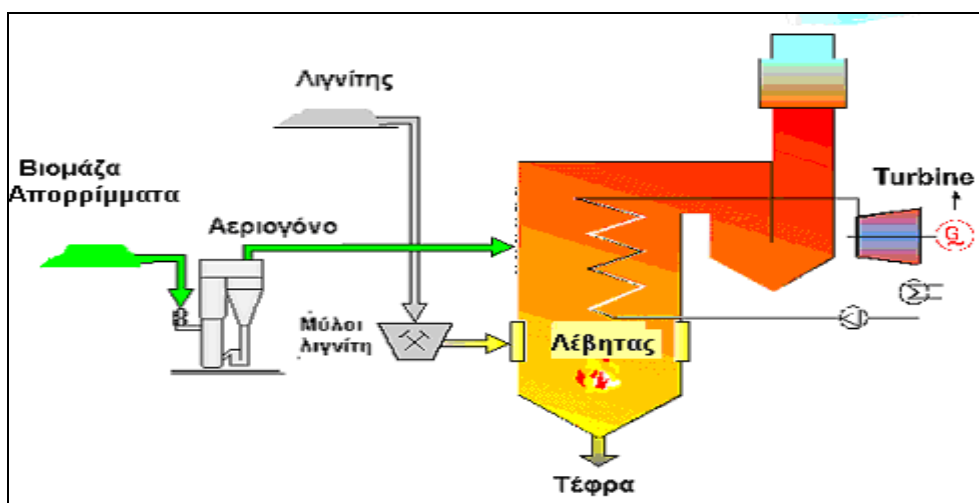


Σχήμα 4.4 : Διάγραμμα Ροής Αεριοποίησης (Γιδαράκος, 2006)

4.4.4. Συνδυασμένη Αεριοποίηση στερεών απορριμμάτων και λιγνίτη

Συνδυασμένη αεριοποίηση άνθρακα και απορριμμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με παράλληλη ή με άμεση αεριοποίηση. Και οι δύο τεχνολογίες βρίσκονται σε επιδεικτικό στάδιο, εμφανίζοντας το μεγαλύτερο δυναμικό βελτίωσης από κάθε άλλη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας με βάση τα στερεά καύσιμα .

- Παράλληλη Αεριοποίηση



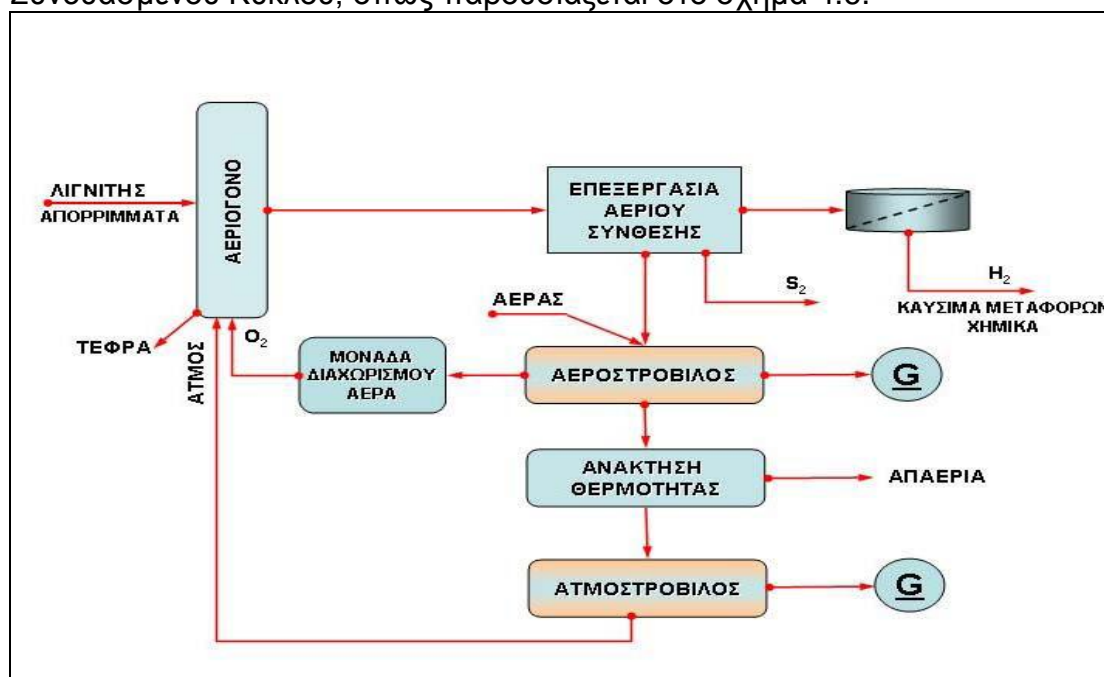
Σχήμα 4.5: Παράλληλη αεριοποίηση λιγνίτη και απορριμμάτων

Στην μέθοδο αυτή το παραγόμενο αέριο σύνθεσης εξέρχεται από το αεριογόνο και οδηγείται σε συμβατικούς λέβητες κονιοποιημένου καυσίμου όπου καίγεται ακατέργαστο ως συμπληρωματικό καύσιμο σε συνδυασμό με άνθρακα. Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται απλοποιημένο διάγραμμα ροής της τεχνολογίας παράλληλης αεριοποίησης.

Η τεχνολογία της παράλληλης αεριοποίησης δεν παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του παραγόμενου αερίου σύνθεσης για άμεση παραγωγή ενέργειας, λόγω απουσίας μονάδας επεξεργασίας του. Σε αντιδιαστολή, απαιτείται χαμηλό κόστος επένδυσης ενώ ενδεχόμενες διακοπές στην διαδικασία αεριοποίησης δεν αναγκάζουν σε καθολική διακοπή ολόκληρης της μονάδας παραγωγής ενέργειας. Η ενέργεια των απορριμμάτων μεταφέρεται από το αεριογόνο στο λέβητα ως αισθητή θερμότητα, με τη μορφή χαμηλής θερμογόνου ικανότητας αέριο και ως λεπτομερές καύσιμο σωματιδίων κώκ. Εκτός της μείωσης των εκπομπών CO₂ λόγω υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων, σημαντικό περιβαλλοντικό πλεονέκτημα αποτελεί η μείωση των εκπομπών NO_x κατά 10 mg/MJ και του SO₂ κατά 20-25 mg/MJ. Η μέθοδος της παράλληλης αεριοποίησης βρίσκεται σε επιδεικτικό στάδιο στο Zeltweg της Αυστρίας καθώς και στο θερμικό σταθμό Kymijarvi στη Φινλανδία. Και οι δύο μονάδες λειτουργούν με την τεχνολογία της συμπαραγωγής και χρησιμοποιούν άνθρακα ως καύσιμο βάσης ο οποίος υποκαθίσταται έως και 30% από βιομάζα και αστικά απορρίμματα.

• **Άμεση Αεριοποίηση**

Στην άμεση αεριοποίηση τα απορρίμματα αναμειγνύονται με τον άνθρακα και στη συνέχεια τροφοδοτούνται στο αεριογόνο. Η όλη διεργασία αποτελεί την ενσωμάτωση τριών ώριμων τεχνολογιών: αεριοποίηση, επεξεργασία ρευστών, παραγωγή ισχύος σε συνδυασμένο κύκλο. Η λειτουργική διασύνδεση των τεχνολογιών αυτών αποτελεί τα Ολοκληρωμένα Συστήματα Αεριοποίησης Συνδυασμένου Κύκλου, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Ολοκληρωμένο σύστημα αεριοποίησης λιγνίτη και απορριμμάτων (Τ.Ε.Ε., 2005)

Η συνδυασμένη αεριοποίηση με δύο κύριους κύκλους παραγωγής ενέργειας, τον κύκλο Brayton και τον κύκλο ατμού Rankine, έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική στην παραγωγή ισχύος. Επιπλέον, το αέριο σύνθεσης μπορεί να μετατραπεί σε χημικά προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως υδρογόνο, μεθανόλη, αμμωνία, συνθετικό φυσικό αέριο ή λιπάσματα . Παράλληλα, δίδεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης στην παραγωγική διαδικασία προηγμένων τεχνολογιών ενεργειακών τεχνολογιών όπως για παράδειγμα τα κελιά καυσίμου (fuel cells). Σε παγκόσμιο επίπεδο, συνδυασμένη αεριοποίηση άνθρακα και απορριμμάτων πραγματοποιείται στις εγκαταστάσεις της Schwarze Pumpe GmbH στη Γερμανία, στο Westfield Development Center της Σκωτίας και στο Kentucky της Β. Αμερικής . Και οι τρεις παραπάνω μονάδες χρησιμοποιούν αεριογόνο κινούμενης κλίνης υγρής τέφρας της British Gas Lurgi (BGL). Το συγκεκριμένο αεριογόνο σχεδιάστηκε και εξελίχθηκε για αεριοποίηση χονδρόκοκκων στερεών υλικών, χωρίς περιορισμό στην περιεκτικότητα τέφρας και υγρασίας, ενώ η παραγόμενη τέφρα υαλώδους δομής ικανοποιεί απόλυτα τα κριτήρια των γερμανικών κανονισμών που αφορούν τη διαχείριση αποβλήτων.

4.5 ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

4.5.1. Εισαγωγή

Η πρόοδος της τεχνολογίας και οι μακροχρόνιες έρευνες για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων της αεριοποίησης κατέληξαν στην ανακάλυψη μιας νέας μεθόδου, της αεριοποίησης πλάσματος, το 1995, η οποία αποτελεί ίσως την πιο σύγχρονη τεχνολογία επεξεργασίας απορριμμάτων. Τα τελευταία χρόνια κερδίζει συνεχώς έδαφος στο εξωτερικό, για την επεξεργασία των επικίνδυνων αποβλήτων. Τέτοιες μονάδες λειτουργούν, ήδη από τη δεκαετία του '90, στη Γαλλία, ενώ από το 2000 ανάλογες εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν στις ΗΠΑ, στην Ιαπωνία και την Αγγλία. Ο μεγαλύτερος αριθμός μονάδων πλάσματος βρίσκεται στην Ιαπωνία (πίνακας 4.5) και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων και ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων.

Πίνακας 4.5: Μονάδες Τεχνολογίας Πλάσματος για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων (R.W. Beck Inc, 2003)

| Τοποθεσία | Εταιρία | Έναρξη Λειτουργίας | Δυναμικότητα |
|--------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| Yoshi, Japan | Westinghouse | 1999 | 24 τόνους/ημέρα |
| Mihata and Mikata, Japan | Hitachi Metals | 2002 | 28 τόνους/ημέρα |
| Utashinai, Japan | Hitachi Metals | 2002 | 183 τόνους /ημέρα |
| Rome, Italy | Enel - Solena Group | 2005 | 336 τόνους/ημέρα |
| Skierbreszow, Poland | Startech Environmental Corp. | Αναμένεται | 300 τόνους/ημέρα |
| Karlino, Poland | Startech Environmental Corp. | Αναμένεται | 300 τόνους/ημέρα |
| Barcelona, Spain | Plasco Energy Group | Αναμένεται | 85 τόνους /ημέρα |
| Ottawa, Canada | Plasco Energy Group | Αναμένεται | 75 τόνους / ημέρα |

Σε όλες αυτές γίνεται επεξεργασία βλαβερών απορριμμάτων, όπως βαρέων μετάλλων, λυματολάσπης από βιολογικούς καθαρισμούς, ελαστικών και τέφρας από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Άλλωστε, με τη συγκεκριμένη τεχνολογία όλα αυτά τα απορρίμματα λιώνουν και μετατρέπονται σε ένα υαλώδες υλικό, στο οποίο τα τοξικά χημικά στοιχεία θα παραμείνουν εγκλωβισμένα για χιλιάδες χρόνια. Είναι, μάλιστα, χαρακτηριστικό ότι οι μέχρι τώρα έρευνες δείχνουν πως το παραγόμενο «γυαλί» είναι τόσο ασφαλές ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σαν υλικό οδοποιίας.

Το μυστικό της αεριοποίησης πλάσματος κρύβεται στα δύο ηλεκτρόδια που εγκαθίστανται στον κλίβανο επεξεργασίας των αποβλήτων. «Ουσιαστικά, τα

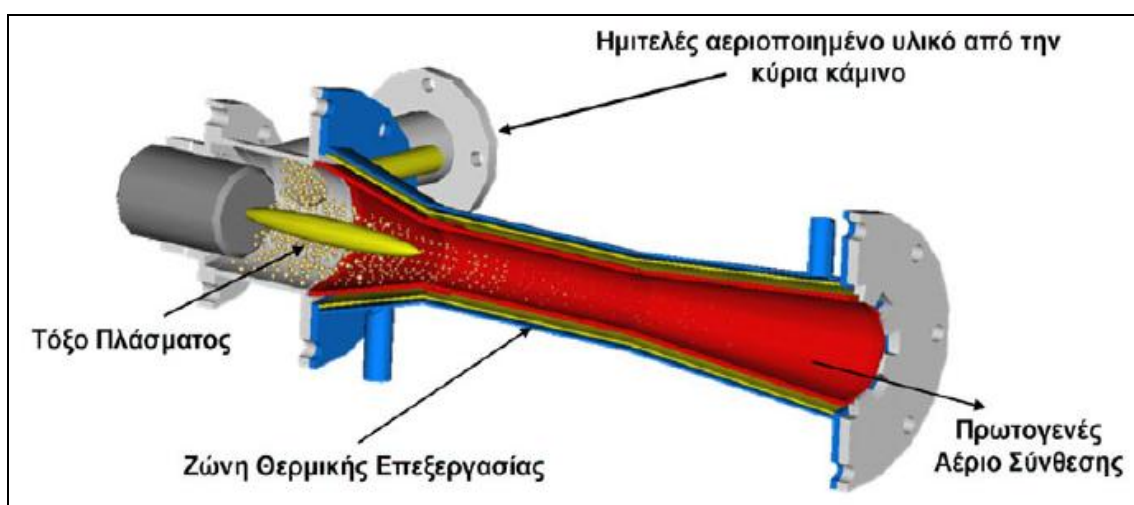
ηλεκτρόδια αναπαράγουν τον φυσικό μηχανισμό με τον οποίο δημιουργούνται οι κεραυνοί», λέει ο κ. Επαμεινώνδας Βουτσάς, λέκτορας στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και μέλος του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς, το οποίο ασχολείται πειραματικά με τη συγκεκριμένη τεχνολογία. «Αυτό σημαίνει ότι, με την υψηλή τάση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια, ο αέρας διασπάται σε θετικά και αρνητικά ιόντα, ώστε να μετατρέπεται σε αυτό που στη Φυσική ονομάζουμε πλάσμα», συνεχίζει, «τη στιγμή που η θερμοκρασία στον κλίβανο αυξάνει πάνω από τους 5.000 βαθμούς Κελσίου».



Εικόνα 4.11: Πλάσμα (www.wtert.gr)

Πλάσμα (εικόνα 4.11) ονομάζεται το αέριο που έχει ιονιστεί. Τα αέρια ιονίζονται όταν θερμανθούν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία (>5.000 °C). Το πλάσμα δημιουργείται κατά την ηλεκτρική εκκένωση ενός αερίου. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, τα αέρια δεν είναι αγωγίμα. Αν όμως εφαρμοστεί υψηλή τάση, τα αέρια χάνουν τις μονωτικές τους ιδιότητες και καθώς ο ηλεκτρισμός ρέει μέσα από αυτά, θερμαίνονται και άγουν ολοένα και περισσότερο. Ο ήλιος και η αστραπή είναι δυο, φυσικά και μη ελεγχόμενα, παραδείγματα πλάσματος.

Το πλάσμα, στην τεχνητή και ελεγχόμενη μορφή του, χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια στη βιομηχανία σε διάφορες εφαρμογές, όπως στη χημική ανάλυση και στη μεταλλουργία.



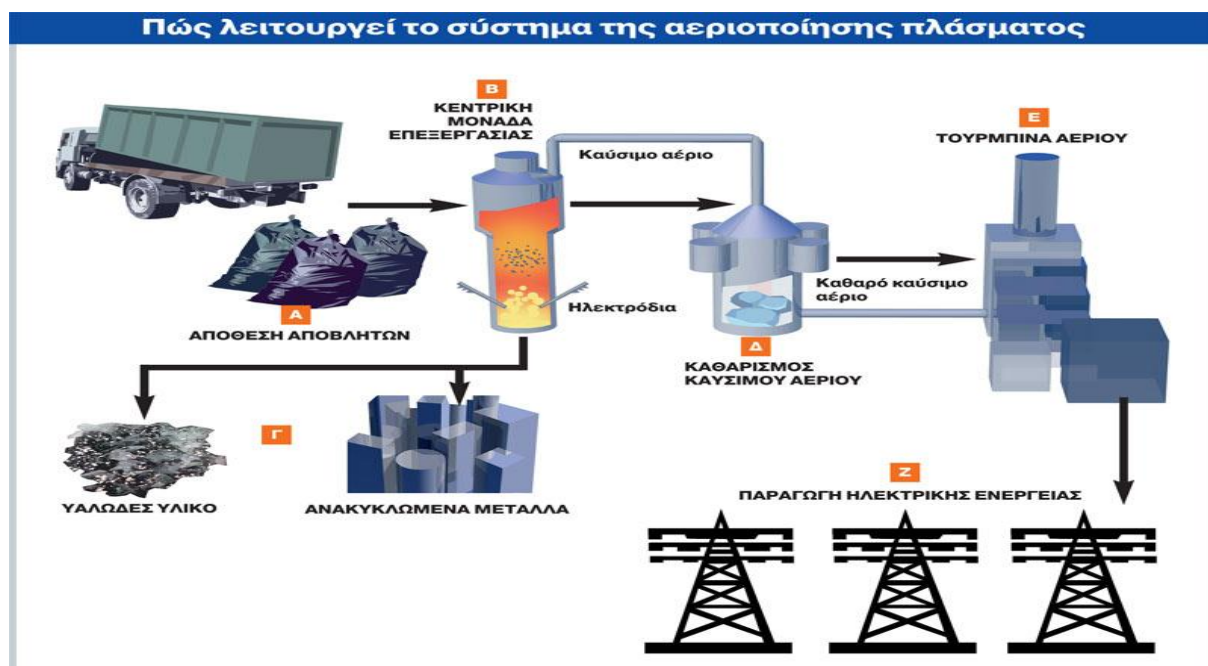
Εικόνα 4.12: Αεριοποιητής Πλάσματος (Πυρογένεσις ΑΕΒΕ)

4.5.2. Περιγραφή Λειτουργίας Μονάδας Πλάσματος

Η διαδικασία της επεξεργασίας των απορριμμάτων με τη μέθοδο της αεριοποίησης

πλάσματος μπορεί να χωριστεί σε 4 φάσεις:

- (1) το χειρισμό των υλικών,
- (2) το θερμικό μετασχηματισμό ή την αεριοποίηση του πλάσματος,
- (3) την ανάκτηση αερίου και
- (4) την παραγωγή ατμού και ενέργειας.



Εικόνα 4.13: Λειτουργία τεχνολογίας πλάσματος (www.wtert.gr)

4.5.2.1. Χειρισμός Υλικών

Αρχικά, τα εισερχόμενα απορρίμματα ζυγίζονται και μετά αποτίθενται σε κάποιο από τα φορτηγά που χρησιμοποιούνται ως μεταφορικά μέσα για να μεταφέρουν τα απορρίμματα. Δεν είναι απαραίτητος κάποιος ιδιαίτερος χειρισμός. Ο μόνος διαχωρισμός που απαιτείται θα γίνει σε υπερμεγέθη κομμάτια που δεν χωράνε στο φορτηγό, σε βαριά μεταλλικά αντικείμενα όπως μηχανές, που μπορούν να μειώσουν την ταχύτητα του φορτηγού, ή αντικείμενα που χρειάζονται ειδική προεπεξεργασία, όπως ψυγεία, καταψύκτες και Α.Σ. που χρειάζεται να μετακινηθεί το Freon. Επικίνδυνα απορρίμματα και ιατρικά απόβλητα χειρίζονται ξεχωριστά και δεν αναμειγνύονται με άλλα απόβλητα.

Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να επεξεργάζεται απορρίμματα όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Κατά τη διάρκεια των ωρών διανομής τα απορρίμματα διανέμονται πιο γρήγορα από ότι αεριοποιούνται. Μέρος των απορριμμάτων αποθηκεύεται για επεξεργασία τη νύχτα, τα σαββατοκύριακα και τις διακοπές. Τα υπερμεγέθη υλικά μεταφέρονται και κατόπιν οδηγούνται στην αποθήκευση. Ο κύκλος των απορριμμάτων ολοκληρώνεται κάθε 3-4 μέρες. Αν για οποιοδήποτε λόγο η εγκατάσταση σταματήσει να λειτουργεί τα απορρίμματα που λαμβάνονται οδηγούνται σε περιοχές αποθήκευσης που έχουν σχεδιασθεί για να χειρίζονται αυτό τον ξαφνικό φόρτο.

4.5.2.2. Θερμικός μετασχηματισμός απορριμμάτων

Τα απορρίμματα εγχέονται στο επάνω μέρος του θερμικού μετασχηματιστή (αναφέρεται και ως αεριοποιητής πλάσματος ή αντιδραστήρας, (εικόνα 4.12) και συσσωρεύεται στο σώμα του αντιδραστήρα. Το πλάσμα βρίσκεται στον πάτο του αντιδραστήρα και παράγει φλόγα μεταξύ 5.000 - 8.000 °F. Το οργανικό υλικό δεν καίγεται γιατί δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο, αλλά μετατρέπεται σε αέριο που αποτελείται από CO, H₂ και N. Αυτό το αέριο περιέχει ουσιαστική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους.

Το καυτό αέριο ανεβαίνει μέσω των συσσωρευμένων απορριμμάτων στον αντιδραστήρα και ξεκινά η αεριοποίηση στο υλικό που είναι συσσωρευμένο στον αντιδραστήρα. Μέχρι να φτάσουν τα απορρίμματα στον πάτο του αντιδραστήρα, μέσω της υψηλής θερμοκρασίας, όλες οι οργανικές ενώσεις έχουν μετατραπεί σε αέρια.

Το αέριο που διαφεύγει από την κορυφή του αντιδραστήρα είναι φτιαγμένο πρωταρχικά από CO, H₂, H₂O και N. Περιέχονται επίσης μικρές ποσότητες χλωρίου, σουλφιδίου του υδρογόνου, CO₂ και μέταλλα με σημεία βρασμού λιγότερο από 2280°F. Λόγω της έλλειψης οξυγόνου και της υψηλής θερμοκρασίας, τα βασικά στοιχεία του αερίου δεν μπορούν να σχηματίσουν τοξικές ενώσεις όπως φουράνες, διοξίνες NO_x, ή διοξείδιο του θείου στον αντιδραστήρα.

Καθώς το αέριο βγαίνει από τον αντιδραστήρα πρώτα πηγαίνει σε ένα ιδιόκτητο αναμορφωτή αερίου και μετά ψύχεται σε μια σειρά εναλλακτών θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία μειώνεται στους 270°F περίπου και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι υψηλές θερμοκρασίες από το πλάσμα υγροποιούν όλα τα ανόργανα υλικά όπως τα μέταλλα, το γυαλί, το διοξείδιο του πυριτίου κ.λπ. Τα μέταλλα και το γυαλί ρέουν από τον αντιδραστήρα και οδηγούνται σε ένα χώρο που καθαρίζονται με νερό.

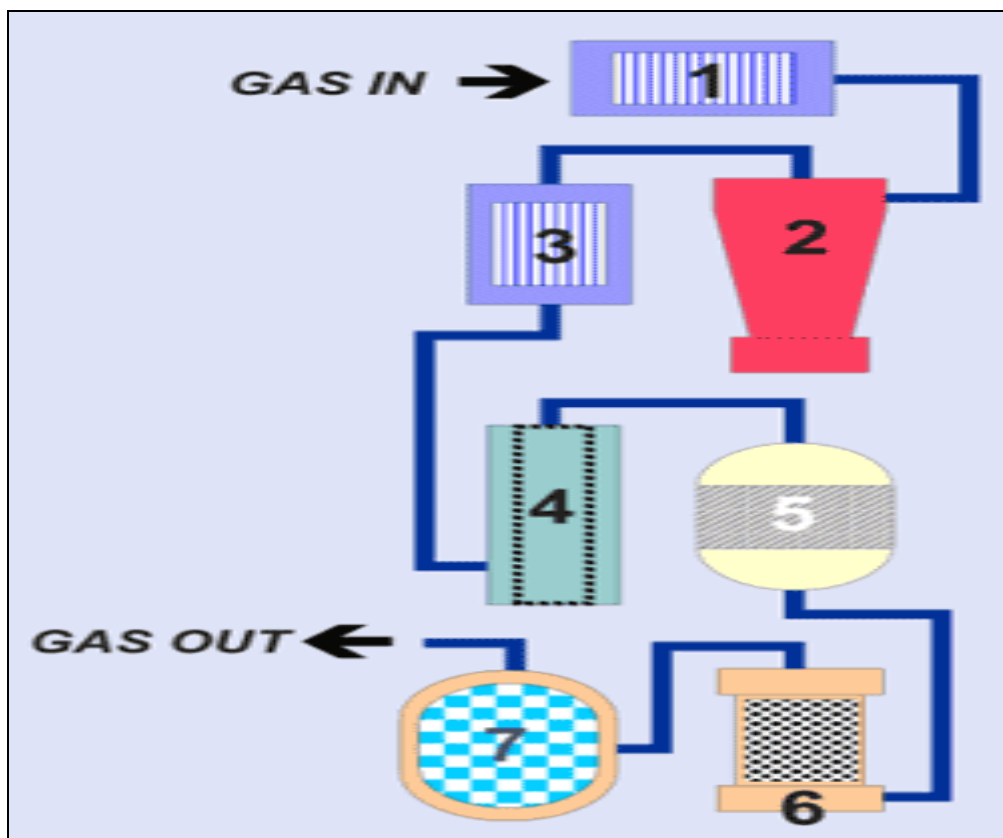
Στο τέλος του θερμικού μετασχηματισμού δεν έχουν μείνει άλλα απορρίμματα. Όλα τα απορρίμματα ανακυκλώθηκαν σε μέταλλο, γυαλί ή έχουν μετατραπεί σε αέριο καύσιμο.

