



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**



Ευαγγελία Π. Βαρελά

Επιβλέπων:

Α. Γ. Ανδρέοπουλος

Καθηγητής

ΕΜΠ

Αθήνα 2011

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Κο Ανδρέα Ανδρεόπουλο που μου εμπιστεύτηκε την εργασία αυτή , δίνοντας μου την ευκαιρία να αναζητήσω πηγές πληροφοριών για ένα τόσο σημαντικό και επίκαιρο θέμα. Καθώς επίσης και την καθηγήτρια Κα Πετρούλα Ταραντίλη για την αμέριστη συμβολή της στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος ευχαριστώ τον διδακτορικό μου Κο Βασίλη Αναλυτή για την επιστημονική καθοδήγηση του, με σκοπό πάντα την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Αθήνα, 15 Ιουλίου 2011

Λίνα Βαρελά

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μέθοδοι Βιολογικής Επεξεργασίας των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), όπως Κομποστοποίηση, Αναερόβια Χώνευση και Βιολογική Ξήρανση σε συνδυασμό με την Μηχανική επεξεργασία, παίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην ορθολογική διαχείριση τους σύμφωνα με τις τάσεις που υπαγορεύονται από τις Ευρωπαϊκές κοινοτικές οδηγίες.

Οι τεχνολογίες Μηχανικής επεξεργασίας έχουν ως στόχο το διαχωρισμό του οργανικού κλάσματος από τα σύμμεικτα απορρίμματα μέσω μηχανικών μέσων, με σκοπό την ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών (πλαστικό, χαρτί, σίδηρος, λευκοσίδηρος, αλουμίνιο, γυαλί) ή την παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου RDF.

Μέσω των διεργασιών της Κομποστοποίησης, υπό αερόβιες συνθήκες και της Αναερόβιας Χώνευσης, υπό αναερόβιες συνθήκες, πραγματοποιείται η αποικοδόμηση του διαχωρισμένου βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών απορριμμάτων .

Η Βιολογική ξήρανση μετατρέπει υπό αερόβιες συνθήκες το κλάσμα των σύμμεικτων απορριμμάτων απαλλαγμένο από μέταλλα σε δευτερογενές καύσιμο SRF πλουσιότερο σε οργανική ύλη.

Οι παραπάνω διεργασίες εφαρμόζονται στη πράξη μέσω διάφορων τεχνολογικών συστημάτων. Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος για την κατασκευή μιας μονάδας Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) είναι σε άμεση εξάρτηση με πολλαπλούς παράγοντες όπως το βαθμό που έχει πραγματοποιηθεί διαλογή στην πηγή, τη γεωγραφική θέση ή και τη δυναμικότητα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτυπώνεται η υφιστάμενη κατάσταση σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο σχετικά με την παραγωγή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, καθώς και του βαθμού εφαρμογής των εξεταζόμενων Μεθόδων για την επεξεργασία τους. Πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών κάθε μίας από τις εν λόγω τεχνολογίες μέσα από την περιγραφή διαδεδομένων συστημάτων τους.

Καθώς η υιοθέτηση της εκάστοτε από τις παραπάνω μεθόδους συνοδεύεται αντίστοιχα από ωφέλειες και επιπτώσεις, πραγματοποιείται η αποτίμηση τους σύμφωνα με οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνικά αλλά και κοινωνικά κριτήρια .Η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης.

ABSTRACT

Methods of Mechanical and Biological Treatment (MBT) play a leading role in rational management of Municipal Solid Waste (MSW) and they are in accordance with the trends dictated by the European Community Directives

Mechanical Treatment technologies are designed to separate the organic fraction from mixed waste by mechanical means, for the recovery of recyclable materials (plastic, paper, iron, tins, aluminum, glass) or the production of Refuse Derived Fuel (RDF).

Through the process of Composting, under aerobic conditions, and of Anaerobic Digestion, under anaerobic conditions, segregated organic fraction of MSW is degraded and converted to compost, a marketable end product.

Biodrying is a variation of aerobic decomposition, used within MBT plants to dry and partially stabilise residual municipal waste and to produce a high quality solid recovered fuel (SRF), high in biomass content.

These processes take place through various technological systems. Choosing the right system for the construction of a MBT plant is highly dependent on a number of factors such as the degree of source-sorting of household solid waste, the location or the capacity of the plant.

This thesis reviews the current state of Municipal Solid Waste disposal in Europe and Greece, the degree of implementation of MBT technologies and the variety of processing systems available. A comprehensive analysis has been carried out on the technical characteristics of each technology by the description of prevalent systems.

Finally, a comparative evaluation of the major MBT systems has been carried out, using a wide range of criteria covering efficiency, cost and effectiveness in recycling raw materials and energy, and environmental impact. The study provides information on the relative advantages and disadvantages of each method.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	I
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	III
ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	IV
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	V

1. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Κατηγορίες Αποβλήτων.....	3
1.2.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα(ΑΣΑ)	
1.2.2 Ειδικά απόβλητα.....	5
1.2.3 Νοσοκομειακά απόβλητα.....	7
1.3 Κατεύθυνση Περιφερειακών Σχεδιασμών- Εθνικού Σχεδιασμού.....	8
1.4 ΧΑΔΑ- Ενδεικτικά Αριθμητικά Στοιχεία.....	12
1.5 Ποσοτική Απεικόνιση Παραγωγής και Διαχείρισης ΑΣΑ.....	9
1.5.1 Σε Εθνικό επίπεδο.....	9
1.5.2 Σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο.....	10
1.6 Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τη διαχείριση των ΑΣΑ.....	11
1.6.1 Γενικές Κατευθύνσεις.....	11

<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	13
---------------------------	----

2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	14
-------------------	----

3. ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

3.1 Προεπεξεργασία.....	17
3.2 Μικροβιολογία της Κομποστοποίησης.....	18
3.3 Μηχανισμός- Φάσεις.....	19
3.4 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες.....	23
3.5 Συστήματα Κομποστοποίησης.....	27
3.5.1 Ανοιχτά Συστήματα.....	28
3.5.1.1 Αναστρεφόμενα Σειράδια.....	29
3.5.1.2 Αεριζόμενοι Στατικοί σωροί.....	30
3.5.2 Κλειστά Συστήματα.....	32
3.5.2.1 Κάθετοι αντιδραστήρες.....	32
3.5.2.2 Οριζόντια συστήματα.....	35
3.6 Ποιότητα κόμποστ.....	40
3.6.1 Προδιαγραφές κόμποστ.....	41
3.6.2 Υγειονομικά κριτήρια.....	42
3.7 Γενική Εποπτεία Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	43

<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ(ΚΕΦ. 2,3)</i>	45
-------------------------------------	----

4. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

4.1 Γενική Περιγραφή της ΑΧ.....	47
4.2 Βιολογικές Διεργασίες της ΑΧ.....	48
4.3 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες της ΑΧ.....	50
4.4 Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης Συστημάτων ΑΧ.....	53
4.4.1 Θερμοκρασία.....	54
4.4.2 Συγκέντρωση στερεών.....	54
4.4.3 Σύστημα Ανάδευσης.....	56

4.4.4 Αριθμός σταδίων.....	57
4.5 Διαδεδομένα Συστήματα ΑΧ.....	59
4.5.1 Συστήματα Χώνευσης πολλών σταδίων.....	59
4.5.2 Συστήματα Χώνευσης ενός σταδίου.....	59
<i>Dranko</i>	66
<i>Valorga</i>	61
<i>Kompogas</i>	63
<i>Waasa</i>	63
4.6 Βασικές Σχεδιαστικές Παράμετροι ΑΧ.....	64
4.7 Προϊόντα και Παραπροϊόντα.....	66
4.7.1 Βιοαέριο.....	66
4.7.2 Χωνεμένη Ιλύς.....	67
4.8 Γενική Εεποπτεία των Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της ΑΧ.....	68
4.9 Αναερόβια Διήθηση.....	70
4.10 Ξηρά Ζύμωση.....	70
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71
5. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	74
5.1 Γενική Περιγραφή.....	74
5.2 Τμήμα Υποδοχής και Προετοιμασίας των Αποβλήτων.....	75
5.3 Βασικές Διαδικασίες Μηχανικής Επεξεργασίας.....	76
5.3.1 Τεμαχισμός.....	76
5.3.2 Τεχνολογίες Ταξινόμησης – Διαχωρισμού.....	78
5.3.2.1 Κοσκίνισμα.....	79
5.3.2.2 Αεροδιαχωρισμός.....	81
5.3.2.3 Βαλλιστικό Διαχωρισμός.....	82
5.3.2.4 Διαχωρισμός Σε Ηλεκτρο-Μαγνητικό Πεδίο.....	83
5.3.2.5 Τεχνικά και Επιστημονικά στοιχεία συστημάτων Διαχωρισμού και ταξινόμησης.....	84
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86
6. ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ (ΜΒΕ)	
6.1 Εισαγωγή.....	87
6.2 Γενική Περιγραφή και Βασικές Αρχές.....	87
6.3 Αερόβια ΜΒΕ (Κομποστοποίηση).....	88
6.3.1 Αερόβια ΜΒΕ σύμμεικτων με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών.....	90
6.3.2 Αερόβια ΜΒΕ Σύμμεικτων ΑΣΑ με παραγωγή RDF.....	97
6.3.2.1 RDF.....	98
6.3.2.2 Υλικό τύπου κόμποστ(CLO).....	107
6.3.3 Συμπαραγωγή κόμποστ και βιοκαυσίμου.....	110
6.3.4 ΜΒΕ- Διαλογή στη πηγή.....	110
6.4 Αναερόβια ΜΒΕ.....	114
6.4.1 Αναερόβια ΜΒΕ Σύμμεικτων ΑΣΑ.....	114
6.4.2 Αναερόβια- Διαλογή στη Πηγή.....	115
6.5 Μονάδες ΜΒΕ στην Ελλάδα.....	116
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118
7. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ	119
7.1 Βασικές επιδιώξεις της Βιολογικής Ξήρανσης.....	119
7.2 Μηχανισμός της Βιολογικής Ξήρανσης.....	120
7.3 Μέθοδοι της Βιολογικής Ξήρανσης.....	122
7.4 Προϊόντα και δυνατότητες.....	125

<i>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	126
8. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	127
8.1 Εισαγωγή.....	127
8.2 Οικονομική Αποτίμηση.....	127
8.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια.....	137
8.4 Τεχνικά κριτήρια.....	142
8.5 Κοινωνικά κριτήρια.....	144
<i>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</i>	145
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας

1.1: Ποσότητες ΑΣΑ στην Ελλάδα, 1995-2008.....	9
1.2: Ποσοστά των Αστικών Αποβλήτων που διαχειρίστηκαν με Υγειονομική Ταφή, Αποτέφρωση, Ανακύκλωση και Κομποστοποίηση το 2007 τα κράτη- μέλη της Ε.Ε.....	11
3.1: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων κομποστοποίησης.....	27
3.2: Κατηγοριοποίηση Συστημάτων.....	28
3.3: Τυπική συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε κόμποστ από ανάμικτα ΑΣΑ και κόμποστ από βιοαπορρίμματα (με διαλογή στην πηγή) (Μ.Ο. 4 περιοχών).....	41
3.4: Σύγκριση ορίων για τα βαρέα μέταλλα μεταξύ Ε.Ε, Η.Π.Α.....	42
4.1: Όρια παρεμποδιστικών συγκεντρώσεων ορισμένων ουσιών στο υγρό κλάσμα κατά την αναερόβια χώνευση ΑΣΑ.....	52
4.2: Λειτουργικές παράμετροι των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης.....	53
4.3: Λειτουργικές παράμετροι για αναερόβια επεξεργασία οργανικών ΑΣΑ διαχωρισθέντων στην πηγή, σε σύστημα ενός σταδίου.....	56
4.4: Σύνθεση εκλυόμενου βιοαερίου Αναερόβιας Χώνευσης και βιοαερίου Υγειονομικής Ταφής και του φυσικού αερίου.....	66
5.1: Τεχνολογίες- Μηχανήματα μείωσης μεγέθους απορριμμάτων.....	77
5.2: Τεχνολογίες διαχωρισμού απορριμμάτων.....	78
6.1α: Τυπική σύσταση RDF & άλλων καυσίμων.....	100
6.1β: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πιθανών χρήσεων του παραγόμενου RDF/SRF.....	106
6.2: Πιθανές χρήσεις του CLO.....	108
8.1 : Κόστη μονάδας Κομποστοποίησης στην Ιταλία με δυναμικότητα 20000 τόνους/έτος.....	128
8.2: Κόστη ανά τόνο μονάδων κομποστοποίησης.....	129
8.3: Προτεινόμενες συναρτήσεις κόστους.....	131
8.4: Ανηγμένο επενδυτικό κόστος ανά τόνο.....	134
8.5: Ανηγμένο λειτουργικό κόστος ανά τόνο.....	135
8.6: Ποιοτική σύγκριση παραγόμενων αέριων εκπομπών.....	137
8.7: Ποιοτική σύγκριση παραγόμενων ποσοτήτων υγρών αποβλήτων.....	139
8.8: Ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση σύστασης των παραγόμενων υγρών.....	140
8.9: Ποιοτική σύγκριση των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών.....	141
8.10: Ποιοτική σύγκριση των ποσοστών ανακύκλωσης.....	142

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα

1.1: Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ (ΜΠΑ) στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001.	2
1.2: Ποιοτική σύσταση απορριμμάτων στην Ελλάδα	4
3.1: Οι φάσεις κομποστοποίησης της οργανικής ουσίας με βάση τη σχέση C/N και τις ημέρες μετά την σταθεροποίηση και χουμοποίηση.....	25
6.1: Διάγραμμα ροής και ισοζύγιο μάζας τυπικής εγκατάστασης αερόβιας ΜΒΕ με ανάκτηση υλικών.....	89
6.2: Διάγραμμα ροής και ισοζύγιο μάζας τυπικής εγκατάστασης αερόβιας ΜΒΕ με ανάκτηση RDF	90
6.3: Διάγραμμα παραγωγικής διαδικασίας τυπικής αερόβιας ΜΒΕ με ανάκτηση υλικών.....	90
6.1: Διάγραμμα ροής μονάδας κομποστοποίησης.....	111
6.2: Διάγραμμα ροής αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας.....	116
7.1: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας βιολογικής επεξεργασίας.....	119
7.2 : Διάγραμμα παραγωγικής διαδικασίας τυπικής εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης.....	120
7.3: Διάγραμμα ροής βιοξήρανσης σε «κουτιά»	125

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα

1.1: Κάλυψη της χώρας από έργα Χώρων Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων	9
1.2: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.....	12
3.1: Μηχανισμός κομποστοποίησης	16
3.2: Σχηματική παράσταση της διαδικασίας της κομποστοποίησης	20
3.3 : Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας κατά την κομποστοποίηση.....	27
3.4: Απλή σχηματική αναπαράσταση εξαναγκασμένου αερισμού στο σειράδι	31
3.5: Σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού	31
3.6: Στατικός αεριζόμενος σωρός	32
3.7: Γραφική απεικόνιση κάθετου αντιδραστήρα.....	33
3.8: Σχηματική αναπαράσταση των συνεχών κάθετων χωρίς ανάδευση συστημάτων.....	34
3.9: Σχηματική αναπαράσταση των βασικών τύπων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης(a & c κάθετοι αντιδραστήρες, b & d οριζόντιοι αντιδραστήρες)	39
4.1: Μηχανισμός της Αναερόβιας χώνευσης	48
4.2: Οι τέσσερις φάσεις των Βιολογικών διεργασιών της Αναερόβιας Χώνευσης και οι ενώσεις που πρωταγωνιστούν στην καθεμία από αυτές	49
4.3: Βιοχημικά «μονοπάτια που ακολουθούνται κατά την διεργασία της μεθανογένεσης	50
4.4: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ. (Πηγή: DEFRA, 2005a).....	53
4.5: Διάγραμμα ροής διεργασία ξηρής αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος ΑΣΑ	55
4.6 : Αναπαράσταση κλασσικού συστήματος ενός αντιδραστήρα.....	58
4.7: Διάγραμμα ροής συστήματος δύο σταδίων	58
4.8: Συστήματα «ξηρής» αναερόβια χώνευσης ενός σταδίου Dranco, Valorga και Kompogas.....	60
4.9: Διάγραμμα ροής συστήματος Dranco	61
4.10: Ο αντιδραστήρας της μεθόδου Valorga	62
4.11: Διάγραμμα ροή διεργασίας Waasa	64
5.1: Περιστροφικό Κόσκινο	80
5.2: Αεροδιαχωριστήρας	82
6.4: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης MBE με ανάκτηση RDF στα Άνω Λιόσια	98
6.5: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας μηχανικής και αναερόβιας επεξεργασίας	114
7.1: Βιολογική ξήρανση σε καλυμμένους σωρούς.....	123

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1 Εισαγωγή

Η ολοκληρωμένη & ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων συνολικά στην Ελλάδα παρόλη την πρόοδο που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια δεν έχει επιτευχθεί. Η ελληνική πραγματικότητα παραμένει στους ΧΥΤΑ και στους ΧΑΔΑ. Στο ακόλουθο σχήμα υπάρχει μια ενδεικτική σχηματική απεικόνιση της υφιστάμενης κατάστασης:

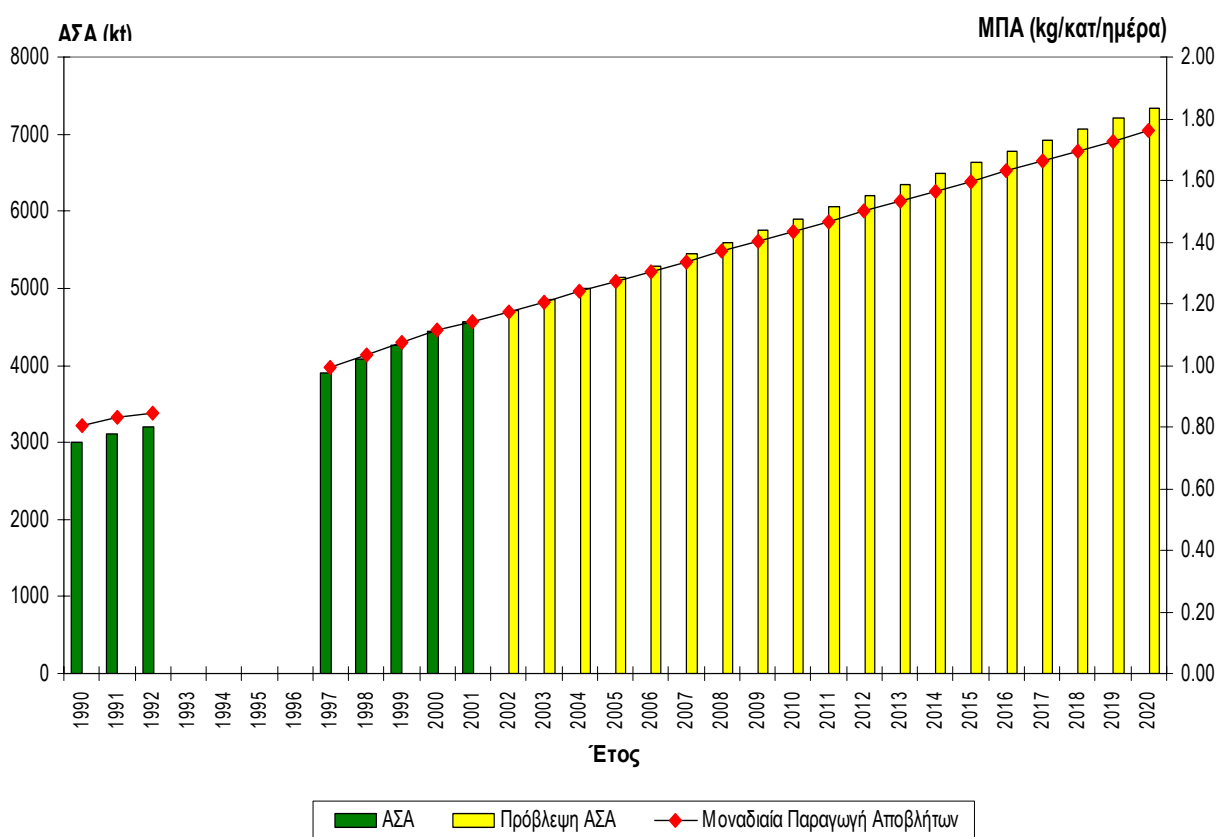


Σχήμα 1.1: Κάλυψη της χώρας από έργα Χώρων Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων

Συγκριτικά με την υπόλοιπη «προηγμένη» Ε.Ε υστερούμε σημαντικά. Η Ελλάδα βασίζεται σε ποσοστό άνω του 92% στην ταφή υγειονομική και μη.

Οδηγίες όπως η 2008/98 για την ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών συσκευασίας στην πηγή και η 1999/31 για την υγειονομική ταφή, φαίνεται απίθανο να ικανοποιηθούν. Ιδιαίτερα στην Αττική και την Πελοπόννησο, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων μεγεθύνεται διαρκώς και παραμένει μονίμως στην επικαιρότητα, είτε εξαιτίας περιβαλλοντικών οχλήσεων, είτε εξαιτίας διαμαρτυριών, ή προσφυγών πολιτών. Η εξάντληση των χρονικών περιθωρίων από την χώρα για την εφαρμογή των διατάξεων, κυρίως αυτών που απαγορεύουν τη συνέχιση της λειτουργίας ΧΑΔΑ αλλά και ΧΥΤΑ και αυτών που αφορούν στην ανακύκλωση και ανάκτηση πλέον έχει ήδη παρέλθει και θα επισύρει τσουχτερά πρόστιμα.

Όλες οι εκτιμήσεις δείχνουν μια συνεχιζόμενη τάση αύξησης της ποσότητας των αποβλήτων και μάλιστα με σχετικά μεγάλα ποσοστά σε αντίθεση με τις τάσεις μείωσης που παρατηρούνται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Αποτέλεσμα της τάσης αυτής είναι η αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας στην Ελλάδα κατά περισσότερο από 45% μέχρι το 2027 σε σχέση με σήμερα, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, κυρίως γιατί όπως εκτιμάται θα εξακολουθήσουν να είναι χαμηλά τα ποσοστά ανακύκλωσης και μείωσης της παραγόμενης ποσότητας στην πηγή.



Διάγραμμα 1.1: Μεταβολή της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ (ΜΠΑ) στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001. (Πηγή: Η.Π. 50910/2727/2003, ΥΠΕΧΩΔΕ 2003 και προβλέψεις Ομάδας ΙΤΑ για το 2020.)

1.2 Κατηγορίες Στερεών Αποβλήτων

Τα στερεά απόβλητα ομαδοποιούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- α. Αστικά Στερεά Απόβλητα (απορρίμματα).
- β. Ειδικά απόβλητα:
 - β1. Επικίνδυνα απόβλητα.
 - β2. Μη επικίνδυνα ειδικά.
 - β3. Νοσοκομειακά απόβλητα.

1.2.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα(ΑΣΑ.) - Απορρίμματα

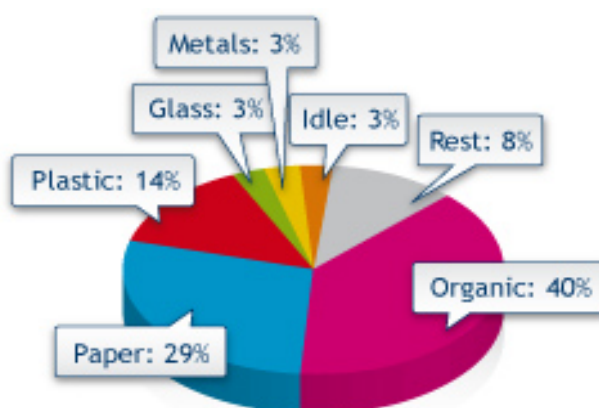
Τα ΑΣΑ. είναι οικιακά και παρεμφερή Στερεά Απόβλητα (ή αστικά απορρίμματα) και περιλαμβάνουν τα απόβλητα που παράγονται κυρίως από οικισμούς, αλλά και τα απόβλητα άλλων δραστηριοτήτων που προσομοιάζουν με αυτά. Οι κυριότερες πηγές παραγωγής οικιακών και παρεμφερών απορριμμάτων, είναι οι κατοικίες, τα εμπορικά καταστήματα και άλλες «αστικές δραστηριότητες (π.χ. εστιατόρια, καφετέριες, ξενοδοχεία, βιοτεχνίες κλπ). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και Σ.Α. που παράγονται από άλλες δραστηριότητες, αλλά προσομοιάζουν με τα αστικά απορρίμματα. Τέτοια είναι π.χ. ένα τμήμα των Νοσοκομειακών Στερεών Απορριμμάτων, απόβλητα ορισμένων βιομηχανιών κλπ. [1], [2]

Τα **οικιακά απορρίμματα** αποτελούν ένα ιδιαίτερος ανομοιογενές μείγμα υλικών. Η ποιοτική ανάλυση των οικιακών απορριμμάτων αποσκοπεί στο να προσδιορίσει βασικές ποσοστιαίες κατηγορίες υλικών σε αυτά, προκειμένου να προσδιορισθεί ό,τι πληροφορία είναι απαραίτητη για την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης, επεξεργασίας και αξιοποίησής τους (ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, κ.λπ.). Η πιο δόκιμη κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων, όπως προκύπτει από σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων, περιλαμβάνει τις εξής ομάδες (κλάσματα) υλικών[3]:

- **Ζυμώσιμα** (οργανικό βιοαποδομήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων): Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας και κήπου. Παρακάτω θα πραγματοποιηθεί περαιτέρω ανάλυση
- **Χαρτί:** Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.
- **Μέταλλα:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που απαντώνται στα απορρίμματα. Δόκιμος είναι ένας διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων), με τα τελευταία να έχουν ως κυριότερο αντιπρόσωπο το αλουμίνιο. Σε ορισμένες αναλύσεις έχουν εξετασθεί ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- **Γυαλί:** Η διαχείριση αποβλήτου γυαλιού στη χώρα μας πάσχει κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές μακριά από την Αττική. Είναι δόκιμος ο διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, όσον αφορά την ανακύκλωση, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού γυαλιού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.
- **Πλαστικό:** Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Η κατηγορία αυτή γίνεται διαρκώς μεγαλύτερη κατά τα τελευταία χρόνια και στη χώρα μας, ως συνέπεια της αλλαγής των καταναλωτικών συνθηκών (στροφή

σε συσκευασμένα προϊόντα, κ.λπ.). Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).

- **Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Υφασμα:** Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα (ΔΞΛΥ).
- **Αδρανή:** Εδώ περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα (π.χ. χώματα, πέτρες, κ.λπ.).
- **Λοιπά:** Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.[2]



Διάγραμμα 1.2: Ποιοτική σύσταση απορριμμάτων στην Ελλάδα -Πηγή :Υ.ΠΕ.ΚΑ(2009)

Με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, τα δημοτικά απόβλητα ταξινομούνται με τον κωδικό 20 [4, 5] :

20 01	χωριστά συλλεγόμενα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
20 01 01	χαρτιά και χαρτόνια
20 01 02	γυαλιά
20 01 08	βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χωρών διαίτησης
20 01 10	ρούχα
20 01 11	υφάσματα
20 01 17*	φωτογραφικά χημικά
20 01 19*	Ζιζανιοκτόνα
20 01 21	σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα υδράργυρο
20 01 22	Αεροζόλ
20 01 23	απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 31*	κυτταροτοξικές και κυτταροστατικές φαρμακευτικές ουσίες
20 01 32	φάρμακα άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 31
20 01 33*	μπαταρίες και συσσωρευτές που περιλαμβάνονται στα σημεία 16 06 01, 16 06 02 ή 16 06 03 και μεικτές μπαταρίες και συσσωρευτές που περιέχουν τις εν λόγω μπαταρίες
20 01 34	μπαταρίες και συσσωρευτές άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 33

- 20 01 35* απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21 και 20 01 23 που περιέχει επικίνδυνα συστατικά στοιχεία
- 20 01 36 απορριπτόμενος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός άλλος από τον αναφερόμενο στα σημεία 20 01 21, 20 01 23 και 20 01 35
- 20 01 37* ξύλο που περιέχει επικίνδυνες ουσίες
- 20 01 38 ξύλο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στο σημείο 20 01 37
- 20 01 39 Πλαστικά
- 20 01 40 Μέταλλα
- 20 01 41 απόβλητα από τον καθαρισμό καμινάδων
- 20 01 99 άλλα μέρη μη προδιαγραφόμενα άλλως
- 20 02 απόβλητα κήπων και πάρκων (περιλαμβάνονται απόβλητα νεκροταφείων)
- 20 02 01 βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
- 20 02 02 χρώματα και πέτρες
- 20 02 03 άλλα μη βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα
- 20 03 άλλα δημοτικά απόβλητα
- 20 03 01 ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα
- 20 03 02 απόβλητα από αγορές
- 20 03 03 υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων
- 20 03 04 λάσπη σηπτικής δεξαμενής
- 20 03 06 απόβλητα από τον καθαρισμό λυμάτων
- 20 03 07 ογκώδη απόβλητα
- 20 03 99 δημοτικά απόβλητα με προδιαγραφόμενα άλλως

Από τις παραπάνω κατηγορίες βιολογικά απόβλητα αποτελούν οι:

20 01, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 25, 20 01 38, 20 02, 20 02 01, 20 03, 20 03 01, 20 03 02, 20 03 04

1.2.2 Ειδικά απόβλητα

Επικίνδυνα απόβλητα

Ως επικίνδυνο απόβλητο ορίζεται κάθε στερεό απόβλητο ή συνδυασμός στερεών αποβλήτων, τα οποία λόγω της ποιότητάς τους, της συγκέντρωσης των συστατικών τους ή και των φυσικών, χημικών ή μεταδοτικών χαρακτηριστικών τους, έχουν την ιδιότητα να [3]:

- Προκαλούν ασθένειες που μπορούν να οδηγήσουν έως και το θάνατο.
- Μολύνουν ανεπανόρθωτα το περιβάλλον (έδαφος, νερό και ατμόσφαιρα) με αποτέλεσμα την καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας. [4]

Μη επικίνδυνα απόβλητα

Οι κυριότερες μη επικίνδυνες ειδικές κατηγορίες Σ.Α. είναι οι εξής [3]:

1) Βιομηχανικά απόβλητα:

Τα βιομηχανικά απόβλητα διακρίνονται στα επικίνδυνα και στα μη επικίνδυνα. Τα μη επικίνδυνα προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες, τόσο από την ίδια την παραγωγική διαδικασία όσο και τα απορρίμματα εκείνα που μοιάζουν με τα οικιακά. Στον όρο “βιομηχανία” περιλαμβάνονται από περιβαλλοντικής άποψη όλες οι μικρές και μεγάλες σταθερές πηγές ρύπανσης. Στην Ελλάδα δραστηριοποιείται ένας σημαντικός αριθμός βιομηχανικών μονάδων από την παραγωγική διαδικασία των οποίων προκύπτουν ΣΑ τα οποία σύμφωνα με την ταξινόμηση του EWC (Ευρωπαϊκού Κατάλογου Αποβλήτων) δεν είναι επικίνδυνα [3].

2) Αδρανή απόβλητα από κατασκευές, εκσκαφές και κατεδαφίσεις (Α.Ε.Κ.Κ.):

Κύριες πηγές αυτής της κατηγορίας είναι η κατασκευή Δημοσίων και Ιδιωτικών Έργων (π.χ οδοποιία, αποχέτευση, κτιριακά κ.λπ.) και τα υλικά συντήρησης και κατεδάφισης (μπάζα). Σημειώνεται ότι η Οδηγία της Ε.Ε. (1999/31) απαγορεύει τη διάθεση αδρανών υλικών και εν γένει μπαζών στους Χ.Υ.Τ.Α. και επιβάλλει τη διάθεσή τους σε ανεξάρτητους χώρους ταφής αδρανών. Επιπροσθέτως ο Νόμος “περί ίδρυσης Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων” (Ν. 2939/2001) περιλαμβάνει και τα υλικά κατεδάφισης στην κατηγορία “άλλα” προϊόντα. Κατά αναλογία με τα αντίστοιχα προεδρικά διατάγματα (ελαστικά, ΑΗΗΕ), οι παραγωγοί των ΑΕΚΚ οφείλουν να συστήσουν ή ίδιοι ή να συμμετέχουν σε συλλογικά συστήματα διαχείρισης [2].

3) Μεταχειρισμένα ελαστικά:

Κύριες πηγές αυτής της κατηγορίας είναι τα καταστήματα επισώτρων (βουλκανιζατέρ), αλλά και έμμεσα τα οχήματα Ι.Χ., Δ.Χ., τρακτέρ αγροτικής χρήσεως κ.λπ. Σύμφωνα με το Ν.2939/01 και το Π.Δ. 109/04 οι παραγωγοί ελαστικών υποχρεούνται να οργανώσουν οι ίδιοι ή να συμμετέχουν σε ατομικά ή συλλογικά συστήματα διαχείρισης των ελαστικών. Επιπλέον οι ιδιοκτήτες, κάτοχοι ή τελικοί χρήστες μεταχειρισμένων ελαστικών υποχρεούνται να τα μεταφέρουν οι ίδιοι και να τα παραδίδουν σε σημεία συλλογής ή σε νόμιμους συλλέκτες ή σε εγκεκριμένα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης. Τα μεταχειρισμένα ελαστικά δεν μπορούν να διατίθενται σε Χ.Υ.Τ.Α. σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο, προβλέπεται η προσωρινή συγκέντρωσή τους και η συλλογή και αξιοποίησή τους σε συνεργασία με το σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης ελαστικών ECOELASTICA [2].

4) Οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους – Καταλύτες Οχημάτων (Ο.Τ.Κ.Ζ.): [3]

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα αποσυρόμενα οχήματα και οι μεταχειρισμένοι καταλυτικοί μετατροπείς, αλλά και τα μεταχειρισμένα ανταλλακτικά που προκύπτουν από την επισκευή των οχημάτων [2].

5) Απόβλητα ειδών Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Α.Η.Η.Ε.): [2]

Περιλαμβάνονται πάσης φύσεως Α.Η.Η.Ε., όπως ψυγεία, πλυντήρια, τηλεοράσεις, υπολογιστές, εκτυπωτές, αριθμομηχανές, φωτιστικά είδη, φούρνοι μικροκυμάτων, θερμαντικά σώματα, φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, συσκευές φαξ, τηλέφωνα, κάμερες, λαμπτήρες φθορισμού κ.λπ.

6) Ογκώδη αντικείμενα:

Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνεται μία πλειάδα ευμεγεθών Σ.Α. Πηγές αυτής της κατηγορίας είναι εν μέρει όλες οι δραστηριότητες, όπως κατοικίες, εμπορικά καταστήματα, ξενοδοχεία, βιοτεχνία, κλαδέματα κ.λπ. Δεν αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία αποβλήτων, αλλά εξετάζονται συχνά χωριστά ως προς την συλλογή – μεταφορά – αποθήκευση – προεπεξεργασία τους, λόγω της ιδιαιτερότητας που απαιτεί ο χειρισμός τους, εξαιτίας του μεγέθους τους. Ενδεικτικά αναφέρονται εδώ, τα έπιπλα, βαρέλια, παλέτες, στρώματα κ.λπ. [2]

1.2.3 Νοσοκομειακά Σ. Α.:

Πηγή προέλευσης είναι οι νοσηλευτικές μονάδες και γενικότερα μονάδες υγειονομικού ενδιαφέροντος, όπως τα νοσοκομεία, τα ιατρικά κέντρα, οι κλινικές και τα ιατρικά και βιολογικά εργαστήρια. Αυτά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα προσομοιάζοντα με τα οικιακά (συσκευασίες, απόβλητα κυλικείων κ.λπ.), τα μολυσματικά απόβλητα (όσα φέρουν παθογόνους παράγοντες, όπως γάζες μολυσμένες, μέλη σώματος, κόπρανα πειραματόζων κ.λπ.) και τα ειδικά απόβλητα (αιχμηρά αντικείμενα, ραδιενεργά, τοξικά κ.λπ.). Με εξαίρεση τα προσομοιάζοντα με τα οικιακά, τα υπόλοιπα δεν συμπεριλαμβάνονται στα ΑΣΑ. σύμφωνα με την ΚΥΑ 50910/2727/2003.[3]

Όπως προαναφέρθηκε, για ορισμένες από τις ανωτέρω ειδικές κατηγορίες αποβλήτων, λειτουργούν σήμερα στην Ελλάδα, εγκεκριμένα από το Υ.Π.Ε.Κ.Α., **Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης Αποβλήτων**, [6] κατ' εφαρμογή του Νόμου 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/6.8.2001), τα οποία έχουν αναλάβει τη διαχείρισή τους σε εθνικό επίπεδο.

1.3 Κατευθύνσεις Περιφερειακών Σχεδιασμών- Εθνικού Σχεδιασμού

Για τη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), υπάρχει ο επίσημος Εθνικός Σχεδιασμός Μη επικίνδυνων αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Σ.Α) [7] και οι Περιφερειακοί Σχεδιασμοί (ΠΕΣΔΑ). Οι ΠΕΣΔΑ εξειδικεύουν τους στόχους του Εθνικού Σχεδιασμού, θέτουν στόχους σε περιφερειακό επίπεδο και προβλέπουν τα έργα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων για τα επόμενα έτη. Οι ΠΕΣΔΑ έχουν ισχύ Νόμου και οφείλουν οι αρμόδιοι φορείς, μέσα από τις προβλεπόμενες διαδικασίες να φροντίσουν για την εφαρμογή τους.

Ενδεικτικά έργα που σχετίζονται με την ολοκληρωμένη διαχείριση που προβλέπεται στους ΠΕΣΔΑ είναι:

- Αποκαταστάσεις ΧΑΔΑ
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ, ΧΥΤ αδρανών) και επεκτάσεις αυτών
- Σταθμοί μεταφόρτωσης αποβλήτων (ΣΜΑ)
- Κέντρα Διαλογής Ανάκτησης Υλικών (ΚΔΑΥ)
- Μονάδες επεξεργασίας (σύμμεικτων ΑΣΑ, κομποστοποίησης, ανακύκλωσης, κλπ)
- Μονάδες διαχείρισης αγροτικών αποβλήτων
- Μηχανικός εξοπλισμός για την αποκομιδή ή την επεξεργασία αποβλήτων
- Προγράμματα διαλογής στην πηγή. [4]

1.4 ΧΑΔΑ-Ενδεικτικά αριθμητικά στοιχεία

Η Ελλάδα καταδικάστηκε στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο το 2005, για τη μη συμμόρφωση που αφορούν τη διαχείριση στερεών αποβλήτων και συγκεκριμένα για τη λειτουργία 1.125 ΧΑΔΑ. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία στην ολοκλήρωση του προγράμματος παύσης λειτουργίας περιλαμβάνονται 99 ΧΑΔΑ.

Η διορία για παύση λειτουργίας των υφιστάμενων ΧΑΔΑ αλλά και αποκατάστασή τους, μετά από πολλαπλές παρατάσεις, ήταν μέχρι το τέλος Ιουνίου του 2011. Η παραπομπή της Ελλάδας στο Ευρωδικαστήριο για ακόμα μια φορά για το ίδιο ζήτημα, φαίνεται να είναι δεδομένη. Η καταβολή προστίμων, σύμφωνα με την εισήγηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, θα είναι ανά ΧΑΔΑ, €195,84 για κάθε ημέρα από την ημέρα που θα εκδοθεί η δεύτερη καταδίκη μέχρι να υπάρξει πλήρης συμμόρφωση και €21,42 για κάθε ημέρα που μεσολάβησε από την πρώτη έως τη δεύτερη καταδίκη.

1.5 Ποσοτική Απεικόνιση Παραγωγής και Διαχείρισης Αποβλήτων

1.5.1 Σε εθνικό επίπεδο

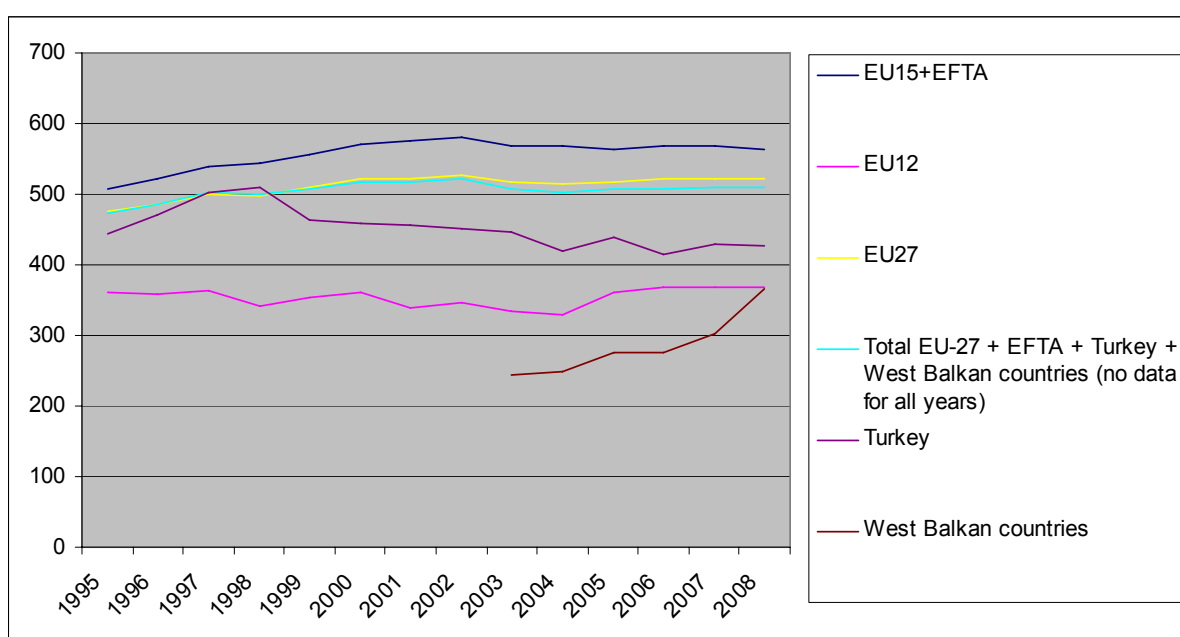
Με βάση τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2003), στην Ελλάδα παράγονται περίπου 4,6 εκατομμύρια τόνοι αστικών αποβλήτων ετησίως. Στην περιφέρεια Αττικής παράγεται το 39% της ετήσιας ποσότητας, ενώ σημαντική ποσότητα (16%) παράγεται και στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Πλέον ο αριθμός των τόνων παραγόμενων αστικών αποβλήτων ανέρχεται στα 5,8 εκατομμύρια. (2008) [7] Σε επίπεδο σχεδιασμού, δεν υπάρχει σχέδιο για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων η οποία αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία έτη στη χώρα μας. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος στην Ελλάδα καταγράφεται σταδιακή αύξηση των παραγόμενων απορριμμάτων: από 302 κιλά ανά άτομο το 1995 στα 423 το 2002 και στα 453 το 2008.

Πίνακας 1.1: Ποσότητες ΑΣΑ στην Ελλάδα, 1995-2008 [11]

Έτος	kg/κάτοικο/έτος ⁴	Πληθυσμός ⁵	Τόνοι Α.Σ.Α/έτος
1995	302	10.595.074	3.199.712,35
1996	337	10.673.696	3.597.035,55
1997	363	10.744.649	3.900.307,59
1998	378	10.808.358	4.085.559,32
1999	393	10.861.402	4.268.530,99
2000	408	10.903.757	4.448.732,86
2001	417	10.931.206	4.558.312,90
2002	423	10.968.708	4.639.763,48
2003	428	11.006.377	4.710.729,36
2004	433	11.040.650	4.780.601,45
2005	438	11.082.751	4.854.244,94
2006	443	11.125.179	4.928.454,30
2007	448	11.171.740	5.004.939,52
2008	453	11.213.785	5.079.844,61

1.5.2 Σε ευρωπαϊκό επίπεδο:

Στο στενό πυρήνα της Ευρώπης των «15» μαζί με τις Σκανδιναβικές χώρες, ο παραγόμενος όγκος σκουπιδιών ανά άτομο κάθε χρόνο εκτοξεύεται στα 564 κιλά ενώ οι πολίτες των νέων μελών από την Κεντρική και τη Νοτιοανατολική Ευρώπη παράγουν πολύ μικρότερο όγκο σκουπιδιών, ο οποίος μόλις αγγίζει τα 369 κιλά ανά κάτοικο. Σε κάθε Ευρωπαίο αναλογούν 522 κιλά σκουπίδια στην Ευρώπη των «27» από την κατανάλωση τροφών, τις συσκευασίες των προϊόντων και τις εν γένει καταναλωτικές δραστηριότητες της καθημερινότητας. Έτος αναφοράς των παραπάνω στοιχείων είναι το 2008 [11]



Διάγραμμα 1.3: Μεταβολή της παραγόμενης ποσότητας αστικών αποβλήτων/άτομο, στην Ευρώπη των «27», στον στενό πυρήνα των «15» και σκανδιναβικές χώρες, στην Τουρκία, στις δυτικές βαλκανικές χώρες. [11]

Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι με τους οποίους διαχειρίζονται τα αστικά απόβλητα στην Ευρώπη των «27» είναι η υγειονομική ταφή, η καύση, η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση (επεξεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος). Στην ΕΕ των 27 το 2007, το 42% των αστικών αποβλήτων οδηγήθηκε σε χώρους Υγειονομικής Ταφής, το 20% αποτεφρώθηκαν, το 22% ανακυκλώθηκε και το 17% κομποστοποιήθηκε. [12]

Αναλυτικότερα, για την κάθε χώρα ξεχωριστά τα ποσοστά αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.2: Ποσοστά των Αστικών Αποβλήτων που διαχειρίστηκαν με Υγειονομική Ταφή, Αποτέφρωση, Ανακύκλωση και Κομποστοποίηση το 2007 τα κράτη- μέλη της Ε.Ε [12]

	Παραγωγή Αποβλήτων	Αστικών	Υγειονομική Ταφή	Αποτέφρωση	Ανακύκλωση	Κομποστοποίηση
	kg /άτομο		%	%	%	%
ΕΥ27	522		42	20	22	17
Βέλγιο	492		4	34	39	23
Βουλγαρία	468		100	0	0	0
Τσεχία	294		84	13	2	1
Δανία	801		5	53	24	17
Γερμανία	564		1	35	46	18
Εσθονία	536		64	0	34	2
Ιρλανδία	786		64	0	34	2
Ελλάδα	448		84	0	14	2
Ισπανία	588		60	10	13	17
Γαλλία	541		34	36	16	14
Ιταλία	550		46	11	11	33
Κύπρος	754		87	0	13	0
Λετονία	377		86	0	13	1
Λιθουανία	400		96	0	2	2
Λουξεμβούργο	694		25	47	0	28
Ουγγαρία	456		77	9	13	1
Μάλτα	652		93	0	2	5
Νορβηγία	630		3	38	32	28
Αυστρία	597		13	28	21	38
Πολωνία	322		90	0	6	4
Πορτογαλία	472		63	19	8	10
Ρουμανία	379		99	0	1	0
Σλοβενία	441		66	0	34*	-
Σλοβακία	309		82	11	2	5
Φινλανδία	507		53	12	26	10
Σουηδία	518		4	47	37	12
Αγγλία	572		57	9	22	12

1.6 Ευρωπαϊκή στρατηγική για τη διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων

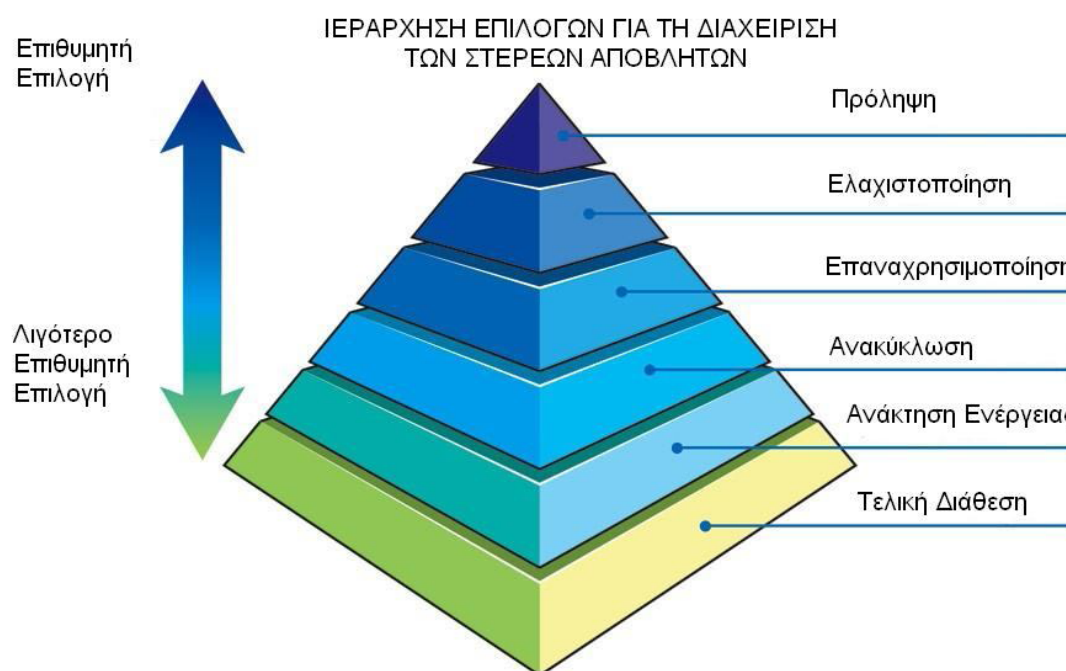
1.6.1 Γενικές κατευθύνσεις

Μία νέα στρατηγική έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή από το 2005, για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση. Η μακροπρόθεσμη αυτή στρατηγική αποβλέπει στη μετατροπή της Ευρώπης σε μία «κοινωνία ανακύκλωσης», που θα επιδιώκει να αποφεύγει τη δημιουργία αποβλήτων και θα χρησιμοποιεί τα απόβλητα ως πόρο.

Οι στρατηγικές για τα απόβλητα και τους πόρους είναι δύο από τις επτά «θεματικές» στρατηγικές που προβλέπονται με βάση το 6ο Πρόγραμμα δράσης για το Περιβάλλον (2002-2012)

Η πολιτική της ΕΕ για την πρόληψη και την διαχείριση των αποβλήτων στηρίζεται σε μια έννοια που είναι γνωστή ως ιεραρχία διαχείρισης των αποβλήτων, με βάση την οποία οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης των αποβλήτων χαρακτηρίζονται από «βέλτιστες» ως «χειρίστες» από περιβαλλοντικής σκοπιάς και ισχύει ως τάξη προτεραιότητας η ακόλουθη ιεράρχηση:

1. **πρόληψη** και ελαχιστοποίηση της δημιουργίας αποβλήτων
2. Προετοιμασία για **επαναχρησιμοποίηση** του προϊόντος
3. **Ανακύκλωση** συμπεριλαμβανομένης της **λιπασματοποίησης** του προϊόντος
4. **Ανάκτηση** της ενέργειας μέσω αποτέφρωσης
5. **Διάθεση** σε χώρο υγειονομικής ταφής



Σχήμα 1.2: Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων

Ωστόσο, η παραπάνω ιεράρχηση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απόλυτος κανόνας. Η κάθε επιλογή καθίσταται κατάλληλη ή μη ανάλογα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί κατά περίπτωση. Η εισαγωγή της νέας έννοιας του «κύκλου ζωής» έχει ως στόχο να εξασφαλίσει ότι επιλέγεται η

βέλτιστη από περιβαλλοντικής σκοπιάς εναλλακτική επιλογή σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, «Ορισμοί Αστικών Στερεών αποβλήτων», <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=6>
2. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), «Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου»
3. Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering, **Notes in course “Solid Waste Management”- 1st Chapter**, *Energy Section of the Mechanical Engineering Department, Aristotle University Thessaloniki, Greece*
4. **EWC: European Waste Catalogue**
5. Working Document(Brussels,2001), “**Biological Treatment of Biowaste, 2nd Draft**”, *European Commission, Directorate- General Environment*
6. <http://www.minenv.gr/anakyklosi/system/system.html>
7. Υ.ΠΕ.ΚΑ, Προτεραιότητες Εθνικού Σχεδιασμού Μη Επικίνδυνων Αποβλήτων <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=438>
8. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»- Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Ε.Π. Περιβάλλον(Σεπτέμβριος 2009), «**Παράρτημα ΙΙ-Απολογισμός και Εκτίμηση Αναγκών σε Έργα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων**», *Ευρωπαϊκή Επιτροπή- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε*
9. Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, «**Ειδική Έκδοση: Μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στην Ελλάδα**» http://www.ecorec.gr/econew/index.php?option=com_content&view=article&id=246%3A2010-10-29-11-49-25&catid=121%3A2010-10-27-12-15-20&Itemid=131&lang=el
10. Δελτίο Τύπου Υπουργείου Εσωτερικών Αποκέντρωσης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης(Μάιος 2010), « **Μέτωπο Χωματερές- Αγώνας δρόμου για να προλάβουμε τα πρόστιμα**»
11. European Environment Agency (Nov. 2010), “**Municipal Solid Generation** ”, Indicator code: CSI 016, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/municipal-waste-generation/municipal-waste-generation-assessment-published-3>
12. Eurostat (2009), “ **Municipal waste Half a ton of municipal waste generated per person in the EU27 in 2007 Almost 40% of this waste was recycled or composted**”, *Europa.eu*
13. Eunomia-*Research and Consulting* (without year), “**Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste- Final Report to European Commission**”

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων. Οι μέθοδοι αυτές, έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοστούν σε απόβλητα που επιδέχονται τέτοιου είδους επεξεργασία και αυτά είναι τα βιοποδομήσιμα ή οργανικά απόβλητα. [1]

Στην κατηγορία αυτήν περιλαμβάνονται [1]: :

- Οργανικά απόβλητα και απόβλητα αστικών δραστηριοτήτων [οργανικό κλάσμα στερεών αστικών αποβλήτων ιλύς βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων (sewage sludge), φυτικά απορρίμματα].
- Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα [Υπολείμματα καλλιεργειών, στερεά και υγρά απόβλητα κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων(animal by-products)].
- Στερεά απόβλητα και ιλύες από βιομηχανίες τροφίμων
- Βιομηχανικά απόβλητα φυτικής προέλευσης (υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών όπως εκκοκκιστηρίων ελαιοπυρήνα, οινοποιείων κ.ά.).
- Βιομηχανικά απόβλητα ζωικής προέλευσης (υπολείμματα σφαγείων, πτηνοτροφείων).
- Βιομηχανικά απόβλητα μεικτής προέλευσης (υπολείμματα κονσερβοποιείων, απορρίμματα ζωοτροφών).
- Άλλα διάφορα υπολείμματα, απορρίμματα (απόβλητα χαρτοβιομηχανίας, άλγη- φύκια, πριονίδια, λάσπη καθαρισμού καναλιών).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνουμε στο βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων το οποίο υπόκειται στην Οδηγία για την Υγειονομική Ταφή (99/31/ΕΕ) , η οποία θα επιβάλλει την σταδιακή εκτροπή του από τους ΧΥΤΑ/Υ από το 2010 έως το 2020. και συγκεκριμένα στα “βιο-απόβλητα” ή ορθότερα “βιολογικά απόβλητα” όπως ορίζονται από την Πράσινη Βίβλο, [2] την οποία έχει εκδώσει η Ε. Ε. και πραγματεύεται τη διαχείριση αυτού του ρεύματος των αποβλήτων. Αυτά είναι: βιοδιασπώμενα απορρίμματα της κουζίνας (φλούδες, αποφάγια, χαλασμένους καρπούς, κρέατα, κόκαλα, ψάρια, κατακάθια του καφέ, υπολείμματα από κάθε είδους αφεψήματα, εκχυλίσματα) και του κήπου (γκαζόν, κλαδιά και φύλλα) που μπορούν να προέρχονται από σπίτια ή και από πιο μεγάλους παραγωγούς όπως τα εστιατόρια ή και οι βιομηχανίες τροφίμων. Από την άλλη πλευρά, δεν ανήκουν σε αυτή την κατηγορία τα γεωργικά απόβλητα, η κοπριά, τα αστικά και βιομηχανικά λύματα και άλλα ανακυκλώσιμα ήδη όπως υφάσματα, χαρτιά και ξύλο.[2]

Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες επεξεργασίας των βιολογικών αποβλήτων είναι οι παρακάτω:[2]

η **κομποστοποίηση**, η οποία ταξινομείται ως ανακύκλωση όταν το προϊόν της, το κόμποστ, χρησιμοποιείται στο έδαφος ως καλλιεργητικό μέσο. Αν δεν προβλέπεται αυτή η χρήση, ταξινομείται ως διαδικασία προεπεξεργασίας πριν την υγειονομική ταφή ή την καύση. Η κομποστοποίηση είναι η περισσότερο διαδεδομένη επιλογή επεξεργασίας (95% των υπαρχόντων εγκαταστάσεων βιολογικής επεξεργασίας).

