



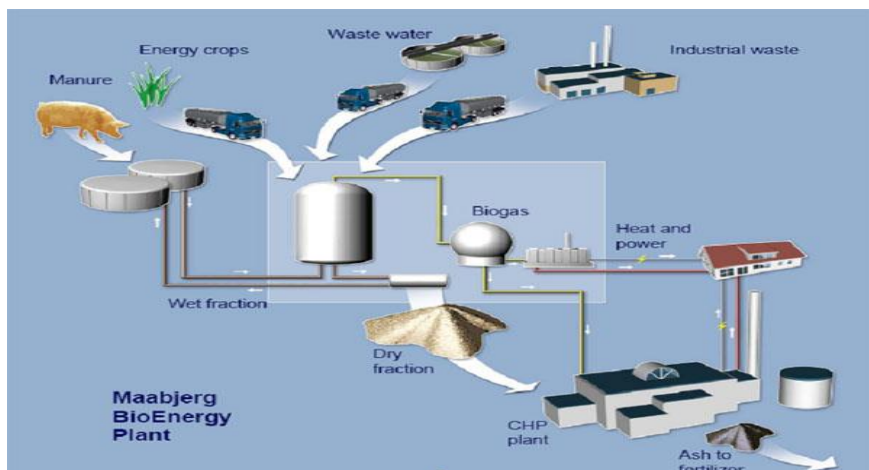
**ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ»**



Όνόματα φοιτητών: ΑΚΡΑΤΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ (Α.Μ.4295)

ΚΟΚΟΤΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ.3946)

Εισηγήτρια:

ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΠΕΛΛΟΥ

**ΠΑΤΡΑ, 2014**

## **ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

**ΣΑ:** Στερεά Απόβλητα

**ΑΣΑ:** Αστικά Στερεά Απόβλητα

**ΕΑ:** Επικίνδυνα Απόβλητα

**ΕΣΔΑ:** Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

**ΠΕΣΔΑ:** Περιφερειακό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

**ΕΚΑ:** Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

**ΜΠΑ:** Μοναδιαία Παραγωγή Αποβλήτων

**ΟΤΚΖ:** Οχήματα στο Τέλος του Κύκλου Ζωής

**ΑΗΗΕ:** Απόβλητα Ηλεκτρικού - Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού

**ΑΕΚΚ:** Απόβλητα Εκσκαφών - Κατεδαφίσεων

**ΧΟ:** Χρησιμοποιημένα Ορυκτέλαια

**ΑΛΕ:** Απόβλητα Λιπαντικών - Ελαίων

**ΦοΔΣΑ:** Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

**ΔσΠ:** Διαλογή στην Πηγή

**ΣΜΑ:** Σταθμός Μεταφόρτωσης Αποβλήτων

**ΚΑ:** Κέντρο Ανακύκλωσης

**ΚΔΑΥ:** Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

**ΜΘΕ:** Μονάδα Θερμικής Επεξεργασίας

**ΜΒΕ:** Μονάδα Βιολογικής Επεξεργασίας

**ΧΑΔΑ:** Χώρος Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων

**ΧΥΤΑ:** Χώρος Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων

**ΧΥΤΥ:** Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

**ΚΥΑ:** Κοινή Υπουργική Απόφαση

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εκπονείται για λογαριασμό του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΑΤΕΙ Πατρών από τους φοιτητές Ακράτος Βασίλειος και Κοκοτσής Νικόλαος.

Με αφορμή την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την επιβλέπουσα εκπαιδευτικό Γεωργία Μπέλλου, Εργαστηριακό Συνεργάτη του εργαστηρίου Ηλεκτρικών Μηχανών, για την αμέριστη συμπαράσταση της και την υποστήριξη ώστε να την ολοκληρώσουμε με επιτυχία. Την ευχαριστούμε θερμά που στάθηκε αρωγός ως προς την επιλογή του θέματος της πτυχιακής και που θέλησε να μας αναλάβει χωρίς δισταγμό.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας, οι οποίες δε σταμάτησαν να πιστεύουν σε μας και να μας στηρίζουν πάντα ηθικά και οικονομικά, ώστε να ολοκληρώσουμε την ακαδημαϊκή μας πορεία και να βγούμε στην αγορά εργασίας.

**ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΑΚΡΑΤΟΣ**

**ΚΟΚΟΤΣΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                    | 7  |
| 2. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ.....   | 9  |
| 2.1. Ορισμοί και έννοιες (Οδηγία ΕΚ/98/2008).....             | 9  |
| 2.2. Στερεά απόβλητα .....                                    | 13 |
| 2.2.1. Κατηγοριοποίηση.....                                   | 13 |
| 2.2.2. Παραγωγή- σύνθεση Αστικών Στερεών Αποβλήτων .....      | 17 |
| 2.3. Τεχνικές διαχείρισης των ΑΣΑ.....                        | 20 |
| 2.3.1 Η ιεράρχηση των στόχων.....                             | 20 |
| 2.3.2. Η εμπειρία από τη διαχείριση των ΑΣΑ .....             | 24 |
| 2.4.1. Ευρωπαϊκό πλαίσιο .....                                | 28 |
| 2.4.2. Εθνικό πλαίσιο .....                                   | 30 |
| 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....                               | 32 |
| 3.1 Μεταφόρτωση στερεών αποβλήτων .....                       | 32 |
| 3.2 Διαλογή στην Πηγή.....                                    | 35 |
| 3.2.1 Κέντρα Διαλογής Υλικών- Κ.Δ.Α.Υ. ....                   | 37 |
| 3.2.2. Μηχανική Ανακύκλωση .....                              | 38 |
| 3.3 Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας .....                       | 42 |
| 3.3.1 Αποτέφρωση .....  | 42 |
| 3.3.2 Πυρόλυση .....  | 45 |
| 3.3.3. Αεριοποίηση.....                                       | 47 |
| 3.3.4 Αεριοποίηση/Υαλοποίηση με την τεχνική πλάσματος .....   | 49 |
| 3.4 Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας.....                      | 51 |
| 3.4.1. Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Κομποστοποίηση) .....   | 52 |
| 3.4.2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία–Αναερόβια ζύμωση ..... | 53 |
| 3.4.3 Βιολογική Ξήρανση .....                                 | 53 |

|   |    |
|---|----|
| 4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΡΙΜΜΑΤΩΝ .....             | 55 |
| 4.1. Παραγωγή Βιοαερίου.....                                      | 55 |
| 4.1.1. Γενικά.....  | 55 |
| 4.1.2. Μηχανική και βιολογική επεξεργασία αποβλήτων .....         | 58 |
| 4.1.3. Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας-Εφαρμογές.....          | 60 |
| 4.2. Παραγωγή υγρών καυσίμων από βιομάζα.....                     | 62 |
| 4.2.1 Βιοχημική μετατροπή βιομάζας .....                          | 63 |
| 4.2.2. Θερμοχημική μετατροπή βιομάζας.....                        | 64 |
| 5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....                           | 66 |
| 5.1 Εφαρμογές στη Ε.Ε.....  | 66 |
| 5.2 Εφαρμογές στην Ελλάδα.....                                    | 67 |
| 5.3. Προοπτικές βιοαερίου .....                                   | 68 |
| 5.4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος παραγωγής ενέργειας .....  | 69 |
| 5.4.1 Η ιδέα της Κεντρικής Μονάδας Συνδυασμένης Χώνευσης.....     | 69 |
| 5.5. Διαδικασία ενεργειακής αξιοποίησης.....                      | 71 |
| 5.6. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....                         | 74 |
| 5.7. Τεχνοοικονομικά στοιχεία .....                               | 76 |
| 5.8. Προδιαγραφές .....   | 78 |
| 5.9. Προβλήματα από την αξιοποίηση του βιοαερίου στην Ελλάδα..... | 80 |
| 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....   | 81 |
| 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 83 |

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα απορρίμματα είναι ένας από τους παράγοντες που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Ο όγκος των απορριμμάτων που παράγουμε μεταβάλλεται, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής του ρυθμού ανάπτυξης και της αλλαγής των καταναλωτικών προτύπων. Στη χώρα μας η ημερήσια παραγωγή απορριμμάτων ανέρχεται σε περίπου 15.000 τόνους και σε 5,5 εκατομμύρια τόνοι ετησίως. Αυτό το μέγεθος από μόνο του αποτελεί ζήτημα προς επίλυση.

Μέχρι σήμερα μια λύση ήταν οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Αλλά από το 2008, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει απαγορεύσει την κατασκευή άλλων ΧΥΤΑ και ζήτησε τη μετατροπή των ήδη υπαρχόντων ΧΥΤΑ ή και ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων), ως ΧΥΤΥ (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων). Με τη δημιουργία των ΧΥΤΥ προχωράμε σε χημική επεξεργασία υπολειμμάτων πριν ταφούν και προϋποθέτουμε ένα κύκλο ζωής από είκοσι έως τριάντα χρόνια.

Με τους ΧΥΤΑ είχαμε σοβαρά προβλήματα ως προς το περιβάλλον και τη μόλυνση του. Οι ΧΥΤΑ είναι δύο ειδών σήμερα. Έχουμε τους νόμιμους και τους παράνομους. Νόμιμοι είναι αυτοί που έχουν οριστεί από το κράτος οπότε και ελέγχονται και διαχειρίζονται από ειδικούς. Παράνομοι είναι εκείνοι που ονομάζονται παράνομες χωματερές και λειτουργούν ως τέτοιες σε τυχαίους χώρους όπως ποτάμια, ρέματα, παραλίες, θάλασσες, λίμνες και σε σημεία που δύσκολα φτάνει άνθρωπος.

Ωστόσο, τα προβλήματα που προκύπτουν από τον τρόπο διαχείρισης των απορριμμάτων δεν είναι μόνο περιβαλλοντικά αλλά και υγειονομικά, πολιτισμικά, κοινωνικά και οικονομικά. Για το λόγο αυτό ένα πρόγραμμα ολοκληρωμένης διαχείρισης θα πρέπει να έχει δύο βασικούς άξονες που είναι:

- η πρόληψη στη δημιουργία απορριμμάτων και
- η διαλογή στην πηγή.

«*Τα σκουπίδια μας δεν είναι για πέταμα*». Αυτή η αντίληψη αφορά τη λειτουργία των ΧΥΤΥ. Η αξιοποίηση απορριμμάτων αφορά την ανακύκλωση, παραγωγή νέων προϊόντων, παραγωγή παραπροϊόντων, ενεργειακή αξιοποίηση, κλπ. Σε αυτή την

εργασία θα ασχοληθούμε ιδιαίτερα με την παραγωγή της ενέργειας μέσω της αξιοποίησης των απορριμμάτων και θα επικεντρωθούμε στην παραγωγή και ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου.

Η δομή της παρούσας εργασίας έχει ως εξής:

- Το κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή της εργασίας.
- Στο κεφάλαιο 2 παραθέτουμε στοιχεία απαραίτητα για την κατανόηση και την οργάνωση των υπολοίπων κεφαλαίων όπως ορισμούς βασικών εννοιών, κατηγοριοποίηση-σύνθεση αστικών αποβλήτων, βασικές αρχές επιλογής και σχεδιασμού και τη νομοθεσία που διέπει τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.
- Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζουμε τις διάφορες μεθόδους διαχείρισης των στερεών αστικών αποβλήτων που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται σχεδόν στο σύνολό τους
- Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά στις τεχνικές της ενεργειακής αξιοποίησης των στερεών αποβλήτων που είναι η παραγωγή βιοαερίου και βιοντήζελ από αγροτικά κυρίως απόβλητα. Ιδιαίτερα εξετάζουμε το βιοαέριο καθώς είναι μια ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή ως προς τη χρήση των δυνατοτήτων του.
- Στο κεφάλαιο 5 θα γνωρίσουμε τους τρόπους ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου. Θα αναλύσουμε το τρόπο λειτουργίας μιας μονάδας βιοαερίου η οποία παράγει ηλεκτρική και θερμική ενέργεια με την καύση του. Θα γνωρίσουμε τον εξοπλισμό και τις προδιαγραφές που θα πρέπει να πληρούν όλα τα στάδια διεργασίας μέχρι τη τελική αξιοποίηση του.
- Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα και η βιβλιογραφία.



## **2. ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ**

### **2.1. Ορισμοί και έννοιες (Οδηγία ΕΚ/98/2008)**

#### **Απόβλητο**

“Κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει.”

#### **Επικίνδυνα απόβλητα**

“Τα απόβλητα που εμφανίζουν μια ή περισσότερες από τις επικίνδυνες ιδιότητες που αναφέρονται στο Παράρτημα ΙΙΙ της Οδηγίας.”

#### **Απόβλητα έλαια**

“Τα ορυκτέλαια ή τα συνθετικά λιπαντικά ή τα βιομηχανικά έλαια που δεν είναι πλέον κατάλληλα για τη χρήση για την οποία αρχικώς προορίζονταν, όπως τα χρησιμοποιημένα έλαια κινητήρων εσωτερικής καύσης, τα έλαια κιβωτίων ταχυτήτων, τα λιπαντικά έλαια, τα έλαια για στροβίλους και τα υδραυλικά έλαια.”

#### **Βιολογικά απόβλητα**

“Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρείων από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων.”

#### **Παραγωγός αποβλήτων**

“Κάθε πρόσωπο του οποίου οι δραστηριότητες παράγουν απόβλητα (αρχικός παραγωγός αποβλήτων) ή κάθε πρόσωπο που πραγματοποιεί εργασίες προεπεξεργασίας, ανάμειξης ή άλλες οι οποίες οδηγούν σε μεταβολή της φύσης ή της σύνθεσης των αποβλήτων αυτών.”

#### **Κάτοχος αποβλήτων**

“Ο παραγωγός αποβλήτων ή το φυσικό ή νομικό πρόσωπο στην κατοχή του οποίου ευρίσκονται τα απόβλητα.”

### **Έμπορος αποβλήτων**

“Οιαδήποτε επιχείρηση η οποία ενεργεί ως εντολέας για την αγορά και την περαιτέρω πώληση αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των εμπορών που δεν καθίστανται υλικοί κάτοχοι των αποβλήτων.”

### **Μεσίτης αποβλήτων**

“Οιαδήποτε επιχείρηση η οποία οργανώνει την ανάκτηση ή τη διάθεση αποβλήτων για λογαριασμό τρίτων, συμπεριλαμβανομένων των μεσιτών που δεν καθίστανται υλικοί κάτοχοι των αποβλήτων.”

### **Διαχείριση αποβλήτων**

“Η συλλογή, μεταφορά, ανάκτηση και διάθεση αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών, καθώς και της επίβλεψης των χώρων απόρριψης και των ενεργειών στις οποίες προβαίνουν οι έμποροι ή οι μεσίτες.”

### **Συλλογή αποβλήτων**

“Η συγκέντρωση αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της προκαταρκτικής διαλογής και της προκαταρκτικής αποθήκευσης αποβλήτων με σκοπό τη μεταφορά τους σε εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων.”

### **Χωριστή συλλογή αποβλήτων**

“Η συλλογή όπου μια ροή αποβλήτων διατηρείται χωριστά με βάση τον τύπο και τη φύση για να διευκολυνθεί η ειδική επεξεργασία.”

### **Πρόληψη**

“Τα μέτρα τα οποία λαμβάνονται πριν μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστούν απόβλητα, και τα οποία μειώνουν:

- ∅ την ποσότητα των αποβλήτων, μέσω επαναχρησιμοποίησης ή παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων,
- ∅ τις αρνητικές επιπτώσεις των παραγόμενων αποβλήτων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, ή
- ∅ την περιεκτικότητα των υλικών και προϊόντων σε επικίνδυνες ουσίες.”

### **Επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων**

“Κάθε εργασία με την οποία προϊόντα ή συστατικά στοιχεία που δεν είναι απόβλητα χρησιμοποιούνται εκ νέου για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν.”

### **Επεξεργασία αποβλήτων**

“Οι εργασίες ανάκτησης ή διάθεσης, στις οποίες περιλαμβάνεται η προετοιμασία πριν από την ανάκτηση ή τη διάθεση.”

### **Ανάκτηση αποβλήτων**

“Οιαδήποτε εργασία της οποίας το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι απόβλητα εξυπηρετούν ένα χρήσιμο σκοπό αντικαθιστώντας άλλα υλικά τα οποία, υπό άλλες συνθήκες, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας, ή ότι απόβλητα υφίστανται προετοιμασία για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας, είτε στην εγκατάσταση είτε στο γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας. Στο Παράρτημα II της Οδηγίας παρατίθεται μη εξαντλητικός κατάλογος των εργασιών ανάκτησης.”

### **Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων**

“Κάθε εργασία ανάκτησης που συνιστά έλεγχο, καθαρισμό ή επισκευή, με την οποία προϊόντα ή συστατικά στοιχεία προϊόντων που αποτελούν πλέον απόβλητα προετοιμάζονται προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθούν χωρίς άλλη προεπεξεργασία.”

### **Ανακύκλωση αποβλήτων**

“Οιαδήποτε εργασία ανάκτησης με την οποία τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε να εξυπηρετήσουν και πάλι τον αρχικό τους σκοπό είτε άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών αλλά όχι την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης.”

### **Αναγέννηση απόβλητων ορυκτελαίων**

“Οιαδήποτε εργασία ανακύκλωσης με την οποία μπορούν να παραχθούν βασικά έλαια με τη διύλιση απόβλητων ορυκτελαίων, και συγκεκριμένα με την αφαίρεση των προσμίξεων, των προϊόντων οξειδωσης και των προσθέτων που περιέχονται στα έλαια αυτά.”

### **Διάθεση αποβλήτων**

“Οιαδήποτε εργασία η οποία δεν συνιστά ανάκτηση, ακόμη και στην περίπτωση που η εργασία έχει ως δευτερογενή συνέπεια την ανάκτηση ουσιών ή ενέργειας. Στο Παράρτημα I της Οδηγίας παρατίθεται μη εξαντλητικός κατάλογος των εργασιών διάθεσης.”

### **Βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές**

“Οι βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές κατά την έννοια του άρθρου 2, παράγραφος 11 της οδηγίας 96/61/ΕΚ.”

«“Βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές”: το πλέον αποτελεσματικό και προηγούμενο στάδιο εξέλιξης των δραστηριοτήτων και μεθόδων λειτουργίας που αποδεικνύει την πρακτική ικανότητα συγκεκριμένων τεχνικών να συνιστούν καταρχήν τη βάση των οριακών τιμών εκπομπής για την αποφυγή και, όταν αυτό δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο, τη γενική μείωση των εκπομπών και των επιπτώσεων για το περιβάλλον στο σύνολό του. [...]»

## **2.2. Στερεά απόβλητα**

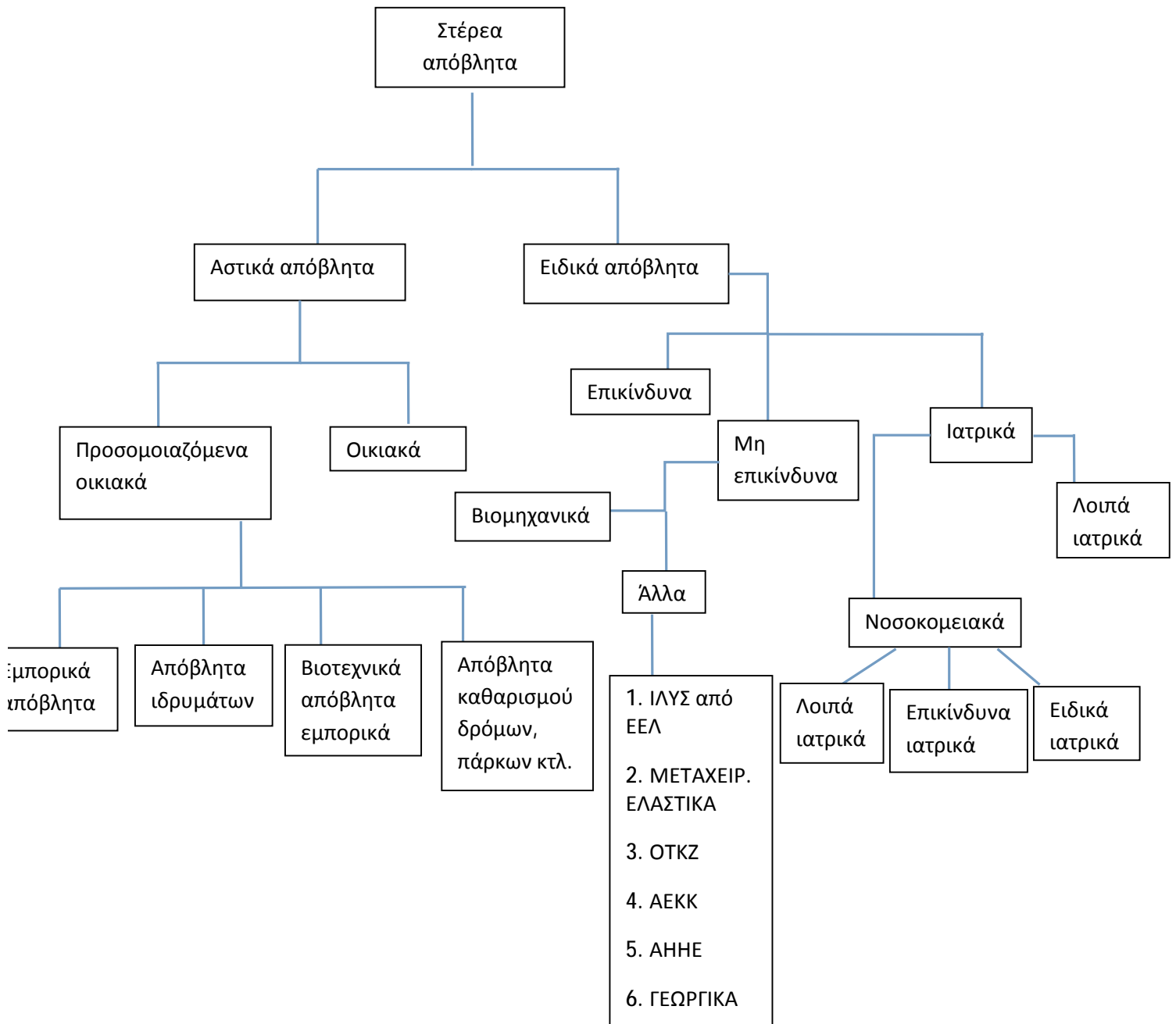
### **2.2.1. Κατηγοριοποίηση**

Χαρακτηριστικό της εποχής μας είναι η υπερκατανάλωση, η οποία έφερε και την αύξηση των αστικών αποβλήτων. Τα νοικοκυριά πλέον κατανάλωναν παραπάνω από όσα χρειάζονταν και αυτή η κίνηση οδήγησε στο πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι και η συσσώρευση πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, κάτι που οδήγησε σε τοπική αύξηση των απορριμμάτων. Τα αποτελέσματα της αύξησης αυτής φάνηκαν άμεσα και στην υγεία του ανθρώπου, και στην υγεία του περιβάλλοντος αλλά και στη κοινωνική συνοχή. Ο τρόπος διαχείρισης και ο τόπος διάθεσης όλων αυτών των απορριμμάτων ήταν αιτίες πολιτικών αντιπαραθέσεων σε όλες τις περιοχές της χώρας.