4.5.2.3. Επεξεργασία παραγόμενων αερίων

Το αέριο εξερχόμενο από τον αντιδραστήρα ακολουθεί την πορεία που φαίνεται στο σχήμα 4.7, και είναι η ακόλουθη:

- Περνά από τον αρχικό εναλλάκτη θερμότητας, όπου η θερμοκρασία του μειώνεται από τους 1000°C στους 650°C.
- Έπειτα, το αέριο περνά στον διαχωριστή κυκλώνα υψηλής θερμοκρασίας όπου, περίπου το 85% των σωματιδίων απομακρύνεται. Ένα μικρότερο ποσοστό των μετάλλων παρασύρεται μαζί τους και εγχέονται στο λιωμένο γυαλί. Τα συστατικά του γυαλιού είναι κλειδωμένα στη μήτρα του αντιδραστήρα και δεν μπορούν να διαφύγουν.

- Περνά από έναν ακόμα εναλλάκτη θερμότητας. Σε αυτή τη φάση μπορεί να γίνει και ανάκτηση θερμότητας εάν αυτό είναι επιθυμητό.
- Το αέριο περνά μέσα από μια συσκευή καθαρισμού αερίων όπου το υδροχλωρικό οξύ καθαρίζεται. Το υγρό αυτό περνά από μια σειρά μεμβρανών όπου τα σωματίδια και τα μέταλλα απομακρύνονται. Τα μέταλλα και τα σωματίδια σε αυτό το στάδιο δεν μπορούν να επιστραφούν στο γυαλί, αλλά μπορούν να πωληθούν σε ένα διυλιστήριο ή να μεταφερθούν σε ΧΥΤΑ. Αυτό το μικρό ποσοστό υλικού είναι το μόνο υλικό που μπορεί να γυρίσει πίσω στον ΧΥΤΑ και αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 1% των πρώτων υλών τροφοδοσίας.
- Υφίσταται επιλεκτική καταλυτική οξειδωση για την απομάκρυνση των NOx.
- Περνά από κατακόρυφο διαχωριστή για την απομάκρυνση των οξέων και των πτητικών ουσιών.
- Τελικός καθαρισμός με ενεργό άνθρακα.



Σχήμα 4.7: Πορεία καθαρισμού παραγόμενων αερίων

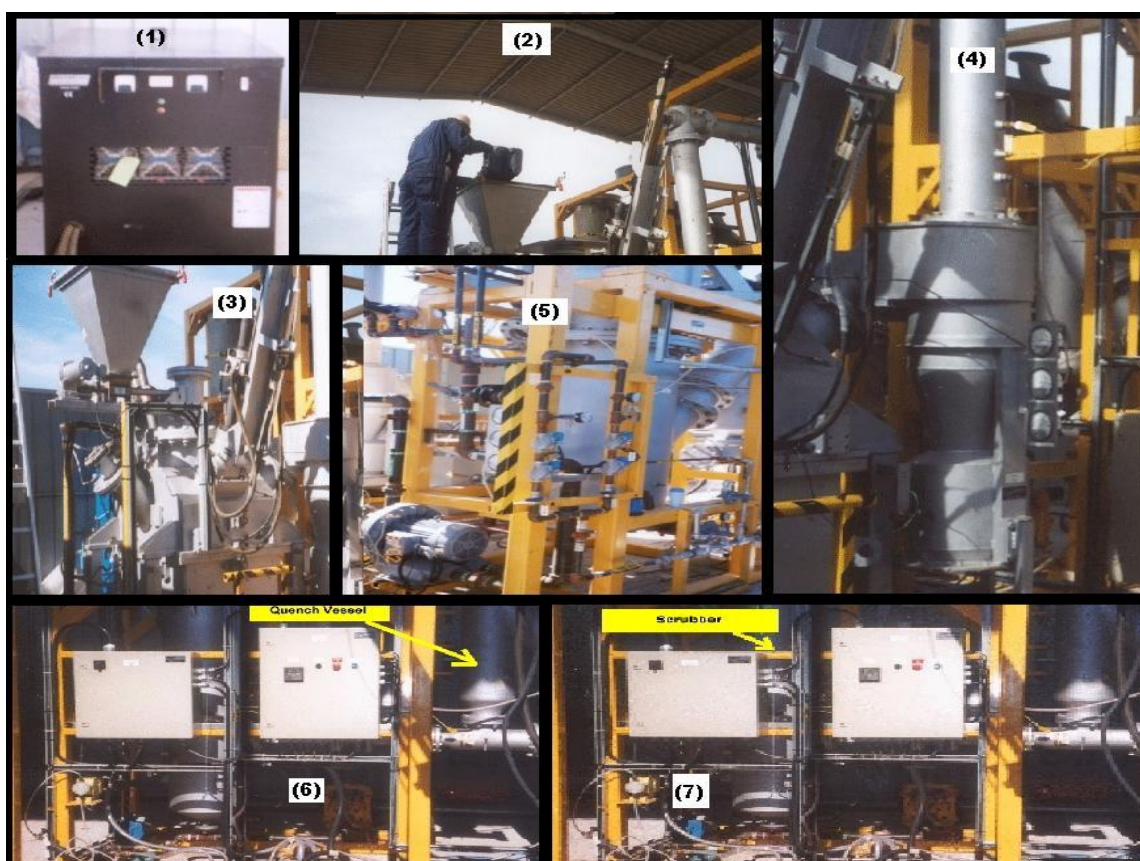
Οι υδρατμοί στο αέριο συμπυκνώνεται και χρησιμοποιείται για να δώσει στην υπόλοιπη εγκατάσταση καθαρό νερό. Το αέριο τότε πηγαίνει στην τουρμπίνα αερίου.

Το H₂S μετατρέπεται σε διοξείδιο του θείου. Μετά την εκκένωση της τουρμπίνας, τα αέρια οδηγούνται σε μια συσκευή καθαρισμού όπου το SO₂ μετατρέπεται σε NaSH. Η τελευταία διαδικασία έχει μικρότερο κόστος αλλά απαιτεί περισσότερο υδροξείδιο του νατρίου και έχει μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας.

4.5.2.4. Παράγωγή Ενέργειας

- Ο ατμός υψηλής πίεσης από τον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας πηγαίνει σε μια τουρμπίνα ατμού όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται καλύπτει τις περισσότερες απαιτήσεις για εσωτερική ενέργεια.
- Το καύσιμο αέριο πηγαίνει σε μια τουρμπίνα αερίου/ ατμού για να παράξει ηλεκτρική ενέργεια.
- Όλη η διαθέσιμη θερμότητα χρησιμοποιείται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια ή ατμός. Η θερμοκρασία εκκένωσης της τουρμπίνας είναι λιγότερο από 270 °F.
- Μια εγκατάσταση σχεδιασμένη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παράξει περίπου 1 MW ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε τόνο απορριμμάτων, που όμως εξαρτάται από το περιεχόμενο υγρασίας και τον χαρακτηρισμό των απορριμμάτων.

4.5.3. Βασικά μέρη της μονάδας πλάσματος



Εικόνα 4.14: Βασικά Μέρη Μονάδας Πλάσματος (Πυρογένεσις Α.Β.Ε.Ε)

1. Ανορθωτής ρεύματος: Επιτρέπει τη λειτουργία σταθερού τόξου πλάσματος και για τα ηλεκτρόδια έχει μια μέγιστη ισχύ 120 KVA στην έξοδο και 380 VA C-3φ – 50 Hz στην είσοδο.

2. Σύστημα τροφοδοσίας αποβλήτων: Το σύστημα τροφοδοσίας αποβλήτων αποτελείται από μια χοάνη που προορίζεται για την τροφοδοσία στερεών αποβλήτων που χαρακτηρίζονται από μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία 50% και μέγιστο μέγεθος σωματιδίων 2,5 cm. Το σύστημα έχει μέγιστη δυναμικότητα τροφοδοσίας 85 kg/h αποβλήτων. Ο ρυθμός τροφοδοσίας ελέγχεται ρυθμίζοντας την ταχύτητα του κοχλιόδρομου. Τα απόβλητα φορτώνονται δια χειρός στη χοάνη που συνδέεται με τον κοχλιόδρομο. Ο ρυθμός ροής είναι συνεχής και πολύ σταθερός.

3. Κλίβανος αεριοποίησης/υαλοποίησης: Ο κλίβανος αποτελείται από ένα χώρο τήξης του υλικού με χωρητικότητα περίπου 130 λίτρα. Οι εσωτερικές διαστάσεις του χώρου είναι 44 cm πλάτος και 87 cm μήκος. Περιλαμβάνει ακόμη έναν καυστήρα φυσικού αερίου για την προθέρμανση, μια θέση για την είσοδο του απαιτούμενου αέρα, ένα μηχανισμό ψύξης με νερό για τα ηλεκτρόδια γραφίτη, ένα σύστημα για την ψύξη των εξωτερικών επιφανειών του κλιβάνου και μια τρύπα για την περιοδική ή συνεχή αφαίρεση του υαλοποιημένου υπολείμματος. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας πλάσματος, το κάτω μέρος του κλιβάνου περιέχει τηγμένο υπόλειμμα, ενώ το πάνω μέρος του περιέχει τα αέρια της διαδικασίας. Το υαλοποιημένο υπόλειμμα μεταφέρεται σε ασάλινο δοχείο και αφήνεται να ψυχθεί. Ο απαιτούμενος αέρας τροφοδοτείται στον κλίβανο με ένα σύστημα συμπιεσμένου αέρα και ο ρυθμός ροής ελέγχεται με τη βοήθεια των κατάλληλων βαλβίδων.

4. Κυκλώνας: Ο κυκλώνας σχεδιάστηκε για την απομάκρυνση των αιωρούμενων σωματιδίων από το αέριο σύνθεσης. Η σκόνη συλλέγεται στο κάτω μέρος του κυκλώνα και πρέπει να αφαιρείται κατά τη διάρκεια ή μετά από κάθε δοκιμή. Τα παραγόμενα αέρια καθώς εισέρχονται στον κυκλώνα, τίθενται σε κυκλική κίνηση και η φυγόκεντρος δύναμη κάνει δυνατή την απομάκρυνση των σωματιδίων της σκόνης που περιέχονται στα αέρια σε σημαντικό βαθμό.

5. Δευτερογενής θάλαμος καύσης: Τα αποτελέσματα της λειτουργίας του είναι η οξειδωση των συστατικών των αερίων που παράγονται στον κλίβανο. Ο δευτερογενής θάλαμος καύσης σχεδιάστηκε για την καύση του υδρογόνου (H_2) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) του αερίου σύνθεσης. Για να γίνουν οι μετατροπές των CO και H_2 σε CO_2 και H_2O , προστίθεται αέρας στο δευτερογενή θάλαμο καύσης. Οι καυστήρες προπανίου χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στους $1100^\circ C$. Ο χειριστής μπορεί να επιτυγχάνει με τοπικές ρυθμίσεις την απαιτούμενη θερμοκρασία στο δευτερογενή θάλαμο καύσης. Αυτή η θερμοκρασία απαιτείται για την πλήρη καύση του CO και του H_2 σε μια περιοχή που δε δημιουργούνται επικίνδυνα παραπροϊόντα. Σε κανονική λειτουργία, ο χρόνος παραμονής των αερίων στο δευτερογενή θάλαμο καύσης είναι περίπου δύο δευτερόλεπτα. Ο θάλαμος είναι ένα δοχείο με εξωτερικές διαστάσεις 3,6 m ύψος και 0,8 m διάμετρο, ενώ οι εσωτερικές του διαστάσεις είναι 3,0 m μήκος και 0,49 m διάμετρος.

6. Σύστημα διαβροχής με νερό: Είναι τοποθετημένο στην έξοδο του δευτερογενούς θαλάμου καύσης. Ο ρόλος του είναι η απότομη ψύξη των αερίων καύσης περίπου στους 750C, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η παραγωγή διοξινών ή άλλων οργανικών ενώσεων. Ο έλεγχος της ποσότητας του νερού μπορεί να ρυθμίσει τη θερμοκρασία των αερίων που εξέρχονται από το δοχείο.

7. Σύστημα υγρού καθαρισμού απαερίων: Ο ρόλος του είναι να απομακρύνει τα υδατοδιαλυτά συστατικά των απαερίων, συμπεριλαμβανομένων του υδροχλωρίου και των οξειδίων του θείου. Καθώς το αέριο σύνθεσης μπορεί να περιέχει όξινα αέρια (όπως HCl ή SO₂), το σύστημα χρησιμοποιεί καυστική σόδα για την εξουδετέρωση των όξινων αερίων από το δοχείο διαβροχής με νερό. Το pH του διαλύματος ρυθμίζεται στο 9. Το προϊόν διοχετεύεται από ένα σακκόφιλτρο για τη διακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

4.5.4. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου πλάσματος είναι πολλά :

- Έχει μικρές εκπομπές αερίων επιβλαβών για το περιβάλλον. Όταν το πλάσμα που έχει μετατραπεί σε αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας, προκαλεί κάποιες εκπομπές στην ατμόσφαιρα. Παρόλα αυτά, καθώς το πλάσμα μετατρέπεται σε αέριο καθαρίζεται και έτσι η απελευθέρωση ουσιών που μολύνουν όπως το SO₂, κάποια μέταλλα, οι διοξίνες θα είναι πολύ χαμηλότερη από ότι π.χ. στην αποτέφρωση.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος μπορεί να μεταχειριστεί επικίνδυνα και μη απορρίμματα. Μια εγκατάσταση αεριοποίησης πλάσματος μπορεί να επεξεργαστεί αστικά, τοξικά και νοσοκομειακά απόβλητα ή μίξη και των τριών.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος είναι μια τεχνική όπου τα απορρίμματα δεν αποτεφρώνονται. Έτσι δεν έχει τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στην αποτέφρωση.
- Η αεριοποίηση του πλάσματος δεν παράγει τέφρα ή άλλα παραπροϊόντα όπως αλλοιωμένη βιομάζα που πρέπει να αποτεθεί σε ΧΥΤΑ μετά την αρχική επεξεργασία. Έτσι δεν έχουμε κόστος διάθεσης για τα παραπροϊόντα.
- Η ανάκτηση υλικών είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη θερμική τεχνική. Έτσι από το να χρησιμοποιεί ακατέργαστα υλικά η αεριοποίηση του πλάσματος τα παράγει.
- Η ανάκτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη τεχνική. Γι' αυτό τα έσοδα από την πώληση ενέργειας μεγιστοποιούνται.
- Οι εκπομπές σε αέρα, νερό και έδαφος είναι οι χαμηλότερες από κάθε άλλη διαδικασία.

- Οι εκπομπές στην ατμόσφαιρα κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίσες με αυτές από εγκαταστάσεις με φυσικό αέριο. Αφού το πλάσμα που μετατρέπεται σε αέριο είναι ίδιας ποιότητας με το φυσικό αέριο, το προφίλ των εκπομπών είναι όμοιο. Το ακριβές προφίλ των εκπομπών εξαρτάται από το σύστημα καύσης που χρησιμοποιείται (όσο καλύτερο σύστημα τόσο καλύτερο προφίλ).
- Αφού το αέριο που προκύπτει με τη μέθοδο πλάσματος, τροφοδοτείται σε τουρμπίνες αερίου μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερη ικανότητα μετατροπής.

Τα μειονεκτήματα είναι :

- Κόστος κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων
- Απαιτεί μεγάλη τεχνογνωσία.

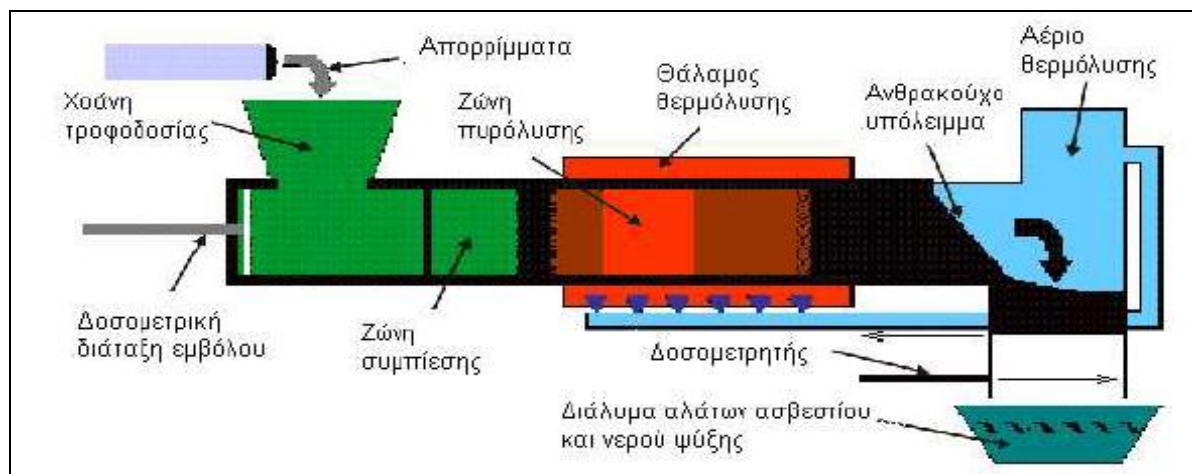
4.6 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι καινοτόμες μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας συνδυάζουν την καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση και οι μονάδες εφαρμογής τους αποτελούνται από τυποποιημένες κατασκευές συμβατικών μονάδων. Οι σπουδαιότεροι λόγοι της γρήγορης εξάπλωσης των νέων μεθόδων είναι τα προκύπτοντα, λόγω εφαρμογής τους, οικολογικά (ελάχιστες εκπομπές αέριων ρύπων και μικρές ποσότητες τηγμένης σκωρίας μέσω διαχωρισμού πλύσης), ενεργειακά (εξοικονόμηση και ενεργειακή απεξάρτηση) και οικονομικά (φθηνότερη κατασκευή) οφέλη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μεθόδων Noell και Thermostelect (βλ. παρακάτω), όχι μόνο οι ποσότητες των ρύπων είναι ελάχιστες αφού η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα με καθαρό οξυγόνο, αλλά επίσης παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με την αξιοποίηση του αερίου σύνθεσης.

4.6.1. Θερμόλυση

Κατά τη μέθοδο αυτή (Σχήμα 4.8) παράγεται ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία «carbor». Είναι παρόμοια με την επεξεργασία διύλισης (cracking) που χρησιμοποιείται στα διυλιστήρια για την παραγωγή διαφόρων κλασμάτων του αργού πετρελαίου. Η τεχνική αυτή ανταποκρίνεται στις ανάγκες περιοχών με μικρό πληθυσμό και τουριστικών περιοχών με έντονη διακύμανση του πληθυσμού. Από την άποψη αυτή συζητιέται η καταλληλότητά της για περιπτώσεις όπως τα Ελληνικά νησιά. Τα στάδια της μεθόδου είναι:

- Μηχανική επεξεργασία-διαχωρισμός-αποθήκευση.
- Ξήρανση σε εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής (διαχωρισμός αέριας φάσης και στερεάς προς αντιδραστήρα).
- Θερμόλυση της στερεάς φάσης στο θάλαμο (αποικοδόμηση στους 5000 °C)
- Επεξεργασία στερεών προϊόντων (αδρανών). (ε) Επεξεργασία της ιλύος.



Σχήμα 4.8: Θερμόλυση (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

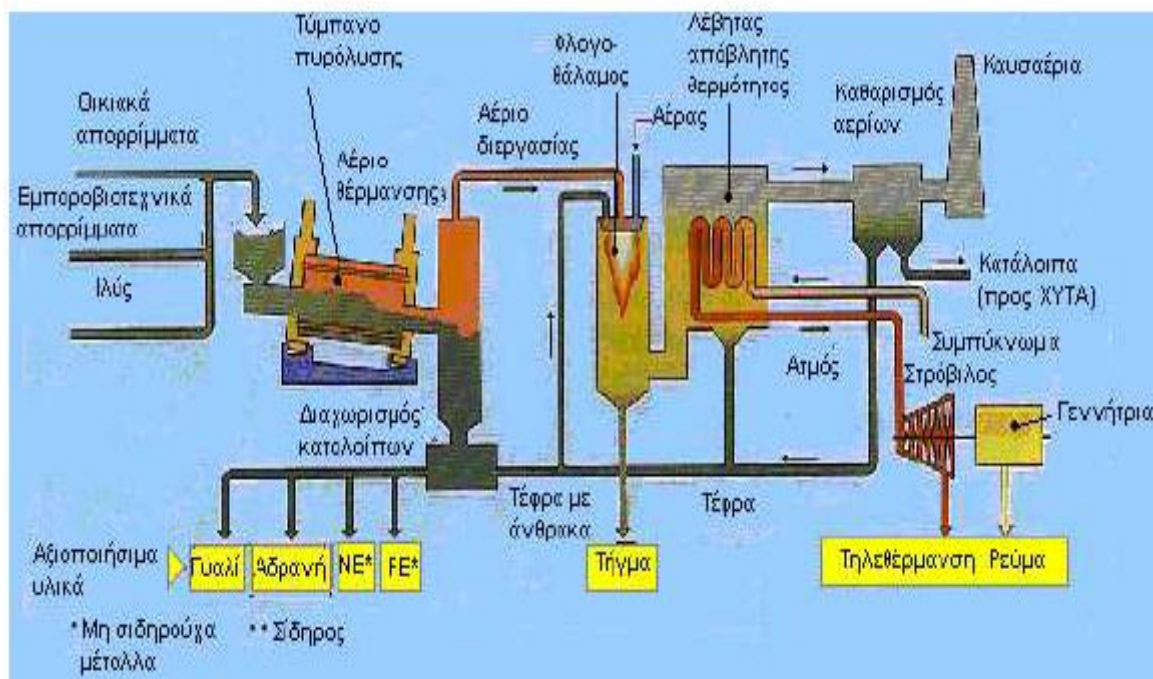
Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι:

- Η ανάκτηση των μετάλλων για επαναχρησιμοποίηση (αν δεν έχουν φτάσει στο σημείο τήξης).
- Η μικρή κατανάλωση ύδατος.
- Η παραγωγή εμπορεύσιμου Carbor.
- Το χαμηλό ρυπαντικό φορτίο των παραγόμενων υγρών και αερίων αποβλήτων.
- Τα χαμηλά κόστη κατασκευής και επεξεργασίας.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του CARBOR μοιάζουν με αυτά του λιγνίτη ενώ συγκρινόμενο με συμβατικά βιομηχανικά καύσιμα, παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα της χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε κλιβάνους (τσιμεντοβιομηχανία, πλινθοποιία), χωρίς ιδιαίτερες επενδύσεις για την αποθήκευσή του.

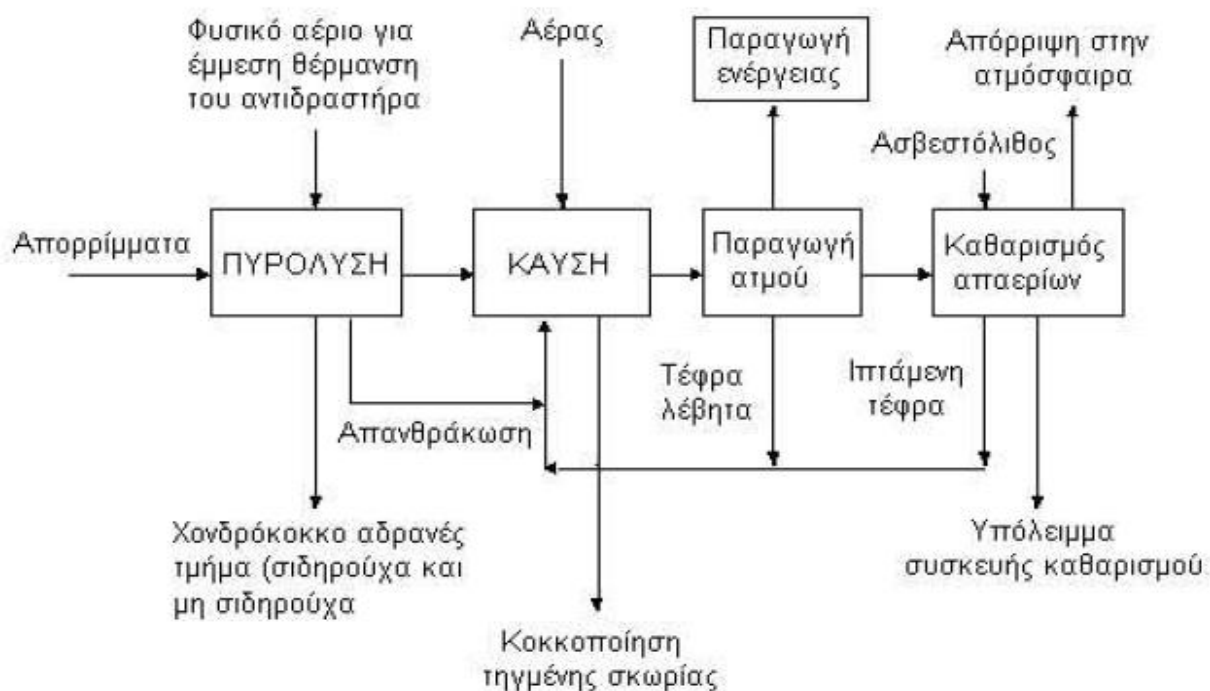
4.6.2. Μέθοδος Siemens

Η Siemens από τα μέσα της δεκαετίας του '90 ξεκίνησε στην Ευρώπη τη διεργασία της Θερμικής Ανακύκλωσης Αποβλήτων (Thermal Waste Recycling Process). Είναι μια διαδικασία κατάλληλη για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων, αστικών λυμάτων και ιλύος και αυτή τη στιγμή στην Ιαπωνία υπάρχουν 7 νεόδμητες εγκαταστάσεις σε λειτουργία που επεξεργάζονται από 150 έως 450 τόνους ΑΣΑ την ημέρα. Η διεργασία αυτή απαιτεί προεπεξεργασία των απορριμμάτων με περιστροφικό κόπτη και αποτελεί ένα συνδυασμό της πυρόλυσης και της αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν οριζόντιο αντιδραστήρα μέσα στον οποίο τα απόβλητα πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 °C για περίπου μια ώρα. Στη συνέχεια τα παραχθέντα αέρια της πυρόλυσης καίγονται μαζί με την τέφρα της πυρόλυσης σε ένα θάλαμο αποτέφρωσης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 1300 °C. Η παραγόμενη ενέργεια στο θάλαμο ανάφλεξης χρησιμοποιείται για την αύξηση του ρεύματος στους 400 °C για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9 : Μονάδα Siemens (www.energy.siemens.com)

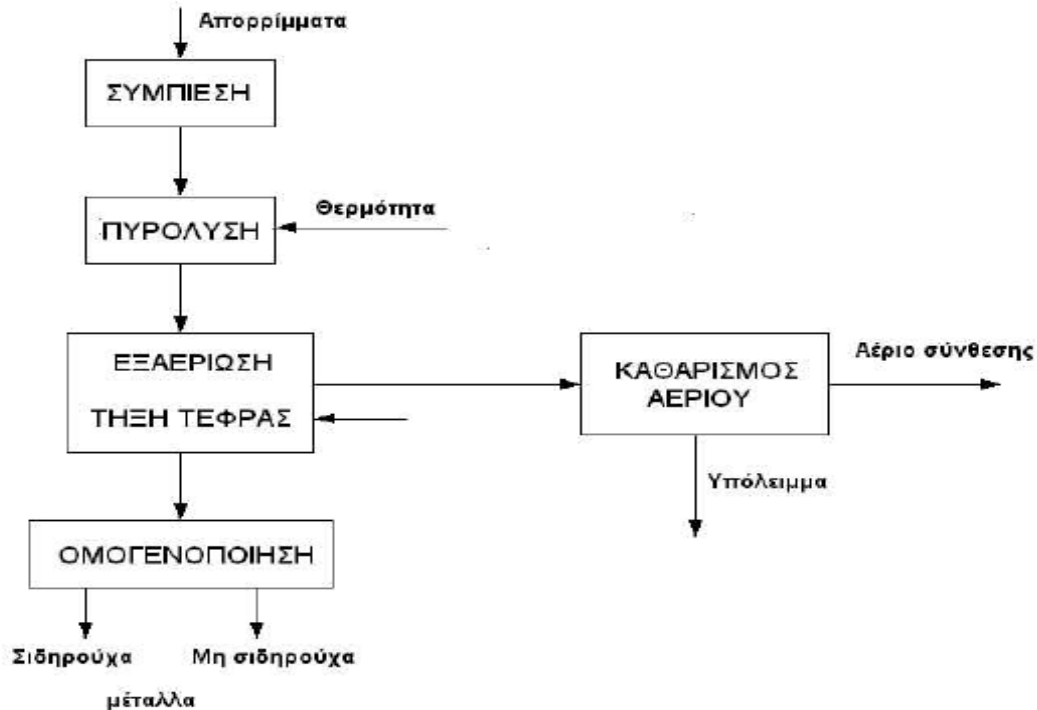
Οι θερμοκρασίες του θαλάμου ανάφλεξης είναι αρκετά υψηλές ώστε να μετατρέψουν την αδρανή τέφρα σε σκωρία η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή οδοστρωμάτων. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να παράγει περίπου 405 kWh ανά τόνο αποβλήτων, κάτι που αντιστοιχεί σε ποσοστό απόδοσης της τάξης του 17%..