η **αναερόβια χώνευση**, η οποία είναι κατάλληλη για την επεξεργασία υγρών βιολογικών αποβλήτων, που περιλαμβάνουν λίπος (απόβλητα κουζίνας). Παράγει μείγμα αερίων (κυρίως μεθάνιο - 50 έως 75% - και διοξείδιο του άνθρακα) σε ελεγχόμενους αντιδραστήρες. [2]

η **βιολογική ξήρανση**, η οποία είναι αερόβια ξήρανση και είναι εναλλακτική ή συνοδευτική τεχνική της αερόβιας κομποστοποίησης. 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. Το τελικό προϊόν της επεξεργασίας είναι ένα στερεό σταθεροποιημένο υλικό, το οποίο ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο βιομάζας ή να οδηγηθεί σε υγειονομική ταφή. [3]

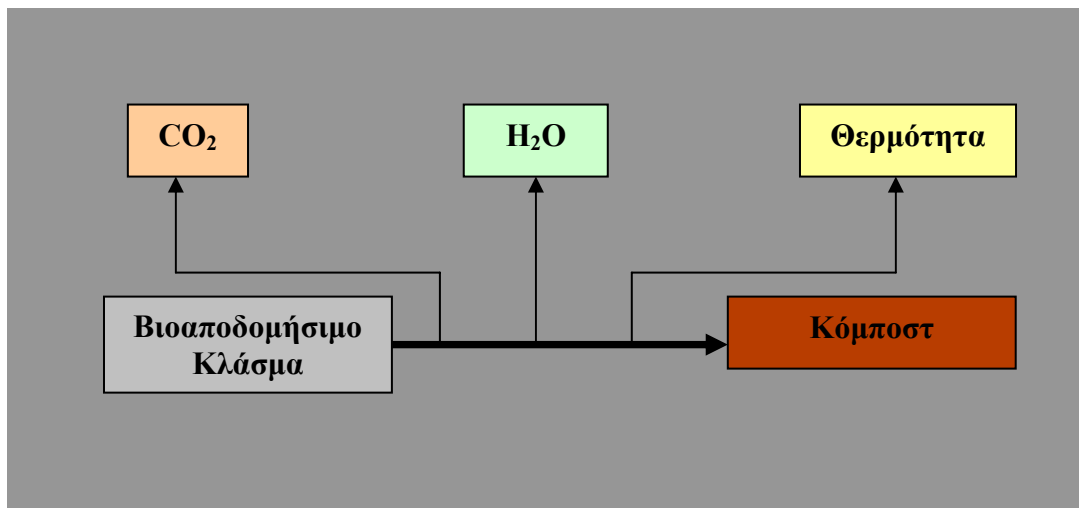
Η **αποτέφρωση**, η οποία αν και δεν είναι βιολογική μέθοδος επεξεργασίας των αποβλήτων, ανάλογα με την ενεργειακή απόδοση της μπορεί να θεωρηθεί ως μέθοδος ενεργειακής ανάκτησης ή ως διάθεσης των βιολογικών αποβλήτων, τα οποία αποτεφρώνονται ως μέρος των σύμμεικτων ΑΣΑ. Δεδομένου ότι η αποτελεσματικότητα της αποτέφρωσης μειώνεται από την υγρασία των βιολογικών αποβλήτων, μπορεί να είναι επωφελής για την απομάκρυνση των βιολογικών αποβλήτων από τα αστικά απόβλητα. Από την άλλη πλευρά, τα αποτεφρωμένα βιολογικά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν εναλλακτικό καύσιμο και συμβάλλοντας στην χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. [2]

ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η κομποστοποίηση είναι ελεγχόμενη βιοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών, από ετερογενείς και κυρίως ετερότροφους μικροοργανισμούς κατά την οποία σχηματίζεται ένα σταθερό, χουμικό προϊόν, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό υλικό αλλά και ως υπόστρωμα. [4] Η λέξη «ελεγχόμενη» είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί είναι εκείνη που διαχωρίζει τη κομποστοποίηση από τη βιολογική αποικοδόμηση που γίνεται στη φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται από ένα πληθυσμό μικροβίων, ο οποίος ποικίλει και χρονικά και χωροταξικά στη μάζα απορριμμάτων που οδηγούνται προς κομποστοποίηση και προκαλεί την ανάπτυξη θερμοφιλικών θερμοκρασιών ως αποτέλεσμα μιας βιολογικά παραγόμενης θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν το προς κομποστοποίηση υλικό, καθώς αυτό αποτελεί το θρεπτικό τους υπόστρωμα.

Κατά συνέπεια η κομποστοποίηση αποτελεί μια εξειδικευμένη μορφή βιοσταθεροποίησης αποβλήτων κατά τη οποία οι συνθήκες υγρασίας και αερισμού εξασφαλίζουν την ταχεία ανάπτυξη ελεγχόμενων υψηλών θερμοκρασιών ευνοϊκών για την ανάπτυξη και τη δράση θερμοφίλων μικροοργανισμών.



Σχήμα 3.1: Μηχανισμός κομποστοποίησης

3.1 Προεπεξεργασία Αστικών Στερεών Αποβλήτων

Η ιδανική πρώτη ύλη για τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι ένα καθαρό οργανικό υλικό. Αυτό δύσκολα επιτυγχάνεται καθότι μια εγκατάσταση κομποστοποίησης ενδέχεται να λάβει εντός της πρώτης ύλης της πλαστικές σακούλες και διάφορα απορρίμματα που συλλέγονται από το δρόμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πολλών ανεπιθύμητων προσμείξεων - μολυντών του τελικού προϊόντος. Το είδος της απαιτούμενης προεπεξεργασίας των αποβλήτων που θα εισέλθουν στην συνέχεια στην μονάδα βιοεπεξεργασίας εξαρτάται από το είδος αλλά και την καθαρότητα του υλικού. Όσον αφορά στα ΑΣΑ, το κριτήριο επιλογής των διεργασιών που θα εφαρμοστούν είναι άμεσα συνδεδεμένο με το σύστημα συλλογής.

Στην περίπτωση σύμμεικτων ΑΣΑ, η περιεκτικότητα των μη κομποστοποιήσιμων υλικών είναι υψηλή, εφόσον περιλαμβάνονται σε αυτά πλαστικό, γυαλί αλλά και άλλοι χημικοί μολυντές όπως επικίνδυνα οικιακά απόβλητα κ.α. Όλα αυτά στην πορεία έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην αγοραστική αξία του τελικού κόμποστ. Για την απομάκρυνσή τους απαιτείται η χρήση πολύπλοκων εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής, προκειμένου να επιτευχθεί ο διαχωρισμός των ΑΣΑ κατά είδος, με τη βοήθεια φυσικών και μηχανικών μεθόδων (Μονάδες Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας). Μια τέτοια διαδικασία απαιτεί προχωρημένη τεχνολογία αλλά και υψηλό κόστος επένδυσης, με τελικό προϊόν και πάλι γενικά περιορισμένης καθαρότητας και ποιότητας. Ωστόσο, και κατά αυτόν τον τρόπο εξακολουθεί να υπάρχει συνεισφορά στην επίτευξη των στόχων της Οδηγίας για την υγειονομική ταφή (εκτροπή του οργανικού κλάσματος από τους ΧΥΤΥ). [6]

Στην περίπτωση, κατά την οποία το οργανικό κλάσμα συλλέγεται χωριστά, δηλαδή στην περίπτωση που γίνεται **διαλογή στην πηγή (ΔσΠ)**, εξακολουθεί η ύπαρξη ανάγκης προεπεξεργασίας, ο βαθμός της οποίας εξαρτάται από την καθαρότητα του συλλεγόμενου υλικού και συνεπώς από την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στο πρόγραμμα χωριστής διαλογής. Η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι σαφώς υψηλότερη. [5], [6]

Σε περιπτώσεις εφαρμογής προγράμματος διαλογής στη πηγή μεμονωμένων ρευμάτων των ΑΣΑ (π.χ. μόνο υλικά συσκευασίας), η διεθνής εμπειρία έχει δείξει ότι δεν παρατηρείται σημαντική βελτίωση στην ποιότητα του οργανικού υλικού και έτσι οι απαιτήσεις σε πολύπλοκες και δαπανηρές εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας παραμένουν ίδιες με την πρώτη περίπτωση της συλλογής σύμμεικτων αποβλήτων [5]

3.2 Μικροβιολογία της Κομποστοποίησης

Μια μεγάλη ποικιλία μεσοφιλικών, θερμοφιλικών αερόβιων μικροοργανισμών, στους οποίους περιλαμβάνονται βακτήρια, ακτινομύκητες, ζυμομύκητες και σε μικρότερο βαθμό πρωτόζωα και άλγη, έχουν ευρέως καταγραφεί στα composts. Κάτω από τις αερόβιες συνθήκες η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει τους τύπους των μικροοργανισμών και την ποικιλία των ειδών, όπως επίσης και τον ρυθμό των μεταβολικών δραστηριοτήτων τους. Συχνά όμως κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μπορεί να προκληθεί πολλαπλασιασμός και διασπορά παθογόνων ή/και αλλεργιογόνων θερμοφιλικών μυκήτων και βακτηρίων. [7]

Χαρακτηρισμός μικροβίων

Βακτήρια

Τα βακτήρια είναι οι περισσότερο πολυάριθμοι μικροοργανισμοί, κατέχοντας το 80-90% του ολόκληρου του πληθυσμού των μικροβίων που δρουν κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Είναι υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος της αποικοδόμησης του οργανικού κλάσματος αλλά και τη παραγωγή θερμότητας στην κομποστοποίηση. Χρησιμοποιούν ένζυμα με τα οποία διασπούν μια μεγάλη ποικιλία οργανικών ενώσεων. [7]

Η μικροβιακή δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης οφείλεται κυρίως στα μεσοφιλικά βακτήρια. Σε πείραμα [8] που έχει πραγματοποιηθεί έχει μετρηθεί το πλήθος αυτών των βακτηρίων και κυμαίνεται μεταξύ $8,5 \cdot 10^8$ και $6 \cdot 10^9$ βακτήρια/ g αποβλήτου ξηρού βάρους (ξ.β.). Από την 6η εβδομάδα και ύστερα το πλήθος μειώνεται και φτάνει τα $1,8 \cdot 10^7$ βακτήρια/ g αποβλήτου ξ.β. την 9η εβδομάδα. Μια μικρή αύξηση παρατηρείται ξανά την 12η εβδομάδα.

Κατά τη φάση της ψύξης εμφανίζεται πάλι μια αύξηση του πλήθους των μεσοφιλικών βακτηρίων που φτάνει μπορεί να φτάσει και τα $2 \cdot 10^8$ βακτηρία/ g αποβλήτου ξ.β. για θερμοκρασίες μεταξύ 30°C και 40°C.

Στην πρώιμη φάση της διαδικασίας της κομποστοποίησης τα μεσοφιλικά βακτήρια είναι οι κύριοι αποικοδομητές του νωπού οργανικού κλάσματος. Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της θερμοφιλικής φάσης, οι μεσόφιλοι οργανισμοί σταδιακά πεθαίνουν ή απενεργοποιούνται, ενώ οι θερμοφιλοι ακτινομύκητες, μύκητες και βακτήρια εμφανίζονται και αναπτύσσονται. [8]

Ακτινομύκητες

Οι ακτινομύκητες (νηματοειδή βακτήρια) παίζουν σημαντικό ρόλο στην διάσπαση των σύνθετων και πολύπλοκων οργανικών ενώσεων, όπως κυτταρίνη, λιγνίνη, χιτίνη και

πρωτεΐνες. Κάποια από τα είδη ενεργούν στη θερμοφιλή φάση, και άλλα έχουν σημαντική δράση κατά τη διάρκεια των τελευταίων σταδίων του σχηματισμού του χούμου (φάσεις ψύξης και ωρίμανσης), όπου έχουν παραμείνει πλέον προς αποδόμηση οι πιο ανθεκτικές ενώσεις.

Μύκητες

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τους ζυμομύκητες και τους ευρωτομύκητες (μούχλα). Οι μύκητες παίζουν σημαντικό ρόλο διότι αποδομούν και τα πιο δύσκολα θραύσματα του προς κομποστοποίηση υλικού, διευκολύνοντας τα βακτήρια να συνεχίσουν τη διάσπαση, ακόμα κι αν η κυτταρίνη έχει εξαντληθεί. Είναι πολυάριθμοι κατά τη διάρκεια της μεσόφιλης και θερμοφιλής φάσης. Όταν η θερμοκρασία βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα οι μύκητες επιβιώνουν στα εξωτερικά, ψυχρότερα στρώματα του υλικού. [8]

Φούνγκι (fungi):

Τα φούνγκι είναι πολυκυτταρικά, μη φωτοσυνθετικά, ετερότροφα πρωτόζωα. Τα περισσότερα μπορούν και αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες χαμηλής υγρασίας κάτι που δε συμβαίνει με τα βακτήρια. Αντέχουν σε σχετικά χαμηλές τιμές του pH. Το βέλτιστο pH για τα περισσότερα είδη φούνγκι είναι 5,6. Ο μεταβολισμός αυτών των οργανισμών είναι βασικά αεροβικός, αναπτύσσονται σε μακρύ λεπτό νήμα συνθέτοντας πυρηνικές κυτταρικές μονάδες και έχουν ένα πλάτος από 4 έως 20 μm.

3.3 Μηχανισμός – Φάσεις της Κομποστοποίησης

Η υπό αερόβιες συνθήκες δράση των μικροβίων εξασφαλίζει την ζύμωση των απορριμμάτων, με την παράλληλη ανάπτυξη σοβαρής ποσότητας θερμικής ενέργειας. Οι μικροοργανισμοί σπάνε τους χημικούς δεσμούς με τους οποίους συνδέονται τα άτομα του άνθρακα μεταξύ τους. Στη συνέχεια σχηματίζουν πρωτεΐνες, συνδυάζοντας την χημική ενέργεια που εκλύεται, με τα άτομα άνθρακα και αζώτου, που βρίσκονται προσωρινά σε διάσπαση.[11]

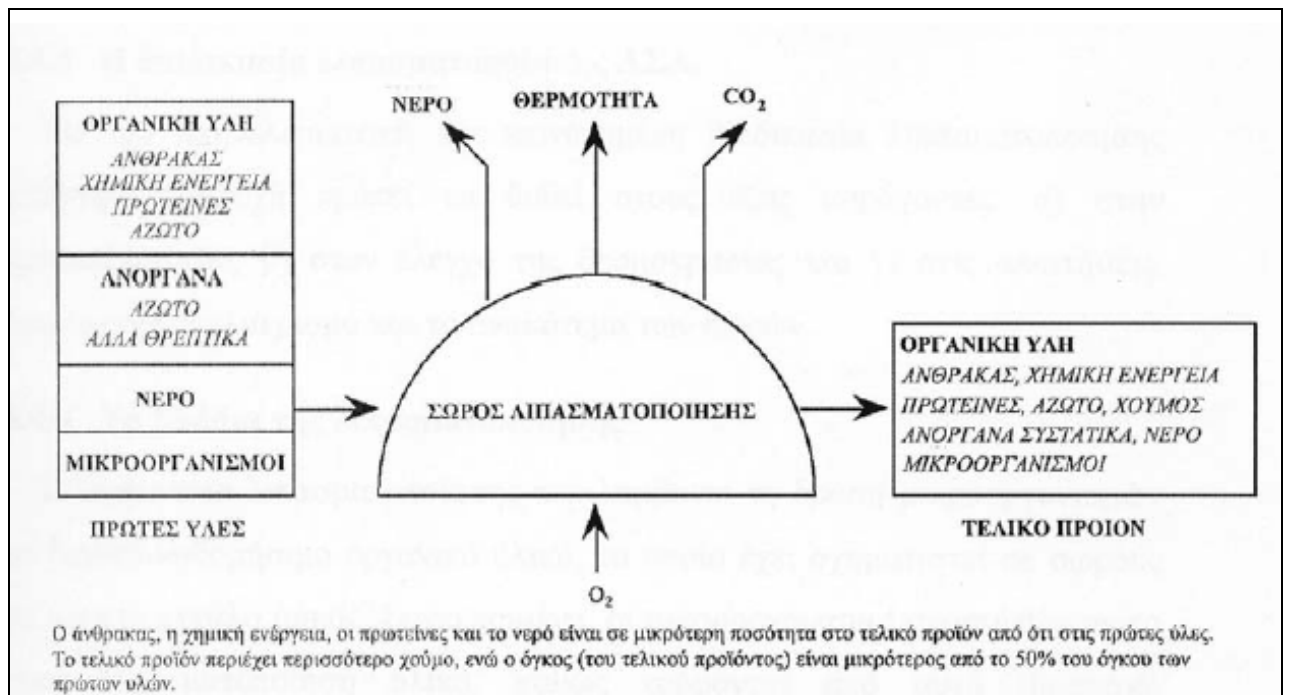
Οι κυριότερες ομάδες οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (BAA) είναι οι πρωτεΐνες (3-4 %), τα λίπη (2-4%), τα σάκχαρα (8-10%), οι κυτταρίνες και ημικυτταρίνες (44-50 %) και οι λιγνίνες (12-15 %). [8], [9] Ανάλογα με την ευκολία βιοαποδομησιμότητας των παραπάνω υλικών, μπορεί να γίνει ταξινόμηση στις εξής κατηγορίες: [9]

- Εύκολα αποδομήσιμα: σάκχαρο, άμυλο, ημικυτταρίνες, κάποιες πρωτεΐνες

- Υλικά που χρειάζονται αρκετό διάστημα και συγκεκριμένες κατάλληλες συνθήκες για να αποδομηθούν: κυτταρίνες, λίπη και ορισμένες πρωτεΐνες
- Υλικά αρκετά ανθεκτικά στην αποδόμηση: λιγνίνες, κερατίνες

Βοηθούμενη η μεταβολική τους δραστηριότητα από ενδοκυτταρικά και εξωκυτταρικά ένζυμα, αποικοδομείται η οργανική ύλη και έχει ως αποτέλεσμα: [10]

- ο τον σχηματισμό πλήθους μεταβολικών προϊόντων, όπως χουμικές ουσίες ή και λιγνο-πρωτεΐνες
- ο Την αποδέσμευση των θρεπτικών στοιχείων από οργανικές ενώσεις και μεταφορά σε διαλυτά και αδιάλυτα ανόργανα άλατα,
- ο την έκλυση αερίων, όπως αμμωνίας, διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου, υδρατμών.



Σχήμα 3.2: Σχηματική παράσταση της διαδικασίας της κομποστοποίησης [11]

Φάσεις της ζύμωσης

Η ζύμωση των οικιακών απορριμμάτων αποβλέπει κυρίως στην απόκτηση μια υψηλής θερμοκρασίας, για την αποστείρωση του παραγόμενου υλικού και γίνεται στις τέσσερις παρακάτω φάσεις[12]:

- **Την λανθάνουσα φάση.** Σε αυτήν αντιστοιχεί ο χρόνος που απαιτείται για την δημιουργία των αποικιών των μικροοργανισμών, στο καινούριο μέσο που δημιουργήθηκε για αυτούς [13].
- **Μεσόφιλος Φάση (Φάση της αύξησης).** Κατά την οποία ανεβαίνει η θερμοκρασία, η οποία εξελίσσεται πιο γρήγορα όταν ο αέρας και το νερό είναι κοντά στην επιθυμητή περιεκτικότητα. Σε αυτήν αναπτύσσονται τα μεσόφιλα μικρόβια που προκαλούν και την έναρξη της ζύμωσης. Στους 45-50°C, όπου ανεβαίνει η θερμοκρασία λόγω της βιοδιάσπασης, τα μεσόφιλα μικρόβια πεθαίνουν. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η αποδόμηση των περισσότερο εύληπτων θρεπτικών υλών (πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπίδια, υδατάνθρακες μικρού μοριακού βάρους). Αυτή η φάση υφίσταται μέχρι τις 25 πρώτες μέρες του κύκλου της κομποστοποίησης [9]
- **Φάση θερμόφιλος.** Σε αυτή τη φάση ενεργεί ένα άλλο μικροβιακό κύμα, που αντικαθιστά το προηγούμενο και συνεχίζει το έργο της αποδόμησης και ανύψωσης της θερμοκρασίας. [13]

Με την χρησιμοποίηση διαφόρων πρακτικών, που θα αναλυθούν παρακάτω, οι υψηλές θερμοκρασίες που καταλαμβάνουν αρχικά μόνο ένα τμήμα του εσωτερικού πυρήνα του σωρού των ΒΑΑ, μπορούν να επεκταθούν σε όλο τον όγκο του υγειοποιώντας έτσι ολόένα και περισσότερο το μεγαλύτερο μέρος του. Ικανοποιητικά επίπεδα υγειοποίησης (=καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών και παρασίτων) επιτυγχάνονται όταν όλα τα τμήματα του σωρού υποστούν μια θερμοκρασία της τάξης των 55-65°C για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια.[12] Πάνω από τους 65°C συνήθως και τα περισσότερα θερμόφιλα μικρόβια πεθαίνουν. [13] Το παραγόμενο προϊόν από αυτή τη φάση χαρακτηρίζεται ως «φρέσκο» ή «ανώριμο» κόμποστ που δεν έχει αποδομηθεί ολοκληρωτικά και δεν έχει σταθεροποιηθεί. [10] Είναι υγειοποιημένο υλικό που βρίσκεται, ή είναι ικανό να βρεθεί σε συνθήκες εντατικής αποσύνθεσης με μεγάλη περιεκτικότητα σε ευκόλως αποδομήσιμη οργανική ουσία. Είναι δυνατόν να προκαλέσει κατά την εφαρμογή του στο έδαφος τροφοπενία κυρίως N και ακόμη φυτοτοξικά συμπτώματα. [14]

- **Φάση ψύξης:** Με τη συνεχή κατανάλωση του υποστρώματος, ο ρυθμός αποικοδόμησης μειώνεται, συνεπώς και η θερμοκρασία πλέον αρχίζει και ελαττώνεται και εξισώνεται βαθμιαία με εκείνη του περιβάλλοντος. Η δραστηριότητα των θερμόφιλων μικροοργανισμών πλέον σταματάει. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί, ότι η

πτώση της θερμοκρασίας δεν αποτελεί απαραίτητα ένδειξη σταθεροποίησης του υλικού, διότι η δραστηριότητα των μικροβίων μπορεί απλά να έχει παρεμποδιστεί από άλλους παράγοντες, όπως π.χ. χαμηλή υγρασία. Αποτέλεσμα αυτού είναι να δίνεται μια πλασματική εικόνα σταθεροποίησης. Γενικά το προϊόν σε αυτό το στάδιο αρχίζει και υφίσταται χουμοποίηση. Πλέον δεν υπάρχει κίνδυνος φυτοτοξικότητας. Ωστόσο είναι προτιμότερο να αποφεύγεται η επαφή του υλικού αυτής της φάσης με τις ρίζες των φυτών γιατί μπορεί η ανάπτυξη τους να ανασταλεί προσωρινά. [10]

- **Φάση ωρίμανσης:** Με αυτήν τη φάση η διαδικασία τελειώνει. Το κόμποστ φτάνει στο στάδιο ωρίμανσης και περιέχει χουμικά κολλοειδή, που συνδέονται με μεταλλικά στοιχεία (σίδηρος, άζωτο, άσβεστο κλπ) και χούμο που αποτελεί τις σύνθετες οργανικές ενώσεις που προκύπτουν από την αποσύνθεση ζωικών και φυτικών ιστών στο έδαφος. Εδώ συμπληρώνεται ο εποικισμός του υλικού με την πανίδα του εδάφους (γαιοσκώληκες κ.ά.) και επιτελούνται οι τελικές διεργασίες σχηματισμού των χουμικών και φουλβικών ουσιών. Το «ώριμο» πλέον κόμποστ είναι ασφαλές πλέον υγειονομικά . Η ποιότητα του συγκρίνεται πλέον μόνο με αυτήν του φυσικού χούμου. [10],[15]

Σε αυτό το στάδιο διευκολύνεται η μετατροπή του NH_4^+ σε ενδεχομένως τοξικού μετέπειτα NO_3^- και επιτρέπει την απώλεια φυτοτοξικών πτητικών ενώσεων και την σταθεροποίηση της μικροβιακής κοινότητας.

Συχνά σε αυτή τη φάση πολλές φορές ,δεν δίνεται η απαιτούμενη διάρκεια, προκειμένου να εξοικονομηθεί χώρος αλλά και χρόνος και να αυξηθεί η παραγωγή ενός εργοστασίου. Είναι όμως ένα στάδιο ζωτικής σημασίας γιατί βελτιώνεται φυσικά και χημικά η ποιότητα του τελικού προϊόντος. [15]

Σύμφωνα με την πλειοψηφία της βιβλιογραφίας, οι τρεις πρώτες φάσεις λαμβάνουν χώρα σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα που διαρκεί- ανάλογα με το σύστημα κομποστοποίησης που χρησιμοποιείται- 2-8 εβδομάδες και η φάση ωρίμανσης από 1-6 μήνες. [10], [16]

3.4 Περιβαλλοντικοί παράγοντες της Κομποστοποίησης

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες «κλειδί» της κομποστοποίησης είναι ο λόγος άνθρακα-αζώτου (C: N), η υγρασία, το οξυγόνο, το pH και η θερμοκρασία. [17] Μια σύντομη αναφορά για το καθένα ακολουθεί παρακάτω:

Θερμοκρασία: Η αποικοδόμηση επιταχύνεται όταν επικρατούν οι θερμοκρασίες μεταξύ 32-60 °C. Σε θερμοκρασίες κάτω των 32 °C η διαδικασία επιβραδύνεται σημαντικά, διότι ο μεταβολισμός των μικροοργανισμών επηρεάζεται αρνητικά. Αν η θερμοκρασία υπερβεί τους 60°C (πολύ πιθανόν να ξεπεράσει και τους 70°C) προκαλείται είτε αδρανοποίηση ή θερμικός θάνατος των μικροοργανισμών. Η θερμοκρασία πρέπει να ελέγχεται ώστε να παραμένει πάνω από τους 55°C για τρεις τουλάχιστον ημέρες. Αυτό συνεπάγεται την εξαφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την εξυγίανση του προϊόντος υλικού. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας πρέπει να είναι συνεχής και προσεκτικός, διότι στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να καταστραφούν και ομάδες μικροοργανισμών (π.χ. ακτινομύκητες) που είναι χρήσιμες στην αποδόμηση κυρίων ανθεκτικών στοιχείων όπως οι κυτταρίνες και οι λιγνίνες. Συνεπώς η διέλευση από το θερμόφιλο πρέπει να είναι γρήγορη και στη συνέχεια η θερμοκρασία να διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα. [10] Οι θερμοκρασίες που ευνοούν τους θερμόφιλους μικροοργανισμούς κατέχουν την μεγαλύτερη σημασία διότι :

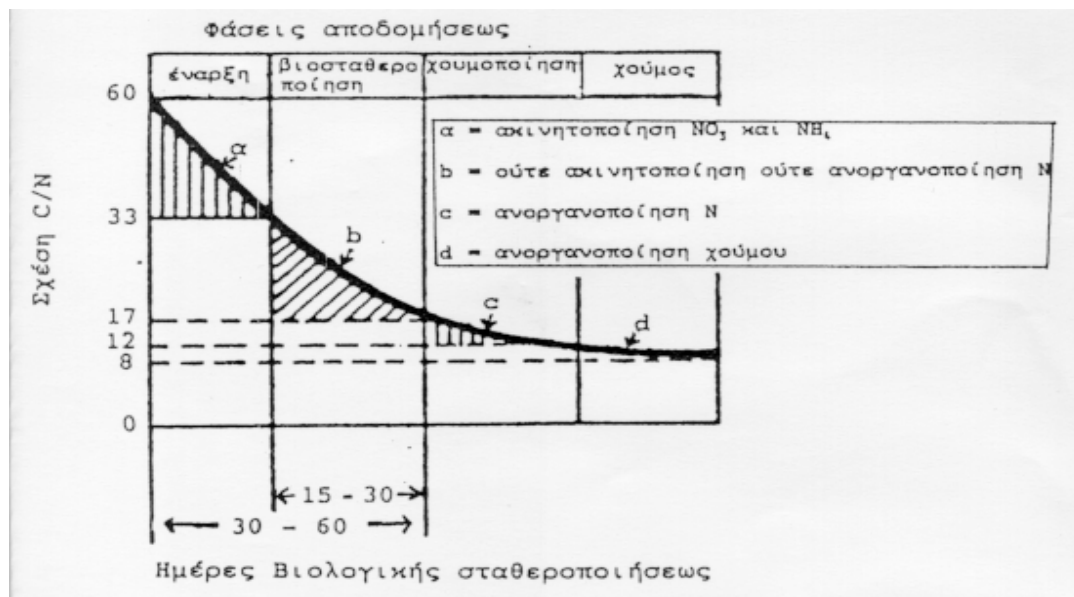
- I. Επιτυγχάνεται ταχύτερη αποικοδόμηση
- II. Καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με κατάλληλη ρύθμιση της συχνότητας των αναδεύσεων και της παροχής αερισμού. [10],[17]

Λόγος C/N: Ο άνθρακας και το άζωτο είναι τα δυο πιο σημαντικά στοιχεία στη διεργασία της κομποστοποίησης. Ο άνθρακας αποτελεί την πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς, καθώς ένα μικρό κλάσμα του ενσωματώνεται στα κύτταρα τους. Το άζωτο είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη του μικροβιακού πληθυσμού. Αν η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι πολύ μεγάλη, προκαλείται μια αργή αποσύνθεση που αυξάνει τον απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας. Οι μικροοργανισμοί υποχρεώνονται να αναπτύσσονται σε διαδοχικούς βιολογικούς κύκλους, οξειδώνοντας έτσι αργά το πλεόνασμα του άνθρακα μέχρι να φέρουν το λόγο C/N σε ευνοϊκές τιμές για το μεταβολισμό τους. Αν το άζωτο είναι πολύ περιορισμένο, τότε οι μικροοργανισμοί παραμένουν μικροί και καθυστερούν αρκετά να αποικοδομήσουν

τον διαθέσιμο άνθρακα. Από την άλλη πλευρά, υπερβολική περιεκτικότητα σε άζωτο, δηλαδή πολύ παραπάνω από τις απαιτήσεις των μικροοργανισμών, οδηγούν στην απώλεια του με τη δημιουργία αμμωνίας ή άλλων αζωτούχων ενώσεων που προκαλούν οσμές και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα. [17] Το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ. έχει συνήθως λόγο C/N κυμαινόμενο από 20:1 μέχρι 50:1 (μεγάλος λόγος σημαίνει π.χ. αυξημένη ποσότητα χαρτιού που προσφέρει C, έναντι υπολειμμάτων τροφών που προσφέρουν N). [10] Η καλύτερη βιοσταθεροποίηση γίνεται όταν ο λόγος C/N κυμαίνεται από 25:1 έως 40:1 κατά βάρος. [10],[17]

Αυξάνοντας την επιφάνεια των σωματιδίων των απορριμμάτων, μέσω αλέσματος ή τεμαχισμού, μπορεί να αυξηθεί και η διαθεσιμότητα του άνθρακα και να επιταχυνθεί η αποικοδόμηση αν υπάρχει και διαθεσιμότητα του αζώτου. Όσον αφορά την ρύθμιση της του λόγου C/N στην όσο το δυνατόν βέλτιστη τιμή, σε απορρίμματα με υψηλό λόγο C/N είθισται να προστίθεται ιλύς από εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων η οποία έχει λόγο C/N περίπου ίσο με 10, ενώ για χαμηλό λόγο C/N ενδείκνυται η προσθήκη υλικών πλούσιων σε C, όπως πριονίδι, κλαδιά ή άχυρα. Το τελικό προϊόν (κόμποστ) πρέπει να ελέγχεται ώστε ο λόγος C/N να μην είναι μεγαλύτερος από 30:1 γιατί σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει κίνδυνος κατά την εφαρμογή του κόμποστ στο έδαφος, να συνεχιστεί η αποδόμηση της οργανικής ουσίας από τους εμπειερχόμενους μικροοργανισμούς, οι οποίοι θα απορροφήσουν ακόμη και από το έδαφος το άζωτο - πολύτιμο στοιχείο ως λίπασμα – για την κυτταρική τους ανάπτυξη. Ωστόσο, αυτό εξαρτάται και από τη βιοδιαθεσιμότητα του άνθρακα στο κόμποστ και θα πρέπει να εξετάζεται σφαιρικότερα, με κατάλληλες μετρήσεις του βαθμού σταθεροποίησης του κόμποστ (αναπνευστική δραστηριότητα, δυναμικό αυτοθέρμανσης κ.ά.). [10], [17]



Διάγραμμα 3.1: Οι φάσεις κομποστοποίησης της οργανικής ουσίας με βάση τη σχέση C/N και τις ημέρες μετά την σταθεροποίηση και χουμοποίηση[14]

Υγρασία: Η υγρασία αποτελεί ένα βασικό παράγοντα της διεργασίας της αποικοδόμησης, καθώς η δεύτερη πραγματοποιείται σε λεπτές υγρές μεμβράνες στην επιφάνεια των τεμαχίων των απορριμμάτων. Το μείγμα των απορριμμάτων όμως μπορεί να περιέχει παραπάνω υγρασία από όσο είναι απαραίτητη κι αυτό συμβάλλει στη παρεμπόδιση του αερισμού και στη μείωση της παροχής του οξυγόνου. Συγκεκριμένα η υπερβολική υγρασία έχει ως αποτέλεσμα να γεμίζουν οι πόροι μεταξύ των τεμαχίων των BAA με νερό, βελτιώνοντας την μικροβιακή αποικοδόμηση αλλά ταυτόχρονα μειώνοντας την μεταφορά του οξυγόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία αναερόβιων συνθηκών που οδηγεί στην ενεργοποίηση αναερόβιου μεταβολισμού και την παραγωγή ανεπιθύμητων οσμών κι άλλων υποπροϊόντων. [17] Η βέλτιστη υγρασία του υποστρώματος εξαρτάται από τη σύστασή του, από το μέγεθος των σωματιδίων, από τον αερισμό και από τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται. Κατά τη βιοσταθεροποίηση με τη μέθοδο των αναστρεφόμενων σειραδίων η ιδανική υγρασία είναι μεταξύ 40 και 50 %. Για υγρασία μικρότερη του 40 % σύντομα αφυδατώνεται το υπόστρωμα εξαιτίας της μικροβιακής δραστηριότητας, με αποτέλεσμα να συμβαίνει φυσική αλλά όχι βιολογική σταθεροποίηση. Το μέγιστο όριο για να αποφευχθεί η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών, με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω είναι 70%. [10]

pH: Εξίσου σημαντικός παράγοντας, που χρησιμεύει στη διάγνωση ορισμένων προβλημάτων κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. Η αρχική τιμή των BAA είναι συνήθως κοντά στην τιμή 7. Στη συνέχεια το pH μειώνεται και αυτό οφείλεται στην

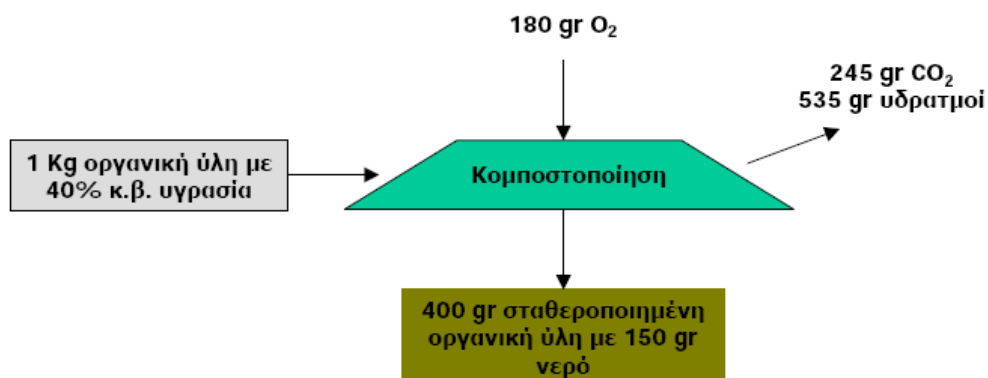
δράση των μικροοργανισμών που δημιουργούν οξέα (π.χ. αμινοξέα) με τη διάσπαση των σύνθετων οργανικών ενώσεων. Στη συνέχεια η τιμή του αυξάνεται, επειδή αφ' ενός τα οργανικά οξέα καταναλώνονται και αφ' ετέρου, με την έναρξη της πρωτεϊνολυτικής διαδικασίας παράγεται άζωτο και αμμωνία, το δε υλικό μετατρέπεται σε αλκαλικό (το pH φτάνει μέχρι περίπου 8). Τελικά το pH πέφτει λίγο και τελικά σταθεροποιείται σε ελαφρά αλκαλική περιοχή (7,5 έως 8,5) ενώ για την κανονική ανάπτυξη των φυτών συνίσταται περιοχή pH 5,5 έως 8,0.[10] [17] Η βέλτιστη τιμή του pH για την ανάπτυξη και δράση των μικροοργανισμών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους. Έχει αποδειχθεί ότι οι βέλτιστες τιμές για τα βακτηρίδια κυμαίνονται από 6 έως 7,5 και για τους μύκητες από 5,5 έως 8. Όταν η τιμή του pH πέσει κάτω από 6, η διαδικασία της κομποστοποίησης επιβραδύνεται. Από την άλλη πλευρά όταν υπερβεί την τιμή 8 υπάρχει κίνδυνος για την εκπομπή ανεπιθύμητης αμμωνίας. Ο επιπλέον αερισμός αποτελεί λύση συνήθως για τη ρύθμιση του, όπως επίσης και προσθήκη ασβέστιο ή κάποιου άλλου χημικού παράγοντα. [18]

Μέγεθος τεμαχίων: η μικροβιακή δράση λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του καθενός τεμαχίου, τα τεμάχια με μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας ανά μονάδα όγκου (μεγαλύτερη επιφάνεια προσβολής), επιτρέπουν στους μικροοργανισμούς την αποικοδόμηση περισσότερου υλικού. Το βέλτιστο μέγεθος-κοκκομετρία των απορριμμάτων είναι τέτοιο ώστε να διευκολύνεται και η ροή του αέρα μέσα στη μάζα των απορριμμάτων. [13]

Αερισμός- Οξυγόνο: Το οξυγόνο είναι το ηλεκτρονιόφιλο στοιχείο στις αντιδράσεις της αερόβιας μικροβιακής αποικοδόμησης. Η παρουσία του αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαδικασία της κομποστοποίησης, η οποία είναι εξ' ορισμού αερόβια, αφού το οξυγόνο είναι απαραίτητο για το μεταβολισμό και τη μικροβιακή αναπνοή καθώς και για την οξειδωση των οργανικών ενώσεων. Η σύσταση του αέρα μεταξύ των σωματιδίων αρχίζει να μεταβάλλεται μόλις αρχίσει η βιοοξειδωτική δραστηριότητα, καθώς αυξάνει σταδιακά η συγκέντρωση του CO₂ και μειώνεται η συγκέντρωση του O₂. [13], [17] Τα χαμηλά -ανεπαρκή επίπεδα οξυγόνου οδηγούν στην ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών και την παραγωγή ανεπιθύμητων οσμών. Εδώ πρέπει να σημειωθεί σε ένα ετερογενές υλικό όπως τα BAA, είναι πολύ δύσκολο να εκλείψουν όλοι οι αναερόβιοι θύλακες ανάμεσα στα τεμάχια. Ακόμα και με κατάλληλη παροχή οξυγόνου και με αερόβιες συνθήκες γενικά στην έκταση του μείγματος, θα παράγεται σε ένα μικρό βαθμό αμμωνία και άλλες οργανικές ενώσεις. [17] Ο σωρός πρέπει να επιτρέπει τη διαφυγή των εκλυόμενων γενικά αερίων, που θα διαχειρίζονται κατάλληλα σε σχέση με το περιβάλλον.

Η κατανάλωση O₂ είναι ανάλογη με την ένταση της μικροβιακής δραστηριότητας και σε θερμοκρασίες 45 – 55 °C παρατηρείται η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου. Ο αερισμός κατά την κομποστοποίηση έχει διττό ρόλο: εκτός από την εξασφάλιση αερόβιων συνθηκών, η παροχή αέρα έχει στόχο και τον έλεγχο της θερμοκρασίας του σωρού, η οποία αλλιώς μπορεί να ανέλθει σε δυσμενή για τους μικροοργανισμούς επίπεδα (π.χ. άνω των 55–50 °C).

Ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.3 : Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας κατά την κομποστοποίηση[19]

Συμπερασματικά, όλες οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι απαραίτητο να διατηρούνται σε συγκεκριμένα επίπεδα για την ομαλή ροή της διεργασίας. Παρακάτω παρατίθενται οι βέλτιστες τιμές τους:

Πίνακας 3.1: Βέλτιστες τιμές παραμέτρων κομποστοποίησης[11]

<i>Περιβαλλοντικός Παράγοντας</i>	<i>Βέλτιστες τιμές</i>
Υγρασία%	40-60
Λόγος C/N	20-30
pH	6-8
Οξυγόνο %	10-15
Μέγεθος τεμαχίων	-
Θερμοκρασία °C	32-60

3.5 Συστήματα της Κομποστοποίησης

Τα συστήματα κομποστοποίησης αποτελούνται από δυο κατηγορίες τα ανοιχτά συστήματα και τα κλειστά συστήματα. [10],[20] Στα ανοιχτά συστήματα η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα στην ύπαιθρο ή σε ημίκλειστα κτίρια. Στα κλειστά

συστήματα η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε ειδικά σχεδιασμένους βιοαντιδραστήρες ή σε κλειστά κτίρια, απ' όπου είναι εφικτή η απαγωγή και επεξεργασία του αέρα και των οσμών, οι οποίες αποτελούν σημαντικό πρόβλημα για πολλές μονάδες κομποστοποίησης, ειδικά όταν γειτνιάζουν με κατοικημένες περιοχές. Τα κλειστά συστήματα διακρίνονται σε κάθετους αντιδραστήρες συνεχούς ή ασυνεχούς ροής και σε οριζόντιους αντιδραστήρες είτε στατικούς είτε με κίνηση του σωρού. [10]

Πίνακας 3.2: Κατηγοριοποίηση Συστημάτων

ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (βιοαντιδραστήρες και κλειστά κτίρια)	ΑΝΟΙΧΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (σειράδια)
<p>Κάθετοι αντιδραστήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Συνεχούς ροής</i> • <i>Ασυνεχούς ροής</i> <p>Οριζόντιοι αντιδραστήρες</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Στατικοί</i> • <i>Με κίνηση του υλικού</i> 	<p>Αναστρεφόμενα σειράδια (windrows)</p> <p>Αεριζόμενοι στατικοί σωροί (aerated static piles – ASP)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>με απορρόφηση αέρα</i> • <i>με εμφύσηση αέρα</i> • <i>με μεταβαλλόμενο αερισμό (απορρόφηση και εμφύσηση)</i> • <i>με εμφύσηση ή/και απορρόφηση αέρα σε συνδυασμό με έλεγχο θερμοκρασίας</i>

3.5.1 Ανοιχτά Συστήματα

Τα νωπά οικιακά απορρίμματα τοποθετούνται στην επιφάνεια που έχει οριστεί σαν μέρος εναπόθεσης τους. Η ζύμωση εδώ γίνεται στον ελεύθερο αέρα και υφίσταται τις κλιματικές επιδράσεις. Γι' αυτό στα ψυχρά και υγρά κλίματα, θα ήταν επιθυμητή η κομποστοποίηση και η αποθήκευση να γίνεται κάτω από υπόστεγα. [9]

Τα ανοικτά συστήματα ή σειράδια διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη μέθοδο του αερισμού: [8]

1. τα **αναστρεφόμενα σειράδια (windrows)** και
2. τους **αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile – ASP)**

3.5.1.1 Αναστρεφόμενα σειράδια (windrows)

Είναι σειρές συνεχούς μορφής κι έχουν τριγωνική διατομή. Βέλτιστο ύψος θεωρούνται τα 1,5 – 3,0 m, αφού σε μικρότερα ύψη υπάρχουν μεγάλες απώλειες θερμότητας και κατά συνέπεια η θερμοκρασία είναι χαμηλή, ενώ σε μεγαλύτερα ύψη υπάρχει κίνδυνος εγκατάστασης αναερόβιων συνθηκών. Το πλάτος του σειραδιού δεν έχει μεγάλη επίδραση στη διεργασία (κυμαίνεται γύρω στα 3-6 m, ανάλογα με το μέγεθος του αναστροφέα), όπως και το μήκος που επιλέγεται συνήθως ως η ισοδύναμη παραγωγή μιας ημέρας ή ανάλογα με τη γεωμετρία της κομποστοπλατείας- συνήθως φτάνει μέχρι τα 100 μέτρα. [10]



Εικόνα 3.1: Σειράδια [13]

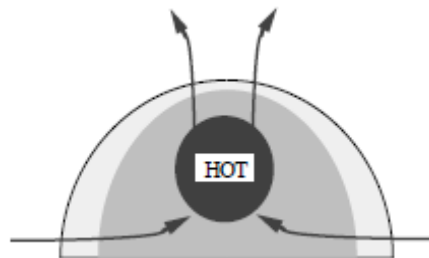
Η αναστροφή των σειραδιών είναι απαραίτητη για την παροχή οξυγόνου και τον έλεγχο της θερμοκρασίας στα συστήματα των αναστρεφόμενων σειραδιών, αλλά μπορεί να είναι χρήσιμη σε αραιά διαστήματα (1-2 φορές κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας) και για τους *αεριζόμενους σωρούς*, διότι αναδεύοντάς το απελευθερώνεται θερμότητα και υγρασία κι έτσι βελτιώνει τη δομή και το πορώδες του υλικού. Η αναστροφή επίσης συμβάλλει στο να θρυμματιστούν σε επιμέρους τμήματα συμπαγείς μάζες των απορριμμάτων κι έτσι να βελτιωθεί η μεταφορά του οξυγόνου. [2]

Η αναστροφή μπορεί να επιτευχθεί είτε με φορτωτές είτε με ειδικά μηχανήματα αναστροφής του υλικού. Οι αναστροφείς μπορεί να είναι ελκόμενοι από ένα τρακτέρ ή συναφές μηχάνημα (για μονάδες χαμηλής δυναμικότητας) ή αυτοκινούμενοι.[9]



Εικόνα 3.2: Σύστημα αναστρεφόμενων σειραδιών με αυτοκινούμενο αναστροφέα

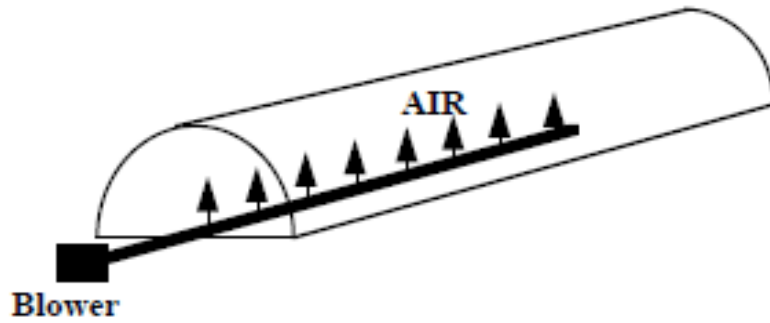
Η θερμοκρασία παρακολουθείται μέσω μίας θερμοδομετρικής ράβδου. Οι θερμοκρασίες γενικά λαμβάνονται στα 50-60 εκ. από την επιφάνεια του σωρού, κάθε ημέρα. Όταν η ζύμωση είναι κανονική και η θερμοκρασία, πάνω από τους 65°C, δεν είναι αναγκαίο κανένα γύρισμα. Εάν σταθεροποιηθεί στους 50°C ή κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, πρέπει να υπάρξει αναστροφή των σωρών γιατί η απουσία του αέρα μπορεί να είναι προσδιοριστικός παράγοντας. Η ζύμωση γενικά θεωρείται ότι έχει προχωρήσει αρκετά, όταν μετά από ένα γύρισμα η εσωτερική θερμοκρασία δεν ανεβαίνει άλλο. [10]



Σχήμα 3.3: Η φυσική κυκλοφορία του αέρα στα σειράδια[17]

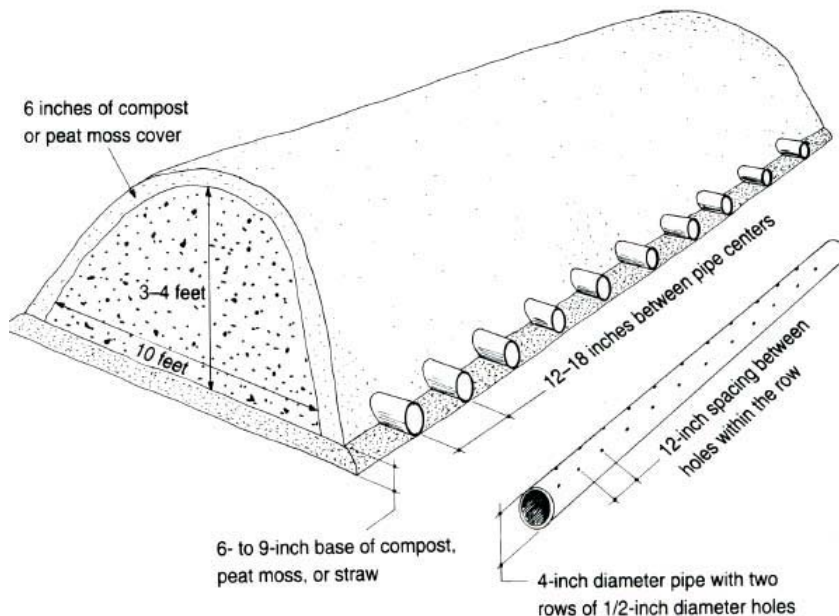
3.5.1.2 Αεριζόμενοι στατικοί σωροί (aerated static pile – ASP)

Είναι συστήματα πιο σύνθετα από τα αναστρεφόμενα σειράδια χρησιμοποιώντας εξαναγκασμένο αερισμό για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας σε οξυγόνο του υλικού, δηλαδή δεν αναδεύονται προκειμένου αυτό να επιτευχθεί. Προσφέρει καλύτερο έλεγχο στις συνθήκες της διεργασίας.



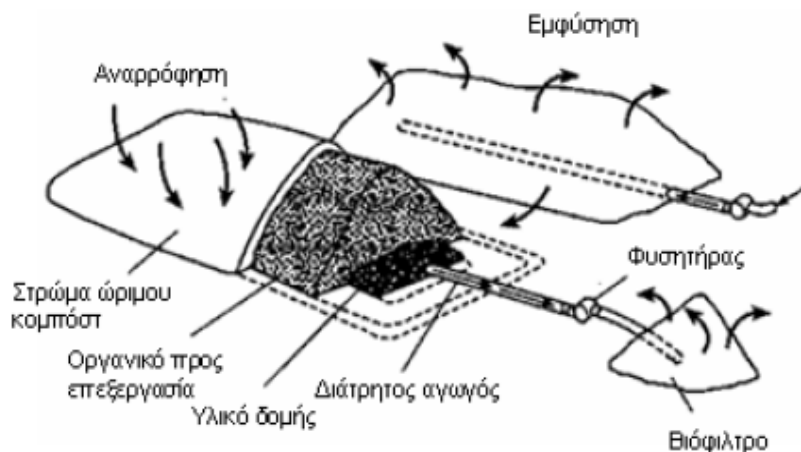
Σχήμα 3.4: Απλή σχηματική αναπαράσταση εξαναγκασμένου αερισμού στο σειράδι

Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί όσον αφορά το κόστος, σε σχέση με αυτήν των αναστρεφόμενων σειραδίων, εφόσον απαιτεί μικρότερο χώρο και δεν υπάρχουν και τα μειονεκτήματα που τη συνοδεύουν π.χ. οσμές, σκόνη στον αέρα που πιθανόν να είναι βακτηριακά βεβαρημένα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να είναι εντελώς ανοικτά (γεγονός που με βάση την υπάρχουσα νομοθεσία δεν επιτρέπεται για αστικά απόβλητα κουζίνες) ή στεγασμένα. Όσον αφορά τα ΑΣΑ και τις συνιστώσες τους, τα συστήματα αυτά προσφέρονται για την επεξεργασία των αποβλήτων κήπου, που προκαλούν χαμηλή όχληση κατά την επεξεργασία τους, ενώ δεν απαιτούν ακριβείς τεχνολογίες υψηλού επιπέδου για τον έλεγχο των παραμέτρων της κομποστοποίησης.[9]



Σχήμα 3.5: Σύστημα εξαναγκασμένου αερισμού [17]

Παρακάτω απεικονίζονται βασικά εξαρτήματα και διαδικασίες της κομποστοποίησης σε σειράδια με εξαναγκασμένο αερισμό .



Σχήμα 3.6: Στατικός αεριζόμενος σωρός

Πολλές φορές επίσης το σταθεροποιημένο προϊόν από την κομποστοποίηση βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, τοποθετείται σε ανοικτά συστήματα με στόχο την περαιτέρω ωρίμανσή του. [9] Παραλλαγή μπορεί να αποτελεί η τοποθέτηση στεγάστρου για τη μερική στέγαση των σωρών.

3.5.2 Κλειστά συστήματα (in vessel composting)

Η κομποστοποίηση στα κλειστά συστήματα λαμβάνει χώρα σε βιοαντιδραστήρες ή κλειστά κτίρια. Χαρακτηρίζονται συνήθως από δυναμικό αερισμό, με ή χωρίς ανάδευση, μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η ταχύτερη βιοχημική σταθεροποίηση του οργανικού υλικού, η καλύτερη ποιότητα των χαρακτηριστικών του και η δυνατότητα ελέγχου και επεξεργασίας των οσμών οι οποίες αποτελούν σημαντικό πρόβλημα, ειδικά όταν η κομποστοποίηση γίνεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Οι δύο κυρίες κατηγορίες των βιοαντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία των κλειστών συστημάτων είναι οι κάθετοι και οριζόντιοι.[8]

3.5.2.1 Κάθετοι αντιδραστήρες

Οι αντιδραστήρες αυτοί έχουν σημαντικό ύψος (συνήθως πάνω από 4 μέτρα) και μπορεί να είναι συνεχούς λειτουργίας ή ασυνεχούς λειτουργίας με ή χωρίς ανάδευση. Η τροφοδοσία στον αντιδραστήρα γίνεται στην κορυφή μέσω ενός μηχανισμού διανομής, και κατέρχεται μέσω της βαρύτητας στον πυθμένα. [17]

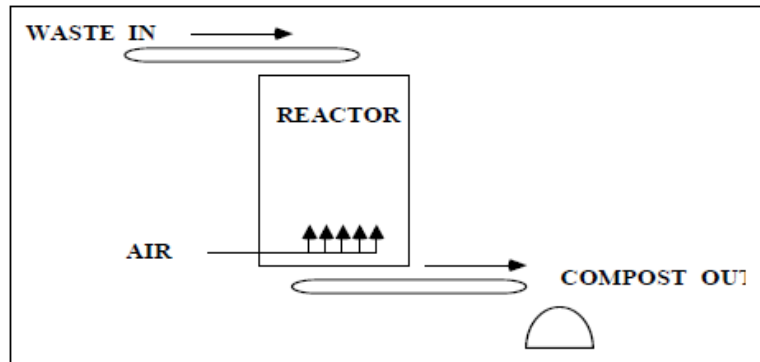
Το ύψος αυτών των αντιδραστήρων καθιστούν δύσκολο τον έλεγχο της διεργασίας λόγω των υψηλών ρυθμών ροής αέρα που απαιτούνται ανά μονάδα επιφάνειας. Πολλοί κατασκευαστές έχουν ελαχιστοποιήσει αυτές τις δυσκολίες βελτιώνοντας το σύστημα με το οποίο διανέμεται ο αέρας, αλλάζοντας την κατεύθυνση της ροής του από κάθετη σε οριζόντια. Οι κάθετοι αντιδραστήρες σπάνια χρησιμοποιούνται για την κομποστοποίηση των απορριμμάτων λόγω του ότι αποτελούν ετερογενή μίγματα.[21]



Σχήμα 3.7: Γραφική απεικόνιση κάθετου αντιδραστήρα

Είδη κάθετων συστημάτων που βρίσκουν εφαρμογή περιγράφονται ειδικότερα παρακάτω:

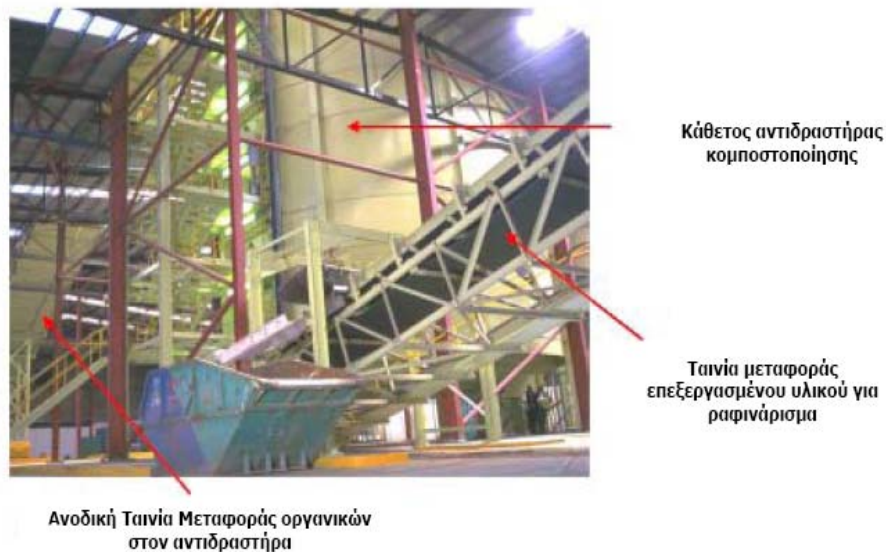
Τα **συνεχή κάθετα συστήματα χωρίς ανάδευση (συνεχούς ροής)** αποτελούνται από PFR βιοαντιδραστήρες, οι οποίοι είναι θερμικά μονωμένοι αεροστεγείς κλειστοί κύλινδροι (ύψους μέχρι 9 m). Το υλικό εισάγεται από την κορυφή και κατεβαίνει βαρυτικά σε περίοδο δύο περίπου εβδομάδων. Η μάζα αερίζεται με ρεύμα αέρα από τον πυθμένα προς την κορυφή, με θετική πίεση στον πυθμένα και απορρόφηση στην κορυφή. Η διεργασία εξελίσσεται απουσία μηχανικής ανάδευσης προκειμένου να αποφευχθεί η διαταραχή των βιολογικών διαδικασιών. Γενικά η διαδικασία είναι δύσκολο να ελεγχθεί λόγω αδυναμίας ομοιογενούς κατανομής του οξυγόνου καθώς και διατήρησης της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα σε όλη την έκταση του υλικού. Το έτοιμο υλικό εξέρχεται από τον πυθμένα του αντιδραστήρα με ειδική διάταξη. [22]



Σχήμα 3.8: Σχηματική αναπαράσταση των συνεχών κάθετων χωρίς ανάδευση συστημάτων

Τα **κάθετα συστήματα με ανάδευση** φέρουν αντίστοιχα, εσωτερικό αναδευτήρα που φέρει περιστρεφόμενη γέφυρα με ατέρμονες κοχλίες στο μισό της μήκος. Το προς κομποστοποίηση υλικό εισάγεται στο κέντρο περιστροφής της γέφυρας και με τη βοήθεια του ατέρμονα κοχλία μετατοπίζεται προς την περίμετρο και περιοδικά έρχεται σε επαφή με τον αέρα ενώ σταδιακά κινείται προς τα κάτω μέχρι που τελικά απάγεται από τον πυθμένα και οδηγείται σε κατάλληλο χώρο για ωρίμανση. [21]

Στα **ασυνεχή κάθετα συστήματα (ασυνεχούς ροής)** επιτυγχάνεται καλύτερος αερισμός με το υλικό να είναι τοποθετημένο σε στρώματα, όχι υψηλότερα από 3 m, σε επάλληλα επίπεδα. Ένας τέτοιος αντιδραστήρας αποτελείται από έναν κάθετο κυλινδρικό πύργο που περιέχει μέχρι έξι επίπεδα. Τα απόβλητα εισάγονται στην κορυφή και παραμένουν εκεί για κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ. μια μέρα), κατόπιν διέρχονται από κάθε επίπεδο και εξέρχονται μετά από ολική πορεία μιας ή δύο εβδομάδων. Τα διάφορα επίπεδα μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να δουλεύουν με ανεξάρτητο πρόγραμμα αερισμού ανάλογα με τις ανάγκες (οξυγόνωσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, κ.λ.π.) της βιομάζας που περιέχουν. [10], [20]



Εικόνα 3.3 : Κάθετος αντιδραστήρας κομποστοποίησης ασυνεχούς ροής με τρία επάλληλα επίπεδα (πηγή Juniper Ltd., εταιρία CIVIC)

3.5.2.2 Οριζόντια συστήματα

Στα συστήματα αυτά οι αντιδραστήρες είναι είτε στατικοί ή συνοδεύονται από μηχανική ανάδευση. Στους πρώτους απαιτείται μηχανισμός γεμίσματος και αδειάσματος, στους δευτέρους το υλικό περιστρέφεται. [17]

Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε 15 - 30 ημέρες περίπου, αν και θα πρέπει να ακολουθηθεί περαιτέρω επεξεργασία σε ανοικτούς σωρούς για 4-12 εβδομάδες (φάση ωρίμανσης). [10],[20] Αποφεύγονται οι έντονες διαβαθμίσεις της περιεκτικότητας σε οξυγόνο, υγρασία αλλά και της θερμοκρασίας καθώς η απόσταση που διανύει η ροή του αέρα είναι πολύ σύντομη. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία αυτών των συστημάτων τα οποία διακρίνονται στα:

- εγκιβωτισμένα συστήματα (βιοκελιά – **biocells**),
- τούνελ (**tunnel composting**),
- κιβώτια (**box composting**),
- σε δεξαμενές (**bay composting**),
- τράπεζες κομποστοποίησης (**extended beds**) ή
- σε περιστρεφόμενους κυλίνδρους (**rotary drums**).