Τα στερεά απόβλητα διακρίνονται σε αστικά στερεά απόβλητα και σε ειδικά απόβλητα, τα οποία με τη σειρά τους δέχονται επιμέρους διακρίσεις. Παρακάτω ακολουθεί το σχεδιάγραμμα των διακρίσεων αυτών.

Ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) κατατάσσει όλα τα στερεά απόβλητα σε κατηγορίες και υποκατηγορίες με ειδικούς κωδικούς αρίθμησης όπως δείχνει και ο πίνακας 2.1. που ακολουθεί. Στον κωδικό 20 εντάσσονται τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ). Τα απόβλητα που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται στον ΕΚΑ με αστερίσκο.

**Σχήμα 1:** Κατηγοριοποίηση των στερεών αποβλήτων



**Πίνακας 1:** Κατηγοριοποίηση αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων ΕΚΑ

| ΚΑ | ΕΙΔΟΣ /ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ  |
|----|---|
| 1  | Απόβλητα από εξερεύνηση, εξόρυξη, εργασίες λατομείου και φυσική και χημική επεξεργασία ορυκτών  |
| 2  | Απόβλητα από γεωργία, κηπευτική, υδατοκαλλιέργεια, δασοκομία, θήρα και αλιεία, προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων  |
| 3  | Απόβλητα από την κατεργασία ξύλου και την παραγωγή ταμπλάδων και επίπλων, καθώς και πολτού χαρτιών και χαρτονιών  |
| 4  | Απόβλητα από τις βιομηχανίες δέρματος, γούνας και υφαντουργίας  |
| 5  | Απόβλητα από τη διύλιση πετρελαίου, τον καθαρισμό φυσικού αερίου και την πυρολυτική επεξεργασία άνθρακα   |
| 6  | Απόβλητα από ανόργανες χημικές διεργασίες   |
| 7  | Απόβλητα από οργανικές χημικές διεργασίες   |
| 8  | Απόβλητα από την παραγωγή, διαμόρφωση, προμήθεια και χρήση (ΠΔΠΧ) επικαλύψεων (χρώματα, βερνίκια και σμάλτο γάλου), κολλών, στεγανωτικών και τυπογραφικών μελανών |
| 9  | Απόβλητα από τη φωτογραφική βιομηχανία  |
| 10 | Απόβλητα από θερμικές επεξεργασίες  |
| 11 | Απόβλητα από τη χημική επιφανειακή επεξεργασία και την επικάλυψη μετάλλων και άλλων υλικών υδρομεταλλουργία μη σιδηρούχων μετάλλων                                |
| 12 | Απόβλητα για τη μορφοποίηση και τη φυσική και μηχανική επιφανειακή επεξεργασία μετάλλων και πλαστικών   |
| 13 | Απόβλητα ελαίων από απόβλητα υγρών καυσίμων (εκτός βρωσίμων ελαίων, 05 και 12)  |
| 14 | Απόβλητα από οργανικούς διαλύτες, ψυκτικές ουσίες και προωθητικά (εκτός 07 & 08)  |

**Πίνακας 1:** Κατηγοριοποίηση αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων ΕΚΑ (συνέχεια)

| ΚΑ | ΕΙΔΟΣ /ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ  |
|----|---|
| 15 | Απόβλητα από συσκευασίες, απορροφητικά υλικά, υφάσματα σκουπίσματος, υλικά φίλτρων και προστατευτικός ρουχισμός μη προδιαγραφόμενα άλλως  |
| 16 | Απόβλητα μη προδιαγραφόμενα άλλως στον κατάλογο   |
| 17 | Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβάνεται χώμα εκσκαφής από μολυσμένες τοποθεσίες)   |
| 18 | Απόβλητα από την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων ή/και από σχετικές έρευνες (εξαιρούνται απόβλητα κουζίνας και εστιατορίων που δεν προκύπτουν άμεσα από το σύστημα υγείας)  |
| 19 | Απόβλητα από τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός σημείου παραγωγής και την προετοιμασία ύδατος προοριζόμενου για κατανάλωση από τον άνθρωπο και ύδατος για βιομηχανική χρήση |
| 20 | Δημοτικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα) περιλαμβανομένων μερών χωριστά συλλεγόντων  |



### 2.2.2. Παραγωγή- σύνθεση Αστικών Στερεών Αποβλήτων

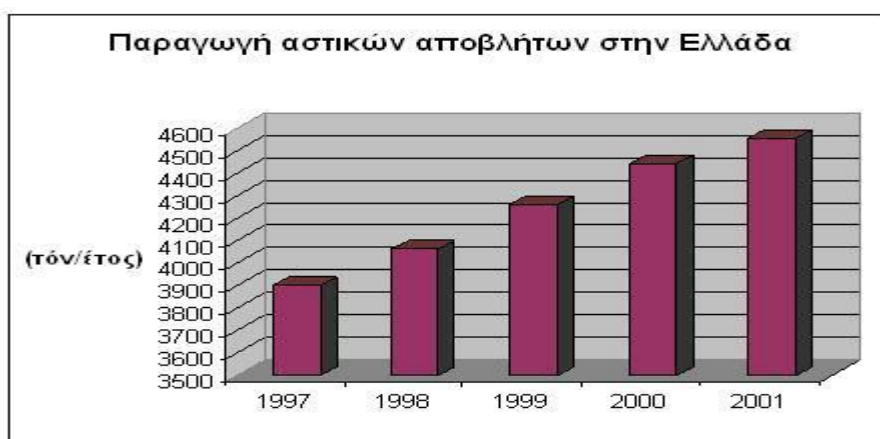
Η ποσότητα και η σύνθεση των ΑΣΑ αποτελούν δύο από τις βασικές παραμέτρους για το σχεδιασμό της διαχείρισης αυτών. Σε κάθε χώρα οι παράμετροι αυτές επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Το μέγεθος ο και χαρακτήρας του πολεοδομικού συγκροτήματος (αστικό, βιομηχανικό, κλπ)
- Το κλίμα και η εποχή (π.χ. καλοκαίρι αυξημένο ποσοστό φρούτων, λαχανικών)
- Το βιοτικό επίπεδο (π.χ. μεγαλύτερες ποσότητες, αυξημένες ποσότητες υλικών συσκευασίας κλπ)
- Εφαρμοζόμενα προγράμματα ανακύκλωσης υλικών

Στις σελίδες που ακολουθούν υπάρχουν εικόνες, διαγράμματα και πίνακες που δείχνουν σημαντικά ποιοτικά, ποσοτικά και οικονομικά στοιχεία γύρω από τα στερεά απόβλητα και τη διαχείρισή τους σε Ελλάδα κυρίως αλλά και στο εξωτερικό.

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η ποσοτική εξέλιξη/αύξηση της παραγωγής αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα έτσι όπως καταγράφηκε από το 1997 έως το 2001 διάστημα στο οποίο παρατηρείται μία εκατοστιαία αύξηση κατά 16,54 %.

**Διάγραμμα 1:** Παραγωγή αστικών αποβλήτων



Πηγή: ΕΕΛΣΑ (Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων)

Στο Διάγραμμα 2 απεικονίζεται η μέση ποιοτική εκατοστιαία σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα με βάση στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής 2010.

Βασικά χαρακτηριστικά της σύνθεσης των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα είναι το υψηλό ποσοστό σε ζυμώσιμα υλικά (40%), χαρτί (29%) και πλαστικό (14%). Ακολουθούν τα μέταλλα και το γυαλί (3%).

**Διάγραμμα 2:** Σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα



Πηγή: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής 2010

Η μέση σύσταση των αστικών αποβλήτων διαφέρει από χώρα σε χώρα καθώς εξαρτάται εκτός από τη δομή του πολεοδομικού συγκροτήματος και το βιοτικό επίπεδο και από άλλους βασικούς παράγοντες όπως είναι οι συνήθειες διατροφής και η εφαρμογή προγραμμάτων ανακύκλωσης υλικών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αντίστοιχα στοιχεία από το διεθνή χώρο.

**Πίνακας 2.** Μέση σύσταση των αστικών αποβλήτων στο διεθνή χώρο

|               | Δυτική Ευρώπη | ΗΠΑ  | Μέση Ανατολή |
|---------------|---------------|------|--------------|
| Οργανικά      | 21,3          | 22,6 | 60,0         |
| Χαρτί         | 27,4          | 45,6 | 25,3         |
| Υφάσματα      | 3,5           | 4,5  | 1,4          |
| Πλαστικά      | 3,1           | 2,6  | 5,8          |
| Γυαλί         | 9,5           | 6,2  | 1,0          |
| Μέταλλα       | 8,5           | 9,1  | 2,8          |
| Σκόνη, Αδρανή | 19,8          | 7,6  | 2,3          |
| Διάφορα       | 6,8           | 1,8  | 1,4          |

Πηγή: ΕΕΔΣΑ

Από τη μελέτη όσον αφορά τη σύνθεση των αστικών αποβλήτων συμπεραίνουμε ότι:

- Τα οργανικά (ζυμώσιμα) υλικά στην Ελλάδα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αστικών αποβλήτων κατέχοντας το 40%. Αντίθετα, η Η.Π.Α. και η Δυτική Ευρώπη έχουν τα μισά ποσοστά. Μόνο η Μέση Ανατολή ξεπερνά το ποσοστό της Ελλάδας κατέχοντας το 60%.
- Το χαρτί για την χώρα μας κατέχει το ποσοστό του 29%, ενώ παρόμοιο ποσοστό έχουν και η Μέση Ανατολή και η δυτική Ευρώπη καταλαμβάνοντας το 25% και το 27% αντίστοιχα. Αντίθετα, με αυτά τα ποσοστά έρχεται η Η.Π.Α κατέχει το 45%.
- Τα πλαστικά στη χώρα μας έχουν το ποσοστό του 14% ενώ σε δυτική Ευρώπη και Η.Π.Α δε ξεπερνούν το 3% και στη Μέση Ανατολή το 6%.
- Το γυαλί στην Ελλάδα είναι γύρω στο 3%, στη Μέση Ανατολή μόλις το 1%, ενώ στις Η.Π.Α το 6% και στη δυτική Ευρώπη το 9.5%.
- Τα μέταλλα στη χώρα μας αγγίζουν το ποσοστό το 3%, όσο δηλαδή και στη Μέση Ανατολή, ενώ σε δυτική Ευρώπη και Η.Π.Α στο 9%.
- Τα αδρανή υλικά καλύπτουν το 3% στη χώρα μας, και στη Μέση Ανατολή το 2.3%. Αντίθετα στην δυτική Ευρώπη το ποσοστό είναι υψηλό κοντά στο 20% και η Η.Π.Α στο 8%.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται επίσης ο χρόνος ζωής ειδών –υλικών που χρησιμοποιούνται σχεδόν καθημερινά και συχνά απορρίπτονται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον.

**Πίνακας 3.** Χρόνος ζωής απορριμμάτων στη θάλασσα (πηγή: Δίκτυο Μεσόγειος SOS)

| ΕΙΔΟΣ                       | ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ |        |
|-----------------------------|-------------|--------|
| Γυάλινο μπουκάλι            | 1000000     | χρόνια |
| Μίπετονιά                   | 600         | χρόνια |
| Πλαστικό μπουκάλι           | 450         | χρόνια |
| Κουτί αλουμινίου            | 80 – 200    | χρόνια |
| Λαστιχένια σόλα             | 50 – 80     | χρόνια |
| Πλαστικό ποτήρι             | 50          | χρόνια |
| Κουτί κονσέρβας             | 50          | χρόνια |
| Πλαστική σακούλα            | 10 – 20     | χρόνια |
| Φίλτρο τσιγάρου             | 1 – 5       | χρόνια |
| Μάλλινο ρούχο               | 1 – 5       | χρόνια |
| Κόντρα πλακέ                | 1 – 3       | χρόνια |
| Χάρτινη συσκευασία γάλακτος | 3           | μήνες  |
| Εφημερίδα                   | 1,5         | μήνες  |
| Φλούδα πορτοκαλιού          | 0,5 – 1,5   | μήνες  |

Πηγή: Δίκτυο Μεσόγειος SOS

## 2.3. Τεχνικές διαχείρισης των ΑΣΑ

### 2.3.1 Η ιεράρχηση των στόχων

Οι μακρόχρονες επιστημονικές έρευνες και οι οικονομοτεχνικές μελέτες προσέφεραν επιστημονική γνώση, θεσμική αξιολόγηση και ιεράρχηση των στόχων με σειρά προτεραιότητας των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Η ιεράρχηση αυτή που αναδείχθηκε από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, υιοθετήθηκε και συμπεριλαμβάνεται στη νομολογία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των υπόλοιπων αναπτυγμένων χωρών.

Πρωταρχικός στόχος κάθε πολιτικής για τα απόβλητα θα πρέπει να είναι η ελαχιστοποίηση των αρνητικών συνεπειών της παραγωγής και της διαχείρισης για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η πολιτική θα πρέπει επίσης να αποσκοπεί στη

μείωση της χρήσης φυσικών πόρων και να προωθεί την πρακτική εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων.

Στη νομοθεσία (Οδηγία 2008/98/ΕΚ) και την πολιτική για την πρόληψη και τη διαχείριση των αποβλήτων ισχύει ως τάξη προτεραιότητας ιεράρχηση των στόχων με πρώτη επιλογή την πρόληψη και τελευταία την διάθεση των υπολειμμάτων όπως χαρακτηριστικά δείχνει και το σχέδιο που ακολουθεί



**Σχήμα 2.** Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων

Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά τα πιο σημαντικά στοιχεία/παράμετροι και οι βασικοί παράγοντες/όροι που επηρεάζουν την ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων:

- ü Παραγωγός αποβλήτων
- ü Κάτοχος αποβλήτων
- ü Φορέας διαχείρισης αποβλήτων (ΦοΔΣΑ)
- ü Σχέδια και διαχρονικοί στόχοι διαχείρισης και επεξεργασίας
- ü Συχνότητα και τρόπος αποκομιδής, (Απορριμματοφόρα, Σταθμοί Μεταφόρτωσης κ.λ.π.)

- Εφαρμογή της αρχής “ο ρυπαίνων πληρώνει”
- Εφαρμογή προγραμμάτων διαλογής στην πηγή (ΔσΠ)
- Εφαρμογή προγραμμάτων οικιακής κομποστοποίησης
- Ενημερωτική καμπάνια για το όφελος των προγραμμάτων ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών
- Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Κ.Δ.Α.Υ.)
- Κέντρα Μηχανικής Διαλογής, Ανάκτηση υλικών
- Μονάδες Θερμικής Επεξεργασίας (Μ.Θ.Ε.), Παραγωγή ενέργειας
- Μονάδες Βιολογικής Επεξεργασίας (Μ.Β.Ε.), Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού
- Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων – Αποκατάσταση (Χ.Α.Δ.Α.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Α.) – Θέματα κοινωνικής αποδοχής
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής (Διάθεσης) Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.)
- Διαχείριση βιοαερίου σε Χ.Υ.Τ.Α.
- Διαχείριση διασταλαζόντων σε Χ.Υ.Τ.Α.
- Ποσοτικά στοιχεία αποβλήτων (παραγωγή/ρυθμός αύξησης, μοναδιαία/per capita Παραγωγή Αποβλήτων Μ.Π.Α, διακυμάνσεις, ζυγολόγια/ ημερήσια, εβδομαδιαία, μηνιαία, εποχιακή, ετήσια)
- Ποιοτικά στοιχεία αποβλήτων (Σύσταση, ειδικό βάρος ή όγκος, υγρασία, τέφρα, θερμογόνος δύναμη, αναλογία άνθρακα-αζώτου, τοξικότητα)
- Πληθυσμιακά στοιχεία
- Κοινωνικά στοιχεία
- Περιβαλλοντικά στοιχεία
- Οικονομικά στοιχεία.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αστικών αποβλήτων, περιλαμβάνει την εφαρμογή προγραμμάτων για τη βελτιστοποίηση του συστήματος συλλογής, τον περιορισμό της παραγωγής αποβλήτων, την διαλογή στην πηγή, την ανακύκλωση των διαχωρισθέντων υλικών, την εφαρμογή συστημάτων μεταφόρτωσης για την αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος, τη χρήση μεθόδων επεξεργασίας με στόχο την ενεργειακή αξιοποίηση ή την επαναχρησιμοποίηση των υλικών και τη διάθεση του τελικού υπολείμματος σε σύγχρονους χώρους υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων (XYTY).

Σύμφωνα και με όσα ορίζει η ΚΥΑ 29407/3508 για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, δεν επιτρέπεται η διάθεση σε XYTA αποβλήτων που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Σύμφωνα με την ίδια ΚΥΑ, ως επεξεργασία ορίζονται οι φυσικές, θερμικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της διαλογής, που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, προκειμένου να περιοριστούν ο όγκος ή οι επικίνδυνες ιδιότητές τους, να διευκολυνθεί η διακίνησή τους ή να βελτιωθεί η ανάκτηση χρήσιμων υλών. Κατά συνέπεια, ως επεξεργασία εννοείται η διαλογή στην πηγή (συσκευασιών, οργανικών, πράσινων, επικίνδυνων οικιακών κ.α.), η μηχανική διαλογή, η μεταφόρτωση και η δεματοποίηση, καθώς και όλες οι τεχνολογίες θερμικής, φυσικής, χημικής και βιολογικής επεξεργασίας. Θα πρέπει να επισημάνουμε, πως δεν υπάρχει βέλτιστη τεχνολογία για το σύνολο των περιπτώσεων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, καθώς κάθε μία από αυτές παρουσιάζει μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους αρμόδιους φορείς (ΦοΔΣΑ) που θα κληθούν να επιλέξουν, να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν τα έργα. Κρίσιμοι παράμετροι σχεδιασμού είναι:

- η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων
- ο βαθμός ανάπτυξης της αγοράς για την αξιοποίηση των προϊόντων (RDF, Compost, ανακυκλώσιμα).

Οι παράμετροι αυτοί επηρεάζουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας που θα επιλεγεί, τόσο από οικονομική (βιωσιμότητα της μονάδας, απαιτούμενο gate fee) όσο και από τεχνική και περιβαλλοντική άποψη (βαθμός αξιοποίησης δευτερογενών προϊόντων, τελική εκτροπή από XYTY κ.α.). Στην περίπτωση που για παράδειγμα δεν είναι δυνατή η απορρόφηση των παραγόμενων RDF/SRF, compost στην αγορά, τότε αυτά θα καταλήξουν σε χώρους διάθεσης

μειώνοντας σημαντικά την εκτροπή σε σχέση με τον αρχικό όγκο των αποβλήτων. Είναι προφανές ότι η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας, θα πρέπει να τεκμηριώνεται μέσω της εκπόνησης εξειδικευμένων τεχνικών μελετών.

### **2.3.2. Η εμπειρία από τη διαχείριση των ΑΣΑ**

Είναι γνωστό ότι η διαχείριση των ΑΣΑ είναι ένα από τα σημαντικότερα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα, ιδίως στις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες. Οι τεχνικές διαχείρισης που σχετίζονται με τη συλλογή, τη μεταφορά, την προσωρινή αποθήκευση, την ανάκτηση των χρήσιμων υλικών και την τελική διάθεση, είναι πρωτίστως θέμα κοινωνικής και πολιτικής συμπεριφοράς, διότι εκφράζει την έντονη η όχι απαίτηση των πολιτών για την ορθή διαχείριση.

Τα διαγράμματα και οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν σημαντικά στοιχεία σε ευρωπαϊκό κυρίως επίπεδο.

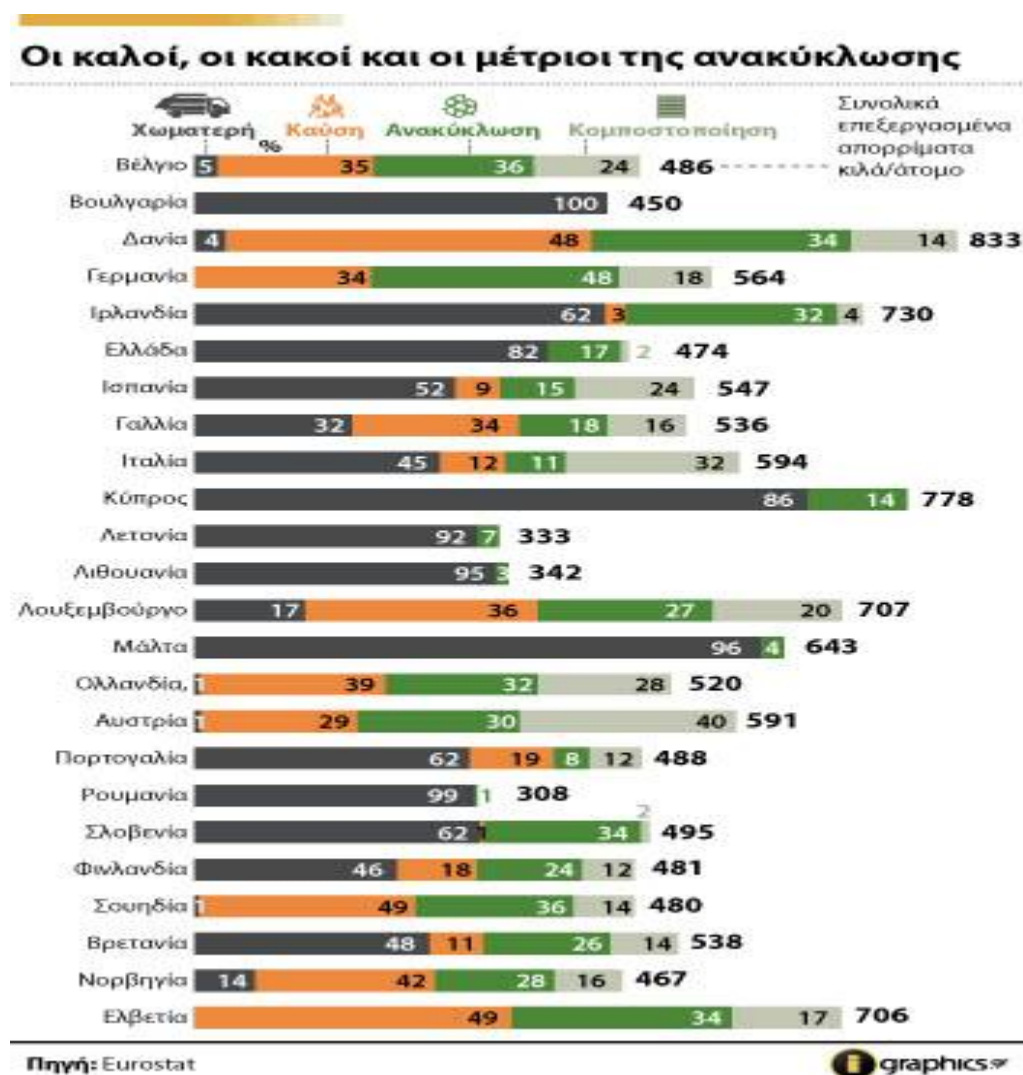
Η χωματερή ως μέθοδος αποθήκευσης των απορριμμάτων αποτελεί μια δημοφιλή μέθοδο για τη Βουλγαρία καλύπτοντας το 100% ενώ στην Ελλάδα το 80%. Υψηλά ποσοστά διάθεσης χωματερών κατέχουν επίσης και Ιρλανδία, η Ισπανία, η Κύπρος, η Λιθουανία, η Λετονία, η Μάλτα, η Πορτογαλία, η Ρουμανία και η Σλοβενία. Η Ελβετία και η Γερμανία δεν έχουν καθόλου χωματερές ενώ στη Σουηδία, την Ολλανδία και την Αυστρία καλύπτουν μόνο το 1%. Ποσοστό κάτω του 50% έχουν οι χώρες Βέλγιο, Δανία, Γαλλία, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Φιλανδία, Βρετανία και Νορβηγία.

Ως προς τη καύση υπάρχουν χώρες που δεν τη χρησιμοποιούν ως μέθοδο καταστροφής απορριμμάτων. Αυτές οι χώρες είναι η Βουλγαρία, η Ελλάδα, η Κύπρος, η Λετονία, η Λιθουανία, η Μάλτα και η Ρουμανία.

Ως προς την ανακύκλωση η Βουλγαρία δε την αξιοποιεί καθόλου, όπως και κανένα άλλο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων. Η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό ανακύκλωσης είναι η Γερμανία ενώ με το χαμηλότερο οι χώρες Λετονία, Λιθουανία, Μάλτα, Πορτογαλία και Ρουμανία.



**Διάγραμμα 4:** Ποσοστά ανάλογα με τη τεχνική διαχείρισης των απορριμμάτων σε διάφορες χώρες της Ευρώπης – “οι καλοί και οι κακοί” της ανακύκλωσης



Πηγή: Eurostat

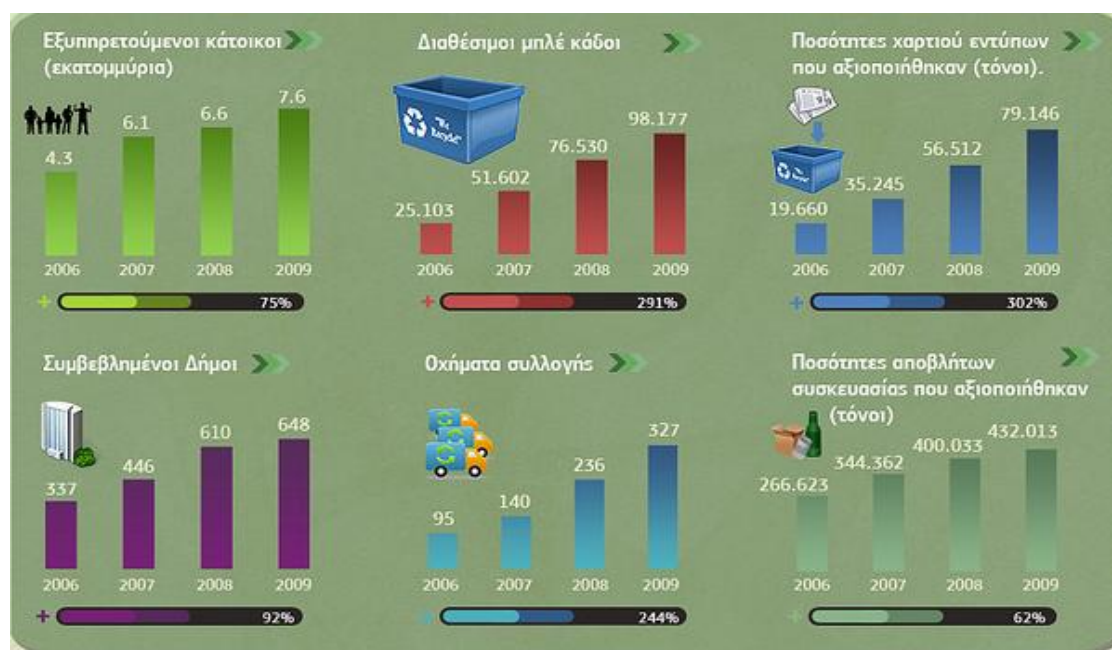
Όσον αφορά την κομποστοποίηση πολλά κράτη δεν την έχουν υιοθετήσει αλλά στη χώρα μας καλύπτει το 2%. Τα κράτη που δε κάνουν χρήση της κομποστοποίησης σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα είναι τα ακόλουθα: Βουλγαρία, Κύπρος, Λετονία, Λιθουανία, Μάλτα και Ρουμανία

Στο διάγραμμα που ακολουθεί δίνονται ποσοτικά στοιχεία όσον τις βασικές παραμέτρους της ανακύκλωσης στην Ελλάδα την τετραετία 2006-2009. Την τετραετία αυτή παρατηρείται:

\* Αύξηση κατά 68,8% των εξυπηρετούμενων κατοίκων

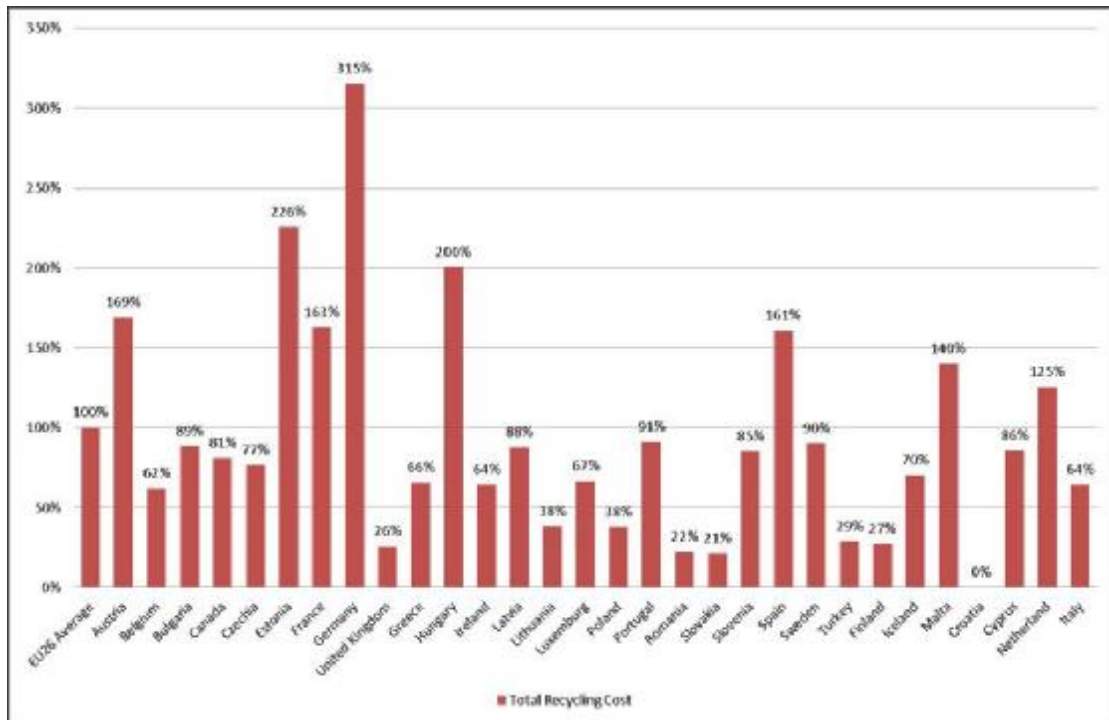
- \* Αύξηση κατά 291% των διαθέσιμων μπλε κάδων
- \* Αύξηση κατά 302% των ποσοτήτων του χαρτιού που αξιοποιήθηκαν
- \* Αύξηση κατά 92% των συμβεβλημένων δήμων
- \* Αύξηση κατά 244% των οχημάτων που αδειάζουν τους μπλε κάδους
- \* Αύξηση κατά 62% των ποσοτήτων των συσκευασιών που συλλέχθηκαν από τους μπλε κάδους.

**Διάγραμμα 4:** Ποσοτικά στοιχεία των βασικών παραμέτρων ανακύκλωσης στην Ελλάδα τα χρόνια από το 2006 έως το 2009



Πηγή: Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης

**Διάγραμμα 5: Κόστος ανακύκλωσης των χωρών της Ευρώπης**



Πηγή: [www.greendot.com.cy](http://www.greendot.com.cy), 2012

Από το παραπάνω διάγραμμα αντιλαμβανόμαστε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ανακύκλωσης το έχει η Γερμανία με το μεγαλύτερο κόστος, ενώ το χαμηλότερο η Κροατία. Η Ελλάδα καλύπτει το 1/5 της Γερμανίας (66%) σε κόστος ανακύκλωσης τη στιγμή που το μέσο ποσοστό κόστους ανακύκλωσης στην Ευρώπη είναι στο 100%.



## 2.4. Νομοθεσία

Ο τρόπος και ο τόπος διαχείρισης των αποβλήτων είναι ένα μεγάλο θέμα έντονων αντιπαραθέσεων πολλών δεκαετιών. Στην αρχή οι διαφωνίες ήταν για τον έλεγχο των παράνομων χωματερών, μετά για τη δημιουργία χώρων υγειονομικής ταφής και τέλος για το που θα εγκατασταθούν ανά περιοχή αυτοί οι χώροι. Όπως καταλαβαίνουμε είναι ένα θέμα το οποίο μοιάζει να μην έχει μία αποδεκτή λύση από κανέναν παράγοντα (οικονομικό, πολιτικό και κοινωνικό). Οι τρεις παράγοντες μιας κοινωνίας οφείλουν να συνεργαστούν άμογα πάνω σε αυτό το κομμάτι καθώς η ορθή διαχείριση των αστικών αποβλήτων θα προκαλέσει οικονομικά, περιβαλλοντικά και υγειονομικά οφέλη.

### 2.4.1. Ευρωπαϊκό πλαίσιο

Το θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων αποτελούν:

- Η οδηγία πλαίσιο 75/442/ΕΟΚ η οποία τροποποιήθηκε από την οδηγία πλαίσιο 91/156/ΕΟΚ και αυτή με την οδηγία 2006/12/ΕΚ. Οι παραπάνω οδηγίες ορίζουν σε γενικές γραμμές τις βασικές έννοιες των στερεών αποβλήτων και τις μεθόδους διαχείρισης (επεξεργασίας, ανακύκλωσης) και απαιτούν από τα κράτη-μέλη την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης.
- Η απόφαση 94/3/ΕΚ που υιοθετεί έναν Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) ο οποίος είναι ανοικτός για συμπλήρωση και αναθεώρηση με στόχο την καλύτερη διαχείριση των αποβλήτων. Η προσπάθεια αυτή όπως και η επόμενη, εντάσσεται στην προσπάθεια της χάραξης και ακολουθίας κοινής στρατηγικής στο θέμα
- Η απόφαση 2000/532/ΕΚ υιοθετείται ένας κατάλογος επικινδύνων αποβλήτων με την σημείωση αστερίσκου (\*) στον παραπάνω ΕΚΑ.
- Ο κανονισμός 259/93/ΕΚ που αφορά τη μεταφορά αποβλήτων που διακινούνται ή εισάγονται στην ΕΕ
- Η Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων. Έχει στόχο να

προλάβει τις αρνητικές επιπτώσεις της ταφής στο περιβάλλον (έδαφος, επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, αέρας, υγεία). Επιπλέον καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής και επιβάλλει τη διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής για τα κράτη –μέλη.

Ü Η οδηγία 2000/76/EK για την αποτέφρωση των στερεών αποβλήτων που στοχεύει στην πρόληψη και τον περιορισμό των επιπτώσεων από την αποτέφρωση και από τη συνδυασμένη αποτέφρωση αποβλήτων. Οι εγκαταστάσεις «συνδυασμένης αποτέφρωσης» έχουν σκοπό την παραγωγή ενέργειας ή υλικών προϊόντων και ο χρησιμοποιούν σαν κύριο ή βοηθητικό καύσιμο τα απόβλητα αφού αυτά υποστούν θερμική επεξεργασία για την τελική τους διάθεση

Ü Η Οδηγία 2008/98/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα. Η οδηγία θεσπίζει μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας εμποδίζοντας ή μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων, και περιορίζοντας τον συνολικό αντίκτυπο της χρήσης των πόρων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητά της.

Επιπλέον έχουν εκδοθεί Οδηγίες που αποσκοπούν στη σωστή διαχείριση υλικών αποβλήτων που η διάθεσή τους μαζί με τα οικιακά απορρίμματα δημιουργεί προβλήματα όπως:

- Η Οδηγία 75/439/ΕΟΚ «περί διαθέσεως των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων».
- Η Οδηγία 91/157/ΕΟΚ για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
- Η Οδηγία 91/689/ΕΟΚ για τα επικίνδυνα απόβλητα
- Η Οδηγία 94/59/ΕΚ για τη διάθεση των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (PCB/PCT)
- Η Οδηγία 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και την εναλλακτική διαχείριση
- Η Οδηγία 2000/53/ΕΚ για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

- Η Οδηγία 2002/95/EK σχετικά με τον περιορισμό χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού
- Η Οδηγία 2002/96/EK για τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)
- Κανονισμός 1774/2002/EK για τη διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων και αποβλήτων.

#### **2.4.2. Εθνικό πλαίσιο**

Κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ είναι υποχρεωμένο να ενσωματώνει στην εθνική του νομοθεσία τις Οδηγίες που εκδίδει το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τη διαχείριση (συγκέντρωση, επεξεργασία, διάθεση) των στερεών αποβλήτων είναι:

- Υγειονομική διάταξη Ε1β/301/64 «Περί συλλογής, αποκομιδής και διάθεσης απορριμμάτων» πρωτοπόρα για την εποχής νομοθετική πρόβλεψη.
- ΚΥΑ 49541/86 «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την οδηγία 75/442/ΕΟΚ
- ΚΥΑ 69728/96 και ΚΥΑ 5091/2003 η οποία συμπεριλαμβάνει και το αντικείμενο του Εθνικού Σχεδιασμού και τον τρόπο κατάρτισης των Περιφερειακών Σχεδιασμών καταργώντας ρητά τις προηγούμενες στα ζητήματα αυτά δηλ. ΚΥΑ 113944/97 και 14312/2000.
- Νόμος 2939/2001 διαμορφώνει το πλαίσιο για την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών ενσωματώνοντας την οδηγία 94/62/EK και καθορίζει το πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης/ επαναχρησιμοποίησης/ αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων υλικών (μπαταρίες, ηλεκτρονικές συσκευές, κλπ) θέτοντας συγκεκριμένους ποσοτικούς και χρονικούς στόχους πραγματοποίησης.
- ΚΥΑ 22912/117/05 «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση», ουσιαστικά εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/76/EK.

Γενικά το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων βασισμένο στον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ, ΦΕΚ 1909/Β/22.12.2003), σε συνδυασμό με τους Περιφερειακούς Σχεδιασμούς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ), χαρακτηρίζεται από σχετική πληρότητα μετά την ενσωμάτωση και του πλαισίου διαχείρισης των επικινδύνων αποβλήτων.

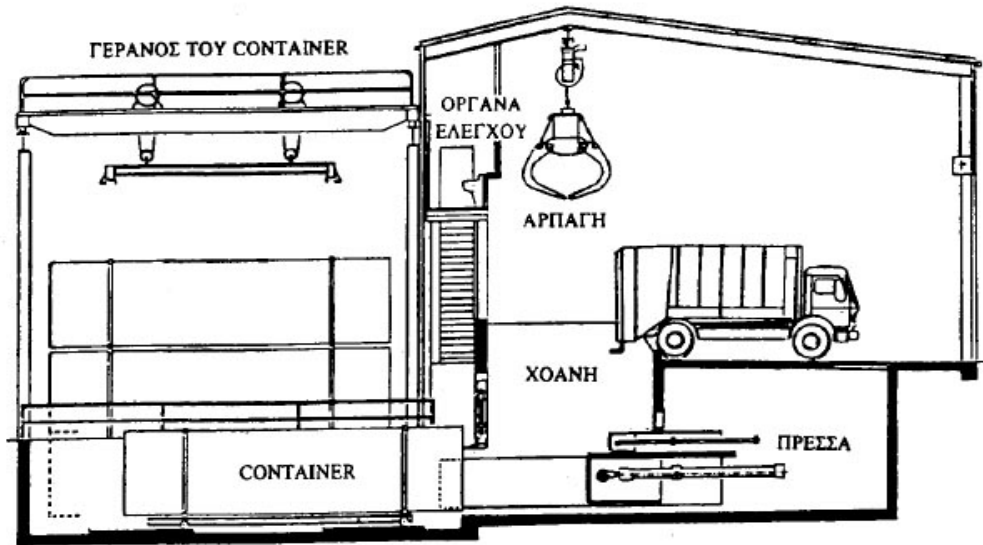
### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

#### **3.1 Μεταφόρτωση στερεών αποβλήτων**

Ως μεταφόρτωση καλείται ο κύκλος εργασιών μετακίνησης των αποβλήτων από τα μέσα συλλογής σε άλλα μέσα συγκέντρωσής τους, προκειμένου στη συνέχεια να μεταφερθούν προς περαιτέρω διαχείριση. Στους σταθμούς μεταφόρτωσης (ΣΜΑ) τα απορρίμματα μεταφορτώνονται σε ειδικά οχήματα κατάλληλα για κίνηση σε μεγάλες αποστάσεις. Οι σταθμοί αυτοί πρέπει να χωροθετούνται σε κεντροβαρικά σημεία ως προς τις πηγές δημιουργίας των απορριμμάτων, ώστε τα απορριμματοφόρα οχήματα μετά την συμπλήρωση του φορτίου τους να διανύουν την ελάχιστη δυνατή απόσταση μέχρι τον ΣΜΑ, όπου ξεφορτώνουν και επιστρέφουν και πάλι στο έργο της αποκομιδής. Στη συνέχεια, τα οχήματα από τον ΣΜΑ μεταφέρουν τα απορρίμματα σε μονάδα/ες επεξεργασίας ή/και τελικής διάθεσης, έχοντας πολλαπλάσιο ωφέλιμο φορτίο από εκείνο των απορριμματοφόρων.