Σχήμα 4.10 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου Siemens. (www.energy.siemens.com)

4.6.3. Μέθοδος Thermoselect

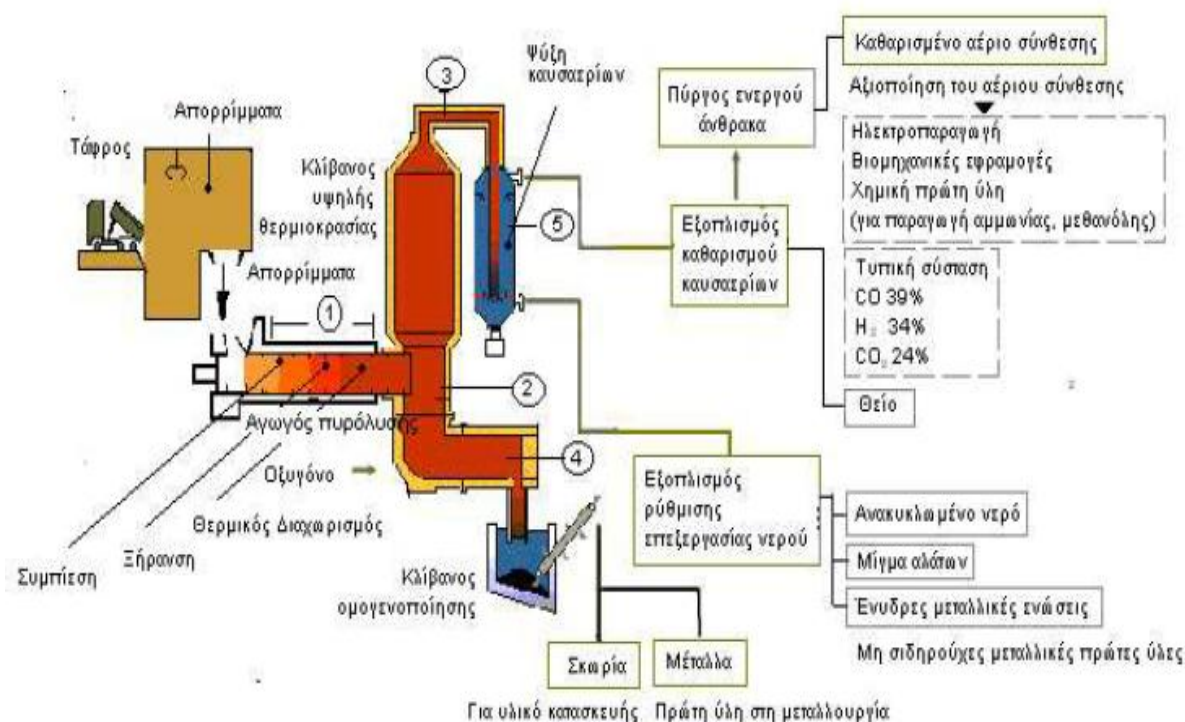
Η μέθοδος Thermoselect (Σχήμα 4.11) πρωτοεφαρμόστηκε το 1989 και είναι μια διαδικασία που συνδυάζει ήπια πυρόλυση (στο πρώτο στάδιο) με αεριοποίηση (στο δεύτερο στάδιο) με προσαγωγή οξυγόνου υψηλής θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.11 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου Thermoselect. (www.thermoselect.com)

Ένα από τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι απαιτείται ελάχιστη ή μηδενική προεπεξεργασία των αποβλήτων. Στη διεργασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΑΣΑ χωρίς καμιά διαλογή. Τα απόβλητα τοποθετούνται σε ένα θάλαμο, όπου μέσω υδραυλικής πίεσης συμπιέζονται στο ένα πέμπτο του αρχικού τους όγκου. Στη συνέχεια διέρχονται διαμέσου ενός θερμαινόμενου κυλινδρικού καναλιού θερμοκρασίας 300 °C όπου λαμβάνει χώρα η ξήρανσή τους και η πυρόλυση.

Στο τέλος του οριζώντιου αυτού σωληνωτού αντιδραστήρα, τα στερεά υλικά εισέρχονται σε έναν υψηλής θερμοκρασίας οξυγόνου αεριοποιητή. Τα αέρια και τα στερεά πυρολυτικά προϊόντα αεριοποιούνται στη συνέχεια σε θερμοκρασία 1200 °C στην κορυφή του αεριοποιητή και υαλοποιούνται σε θερμοκρασίες 2000 °C στο κάτω μέρος του αεριοποιητή. Το μίγμα των αερίων εξέρχεται από τον αντιδραστήρα με θερμοκρασία 1200 °C και ψύχεται απότομα με τη χρήση νερού σε θερμοκρασία κάτω των 70 °C σε λιγότερο από ένα τρίτο του δευτερολέπτου. Τα αέρια στη συνέχεια καθαρίζονται με τη χρήση ενός συνδυασμού φίλτρων και ενεργού άνθρακα και ψύχονται περαιτέρω για την μείωση της υγρασίας τους.



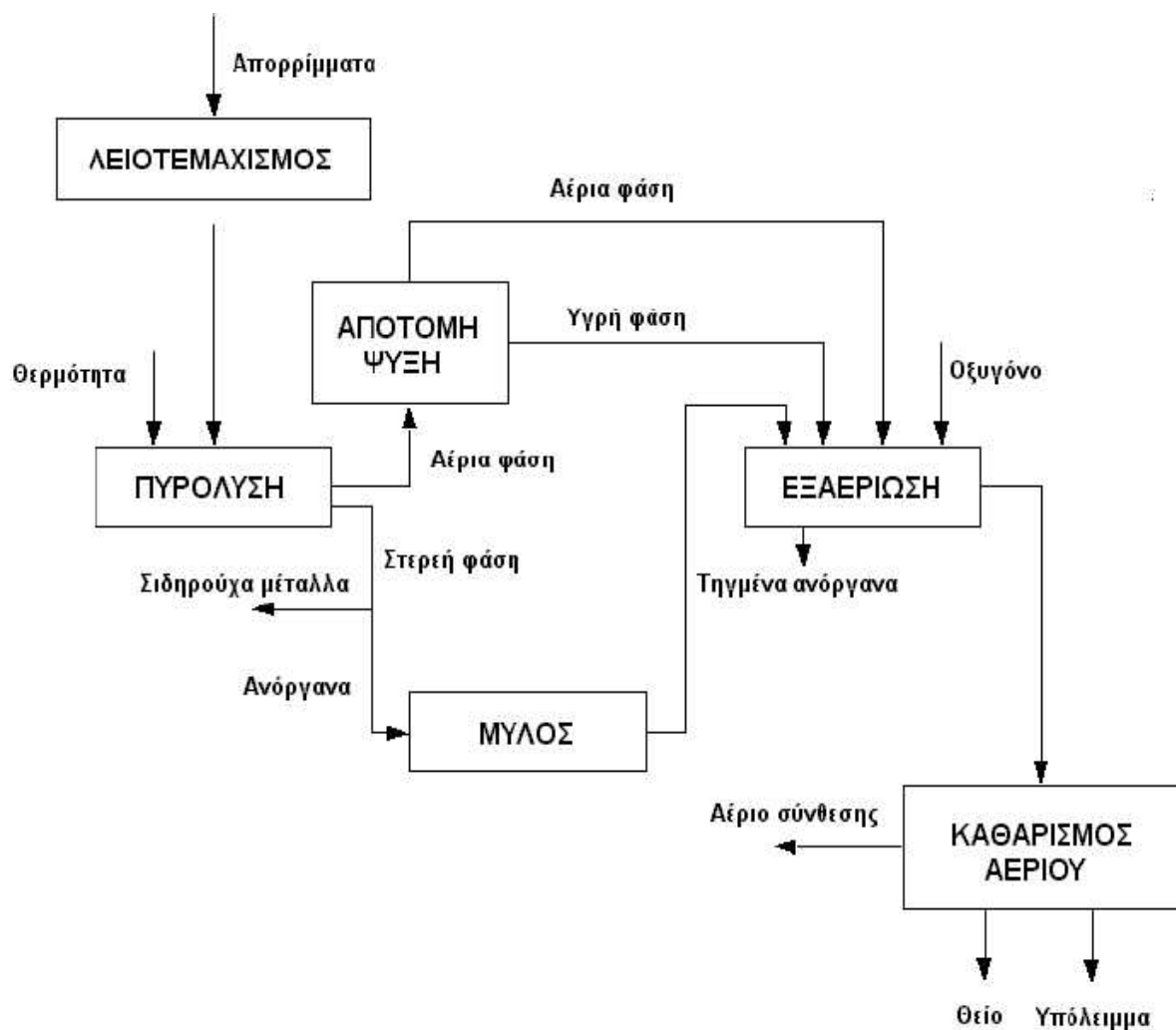
Εικόνα 4.15: Μονάδα Thermoselect (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

Το παραγόμενο μίγμα αερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έρευνες έχουν δείξει ότι το σύστημα μπορεί να έχει απόδοση, που κυμαίνεται από 11 - 40 % εξαρτώμενη από τον κύκλο παραγωγής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί. Σε ένα από τα εργοστάσια που χρησιμοποιείται στην Ιταλία παράγεται ενέργεια 200-500 kWh ανά τόνο αποβλήτων με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 12 MJ/kg.

4.6.4. Μέθοδος Noell

Η μέθοδος NOELL είναι μια θερμική διεργασία δύο βημάτων όπου τα απόβλητα αρχικά πυρολύονται μέσα σε έναν εξωτερικά θερμαινόμενο περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία περίπου 550 °C , για περίπου μια ώρα και στη συνέχεια αεριοποιούνται με τη χρήση οξυγόνου σε θερμοκρασίες 1400-2000 °C και πιέσεις 2-50 ατμοσφαιρών (Σχήμα 4.12).

Εκτός από ΑΣΑ η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για βιομηχανικά όσο και για επικίνδυνα απόβλητα. Το παραγόμενο αέριο είναι μέσης θερμικής αξίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα αέρια. Ένα μέρος του αερίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του περιστρεφόμενου κλιβάνου. Η απόδοση του συστήματος φτάνει το 13% που είναι ένα καλό ποσοστό για μικρού μεγέθους εφαρμογές. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τρεις εγκαταστάσεις σε Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο που χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή.



Σχήμα 4.12 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου Noell. (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

4.6.5. Μέθοδος EDDITH

Η μέθοδος EDDITH (Σχήμα 4.13) βασίζεται σε μια διάταξη πυρολυτικού περιστρεφόμενου τυμπάνου. Μετά τη διαλογή και την ξήρανό τους, τα απόβλητα εισέρχονται στο περιστρεφόμενο πυρολυτικό τύμπανο όπου και πυρολύονται σε θερμοκρασία 450 - 550 °C με χρόνο παραμονής περίπου τριάντα λεπτά. Το παραγόμενο αέριο καίγεται σε θερμοκρασία 1100 °C ώστε να δώσει την απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανο του ατμού.

Η μέθοδος αποτελείται από τα παρακάτω τρία βασικά στάδια:

- (α) Επεξεργασία απορριμμάτων.
- (β) Θερμόλυση.
- (γ) Επεξεργασία και αποθήκευση στερεού καυσίμου.



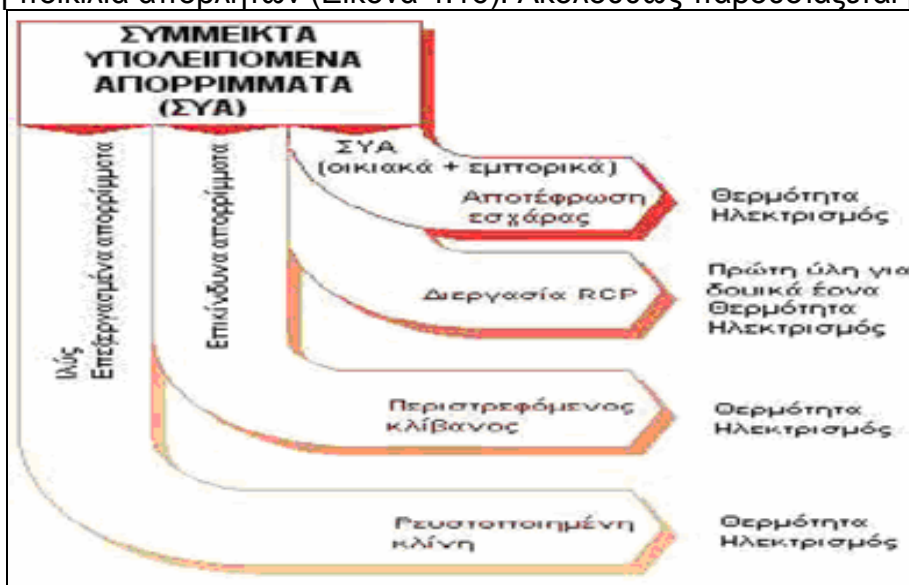
Σχήμα 4.13 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου EDDITH.

Η εταιρία που εφαρμόζει τη μέθοδο υποστηρίζει ότι το ανθρακούχο υπόλειμμα με την εμπορική ονομασία carbog μπορεί να καθαριστεί και να διαχωριστεί από μέταλλα, άλλα αδρανή και διαλυτά άλατα και να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο. Ακόμα όμως και αν ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικός φαίνεται ότι αυτό θα γίνει με μεγάλο οικονομικό και ενεργειακό κόστος, κάτι που το καθιστά μη ενδεδειγμένη λύση.

Σήμερα υπάρχουν δύο εργοστάσια που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία στη Γαλλία και τρία στην Ιαπωνία.

4.6.6. Μέθοδος Von Roll

Η εταιρία Von Roll έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους επεξεργασίας για μια μεγάλη ποικιλία αποβλήτων (Εικόνα 4.16). Ακολούθως παρουσιάζεται μία από αυτές.



Εικόνα 4.16 : Τεχνολογίες από την Vonn Roll (Vonn Roll)

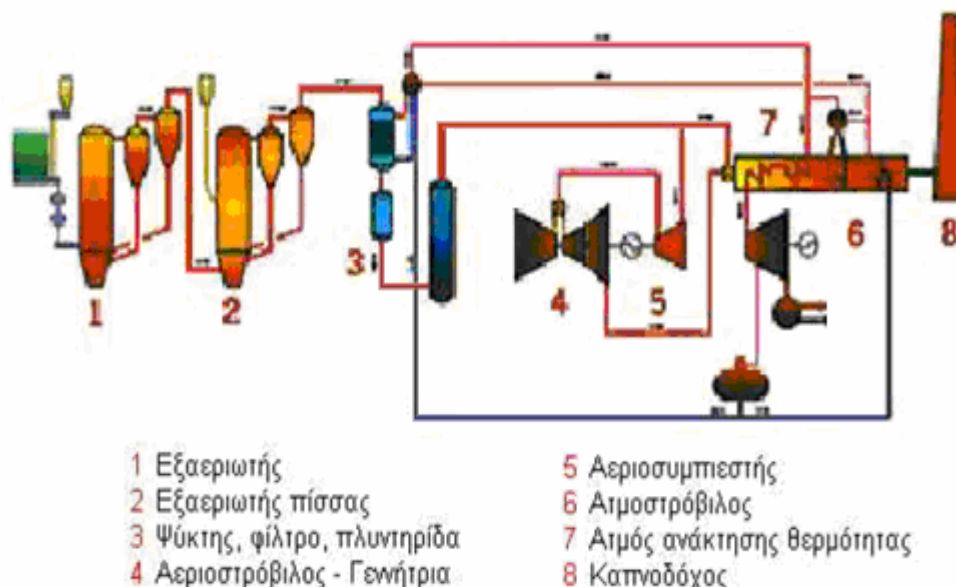
4.6.6.1. Διεργασία RCP

Η διεργασία RCP (Recycled Clean Product) είναι μια διεργασία κινούμενων εσχάρων και τήξεως και έχει εφαρμογή στην επεξεργασία ΑΣΑ, υπολειπόμενων απορριμμάτων από ανακύκλωση και τεμαχισμένα υπολείμματα αυτοκινήτων. Η μέθοδος αυτή αποτελείται ουσιαστικά από τρία βήματα τα οποία περιλαμβάνουν ένα θάλαμο πυρόλυσης με σχάρες που λειτουργεί σε θερμοκρασία περίπου 500 °C, έναν οξειδοαναγωγικό κλίβανο τήξεως και έναν περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης. Αρχικά λαμβάνει χώρα η πυρόλυση και στη συνέχεια το πυρολυτικό κωκ και τα όποια μη χρησιμοποιημένα πυρολυτικά αέρια εισέρχονται στον κλίβανο τήξεως όπου οι υψηλές θερμοκρασίες και το προστιθέμενο οξυγόνο προκαλούν την τήξη όλων των στερεών υλικών. Τα υπολειπόμενα αέρια από τον κλίβανο αναφλέγονται μετέπειτα στον περιστρεφόμενο αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης σε θερμοκρασίες <1000 °C. Η μέθοδος στοχεύει στην αξιοποίηση της σκωρίας από τη τσιμεντοβιομηχανία και για αυτό προσανατολίζεται κυρίως στην απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων.

Αν και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή είναι γνωστές ο συνδυασμός τους οδηγεί στην αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Στη Γερμανία αυτή τη στιγμή λειτουργεί μια μικρή εγκατάσταση που χρησιμοποιεί τη μέθοδο αυτή πιλοτικά.

4.6.7. Μέθοδος TPS

Η τεχνολογία TPS (Terminska Processor) (Σχήμα 4.14) χρησιμοποιεί μια διαδικασία αεριοποίησης με τη βοήθεια ενός συνδυασμού αφρίζοντα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης και περιστρεφόμενου αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης που λειτουργούν σε θερμοκρασία 850 °C, κάτω από το όριο τήξεως της τέφρας, και κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αντιδραστήρες αυτοί τροφοδοτούνται με θερμό αέρα, τεμαχισμένα ΑΣΑ και παλέτες RDF. Ο αέρας χρησιμοποιείται ως παράγοντας αεριοποίησης/ρευστοποίησης.

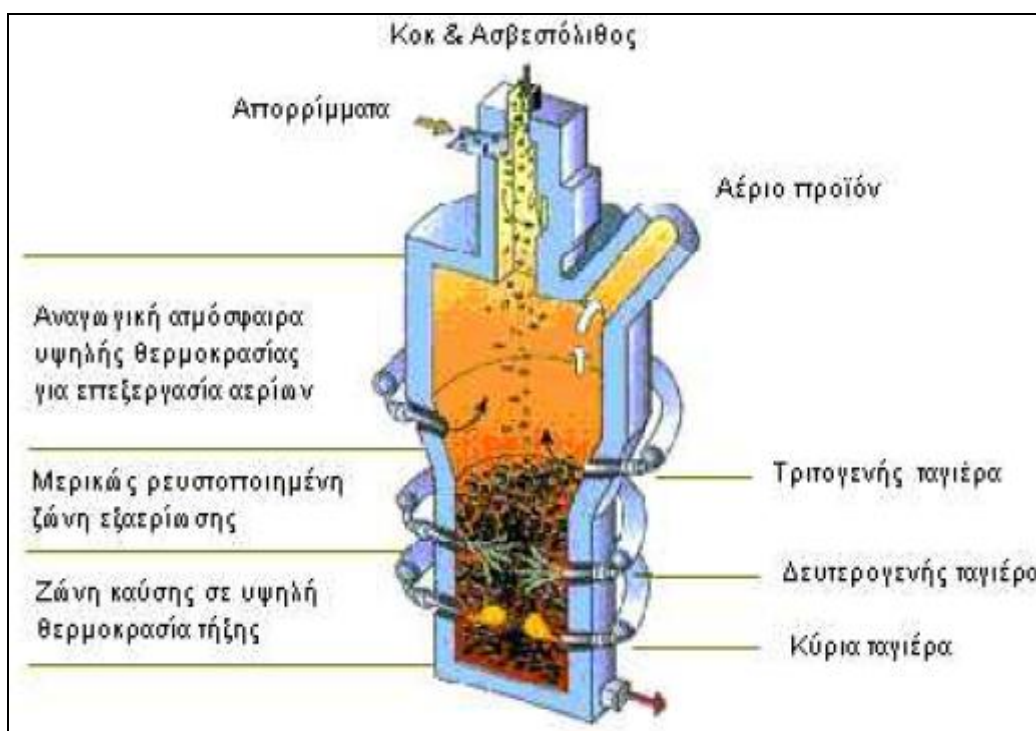


Σχήμα 4.14: Διαδικασία TPS (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

Ένα μέρος του αέρα εισέρχεται στον αεριοποιητή διαμέσου του κάτω μέρους του και το υπόλοιπο διαμέσου του πάνω μέρους του. Αυτός ο τρόπος διανομής του αέρα προκαλεί διαφορά πυκνότητας μέσα στο δοχείο. Στο κάτω τμήμα τα βαρύτερα τεμάχια έχουν αρκετό χρόνο παραμονής ώστε να αεριοποιηθούν ενώ στο πάνω μέρος τα ελαφρύτερα- μικρότερα τεμάχια μεταφέρονται στη ροή του αερίου. Το αέριο και τα διαχωρισμένα αυτά στερεά στη συνέχεια οδηγούνται σε ένα θερμό κυκλώνα όπου τα στερεά απομακρύνονται και οδηγούνται εκ νέου στην ρευστοποιημένη κλίνη. Το αέριο εισέρχεται σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο ρευστοποιημένης κλίνης μέσα στον οποίο γίνεται το σπάσιμο της πίσσας και των υδρογονανθράκων. Το θερμό αέριο καθαρίζεται και αναφλέγεται σε ένα βραστήρα ή οδηγείται σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πιλοτικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην Ιταλία, τη Σουηδία και τη Βραζιλία

4.6.8. Μέθοδος NKK

Η NKK είναι μια μεγάλη ιαπωνική εταιρία που έχει αναπτύξει μια τεχνολογία τήξεως των απορριμμάτων χρησιμοποιώντας την αεριοποίηση. Η εγκατάσταση που λειτουργεί στηριζόμενη στη μέθοδο NKK (Σχήμα 4.15), αποτελείται από τρεις μονάδες αεριοποίησης και τήξης υψηλής θερμοκρασίας. Τα απορρίμματα αεριοποιούνται σε θερμοκρασίες $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στη συνέχεια τήκονται σε κλίβανο.



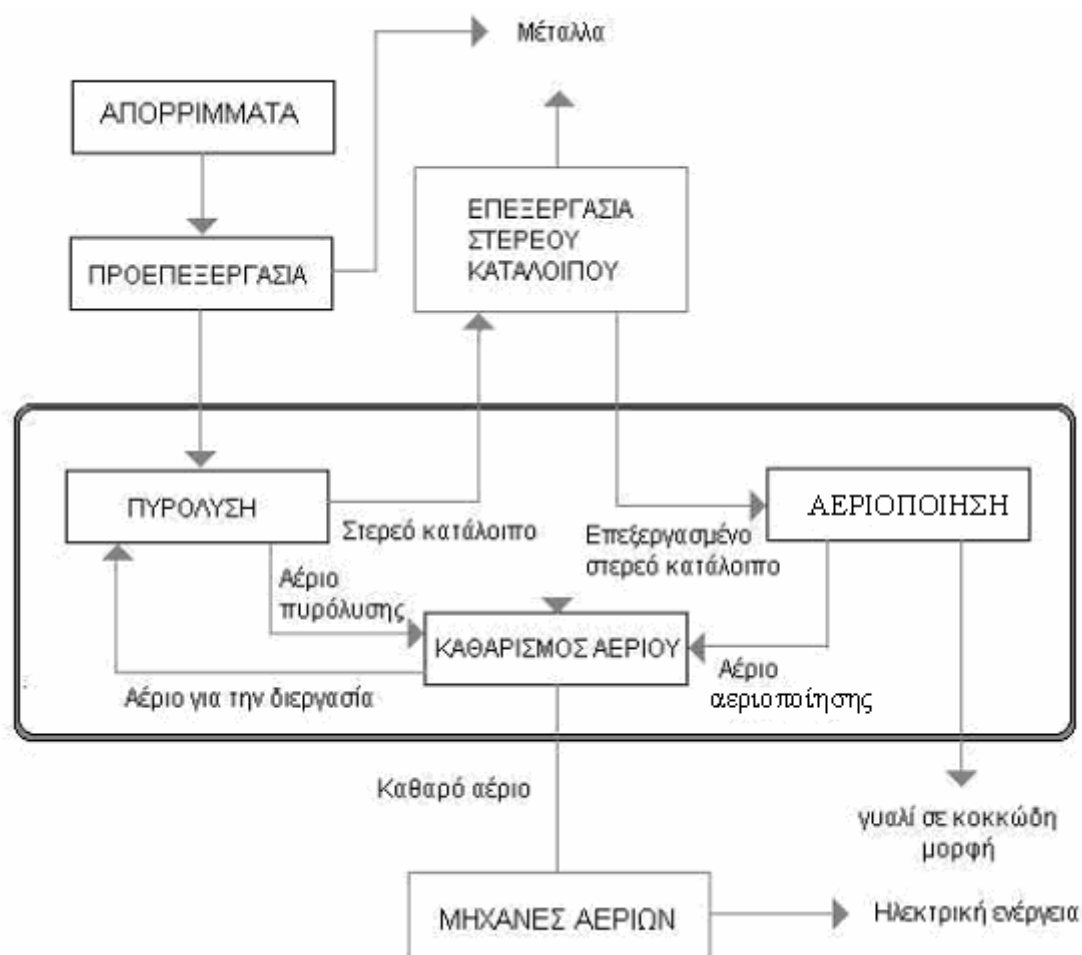
Σχήμα 4.15: Πορεία Μεθόδου NKK (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

Η εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να επεξεργασθεί όχι μόνο οικιακά απορρίμματα αλλά και άλλα υλικά όπως κεραμικά και γυαλί και με τη πλήρη τήξη τους να προκύψει ανακυκλώσιμη τηγμένη λάσπη χωρίς μεταλλικά στοιχεία.