Τα **βιοκελιά, τα τούνελ και τα κιβώτια** αποτελούν παραλλαγές εγκιβωτισμένων, αεροστεγών συστημάτων που προσφέρουν πολύ καλό έλεγχο της διεργασίας, καθώς

η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε ένα σχεδόν πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον, ως προς τη θερμοκρασία και τον αερισμό. Αυτό επιτυγχάνεται λόγω της δυνατότητας που παρέχουν τα συστήματα αυτά για ρύθμιση της αναλογίας του αέρα που ανακυκλώνεται προς το φρέσκο αέρα που εισέρχεται στο σύστημα, καθώς και της ροής του αέρα μέσα από το υλικό. Το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι χρησιμοποιούν δυναμικό αερισμό, συνήθως με εμφύσηση αέρα, μέσα από το πάτωμα της κατασκευής με κανάλια ή σωλήνες, ενώ τα απαέρια απομακρύνονται συνήθως από το πάνω μέρος της. Ο αέρας ανακυκλώνεται εύκολα, επιτυγχάνοντας ομοιόμορφες και καλά ελεγχόμενες θερμοκρασίες σε όλη τη μάζα του οργανικού υλικού, ενώ μπορεί να υποστεί επεξεργασία για την απομάκρυνση οσμών και άλλων ρύπων με τη χρήση βιοφίλτρων.

Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι μόνιμες κατασκευές μεταλλικές ή από μπετόν, αλλά μπορεί να είναι και πιο προσωρινές κατασκευές, με κινούμενη είσοδο από μπετό ή άλλα υλικά. Τα μεγέθη τους κυμαίνονται, με τα βιοκελιά και τα τούνελ να είναι συνήθως μεγαλύτερες κατασκευές (100 έως 1000 m³) και τα κιβώτια μικρότερες (20 έως 40 m³), που λειτουργούν ασυνεχώς και χρησιμοποιούνται ως παράλληλα στοιχεία, ώστε να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες μικρότερων μονάδων (περίπου 3000-5000 τόνοι ανά έτος). Η βασική διαφορά των τούνελ με τα βιοκελιά είναι ότι τα τούνελ έχουν χωριστούς χώρους για φόρτωση και εκφόρτωση των υλικών στα άκρα του αντιδραστήρα ενώ συχνά είναι συστήματα συνεχούς ροής, σε αντίθεση με τα βιοκελιά. [10]



Εικόνα 3.4
Σύστημα
Κομποστοποίησης
σε τούνελ



Εικόνα 3.5
Σύστημα
Κομποστοποίησης
σε βιοκελιά



Εικόνα 3.6: Σύστημα Κομποστοποίησης σε κιβώτια

Σε αυτά τα συστήματα δεν προσφέρεται μηχανική ανάδευση προκειμένου να επέλθει ο απαραίτητος τεμαχισμός του υλικού. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος κομποστοποίησης, πολλές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν μηχανική ανάδευση στα τελευταία στάδια της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Το προϊόν όμως από αυτά τα τούνελ δεν είναι σταθερό, συνεπώς απαιτείται και πάλι το στάδιο της υγιεινοποίησης, κατά τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιείται στα ανοιχτά συστήματα [20]



Εικόνα 3.7: Υπό κατασκευή σύστημα κομποστοποίησης σε τούνελ της εταιρίας Horstmann GmbH στο Münster της Γερμανίας

Στα συστήματα με **δεξαμενές και τράπεζες κομποστοποίησης** (composting bays and extended beds) το προς κομποστοποίηση υλικό εισέρχεται σε μεγάλα κτίρια, διαμορφωμένα με μακριές παραλληλόγραμμες δεξαμενές-κανάλια από τσιμέντο ή με μεγάλες «τράπεζες» όπου το υλικό τοποθετείται σε ένα συνεχές στρώμα και αναστρέφεται τμηματικά από κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό.

Και στις δύο περιπτώσεις το υλικό αναδεύεται και μετακινείται σταδιακά από το σημείο εισόδου στο σημείο εξόδου, με τη βοήθεια εξοπλισμού που περιλαμβάνει

περιστρεφόμενα τύμπανα, ατέρμονους κοχλίες ή άλλες κατάλληλες διατάξεις. Ανάλογα με τον τύπο του αναστροφέα, με κάθε αναστροφή το υλικό μετακινείται από 2 έως 4 μ. Το μήκος του καναλιού και η συχνότητα των αναστροφών καθορίζουν και την απαιτούμενη διάρκεια για την ολοκλήρωση της επεξεργασίας και μετακίνησης του υλικού, που κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 40 μέρες. [20]

Οι διατάξεις αυτές είναι συνήθως τηλεχειριζόμενες και δεν απαιτούν την επί τόπου παραμονή των χειριστών.

Συνήθως, εκτός από την ανάδευση η επεξεργασία περιλαμβάνει και παροχή αερισμού μέσα από ένα διάτρητο πάτωμα απ' όπου διέρχονται κανάλια ή σωλήνες αερισμού. Συχνά ακολουθείται διαφορετικό πρόγραμμα αερισμού κατά μήκος της δεξαμενής ή της τράπεζας, ανάλογα με το βαθμό σταθεροποίησης του υλικού (π.χ. πιο έντονος αερισμός στο πρώτο τμήμα της δεξαμενής, καθόλου στο τελευταίο τμήμα της κλπ). [10]

Σε αυτά τα συστήματα τις περισσότερες φορές ο αερισμός συνήθως επιτυγχάνεται με αναρρόφηση αέρα (εφαρμογή υποπίεσης) έτσι ώστε να μειώνονται οι οσμές μέσα στο κτίριο και να είναι εφικτή η επεξεργασία των απαιριών (με βιόφιλτρα ή πλυντρίδες). Σε άλλες περιπτώσεις αυτών των συστημάτων, όσον αφορά στην συλλογή του παραγόμενου αέρα και την διαχείριση των οσμών, χρησιμοποιούνται πλαστικές κουρτίνες κατά μήκος της περιμέτρου των δεξαμενών. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται τα επίπεδα αμμωνίας σε ολόκληρο το κτίριο, εξασφαλίζοντας ασφαλή εργασία για τους χειριστές(αν υπάρχουν). Όπως επίσης συμβάλλουν και στη μείωση της υγρασίας που απελευθερώνεται, η οποία μαζί με την αμμωνία συντελούν στη διάβρωση του κτιρίου. [20]



Εικόνα 3.8: Τράπεζα κομποστοποίησης της εταιρίας Bedminster (εδώ χρησιμοποιείται για τη φάση της ωρίμανσης με χρόνο παραμονής 3-5 εβδομάδες)

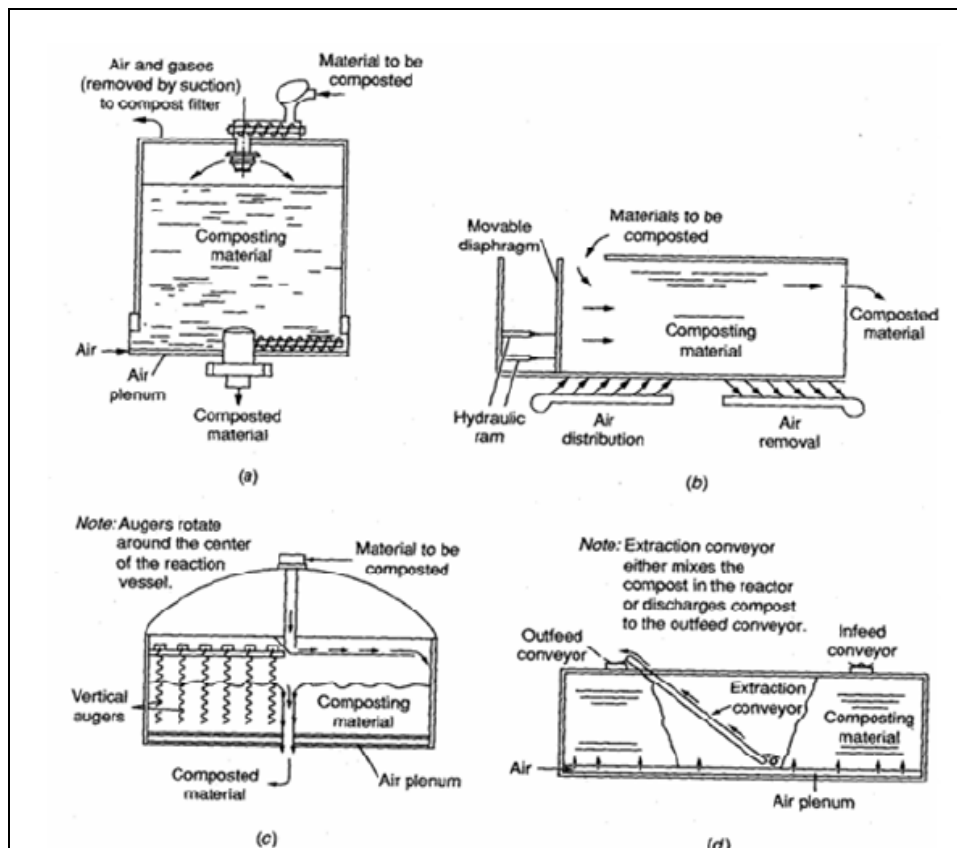
Τα συστήματα **περιστρεφόμενων κυλίνδρων(περιστρεφόμενα τύμπανα)** έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: Οι διαστάσεις τους είναι 45 m μήκος και 2-4 m διάμετρος. Η

ταχύτητα περιστροφής ανέρχεται σε 0,2 – 2 rpm. Τα επίπεδα υγρασίας και οξυγόνου παρακολουθούνται και διατηρούνται σε ιδανικά επίπεδα. Ο βαθμός πλήρωσης τους φτάνει στα 2/3 του συνολικού τους όγκου. Η διάρκεια παραμονής στο χώρο είναι περίπου 1 εβδομάδα. Και σε αυτήν την περίπτωση, μετά την παραμονή στον βιοαντιδραστήρα είναι απαραίτητη η ωρίμανση του υλικού. [9]



Εικόνα 3.9: Σύστημα κομποστοποίησης σε περιστρεφόμενο τύμπανο της εταιρίας Bedminster (χρόνος παραμονής 3 ημέρες)

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται όλα τα είδη των κλειστών συστημάτων της κομποστοποίησης:



Σχήμα 3.9: Σχηματική αναπαράσταση των βασικών τύπων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης(a & c κάθετοι αντιδραστήρες, b & d οριζόντιοι αντιδραστήρες) [10]

3.6 Ποιότητα κόμποστ

Η ποιότητα του κόμποστ είναι ένας όρος που δύσκολα μπορεί να οριστεί, εφόσον εξαρτάται από την εθνική νομοθεσία της κάθε χώρας. Παρ' όλα αυτά η ποιότητα του κόμποστ αποτελεί τον πυρήνα του ζητήματος της κομποστοποίησης και της βιολογικής επεξεργασίας εν γένει, καθώς καθορίζει το εμπορικό δυναμικό και την πώληση του προϊόντος και στις περισσότερες περιπτώσεις, έχει να κάνει με την βιωσιμότητα της εγκατάστασης επεξεργασίας, αλλά και την μακροπρόθεσμη αποδοχή της βιολογικής επεξεργασίας ως πολύτιμη επιλογή στην ιεραρχία των αποβλήτων [5]

Η ποιότητα του κόμποστ αναφέρεται στη γενική κατάσταση του κόμποστ όσον αφορά τα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του, το οποία υποδηλώνουν την επίδραση, εντέλει, της λιπασματοποίησης στο περιβάλλον.

Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του κόμποστ είναι η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, η υγρασία, η οργανική ύλη και η περιεκτικότητά της σε άνθρακα, η συγκέντρωση και η σύνθεση του από χουμικές ενώσεις, η περιεκτικότητα σε άζωτο και οι διάφορες μορφές που μπορεί να απαντάει το N, η περιεκτικότητα σε φωσφόρο και κάλιο, σε βαρέα μέταλλα, η αλατότητα και η φύση των ιόντων στα οποία οφείλεται, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, ο βαθμός στον οποίο προσροφά υγρασία, το πορώδες και η πυκνότητα, οι αδρανείς μολυντές, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, όπως και η ωριμότητα ή σταθερότητα. [24]

Ωστόσο, το πιο σημαντικό από τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται άμεσα με την προστασία της δημόσιας υγείας, του εδάφους και του περιβάλλοντος γενικότερα, είναι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι ανόργανες και οργανικές δυνητικά τοξικές ενώσεις (βαρέα μέταλλα, PCBs, PAHs, οι φθαλικές ενώσεις κλπ.) και η σταθερότητα. Η τελευταία έχει να κάνει με την ακινητοποίηση και την εκχύλιση του αζώτου, δηλαδή την φυτοτοξικότητα του κόμποστ. [5]

Σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ είναι το αν η πρώτη ύλη προέρχεται από σύμμεικτα απορρίμματα ή προδιαλεγμένο οργανικό κλάσμα. Στην πρώτη περίπτωση η ποιότητα είναι αρκετά υποβαθμισμένη. Στον παρακάτω Πίνακα φαίνονται οι διαφορές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων για τα δυο ρεύματα.

Πίνακας 3.3: Τυπική συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε κόμποστ από ανάμικτα ΑΣΑ και κόμποστ από βιοαπορρίμματα (με διαλογή στην πηγή) (Μ.Ο. 4 περιοχών)[6]

Στοιχείο)	Σύμμεικτα ΑΣΑ(mg/kg)	Βιοαπορρίμματα (mg/kg)(ΔσΠ)
Pb	420	83
Cu	222	41
Zn	919	224
Cr	107	61
Ni	84	26
Cd	2,8	0,4
Hg	1,9	<0,2

3.6.1 Προδιαγραφές του κόμποστ

Οι προδιαγραφές προσδιορίζονται συνήθως από τα ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα των ουσιών των οποίων απαιτείται η ύπαρξη τους ή τα μέγιστα ανεκτά όρια για τις μη επιθυμητές ουσίες. Τα κριτήρια τα οποία σχετίζονται με την αξιολόγηση της ποιότητας του κόμποστ εξαρτώνται από τον σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται, τις πολιτικές σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις της αγοράς. Για παράδειγμα, κόμποστ που προορίζεται για βελτιωτικό εδάφους θα πρέπει να πληροί αυστηρότερα κριτήρια ποιότητας σε σύγκριση με εκείνα που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη χώρων υγειονομικής ταφής.[24]

Στην Ελληνική νομοθεσία, η ΚΥΑ 114218/97 είναι εκείνη που αφορά τις προδιαγραφές του κόμποστ.

Οι προδιαγραφές που προβλέπονται για το κόμποστ είναι διαφορετικές σε κάθε χώρα και αυτό απορρέει και από την προσπάθεια να συνδυαστούν δυο αντικρουόμενοι στόχοι: μέγιστη προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, και μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης των οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων από την άλλη. Οι προσεγγίσεις της Ε.Ε. και των Η.Π.Α είναι διαφορετικές και αυτό οδηγεί σε σημαντικές διαφοροποιήσεις στα επιτρεπτά όρια σε ένα πλήθος κρίσιμων παραμέτρων, όπως τα βαρέα μέταλλα. [5]

Ακόμα και εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης υπάρχει μία μεγάλη διακύμανση στα όρια που εγκρίνονται από τα διάφορα κράτη-μέλη, με τα βορειότερα κράτη να είναι αυστηρότερα από τα νοτιότερα, που αποτελεί αντανάκλαση κυρίως του διαφορετικού επιπέδου προόδου, όσον αφορά το διαχωρισμό του οργανικού κλάσματος στην πηγή (ΔσΠ).

Ο γενικός στόχος που είναι κοινός σε όλες τις προδιαγραφές είναι η προστασία του

εδάφους, ειδικά των γεωργικών εδαφών, κυρίως από τα βαρέα μέταλλα. Μεταγενέστερα δημιουργήθηκε ενδιαφέρον για τις οργανικές τοξικές ενώσεις που πιθανόν να υπάρχουν στο κόμποστ (PCBs, PAHs, NPE, phthalates κ.ά.) και παρά τις αναλυτικές δυσκολίες που παρουσιάζουν έχουν αρχίσει να εμφανίζονται όλο και συχνότερα στις νομοθεσίες [17]. Η μεγάλη διαφοροποίηση οφείλεται στη διαφορετική προσέγγιση και στην έλλειψη επιστημονικών δεδομένων για την συμπεριφορά, μεταφορά και επικινδυνότητα των διαφόρων ρύπων στο περιβάλλον.

Ελλείπει στοιχείων κάποιες χώρες, υιοθετούν ισχυρά την αρχή της προφύλαξης, θέτοντας π.χ. συχνά χαμηλότερα όρια περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα από πολλά φυσικά εδάφη (π.χ. Δανία, Ολλανδία), ενώ άλλες προχωρούν με βάση υπάρχουσες μελέτες εκτίμησης επικινδυνότητας για τα πλέον ευάλωτα τμήματα του πληθυσμού, καταλήγοντας σε χαλαρότερα όρια (π.χ. ΗΠΑ). Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα όρια για τα βαρέα μέταλλα για την Ε.Ε και τις ΗΠΑ.

Πίνακας 3.4: Σύγκριση ορίων για τα βαρέα μέταλλα μεταξύ Ε.Ε, Η.Π.Α[23]

Στοιχείο	Ε.Ε. (διακύμανση) mg/kg	Η.Π.Α(κόμποστ από ιλύ) mg/kg
Κάδμιο	07-10	39
Χρώμιο	70-200	1200
Χαλκός	70-600	1500
Υδράργυρος	0,7-10	17
Νικέλιο	20-200	420
Μόλυβδος	70-1000	300
Ψευδάργυρος	210-4000	2800

Σε πολλές περιπτώσεις η νομοθεσία προβλέπει την κατάταξη των κόμποστ σε ποιοτικές κατηγορίες ανάλογα με τις προδιαγραφές που πληρούν και υπάρχει διαφοροποίηση των επιτρεπόμενων χρήσεων για κάθε κατηγορία. Σε αρκετές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Βέλγιο, Μεγάλη Βρετανία, Ολλανδία κ.ά.) έχουν αναπτυχθεί εθελοντικά συστήματα πιστοποίησης του κόμποστ, συνήθως για κόμποστ υψηλής ποιότητας, τα οποία ελέγχουν τόσο τη διαδικασία όσο και την ποιότητα του προϊόντος και απονέμουν το αντίστοιχο σήμα ποιότητας, με πιο γνωστό το γερμανικό RAL [24].

3.6.2 Υγειονομικά κριτήρια

Όλες οι χώρες έχουν συμπεριλάβει υγειονομικά κριτήρια ποιότητας του κόμποστ, τόσο για παθογόνους μικροοργανισμούς για τον άνθρωπο, όσο και για τα ζώα και τα φυτά. Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στο προϊόν, στη διεργασία ή και στα δύο. Τα κριτήρια που αναφέρονται στο προϊόν απαιτούν απουσία σαλμονέλας, και απουσία ή πολύ χαμηλές τιμές εντεροβακτηρίων και περιττωματικών στρεπτόκοκκων, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις απαιτείται απουσία νηματοειδών, κυστοειδών και άλλων φυτοπαθογόνων. Επίσης τίθενται όρια στον αριθμό των ικανών προς βλάστηση σπορών παρασιτικών φυτών και κριτήρια φυτοτοξικότητας για το κόμποστ. [23]

Στην Ελλάδα απαιτείται απουσία σαλμονέλας και εντεροβακτηρίων, χωρίς άλλη αναφορά σε φυτοπαθογόνα ή το χρόνο έκθεσης του υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες [25]

3.7 Εποπτεία περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κομποστοποίησης

Επιπτώσεις στον αέρα

Οι αέριες εκπομπές της αερόβιας επεξεργασίας έχουν σχέση με τον τύπο της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, με τα ανοικτά συστήματα να παρουσιάζουν περισσότερες εκπομπές, που δεν είναι όμως εύκολο να ελεγχθούν. Τα κυριότερα προβλήματα εστιάζονται στις εκπομπές βιο-αερολυμάτων, πτητικών οργανικών ενώσεων, οσμών και σκόνης. [10]

Τα βιο-αερολύματα είναι αιωρούμενα στον αέρα σωματίδια, βιολογικής προέλευσης και αποτελούνται από ζωντανούς ή νεκρούς μικρο-οργανισμούς, ή τμήματά τους ή σπόρια που αυτοί παράγουν. Βιο-αερολύματα παράγονται από όλες τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων και μπορούν να προκαλέσουν αλλεργίες ή και ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος, κυρίως στους εργαζόμενους. Οι εκπομπές βιο-αερολυμάτων είναι πιο έντονες κατά τη φάση αναστροφής των σειραδίων σε ανοικτά ή στεγαζόμενα συστήματα και είναι σημαντικά χαμηλότερες όταν χρησιμοποιούνται συστήματα βιοαντιδραστήρων. [10]

Οι οσμές είναι το πρόβλημα που προκαλεί τις περισσότερες διαμαρτυρίες για τις ανοικτές εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, ενώ δεν είναι λίγες οι μονάδες που αναγκάστηκαν σε προσωρινή ή και μόνιμη παύση λειτουργίας λόγω των οσμών, ειδικά όταν είναι εγκατεστημένες κοντά σε κατοικημένες περιοχές. [19] Οι οσμές μπορούν να περιοριστούν με πρακτικές καλού χειρισμού της διεργασίας, έτσι ώστε να μην αναπτύσσονται έντονες αναερόβιες συνθήκες στη μάζα του υλικού (η αναερόβια αποδόμηση δημιουργεί πολύ εντονότερες οσμές από την αερόβια).

Ωστόσο, ακόμη και στην καλύτερα διαχειριζόμενη διεργασία κομποστοποίησης σε ανοιχτούς χώρους, κατά διαστήματα παράγονται έντονες οσμές, οι οποίες, σε κάποιες τεχνολογίες δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν ικανοποιητικά (π.χ. κατά την αναστροφή ανοικτών σειραδίων). Αντίθετα, τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης, βιολογικής ξήρανσης ή διύλισης, όπως και οι στατικοί αεριζόμενοι σωροί με απορρόφηση αέρα, επιτρέπουν τη χρήση συστημάτων για την επεξεργασία των οσμών από τα απαέρια της διεργασίας με χρήση βιόφιλτρων, αναγεννητικής θερμικής οξειδωσης ή φυσικοχημικών επεξεργασιών. [10]

Επιπτώσεις στα νερά

Η απορροή του νερού της βροχής σε ανοικτά συστήματα καθώς και τα στραγγίσματα που πιθανόν να δημιουργηθούν κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορούν να ρυπάνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά, αν διαφύγουν στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία. Ωστόσο, το πρόβλημα δεν είναι σημαντικό και μπορεί να αντιμετωπιστεί με απλά μέτρα κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, τα στραγγίσματα που παράγονται – συνήθως σε περιορισμένες ποσότητες – μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαβροχή των αποβλήτων στα διάφορα στάδια της διεργασίας - όπου απαιτείται προσθήκη νερού - για την αποφυγή της πρώιμης ξήρανσης του υλικού και τη συνεπαγόμενη παρεμπόδιση των βιολογικών διεργασιών. Όλες οι εγκαταστάσεις αερόβιας επεξεργασίας (με εξαίρεση πολύ μικρές μονάδες επεξεργασίας πράσινων αποβλήτων) θα πρέπει να διαθέτουν μια αδιαπέρατη επιφάνεια, από σκυρόδεμα ή άσφαλτο, πάνω στην οποία εκτελείται η επεξεργασία (ιδιαίτερα σε ανοιχτούς χώρους). Η επιφάνεια αυτή θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλη κλίση και συστήματα για τη συλλογή των στραγγισμάτων και της απορροής, τα οποία θα πρέπει κατόπιν να υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία (συμπεριλαμβανομένης της επαναχρησιμοποίησής τους για διαβροχή των αποβλήτων). [10], [26]

Επιπτώσεις στο έδαφος

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αερόβιας επεξεργασίας στο έδαφος έχουν σχέση με την εφαρμογή και τη σύσταση του παραγόμενου κόμποστ. Τόσο στη νομοθεσία των κρατών-μελών της ΕΕ, όσο και στην θεματική στρατηγική της ΕΕ για το έδαφος, προβλέπονται κάποια ανώτατα επιτρεπτά όρια για ανεπιθύμητες ουσίες όπως τα βαρέα μέταλλα, κάποιες οργανικές ενώσεις και ξένες προσμείξεις όπως το γυαλί και το πλαστικό, καθώς και κατώτατα όρια για κάποια επιθυμητά χαρακτηριστικά, όπως η οργανική ουσία. [26] Η ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ είναι άρρηκτα

συνδεδεμένη με τις επιπτώσεις της κομποστοποίησης στο έδαφος. Η απουσία ενιαίων προδιαγραφών σε επίπεδο ΕΕ αποτελεί σημαντικό πρόβλημα το οποίο αναμένεται να λυθεί σύντομα αφού συζητείται στην ΕΕ μια νέα πρόταση Οδηγίας για την ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ [7]

Επιπτώσεις στο ακουστικό περιβάλλον

Ο θόρυβος στις εγκαταστάσεις αερόβιας επεξεργασίας παράγεται κυρίως από τους εγκατεστημένους τεμαχιστές και από το σήμα οπισθοχώρησης του κινητού εξοπλισμού. Ο θόρυβος από τους τεμαχιστές μπορεί να φτάσει τα 90 dB, επίπεδο που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε ανοικτά συστήματα, μπορεί όμως να αντιμετωπιστεί με κατάλληλη χωροθέτηση του τεμαχιστή στην εγκατάσταση και χρήση των σειραδίων ως ηχοπετασμάτων. Το προειδοποιητικό σήμα οπισθοκίνησης για τους φορτωτές συνδέεται άμεσα με την υγιεινή και ασφάλεια της εργασίας στο χώρο και δεν πρέπει να αδρανοποιείται, μπορούν όμως να επιλεγθούν λιγότερο ενοχλητικοί ήχοι. [26]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Working Document(Brussels,12-02-2001), **“Biological Treatment of Biowaste, 2nd Draft”**, *European Commission, Directorate- General Environment*
2. Commission of the European Communities(Brussels, 3-12-2008), **“Green Paper- On the management of biowaste in the European Union”**, {SEC(2008) 2936}
3. Katia Lasaridi(2005),**“Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance”** *Journal of Environmental Management 80: 58–65 11*
4. Σχέδιο Τελικής Έκθεσης προς το ΙΤΑ(2007) της Μελέτης **«Εκτίμησης των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Αποβλήτων»**.
5. Katia Lasaridi(2005),**“Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance”** *Journal of Environmental Management 80: 58–65 11*
6. Brinton W.F. (2000) **‘Compost Quality Standards and Guidelines’**, Final report to New York State Association of Recyclers (NYSAR), (Woods End Research Laboratory, USA). (<http://www.cfe.cornell.edu/wmi/compost/Brinton.pdf>)
7. Epstein, E. (1997), **“The science of composting”**. *Technomic Publishing Co.,Inc.,U.S.A.*
8. Abdennaceur Hassen (2001), **“Microbial characterization during composting of municipal solid waste”**, *Bioresource Technology 80: 217 225*
9. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), **«Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου**
10. Σχέδιο Τελικής Έκθεσης προς το ΙΤΑ(2007) της Μελέτης **«Εκτίμησης των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Αποβλήτων»**.
11. Ντζαμίλης Π., Χάβας Γ., (2004), **«Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση αστικών απορριμμάτων περιφέρειας Κρήτης»**, *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό*

Πρόγραμμα Σπουδών, Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης

12. Tsopanoglous, Theissen, Vigil (1993), **“Integrated Solid Waste Management”**, *MacGraw Hill International*
13. Παναγιώτου Σ. Κόλλια(1993), **“Απορρίμματα, Αστικά- Βιομηχανικά”**
14. Σχολή Γεωπονίας (2008), **«Παρασκευή και αξιολόγηση κόμποστ από τα υπολείμματα θερμοκηπιακών λαχανοκομικών καλλιεργειών»**(ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
15. M. Farrell, D.L. Jones(2009), **“Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost market”**, *Bioresource Technology* 100 : 4301–4310
16. ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ(2006): **«Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα / Η περίπτωση της Αττικής»**
17. Tom L. Richard(1991), **“Municipal Solid Waste Composting: Physical and Biological Processing”**, *Biomass and Bioenergy* 3: 163-180
18. Ευάγγελος Γιδάρκος(2007), Σημειώσεις του μαθήματος **«Διαχείριση και Επεξεργασία των Απορριμμάτων»-«Κομποστοποίηση (Λιπασματοποίηση)»** , (Πολυτεχνείο Κρήτης- Εργαστήριο Διαχείρισης Επικίνδυνων και Τοξικών αποβλήτων)
19. Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος (Φεβρουάριος 2007), **«Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις»**, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
20. Council of Canada ,**“Technologies of Composting”**,
21. Chiumenti A., Chiumenti R., Diaz L., Savane G., Eggeth L., Goldstein N. (2005), **“Modern Composting Technologies”**, *The JG Press, USA*
22. Commission of the European Communities(Brussels, 3-12-2008), **“Green Paper- On the management of biowaste in the European Union”**, {SEC(2008) 2936}
23. Favoino E. (2001), **“Survey of compost standards”**, (commissioned by the UK Government)
24. Κ. Λαζαρίδη, Π.Κουλουμπής, Σ. Σκουλάξινου, Δ. Κανακόπουλος, Γ. Λώλος(2007), **«Προδιαγραφές ποιότητας και διάθεση κόμποστ- Η Ελληνική και Διεθνής εμπειρία»**, *Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, ΕΠΕΜ, ADVENSOL, ENVIROPLAN.*
25. ΚΥΑ 114218, 1016/Β/17-11-97 **‘Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων’**
26. Α. Μαυρόπουλος (Σεπτέμβριος 2008), **«Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων»**, Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης
27. Μουσιόπουλος. Ν., Καραγιαννίδης Α., (Ιούνιος 2002), **Σημειώσεις στο μάθημα: «Διαχείριση απορριμμάτων**, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο , Θεσσαλονίκη»

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

4.1 Γενική περιγραφή της Αναερόβια Χώνευσης

Ο όρος «αναερόβια χώνευση» (ΑΧ) αναφέρεται στην ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων κάτω από συνθήκες έλλειψης οξυγόνου (αναερόβιες συνθήκες) και οδηγεί στην παραγωγή βιοαερίου (ένα μείγμα CH_4 και CO_2 το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας) και ενός υδαρούς υπολείμματος (digestate = χωνεμένη ιλύς).

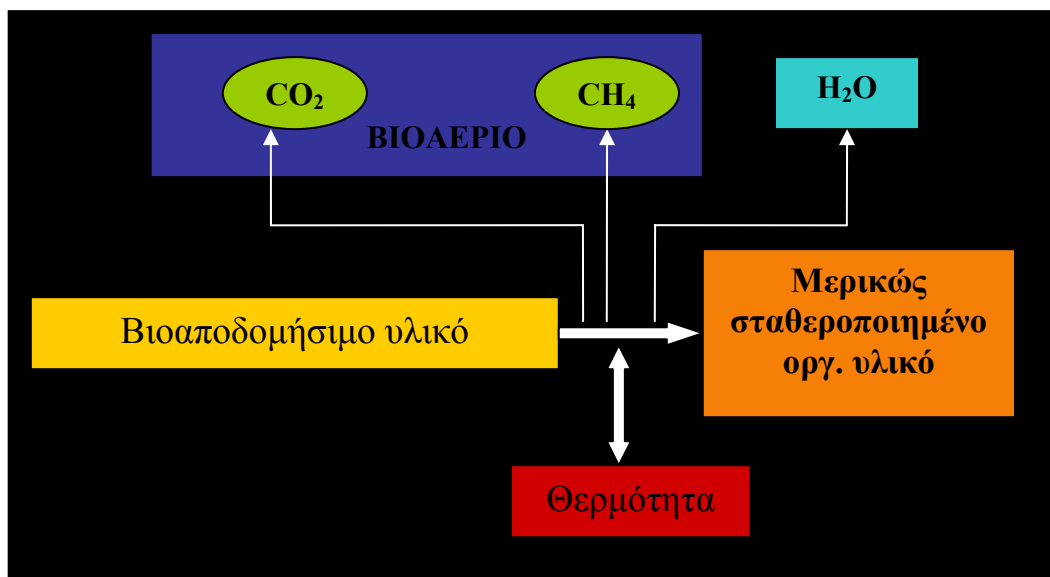
Η χωνεμένη ιλύς πρέπει να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία:

- είτε για τη σταθεροποίησή της και τη μετατροπή της σε κόμποστ και χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό (μέσω λιπασματοποίησης, κάτι το οποίο προτιμάται όταν η αρχική τροφοδοσία είναι διαλεγμένα στη πηγή απορρίμματα (πολλές χώρες επιτρέπουν την απευθείας χρήση του υπολείμματος της χώνευσης για εδαφοβελτιωτικό, όπως η Σουηδία και η Δανία) ή υλικό τύπου κόμποστ [1] είτε
- για την ξήρανσή της και τη χρήση της ως καύσιμης ύλης.

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

Ο βασικός στόχος της μεθόδου είναι η ανάκτηση ενέργειας (υπό μορφή μεθανίου). Δευτερεύων στόχος είναι η μείωση του όγκου και του βάρους των αποβλήτων, η βιολογική σταθεροποίησή τους, και η πιθανή ανάκτηση θρεπτικών μέσω της χρήσης του παραγόμενου υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού [2]

Όταν η καταστροφή των παθογόνων είναι ελλιπής μέσω της χώνευσης, απαιτείται η ύπαρξη μιας δεξαμενής παστερίωσης, πριν ή μετά τον αντιδραστήρα, όπου τα απόβλητα παραμένουν στους 70°C για μία ώρα [3]



Σχήμα 4.1: Μηχανισμός της Αναερόβιας χώνευσης

Η αναερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για αρκετές δεκαετίες για την επεξεργασία της βιολογικής ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (ΜΕΛ) ή ρευστών αγροτικών αποβλήτων, αλλά μόνο σχετικά πρόσφατα εφαρμόζεται ως μέθοδος βιοεπεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ., συχνά σε συνδυασμό με ιλύ βιολογικών καθαρισμών ,κτηνοτροφικά απόβλητα ή και γεωργικά απόβλητα. [4]

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά κατά κύριο λόγο την χώνευση των παραγώγων των ΑΣΑ. Όταν συμπεριλαμβάνονται και άλλες πρώτες ύλες όπως ιλύ βιολογικών καθαρισμών μεταβάλλει αρκετές ποσοτικές “πτυχές” της αναερόβιας χώνευσης. Η ανάμειξη των οικιακών αποβλήτων με τέτοιες πρώτες ύλες μπορεί να βελτιώσει το αποτέλεσμα της διαδικασίας τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά και για αυτό έχει υιοθετηθεί σε μεγάλο βαθμό από μονάδες επεξεργασίας και μπορεί να εφαρμοστεί πιο ευρέως στο μέλλον. Για παράδειγμα, η προσθήκη βιολογικής ιλύος στο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ αυξάνει το επίπεδο των θρεπτικών ουσιών, καθώς και το περιεχόμενο υγρασίας. Γενικά σε αυτήν την περίπτωση η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στην ιλύ θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά. [4]

4.2 Βιολογικές διεργασίες αναερόβιας χώνευσης

Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει βιολογικές διεργασίες που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διακριτές φάσεις: [2],[3],[5]

1. **Υδρόλυση** των πολυμερών οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια και μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ).

2. **Οξυδογένεση**, δηλαδή ζύμωση των παραπάνω διαλυτών προϊόντων και μετατροπή τους σε μια ποικιλία ενδιάμεσων προϊόντων, όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.

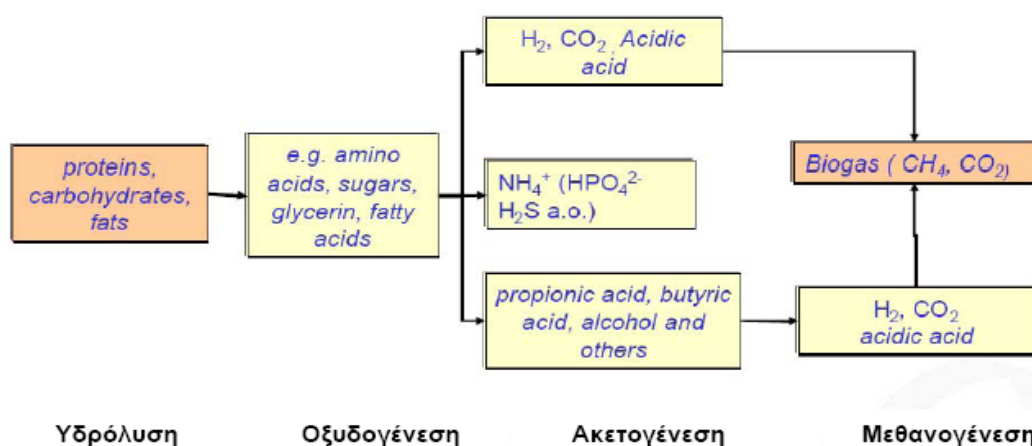
3. **Ακετογένεση**, δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου με τη βοήθεια υποχρεωτικά οξεογενών βακτηρίων. Στη φάση αυτή το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.

4. **Μεθανογένεση**, κατά την οποία τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανογενή βακτήρια.[6]. Ακολουθούνται τριών ειδών βιοχημικά μονοπάτια κατά τα οποία πραγματοποιούνται οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις που φαίνονται παρακάτω σε στοιχειομετρία : [6]

a. **Οξικοτροφική μεθανογένεση:** $4 \text{ CH}_3\text{COOH} \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 4 \text{ CH}_4$

b. **Υδρογονοτροφική μεθανογένεση:** $\text{CO}_2 + 4 \text{ H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$

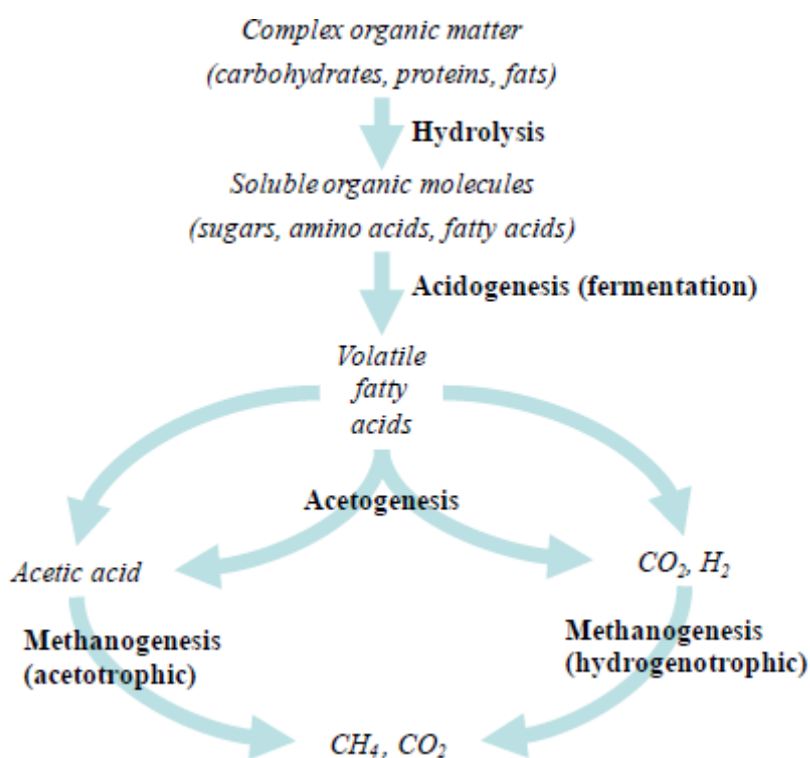
c. **Μεθυλοτροφική μεθανογένεση:** $4 \text{ CH}_3\text{OH} + 6 \text{ H}_2 \rightarrow 3 \text{ CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$



Σχήμα 4.2: Οι τέσσερις φάσεις των Βιολογικών διεργασιών της Αναερόβιας Χώνευσης και οι ενώσεις που πρωταγωνιστούν στην καθεμία από αυτές.

Καθεμία από τις παραπάνω φάσεις λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια συγκεκριμένων ομάδων βακτηρίων, τα οποία ταξινομούνται με βάση τις τροφικές τους απαιτήσεις. Ταυτόχρονα, λαμβάνουν χώρα πολλές άλλες αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν και ομάδες βακτηρίων, ανταγωνιστικές με τα μεθανογενή. [2], [3]

Η όλη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από την καλή ισορροπία και συνύπαρξη των παραπάνω ομάδων μικροοργανισμών, καθώς καμία από τις ομάδες δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνη της. Έτσι, για παράδειγμα αν εκλείψουν τα αργά αναπτυσσόμενα μεθανογενή βακτήρια, τότε το οξικό οξύ και τα άλλα οργανικά οξέα που παράγονται κατά τις προηγούμενες φάσεις δεν θα αποδομούνται και η οξύτητα του συστήματος θα αυξηθεί σταδιακά σε επίπεδα που θα παρεμποδίζουν τόσο τη ζύμωση όσο και την οξεογένεση. Λόγω αυτής της αλληλεξάρτησης, η αναερόβια χώνευση είναι αρκετά πιο ευαίσθητη και απαιτητική διεργασία σε σχέση με την κομποστοποίηση και απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου.[6]



Σχήμα 4.3: Βιοχημικά «μονοπάτια που ακολουθούνται κατά την διεργασία της μεθανογένεσης

4.3 Περιβαλλοντικοί παράγοντες Αναερόβιας Χώνευσης

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης περιγράφονται παρακάτω: [7]

-Θερμοκρασία: Η αναερόβια χώνευση μπορεί να λειτουργήσει σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ωστόσο υπάρχουν δύο περιοχές θερμοκρασίας όπου η απόδοσή της βελτιστοποιείται:

- η μεσόφιλη (περίπου 35 °C) με εύρος από 30 °C έως 40 °C, και

- η θερμοφιλή περιοχή (περίπου 55 °C) με εύρος από 50 °C έως 55 °C

Καθώς οι αναερόβιες διεργασίες δεν είναι έντονα εξώθερμες, η βιολογικά παραγόμενη θερμότητα δεν επαρκεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο βέλτιστο επίπεδο, ακόμη και για τη μεσόφιλη χώνευση. Έτσι, χρειάζεται η παροχή πρόσθετης, εξωτερικής θερμότητας, η οποία όμως μπορεί να προέλθει από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου, η ποσότητα του οποίου επαρκεί τόσο για τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας όσο και για την παραγωγή περίσσειας ενέργειας (ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας).

- **Μέγεθος σωματιδίων:** Το βέλτιστο μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από το βαθμό βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος. Έτσι υποστρώματα με μικρή έως μέτρια βιοαποδομησιμότητα (π.χ. χαρτί) θα πρέπει να είναι τεμαχισμένα σε ένα σχετικά μικρό μέγεθος σωματιδίων. Αντίθετα, για ταχέως βιοαποδομήσιμα απόβλητα (π.χ. υπολείμματα φαγητών), το μικρό μέγεθος αποτελεί μειονέκτημα αφού οδηγεί σε μεγάλη παραγωγή οξέων τα οποία χαμηλώνουν το pH παρεμποδίζοντας την ανάπτυξη των περισσότερο «ευαίσθητων» μεθανογενών βακτηρίων.

- **Ο λόγος C/N:** Για υποστρώματα με μέτρια έως υψηλή βιοαποδομησιμότητα (π.χ. χαρτί, υπολείμματα τροφών), ο βέλτιστος λόγος άνθρακα προς άζωτο κυμαίνεται μεταξύ 25 και 30 ενώ για βραδέως βιοαποδομούμενα υποστρώματα (π.χ. ξύλα), ο λόγος αυτός μπορεί και να ανέρχεται στο 40, καθώς σε αυτή την περίπτωση μόνο ένα μικρό μέρος του άνθρακα είναι άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς. Χαμηλές τιμές C/N γενικά έχουν σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη εκπομπή αζώτου με τη μορφή αέριας αμμωνίας, η συγκέντρωση της οποίας μπορεί να αποβεί τοξική για τον μικροβιακό πληθυσμό. Οι βέλτιστες τιμές C/N επιτυγχάνονται με την κατάλληλη μίξη συστατικών των αποβλήτων, κάτι που απαιτεί καλό σχεδιασμό για τα απόβλητα που δέχεται κάθε εγκατάσταση, την αποθήκευσή τους και την τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα.

- **pH:** Σε pH μικρότερο του 5 σταματά η εξέλιξη του σταδίου της οξυδογένεσης, ενώ η βέλτιστη περιοχή είναι μεταξύ 5,3 – 5,7. Αντίστοιχα σε τιμές pH μεταξύ 5,8-7,2 βελτιστοποιείται το στάδιο της μεθανογένεσης, το οποίο αναστέλλεται σε pH < 5. Επομένως το βέλτιστο εύρος τιμών είναι 5,5 -8,0

- Η πιθανή **παρουσία τοξικών ουσιών** στο υπόστρωμα: Η ύπαρξη ουσιών που μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση στον μικροβιακό πληθυσμό είναι πιθανή σε ένα υπόστρωμα όπως τα ΑΣΑ. (βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ενώσεις κ.λ.π.). Κάποιες ουσίες (π.χ. ορισμένα μέταλλα όπως Cu και Zn) είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών κάτω από συγκεκριμένες συγκεντρώσεις, μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις μπορούν να

αποβούν τοξικές. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τις παρεμποδιστικές κατά την αναερόβια χώνευση συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ενώσεων.

Πίνακας 4.1: Όρια παρεμποδιστικών συγκεντρώσεων ορισμένων ουσιών στο υγρό κλάσμα κατά την αναερόβια χώνευση ΑΣΑ.[5]

Ουσία	Κατώφλι συγκέντρωσης Mg/l	Παρατηρήσεις
Αέρια αμμωνία	1500-1300 mg/l	pH> 7,4
Αμμωνιακό κατιόν	300 mg/l	-
Θειώδη	50-100	-
Μέταλλα	<10 συνήθως	-
Na	3500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 100-200 Mg/l
K	2500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 200-400 Mg/l

Εκτός λίγων εξαιρέσεων, η χρήση της Αναερόβιας Χώνευσης σε αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ.) ήταν περιορισμένη παγκοσμίως έως και την αρχή της δεκαετίας του 1980. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας αυτής, παρατηρήθηκε μία βαθμιαία αύξηση στη χρήση της τεχνικής αυτής ως συνοδευτικής ή εναλλακτικής λύσης της πιο συχνά χρησιμοποιούμενης αερόβιας βιοεπεξεργασίας (κομποστοποίησης) των ΑΣΑ.. Το ενδιαφέρον αυξήθηκε με την ανάπτυξη τεχνολογιών Αναερόβιας Χώνευσης Υψηλού Ποσοστού Στερεών (ΑΧΥΠΣ). Η ΑΧΥΠΣ διαφέρει από την παραδοσιακή αναερόβια χώνευση που χρησιμοποιείται ευρέως για την ιλύ των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων, καθώς το ποσοστό στερεών του οργανικού υποστρώματος είναι τουλάχιστον 25% (και μπορεί να φτάσει το 40%), ενώ στην παραδοσιακή αναερόβια χώνευση το ποσοστό στερεών δεν υπερβαίνει το 5-10%, δηλαδή το υπόστρωμα έχει τη μορφή της λάσπης (slurry). Ένα τυπικό ισοζύγιο μάζας κατά την αναερόβια χώνευση παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Σχήμα 4.4: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ. (Πηγή: DEFRA, 2005a)

4.4 Χαρακτηριστικά κατηγοριοποίησης Μεθόδων και Συστημάτων αναερόβιας Χώνευσης

Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων μπορούν να ταξινομηθούν στη βάση τεσσάρων κύριων χαρακτηριστικών, που προσδιορίζουν και τον τύπο της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας:

1. τη θερμοκρασία,
2. τη συγκέντρωση των στερεών,
3. το σύστημα ανάδευσης και
4. τον αριθμό των φάσεων / αντιδραστήρων.

Ο συνδυασμός αυτών των χαρακτηριστικών μπορεί να περιγράψει τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα, αν και κάποια συστήματα παραμένουν ενδιάμεσα αυτών των κατηγοριοποιήσεων [8]

Πίνακας 4.2: Λειτουργικές παράμετροι των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης

Θερμοκρασία	Συγκέντρωση στερεών	Σύστημα μίξης	Αριθμός Σταδίων
Μεσόφιλο (~ 35°C)	Χαμηλά στερεά (<10% ξ.ο)	Μηχανική ανάδευση	Ενός σταδίου (ένας αντιδραστήρας)
Θερμόφιλο (~55°C)	Μεσαία στερεά (10- 25% ξ.ο)	Ανάδευση μέσω των αερίων	Πολλαπλών σταδίων
	Υψηλά στερεά (>25% ξ.ο)	Στρωτής ροής	
		Διακοπτόμενης Τροφοδοσίας	

4.4.1 Θερμοκρασία

Η αναερόβια χώνευση λειτουργεί σε δύο εύρη θερμοκρασιών, το μεσόφιλο, περίπου στους 35-37°C και το θερμόφιλο, περίπου στους 55°C. Το πλεονέκτημα της μεσόφιλης αναερόβιας χώνευσης είναι ότι είναι επαρκώς γνωστή και κατανοητή ως διεργασία, απαιτεί λιγότερη θέρμανση για τη λειτουργία της, επιτυγχάνει μεγαλύτερο βαθμό βιοσταθεροποίησης του οργανικού κλάσματος και θεωρείται πιο σταθερή / ανθεκτική λόγω της μεγαλύτερης βιοποικιλότητας των μικροοργανισμών που συμμετέχουν.

Η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση θεωρείται ότι επιτυγχάνει υψηλότερη ταχύτητα βιοαποδόμησης, συνεπώς χρειάζεται μικρότερους χρόνους παραμονής, ενώ τα επιχειρήματα για μικρότερο βαθμό σταθεροποίησης του υποστρώματος δεν έχουν επιβεβαιωθεί στην πράξη σε εγκαταστάσεις πλήρους κλίμακας. Επιπλέον, η λειτουργία σε θερμόφιλα επίπεδα επιτυγχάνει ταχύτερη και πληρέστερη υγιεινοποίηση των αποβλήτων. Η επιλογή του λειτουργικού συστήματος αναερόβιας χώνευσης ανάμεσα σε μεσόφιλα και θερμόφιλα συστήματα εξαρτάται από τις ειδικές τοπικές συνθήκες (διαθέσιμος χώρος, επιθυμητός βαθμός σταθεροποίησης, περεταίρω επεξεργασία και χρήση της χωνεμένης ιλύος, θεσμικές απαιτήσεις υγιεινοποίησης κλπ).[10]

Συγκέντρωση στερεών

Τα παραδοσιακά συστήματα αναερόβιας χώνευσης ιλύος και υγρών αποβλήτων λειτουργούν σε μια πολύ χαμηλή συγκέντρωση στερεών, της τάξης του 5% (<10% TS), το οποίο προσιδιάζει στη φύση του υποστρώματος.

Η χρήση της αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία ΑΣΑ. δίνει τη δυνατότητα αύξησης της συγκέντρωσης των στερεών στο βιοαντιδραστήρα, γεγονός που προσφέρει δύο πλεονεκτήματα:

- αύξηση της παραγωγής βιοαερίου ανά μονάδα όγκου του βιοαντιδραστήρα και
- μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση του υποστρώματος.

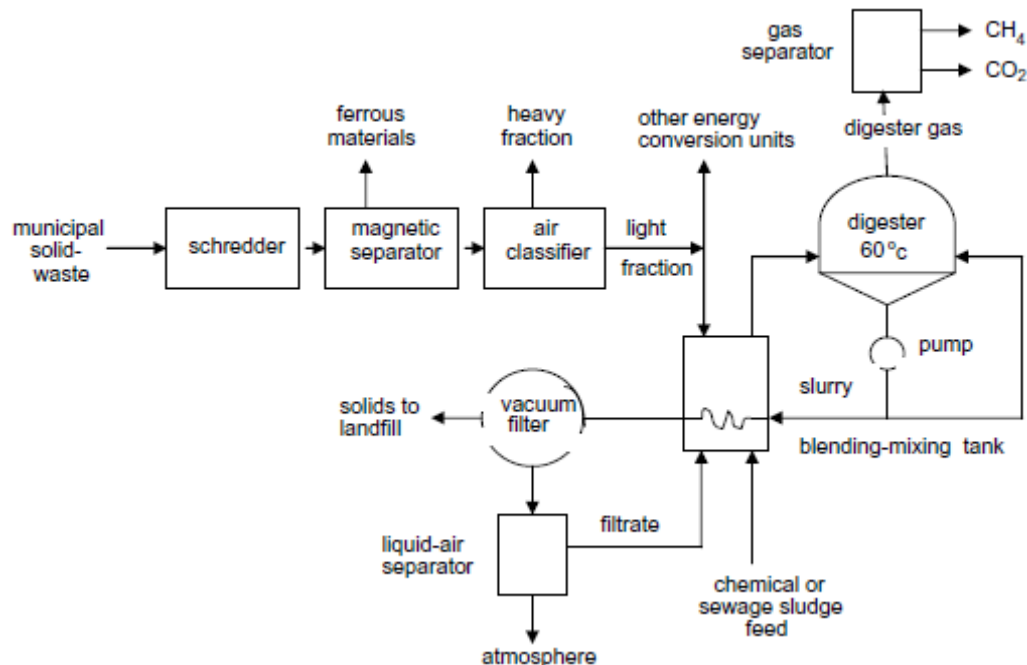
Ωστόσο υπάρχουν όρια στη δυνατότητα αύξησης της συγκέντρωσης των στερεών. Οι μικροβιακές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε υγρή φάση και κατά συνέπεια απαιτούν ένα ελάχιστο ποσοστό υγρασίας της τάξης του 40-50%. Επιπλέον, τα τεχνικά προβλήματα άντλησης των αποβλήτων προς και από το βιοαντιδραστήρα

απαιτούν το υπόστρωμα να είναι αρκετά ρευστό, περιορίζοντας έτσι τη μέγιστη συγκέντρωση στερεών στο 30-35% (π.χ. σύστημα DRANCO).

Κάποια συστήματα παρακάμπτουν αυτό το πρόβλημα αποφεύγοντας πλήρως την άντληση των αποβλήτων και συνεπώς και τη συνεχή τροφοδότηση της μονάδας. Σε αυτά ο βιοαντιδραστήρας είναι διακοπτόμενης τροφοδοσίας και η φόρτιση και το άδειασμα του γίνονται με τη βοήθεια μεταφορικών ταινιών.

Τα συστήματα της αναερόβιας χώνευσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε συστήματα:

- χαμηλής συγκέντρωσης στερεών ή ως γνωστά με τον όρο συστήματα «υγρής» αναερόβιας χώνευσης (“wet” digestion, <10%TS), στα οποία χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες πλήρους αναμίξεως (CSTR) και ο συνολικός υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 5-8 μέρες [9]
- υψηλής συγκέντρωσης στερεών ή ως γνωστά με τον όρο «ξηρής» αναερόβιας χώνευσης (“dry” digestion, 25-40%TS), στα οποία χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες εμβολικής ροής (PFR). Υπάρχουν επίσης οι αντιδραστήρες Batch που λειτουργούν συνήθως σε υψηλή συγκέντρωση στερεών. [8] Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται από 8- 12 μέρες. [9]



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα ροής διεργασία ξηρής αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος ΑΣΑ [10]

Σύστημα ανάδευσης

Η ανάγκη μίξης των αποβλήτων στο βιοαντιδραστήρα προκύπτει από την απαίτηση για καλή και ομοιόμορφη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και για αποφυγή της τοπικής συγκέντρωσης των προϊόντων της χώνευσης καθώς και του διαχωρισμού των αποβλήτων σε ελαφρύ και βαρύ κλάσμα εντός του βιοαντιδραστήρα. Στα περισσότερα συστήματα υπάρχουν κάποια προβλήματα διαχωρισμού και συγκέντρωσης του βιοαερίου, τα οποία αντιμετωπίζονται με τη μίξη. Υπάρχουν δύο τρόποι ανάδευσης των αποβλήτων στο βιοαντιδραστήρα: μηχανική ανάδευση ή ανάδευση μέσω των αερίων, με διαφορετικά πλεονεκτήματα και τεχνικές δυσκολίες το καθένα. Επίσης, υπάρχουν συστήματα που αποφεύγουν πλήρως την ανάδευση εντός του αντιδραστήρα και τις τεχνικές δυσκολίες που αυτή συνεπάγεται, χρησιμοποιώντας διακοπτόμενη τροφοδοσία. Σε αυτή την περίπτωση, η απαιτούμενη μίξη επιτυγχάνεται με την κατάλληλη προετοιμασία του υποστρώματος εκτός του αντιδραστήρα καθώς επίσης και με την ανακύκλωση μέρους της επεξεργασμένης χωνεμένης ιλύος. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός ανάδευσης σε αυτή την περίπτωση είναι εξωτερικός του βιοαντιδραστήρα, επιτρέποντας καλύτερο έλεγχο και συντήρηση. Τα συστήματα αυτά παρέχουν και μεγαλύτερη ασφάλεια στην εκτίμηση του χρόνου παραμονής των αποβλήτων σε ορισμένη θερμοκρασία, όπως απαιτείται για την υγιεινοποίησή τους.

Πίνακας 4.3: Λειτουργικές παράμετροι για αναερόβια επεξεργασία οργανικών ΑΣΑ διαχωρισθέντων στην πηγή, σε σύστημα ενός σταδίου. [11]

Μέθοδος	Λειτουργικές συνθήκες
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Χαμηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 14-30 d OLR: 1-4 kg TVS/m ³ .d
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Μέση συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-14 d OLR: 3-4 kg TVS/m ³ .d
Θερμόφιλες θερμοκρασίες- Μέση συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-14 d OLR: 8-12 kg TVS/m ³ .d
Μεσόφιλες θερμοκρασίες- Υψηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 17-25 d OLR: 3-4 kg TVS/m ³ .d
Θερμόφιλες θερμοκρασίες- Υψηλή συγκέντρωση στερεών	HRT: 12-16 d OLR: 4-6 kg TVS/m ³ .d
Συνεπεξεργασία Αποβλήτων	HRT: 14-16 d OLR: 1,9-3,9 kg TVS/m ³ .d

Πηγή: [10]. HRT=υδραυλικός χρόνος παραμονής,
OLR=ρυθμός οργανικής φόρτισης

Αριθμός σταδίων

Τα συστήματα της αναερόβιας χώνευσης διακρίνονται, ανάλογα με τον αριθμό των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούν, σε συστήματα ενός σταδίου, όταν όλες οι φάσεις της βιολογικής μετατροπής πραγματοποιούνται σε έναν αντιδραστήρα και πολλών σταδίων όταν η υδρόλυση και μεθανιογένεση πραγματοποιούνται σε ξεχωριστούς αντιδραστήρες.[12]

Οι βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες για τις βιολογικές διεργασίες που συμβαίνουν στις διακριτές φάσεις της αναερόβιας χώνευσης διαφέρουν ελαφρώς από φάση σε φάση. Συνεπώς, όταν η αναερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα εξ' ολοκλήρου σε ένα βιοαντιδραστήρα, δεν μπορούν να βελτιστοποιηθούν οι επιμέρους φάσεις της. Αντίθετα, ο διαχωρισμός της διεργασίας σε χωριστούς αντιδραστήρες, έτσι ώστε η υδρόλυση / οξεογένεση να λαμβάνουν χώρα ανεξάρτητα από τη μεθανιογένεση επιτρέπει την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των διαφορετικών φάσεων και αυξάνει τη συνολική ταχύτητα και απόδοση όλης της αναερόβιας χώνευσης. Βέβαια, αυτό το πλεονέκτημα αντισταθμίζεται από το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους του πρόσθετου βιοαντιδραστήρα και των συστημάτων μεταφοράς των αποβλήτων.

Τα ΑΣΑ, λόγω της ανομοιογένειάς τους έχουν κάποιες πρόσθετες δυσκολίες χειρισμού, οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες τείνουν να προτιμούν τις απλούστερες λύσεις και έτσι σήμερα επικρατούν στην αγορά τα συστήματα ενός σταδίου, παρά τη μειωμένη απόδοση σε σχέση με τα συστήματα δύο σταδίων.

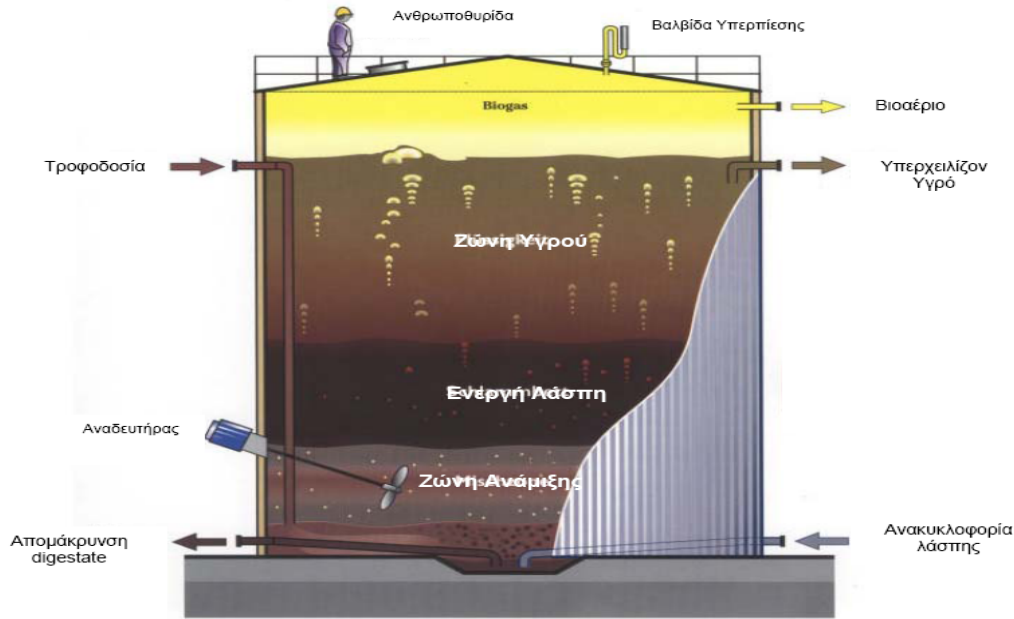
Με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση, διακρίνονται δύο κύρια συστήματα αναερόβιας χώνευσης στερεών αποβλήτων[13]:

- ❖ το κλασσικό και
- το σύστημα υψηλού ρυθμού ή δύο σταδίων.

Παρακάτω ακολουθεί περαιτέρω ανάλυσή τους:

α. Κλασσικό σύστημα αναερόβιας χώνευσης, ενός αντιδραστήρα

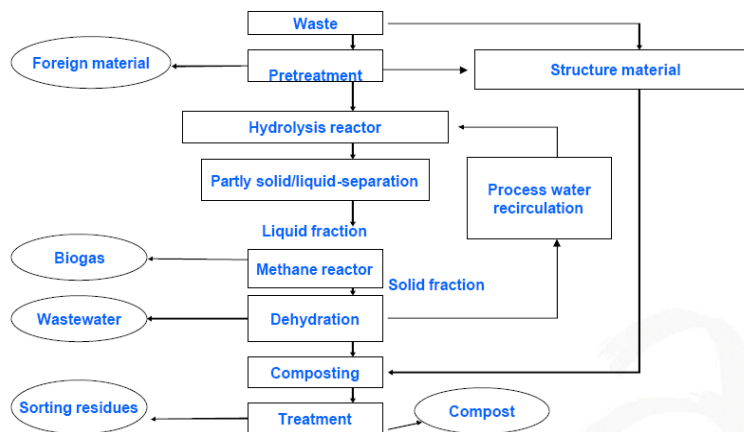
Αποτελείται από έναν αντιδραστήρα, με χρόνο παραμονής κάποιων εβδομάδων, στον οποίο συνήθως πραγματοποιείται ανάδευση του περιεχομένου. Στόχος της ανάδευσης είναι η αποφυγή συσσώρευσης μεταβολικών προϊόντων που μπορούν να οδηγήσουν στη θανάτωση των ενεργών μικροβίων. Στην περίπτωση μη ανάδευσης, δημιουργούνται τέσσερα στρώματα εντός του αντιδραστήρα – όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, ενώ στην κορυφή αυτού γίνεται συλλογή του παραγόμενου αερίου.
[13]



Σχήμα 7: Αναπαράσταση κλασικού συστήματος ενός αντιδραστήρα

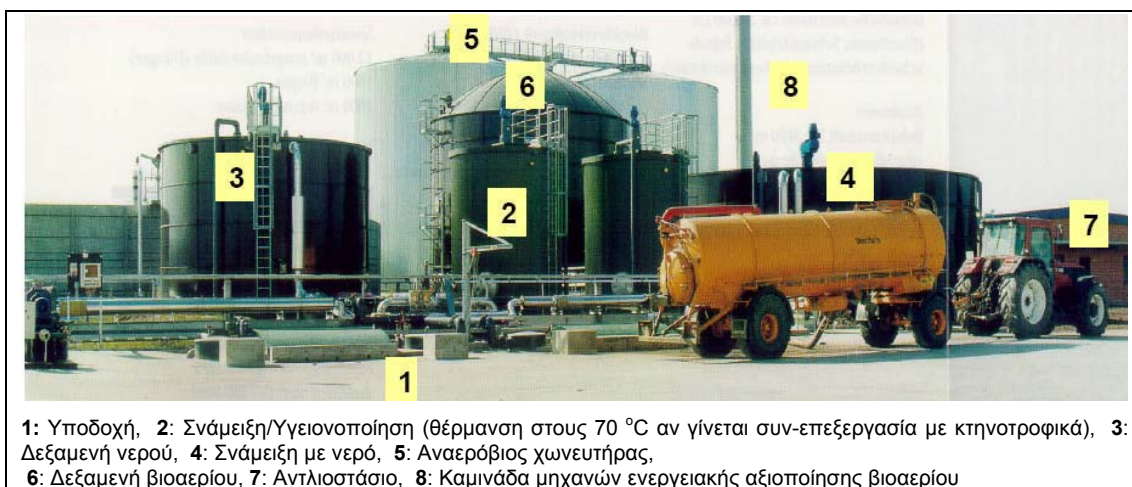
β. Σύστημα δύο σταδίων

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τουλάχιστον δύο αντιδραστήρες που λειτουργούν σε σειρά. Τα στάδια της υδρόλυσης και παραγωγής οξέων πραγματοποιούνται στον πρώτο αντιδραστήρα. Τα περιεχόμενα του πρώτου αντιδραστήρα αναμιγνύονται πλήρως (με προσθήκη νερού) και ο χρόνος παραμονής είναι μερικές ημέρες. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του πρώτου αντιδραστήρα περνάει στο στάδιο 2, δηλαδή στον δεύτερο αντιδραστήρα. Στο στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα η μεθανογένεση (κατά κύριο λόγο) χωρίς να παρεμποδίζεται από τα σχετικά χαμηλά pH των πρώτων σταδίων. Στην πραγματικότητα βέβαια, τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης δεν διαχωρίζονται πλήρως κι έτσι το συλλεγόμενο αέριο του δεύτερου σταδίου συνδυάζεται με το συλλεγόμενο αέριο του πρώτου σταδίου, αφού και σε αυτό παράγεται βιοαέριο. [13]



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα ροής συστήματος δύο σταδίων

Παρακάτω απεικονίζεται μια τυπική εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης



Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστική γενική διάταξη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

4.5 Διαδεδομένα συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Τα γνωστότερα εφαρμοσμένα συστήματα αναερόβιας χώνευσης κατηγοριοποιούνται κυρίως σύμφωνα με τον αριθμό σταδίων

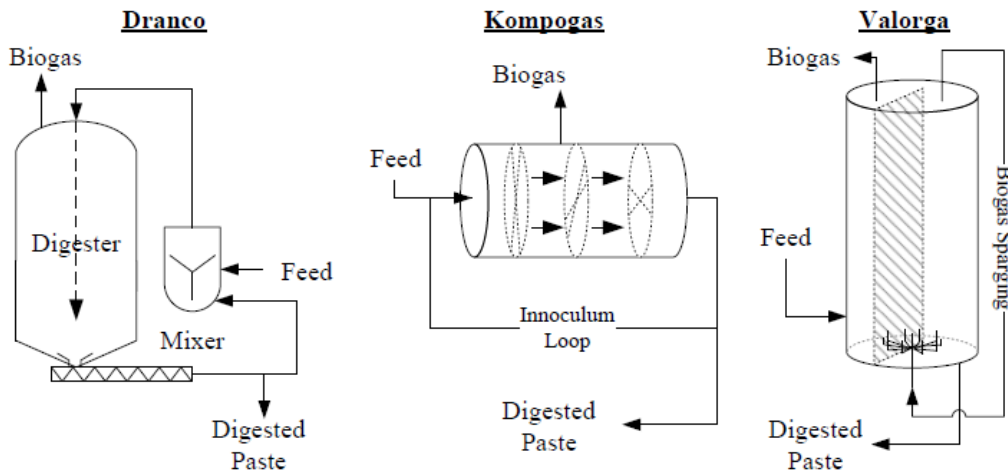
4.5.1 Συστήματα Αναερόβιας Χώνευσης πολλών σταδίων

Η χρήση συστημάτων δύο σταδίων παρόλο που επιλύει ορισμένα τεχνικά προβλήματα, αποφεύγεται συνήθως διότι το κόστος της μονάδας είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο των απλούστερων σε λειτουργία αλλά εξίσου αποδοτικών συστημάτων ενός σταδίου. Σήμερα μόλις το 10% των μονάδων (8 μονάδες) λειτουργούν στην Ευρώπη με σύστημα δύο σταδίων [14] Οι σημαντικότερες μέθοδοι δύο σταδίων με λειτουργία σε χαμηλή συγκέντρωση στερεών είναι η BTA και η Pacques, ενώ με λειτουργία σε υψηλή συγκέντρωση στερεών είναι η Biopercolat. Τέλος, η κύρια μέθοδος συστημάτων Batch, είναι η Biocel.

4.5.2 Συστήματα αναερόβια χώνευσης ενός σταδίου

Γνωστά συστήματα που λειτουργούν σε ένα στάδιο και με χαμηλή συγκέντρωση στερεών λειτουργούν οι μέθοδοι Wassa και BTA.

Τα πιο γνωστά και συνήθη συστήματα αυτού του τύπου αναερόβιας επεξεργασίας είναι το Dranco, Valorga και Kompogas, τα οποία λειτουργούν σε ένα στάδιο και με υψηλή συγκέντρωση στερεών.



Σχήμα 9: Συστήματα «ξηρής» αναερόβια χώνευσης ενός σταδίου Dranco, Valorga και Kompogas[15]

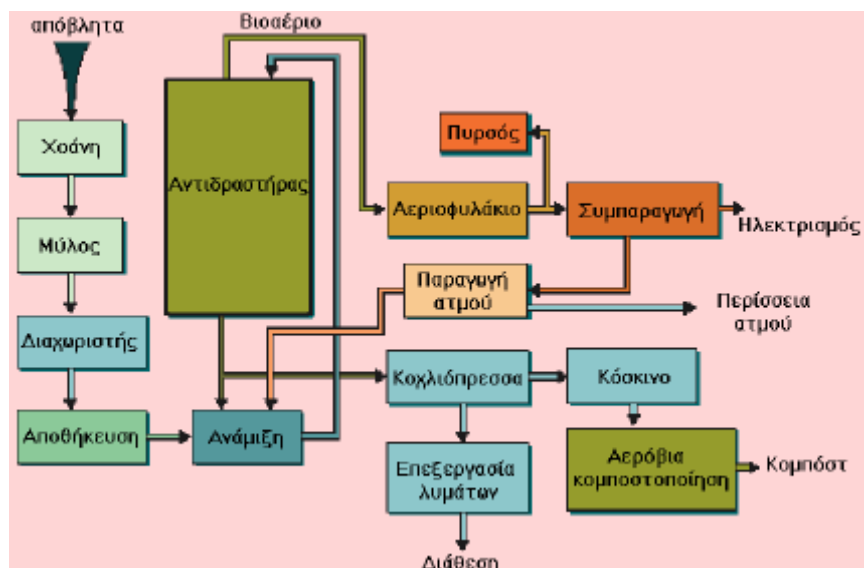
Dranco

Η διαδικασία Dranco αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Είναι ένα μονοβάθμιο ανερόβιο σύστημα υψηλής συγκέντρωσης σε στερεά, που λειτουργεί σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες [15]. Η τροφοδοσία εισάγεται στην κορυφή του αντιδραστήρα και μετακινείται προς τα κάτω μέχρι τη κωνική βάση, όπου ένα τρυπάνι απομακρύνει το υπόλειμμα (χωνεμένη ιλύ). Ένα κλάσμα της ιλύος μεταφέρεται στην αντλία ανάμειξης, όπου εκεί αναμειγνύεται με την νέα τροφοδοσία προκειμένου η δεύτερη να έρθει στην θερμοκρασία λειτουργίας. Το υπόλοιπο της ιλύος αφυδατώνεται και παράγει νερό και το στερεό υλικό τύπου κόμποστ. Δεν υπάρχει ανάδευση στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, πέρα από αυτήν που προκαλείται από την κίνηση των αποβλήτων προς τα κάτω, και την κίνηση των φυσαλίδων των βιογενών αερίων που παράγονται, προς τα πάνω. [16]. Τα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα Dranco (βλ. Πίνακα 2) έχει καταγραφεί ότι έχουν απόδοση παραγωγής βιοαερίου $0,103 - 0,147 \text{ m}^3/\text{kg}$ [17].

Η διαδικασία Dranco παράγει ένα προϊόν τύπου κόμποστ και θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να κυμαίνεται από $0.15 - 0.32 \text{ MWh/ton}$ τροφοδοσίας



Εικόνα 4.2: Dranco αντιδραστήρας

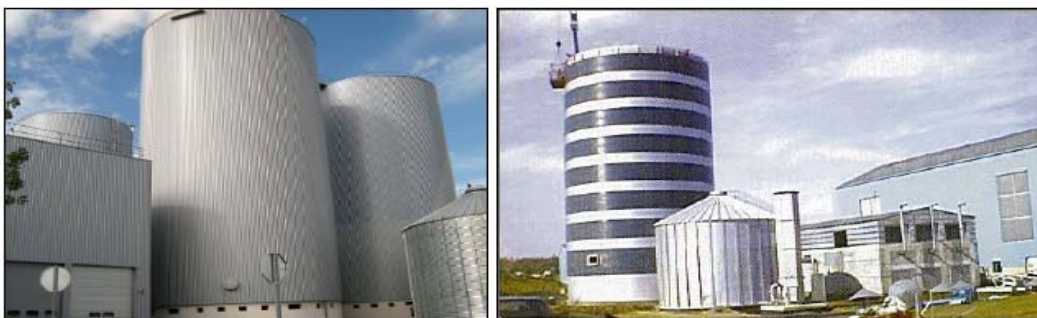


Σχήμα 4.9: Διάγραμμα ροής συστήματος Dranco

Valorga

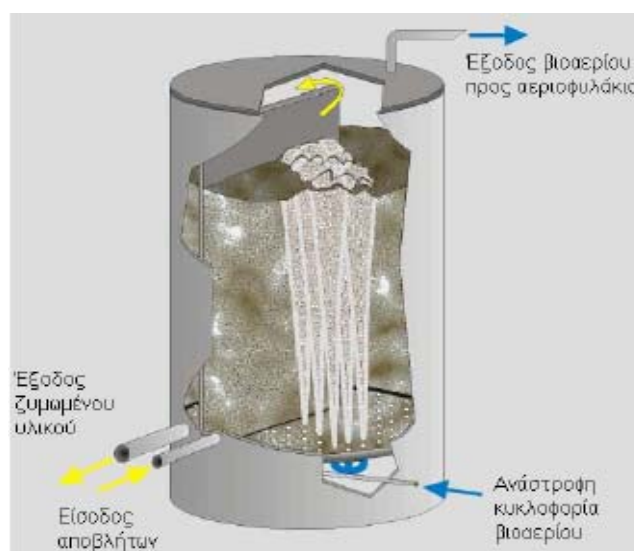
Η διαδικασία Valorga αναπτύχθηκε το 1981 για την επεξεργασία οργανικών στερεών αποβλήτων και αποδέχεται ΑΣΑ μετά από κατάλληλο διαχωρισμό του ακατάλληλου κλάσματος. Ένας υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά χωνευτήρας τροφοδοτείται με

το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ που έχει 25-30 % συγκέντρωση ολικών στερεών. Χρησιμοποιείται ατμός για τη θέρμανση και το νερό που προκύπτει από την διαδικασία χρησιμοποιείται για την αραίωση της τροφοδοσίας στο βαθμό που απαιτείται.[18] Μεσόφιλα ή θερμόφιλα συστήματα χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις πρώτες ύλες αλλά και τις οικονομικές παραμέτρους. Ο αντιδραστήρας της Valorga είναι μονοβάθμιος και εμβολικής ροής (PFR). Τυπικοί PFR αντιδραστήρες περιλαμβάνουν φυσική ανάμειξη, αλλά ο χωνευτής Valorga χρησιμοποιεί πεπιεσμένο βιοαέριο για την ανάμειξη. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για ένα βρόχο εμβολιασμού. Ο αντιδραστήρας αποτελείται από ένα κατακόρυφο εξωτερικό κύλινδρο με ένα εσωτερικό τείχος που εκτείνεται περίπου στα $\frac{2}{3}$ της διαμέτρου της δεξαμενής.



Εικόνα 4.3: Χωνευτές Valorga (Γαλλία αριστερά, Βέλγιο δεξιά)[18]

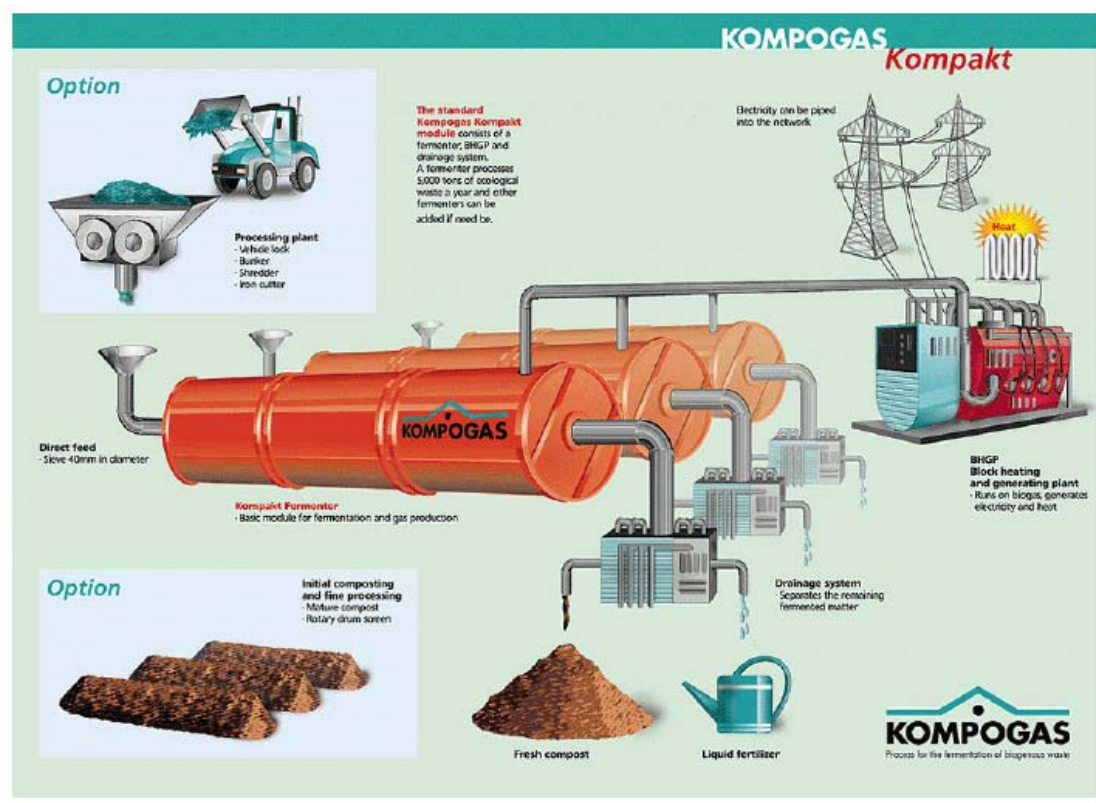
Οι υπάρχουσες μονάδες Valorga έχουν αποδόσεις παραγωγής βιοαερίου 0,22 έως 0,27 m³/kg VS (πηκτικών στερεών) . Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων είναι 18-23 ημέρες και μετά την χώνευση, η κομποστοποίηση του υπολείμματος διαρκεί περίπου δύο εβδομάδες [18]. Valorga εγκαταστάσεις που λειτουργούν σήμερα στην Ισπανία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ελβετία και τις Σκανδιναβικές χώρες [19]



Σχήμα 4.10: Ο αντιδραστήρας της μεθόδου Valorga

Komrogas

Αντίθετα με τις άλλους δύο δημοφιλείς ενός σταδίου «ξηρούς» χωνευτήρες παραπάνω, το σύστημα Komrogas χρησιμοποιεί ένα οριζόντιο χωνευτήρα εμβολικής ροής, με εσωτερικούς έλικες που συμβάλλουν στην εξαέρωση και στην ομογενοποίηση των αποβλήτων [18],[20]. Το σύστημα είναι προκατασκευασμένο σε δύο μεγέθη: 16.500 ή 27.600 τόνων ετησίως. Οι μεγαλύτερες δυναμικότητες επιτυγχάνονται μέσω παράλληλης σύνδεσης των μονάδων. Η συγκέντρωση της υγρασία πρέπει να διατηρείται στο 72-77%, προκειμένου στο σύστημα να υπάρχει η κατάλληλη ροή κι ως εκ τούτου ένα μέρος του νερού που προκύπτει από τη διαδικασία ή/και την ξήρανση της ιλύος αναμειγνύεται με τα εισερχόμενο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ. [20]

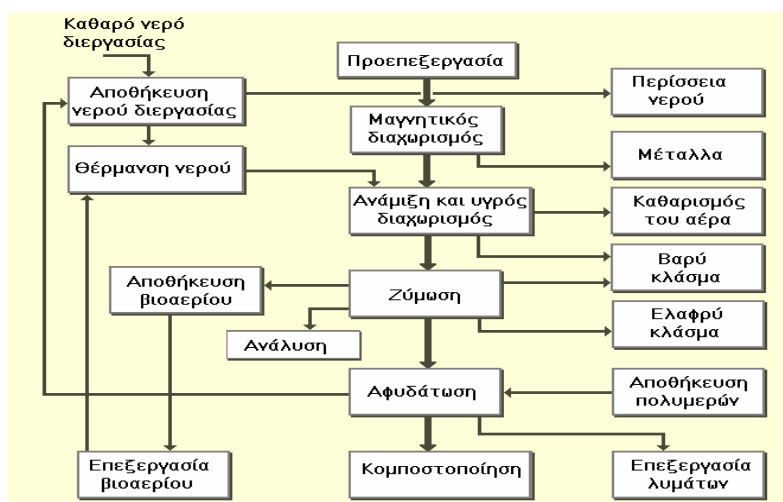


Σχήμα 4.11: Γενική εμποπτεία διαδικασίας του συστήματος Komrogas[2]

Waasa

Μέχρι το 2000 είχαν κατασκευαστεί 3 μονάδες που λειτουργούσαν με βάση τη διεργασία Waasa, ενώ άλλη μία ήταν υπό κατασκευή. Η δυναμικότητα των μονάδων κυμαίνεται μεταξύ 3.000-85.000 τόνων ανά έτος, ενώ οι συνθήκες λειτουργίας μπορεί να είναι είτε θερμοφιλικές 126 είτε μεσόφιλες. Στη μονάδα της Waasa λειτουργούν παράλληλα και οι δύο τύποι διεργασιών, με τη θερμοφιλή διεργασία να έχει ένα

χρόνο παραμονής 10 ημέρες σε σύγκριση με τις 20 ημέρες του μεσόφιλου σχεδιασμού. Το διάγραμμα ροής της διεργασίας φαίνεται στο σχήμα 4.12



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα ροής διεργασίας Waasa

4.6 Βασικές σχεδιαστικές παράμετροι Αναερόβιας Χώνευσης

Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού για την αναερόβια χώνευση είναι:

- ο όγκος του αντιδραστήρα και
- οι απαιτήσεις σε θερμότητα.
- Χρόνος παραμονής

Και οι δύο παραπάνω παράμετροι εξαρτώνται από την ποσότητα των αποβλήτων που θα χωνευτεί, τον χρόνο παραμονής, τις ποσότητες των τελικών προϊόντων που θα διατίθενται καθημερινά και τη χρήση τους, καθώς και το σύστημα για τη θέρμανση και ανακύκλωση του νερού που χρησιμοποιείται για την αύξηση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα [5]

Αναλυτικότερα:

-Ο **όγκος του αντιδραστήρα** εξαρτάται από την ημερήσια ποσότητα των αποβλήτων προς επεξεργασία, την υγρασία τους, τη συγκέντρωση των πτητικών στερεών, το ρυθμό φόρτισης του αντιδραστήρα, τη συγκέντρωση στερεών του μίγματος αποβλήτων-νερού καθώς και το χρόνο παραμονής. Είναι πιο σύνηθες να σχεδιάζονται οι αντιδραστήρες με βάση έναν επιθυμητό ρυθμό φόρτισης πτητικών στερεών, κάτι που φυσικά απαιτεί γνώση του ποσοστού πτητικών στερεών των αποβλήτων. Τυπικοί ρυθμοί φόρτισης σε αναερόβιους αντιδραστήρες φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3: Ρυθμοί φόρτισης εμπορικών συστημάτων αναερόβιας χώνευσης στη Γερμανία

Εμπορική Ονομασία	Ποσοστό στερεών, %		Χρόνος Παραμονής, d		Ρυθμός φόρτισης, Kg _o TS/m ³ *d	
	min	max	min	max	min	max
DRANCO	25	40	15	30	5	12
KOMPOGAS	25	30	15	20	8	12
VALORGA	30	35	17	25	7	9
DBA-Wabio	10	15	15	10	5	7
Waasa	15	18	14	15	7	8
Schwarting-Uhde	10	12	5	9	20	25

oTS: Organic Total Solids

-Η **απαιτούμενη θέρμανση** εξαρτάται από τις θερμοκρασίες λειτουργίας του αντιδραστήρα (μεσόφιλες – θερμοφιλες). Η θέρμανση γίνεται με σωληνώσεις εντός του αντιδραστήρα στους οποίους ανακυκλώνεται θερμό νερό. Για μεγαλύτερους αντιδραστήρες, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που απαιτείται καταναλώνεται για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στο επιθυμητό επίπεδο, και όχι για τη διατήρησή της στην τιμή αυτή.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια εξαρτώνται από τον ρυθμό εισόδου των αποβλήτων στον αντιδραστήρα, τη θερμοκρασία των αποβλήτων εκτός του αντιδραστήρα και την (επιθυμητή) θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα.

-Ο **χρόνος παραμονής** σε αναερόβιους αντιδραστήρες αναφέρεται στον υδραυλικό χρόνο παραμονής και εξαρτάται από τον ωφέλιμο όγκο και το ρυθμό παροχής των αποβλήτων εντός του αντιδραστήρα. Ο ιδανικός χρόνος παραμονής είναι εκείνος κατά τον οποίο:

- ο μικροβιακός πληθυσμός – ιδιαίτερα των μεθανογενών – διατηρείται στο εκθετικό στάδιο ανάπτυξης
- το μεγαλύτερο μέρος της (ανακτώμενης) χημικής ενέργειας των αποβλήτων μετατρέπεται σε χημική ενέργεια του μεθανίου

Γενικότερα, ο **κατάλληλος χρόνος παραμονής** είναι συνάρτηση πολλών περιβαλλοντικών και λειτουργικών παραγόντων καθώς και της σύστασης του υποστρώματος. [5] Όσο περισσότερο οι περιβαλλοντικές (π.χ. θερμοκρασία) και λειτουργικές (π.χ. λόγος C/N) συνθήκες πλησιάζουν τις βέλτιστες τιμές και όσο πιο εύκολα βιοαποδομήσιμο είναι το υπόστρωμα, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος παραμονής και άρα μικρότερος και ο ωφέλιμος όγκος του αντιδραστήρα που απαιτείται για μία συγκεκριμένη παροχή. Λόγω της φύσης των μεθανογενών βακτηρίων, που είναι γενικά αργά αναπτυσσόμενοι μικροοργανισμοί, οι χρόνοι παραμονής σε αναερόβιους αντιδραστήρες οργανικών υποστρωμάτων είναι της

τάξης των εβδομάδων και όχι ωρών. Για τυπικά αστικά απόβλητα ένας ικανοποιητικός χρόνος παραμονής είναι περίπου 15-20 ημέρες.[5]

4.7 Προϊόντα και παραπροϊόντα της Αναερόβιας Χώνευσης

Τα κύρια προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και η χωνευμένη ιλύς. Ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση:

4.7.1 Βιοαέριο

Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), με μικρότερες ποσότητες υδρόθειου (H₂S) και αμμωνίας (NH₃). Ίχνη υδρογόνου (H₂), άζωτου (N₂), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), κορεσμένων ή αλογονωμένων υδατανθράκων και οξυγόνου (O₂) παρουσιάζονται περιστασιακά στο βιοαερίου (όπως φαίνεται στον πίνακα). Συνήθως, το σύνθετο αυτό αέριο είναι κορεσμένο με υδρατμούς που μπορεί να περιέχουν σωματίδια σκόνης και σιλοξάνες [21]

Η σύνθεση του βιοαερίου είναι διαφορετική από εκείνη του φυσικού αερίου, αλλά είναι αρκετά παρόμοια με το βιοαέριο που παράγεται στους ΧΥΤΑ/Υ. Το τελευταίο περιέχει σημαντικές ποσότητες αλογονούχων ενώσεων και περιστασιακά η περιεκτικότητα σε οξυγόνο είναι υψηλότερη. Η θερμιδική αξία είναι 36,14 MJ/m³ για το φυσικό αέριο και 21,48 MJ/m³ για το βιοαέριο. Η σύνθεση του βιοαερίου φυσικά συνδέεται με τη σύνθεση των αποβλήτων και μπορεί να διαφέρει σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 4.4: Σύνθεση εκλυόμενου βιοαερίου Αναερόβιας Χώνευσης και βιοαερίου Υγειονομικής Ταφής και του φυσικού αερίου [21]

Συστατικά	Μονάδες	Βιοαέριο ΥΤ	Φυσικό Αέριο	Βιοαέριο ΑΧ
Μεθάνιο (CH ₄)	% κ.ο.	45-58	91	55-70
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	% κ.ο.	0	5.1	0
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	% κ.ο.	0	1.8	0
Βουτάνιο (C ₄ H ₁₀)	% κ.ο.	0	0.9	0
Πεντάνιο	% κ.ο.	0	0.3	0
CO ₂	% κ.ο.	30-45	0.61	32-45

Άζωτο (N ₂)	% κ.ο.	0-2	0.32	0-3
Πτητικές Οργανικές Ουσίες (VOC)	% κ.ο.	0	0	0.25-0.50
Υδρογόνο(H ₂)	% κ.ο.	0	0	Ίχνη(λιγότερο από 1%)
Υδρόθειο (H ₂ S)	ppm	~500	~1	10-200
Αμμωνία (NH ₃)	ppm	~100	0	0
Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	ppm	0	0	Ίχνη

Αξιοποίηση-Αναβάθμιση του βιοαερίου

Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις χρήσεις που χρησιμοποιείται και το φυσικό αέριο. [22] Η απαιτούμενη ποιότητα του βιοαερίου εξαρτάται από τη χρήση για την οποία προορίζεται.[23] Επίσης έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες αναβάθμισης για την επεξεργασία του βιοαερίου, ωστόσο δεν συνιστάται η χρήση όλων αυτών είτε λόγω περιβαλλοντικών θεμάτων είτε λόγω κόστους. Αναλυτι

4.7.2 Χωνεμένη Ιλύς (digestate)

Το προϊόν αυτό αποτελεί ένα λασπώδες ή υδαρό προϊόν, το οποίο μπορεί να αφυδατωθεί και να επεξεργαστεί περαιτέρω, όπως για παράδειγμα να υποστεί αερόβια επεξεργασία, ώστε να προκύψει ένα βιοσταθεροποιημένο τελικό προϊόν. Το μερικώς σταθεροποιημένο αυτό υλικό που προκύπτει κατά την αναερόβια επεξεργασία απαιτεί μείωση υγρασίας, που πραγματοποιείται μέσω παχυντών βαρύτητας και συστημάτων φυγοκέντρησης.

Το υγρό κλάσμα που προκύπτει από την αφυδάτωση του προϊόντος μπορεί να ανακυκλοφορήσει στην παραπάνω διεργασία για τη ρύθμιση της υγρασίας στα εισερχόμενα απόβλητα ενώ το πλεόνασμα, λόγω των αυξημένων συγκεντρώσεων ρύπων (COD της τάξης των 2.000-12.000mg/l, λόγος COD/BOD = 4 -11, αμμωνιακό άζωτο έως και 1.200mg/l [12], [25] απαιτεί προχωρημένες τεχνολογίες επεξεργασίας. Επιτυχής μέθοδος για την απομάκρυνση των ρυπαντών φαίνεται να είναι ο συνδυασμός αντιδραστήρα προσκολλημένης βιομάζας για την νιτροποίηση-απονιτροποίηση που ακολουθείται από μονάδα αντίστροφης όσμωσης [25].

Το στερεό κλάσμα που προκύπτει από την αφυδάτωση της χωνεμένης ιλύος απαιτεί αερόβια μετεπεξεργασία για 2-3 εβδομάδες. Από αυτή την διαδικασία παράγεται ένα υλικό που έχει τα χαρακτηριστικά του κόμποστ και μπορεί και να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία, σε ιδιωτικούς κήπους, σε αναπλάσεις τοπίου ή να χρησιμοποιηθεί ως κάλυμμα σε ΧΥΤΑ/Υ. Για την παραγωγή υψηλής ποιότητας κόμποστ ισχύει ότι ακριβώς και το προϊόν του κόμποστ από την λιπασματοποίηση που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η χρήση και η τιμή πώλησης του κόμποστ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητά του. Για τα προϊόντα της χώνευσης ο πρώτος και σημαντικότερος κανόνας είναι ο εξής: «Το παραγόμενο κόμποστ ποτέ δεν έχει καλύτερη ποιότητα από αυτή των εισερχομένων αποβλήτων» [25] Ως εκ τούτου και εδώ συνιστάται η επεξεργασία ΑΣΑ διαχωρισθέντων στην πηγή, για την παραγωγή υψηλής ποιότητας κόμποστ, απαλλαγμένου από προσμείξεις (μέταλλα, γυαλιά, πλαστικά) και ρύπους (βαρέα μέταλλα, αλογονομένους υδρογονάνθρακες, βερνίκια) [25]. Η εμπειρία από Ευρωπαϊκές χώρες δείχνει πως κόμποστ που πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές ποιότητας εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στην γεωργία με μηδενική ή μικρή τιμή πώλησης (0-3 €/τόνο). Σε ορισμένες χώρες η τιμή πώλησης υψηλής ποιότητας κόμποστ μπορεί είναι και υψηλότερη (20-40 €/τόνο), σε περιορισμένες όμως ποσότητες και έπειτα από σημαντικό εξευγενισμό [26]

Κομποστοποίηση της χωνεμένης ιλύος

Προκειμένου το προϊόν να είναι υψηλής ποιότητας και μεγαλύτερης αξία, η χωνεμένη ιλύς μπορεί μέσω αερόβιας επεξεργασίας να μετατραπεί σε κόμποστ. Αυτό εξασφαλίζει την περεταίρω διάσπαση οργανικών συστατικών και ενσωματώνει το ανόργανο άζωτο σε χούμο, μειώνοντας έτσι την απώλεια του αζώτου. Αν παίζει το ρόλο του πρόσθετου στη διαδικασία της κομποστοποίησης, τότε αποτελεί μια καλή πηγή αζώτου, επιταχύνοντας την διαδικασία. Παράλληλα εμπλουτίζει το κόμποστ με φώσφορο και θρεπτικά συστατικά όπως Mg και Fe (όπως αυτά αποτελούν σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις). [23], [27]

Η υγρασία επίσης της χωνεμένης ιλύος αποτελεί θετικά συμβάλλον παράγοντα για τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Στις ΗΠΑ λειτουργεί μονάδα (Unisyn Biowaste Technology) που λειτουργεί και με τις δύο μεθόδους- Αναερόβια Χώνευση και κομποστοποίηση- χρησιμοποιώντας την χωνεμένη ιλύ προκειμένου να βελτιώσει το παραγόμενο κόμποστ [23],[28]

4.8 Εποπτεία Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Αναερόβιας Επεξεργασίας

Το είδος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης που λαμβάνονται υπόψη περιγράφονται παρακάτω

Επιπτώσεις στον αέρα

Από τη στιγμή που η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης διενεργείται σε κλειστούς χώρους και το παραγόμενο αέριο συλλέγεται προς επεξεργασία και αξιοποίηση, οι εκπομπές αερίων ρύπων είναι πολύ μικρές. Αέριες εκπομπές παρατηρούνται κατά την καύση του βιοαερίου και αφορούν κυρίως σε οξείδια του αζώτου και του θείου και δευτερευόντως σε άλλα προϊόντα της καύσης. Οι εκπομπές αυτές είναι παρόμοιες με τις εκπομπές από την καύση φυσικού αερίου. Η επικινδυνότητα των αερίων αυτών εκπομπών είναι σχετικά περιορισμένη και για το λόγο αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις τέτοιων μονάδων ο έλεγχος τους είναι περιορισμένος. Στην περίπτωση που πριν την αναερόβια χώνευση δεν έχει προηγηθεί πρόγραμμα διαλογής στην πηγή, υπάρχει το ενδεχόμενο να υπάρχουν ουσίες υψηλότερης τοξικότητας στο βιοαέριο λόγω της πιθανής παρουσίας διαλυτών και άλλων επικίνδυνων ουσιών στο υπόστρωμα. Ο εκτενής έλεγχος των αποβλήτων κατά την είσοδο τους στη μονάδα επιτυγχάνει επαρκή αντιμετώπιση του κινδύνου αυτού. Κατά την αναερόβια χώνευση οσμές παράγονται μόνο κατά την προετοιμασία του ρεύματος τροφοδοσίας και την επεξεργασία της χωνεμένης ιλύος, οι οποίες λαμβάνουν χώρα εκτός του βιοαντιδραστήρα. Όταν οι διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται εντός κτιρίων και ο αέρας υφίσταται επεξεργασία με βιόφιλτρα ή χημική έκπλυση έχουμε ως αποτέλεσμα οι οσμές που απελευθερώνονται στο περιβάλλον να είναι περιορισμένες. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πολλές περιπτώσεις, μονάδες αναερόβιας χώνευσης είναι χωροθετημένες σε βιομηχανικές περιοχές, σε απόσταση μικρή από άλλα κτίρια χωρίς να γίνονται παράπονα για όχληση.[29]

Επιπτώσεις στα Νερά

Κατά την αναερόβια χώνευση υπάρχει περίσσεια νερού, το οποίο μπορεί να ανακυκλοφορεί εντός της διεργασίας. Στην περίπτωση της μη ανακυκλοφορίας του, το υγρό αυτό απόβλητο πρέπει να επεξεργάζεται σε κατάλληλη μονάδα είτε εντός της εγκατάστασης είτε εκτός αυτής. Οι ποσότητες των υγρών αυτών αποβλήτων υπολογίζονται σε 100 – 300 m³ ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων.

Οι μονάδες που επεξεργάζονται οργανικά απόβλητα μετά από διαλογή στην πηγή τείνουν να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες υγρών αποβλήτων, καθώς η υγρασία του ρεύματος τροφοδοσίας τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα σύμμεικτα ΑΣΑ. [29]

Επιπτώσεις στο έδαφος

Οι επιπτώσεις στο έδαφος έχουν σχέση με την εφαρμογή του παραγόμενου υλικού τύπου κόμποστ στο έδαφος, στην περίπτωση που τηρούνται οι σχετικές προδιαγραφές για εδαφική του διάθεση. Συνεπώς οι επιπτώσεις στο έδαφος είναι ίδιες με αυτές της αερόβιας επεξεργασίας. [29]

Επιπτώσεις στο ακουστικό περιβάλλον

Από τη στιγμή που η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης διενεργείται σε κλειστούς χώρους οι επιπτώσεις στο ακουστικό περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, αρκετές εγκαταστάσεις δέχονται παράπονα για θόρυβο, κυρίως από τη λειτουργία των ανεμιστήρων και των αντλιών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, σε περίπτωση παραγωγής ηλεκτρισμού από το βιοαέριο στην ίδια την εγκατάσταση όχληση προκαλούν και οι γεννήτριες, οι οποίες συχνά προκαλούν θόρυβο.

4.9 Αναερόβια διήθηση (percolation)

Η αναερόβια διήθηση είναι μια κατεργασία κατά την οποία το βιοαποδομήσιμο οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων διαχωρίζεται από αυτό με τη χρήση ύδατος. Κατά την εφαρμογή της, τα απορρίμματα εκπλένονται, σε συνεχή βάση, για μία περίοδο από 2-7 ημέρες, με νερό θερμοκρασίας ~37°C. Τα διαλυτά οργανικά και ανόργανα υλικά των απορριμμάτων διαχωρίζονται και μεταφέρονται στην υγρή φάση. Συνήθως, τα απορρίμματα ανακατεύονται συνεχώς, ώστε να διευκολύνεται η μεταφορά μάζας από την στερεά στην υγρή φάση. Η υγρή φάση, μετά την καταβύθιση των ιζημάτων, μεταφέρεται συνήθως σε ένα αναερόβιο χωνευτή για την παραγωγή και εκμετάλλευση του βιοαερίου. Η υγρή φάση, μετά την καταβύθιση των ιζημάτων, μεταφέρεται συνήθως σε ένα αναερόβιο χωνευτή για την παραγωγή και εκμετάλλευση του βιοαερίου. Με τη μέθοδο αυτή μειώνεται κατά πολύ η παραγωγή δυσάρεστων οσμών, η μάζα της οργανικής ύλης, ενώ παράλληλα ανακτάται το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων και ομογενοποιείται το ρεύμα των αποβλήτων.

4.10 Ξηρά Ζύμωση (dry fermenttion)

Η ξηρά ζύμωση είναι μια σχετικά νέα αναερόβια διεργασία, παρόμοια με την αναερόβια χώνευση, αλλά πιο απλή στην κατασκευή. Αντίθετα με την κλασσική αναερόβια χώνευση κατά την ξηρά ζύμωση δεν απαιτείται η προσθήκη ύδατος

κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Η κατεργασία λαμβάνει χώρα μέσα σε απλά κλειστά container τα οποία ασφαλίζουν αεροστεγώς με υδραυλικές πόρτες. Για την παροχή υγρασίας, χρησιμοποιούνται τα στραγγίσματα μέσω συστήματος ανακυκλοφορίας. Οι διάφορες φάσεις της αποσύνθεσης λαμβάνουν χώρα στον ίδιο χωνευτή. Το απορριμματικό φορτίο, μετά την κατάλληλη μηχανική επεξεργασία τοποθετείται στην αεροστεγή δεξαμενή χωνεύσεως και εμβολιάζεται με χωνεμένο υλικό που προέρχεται από την προηγούμενη φάση επεξεργασίας. Κατά την χώνευση πραγματοποιείται ψεκασμός της οργανικής ύλης με το ρεύμα στραγγισμάτων το οποίο συλλέγεται συνεχώς και ανακυκλοφορεί. Με αυτόν τον τρόπο συνεχής εμβολιασμός του υλικού με τους μικροοργανισμούς και εξασφαλίζονται βέλτιστες συνθήκες για τη βιοαποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος με μια σειρά από αντιδράσεις (υδρόλυση, σχηματισμό οξέος και μεθανίου) οι οποίες στο σύνολό του λαμβάνουν χώρα στον ίδιο χωνευτή. Η θερμοκρασία της αναερόβιας χώνευσης είναι 34-37 °C ενώ μηχανική ανάδευση δεν κρίνεται απαραίτητη στη μονάδα του χωνευτή. [30]

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Eunomia, “**Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste**”, Final Report to European Commission
2. Tchobanoglous G., H. Theisen and S. Vigil, (1993). “**Integrated solid waste management – Engineering principles and management issues**”, McGraw-Hill, New York.
3. Al Seadi T., (without year) “**Good practice in quality management of AD residues from biogas production**”. In: Task 24: Energy from biological conversion of organic waste. International Energy Agency-Bioenergy.
<http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/publicationspublic.htm>
4. Μ. Λοϊζίδου(Δεκέμβριος 2008), «**Σύγχρονες τεχνολογίες διαχείρισης στερών αποβλήτων**», Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Αθήνα
5. Σχέδιο Τελικής Έκθεσης προς το ΙΤΑ (2007) της Μελέτης «**Εκτίμησης των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Αποβλήτων**».
6. A. Nopharatana (Nov. 1997),“**Evaluation of methanogenic activities during Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste**”, *Bioresource Technology* 64 (1998):169-174
7. Karena Ostrem(May 2004), “**Greening Waste: Anaerobic Digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes**”, Department of Earth and Environmental Engineering ,Foundation of School of Engineering and Applied Science, Columbia University
8. Verma S., (2002). “**Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes**”. Thesis for the Master of Science Degree in Earth

Resources Engineering. Advisor: Prof. N. J. Themelis. Columbia University.
<http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf>

9. Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος (Φεβρουάριος 2007), «**Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις**», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
10. A. Hilkiyah Igoni, M.J. Ayotamuno, C.L. Eze, S.O.T. Ogaji,* , S.D. Probert (October 2007), “**Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste**”, *Applied Energy* 85 (2008) 430–438
11. Cecchi F., P. Traverso, P. Pavan, D. Bolzonella and L. Innocenti, (2003). “**Characteristics of the OFMSW and behaviour of the anaerobic digestion process**”. In: Mata-Alvarez J. (Ed.) “**Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste**”, pp.141-179. IWA Publishing
12. Γιαννόπουλος Δ., Βουδριάς Ε., Αϊβαζίδης Α. (Φεβρουάριος 2005), «**Αναεροβία επεξεργασία αστικών στερεών αποβλήτων: εξέλιξη και προοπτικές**», *Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης*
13. Joshua Rapport , Ruihong , Bryan M. Jenkins, Robert B. Williams(March 2008) , “**Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste**” ,*Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California*
14. De Baere L., (2003). “**State-of-the-art of anaerobic digestion of municipal solid waste**”. In: Proc. 9th Int. “**Waste Management and Landfill Symposium**”, 6-10 October, Sardinia, Italy
15. Verma, S. (2002), “**Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes.**”, *Columbia University*
16. Vandevivere, P., L. De Baere, and W. Verstraete(2002) “**Types of anaerobic digesters for solid wastes, in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes**”, *J. Mata-Alvarez, Editor., IWA Publishing: Barcelona. p. 111-140.*
17. De Baere, L.(2000), “**Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art**”. *Water Science and Technology, 41(3): . 283-290.*
18. Nichols, C.E. (2004), “**Overview of anaerobic digestion technologies in Europe**”. *BioCycle, 45: 47-53*
19. Williams, R.B. (2005) “**Technology Assessment for Advanced Biomass Power Generation-in PIER Consultation Report**”., *California Energy Commission: Sacramento, California*
20. Lissens, G., P. Vandevivere, L. De Baere, E.M. Biey, and W. Verstraete (2001), “**Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion**”. *Water Science and Technology, . 44: 91-102.*
21. Jan K. Jensen, Anker B. Jensen (2000), “**BIOGAS AND NATURAL GAS FUEL MIXTURE FOR THE FUTURE**”, *1st World Conference and Exhibition on biomass for energy and industry, Sevilla*
22. “**Biogas upgrading and utilisation**” <http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergytask37/dokumente/biogas%20upgrading.pdf>
23. Fabien Monnet (November 2003), “**An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes**”, Company: *Remade Scotland*
24. <http://www.mikropul.com/products/wscrubber/mikrovane.html>
25. Edelmann W., (2003). “**Products, impacts and economy of anaerobic digestion of OFMSW**”. In: Mata-Alvarez J. (Ed.) “**Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste**”, pp.265-301. *IWA Publishing.*

26. EEA, (2002), “**Biodegradable municipal waste management in Europe – Part3: Technology and market issues**”, *Topic report No 15/2001. European Environment agency, Copenhagen, Denmark.*
http://reports.eea.eu.int/topic_report_2001_15/en/part3
27. AT information: **Biogas** http://res2.agr.ca /initiatives/ manurenet/download/ biogas_gtz_de.pdf
28. **Unisyn biowaste technology**
<http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/riggle/paper.htm>
29. Αντώνης Μαυρόπουλος-Χημικός Μηχανικός (Σεπτέμβριος 2008), «**Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων**», *Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμάτων Κρήτης*
30. Τροποποίηση Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης, «**Παράρτημα 7: Εναλλακτικές Λύσεις Επεξεργασίας Σύμμεικτων Απορριμμάτων**»

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

5.1 Γενική περιγραφή

Οι μέθοδοι μηχανικής επεξεργασίας επιτρέπουν το διαχωρισμό των μετάλλων και του οργανικού κλάσματος από τα σύμμεικτα απορρίμματα, ενώ ανάλογα με την τεχνολογία που θα εφαρμοστεί είναι δυνατή η ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών (χαρτί, γυαλί κ.α.) ή δευτερογενούς καύσιμου που αποτελείται από μείγμα πλαστικών και χαρτιού (RDF-refused derived fuel) ή και οργανικού (SRF-solid recovered fuel).

Οι στόχοι της μηχανικής επεξεργασίας, όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μετέπειτα στάδιο βιολογικής επεξεργασίας, [1] είναι:

- Μεγιστοποίηση της ανάκτησης υλικών
- Ο διαχωρισμός και προετοιμασία των αποβλήτων για το επόμενο στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας
- Αφαίρεση ανεπιθύμητων συστατικών από τα εισερχόμενα απόβλητα, όπως ογκωδών και άλλων προβληματικών υλικών
- Ο διαχωρισμός του κλάσματος με υψηλό θερμιδικό περιεχόμενο

Στην περίπτωση που απαιτείται, (κύρια σε εφαρμογές όπου το επιθυμητό προϊόν είναι το κόμποστ), υπάρχει και ένα στάδιο μηχανικής επεξεργασίας μετά τη βιολογική επεξεργασία, (κόσκινα κ.α.), για το ραφινάρισμα του τελικού προϊόντος.

Ο βαθμός της μηχανικής επεξεργασίας εξαρτάται από [1]:

- Τα είδη των εισερχόμενων αποβλήτων (μικτά αστικά απορρίμματα, υπόλειμμα από διαλογή στην πηγή, κ.λ.π)
- Το ποσοστό των ανακυκλώσιμων στα εισερχόμενα απόβλητα
- Την απαιτούμενη ποιότητα της εξόδου
- Το επιθυμητό ποσοστό ανάκτησης των ανακυκλώσιμων

Η πολυπλοκότητα του εφαρμοζόμενου συστήματος εξαρτάται από:[1]

- Τα διαθέσιμα κεφάλαια
- Τη δυναμικότητα
- Τη διαθεσιμότητα γης
- Το εφαρμοζόμενο σύστημα διαλογής στην πηγή
- Τις απαιτήσεις της αγοράς ανακύκλωσης
- Τις απαιτήσεις της νομοθεσίας και του εθνικούς στόχους

Στην περίπτωση επεξεργασίας σύμμεικτου ρεύματος ΑΣΑ. τα πιθανά μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού που μπορεί να περιλαμβάνει το στάδιο της μηχανικής επεξεργασίας [1] περιγράφονται παρακάτω:

5.2 Τμήμα Υποδοχής και Προετοιμασίας των Αποβλήτων

Εδώ περιλαμβάνονται ο χώρος υποδοχής των απορριμμάτων αλλά και τεχνολογίες προετοιμασίας αυτών, για τη διευκόλυνση των διαχωρισμών. Ο χώρος της υποδοχής συνήθως διαμορφώνεται ως κλειστό κτίριο όπου τα οχήματα συλλογής (μετά τη ζύγισή τους), εκφορτώνουν σε κατάλληλα διαμορφωμένους υποδοχείς (*χώρος εκκένωσης των απορριμματοφόρων*), οι οποίοι λειτουργούν ως προσωρινός αποθηκευτικός χώρος παρέχοντας τη δυνατότητα αποθήκευσης των απορριμμάτων έως τη σταδιακή επεξεργασία τους.

Οι υποδοχείς συνήθως διαμορφώνονται ως δεξαμενές (bunkers), αν και υπάρχουν μονάδες όπου η εκφόρτωση γίνεται κατευθείαν σε πλατεία. Σε κάθε περίπτωση, κατά μήκος του μετώπου του Τμήματος Υποδοχής προβλέπεται επαρκής χώρος, ο οποίος εξασφαλίζει τους ελιγμούς των απορριμματοφόρων προκειμένου να εξασφαλίζεται η εκφόρτωση των απορριμμάτων. Τα οχήματα εισέρχονται εξ' ολοκλήρου στο κτίριο υποδοχής του οποίου οι πόρτες είναι και κλείνουν μετά την απομάκρυνση του οχήματος, με αυτόματο σύστημα. Με τη διαδικασία αυτή εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση των οσμών προς το περιβάλλον, διότι οι πόρτες παραμένουν ανοικτές κατά τον ελάχιστο δυνατό χρόνο και τα οχήματα βρίσκονται εντός κλειστού και ισχυρά εξαεριζόμενου κτιρίου κατά τη διάρκεια της εκκένωσης.

Για την παραλαβή των απορριμμάτων από τον υποδοχέα και την εκφόρτωσή τους στη χοάνη τροφοδοσίας, συνήθως χρησιμοποιούνται γερανογέφυρες και αρπάγες. Η αρπάγη χρησιμοποιείται τόσο για τη μεταφορά των απορριμμάτων από τον υποδοχέα προς τις χοάνες παραλαβής, όσο και για τη διάστρωση των απορριμμάτων εντός του κάθε Υποδοχέα. Επίσης με κατάλληλο χειρισμό των αρπαγών γίνεται απομάκρυνση τυχόν ογκωδών / ανεπιθύμητων απορριμμάτων, όπως λάστιχα αυτοκινήτων, καρέκλες, ποδήλατα, κ.λ.π., που τυχόν έχουν προσαχθεί με τα απορριμματοφόρα.

Τα απορρίμματα αυτά οδηγούνται σε χώρο αποθήκευσης (π.χ. εντός container) προς κατάλληλη διαχείριση. Στην περίπτωση εκφόρτωσης σε πλατεία, γίνεται χρήση κινητού εξοπλισμού (φορτωτές, οχήματα εξοπλισμένα με αρπάγες) για την προώθηση των ΑΣΑ. στις διεργασίες και την απομάκρυνση ογκωδών / ανεπιθύμητων απορριμμάτων.

Για τον χειρισμό του εξοπλισμού υποδοχής και την ομαλή εξέλιξη της εργασίας του προσωπικού προβλέπονται, εντός του χώρου υποδοχής κατάλληλα **control rooms**, που εξαερίζονται με φρέσκο αέρα. Η προετοιμασία των αποβλήτων αποτελεί το επόμενο στάδιο μετά την υποδοχή και περιλαμβάνει τεχνολογίες σκισίματος σάκων, ελάττωσης του μεγέθους και αποκατάστασης της ομοιομορφίας των αποβλήτων, οι κυριότερες των οποίων παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα [1]

5.3 Βασικές διαδικασίες μηχανικής επεξεργασίας

Οι σπουδαιότερες διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των απορριμμάτων είναι: ο τεμαχισμός, η ταξινόμηση-διαχωρισμός και η συμπίεση.

Με τις παραπάνω διαδικασίες επιτυγχάνουμε την ομοιογενοποίηση, το διαχωρισμό και τη χρήση των χρήσιμων υλικών που ανακτώνται από τα απορρίμματα [2]

5.3.1 Τεμαχισμός

Με τον τεμαχισμό εννοούμε τη διαίρεση της δομής ενός στερεού με την επίδραση μηχανικής δύναμης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε αύξηση της ειδικής επιφάνεια και διαχωρισμό των διαφόρων ομάδων των υλικών. Η ελάττωση του μεγέθους των απορριμμάτων επιτυγχάνεται με πτώση ή με άλεση ή με κοπή, δηλαδή οι θραυστήρες εφαρμόζουν μηχανική πίεση επί των τεμαχίων των απορριμμάτων, είτε με εναλλασσόμενη προσέγγιση και απομάκρυνση των επιφανειών, είτε με συνεχή κίνηση των επιφανειών θραύσης, είτε με πρόσκρουση των τεμαχίων πάνω σε στάσιμη επιφάνεια. Ο βαθμός απόδοσης (η) της ελάττωσης μεγέθους των απορριμμάτων είναι σχετικά μικρός (0,1-2%) λόγω των απωλειών από την τριβή και την παραμόρφωση του υλικού, είναι δε ίσος με την επιφανειακή ενέργεια της επιπλέον επιτυγχανόμενης επιφάνειας (w_0) προς την απαιτούμενη ενέργεια τροφοδότησης για τον τεμαχισμό του υλικού (Kwh).

$$\eta = (W_0 / W_z) * 110\% [2]$$

Η επιλογή των σωστών μηχανημάτων πρέπει να γίνει με προσοχή αφού πρώτα αναλυθούν:

- a) Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του προς τεμαχισμό υλικού (μέγεθος, δομή, σκληρότητα κλπ)
- b) Ο σκοπός χρήσης τους (π.χ. θραύση σακών, Α στάδιο επεξεργασίας κ.λπ.)
- c) Οι απαιτούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος (π.χ. κόμποστ, RDF, κ.λπ.)

Οι σπουδαιότερες προϋποθέσεις οι οποίες τίθενται για την εξέταση ενός τεμαχιστή είναι[2]:

1. Η εκλεκτική ικανότητα
2. Η δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους των τεμαχίων, ανάλογα με τις τυχόν διακυμάνσεις των απορριμμάτων.

Η εκλεκτική ικανότητα και η δυνατότητα ρύθμισης του μεγέθους των τεμαχίων είναι οι πλέον βασικοί παράγοντες. Λέγοντας εκλεκτική ικανότητα εννοούμε τη δυνατότητα του μύλου να μη τεμαχίζει όλα ανεξαρτήτως τα υλικά τα οποία βρίσκονται στα απορρίμματα αλλά μόνο αυτά που επιθυμούμε. Συνήθως τα μεγέθη των τεμαχίων των πολύ μαλακών υλικών (υπολείμματα τροφών) και των σκληρών υλικών (γυαλί, κεραμικά) κυμαίνονται μεταξύ 0-20 μμ, σε αντίθεση με τα ελαστικά αντικείμενα (χαρτί, φύλλα πλαστικού) των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται μεταξύ 20- 200 mm.

3. Η αντοχή του στα ογκώδη αντικείμενα
4. Η διάρκεια ζωής του και
5. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του.

Πίνακας 5.1: Τεχνολογίες- Μηχανήματα μείωσης μεγέθους απορριμμάτων [3]

Τεχνολογία	Αρχή λειτουργίας	Προβλήματα- Περιορισμοί
Σφυρόμυλοι (Hammer mill)	Τα απόβλητα υφίστανται σημαντική μείωση του μεγέθους τους με τη βοήθεια σφυριών <που ταλαντώνονται	Καταπόνηση φθορά των σφυριών, κονιοροποίηση 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

<p>Περιστρεφόμενα τύμπανα ή θραυστήρες κυλίνδρου (Rotating Drum)</p>	<p>Το υλικό ανυψώνεται καθώς προσκολλάται στα τοιχώματα του τύμπανου και κατόπιν πέφτει στο κέντρο, λόγω της βαρύτητας, επιτυγχάνοντας ανάδευση και ομογενοποίηση των αποβλήτων.</p> <p>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.</p>	<p>Ήπια δράση - τεμαχισμός.</p> <p>Μπορεί να υπάρξει πρόβλημα για απόβλητα υψηλής υγρασίας.</p>
<p>Σφαιρόμυλοι (Ball mill)</p>	<p>Περιστρεφόμενα τύμπανα φέρουν βαριές σφαίρες για να τεμαχίσουν ή να κονιορτοποιήσουν τα απόβλητα.</p>	<p>Καταπόνηση - φθορά των σφαιρών, κονιορτοποίηση γυαλιού / αδρανών.</p>
<p>Περιστρεφόμενα τύμπανα υγρής φάσης με κόπτες (Wet rotating drums with knives)</p>	<p>Μετά από την προσθήκη νερού, τα απόβλητα δημιουργούν μεγάλα συσσωματώματα που θρύβονται από τους κόπτες κατά την περιστροφή του τύμπανου.</p>	<p>Σχετικά μικρή μείωση μεγέθους.</p> <p>Πιθανότητα καταστροφής του κόπτη από μεγάλα σκληρά αντικείμενα.</p>
<p>Θραυστήρες πλαστικών σάκων (Bag splitter)</p>	<p>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.</p>	<p>Δεν μειώνει το μέγεθος των αποβλήτων.</p> <p>Πιθανότητα καταστροφής από μεγάλα σκληρά αντικείμενα.</p>

5.3.2 Τεχνολογίες Ταξινόμησης- Διαχωρισμού των Αποβλήτων

Σε αυτό το τμήμα της μηχανικής επεξεργασίας περιλαμβάνονται τεχνολογίες που επιτυγχάνουν το διαχωρισμό της εισερχόμενης μάζας των αποβλήτων σε δύο ρεύματα (οργανικό και λοιπά υλικά), από τα οποία το ένα περιέχει το προς ανάκτηση υλικό σε υψηλή συγκέντρωση ενώ το άλλο είναι σε μεγάλο βαθμό απαλλαγμένο από την παρουσία του. Ο διαχωρισμός του σωρού σε κατηγορίες γίνεται ή ανάλογα με το μέγεθος των τεμαχιδίων (λέγεται και ταξινόμηση), όπου για αυτό χρησιμοποιείται κυρίως το κοσκίνισμα και ο αεροδιαχωρισμός, είτε ανάλογα με το είδος των

συστατικών. [1] Οι κυριότερες τεχνολογίες διαχωρισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί,

Πίνακας 5.2: Τεχνολογίες διαχωρισμού απορριμμάτων [3]

Τεχνολογία	Ιδιότητα διαχωρισμού	Στοχευόμενα υλικά	Προβλήματα-Περιορισμοί
Κόσκινα (Trommels and screens)	Μέγεθος και πυκνότητα	Υπερμεγέθη: χαρτί, πλαστικό, οργανικά, λεπτόκοκκα (fines) Μικρά: γυαλί, υλικά	Καθαρισμός
Χειρωνακτικός διαχωρισμός (Χειροδιαλογή)	Οπτική εξέταση	Πλαστικά, προσμείξεις, υπερμεγέθη, σώματα ξένα	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 Βυθιζόμενα: πέτρες, γυαλί	Δημιουργεί υγρά ρεύματα αποβλήτων
Αεροδιαχωριστές	Βάρος	Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί Βαρέα: πέτρες, γυαλί	Απαιτείται καθαρισμός του αέρα
Βαλλιστικοί διαχωριστές	Πυκνότητα και ελαστικότητα	Ελαφρά: πλαστικά, χαρτί Βαρέα: πέτρες, γυαλί	
Οπτικοί διαχωριστές	Οπτικές ιδιότητες	Καθορισμένα πλαστικά πολυμερή	Απόδοση

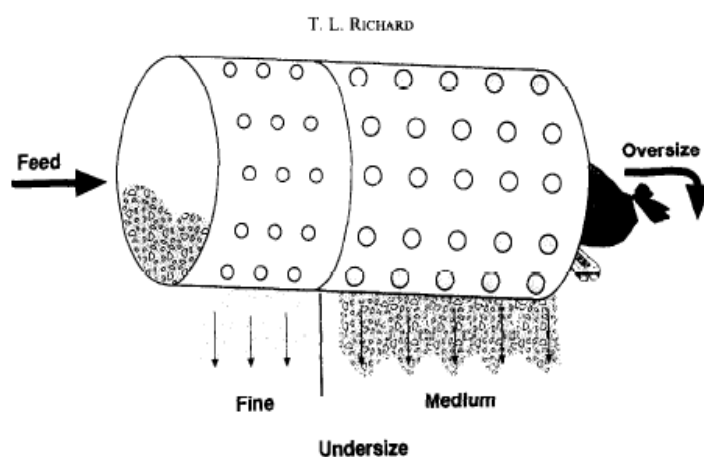
5.3.2.1 Κοσκίνισμα

Κατά τη διάρκεια του κοσκίνισματος διαχωρίζουμε τα υλικά με διαφορετικά μεγέθη τεμαχιδίων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν διοχετεύεται το υλικό πάνω σε διάτρητη επιφάνεια. Η διάσταση των οπών καθορίζει το ελάχιστο μέγεθος των μη διερχομένων

και το μέγιστο των διερχομένων τεμαχιδίων. Επειδή το κοσκίνισμα είναι μια στατική διεργασία, το τέλος αυτής της διεργασίας ορίζεται βάσει ενός πρότυπου χρόνου κοσκίνισματος ή του ρυθμού των διερχομένων τεμαχιδίων. [2] Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοσκίνων όπως το κόσκινο δόνησης, το κόσκινο τύμπανου σνάμειξης-ομογενοποίησης και το απλό κόσκινο τύμπανου. Οι κυριότερες κατηγορίες είναι οι παρακάτω:

Τα **δονούμενα κόσκινα** είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε οι δονήσεις να είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλη την επιφάνεια για να επιτυγχάνεται σωστή επιστρωμάτωση του υλικού. Η κίνηση επιτυγχάνεται μέσω του κινητήρα ιμάντων-τροχαλιών ή απευθείας με σύζευξη (συμπλέκτης). Το κόσκινο στηρίζεται στο βασικό πλαίσιο και στα ελατήρια. Η δόνηση, ο αριθμός των ταλαντώσεων και η γωνία του κόσκινου ορίζονται ανάλογα με το υλικό. Μεταξύ έδρασης και κόσκινου υπάρχουν αποσβεστικά ελατήρια υψηλής αντοχής. Για τον καθαρισμό του κόσκινου χρησιμοποιείται ειδική βούρτσα. [4]

Το **περιστροφικό κόσκινά** είναι η συνηθισμένη μορφή πρωτογενούς κοσκίνισματος. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι το τύμπανο (κύλινδρος). Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού είναι η διάμετρος, η ταχύτητα περιστροφής, το μήκος της εσχάρας, το μέγεθος και το σχήμα της οπής. Τα απορρίμματα, αφού πέσουν στον κύλινδρο, κυλίνουν κατά μήκος της επιφάνειας της εσχάρας, στην αρχή με μικρή ταχύτητα περιστροφής, η οποία όμως μεγαλώνει έως ότου φθάσει στην "κρίσιμη ταχύτητα" περιστροφής.



Σχήμα 5.1: Περιστροφικό Κόσκινο [5]

Τα **κόσκινα Mogensen**, σε αντίθεση με τα συνηθισμένα κόσκινα (οριζόντια κίνηση), η διέλευση μέσω των οπών είναι σχεδόν κατάκορη. Ανάλογα με το είδος της

κοσκίνισης προσδιορίζεται επ' ακριβώς και η κλίση τους. Τα πλεονεκτήματά τους έναντι των άλλων είναι [2]:

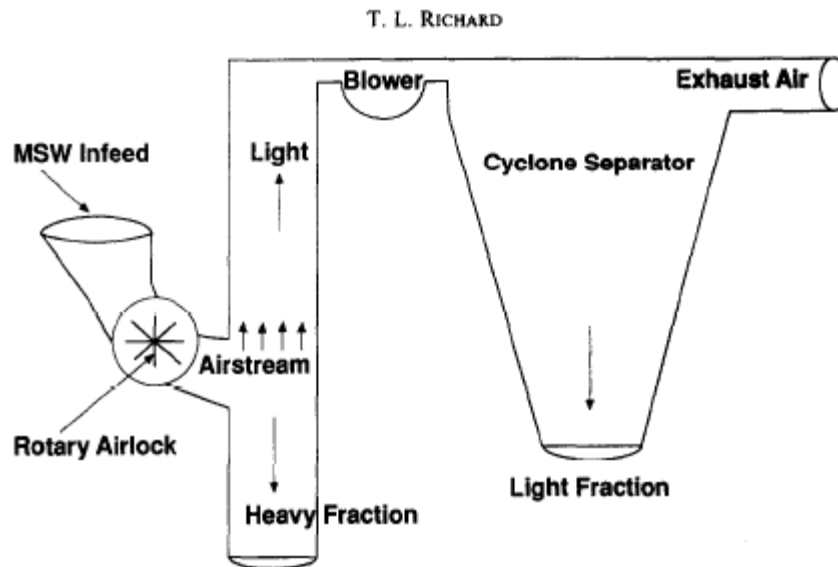
1. Ο χρόνος διέλευσης είναι μικρός
2. είναι μικρότερα γενικά από τα άλλα
3. είναι ελαφρότερα
4. απαιτούν για τη λειτουργία τους μικρότερη ενέργεια
5. δε δημιουργείται κανένα πρόβλημα και αν ακόμη η υγρασία των απορριμμάτων είναι υψηλή
6. δε φράζουν οπές
7. δεν στοιχίζουν πολύ



Εικόνα 5.1: Διαχωρισμός σε κόσκινο

5.3.2.2 Αεροδιαχωρισμός

Κατά τον αεροδιαχωρισμό πραγματοποιείται ταξινόμηση του μίγματος σε διάφορα υλικά υπό την επίδραση στρώματος αέρα. Ο διαχωρισμός βασίζεται στις διαφορετικές τροχιές σωματιδίων, τα οποία υποβάλλονται σε ένα στρώμα αέρα και τη βαρύτητα. [2]



Σχήμα 5.2: Αεροδιαχωριστήρας [3]

Στην πράξη ισχύει ότι ο αεροδιαχωριστήρας δεν διαχωρίζει ανάλογα με το μέγεθος αλλά ανάλογα με το πάχος των τεμαχιδίων. Εξάλλου είναι γνωστό, ότι κάθε ομάδα υλικών σε απορρίμματα έχει διαφορετικό ειδικό βάρος. Ιδιαίτερη σημασία έχει η ποσότητα των απορριμμάτων σε kg/m^3 αέρα. [2] Οι συνήθεις τύποι αεροδιαχωριστήρων είναι ο **ζικ-ζακ** αεροδιαχωριστήρας, ο περιστρεφόμενος αεροδιαχωριστήρας, ο απλός αεροδιαχωριστήρας, [6], [7] Μία εγκατάσταση αεροδιαχωρισμού περιλαμβάνει ουσιαστικά τον ανεμιστήρα, τους αεραγωγούς και το φυγοκεντρικό διαχωριστή (κυκλώνιο). Ο χρησιμοποιούμενος ανεμιστήρας είναι συνήθως φυγοκεντρικός. Οι αεραγωγοί κατασκευάζονται συνήθως από γαλβανισμένη λαμαρίνα θερμής έλασης. Επειδή ο αεροδιαχωρισμός των υλικών γίνεται πρώτα στους αεραγωγούς και κατόπιν στο κυκλώνιο, η ιδιαιτερότητα των χρησιμοποιούμενων και δοκιμαζόμενων τεχνολογιών έγκειται κυρίως στο σχεδιασμό των αεραγωγών. Συνήθως καθορίζεται ένα σχήμα "ζικ-ζακ" στα κατακόρυφα τμήματά τους, γιατί η διαδρομή αυτή προκαλεί την ταχύτερη απώλεια της κινητικής ενέργειας των βαρύτερων αντικειμένων και συνήθως την κατακρήμνισή τους επιτυγχάνοντας καλύτερο διαχωρισμό των υλικών. Στο κυκλώνιο επιτυγχάνεται πλήρης απαλλαγή του αέρα από τα εκεί πνευματικώς μεταφερθέντα στερεά και το ρεύμα αέρα οδηγείται πίσω στον κύκλο του ή απορρίπτεται στην ατμόσφαιρα. [7]

5.3.2.3 Βαλλιστικός διαχωρισμός

Στους βαλλιστικούς διαχωριστήρες χωρίζονται τα τεμαχισμένα απορρίμματα σε τρεις κατηγορίες: Βαρέα, ελαφρά και λεπτά. Τα σκληρά και ελαστικά αντικείμενα μετά την σύγκρουση εκτοξεύονται και αποτελούν την κατηγορία των βαρέων, ενώ τα ελαφρά

επιταχύνονται από την κυκλική κίνηση του κόσκινου προς τα επάνω. Με αυτόν τρόπο διαχωρίζονται το χαρτί, χαρτόνι, υφάσματα κ.λπ. Κατά τη διάρκεια δε της εκτόξευσης τα λεπτά μέρη, όπως αδρανή, γυαλί, ξύλα, λαχανικά περνούν τις οπές και αποτελούν την κατηγορία των λεπτών [2] Οι βαλλιστικοί διαχωριστές ουσιαστικά αποτελούνται από τη χοάνη τροφοδοσίας του μύλου, το βαλλιστικό μύλο, τα διαφράγματα και τις χοάνες διαχωρισμού των υλικών και τη φέρουσα κατασκευή. Ο βαλλιστικός μύλος αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο άξονα που εδράζεται σε έδρανα εγκατεστημένα στις φωλιές του συνήθως χυτοσιδηρού κελύφους και επί του οποίου είναι τοποθετημένα δύο χαλύβδινα πτερύγια που προκαλούν την εκτόξευση των τεμαχίων. [8] Η κίνηση μεταδίδεται στον άξονα από ηλεκτροκινητήρα με μειωτήρα, τροχαλίες και ιμάντα Από δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί σε εγκατάσταση ανακύκλωσης της Βιέννης, η απόδοση του διαχωριστήρα πλησίασε το 82%. [8]

5.3.2.4 Διαχωρισμός σε ηλεκτρο –μαγνητικό πεδίο

Η μαγνητική ικανότητα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι οι φυσικές ιδιότητες των υλικών που υφίστανται μηχανική επεξεργασία, οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες. Εξαιτίας της ετερογενούς σύνθεσης των απορριμμάτων, του διαφορετικού μεγέθους αλλά και της περιεκτικότητας σε υγρασία, υπάρχουν πολλές δυσκολίες.

Μαγνητικό πεδίο

Ο μαγνητικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση σιδηρούχων υλικών, όπως λευκοσιδηρούχα κουτιά, καλώδια, οικιακές συσκευές κ.λπ. Για τα παραπάνω δεν χρειάζεται ισχυρό μαγνητικό πεδίο, σε αντίθεση με το γυαλί (διαχωρίζεται όταν περιέχει υψηλό οξειδίο του σιδήρου). Τα συστήματα μαγνητών για σιδηρούχα μέταλλα έχουν συντελεστή ανάκτησης 80- 90%. Ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται δύο είδη μαγνητών:

- το μαγνητικό τύμπανο και
- ο μαγνητικός ιμάντας (συνηθέστερος τύπος)

Ηλεκτρικό πεδίο

Ο διαχωρισμός σε ηλεκτρικό πεδίο βασίζεται στη δυνατότητα την οποία έχουν τα στερεά να παράγουν φορτία διαφορετικών μεγεθών και σημάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διαγράφουν διαφορετικές τροχιές. Η αρχή του διαχωρισμού βασίζεται στη διαφορά της αγωγιμότητας μεταξύ τους. Στην επεξεργασία των απορριμμάτων δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα, αλλά μόνο το γυαλί, τα μη σιδηρούχα μέταλλα και το διαχωρισμό του χαρτιού με το πλαστικό. Η επιτυχία του διαχωρισμού

εξαρτάται από τις ιδιότητες των διαφόρων υλικών με ιδιαίτερη σημασία την αντίσταση στην επιφάνειά τους. Τη μεγαλύτερη χρήση διαχωρισμού σε ηλεκτρικό πεδίο έχει ο κυλινδρικός διαχωριστής. Το υλικό αδειάζεται στον περιστρεφόμενο κύλινδρο. Τα μη σιδηρούχα μεταλλικά μέρη έλκονται από τα ηλεκτρόδια. Τα υλικά με μικρή αγωγιμότητα όπως π.χ. το γυαλί παραμένουν στον κύλινδρο και απομακρύνονται είτε από τη βαρύτητα είτε με μια βούρτσα. Μειονέκτημα αποτελεί η υγρασία, γι αυτό και προηγείται συνήθως η ξήρανση των απορριμμάτων. Το χαρτί έχει μια σχετικά καλύτερη επιφανειακή αγωγιμότητα από το πλαστικό και ξεφεύγει από τον κύλινδρο, ενώ το πλαστικό παραμένει σε αυτό. Τα αποτελέσματα είναι καλύτερα αν το χαρτί έχει υγρασία 50%. Η ανάκτηση του γυαλιού επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της οπτικής διαλογής και της επίπλευσης. [2]

5.3.2. Τεχνικά και επιστημονικά στοιχεία για την περιγραφή των συστημάτων ταξινόμησης διαχωρισμού [2]

- 1.Είδος, κατασκευαστής, τύπος, συμβολισμός.
- 2.Γενική περιγραφή και βασικές λειτουργίες τους συστήματος
- 3.Κατασκευαστικά στοιχεία: Βάρος (Kg), διαστάσεις (m) (ύψος, πλάτος, μήκος) .Ενεργός επιφάνεια ή όγκος. Ύψος πάνω από τη βάση στήριξης.
- 4.Τύπος της επιφάνειας ταξινόμησης - διαχωρισμού. Τύπος του όγκου ταξινόμησης διαχωρισμού.
- 5.Είδος στήριξης της επιφάνειας ταξινόμησης - διαχωρισμού.
- 6.Υλικά κατασκευής.
- 7.Σύστημα κίνησης (ιμάντας κ.λπ.)
- 8.Περιγραφή της απαραίτητης βάσης (στήριξης) και του αντιδονητικού συστήματος.
- 9.Περιγραφή των συστημάτων για προστασία από σκόνη και θόρυβο.
- 10.Στοιχεία για τους χώρους συντήρησης (π.χ. τρόπους ανύψωσης κ.ά.).
- 11.Δυναμικότητα: Μέγιστη - Ελάχιστη t/h
- 12.Απαιτούμενη ενέργεια Kwh/t.
- 13.Διάμετρος οπών mm.
- 14.Βαθμός απόδοσης σε σχέση με τη δυναμικότητα % σε t/h.
- 15.Παροχή αέρα m³/t.
- 16.Εκπομπή θορύβου σε 10m απόσταση dB (A).
- 17.Εγγυημένος χρόνος λειτουργίας h.
- 18.Ηλεκτρολογικά:Αριθμός κινητήρων είδος και εγκατεστημένη ισχύς κινητήρων (KW).

Ειδικά για το διαχωρισμό [2]

- 1.Βάρος (kg), διαστάσεις (ύψος πλάτος, μήκος) m, διάμετρος (m).
2. Απόσταση μεταξύ μεταφορικής ταινίας - μαγνήτη (m).

3. Πλάτος μεταφορικής ταινίας (μαγνητικό) (m).
Πλάτος μεταφορικής ταινίας (μη μαγνητικό) (m).
4. Απαιτούμενο ύψος πάνω από τη βάση (m).
5. Θέση του μαγνήτη σε σχέση με τη μεταφορική ταινία.
6. Είδος της παροχής αέρα (για την επίπλευση).
7. Υλικά κατασκευής.
8. Είδος κίνησης.
9. Περιγραφή της απαραίτητης βάσης (στήριξης) και του αντιδονητικού συστήματος.
10. Αναφορά στις απαραίτητες συνδέσεις.
11. Περιγραφή των συστημάτων για προστασία από σκόνη και αφρούς ή λάσπη.
12. Στοιχεία για τους χώρους συντήρησης (π.χ. τρόπος ανύψωσης κ.ά.).
13. Δυναμικότητα: Μέγιστη - Ελάχιστη (kg/h)
14. Μέγεθος τεμαχίων: Μέγιστο - Ελάχιστο (mm)
15. Μέγιστη ισχύς ανύψωσης (m^3/h)
16. Ταχύτητα μεταφορικής ταινίας (m/s)
17. Μέγιστη απόσταση ανύψωσης (m).
18. Απαιτούμενη ενέργεια (Kwh/t).
19. Αριθμός στροφών 5^{-1} (UPM).
20. Βαθμός απόδοσης % για t/h.
21. Παροχή αέρα m^3/t .
22. Εκπομπή θορύβου σε 10m απόσταση dB (A).
23. Εγγυημένος χρόνος λειτουργίας (h).
24. Αριθμός κινητήρων, είδος κινητήρων.
25. Απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς.
 - α) των κινητήρων (KW).
 - β) του μαγνήτη (KW).
26. Περιγραφή της λειτουργίας, ρύθμιση των υλικών επεξεργασίας, του αέρα (m^3/h).
27. Απαραίτητα υλικά και εργαλεία.
28. Συντήρηση (h/εβδομάδα).
Απαραίτητα της εργασίας για συντήρηση.
Περιγραφή της εργασίας για συντήρηση.
29. Επιδιορθώσεις (ανταλλακτικά).
30. Προυποθέσεις του υλικού για διαχωρισμό.
 - α) υγρασίας
 - β) σύνθεσης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), «**Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου**
2. Αδαμάντιος Σκορδίλης, « **Εισαγωγή στην επεξεργασία απορριμμάτων- Μηχανική Διαλογή**», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα 1990
3. Defra (2007), "**Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste**",
<http://www.defra.gov.uk/environment/waste/residual/newtech/documents/mbt.pdf>
4. M.R. Smith, L. Collins, "**AGGREGATES-Sand,gravel and crush rock aggregates for construction purposes**", Published by the Geological Society
5. Tom L. Richard(1991), "**Municipal Solid Waste Composting: Physical and Biological Processing**", *Biomass and Bioenergy* 3: 163-180
6. Janyce D. Bartlett, P. A. Vesilind,(1983) "**The effect of moisture on air classification of municipal solid waste**", *Waste Management & Research, Vol. 1: 347-357*
7. Je Jess W. Everett and J. Jeffrey Peircess W. Everett (1990), "**The development of pulsed flow air classification theory and design for municipal solid waste processing**" *Resources, Conservation and Recycling* 4 185-202
8. B.Bilitewski, G, Hardtle, K.Marek (1994) "**Waste management**", *Springer*, pp. 353-354

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (ΜΒΕ)

6.1 Εισαγωγή

Με τους στόχους του για μείωση των αποβλήτων, η έκδοση του της οδηγίας 99/31/ΕΚ της ΕΕ και οι ποσοτικοί στόχοι που ορίζει για μείωση των αποβλήτων και την εκτροπή του από τους ΧΥΤΑ είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων στρατηγικών διαχείρισης των αποβλήτων στην Ευρώπη. Ο στόχος της Οδηγίας είναι η πρόληψη και μείωση, όσο το δυνατό περισσότερο, των αρνητικών επιπτώσεων της Υγειονομικής Ταφής των αποβλήτων στο περιβάλλον και ειδικότερα στα επιφανειακά ύδατα, υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στον αέρα και στην ανθρώπινη υγεία, με την καθιέρωση αυστηρών τεχνικών απαιτήσεων για τα απόβλητα και τους χώρους υγειονομικής ταφής. [1]

Η μηχανική-βιολογική επεξεργασία (ΜΒΕ) των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) είναι μια τεχνολογία διαχείρισης για την επίτευξη αυτού του στόχου. Οι ΜΒΕ μπορούν να αναπτυχθούν για τη βελτίωση της διαλογής και ανάκτησης των ανακυκλώσιμων υλικών ή / και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής που συνδέονται με την αναερόβια βιολογική δραστηριότητα. Η ΜΒΕ των ΑΣΑ πριν από την Υγειονομική Ταφή αποτελείται από στάδια μηχανικής προεπεξεργασίας που ακολουθείται από βιολογικές φάσεις που μειώνουν και σταθεροποιούν το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα υπό ελεγχόμενες αναερόβιες ή / και αερόβιες συνθήκες (Κομποστοποίηση- Αναερόβια Χώνευση). [1]

6.2 Γενική περιγραφή και Βασικές Αρχές

Η Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία (ΜΒΕ) δεν είναι μία σαφώς καθορισμένη μέθοδος αλλά περισσότερο ένα γενικευμένος όρος που μπορεί και περιγράφει μια ευρεία ομάδα διεργασιών που συνδυάζονται με ποικίλους τρόπους προκειμένου να διαχωρίσουν και να ανακτήσουν υλικά από τα ΑΣΑ. Πρόκειται δηλαδή για μία ομάδα τεχνολογιών επεξεργασίας, που μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους τόσο, ως προς την πολυπλοκότητα, και συνεπώς το κόστος, όσο και ως προς τους τελικούς στόχους της επεξεργασίας. [2]

Η απόδοση των διαφορετικών συνδυασμών μπορεί να ποικίλει ευρέως, με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κατά συνέπεια δεν υπάρχει συνδυασμός που να αποτελεί την «βέλτιστη λύση» αλλά κάποιοι συνδυασμοί μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλοι για συγκεκριμένες συνθήκες και έργα. Οι μονάδες ΜΒΕ συνδυάζουν ένα πλήθος μηχανικών και βιολογικών διεργασιών με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το ποιοι είναι οι στόχοι της επεξεργασίας και ποια τα επιθυμητά προϊόντα. Οι μηχανικές διεργασίες χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση

των ξηρών ανακυκλώσιμων ή/και ενός ομογενοποιημένου στερεού καυσίμου (RDF- refuse derived fuel ή SRF- solid refuse fuel) , ενώ οι βιολογικές διεργασίες για την απομάκρυνση της υγρασία (βιολογική ξήρανση), τη σταθεροποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος και την παραγωγή (υποβαθμισμένης ποιότητας) κόμποστ και/ή βιοαερίου. Χονδρικά η ΜΒΕ μπορεί να θεωρηθεί συνδυασμός δύο μονάδων: ενός κέντρου διαλογής και ανάκτησης υλικών (ΚΔΑΥ) και μιας μονάδας βιολογικής επεξεργασίας. Οι κυριότερες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι:

- Διάνοιξη σακών (με διατάξεις τύπου μεταλλικών ταινιών, κοχλία, χτενιού, λάμας, περιστρεφόμενα τύμπανα κ.λπ.)
- Μείωση μεγέθους (με κονιορτοποίηση και τεμαχισμό μέσω τεμαχιστών, περιστρεφόμενων τυμπάνων κ.λπ.)
- Διαχωρισμό (βάση μεγέθους, αεροδιαχωρισμού, βαλλιστικού διαχωρισμού και άλλες τεχνικές μηχανικής ταξινόμηση των αποβλήτων)
- Μαγνητικό διαχωρισμό για το διαχωρισμό σιδηρούχων μετάλλων και επαγωγικών ρευμάτων, για το αλουμίνιο
- Κομποστοποίηση
- Αναερόβια Χώνευση
- Βιολογική Ξήρανση [2]

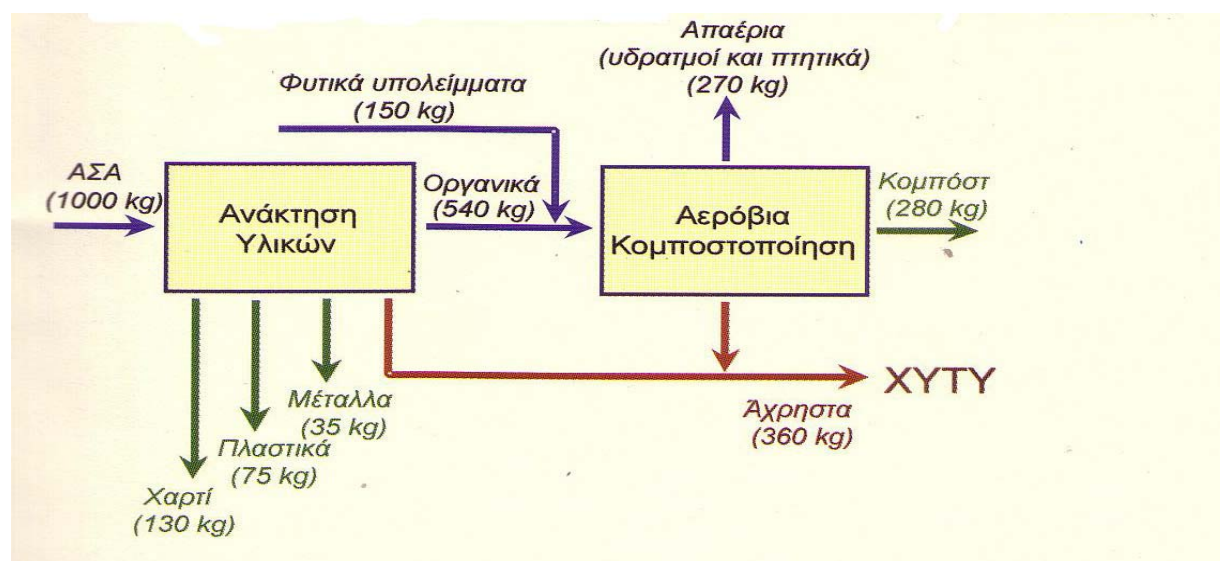
6.3 Αερόβια Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία

Ο ακριβής σχεδιασμός των εγκαταστάσεων αυτών εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων όπως είναι π.χ. ο τύπος και η σύνθεση των υλικών τροφοδοσίας, τα επιθυμητά προϊόντα ανάκτησης αλλά και η τεχνογνωσία του κατασκευαστή. Μια γενική διάκριση που μπορεί να γίνει στις μονάδες αερόβιας ΜΒΕ είναι στις μονάδες που έχουν ως σκοπό την ανάκτηση υλικών (χαρτιού, πλαστικού και μετάλλων) και την κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος και στις μονάδες που έχουν ως σκοπό την μηχανική ανάκτηση RDF και την κομποστοποίηση και πάλι του οργανικού κλάσματος. [3]

Διαγράμματα ροής με ισοζυγία μάζας των δυο αυτών βασικών παραλλαγών παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν, μιας μονάδας δηλαδή ΜΒΕ που παράγει RDF και μιας μονάδας που πραγματοποιεί ανάκτηση ανακυκλώσιμων χωρίς παραγωγή RDF. Οι μονάδες ΜΒΕ στην Καλαμάτα και τα Χανιά έχουν σχεδιαστεί με στόχο την ανάκτηση ανακυκλώσιμων, ενώ η μονάδα στα Άνω Λιόσια παράγει RDF το οποίο ακόμα δεν αξιοποιείται.

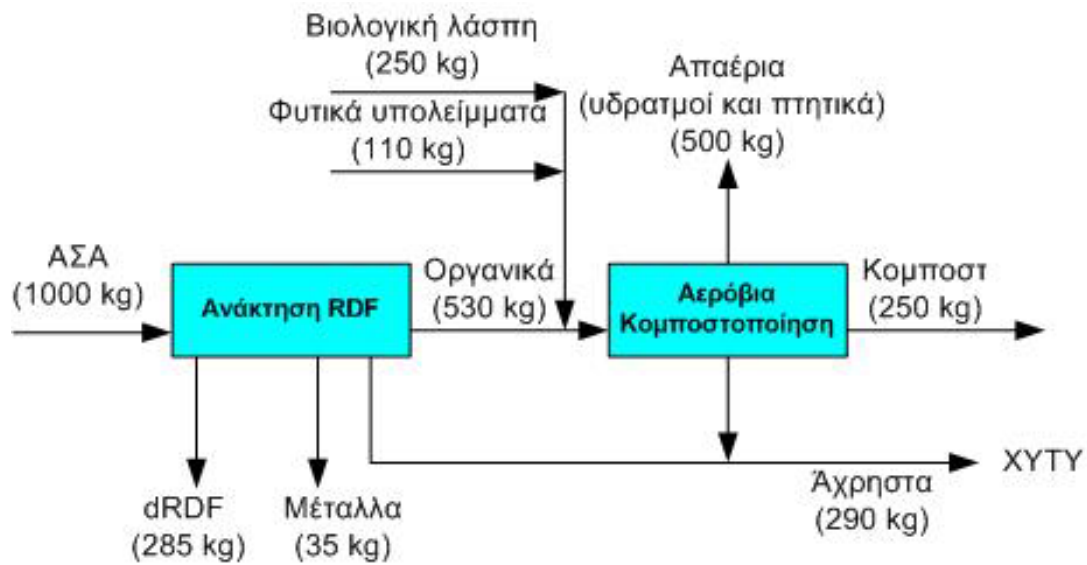
Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μεσαίου μεγέθους εγκατάσταση, η οποία περιλαμβάνει μονάδα ανάκτησης υλικών (χαρτιού, πλαστικών και μετάλλων) και

μονάδα κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. με φυτικά υπολείμματα (χόρτα, κλαδιά κτλ.).



Διάγραμμα 6.1: Διάγραμμα ροής και ισοζύγιο μάζας τυπικής εγκατάστασης αερόβιας ΜΒΕ με ανάκτηση υλικών [3]

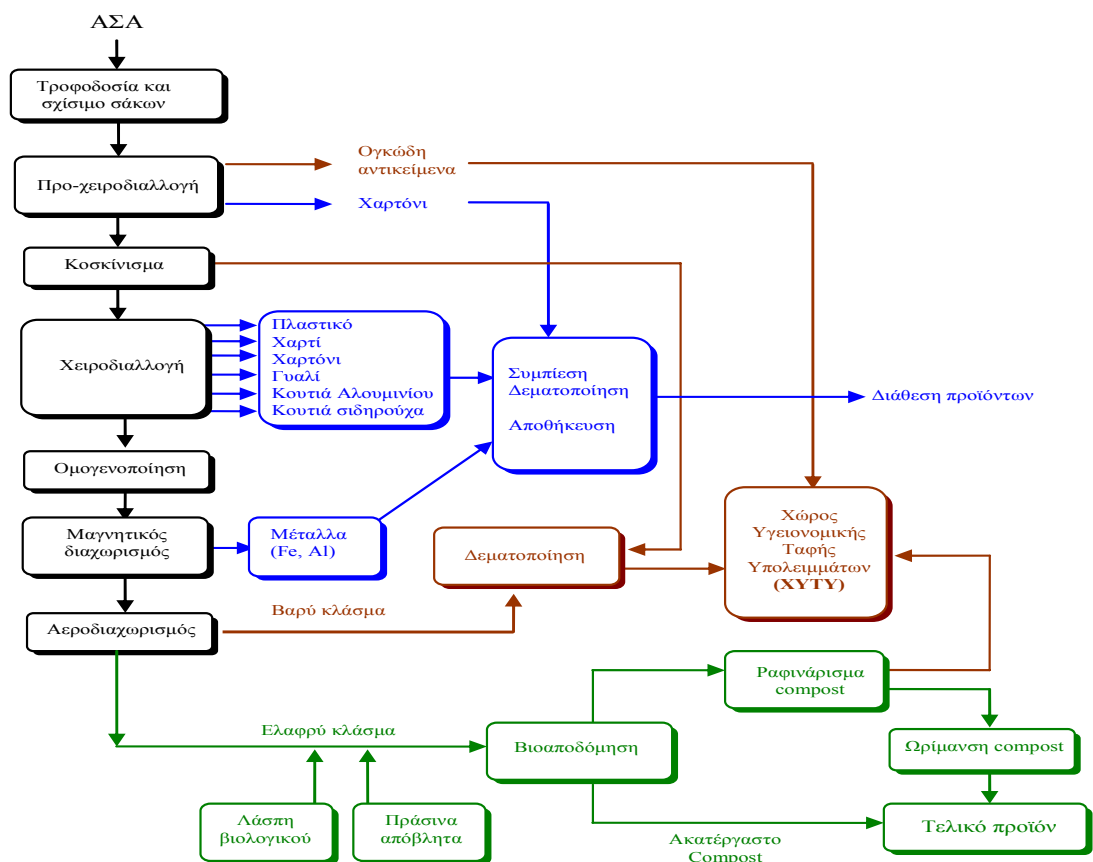
Το επόμενο σχήμα απεικονίζει μια τυπική εγκατάσταση, η οποία περιλαμβάνει μονάδα μηχανικής ανάκτησης RDF ακολουθούμενη από μονάδα κομποστοποίησης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ., αναμειγμένου με βιολογική λάσπη και φυτικά υπολείμματα. Το RDF (καύσιμο υλικό που απαρτίζεται κυρίως από χαρτί, χαρτόνι και πλαστικά) μπορεί να παραχθεί είτε σε μορφή cRDF (coarse RDF) που είναι κατάλληλο μόνο για άμεση αξιοποίηση σε τοπική εγκατάσταση, είτε σε μορφή dRDF (dry RDF), μετά από πρόσθετη ενεργοβόρα επεξεργασία, που είναι κατάλληλο για αποθήκευση και μεταφορά σε απόμακρες μονάδες αξιοποίησης.[3]



Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα ροής και ισοζύγιο μάζας τυπικής εγκατάστασης αερόβιας MBE με ανάκτηση RDF [3]

6.3.1 Αερόβια MBE με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών

Το διάγραμμα της παραγωγικής διαδικασίας μιας τυπικής εγκατάστασης αερόβιας MBE με μονάδα ανάκτησης υλικών απεικονίζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 6.3: Διάγραμμα παραγωγικής διαδικασίας τυπικής αερόβιας MBE με ανάκτηση υλικών [3]

Μια εγκατάσταση αυτού του τύπου απαρτίζεται από τις ακόλουθες μονάδες :

- Μονάδα **ελέγχου και ζύγισης** οχημάτων, που περιλαμβάνει το φυλάκιο ελέγχου και τις γεφυροπλάστιγγες. Σε αυτήν ελέγχεται, ζυγίζεται και καταγράφεται κάθε εισερχόμενο και εξερχόμενο όχημα μεταφοράς απορριμμάτων και υλικών.
- Μονάδα **υποδοχής και τροφοδοσίας**, που περιλαμβάνει τάφρους εκφόρτωσης των απορριμματοφόρων, γερανογέφυρες και αρπάγες για μεταφορά των απορριμμάτων, χοάνες τροφοδοσίας με πλακοταινίες για έλεγχο της τροφοδοσίας και συστήματα διάνοιξης σάκων.
- Μονάδα **μηχανικού διαχωρισμού**, που περιλαμβάνει σύστημα χειρωνακτικού διαχωρισμού ογκωδών και ανεπιθύμητων αντικειμένων, σύστημα εσχάρωσης με περιστροφικά κόσκινα για απομάκρυνση τοξικών και άλλων αντικειμένων μικρού μεγέθους (1,5 - 2 cm), συστήματα χειροδιαλογής υλικών (χαρτιού, χαρτονιού, πλαστικού, γυαλιού, σιδηρούχων μετάλλων και αλουμινίου) και δεματοποίησης αυτών, σύστημα ομογενοποίησης με μηχανικό λειοτεμαχισμό, σύστημα μαγνητικού διαχωρισμού σιδηρούχων και αλουμινίου, καθώς και σύστημα αεροδιαχωρισμού για λήψη του ελαφρού κλάσματος που οδηγείται για κομποστοποίηση. Στις σύγχρονες μονάδες η ομογενοποίηση και ο διαχωρισμός επιτυγχάνονται με περιστροφικά κόσκινα για αυξημένη λειτουργική αξιοπιστία. [4]
- Μονάδα **βιοαποδόμησης**, η οποία περιλαμβάνει σύστημα προσθήκης κλαδιών, χόρτων ή/και λάσπης βιολογικού σε συγκεκριμένες αναλογίες, καθώς και σύστημα **κομποστοποίησης** όπου, στη συνηθέστερη περίπτωση, τα οργανικά οδηγούνται σε κλειστό χώρο και τοποθετούνται σε σειράδια. Σε αυτά παραμένουν υπό ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας και αερισμού με μηχανική ανάδευση.[4]
- Μονάδα **ωρίμανσης**, συνήθως σε στεγασμένο χώρο, όπου το κόμποστ τοποθετείται σε σειράδια για περίπου τριάντα μέρες για ωρίμανση με βιολογική σταθεροποίηση.

- Μονάδα **ραφινάρισματος-εξευγενισμού**, όπου το κόμποστ, αφού κοσκινιστεί διέρχεται μέσω συστήματος αεροδιαχωρισμού και βαλλιστικού διαχωρισμού για την απομάκρυνση προσμείξεων όπως γυαλί, σκληρά πλαστικά κ.α.

6.3.1.1 Παραγόμενα Ανακυκλώσιμα υλικά

Τα κυριότερα ανακυκλώσιμα υλικά τα οποία παράγονται κατά τη μηχανική επεξεργασία των ΑΣΑ. είναι τα μέταλλα (σιδηρούχα και μη). Εφόσον το σύστημα επεξεργασίας αποσκοπεί στην μέγιστη δυνατή ανάκτηση ανακυκλώσιμων προϊόντων, είναι δυνατή, κυρίως με εφαρμογή χειρονακτικής διαλογής ή άλλων μηχανικών μέσων, και η ανάκτηση ποσοτήτων πλαστικού, χαρτιού και γυαλιού. Η καθαρότητα αυτών των υλικών είναι περιορισμένη εφόσον προέρχονται από σύμμεικτα ΑΣΑ. και αυτό οφείλεται κυρίως σε προσμείξεις οργανικού υλικού. Κατά συνέπεια, συγκρινόμενα με τα υλικά που προέρχονται από διαλογή στην πηγή, απορροφούνται πολύ πιο δύσκολα από την αγορά δευτερογενών προϊόντων. Στη συνέχεια παρατίθενται στοιχεία αναφορικά με τις δυνατότητες και τα προβλήματα διάθεσης καθενός υλικού στην αγορά.

Χαρτί

Στην Ελλάδα τα είδη του χαρτιού τα οποία ανακυκλώνονται είναι το χαρτόνι-χαρτί συσκευασίας, το περιοδικό- χαρτί illustration, εφημερίδα- δημοσιογραφικό χαρτί, λευκό- χαρτί φωτοτυπίας- φάκελοι. [5]

Η ποιότητα των ινών του και η ύπαρξη ξένων προσμείξεων είναι δύο κριτήρια κατά τα οποία χωρίζεται το χαρτί των απορριμμάτων σε κατηγορίες(ποιότητες). Ιδιαίτερα στην περίπτωση που το χαρτί προέρχεται από σύμμεικτα απορρίμματα, αν και με τη χειροδιαλογή δύναται να προκύψουν μεγάλα ποσοστά ανά κατηγορία, η εμπνευστικότητα του επιβαρύνεται λόγω προσμείξεων όπως:

- Πλαστικά τα οποία δεν έχουν πλήρως διαχωριστεί (π.χ. θερμοπλαστικά Film και καταστρέφουν τον εξοπλισμό επανεπεξεργασίας (μορφοποίησης) χαρτιού κατά την παραγωγή του δευτερογενούς χαρτοπολτού.
- οργανικά που είτε επικολλούνται (π.χ. τροφές), είτε αφορούν προσροφημένα υγρά,
- μικρά μεταλλικά αντικείμενα (συνδετήρες, συρραπτικά κλπ.)

Το χαρτί αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη αγορά για δευτερογενή υλικά στην Ελλάδα, και αποτελεί την κύρια κατηγορία υλικών- στόχων. Σύμφωνα με έρευνες αγοράς που έχουν υλοποιηθεί, προέκυψε ότι η ζήτηση για παλιό χαρτί προς ανακύκλωση στην ελληνική αγορά είναι σημαντική και παρουσιάζει αυξητικές τάσεις. Οι γενικές απαιτήσεις για να είναι αποδεκτό το χαρτί στην αγορά είναι να είναι καθαρό κλάσμα, απαλλαγμένο από προσμείξεις άλλων υλικών(πλαστικά, ζελατίνες, εξώφυλλα, κλασέρ, μέταλλα, οργανικά ή άλλα υλικά) και να μην περιέχει υγρασία. Οι τιμές πώλησης του παλιού χάρτου παρουσιάζουν διακυμάνσεις, επηρεαζόμενες από τη διαμόρφωση της τιμής του στη διεθνή αγορά. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 35 - 170 € / τόνο ανάλογα με την ποιότητα του χαρτιού.

Σιδηρούχα μέταλλα

Η ανακύκλωση σιδηρούχων αφορά κυρίως τα σιδερένια κουτιά που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία και αποτελούνται από χάλυβα(λευκοσίδηρος), με λεπτή εσωτερική επικάλυψη κασσίτερου (tin cans) για να αποφεύγεται η σκωρία και να προστατεύεται το περιεχόμενο του κουτιού. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στις κονσέρβες φρούτων, λαχανικών, κρέατος και τροφίμων όπως επίσης στα δοχεία χρωμάτων, ορυκτελαίων κλπ, Στην κατηγορία των σιδηρούχων περιλαμβάνεται επίσης ο χάλυβας με επικάλυψη χρωμίου και ψευδαργύρου. [5]

Οι απαιτήσεις που τίθενται από τις ενδιαφερόμενες εταιρίες προκειμένου να απορροφήσουν τα ανακτώμενα μέταλλα, εστιάζονται στα εξής:

Τα μέταλλα πρέπει να είναι διαχωρισμένα μεταξύ τους και απαλλαγμένα από ξένα σώματα (π.χ. πλαστικά, ξύλο, χρώματα, κλπ).

- Ο διαχωρισμός των ανακτήσιμων σιδηρούχων μετάλλων σε διάφορες κατηγορίες είναι συνήθως απαραίτητη προϋπόθεση και παράλληλα αυξάνει την τιμή πώλησης.

Στο σύνολο τους, οι εταιρίες δηλώνουν ικανότητα και επιθυμία να απορροφήσουν το σύνολο της ανακτήσιμης ποσότητας scrap μετάλλων. Οι τιμές που επιτυγχάνονται για τα σιδηρούχα μέταλλα είναι της τάξης των 120 - 130 € / τόνο αλλά τονίζεται ότι οι τιμές εξαρτώνται κατά πολύ από το είδος, το βαθμό συμπίεσης και την καθαρότητα του scrap.

Μη σιδηρούχα μέταλλα

Η βασική κατηγορία μη σιδηρούχων μετάλλων είναι το αλουμίνιο. Το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο ελαφρύ, εύκαμπτο, ανθεκτικό στη διάβρωση, με καλή θερμική

αγωγιμότητα και ανακυκλώνεται εύκολα. Η ανακύκλωση αλουμινίου αφορά κυρίως τα κουτιά αναψυκτικών και μπύρας. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του αλουμινίου είναι η πολύ υψηλή τιμή που έχει το υλικό ως scrap, κάτι που ευνοεί την ανακύκλωση του σε υψηλά ποσοστά. Τα κουτιά του αλουμινίου μπορούν να ανακυκλωθούν πολλαπλές φορές χωρίς το τελικό προϊόν να υστερεί σε ποιότητα, όπως συμβαίνει με το χαρτί.

Τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης του αλουμινίου είναι τα ακόλουθα:

- Εξοικονομείται το 95% της ενέργειας που απαιτεί η παραγωγή του πρωτογενούς αλουμινίου.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή 900.000.000 κουτιών αλουμινίου αρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες μια πόλης 90.000 κατοίκων για ένα χρόνο.
- Εξοικονομείται πολύτιμη πρώτη ύλη.[5]

Οι απαιτήσεις που τίθενται από τις ενδιαφερόμενες εταιρίες προκειμένου να απορροφήσουν τα ανακτώμενα μέταλλα, εστιάζονται στα εξής:

- Τα μέταλλα πρέπει να είναι διαχωρισμένα μεταξύ τους και απαλλαγμένα από ξένα σώματα (π.χ. πλαστικά, ξύλο, χρώματα, κλπ).
- Πολλές φορές η συμπίεση δεν είναι επιθυμητή, κυρίως στα κουτιά αλουμινίου, για τη διασφάλιση της καθαρότητας αλλά και τον εύκολο διαχωρισμό της φύρας. Εναλλακτικά, είναι επιθυμητή η ελαφριά συμπίεση σε μπάλες (δεμάτια).
- Η διακύμανση των τιμών του ανακυκλωμένου αλουμινίου μεταβάλλεται πολύ συχνά, σύμφωνα με το χρηματιστήριο μετάλλων.

Οι τιμές που επιτυγχάνονται για το scrap αλουμινίου είναι της τάξης των 1.000 € / τόνο αλλά τονίζεται ότι οι τιμές εξαρτώνται κατά πολύ από το είδος, το βαθμό συμπίεσης και την καθαρότητά του.

Γυαλί

Το γυαλί, σε αντίθεση με το χαρτί, μπορεί να ανακυκλωθεί πολλές φορές χωρίς αλλοίωση και χαρακτηρίζεται από μηδενική διαπίδυση προς το περιεχόμενο του. Για τους λόγους αυτούς, το γυαλί θεωρείται για πολλές χρήσεις το φιλικότερο προς το περιβάλλον υλικό.

Η ανακύκλωση του γυαλιού αφορά μπουκάλια, γυάλινα δοχεία, τζάμια, πιάτα, γυαλιά υψηλής αντοχής σε θερμότητα και κρύσταλλα. Κατά τη συλλογή, θραύεται

προκειμένου να μειωθεί ο όγκος του και δημιουργείται το υαλόθραυσμα. Το τελικό προϊόν της ανακύκλωσης γυαλιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή προϊόντων της βιομηχανίας γυαλιού, υαλοβάμβακα, fiberglass, σημάτων για τους δρόμους κλπ.

Η ανακύκλωση του γυαλιού περιορίζεται από την διαφορετική χημική σύσταση των φιαλών, το διαφορετικό χρωματισμό τους και το κόστος μεταφοράς. Επιπλέον, οι προδιαγραφές του υαλοθραύσματος που αναπτύσσονται διεθνώς αποτελούν ακόμα ένα πρόβλημα το οποίο οδηγά στη χρήση του ανακυκλωμένου γυαλιού για την παραγωγή συγκεκριμένων μόνο γυάλινων προϊόντων. [3]

Τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης του γυαλιού είναι σημαντικά:

- Εξοικονομούνται πρώτες ύλες
- Εξοικονομείται ενέργεια. Για κάθε τόνο ανακυκλωμένου γυαλιού εξοικονομούνται 135 λίτρα πετρελαίου
- Με την ανακύκλωση του γυαλιού μειώνεται η ατμοσφαιρική ρύπανση κατά 20% (το ποσοστό αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο με την επαναχρησιμοποίηση του γυαλιού)
- Μειώνεται η κατανάλωση του νερού κατά 50% [5]

Στην Ελλάδα η ανακύκλωση του γυαλιού κυμαίνεται σε ποσοστό 20% και υπάρχει μόνο μία βιομηχανική μονάδα που μπορεί να απορροφήσει scrap γυαλιού, ενώ το υπόλοιπο μπορεί να εξαχθεί. Οι βασικές προϋποθέσεις που τίθενται για την διάθεση του γυαλιού είναι:

- Να είναι απαλλαγμένο από οποιαδήποτε πρόσμειξη, όπως ετικέτες, καπάκια, ξύλα, μέταλλα, πλαστικά, χώμα, πέτρες, κλπ.
- Να είναι διαχωρισμένο ανά χρώμα (δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς διαχωρισμό για λόγους ποιότητας παραγόμενου γυαλιού και χρώματος).
- Να προέρχεται από φιάλες γνωστής χημικής σύνθεσης (να μην υπάρχουν προσμείξεις με πορσελάνες, πυρέξ ή κρύσταλλα).

Η τιμή διάθεσης του γυαλιού κυμαίνεται από 30 - 50 € /τόνο ανάλογα με τις διάφορες ποιότητες του, όσον αφορά το χρώμα, και την καθαρότητα του από ξένες ύλες

Πλαστικό

Τα πλαστικά απορρίμματα αποτελούν το 8 - 10%κ.β του συνόλου των απορριμμάτων, ποσοστό το οποίο αυξάνει βαθμιαία λόγω της ραγδαίας αύξησης της χρησιμοποίησης των πολυμερών σε διάφορα πεδία εφαρμογών. Επιπρόσθετα τα

πλαστικά απορρίμματα έχουν πολύ μεγαλύτερη κατ' όγκον αναλογία (έως και 30%), δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας του και του γεγονότος ότι συνήθως συναντώνται υπό την μορφή κοίλων αντικειμένων. [6]

Τα πλαστικά προϊόντα είναι υλικά υψηλής τεχνολογίας και ποιότητας, χαμηλής τιμής και πολύ πρακτικά και μία από τις κυριότερες εφαρμογές είναι η συσκευασία πολλών προϊόντων. Υπάρχουν εκατοντάδες τύποι πλαστικών απορριμμάτων από τα οποία τα διάφορα είδη πλαστικών συσκευασιών σχετίζονται με την πρώτη ύλη του πολυμερούς [πολυαιθυλένιο (PE), τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET), πολυπροπυλένιο (PP), πολυστυρένιο (PS), πολυκαρβονικό (PC), πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE)].

Γενικά ο ρυθμός ανακύκλωσης των πλαστικών είναι χαμηλός συγκριτικά με τα υπόλοιπα ανακυκλώσιμα υλικά και οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ακόλουθα:

- Υπάρχουν πολλές ποιότητες και τύποι πλαστικών με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες και χημική σύσταση, γεγονός που καθιστά μη εφικτή την από κοινού αναγέννηση τους, δεδομένου ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν μονάδες χημικής αναγέννησης πλαστικών. [2] Ακόμα κι έτσι, λόγω των θερμοδυναμικών τους διαφορών είναι ασύμβατα μεταξύ και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών που προκύπτουν να είναι υποβαθμισμένες σε σχέση με αυτές των επιμέρους πολυμερών.[6]
- Είναι αρκετά δύσκολο να αναγνωρισθούν τα διάφορα είδη πλαστικού.
- Συνήθως περιέχουν πολλές προσμείξεις αφού οι περισσότερες συσκευασίες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων. Υφίστανται επίσης βιολογικές προσμείξεις, οι οποίες δεν καταστρέφονται. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι τα μπουκάλια PET και HDPE δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για συσκευασία τροφίμων.
- Υψηλό κόστος ανάκτησης
- Η πρώτη ύλη για την κατασκευή πλαστικών είναι σχετικά φθηνή

Η ανακύκλωση των πλαστικών αφορά κυρίως PET και PE (για προϊόντα όπως διάφορα υποβοηθητικά υλικά για επιστρώσεις και επενδύσεις, σχοινιά και σπάγγοι, γεωυφάσματα, επιστρώσεις δαπέδων, δεξαμενές, κάδους, γλάστρες, κλπ). Δεν υπάρχει ενδιαφέρον για ανάμικτο πλαστικό, αφού δεν γίνεται να αναγεννηθεί με μηχανική διεργασία στην Ελλάδα.

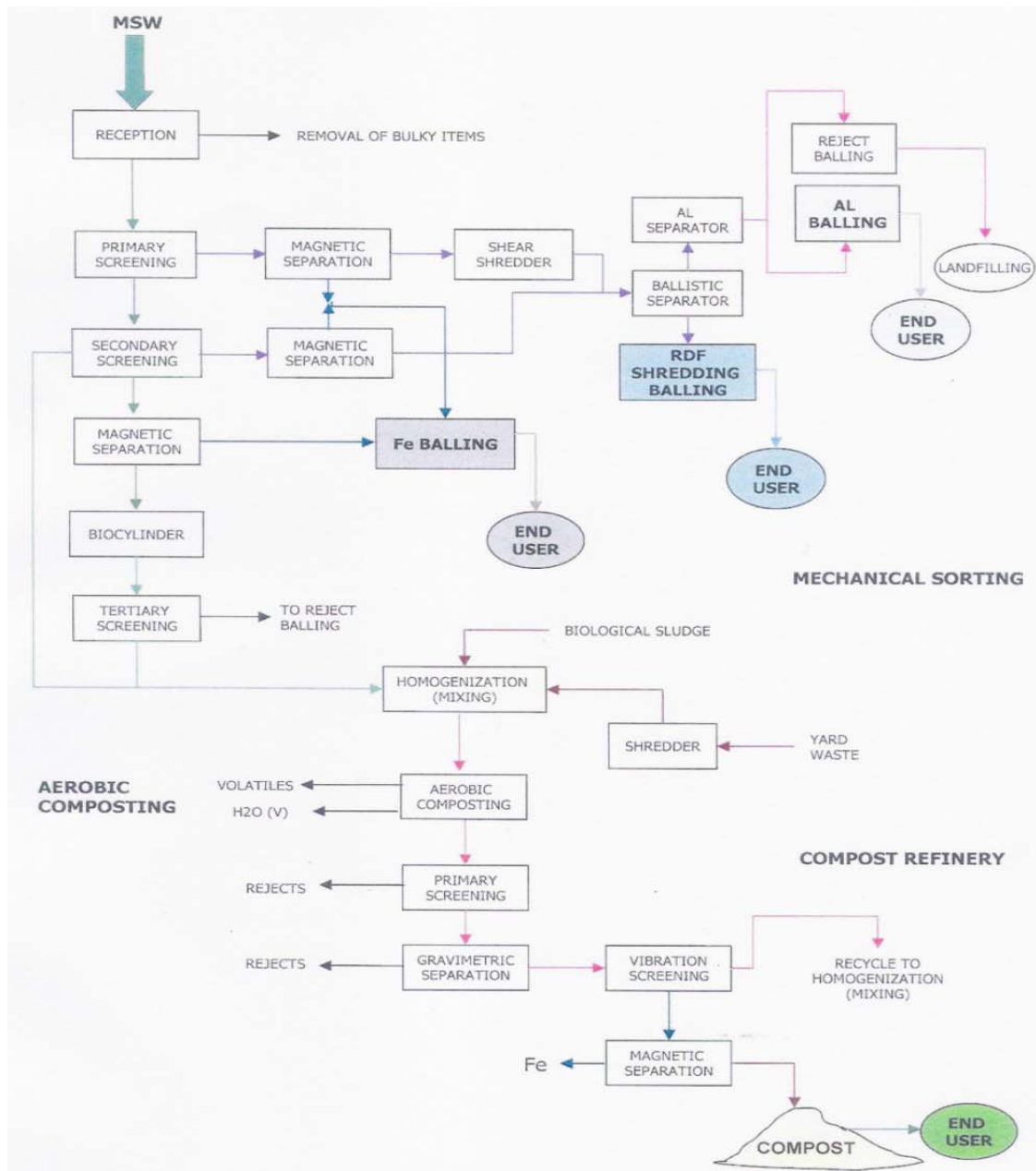
Οι γενικές απαιτήσεις που τίθενται από τις επιχειρήσεις, συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Τα κάθε είδους πλαστικά απαιτείται να είναι σχεδόν απολύτως διαχωρισμένα μεταξύ τους, με μηδενικές προσμείξεις από άλλης κατηγορίας πλαστικά.
- Τα ανακτώμενα πλαστικά πρέπει να διατίθενται απολύτως καθαρά, χωρίς προσμείξεις ξένων ουσιών, όπως υπολείμματα οργανικών ουσιών.

Οι τιμές των πλαστικών διαμορφώνονται ανάλογα με την κατάσταση που διατίθεται το ανακτώμενο υλικό και είναι της τάξης των 80 - 350 € / τόνο ανάλογα με τον τύπο του πλαστικού, την καθαρότητα του υλικού τόσο ως προς προσμείξεις ξένων ουσιών, όσο και ως προς προσμείξεις με άλλα πλαστικά.

6.3.2 Αερόβια ΜΒΕ Σύμμεικτων απορριμμάτων με παραγωγή RDF

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της εγκατάστασης ΜΒΕ με ανάκτηση RDF στα Άνω Λιόσια, δυναμικότητας 1200 tn/day.



Σχήμα 6.4: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης MBE με ανάκτηση RDF στα Άνω Λιόσια [7]

6.3.2.1 RDF

Ορισμός

Ο όρος RDF (Refuse Derived Fuel) μπορεί να ερμηνευτεί διαφορετικά σε κάθε χώρα και αυτό γιατί μπορεί να αντικατοπτρίζει τη χρήση του υλικού εναρμονισμένη με την εκάστοτε εθνική νομοθεσία. Παραδείγματος χάριν στις αγγλόφωνες χώρες, το RDF ορίζεται ως το κλάσμα των ΑΣΑ με υψηλή θερμογόνο δύναμη [8]

Παραγωγή RDF

Εφαρμόζονται τεχνικές μηχανικής επεξεργασίας, οι οποίες έχουν αναλυθεί παραπάνω. Με αυτές διαχωρίζονται και αποτελούν ξεχωριστά ρεύματα τα μέταλλα και τα αδρανή υλικά (όπως το γυαλί), το οργανικό κλάσμα που υφίσταται στην συνέχεια βιολογική επεξεργασία και το κλάσμα υψηλής θερμογόνου δύναμης (RDF)

Το τελευταίο καύσιμο υλικό αποτελείται από χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, ξύλο και ύφασμα, το οποίο ή παράγεται σε μορφή cRDF (coarse RDF) και αξιοποιείται κατευθείαν σε τοπική εγκατάσταση ή υφίσταται περαιτέρω ενεργοβόρα επεξεργασία που περιλαμβάνει ξήρανση και κοκκοποίηση προς παραγωγή υλικού σε μορφή dRDF (dry RDF) το οποίο μπορεί να συσκευαστεί και να αποθηκευτεί με σκοπό την μεταφορά σε απόμακρες μονάδες αξιοποίησης. [3], [8] Συγκεκριμένα το **RDF αποτελείται κυρίως από μικρά τεμάχια χαρτιού (60-70%), πλαστικού (20-30%) και υφάσματος (5-10%) και λοιπά σε μικρότερη περιεκτικότητα** . [9]

Η ποσότητα του παραγόμενου RDF ανά τόνο επεξεργαζόμενων ΑΣΑ. εξαρτάται από τη συλλογή, την επεξεργασία και τις απαιτήσεις ποιότητας του τελικού προϊόντος. Με βάση τα μέχρι σήμερα δεδομένα, η ποσότητα αυτή ανέρχεται από 23-50% κ.β. των επεξεργαζόμενων ΑΣΑ..

Χρήσεις RDF

Το απορριμματογενές καύσιμο RDF αποτελεί ένα εναλλακτικό καύσιμο, αφού διαθέτει ορισμένα ελκυστικά χαρακτηριστικά όπως είναι η σχετικά υψηλή θερμογόνος του δύναμη και οι καλές φυσικές και χημικές του ιδιότητες που μπορούν να επιτρέψουν τον χειρισμό και την ενεργειακή του αξιοποίηση σε πλήθος εφαρμογών

Οι εναλλακτικοί τρόποι που μπορεί να εκμεταλλευτεί το RDF, είναι οι εξής:

- ◆ Σε εγκαταστάσεις αποκλειστική αποτέφρωσης του RDF.
- ◆ Χρήση ως καύσιμου υλικού στην τσιμεντοβιομηχανία
- ◆ Χρήση ως καύσιμου υλικού σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας (συναποτέφρωση σε λέβητες καύσης λιγνίτη)
- ◆ Χρήση ως καύσιμου υλικού σε άλλες βιομηχανίες (χαρτοβιομηχανία, βιομηχανίες παραγωγής χημικών, φαρμακοβιομηχανία, μεταλλουργία κ.α)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι η ποιότητα και η θερμογόνος δύναμη του RDF είναι ιδιότητες με βαρύνουσα σημασία, και είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ποιότητα και ποσότητα των αέριων εκπομπών που παράγονται κατά την καύση του. Άλλες σημαντικές παράμετροι ποιότητας του καύσιμου υλικού εκτός της θερμογόνου

δύναμης είναι η υγρασία, το περιεχόμενο τέφρας, το χλώριο και το θείο. Μια τυπική σύσταση του RDF παρουσιάζεται παρακάτω καθώς και άλλων καυσίμων προς σύγκριση.

Πίνακας 6.1: Τυπική σύσταση RDF & άλλων καυσίμων[7]

Καύσιμο	C	H	N	S	Cl	CV
	%					MJ/Kg
Άνθρακας	60-80	3-5	1-2	1-5	0.01-0.1	26
Ξύλο	40-50	6	0.2	0.1	0.01	19
ΑΣΑ.	.25	3	0.5	0.2	0.5	10
RDF	45	5	0.5	0.2	0.5	15

- **Χρήση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία**

Η υποκατάσταση ορυκτών καυσίμων από εναλλακτικά καύσιμα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της τσιμεντοβιομηχανίας (3000-5000 kJ/kg παραγόμενου κλίνκερ, [10] είναι μια πρακτική που λαμβάνει χώρα όλο και περισσότερο σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες και αλλού ανά τον κόσμο. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι σύμφωνα με στοιχεία του 2007 για την τσιμεντοβιομηχανία, η Αυστρία παρουσιάζει βαθμό υποκατάστασης ορυκτών καυσίμων σε θερμιδική βάση 46% το Βέλγιο 55%, η Γαλλία 32%, η Ελβετία 48%, η Γερμανία 42%, η Τσεχία 45% και η Ουγγαρία 30% [11]

Στη χώρα μας, η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στην τσιμεντοβιομηχανία είναι πιο περιορισμένη έναντι στην καύση μεταχειρισμένων ελαστικών, λάσπης δεξαμενών διυλιστηρίων και γλυκερίνης στον όμιλο TITAN. [9]

Η συναποτέφρωση RDF μπορεί να πραγματοποιηθεί στις καμίνους που χρησιμοποιούνται στην τσιμεντοβιομηχανία, δεδομένων των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν, όπως οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Οι υψηλές λοιπόν θερμοκρασίες (-1500 °C) σε συνδυασμό με τον επαρκή χρόνο παραμονής σε αέρια φάση (4-5 sec), τον υψηλό βαθμό ανάμειξης των καυσίμων υλών μέσα στην κάμινο και την πλούσια σε οξυγόνο ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή αέριων ρύπων.[10]

Η εκπομπή αέριων ρύπων από την καύση του RDF στη τσιμεντοβιομηχανία

Η παράγωγή αέριων ρύπων από την συναποτέφρωση του RDF στη τσιμεντοβιομηχανία αποτελεί ένα μείζον ζήτημα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι είναι αρκετά δύσκολο το να διακριθεί το ποια διεργασία, η παραγωγή του κλίνκερ ή η συναποτέφρωση του RDF, συμβάλλει περισσότερο στην παραγωγή αέριων ρύπων.

Από την καύση RDF σε κλιβάνους τσιμεντοβιομηχανίας είναι δυνατόν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα ποικίλοι ρύποι, όπως αιωρούμενα σωματίδια, οξειδία του αζώτου, διοξείδιο του θείου, υδροχλώριο, υδροφθόριο, μονοξείδιο του άνθρακα, πτητικές οργανικές ενώσεις, βαρέα μέταλλα, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, κ.ά.

Από τα ιχνοστοιχεία, τα *μη πτητικά μέταλλα* ενσωματώνονται στο κλίνκερ και η επιβάρυνση μεταφέρεται στα προϊόντα τσιμέντου. Τα ημι-πτητικά μέταλλα, όπως ο μόλυβδος και το κάδμιο, κατά ένα μέρος ενσωματώνονται στο κλίνκερ ενώ κατά το υπόλοιπο μέρος τους συμπυκνώνονται στα αιωρούμενα σωματίδια και δεσμεύονται στα φίλτρα του συστήματος αντιρρύπανσης [12] [13].

Από τα *πτητικά ιχνοστοιχεία*, ο υδράργυρος και το θάλλιο, κατά ένα μέρος συμπυκνώνονται στην επιφάνεια σωματιδίων και κατακρατούνται στα φίλτρα αντιρρύπανσης, αλλά κατά το μεγαλύτερο μέρος τους απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σε αέρια φάση [12], [13]

Από τις *πτητικές οργανικές ενώσεις* που εκπέμπονται, το σημαντικότερο πρόβλημα συνιστούν οι διοξίνες οι οποίες είναι από τις πλέον επικίνδυνες ενώσεις και για τις οποίες δεν έχουν προσδιοριστεί κατώτερα όρια, κάτω από τα οποία να διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχουν αρνητικές συνέπειες [11], [14].

Με τον όρο διοξίνες (PCDD/Fs) αποδίδεται μια ομάδα συνολικά 210 διοξινών και φουρανίων, εκ των οποίων οι διοξίνες (75 ενώσεις) αποτελούν χλωριωμένα παράγωγα της διβενζο-π-διοξίνης (dibenzo-p-dioxin) και τα φουράνια (135 ενώσεις) χλωριωμένα παράγωγα του διβενζοφουρανίου (dibenzofuran). Από αυτές, υψηλή τοξικότητα παρουσιάζουν 17 ενώσεις (7 διοξίνες και 10 φουράνια), οι οποίες χαρακτηρίζονται από την παρουσία μορίων χλωρίου «στις θέσεις 2, 3, 7 και 8», ενώ τη μεγαλύτερη τοξικότητα παρουσιάζει η αποκαλούμενη διοξίνη Seveso (2, 3, 7, 8 τετραχλωρο-διβενζο-π-διοξίνη) [14].

Η τοξικότητα ενός μίγματος διοξινών εκφράζεται με τον υπολογισμό της **συνολικής ισοδύναμης τοξικότητας (International Toxicity Equivalent, I-TEQ)**, η οποία προκύπτει από την άθροιση των δεικτών τοξικότητας των επί μέρους ενώσεων.

Ο **δείκτης τοξικότητας** μιας ένωσης υπολογίζεται ως γινόμενο της μάζας της και του ατομικού συντελεστή ισοδύναμης τοξικότητας, η οποία προσδιορίζεται με βάση την πλέον τοξική διοξίνη (διοξίνη Seveso) [12], [14].

Κατά την καύση RDF στην τσιμεντοβιομηχανία είναι δυνατόν να σχηματισθούν διοξίνες μέσω ετερογενών αντιδράσεων από πρόδρομες αλογονούχες ενώσεις, στην επιφάνεια σωματιδίων όπου έχουν προσροφηθεί, με την καταλυτική επίδραση βαρέων μετάλλων (π.χ. χαλκού) και στη θερμοκρασιακή περιοχή 450 °C - 200 °C.

Οι πρόδρομες αλογονούχες ενώσεις είναι προϊόντα ατελούς καύσης οργανικών ενώσεων και ενώσεων χλωρίου και μέσω μιας πολύπλοκης σειράς αντιδράσεων που καταλύονται από βαρέα μέταλλα, καταλήγουν στο σχηματισμό διοξινών και άλλων χλωριωμένων ιχνοστοιχείων. Στους κλιβάνους της τσιμεντοβιομηχανίας οι συνθήκες καύσης είναι εν γένει σταθερές και οι θερμοκρασίες καύσης υψηλές και κατά συνέπεια η πιθανότητα να παραχθούν προϊόντα ατελούς καύσης είναι μικρή. Όμως ακόμα και στην περίπτωση τέλει καύσης στον κλίβανο, οι διοξίνες είναι δυνατόν να σχηματιστούν στην περιοχή προθέρμανσης της πρώτης ύλης (κυκλώνες), ως προϊόντα ατελούς καύσης οργανικών ενώσεων που περιέχονται στις εναλλακτικές πρώτες ύλες και ενώσεων του χλωρίου οι οποίες ενδεχομένως περιέχονται στο RDF. Τα σημαντικότερα πρωτογενή μέτρα ελέγχου της παραγωγής διοξινών είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας στα φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων κάτω από 200 °C και κύρια η ταχεία ψύξη των απαερίων στην κρίσιμη θερμοκρασιακή περιοχή (450 °C – 200 °C). Ο χρόνος παραμονής των απαερίων στην περιοχή αυτή θα πρέπει απαρέγκλιτα να είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων. Στις εγκαταστάσεις τσιμεντοβιομηχανίας, λόγω των διατάξεων για την ανάκτηση θερμότητας, ο χρόνος παραμονής των απαερίων στο κρίσιμο διάστημα 450 °C – 200 °C είναι κατά κανόνα μεγαλύτερος της κρίσιμης τιμής (της τάξης των 5 sec) και εφόσον συνυπάρχουν οι λοιποί απαραίτητοι παράγοντες – οργανικές ενώσεις, ενώσεις του χλωρίου και καταλύτες όπως ο χαλκός – είναι δυνατόν να σχηματιστούν διοξίνες χωρίς αυτό όμως να συνεπάγεται απαραίτητως την υπέρβαση των ορίων της νομοθεσίας. Στην περίπτωση που δεν τηρείται ο όρος της ταχείας ψύξης απαερίων και δεδομένης της πολυπλοκότητας του μηχανισμού σχηματισμού διοξινών, η απάντηση στο ερώτημα κατά πόσον τηρούνται τα όρια της νομοθεσίας μπορεί να δοθεί μόνο με την πραγματοποίηση συστηματικών μετρήσεων πεδίου και για αρκετά μεγάλο διάστημα στην ίδια την εγκατάσταση καύσης του RDF.

- **Χρήση RDF σε Μονάδες παραγωγής ενέργειας**

Ουσιαστικά, υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι συναποτέφρωσης στις μονάδες παραγωγής ενέργειας :

- ❖ Άμεση μέθοδος, όπου το RDF αναμιγνύεται με άνθρακα ή άλλα καύσιμα υλικά και οδηγείται απευθείας στον καυστήρα
- ❖ Έμμεση μέθοδος, όπου το RDF αεριοποιείται σε ξεχωριστό θάλαμο και το παραγόμενο μίγμα αερίων εγχύεται στο θάλαμο καύσης όπου λαμβάνει χώρα η συναποτέφρωση

Οι φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες του RDF όπως και η εγκατεστημένη τεχνολογία της μονάδας είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα και την απόδοση της μονάδας. Για παράδειγμα, σε περίπτωση διάβρωσης του καυστήρα, λόγω της χρήσης RDF, το κόστος από τη διακοπή λειτουργίας της μονάδας και τη συντήρηση του καυστήρα ενδεχομένως να υπερσκελίσει κατά πολύ τα πλεονεκτήματα της συναποτέφρωσης.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο στην παρούσα χρήση είναι η εκμετάλλευση της παραγόμενης τέφρας σε έργα οδοποιίας και στην τσιμεντοβιομηχανία. Η παραγόμενη τέφρα από την καύση μείγματος RDF/SRF και άνθρακα μπορεί να μην πληροί τις τεχνικές προδιαγραφές για τη χρήση της στην παραγωγή σκυροδέματος. Οι παραπάνω παράγοντες, όπως είναι κατανοητό, δεν έχουν καμία επίδραση στην περίπτωση της έμμεσης συναποτέφρωσης.

Ωστόσο, ζητήματα όπως το επενδυτικό κόστος του θαλάμου αεριοποίησης, οι αέριες εκπομπές και η διαχείριση της ιπτάμενης τέφρας από την αεριοποίηση πρέπει να εξετασθούν κατά περίπτωση. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το RDF οδηγείται στο θάλαμο αεριοποίησης, η λειτουργία του οποίου βασίζεται στη σταθερή και αδιάλειπτη τροφοδοσία του με το συγκεκριμένο υλικό.

Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της έμμεσης και άμεσης αποτέφρωσης του RDF παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 6.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συναποτέφρωσης σε μονάδες παραγωγής ενέργειας

Μέθοδος συναποτέφρωσης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Άμεση	Χαμηλό επενδυτικό κόστος	Τεχνικές δυσκολίες στην ανάμειξη άνθρακα και RDF Η υπολειπόμενη τέφρα περιέχει συστατικά του RDF
Έμμεση	Ξεχωριστή αποθήκευση του RDF Η υπολειπόμενη τέφρα αποθηκεύεται ξεχωριστά Η θερμική εκμετάλλευση του RDF γίνεται ξεχωριστά από τα άλλα καύσιμα Η ενεργειακή παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την περίπτωση μείγματος RDF και άνθρακα	Υψηλό επενδυτικό κόστος Απαιτείται συνεχής τροφοδοσία θαλάμου αεριοποίησης με RDF

• **Αποκλειστική αποτέφρωση RDF σε ειδικά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις**

Η πρακτική αυτή είναι πολύ συνηθισμένη κυρίως λόγω του ότι προσφέρει ανεξαρτησία από τις τάσεις της αγοράς των στερεών καυσίμων. Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή μιας τέτοιας λύσης απαιτεί υψηλό επενδυτικό κόστος και η λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας μπορεί να δράσει ανταγωνιστικά σε προγράμματα μείωσης αποβλήτων ή προγράμματα ανακύκλωσης. Σε γενικές γραμμές, η εναλλακτικές τεχνικές που προσφέρονται από την υιοθέτηση μιας τέτοιας πρακτικής είναι οι εξής :

- Αποτέφρωση του RDF σε αποτεφρωτήρες σχάρας
- Αποτέφρωση του RDF σε καυστήρες ρευστοποιημένης κλίνης
- Αεριοποίηση του RDF
- Πυρόλυση του RDF

Από τις παραπάνω τεχνικές, η αποτέφρωση σε αποτεφρωτήρες σχάρας, παρουσιάζουν τη δυσμενέστερη συμπεριφορά σε ό,τι αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε ό,τι αφορά το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος, όλες οι παραπάνω τεχνικές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Ουσιαστικές διαφορές υπάρχουν στην ποσότητα και ποιότητα της παραγόμενης τέφρας, ιπτάμενης και μη. Λόγω μεγαλύτερης ομοιομορφίας στην κατανομή των θερμοκρασιών στις περιπτώσεις αποτέφρωσης σε ρευστοποιημένη κλίνη, στην αεριοποίηση και την πυρόλυση του RDF, η ποσότητα και η ποιότητα της παραγόμενης τέφρας είναι λιγότερη και καλύτερη αντίστοιχα από την περίπτωση αποτέφρωσης σε σχάρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένο κόστος για τη διαχείριση της παραγόμενης τέφρας στις περιπτώσεις αυτές. Η αεριοποίηση και η πυρόλυση προωθούνται γενικότερα, ως τεχνικές φιλικότερες προς το περιβάλλον. Με την υιοθέτηση της αεριοποίησης, το ενεργειακό περιεχόμενο των αποβλήτων μετατρέπεται σε αέρια προϊόντα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χημικά προϊόντα εμπορικής εκμετάλλευσης ή ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Τα αέρια προϊόντα της πυρόλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως άνω, ενώ τα υγρά προϊόντα της ως χημικά προϊόντα εμπορικής εν δυνάμει σημασίας.

Από την άλλη πλευρά, η πυρόλυση και η αεριοποίηση είναι σχετικά νέες τεχνικές οι οποίες δεν είναι ακόμη μακροπρόθεσμα εφαρμοσμένες. Η αποτέφρωση σε σχάρες είναι μακράν η πλέον εφαρμοσμένη τεχνική ενώ η χρήση καυστήρων ρευστοποιημένης κλίνης αυξάνεται λόγω των πολύ καλών λειτουργικών χαρακτηριστικών της και του φιλικού προς το περιβάλλον προφίλ της. Τέλος, η αεριοποίηση είναι περισσότερο εφαρμοσμένη, εν σχέση με την πυρόλυση, κυρίως λόγω της μη διαμορφωμένης αγοράς στα υγρά προϊόντα της τελευταίας.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως οι τεχνικές της αεριοποίησης και της πυρόλυσης εφαρμόζονται με μεγαλύτερη επιτυχία σε περισσότερο ομοιογενή καύσιμα όπως το RDF, παρά σε σύμμεικτα ΑΣΑ..

Πίνακας 6.4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πιθανών χρήσεων του παραγόμενου RDF/SRF

Χρήση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Αποτέφρωση σε εγκατάσταση που έχει σχεδιασθεί αποκλειστικά για το σκοπό αυτό</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ανεξαρτησία από τις διακυμάνσεις της αγοράς στερεών καυσίμων. 2. Δέχεται το σύνολο του παραγόμενου RDF/SRF . 3. Η ποιότητα του παραγόμενου SRF/RDF εξαρτάται από τη λειτουργία του εγκατεστημένου καυστήρα. 4. Η λειτουργία της μονάδας είναι συνυφασμένη με τη συμμόρφωση της με τις προδιαγραφές της κείμενης νομοθεσίας. 5. Υπάρχει δυνατότητα συναποτέφρωσης άλλων υλικών (ελαστικών, αποβλήτων ΟΤΚΖ κ.α) Μεγάλη δυνατότητα επίτευξης των στόχων που θέτει η οδηγία 99/31. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Υψηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος. 2. Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία της μονάδας. 3. Σε ενδεχόμενη μείωση της ποσότητας των εισερχόμενων καυσίμων η λειτουργία της μονάδας δε θα είναι βιώσιμη. 4. Ανταγωνιστική σε προγράμματα μείωσης και ΔσΠ. 5. Χαμηλή κοινωνική συναίνεση.

<p>Συναποτέφρωση</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Περιβαλλοντικά οφέλη από την αντικατάσταση παραδοσιακών καυσίμων. 2. Δυνατότητα επίτευξης των ορίων παραγωγής αέριων εκπομπών που θέτει το πρωτόκολλο του Κιότο. 3. Χαμηλό λειτουργικό κόστος 4. Δεν απαιτείται σταθερή τροφοδοσία της μονάδας. 5. Μπορεί να δεχθεί βιομάζα ως καύσιμο υλικό και να συνεισφέρει στην ανάπτυξη της αγοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. 6. Δεν αντίκεινται σε προγράμματα ΔσΠ ή σε προγράμματα μείωσης στην παραγωγή αποβλήτων. 7. Υπάρχει δυνατότητα συναποτέφρωσης άλλων υλικών (ελαστικών, αποβλήτων ΟΤΚΖ κ.α) 8. Η λειτουργία της μονάδας δεν είναι ευθύνη του φορέα διαχείριση των ΑΣΑ.. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Μπορεί να απαιτηθούν σημαντικές τροποποιήσεις στον εγκατεστημένο εξοπλισμό. 2. Μπορεί να απαιτηθεί αποθηκευτικός χώρος για το RDF/SRF. 3. Απαιτείται τροποποίηση των περιβαλλοντικών όρων λειτουργίας της μονάδας. 4. Απαιτούνται μακροπρόθεσμα συμβόλαια για τη χρήση του συνόλου του παραγόμενου RDF/SRF. 5. Το παραγόμενο RDF/SRF πρέπει να έχει συγκεκριμένα τεχνικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. 6. Πιθανότητα επιβολής τέλους εισόδου. 7. Σε περίπτωση μη αποδοχής του παραγόμενου RDF/SRF στις μονάδες, προκύπτουν σημαντικά προβλήματα.
-----------------------------	---	--

6.3.2.2 Υλικό τύπου compost-CLO (Compost like Output)

Το προϊόν της βιολογικής επεξεργασίας των ΜΒΕ, είναι ένα χαμηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό, το οποίο δύσκολα μπορεί να απορροφηθεί στην αγορά. Η ποιότητα του προϊόντος αυτού, εξαρτάται από την συγκεκριμένη ΜΒΕ τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί.

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται όλες οι δυνατότητες αξιοποίησης του CLO που παράγεται κατά την ΜΒΕ επεξεργασία των ΑΣΑ..

Πίνακας 6.5: Πιθανές χρήσεις του CLO

Εφαρμογή	Σχόλια
Σε αγροτικές καλλιέργειες	Απαιτείται παραγωγή υλικού πολύ καλής ποιότητας – γενικά η χρήση είναι εξαιρετικά περιορισμένη
Στη δασοκομία	Απαιτεί υλικό χαμηλότερης ποιότητας - συνήθως ο τελικός χρήστης απαιτεί αποζημίωση προκειμένου να το χρησιμοποιήσει
Ως εδαφοβελτιωτικό ειδικά σε άγονες περιοχές	Για βελτίωση της ποιότητας του εδάφους και διατήρηση της υγρασίας αυτού - έχει μεγάλη εφαρμογή σε περιοχές όπως η Ελλάδα
Σε ενεργειακές καλλιέργειες	Περιορισμένες δυνατότητες χρήσης σε καλλιέργειες κράμβης για βιοντίζελ, και ιτιάς
Στην κηπουρική	Απαιτείται παραγωγή υλικού πολύ καλής ποιότητας – γενικά η χρήση είναι εξαιρετικά περιορισμένη
Σε αθλητικές εγκαταστάσεις (γήπεδα γκολφ, πλαγιές για σκι)	Περιορισμένη εφαρμογή λόγω χαμηλής ποιότητας
Σε κράσπεδα οδικών αρτηριών – αναχώματα, κατασκευές κτιρίων	Απαιτείται η επίστρωση στρώματος φύλλων για συγκράτηση υγρασίας σε δρόμους - συνήθως οι εργολάβοι ζητούν αντίτιμο προκειμένου να το χρησιμοποιήσουν
Πληρωτικό υλικό σε βιοφίλτρα απόσμησης (EPA)	Πρόκειται για χρήση για την μείωση των οσμών που προκαλούνται από οργανικές ενώσεις.
Σε ρυπασμένους χώρους - για αποκατάσταση	Παροδική χρήση η οποία δεν είναι μόνιμη και επομένως απαιτείται η εξεύρεση και εναλλακτικού τρόπου διάθεσης
Ως υλικό επικάλυψης ή τελική κάλυψη σε Χ.Υ.Τ.Α.	Μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής, χωρίς να αναμένονται έσοδα

Σε περίπτωση που καμιά από τις παραπάνω δυνατότητες αξιοποίησης δεν καταστεί δυνατή θα πρέπει το βιοσταθεροποιημένο υλικό να καταλήξει για ταφή σε Χ.Υ.Τ.Α.. Στην περίπτωση αυτή, ενώ επιτυγχάνεται η εκτροπή της ταφής βιοαποδομήσιμων υλικών σε Χ.Υ.Τ.Α., όπως αυτή απαιτείται από την Οδηγία 1999/31/ΕΚ, εν τούτοις το γεγονός της

διάθεσης σε Χ.Υ.Τ.Α. μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων διατηρεί το πρόβλημα της εξεύρεσης, κατασκευής και λειτουργίας χώρων ταφής αποβλήτων. Τα μεγαλύτερα εμπόδια για την εκτεταμένη χρήση του CLO σε διάφορες εφαρμογές σε εδάφη είναι η χαμηλή ποιότητα του υλικού αυτού, οι αυστηρές προδιαγραφές για την εφαρμογή υλικών στα εδάφη, και ο ανταγωνισμός από άλλα προϊόντα.

Ειδικότερα η χρήση του υλικού αυτού ως compost καλής ποιότητας είναι εξαιρετικά δύσκολη για τους εξής λόγους:

- ❖ Οι εμφανείς ακαθαρσίες (π.χ. με γυαλιά και πλαστικά) στο τελικό προϊόν προδιαθέτουν αρνητικά τους χρήστες του υλικού αυτού
- ❖ Η παρουσία βαρέων μετάλλων στο υλικό αυτό ενδέχεται να οδηγήσει σε ρύπανση του εδάφους και κατά συνέπεια σε επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία.
- ❖ Οι βιομηχανίες τροφίμων πιέζουν προς την κατεύθυνση της μη χρήσης του υλικού αυτού σε καλλιέργειες
- ❖ Το προϊόν αυτό περιέχει σχετικά μικρό περιεχόμενο σε θρεπτικά συστατικά

Όσον αφορά τις προδιαγραφές ισχύουν αυτές που έχουν περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο («ποιότητα κόμποστ)

Οι προδιαγραφές αυτές είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθούν στα συστήματα MBE, αφού σε κάθε περίπτωση απαιτείται πολύ σημαντική - και πολύ ακριβή - περαιτέρω επεξεργασία του παραγόμενου προϊόντος, και μάλιστα θα είναι και πάλι αμφίβολη η επίτευξη των προδιαγραφών και η απορρόφηση του προϊόντος. Ακόμη, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή στρατηγική για την προστασία του εδάφους, προτείνεται η χρήση compost προερχόμενο από διαλογή οργανικού στην πηγή και όχι η χρήση compost προερχόμενο από μηχανική και βιολογική επεξεργασία των ΑΣΑ.. Μόνο με διαλογή στην πηγή είναι δυνατή η επίτευξη των προδιαγραφών που απαιτούνται για την παραγωγή compost καλής ποιότητας το οποίο θα βελτιώνει και θα προστατεύει το έδαφος. Το CLO που προέρχεται από την MBE των ΑΣΑ. είναι δυνατό να αξιοποιηθεί μόνο ως υλικό επικάλυψης σε Χ.Υ.Τ.Α.. Επιπλέον, οι δυνατότητες διάθεσης CLO από MBE περιορίζονται ακόμα περισσότερο από το γεγονός ότι στην αγορά διατίθενται προϊόντα compost πολύ καλής ποιότητας που προτιμώνται από τους καλλιεργητές τα οποία προέρχονται από:

- την επεξεργασία βιοαποδομήσιμων απόβλητων προερχόμενα από διαλογή στην πηγή
- την επεξεργασία κτηνοτροφικών και γεωργικών αποβλήτων
- την επεξεργασία ιλύος από την επεξεργασία αστικών λυμάτων
- πρωτογενή λιπάσματα

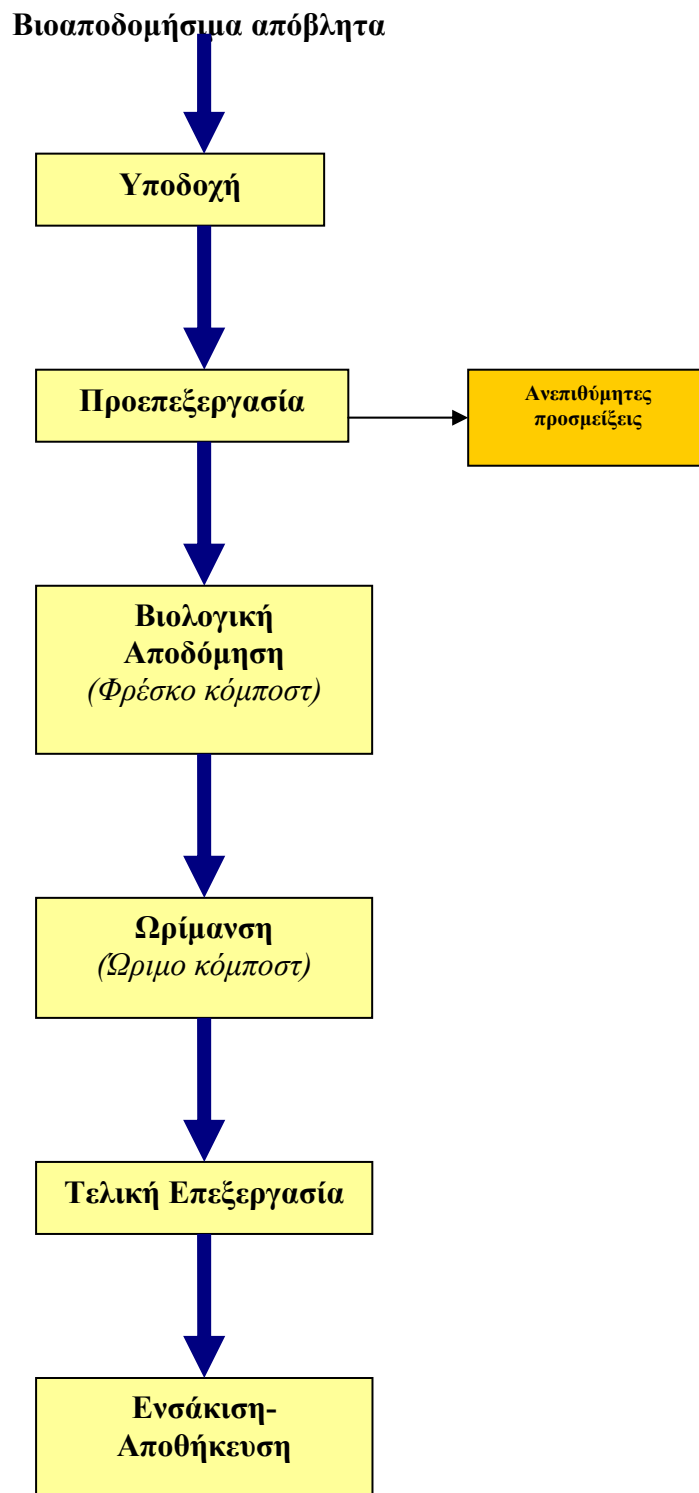
Κάθε προσπάθεια επίτευξης των προδιαγραφών υψηλής ποιότητας και «ανταγωνισμού» του κόμποστ που προκύπτει από διαλογή οργανικού στην πηγή, συνεπάγεται πολύ υψηλό κόστος επεξεργασίας το οποίο ενδέχεται να καταστήσει τη μονάδα επεξεργασίας μη βιώσιμη. Επομένως οδηγούμαστε προς τη λύση της διάθεσης του CLO είτε σε Χ.Υ.Τ.Α/Υ. είτε σε χρήσεις που δεν αναμένεται να επιφέρουν έσοδα για την εγκατάσταση.

6.3.3 Συμπαραγωγή κόμποστ και βιοκαυσίμου από το οργανικό κλάσμα

Μία τεχνική που βρίσκει εφαρμογή στην Ευρώπη σε εργοστάσια κομποστοποίησης είναι η αξιοποίηση του υπολείμματος που προκύπτει κατόπιν του τελικού κοσκινίσματος του ώριμου κόμποστ. Τα υπόλειμμα του κοσκινίσματος περιέχει πλαστικά, γυαλί, πέτρες και μέταλλα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα που έχουν παραμείνει στο αρχικό υλικό που οδηγήθηκε προς κομποστοποίηση. Το υπόλειμμα του κοσκινίσματος περιέχει επίσης σε κάποιο βαθμό και οργανικό υλικό. Μέσω αυτής της τεχνικής, το υπόλειμμα επεξεργάζεται με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μείωση του όγκου του κλάσματος που πρέπει να οδηγηθεί προς Υγειονομική Ταφή μετά το τέλος της διεργασίας της κομποστοποίησης, περαιτέρω ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών καθώς και παραγωγή βιοκαυσίμου από το οργανικό υλικό που έχει συμπαρασυρθεί κατά το κοσκίνισμα.

6.3.4 Αερόβια ΜΒΕ μετά από Διαλογή στη Πηγή

Σε αυτήν την περίπτωση των ΜΒΕ η μηχανική προεπεξεργασία είναι πολύ πιο περιορισμένη, Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας μονάδας κομποστοποίησης.



Διάγραμμα 6.1: Διάγραμμα ροής μονάδας κομποστοποίησης

Υποδοχή και απόθεση πρώτων υλών

Στο τμήμα παραλαβής τα απόβλητα ζυγίζονται και γίνεται ένας πρώτος οπτικός έλεγχος ως προς την σύσταση τους. Ενδεχομένως να χρειαστεί να αποθηκευτούν προσωρινά μέχρι να οδηγηθούν προς επεξεργασία. Ο χώρος προσωρινής αποθήκευσης πρέπει να είναι στεγανός ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαρροές και μπορεί να είναι είτε στεγασμένος είτε ανοιχτός ανάλογα με την ποσότητα, τον τύπο των αποβλήτων και τη συχνότητα των βροχοπτώσεων. Τα παραγόμενα στραγγίσματα οφείλονται να συλλέγονται. Ο χρόνος της προσωρινής αποθήκευσης πρέπει να είναι περιορισμένος λόγω της φύσης των συγκεκριμένων αποβλήτων. Τέλος πρέπει να υπάρχει ξεχωριστός χώρος αποθήκευσης για τα πράσινα απορρίμματα και για το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων καθώς κάθε ρεύμα υφίσταται διαφορετική προεπεξεργασία. Για τα πράσινα απορρίμματα δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις στην προσωρινή αποθήκευσή τους καθώς αυτά δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο στη δημόσια υγεία.

Προεπεξεργασία

Στόχοι της προεπεξεργασίας είναι:

1. Η απομάκρυνση μη οργανικών υλικών που δεν μπορούν να αποδομηθούν (π.χ. πλαστικά)
2. Να βελτιώσει τα φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων για την ευκολότερη βιολογική αποδόμηση τους
3. Να προφυλάξει τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης
4. Να απομακρύνει τα υλικά που μπορούν να μειώσουν την ποιότητα του κόμποστ.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως κόσκινα, χειροδιαλογή, διαχωριστές μετάλλων και αεροδιαχωριστές καθώς και μηχανήματα θρυμματοποίησης. Η χειροδιαλογή για λόγους υγιεινής χρησιμοποιείται συνήθως μόνο σε ορισμένα ρεύματα αποβλήτων με πολλές ανεπιθύμητες προσμείξεις και αφορά συνήθως μεγάλα σε μέγεθος κομμάτια. Το κοσκίνισμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με την παραλαβή των αποβλήτων, μετά τη χειροδιαλογή, μετά την τεμαχοποίηση ή μετά το στάδιο της βιολογικής αποδόμησης και το άνοιγμα του κόσκινου είναι περίπου 50-80 mm. Πάνω από αυτά τα μεγέθη βρίσκεται περίπου το 98% των ανεπιθύμητων υλικών κάτι που καθιστά το κοσκίνισμα μια απαραίτητη διαδικασία.

Για μεγάλες εγκαταστάσεις το κοσκίνισμα συνδυάζεται με μαγνητικό διαχωρισμό, ο οποίος αποσκοπεί περισσότερο στη μείωση των βαρέων μετάλλων που είναι ενσωματωμένα στα μέταλλα παρά στην ανάκτηση των μετάλλων. Λόγω της μεγάλης υγρασίας του αρχικού

υλικού οι αεροδιαχωριστές χρησιμοποιούνται σπάνια στα αρχικά στάδια αλλά συνήθως μετά την βιολογική επεξεργασία για την απομάκρυνση πλαστικών φύλλων.

Για την βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών των πράσινων αποβλήτων αυτά υφίστανται θρυμματοποίηση ώστε να καταστούν εύκολα βιοαποδομήσιμα και να προέλθει από αυτά το υλικό δομής που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της κυκλοφορίας του αέρα κατά τη φάση της κομποστοποίησης. Εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο μπορούν να θρυμματιστούν και τα υπόλοιπα οργανικά απόβλητα.

Το τελικό στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνει ανάμειξη των διαφόρων βιοαποδομήσιμων υλικών με υλικό δομής ώστε να επιτευχθεί η επαρκής τροφοδοσία με αέρα κατά τη διάρκεια των βιολογικών διεργασιών σε συνάρτηση με την υγρασία και την ύπαρξη ιδανικής αναλογίας θρεπτικών συστατικών. Η ανάμειξη γίνεται είτε με περιστροφικά τύμπανα είτε με τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κατά την ανάδευση.

Βιολογική αποδόμηση

Κατά το στάδιο αυτό πραγματοποιείται η βιολογική αποδόμηση των αποβλήτων και πρόκειται για μία θερμόφιλη διαδικασία. Η διάρκεια της ανέρχεται σε 5 – 10 εβδομάδες και μπορεί να θεωρηθεί ως λήξαν όταν η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους 40 °C εφόσον η μικροβιακή δραστηριότητα δεν διεκόπη για άλλους λόγους.

Ωρίμανση

Το στάδιο αυτό προορίζεται για την ωρίμανση του φρέσκου κόμποστ και λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες κάτω των 40 °C. Η διάρκεια της εξαρτάται από το αρχικό υλικό, την τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά την βιολογική αποδόμηση και την επιθυμητή ποιότητα του τελικού προϊόντος. Ένας δείκτης για επαρκή ωρίμανση είναι η πτώση της θερμοκρασίας κάτω από 30°C. Η τεχνική πραγματοποίηση της γίνεται συνήθως σε σειράδια τραπεζοειδούς ή τριγωνικής μορφής.

Εξευγενισμός (ραφινάρισμα του κόμποστ)

Κατά τη διάρκεια του ραφινάρισματος του κόμποστ αφαιρούνται μη αποδομημένα οργανικά υλικά όπως ξύλο, πλαστικά, μέταλλα και πέτρες. Επίσης γίνεται διαλογή του επιθυμητού κοκκομετρικού κλάσματος. Ο εξευγενισμός περιλαμβάνει συνήθως τη χρήση κόσκινων ανοίγματος 10 - 25 mm.

Ενσάκιση - Αποθήκευση

Μετά τον εξευγενισμό το κόμποστ οδηγείται προς τις εγκαταστάσεις ενσάκισης όπου σφραγίζεται σε σάκους για την εμπορευματοποίηση του και κατόπιν στον χώρο τελικής αποθήκευσης. Σκοπός του τελικού αυτού σταδίου είναι η ασφαλής και χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητα του, αποθήκευση του κόμποστ. Λόγω του μικρού μεγέθους των κόκκων του αν αυτό στοιβαχθεί σε μεγάλα ποσότητες υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας αναερόβιων ζωνών από την πίεση του βάρους με αρνητική επίδραση στην ποιότητα του.

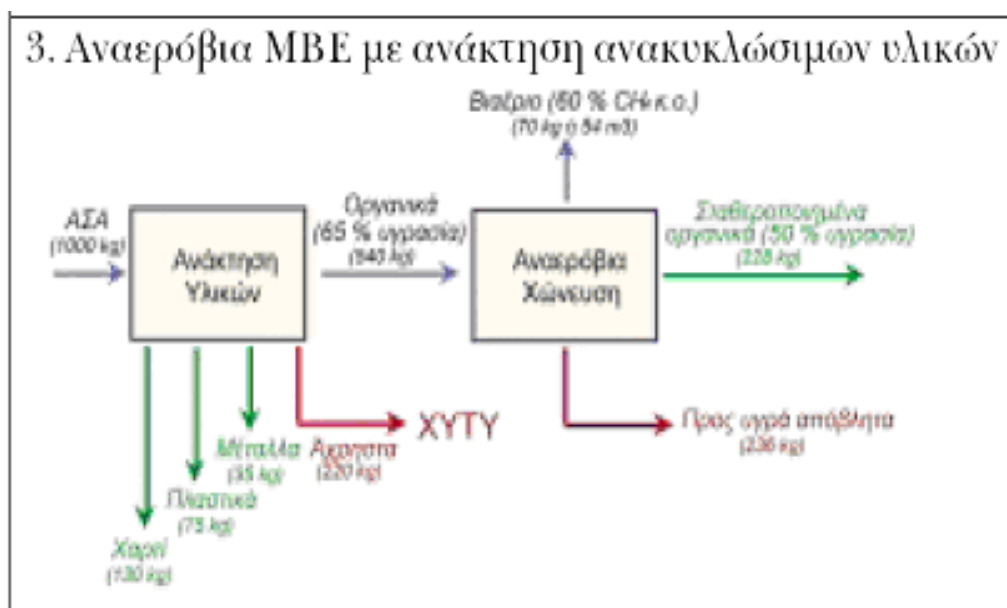
Για αυτό το λόγο πριν την τελική αποθήκευση είναι επιθυμητό να έχουν έρθει σε πέρας οι βιολογικές διεργασίες. Επίσης πρέπει να αποφευχθεί η έκθεση του σε βροχοπτώσεις.

6.4 Αναερόβια Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία

Ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων αυτών και η εφαρμογή της τεχνολογίας της αναερόβιας ΜΒΕ εξαρτάται από τον τύπο και τη σύνθεση των υλικών τροφοδοσίας, τα τελικά επιθυμητά προϊόντα ανάκτησης και την τεχνογνωσία του κατασκευαστή.

6.4.1 Αναερόβια ΜΒΕ σύμμεικτων απορριμμάτων

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει το διάγραμμα ροής μιας τυπικής εγκατάστασης, η οποία περιλαμβάνει μονάδα ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών (χαρτιού, πλαστικών και μετάλλων), ακολουθούμενη από μονάδα «ξηρής» αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος.



Σχήμα 6.5: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας μηχανικής και αναερόβιας επεξεργασίας

Όπως και στην περίπτωση της αερόβιας ΜΒΕ αντί μονάδας ανάκτησης υλικών μπορεί να υπάρχει μονάδα ανάκτησης RDF. Συχνά υπάρχει και σύστημα προσθήκης βιολογικής ιλύος ή/ και γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων σε ορισμένες αναλογίες για συνεπεξεργασία με το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ..

Όπως περιγράφηκε αναλυτικότερα και στο κεφάλαιο της Αναερόβιας Χώνευσης, οι δύο συνηθέστεροι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η «**Υγρή Αναερόβια Χώνευση**» και η «**Ξηρή Αναερόβια Χώνευση**».

Όπως και στην περίπτωση της αερόβιας ΜΒΕ, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών, cRDF ή dRDF ανέρχεται σε περίπου 25,0 kWh 21,5 kWh και 55,5 kWh ανά τόνο ΑΣΑ. αντίστοιχα. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων από μονάδες αναερόβιας χώνευσης είναι της τάξης των 50 με 54 kWh ανά τόνο οργανικού υλικού τροφοδοσίας. Το παραγόμενο βιοαέριο περιλαμβάνει 55% με 60% μεθάνιο κατ' όγκο, η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του οποίου είναι 37,75 MJ/Nm³.

Από τα παραπάνω δεδομένα και από τα ισοζύγια μάζας κάθε επιμέρους ολοκληρωμένης εγκατάστασης αναερόβιας ΜΒΕ, μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η κατανάλωση και η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα τυπική εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας έχει δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (από αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε μηχανή αερίου με απόδοση 35%) kWh ανά τόνο ΑΣΑ.. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 54 kWh ανά τόνο ΑΣΑ. και επομένως η δυνατότητα διάθεσης περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας σε τρίτους είναι 65 kWh ανά τόνο ΑΣΑ..

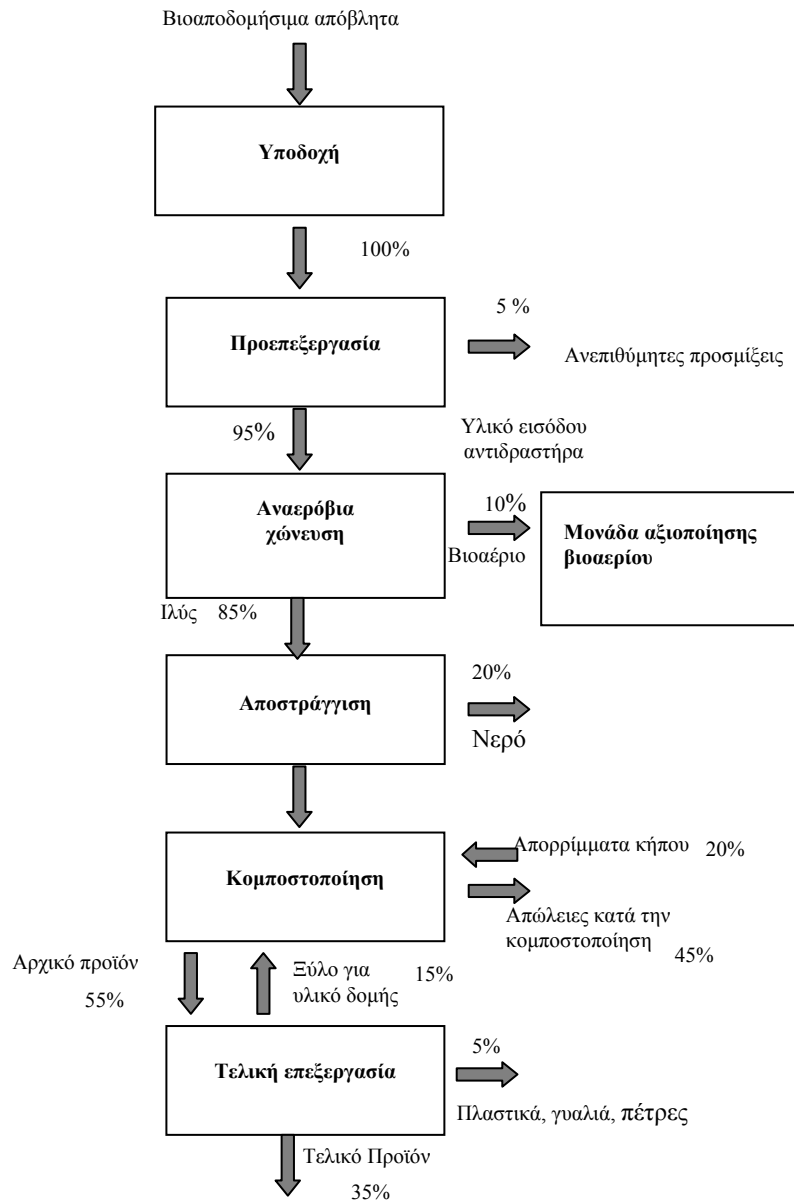
Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης

Για τα ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί, σιδηρούχα και αλουμίνιο), το RDF, ισχύουν οι δυνατότητες διάθεσης που αναφέρονται στην ενότητα ανάλυσης της αερόβιας μηχανικής επεξεργασίας . Σχετικά με την διαχείριση και τη διάθεση του βιοσταθεροποιημένου υλικού(χωνεμένη ιλύς) αλλά και την αναβάθμιση και αξιοποίηση του βιοαερίου έγινε ανάλυση στο κεφάλαιο της Αναερόβιας χώνευσης.

6.4.2 Αναερόβια ΜΒΕ μετά από διαλογή στη πηγή

Διάγραμμα ροής και ισοζύγιο μάζας της αναερόβιας επεξεργασίας

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το ισοζύγιο μάζας μιας μονάδας αναερόβιας ζύμωσης που χρησιμοποιεί οργανικά απόβλητα από διαλογή στη πηγή με ακόλουθη κομποστοποίηση της παραγόμενης ιλύος.



Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα ροής αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας

6.5 Μονάδες ΜΒΕ στην Ελλάδα

Οι υφιστάμενες μονάδες Μηχανική και Βιολογικής επεξεργασίας είναι 3 και αυτές είναι:

1. Το ΕΜΑΚ στην Καλαμάτα
2. Το ΕΜΑΚ στα Άνω Λιόσια
3. Το ΕΜΑΚ στα Χανιά

Παρακάτω ακολουθεί σύντομη αναφορά για τις παραπάνω μονάδες:

ΕΜΑΚ Καλαμάτας: Δυστυχώς για την Καλαμάτα και το νομό Μεσσηνίας η μονάδα αυτή αποτέλεσε την μεγαλύτερη αρνητική εμπειρία της χώρας μας από μονάδες ΜΒΕ.