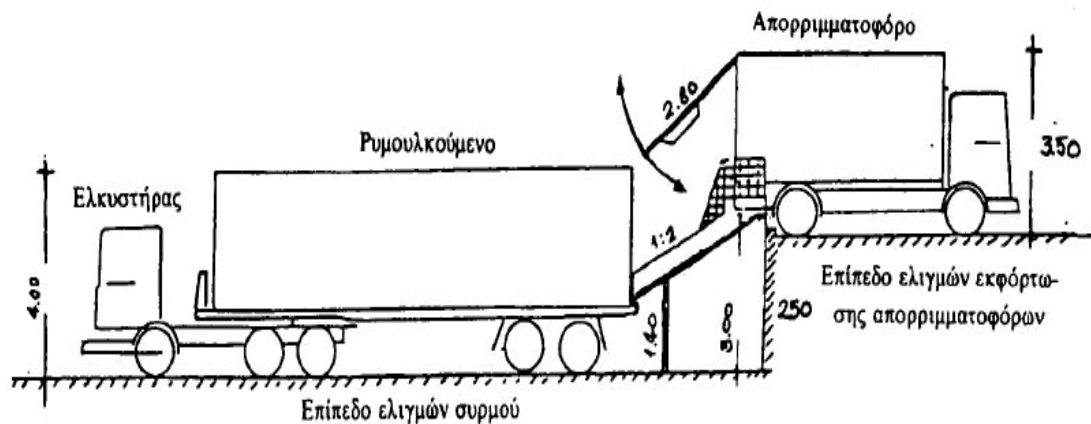
Οι σταθμοί μεταφόρτωσης ταξινομούνται ανάλογα με τη δυναμικότητά τους (μικροί/μεγάλοι), το είδος των πάγιων εγκαταστάσεων (σταθεροί/κινητοί) και το βαθμό συμπίεσης των απορριμμάτων που επιτυγχάνουν. Σταθερός θεωρείται ο σταθμός μεταφόρτωσης όπου όλες οι απαραίτητες διαδικασίες εκτελούνται σε συγκεκριμένο χώρο με την κατάλληλη πάγια εγκατάσταση και τεχνική υποδομή ενώ κινητός σταθμός μεταφόρτωσης θεωρείται οποιοσδήποτε τύπος οχήματος ή συνδυασμός οχημάτων, που φέρει τον κατάλληλο εξοπλισμό για την υποδοχή των αποβλήτων χωρίς τη μεσολάβηση πάγιων εγκαταστάσεων. Τα απόβλητα, κατά τη διαδικασία αυτή υφίστανται συμπίεση, η οποία στοχεύει στην επίτευξη του μέγιστου επιτρεπόμενου, κατά περίπτωση, ωφέλιμου φορτίου για την περαιτέρω μεταφορά τους. Η συμπίεση αυτή γίνεται συνήθως σε containers ενώ ενδέχεται να πραγματοποιηθεί δεματοποίηση των αποβλήτων, με χρήση εγκαταστάσεων υψηλού βαθμού συμπίεσης. Στα σχήματα που ακολουθούν δίνονται δύο χαρακτηριστικές τομές εγκαταστάσεων ΣΜΑ, όπου γίνεται φανερός ο τρόπος λειτουργίας τους.





**Σχήμα 3:** Σταθερός ΣΜΑ

Πηγή: Διεπιστημονικό – Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, "Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων", Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος, Α. Κατσίρη



**Σχήμα 4:** Κινητός ΣΜΑ

Πηγή: Διεπιστημονικό – Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, "Επιστήμη και τεχνολογία υδατικών πόρων", Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος, Α. Κατσίρη

Από βιβλιογραφικά στοιχεία και από στοιχεία δημοσιευμένων μελετών προκύπτει ότι η εγκατάσταση σταθμού μεταφόρτωσης είναι αποδοτική όταν η απόσταση του χώρου διάθεσης είναι μεγαλύτερη των 30 km και η ημερήσια ποσότητα των απορριμμάτων ξεπερνά τους 20 τόνους όπως φαίνεται και στο παράδειγμα που

ακολουθεί, όπου προσδιορίζεται η οικονομικότητα της χρήσης ή μη σταθμού μεταφόρτωσης, ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο στόχος που εξυπηρετεί.

**Παράδειγμα:**

Κόστος κατασκευής και λειτουργίας ΣΜΑ: 10 €/τόνο

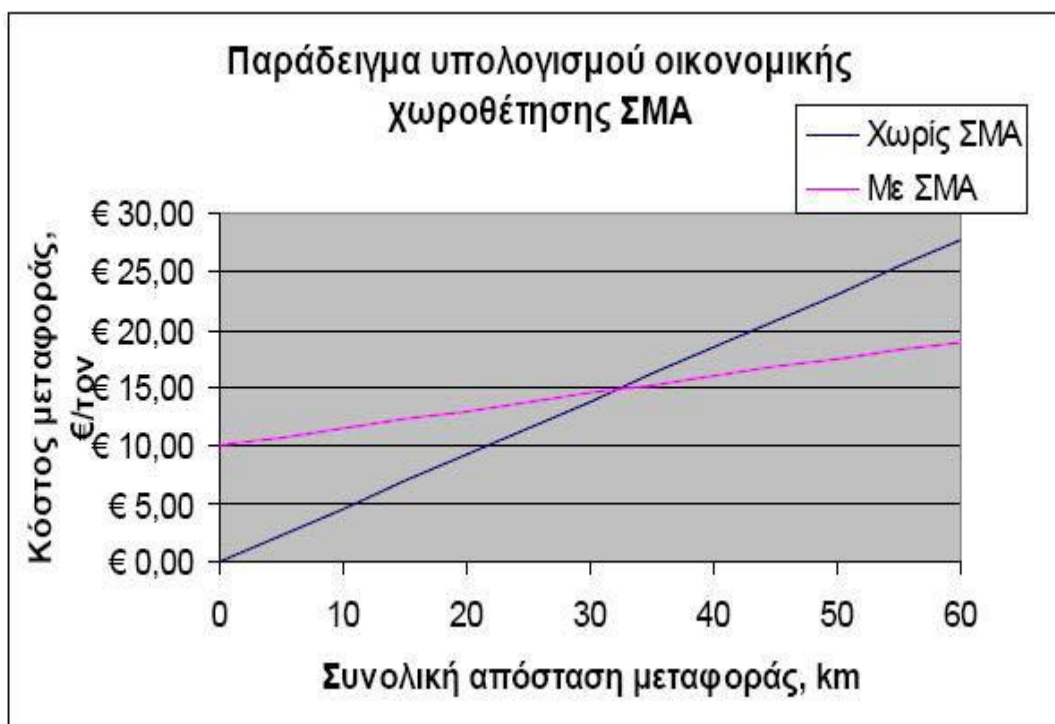
Κόστος μεταφοράς απορριμματοφόρου ή ΣΜΑ: 3 €/Km

Δυναμικότητα απορριμματοφόρου: 6,5 τόνοι

Δυναμικότητα Container ΣΜΑ: 20 τόνοι

Το κόστος μεταφοράς ανά τόνο υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε το κόστος ανά Km επί τα διανυόμενα Km και διαιρέσουμε δια του μεταφερόμενου φορτίου σε τόνους.

**Διάγραμμα 7:** Παράδειγμα υπολογισμού οικονομικής χωροθέτησης ΣΜΑ (πηγή: ΕΕΔΣΑ)



### 3.2 Διαλογή στην Πηγή

Με τη διαλογή υλικών στην πηγή παραγωγής των στερεών αποβλήτων - απορριμμάτων επιτυγχάνεται μείωση της ποσότητας που οδηγείται προς τελική διάθεση, με παράλληλη αξιοποίηση υλικών. Η διαλογή στην πηγή αποτελεί εναλλακτικό και συμπληρωματικό στάδιο της συνολικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Οι παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται η λειτουργικότητα ενός προγράμματος διαλογής στην πηγή είναι:

- το είδος και η ποσότητα των προς διαλογή – ανακύκλωση υλικών
- η ποιότητα των ανακτώμενων υλικών
- η ύπαρξη αγορών για την απρόσκοπτη απορρόφησή τους
- η ευκολία υλοποίησης και το κόστος άλλων εναλλακτικών τεχνικών διαχείρισης των στερεών αποβλήτων που εφαρμόζονται στην υπό εξέταση περιοχή

Στην Ελλάδα συλλέγονται χωριστά και εκτρέπονται από το ρεύμα των σύμμεικτων αποβλήτων, τα απόβλητα που εμπίπτουν στο Ν.2939/01, δηλαδή τα υλικά συσκευασίας, ΑΗΗΕ κ.α. Αν και προβλέπεται στο σύνολο των περιφερειακών σχεδιασμών, ακόμα η διαλογή στη πηγή του οργανικού κλάσματος δεν έχει εφαρμοστεί σε κάποια διαχειριστική ενότητα. Ορισμένοι ΟΤΑ έχουν αναλάβει πρωτοβουλίες (π.χ. Δήμος Ελευσίνας) ώστε να εφαρμοστεί η διαλογή του οργανικού κλάσματος, μέσω της χρήσης οικιακών κάδων κομποστοποίησης, ενώ ορισμένοι ΦοΔΣΑ (π.χ. ΕΣΔΚΝΑ) εφαρμόζουν προγράμματα για την ξεχωριστή συλλογή του έντυπου χαρτιού. Σε κάθε περίπτωση, η διαλογή στην πηγή θα πρέπει να επεκταθεί στη χώρα μας, καθώς αφενός μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του βαθμού ανακύκλωσης των υλικών, αφετέρου είναι σύμφωνη με τις γενικές κατευθύνσεις της Ε.Ε. για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Επισημαίνεται δε, πως σύμφωνα με τη νέα Οδηγία 2008/98/ΕΚ, προβλέπεται η χωριστή συλλογή μέχρι το 2015 τουλάχιστον 4 ρευμάτων υλικών (χαρτί, πλαστικό, γυαλί, μέταλλο). Η εφαρμογή συστημάτων διαλογής στην πηγή, προϋποθέτει την ενίσχυση της περιβαλλοντικής συνείδησης των πολιτών μέσω της εφαρμογής προγραμμάτων ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης, τα οποία είναι απαραίτητα για τη βιώσιμη λειτουργία των συστημάτων.

Η διαλογή στη πηγή είναι η μοναδική μέθοδος διαχείρισης που προϋποθέτει τη συμμετοχή των πολιτών όπως αποδεικνύουν και οι φωτογραφίες που ακολουθούν.

**Εικόνα 1:** Τυπικός μπλε κάδος και κάδος τριών υποδοχέων



**Εικόνα 2:** Ανταποδοτικό κέντρο ανακύκλωσης



**Εικόνα 3:** Έντυπο χαρτί



**Εικόνα 4:** Οικιακή Κομποστοποίηση



### 3.2.1 Κέντρα Διαλογής Υλικών- Κ.Δ.Α.Υ.

Τα Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Κ.Δ.Α.Υ.) είναι εγκαταστάσεις όπου με συνδυασμό μεθόδων μηχανικής - χειρωνακτικής διαλογής, διαχωρίζονται ομάδες υλικών τα οποία προέρχονται από διαλογή στην πηγή (ανακυκλώσιμα). Στη συνέχεια, τα υλικά υφίστανται ποιοτική αναβάθμιση και δεματοποίηση ανά υλικό. Έτσι μπορούν να επιτευχθούν οι απαιτήσεις ποιότητας για την απορρόφησή τους από την αγορά και εξασφαλίζονται υψηλότερες τιμές πώλησης. Ο σχεδιασμός ενός Κ.Δ.Α.Υ. και η επιλογή του αντίστοιχου εξοπλισμού εξαρτάται από τις ποσότητες και το είδος των εισερχόμενων υλικών καθώς και από τις απαιτήσεις της αγοράς ως προς τα ανακτώμενα προϊόντα.

**Εικόνα 5:** Διεργασίες μεταφοράς και επεξεργασίας ανακυκλώσιμων υλικών



### 3.2.2. Μηχανική Ανακύκλωση

Στις εγκαταστάσεις μηχανικής ανακύκλωσης πραγματοποιείται διαχείριση κυρίως των μικτών οικιακών στερεών αποβλήτων και επιτυγχάνεται μηχανικός διαχωρισμός, ανάκτηση καθώς και περαιτέρω επεξεργασία υλικών που περιέχονται σε αυτά. Τα υλικά που ανακτώνται είναι κυρίως:

- Βιοαποδομήσιμα οργανικά
- Χαρτί - Πλαστικό
- Μίγμα χαρτιού και πλαστικού
- Σιδηρούχα μέταλλα - Αλουμίνιο

Τα παραπάνω υλικά εφόσον υποστούν περαιτέρω επεξεργασία ανακυκλώνονται, με εξαίρεση το μίγμα χαρτιού και πλαστικού το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο υλικό. Οι μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν με όλες τις μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας, ταξινομούνται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- Τεχνολογίες προετοιμασίας των αποβλήτων
- Τεχνολογίες διαχωρισμού των αποβλήτων

Οι τεχνολογίες προετοιμασίας των αποβλήτων αφορούν στη διάνοιξη των σάκων, την ελάττωση του μεγέθους και την αποκατάσταση της ομοιομορφίας των αποβλήτων. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί δίνονται περιληπτικά τα κυριότερα στοιχεία (αρχή λειτουργίας, μειονεκτήματα) όσον αφορά τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες προετοιμασίας των αποβλήτων.

Στις τεχνολογίες διαχωρισμού περιλαμβάνονται τεχνολογίες που επιτυγχάνουν το διαχωρισμό της εισερχόμενης μάζας των απορριμμάτων σε δύο ρεύματα, από τα οποία το ένα περιέχει το επιλεγμένο προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση ενώ το άλλο ρεύμα είναι σε μεγάλο βαθμό απαλλαγμένο από την παρουσία του.

Στον πίνακα 4 που ακολουθεί δίνονται περιληπτικά η εφαρμοζόμενη τεχνολογία ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του προς ανάκτηση υλικού (χαρτί, πλαστικό, μέταλλο, κλπ) ή του προς απόρριψη (πέτρες, ξύλα, κλπ), καθώς και τα μειονεκτήματα -προβλήματα από την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.

**Πίνακας 3:** Τεχνολογίες προετοιμασίας αποβλήτων

| Τεχνολογία  | Αρχή λειτουργίας  | Προβλήματα-Περιορισμοί   |
|---|---|--|
| Σφυρόμυλοι<br>(Hammer mill)                                   | Τα απόβλητα υφίστανται σημαντική μείωση του μεγέθους τους με τη βοήθεια σφυριών που ταλαντώνονται   | Καταπόνηση - φθορά των σφυρών, κονιορτοποίηση γυαλιού / αδρανών, ακατάλληλοι για δοχεία υπό πίεση  |
| Περιστροφικοί κόπτες (shredder)                               | Περιστρεφόμενα μαχαίρια ή δίσκοι περιστρέφονται με χαμηλή ταχύτητα και υψηλή ροπή. Η διατμητική τους δράση σχίζει ή τέμνει τα περισσότερα υλικά   | Τα μεγάλα σκληρά αντικείμενα μπορούν να καταστρέψουν τους κόπτες, ακατάλληλοι για δοχεία υπό πίεση |
| Περιστρεφόμενα τύμπανα ή θραυστήρες κυλίνδρου (Rotating Drum) | Το υλικό ανυψώνεται καθώς προσκολλάται στα τοιχώματα του τύμπανου και κατόπιν πέφτει στο κέντρο, λόγω της βαρύτητας, επιτυγχάνοντας ανάδευση και ομογενοποίηση των αποβλήτων. Τα κοφτερά αντικείμενα που ενυπάρχουν στα απόβλητα (γυαλί, μέταλλα) συνεισφέρουν στη μείωση του μεγέθους των πιο μαλακών υλικών, όπως το χαρτί και τα βιοαποδομήσιμα, χωρίς να κονιορτοποιούνται τα ίδια. | Ήπια δράση - τεμαχισμός. Μπορεί να υπάρξει πρόβλημα για απόβλητα υψηλής υγρασίας.                  |
| Σφαιρόμυλο (Ball mill)  | Περιστρεφόμενα τύμπανα φέρουν βαριές σφαίρες για να τεμαχίσουν ή να κονιορτοποιήσουν τα απόβλητα.   | Καταπόνηση - φθορά των σφαιρών, κονιορτοποίηση γυαλιού / αδρανών.                                  |

**Πίνακας 3:** Τεχνολογίες προετοιμασίας αποβλήτων (συνέχεια)

| Τεχνολογία   | Αρχή λειτουργίας  | Προβλήματα-Περιορισμοί   |
|--|---|--|
| Περιστρεφόμενα τύμπανα υγρής φάσης με κόπτες (Wetrotating drums with knives) | Μετά από την προσθήκη νερού, τα απόβλητα δημιουργούν μεγάλα συσσωματώματα που θρύβονται από τους κόπτες κατά την περιστροφή του τύμπανου.   | Σχετικά μικρή μείωση μεγέθους. Πιθανότητα καταστροφής του κόπτη από μεγάλα σκληρά αντικείμενα. |
| Θραυστήρες πλαστικών σάκων (Bagsplitter)                                     | Μπορεί να είναι τύπου περιστροφικού κόπτη (με αυξημένες ανοχές μεταξύ των περιστρεφόμενων μαχαιριών κοπής, ώστε να σχίζεται μόνο ο σάκος και να μην τεμαχίζεται το περιεχόμενο), παλινδρομικής χτένας ή οδοντοφόρων αλυσίδων. | Δεν μειώνει το μέγεθος των αποβλήτων. Πιθανότητα καταστροφής από μεγάλα σκληρά αντικείμενα.    |

**Πίνακας 4:** Τεχνολογίες διαχωρισμού αποβλήτων

| Τεχνολογία                     | Ιδιότητα διαχωρισμού  | Στοχευόμενα υλικά   | Προβλήματα-Περιορισμοί |
|--------------------------------|-----------------------|---|------------------------|
| Κόσκινα (Trommels and screens) | Μέγεθος και πυκνότητα | Υπερμεγέθη: χαρτί, πλαστικό<br>Μικρά: οργανικά, γυαλί, λεπτόκοκκα υλικά (fines) | Καθαρισμός             |



**Πίνακας 4:** Τεχνολογίες διαχωρισμού αποβλήτων (συνέχεια)

| Τεχνολογία                       | Ιδιότητα διαχωρισμού       | Στοχευόμενα υλικά   | Προβλήματα-Περιορισμοί                      |
|----------------------------------|----------------------------|---|---|
| Χειρωνακτικός διαχωρισμός        | Οπτική εξέταση             | Πλαστικά, προσμίξεις, υπερμεγέθη, ξένα σώματα               | Υγιεινή και ασφάλεια εργασίας, ηθικά θέματα |
| Μαγνητικοί διαχωριστές           | Μαγνητικές ιδιότητες       | Σιδηρούχα μέταλλα   |   |
| Διαχωριστές με επαγωγικά ρεύματα | Ηλεκτρική αγωγιμότητα      | Μη σιδηρούχα μέταλλα  |   |
| Διαχωριστές επίπλευσης αφρού     | Διαφορές πυκνότητας        | Επιπλέοντα: πλαστικά, οργανικά<br>Βυθιζόμενα: πέτρες, γυαλί | Δημιουργεί υγρά ρεύματα αποβλήτων           |
| Αεροδιαχωριστές                  | Βάρος                      | Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί<br>Βαρέα: πέτρες, γυαλί             | Απαιτείται καθαρισμός του αέρα              |
| Βαλλιστικοί διαχωριστές          | Πυκνότητα και ελαστικότητα | Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί<br>Βαρέα: πέτρες, γυαλί             |   |
| Οπτικοί διαχωριστές              | Οπτικές ιδιότητες          | Καθορισμένα πλαστικά πολυμερή                               | Απόδοση χαμηλή                              |

### 3.3 Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες μετατροπής του περιεχομένου τους σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας. Οι τεχνικές θερμικής επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- αποτέφρωση – καύση (incineration - combustion)
- αεριοποίηση (gasification)
- τεχνική του πλάσματος (plasma technology)
- πυρόλυση (pyrolysis)

#### 3.3.1 Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση ή πιο κοινά η καύση των στερεών απορριμμάτων ουσιαστικά εκπροσωπεί μια αρκετά παλαιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θεοκρασιών, με παρουσία φλόγας, για την οξειδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο. Σε καμία περίπτωση δεν είναι η ανεξέλεγκτη καύση διαφόρων ειδών απορριμμάτων σε επίσης ανεξέλεγκτες χωματερές ή χώρους καύσης. Είναι η θερμική καταστροφή κατάλληλων προς καύση απορριμμάτων με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμικής ενέργειας.

Η θερμική επεξεργασία (στοιχειομετρική καύση), αποτελεί ώριμη μέθοδο επεξεργασίας στερεών αποβλήτων με πλήθος εργοστασίων να λειτουργούν στα κράτη μέλη της Ε.Ε. και λόγω των παραγόμενων αέριων εκπομπών, διέπεται από πολύ αυστηρό πλαίσιο ελέγχου, το οποίο στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Ειδικά τα συστήματα αντιρρύπανσης, χρησιμοποιούν τεχνολογία αιχμής και έχουν καταφέρει να περιορίσουν σημαντικά τις παραγόμενες αέριες εκπομπές τα τελευταία χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί πως λειτουργούν περίπου 600 εγκαταστάσεις αποτέφρωσης αποβλήτων παγκοσμίως και περισσότερες από 400 απο αυτές βρίσκονται στην Ε.Ε.

Στόχος της διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική

αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. Αυτό πραγματοποιείται με χρήση είτε της απαιτούμενης στοιχειομετρικά ποσότητας αέρα (stoichiometric combustion) είτε με περίσσεια αέρα (excess - air combustion). Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O<sub>2</sub>) στην εστία καύσης
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης
- σωστή αναλογία μίγματος (καύσιμης ύλης - οξυγόνου)
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης

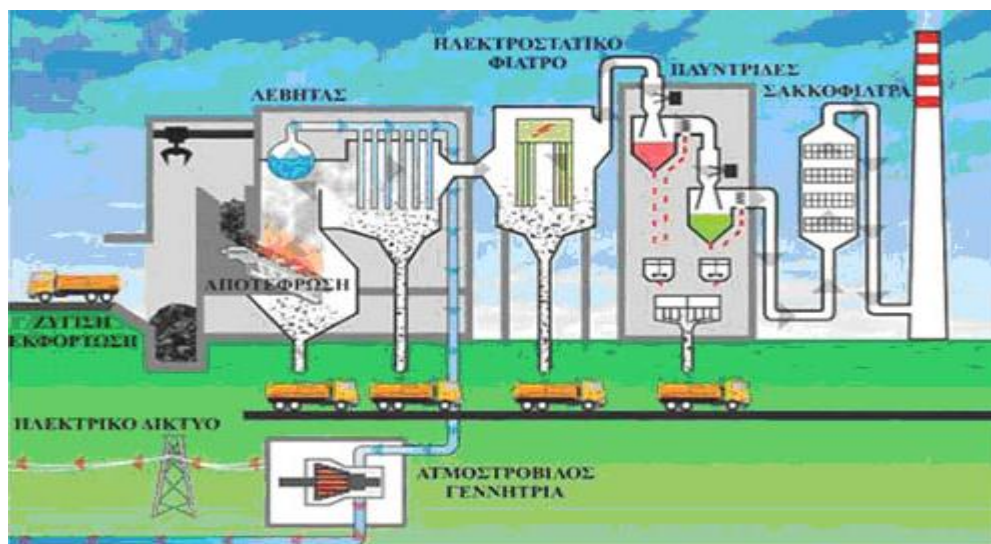
Κατά την καύση εκτός των τυπικών προϊόντων καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, ατμός, μονοξείδιο του άνθρακα) παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, υδροχλώριο, υδροφθόριο, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες κλπ.

Η περιεκτικότητα σε τέφρα και σε υδρατμούς είναι οι σημαντικότερες παράμετροι που καθορίζουν τη δυνατότητα καύσης των απορριμμάτων. Κατά την καύση των στερεών αποβλήτων παραμένουν στερεά υπολείμματα, τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40% του βάρους των εισερχομένων αποβλήτων. Εκτός από τη σύνθεση των αποβλήτων η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Σε μία τυπική μονάδα αποτέφρωσης όπως δείχνεται στην εικόνα 7 που ακολουθεί, διακρίνουμε την τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης (απομακρύνονται μετά την εσχάρα), την τέφρα που παράγεται στους λέβητες (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα), την ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα (συγκεντρώνεται στις χοάνες κάτω από τα ηλεκτρόφιλτρα ή σακκόφιλτρα) και τέλος υπολείμματα τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.

Οι μονάδες αποτέφρωσης σχεδιάζονται ώστε να επεξεργάζονται είτε σύμμεικτα απόβλητα (mass-burned incineration) είτε εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία των αποβλήτων (SRF-RDF). Διαφοροποιούνται τόσο σε σχέση με τον τύπο του συστήματος καύσης (κινούμενων εσχάρων, περιστρεφόμενου κλιβάνου, ρευστοποιημένης κλίνης) όσο και σε σχέση με το σύστημα ελέγχου της ρύπανσης.

(υγρή /ξηρή επεξεργασία απαερίων, σακκόφιλτρα, ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες κ.α.). Για την επεξεργασία των σύμμεικτων αποβλήτων χρησιμοποιείται το σύστημα κινούμενων εσχάρων ενώ οι άλλοι τύποι συστημάτων καύσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποτέφρωση επεξεργασμένων ρευμάτων αποβλήτων.

**Εικόνα 6:** Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων



Όλες οι κατηγορίες υπολείμματος από τη θερμική επεξεργασία απαιτούν προσεκτική διαχείριση. Η διάθεση σε χώρο ταφής πρέπει να λαμβάνει υπόψη την εκπλυσιμότητα των διαφόρων συστατικών που περιέχουν τα υπολείμματα αυτά. Η ιπτάμενη τέφρα περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, διαλυτών αλάτων, οργανικών και την υψηλότερη περιεκτικότητα από όλα τα κατάλοιπα σε χλωριωμένες οργανικές ενώσεις. Θεωρείται επικίνδυνο απόβλητο και αν δεν εφαρμοστεί κάποια μέθοδος αδρανοποίησής της θα πρέπει να διατεθεί σε χώρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων. Η τέφρα μπορεί να διατεθεί μετά την ψύξη της σε ΧΥΤΑ αλλά συνήθως αξιοποιείται στην οδοποιία, καθώς στα κράτη μέλη της Ε.Ε. έχουν αναπτυχθεί εθνικές προδιαγραφές για την αξιοποίησή της, σε αντίθεση με την ελληνική πραγματικότητα.

### 3.3.2 Πυρόλυση

Η πυρόλυση αποτελεί μια σχετικά νέα θερμική διεργασία, η οποία αν και αναπτύχθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα, μόλις τα τελευταία 20 – 30 χρόνια άρχισε να εφαρμόζεται στην επεξεργασία ΑΣΑ. Γενικά, δεν αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ, τουλάχιστον στην Ευρώπη, λόγω της μειωμένης ενεργειακής απόδοσης και οικονομικής βιωσιμότητάς της. Παρόλα αυτά, μη Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιαπωνία, διαθέτουν εγκαταστάσεις πυρόλυσης στερεών απορριμμάτων, οι οποίες λειτουργούν αποδοτικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός το οποίο πιθανότατα οφείλεται στις διαφορές των χαρακτηριστικών των απορριμμάτων τους (π.χ. ως προς το ποσοστό του οργανικού κλάσματος και τη θερμογόνο δύναμή τους), σε σχέση με εκείνα των Ευρωπαϊκών χωρών.

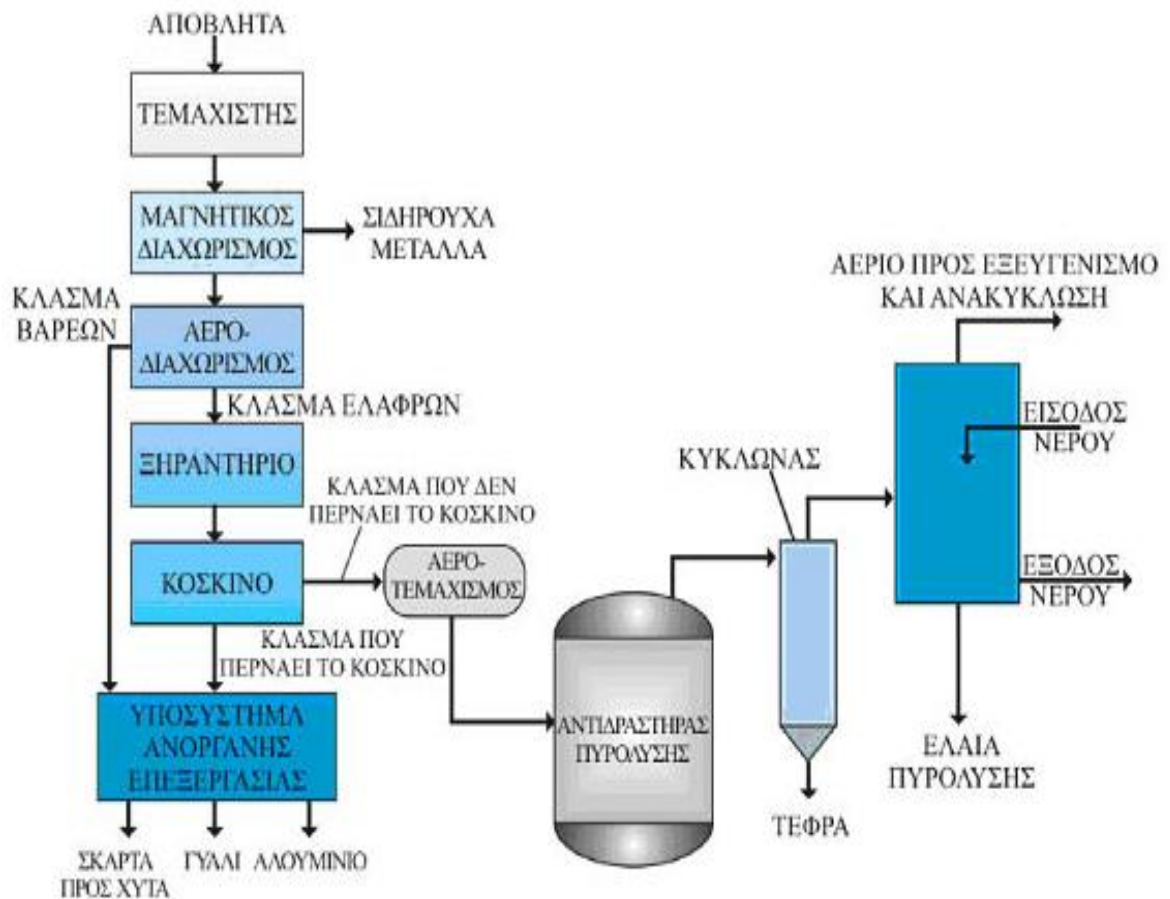
Η πυρόλυση ως θερμικής μέθοδος, βασίζεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οργανικές ουσίες είναι θερμικά ασταθείς και κατά τη θέρμανσή τους απουσία οξυγόνου διαχωρίζονται μέσω ενός συνδυασμού θερμικής διάσπασης και συμπύκνωσης σε αέρια, υγρά και στερεά κλάσματα. Η πυρολυτική διεργασία σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση είναι ισχυρά ενδόθερμη και για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Βασικές παράμετροι για την εφαρμογή της αποτελούν η σύσταση των στερεών αποβλήτων, η θερμογόνος δύναμή τους, η περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.

Κατά την πυρόλυση των στερεών αποβλήτων, τα προϊόντα που παράγονται είναι:

- **Αέρια:** Αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και διάφορα άλλα αέρια, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων
- **Υγρά:** Το υγρό κλάσμα, είναι ελαιώδες με υψηλή πυκνότητα και ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα (π.χ. οξικό οξύ), κετόνες (π.χ. ακετόνη), αλκοόλες (π.χ. μεθανόλη) καθώς και σύνθετους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Με περαιτέρω επεξεργασία το κλάσμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο.
- **Στερεά:** Το στερεό υπόλειμμα περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα και τυχόν αδρανή υλικά που υπάρχουν στα στερεά απόβλητα.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ένα διάγραμμα της διαδικασίας μιας τυπικής μονάδας πυρόλυσης. Σε γενικές γραμμές, η πυρόλυση ενδείκνυται για την επεξεργασία επεξεργασμένων ΑΣΑ (δευτερογενή καύσιμα) και λιγότερο για σύμμεικτα ΑΣΑ, καθώς η εφαρμογή της στην επεξεργασία ετερογενών μειγμάτων δεν έχει ακόμα ωριμάσει στην Ε.Ε. αν και υπάρχει σημαντικός αριθμός ερευνητικών και πιλοτικών προγραμμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο.

**Σχήμα 5:** Διεργασία Πυρόλυσης

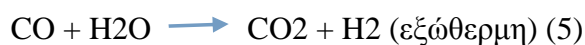


Πηγή: ΙΤΑ, Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων»

### 3.3.3. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση αποτελεί επίσης μια σχετικά νέα και μη ευρέως διαδεδομένη, στην Ευρώπη, μέθοδο θερμικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Ουσιαστικά περιλαμβάνει την μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 οC). Η αεριοποίηση έχει ομοιότητες με την πυρόλυση, όπως τη μετατροπή των απορριμμάτων σε αέρια, στερεά και υγρά καύσιμα, αλλά παρουσιάζει και βασική διαφορά κατά την εφαρμογή της, αφού η μεν πυρόλυση χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας για να ενεργοποιηθούν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης των απορριμμάτων, σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου η δε αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο, όπως για παράδειγμα ατμό, διοξείδιο του άνθρακα, αέρα ή οξυγόνο, για την επιπλέον μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα. Η ενέργεια που απαιτείται για την αντίδραση αεριοποίησης παράγεται με καύση μέρους του οργανικού υλικού στον αντιδραστήρα αεριοποίησης.

Μέσω της αεριοποίησης επιτυγχάνεται η παραγωγή καύσιμου αερίου πλούσιο σε H<sub>2</sub> και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο). Οι κύριες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι:



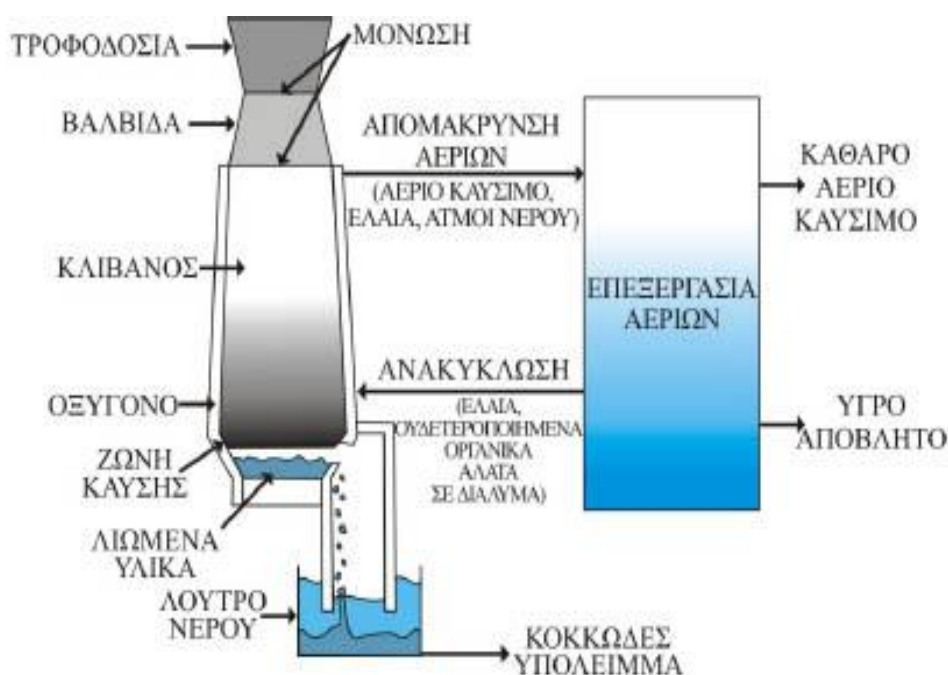
Η θερμότητα για τη διατήρηση της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω των ενδόθερμων αντιδράσεων. Οι βασικοί τύποι εγκαταστάσεων αεριοποίησης είναι:

- Ø Κάθετης σταθερής κλίνης
- Ø Οριζόντιας σταθερής κλίνης
- Ø Ρευστοποιημένης κλίνης
- Ø Πολλαπλών εστιών
- Ø Περιστρεφόμενου κλιβάνου

Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο 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 6:** Διεργασία Αεριοποίησης Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση-Επεξεργασία-Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη



Πηγή: Γιαδαράκος, Ε (2006), Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση –Επεξεργασία -Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη



### **3.3.4 Αεριοποίηση/Υαλοποίηση με την τεχνική πλάσματος**

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους.

Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου στήλης πλάσματος. Το τόξο αυτό σχηματίζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγώγιμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου μπορεί να υπερβεί τους 6.000°C. Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια ποικιλία χημικών διαδικασιών.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις έχει σαν αποτέλεσμα την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν/να συμβούν με βάση τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης της παραγράφου 3.3.1.

Εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η αεριοποίηση/υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια. Ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου να λάβει χώρα η καταστροφή των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονισμένη ατμόσφαιρα ή σε υψηλή θερμοκρασία. Παράλληλα, το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές, υψηλής πυκνότητας υαλώδες υλικό. Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι:

1. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μίγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.
2. Το υαλώδους μορφής, αδρανές υλικό/υπόλειμμα το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων).
3. Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.
4. Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση παρά πέρα επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

Η τεχνολογία πλάσματος δεν έχει εφαρμοστεί σε εμπορική κλίμακα στην Ε.Ε. αλλά παγκοσμίως υπάρχουν εγκαταστάσεις που την εφαρμόζουν για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων. Για παράδειγμα στην Ιαπωνία κοντά στις πόλεις Mihama and Mikata, λειτουργεί μονάδα πλάσματος για την επεξεργασία 20 tn/d αστικών στερεών αποβλήτων και 4 tn/d αστικής ιλύος. Πιλοτικά προγράμματα εφαρμόζονται παγκοσμίως, αλλά η πολυπλοκότητα της σύστασης των σύμμεικτων ΑΣΑ δεν έχει προς το παρόν επιτρέψει την εμπορική εφαρμογή της για την επεξεργασία αυτού του ρεύματος. Τα πιλοτικά προγράμματα αφορούν στην αξιοποίηση επεξεργασμένων ΑΣΑ (π.χ. RDF) και η κατασκευή και λειτουργία αντίστοιχων μονάδων σχεδιάζεται σε διάφορες περιοχές (Swindon, Wiltshire, St. Lucie County, Florida κ.α.) .

### 3.4 Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας, όπως υποδηλώνει και η ονομασία τους, μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε απόβλητα που επιδέχονται τέτοια επεξεργασία, ήτοι σε βιοαποδομήσιμα ή οργανικά απόβλητα. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνεται μια μεγάλη ποικιλία αγροτικών αποβλήτων και υπολειμμάτων (κοπριές, φυτικά υπολείμματα καλλιεργειών, απόβλητα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, ελαιοπυρήνα κλπ), πολλά στερεά απόβλητα και ιλύες από βιομηχανίες τροφίμων, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων (BAA). Το τελευταίο, υπόκειται περιορισμούς της Οδηγίας για την Υγειονομική Ταφή (99/31/ΕΕ) που επιβάλλουν τη σταδιακή εκτροπή του από τη διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α., από το 2010 έως το 2020 για την Ελλάδα. Όσον αφορά τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα, οι μονάδες βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να δεχθούν:

- Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή, το οποίο μετά από μια αερόβια φάση βιοσταθεροποίησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως «κομπόστ» και χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων και πολλές διεξόδους αξιοποίησης (π.χ. ως εδαφοβελτιωτικό)
- Ένα εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά κλάσμα, που προέρχεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής. Δεδομένου ότι η μηχανική διαλογή (δηλαδή οι μηχανικοί διαχωρισμοί με χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού όπως κόσκινα, μαγνήτες, κ.λ.π.), εφαρμόζεται σε σύμμεικτα απορρίμματα όπως αυτά έρχονται με τα απορριμματοφόρα, η ποιότητα εμπλουτισμένου αυτού κλάσματος και κατ' επέκταση του προϊόντος μετά τη βιολογική επεξεργασία, εξαρτάται από τις επιμέρους διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Σε κάθε περίπτωση όμως η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του κομπόστ που περιγράφηκε παραπάνω, γι' αυτό και συνήθως αναφέρεται ως υλικό «τύπου κομπόστ».

Η κομποστοποίηση οδηγεί στην παραγωγή ενός σταθεροποιημένου υλικού (κομπόστ υψηλής ποιότητας ή υλικό τύπου κομπόστ), η βιολογική ξήρανση στην παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου εμπλουτισμένου σε βιοαποδομήσιμα υλικά και υψηλής θερμογόνου δύναμης, ενώ η αναερόβια χώνευση στην παραγωγή ενέργειας

(βιοαέριο) και ενός σχετικά σταθεροποιημένου, υδαρούς υπολείμματος. Το υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης (digestate) μοιάζει με λάσπη και απαιτείται η αφαίρεση υγρασίας και περαιτέρω αερόβια σταθεροποίηση ώστε να μετατραπεί επίσης σε υλικό «τύπου κομπόστ» και να έχει ανάλογες χρήσεις.

#### **3.4.1. Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Κομποστοποίηση)**

Η κομποστοποίηση βασίζεται στη δράση μικροοργανισμών, οι οποίοι διασπούν τις οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο υλικό εισόδου. Το τελικό προϊόν είναι ένα σταθεροποιημένο στερεό υλικό το κομπόστ, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό στη γεωργία ή για άλλες χρήσεις. Παράλληλα παράγεται διοξείδιο του άνθρακα νερό και θερμότητα. Οι βιολογικές διεργασίες μπορούν να χωριστούν σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο της βιοαποδόμησης λαμβάνουν χώρα οι μικροβιολογικές δραστηριότητες που έχουν σαν αποτέλεσμα την αποδόμηση και την σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών και διαρκεί 2-8 εβδομάδες ανάλογα με τα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιούνται προς υποστήριξη των βιολογικών διεργασιών. Στο στάδιο της ωρίμανσης το υλικό που παράγεται στο πρώτο στάδιο αφήνεται να ωριμάσει για μεγάλο χρονικό διάστημα που ανέρχεται σε 4-12 εβδομάδες με τελικό προϊόν το ώριμο κομπόστ. Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρείται περαιτέρω σταθεροποίηση του αρχικού κομπόστ.

Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την εφαρμογή και αποτελεσματικότητα της μεθόδου είναι:

- σύσταση υποστρώματος
- μέγεθος των συστατικών του υποστρώματος
- καθαρότητα του υποστρώματος (ύπαρξη προσμίξεων)
- υγρασία του υποστρώματος
- pH του υποστρώματος
- θερμοκρασία του υποστρώματος
- αερισμός του υποστρώματος

### **3.4.2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία–Αναερόβια ζύμωση**

Κατά την αναερόβια βιολογική επεξεργασία (αναερόβια ζύμωση), πραγματοποιείται αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή σταθεροποιημένου οργανικού υλικού και αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας π.χ. σε συστήματα θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίησή τους.

Η επεξεργασία σε μονάδες αναερόβιας ζύμωσης περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια, τα οποία είναι :

- προεπεξεργασία του ρεύματος των αποβλήτων
- η αναερόβια χώνευση στον αντιδραστήρα
- η ανάκτηση του βιοαερίου
- η επεξεργασία των υπολειμμάτων της ζύμωσης

Η τεχνολογία της αναερόβιας ζύμωσης αναπτύχθηκε αρχικά για την επεξεργασία ρευστών κτηνοτροφικών και αγροτικών αποβλήτων και της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των εγκαταστάσεων που επεξεργάζονται το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αστικών απορριμμάτων.

### **3.4.3 Βιολογική Ξήρανση**

Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Ειδικότερα στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατά επέκταση του όγκου τους, στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός

ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Οι ξηραντήρες είναι συνήθως είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes) τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων.

### **3.5 Υγειονομική ταφή**

Η Κοινοτική περιβαλλοντική πολιτική εστιάζει στο σχεδιασμό, εγκατάσταση και λειτουργία χώρων ελεγχόμενης απόθεσης των στερεών αποβλήτων – απορριμμάτων, μέσω εφαρμογής της μεθόδου της υγειονομικής ταφής. Όλες οι άλλες μέθοδοι διαχείρισης των στερεών αποβλήτων (θερμικές μέθοδοι, μηχανική διαλογή, βιολογικές μέθοδοι) οδηγούν ανάμεσα σε άλλα, στην παραγωγή καταλοίπων για τα οποία είναι απαραίτητη η τελική διάθεση. Έτσι η υγειονομική ταφή δεν είναι απλά μια εναλλακτική τεχνική διάθεσης στερεών αποβλήτων, αλλά αποτελεί αναπόσπαστο στάδιο της συνολικής διαχείρισής τους. Ένας σύγχρονος χώρος διάθεσης θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί με γνώμονα τη διασφάλιση συνθηκών ευστάθειας, να διαθέτει σύστημα αντιπυρικής προστασίας, δίκτυο απορροής όμβριων υδάτων και σύστημα διαχείρισης των στραγγισμάτων, σύστημα μόνωσης και στεγανοποίησης για την αποφυγή ρύπανσης των υπογείων υδάτων, σύστημα αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου και σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης του Χ.Υ.Τ.Α.

## 4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΡΙΜΜΑΤΩΝ

### 4.1. Παραγωγή Βιοαερίου

#### 4.1.1. Γενικά

Η αξιοποίηση της ενέργειας των αποβλήτων μπορεί να γίνει με την παραγωγή βιοαερίου. Οι μονάδες που λειτουργούν σήμερα εκμεταλλεύονται συνήθως ένα μίγμα αποτελούμενο από απόβλητα γεωργοκτηνοτροφικών μονάδων σε ποσοστό περίπου 80% και σε ποσοστό 20% ειδικά βιομηχανικά οργανικά απόβλητα και οργανικά αστικά στερεά απορρίμματα ή και λύματα βιολογικών καθαρισμών. Εκτός από το βιοαέριο παράγεται και οργανικό λίπασμα.

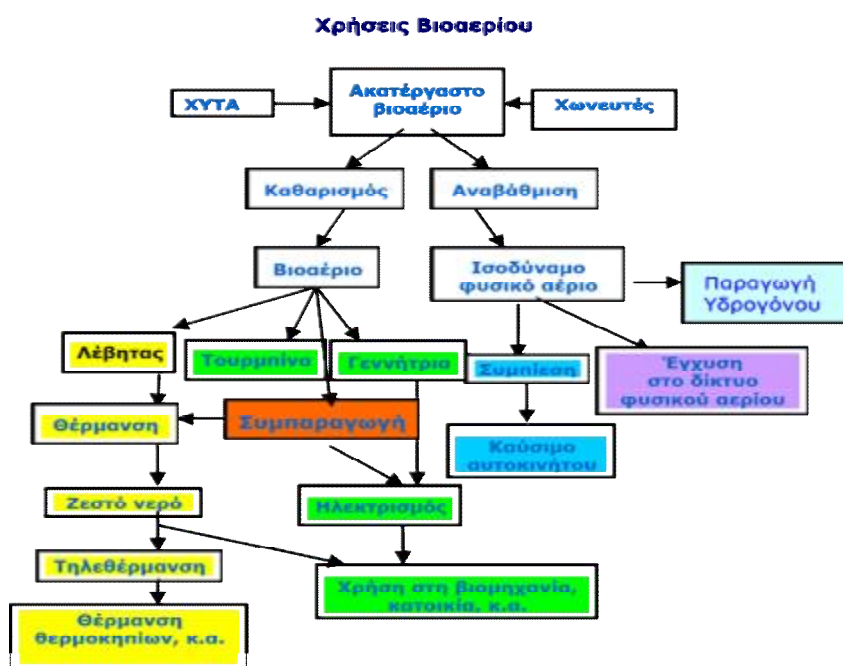
Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) 30-45%. Επίσης περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο, η δε θερμογόνος δύναμή του κυμαίνεται από 20 έως 25 MJ/m<sup>3</sup>.

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Το βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, μετά την διαδικασία του καθαρισμού, δηλαδή την απομάκρυνση των σωματιδίων,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και την αναβάθμισή του, δηλαδή την απομάκρυνση  $\text{CO}_2$  και προσθήκη προπανίου. Χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο μεταφορών απαντάται στη Σουηδία, Ελβετία, Γαλλία και Γερμανία ενώ στη Σουηδία και στη Γερμανία, το βιοαέριο διοχετεύεται και στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιο-υδρογόνου (fuel cell). Στο σχήμα 7 που ακολουθεί φαίνονται όλες οι χρήσεις του βιοαερίου.

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών κυρίως αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, βουστασίων, απόβλητα σφαγείων καθώς και άλλων αγροτοβιομηχανικών και αστικών οργανικών απορριμμάτων.

Το βιοαέριο παράγεται επίσης και από την αεριοποίηση λιγνοκυτταρινούχων πρώτων υλών.



**Σχήμα 7:** Χρήσεις / εφαρμογές του βιοαερίου

Μετά την αναερόβια χώνευση ή την αεριοποίηση, το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό και αναβάθμιση, το παραγόμενο αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο. Το βιοαέριο και το βιομεθάνιο μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας υποκαθιστώντας ρυπογόνα η εισαγόμενα καύσιμα και ταυτόχρονα επιλύουν το πρόβλημα διαχείρισης των αποβλήτων και απορριμμάτων.

Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι κυρίως οι εξής: απορρόφηση νερού/ Pressure Swing Absorption (PSA), χημική απορρόφηση, απορρόφηση με διαλύτη διμεθυλαιθέρων πολυαιθυλενικής γλυκόλης (Selexol) και διαχωρισμός με μεμβράνες. Σε στάδιο ανάπτυξης βρίσκεται η κρυογονική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πίεσης 80 bar και ψύξης  $-45^{\circ}\text{C}$ . Στις συνθήκες αυτές το  $\text{CO}_2$  συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή σε χαμηλότερη πίεση και υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το  $\text{CH}_4$  και έτσι μπορεί να διαχωριστεί





**Εικόνα 7:** Μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου στη Σουηδία (Πηγή: Owe Jonsson, Swedish Gas Center)

Μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου εκτός από την αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού του βιοαερίου συμμετέχει στη συνολική επεξεργασία των απορριμμάτων παράγοντας βιοαέριο και οργανικό λίπασμα. Ο ελληνικός χώρος παρουσιάζει αξιόλογες προοπτικές για την ανάπτυξη παρόμοιων μονάδων βιοαερίου.

#### 4.1.2. Μηχανική και βιολογική επεξεργασία αποβλήτων

Τα παραγόμενα προϊόντα από την επεξεργασία των αποβλήτων σε εγκαταστάσεις μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

**Πίνακας 5:** Προϊόντα μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων

| Τεχνολογία  | Προϊόντα   |
|---|--|
| Μηχανική επεξεργασία<br>+ αερόβια<br>κομποστοποίηση                       | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ανακυκλώσιμα ή/και RDF</li><li>• Βιοσταθεροποιημένο υλικό για κομπόστ, κάλυψη Χ.Υ.Τ.Α. ή αποκατάσταση εδαφών</li></ul> |
| Μηχανική επεξεργασία<br>+ αναερόβια χώνευση                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ανακυκλώσιμα ή/και RDF</li><li>• Βιοαέριο για παραγωγή ενέργειας</li><li>• Βιοσταθεροποιημένο απόρριμμα</li></ul>      |
| Μηχανική επεξεργασία<br>+ αναερόβια χώνευση<br>+αερόβια<br>κομποστοποίηση | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ανακυκλώσιμα ή/και RDF</li><li>• Βιοαέριο για παραγωγή ενέργειας</li><li>• Υλικό για αποκατάσταση εδαφών</li></ul>     |
| Μηχανική επεξεργασία<br>+ βιολογική ξήρανση                               | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ανακυκλώσιμα (μέταλλα)</li><li>• SRF</li></ul>   |

Οι συνδυασμένες μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής επεξεργασίας (ΜΒΕ) έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας τόσο σύμμεικτων αστικών στερεών αποβλήτων, όσο και επιλεγμένων ρευμάτων για παραγωγή ανακυκλώσιμων υλικών και ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης να δώσουν ως τελικό προϊόν RDF,SRF, compost. Τα τρία στάδια των ΜΒΕ είναι:

- Διαχωρισμός υλικών-Μηχανικός διαχωρισμός υλικών
- Βιολογική επεξεργασία-Σταθεροποίηση, μείωση του όγκου των αποβλήτων
- Παραγωγή προϊόντων-Υλικά επικάλυψης ΧΥΤΑ, SRF, ανακυκλώσιμα

Η βιολογική επεξεργασία όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορεί να είναι αερόβια και αναερόβια.

Στην αγορά υπάρχει σημαντικός αριθμός μονάδων βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων οι οποίες συνήθως συνδυάζουν τη βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων με τη μηχανική επεξεργασία (μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας - MBE). Από αυτή την άποψη, τα συστήματα MBE έχουν αναπτυχθεί περισσότερο από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας, όπως είναι η πυρόλυση, η αεριοποίηση, μέθοδοι που βασίζονται στο πλάσμα και άλλα καινοτόμα συστήματα, τα οποία, όπως και η MBE, πλασάρονται στην αγορά ως νέες προσεγγίσεις στην επεξεργασία των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, διεθνώς λειτουργούν συνολικά 80 μονάδες MBE, συνολικής δυναμικότητας 8.500.000 τόνων ετησίως, ενώ στο άμεσο μέλλον αναμένεται η θέση σε λειτουργία ακόμη 43 μονάδων, επιπλέον δυναμικότητας της τάξης των 4.500.00 τόνων ετησίως.

Αναφορικά με τις επιμέρους μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας που εφαρμόζονται, η αερόβια επεξεργασία – κομποστοποίηση είναι η πλέον εφαρμοζόμενη πρακτική, όμως η εφαρμογή των μεθόδων τόσο της αναερόβιας επεξεργασίας όσο και της βιολογικής ξήρανσης αναπτύσσεται ραγδαία. Σχετικά με την αναερόβια χώνευση, στην Ευρώπη λειτουργούν 26 μονάδες («υγρής» ή «ξηρής» μεθόδου) στην Ισπανία, τη Γερμανία, το Βέλγιο, τη Γαλλία, την Ιταλία, την Πολωνία και την Αυστρία και από αυτές περίπου οι 10 είναι μονάδες «ξηρής» αναερόβιας χώνευσης.

Η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης για την παραγωγή SRF εφαρμόζεται ήδη, με μεγάλη επιτυχία σε συνολικά 13 εγκαταστάσεις στην Ιταλία, τη Γερμανία και το Βέλγιο. Επιπρόσθετα, 4 ακόμη μονάδες προετοιμάζονται στην Αγγλία. (Πηγή: ΕΣΔΑΚ, Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων, Α. Μαυρόπουλος, 2008).

**Εικόνα 8:** Εργοστάσια MBE (ΕΜΑΚ Άνω Λιόσια, AD Haase Lubeck, Germany, Herhoff Βιολογική Επεξεργασία, Osnabrueck, Germany)

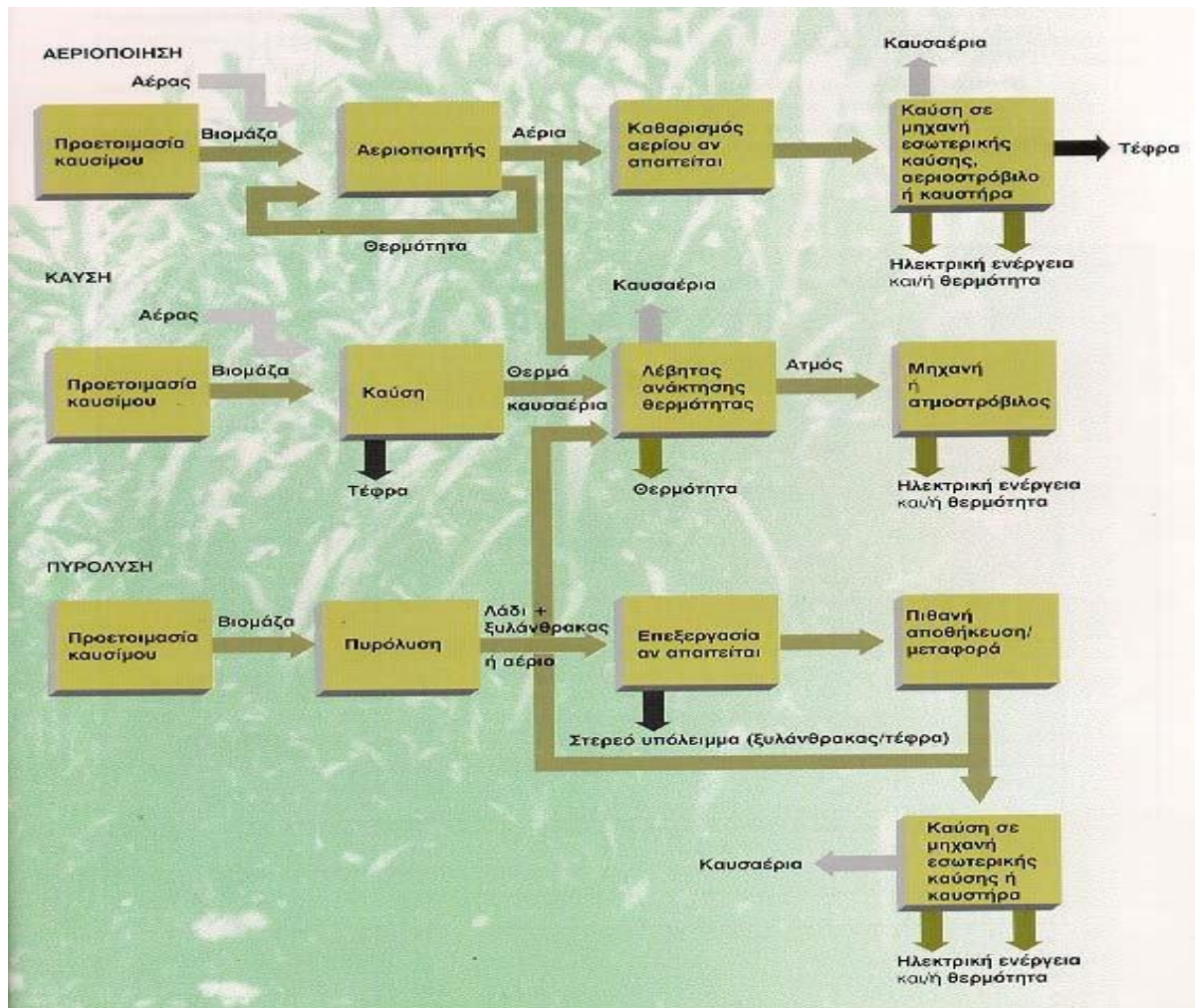


#### **4.1.3. Ενεργειακή Αξιοποίηση της Βιομάζας-Εφαρμογές**

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λ.π.) είτε με απ' ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών όπως χαρακτηριστικά φαίνονται στο Σχήμα 8 που ακολουθεί.

Επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής-μεταποίησης- μεταφοράς-αποθήκευσης, επιβάλλεται η αξιοποίησή της να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής της. Έτσι, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστατα σε μια πληθώρα εφαρμογών

Σχήμα 8. Υπάρχουσες τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας



## 4.2. Παραγωγή υγρών καυσίμων από βιομάζα

Σύμφωνα με τα διάφορα σενάρια, τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρελαίου, άνθρακα κ.α.) πλησιάζουν στην εξάντλησή τους, ενώ και οι διαθέσιμες ποσότητες των πυρηνικών καυσίμων είναι οπωσδήποτε περιορισμένες, πέραν του ότι η χρήση τους εγκυμονεί τεράστιους κινδύνους. Στο ενδιάμεσο διάστημα, μέχρι δηλαδή να εξαντληθούν τα γνωστά αποθέματα καυσίμων υλών, προβλέπεται ο διπλασιασμός των κατοίκων του πλανήτη και ο πολλαπλασιασμός των ενεργειακών τους αναγκών.

Τα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων, στερεών, υγρών και αέριων, που προήλθαν από το φυτικό κόσμο, ο οποίος χρειάστηκε πολλές χιλιετίες για να δημιουργηθεί με τη φωτοσύνθεση, εξορύσσονται με ξέφρενους ρυθμούς και καίγονται. Το αποτέλεσμα είναι, μέσα σε διάστημα δύο μόνο αιώνων, να κοντεύει να εξαντληθεί το προϊόν του μακροχρόνιου έργου της φύσης, καθώς επίσης να έχει ήδη επιβαρυνθεί σοβαρά το περιβάλλον. Το τελευταίο αυτό γεγονός εγκυμονεί τεράστιους οικολογικούς κινδύνους για τον πλανήτη (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή κ.λ.π.).

Επιδίωξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) ήταν αρχικά οι εκπομπές CO<sub>2</sub> των χωρών μελών της να έχουν σταθεροποιηθεί το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990, με περαιτέρω στόχο τη μείωσή τους μέχρι το 2010. Επίσης εφαρμόστηκε το σχέδιο για την επιβολή φορολογίας CO<sub>2</sub>, η οποία είναι ανάλογη των εκπομπών ρύπων που προκαλεί η κατανάλωση ενέργειας από το βιομηχανικό τομέα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες δεν εμφανίζουν τον κίνδυνο εξάντλησής τους και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, προβάλλουν σήμερα ως η μόνη ελπίδα, η οποία διαγράφεται στο ζοφερό ενεργειακό και περιβαλλοντικό ορίζοντα του πλανήτη.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, η συμφωνία της GATT και η απορρέουσα από αυτήν νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.) της Ε.Ε., θα δημιουργήσουν σοβαρότατα προβλήματα διάθεσης των αγροτικών προϊόντων που προορίζονται για διατροφή και παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, 150 εκατομμύρια στρέμματα γόνιμων και άλλα τόσα στρέμματα περιθωριακών εκτάσεων είναι πιθανό να περιέλθουν σε αγρανάπαυση, εκτός εάν οι εκτάσεις αυτές

χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η Ε.Ε. δαπανά τεράστια ποσά στην έρευνα για την αξιοποίηση της βιομάζας και την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων στις περιθωριοποιούμενες εκτάσεις.

#### 4.2.1 Βιοχημική μετατροπή βιομάζας

Η παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική διεργασία όπως φαίνεται σχηματικά στο Σχ.9, επικεντρώνεται κυρίως, στην παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος) με ζύμωση σακχάρων, αμύλου, κυτταρινών και ημικυτταρινών που προέρχονται από διάφορα είδη βιομάζας (αραβόσιτος, σόργο το σακχαρούχο κ.ά.). Η τεχνολογία ζύμωσης των σακχάρων είναι σήμερα γνωστή και ανεπτυγμένη, ενώ εκείνη της ζύμωσης των κυτταρινών και ημικυτταρινών βρίσκεται υπό εξέλιξη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες οχημάτων, ως έχει ή σε πρόσμιξη με βενζίνη, ως καύσιμο κίνησης.

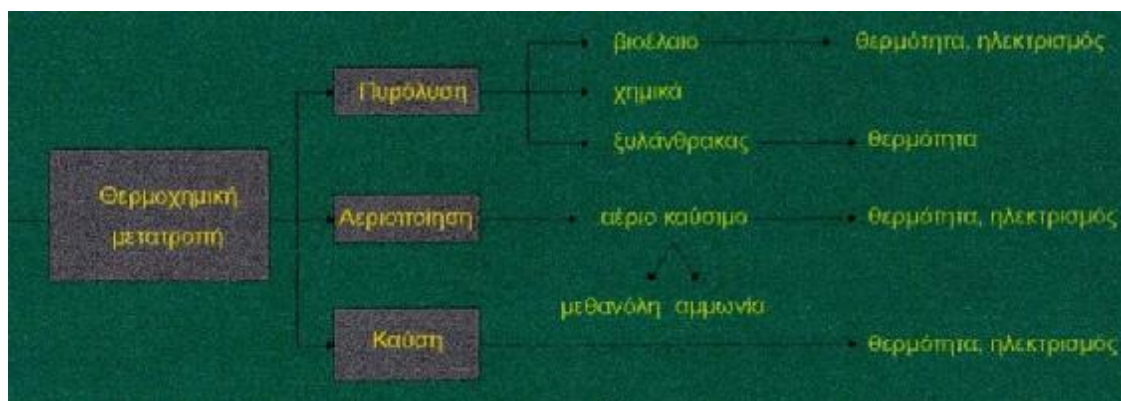


Σχήμα 9. Βιοχημική μετατροπή της βιομάζας

Παρά το γεγονός ότι, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων (π.χ. αντικατάσταση αεροπορικής βενζίνης), το κόστος της βιοαιθανόλης είναι υψηλότερο εκείνου της βενζίνης, η χρήση της ως καύσιμο κίνησης αυξάνει συνεχώς ανά τον κόσμο, με προεξάρχουσες τη Βραζιλία και τις ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι αφ' ενός η βιοαιθανόλη είναι καθαρότερο καύσιμο από περιβαλλοντικής πλευράς και αφ' ετέρου δίνει διέξοδο στα γεωργικά προβλήματα. Για τους λόγους αυτούς η παραγωγή και χρήση της βιοαιθανόλης παρουσιάζουν εξαιρετικά ευνοϊκές προοπτικές για το μέλλον.

#### 4.2.2. Θερμοχημική μετατροπή βιομάζας

Η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας (Σχ. 10) οδηγεί είτε στην απ'ευθείας παραγωγή ενέργειας (καύση), είτε στην παραγωγή καυσίμου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα. Η τεχνολογία της **αστραπιαίας πυρόλυσης** αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας. Κατ' αυτήν, τα ογκώδη δασικά και αγροτικά υπολείμματα, αφού ψιλοτεμαχισθούν, μετατρέπονται, με τη βοήθεια ειδικού αντιδραστήρα, σε υγρό καύσιμο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, το βιοέλαιο.



Σχήμα 10. Θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας

Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου (έχει λίγο μικρότερη από τη μισή θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου) σε εφαρμογές θέρμανσης (λέβητες, φούρνους κ.λ.π.) αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (μηχανές εσωτερικής καύσης κ.ά.). Η αστραπιαία πυρόλυση της βιομάζας αποτελεί την οικονομικότερη διεργασία ηλεκτροπαραγωγής, ιδίως στην περιοχή μικρής κλίμακας ισχύος (<5MWe).

Το ΚΑΠΕ, σε συνεργασία με διεθνώς αναγνωρισμένα Πανεπιστήμια και Εταιρείες Παραγωγής Ηλεκτρικού Ρεύματος, αναπτύσσει από το 1991 μία πρότυπη πιλοτική μονάδα αστραπιαίας πυρόλυσης, δυναμικότητας 10 kg/h. Εκτιμάται ότι, σύντομα, θα καταστεί δυνατή (δηλ. Οικονομικά συμφέρουσα) η μετάβαση από τις πιλοτικές σε επιδεικτικές μονάδες πυρόλυσης βιομάζας μεγαλύτερης δυναμικότητας.



Με την **αεριοποίηση** παράγεται αέριο καύσιμο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καυστήρες αερίου για την παραγωγή ενέργειας. Οι σχετικές τεχνολογίες όμως βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο και θα απαιτηθεί σημαντική περαιτέρω προσπάθεια προκειμένου να μπορέσουν τα πιλοτικά προγράμματα να φτάσουν σε σημείο να είναι οικονομικά συμφέρουσα η εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα.

## 5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

### 5.1 Εφαρμογές στη Ε.Ε

Υπάρχουν σήμερα περισσότερες από 3000 μονάδες βιοαερίου που λειτουργούν σε εμπορική κλίμακα στις χώρες της ΕΕ-25. Η συνολική παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε σημαντικά την τελευταία τριετία, από 4 εκ. TΠΠ το 2004, σε 4,9 εκ TΠΠ το 2005 και 5,35 εκ TΠΠ (62.200 GWh) το 2006. Αντίστοιχα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο το 2006, αναμένεται σε 17.272 GWh. Το συνολικό δυναμικό σε ευρωπαϊκό επίπεδο για το 2010 προσδιορίζεται σε 8,6 εκ TΠΠ.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Σουηδίας. Σύμφωνα με στοιχεία του Swedish Gas Center, το 2007 λειτουργούν 233 μονάδες, με συνολική παραγωγή βιοαερίου 1,3 TWh/y. Από τις ανωτέρω μονάδες 139 είναι βιολογικοί καθαρισμοί, 70 ΧΥΤΑ, 13 κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης, με συνολική παραγωγή βιοαερίου 0.56 TWh/y, 0.46 TWh/y και 0,16 TWh/y αντιστοίχως. Επίσης υπάρχουν 31 μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου, 63 δημόσιοι σταθμοί διανομής βιοαερίου, 18 σταθμοί διανομής βιοαερίου ειδικά για λεωφορεία (slow filling bus), και 5298 οχήματα που κινούνται με μεθάνιο, εκ των οποίων 4519 επιβατικά, 225 φορτηγά και 554 λεωφορεία.

Το σύνολο των πωλήσεων αερίου στη Σουηδία ανέρχεται σε 45.000 kNm<sup>3</sup>, εκ των οποίων το 54% (24.300 kNm<sup>3</sup>) αφορά βιοαέριο και το υπόλοιπο αφορά το φυσικό αέριο. Το κόστος παραγωγής βιοαερίου στην Σουηδία είναι 0,17 - 0,50€/m<sup>3</sup>. Η τιμή αγοράς του αναβαθμισμένου βιοαερίου και του φυσικού αερίου ανέρχεται σε 0,70 - 0,90€/m<sup>3</sup>. Οι τιμές πετρελαίου και βενζίνης αντίστοιχα ανέρχονται σε 1,1€/l και 1,2 €/l. Το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε μονάδες των 200 - 300 m<sup>3</sup>/h είναι 0,01 - 0,015 €/kWh αναβαθμισμένου βιοαερίου.

Τα οχήματα που κινούνται με βιοαέριο στη Σουηδία, έχουν δυνατότητα ελεύθερης στάθμευσης σε πολλές πόλεις, απαλλάσσονται των τελών κυκλοφορίας και των διοδίων στην πόλη της Στοκχόλμης, ακόμη έχουν ετήσια φοροαπαλλαγή €450 αν είναι επαγγελματικά οχήματα, ενώ τα ταξί κινούνται σε ειδικές λωρίδες. Επίσης μείωση έως

40% φόρου σε εταιρείες που χρησιμοποιούν οχήματα που κινούνται με βιοαέριο. Τέλος δεν υπάρχει φορολογία στο βιοαέριο παρά μόνο ΦΠΑ.

Τα τελευταία χρόνια οι τάσεις ανάπτυξης του βιοαερίου κινούνται προς την κατεύθυνση δημιουργίας κεντρικών μονάδων συνδυασμένης χώνευσης αποβλήτων στη Δανία. την ανάπτυξη μονάδων μικρής κλίμακας αγροτο –κτηνοτροφικών στην Γερμανία και τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου για μεταφορές ή την διοχέτευση στο δίκτυο του φυσικού αερίου στην Σουηδία, Ελβετία, Γερμανία και Αυστρία.

## 5.2 Εφαρμογές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα την δεκαετία του '80 έγιναν πολλές προσπάθειες για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου παραγόμενου από επεξεργασία ζωικών αποβλήτων και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών - κυρίως αποβλήτων ελαιουργείων. Τα περισσότερα από αυτά τα έργα είχαν χαρακτήρα επιδεικτικό και μετά τον αρχικό ενθουσιασμό και την ασφάλεια της επιστημονικής υποστήριξης, οδηγήθηκαν σε αχρηστία. Κύριες αιτίες για αυτό ήταν η έλλειψη πληροφόρησης, κατάλληλης υποδομής, κρατικού ενδιαφέροντος και οικονομικών κινήτρων.

Σήμερα βέβαια η εξέλιξη:

α) του θεσμικού πλαισίου και η εναρμόνιση του με την κοινοτική νομοθεσία, ιδιαίτερα με τον κανονισμό (ΕΚ) 1774/2002 (Άρθρο 15), για την έγκριση μονάδων παραγωγής βιοαερίου και μονάδων λιπασματοποίησης

β) των οικονομικών εργαλείων, με το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα του ΚΠΣ "Ανταγωνιστικότητα", το νέο Αναπτυξιακό Νόμο 2601, τη χρηματοδότηση της ΕΕ για προγράμματα ΑΠΕ, όπως «Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη» (2007-2013), το Έβδομο Πρόγραμμα Πλαίσιο για την έρευνα (2007-2013), το σύστημα τιμολόγησης για την ηλεκτροπαραγωγή ΑΠΕ σύμφωνα με τον Ν.3468/2006 και

γ) των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών, όπως η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για το περιβάλλον και η επερχόμενη απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς (ως γνωστόν από την 1/1/2005 σύμφωνα με τις συμβατικές της υποχρεώσεις η Ελλάδα πρέπει να εξασφαλίσει στους εμπορικούς καταναλωτές τη δυνατότητα επιλογής για την αγορά ηλεκτρικού ρεύματος εκτός της ΔΕΗ και άλλων παραγωγών και από τον Μάρτιο του 2007 πρέπει να έχει εξασφαλίσει εναλλακτικούς προμηθευτές

και για τον οικιακό καταναλωτή), έχουν αλλάξει σημαντικά τα δεδομένα έτσι ώστε το μέλλον να εμφανίζεται ευόδιο για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου.

Ένας αριθμός έργων βιοαερίου έχουν ήδη συμπεριληφθεί σε εθνικά προγράμματα για την ενέργεια. Στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων λειτουργεί μία σημαντική επένδυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε ΜΕΚ, εγκατεστημένης ισχύος 23,5 ΜW<sub>e</sub>. Επιπλέον, υπάρχει ήδη εγκατεστημένο αντίστοιχο έργο της ΕΥΔΑΠ στην Ψυττάλεια για την ενεργειακή αξιοποίηση της παραγόμενης ύλης από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, με συμπαραγωγή, εγκατεστημένης ισχύος 7,5 ΜW<sub>e</sub>.

Τα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που βρίσκονται σε λειτουργία στον Ελληνικό χώρο έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 36 ΜW περίπου.

### **5.3. Προοπτικές βιοαερίου**

Εκτός από την παραγωγή του βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και την ενεργειακή του αξιοποίηση για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, ως καυσίμου μεταφορών, και τη διοχέτευσή του στο δίκτυο του φυσικού αερίου, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη κινητικότητα σε θέματα όπως:

- Ανάπτυξη της τεχνολογίας αεριοποίησης για παραγωγή συνθετικού αερίου (Co-H<sub>2</sub>) και BioSNG (Bio-synthetic Natural gas), από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες.
- Ανάπτυξη εξειδικευμένης τεχνολογίας για την κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία νέων χωνευτών (digesters)
- Αυτοματοποίηση της ολοκληρωμένης αλυσίδας παραγωγής ενέργειας από την πρώτη ύλη ως το τελικό προϊόν.
- Ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διανομής αερίου και θερμότητας.
- Βελτίωση των μεθόδων αναβάθμισης του βιοαερίου και ενίσχυση της διείσδυσής του στο δίκτυο του φυσικού αερίου και ως καυσίμου μεταφορών στις αστικές συγκοινωνίες και τα γεωργικά μηχανήματα.
- Παραγωγή υδρογόνου από αναβαθμισμένο βιοαέριο και χρήση του σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) και μικρο-αεριοστροβίλους (micro gas turbine) για παραγωγή ενέργειας.

- Παραγωγή βιοαερίου από ενεργειακά φυτά με την διαδικασία της υγρής και ξηρής ζύμωσης που γίνεται κυρίως στην Γερμανία.
- Βελτίωση των μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας καρκίνου (cancer unit risk factors) από τις εκπομπές καυσαερίων οχημάτων που κινούνται με βιοαέριο

## **5.4. Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος παραγωγής ενέργειας**

### **5.4.1 Η ιδέα της Κεντρικής Μονάδας Συνδυασμένης Χώνευσης**

Καλές προοπτικές για την ελληνική πραγματικότητα φαίνεται να εμφανίζει το Δανικό πρότυπο κεντρικών μονάδων βιοαερίου (centralized biogas plants). Συγκεκριμένα, στη Δανία διαχειρίζονται περίπου 1.325.000 τόνους οργανικών αποβλήτων ετησίως, σε 20 κεντρικές μονάδες, με ετήσια παραγωγή βιοαερίου 50.000.000 m<sup>3</sup>, το οποίο συνεισφέρει στο ενεργειακό σύστημα της Δανίας περίπου 1 PJ συνολική ενέργεια.

Η ιδέα της κεντρικής μονάδας συνδυασμένης χώνευσης βασίζεται στην παραγωγή βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (AX), χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα οργανικών αποβλήτων που αποτελούνται κατά 80% από κτηνοτροφικά απόβλητα και κατά 20% από αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, αστικά οργανικά απορρίμματα και λύματα βιολογικών καθαρισμών. Η κεντρική μονάδα εγκαθίσταται σε περιοχές με υψηλό δυναμικό αποβλήτων με σκοπό τη μείωση του κόστους μεταφοράς τους. Σημαντικό είναι το να ληφθεί μέριμνα ώστε το τελικό προϊόν να είναι υψηλής ποιότητας και ασφαλές για ανακύκλωση ως λίπασμα. Για το σκοπό αυτό, πριν τη μεταφορά τους στις δεξαμενές, για το κάθε είδος από τα απόβλητα συγκεντρώνονται στοιχεία που αφορούν την:

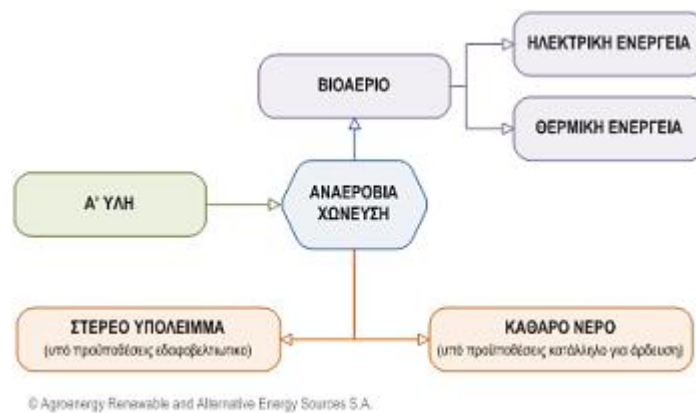
- α) προέλευσή τους (στοιχεία της εταιρείας που τα παρήγαγε, πρώτες ύλες και τρόποι κατεργασίας, διαθέσιμες ποσότητες κλπ),
- β) περιεκτικότητά τους σε μακρο- και μικρο-στοιχεία, βαρέα μέταλλα, pH, ξηρή ουσία, κλπ,
- γ) οργανοληπτικές ιδιότητες, όπως χρώμα, υφή, οσμή, κλπ και
- δ) πιθανά παθογόνα για την κατεργασία ή την τελική χρήση ως λίπασμα.

Τα προϊόντα της ΑΧ είναι:

α) το βιοαέριο, το οποίο οδηγείται σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο και αφού υποστεί διαδικασίες καθαρισμού και αφύγρανσης τροφοδοτεί μηχανές εσωτερικής καύσης ή αεριοστρόβιλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και

β) το χωνευμένο υπόλειμμα που με κατάλληλες διαδικασίες διαχωρισμού και εξάτμισης μπορεί να μετατραπεί σε στερεό και υγρό λίπασμα.

Στο Σχήμα 11 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η διαδικασία της ενεργειακής αξιοποίησης της αναερόβιας χώνευσης



**Σχήμα 11:** Λειτουργία – ενεργειακή αξιοποίηση αναερόβιας χώνευσης

Η κεντρική μονάδα συνδυασμένης χώνευσης αντιπροσωπεύει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης κτηνοτροφικών και οργανικών αποβλήτων με παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (βιοαέριο) και με σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη όπως:

- Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ
- Μείωση των οργανικών αποβλήτων
- Μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
- Μείωση παθογόνων οργανισμών
- Αυξημένη απόδοση λίπανσης
- Μείωση οσμών και οπτικής ρύπανσης

- Εξοικονόμηση χρημάτων για τους αγρότες

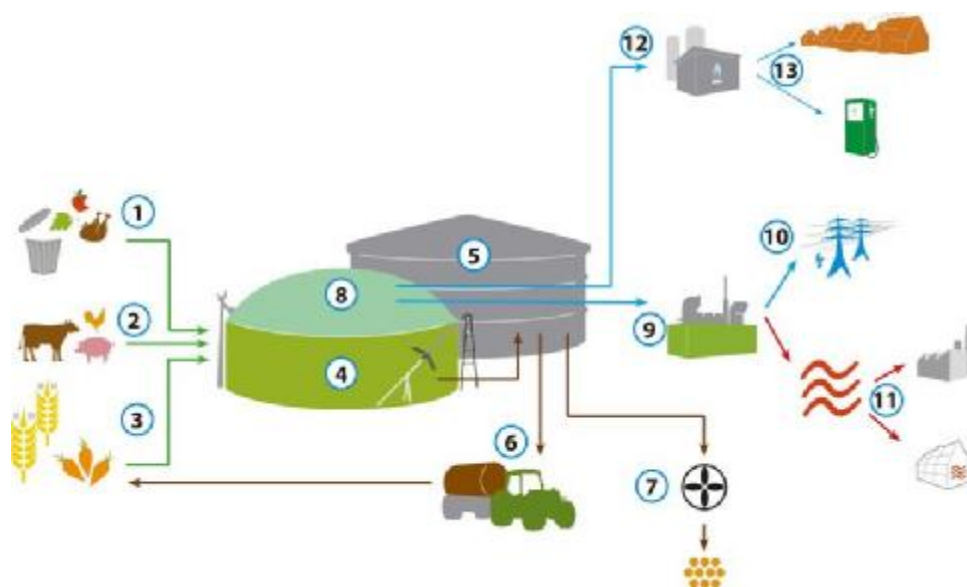
Σύμφωνα με τη λογική αυτή και με δεδομένο το γεγονός ότι στην Ελλάδα υπάρχουν ετησίως 17.000.000 τόνοι οργανικών αποβλήτων, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν 10 μονάδες, σε θέσεις όπου έχει διαπιστωθεί υψηλό δυναμικό οργανικών αποβλήτων, αλλά και έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα από την ανεξέλεγκτη διάθεσή τους.

## 5.5. Διαδικασία ενεργειακής αξιοποίησης

Μία μονάδα παραγωγής ενέργειας (συμπαράγωγή ηλεκτρικής και θερμικής) μέσω της καύσης βιοαερίου που παράγεται με τη συνδυασμένη αναερόβια χώνευση με αξιοποίηση της βιομάζας, περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια :

- Παραλαβή-αποθήκευση – ανάμιξη αποβλήτων
- Αναερόβια χώνευση της βιομάζας και παραγωγή βιοαερίου
- Καύση βιοαερίου και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας (υβριδικό σύστημα)
- Επεξεργασία και διαχείριση του υπολείμματος της οργανικής ύλης

Στο Σχήμα 12 που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά και στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία για την παραγωγή βιοαερίου και στη συνέχεια η χρήση του για την παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 12: Διαδικασία παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας

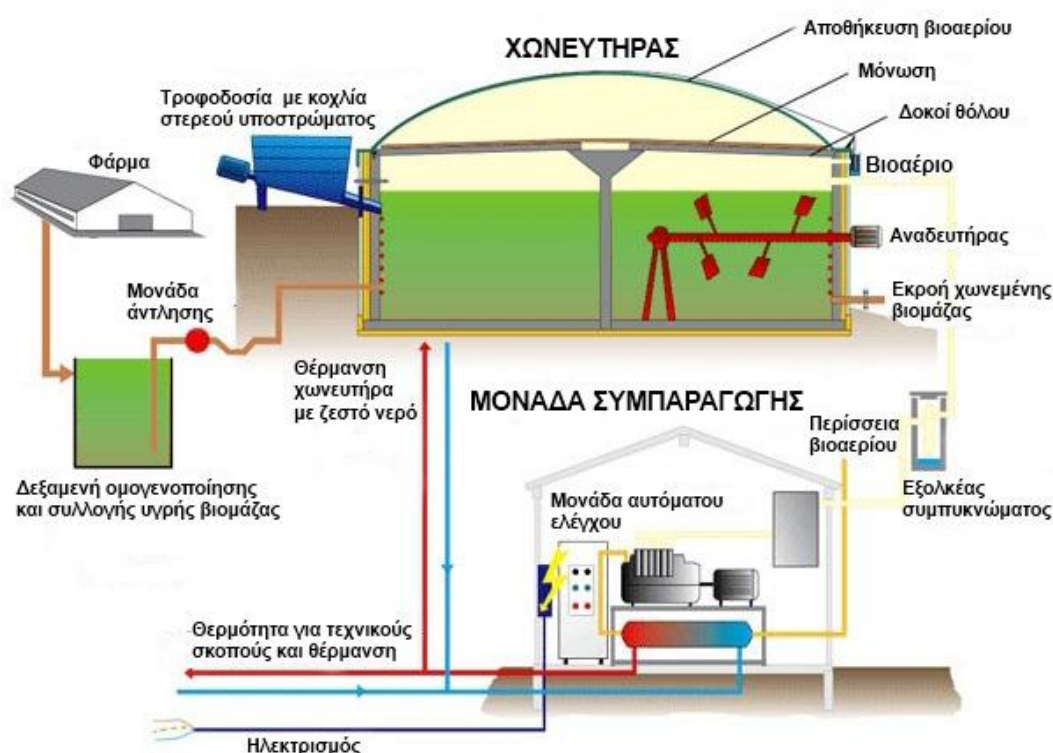
1. Οργανικά υλικά εισόδου, όπως υπολείμματα τροφίμων, λίπη ή λάσπη μπορούν να τροφοδοτούν την εγκατάσταση βιοαερίου ως υπόστρωμα.
2. Το λίπασμα και η κοπριά επίσης τροφοδοτούν την εγκατάσταση βιοαερίου
3. Οι ανανεώσιμοι πόροι, όπως το καλαμπόκι, τα τεύτλα ή γρασίδι χρησιμεύουν ως ζωοτροφές τόσο για τα ζώα, όπως οι αγελάδες και οι χοίροι, καθώς και για τους μικροοργανισμούς στο εργοστάσιο βιοαερίου.
4. Στον ζυμωτήρα, σε θερμοκρασία περίπου 38-40°C (μεσοφυλική συνθήκη χώνευσης), το υπόστρωμα αποσυντίθεται από τους μικροοργανισμούς υπό αποκλεισμό του φωτός και του οξυγόνου. Το τελικό προϊόν αυτής της διαδικασίας ζύμωσης είναι το βιοαέριο με μεθάνιο ως το κύριο συστατικό. Αλλά επίσης περιέχεται θειούχο υδρογόνο στο βιοαέριο. Ένας ζυμωτήρας κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα έχει το σαφές πλεονέκτημα ότι αντέχει τις ζημιές που προκαλούνται από το υδρόθειο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες. Επιπλέον, ένας από ανοξείδωτο χάλυβα ζυμωτήρας παρέχει την ευκαιρία για τη λειτουργία της μονάδας παραγωγής βιοαερίου σε υψηλότερες θερμοκρασίες που φτάνουν έως 56 ° C.
5. Μόλις έχει υποστεί ζύμωση το υπόστρωμα, μεταφέρονται στη δεξαμενή αποθήκευσης τα υπολείμματα ζύμωσης και μπορούν να ανακτηθούν από εκεί για περαιτέρω χρησιμοποίηση.
6. Τα υπολείμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υψηλής ποιότητας λίπασμα. Το πλεονέκτημα: το βιοαέριο από κοπριά έχει ένα χαμηλότερο ιξώδες και επομένως διεισδύει στο έδαφος πιο γρήγορα. Επιπλέον, το υπόλειμμα της ζύμωσης έχει αρκετά συχνά υψηλότερης αξίας λίπασμα και είναι λιγότερο έντονη η μυρωδιά.
7. Μία άλλη επιλογή είναι επίσης η ξήρανση και στη συνέχεια η χρήση σαν ξηρό λίπασμα.
8. Το βιοαέριο που παράγεται αποθηκεύεται στην οροφή της δεξαμενής και από εκεί
9. καίγεται στην συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.
10. Η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



11. Η θερμότητα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κτιρίου ή να στεγνώσει το ξύλο ή τη συγκομιδή των προϊόντων.
12. Εκεί γίνεται η επεξεργασία του βιοαερίου
13. Προμήθεια φυσικού αερίου στο εθνικό δίκτυο ή στη διανομή του στα βενζινάδικα.

## 5.6. Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου και ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με την καύση αυτού, διαθέτει σημαντικό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, όπως φαίνεται και στο σχήμα 13 που ακολουθεί. Όλα τα επιμέρους υποσυστήματα είναι πλήρως αυτοματοποιημένα και συνεργάζονται μεταξύ τους. Η λειτουργία κάθε μηχανήματος πχ. αναδευτήρας, αντλίας, δεξαμενής, ελέγχεται αυτόματα από την κεντρική μονάδα ελέγχου.



Σχήμα 13: Δομή μονάδας παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας

### Παραλαβή αποθήκευση

Η υγρή βιομάζα συλλέγεται σε δεξαμενές προ-συλλογής από διαφορετικές κτηνοτροφικές μονάδες σε επιλεγμένα σημεία και με κατάλληλα φορτηγά-βυτία μεταφέρεται στη κεντρική μονάδα όπου και αναμειγνύονται με άλλα οργανικά απόβλητα και ομογενοποιούνται. Σύστημα σωληνώσεων και αντλιών οδηγεί την υγρή βιομάζα στους χωνευτές για να ξεκινήσει η διαδικασία της ΑΧ

Η στερεά βιομάζα μπορεί ανάλογα με την απόσταση να μεταφέρεται στην μονάδα με τη βοήθεια φορηγών ή ταινιομεταφορέων. Σύστημα κοχλιομεταφορέα μεταφέρει τη βιομάζα αυτή στους χωνευτές

### **Αναερόβια χώνευση**

Η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα στην κεντρική μονάδα που είναι η δεξαμενή χώνευσης ή βιοαντιδραστήρας. Ο βιοαντιδραστήρας είναι μία αεριοστεγής δεξαμενή θερμομονωμένη που κατασκευάζεται συνήθως από αντιαδιαβρωτικό σκυρόδεμα ή μέταλλο με εσωτερική επικάλυψη (επίτηξη) γυαλιού, θερμομονωμένη. Η θερμομόνωση είναι απαραίτητη για την διατήρηση της θερμοκρασία σε κατάλληλα επίπεδα 35-38°C (μεσόφιλη συνθήκη χώνευσης) ή 53-56°C (θερμόφιλη συνθήκη χώνευσης).

Η θέρμανση του χωνευτήρα γίνεται με σύστημα σωλήνων, το οποίο μπορεί να κατασκευαστεί εντός ή στην εσωτερική πλευρά των τοίχων του αντιδραστήρα. Στους σωλήνες αυτούς στην περίπτωση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος διοχετεύεται το θερμό νερό ψύξης της γεννήτριας, διαφορετικό κυκλοφορεί θερμό νερό που παράγεται από ειδικό λέβητα βιοαερίου. Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας σε μία μονάδα βιοαερίου ανέρχεται στο 5-10% της παραγόμενης ενέργειας.

Η ανάμιξη της βιομάζας μέσα στο χωνευτήρα γίνεται με τη βοήθεια αναδευτήρα επικλινούς ή υποβρυχίου από ανοξείδωτο ατσάλι με τη λειτουργία του να ρυθμίζεται ανάλογα με το είδος της βιομάζας.

### **Καύση βιοαερίου**

Το βιοαέριο αποθηκεύεται σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης απ'όπου μεταφέρεται με τη βοήθεια συστήματος τροφοδοσίας αερίου στην μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Combined Heat and Power, CHP). Η περίσσεια του βιοαερίου καίγεται στους πυρσούς καύσης. Το σύστημα διαχείρισης βιοαερίου έχει συστήματα απομάκρυνσης της υγρασίας και του υδρόθειου και τη ρύθμιση των ιδιοτήτων του (αναβάθμιση βιοαερίου). Όταν το βιοαέριο δεν προορίζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τότε απομακρύνεται και το CO<sub>2</sub>.

### **Συμπαραγωγή ενέργειας**

Μία μηχανή εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί σαν καύσιμο το βιοαέριο, κινεί μια γεννήτρια ισχύος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάκτηση θερμότητας από την λειτουργία της μηχανής εσωτερικής καύσης (π.χ. από τα καυσαέρια) έχει ως συνέπεια την ταυτόχρονη παραγωγή θερμότητας (υπό την μορφή θερμού νερού ή ατμού). Στις περισσότερες περιπτώσεις, το σύστημα συμπαραγωγής βρίσκεται μέσα σε κοντέινερ ή μικρό κτίριο κοντά στους χωνευτήρες της μονάδας.

### **Διαχείριση υπολείμματος**

Η χωνεμένη βιομάζα αποτελεί ως γνωστόν οργανικό λίπασμα. Ο διαχωρισμός υγρού και στερεού γίνεται με τη βοήθεια μηχανικού διαχωριστή. Το υγρό αξιοποιείται για άρδευση και το στερεό για οργανική λίπανση ή εδαφοβελτιωτικό.

## **5.7. Τεχνοοικονομικά στοιχεία**

Για την επιλογή της κατάλληλης μονάδας παραγωγής βιοαερίου, ο επενδυτής θα πρέπει να καθοδηγηθεί από παράγοντες όπως είναι το είδος και η ποσότητα της πρώτης ύλης που διαθέτει. Η ποσότητα της α' ύλης θα καθορίσει το μέγεθος του χωνευτήρα, της μονάδας Συμπαραγωγής. Η ποιότητα θα καθορίσει την τεχνολογία της διεργασίας. Η εξασφάλιση σταθερής ποσότητας και ποιότητας α' ύλης είναι σημαντικοί παράγοντες για τη σταθερή και απρόσκοπτη λειτουργία της μονάδας παραγωγής βιοαερίου. Η αποθήκευση των πρώτων υλών σε κατάλληλες αποθήκες μπορεί να αντισταθμίσει τις εποχιακές διακυμάνσεις και να διευκολύνει την ανάμιξη, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερά ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα της α' ύλης.

Επίσης είναι βασικός ο κατάλληλος σχεδιασμός της μονάδας ώστε να είναι εφικτή η χρήση της παραγόμενης θερμότητας από το σύστημα συμπαραγωγής όπου καταναλώνεται το βιοαέριο. Για να υπάρχει μια σχετική τάξη μεγέθους, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου με ηλεκτρική ισχύ 500 KWel. μπορεί να παράγει περίπου 4.000.000 KWh ηλεκτρικής ενέργειας και 4.400.000 KWh θερμότητας. Η εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου προσφέρει καθαρή

ηλεκτρική ενέργεια σε 900 σπίτια και, ταυτόχρονα, καλύπτει τις ανάγκες για θερμότητα σε περίπου άλλα 220.

Το βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων συμπαραγωγής είναι ότι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα ταυτόχρονα. Κατά συνέπεια, υπάρχει αυξημένη απόδοση των συστημάτων αυτών σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα των μεγάλων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, που παράγουν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, η συνολική απόδοση ενός συστήματος συμπαραγωγής κυμαίνεται μεταξύ 80-90%. Αυτό σημαίνει ότι μεταξύ 80-90% του ενεργειακού περιεχομένου του βιοαερίου που καίγεται στην μηχανή, μετατρέπεται σε εκμεταλλεύσιμη –ηλεκτρική και θερμική- ενέργεια. Είναι γνωστό ότι η απόδοση των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής δύσκολα υπερβαίνει το 40%.

Η απόδοση σε ηλεκτρική ενέργεια των συστημάτων συμπαραγωγής είναι μεταξύ 30-43%, αναλόγως της ισχύος του συστήματος.

Κατά κανόνα, οι μεγαλύτερες μονάδες εμφανίζουν και υψηλότερη απόδοση. Για μονάδες περιορισμένης ισχύος (π.χ. <200 kWel.) ο συνδυασμός του βιοαερίου με πετρέλαιο diesel ή βιοντίζελ (σε ποσοστό μέχρι 10%) αυξάνει περισσότερο την απόδοση του συστήματος.

Το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης θερμότητας προέρχεται από το νερό ψύξης της μηχανής συμπαραγωγής, το οποίο λαμβάνεται σε μια θερμοκρασία μεταξύ 80 και 90°C. Σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες (460 με 550°C) για περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας και την παραγωγή ατμού επιτυγχάνεται με χρήση του θερμικού περιεχομένου των καυσαερίων.

Η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης σε τιμή που καθορίζει η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Οικιακοί Πελάτες Χαμηλής Τάσης 0,56 €/KVA Συμφωνημένης Ισχύος Παροχής ανά έτος). Η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας είναι περισσότερο σύνθετη υπόθεση. Πέρα από την ιδιοκατανάλωση στη μονάδα παραγωγής βιοαερίου, πιθανές εφαρμογές είναι η διοχέτευση σε γειτονικές βιομηχανικές μονάδες (με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού), ή η τηλεθέρμανση κατοικιών.

## 5.8. Προδιαγραφές

- ü Σωστή επιλογή πρώτης ύλης
- ü Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της α' ύλης/αποβλήτων θα καθορίσουν
- ü Την απόδοση της αναερόβιας ζύμωσης
- ü Την ποιότητα του βιοαερίου και την απόδοση της μονάδας παραγωγής ενέργειας
- ü Τα χαρακτηριστικά της εναπομείνουσας βιοιλύος και την εμπορική εκμετάλλευση σαν εδαφοβελτιωτικό

### Περιβαλλοντικά ορθή λειτουργία

#### Οσμές

- Ø Παραλαβή της οργανικής α' ύλης σε κλειστές δεξαμενές
- Ø Εγκατάσταση αυτοματισμών για το κλείσιμο των χώρων κατά τη διαδικασία μεταφοράς των υλικών αυτών (αεροκουρτίνες, κλειστά κανάλια) και γενικά για την πραγματοποίηση όλων των διαδικασιών παραγωγής του βιοαερίου
- Ø Μονάδα απόσμησης στην παραλαβή

#### Αέριες εκπομπές κατά την καύση

- Ø Επεξεργασία του βιοαερίου πριν την καύση για την απομάκρυνση του υδρόθειου
- Ø Χρήση τεχνικών για την απομάκρυνση των οξειδίων του αζώτου και του μονοξειδίου του άνθρακα.

#### Διαχείριση υγρών αποβλήτων

- Ø Ανακύκλωση όλων των παραγόμενων υγρών αποβλήτων στον χωνευτήρα

#### Ακουστική όχληση

- Ø Ηχομόνωση όλων των χώρων

## **Τεχνικές στην παραγωγή**

- Ø Συνεχής ρύθμιση της λειτουργίας με την καταγραφή των παραμέτρων του εισερχόμενου και του εξερχόμενου υλικού
- Ø Αύξηση του χρόνου παραμονής στον βιοαντιδαστήρα που οδηγεί στην αύξηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου.
- Ø Προτίμηση θερμοφιλικών μεθόδων αναερόβιας χώνευσης (56-60 οC) που οδηγεί συνήθως ,ανάλογα πάντα με το είδος της πρώτης ύλης, στην αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου

## **Επιτήρηση και έλεγχος λειτουργίας**

Η λειτουργία των μονάδων επιτηρείται και ελέγχεται αυτόματα με την παρακολούθηση όλων των μεγεθών ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια και η εύρυθμη λειτουργία. Ηλεκτρονικά όργανα παρακολουθούν καταγράφουν τα μεγέθη που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια και όλες οι λειτουργίες ελέγχονται με τη βοήθεια κατάλληλων μονάδων PLC.

## **Ενδεικτικές τεχνικές προδιαγραφές**

Ενδεικτικά αναφέρουμε τις παρακάτω τεχνικές προδιαγραφές μονάδας που έχει κατασκευασθεί και λειτουργεί:

Μέση Παραγόμενη Ηλ. Ισχύς 15 kW

Μέγιστη Παραγόμενη Ηλ. Ισχύς 20 kW

Ονομαστική ισχύς Στοιχείου Καυσίμου 20 KWe

Κατανάλωση Βιοαερίου 190-250 Nm<sup>3</sup>/d

Πίεση παροχής βιοαερίου 0,5 bar

Προδιαγραφές βιοαερίου μετά τον καθαρισμό

Συνολικό θείο: < 20 ppm, Αμμωνία < 20 ppm, Αλογονούχες ενώσεις: <5 ppm,  
Βαρείς υδρογονάνθρακες(C>3) <2%, CO<50ppm

## 5.9. Προβλήματα από την αξιοποίηση του βιοαερίου στην Ελλάδα

Τα σημαντικότερα προβλήματα σύμφωνα με τους επενδυτές και κατασκευαστικές εταιρείες στην κατασκευή μιας μονάδας βιοαερίου παρουσιάζονται:

- Στον τρόπο χρηματοδότησης:

Το πραγματικό κόστος επένδυσης ανέρχεται περίπου σε € 4.000-5.500 ανά εγκατεστημένο kW<sub>e</sub>. Σύμφωνα με το ΕΠΑΝ, το ανώτατο αποδεκτό όριο επιλέξιμων δαπανών δεν υπερβαίνει τα €1.614 ανά εγκατεστημένο kW<sub>e</sub> ενώ το ανώτατο ποσοστό δημόσιας επιχορήγησης δεν υπερβαίνει το 40% του ανώτατου αποδεκτού ορίου επιλέξιμων δαπανών, Επιπλέον, η έλλειψη σχετικής εμπειρίας των τραπεζών από αντίστοιχα έργα για την χρηματοδότηση ανάλογων επενδύσεων ενισχύει τα προαναφερόμενα προβλήματα.

- Στο μονοπώλιο της ΔΕΗ το οποίο δημιουργεί καθυστερήσεις και ανασφάλεια στους επενδυτές.
- Στην αδυναμία της Ελληνικής νομοθεσίας να ρυθμίζει ενιαία το κόστος διάθεσης των αποβλήτων, με βάση την αρχή 'ο ρυπαίνων πληρώνει'.
- Στην ελλιπή ενημέρωση σχετικά με την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου και τα αναμενόμενα οφέλη στην Αυτοδιοίκηση, τις Περιφέρειες και τους Οργανισμούς.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα μελέτη προσπαθήσαμε να περιγράψουμε πως λειτουργεί μια μονάδα βιοαερίου καθώς και κάθε ένα στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων και οικιακών απορριμμάτων. Για αυτό το λόγο στα πρώτα κεφάλαια αφιερώσαμε χρόνο στην απόδοση κάποιων ορισμών και στη περιγραφή των παραπάνω αναφερθέντων διαδικασιών. Για την κατανόηση της λειτουργίας μιας μονάδας βιοαερίου και την πλήρη αντίληψη των προτερημάτων που αυτή προσφέρει αναλύθηκαν οι διαδικασίες της συλλογής των απορριμμάτων και αποβλήτων, η μεταφορά αυτών, η διαλογή, η ανακύκλωση, η αποτέφρωση, η πυρόλυση, η αεριοποίηση, η κομποστοποίηση, η αναερόβια χώνευση, η υγειονομική ταφή κ.ά.

Πέραν αυτών των αναλύσεων, παρουσιάστηκε και το νομοθετικό πλαίσιο τόσο σε Ελλάδα όσο και σε διεθνές επίπεδο.

Μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δεν παρέχει μόνο τη δυνατότητα αξιοποίησης του ενεργειακού δυναμικού του βιοαερίου, αλλά συμμετέχει παράλληλα και στη συνολική επεξεργασία των αποβλήτων των γεωργο-κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων.

Η παραγωγή βιοαερίου έχει αλληλένδετα οικονομικά, περιβαλλοντικά και γεωργικά οφέλη, όπως: μείωση των εισαγωγών καυσίμων, μικρότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ), εξοικονόμηση χρημάτων και αύξηση της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών αντικαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα σε ποσοστό που μπορεί να φτάσει το 15-20% ενώ ως αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί και για παραγωγή υδρογόνου (fuel cell).

Η αξιοποίηση της ενέργειας των αποβλήτων των γεωργο-κτηνοτροφικών μονάδων, καθώς και ειδικών βιομηχανικών οργανικών αποβλήτων και των οργανικών δημοτικών στερεών απορριμμάτων μπορεί να γίνει σε μία κεντρική μονάδα βιοαερίου με κύρια προϊόντα το βιοαέριο και το οργανικό λίπασμα λύση που φαίνεται ελκυστική για την Ελλάδα.

Η οικονομικότητα μιας τέτοιας μονάδος βασίζεται κατ' αρχάς στο γεγονός ότι η πρώτη ύλη (γεωργο-κτηνοτροφικά απόβλητα, οργανικό μέρος των απορριμμάτων,

κλπ) έχει συχνά μηδενική ή αρνητική αξία και κατά δεύτερο λόγο ότι τα προϊόντα της μονάδας έχουν αναμφισβήτητα εμπορική αξία. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εμπίπτει σε διατάξεις Νόμου για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, η δε πώληση του πλεονάσματος της θερμότητας μπορεί να αποδώσει επιπρόσθετα έσοδα. Επιπλέον, η παραγωγή στερεού οργανικού υπολείμματος μπορεί να θεωρηθεί πηγή εσόδων αν το υπόλειμμα αυτό με διαχωρισμό και εξάτμιση τροποποιηθεί κατάλληλα και πωληθεί σαν στερεό και υγρό λίπασμα.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξένη βιβλιογραφία:

1. **Ahlvic, P., Sandstrom, C. and M. Wallin. (2003)** *Methane –fuelled buses*, Ecotraffic, June 2003
2. **Baadstorp, L. (2004)** *Biogas for community and beyond*, October 2004.
3. **Browne L. (2003)** *The Strategic Role of Gas*, BP Business Briefing: Exploration & production: The oil & gas review 2003, Volume 3.
4. **European Commission, (1994)** “*Biofuels. Application of Biologically Derived Products as Fuels or Additives in Combustion Engines*”, Directorate General XII-Science, Research and Development, 1994.
5. **EU (2005)**, *Biomass action plan*, December 2005.
6. **Fangrui M., H. A. Milford (1999)**: “*Biodiesel production: a review*”. Bioresource Technology 70, Elsevier.
7. **Holm-Nielsen, J. B. (2004)** *Biogas for a sustainable clean environment*, October 2004.
8. **IEA Bioenergy**, *Biogas upgrading and utilization*, Task 24: Energy from biological conversion of organic waste.
9. **IEA Bioenergy**, *Biogas and more!* AEA Technology Environment, UK, July 2001.
10. **Jonsson, O., Polman, E., Jensen, J.K., Eklund, R., Schyl, H. and S. Ivarsson. (2003)** *Sustainable gas enters the European Gas distribution system*, Swedish Biogas Association, 2003.
11. **Jonsson, O. (2004)** *AD in the production of the vehicle fuel from MSW and other organic residues*. October 2004.
12. **Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J. (2005)**: “*The Biodiesel Handbook*”. AOCS PRESS. Champaign, Illinois
13. **Meher L.C., Vidya Sagar D., Naik S.N. (2006)**: *Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10, Elsevier, pp. 248–268
14. **Persson, M. (2003)** *Evaluation of upgrading techniques for biogas*, Lund University, Sweden, 2003.

15. **Seadi, T., Gomes, C., Braun, R., Guest, C., Zafiris, Ch, Alvarez, J., Gerli, A., Merzagona, M., Bartolelli, V., Luckehurst, C., Labeyrie, P. (2005)** ‘*Biogas from AD*’. University of Southern Denmark, March 2005.
16. **Swedish Biogas Association.** *Biogas, A brochure about biogas from the Swedish biogas association.*
17. **Van Gerpen J. et al. (2004):** “*Biodiesel Production Technology*”. National Renewable Energy Laboratory (NREL). U.S. Department of Energy.
18. **Zafiris, Ch., Gregersen, K., Miller, H., Sommer, S., Birkmose, T., L Nielsen, L., (2007)** ‘Assessment of a centralized co-digestion plant hypothetically sited in Sparta, Laconia Peloponese, Greece, CRES 2007.
19. **Zafiris, Ch. (2005)** ‘*Energy Exploitation of Biogas in Greece*’. CRES February 2005.
20. **Zafiris, Ch. et.al. (2001)** ‘*Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestion. Evaluation of Anaerobic Digestion Projects in Livestock Units*’. (Final report) CRES May 2001.

#### **Ελληνική Βιβλιογραφία:**

21. **Ζαφείρης Χ. (2004)** *Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου*. ΚΑΠΕ, 2004.
22. **Ζαφείρης Χ. (2003)** *Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιομάζας και Εφαρμογές*. ΚΑΠΕ, 2003.
23. **Κ. Αποστολάκης, Σ. Κυρίτσης, Χ. Σούτερ, (1987)** “*Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων*”, ΕΛΚΕΠΑ-ΙΤΕ, Αθήνα, 1987.
24. **ΚΑΠΕ (1996)**, “*Οδηγός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Δυνατότητες αξιοποίησης στην Τοπική Αυτοδιοίκηση*”, Πικέρμι, Ιούνιος 1996.
25. **ΚΑΠΕ, (1997)** “*Μελέτη διερεύνησης δυνατοτήτων για την αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ*”, Τομέας Βιομάζας, 1997.
26. **ΚΑΠΕ, (1998)**. “*Πολυετείς ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα*”, Τομέας Βιομάζας,
27. **Κ. Σανδρής (1985):** *Οργανική Χημεία*. Τόμος 2, 2η έκδοση, Αθήνα.

28. **J. McMurry (1999):** *Οργανική Χημεία*. Τόμος II. (Απόδοση στα ελληνικά και επιστημονική επιμέλεια: Βάρβογλης Α., Ορφανόπουλος Μ., Σμόνου Ι., Στρατάκης Μ.). Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
29. **ΡΑΕ (2003),** *Έκθεση για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Επικαιροποιημένη έκθεση Μαΐου 2002, Αθήνα 2003.