Στην Ιαπωνία λειτουργεί πιλοτικά μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο και επεξεργάζεται 1 τόνο ΑΣΑ / ώρα.

4.6.9. Μέθοδος ΡΚΑ

Η μέθοδος ΡΚΑ (Pyrolyse Kraft Anlagen) είναι ένας συνδυασμός πυρόλυσης, αεριοποίησης, και τήξεως (Σχήμα 4.16). Τα ΑΣΑ προεπεξεργάζονται ώστε να αφαιρεθούν υλικά όπως γυαλί, μέταλλα και άλλα που μπορούν να ανακυκλωθούν. Η πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε ένα περιστρεφόμενο κλίβανο σε θερμοκρασία 500 °C και χρόνο παραμονής περίπου μια ώρα. Μέρος του αερίου που παράγεται από τη διαδικασία χρησιμοποιείται για την εξωτερική θέρμανση του κλιβάνου. Το πυρολυτικό αέριο που περιέχει πίσσα στη συνέχεια αεριοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες 1200 - 1300 °C με την προσθήκη οξυγόνου και στη συνέχεια ψύχεται και καθαρίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της τελικής χρήσης. Από το πυρολυτικό στερεό κατάλοιπο μπορεί να γίνει ανάκτηση μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών.



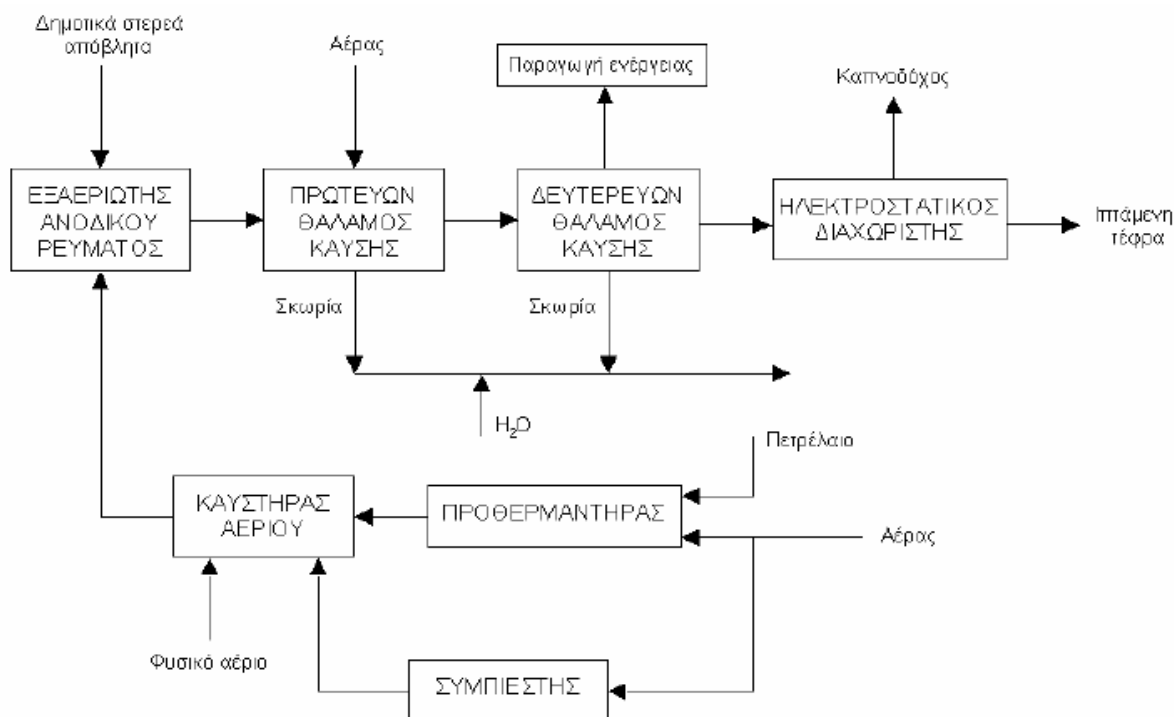
Σχήμα 4.16 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου ΡΚΑ. (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής, 2002)

Η μέθοδος είναι κατάλληλη για την επεξεργασία των παρακάτω αποβλήτων:(Α) Χρησιμοποιημένα λάστιχα.(Β) Απόβλητα τεμαχισμού αυτοκινήτων. (Γ) Υλικά συσκευασίας. (Δ) Επικίνδυνα απόβλητα. (Ε) Οικιακά απόβλητα. (ΣΤ) Απόβλητα βιολογικού καθαρισμού.

Η εταιρία Gibros PEC που ανέπτυξε την μέθοδο υποστηρίζει ότι η διεργασία έχει σχεδόν μηδενικές εκπομπές : όλα τα ρεύματα εξόδου (παραγόμενο αέριο, μέταλλα, αδρανή) μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε προς πώληση είτε προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα υπάρχουν δύο συστήματα PKA εγκατεστημένα στη Γερμανία τα επεξεργάζονται περίπου 30.000 τόνους απορριμμάτων / έτος.

4.6.10. Μέθοδος P.I.T. Pyroflam

Η μέθοδος P.I.T (Σχήμα 4.17) είναι μία πυρολυτική μέθοδος που βασίζεται στη θέρμανση ποσότητας υδρογονανθράκων (απουσία οξυγόνου) σε χαμηλές θερμοκρασίες (450-750⁰C). Η θέρμανση των οργανικών έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπασή τους και την παραγωγή ενός αερίου και ενός υπολείμματος πλούσιου σε άνθρακα που στη συνέχεια μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο με αεριοποίηση. Η μέθοδος στηρίζεται στην πυρόλυση υπό κενό και αναπτύχθηκε αρχικά με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας από χρησιμοποιημένα ελαστικά και ξύλο. Σήμερα χρησιμοποιείται και για την επεξεργασία των δημοτικών και βιομηχανικών ΣΑ.



Σχήμα 4.17 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου PIT.

4.6.11. Μέθοδος Nexus

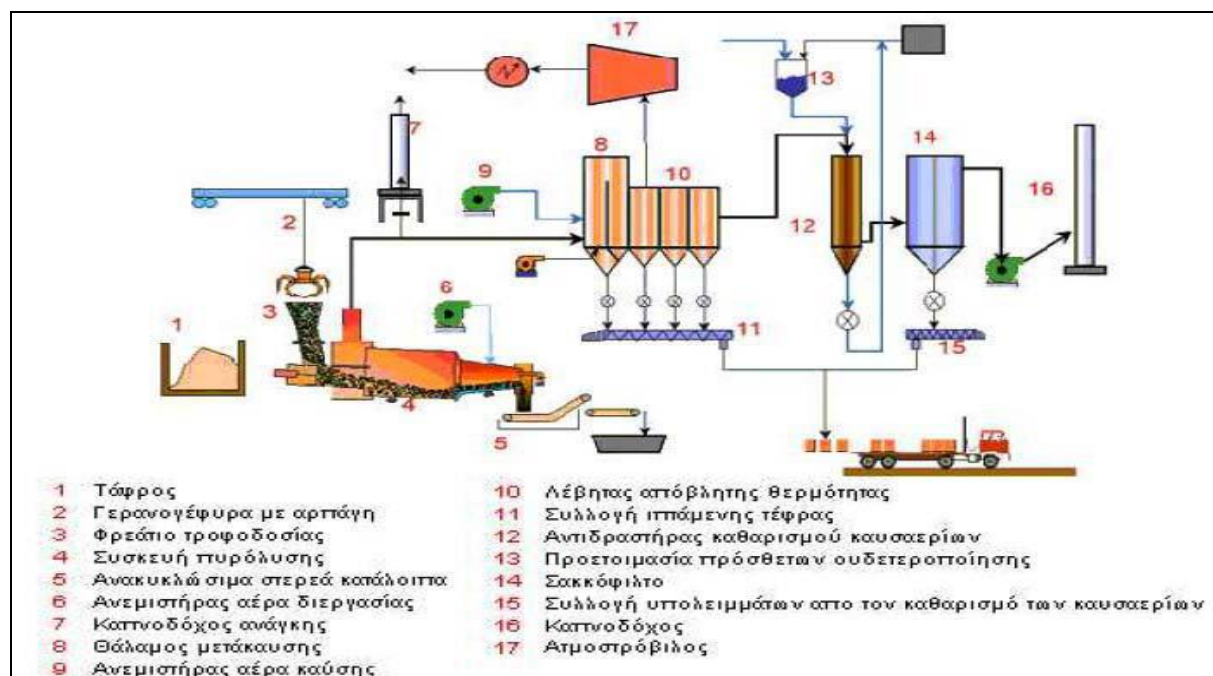
Η διεργασία χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο κλίβανο και μπορεί να επεξεργαστεί ΑΣΑ, λάστιχα και μη επικίνδυνα απορρίμματα. Αρχικά, τα ΑΣΑ προεπεξεργάζονται για να ομογενοποιηθούν και στη συνέχεια εισέρχονται στον κλίβανο απουσία οξυγόνου. όπου πυρολύονται σε θερμοκρασία 650 °C και πίεση 700 mbar. Ο χρόνος παραμονής στον κλίβανο κυμαίνεται ανάλογα με την υγρασία των απορριμμάτων και μπορεί να φτάσει έως τις οκτώ ώρες. Τέλος, ακολουθεί η ψύξη του στερεού υπολείμματος.

Αυτή τη στιγμή στη Γαλλία λειτουργεί πιλοτικά ένα εργοστάσιο που επεξεργάζεται 5.500 τόνους ΑΣΑ/ έτος ενώ σχεδιάζεται ένα ακόμη δυναμικότητας 33.000 τόνων ΑΣΑ / έτος.

4.6.12. Μέθοδος Andco Torrax

Η μέθοδος Andco Torrax (Σχήμα 4.18) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ το 1968 από την εταιρία Torrax Systems και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας μιας ποικιλίας αποβλήτων (δημοτικά, νοσοκομειακά, βιομηχανικά).

Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε ώστε να μετατρέπει το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ σε αναφλέξιμο αέριο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να παράγει ατμό. Το σύστημα αποτελείται από πέντε κύριους παράγοντες: τον προθερμαντήρα του αέρα, τον αεριοποιητή, τον δευτερεύον θάλαμο ανάφλεξης, τον βραστήρα και τον εξοπλισμό καθαρισμού αερίων.



Σχήμα 4.18: Μέθοδος Andco Torrax (Μουσιόπουλος - Καραγιαννιδής , 2002)

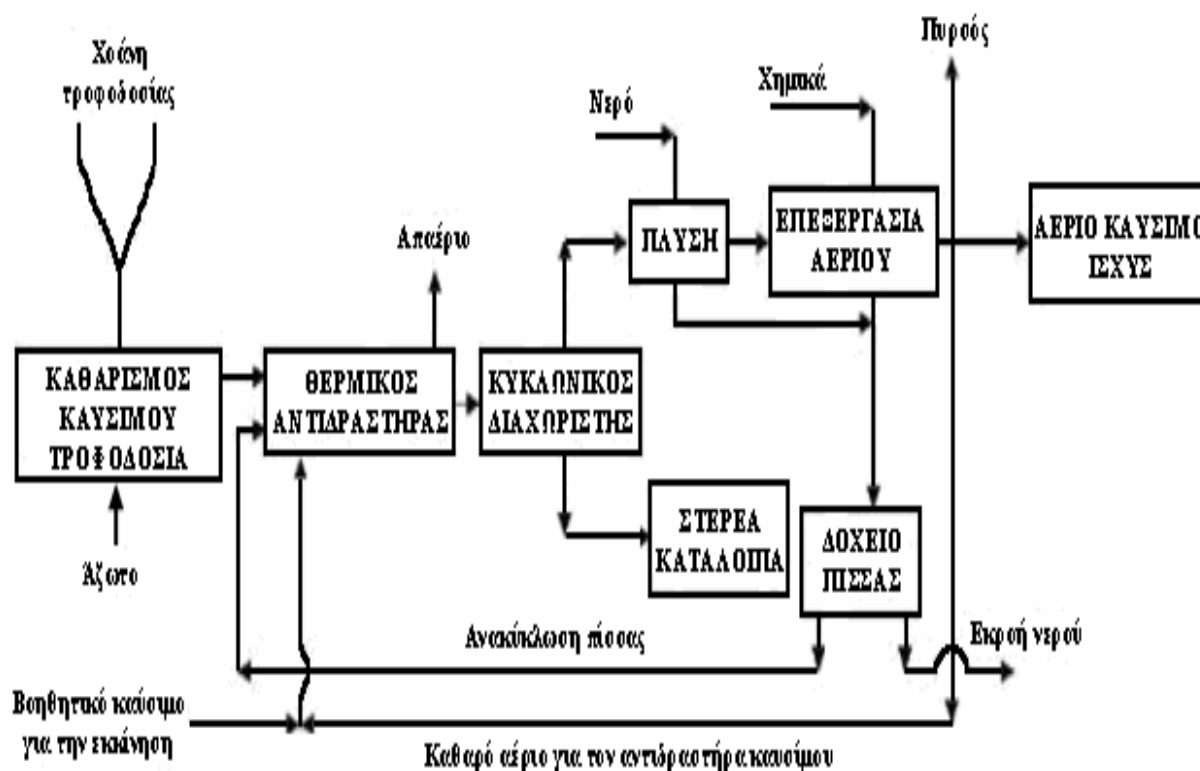
Τα ΑΣΑ οδηγούνται στον αεριοποιητή ο οποίος είναι μια κυλινδρική στήλη με 12 έως 15 μέτρα ύψος και 1,8 έως 2,7μέτρα διάμετρο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, πυρολύονται σε θερμοκρασία έως 1100 °C και μετατρέπονται σε αναφλέξιμα αέρια. Τα πυρολυτικά αέρια στη συνέχεια εγκαταλείπουν τον αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 400-500 °C και εισέρχονται στον δευτερεύοντα θάλαμο ανάφλεξης όπου αναμιγνύονται με αέρα και καίγονται. Τα αέρια που δημιουργούνται στη συνέχεια οδηγούνται στο βραστήρα για την παραγωγή ατμού. Ο ατμός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα απαέρια οδηγούνται στα συστήματα καθαρισμού τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές.

Τεχνικές δυσκολίες συναντώνται κατά τη διοχέτευση των αερίων του αντιδραστήρα καθώς πρόβλημα αποτελεί και ο υπερβολικός θόρυβος.

Σήμερα λειτουργούν 5 εργοστάσια σε Ευρώπη και ΗΠΑ στα οποία επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά 80-85% ενώ η ανάκτηση της ενέργειας σε θέρμανση και ηλεκτρισμό ανέρχεται στο 62-68%.

4.6.13. Μέθοδος WGT

Με τη μέθοδο WGT (Waste Gas Technology) (Σχήμα 4.19) επιτυγχάνεται η αεριοποίηση των συστατικών των απορριμμάτων που είναι πλούσια σε άνθρακα και η παραγωγή αερίου που διασπάται σε υδρογόνανθρακες μικρότερου μοριακού βάρους και υδρογόνο. Τα απορρίμματα αρχικά ξηραίνονται, προεπεξεργάζονται μηχανικά ώστε να αφαιρεθούν τα άκαυστα υλικά και κοκκοποιούνται στο βέλτιστο μέγεθος. Η αεριοποίηση λαμβάνει χώρα σε ένα κυλινδρικό αντιδραστήρα σε θερμοκρασίες 700 - 900 °C απουσία οξυγόνου. Τα αέρια από τον αντιδραστήρα πλένονται ώστε να απομακρυνθούν οι ρύποι και στη συνέχεια οδηγούνται σε γεννήτριες προς παραγωγή ενέργειας. Τα στερεά υπολείμματα αναφλέγονται επίσης σε ένα βραστήρα ατμού.



Σχήμα 4.19 : Διάγραμμα ροής της μεθόδου WGT . (Μουσιόπουλος – Καραγιαννιδής,2002)

Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να επεξεργαστούν διαφορετικά ήδη απορριμμάτων. Σήμερα στη Μεγάλη Βρετανία υπάρχει μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνολογία πιλοτικά.

5. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΥΤΩΝ.

5.1 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΕΣ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1.1. Καύση

Η μέθοδος δεν εξαρτάται τόσο από την αγορά διότι το προηγούμενο προϊόν είναι η ενέργεια που από ότι φαίνεται θα μπορεί να διατεθεί σχετικά εύκολα. Εξαρτάται όμως σημαντικά από τη διαμόρφωση της πολιτικής της Ε.Ε τόσο γιατί τα όρια εκπομπών από μονάδες αποτέφρωσης είναι συνεχώς μειούμενα, αλλά και γιατί η γενικότερη ευρωπαϊκή στρατηγική στη διαχείριση των ΑΣΑ είναι αντιφατική: από τη μια ευνοούνται μέθοδοι όπως η αποτέφρωση που μειώνουν δραστικά τη μάζα και των όγκο των ΑΣΑ καθώς και το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων και από την άλλη η ιεραρχία της διαχείρισης των στέρεων αποβλήτων προωθεί την ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών. Το πλαίσιο αυτό δημιουργεί ένα γενικά ασταθές περιβάλλον για την καύση.

Επιπρόσθετα, η μέθοδος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στο θέμα της κοινωνικής αποδοχής και πολλές φορές έχει κατηγορηθεί για επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και όχι μόνο από κατοίκους, αλλά και από περιβαλλοντικές οργανώσεις, κρατικούς φορείς, κλπ.

Τέλος, η μέθοδος εξαρτάται σημαντικά από την διαθεσιμότητα των απορριμμάτων. Η βιωσιμότητα τέτοιων μεθόδων απαιτεί εισοδο κατ' ελάχιστο 100.000 τονλετησίως και πιθανή μείωση της ποσότητας λόγω ανακύκλωσης ή άλλων μεθόδων επεξεργασίας την καθιστούν μη βιώσιμη. Η μείωση των καύσιμων υλικών στα απορρίμματα μπορεί επίσης να απαιτεί αύξηση λειτουργικού και επενδυτικού κόστους για ξήρανση των Α.Σ.Α. πριν την καύση (ώστε να αυξάνεται η θερμογόνος δύναμη).

5.1.2. Αεριοποίηση – Πυρόλυση

Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν ευαισθησία στα εξής σημεία:

Στην εμπειρία από εφαρμογή στο χώρο των σύμμεικτων απορριμμάτων: Πρακτικά η εμπειρία στην Ευρώπη είναι μηδενική, ενώ στην Ιαπωνία που οι μέθοδοι αυτές βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή, συνδυάζονται με αλλά ρεύματα απόβλητων για περισσότερη ομοιογένεια.

Στην αξιοποίηση των προϊόντων τους: το αέριο που παράγεται κατά την αεριοποίηση πρέπει να αξιοποιηθεί σε μονάδα εντός ή εκτός της εγκατάστασης, όποτε τίθενται και πάλι θέματα ποιότητας, αλλά με καλύτερες βέβαια προοπτικές έναντι των RDF/SRF, ενώ η χρήση των υγρών προϊόντων της πυρόλυσης στη χημική βιομηχανία στον ελλαδικό χώρο είναι μάλλον αμφίβολη.

Στην ασταθή ποσότητα/ποιότητα των εισερχόμενων απορριμμάτων: η εμπειρία μέχρι τώρα δεν είναι ιδιαίτερα θετική όπως προαναφέρθηκε λόγω των αυξομειώσεων στην ποσότητα αλλά και την ποιότητα, την κοκκομετρία των υλικών, κλπ.

5.1.3. Τεχνολογίες Πλάσματος

Αν και οι τεχνολογίες πλάσματος εκλύουν λιγότερες διοξίνες από τις συμβατικές τεχνολογίες καύσης, εν τούτοις αποτελούν κι αυτές πηγές έκλυσης διοξινών και άλλων τοξικών ουσιών. Τα βαρέα μέταλλα δεν καταστρέφονται από τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Οι τεχνολογίες αυτές δεν έχουν δοκιμαστεί επί μακρόν σε μεγάλη κλίμακα και συνεπώς υπάρχει έλλειψη εμπειρίας ως προς τα τελικά οφέλη και κινδύνους. Λόγω της εγγενούς ετερογένειας των αποβλήτων, τίθενται ερωτήματα ως προς τη σταθερότητα της διαδικασίας και τη δυνατότητα ελέγχου της.

Οι τεχνολογίες πλάσματος έχουν εξαιρετικά υψηλά κόστη. Τόσο για την αρχική εγκατάσταση, όσο και λειτουργικά, αφού απαιτούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική περιβαλλοντική απόδοσή τους δεν εξαντλείται φυσικά μόνο στις εκλύσεις ρύπων από το εργοστάσιο, αλλά θα πρέπει να περιλάβει και τις εκπομπές ρύπων από τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής που τροφοδοτούν τις μονάδες πλάσματος.

5.1.4. Μονάδες Μηχανικής – Βιολογικής Επεξεργασίας

Οι ευαισθησίες και οι κίνδυνοι από την εφαρμογή τεχνολογιών που παράγουν RDF κατά την μηχανική διαλογή και κάποιου είδους εδαφοβελτιωτικό κατά την βιολογική επεξεργασία, συνοψίζονται στα επόμενα:

Διαμόρφωση της αγοράς εδαφοβελτιωτικού: Αυτή τη στιγμή η αγορά από τέτοιου είδους εγκαταστάσεις είναι μάλλον ανύπαρκτη, όποτε υπάρχει σημαντικός κίνδυνος το σύνολο της ποσότητας του υλικού τύπου compost να παραμένει εντός των ορίων της εγκαταστάσεις ως υπόλειμμα.

Η μέχρι τώρα πολιτική της Ε.Ε: Η μη ολοκληρωμένη μέχρι τώρα πολιτική της Ε.Ε μπορεί να επηρεάσει σημαντικά μια τέτοια εγκατάσταση. Έτσι εάν αυτή εφαρμοστεί και υπάρξουν στο μεταξύ αλλαγές στην πολιτική της Ε.Ε., μπορεί να επηρεαστεί η ομαλή συνεργασία μεταξύ Δημόσιου και Ιδιωτικού τομέα σχετικά με τους όρους των συμβάσεων και να οδηγήσει σε καθυστερήσεις στην υλοποίηση των υποδομών.

Η έλλειψη θέσπισης προτύπων_σχετικά με τη χρήση των προϊόντων compost , παρόλο που έχουν είδη δρομολογηθεί: Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικά πρότυπα έχουν

είδη καθιερωθεί στα κράτη μέλη όπου το ενδιαφέρον είναι μεγαλύτερο. Αυτό μελλοντικά θα οδηγήσει σε δυσκολία εναρμονίσεις των πρότυπων μεταξύ των χωρών μελών και ενδεχομένως να απαιτηθούν εκτεταμένος μεταβατικές ρυθμίσεις.

Μικρή εμπειρία στον Ελληνικό χώρο: Η μέθοδος απαιτεί σημαντική εμπειρία και τεχνογνωσία. Δεδομένου ότι η αγορά της επεξεργασίας των απορριμμάτων γενικότερα, δεν έχει ακόμη κινηθεί στην Ελλάδα υπάρχουν κίνδυνοι για κατασκευαστικά σφάλματα και επομένως μελλοντικά να απαιτηθούν τεχνικές επιδιορθώσεις.

5.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Το πιο εριστικό ζήτημα σχετικά με την ανάκτηση ενέργειας από ΑΣΑ είναι αυτό των εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Κατά το παρελθόν, οι εκπομπές του υδραργύρου, του υδροχλωρικού οξέος και των διοξινών ήταν ιδιαίτερα ανησυχητικές. Εντούτοις, μέχρι το τέλος του 20ού αιώνα, τέτοιες εκπομπές από σύγχρονες εγκαταστάσεις μειώθηκαν σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Αυτό επιτεύχθηκε με τη μείωση των προδρόμων στο ρεύμα τροφοδοσίας, αλλά και με τη χρήση βελτιωμένων συστημάτων ελέγχου απαερίων.

Όλες οι μέθοδοι και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΑΣΑ δημιουργούν επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως:

- εκπομπές στον αέρα
- εκπομπές στο νερό
- υπολείμματα στο έδαφος
- πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία

5.2.1. Επιπτώσεις στον Αέρα

- **Αερόβια Χώνευση:**

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση, ωρίμανση και βιοξήρανση) παράγουν απαέρια που κυρίως αποτελούνται από: – CO₂ και H₂O

- Οργανικές προσμίξεις (ορισμένες φορές αναφέρονται ως VOCs, αλλά είναι γνωστές και ως TOCs – Total Organic Carbons)
- Αμμωνία (NH₃)
- Οργανικά αερολύματα (μικροοργανισμοί και άλλα πολύ μικρά βιολογικά σωματίδια που αιωρούνται στον αέρα – είναι αναπνεύσιμα και κανονικά αόρατα)
- Λεπτά σωματίδια

Τα οργανικά αερολύματα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΑΣΑ αποτελούν ένα θέμα με αυξημένο ενδιαφέρον, όσον αφορά τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία. Από αυτήν την άποψη, οι περισσότερες εταιρείες που ασχολούνται με μεθόδους επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΣΑ μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την απόδοση των τεχνολογιών τους.