Σχεδιάστηκε για 90 tn/day με κόστος μεγαλύτερο από 5 εκατ. € και λειτουργήσε αναποτελεσματικά για ελάχιστο χρονικό διάστημα. Ο κακός σχεδιασμός και τα λάθη διαχείρισης οδήγησαν την μονάδα να κλείσει με δικαστική απόφαση χωρίς να μπορέσει να παραχθεί έστω και κάποια μικρή ποσότητα κόμποστ. Η περίπτωση του ΕΜΑΚ της Καλαμάτας είναι σίγουρα παράδειγμα προς αποφυγή. [15]

ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων: Το ΕΜΑΚ αποτέλεσε το μεγαλύτερο έργο του ΕΣΔΚΝΑ. Σχεδιάστηκε να επεξεργάζεται 1.200 tn/day, μαζί με 300 tn/day λυματολάσπης και 130 tn/day κλαδέματα και να παράγει RDF, κάποια ανακυκλώσιμα υλικά, κόμποστ και υπολείμματα για το ΧΥΤΑ. Σήμερα η δυναμικότητά του είναι 260.000 tn/year. Δυστυχώς η εμπειρία από το ΕΜΑΚ στα Άνω Λιόσια δεν είναι μέχρι σήμερα ιδιαίτερα θετική. Για πολλούς λόγους καθυστέρησε περισσότερο από 5 χρόνια η κατασκευή και η πιλοτική του λειτουργία, κόστισε περισσότερο από 100 εκατ. €, σχεδιάστηκε να παράγει μεγάλη ποσότητα RDF, που επί χρόνια διατίθεται στο ΧΥΤΑ, ανακτά μικρή σχετικά ποσότητα ανακυκλώσιμων υλικών και το παραγόμενο κόμποστ δεν έχει μέχρι στιγμής εμπορική αξία. Μάλιστα, για πολλούς μήνες έμεινε και εκτός λειτουργίας. Παρά τις δυσκολίες, με μικρό σχετικά κόστος μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις και προσθήκες νέου εξοπλισμού διαχωρισμού, ώστε η μεγάλη αυτή μονάδα να μπορεί να ανακτά περισσότερο χαρτί και πλαστικό και να μειώσει το παραγόμενο RDF και τα υπολείμματα. Οι παραπάνω αλλαγές σε συνδυασμό με την λειτουργία του ΕΜΑΚ σε εξαήμερη βάση και σε δύο βάρδιες, θα μπορούσε να αυξήσει την δυναμικότητα του ΕΜΑΚ σε τουλάχιστον 400.000 tn/year και να συμβάλει σημαντικά στην διαχείριση των απορριμμάτων στην Αττική. [15]

ΕΜΑΚ Χανίων: Το ΕΜΑΚ Χανίων αποτελεί το καλύτερο παράδειγμα αποτελεσματικής λειτουργίας μιας μονάδας με τεχνολογία ΜΒΕ στη χώρα μας. Εξυπηρετεί 150.000 κατοίκους και δέχεται περισσότερους από 160 tn/day. Σχεδιάστηκε και ως μονάδα διαλογής των ανακυκλώσιμων υλικών από τους μπλε κάδους και ως κλασική μονάδα ΜΒΕ. Από την άνοιξη του 2005, που ξεκίνησε τη λειτουργία του μέχρι το 2010 έχουν ανακτηθεί και πουληθεί στην βιομηχανία της ανακύκλωσης 30.000 τόνοι ανακυκλώσιμων υλικών χαρτί πλαστικό αλουμίνιο σιδηρούχα και γυαλί, και έχουν οδηγηθεί προς κομποστοποίηση 35.000 τόνοι ζυμώσιμων και οργανικών υλικών, παρατείνοντας κατά ένα χρόνο την διάρκεια ζωής του ΧΥΤ. Ήδη, η ΔΕΔΙΣΑ έχει καταφέρει να παράγει ένα πολύ καλής ποιότητας κόμποστ και μάλιστα εκπονεί και ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα για την βελτίωση της αποδοτικότητας του ΕΜΑΚ και την καλύτερη αξιοποίηση του κόμποστ για αγροτικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές. [15]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. de Araujo Morais, G. Ducom *, F. Achour, M. Rouez, R. Bayard (October 2008), “**Mass balance to assess the efficiency of a mechanical–biological treatment**”, *Waste Management 28* : 1791–1800
2. Σχέδιο Τελικής Έκθεσης προς το ΙΤΑ (2007) της Μελέτης: «**Εκτίμησης των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Αποβλήτων**».
3. Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος (Φεβρουάριος 2007), «**Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις**», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
4. K. Munnich , C.F. Mahler , K. Fricke (2005), “**Pilot project of mechanical-biological treatment of waste in Brazil**”, *Waste Management 26 (2006) 150–157*
5. ΜΙΟ- ECSDΕ, «Τα απορρίμματα στη ζωή μας», Μεσογειακό γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη, Αθήνα 2003
6. Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών-Κ. Παπασπυρίδης, «Εργαστηριακές Ασκήσεις Κατεύθυνσης Πολυμερών», Σχ. Χημικών Μηχανικών- ΕΜΠ, Αθήνα 2007
7. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), «**Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου**
8. European Commission- Directorate General Environment (July 2003), “**Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives**”, *Final Report- WRc Ref: CO5087-4*
9. Εταιρεία Συμβούλων EXERGIA S.A. (2008), “**THE ALTERNATIVE FUELS IN GREEK CEMENT INDUSTRY**”, Ημερίδα, Αθήνα, 13.12.2007
10. G. Genon , E. Brizio (January 2008), “**Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF**”, *Waste Management 28 (2008) 2375–2385*
11. Gordon McKay (2002), “**Dioxin characterization, formation and minimization during municipal solid waste (MSW) incineration: review**”, *Chemical Engineering Journal 86* : 343-368.
12. World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2006), “**Formation and release of POPs in the Cement Industry**”, *Foundation for Scientific and Industrial Research (SINTEF), 2nd Edition*. European
13. Commission – IPPC (2010), “**Reference Document on the Best Available Techniques for Cement and Lime Manufacturing Industries**”.
14. B.R. Stanmore (2004), “**The formation of dioxins in combustion systems**” *Combustion and Flame 136*: 398-427.
15. Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, «**Ειδική Έκδοση: Μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στην Ελλάδα**»
http://www.ecorec.gr/econew/index.php?option=com_content&view=article&id=246%3A2010-10-29-11-49-25&catid=121%3A2010-10-27-12-15-20&Itemid=131&lang=el

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

Η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης ή βιοξήρανση είναι μία παραλλαγή της αερόβιας επεξεργασίας σε συνδυασμό με μηχανική επεξεργασία. Το κύριο προϊόν είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο πλούσιο σε περιεχόμενο βιομάζας και υψηλής θερμογόνου δύναμης, το **SRF (Solid Recovered Fuel)**. [1]

Ο σκοπός αυτής της μεθόδου επεξεργασίας είναι η αναβάθμιση των ΑΣΑ., ώστε να καταστούν καταλληλότερα για θερμική αξιοποίηση.

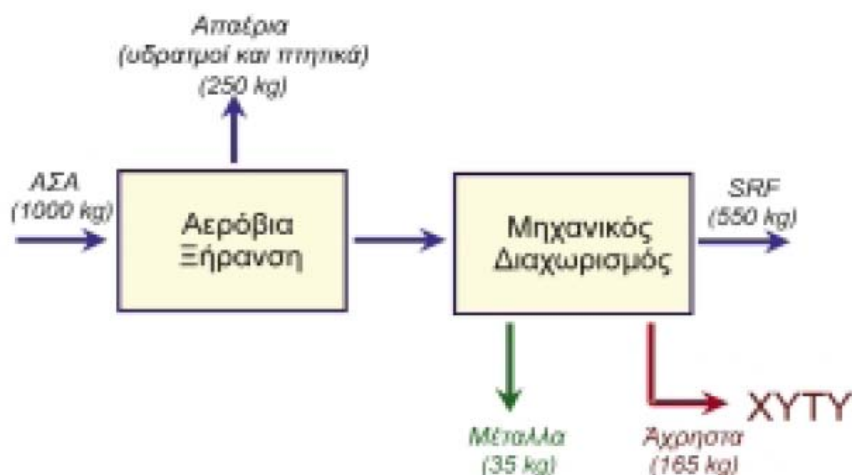
7.1 Βασικές επιδιώξεις της Βιοξήρανσης

Οι βασικές επιδιώξεις αυτής της μεθόδου είναι [2]:

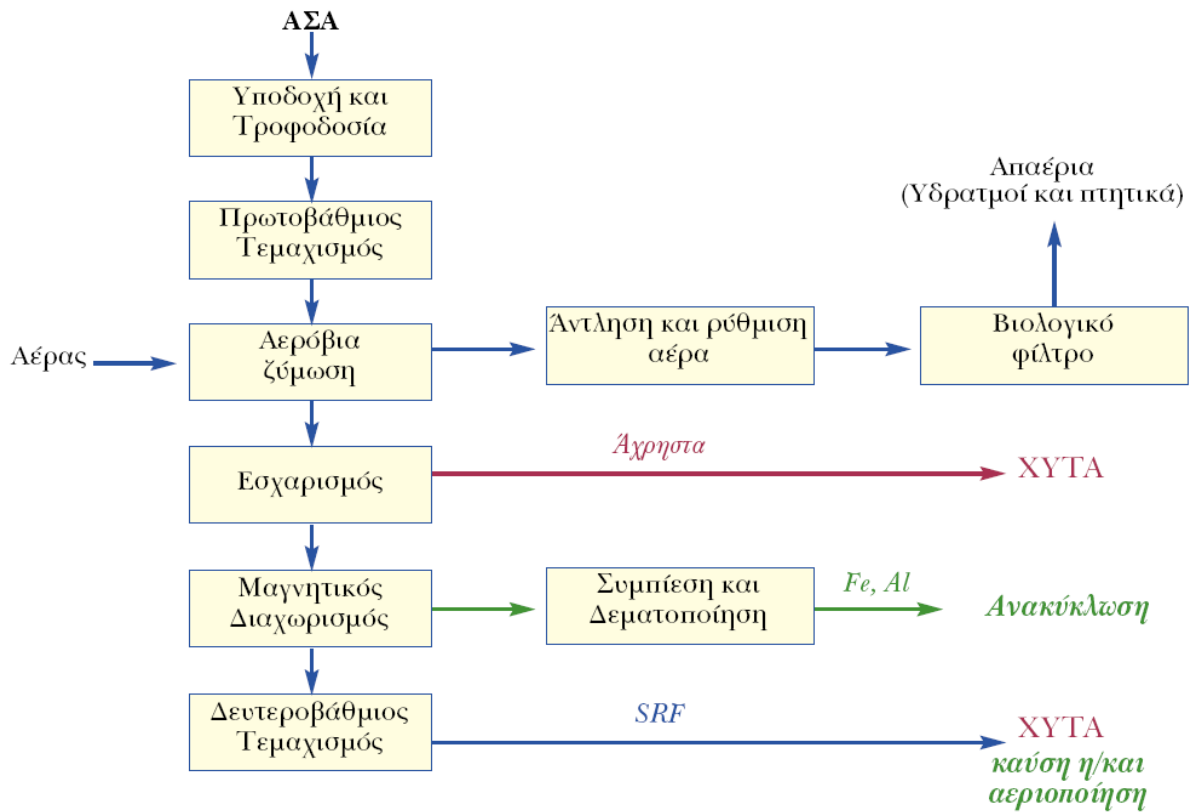
- η μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ. (συνήθως στο 12 - 15% κατά βάρος),
- ο διαχωρισμός ανακυκλώσιμων σιδηρούχων μετάλλων και αλουμινίου
- Παραγωγή SRF (Solid Recovered Fuel), προς θερμική αξιοποίηση, με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 15 MJ/kg

Η υγρασία απομακρύνεται από το υλικό με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας κατά την αερόβια αποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης, με τυπικό ισοζύγιο μάζας.



Διάγραμμα 7.1: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας βιολογικής επεξεργασίας [3]



Διάγραμμα 7.2 [3] :Διάγραμμα παραγωγικής διαδικασίας τυπικής εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης

Σύμφωνα με το διάγραμμα του παραπάνω σχήματος, η επεξεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Χώρο υποδοχής προσωρινής αποθήκευσης και τροφοδοσίας.
- Πρωτοβάθμιο λειοτεμαχισμό των εισερχόμενων ΑΣΑ..
- Αερόβια ζύμωση -βιολογική ξήρανση, ή οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με παραπάνω από μία μεθόδους, οι οποίες θα αναλυθούν στην επόμενη
- Τα τελευταία στάδια περιλαμβάνουν τον εσχαρισμό, όπου το υλικό διέρχεται από κόσκινα ώστε να απομακρυνθούν άχρηστα υλικά, το μαγνητικό διαχωρισμό, κατά τον οποίο διαχωρίζονται τα μέταλλα του σιδήρου και του αλουμινίου και τον δευτεροβάθμιο τεμαχισμό. Σε αυτά τα στάδια ουσιαστικά πραγματοποιείται ο εξευγενισμός του SRF και μηχανική ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών

7.2 Μηχανισμός της Βιοξήρανσης

Στη βιοξήρανση η συναγωγή του αέρα και η μοριακή διάχυση είναι οι κύριοι μηχανισμοί που ευθύνονται για την απομάκρυνση της υγρασίας. Συγκεκριμένα, η αφαίρεση της υγρασίας ελέγχεται από την θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ του νωπών απορριμμάτων (στερεά κατάσταση) και του αέρα που ρέει μέσα από το υλικό (αέρια κατάσταση) [1]

Αερισμός

Ο μηχανική παροχή του αέρα είναι κρίσιμης σημασίας για τη βιοξήρανση. Αποτελεί το μέσο ροής της ενέργειας και μάζας και επιτρέπει πέρα από την αφαίρεση της υγρασίας, την απαραίτητη κατανομή της ενέργειας καθώς και τη διάχυση του οξυγόνου, ώστε να ικανοποιηθούν οι στοιχειομετρικές απαιτήσεις για την αποδόμηση. Αποτελεί τη κύρια μεταβλητή για τον έλεγχο της διεργασίας, τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και σε μεγάλες μονάδες. Συνεπώς καθορίζει τη θερμοκρασία, και μπορεί ακόμα και να επηρεάσει και το σημείο δρόσου και την κινητική της βιολογικής αποδόμησης του υποστρώματος. Ο υψηλός ρυθμός παροχής αέρα είναι απαραίτητος προκειμένου να παραχθεί υψηλής θερμογόνου δύναμης SRF, καθώς έτσι διατηρείται το βιογενές περιεχόμενο.[4], [5], [6]

Η απαραίτητη ενέργεια για την ξήρανση παρέχεται από την βιολογική αερόβια αποδόμηση του υλικού, σε αντίθεση με τις συμβατικές ξηράσεις που απαιτούν εξωτερικές πηγές θερμότητας.

Με την εξώθερμη αυτή βιοχημική μετατροπή το υλικό έρχεται σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες. Για το ποιο είναι το ιδανικό εύρος θερμοκρασιών για τη διεργασία της βιοξήρανσης, δηλαδή εκεί που θα επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, οι απόψεις στην βιβλιογραφία ποικίλουν. Η πλειοψηφία από αυτές δηλώνουν όμως πως συγκριτικά, οι αποδοτικότερες συνθήκες την αφαίρεση της υγρασίας επιτυγχάνεται με υψηλές παροχές αέρα που προκαλούν χαμηλότερες θερμοκρασίες στο υπόστρωμα με βέλτιστη θερμοκρασία γύρω στους 45°C, ενώ ο μεγαλύτερος ρυθμός βιολογικής αποδόμησης είναι στους 60°C. [7] Ο ρυθμός της βιολογικής αποδόμησης γενικά δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτόν της κομποστοποίησης εφόσον λαμβάνει χώρα με πολύ μικρότερο περιεχόμενο υγρασίας. [8]

Υγρασία

Το περιεχόμενο της υγρασίας είναι η πιο σημαντική μεταβλητή για την αξιολόγηση της επίδοσης της διαδικασίας της βιοξήρανσης και μετράται συνήθως με σταθμικές μεθόδους και εκφράζεται ως ποσοστό νερού σε υγρή βάση. Στη βιοξήρανση μπορεί να μειωθεί η υγρασία από 35-55% μέχρι 10-20% σε υγρή βάση. Σαφέστατα παράγεται και νερό από την μεταβολική δραστηριότητα (0,5- 0,6 g νερού /g υποστρώματος που βιοαποδομείται). Η ποσότητα που απομακρύνεται όμως είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται για αυτό και το υλικό ξηραίνεται.[1]

7.3 Μέθοδοι Βιολογική Ξήρανσης

Η Βιολογική ξήρανση όπως και οι υπόλοιπες τεχνολογίες εφαρμόζεται με διάφορες μεθόδους. Αυτές περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

7.3.1 Βιολογική Ξήρανση σε Βιομηχανικό Κτίριο εντός ενιαίας δεξαμενής

Οι εγκαταστάσεις, στις οποίες λαμβάνει χώρα αυτή η μέθοδος διαμορφώνονται ως κλειστοί ενιαίοι χώροι εντός βιομηχανικού κτιρίου. Τα στάδια της διαδικασίας είναι η υποδοχή/ δοσομέτρηση, τεμαχισμός, βιολογική ξήρανση και η μηχανική μετ-επεξεργασία, όπου πραγματοποιείται ο εξευγενισμός του SRF και ανακτούνται ανακυκλώσιμα υλικά.

Σύστημα αερισμού, το οποίο δημιουργεί ελαφρά υποπίεση προς περιορισμό της έκλυσης αερίων στον περιβάλλοντα χώρο, συνήθως χρησιμοποιείται. Η τελική κατάληξη του εκλυόμενου αέρα είναι το βιόφιλτρο. Ο χρόνος παραμονής για την παραγωγή υλικού με υγρασία περίπου 20 είναι τουλάχιστον 14 ημέρες, ενώ η διεργασία της ξήρανσης εξελίσσεται σε 24ωρη βάση. [2]



Εικόνα 7.1: Τμήμα Υποδοχής, τεμαχισμού και βιολογικής ξήρανσης απορριμμάτων[2]

Το σταθεροποιημένο υλικό είτε δεματοποιείται και οδηγείται στο Χ.Υ.Τ.Α.. είτε αν είναι επιθυμητή η παραγωγή SRF, τότε πραγματοποιείται η μηχανική μετ-επεξεργασία.

7.3.2 Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς

Αυτή η μέθοδος είναι χαμηλού κόστους και εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακας εγκαταστάσεις ή σε απόβλητα που έχουν υποστεί σε κάποιο βαθμό διαλογή.

Συνήθως αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται με στους Χ.Υ.Τ.Α και δεν απαιτούν σημαντική κτιριακή υποδομή. Σε αυτά τα συστήματα, κατόπιν της πρωτογενούς μηχανικής επεξεργασίας, με φορτωτή τοποθετούνται σε σειράδια και καλύπτονται από μια ειδική μεμβράνη, η οποία δεν επιτρέπει την είσοδο όμβριων στον σωρό.

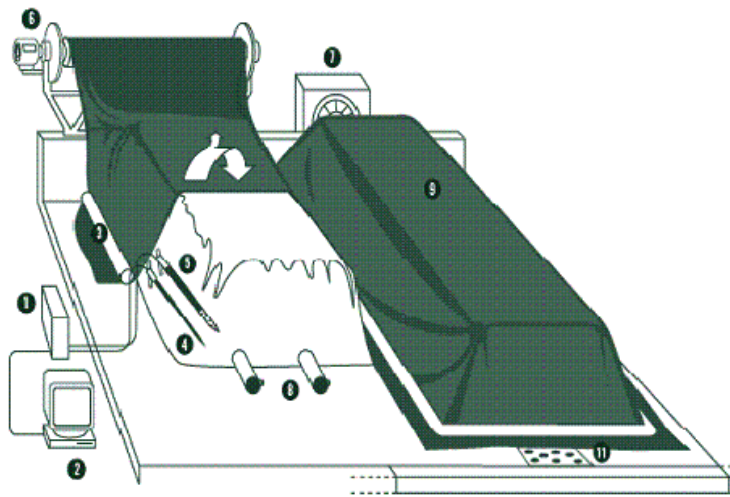
Ο αέρας παρέχεται από κατάλληλα συστήματα φυσητήρων και με κατάλληλο σύστημα διάτρητων σωλήνων εξασφαλίζεται η διασπορά του σε όλη την μάζα των απορριμμάτων.

Οι αγωγοί μπορούν να τοποθετηθούν με δύο τρόπους: είτε με χρήση διάτρητου δαπέδου (in floor pipes) είτε με την τοποθέτηση πλέγματος αγωγών πάνω στην επιφάνεια τοποθέτησης του σωρού (on floor pipes).

Το σταθεροποιημένο υλικό μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, μπορεί να οδηγείται προς δεματοποίηση και κατόπιν στο ΧΥΤ, ή προς μηχανική διαλογή για την ανάκτηση υλικών και την παραγωγή SRF όπως περιγράφηκε και προηγούμενα.

Η εγκατάσταση τεμαχιστή και σωρών βρίσκεται σε ανοικτό, μη στεγασμένο χώρο, διαμορφωμένο ως «πλατεία». Εάν είναι επιθυμητός εξοπλισμός μηχανικής διαλογής, τότε αυτός θα είναι στεγασμένος (π.χ. σε μεταλλικό κτίριο με βιομηχανικό δάπεδο). [2]

1. Σύστημα ελέγχου
2. Η/Υ
3. Συγκράτηση μεμβράνης
4. Σένσορας θερμοκρασίας
5. Σένσορας O₂/ θερμοκρασίας
6. Σύστημα τοποθέτησης
7. Σταθμός παραγωγής αέρα
8. Αγωγοί προσαγωγής αέρα τύπου "on floor"
9. Μεμβράνη
10. Αποχέτευση στραγγισμάτων
11. Κυκλίου κεραιού τύπου "in floor"

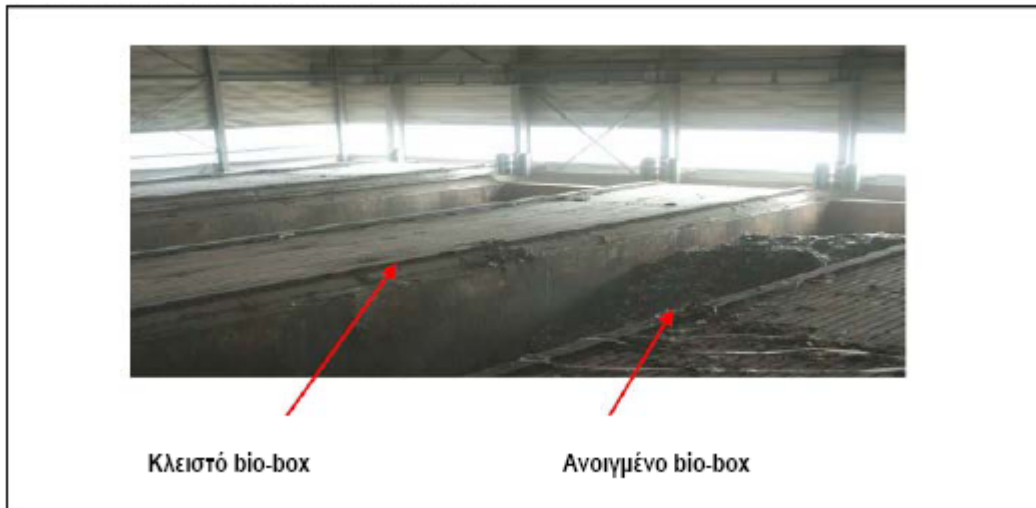


Σχήμα 7.1: Βιολογική ξήρανση σε καλυμμένους σωρούς[2]

7.3.3 Βιολογική Ξήρανση σε βιομηχανικό κτίριο, εντός Διαμερισμάτων (boxes)

Η μέθοδος αυτή λαμβάνει χώρα σε κλειστά μεταλλικά ή τσιμεντένια κουτιά (διαμερίσματα) που η χωρητικότητά τους συνήθως είναι όσο απαιτείται για το υλικό μιας ημέρας και

βρίσκονται είτε σε πλήρως στεγασμένο χώρο, είτε σε πλατεία κάτω από στέγαστρο, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της αδειοδοτούσας περιβαλλοντικής αρχής. Η παροχή του αέρα πραγματοποιείται από το ειδικό δάπεδο και ρυθμίζεται από τη μέτρηση της θερμοκρασία και της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα. Στα συστήματα αυτά οι βιολογικές διεργασίες επιταχύνονται και οι οσμές απουσιάζουν. Ο χρόνος παραμονής είναι από 5 έως 10 μέρες.



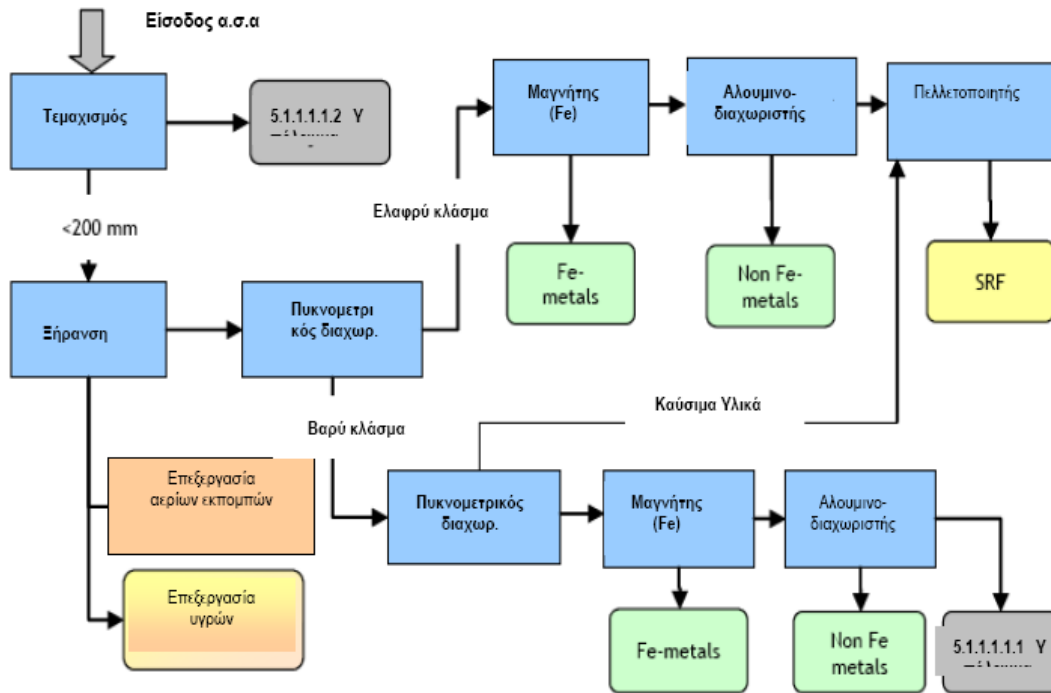
Εικόνα 7.2: Κουτιά της γερμανικής εταιρίας Herhof [9]



Εικόνα 7.3: Κουτιά της γερμανικής εταιρίας Nehlsen (Αριστερά: νεότερα Κουτιά προστίθενται – Δεξιά: αρχικά Κουτιά στην εγκατάσταση [9])

Όπως και στις προηγούμενες τεχνικές, το σταθεροποιημένο υλικό απαλλαγμένο από οσμές μπορεί να προωθείται σε σύστημα δεματοποίησης και κατόπιν σε οχήματα μεταφοράς προς το Χ.Υ.Τ.Α.. Εναλλακτικά, εάν είναι επιθυμητή η παραγωγή SRF για ενεργειακή αξιοποίηση, εντός του κτιρίου τοποθετείται μηχανολογικός εξοπλισμός για τη μηχανική διαλογή υλικών από το βιοσταθεροποιημένο υλικό. Ένα πλήρες διάγραμμα ροής φαίνεται στο επόμενο σχήμα

Παρακάτω απεικονίζεται ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής τέτοιου είδους μονάδας:



Διάγραμμα 7.3: Διάγραμμα ροής βιοξήρανσης σε «κουτιά» [9]

Το σταθεροποιημένο υλικό αυτοματοποιημένα τροφοδοτείται σε πυκνομετρικό διαχωριστή από όπου προκύπτουν δύο κλάσματα το ελαφρύ και το βαρύ. Το Ελαφρύ Κλάσμα διέρχεται από μαγνήτη και αλουμινοδιαχωριστή (eddy current separator) για την ανάκτηση σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων. Το υλικό που απομένει περιέχει ελαφριά καύσιμα υλικά που αναμιγνύονται με τα αντίστοιχα καύσιμα υλικά από το δεύτερο πυκνομετρικό διαχωριστή, ο οποίος χρησιμοποιείται για την περαιτέρω επεξεργασία του βαρέως κλάσματος. Αυτά τα υλικά πελλετοποιούνται και αποτελούν το SRF. Το βαρύ κλάσμα από το δεύτερο πυκνομετρικό διαχωρισμό διέρχεται από μαγνήτη και αλουμινοδιαχωριστή (eddy current separator) όπου ανακτώνται σίδηρος και αλουμίνιο. Το υλικό που απομένει αποτελεί υπόλειμμα.[2]

7.4 Προϊόντα και δυνατότητες διάθεσης

Από τις εγκαταστάσεις βιολογικής ξήρανσης παράγονται τα ακόλουθα προϊόντα:

Ανακυκλώσιμα υλικά (Fe- Al)

Τα ανακτώμενα υλικά δύνανται να διατεθούν στην αγορά

SRF

Το παραγόμενο SRF δύναται να αξιοποιηθεί όπως έχει ήδη περιγραφεί στην αντίστοιχη ενότητα αξιοποίησης του RDF.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. C.A. Velis, P.J. Longhurst, G.H. Drew, R. Smith, S.J.T. Pollard, (2009) **“Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering”**, *Bioresource Technology* 100: 2747-2761
2. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), **«Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου»**
3. Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος (Φεβρουάριος 2007), **«Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις»**, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
4. Epstein, E.(1997) **“The Science of Composting”** CRC Press, Technomic Publishing, Lancaster, PA, USA.
5. Rada, E.C., Franzinelli, A., Taiss, M., Ragazzi, M., Panaitescu, V., Apostol, T. (2007). **”Lower heating value dynamics during municipal solid waste biodrying”** *Environ. Technol.* 28: 463–469.
6. Themelis, N.J. (2005), **“Control of heat generation during composting.”** *Biocycle* 46: 28- 30.
7. Skourides, I., Theophilou, C., Loizides, M., Hood, P., Smith, S.R. (2006), **“Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes”** *In: Waste 2006 –Sustainable Waste and Resource Management. Stratford-upon-Avon, UK, 19–21 September 2006, Paper 2B-14.40.*
8. Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., Genevini, P. (2002), **“The influence of biomass temperature on biostabilization–biodrying of municipal solid waste”**, *Bioresource Technology* 83, 173–179.
9. Juniper (2005), **“Mechanical–Biological Treatment: A Guide for Decision Makers, Processes, Policies and Markets”**. Juniper Consultancy Services, UK.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

8.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτού του τμήματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση και η αποτίμηση των τεχνολογιών που αναλύθηκαν παραπάνω.

Τα κριτήρια που θα αποτελέσουν και τους βασικούς άξονες της εν λόγω αξιολόγησης είναι:

- οικονομικά (κόστος υποδομών και λειτουργίας).
- περιβαλλοντικά (εκπομπές αερίων, υπολείμματα, υγρά απόβλητα, ανακύκλωση υλικών),
- τεχνικά (απαιτήσεις γηπέδου κλπ),
- κοινωνικά (ανθρωπογενές περιβάλλον, αισθητική όχληση)

Θα καταγραφούν, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι επιπτώσεις και οι ωφέλειες που προκύπτουν από την υιοθέτηση της εκάστοτε από τις παραπάνω τεχνολογίες για την επεξεργασία των απορριμμάτων.

Βασικές παραμέτρους, για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την καταλληλότητα εφαρμογής της κάθε μεθόδου, αποτελούν και οι ποσότητες των προς επεξεργασία απορριμμάτων αλλά επιπρόσθετα και η γεωγραφική θέση της μονάδας επεξεργασίας. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει γίνει προσπάθεια να παρατεθούν ακριβή και αντικειμενικά στοιχεία, παρόλα αυτά δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αντικαταστήσει λεπτομερείς αξιολογήσεις προτάσεων για έργα, βασιζόμενες στη ακριβή γεωγραφική θέση, (π.χ ακριβή δεδομένα όσον αφορά στη τρέχουσα και προβλεπόμενη παραγωγή ΑΣΑ αλλά και σύστασή τους σε κάθε τοποθεσία). Όσον αφορά στην ποσότητα γίνεται αναγωγή σε ένα τόνο αποβλήτου όπου είναι εφικτό.

8.2 Οικονομική αξιολόγηση

Γενικότερα τα κόστη διαμορφώνονται βάσει των παρακάτω παραγόντων:

- Το κόστος της απόκτησης της γης, όπου θα γειτνιάζει το εργοστάσιο. Κάθετες εγκαταστάσεις απαιτούν μικρότερη έκταση
- Γεωγραφική θέση (χώρα- συγκεκριμένη περιοχή μέσα στη χώρα)
- Το χρόνο κατασκευής
- Χρόνος ζωής
- Τη δυναμικότητα
- Το ρυθμό χρήσης του εργοστασίου

- Την τεχνολογία και πολυπλοκότητα και το βαθμό ελέγχου της διεργασίας. (Εξαρτάται από την τοποθεσία και την σύσταση του εισερχόμενου υλικού)
- Το επίπεδο αυτοματοποίησης
- Την καθαρότητα του εισερχόμενου υλικού που έχει να κάνει με το βαθμό της διαλογής στη πηγή
- Τα έσοδα από την πώληση των προϊόντων κόμποστ, που και πάλι σχετίζεται με την ποιότητα του εισερχόμενου υλικού αλλά και το βαθμό ωρίμανσης του προϊόντος όσον αφορά το κόμποστ και το CLO
- Το τύπο ενεργειακής ανάκτησης (θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια ή συμπαραγωγή)
- Την ισχύουσα νομοθεσία όσον αφορά την απασχόληση των εργαζομένων
- Την ισχύουσα εθνική φορολογική νομοθεσία [1],[2],[4]

Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται στοιχεία για τα κόστη που αφορούν ποικίλες μονάδες αλλά οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω τα καθιστούν πρακτικά δύσχρηστα για την ομαδοποίηση τους με σκοπό μια συνοπτική παρουσίαση.

Συνήθως παρατίθενται στοιχεία που αφορούν το επενδυτικό κόστος που είναι σε κάποιο βαθμό ανεξάρτητο από την διαμόρφωση(configuration) της μονάδας. [5]

Ο παρακάτω Πίνακας δείχνει τα κόστη μιας μονάδας Κομποστοποίησης στην Ιταλία με δυναμικότητα 20.000 τόνους/έτος, τροφικών και κηπευτικών αποβλήτων.

Σκοπός αυτού του Πίνακα είναι η αποτύπωση των παραγόντων που συμβάλλουν στην διαμόρφωση του κόστους:

Πίνακας 8.1 : Κόστη μονάδας Κομποστοποίησης στην Ιταλία με δυναμικότητα 20000 τόνους/έτος

Κόστη	Επένδυση(€)	Απόσβεση(έτη)	Ετήσιο ισοδύναμο κόστος (€/έτος)	Συντήρηση (€/έτος)
Έκταση	500.000	20	47.196	
Υποδομές				
Σκυρόδεμα	595.000	20	56.163	5.950
Κτίρια της διεργασίας	532.500	20	55.971	5.925
Βιόφιλτρα	117.600	5	28.681	2.352
Γεφυροπλάστιγγα	30.000	10	4.271	600
Γραφεία	90.000	10	12.813	1.800
Άλλα βοηθητικά	300.000	10	42.713	15.000
ΣΥΝΟΛΟ			247.808	31.627

Εξοπλισμός				
Τεμαχιστής	150.000	7	27.832	7.500
Μείκτης τύπου κοχλία (Screw mixer)	100.000	7	18.555	5.000
Αναστροφέας	250.000	7	46.388	12.500
Κόσκινα	250.000	7	18.555	5.000
Διαχωριστής (eddy current separator)	100.000	7	18.555	5.000
Φορτωτής	160.000	7	29.688	8.000
Χοάνη	30.000	7	5.560	1.500
Φυσητήρες- Ανεμιστήρες	2 50.000	7	46.388	12.500
ΣΥΝΟΛΟ			192.966	57.000
Άλλα κόστη				
	Ετήσιο κόστος(€/έτος)			
Ανθρώπινο Δυναμικό	60.000			
Καύσιμα	35.000			
Ενέργεια	180.000			
Κόστος απόθεσης υπολειμμάτων	750.000			
ΣΥΝΟΛΟ	1.025.000			

Στον ακόλουθο πίνακα αποτυπώνονται τα κόστη μονάδων Κομποστοποίησης ανοιχτών και κλειστών συστημάτων σε ευρωπαϊκές χώρες προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος.

Πίνακας 8.2: Κόστη ανά τόνο μονάδων κομποστοποίησης

Χώρα	Διεργασία	Κόστος	Σχόλια
BE	Πράσινα απόβλητα *VFG απόβλητα	25-37€/τόνο 62-74€/τόνο	Όλα κλειστά και με βιοφίλτρα
DK	Κηπευτικά απόβλητα Απόβλητα κουζίνας	30€/τόνο 73-77€/τόνο	Περιλαμβάνει τα έσοδα από την πώληση του κόμποστ(11€/τόνο κόμποστ ή 4,5€/τόνο αποβλήτων)
FR	Πράσινα απόβλητα (σειράδια) Απόβλητα κουζίνας(σειράδια)	50-85€/τόνος, (Δ.6000τόνους/έτος) 63-95€/τόνος (Δ.6000 τόνους/έτος)	Περιλαμβάνονται έσοδα Τα υπολείμματα οδηγούνται προς

	Απόβλητα κουζίνας(στεγασμένα σειράδια χωρίς διαχείριση των οσμών)	41-68€/τόνο (Δ.12000τόνους/έτος)	καύση
	Απόβλητα κουζίνας(στεγασμένα σειράδια με διαχείριση των οσμών	50-91€/τόνο (Δ.22000τόνους/έτος)	
LUX	Οργανικό κλάσμα	71€/τόνο (Δ.4000 τόνους/έτος)	

* VFG: Vegetable, Food, Garden

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η χρήση τεχνολογιών Κλειστών συστημάτων Κομποστοποίησης επιφέρει υψηλότερα κόστη απ' ότι η χρήση Ανοιχτών συστημάτων. Προφανής επεξήγηση αυτής της διαφοράς είναι η απαίτηση πιο σύνθετου εξοπλισμού για την πρώτη περίπτωση. Αντίστοιχα προκύπτει και η διαφορά του κόστους ανάμεσα στις μονάδες Κομποστοποίησης που διαθέτουν συστήματα της διαχείρισης των οσμών σε αντίθεση με αυτές που δεν διαθέτουν. Στην βιβλιογραφία τα δεδομένα για τα κόστη της Αναερόβιας Χώνευσης είναι περιορισμένα και δεν είναι εξειδικευμένα στην διεργασία που ακολουθείται στην εκάστοτε μονάδα

Συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των τεχνολογιών

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά δύο μέθοδοι ομαδοποίησης αυτών των στοιχείων και τα αποτελέσματά τους.

Προσεγγιστικά μοντέλα

Στη βιβλιογραφία, προς διευκόλυνση της οικονομικής συγκριτικής αξιολόγησης κατασκευάζονται προσεγγιστικά μοντέλα που προκύπτουν από στατιστικές μεθόδους και δίνουν συναρτήσεις κοστών για την κάθε τεχνολογία και διαφορετικά εύρη δυναμικότητας. Ένα από αυτά παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 8.3: Προτεινόμενες συναρτήσεις κόστους

Type of Treatment Facility	Suggested Cost Functions		Range (ton/year)
	Initial Capital Investment (€)	Operating Cost (€/ton)	
Incineration	$y = 5.000 * x^{0,8}$	$y = 700 * x^{-0,3}$	$20.000 \leq x \leq 600.000$
Aerobic Mech. – Biol. Pre-treatment	$y = 1.500 * x^{0,8}$	$y = 4.000 * x^{-0,4}$	$7.500 \leq x \leq 250.000$
Anaerobic Mech. – Biol. Pre-treatment	$y = 2.500 * x^{0,8}$	$y = 5.000 * x^{-0,4}$	$7.500 \leq x \leq 250.000$
Anaerobic Digestion	$y = 34.500 * x^{0,55}$	$y = 17.000 * x^{-0,6}$	$2.500 \leq x \leq 100.000$
Composting	$y = 2.000 * x^{0,8}$	$y = 2.000 * x^{-0,5}$	$2.000 \leq x \leq 120.000$

Λεπτομερής ανάλυση για την κατασκευή αυτού του μοντέλου δίνεται στην βιβλιογραφία [7],[8]

Πολυκριτηριακή ανάλυση

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση μπορεί να ορισθεί ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων που προκύπτουν από αντικρουόμενους στόχους. Σε αυτήν με συγκεκριμένη διαδικασία ανάλογα με τον θεωρητικό υπόβαθρο του κάθε τύπου πολυκριτηριακής ανάλυσης γίνεται αξιολόγηση Σεναρίων - Τεχνολογιών

Η παρακάτω οικονομική συγκριτική αξιολόγηση έχει βασιστεί σε μελέτη που έχει εκπονηθεί με τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Οι μονάδες που αναλύονται παρακάτω αποτελούν τα λεγόμενα Σενάρια. Υπολογίζεται κόστος επένδυσης και το κόστος λειτουργίας της καθεμίας μονάδας επεξεργασίας με στοιχεία που αντλήθηκαν από τη διεθνή βιβλιογραφία και βασισμένα στην ευρωπαϊκή και ελληνική εμπειρία.

Μονάδες με τις εξεταζόμενες τεχνολογίες

Οι μονάδες που θα επιλεγούν προκειμένου να γίνει η συγκριτική αξιολόγηση από οικονομικής σκοπιότητας είναι οι παρακάτω:

- **M1:** Μονάδα Αερόβιας Μηχανικής Βιολογικής επεξεργασίας με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών με δυναμικότητα 110.000 τόνους
- **M2:** Μονάδα Αερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας με παραγωγή RDF με δυναμικότητα 110.000 τόνους.

- **M3:** Μονάδα Αναερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής επεξεργασίας με ανάκτηση ανακυκλώσιμων με δυναμικότητα 110.000 τόνους.
- **M4:** Μονάδα Αναερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής επεξεργασίας με παραγωγή RDF θα είναι 110.000 τόνοι ετησίως
- **M5:** Μονάδα Βιολογικής ξήρανσης με δυναμικότητα 110.00 τόνους ετησίως.

Αναλυτικά:

M1: Η Μονάδα Αερόβιας Μηχανικής Βιολογικής επεξεργασίας με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών και θα έχει δυναμικότητα 110.000 τόνους ανά έτος. Τα απόβλητα εισέρχονται στη μονάδα και μέσω μηχανικής διαλογής γίνεται διαχωρισμός του ξηρού κλάσματος (χαρτί, πλαστικό, μέταλλα) από το υγρό (οργανικό). Στη συνέχεια, το ξηρό κλάσμα οδηγείται προς χειροδιαλογή, όπου τα ανακυκλώσιμα διαχωρίζονται σε επιμέρους ρεύματα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Το υγρό κλάσμα πλούσιο σε οργανική ύλη οδηγείται σε μονάδα ταχείας κομποστοποίησης προς περαιτέρω επεξεργασία. Η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε κλειστά συστήματα για καλύτερο έλεγχο των οσμών και για μείωση των επιδράσεων των καιρικών φαινομένων. Το παραγόμενο CLO διατίθεται ανάλογα με την ποιότητα του, με πιο πιθανή χρήση του ως υλικό επικάλυψης σε Χ.Υ.Τ.Υ. ή σε αποκατάσταση Χ.Α.Δ.Α. Τα υπολείμματα που θα προκύψουν στη μονάδα θα οδηγηθούν προς ταφή.

Η μονάδα κομποστοποίησης θα έχει δυναμικότητα 40.000 tn και θα ενσωματωθεί ως διακριτή γραμμή επεξεργασίας στη ΜΒΕ. Θα διαθέτει ξεχωριστό χώρο υποδοχής και μηχανικής προεπεξεργασίας. Οι υποδομές της κομποστοποίησης, ωστόσο, θα είναι κοινές και ο καταμερισμός θα γίνεται ανάλογα με την ποσότητα του προδιαλεγμένου οργανικού που θα εισέρχεται στη μονάδα. Σε κάθε περίπτωση, τα προδιαλεγμένα οργανικά θα επεξεργάζονται σε ξεχωριστό τμήμα από ότι τα οργανικά των συμμείκτων. Αυτό έχει ως στόχο, την παραγωγή υψηλής ποιότητας κόμποστ από το προδιαλεγμένο οργανικό. Σε περίπτωση, που το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα η μονάδα θα μπορεί να λειτουργήσει και με δεύτερη βάρδια ώστε να καλύψει προσωρινά ποσότητες απορριμμάτων που προορίζονταν για το τμήμα κομποστοποίησης προδιαλεγμένων

M2: Η μονάδα Αερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας με παραγωγή RDF θα έχει δυναμικότητα 110.000 τόνους. Στην περίπτωση που το εισερχόμενο υλικό είναι σύμμεικτα απόβλητα θα γίνεται ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος και του κλάσματος που αποτελείται από μέταλλα, χαρτί, ξύλο, ύφασμα κ.λ.π από το οποίο με περαιτέρω μηχανική επεξεργασία θα παράγεται το RDF.

Το οργανικό κλάσμα θα οδηγείται στην μονάδα Κομποστοποίησης που έχει δυναμικότητα 40.000 τόνους, η οποία και εδώ θα αποτελεί διακριτή γραμμή επεξεργασίας, διαθέτοντας ξεχωριστό χώρο υποδοχής και μηχανικής επεξεργασίας. Η μονάδα αυτή θα διαθέτει δύο ξεχωριστά τμήματα επεξεργασίας, το μεν για το οργανικό που προέρχεται από τα σύμμεικτα, το δε για το διαλεγμένο στη πηγή και αυτό για να μην επέρχεται υποβάθμιση του παραγόμενου κόμποστ που προέρχεται από την επεξεργασία του προδιαλεγμένου οργανικού ρεύματος.

M3: Η μονάδα αναερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής επεξεργασίας με ανάκτηση ανακυκλώσιμων θα έχει δυναμικότητα 110.000 τόνους.

Τα απόβλητα εισέρχονται στη μονάδα και μέσω μηχανικής διαλογής γίνεται διαχωρισμός του ξηρού κλάσματος (χαρτί, πλαστικό, μέταλλα) από το υγρό (οργανικό). Στη συνέχεια το ξηρό κλάσμα οδηγείται προς χειροδιαλογή όπου τα ανακυκλώσιμα διαχωρίζονται σε επιμέρους ρεύματα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Το υγρό κλάσμα πλούσιο σε οργανική ύλη οδηγείται σε μονάδα αναερόβιας χώνευσης προς περαιτέρω επεξεργασία. Τα υπολείμματα της χώνευσης εξέρχονται από τον αντιδραστήρα και αφυδατώνονται εφόσον αυτό προβλέπεται από τη μέθοδο αναερόβιας χώνευσης που θα εφαρμοστεί. Το αφυδατωμένο υλικό που προκύπτει οδηγείται προς περαιτέρω σταθεροποίηση μέσω αερόβιας επεξεργασίας για την παραγωγή CLO, το οποίο θα διατεθεί ανάλογα με την ποιότητά του, με πιο πιθανή χρήση του ως υλικό επικάλυψης σε Χ.Υ.Τ.Υ. ή σε αποκατάσταση Χ.Α.Δ.Α. Παράλληλα, παράγεται και βιοαέριο προς ενεργειακή αξιοποίηση. Τα υπολείμματα που θα προκύψουν στη μονάδα θα οδηγηθούν προς ταφή σε Χ.Υ.Τ.Υ.

Αντίστοιχα με τις M1 και M2 η μονάδα αναερόβιας χώνευσης θα έχει δυναμικότητα 40.000 tn Και θα ενσωματωθεί ως διακριτή γραμμή επεξεργασίας στη MBE. Θα διαθέτει ξεχωριστό χώρο υποδοχής και μηχανικής προεπεξεργασίας. Οι υποδομές της αναερόβιας χώνευσης, ωστόσο, θα είναι κοινές στο βαθμό που αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό μέσω της κατασκευής περισσότερων του ενός αντιδραστήρων και ο καταμερισμός θα γίνεται ανάλογα με την ποσότητα του προδιαλεγμένου οργανικού που θα εισέρχεται στη μονάδα. Σε κάθε περίπτωση τα προδιαλεγμένα οργανικά θα επεξεργάζονται σε ξεχωριστούς αντιδραστήρες από ότι τα οργανικά των σύμμεικτων.

Σε περίπτωση που το πρόγραμμα διαλογής στην πηγή δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα η μονάδα θα μπορεί να λειτουργήσει με παραπάνω βάρδιες ώστε να καλύψει προσωρινά ποσότητες απορριμμάτων που προορίζονταν για το τμήμα αναερόβιας χώνευσης των προδιαλεγμένων.

M4: Η δυναμικότητα της μονάδας Αναερόβιας Μηχανικής και Βιολογικής επεξεργασίας με παραγωγή RDF θα είναι 110.000 τόνοι ετησίως. Τα απόβλητα που θα εισέρχονται στη μονάδα, κατόπιν μηχανικής επεξεργασίας αντίστοιχα με την M1 θα παράγεται το κλάσμα που με περαιτέρω επεξεργασία θα μετατρέπεται σε RDF και το οργανικό κλάσμα που θα οδηγείται στην μονάδα αναερόβιας Χώνευσης. Παράγεται βιοέριο προς ενεργειακή αξιοποίηση και το υπόλειμμα της Αναερόβιας Χώνευσης αφυδατώνεται όπως ορίζεται και εφόσον αυτό προβλέπεται οδηγείται προς αερόβια επεξεργασία με σκοπό την βιοσταθεροποίησή του και παραγωγή υλικού τύπου κόμποστ (CLO). Η μονάδα της Αναερόβιας Χώνευσης έχει δυναμικότητα 40.000 τόνους. Το οργανικό υλικό που προέρχεται από διαλογή στη πηγή απορρίμματα επεξεργάζεται σε ξεχωριστούς αντιδραστήρες.

M5: Η μονάδα της Βιολογικής ξήρανσης θα έχει δυναμικότητα 110.00 τόνους ετησίως. Ακολουθείται η διαδικασία όπως έχει περιγραφεί και στο κεφάλαιο της Βιολογικής Ξήρανσης. Γίνεται δηλαδή ανάκτηση των μετάλλων και επίσης παράγεται SRF. Τα υπολείμματα της μονάδας θα οδηγηθούν προς ταφή. Για την επεξεργασία των προδιαλεγμένων απορριμμάτων η μονάδα της Βιολογικής ξήρανσης πρέπει να συνδυαστεί με μία ανεξάρτητη μονάδα είτε αναερόβιας χώνευσης ή κομποστοποίησης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει επιλεγεί μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης με δυναμικότητα 40.000 τόνους. Η μονάδα αυτή θα είναι αυτόνομη διότι οι δύο αυτές τεχνολογίες δεν μπορούν να συνδυαστούν.

Επενδυτικό κόστος

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται το κόστος επένδυσης των εξεταζόμενων τεχνολογιών ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων .

Πίνακας 8.4: Ανηγγμένο επενδυτικό κόστος ανά τόνο[3]

Τεχνολογία	Επενδυτικό Κόστος	
	Μονάδα συμμείκτων	Μονάδα Προδιαλεγμένου Οργανικού
	€/tn συμμείκτων	€/tn προδιαλεγμένου
M1	210	140
M2	250	140
M3	300	210
M4	350	210
M5	250	300

Λειτουργικό κόστος

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα λειτουργικά κόστη για την κάθε μονάδα ανα τόνο εισερχόμενων αποβλήτων.

Πίνακας 8.5: Ανηγμένο λειτουργικό κόστος ανά τόνο[3]

Τεχνολογία	Λειτουργικό Κόστος	
	Μονάδα συμμείκτων	Μονάδα Προδιαλεγμένου Οργανικού
	€/tn συμμείκτων	€/tn προδιαλεγμένου
M1	60	40
M2	60	40
M3	75	50
M4	75	50
M5	65	65

Σχολιασμός:

1. Παρατηρούμε ότι το ανηγμένο επενδυτικό κόστος ανά τόνο ΑΣΑ που αφορά στη μονάδα Αερόβιας ΜΒΕ με παραγωγή RDF είναι πιο υψηλό σε σύγκριση με αυτό της μονάδας αερόβιας ΜΒΕ χωρίς παραγωγή RDF αλλά με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών. Αυτό οφείλεται στην περαιτέρω μηχανική επεξεργασία που απαιτείται για την παραγωγή αυτού του κλάσματος υψηλής θερμογονου δύναμης. Η παραγωγή dRDF σε σύγκριση με αυτήν του cRDF θα επιφέρει ακόμα πιο υψηλά κόστη, αφού η διαδικασία του πρώτου είναι περισσότερο ενεργοβόρα απ' ότι του δεύτερου (Βλ. ενότητα 5.3.2-«Παραγωγή RDF») [5]
2. Το επενδυτικό κόστος της μονάδας προδιαλεγμένου οργανικού υλικού στις μονάδες M1-M4 είναι μειωμένο, καθώς μπορούν να αξιοποιηθούν κοινές κτιριακές και άλλες υποδομές λόγω της συμβατότητας των δύο τεχνολογιών μεταξύ τους (αερόβια και αναερόβια επεξεργασία συμμείκτων και προδιαλεγμένων). Αντίθετα μονάδα M5 η μονάδα αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία του προδιαλεγμένου οργανικού θα κατασκευαστεί ως αυτόνομη μονάδα και μόνο επιμέρους έργα υποδομής θα μπορούν να αξιοποιηθούν.
3. Οι M3 και M4 που είναι μονάδες με Αναερόβια ΜΒΕ έχουν σαφέστατα υψηλότερο τόσο επενδυτικό όσο και λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μονάδες.
4. Η M5 που είναι η μονάδα που υιοθετεί την τεχνολογία της Βιολογικής Ξήρανσης είναι ακόμα και στην περίπτωση των σύμμεικτων ΑΣΑ είναι η ακριβότερη στην

περίπτωση της επεξεργασίας προδιαλεγμένου υλικού και αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι διαθέτει ανεξάρτητη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας για αυτό το σκοπό.

5. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι σε σημαντικό βαθμό συμβάλλει και η δυνατότητα διάθεσης των προϊόντων στην εκάστοτε περίπτωση αλλά και η τιμή πώλησης που επιτυγχάνεται. Είναι πιθανό ότι πολλά από τα παραγόμενα υλικά από ΜΒΕ θα έχουν μια αρνητική αξία και επομένως υπάρχει αντίκτυπος αυτού του «ρίσκου» στο συνολικό κόστος. Η επίδραση αυτού του παράγοντα μπορεί να είναι σημαντική αλλά και να διαφέρει κατά πολύ από περιοχή σε περιοχή ακόμα και εντός της ίδιας χώρας.

Πιο συγκεκριμένα, χαμηλές τιμές επιτυγχάνονται τόσο για το κόμποστ, όσο και τα για τα ανακτώμενα ανακυκλώσιμα υλικά στην περίπτωση όπου το εισερχόμενα απόβλητα είναι σύμμεικτα απορρίμματα. Ενώ παράλληλα προκειμένου να διαθέτουν τις προδιαγραφές των προδιαλεγμένων υλικών αυξάνεται το κόστος επένδυσης και λειτουργίας και εντέλει μπορεί να αποτελεί μονοσήμαντη λύση σε μια περιοχή προκειμένου τα υλικά αυτά να έχουν κάποια αξία μεταπώλησης π.χ πλαστικά(διαχωρισμός στα διαφορα είδη όπως PVC, PET, HDPE, κ.λ.π) Για τα παραπάνω σημαντικό ρόλο παίζουν οι απαιτούμενες προδιαγραφές των προϊόντων σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία της κάθε χώρας.

Τέλη εισόδου (Gate fees)

Το τέλος εισόδου (Gate fee) είναι το χρηματικό ποσό ανά τόνο αποβλήτου που καταβάλλει η εκάστοτε τοπική αρχή στον παροχέα υπηρεσιών επεξεργασίας των παραγόμενων ΑΣΑ στην συγκεκριμένη περιοχή, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ρεύμα εσόδων. Πολλές φορές τα τέλη εισόδου δεν καλύπτουν τα έξοδα των υπηρεσιών που παρέχονται [1]

Τα τέλη εισόδου για παρόμοιες επιλογές επεξεργασίας των ΑΣΑ μπορεί να διαφέρουν σημαντικά., μεταξύ των περιοχών μιας χώρας, ανάλογα με την πλεονάζουσα παραγωγική ικανότητα και τις τοπικές συνθήκες της αγοράς (οι αγορές χαρακτηρίζονται ως ένα βαθμό από το κόστος μεταφοράς των ΑΣΑ)

Οι παράγοντες που καθορίζουν τα τέλη εισόδου είναι σύνθετοι και κυμαίνονται από το μέγεθος της εγκατάστασης, την ηλικία της, τη φύση και την διάρκεια των συμβάσεων, αλλά και τα πιθανά έσοδα από την πώληση των ανακτημένων υλικών και γενικότερα την πώληση των προϊόντων. Παρά την ύπαρξη αυτών των διακυμάνσεων όσον αφορά στην διαμόρφωση των τελικών τελών εισόδου για τις εξεταζόμενες τεχνολογίες παρατηρείται ότι η τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης έχει τα υψηλότερα τέλη εισόδου ,ακολουθούμενη

από την τεχνολογία της Κομποστοποίησης με Κλειστά συστήματα και τέλος και πιο χαμηλά τέλη η Κομποστοποίηση με ανοιχτά συστήματα. Οι μονάδες ΜΒΕ που επεξεργάζονται σύμμεικτα ΑΣΑ έχουν υψηλότερα τέλη από ότι αυτές που δέχονται προδιαλεγμένα ΑΣΑ [10]

8.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια

Στην συγκριτική αξιολόγηση των υπό εξέταση τεχνολογιών σύμφωνα με τα περιβαλλοντικά κριτήρια θα ληφθούν υπ'όψιν οι παρακάτω παράμετροι:

- Αέριες Εκπομπές (θερμοκηπιακά αέρια, ΤΟC, VOC, βιοαερολύματα)
- Υγρά απόβλητα
- Στερεά απόβλητα (υπολείμματα)
- Ανακύκλωση υλικών

8.3.1 Αέριες εκπομπές

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας ποιοτικής συγκριτικής αξιολόγησης –αποτίμησης όσον αφορά τις αέριες εκπομπές των μονάδων όπου εφαρμόζονται οι εξεταζόμενες εκπομπές

Πίνακας 8.6: Ποιοτική σύγκριση παραγόμενων αέριων εκπομπών

Τεχνολογίες Αέρια	ΜΒΕ με Κομποστοποίηση		ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση	ΜΒΕ με Βιολογική Ξήρανση
	Ανοιχτά	Κλειστά		
Θερμοκηπιακά αέρια (CO ₂ , CH ₄ , NO _x)	+++ / +		++	+
N ₂ O	++ / -			
NH ₃	+++ / +		+	++
VOC	+++ / +		+	++
Οσμές	+++ / +		+	++
Διοξίνες/ Φουράνια	+ / -		++	
Βιαερολύματα	+++ / +		-	+

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

Σχολιασμός

- Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της παραπάνω ποιοτικής αξιολόγησης έχει ληφθεί υπ'όψιν και στις τρεις περιπτώσεις η συμβολή της μηχανικής επεξεργασίας (προετοιμασίας και διαχωρισμού των αποβλήτων) στην παραγωγή των αερίων εκπομπών που απαρτίζονται κυρίως από σκόνης, αμμωνία, πτητικές οργανικές ενώσεις όπως VOCs, και σκόνης βιολογικής προέλευσης (βιοαερολύματα). Τα **βιοαερολύματα** είναι βιολογικά ενεργά συστατικά που αιωρούνται στον αέρα με τη μορφή σκόνης και μπορεί να περιλαμβάνουν μύκητες και τα σπόριά τους, βακτήρια, ακτινομύκητες, ενδοτοξίνες και μυκοτοξίνες. Τα βιοαερολύματα συνδέονται με αλλεργικές παθήσεις (αλλεργική ρινίτιδα, άσθμα, βρογχίτιδα, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια) και άλλες βλάβες του αναπνευστικού συστήματος.[11]

- Σχετικά με την Κομποστοποίηση, κυρίως σε αυτήν των ανοιχτών συστημάτων, τα κυριότερα προβλήματα εστιάζονται στην εκπομπή των βιοαερολυμάτων, πτητικών οργανώσεων (VOC) οσμών και σκόνης. Σημαντικότερα είναι τα προβλήματα κυρίως όσον αφορά τις οσμές. Με πρακτικές καλού χειρισμού της διεργασίας, προκειμένου να αποτρέπεται η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών που προκαλούν τις έντονες οσμές, οι τελευταίες περιορίζονται σημαντικά. Ωστόσο, σχεδόν σε μηδενικό βαθμό παρουσιάζονται τα παραπάνω στην περίπτωση των κλειστών συστημάτων Κομποστοποίησης, όπως και στην περίπτωση των Στατικών Αεριζόμενων σωρών, στις οποίες γίνεται χρήση συστημάτων επεξεργασίας των οσμών με βιόφιλτρα ή άλλες φυσικοχημικές επεξεργασίες.

- Στην περίπτωση της Αναερόβιας χώνευσης λόγω του ότι η διεργασία πραγματοποιείται αποκλειστικά σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες αλλά και του ότι το βιοαέριο συλλέγεται ,δεν υπάρχουν αξιόλογες εκπομπές αερίων. Πιθανές εκπομπές μπορεί να είναι μεθάνιο και μπορεί να οφείλεται σε διαφυγή του βιοαερίου κατά την διεργασία και στην καύση του βιοαερίου όταν αξιοποιείται εντός της εγκατάστασης (CO₂, NO_x, CO, σωματίδια, VOC, H₂S, SO₂, κ.λ.π.) Όσον αφορά τις οσμές παράγονται μόνο κατά την προετοιμασία του ρεύματος τροφοδοσίας και την βιοσταθεροποίηση της χωνεμένης ιλύος, οι οποίες λαμβάνουν χώρα εκτός του βιοαντιδραστήρα, ωστόσο εξακολουθούν να πραγματοποιούνται εντός του κτιρίου με αποτέλεσμα να περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό εντέλει.

- Κατά την Βιολογική ξήρανση οι αέριες εκπομπές περιλαμβάνουν οσμές, αμμωνία και πτητικές οργανικές ενώσεις όπως VOCs από το στάδιο της βιολογικής Ξήρανσης αλλά και βιοαερολύματα σε όλες τις φάσεις (υποδοχή, ξήρανση, μηχανική μετεπεξεργασία) .Όλες αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν τα κατάλληλα μέσα αποκονίωσης και απόσμησης, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι στο στάδιο της μηχανικής μετεπεξεργασίας οι οσμές και τα βιοαερολύματα (βιοαεροζόλς) είναι αρκετά περιορισμένα εξαιτίας της υγειονομοποίησης του υλικού. Συχνά χρησιμοποιείται και η μέθοδος της Αναγεννητικής

θερμικής Οξειδωσης για την καταστροφή των πτητικών και οσμηρών οργανικών ενώσεων (αμμωνία θείο, μερκαπτάνες, VOCs, κ.λ.π) που είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

8.3.2 Υγρά απόβλητα

Κατά τις διεργασίες όλων των τεχνολογιών μπορούν να παραχθούν ποσότητες στραγγισμάτων. Παρακάτω παρατίθενται πίνακες που απεικονίζουν ποιοτική σύγκριση όσον αφορά την ποσότητα των παραγόμενων υγρών εκπομπών, αλλά και του ρυπαντικού φορτίου αυτών για την κάθε μία από τις εξεταζόμενες τεχνολογίες:

Πίνακας 8.7: Ποιοτική σύγκριση παραγόμενων ποσοτήτων υγρών αποβλήτων

		Ποσότητα υγρών αποβλήτων
ΜΒΕ με Κομποστοποίηση		++
ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση	«Ξηρή» Αναερόβια Χώνευση	++
	«Υγρή» Αναερόβια Χώνευση	+++
ΜΒΕ με Βιολογική Ξήρανση		+

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

Σχολιασμός

- Στις μονάδες επεξεργασίας που εφαρμόζουν την τεχνολογία της Κομποστοποίησης δημιουργούνται στραγγίσματα που μπορούν να ρυπάνουν επιφανειακά και υπόγεια νερά αν υπάρξει διαφυγή τους στο περιβάλλον χωρίς την απαιτούμενη επεξεργασία. Το πρόβλημα αυτό ωστόσο εύκολα αντιμετωπίζεται με απλά μέτρα που μπορούν να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό ή την λειτουργία της μονάδας. Συνήθως χρησιμοποιούνται για την διαβροχή των αποβλήτων εκ νέου, προκειμένου να τηρούνται τα επίπεδα υγρασίας που απαιτούνται κατά την διεργασία της βιοσταθεροποίησης. Οι ποσότητες των υγρών εκπομπών γενικά είναι αρκετά περιορισμένες σε αυτές τις εγκαταστάσεις.

- Στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης υπάρχει αρκετή περίσσεια νερού η οποία και σε αυτήν περίπτωση σε κάποιο βαθμό, υψηλότερο απ' ότι στην

κομποστοποίηση, ανακυκλώνεται εντός της διεργασία. Οι υγρές εκπομπές αυξάνονται στην περίπτωση επεξεργασίας προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος, καθώς η υγρασία αυτού του ρεύματος είναι μεγαλύτερη. Οι παραγόμενες ποσότητες στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης είναι υπολογίσιμες και προτείνονται οι εξής τεχνικές για την επεξεργασία τους:

- α. Ενσωμάτωση της διαχείρισης ύδατος στη διαχείριση των αποβλήτων και δημιουργία ενός «κλειστού» συστήματος.
- β. Ανακύκλωση κατά το μέγιστο ποσοστό των υγρών αποβλήτων στον αντιδραστήρα, για να διευκολύνεται η μετατροπή διαλυμένου οργανικού υλικού σε βιοαέριο [12]
 - Στις εγκαταστάσεις της βιολογικής ξήρανσης παράγονται ελάχιστες ποσότητες υγρών απόβλητων, περίπου 3% της αρχικής εισερχόμενης ποσότητας των ΑΣΑ. [13]

Η ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση σχετικά με την τυπική σύσταση των παραγόμενων στραγγισμάτων απεικονίζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8.8: Ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση σύστασης των παραγόμενων υγρών αποβλήτων

Τεχνολογίες Ρύποι	ΜΒΕ με Κομποστοποίηση	ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση		ΜΒΕ με Βιολογική Ξήρανση
		«Ξηρή» Αναερόβια Χώνευση	«Υγρή» Αναερόβια Χώνευση	
COD	+	++	+++	++
BOD	+	++	+++	++
Ολικό άζωτο	+	+++	++	+

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

Τα υγρά απόβλητα κάθε τεχνολογίας επεξεργάζονται εύκολα με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων

8.3.3 Στερεά απόβλητα (Υπολείμματα) - Επιπτώσεις στο έδαφος

Σε όλες τις εξεταζόμενες τεχνολογίες διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων μετά το τέλος της επεξεργασίας παράγεται ένα στερεό υπόλειμμα το οποίο προορίζεται προς ταφή. Η ποσότητα των υπολειμμάτων αυτών εξαρτάται από τα παραγωγικά τμήματα της μονάδας και την τεχνολογία που έχει επιλεγεί. Τα στερεά υπολείμματα προκύπτουν

κυρίως από την μηχανική επεξεργασία (διαχωρισμός-ραφινάρισμα) και είναι υλικά τα οποία δεν είναι αξιοποιήσιμα, όπως πέτρες, κομμάτια γυαλιού, τεμάχια πλαστικού και άλλες προσμείξεις δηλαδή δεν δύνανται να αποτελέσουν υλικό κατάλληλο για βιολογική επεξεργασία ή αποτελούν κακής ποιότητας για ανακύκλωση υλικά. Η ποσότητά τους καθορίζεται από την σύσταση του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος των αστικών στερεών αποβλήτων. Τέλος ένας παράγοντας που καθορίζει την ποσότητα είναι η παραγωγή ή όχι εναλλακτικού καυσίμου RDF αλλά και ο βαθμός που επιχειρείται ανάκτηση ανακυκλώσιμων.

Πίνακας 8.9: Ποιοτική σύγκριση των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών υπολειμμάτων

	Παραγωγή στερεών υπολειμμάτων
ΜΒΕ με Κομποστοποίηση και παραγωγή RDF	++
ΜΒΕ με Κομποστοποίηση & μόνο Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων	+++
ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση & παραγωγή RDF	++
ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση & μόνο Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων	+++
Βιολογική ξήρανση	+

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

Επιπτώσεις στο έδαφος της αναερόβιας χώνευσης και της κομποστοποίησης μπορούν προκληθούν από τη χρήση του υλικού «τύπου κόμποστ» ως εδαφοβελτιωτικό (επεξεργασία σύμμεικτων απορριμμάτων). Η πιθανή παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών αλλά και βαρέων μετάλλων συνιστά σημαντικό κίνδυνο για την δημόσια υγεία και για αυτό υπάρχουν θεσμοθετημένες προδιαγραφές στις περισσότερες χώρες όπου κριτήρια ποιότητας αναφέρονται στο προϊόν, στη διεργασία ή και στα δύο. Το «κόμποστ» που παράγεται από το εμπλουτισμένο οργανικό κλάσμα που λαμβάνεται μετά από ΜΒΕ είναι περισσότερο επιβαρυνμένο και σε αρκετές χώρες η χρήση του περιορίζεται σε αποκατάσταση χώρων και ως υλικό επικάλυψης σε ΧΥΤΑ/Υ. Η συγκέντρωση των παραμέτρων που επιφέρουν υποβάθμιση του κόμποστ εξαρτάται άμεσα από το αρχικό υλικό που χρησιμοποιείται και δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη διεργασία για αυτό και οι δύο τεχνολογίες τις περισσότερες φορές είναι εφάμιλλες.

8.3.4 Ανακύκλωση υλικών

Στον ακόλουθο πίνακα, απεικονίζεται ποιοτικά το ποσοστό ανακύκλωσης στην κάθε τεχνολογία επεξεργασίας. Σε όλες τις περιπτώσεις προβλέπεται ένα ελάχιστο ποσοστό ανακύκλωσης μέσω της διαλογής στην πηγή των συσκευασιών και της μονάδας επεξεργασίας προδιαλεγμένου οργανικού. Ο τελικό βαθμός ανακύκλωσης εξαρτάται κατά πολύ από την απόδοση του συστήματος διαλογής στην πηγή. Γενικότερα μεγαλύτερο ποσοστό παρατηρείται στις μονάδες οι οποίες δεν παράγουν RDF, διότι στην προκειμένη περίπτωση γίνεται κυρίως ανάκτηση μετάλλων. Στις περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται η ανάκτηση μέσω χειροδιαλογής αυξάνεται κατά πολύ ο βαθμός ανακύκλωσης

Πίνακας 8.10: Ποιοτική σύγκριση των ποσοστών ανακύκλωσης

	Ποσοστό Ανακύκλωσης
ΜΒΕ με Κομποστοποίηση και παραγωγή RDF	+
ΜΒΕ με Κομποστοποίηση & μόνο Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων	+++
ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση & παραγωγή RDF	+
ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση & μόνο Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων	+++
Βιολογική ξήρανση	+

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

8.4 Τεχνικά κριτήρια

Τα τεχνικά κριτήρια αποτελούν σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας της αξιολόγησης της κάθε μεθόδου επεξεργασίας των Αστικών Στερεών Αποβλήτων μιας αφορούν ζωτικής σημασίας διαστάσεις της λειτουργία της εγκατάστασης. Στον Πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται τα τεχνικά κριτήρια και η ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων σύμφωνα με αυτά.

Πίνακας 8.11: Συγκριτική αξιολόγηση σύμφωνα με τεχνικά κριτήρια

Μέθοδοι Κριτήρια	ΜΒΕ με Κομποστοποίηση	ΜΒΕ με Αναερόβια Χώνευση	ΜΒΕ με Βιολογική Ξήρανση
Απαίτηση σε έκταση	+++	+	++
Ενεργειακές Απαιτήσεις	++	-	+++
Πολυπλοκότητα-Λειτουργικές Απαιτήσεις	++	+++	+
Ευελιξία τεχνολογίας	+++	++	-
Κατανάλωση νερού	++	+++	-
Μείωση βάρους απορριμμάτων	++	+	+++

+++ Μεγάλο ποσοστό, ++Μεσαίο ποσοστό, +Μικρό ποσοστό, -Μηδέν, Τα κενά οφείλονται σε έλλειψη στοιχείων

Σχολιασμός

➤ Τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι μονάδες αερόβιας ΜΒΕ, με αυτές που διαθέτουν ανοιχτά συστήματα Κομποστοποίησης να καταλαμβάνουν σχεδόν τριπλάσια έκταση από εκείνες κλειστών συστημάτων. Οι μονάδες βιολογικής ξήρανσης παρόλο που βασίζονται στην ίδια τεχνολογία καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο σε σύγκριση με την αερόβια ΜΒΕ λόγω του μικρού χρόνου παραμονής των αποβλήτων στο βιολογικό τμήμα της εγκατάστασης. Η αναερόβια χώνευση απαιτεί τη μικρότερη έκταση λόγω των κάθετων συστημάτων που είναι συνηθέστερα.

➤ Σχετικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις η ποιοτική συγκριτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με την παραδοχή ότι στην περίπτωση αερόβιας και αναερόβιας ΜΒΕ το παραγόμενο RDF δεν οδηγείται σε στοιχειομετρική καύση εντός της μονάδας προκειμένου να καλυφθεί μέρος των ενεργειακών αναγκών, καθώς το ίδιο και το SRF στην Βιολογική ξήρανση. Αντίθετα το βιοαέριο στη Αναερόβια χώνευση αξιοποιείται εντός της μονάδας. Στην αντίθετη από την παραπάνω περίπτωση της κομποστοποίησης και της βιολογική ξήρανσης, δηλαδή με στοιχειομετρική καύση RDF και SRF που πλέον λαμβάνεται υπ' όψιν και η θερμογόνο δύναμη τους, οι ενεργειακές απαιτήσεις θα

κυμαίνονταν ως εξής : Βιολογική Ξήρανση -> Κομποστοποίηση -> Αναερόβια χώνευση (με τη βιολογική ξήρανση να έχει τις λιγότερες απαιτήσεις) [14]

➤ Βάσει του κριτηρίου της πολυπλοκότητας επιχειρείται να συγκριθούν οι διαμορφώσεις των εγκαταστάσεων με τις εξεταζόμενες τεχνολογίες. Την μικρότερη πολυπλοκότητα στη διαμόρφωσή της παρουσιάζει η Κομποστοποίηση και για αυτό βρίσκει την ευρύτερη εφαρμογή αυτήν την στιγμή στον τομέα της επεξεργασίας απορριμμάτων. Ακολουθεί η Αναερόβια Χώνευση τα συστήματα της οποίας παρουσιάζουν μεγάλη πολυπλοκότητα στην περίπτωση σύμμεικτων απορριμμάτων. Στην πρώτη θέση αναρριχάται η τεχνολογία της Βιολογικής ξήρανσης λόγω των συστημάτων της Θερμικής Οξειδωσης για την διαχείριση των αέριων εκπομπών. Ωστόσο η Βιολογική Ξήρανση παρουσιάζει δυνατότητα ευχερούς επεκτασιμότητας

➤ Σύμφωνα με το κριτήριο της ευελιξίας της τεχνολογίας αξιολογείται κατά πόσο δύναται η κάθε μέθοδος να ελιχθεί σε πιθανές διακυμάνσεις της εισερχόμενης ποσότητας αποβλήτων, αλλά και σε μελλοντικές μεταβολές των ευρωπαϊκών νομοθεσιών που θα έχουν αποτέλεσμα την ανάγκη μεγαλύτερο ποσοστού ανακύκλωσης υλικών και οργανικών. Η ΜΒΕ με κομποστοποίηση τόσο το στάδιο της μηχανική επεξεργασίας όσο και αυτό της κομποστοποίησης παρουσιάζουν σημαντική ευελιξία, καθώς η μηχανική επεξεργασία μπορεί να προσαρμοστεί στις εισερχόμενες ποσότητες διαμορφώνοντας αναλόγως το χρόνο λειτουργίας της κάθε γραμμής(προδιαλεγμένων-σύμμεικτων) όπως επίσης και τα συστήματα της κομποστοποίησης τεχνικά προσαρμόζονται εύκολα. Η ευελιξία των συστημάτων της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από το είδος τους, πιο συγκεκριμένα αν πρόκειται για συστήματα συνεχούς ροής δεν υπάρχει μεγάλη ευελιξία σε αντίθεση με αυτά του διαλείποντος έργου. Τέλος η βιολογική ξήρανση διαθέτει την μικρότερη ευελιξία λόγω του ότι κάποια από τα επιμέρους στάδια του έχουν ορισμένη δυναμικότητα

➤ Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το κριτήριο του ποσοστού μείωσης του βάρους των εισερχόμενων προς επεξεργασία απορριμμάτων, ως εξερχόμενα υλικά ληφθήκαν υπόψη όλα τα στερεά προϊόντα ανεξαρτήτου δυνατότητας αξιοποίησης π.χ RDF, SRF, άχρηστα(υπολείμματα), κόμποστ, υλικό «τύπου κόμποστ» και η σύγκριση βασίστηκε σε ισοζύγια μάζας. Οι διαφορές είναι σχετικά μικρές.

➤ Το κριτήριο της κατανάλωσης του νερού αφορά μόνο τις απαιτούμενες ποσότητες κατά τη διάρκεια των διεργασιών. Στις μονάδες ΜΒΕ με Κομποστοποίηση οι απαιτήσεις είναι περιορισμένες και το νερό χρησιμοποιείται μόνο για την ύγρανση των αποβλήτων όποτε αυτό είναι απαραίτητο, ενώ στην Αναερόβια Χώνευση απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Κατά την βιολογική ξήρανση στην οποία σκοπός είναι η ξήρανση των αποβλήτων δεν απαιτείται νερό.

8.5 Κοινωνικά κριτήρια

Η στοχοποίηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των Αστικών Στερεών Αποβλήτων από τις τοπικές κοινωνίες αποτελεί γεγονός σε πολλές περιπτώσεις. Η έλλειψη κοινωνικής αποδοχής είναι ένα από τα μεγαλύτερα ζητήματα που απασχολούν τους φορείς διαχείρισης στερεών αποβλήτων, μιας και πολλές φορές αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην χωροθέτηση ή την λειτουργία των μονάδων αυτών. Οι αντιδράσεις προκαλούνται κυρίως λόγω της οπτικής υποβάθμισης, της υποβάθμισης της αξίας των ακινήτων και των εκτάσεων καθώς και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος που γειτνιάζουν με τη μονάδα επεξεργασίας των ΑΣΑ. Η επίτευξη ή μη κοινωνικής αποδοχής της εκάστοτε προτεινόμενης λύσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα, την υφιστάμενη πρακτική διαχείρισης των αποβλήτων, το επίπεδο ευαισθητοποίησης και συνειδητοποίησης των προβλημάτων που σχετίζονται με τα απόβλητα, το εκπαιδευτικό σύστημα, τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας τη διαφορά στην οικονομική επιβάρυνση ανάμεσα στις υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης και τις προτεινόμενες λύσεις, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κ.ά.

Μια σύντομη αξιολόγηση θα πραγματοποιηθεί βάσει των δύο σημαντικότερων κριτηρίων:

Αισθητική όχληση

Όσον αφορά στην αισθητική όχληση οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης επιβαρύνουν το οπτικό περιβάλλον μέσω του συνήθως κατακόρυφου αντιδραστήρα. Η όχληση από μονάδες βιολογικής ξήρανσης διαφέρει ανάλογα με το σύστημα επεξεργασία των απασερίων (θερμική οξειδωση ή βιόφιλτρο) ενώ κάποιες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης λειτουργούν με οριζόντιο αντιδραστήρα.

Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό αυτοματισμού μίας εγκατάστασης. Η βιολογική ξήρανση είναι μια διαδικασία με σχετικά υψηλό βαθμό αυτοματισμού με μοναδικά παραγόμενα προϊόντα το σταθεροποιημένο υπόλειμμα και τα ανακτώμενα μέταλλα. Σε μονάδες ΜΒΕ Κομποστοποίησης και Αναερόβιας Χώνευσης ανάλογα με τη διαμόρφωση της μηχανικής διαλογής υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας ειδικά στην περίπτωση που υπάρχει χειροδιαλογή. Επίσης η ύπαρξη σταδίων επεξεργασίας όπως η ραφιναρία και η διάστρωση των βιολογικά επεξεργασμένων οργανικών σε πλατεία για την ωρίμανσή τους εξασφαλίζουν επιπλέον θέσεις εργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Eunomia Research and Consulting (2002), «**Costs for Municipal Waste Management in the EU**», Final Report to Directorate General Environment, European Commission
2. Jonas Byström (March 2010), “**Mechanical Biological Treatment Plants**”, Staff Working Papers -JASPERS Solid Waste and Energy Division
3. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), «**ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΣΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ**»
4. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας (Νοέμβριος 2006), «**Διαχείριση Στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα/Περίπτωση της Αττικής**»
5. Alexander P. Economidou (2009) ,“**Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods**”
6. Eunomia Research and Consulting (2009), “**ASSESSMENT OF THE OPTIONS TO IMPROVE THE MANAGEMENT OF BIO-WASTE IN THE EUROPEAN UNION ANNEX E: Approach to estimating costs**”, Final Report to Directorate General Environment, European Commission
7. Tsilemou, K. and D. Panagiotakopoulos (2004), “**Estimating Costs for Solid Waste Treatment Facilities**”, ISWA World Environmental Congress and Exhibition, 17-21 October 2004, Rome, Italy.
8. Τσιλέμου, Κ. και Δ. Παναγιωτακόπουλος (2005), “**Μια Στατιστική Μεθοδολογία Παραγωγής Συναρτήσεων Κόστους Εγκαταστάσεων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων**”, 5η Διεθνής Έκθεση και Συνέδριο για την Τεχνολογία Περιβάλλοντος (HELECO '05), 3-6 Φεβρουαρίου 2005, Αθήνα.
9. Tsilemou K. and D. Panagiotakopoulos (2005), “**Economic Sustainability Criteria and Indicators for Waste Management**” LCA-IWM. Contract number EVK\$-CT-2002-00087]
10. Wrap (2010), “**Comparing the cost of alternative waste treatment options**”, Gate Fees Report 2010, http://www.wrap.org.uk/downloads/2010_Gate_Fees_Report.4b6bd14c.9523.pdf
11. SAACUTENCHEZ-MONEDERO, MIGUEL A.; STENTIFORD, EDWARD I.; URPIAINEN, SARI T. (MAY 2005) , “**BIOAEROSOL GENERATION AT LARGE-SCALE GREEN WASTE COMPOSTING PLANTS**” , JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, VOL. 55 ISSUE 5, P612
12. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatment Industries, 8/2005)
13. Juniper 2005
14. Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος,(Φεβρουάριος 2007) «**Διαχείριση οικιακού τύπου απορριμμάτων/ προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και Ορθολογικές Λύσεις**», Πολυτεχνείο Κρήτης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η Ελλάδα στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ τελεί έναν αγώνα δρόμου προκειμένου να εναρμονιστεί με τις υπάρχουσες κοινοτικές οδηγίες τις οποίες ενσωματώνει σταδιακά στην εθνική της νομοθεσία. Η κατάσταση συνεχώς επιδεινώνεται από την αυξανόμενη παραγωγή των ΑΣΑ.

Καίριο ζήτημα αποτελεί η αποκατάσταση των εναπομεινάντων ΧΑΔΑ αλλά και η μείωση του όγκου των αποβλήτων που αποτίθενται σε χώρους Υγειονομικής Ταφής, προκειμένου να μειωθούν οι έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Από την Ε.Ε τίθενται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι και προτείνονται εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης που ακολουθούν μια ιεραρχία σύμφωνα με τον χαρακτηρισμό «βέλτιστης» ή «χείριστης» -κατά περίπτωση και όχι απόλυτα- από περιβαλλοντικής σκοπιάς.
2. Η κομποστοποίηση είναι η πιο ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία διαχείρισης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ. Ταξινομείται ως ανακύκλωση όταν το παραγόμενο κόμποστ έχει τις προδιαγραφές να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Η ποιότητα του κόμποστ, η οποία επηρεάζεται άμεσα από την σύσταση του προς επεξεργασία οργανικού κλάσματος, είναι πολλές φορές υποβαθμισμένη και δεν τηρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές, λόγω της περιορισμένης διαλογής των υλικών στη πηγή και έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καλλιεργητικό μέσο. Αυτό είναι ένα βασικό ζήτημα για μία χώρα, όπως η Ελλάδα, η οικονομία της οποίας βασίζεται στην γεωργία και έχει αυξημένες ανάγκες από τέτοιου είδους προϊόντα.

Επίσης άμεσο αποτέλεσμα είναι και η πολύ χαμηλή τιμή πώλησης του υλικού αυτού τύπου κόμποστ (CLO) που προκειμένου να καταστεί ποιοτικά ανταγωνιστικό αυξάνει το κόστος επεξεργασίας και πιθανόν να τεθεί σε κίνδυνο η βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Έτσι, η διαλογή στην πηγή καθίσταται επιτακτική ανάγκη, αν ληφθεί υπ'όψιν και το ότι παρόμοια προβλήματα αντιμετωπίζονται και στην περίπτωση των ανακυκλώσιμων υλικών (χαμηλή ποιότητα-χαμηλή τιμή).
3. Η κομποστοποίηση σε ανοιχτά συστήματα(σειράδια) αποτελεί μια οικονομική λύση λόγω της μεγαλύτερης λιτότητας, συγκριτικά με αυτήν των κλειστών συστημάτων, του μηχανολογικού εξοπλισμού. Ωστόσο, στα ανοιχτά συστήματα υπάρχει το πρόβλημα των αέριων εκπομπών(βιοαερόλυματα-οσμών), κάτι που στην περίπτωση των κλειστών συστημάτων εξαλείφεται.

4. Η μέχρι πρότινος χρήση της τεχνολογίας της Αναερόβιας Χώνευσης ήταν για την επεξεργασία της βιολογική ιλύος, ενώ στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ βρίσκει αυξημένη εφαρμογή τα τελευταία χρόνια.
Είναι μία λύση κατά την οποία πέρα από την παραγωγή υλικού τύπου κόμποστ, υπάρχει και ανάκτηση ενέργειας μέσω του βιοαερίου. Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι παρόμοια αυτής του φυσικού αερίου. Η καύση του βιοαερίου χρίζει ιδιαίτερης προσοχής λόγω των παραγόμενων τοξικών αερίων. Ωστόσο η παραγωγή ενέργειας μέσω του βιοαερίου συμβάλλει στην μείωση των συνολικών εκπομπών.
Επειδή πραγματοποιείται αποκλειστικά σε κλειστά και υψηλής τεχνολογίας συστήματα είναι αυτήν την στιγμή η ακριβότερη μέθοδος επεξεργασίας και δη αυτή των “πολλών σταδίων” που τεχνικά υπερέχει αλλά αυξάνει κατά πολύ το κόστος της μονάδας.
5. Η Βιολογική ξήρανση είναι μία μέθοδος που προορίζεται για επεξεργασία συμμείκτων απορριμμάτων κάτι που την καθιστά λιγότερο ευέλικτη τεχνολογία και συμβάλλει σε λιγότερο βαθμό στην ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών. Παράγει δευτερογενές καύσιμο SRF ικανοποιητικής θερμογόνου δύναμης και είναι μία οικονομικά προσιτή μέθοδος.
6. Γενικά ενιαίο πρόβλημα των μονάδων MBE, όπως περιγράφηκε παραπάνω και για το CLO, είναι η διάθεση των προϊόντων τους. Τα δευτερογενή καύσιμα RDF και SRF σε πολλές περιπτώσεις παράγονται σε πλεονάζουσες ποσότητες με συνέπεια να μην μπορεί να απορροφηθεί από την αγορά το 100%, πρόβλημα που ενισχύεται περαιτέρω από τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς που υπόκειται η καύση τους. Αυτό έχει ως συνέπεια να αποτίθενται στους χώρους Υγειονομικής Ταφής. Σίγουρα είναι υλικά σταθεροποιημένα σε σύγκριση με τα σύμμεικτα απόβλητα και ο όγκος τους είναι αρκετά μειωμένος.
7. Η καταλληλότητα της κάθε μεθόδου MBE για την κάθε περίπτωση όπου κρίνεται αναγκαία μια τέτοιου είδους εγκατάσταση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι η γεωγραφική θέση, το είδος και η σύσταση των εισερχόμενων αποβλήτων. Ωστόσο και οι τρεις μέθοδοι αποτελούν προτάσεις επεξεργασίας των ΑΣΑ, εναρμονισμένες με τις επιταγές της στρατηγικής της Ε.Ε στον τομέα της διαχείρισης των αποβλήτων για μια «κοινωνία ανακύκλωσης».

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Βασικό Ισχύον Ευρωπαϊκό & Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η διαχείριση των ΑΣΑ ρυθμίζεται από μία σειρά Οδηγιών της Ε. Ε, από τις οποίες οι πιο σημαντικές παρατίθενται παρακάτω:

Οδηγία 2008/98: Η νέα Οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ αντικαθιστά την Οδηγία 2006/12/ΕΚ (και καταργεί τις Οδηγίες για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και των λιπαντικών (75/439/ΕΚ, 91/689/ΕΚ)). Η αναθεώρηση της Οδηγίας έγινε στα πλαίσια υλοποίησης της Στρατηγικής για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση με στόχο να αποσαφηνίσει έννοιες όπως απόβλητο, διάθεση, αξιοποίηση, να ενισχύσει και να προωθήσει την πρόληψη της παραγωγής των απορριμμάτων, να εισάγει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής στη λήψη αποφάσεων για την διαχείρισή τους και να προωθήσει την ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Η Οδηγία θεσπίζει την ακόλουθη ιεράρχηση ως προτεραιότητα στη νομοθεσία και την πολιτική για τη διαχείριση των απορριμμάτων:

- α) πρόληψη
- β) ανακύκλωση
- γ) άλλου είδους ανάκτηση
- δ) διάθεση.

Επίσης καθορίζει πότε η αποτέφρωση των απορριμμάτων θεωρείται ανάκτηση, όταν δηλαδή επιτυγχάνεται ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, διαφορετικά διάθεση, με πολύ χαμηλή προτεραιότητα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους διαχείρισης, σε συμφωνία και με τα έγγραφα αναφοράς των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών για την αποτέφρωση των αποβλήτων (IPPC Directive). [1]

Από την εφαρμογή του τύπου της ενεργειακής απόδοσης που παρατίθεται στο Παράρτημα ΙΙ της Οδηγίας, προκύπτει ότι οι μονάδες αποτέφρωσης με μοναδικό σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεν μπορούν να ανταποκριθούν στο καθορισμένο όριο απόδοσης. Αυτό καθιστά την αποτέφρωση των αποβλήτων διαδικασία διάθεσης χαμηλής προτεραιότητας σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπως η Ελλάδα.

Το ίδιο ισχύει και για το συνδυασμό της βιολογικής ξήρανση των ΑΣΑ και την καύση του SRF που παράγεται, το οποίο έχει χαμηλότερη συνολική ενεργειακή απόδοση σε σύγκριση με την άμεση καύση των ΑΣΑ.[9]

Η νέα Οδηγία θέτει επίσης στόχους ανακύκλωσης και αξιοποίησης για τα ΑΕΚΚ (70% το 2020) αλλά και τα οικιακά απόβλητα (50% το 2020), προβλέπει τη θέσπιση στόχων πρόληψης της παραγωγής των απορριμμάτων το 2014, καθώς και τη χωριστή συλλογή υλικών όπως το χαρτί, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί από το 2015 και έπειτα.

Η νέα Οδηγία Πλαίσιο δεν επιβάλλει ποσοτικούς στόχους ειδικά για τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα, αλλά

προτρέπει (άρθρο 22) :

- Την ξεχωριστή συλλογή τους με στόχο την κομποστοποίηση, η οποία θεωρείται δράση ανάκτησης, ή την αναερόβια επεξεργασία τους
- Την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος
- Τη χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών προϊόντων από την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων

Η Οδηγία πλαίσιο θέτει όπως αναφέρθηκε το στόχο της ανακύκλωσης του 50% των οικιακών απορριμμάτων, και την χωριστή συλλογή υλικών, τουλάχιστον όσον αφορά στο γυαλί, πλαστικό, χαρτί και μέταλλο. Σύμφωνα με το σχέδιο διαβούλευσης που συνοδεύει την Πράσινη Βίβλο για τη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων, τα κράτη μέλη μπορούν να συμπεριλάβουν στον παραπάνω στόχο και τα οργανικά απόβλητα τα οποία αποτελούν σημαντικό κλάσμα των οικιακών απορριμμάτων.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή διερευνά το ενδεχόμενο θέσπισης ξεχωριστής οδηγίας για τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αλλά και τη θέσπιση προδιαγραφών για το compost και έχει προβεί στην ανάθεση σχετικών μελετών για το σκοπό αυτό. Επισημαίνεται πως το σχέδιο Οδηγίας που είχε δημοσιευθεί στο παρελθόν, διαφοροποιεί το κόμποστ (compost) και την κομποστοποίηση που αναφέρονται μόνο σε διαχωρισμένα στην πηγή βιοαπορρίμματα, από τα σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα (stabilized biowaste) που προέρχονται από την μηχανική/βιολογική επεξεργασία (mechanical / biological treatment – MBE) σύμμεικτων ή υπολειμματικών απορριμμάτων, ακόμη και στην περίπτωση που τα τελευταία πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές του compost. Στην παρούσα φάση η Επιτροπή συντονίζει ανοιχτό διάλογο για τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων, με κείμενο αναφοράς την Πράσινη Βίβλο που δημοσιεύτηκε το

Δεκέμβριο του 2008. Ο νόμος πλαίσιο με τον οποίο εναρμονίζεται η εθνική νομοθεσία παρουσιάστηκε τον Οκτώβριο του 2010

Η Οδηγία 98/2008 θέτει αρκετά φιλόδοξους στόχους και δεδομένου ότι στην Ελλάδα τα ποσοστά ανακύκλωσης είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, και η εφαρμογή προγραμμάτων ΔσΠ οργανικών είναι σχεδόν μηδενική, η εναρμόνιση στο εθνικό δίκαιο πιθανώς να γίνει πιο σταδιακά από ότι η ίδια η Οδηγία ορίζει.

Οδηγία 2004/62: Η Οδηγία 2004/62 θέτει ποσοτικούς στόχους σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων συσκευασίας, οι οποίοι είναι:

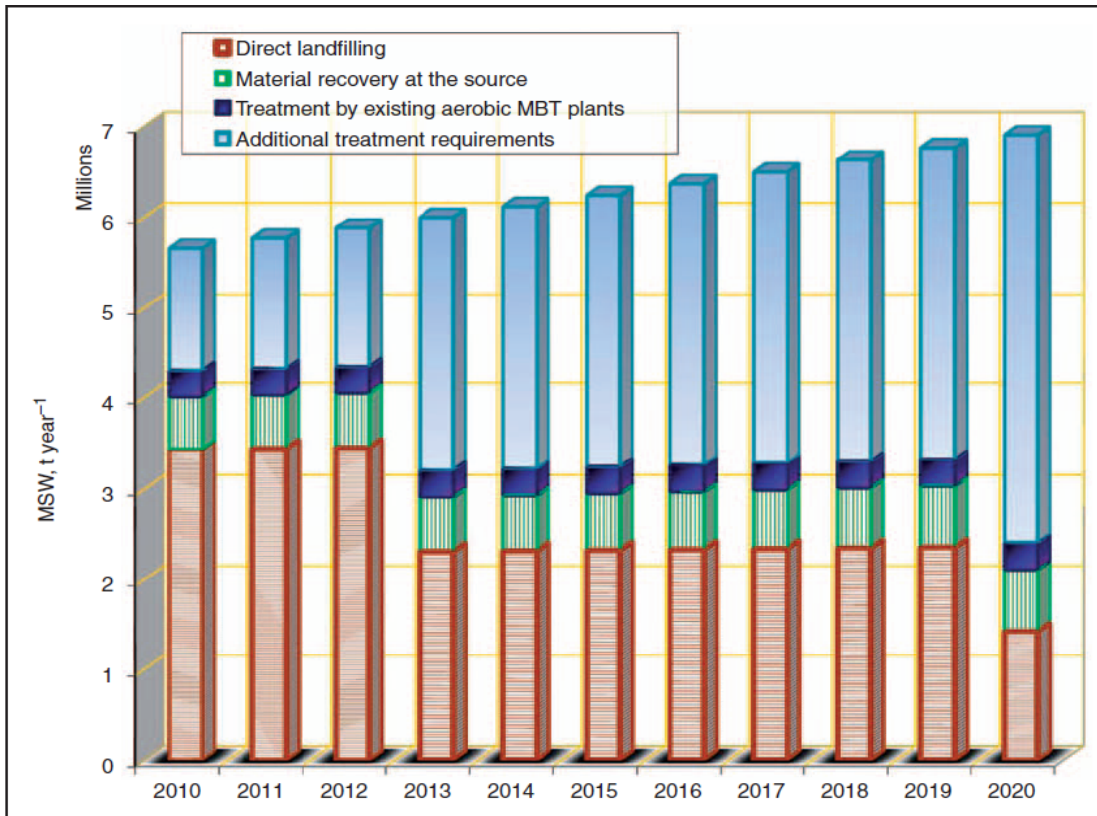
Μέχρι το τέλος του 2011, τουλάχιστον το 55% των αποβλήτων συσκευασιών πρέπει να ανακυκλωθούν και τουλάχιστον 60% πρέπει να ανακυκλωθούν και / ή να αποτεφρωθούν. Σε σχέση με τα παραπάνω, τουλάχιστον το 60% του γυαλιού και του χαρτιού, το 50% των μετάλλων, 22,5% των πλαστικών και το 15% του ξύλου που περιέχουν τα απόβλητα συσκευασίας πρέπει να ανακυκλωθούν. Οι ελάχιστες απαιτήσεις, συνεπώς, προέβλεψε ότι μπορεί να εκπληρωθεί με την ανακύκλωση υλικών και κάπως υψηλότερες απαιτήσεις που μπορεί να εκπληρωθεί με την ανακύκλωση και / ή αποτέφρωση

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

- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων Αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Ε.Α.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων / υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α/Υ.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής αδρανών αποβλήτων (Χ.Υ.Τ. Αδρανών)

Επιπροσθέτως, αποσκοπώντας στη διασφάλιση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, απαγορεύει τη διάθεση των ελαστικών, των νοσοκομειακών και άλλων τύπων αποβλήτων και καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής.

Τέλος θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, οι οποίοι είναι 75% το 2010, 50% το 2013, 35% το 2010, με ποσότητες αναφοράς εκείνες που οδηγήθηκαν προς Υ.Τ. το 1995. Επιβάλλεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής από τα κράτη μέλη, για την προσέγγιση των παραπάνω στόχων.



Διάγραμμα 4: Οι

απαιτήσεις της 1999/31 για την διαχείριση των ΑΣΑ με Υγειονομική Ταφή, Διαλογή στη Πηγή, Μηχανική-Βιολογική Επεξεργασία κ.α.[2]

1. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (Αύγουστος 2010), «Μελέτη Χωροθέτησης Εργοστασίου Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων- Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου

A P Econopoulos(2010), “A methodology for developing strategic municipal solid waste management plans with an application in Greece”, *International Solid Waste Association*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Αξιοποίηση- Αναβάθμιση Βιοαερίου

Αξιοποίηση

1. *Θέρμανση*

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το βιοαέριο σε λέβητες για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται να έχει ιδιαίτερα υψηλή ποιότητα. Η πίεση του βιοαερίου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 8 και 25 mbar. Συνιστάται η μείωση της συγκέντρωσης του H₂S στο βιοαέριο σε τιμές < 1.000 ppm καθώς με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η διατήρηση του σημείου δρόσου του περίπου στους 150 °C. Το θειώδες οξύ που σχηματίζεται στο συμπύκνωμα είναι ισχυρά διαβρωτικό. Για αυτό το λόγο συνιστάται η χρήση ανοξειδωτού χάλυβα ή πλαστικών ανθεκτικών σε υψηλές θερμοκρασίες στις καμινάδες. Οι περισσότεροι από τους σύγχρονους λέβητες διαθέτουν εναλλάκτες θερμότητας από αυτοκόλλητα φύλλα μπρούτζου και κασσίτερου, οι οποίοι διαβρώνονται ακόμη ταχύτερα και από τις σιδερένιες καμινάδες. Όπου είναι δυνατό συνιστάται η χρήση εναλλακτών θερμότητας από χυτοσίδηρο. Επίσης συνιστάται η συμπύκνωση του ατμού του νερού με το βιοαέριο. Με την απομάκρυνση του νερού απομακρύνεται και ένα μεγάλο ποσοστό του περιεχόμενου H₂S και με αυτόν τον τρόπο μειώνονται και τα προβλήματα με την διάβρωση και το σημείο δρόσου του βιοαερίου.[1]

2. *Μηχανές εσωτερικής καύσης*

Η αξιοποίηση του βιοαερίου σε μηχανές εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται από παλιά και αποτελεί μια τεχνολογία αξιόπιστη. Πολλές μηχανές λειτουργούν σε βιολογικούς καθαρισμούς και σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων χρησιμοποιώντας το παραγόμενο βιοαέριο. Το μέγεθος των μηχανών κυμαίνεται μεταξύ 45 kW σε μικρούς σταθμούς και μπορεί να φθάσει και σε μερικά MW σε μεγάλης κλίμακας σταθμούς. Οι απαιτήσεις της ποιότητας του βιοαερίου που χρησιμοποιείται σε μηχανές εσωτερικής καύσης είναι παραπλήσιες με αυτές για τη χρησιμοποίηση του βιοαερίου για παραγωγή θερμικής ενέργειας εκτός από τη συγκέντρωση του H₂S η οποία πρέπει να είναι μικρότερη στις μηχανές εσωτερικής καύσης προκειμένου αυτές να λειτουργήσουν σωστά. Οι μηχανές αυτοκινήτων, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με βενζίνη είναι πολύ πιο ευάλωτες στο H₂S από ότι οι μηχανές ντίζελ. Η παρουσία οργανικών πυριτικών ενώσεων στο βιοαέριο μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία προβλημάτων τριβής και για αυτό το

λόγο εάν ανιχνευτούν τέτοιες ενώσεις θα πρέπει να απομακρύνονται. Στις μηχανές βιοαερίου, οι εκπομπές NOx είναι συνήθως χαμηλές εξαιτίας της παρουσίας του CO₂ στο βιοαέριο. Σύνηθες πρόβλημα αποτελούν οι συγκεντρώσεις του CO. Η μείωση της συγκέντρωσης του CO είναι δύσκολο να επιτευχθεί από τους καταλύτες λόγω της παρουσίας του H₂S στο βιοαέριο. Ωστόσο, από περιβαλλοντική σκοπιά η παρουσία του CO αποτελεί πολύ μικρότερο πρόβλημα από ότι η παρουσία του NOx γιατί οξειδώνεται αμέσως σε CO₂ το οποίο αποτελεί μέρος του φυσικού κύκλου ζωής του άνθρακα.[1]

3. Καύσιμα οχημάτων

Για την αξιοποίηση του βιοαερίου ως καύσιμο οχημάτων χρησιμοποιούνται οι ίδιες μηχανές και η ίδια διαμόρφωση του οχήματος όπως και στο φυσικό αέριο. Στον κόσμο σήμερα υπάρχουν πάνω από 1 εκ. οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, οπότε προκύπτει ότι η διαμόρφωση του οχήματος ή της μηχανής δεν αποτελεί πρόβλημα για την αξιοποίηση του βιοαερίου ως καυσίμου οχημάτων. Ωστόσο, οι απαιτήσεις για την ποιότητα του βιοαερίου είναι αυστηρές και για να επιτευχθούν το βιοαέριο που παράγεται από ένα χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ή από ένα χωνευτή πρέπει να αναβαθμιστεί. Με την αναβάθμιση του βιοαερίου επιτυγχάνεται αέριο το οποίο:

- Έχει μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη, ώστε να μπορεί να καλυφθεί μεγαλύτερη απόσταση από το όχημα
- Έχει σταθερή, συνηθισμένη ποιότητα φυσικού αερίου, ώστε να είναι ασφαλής η χρήση του
- Δεν ενισχύει την διάβρωση, λόγω του ότι μειώνονται οι αρχικά υψηλές συγκεντρώσεις H₂S,
- αμμωνίας και νερού
- Δεν περιέχει σωματίδια που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στις μηχανές
- Δεν προκαλεί εμφράξεις λόγω του μειωμένου ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας
- Έχει εγγυημένη ποιότητα

Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι το CO₂, το H₂S, η αμμωνία, το νερό και τα σωματίδια (ακόμη και σε ίχνη), πρέπει να απομακρύνονται ώστε το παραγόμενο βιοαέριο προκειμένου να αξιοποιηθεί ως καύσιμο οχήματος, να περιέχει μεθάνιο 95% κ.ο. Σημειώνεται ότι οι προδιαγραφές για χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο οχημάτων διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο αποτελεί το καθαρότερο

καύσιμο οχήματος, όσον αφορά στο περιβάλλον, στο κλίμα και στην ανθρώπινη υγεία. Έκθεση της Σουηδίας το 1995 σχετικά με εναλλακτικές μορφές καυσίμου, κατατάσσει το βιοαέριο στην κορυφή.[1]

4. Συσσωρευτές Καυσίμου

Οι συσσωρευτές καυσίμου αποτελούν συστήματα παραγωγής συνεχούς ρεύματος, που χρησιμοποιούν καύσιμο και οξυγόνο του αέρα σε μια ηλεκτροχημική αντίδραση. Στην διεργασία αυτή δεν περιλαμβάνεται και ενδιάμεσο στάδιο μετατροπής του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια και θερμική ενέργεια. Η αντίδραση είναι παρόμοια με αυτή των μπαταριών, ωστόσο οι συσσωρευτές καυσίμου δεν αποθηκεύουν την ενέργεια μέσω χημικών ουσιών εσωτερικά. Στην αντίδραση αυτή, καταρχήν το καύσιμο μετατρέπεται σε υδρογόνο μέσω καταλυτών και ακολούθως το υδρογόνο μετατρέπεται σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Τα παραπροϊόντα της αντίδρασης είναι νερό και CO₂. Η απόδοση της αντίδρασης σε ηλεκτρισμό ξεπερνά το 50%. Υπάρχουν πέντε (5) τύποι συσσωρευτών καυσίμου, αναλόγως με τον χρησιμοποιούμενο ηλεκτρολύτη:[1]

α. Αλκαλικοί συσσωρευτές (AFC)

Οι αλκαλικοί συσσωρευτές καυσίμου χρησιμοποιούνται ευρέως στο διαστημικό πρόγραμμα της NASA αλλά είναι σχετικά δύσκολο να εφαρμοστούν και στη γη εξαιτίας της μη ανοχής τους στα οξείδια του άνθρακα που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

β. Συσσωρευτές φωσφορικού οξέος (PAFC)

Οι συσσωρευτές φωσφορικού οξέος σήμερα είναι οι μοναδικοί εμπορικοί συσσωρευτές καυσίμου. Μελέτη σκοπιμότητας έχει καταλήξει στο ότι οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές μπορούν να λειτουργήσουν με βιοαέριο χωρίς να έχει προηγηθεί απομάκρυνση του CO₂, ωστόσο θα πρέπει να έχει λάβει χώρα οπωσδήποτε προσεκτικός καθαρισμός του βιοαερίου από αλογόνα και H₂S.

γ. Συσσωρευτές υγρού άνθρακα (MCFC)

Οι συσσωρευτές αυτοί αποτελούν τύπο συσσωρευτών που δεν απαιτούν την ύπαρξη εξωτερικών μονάδων επεξεργασίας του καυσίμου. Το περιεχόμενο στο βιοαέριο μεθάνιο και ο ατμός μετατρέπονται σε αέριο πλούσιο σε υδρογόνο στο θετικό ηλεκτρόδιο το οποίο αποτελεί τμήμα του συσσωρευτή. Πιλοτικές μονάδες εφαρμογής

των συσσωρευτών αυτών έχουν αποδείξει ότι η απόδοση στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι της τάξης του 50%. [1]

δ. Συσσωρευτές στερεού οξειδίου (SOFC)

Οι συσσωρευτές αυτοί χρησιμοποιούν ως ηλεκτρολύτη ζιρκόνιο. Λειτουργούν σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης ή ελαφρώς αυξημένη πίεση σε θερμοκρασίες άνω των 900 °C. Τα κύρια πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών είναι η ανθεκτικότητα τους στους ρυπαντές του καυσίμου, ότι οι υψηλές εφαρμοζόμενες θερμοκρασίες δεν απαιτούν τη χρησιμοποίηση ακριβών καταλυτών και ότι επιτρέπει την απευθείας επεξεργασία του καυσίμου. [1]

ε. Συσσωρευτές μεμβρανών ανταλλαγής πρωτονίων (PEM)

Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν την πιο compact μορφή και είναι οι μοναδικοί που λειτουργούν σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου βρασμού του νερού και για αυτό το λόγο προτιμούνται από τις μεγάλες εταιρείες κατασκευής οχημάτων.

Αναβάθμιση

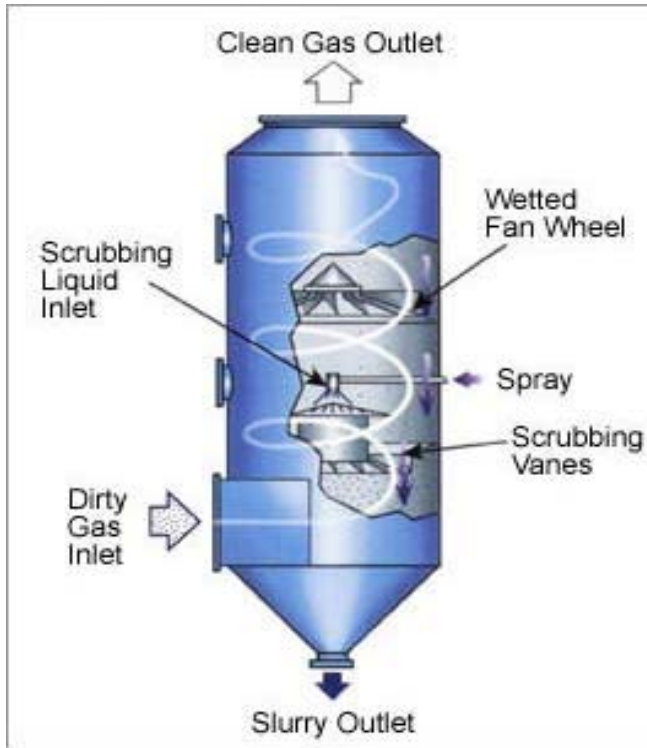
1. Απομάκρυνση CO₂

Προκειμένου να αξιοποιηθεί το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων πρέπει να εμπλουτισθεί σε μεθάνιο. Το ανωτέρω επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της απομάκρυνσης του CO₂, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της ενεργειακής αξίας και δύναμης του βιοαερίου. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται σταθερή ποιότητα αερίου και ενεργειακή αξία, το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στους κατασκευαστές οχημάτων προκειμένου να ελαττωθούν οι εκπομπές NO_x. Σήμερα υπάρχουν τέσσερις (4) μέθοδοι για την απομάκρυνση του CO₂ από το βιοαέριο με σκοπό το βιοαέριο να έχει τέτοια ποιότητα ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων είτε να έχει την ποιότητα φυσικού αερίου και να διατεθεί στο εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

i. Απορρόφηση με χρήση νερού

Η μέθοδος της απορρόφησης χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση τόσο του CO₂ όσο και του H₂S, τα οποία είναι πιο διαλυτά από το μεθάνιο. Η μέθοδος περιλαμβάνει φυσικοχημικές αντιδράσεις του απορροφητικού υλικού με τη διαλυμένη ύλη. Το αέριο που πρόκειται να απορροφηθεί εισάγεται στον πυθμένα της στήλης και αφήνεται να ανέλθει μέσα από το μέσο απορρόφησης ή εναλλακτικά το απορροφητικό μέσο

ψεκάζεται πάνω στο προς επεξεργασία αέριο ρεύμα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου απορρόφησης καθώς και η σύνθεση του αερίου καθορίζουν τη συμπεριφορά του μέσου κατά την επεξεργασία.



Σχήμα 11: Αναπαράσταση συστήματος απορρόφησης με χρήση νερού [2]

ii. Απορρόφηση με χρήση γλυκόλης

Πολλές φορές ως μέσο απορρόφησης χρησιμοποιούνται οι γλυκόλες. Από τις διαθέσιμες τεχνικές ξεχωρίζει η μέθοδος Selexol που με τη χρήση κατάλληλου διαλύτη απομακρύνει το CO_2 και το H_2S από το ρεύμα του βιοαερίου σε χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή πίεση. Η τεχνολογία Selexol υπερτερεί της αντίστοιχης με το νερό καθώς τόσο το CO_2 όσο και το H_2S είναι πολύ πιο ευδιάλυτα στο Selexol από ότι στο νερό. Τρεις τύποι γλυκόλης έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την αφυδάτωση φυσικού αερίου: η αιθυλενογλυκόλη (EG), η διαιθυλενογλυκόλη (DEG) και η τριαιθυλενογλυκόλη (TEG). Η αιθυλενογλυκόλη είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη γλυκόλη, κυρίως για λόγους κόστους καθώς η αντίστοιχη διεργασία αφυδάτωσης πραγματοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Έχει μάλιστα εφαρμοστεί επιτυχώς σε projects αξιοποίησης βιοαερίου. Σε αυτήν την τεχνολογία πάντα χρησιμοποιείται ανακυκλοφορία.

iii. Φίλτρα άνθρακα

Τα φίλτρα άνθρακα χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό ενός μεγάλου πλήθους συστατικών του βιοαερίου. Κατά τη ροή του βιοαερίου μέσα από τα φίλτρα άνθρακα, τα σωματίδια συγκρατούνται από τα φίλτρα άνθρακα, χωρίς όμως να δεσμεύονται μόνιμα εκεί. Η εκλεκτικότητα στην προσρόφηση στα φίλτρα επιτυγχάνεται μέσω διαφοροποίησης στο μέγεθος των κόκκων του φίλτρου ή/και μέσω διαφορετικών εφαρμοζόμενων πιέσεων στο βιοαέριο. Όταν η εφαρμοζόμενη πίεση παύσει να υπάρχει τα προσροφημένα στα φίλτρα σωματίδια απομακρύνονται.[1]

iv. Διαχωρισμός με μεμβράνες

Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων διαχωρισμού στοιχείων του βιοαερίου με μεμβράνες: το σύστημα διαχωρισμού με εφαρμογή υψηλής πίεσης φάσεων του βιοαερίου και στις δύο πλευρές της μεμβράνης και το σύστημα διαχωρισμού με εφαρμογή χαμηλής πίεσης αερίου όπου ένα υγρό μέσο απορροφά τα συστατικά και ακολούθως τα διαχέει μέσω της μεμβράνης. Γενικά, οι τεχνικές διαχωρισμού με μεμβράνες διαχωρίζουν αέρια μίγματα χρησιμοποιώντας μεμβράνες που παρουσιάζουν διαφορετική διαπερατότητα ως προς τα επιμέρους συστατικά. Για την αναβάθμιση του βιοαερίου σε ποιότητα εφάμιλλη του φυσικού αερίου έχουν χρησιμοποιηθεί συστήματα ελικοειδών μεμβρανών με κύριο συστατικό οξική κυτταρίνη. Γενικά οι τεχνικές διαχωρισμού με μεμβράνες έχουν χρησιμοποιηθεί με αρκετή επιτυχία σε πιλοτικά προγράμματα επεξεργασίας και ποιοτικής αναβάθμισης βιοαερίου.

2. Απομάκρυνση H₂S

Το H₂S είναι ένα συστατικό που απαντάται πάντα στο βιοαέριο, σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, ανάλογα με την πηγή παραγωγής του βιοαερίου. Επειδή είναι πολύ διαβρωτικό απαιτείται η απομάκρυνση του προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιοποίηση του βιοαερίου. Δύο είναι οι πιο κοινές μέθοδοι απομάκρυνσης του H₂S από το βιοαέριο:

- Η προσθήκη αέρα/οξυγόνου στο βιοαέριο που παράγεται από το χωνευτή
- Η προσθήκη χλωριδίου του σιδήρου στο μίγμα του χωνευτή

Περισσότερο σπάνιες είναι οι παρακάτω:

- Η προσθήκη οξειδίου του σιδήρου
- Η προσθήκη ενεργού άνθρακα
- Η απορρόφηση με νερό

- Η απορρόφηση με αμμωνία

3. Απομάκρυνση αλογονωμένων υδρογονανθράκων

Οι αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες κυρίως απαντώνται στο βιοαέριο που παράγεται στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων. Η απομάκρυνση τους είναι δυνατή μέσω εναλλακτών σταθερής πίεσης πληρωμένων με ενεργό άνθρακα. Οι μικρομοριακές ενώσεις, όπως τα CH₄, CO₂, N₂ και O₂ περνούν μέσω των αγωγών αυτών ενώ οι πιο μεγαλομοριακές ενώσεις προσροφώνται. Το μέγεθος των εναλλακτών είναι κατάλληλο ώστε να επιτυγχάνεται καθαρισμός του βιοαερίου σε χρόνο μικρότερο των 10 ωρών. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο παράλληλα δοχεία, από τα οποία στο ένα γίνεται η επεξεργασία του βιοαερίου ενώ στο δεύτερο γίνεται η εκρόφηση του επεξεργασμένου αερίου. Η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα γίνεται μέσω θέρμανσης σε θερμοκρασία 200 °C, οπότε και εξατμίζονται όλα τα προσροφημένα στοιχεία.

4. Απομάκρυνση οργανικών πυριτικών ενώσεων

Οι οργανικές πυριτικές ενώσεις συνήθως απαντώνται στο βιοαέριο και μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Κατά την καύση οι ενώσεις αυτές οξειδώνονται σε οξείδια του πυριτίου, τα οποία συγκεντρώνονται σε διάφορα μέρη της μηχανής (μπουζιά, βαλβίδες, κεφαλές κυλίνδρων κ.λπ.) προκαλώντας σοβαρές ζημιές. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να απομακρυνθούν με απορρόφηση σε κατάλληλο υγρό μέσο. Το μέσο αυτό αναγεννάται με θέρμανση και εκρόφηση.

5. Απομάκρυνση οξυγόνου και αζώτου

Η παρουσία οξυγόνου και αζώτου στο βιοαέριο είναι απόδειξη ότι έχει εισέλθει μέσα σε αυτό αέρας. Αυτό συμβαίνει κυρίως στους χώρους υγειονομικής ταφής όπου το βιοαέριο συλλέγεται μέσω φρεατίων υπό πίεση. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις βιοαερίου δεν αποτελούν πρόβλημα σε αντίθεση με τις υψηλές συγκεντρώσεις οι οποίες εγκυμονούν τον κίνδυνο εκρήξεων. Βιοαέριο με περίπου 50% περιεκτικότητα σε μεθάνιο, είναι εκρηκτικό στον αέρα σε συγκεντρώσεις 5 – 12%. Το οξυγόνο και το άζωτο μπορούν να απομακρυνθούν με χρήση μεμβρανών ή με χρήση φίλτρων άνθρακα, ωστόσο η απομάκρυνση τους έχει ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Για αυτό ο

ασφαλέστερος και οικονομικότερος τρόπος για την απουσία οξυγόνου και αζώτου από το βιοαέριο είναι η πρόληψη, δηλαδή η αποτροπή της εισόδου αέρα στο βιοαέριο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Fabien Monnet (November 2003), “**An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes**”, Company: *Remade Scotland*
2. <http://www.mikropul.com/products/wscrubber/mikrovane.html>