- **Αναερόβια χώνευση:**

Σε συστήματα αναερόβιας χώνευσης, όλες οι αέριες προσμίξεις από τη χώνευση των ΑΣΑ ενσωματώνονται στο βιοαέριο. Όταν το βιοαέριο καίγεται σε μια Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, εκπέμπονται καυσαέρια στην ατμόσφαιρα που περιέχουν προσμίξεις, όπως μονοξειδίο του άνθρακα και οξειδία αζώτου. Βαρέα μέταλλα είναι απίθανο να περιέχονται στα καυσαέρια αυτά, εξαιτίας των θερμοκρασιών στις οποίες παράγεται το βιοαέριο στα συστήματα αναερόβιας χώνευσης. Σε αυτές τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, τα βαρέα μέταλλα δεν εξαερώνονται σε κάποιο αξιόλογο βαθμό.

Όταν μια παρακαμπτήρια διαδρομή χρησιμοποιείται για την καύση του βιοαερίου, οι ίδιοι τύποι προσμίξεων απελευθερώνονται επίσης στην ατμόσφαιρα, όταν αυτή η διάταξη είναι σε λειτουργία.

Είναι επακόλουθο ότι τεχνολογίες που σχεδιάζονται να περιλαμβάνουν στοιχεία αερόβιας και αναερόβιας χώνευσης θα δημιουργούν εκπομπές από το στάδιο της αερόβιας χώνευσης, όπως επίσης και από τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.

- **Μηχανικά στάδια επεξεργασίας :**

Επιπρόσθετα με τις εκπομπές από το βιολογικό στάδιο, προσμίξεις παράγονται επίσης από τα μηχανικά μέρη της επεξεργασίας. Αυτά συνήθως είναι:

- ✓ Λεπτά σωματίδια (σκόνη)
- ✓ Οργανικά αερολύματα και
- ✓ Οσμές

Αυτές οι εκπομπές συχνά αναφέρονται σαν "εκλυόμενες εκπομπές" και συνήθως ελέγχονται διατηρώντας μια αρνητική πίεση στο κτίριο που στεγάζεται ο εξοπλισμός μηχανικού διαχωρισμού, προκειμένου να διοχετευτεί ο αέρας απ' αυτό το τμήμα της διεργασίας στο σύστημα διαχείρισης των απαερίων (συνήθως ένα βιόφιλτρο ή ένα θερμικό οξειδωτή).

- **Μονάδες Θερμικής επεξεργασίας:**

Οι μονάδες που περιλαμβάνουν στάδιο θερμικής μετατροπής, παράγουν αέριες εκπομπές, η φύση των οποίων εξαρτάται από την τεχνολογία που εφαρμόζεται (καύση ή αεριοποίηση), με δεδομένες τις αρκετά υψηλές θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται στο θερμικό στάδιο. Οι εκπομπές μπορεί να περιλαμβάνουν :

- ✓ Όξινα αέρια (π.χ. SO₂, HCl, HF, NO_x)
- ✓ Βαρέα μέταλλα (Hg και ενώσεις του, Cd και ενώσεις του, δηλητηριώδες αέριο αρσενικού κλπ.)
- ✓ VOCs (Πτητικές Οργανικές Ενώσεις)
- ✓ Διοξίνες/Φουράνια
- ✓ Σωματίδια (σκόνη)

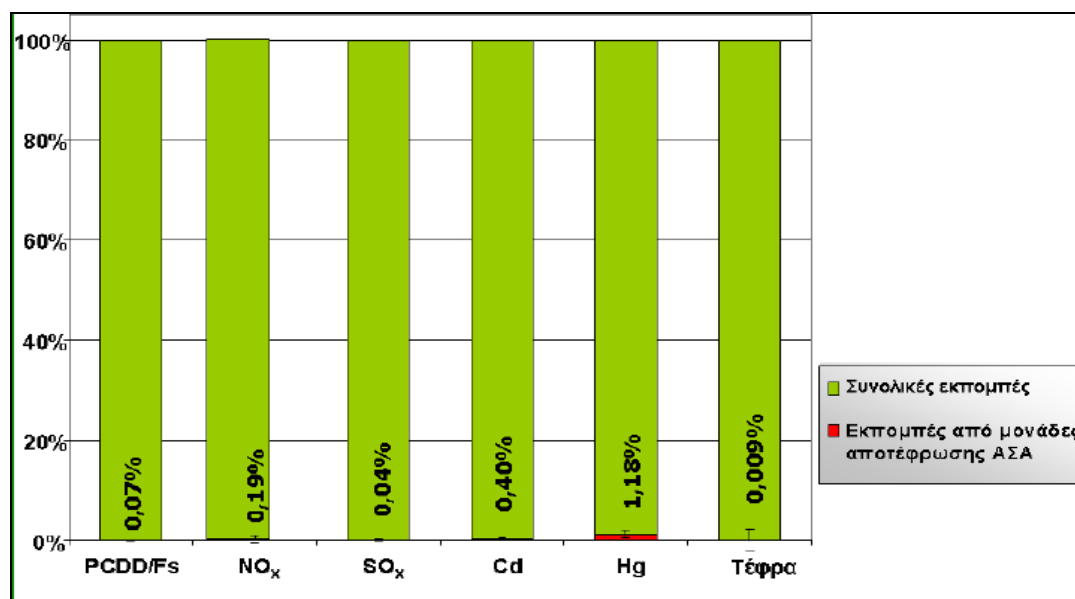
Συγκεκριμένα στην καύση έχουμε τις εξής τοξικές ουσίες:

- ✓ Διοξίνες και βαρέα μέταλλα, όπως υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό, χρώμιο, βηρύλλιο
- ✓ Στερεά τοξικά απόβλητα (με τη μορφή σκουριάς και τέφρας), καθώς και τοξικά υγρά απόβλητα, τα οποία βέβαια απαιτούν ειδική διαχείριση
- ✓ Πολλές αλογονωμένες οργανικές ενώσεις όπως, για παράδειγμα, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), χλωριωμένα βενζόλια, πολυχλωριωμένα

ναφθαλένια (PCN), αλογονωμένες φαινόλες, βρωμιωμένες ή ιωδιωμένες διοξίνες, κ.λπ.

- ✓ Όξινα αέρια, όπως το υδροχλώριο, το υδροφθόριο, το υδροβρώμιο και οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες και αρκετές πτητικές οργανικές ενώσεις
- ✓ Μικροσωματίδια PM2.5 (παρακράτηση 5-30%), PM1 (παρακράτηση 0%)

Παρακάτω παρουσιάζονται πίνακες και διαγράμματα που δείχνουν τις εκπομπές στον αέρα από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας



Διάγραμμα 5.1: Εκπομπές από μονάδες καύσης ΑΣΑ σε σχέση με ολικές εκπομπές στην Αυστρία (Bilitewski, 2008)

Πίνακας 5.1: Εκπεμπόμενος Ρύπος για δυναμικότητα 100 t/d (Κυρκίτσος ,2009)

| Εκπεμπόμενος Ρύπος για δυναμικότητα 100 t/d | Καύση (kg/y) | Αεριοποίηση (kg/y) | Ποσοστιαία διαφορά αεριοποίησης σε σχέση με καύση |
|---|--------------|--------------------|---|
| Διοξίνες & Φουράνια | 0,027 | 0,050 | +85% |
| Υδράργυρος | 92,6 | 92,6 | 0% |
| Μόλυβδος | 50 | 46,8 | -6,4% |
| Διοξείδιο του θείου | 57.335 | 53.524 | -6,7% |
| Οξείδια αζώτου | 40.930 | 52.364 | +28% |
| Μονοξείδιο του άνθρακα | 7.673 | 4.955 | -35,4% |

Πίνακας 5.2: Καθαρές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας (kg CO₂ ανά τόνο απορριμμάτων) (Κυρκίτσος, 2009)

| | | |
|-------------------------------|---|-------------|
| Καύση | Χωρίς παραγωγή ηλεκτρισμού | +181 |
| Καύση | Με παραγωγή ηλεκτρισμού | -10 (+177) |
| Καύση | Με συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας | -348 (-161) |
| Αεριοποίηση - Πυρόλυση | Με παραγωγή ηλεκτρισμού | -3 (+163) |
| Καύση RDF | Σε ρευστοποιημένη κλίνη | +73 |
| Καύση RDF | Σε ανθρακικούς σταθμούς | -337 (+208) |
| Καύση RDF | Σε τσιμεντοβιομηχανίες υποκαθιστώντας άνθρακα ή λιγνίτη | -337 (+208) |

5.2.2. Μέθοδοι μείωσης εκπομπών αερίων

5.2.2.1. Μηχανικά και αερόβια στάδια επεξεργασίας

Τα απαέρια από διατάξεις που ενσωματώνουν αυτά τα δύο στάδια, συνήθως επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας βιόφιλτρα ή θερμικούς οξειδωτές. Τα βιόφιλτρα αποτελούν παραδοσιακά μέσα διαχείρισης των απαερίων από μονάδες επεξεργασίας, κυρίως επειδή είναι μια επιλογή σχετικά χαμηλού κόστους.

Αποτελούνται κυρίως από ένα σύνολο πορώδους οργανικού υλικού που διατηρεί την υγρασία (συνήθως βιομάζα από ξύλο), στο οποίο ζουν και αναπτύσσονται μικρόβια ικανά να αποδομήσουν τις δύσοσμες προσμίξεις που υπάρχουν στα απαέρια.

Η προσρόφηση και οι φυσικό-χημικές και μικροβιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στα προς επεξεργασία απαέρια και το μέσο φιλτραρίσματος, έχουν ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση των μολυσματικών παραγόντων των απαερίων. Μερικές διεργασίες υγροποιούν τα αέρια πριν αυτά διέλθουν από το βιόφιλτρο, καθώς αυτό βοηθάει την εισαγωγή στο μέσο επεξεργασίας και την αποσύνθεση των προσμίξεων. Εντούτοις, το pH, η τροφοδοσία με θρεπτικά, ο ρυθμός ροής των απαερίων, το πορώδες και οι διαστάσεις του βιόφιλτρου μπορούν επίσης να επηρεάσουν την απόδοση του βιόφιλτρου.

Η μείωση των οργανικών αερολυμάτων στα βιόφιλτρα εξαρτάται απλώς από τη φυσική επίδραση μεταξύ των οργανικών αερολυμάτων και των σωματιδίων του υλικού πλήρωσης.

Γι' αυτό το λόγο, οι κύριες σχεδιαστικές παράμετροι για τη μεγιστοποίηση της δέσμευσης οργανικών αερολυμάτων, είναι:

- το μέγεθος των σωματιδίων του βιόφιλτρου
- ο ρυθμός ροής των απαερίων και
- το μέγεθος του υλικού πλήρωσης του βιόφιλτρου.

Η δέσμευση οργανικών αερολυμάτων είναι μεγαλύτερη με μικρότερα σωματίδια του υλικού πλήρωσης του βιόφιλτρου, διότι υπάρχουν μικρότερα κενά ανάμεσα στα σωματίδια. Ωστόσο, μικρότερα σωματίδια του υλικού πλήρωσης μπορούν να οδηγήσουν σε φράξιμο τμημάτων του. Αυτό θα προκαλέσει την αύξηση της ταχύτητας των απαερίων που διέρχονται μέσα από άλλα τμήματα του υλικού πλήρωσης, το οποίο θα μπορούσε να μειώσει την αποδοτικότητα ελέγχου των οσμών.

Στη Γερμανία, από τους εθνικούς τους κανονισμούς πλέον απαιτούνται Συστήματα Θερμικής Οξειδωσης (Regenerative Thermal Oxidation – RTO), για να επεξεργάζονται τα απαέρια από εγκαταστάσεις ΜΒΕ. Αυτή η απαίτηση προκύπτει από τα αυστηρά όρια σε επίπεδο Ολικού Οργανικού Άνθρακα (Total Organic Carbon – TOC) που μπορεί να εκπεμφθεί στην ατμόσφαιρα, η οποία είναι πέρα από την απόδοση μείωσης των βιόφιλτρων.

Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί φυσικά καύσιμα για να καίει τα απαέρια από τη διεργασία σε ειδικά σχεδιασμένους καυστήρες, η οποία ανακτά τη θερμότητα από τα καυσαέρια του καυστήρα (δηλαδή το “αναγεννητικό” συστατικό της διάταξης). Σε ορισμένες περιπτώσεις, το βιοαέριο που παράγεται στη μονάδα επεξεργασίας χρησιμοποιείται επίσης για να ελαχιστοποιήσει τη χρήση φυσικού καυσίμου.

Αυτή η απαίτηση στη Γερμανία επαυξάνει τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας ΑΣΑ, αλλά το σύστημα RTO καταστρέφει αποτελεσματικά τις δύσσομες προσμίξεις, τα οργανικά αερολύματα και τις οργανικές προσμίξεις. Σε μερικές μονάδες, η χρήση συστήματος RTO θα αποτρέψει την ανάγκη για μια σχετικά μεγάλη έκταση που θα απαιτούνταν για να εγκατασταθεί ένα βιόφιλτρο.

5.2.2.2. Καύση (αποτέφρωση)

Οι μονάδες επεξεργασίας των παραγόμενων απαερίων, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ και ένα από τα πιο δαπανηρά στάδια της όλης διαδικασίας. Η απομάκρυνση των ρύπων από τα απαέρια μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο σχεδιασμός των διαφόρων συστημάτων δεν εξαρτάται τόσο από την ποιότητα των καθαρών αερίων που επιβάλουν οι κανονισμοί και πρέπει να είναι σχεδόν η ίδια παντού στον κόσμο, όσο από το κόστος της επένδυσης και/ή λειτουργίας, τη χρήση ή τη διάθεση των υπολειμμάτων ή το διαθέσιμο χώρο που υπάρχει στην περίπτωση παλιών εγκαταστάσεων που απαιτούν αναβάθμιση.

Στις μέρες μας στις εγκαταστάσεις που είναι σε πλήρη λειτουργία συναντάμε κάθε είδους τεχνολογία και κάθε είδους συνδυασμό των βελτιωμένων επιλογών που προσφέρονται. Κάθε ένα σύστημα εγγυάται την εναρμόνιση με τα πιο αυστηρά όρια αέριων εκπομπών που υπάρχουν σήμερα. Η επιλογή της πιο κατάλληλης στρατηγικής καθαρισμού των απαερίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες. Σημαντικούς παράγοντες αποτελούν οι διοικητικές ρυθμίσεις (άδειες για υγρά απόβλητα, διάθεση των στερεών υπολειμμάτων), οι επιλογές και οι αγορές για μια ενδεχόμενη ανάκτηση και τέλος το κόστος της επένδυσης και το λειτουργικό κόστος του συνόλου του συστήματος.

Στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες για την απομάκρυνση :

- της ιπτάμενης τέφρας
- των όξινων αερίων
- συγκεκριμένων ρύπων όπως Hg ή PCDD/Fs
- και των οξειδίων του αζώτου

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ακολουθώντας την τάση να απλοποιούνται οι διαδικασίες καθαρισμού, κάποια από τα στάδια μπορούν να συνδυαστούν.

5.2.2.3. Απομάκρυνση σωματιδίων

Από τις τρεις κύριες κατηγορίες αέριων ρύπων τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ίσως εκείνα που ελέγχονται ευκολότερα. Ταξινομούνται είτε ανάλογα με το μέγεθος τους, είτε ανάλογα με την προέλευση τους. Σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 1 μμη θεωρούνται ως σκόνη και λόγω του μικρού μεγέθους δεν αποτίθενται στο έδαφος αλλά συμπεριφέρονται ως αέρια. Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 10 μμη συνήθως εναποτίθενται στο έδαφος. Τα σωματίδια τέφρας που συναντώνται στα απαέρια ενός λέβητα με διάμετρο 100 μμη ή μικρότερη ονομάζονται συνοπτικά ιπτάμενη τέφρα.

Η τεχνολογία για τον έλεγχο των αιωρουμένων σωματιδίων είναι η πρώτη που αναπτύχθηκε. Η απόδοση συλλογής ποικίλει σημαντικά ανάλογα με το σύστημα αλλά συνήθως κυμαίνεται από 50% για απλά μηχανικά συστήματα, μέχρι και περισσότερο από 99% για τους ηλεκτροστατικούς κατακρημιστές. Οι διαχωριστές αιωρουμένων σωματιδίων μπορεί να βασίζονται στην ξαφνική μείωση της ταχύτητας των αερίων, στην απότομη αλλαγή της διεύθυνσης της ροής, στην πρόσκρουση του αερίου ρεύματος σε μία σειρά από πτερύγια, και στην χρήση κεντρομόλου δύναμης με ανεμιστήρα.

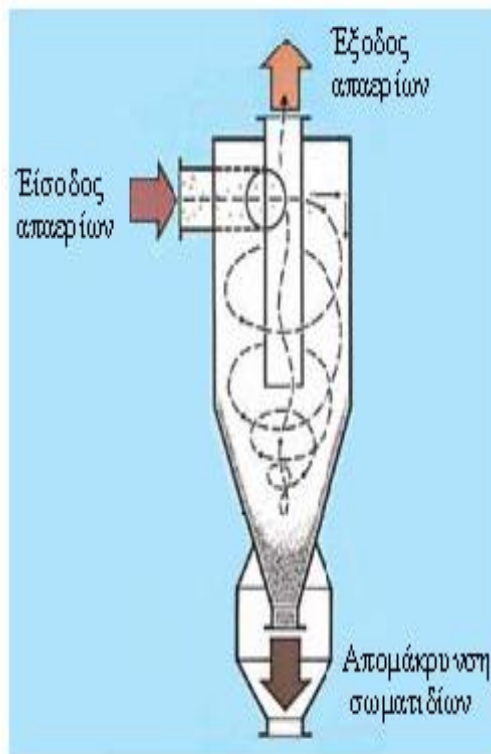
Το πρώτο βήμα στα περισσότερα συστήματα καθαρισμού απαερίων είναι η απομάκρυνση της ιπτάμενης τέφρας. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω

- i. κυκλώνων
- ii. ηλεκτροστατικών φίλτρων (ESP) ή
- iii. σακκόφίλτρων

i) Κυκλώνες

Οι κυκλωνικές διατάξεις στηρίζονται στην αύξηση της φαινόμενης διαφοράς πυκνότητας μεταξύ στερεού και αερίου όταν ασκείται φυγόκεντρη δύναμη (πολλαπλασιασμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας g).

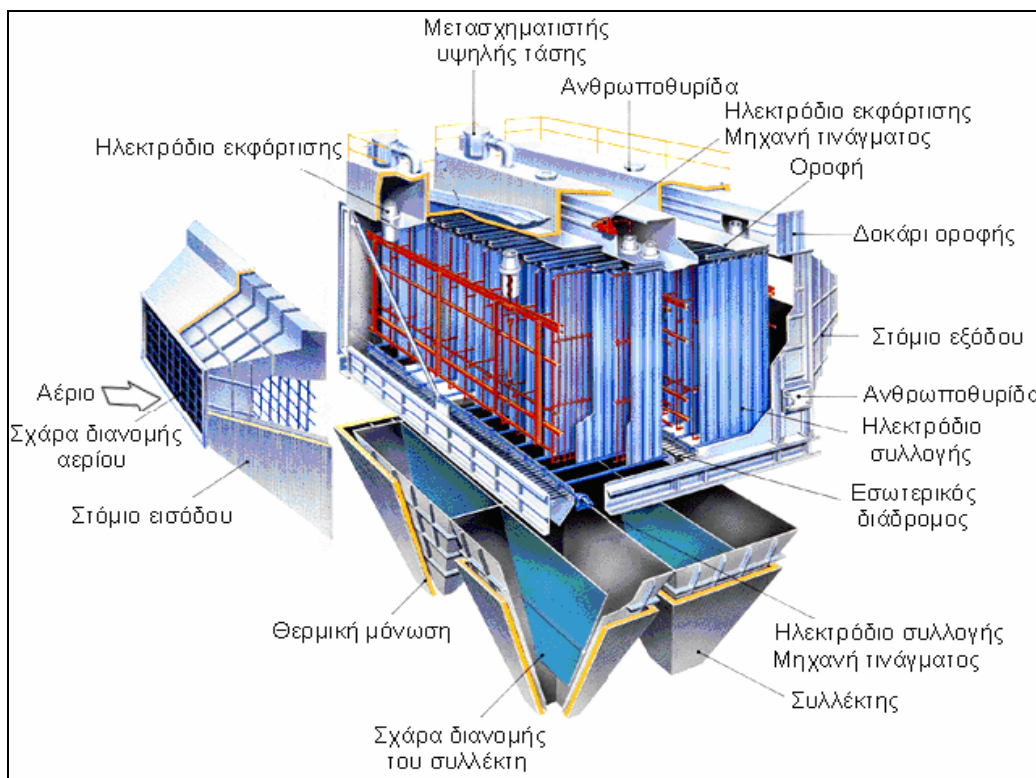
Τα απαέρια εισέρχονται εφαπτομενικά με υψηλή ταχύτητα σε έναν κάθετο κυλινδρικό θάλαμο με κωνικό πυθμένα (Εικόνα 5.1). Η κεντρομόλος δύναμη που ενεργεί πάνω στα σωματίδια τα κάνει να συγκρούονται στα τοιχώματα του θαλάμου και να κατακάθονται στον πυθμένα του από όπου και απομακρύνονται. Το αέριο διαφεύγει μέσω ενός κεντρικού σωλήνα. Λόγω της περιορισμένης ικανότητας τους στην απομάκρυνση λεπτών σωματιδίων οι κυκλώνες δεν συναντώνται πλέον σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ή χρησιμοποιούνται για την προεπεξεργασία της ιπτάμενης τέφρας.



Εικόνα 5.1: Κυκλωνική διάταξη (Vehlow , 2006).

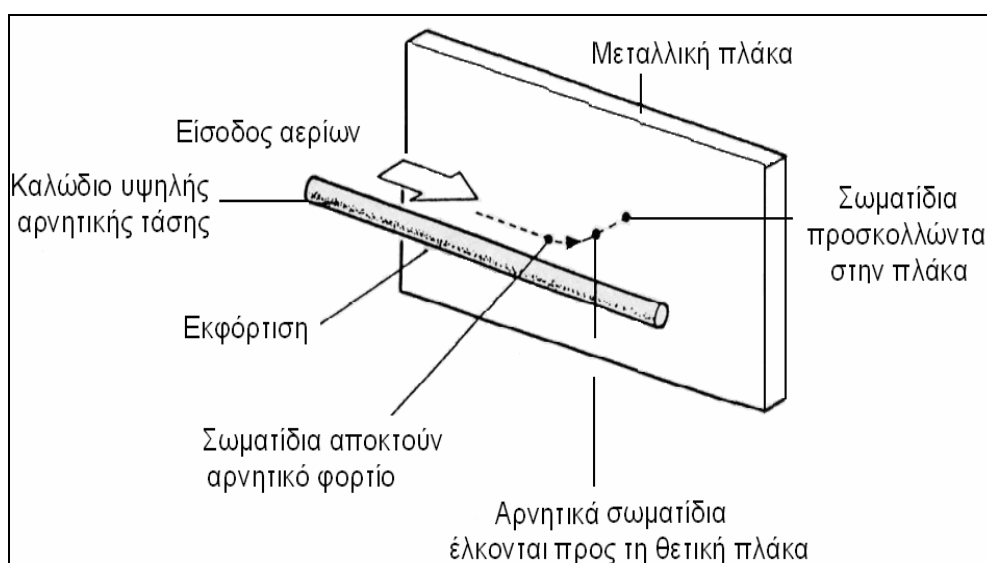
ii) Ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (ESP)

Λόγω του απλού σχεδιασμού τους, της μικρής απώλειας πίεσης και της εύκολης λειτουργίας τους οι ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές (Electrostatic Precipitator) χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων για το διαχωρισμό της ιπτάμενης τέφρας όσο και σε άλλες διεργασίες ανάφλεξης όπως σε εργοστάσια καύσης λιγνίτη. Ένας σύγχρονος ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής (Εικόνα 5.2) που αποτελείται από τουλάχιστον δύο και συχνά τρεις τομείς εγγυάται ποσοστά απομάκρυνσης της τέφρας $>99\%$ στα σωματίδια με μεγέθη μεταξύ $0,01$ και >100 μm . Οι ESP με τρεις τομείς μπορούν να επιτύχουν επίπεδα τέφρας στα καθαρά αέρια της τάξης του 1 mg/m^3 .



Εικόνα 5.2: Ηλεκτροστατικός κατακρημνιστής (Vehlow , 2006).

Η βασική αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών κατακρημνιστών φαίνεται στο Σχήμα 5.1. Η τάση λειτουργίας στους ηλεκτροστατικούς κατακρημνιστές είναι υψηλή (30.000 μέχρι 60.000V) και τα σωματίδια αποκτούν ένα φορτίο από τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόδια που κρέμονται μέσα στην ροή των απαερίων. Λόγω του φορτίου αυτού δε, έλκονται από τις γειωμένες πλάκες, που περιοδικά, με τίναγμα, καθαρίζονται από την συγκεντρωμένη ύλη.

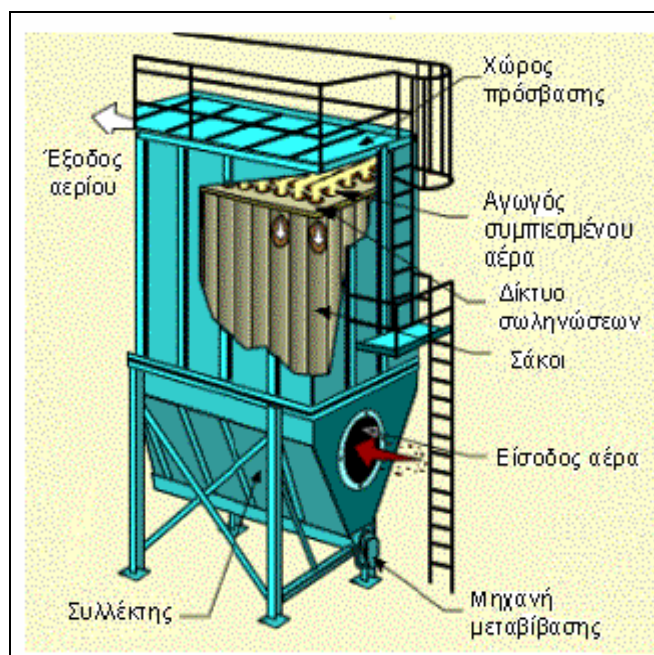


Σχήμα 5.1: Βασική αρχή λειτουργίας ηλεκτροστατικού κατακρημνιστή. (Vehlow, 2006).

iii) Σακκόφιλτρα

Ακόμα μικρότερες εκπομπές από αυτές των ESP, ειδικότερα για τα μικρότερου μεγέθους σωματίδια, μπορούν να επιτευχθούν με τα σακκόφιλτρα. Σ' αυτά, τα ακατέργαστα απαέρια περνούν από το εξωτερικό τμήμα προς το εσωτερικό, μέσα από υφασμάτινες σάκους που στηρίζονται σε μεταλλικά πλέγματα. Η ιπτάμενη τέφρα μένει στην εξωτερική επιφάνεια του φίλτρου και απομακρύνεται περιοδικά με την βοήθεια αέρα που φυσάει από το εσωτερικό. Αυτός ο καθαρισμός απελευθερώνει τα σωματίδια, τα οποία πέφτουν σε έναν συλλέκτη (Εικόνα 5.3). Τα σακκόφιλτρα εγγυώνται συγκεντρώσεις σκόνης στα καθαρά αέρια $< 1 \text{ mg/m}^3$.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην περίπτωση των σακκόφιλτρων είναι το υψηλό κόστος συντήρησης, καθώς έχουν διάρκεια ζωής 18-36 μήνες. Για σακκόφιλτρα χρησιμοποιούνται συνήθως είτε σάκκοι από Teflon, είτε υφαντά φίλτρα από υαλοβάμβακα με διάφορα επιστρώματα.



Εικόνα 5.3: Διάταξη σακκόφιλτρου [Vehlow , 2006].

5.2.2.4. Χημικός καθαρισμός απαερίων

Το βήμα που ακολουθεί την πρωτογενή καθίζηση της ιπτάμενης τέφρας στα συστήματα ελέγχου της αέριας ρύπανσης είναι συνήθως, ο χημικός καθαρισμός των απαερίων που μπορεί να λάβει χώρα με δύο κύριες μεθόδους:

- τις υγρές πλυντρίδες και
- τις στεγνές πλυντρίδες.

Η αρχή της μεθόδου των υγρών πλυντηρίδων βασίζεται στην απορρόφηση των αερίων συστατικών από ένα υγρό. Η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας διαδικασίας απορρόφησης εξαρτάται πρώτα από όλα από την διαθέσιμη επιφάνεια του υγρού που ελέγχει την μεταφορά μάζας από την αέρια στην υγρή φάση. Έτσι ο στόχος του σχεδιασμού τους είναι η επίτευξη μιας μεγάλης επιφάνειας επαφής μεταξύ του αερίου ρεύματος και μιας υγρής φάσης (συνήθως υδατικής) ώστε ο ρύπος να μεταφερθεί -διαλυθεί σ' αυτήν και να απομακρυνθεί από την αέρια φάση.

Όταν χρησιμοποιείται νερό η ρόφηση ονομάζεται φυσική ενώ όταν προστίθεται στο νερό και μια ένωση που αντιδρά με το ρύπο η ρόφηση ονομάζεται χημική. Στο χημικό καθαρισμό η διαλυμένη ένωση λειτουργεί ως συνεχής «καταβόθρα» (sink) για το ρύπο με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός απομάκρυνσης του από το αέριο ρεύμα.

Κατά το σχεδιασμό των συστημάτων χημικού καθαρισμού πρέπει να συνυπολογιστούν:

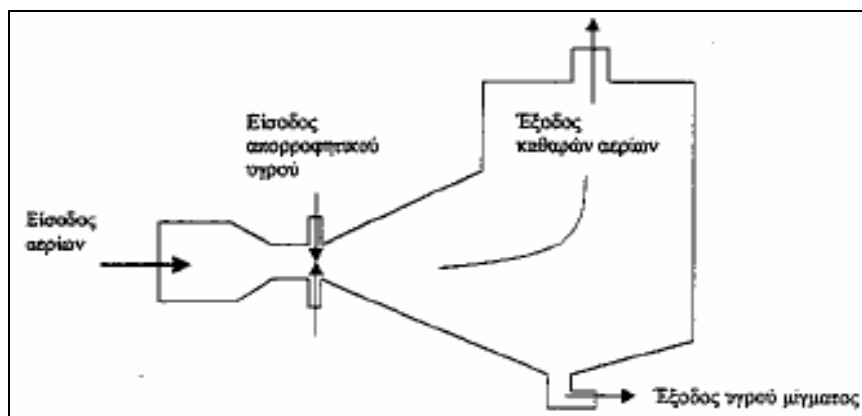
- Η αύξηση της απόδοσης σε απομάκρυνση (ή εναλλακτικά η επίτευξη της ίδιας απομάκρυνσης σε διάταξη μικρότερου όγκου).
- Η αύξηση του κόστους λόγω κατανάλωσης χημικών.
- Η ενδεχόμενη απαίτηση ανακύκλωσης του χημικού, προβλήματα αποθέσεων κλπ.
- Η επιλογή διαλύτη (υγρής φάσης) γίνεται βασιζόμενη στις παρακάτω παραμέτρους:
- Διαλυτότητα των αερίων. Γενικώς, επιδιώκεται ανάλογη χημική φύση με το προς απομάκρυνση αέριο.
- Πτητικότητα του υγρού. Όσο πιο χαμηλή γίνεται για να μην υπάρχουν απώλειες, αφού το αέριο ρεύμα μετά την επαφή θα βγαίνει κορεσμένο.
- Διαβρωτικότητα.
- Ιξώδες. Επιδιώκεται χαμηλό ιξώδες για μικρή πτώση πίεσης, καλή ροή και καλούς συντελεστές μεταφοράς.
- Χημική σταθερότητα.
- Χαμηλό σημείο πήξης.

Οι διάφορες διατάξεις που εφαρμόζονται είναι:

1. καθαριστές με διάταξη venturi,
2. πύργοι με πληρωτικό υλικό,
3. πύργοι με δίσκους,
4. πύργοι ψεκασμού.

1. Διάταξη Venturi

Στη διάταξη venturi (Σχήμα 5.2) έχουμε ομορροή υγρού και αερίου ρεύματος. Στο στόμιο εισόδου του υγρού, λόγω της στένωσης αυξάνεται η ταχύτητα του αερίου (και των στερεών, αν περιέχει) - προβλεπόμενη από το ισοζύγιο ενέργειας (σχέση Bernoulli) - και δημιουργούνται τύρβες οι οποίες ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της απορρόφησης. Ταυτόχρονα ελαττώνεται το μέγεθος των σταγονιδίων κάτι που επιδρά αυξητικά στην απόδοση. Στη συνέχεια, λόγω ελάττωσης της ταχύτητας γίνεται ο διαχωρισμός αερίου και υγρού μίγματος και απομακρύνονται.



Σχήμα 5.2: Διάταξη Venturi (Γρηγοροπούλου , 2005).

2. Πύργοι πληρωτικού υλικού

Είναι γεμάτοι με αδρανές πληρωτικό υλικό που προσφέρει μεγάλη ειδική επιφάνεια (ανά μονάδα όγκου πύργου) και μικρή αντίσταση στη ροή (πτώση πίεσης). Το υγρό ρέει σε λεπτό στρώμα (αντιροή). Η διάταξη δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν στα απαέρια περιέχονται και αιωρούμενα σωματίδια (φράξιμο των διακένων).

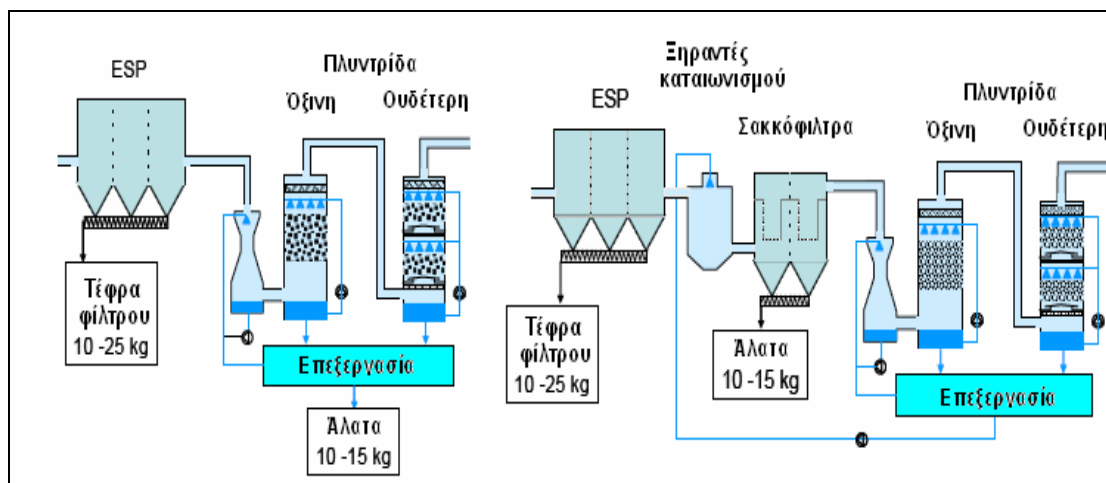
3. Πύργοι με δίσκους

Περιέχουν οριζόντιους δίσκους οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι ώστε να προσφέρουν αυξημένη διεπιφάνεια αερίου - υγρού. Το υγρό ρέει από την κορυφή του πύργου δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα πάνω στους δίσκους. Οι δίσκοι είναι διάτρητοι και το αέριο ρεύμα διέρχεται μέσα από τις οπές. Η διάταξη δεν μπορεί να λειτουργήσει στην περίπτωση ύπαρξης σωματιδίων.

4. Πύργοι ψεκασμού

Επεξεργάζονται μεγάλες παροχές αερίων με μικρή πτώση πίεσης και έχουν υψηλές αποδόσεις για χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων. Χρησιμοποιούνται και για την απομάκρυνση αιωρουμένων σωματιδίων. Γενικώς, έχουν χαμηλότερη απόδοση από τα άλλα συστήματα, αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος (πάγιο και λειτουργικό) .

Η χρήση πλυντηρίδων είναι μια κοινή στρατηγική στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης απορριμμάτων στην κεντρική Ευρώπη. Σήμερα, στις περισσότερες περιπτώσεις συναντάται ως μια εγκατάσταση δύο σταδίων ξεκινώντας με έναν όξινο καθαριστή που ακολουθείται από ένα ουδέτερο ή ελαφρώς αλκαλικό καθαριστή. Ο όξινος καθαριστής είναι τύπου venturi ή ψεκασμού και μειώνει την θερμοκρασία των απαερίων από 180-200 °C στους 63-65 °C. Κατά το δεύτερο στάδιο χρησιμοποιούνται κυρίως πύργοι με πληρωτικό υλικό. Οι υγρές πλυντηρίδες λειτουργούν με ή χωρίς (που είναι και το σύστημα που προτιμάται στις μέρες μας) την αποδέσμευση υγρών εκροών (Σχήμα 5.3).



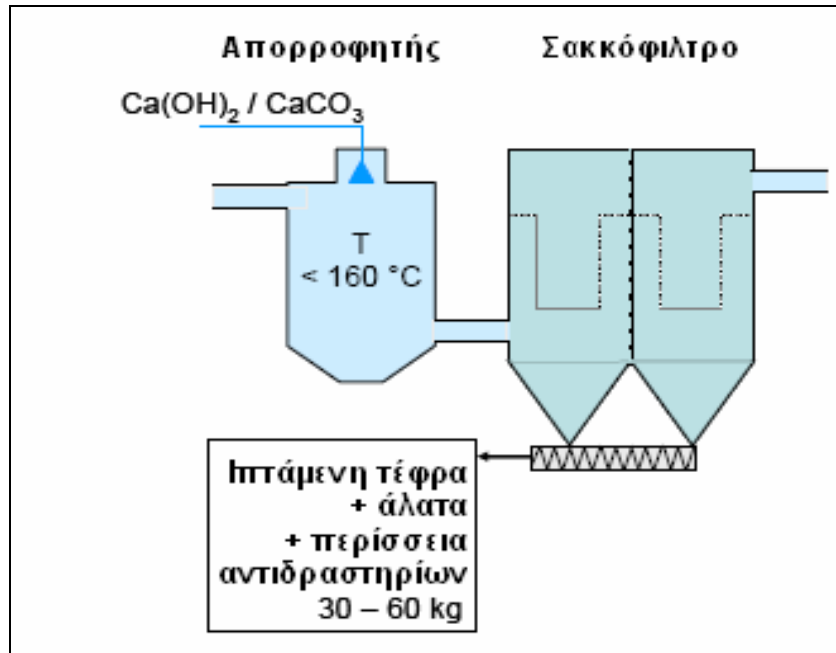
Σχήμα 5.3: Υγρή πλυντηρίδα με εκροή υγρών αποβλήτων (αριστερά) και χωρίς (δεξιά) (Vehlow, 2006).

Τα συστήματα δύο σταδίων έχουν πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης για τα αλογόνα HF, HCl και HBr, για τον υδράργυρο και για το SO₂ και έτσι οι συγκεντρώσεις αυτών των συστατικών στα απαερία μειώνονται εύκολα πολύ κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια εκπομπών.

Οι υγρές πλυντηρίδες αρχικά λειτουργούσαν με την απελευθέρωση υγρών εκροών, κάτι το οποίο απαιτούσε την αδρανοποίηση και την αποτελεσματική απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων ή άλλων τοξικών ρύπων. Τα επιτρεπόμενα όρια για την εκροή των υγρών σε ένα σύστημα αποχέτευσης είναι πολύ αυστηρά και για την επίτευξη τους απαιτείται μεγάλη προσπάθεια κυρίως για τον Hg και το Cd.

Οι αρχές συχνά απαγορεύουν την αποδέσμευση των υγρών αποβλήτων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις οι διαλύτες καθαρισμού πρέπει να εξατμιστούν, κάτι το οποίο γίνεται με τη βοήθεια ψεκαστών ξήρανσης που βρίσκονται αμέσως μετά τον βραστήρα (Σχήμα 5.3 δεξιά). Τα στερεά υπολείμματα απομακρύνονται από τη ροή του αερίου με τη βοήθεια ενός σακκόφιλτρου. Μια άλλη μέθοδος για την εξάτμιση των διαλυτών καθαρισμού είναι με την ξήρανση τους σε εξωτερικές συσκευές θερμαινόμενες με ατμό. Οι διεργασίες των στεγνών και ημι-στεγνών πλυντηρίδων είναι απλές και κατά συνέπεια φτηνές σε ότι αφορά το κόστος αγοράς τους και χρησιμοποιούνται σε πολλές εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο απορροφητής εισάγεται είτε απευθείας στο αγωγό των απαερίων είτε στον ψεκαστή ξήρανσης κατάντι του βραστήρα σε ξηρή μορφή (ξηρή διεργασία) ή σαν λάσπη (ημι-ξηρή διεργασία). Τα υπολείμματα καθαρισμού στις περισσότερες περιπτώσεις αφαιρούνται από τα απαερία μέσω σακκόφιλτρων. Σε κάποιες εγκαταστάσεις, λαμβάνει χώρα και ο διαχωρισμός της ιπτάμενης τέφρας πριν τη διάταξη του ψεκαστή ξήρανσης. Για αυτό το σκοπό στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετούνται κυκλώνες.

Η στεγνή πλυντηρίδα μπορεί να εφαρμοστεί με τη βοήθεια διάφορων αντιδραστηρίων όπως ασβεστόλιθου, CaCO₃, οξειδίου του ασβεστίου, CaO, ασβέστη, και Ca(OH)₂. Στις μέρες μας δεν χρησιμοποιούνται πλέον διεργασίες που χρησιμοποιούν CaCO₃ και CaO καθώς δεν εγγυώνται την εναρμόνιση τους με τα συνηθισμένα όρια εκπομπών. Μια τυπική διάταξη στεγνής πλυντηρίδας φαίνεται στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4: Διάταξη στεγνής πλυντηρίδας (Vehlow , 2006).

5.2.2.5. Μείωση NOx

Για τη βελτίωση των εκπομπών NOx ακολουθούνται δύο στρατηγικές:

- η μη καταλυτική απομάκρυνση (NSCR) με την είσοδο αμμωνίας ή κάποιας άλλης ένωσης του αζώτου στην θερμή φλόγα του αερίου σε θερμοκρασία 950 °C ή
- η επιλεκτική καταλυτική μείωση (SCR) σε θερμοκρασία 250 - 300 °C, στις περισσότερες περιπτώσεις στο τέλος του καθαρισμού των αερίων αφού το αέριο έχει ξαναθερμανθεί.

Και με τις δύο στρατηγικές επιτυγχάνεται η εναρμόνιση με τα όρια της οδηγίας της Ε.Ε. περί αποτέφρωσης των απορριμμάτων που είναι 200 mg/m . Παρόλα αυτά στην περίπτωση που απαιτούνται ακόμα χαμηλότερες εκπομπές η μέθοδος SCR έχει καλύτερα αποτελέσματα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι για τον συνολικό έλεγχο της διαδικασίας της αποτέφρωσης, αλλά και των παραγόμενων αέριων ρύπων, κρίνεται αναγκαία η συχνή δειγματοληψία και η ανάλυση της σύστασης των:

- εισερχόμενων στερεών απορριμμάτων,
- παραγόμενων στερεών (υπολείμματα - ιπτάμενη τέφρα),
- παραγόμενων αερίων,
- υγρών αποβλήτων, που παράγονται κατά την επεξεργασία των αερίων.

5.2.3. Εκπομπές στα Νερά

Οι αερόβιες βιολογικές διεργασίες εξατμίζουν το νερό από τα εισερχόμενα ΑΣΑ. Σε υγρασία κάτω του 40%, η κομποστοποίηση αναστέλλεται και έτσι νερό, που συνήθως ανακυκλώνεται από κάποιο άλλο τμήμα της μονάδας, προστίθεται για να

υποστηρίξει τη διαδικασία της χώνευσης. Το νερό που διέρχεται μέσα από το σωρό των ΑΣΑ απομακρύνει τα στερεά απ' αυτό, είτε ως διαλυμένα, είτε ως αιωρούμενα.

Τα απόβλητα που προκύπτουν καλούνται "εκχυλίσματα (leachate)". Τα εκχυλίσματα μπορούν, επίσης, να παραχθούν από διεργασίες που σχεδιάζονται για να βιο-ξηράνουν τα ΑΣΑ, ακόμα κι αν δεν προστίθεται καθόλου νερό. Η ποσότητα των εκχυλισμάτων που παράγεται σε τέτοιες διεργασίες είναι μικρότερη από αυτή από τις διεργασίες που σχεδιάζονται για να χωνεύσουν πλήρως, αερόβια τα ΑΣΑ.

Μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούν ένα τελικό στάδιο ωρίμανσης απαιτούν αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων compost για αρκετές εβδομάδες. Τα εκχυλίσματα θα σχηματιστούν φυσικά ή από το νερό της βροχής που διέρχεται από τους αποθηκευμένους σωρούς.

Τα εκχυλίσματα συνήθως περιέχουν διάφορες εύκολα βιοδιασπάσιμες ενώσεις (που τα καθιστά δύσσομα), νιτρικά άλατα και οργανικά οξέα, τα οποία θα πρέπει να διαχειριστούν και να επεξεργαστούν πριν την απόρριψή τους. Οι διαδικασίες αναερόβιας χώνευσης μπορούν να παράγουν υγρά απόβλητα, τα οποία μπορεί να έχουν τη μορφή συμπυκνωμένης λάσπης ή αιωρήματος. Χαρακτηριστικά, τα υγρά ανακτώνται από τον χωνευτήρα σ' ένα στάδιο απομάκρυνσης νερού.

Καθώς η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης βελτιστοποιείται για να μεγιστοποιήσει την παραγωγή μεθανίου, κατόπιν γενικά, το COD στα υγρά απόβλητα τείνει να είναι υψηλό. Επειδή πολλά συστήματα αναερόβιας χώνευσης λειτουργούν με χαμηλή συγκέντρωση στερεών και απαιτούν υγρά συστήματα προ-επεξεργασίας για να προετοιμάσουν τα ΑΣΑ για τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, σχετικά μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων θα πρέπει να διαχειριστούν. Τέτοιοι τύποι μεθόδων αναερόβιας χώνευσης παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες υγρών αποβλήτων απ' ό,τι οι αντίστοιχες τους αερόβιες.

5.2.4. Υπολείμματα στο έδαφος

Οι μέθοδοι επεξεργασίας που παράγουν ένα βιο-σταθεροποιημένο προϊόν καταλήγουν στο περίπου 20-50% του όγκου των εισερχόμενων ΑΣΑ να μεταφέρεται στο ΧΥΤΑ. Η βιοαποδομησιμότητα αυτής της παραγωγής μειώνεται σημαντικά. Στη Γερμανία και την Αυστρία περαιτέρω μειώσεις των επιπέδων TOC σε αυτήν την παραγωγή είναι απαραίτητες, ώστε να μπορεί να ταξινομηθεί ως αρκετά αδρανής για να διατεθεί σε ΧΥΤΑ.

Το "compost" ή εδαφοβελτιωτικό που παράγεται από μερικές διεργασίες, το οποίο μπορεί να ανέλθει στο 50% κατά βάρος των εισερχόμενων ΑΣΑ, θα πρέπει να διαχειριστεί ως υπόλειμμα αν μακροπρόθεσμοι διέξοδοι στην αγορά δεν μπορούν να βρεθούν και να εξασφαλιστούν. Διαδικασίες επεξεργασίας που διαμορφώνονται για να παράγουν SRF μπορούν να δημιουργούν μια σημαντική ποσότητα στερεών υπολειμμάτων, που αντιστοιχεί περίπου στο 20% κ.β. των εισερχόμενων ΑΣΑ. Το σχετικά μεγάλο ρεύμα υπολειμμάτων, το οποίο συνήθως μεταφέρεται προς υγειονομική ταφή, είναι το αποτέλεσμα του βαθμού ραφινάρισματος που απαιτείται για την παραγωγή καλής ποιότητας καυσίμου. Εάν μια μακροπρόθεσμη διέξοδος δεν μπορεί να βρεθεί για το SRF, θα πρέπει να διατεθεί σε ΧΥΤΑ. Λόγω του τρόπου με

τον οποίο η διαδικασία βελτιστοποιείται, το SRF θα είχε ακόμα ένα σημαντικό βιοαποδομήσιμο περιεχόμενο, που σημαίνει ότι μέχρι 70% των εισερχόμενων ΑΣΑ μπορεί να καταλήξουν σε ΧΥΤΑ .

Ειδικότερα για τα στερεά καύσιμα από επεξεργασμένα ΑΣΑ, όπως το RDF και το SRF, η διαδικασία ης καύσης τους θα παράγει τέφρα. Θα παράγει επίσης, υπολείμματα καθαρισμού των αερίων, ως αποτέλεσμα της μείωσης των αερίων που θα είναι απαραίτητη για τη συμμόρφωση με την Οδηγία της ΕΕ για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων (EU – Waste Incineration Directive). Τόσο η τέφρα, όσο και τα υπολείμματα καθαρισμού των αερίων θα πρέπει να διαχειριστούν και να διατεθούν σε ΧΥΤΑ.

5.2.5. Εκπομπές καινοτόμων τεχνολογιών

Στον Πίνακα 5.3 – 5.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εκπομπές διάφορων ρύπων από εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν κάποιες από τις προαναφερθέντες καινοτόμες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, σε σύγκριση με τα όρια που ισχύουν στις ΗΠΑ και στη Γερμανία. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται η απόδοσή τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Πίνακας 5.3 : Αποτελέσματα εκπομπών για εγκαταστάσεις διάφορων καινοτόμων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας και απόδοσης ηλεκτρικής ενέργειας (Evaluation of Conversion Technology Processes and Products, 2004)

| | PM | NO _x | CO | TOC | so ₂ | Dioxins/ furan |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | (ng / m ³) |
| Όρια US EPA | 18,4 | 219,8 | 89,2 | | 61,2 | |
| Όρια German | 10 | 200 | 50 | | 50 | 0,10 |
| (17thBImSchV) | | | | | | |
| PKA | 2,3 | 54 | 38 | 2,3 | 7,7 | 0,02 |
| P.I.T. | 4,2- 5,2 | 61-189 | 0,5- 2,5 | 0,2-0,5 | 0,0- 5,6 | 0,002 |
| Thermoselect | 0,84 | 21,76 | 2,95 | | 0,16 | 0,0007-0,0011 |
| Thide-Eddith | | 470 | 50 | <15 | <200 | |
| TPS | 3-7 | 200-300 | 2,5-5 | | 5-15 | 0,013 |

Πίνακας 5.4 :Συνέχεια Πίνακα 5.3 (Evaluation of Conversion Technology Processes and Products, 2004)

| | HC1 | HF | Cd | Pb | Hg | Ενέργεια |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | mg/m ³ | kWh/Mg |
| Όρια US EPA | 29,1 | | 0,01533 | 0,1533 | 0,0613 | |
| Όρια German | 10 | | 0,03 | 0,50 | 0,03 | |
| (17thBlmSchV) | | | | | | |
| PKA | 2,3 | 0.15 | 0,002 | | 0,002 | 280 |
| P.I.T. | 1,7-5 | <0.1 | | | 0,05 | |
| Thermoselect | | | 0,001 | 0,013 | 0,0018 | 450 |
| Thide-Eddith | 30 | <1 | | | | |
| TPS | 0,6-2 | <0.1 | <0,004 | 0,005 | 0,008-0.05 | 550 |
| Nexus | | | | | | 390 |
| Siemens | | | | | | 410 |
| Yon roll | | | | | | 380 |

Από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι οι μέθοδοι PKA, PIT και Thermoselect πληρούν όλα τα όρια τόσο του Γερμανικού όσο και του κανονισμού των Η.Π.Α για τις αέριες εκπομπές. Η μέθοδος Thide-Eddith υπερβαίνει τα όρια για τις εκπομπές NO_x, SO₂, και HCl ενώ η TPS υπερβαίνει μόνο το όριο για τις εκπομπές των NO_x. Από πλευράς ενέργειας η απόδοση των διαφόρων διεργασιών κυμαίνεται από 250-700 kWh/Mg με μια μέση τιμή περίπου 450 kWh/Mg. Την καλύτερη απόδοση εμφανίζουν οι μέθοδοι Thermoselect και TPS. Σε κάθε περίπτωση η απόδοση μπορεί να αυξηθεί αν γίνει κατάλληλη προεπεξεργασία των απορριμμάτων και απομάκρυνση των ανόργανων υλικών.

5.2.6. Επιπτώσεις στη δημόσια Υγεία

Στις προηγούμενες παραγράφους παρουσιάσαμε τις εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος που παράγονται από τις διάφορες μονάδες/τεχνολογίες επεξεργασίας ΑΣΑ. Υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον στο πως τέτοιες εκπομπές θα μπορούσαν να επιδράσουν στην υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων που ζουν πλησίον των εγκαταστάσεων που επεξεργάζονται ΑΣΑ. Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική επισκόπηση των πιθανών κινδύνων υγείας που συνδέονται με τις μονάδες/ τεχνολογίες επεξεργασίας ΑΣΑ.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν υπάρχει κανένα στοιχείο από μελέτες που σχετίζονται άμεσα με μια μονάδα επεξεργασίας, αλλά εργασίες έχουν διεξαχθεί για να εξεταστούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με μονάδες κομποστοποίησης. Απ' αυτές τις πληροφορίες δεν πρέπει να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα, αλλά πιο ειδική έρευνα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις .

Οι πιθανοί κίνδυνοι υγείας που συνδέονται με τις διεργασίες κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης έχουν λάβει λιγότερη προσοχή από εκείνους που αφορούν στην αποτέφρωση. Για παράδειγμα, ο σχηματισμός και η απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα οργανικών αερολυμάτων, μη-κατεστραμμένων παθογόνων οργανισμών στο προϊόν τύπου compost και η επιβάρυνση με βαρέα μέταλλα των στερεών προϊόντων της επεξεργασίας, μπορούν να οδηγήσουν σε έκθεση τους εργαζομένους, τη γειτονική κοινότητα ή όσους έρχονται σε επαφή με τα τελικά προϊόντα. Αυτοί οι κίνδυνοι υγείας μπορούν να εξεταστούν ικανοποιητικά σε μια σύγχρονη υπό λειτουργία εγκατάσταση.

Από έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί, διαπιστώθηκε ότι καμία μελέτη σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από μονάδες επεξεργασίας δεν έχει εκπονηθεί και υπάρχουν περιορισμένες πληροφορίες από Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανάκτησης και Μονάδες Αερόβιας Κομποστοποίησης .

Δηλώνεται ότι οι εργαζόμενοι στις εγκαταστάσεις θα έρθουν σε άμεση επαφή με τα βιοαποδομήσιμα ΑΣΑ και υπό αυτή τη μορφή θα εκτεθούν στους χημικούς κινδύνους, τους ατμούς και την αιρούμενη σωματιδιακή ύλη. Η τελευταία περιλαμβάνει τα οργανικά αερολύματα που δημιουργούν το μέγιστο κίνδυνο για τη υγεία. Η μέγιστη έκθεση των εργαζομένων είναι πιθανό να συμβεί στις μονάδες επεξεργασίας που λειτουργούν γραμμές χειροδιαλογής.

Επίσης, δεν υπάρχουν επιδημιολογικές μελέτες για πληθυσμούς που ζουν κοντά σε Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανάκτησης.

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι υπήρξαν λίγα στοιχεία σχετικά με το αν οι Εγκαταστάσεις Μηχανικής Ανάκτησης αποτελούν σημαντική απειλή για τη δημόσια υγεία ή το περιβάλλον, αλλά οι σημαντικότερες εκπομπές ήταν τα οργανικά αερολύματα για τα οποία δεν υπάρχει κανένα υιοθετημένο όριο επαγγελματικής έκθεσης.

5.2.6.1 Πιθανές Επιπτώσεις Στην Υγεία Των Εργαζομένων Σε Εργοστάσια Καύσης

- Αυξημένα επίπεδα μεταλλαξιγόνων, υδροξυτυρενίου και θειοαιθέρων στα ούρα.
- Αύξηση κατά 350% της πιθανότητας θανάτου από καρκίνο του πνεύμονα.
- Αύξηση κατά 150% της πιθανότητας θανάτου από καρκίνο του οισοφάγου.
- Αύξηση κατά 279% της θνησιμότητας από καρκίνο του στομάχου.
- Αυξημένη θνησιμότητα από ισχαιμικά καρδιακά επεισόδια.
- Αυξημένη υπερλιπιδαιμία. Επιπτώσεις στο ανοσοποιητικό λόγω υψηλών επιπέδων διοξινών στο αίμα.
- Αυξημένη πρωτεϊνουρία και υπέρταση.
- Χλωρακμή (δερματοπάθεια που οφείλεται στην έκθεση σε διοξίνες) .

5.2.6.2. Πιθανές Επιπτώσεις Στην Υγεία Των Κατοικων Που Γειτνιαζουν Με Εργοστασια Καυσης

- Αυξημένα επίπεδα θειοαιθέρων στα ούρα παιδιών.
- 44% αύξηση σαρκώματος μαλακών ιστών. 27% αύξηση λεμφώματος non-Hodgkin.
- Αύξηση κατά 670% της πιθανότητας θανάτου από καρκίνο του πνεύμονα.
- Αυξημένα κρούσματα καρκίνου του λάρυγγα.
- Αύξηση κατά 37% της θνησιμότητας από καρκίνο στο συκώτι.
- Διπλάσια πιθανότητα θνησιμότητας από καρκίνο σε παιδιά.
- Αυξημένες πωλήσεις φαρμάκων για αντιμετώπιση παθήσεων του αναπνευστικού.
- Αυξημένα αναπνευστικά προβλήματα (εννεαπλασιασμός συμπτωμάτων συριγμού και βήχα).
- Δυσλειτουργίες πνευμόνων σε παιδιά.
- Αυξημένα αναπνευστικά συμπτώματα (συριγμός, επίμονος βήχας, βρογχίτις).
- Αύξηση γεννήσεων κοριτσιών.
- Αύξηση κατά 126% της πιθανότητας εμφάνισης συγγενών ανωμαλιών σε νεογέννητα.
- Αυξημένες συγγενείς δυσπλασίες οφθαλμών.
- Πιθανή αύξηση περιστατικών διδύμων και εν γένει πολλαπλής εγκυμοσύνης.
- Μειωμένα επίπεδα θυρεοειδών ορμονών σε παιδιά.
- Αυξημένα περιστατικά αλλεργιών και χρήσης φαρμάκων σε μαθητές.

6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ/ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας διαχείρισης των ΑΣΑ και της εκτίμησης του κόστους τους πρέπει να γίνεται μετά από λεπτομερειακή ανάλυση παραμέτρων όπως η προκληθείσα περιβαλλοντική επιβάρυνση, οι αντικειμενικοί περιβαλλοντικοί στόχοι που τίθενται, η τεχνοοικονομική ανάλυση των τεχνολογιών, και η ευκολία εφαρμογής της κάθε τεχνολογίας. Εξετάζονται τα οφέλη και οι επιδράσεις, δηλαδή η αποτελεσματικότητα, των τεχνολογιών διαχείρισης ως προς την βαρύτητα στους επιλεγμένους παράγοντες σε σχέση με:

1. **Μακροχρόνια αποτελεσματικότητα** που αξιολογείται με τον υπολογισμό της παραμένουσας επικινδυνότητας από την ποσότητα των δευτερογενών αποβλήτων (οξύτητα, βαρέα μέταλλα, σκόνη) κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας διαχείρισης (καθορίζονται ως αρνητική ποσότητα). Προσδιορίζεται από τον βαθμό μείωσης της τοξικότητας και κινητικότητας των ρυπαντών και του όγκου των αποβλήτων. Αφορά στην αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών σε μία περίοδο 70 ετών, όση θεωρείται και η μέση περίοδος ζωής του ανθρώπου.
2. **Μακροχρόνια αξιοπιστία** των τεχνολογιών διαχείρισης προσδιορίζεται με βάση τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε εφαρμοζόμενης τεχνολογίας που παρατέθηκαν στην ανάλυση των προηγούμενων ενοτήτων.
3. **Εφαρμοσιμότητα** μιας τεχνολογίας που είναι συνήθως συνάρτηση τριών παραμέτρων όπως: (1) των βιβλιογραφικών στοιχείων που αναφέρονται στην αποδεδειγμένη εφαρμοσιμότητα των τεχνολογιών, (2) της δυνατότητας που υφίσταται να εφαρμοστούν οι συγκεκριμένες τεχνολογίες σε μια περιοχή και (3) της δυνατότητας που υφίσταται να εξασφαλιστούν οι απαιτούμενες άδειες υλοποίησης των τεχνολογιών από εθνικούς περιβαλλοντικούς οργανισμούς. Εξαρτάται από την ανάλυση της επικινδυνότητας και των υποθετικών σεναρίων περιβαλλοντικής κατάστασης της περιοχής διάθεσης στο μέλλον (πιθανή αλλαγή περιβαλλοντικών συνθηκών) λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά δεδομένα.
4. **Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις** αφορούν της επιπτώσεις των τεχνολογιών διαχείρισης στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον (κεφάλαιο 5) κατά την διάρκεια του σταδίου εφαρμογής τους, χωρίς να ενέχει χρονικό προσδιορισμό κατά την αξιολόγηση της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας.
5. **Κόστος** των τεχνολογιών διαχείρισης, για τις οποίες η βαρύτητα που τους αποδίδεται εξαρτάται από τον φορέα ο οποίος έχει αναλάβει την εφαρμογή των τεχνολογιών. (αναλύεται παρακάτω)

6.2. ΚΟΣΤΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

6.2.1. Χυτά

Ο υπολογισμός του πραγματικού κόστους ταφής είναι απαραίτητος προκειμένου να αποτιμηθεί η οικονομική επιβάρυνση που προκύπτει από την Οδηγία 99/31 στους ΧΥΤΑ, αλλά και η σύγκριση του κόστους ταφής με το κόστος επεξεργασίας. Αυτό που συνήθως θεωρείται ως κόστος ταφής στην Ελλάδα δεν λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ταφή, την μείωση της αξίας της γης που ο ΧΥΤΑ συνεπάγεται, αλλά ούτε καν τις απαιτήσεις πλήρους κοστολόγησης των παρεχόμενων υπηρεσιών. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι σε κανέναν ΧΥΤΑ στην Ελλάδα δεν κοστολογείται:

- Το κόστος των έργων αποκατάστασης και μεταφροντίδας.
- Το κόστος κατασκευής του νέου ΧΥΤΑ, που θα αντικαταστήσει τον υπάρχοντα μετά το τέλος της χρήσιμης ζωής του.
- Το κόστος της ασφάλισης του έργου ή ισοδύναμης χρηματοοικονομικής εγγύησης που πρέπει να πληρώνεται σε ετήσια βάση από το φορέα διαχείρισης.

Έχει υπολογιστεί ότι το πραγματικό οικονομικό κόστος της ταφής είναι τουλάχιστον 3 φορές μεγαλύτερο από αυτό που υπολογίζουν οι φορείς διαχείρισης. Επομένως, από την άποψη της υλοποίησης της Οδηγίας 99/31, ο σημερινός μη αντιπροσωπευτικός (αλλά και μη νόμιμος) προσδιορισμός του κόστους ταφής οδηγεί σε αδικαιολόγητα χαμηλά τέλη ταφής, με αποτέλεσμα να αποτελεί σημαντικό φραγμό στις προσπάθειες προώθησης σχεδίων επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων, εφόσον η πλασματική σύγκριση του τέλους επεξεργασίας με τα τέλη ταφής που σήμερα χρεώνονται προκαλεί συχνά δέος. Αυτό σημαίνει ότι οι διαφορές κοστολογίου μεταξύ ταφής και επεξεργασίας είναι μικρότερες από τις αρχικά εκτιμώμενες, παραμένοντας βέβαια σημαντικές. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 6.1, το κόστος ταφής στην Ελλάδα είναι από τα χαμηλότερα στην Ευρώπη.

Πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι στην Ελλάδα, η δαπάνη κατασκευής κάποιων εν λειτουργία χώρων υγειονομικής ταφής ξεπέρασε τα 54 εκατ. €, ενώ οι υπό κατασκευή ή υπό δημοπράτηση ΧΥΤΑ έχουν προϋπολογισμό που ξεπερνάει τα 29 εκατ. €. Το λειτουργικό κόστος των χώρων υγειονομικής ταφής κυμαίνεται από 5-20 €/tn και είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη δυναμικότητα τους .

Πίνακας 6.1: Κόστος Ταφής σε διάφορες Χώρες της Ε.Ε. (Μαυρόπουλος, 2002).

| Χώρα | Κόστος (€/τόνο) |
|--------------------|-----------------|
| Αυστρία | 50-150 |
| Βέλγιο (Φλαμανδία) | 116 |
| Δανία | 110 |
| Φινλανδία | 30-121 |
| Γερμανία | 123 |
| Ελλάδα | 8-35 |
| Ιρλανδία | 120-240 |
| Ιταλία | 90-110 |
| Λουξεμβούργο | 50 |
| Ολλανδία | 58 |
| Πορτογαλία | 26 |
| Ισπανία | 12 |
| Σουηδία | 70-90 |
| Ηνωμένο Βασίλειο | 21 |

6.2.2. Μηχανική/Βιολογική Επεξεργασία

Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας μιας μονάδας κομποστοποίησης εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της εγκατάστασης (κλειστά ή ανοικτά συστήματα), το είδος των αποβλήτων που επεξεργάζεται (πράσινα απόβλητα, βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή ή εμπλουτισμένο οργανικό κλάσμα μετά από μηχανική διαλογή) και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση από μονάδα σε μονάδα. Γενικά, σχετικά με το κόστος μπορούν να διατυπωθούν δύο γενικές παρατηρήσεις:

A) όσο πιο «καθαρό» είναι το ρεύμα των επεξεργαζόμενων αποβλήτων (π.χ. πράσινα απόβλητα), τόσο απλούστερα και φθηνότερα είναι τα απαιτούμενα συστήματα κομποστοποίησης, και

B) όσο υψηλότερη είναι η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (π.χ. βιοαντιδραστήρες), τόσο υψηλότερο είναι το κόστος κατασκευής, ενώ συνήθως αντιστρόφως ανάλογα κυμαίνεται το εργατικό κόστος.

Πιο συγκεκριμένα, η κομποστοποίηση πράσινων αποβλήτων σε ανοικτά σειράδια είναι μια από τις οικονομικότερες μορφές επεξεργασίας αποβλήτων, με αναφερόμενο συνολικό κόστος (ετησιοποιημένο κόστος κεφαλαίου + λειτουργικό κόστος) 20-35€/tn. Εδώ το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει το κόστος αγοράς της γης, τη διαμόρφωση και επίστρωση του γηπέδου με μπετόν ή ασφαλτικά υλικά και την προμήθεια εξοπλισμού (θρυμματιστή, αναστροφέα, κόσκινων και φορτωτή). Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι η πώληση του κομπόστ από πράσινα απόβλητα επιτυγχάνει θετικές, και σε ορισμένες περιπτώσεις υψηλές, τιμές. Έτσι, ένα μέρος του

υλικού που θα πουληθεί ενσακισμένο στην αγορά προϊόντων κήπου, μπορεί να πετύχει τιμές της τάξεως των 100-120 €/ τόνο. Ωστόσο, η μεγαλύτερη ποσότητα θα πουληθεί χύμα, σε τιμές της τάξεως των 10-15 €/ τόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς δεν υπάρχουν αντίστοιχες εγκαταστάσεις στην Ελλάδα, τα κόστη και ειδικά οι τιμές πώλησης του κομπόστ μπορεί να διαφέρουν σημαντικά.

Η κομποστοποίηση σε ανοικτά σειράδια δεν θεωρείται στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες ως αποδεκτή μέθοδος για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων που περιέχουν τροφικά υπολείμματα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται κλειστά συστήματα με κόστος που μπορεί να παρουσιάζει σημαντική διακύμανση. Η προσομοίωση ενός συστήματος «βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας» για την επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος μετά από καλή διαλογή στην πηγή, υποδεικνύει ένα συνολικό κόστος 35-60€/τόνο για μια μονάδα δυναμικότητας 20.000 τόνων (χωρίς να υπολογιστούν πιθανά έσοδα από την πώληση προϊόντων), ανάλογα με το κόστος εργασίας, ενέργειας κλπ. στις διάφορες χώρες της ΕΕ . Σε αυτή την περίπτωση το κόστος κατασκευής υπολογίζεται σε 150€ ανά τόνο εγκατεστημένης δυναμικότητας.

Μια αντίστοιχη μονάδα, δυναμικότητας 17.200 τόνων στο Ipswich της Αγγλίας είχε κόστος κατασκευής 1,85 εκατ. € (δηλ. 108 € ανά τόνο εγκατεστημένης δυναμικότητας) και τέλη εισόδου (που εκφράζουν το λειτουργικό της κόστος) 25€/τόνο. Ωστόσο, αρκετά υψηλότερες τιμές αναφέρονται σε διάφορες μελέτες, για άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Γενικά πάντως ισχύει ότι τόσο το κόστος κατασκευής όσο και το λειτουργικό κόστος μειώνεται καθώς αυξάνεται η δυναμικότητα της.

Στην περίπτωση της ΜΒΕ ακόμη και ο ίδιος γενικός τύπος για την ίδια δυναμικότητα, από τον ίδιο κατασκευαστή και στην ίδια χώρα μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος, ανάλογα με τους στόχους της επεξεργασίας που θέτει ο φορέας ανάθεσης του έργου. Η πολυπλοκότητα και κατά συνέπεια το κόστος του μηχανικού μέρους της επεξεργασίας θα εξαρτηθεί από τον επιθυμητό βαθμό ανακύκλωσης των ξηρών ανακυκλώσιμων, ενώ για το βιολογικό από τον απαιτούμενο βαθμό εξευγενισμού του παραγόμενου «κομπόστ» (απομάκρυνση προσμίξεων, βαθμός ωρίμανσης).

Τα στοιχεία κόστους από μονάδες αναφοράς που λειτουργούν σε διαφορετικές χώρες, επεξεργάζονται απόβλητα διαφορετικής σύστασης για την παραγωγή προϊόντων διαφόρων ποιοτήτων και στόχων, κάτω από διαφορετικές οικονομικές συνθήκες δεν μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για τη λήψη αποφάσεων από τους φορείς διαχείρισης των ΑΣΑ, καθώς η πιθανότητα εξαγωγής λανθασμένων συμπερασμάτων είναι πολύ μεγάλη. Ακόμη και όταν οι εταιρείες παρουσιάζουν στοιχεία κόστους προσαρμοσμένα στις ελληνικές συνθήκες, χρειάζεται μεγάλη προσοχή στη σύγκριση.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς, μπορούν να εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα για το κόστος της ΜΒΕ. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι το κατασκευαστικό κόστος της ΜΒΕ παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, ωστόσο παραμένει πολύ χαμηλότερο από αυτό της καύσης. Το λειτουργικό κόστος της ΜΒΕ είναι συνήθως υψηλότερο σε σχέση με την καύση (ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων), αλλά αυτό δεν ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα οικονομικά της ΜΒΕ εξαρτώνται άμεσα από τις δυνατότητες και το κόστος διάθεσης των προϊόντων της: το άμεσο λειτουργικό και κατασκευαστικό κόστος έχει μικρότερη

σημασία στον προσδιορισμό της βιωσιμότητας μιας εγκατάστασης ΜΒΕ σε σχέση με το σχεδιασμό και την εξασφάλιση διόδων απορρόφησης των εκροών της διεργασίας σε λογικό κόστος. Δεν πρέπει να αναμένονται έσοδα από την πώληση προϊόντων της ΜΒΕ, με εξαίρεση την πώληση ενέργειας.

Ενδεικτικά να αναφέρουμε κάποιες τιμές για το κόστος κατασκευής και λειτουργίας ορισμένων εμπορικών μονάδων ΜΒΕ, με βάση στοιχεία που παρέχουν οι κατασκευαστές τους. Έτσι λοιπόν το κόστος κατασκευής κυμαίνεται από 158 - 396 € /τόνο επεξεργασμένων απορριμμάτων ενώ το κόστος επεξεργασίας είναι της τάξης των 46-78€ /τόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι πολλοί κατασκευαστές αρνούνται να δώσουν τιμές καθώς αυτές εξαρτώνται άμεσα από το συγκεκριμένο έργο και τις τοπικές του συνθήκες, όπως αναλύθηκε και προηγουμένως. Σε κάθε περίπτωση τονίζεται ότι οι τιμές αυτές θα πρέπει να αντιμετωπιστούν με ιδιαίτερη προσοχή και με τις επιφυλάξεις που προαναφέρθηκαν, συνεπώς δεν προσφέρονται για άμεσες συγκρίσεις μεταξύ τεχνολογιών.

6.2.3. Τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ αδιαμφισβήτητα παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος εφαρμογής, το οποίο αναλύεται τόσο στο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης της αντίστοιχης μονάδας, όσο και στο κόστος λειτουργίας δευτερευόντων μονάδων, όπως για παράδειγμα συστημάτων επεξεργασίας των παραγόμενων αέριων εκπομπών και στερεών υπολειμμάτων. Το ύψος του τελικού κόστους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

- το είδος της μεθόδου που εφαρμόζεται (π.χ. η πυρόλυση εμφανίζεται να είναι αρκετά πιο ακριβή από ότι η αποτέφρωση),
- τη δυναμικότητα της αναγκαίας μονάδας θερμικής επεξεργασίας,
- το βαθμό απόδοσης της μονάδας,
- τη σύσταση και την αναγκαία επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων,
- τις γενικότερες οικονομικές παραμέτρους κάθε χώρας (κόστος γης, εργατικό κόστος, κόστος πρώτων υλών, κτλ),
- το κόστος πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας,
- τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης υλικών,
- τους περιορισμούς και στόχους, που θέτει η εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία.

Το λειτουργικό κόστος είναι εξίσου υψηλό. Το κόστος προ φόρων σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, κυμαίνεται από 21 έως 332 € ανά τόνο (ανάλογα με τον όγκο των προς καύση απορριμμάτων), ενώ στο κόστος αυτό θα πρέπει να προσθέσει κανείς και το κόστος για την επιπλέον διάθεση των τοξικών στερεών αποβλήτων της καύσης, το οποίο με τη σειρά του κυμαίνεται από 8 έως 363€ ανά τόνο. Ο Πίνακας 6.2 συνοψίζει τα αποτελέσματα πρόσφατης μελέτης για το κόστος της καύσης σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες.

Πίνακας 6.2: Κόστος καύσης σε χώρες της Ε.Ε. (Ψωμάς, 2005).

| Χώρα | Κόστος καύσης (προ φόρων) σε €/tn | Κόστος διαχείρισης τεφρών |
|--------------|-----------------------------------|---|
| Αυστρία | 97-332 | Τέφρα βάσης 63 €/τόνο, Υπολείμματα συστημάτων αντιρρύπανσης 363 €/τόνο |
| Βέλγιο | | 62-83 |
| Βρετανία | 65-86 | Ιπτάμενη τέφρα 100 €/τόνο |
| Γαλλία | | 67-129 13-18 €/τόνο |
| Γερμανία | 65-250 | Τέφρα βάσης 28,1 €/τόνο, Ιπτάμενη τέφρα και υπολείμματα συστημάτων αντιρρύπανσης 255,6 €/τόνο |
| Δανία | 43 | Τέφρα βάσης και υπολείμματα συστημάτων αντιρρύπανσης 34 €/τόνο |
| Ελβετία | | 21-53 |
| Ιρλανδία | | 46 |
| Ισπανία | | 34-56 |
| Ιταλία | 41,3-93 | Τέφρα βάσης 75 €/τόνο, Ιπτάμενη τέφρα και υπολείμματα συστημάτων αντιρρύπανσης 129 €/τόνο |
| Λουξεμβούργο | 97 | Τέφρα βάσης 16 €/τόνο, Υπολείμματα συστημάτων αντιρρύπανσης 8 €/τόνο |
| Ολλανδία | | 71-110 |

Πίνακας 6.3: Στοιχεία δυναμικότητας & κόστους εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην Ευρώπη (Ecorpro & Fraunhofer UMISICHT, 2006).

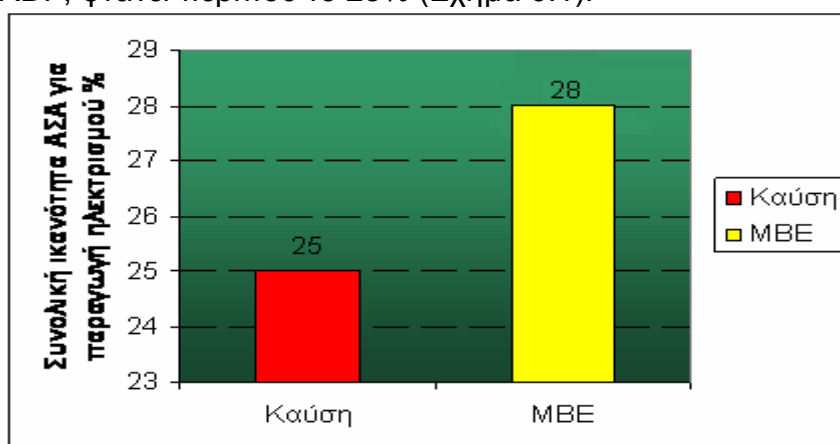
| Περιοχή | Έτος λειτουργίας | Δυναμικότητα (τόνοι/ έτος) | Κόστος επένδυσης (σε εκατ. €) |
|---------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Kempten, Γερμανία | 1996 | 78.000 | 82 |
| Pirmasens, Γερμανία | 1998 | 155.500 | 189 |
| Hamburg R. Damm, Γερμανία | 1999 | 225.000 | 140 |
| Niklasdorf, Αυστρία | 2003 | 100.000 | 55 |
| Freiburg, Γερμανία | 2005 | 150.000 | 77 |
| Zorbau, Γερμανία | 2005 | 300.000 | 100 |
| Antwerpen, Βέλγιο | 2005 | 400.000 | 180 |
| Ringaskiddy, Ιρλανδία | 2007 | 100.000 | 75 |
| Garranstown, Ιρλανδία | 2007 | 150.000 | 85 |
| Halle, Γερμανία | 2007 | 80.000 | 47 |
| Amsterdam, Ολλανδία | 2006 | 500.000 | 340 |
| Posieux, Ελβετία | 2006 | 45.000 | 20 |
| Roosendaal, Ολλανδία | 2007 | 180.000 | 90 |
| Urvier, Ελβετία | 2007 | 60.000 | 30 |

Πίνακας 6.4: Μέσος επιμερισμός κόστους επένδυσης εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ στην Ευρώπη (Ecorrog & Fraunhofer UMISICHT, 2006).

| Παράμετρος κόστους | Ανεξάρτητη της δυναμικότητας της μονάδας | Εξαρτημένη από τη δυναμικότητα της μονάδας |
|--|--|--|
| Αξία γης και προετοιμασία | περίπου 3% | |
| Έργα ΠΜ (κτίρια, θέρμανση, αερισμός, υγιεινή, πυρασφάλεια) | περίπου 19% | |
| Έργα διεργασιών (αποτεφρωτής και παραγωγή ατμού) | | περίπου 38% |
| Καθαρισμός απαιερίων και συγκέντρωση υγρών αποβλήτων | | περίπου 18% |
| Εξοπλισμός ελέγχου και παρακολούθησης της λειτουργίας | | περίπου 13% |
| Εξοπλισμός ενέργειας (τουρμπίνες, εναλλάκτες) | | περίπου 3% |
| Επεξεργασία υπολειμμάτων | | περίπου 1% |
| Παρακολούθηση έργου (project management) συμπεριλαμβανομένων πιστοποιητικών συμμόρφωσης, επιθεωρήσεων, τεχνικών ελέγχων και αποδοχής | περίπου 3,5% | |
| Αρχική λειτουργία και εκπαίδευση προσωπικού | περίπου 0,5% | |
| Άλλα | περίπου 3% | |
| Σύνολο | περίπου 27% | περίπου 73% |

6.3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΕΡΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το ποσοστό αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου των ΑΣΑ φτάνει το 25% κατά την αποτέφρωση ενώ κατά τη μηχανική-βιολογική επεξεργασία και συνυπολογίζοντας τις απώλειες της θερμότητας από την παραγωγή του RDF, φτάνει περίπου το 28% (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1: Ποσοστό αξιοποίησης του ενεργειακού περιεχομένου των ΑΣΑ (Χιονίδης 2007)

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία οι παλαιότερες μονάδες αποτέφρωσης ξεκίνησαν ανακτώντας περίπου το 17% της ενέργειας των απορριμμάτων. Με συνεχείς βελτιώσεις των μεθόδων το ποσοστό αυτό έφτασε το 22-25% ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα πλέον, στις σύγχρονες μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ με παραγωγή ενέργειας, που σχεδιάζονται με τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνικές, το ποσοστό ενεργειακής αξιοποίησης μπορεί να ξεπεράσει και το 30%.

Σχετικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα διαπιστώθηκε ότι η ΜΒΕ παράγει εκπομπές υψηλότερες από αυτές της αποτέφρωσης. Στην πραγματικότητα η αποτέφρωση οδηγεί στην μείωση τους σε σχέση με τις εκπομπές που θα εκλύονταν κατά την παραγωγή ίσης ποσότητας ενέργειας, από την καύση ορυκτών πόρων.

Σε ότι αφορά το κόστος της κάθε διεργασίας μια μονάδα μηχανικής - βιολογικής επεξεργασίας έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας από μια μονάδα αποτέφρωσης η οποία όμως επιφέρει σημαντικότερα κέρδη που αποσβένουν το λειτουργικό κόστος.

Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως καλύτερη επιλογή και πιο συμφέρουσα για τα ελληνικά δεδομένα με βάση όλα όσα έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια είναι η λύση της καύσης των ΑΣΑ με ταυτόχρονη αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας.

7. ΤΑ ΑΣΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα απορρίμματα προσφέρουν μια σημαντική πηγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας : Η καύση και οι άλλες θερμικές διεργασίες για ενεργειακή αξιοποίηση, η ανάκτηση και χρήση του βιοαερίου από ΧΥΤΑ και η χρήση βιοαερίου από αναερόβια χώνευση μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στο να μειωθεί η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Δηλαδή, η ενέργεια που προκύπτει από την θερμική επεξεργασία του ανανεώσιμου κλάσματος των απορριμμάτων είναι ανανεώσιμη.

Μάλιστα οι μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ αποκτούν ακόμα σημαντικότερο ρόλο αφού σύμφωνα με τους ορισμούς που έχουν δοθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, την Διεθνή Ένωση Ενέργειας (International Energy Agency, I.E.A.), τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Βιομάζας (European Biomass Association, ΑΕΒΙΟΜ) και τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), το μη διαχωρισμένο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των ΑΣΑ, θεωρείται βιομάζα και κατ' επέκταση Α.Π.Ε. Σύμφωνα με στοιχεία αντίστοιχων Υπουργείων Περιβάλλοντος από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και δη τις πλέον ευαισθητοποιημένες σε θέματα περιβάλλοντος, το μη διαχωρισμένο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των ΑΣΑ, το οποίο αναγνωρίζεται ως βιομάζα, κυμαίνεται κατά μέσο όρο περί το 50%.

Η ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων, στα πλαίσια της πράσινης ανάπτυξης, εφαρμόζεται ακόμη και στο κέντρο μεγάλων ευρωπαϊκών μητροπολιτικών πόλεων όπως το Παρίσι, η Κοπεγχάγη , η Φρανκφούρτη, η Βιέννη και πολλές άλλες.

Η συνολική παρουσία τέτοιων μονάδων υπερβαίνει τις 600 παγκοσμίως εκ των οποίων 432 είναι στην Ευρώπη. Συνεπώς γίνεται εμφανές πως η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων οφείλει να ενταχθεί στις ΑΠΕ, αλλά και στον μελλοντικό ενεργειακό σχεδιασμό της χώρας μας, αξιοποιώντας το διπλό όφελος των μεθόδων αυτών, το οποίο είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση των απορριμμάτων και η ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας.

Πίνακας 7.1: Μορφές Ενέργειας από ΑΣΑ (www.wtert.gr)

| Τεχνολογία | Πηγή Αποβλήτων | Abbr. | Μορφή Ενέργειας | % Ενέργειας ως ΑΠΕ |
|------------------------------------|--|-------|---|--------------------------------|
| Καύση με ανάκτηση ενέργειας | Υπολείμματα ΑΣΑ (μετά από διαλογή στην πηγή) | WtE | Ατμός-> Ηλεκτρισμός & Θερμότητα | Μέσος όρος 50 Εύρος 48-80 |
| Βιοαέριο | ΑΣΑ ή υπολείμματα ΑΣΑ | LFG | Βιοαέριο-> Ηλεκτρισμός & Θερμότητα | 100 |
| SRF | Προδιαλεγμένο κλάσμα ΑΣΑ & απόβλητα Οικοδομών | SRF | Αντικατάσταση καυσίμων σε κλιβάνους τσιμέντου, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | Μέσος όρος 45 Εύρος 30 – 55 |
| Αναερόβια Χώνευση | Προδιαλεγμένο στην πηγή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα ΑΣΑ | AD | Βιοαέριο-> Ηλεκτρισμός & Θερμότητα | 100 |
| Εργοστάσια Βιομάζας | Συλλεγμένα και διαλεγμένα υπολείμματα ξυλείας | BEP | Ατμός-> Ηλεκτρισμός & Θερμότητα | 95 - 100 |

7.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΒΙΟΓΕΝΕΣ ΚΛΑΣΜΑ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Μέθοδος χειρονακτικού διαχωρισμού – τα απορρίμματα χωρίζονται σε διάφορα ρεύματα (e.g. ξύλο, γυαλί, πλαστικά), στα οποία αποδίδεται βιογενές, ορυκτό ή αδρανές υλικό. Ακριβή και μεγάλες ανάγκες σε εργατικό δυναμικό.

Μέθοδος επιλεκτικής διάλυσης – βασισμένο στην γρηγορότερη οξειδωση και διάλυση της βιομάζας σε συμπυκνωμένο οξύ και υπεροξειδίο του υδρογόνου ενώ ο ορυκτός άνθρακας δεν διαλύεται. Μας δίνει ανακριβείς τιμές λόγω συστηματικών περιορισμών,

Εναλλακτική μέθοδος: Μέθοδος C14 – συνδέει το βιογενή άνθρακα με την συγκέντρωση του ραδιενεργού ισότοπου C14 στο CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση. Είναι ακριβή και μεγάλες ανάγκες σε εργατικό δυναμικό

Μέθοδος ισορροπίας - TU Βιέννης – υπολογίζει την αναλογία βιογενούς προς ορυκτού άνθρακα από ισορροπίες μαζών και ενεργειών. Δεν μπορεί να ανιχνεύσει βιοπλαστικά, οργανικά έλαια, χρησιμοποιημένα ελαστικά και έχει πολύπλοκη μαθηματική λύση

Το ECN (Energy Research Centre) από την Ολλανδία αναπτύσσει μια κοινή μέθοδο C14 και ισορροπίας (δείγματα από τα απαέρια και ενεργειακή εισροή της βιομάζας). Αυτή η μέθοδος αναμένεται να τελειώσει και να γίνει αποδεκτή ως η πρότυπη μέθοδος μέχρι το τέλος του 2010. Συζητήσεις γίνονται στην επιτροπή προτυποποίησης και ένα προσχέδιο του πρωτοτύπου ετοιμάζεται.

7.3. ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΑΣΑ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ Ε.Ε

Η ενεργειακή αξιοποίηση (καύση με ανάκτηση ενέργειας) παρέχει με διαφορά την μεγαλύτερη συνεισφορά Α.Π.Ε. από απορρίμματα. Οι μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης στην Ευρώπη παρέχουν μια σημαντική ποσότητα Α.Π.Ε., περίπου 38 δισεκατομμύρια KWh το 2006 και μέχρι το 2020 αυτό το ποσό θα αυξηθεί σε τουλάχιστον 67 δισεκατομμύρια KWh, με δυνατότητα να φτάσει τα 98 δισεκατομμύρια KWh με σωστές πολιτικές και μηχανισμούς. Το ποσό αυτό της τελευταίας περίπτωσης θα είναι αρκετό να παρέχει 22,0 εκατομμύρια κατοίκους με ηλεκτρισμό από Α.Π.Ε. και 12,1 εκατομμύρια κατοίκους με θέρμανση από Α.Π.Ε. Το ποσοστό της ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων στο ολικό ποσοστό Α.Π.Ε. μπορεί να είναι σημαντικό όπως φαίνεται για το 2006 στις παρακάτω χώρες Ολλανδία (14.3 %), Βέλγιο (13.3 %), Δανία (12.5 %), Γερμανία (7.5 %). Επίσης στην Σουηδία και την Γαλλία η ενεργειακή αξιοποίηση έχει μεγάλη συνεισφορά και έχει σημαντικό δυναμικό.

Πίνακας 7.2 : Άμεση αναγνώριση ενέργειας από μονάδες WtE ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (www.wtert.gr)

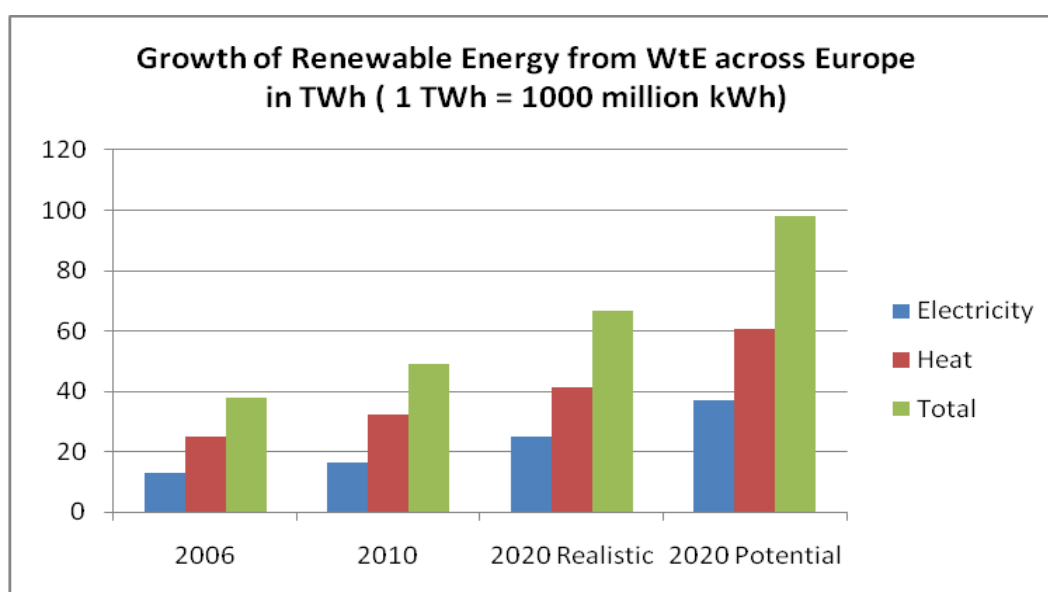
| | | | |
|-------------------|---|-----|--|
| Ιταλία | + | 51% | Πράσινα πιστοποιητικά |
| Ολλανδία | + | 51% | Πιθανή επιδότηση για ηλεκτρική ενέργεια αν η τιμή αγοράς είναι χαμηλότερη από 5,6 €cent/kWh |
| Πορτογαλία | + | | Feed-in tariffs για ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με ΑΠΕ υπολογίζονται από μια φόρμουλα; Οι παράμετροι στην φόρμουλα εξαρτούνται από την τεχνολογία |
| Ελβετία | + | 50% | Νέος Ελβετικός νόμος για την Ενέργεια από το 2008 |

Πίνακας 7.3: Έμμεση αναγνώριση ενέργειας από μονάδες WtE ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (www.wtert.gr)

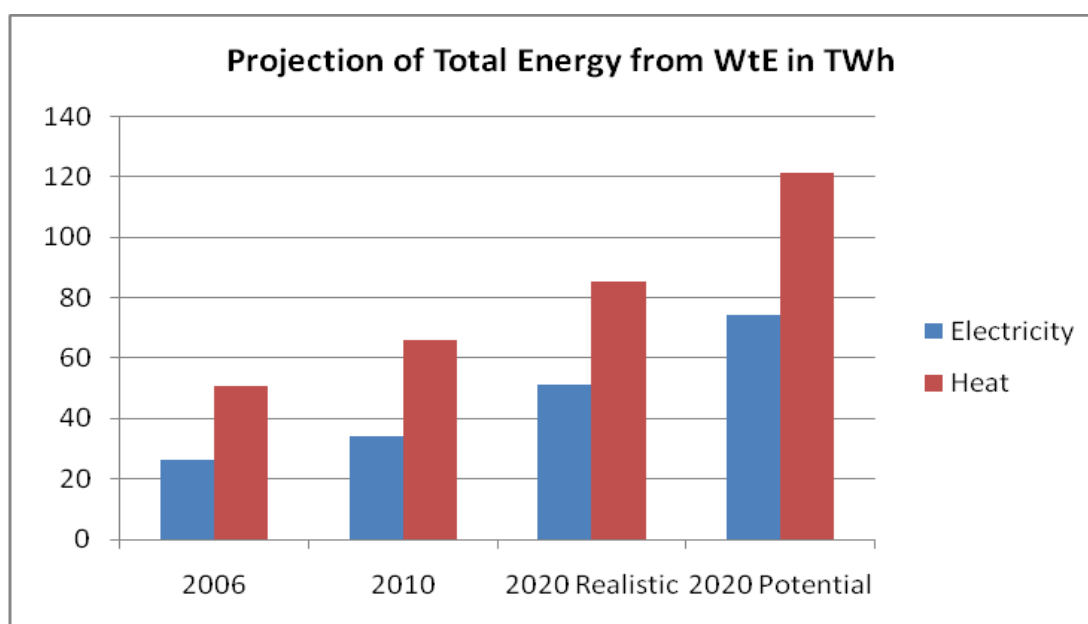
| | | |
|-----------------|--|--|
| Ουγγαρία | Ο τοπικός πάροχος ενέργειας πρέπει να αγοράσει την ενέργεια που παράγεται από απορρίμματα σε μια σταθερή τιμή | Σταθερή τιμή 7,19 €cents/kWh |
| Ισπανία | Το διάταγμα Royal Decree 661/2007 περιέχει στο κομμάτι c.1. εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αστικά απόβλητα ως κύριο καύσιμο | Αν παρθεί απόφαση να συμμετάσχει στην αγορά, η επιδότηση για το κομμάτι c.1. is 2,9419 €cents/kWh. Εγγυημένο για 15 χρόνια από την έναρξη της εγκατάστασης |
| Σουηδία | 12,6% (της μάζας) θεωρείται ότι είναι ορυκτός άνθρακας | |

Πίνακας 7.4 : Καμία αναγνώριση ενέργειας από WtE ως ανανεώσιμη (www.wtert.gr)

| | | |
|--------------------------|---|--|
| Βέλγιο (Βαλλωνία) | - | |
| Φινλανδία | - | Τα απόβλητα δεν αναγνωρίζονται ως ανανεώσιμα. Κάποια ρεύματα αναγνωρίζονται ως ανανεώσιμα. Το βιογενές κλάσμα των αποβλήτων (και των ΑΣΑ) αντιμετωπίζεται ως ΑΠΕ |



Διάγραμμα 7.1: Πρόβλεψη για Ανανεώσιμη ενέργεια από Θερμική επεξεργασία ΑΣΑ (www.wtert.gr)



Διάγραμμα 7.2: Πρόβλεψη για Συνολική ενέργεια από Θερμική επεξεργασία ΑΣΑ (www.wtert.gr)

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα με βάση όλα τα παραπάνω πως τα ΑΣΑ μπορούν να αποτελέσουν στο μέλλον κύρια πηγή τόσο ηλεκτρικής όσο και θερμικής ενέργειας αφού όπως βλέπουμε από τα δύο τελευταία διαγράμματα οι προβλέψεις δείχνουν να παράγονται συνολικά πάνω από 90 TWh (90000 Kwh) στην Ευρώπη το 2020. Οπότε τα ΑΣΑ θα πρέπει να αρχίσουμε να τα αντιμετωπίζουμε με διαφορετικό τρόπο σκέψης γιατί η αξιοποίηση τους μπορεί να μας δώσει λύση στο πρόβλημα εξάντλησης των φυσικών πόρων για παραγωγή ενέργειας.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν αναλυτικά όλες οι μέθοδοι και τεχνικές επεξεργασίας και ενεργειακής αξιοποίησης των απορριμμάτων. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξαρτάται από τις συνθήκες της κάθε περιοχής και το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων που διαφέρει ανάλογα με τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τους. Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης συνοψίζονται όπως πιο κάτω:

Οι κυριότερες τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης των απορριμμάτων που παρουσιάστηκαν είναι:

- Η Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία (ΜΒΕ) συνδυάζει μια ποικιλία μηχανικών και βιολογικών διεργασιών με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τα επιθυμητά προϊόντα και τους στόχους της εκάστοτε επεξεργασίας.
- Η κομποστοποίηση η οποία επεξεργάζεται κυρίως απορρίμματα αγροτικής προέλευσης και τα προϊόντα της μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες γεωργικές εφαρμογές .
- Η καύση η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη κυρίως σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου δεν υπάρχει χώρος για ΧΥΤΑ.
- Η Αεριοποίηση που μπορεί να συνδυαστεί και με λιγνίτη και μαζί με την Πυρόλυση έχουμε περιορισμένη παρουσία ελεύθερου οξυγόνου.
- Η Αεριοποίηση με τεχνολογία Πλάσματος αποτελεί την πιο σύγχρονη και αποτελεσματική μέθοδο αλλά βρίσκετε σε στάδιο εξέλιξης ακόμα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των μεθόδων που παρουσιάστηκαν είναι:

- Η κομποστοποίηση σαν μέθοδος είναι μια φυσική βιολογική διεργασία και σαν τέτοια δεν προκαλεί καμιά διαταραχή σε κανένα οικοσύστημα
- Η καύση είναι η μόνη ενδεδειγμένη και υποχρεωτική μέθοδος ασφαλούς διάθεσης του πλέον μολυσματικού μέρους των αστικών απορριμμάτων, των μολυσματικών δηλαδή νοσοκομειακών απορριμμάτων.
- Στην πυρόλυση η θερμοκρασία διάσπασης είναι πολύ χαμηλότερη από τη θερμοκρασία καύσης, με ανάλογη πολύ μικρότερη θερμική καταπόνηση όλης της εγκατάστασης και ο αρχικός όγκος των απορριμμάτων μειώνεται περισσότερο απ' ότι στην καύση.
- Η αεριοποίηση και η αεριοποίηση πλάσματος έχουν μικρές εκπομπές αερίων επιβλαβών για το περιβάλλον.

- Η αεριοποίηση του πλάσματος δεν παράγει τέφρα ή άλλα παραπροϊόντα όπως αλλοιωμένη βιομάζα που πρέπει να αποθεθεί σε ΧΥΤΑ μετά την αρχική επεξεργασία.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των μεθόδων ενεργειακής αξιοποίησης των απορριμμάτων είναι τα εξής:

- Στην κομποστοποίηση η ανάγκη ταφής τουλάχιστον ενός μέρους από το μη ζυμώσιμο κλάσμα των σκουπιδιών είναι το πιο μεγάλο πρόβλημα της μεθόδου.
- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των εγκαταστάσεων καύσης και το οποίο περιορίζει σημαντικά της δυνατότητες εφαρμογής της, είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση.
- Το μεγαλύτερο πρόβλημα της πυρόλυσης είναι ότι απαιτείται τεμαχισμός και διαχωρισμός των απορριμμάτων και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αρκετά υψηλό κόστος για την εγκατάσταση και τη λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας.
- Οι τεχνολογίες αεριοποίησης και αεριοποίησης πλάσματος έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής συντήρησης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Αναμφισβήτητα, όλες οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και μάλιστα πολλές φορές, σημαντικά. Γι' αυτό, θα πρέπει ο πρωταρχικός στόχος να είναι μείωση των απορριμμάτων, μέσω της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης των υλικών.

9. Βιβλιογραφία

ΒΙΒΛΙΑ-ΑΡΘΡΑ-ΜΕΛΕΤΕΣ:

1. Ανδρεαδάκης Α., "Θερμική Επεξεργασία Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (Α.Σ.Α.) και Ιλύων", Σημειώσεις Μαθήματος "Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος", Κρήτη 2001.
2. Γιδάρκος Ε. "Διαχείριση & Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων " ,Πολυτεχνείο Κρήτης 2006
3. Γιδάρκος Ε., Αϊβαλιώτη Μ., "Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων", Πολυτεχνείο Κρήτης 2007.
4. Γρηγοροπούλου Ε. και Κατσίρη Α., "Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων", Σημειώσεις Διατμηματικού Μαθήματος "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2006.
5. ΕΠΕΜ "Μελέτες Προετοιμασίας Μονάδας Επεξεργασίας Απορριμμάτων Νομού Αχαΐας , 2004
6. Θεμελής Ν.Ι., Κορωναίος Χ.Ι., " Σύγκριση της Θερμικής Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων για Παραγωγή Ενέργειας και της Υγειονομικής Ταφής", ΤΕΕ, Αθena 2004
7. Καραγιαννίδης Α., "Οικονομικά εργαλεία για την αειφόρο διαχείριση απορριμμάτων και οι επιπτώσεις τους στα ανταποδοτικά τέλη καθαριότητας", Ημερίδα ΤΕΕ ,Θεσσαλονίκη 2010
8. Καρλόπουλος Ε., Κακαράς Ε., Κούκουζας Ν., " Συνδυασμένη αεριοποίηση στερεών απορριμμάτων και λιγνίτη-μελέτη εφαρμογής για τη δ. Μακεδονία", Εθνικό Κέντρο Έρευνας &Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)/ Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), Αθήνα 2005
9. Κυρκίτσος Φ., "Θερμική Επεξεργασία ή Εναλλακτική Διαχείριση", Ημερίδα των ΕΜΠ - ΕΕΔΣΑ με τίτλο: ενεργειακή Αξιοποίηση των Στερεών Αποβλήτων, Αθήνα 2009
- 10.Λυμπεράτος Γ., & Τσιλιγάνης Χ., " Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων.", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών , Πάτρα 2005.
- 11.Λάλας Δ., Γεωργοπούλου Ε., Γιδάρκος Ε., Γκέκας Ρ., Λαζαρίδη Α., Μαυρόπουλος Α., Μοιρασγεντής Σ. & Σελλάς Ν., "Εκτίμηση των γενικευμένων επιπτώσεων και κόστους διαχείρισης στερεών αποβλήτων". Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης - Τελική έκθεση, Αθήνα 2007.

12. Μιχαλοπούλου Χ. "Νομοθεσία για το περιβάλλον", Εκδόσεις ΖΗΤΗ , Θεσσαλονίκη 2004
13. Μουσιόπουλος Ν., Καραγιαννίδης Α., "Διαχείριση Απορριμμάτων" Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών , Θεσσαλονίκη 2002.
14. Παναγιωτακόπουλος Δ., "Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων", Εκδόσεις Ζυγός, Αθήνα 2002.
15. Πρακτικά Ημερίδας της Ελληνικής Εταιρίας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων με θέμα «Μηχανική – Βιολογική Επεξεργασία & Διαχείριση Βιοαποδομήσιμων Αθήνα, 2007.
16. Σκορδίλης Α., "Η Θερμική Επεξεργασία Απορριμμάτων και RDF ", Εκδόσεις Κόσμος Ε.Π.Ε, Αθήνα 2004.
17. Σκορδίλης Α., & Κόμνιτσα Κ., "Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων", Τόμος Α' & Β', Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Πάτρα 2004.
18. Φάττα Δ. , "Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων", Σημειώσεις Μαθήματος "Διαχείριση Στερεών και Επικίνδυνων Αποβλήτων", Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Κύπρος 2006.
19. Bilitewski B., Hardtle G., Marek K., Weissbach A., «Boeddicker: Waste Management", Springer Verlag, Heidelberg 1997.
20. Bilitewski B., "Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies", Proceedings: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC), Venice 2006
21. Ecoprog & Fraunhofer UMISICHT ,The European Market for Waste Incineration Plants: Market Volume – Manufacturers – Strategies – Trends, 2006.
22. LaGrega, M.D., Evans D.C. "Hazardous Waste Management", McGraw-Hill , Buckingham 2001.
23. Freeman M. Harry "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal" , McGraw-Hill, Second Edition , 1997
24. Themelis N., "An Overview of the Global Waste-to-Energy Industry", Waste Management World, 2004 Review Issue, p. 40-47.
25. Themelis N., "The Role of Waste-to-Energy in the U.S.A.", 3rd Congress of the Confederation of European WTE Plants (CEWEP), Vienna 2006..

26. Vehlou J. "Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by International (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC)", 2006.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ:

1. www.anakyklosi.gr
2. www.anatoliki.gr (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Α.Ε)
3. www.arvis.gr (Περιβαλλοντικές Επιχειρήσεις Ελλάδος)
4. www.auth.gr (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης)
5. www.eap.gr (Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας)
6. www.ec.europa.eu/environment (European Environment Commission)
7. www.eea.eu.int
8. www.epem.gr (Εταιρεία Περιβαλλοντικών Μελετών – Α.Ε)
9. www.tee.gr
10. www.kedke.gr
11. www.mascus.gr (Μηχανολογικός Εξοπλισμός)
12. www.minerv.gr (Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και δημοσίων έργων)
13. www.microbiocosmos.org
14. www.pyrogenesis.gr
15. www.recycle.gr
16. www.siemens.com (SIEMENS COMPANY)
17. www.upatras.gr (Πανεπιστήμιο Πατρών)
18. www.vonroll.com (We Enable Energy Company)
19. www.wtert.gr: (ΣΥΝΕΡΓΕΙΑ: Συμβούλιο Ενεργειακής Αξιοποίησης Αποβλήτων)
20. www.ypeka.gr (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής)