



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Χημικών Μηχανικών

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και
Τεχνολογίας



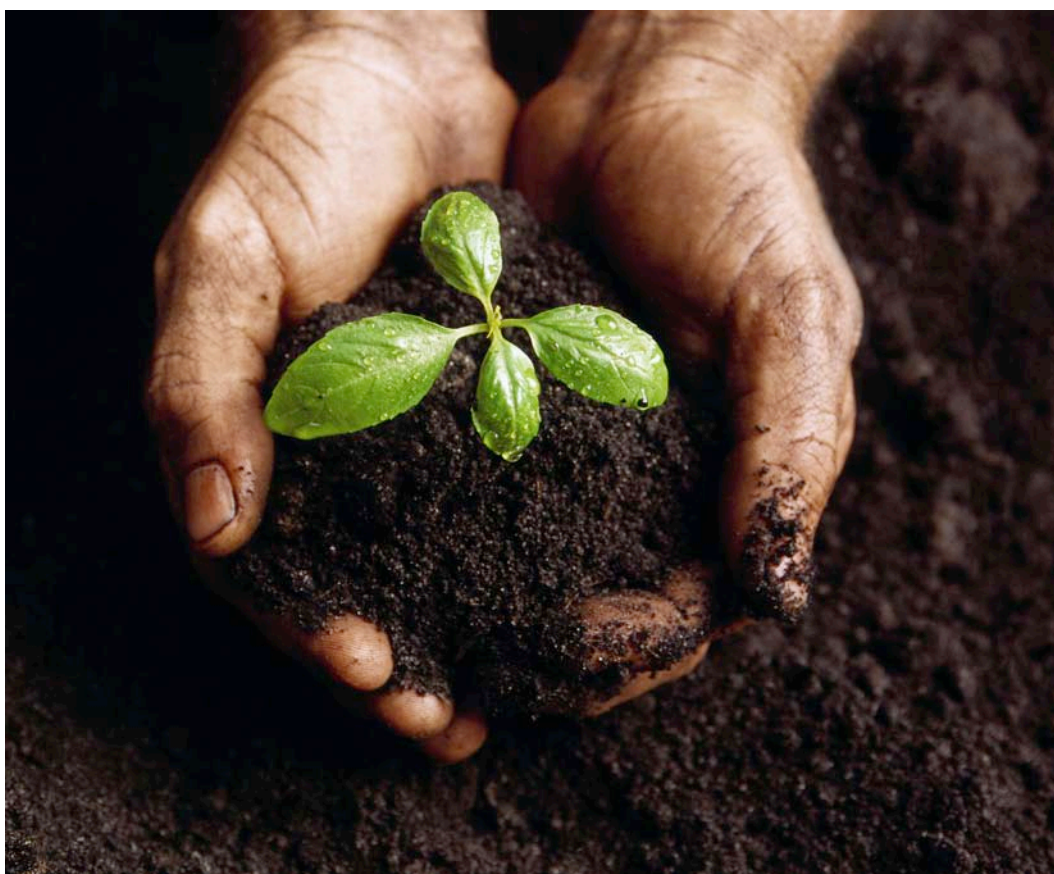
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Δ.Π.Μ.Σ. Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων

Ειδίκευση : «Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« Τεχνοοικονομική Εκτίμηση Σεναρίων Διαχείρισης
Αστικών Στερεών Αποβλήτων Διαλεγμένων στην Πηγή »**



Στυλιανός Λιάγκος

Επιβλέπων: Γ. Λυμπεράτος – Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Γεράσιμο Λυμπεράτο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα σύγχρονο και ταυτόχρονα πολύ ενδιαφέρον θέμα καθώς επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση καθ'όλη τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με αυτό.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τη Δρ. Μάρθα Γεωργιοπούλου για τη συνεχή προθυμία, καθοδήγηση και επίβλεψη που μου προσέφερε και την καθοριστικής σημασίας συμβολή της στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής, κ. Απόστολο Βλυσίδα και κ. Δημήτριο Σιδηρά.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου και την οικογένεια μου για τη βοήθεια και τη στήριξη τους.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων" με ειδίκευση "Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας & Προστασίας Περιβάλλοντος"

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα σύγχρονο και ταυτόχρονα περίπλοκο ζήτημα το οποίο προβληματίζει και αναζητά συνεχώς λύσεις είναι η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων και ειδικότερα των βιοαποβλήτων που προκαλούν ρύπανση των εδαφών, ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα και συμβάλλουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η ορθολογική εναλλακτική διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων καθίσταται επιτακτική ανάγκη. Η εφαρμογή ή σύγκριση μεθόδων, όπως η ξήρανση και η κομποστοποίηση οι οποίες επιτυγχάνουν τη επεξεργασία, ανακύκλωση, προάγει περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναπτύσσονται τρία εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων και γίνεται τεχνοοικονομική εκτίμηση των εναλλακτικών σεναρίων. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού κατασκευάστηκε ένα μοντέλο τύπου ρυζόχαρτου (spreadsheet) για το σχεδιασμό των διαφορετικών σεναρίων και τη τεχνοοικονομική εκτίμηση.

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή του Σεναρίου 2, στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος της ξήρανσης ως μέθοδος επεξεργασίας των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων, έχει το μικρότερο κόστος σε σύγκριση με τα άλλα δύο σενάρια που εξετάστηκαν. Επιπλέον η χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμη ύλη καθιστά το σενάριο αυτό οικονομικότερο.

Τέλος με την αποκεντρωμένη διαχείριση των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων επιτυγχάνεται η ορθολογική διαχείριση τους, με μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα μειώνονται οι επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον.

ABSTRACT

A contemporary and complicate issue which is seeking for a more effective solution is the management of the Municipality Solid Waste, and specifically the biowaste that causes soil and aquifer pollution and it contributes to the global warming. It is imperative to provide an alternative rational management of biodegradable waste. The implementation of sophisticated methods, such as drying and composting, which achieve recycle, has numerous environmental and financial advantages.

In this study three alternative scenaria of biowaste management are developed with a technical and financial analysis. A spreadsheet model is constructed in order to estimate the different scenaria and their technical and financial parameters.

The interpretation of the results suggests that the most preferable scenario is the second one, where the method of drying as a procedure of the already separated biowaste has the lowest financial cost compared to the other two scenaria. In addition, the use of natural gas as fuel renders this scenario even more economical.

Finally the decentralized management of the pre-separated biowaste leads to lower cost and, at the same time, is more environmentally friendly.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	vii
1 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	1
1.1 Προέλευση – Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων.....	1
1.2 Τύποι και Πηγές Προέλευσης Στερεών Αποβλήτων	1
1.3 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	7
1.4 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	11
1.5 Αστικά Στερεά Απόβλητα στην Ελλάδα.....	15
2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	18
2.1 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα	18
2.2 Ξήρανση.....	19
2.2.1 Μέθοδοι Ξήρανση.....	21
2.2.2 Τύποι Ξηραντήρων	25
2.3 Βιολογική Ξήρανση	30
2.4 Κομποστοποίηση.....	35
2.4.1 Τεχνολογίες Κομποστοποίησης.....	45
2.5 Αναερόβια Χώνευση.....	55
2.6 Υγειονομική Ταφή	63
3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ.....	65
3.1 Εισαγωγή.....	65
3.2 Σκοπός και αντικείμενο μελέτης.....	65
3.3 Υπολογισμοί για το Σχεδιασμό των Σεναρίων.....	67
3.4 Παραδοχές - Υποθέσεις.....	70
3.5 Εναλλακτικά Σενάρια.....	71
4 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	82
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Διάγραμμα Ροής Τυπικής Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας.....	31
Σχήμα 2-2: Μείωση των Πτητικών Στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής στον χωνευτήρα και της συγκέντρωσής τους στην τροφοδοσία.....	58
Σχήμα 2-3: Συμβατικός Αναερόβιος Χωνευτήρας.....	60
Σχήμα 2-4: Αναερόβιος Χωνευτήρας υλός δύο σταδίων	60
Σχήμα 2-5: UASB Αναερόβιος Χωνευτήρας	62
Σχήμα 2-6: ABR Αναερόβιος Χωνευτήρας.....	62
Σχήμα 2-7: PABR (Periodic Anaerobic Baffled Reactor) Αναερόβιος Χωνευτήρας	63
Σχήμα 2-8: Τομή ΧΥΤΑ	64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων.....	2
Εικόνα 1-2: Πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων	9
Εικόνα 2-1: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	18
Εικόνα 2-2: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα	18
Εικόνα 2-3: Τμήμα Υποδοχής, Τεμαχισμού, Βιολογικής Ξήρανσης Απορριμμάτων.....	33
Εικόνα 2-4: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς	34
Εικόνα 2-5: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά	34
Εικόνα 2-6: Απεικόνιση Αντίδρασης Κομποστοποίησης.....	36
Εικόνα 2-7: Απεικόνιση Διεργασίας Κομποστοποίησης.....	37
Εικόνα 2-8: Μεταβολές Λόγου C/N κατά τη διάρκεια της Διεργασίας της Κομποστοποίησης	42
Εικόνα 2-9: Διαγράμματα μεταβολών θερμοκρασίας και pH στις διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης.....	44
Εικόνα 2-10: Σχηματική Αναπαράσταση των Τριών Βασικών Συστημάτων Κομποστοποίησης:	45
Εικόνα 2-11: Κατανομή Θερμοκρασίας, Εσωτερικό του Σωρού Κομποστοποίησης	47
Εικόνα 2-12: Εγκαταστάσεις κομποστοποίησης σε στατικούς σωρούς.....	48
Εικόνα 2-13: Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών	49
Εικόνα 2-14: Υλικό προς Οικιακή Κομποστοποίηση σε Σωρούς.....	52
Εικόνα 2-15: Κομποστοποίηση σε κουτιά	53
Εικόνα 2-16: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών βιοαποβλήτων	54
Εικόνα 2-17: Διάγραμμα Ροής Μετατροπής Βιομάζας σε Βιοαέριο.....	57
Εικόνα 3-1: Compact ξηραντήρας για εφαρμογές μικρού και μεσαίου μεγέθους	72
Εικόνα 3-2: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα	73
Εικόνα 3-3: Βραχίονας Ανάδευσης.....	73
Εικόνα 3-4: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του ξηραντήρα.....	74
Εικόνα 3-5: Σχηματική Απεικόνιση Συστήματος Κομποστοποίησης.....	78
Εικόνα 3-6: Απεικόνιση Θαλάμου Συστήματος Κομποστοποίησης	78
Εικόνα 3-7: Απεικόνιση Θυρίδας τροφοδοσίας και Θυρίδας Απόληψης.....	79
Εικόνα 3-8: Απεικόνιση Συστήματος Μηχανικής Ανάδευσης.....	79
Εικόνα 3-9: Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου Παρακολούθησης	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Ετήσια Παραγωγή Στερεών Απορριμμάτων στην Αττική	4
Πίνακας 1-2: Κατηγοριοποίηση Αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ)	5
Πίνακας 1-3: Εκτιμώμενες Τιμές Παραγόμενων Ποσοτήτων ΑΣΑ.....	16
Πίνακας 1-4: Εκτιμώμενη Ποιοτική Σύσταση ΑΣΑ	16
Πίνακας 2-1: Κατανομή Μικροοργανισμών στις Φάσεις της Κομποστοποίησης	40
Πίνακας 2-2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Παραμέτρων Κομποστοποίησης.....	45
Πίνακας 2-3: Κριτήρια Επιλογής Συστήματος Κομποστοποίησης	50
Πίνακας 3-1: Ετήσιες Ποσότητες ΑΣΑ.....	67
Πίνακας 3-2: Τυπικές Τιμές Ποιοτικής Σύστασης ΑΣΑ	67
Πίνακας 3-3: Τυπικές Τιμές Ποιοτικών Χαρακτηριστικών ΑΣΑ	68
Πίνακας 3-4: Τυπικές Τιμές Περιεκτικότητας σε Υγρασία και C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.....	68
Πίνακας 3-5: Ποσότητα υγρασίας, ξ.β. και C, H, O, N, S οργανικών ΑΣΑ	69
Πίνακας 3-6: Ποσότητα σε moles C, H, O, N, S των οργανικών ΑΣΑ.....	70
Πίνακας 4-1: Αποτελέσματα Υπολογισμών - Σενάριο 1.....	84
Πίνακας 4-2: Εκτίμηση Κόστους Συλλογής Μεταφοράς – Σενάριο 2	87
Πίνακας 4-3: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Ξήρανσης με Χρήση Πετρελαίου ως Καύσιμη Ύλη	87
Πίνακας 4-4: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Ξήρανσης με Χρήση Φ.Α. ως Καύσιμη Ύλη	88
Πίνακας 4-5: Εκτίμηση Συνολικού Κόστους διαχείρισης βιοαποβλήτων με ξήρανση – Σενάριο 2	88
Πίνακας 4-6: Εκτίμηση Κόστους Συλλογής Μεταφοράς – Σενάριο 3	91
Πίνακας 4-7: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Κομποστοποίησης με Χρήση Πετρελαίου ως Καύσιμη Ύλη	92
Πίνακας 4-8: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Κομποστοποίησης με Χρήση Φ.Α. ως Καύσιμη Ύλη	92
Πίνακας 4-9: Εκτίμηση Συνολικού Κόστους διαχείρισης βιοαποβλήτων με κομποστοποίηση – Σενάριο 3	92
Πίνακας 4-10: Χρόνος Απόσβεσης Εναλλακτικών Σεναρίων 2 και 3	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1-1: Μέση Κατά Βάρος Σύνθεση ΑΣΑ στην Ελλάδα (1997).....	17
Διάγραμμα 4-1: Κόστος αγοράς απαιτούμενου Εξοπλισμού Επεξεργασίας.....	93
Διάγραμμα 4-2: Βασικό και Λειτουργικό Κόστος των τριών Εναλλακτικών Σεναρίων	93
Διάγραμμα 4-3: Διάγραμμα Κόστους Συλλογής Μεταφοράς	94
Διάγραμμα 4-4: Πάγια Λειτουργικά κόστη Σεναρίων 2 και 3	94
Διάγραμμα 4-5: Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων για την λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού των Σεναρίων 2 και 3	95
Διάγραμμα 4-6: Συνολικό Ετήσιο Κόστος Διαχείρισης Σεναρίων 2 και 3	96
Διάγραμμα 4-7: Ανάλυση Ευαισθησίας. Χρόνος Απόσβεσης Σεναρίου 2 ως προς την Μεταβολή του Ποσοστού Διαλογής των Βιοαποβλήτων.....	97
Διάγραμμα 4-8: Ανάλυση Ευαισθησίας του Χρόνου Απόσβεσης Σεναρίου 3 ως προς την Μεταβολή του Ποσοστού Διαλογής των Βιοαποβλήτων.....	98

1 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

1.1 Προέλευση – Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων

Τα «Στερεά Απόβλητα» ή «Απορρίμματα» είναι απόβλητα που προέρχονται κυρίως από τις ανθρώπινες διεργασίες, στερούνται άμεσης αξίας και είναι ανεπιθύμητα για το άτομο που τα κατέχει και συνεπώς επιθυμεί να τα απορρίψει. Επιπλέον ένας σημαντικός παράγοντας που οδηγεί στην απόρριψή τους είναι το γεγονός ότι το κόστος απόρριψης ή αποβολής τους είναι μικρότερο από το κόστος διατήρησής τους.

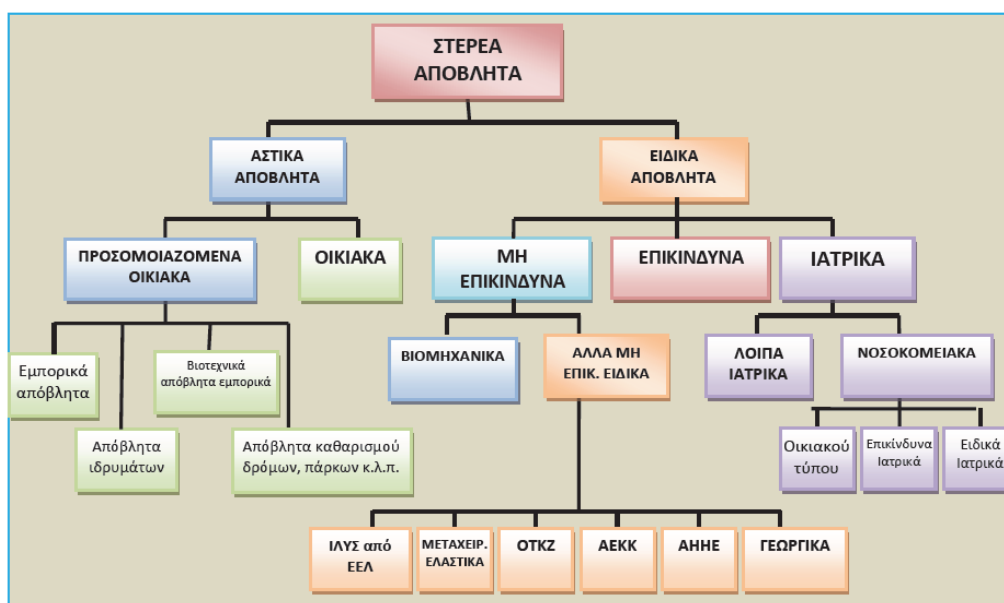
Τα στερεά απόβλητα προκύπτουν από την παραγωγή, τη μεταφορά, την επεξεργασία και την κατανάλωση αγαθών και σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούν κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. Γενικότερα αποτελούν σημαντική αιτία υποβάθμισης του αστικού και φυσικού περιβάλλοντος με τεράστιες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων αποτελεί ένα σύνθετο και κρίσιμο πρόβλημα για τις σύγχρονες κοινωνίες. Η κρισιμότητα του προβλήματος ποικίλει από χώρα σε χώρα αλλά πάντα βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα περιβαλλοντικής σημασίας. Το επίπεδο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων αποτελεί τον καθρέπτη της περιβαλλοντικής λειτουργίας και του εκσυγχρονισμού της κοινωνίας. Επιπλέον η διαχείρισή τους αποτελεί σημαντικό τμήμα του «δημόσιου χώρου», «χώρο δημόσιας ευθύνης» ενώ η ορθή - από όλες τις οπτικές γωνίες- διαχείρισή τους αποτελεί κοινωνικό και δημόσιο αγαθό.

1.2 Τύποι και Πηγές Προέλευσης Στερεών Αποβλήτων

Ως στερεά απόβλητα ή στερεά απορρίμματα ορίζουμε την ετερογενή μάζα των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), καθώς και τη σχετικά πιο ομογενοποιημένη μάζα των αγροτικών, βιομηχανικών, και μεταλλευτικών στερεών αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα κατηγοριοποιούνται σε Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) και σε Ειδικά Απόβλητα. Οι ομάδες αυτές κατηγοριοποιούνται περαιτέρω, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα της Εικόνας 1-1.

Ως Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) ορίζονται τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τα νοικοκυριά (οικιακά στερεά απόβλητα), τις εμπορικές δραστηριότητες (εμπορικά στερεά απόβλητα), τον καθαρισμό των δρόμων και άλλων δημοσίων χώρων καθώς και τα στερεά απόβλητα τα οποία παράγονται από πάσης φύσεως επιχειρήσεις και μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα (Αμπελιώτης 2006). Γενικότερα τα αστικά απόβλητα αναφέρονται και ως δημοτικά απόβλητα.



Εικόνα 1-1: Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων

Στα Ειδικά Απόβλητα υπόκεινται τα μη επικίνδυνα απόβλητα, τα επικίνδυνα απόβλητα και τα ιατρικά απόβλητα. Στην κατηγορία των μη επικινδύνων στερεών αποβλήτων υπάγονται τα αστικά και παρεμφερή στερεά μη επικίνδυνα απόβλητα, τα γεωργικά μη επικίνδυνα απόβλητα, οι σταθεροποιημένες αφυδατωμένες λάσπες των εγκαταστάσεων βιολογικών καθαρισμών και τα υλικά κατεδάφισης. Στην κατηγορία των ιατρικών αποβλήτων υπάγονται τα νοσοκομειακά απόβλητα (απόβλητα που προέρχονται, παράγονται από κάθε οργανισμό ή υπηρεσία που ασχολείται με την υγεία των έμβριων όντων), τα λοιπά ιατρικά και τα φαρμακευτικά απόβλητα. Επεκτείνοντας τον όρο ιατρικά απόβλητα σε αυτή τη κατηγορία περιλαμβάνονται τα απόβλητα φαρμακευτικών βιομηχανιών και εκείνα που προέρχονται από την περίθαλψη των ασθενών εντός της οικίας τους. Τέλος ως επικίνδυνα απόβλητα (hazardous) χαρακτηρίζονται τα απόβλητα τα οποία αποτελούν κίνδυνο για τον

άνθρωπο και άλλους ζώντες οργανισμούς, διότι δεν αποικοδομούνται στην φύση, μπορούν να μεγιστοποιηθούν βιολογικά, μπορούν να αποβούν μοιραία για τη ζωή και μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικά συσσωρευτικά αποτελέσματα. Οι ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό τους ως επικίνδυνα σχετίζονται με την ασφάλεια και την υγεία

Τα στερεά απόβλητα ανάλογα με την *πηγή προέλευσής τους* διακρίνονται σε οικιακά, εμπορικά, ιδρυματικά, κατασκευών ή κατεδαφίσεων (μπάζα), αστικών υπηρεσιών, μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων, βιομηχανικά και αγροτικά και ταξινομούνται ανάλογα με τη *σύστασή τους* ως ακολούθως:

- Οικιακά και Εμπορικά: Τα οικιακά και εμπορικά απορρίμματα αποτελούνται από τα ακόλουθα κλάσματα:
 - Το *οργανικό κλάσμα*, δηλαδή υπόλοιπα φαγητών (υπολείμματα κουζίνας) απορρίμματα αυλής και κήπου - ζυμώσιμο κλάσμα, χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά (πλαστικές σακούλες κ.α., περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων), υφάσματα, ελαστικά, δέρματα και ξύλα.
 - Το *ανόργανο κλάσμα* όπως γυαλί, κουτιά σιδήρου, αλουμινίου, ψευδαργύρου και σκόνη. Υπάρχουν πάνω από σαράντα (40) είδη χαρτιού και επτά (7) είδη πλαστικών. Τα *ειδικά απορρίμματα* τα οποία περιλαμβάνουν μεγάλα αντικείμενα, ηλεκτρονικά, συσκευές, μπαταρίες, λάδια και ελαστικά. Αυτά συνήθως πρέπει να τύχουν χωριστής διαχείρισης.
- Ιδρυματικά Απόβλητα: Απόβλητα τα οποία προέρχονται από υπουργεία, σχολεία, φυλακές, νοσοκομεία κλπ. Με εξαίρεση αυτά των φυλακών και των νοσοκομείων τα υπόλοιπα είναι παρόμοιας σύστασης με τα οικιακά και εμπορικά.
- Απόβλητα Κατασκευών-Κατεδαφίσεων: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται υλικά όπως χώμα, πέτρες, μπετόν, τούβλα, ξύλα, σωλήνες, ηλεκτρικά και θερμικά μέρη, γυαλιά, πλαστικά και σίδηρα.
- Απόβλητα Αστικών Υπηρεσιών: Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους, τα νεκρά ζώα, τα φύλλα, τα κλαδιά κλπ.
- Απόβλητα Μονάδων Επεξεργασίας Αποβλήτων: Απόβλητα όπως σχαρίσματα, λάσπες από βιολογικούς σταθμούς, στάχτες, γυαλιά κ.λ.π.

- Βιομηχανικά Απόβλητα: Ταξινομούνται ανάλογα με το βιομηχανικό κλάδο (Standard Industrial Classification, SIC) και ποικίλλουν μεταξύ τους.
- Αγροτικά Απόβλητα: Στα απόβλητα αυτής της κατηγορία περιλαμβάνονται η κοπριά και τα υπολείμματα αγροτικής σοδειάς.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο σχεδόν τρία δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων έχουν παραχθεί κατά το έτος 2006, ποσότητα που αντιστοιχεί σε περίπου 6 ton ανά κάτοικο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, κατά το έτος 2008, ο κατά μέσο όρο παραγόμενος όγκος ΑΣΑ ανά κάτοικο κυμαίνεται μεταξύ 800 kg (παραγόμενη ποσότητα στη Δανία) και 300 kg (παραγόμενη ποσότητα στην Τσεχική Δημοκρατία).

Επισημαίνεται ότι η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντικατοπτρίζει τις διαφορές στην οικονομική ευμάρεια, στις καταναλωτικές συνήθειες καθώς και το βαθμό εφαρμογής της αρχής της πρόληψης των παραγόμενων αποβλήτων της κάθε χώρας.

Τα απόβλητα διαχωρίζονται σε διάφορες ροές και κάθε ροή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά τα οποία δημιουργούν διαφορετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Οι κύριοι τύποι των ροών αποβλήτων που παράγονται στις Ευρωπαϊκές χώρες διαφέρουν πολύ από χώρα σε χώρα και αυτό οφείλεται κυρίως στο οικονομικό επίπεδο και στους φυσικούς πόρους της κάθε χώρας. Στον Πίνακα 1-1 παρουσιάζεται η ταξινόμηση, κατά προέλευση, των στερεών αποβλήτων της Αττικής σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος.

Πίνακας 1-1: Ετήσια Παραγωγή Στερεών Απορριμμάτων στην Αττική
(Πηγή: Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 1991)

Προέλευση	Ποσότητες (tn/έτος)
Οικιακά	635.290
Εμπορικά	111.948
Κλαδιά, φύλλα κλπ	3.196
Ϊλύς (βιολογικών καθαρισμών)	2.694
Οικοδομικά	641796
Πετρελαιοειδή	19.732
Μαρμαρόσκονη, αμμοβολές κλπ	86.260
Τέφρα αποτεφρωτήρων	35

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (δεδομένα έτους 2005) η παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα εκτιμάται ότι ανήλθε κατά μέσο όρο σε 302 kg/άτομο κατά το έτος 1995, σε 408 kg/άτομο κατά το έτος 2000 και σε 437 kg/άτομο κατά το έτος 2005.

Σημειώνεται ό,τι το ποσοστό των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε ποσοστό 30-46% της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων ΑΣΑ σε ετήσια βάση σε ένα νοικοκυριό, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συνολική παραγόμενη ποσότητα, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, των διατροφικών απορριμμάτων και των αποβλήτων από τους κήπους των νοικοκυριών, υπολογίζεται σε περίπου 118-138 Μton ετησίως. Αυτή η κατηγορία των απορριμμάτων περιέχει υψηλό ποσοστό νερού, το οποίο αφενός μεν ποικίλει σημαντικά και αφετέρου δε, μπορεί να ανέλθει σε ποσοστό 80% του συνολικού του βάρους (Position Paper of the Bio-waste alliance., 2009).

Το συγκεκριμένο κλάσμα είναι υπεύθυνο για την παραγωγή των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) είναι η τρίτη μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή παραγωγής μεθανίου στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, καθώς υπολογίζεται ότι από τα ΧΥΤΑ προήλθε το 17% της συνολικής ποσότητας μεθανίου που παρήχθει το 2009 (EPA., 2012).

Ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) κατατάσσει τα στερεά απόβλητα σε κατηγορίες και υποκατηγορίες με ειδικούς κωδικούς αριθμούς. Σύμφωνα με τον ΕΚΑ τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) εντάσσονται στον κωδικό 20. Στον Πίνακα 1-2 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των αποβλήτων σύμφωνα με τον ΕΚΑ.

Πίνακας 1-2: Κατηγοριοποίηση Αποβλήτων σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ)

20	ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (ΟΙΚΙΑΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΟΜΟΙΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ, ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΑΙ ΙΔΡΥΜΑΤΑ), ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ ΧΩΡΙΣΤΑ ΣΥΛΛΕΓΕΝΤΩΝ
20 01	Χωριστά συλλεγόμενα μέρη (εκτός από το σημείο 15 01)
20 01 01	Χαρτιά και χαρτόνια
20 01 02	Γυαλιά
20 01 08	Βιοαποδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων ενδίαιτησης

20 01 10	Ρούχα
20 01 11	Υφάσματα
20 01 13*	Διαλύτες
20 01 14*	Οξέα
20 01 15*	Αλκαλικά απόβλητα
20 01 17*	Φωτογραφικά χημικά
20 01 19*	Ζιζανιοκτόνα
20 01 21*	Σωλήνες φθορισμού και άλλα απόβλητα περιέχοντα απόβλητα
20 01 22	Αεροζόλ
20 01 23*	Απορριπτόμενος εξοπλισμός που περιέχει χλωροφθοράνθρακες
20 01 25	Βρώσιμα έλαια και λίπη
20 01 26*	Έλαια και λίπη άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 25
20 01 27*	Χρώματα, μελάνες, κόλλες και ρητίνες που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
20 01 28	Χρώματα, μελάνες, κόλλες και ρητίνες άλλες από τις αναφερόμενες στο σημείο 20 01 27
20 01 29*	Απορρυπαντικά που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
20 01 30	Απορρυπαντικά άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 20 01 29
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	Βιοαποδομήσιμα απόβλητα
20 02 02	Χώματα και πέτρες
20 02 03	Άλλα μη βιοαποδομήσιμα 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 μη προδιαγραφόμενα άλλως

[Σημειώνεται ότι τα απόβλητα που επισημαίνονται με αστερίσκο χαρακτηρίζονται ως εν δυνάμει επικίνδυνα απόβλητα]

1.3 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η οικονομική μεγέθυνση στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) εξακολουθεί να συνοδεύεται από αυξανόμενους όγκους αποβλήτων, με αποτέλεσμα να προκαλούνται απώλειες υλικών και ενέργειας, περιβαλλοντικές ζημιές και αρνητικές συνέπειες στην υγεία και την ποιότητα ζωής. Στρατηγικός στόχος της Ε.Ε. είναι να περιοριστούν οι αρνητικές συνέπειες και να επιτευχθεί μία ενεργειακά αποδοτική «κοινωνία ανακύκλωσης». Η διαχείριση των αποβλήτων ήδη διέπεται από μεγάλο όγκο κανονιστικών ρυθμίσεων, υπάρχουν όμως ακόμη δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης της διαχείρισης ορισμένων κύριων ροών αποβλήτων.

Στις αρχές της δεκαετίας του '70, η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα αναλαμβάνει σταθερή δέσμευση σχετικά με το περιβάλλον με κύριους άξονες την προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και των υδάτων, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη διαχείριση των αποβλήτων και των δραστηριοτήτων με δυσμενείς επιπτώσεις. Αρχικά η ευαισθητοποίηση στην Ε.Ε. για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με τη Σύνοδο Κορυφής των Παρισίων το 1974, στη συνέχεια ακολούθησαν προγράμματα δράσης της κοινότητας, ενώ από το 1975 προβλέπονται στον κοινοτικό προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το έτος 1981 οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στη Γενική Διεύθυνση XI (Περιβάλλον, Πυρηνική ασφάλεια, Προστασία πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1^η Ιουλίου 1987) ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον. Την ίδια χρονιά υιοθετείται το 4^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη, ενώ το 1991 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το Πρόγραμμα για τη διαχείριση αποβλήτων (απόβλητα προτεραιότητας) όπως τα απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις, τα οχήματα στο τέλος

κύκλου ζωής τους, οι χρησιμοποιημένοι συσσωρευτές, τα ελαστικά στο τέλος του κύκλου ζωής τους, οι συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασιών, τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, τα νοσοκομειακά απόβλητα και τα PCB's.

Ακολούθησε το 5^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον «προς μια αειφόρο ανάπτυξη» το οποίο θέσπισε τις αρχές μιας πιο ενεργητικής Ευρωπαϊκής στρατηγικής κατά τη χρονική περίοδο 1992-2000 και ταυτόχρονα σηματοδότησε την αρχή μιας οριζόντιας κοινοτικής δράσης λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες ρύπανσης (βιομηχανία, ενέργεια, τουρισμός, μεταφορές και γεωργία). Τέλος έως το τέλος του 2010 υλοποιήθηκε το 6^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον το οποίο προσδιορίζει τον κατάλογο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων.

Επισημαίνεται ότι η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης εστιάζει στα εξής σημεία:

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

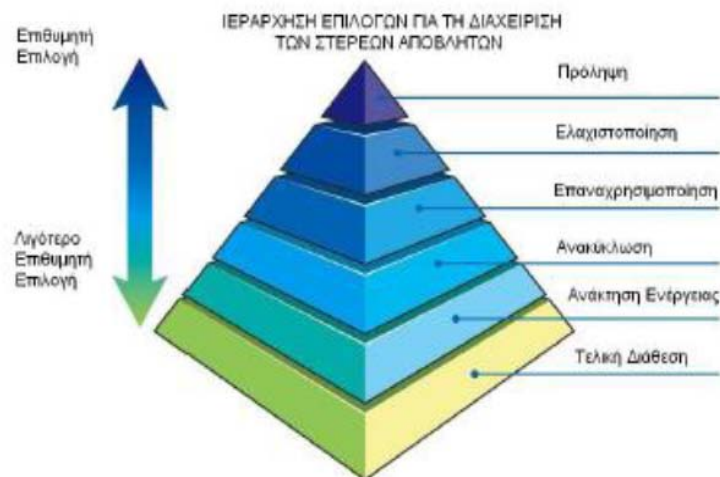
Ειδικότερα σύμφωνα με την Ε.Ε. η περιβαλλοντική πολιτική βασίζεται στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» και σύμφωνα με αυτή την αρχή, ο ρυπαντής είναι υπεύθυνος για τις επιπτώσεις και για τη δαπάνη αποκατάστασης των ζημιών. Συνεπώς το ζητούμενο είναι ό,τι κάθε πολίτης πρέπει να υποχρεούται να καλύπτει πλήρως τη δαπάνη διαχείρισης των ΑΣΑ που παράγει. Οι πληρωμές είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν είτε με τη μορφή επενδύσεων, προκειμένου να επιτύχουν τη συμμόρφωση σε αυστηρότερα πρότυπα, είτε με τη μορφή φόρου επιβαλλόμενου στις επιχειρήσεις ή στους καταναλωτές που δεν χρησιμοποιούν μη οικολογικά προϊόντα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ, σύμφωνα με τις ισχύουσες συνθήκες και βάσει των αρχών της αειφορικής ανάπτυξης, έχει υιοθετήσει την εξής ιεράρχηση (Εικόνα 1-2):

- Πρόληψη ή Μείωση στην Πηγή
- Ελαχιστοποίηση

- Επαναχρησιμοποίηση
- Ανακύκλωση
- Ανάκτηση Ενέργειας
- Τελική Διάθεση

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 1-1, σύμφωνα με την πυραμίδα ιεράρχησης, προτεραιότητα έχει η πρόληψη και η μείωση των παραγόμενων αποβλήτων (ελαχιστοποίηση), ακολουθεί στη συνέχεια η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η καύση (ανάκτηση ενέργειας) και τέλος η ασφαλής διάθεση των αποβλήτων. Κάθε επίπεδο αναλύεται, σύμφωνα με το Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων της Ε.Ε., στις παραγράφους που ακολουθούν.



Εικόνα 1-2: Πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
(Σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ (Άρθρο 4, §1))

- Αρχή Πρόληψης ή/και Μείωσης των Παραγόμενων Αποβλήτων (Ελαχιστοποίηση):
Βασικό ζήτημα στην πρόληψη της παραγωγής ή και στη μείωση των αποβλήτων, αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής, παρθένων πρώτων υλών και από τα στάδια της επεξεργασίας, της μεταποίησης, της μεταφοράς και της χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν, σε αρκετά παγιωμένη μορφή, μέθοδοι ανάλυσης του κύκλου ζωής και συνεπώς των επιπτώσεων στο περιβάλλον, για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κλπ. Ήδη, όμως, έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. προγράμματα LIFE κ.α.), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων στο

πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις, η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στη χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. χρήση βαρέων μετάλλων), έτσι ώστε να προλαμβάνεται σε μεταγενέστερο στάδιο η δημιουργία επικίνδυνων αποβλήτων. Άλλοι τρόποι συνεισφοράς στην πρόληψη είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του δημοσίου ή του ιδιωτικού τομέα (οικολογικό σήμα) καθώς και η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράζουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο. Τέλος τα πλεονεκτήματα της πρόληψης και της ελαχιστοποίησης είναι η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων καθώς και η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των παραγόμενων αποβλήτων.

- Αρχή Επαναχρησιμοποίησης Υλικών: Η επαναχρησιμοποίηση αποσκοπεί στη χρησιμοποίηση εκ νέου των αποβλήτων για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν. Δηλαδή με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών), αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και η ανάκτησή τους.
- Αρχή Ανακύκλωσης και Αξιοποίησης των Υλικών: Η ανακύκλωση επιτυγχάνει τη μετατροπή των αποβλήτων εκ νέου σε προϊόντα ή υλικά ή ουσίες. Η ανάκτηση των αποβλήτων αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική, προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.
- Αρχή Ανάκτησης Ενέργειας: Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών - λόγω τεχνικών περιορισμών - θα πρέπει τα απόβλητα, με σημαντικό

θερμικό περιεχόμενο, να οδηγούνται σε μονάδες καύσης, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, έτσι ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δε δύναται να αξιοποιηθεί.

- Αρχή Ασφαλούς Διάθεσης: Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης, διαχείριση η οποία θεωρείται η πιο οικονομικότερη λύση και εφαρμόζεται εκτενώς, έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση. Τέλος σημειώνεται ότι οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να οδηγούνται (καταλήγουν) σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

1.4 Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

Η πρώτη αναφορά στη διαχείριση αποβλήτων στην Ελλάδα γίνεται με την ΥΑ ΕΙΒ/301/64 «Περί συλλογής, αποκομιδής και διάθεσης απορριμμάτων», στην οποία θέτονταν οι αρχές και οι μέθοδοι διαχείρισης των απορριμμάτων, καθώς και οι τρόποι συλλογής και τελικής διάθεσης τους (Αβραμίκος και Ανθούλης, 2008). Στη συνέχεια ψηφίστηκαν νομοθετικές ρυθμίσεις, οι οποίες ισχύουν έως σήμερα, όπως η ρύθμιση ΝΔ 703/1970 «Περί τροποποίησης διατάξεων αφορωσών εις τα έσοδα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοικήσεως» και οι νόμοι 25/1975, 429/1976 και 1080/1980, με τους οποίους καθορίστηκε ο τρόπος υπολογισμού των δημοτικών τελών καθαριότητας, βάσει των τετραγωνικών μέτρων που καταλαμβάνει το νοικοκυριό. Επιπλέον με το ν. 1650/1985 «Περί προστασίας του περιβάλλοντος», καθορίζεται το γενικό πλαίσιο, οι στόχοι και τα μέσα προστασίας του περιβάλλοντος καθώς επίσης αναθέτεται η ευθύνη για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων στους Ο.Τ.Α. Επιπλέον επιχειρείται η προσαρμογή της εθνικής νομοθεσίας με την αντίστοιχη Κοινοτική, ΚΥΑ 49541/1424/86 «Στερεά απόβλητα σε συμμόρφωση με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ», όπου ορίζονται οι βασικές έννοιες σχετικά με τα απόβλητα και τους φορείς διαχείρισής τους, καταγράφονται οι βασικές αρχές που πρέπει να εφαρμόζονται στη διαχείριση των απορριμμάτων, προκειμένου να μην υπάρξουν κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ γίνεται αναφορά στην ανάγκη θεσμοθέτησης σχεδίων διαχείρισης. Τέλος καθορίζονται οι

υπόχρεοι καταβολής δαπάνης διαχείρισης καθώς και κυρώσεις (ποινικές, διοικητικές ή/και χρηματικές) σε αυτούς που δεν συμμορφώνονται με τις οδηγίες των αρμόδιων.

Δημιουργείται το «Ειδικό Σώμα Ελεγκτών για την προστασία του περιβάλλοντος», ν. 2242/1994, υπό τη δικαιοδοσία του Υπουργείου Περιβάλλοντος καθώς επίσης και των οικείων Νομαρχιών και Περιφερειών. Όμως λόγω των πολλών και περίπλοκων αρμοδιοτήτων δημιουργήθηκε αντιπαράθεση με τις υπηρεσίες της τοπικής Αυτοδιοίκησης με συνέπεια τη ψήφιση του ν. 2947/2001, ο οποίος κατέργησε το Ειδικό Σώμα Ελεγκτών και το αντικατέστησε με την «Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Περιβάλλοντος (ΕΥΕΠ)», η οποία υπαγόταν απευθείας στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, ενώ οι αρμοδιότητες αυτής της υπηρεσίας ήταν κατά κύριο λόγο ελεγκτικές και γνωμοδοτικές.

Επιπλέον στην ΚΥΑ 69728/824/1996 καθορίζονται οι γενικές κατευθύνσεις για τη σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης των Αποβλήτων και ορίζονται οι υπόχρεοι για το σχεδιασμό και την υλοποίησή τους. Ειδικότερα σύμφωνα με την εν λόγω ΚΥΑ αρμόδια υπηρεσία σε επίπεδο Νομού είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, ενώ στην περίπτωση μη ανάληψης της ευθύνης από αυτή την υπηρεσία, αρμόδια υπηρεσία είναι η οικεία Περιφέρεια. Τέλος στην εν λόγω ΚΥΑ γίνεται αναφορά στην ανάγκη εξυγίανσης των χώρων διάθεσης αποβλήτων μετά το τέλος λειτουργίας τους και στην αποκατάσταση των ανεξέλεγκτων χώρων διάθεσης απορριμμάτων. Σημαντικό στοιχείο της ΚΥΑ είναι η προσάρτηση του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (ΕΚΑ) στην εθνική νομοθεσία και η εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 94/3/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.

Θεσπίζονται τα απαιτούμενα μέτρα για τη διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων με στόχο την επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποίηση των αποβλήτων τους με το ν. 2939/2001 «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και των άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις». Οι ρυθμίσεις του νόμου αυτού εναρμονίζονται με τις διατάξεις της Οδηγίας 94/62/ΕΚ και ουσιαστικά εισάγουν το νομοθετικό πλαίσιο για την υλοποίηση προγραμμάτων ανακύκλωσης/επαναχρησιμοποίησης/αξιοποίησης συσκευασιών και άλλων προϊόντων (όπως συσσωρευτές, ελαστικά, ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός κ.α.) καθορίζοντας ταυτόχρονα τις ποσότητες καθώς και χρονικά όρια για την προσέγγισή τους. Οι επιμέρους όροι και περιορισμοί για τη διαχείριση κάθε ρεύματος αποβλήτων, καθορίζονται με σχετικά Π.Δ. που εκδίδονται ανάλογα με την

περίσταση. Επιπλέον, σε εθνικό επίπεδο, η διαχείριση των στερεών αποβλήτων υπάγεται στις διατάξεις της ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για την Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων-Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» η οποία εναρμονίζεται με την Οδηγία 91/156/ΕΟΚ και θέτει στόχους και αρχές για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, καθώς και τις προδιαγραφές του εθνικού Ε.Σ.Δ.Α. αλλά και των περιφερειακών σχεδίων (ΠΕΣΔΑ) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων. Καθορίζονται οι υπόχρεοι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, τα μέτρα για την εξυγίανση-αξιοποίηση των χώρων διάθεσης μετά τον τερματισμό της λειτουργίας τους, καθώς επίσης και οι άδειες που πρέπει να ληφθούν για την αποκατάσταση των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης στερεών αποβλήτων (Αβραμίκος και Ανθούλης, 2008). Τέλος επισημαίνεται ότι η ΚΥΑ 50910/2727/2003 τροποποιήθηκε από το Ν. 4042/2012.

Η ΚΥΑ 22912/1117/05 εναρμονίζει την εθνική νομοθεσία με την κοινοτική Οδηγία 2000/76/ΕΚ «περί αποτέφρωσης των αποβλήτων» και καταγράφει τα μέτρα και τους όρους για την αποφυγή και το περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση. Επιπλέον ο ν. 3536/2007 καθορίζει τη νομική μορφή των Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΣΔΑ), ενώ οι δραστηριότητες τους, η λειτουργία τους και η τιμολογιακή πολιτική τους καθορίζονται από την απόφαση ΥΑ 2527/2009 (ΦΕΚ 83/Β). Επίσης ο ν. 3688/2008 συμπληρώνει τις διατάξεις του ν. 3536/2007 για τους ΦοΣΔΑ, σχετικά με την οργάνωση και λειτουργία του Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.).

Οι κοινοτικές Οδηγίες 2008/98/ΕΚ και 2008/99/ΕΚ ενσωματώθηκαν στο εθνικό δίκαιο με το ν. 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012) «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος-Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/99/ΕΚ-Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων-Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», ο οποίος θεσπίζει την ποινική προστασία του περιβάλλοντος και καθορίζει ποινές και κυρώσεις στους παραβάτες ανάλογα με το είδος και τη μορφή της πράξης, ενώ ταυτόχρονα αναθεωρεί το πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων. Κομβικό στοιχείο θεωρείται η μετονομασία του Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π. σε Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (Ε.Ο.Α.Ν.) ο οποίος αποτελεί Ν.Π.Ι.Δ., υπάγεται στην αρμοδιότητα του ΥΠΕΚΑ και χαρακτηρίζεται από πλήρη διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια. Σημειώνεται ότι η λειτουργία του Ε.Ο.Α.Ν. έχει ως βασικό στόχο το σχεδιασμό, τη μελέτη πολιτικών και την εφαρμογή προγραμμάτων για την

ορθολογική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Ο οργανισμός αυτός εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία των ήδη αδειοδοτημένων συστημάτων ατομικής και συλλογικής εναλλακτικής διαχείρισης, αφού πρόκειται για όργανο με εισηγητικό, γνωμοδοτικό και ελεγκτικό χαρακτήρα (Λαζαρίδης, 2012).

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο (ΥΠΑΠΕΝ, 2015) καθορίζεται πλέον από:

- το ν. 2939/2001 (ΦΕΚ179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με το ν. 3854/10 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και το ν. 4042/2012,
- το ν. 4042/2012 (ΦΕΚ24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα,
- καθώς και από τις ειδικές προβλέψεις του ν. 4014/11 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

Στο εθνικό δίκαιο έχουν επίσης ενσωματωθεί βασικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, όπως η ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ, και η ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ, ενώ έχει άμεση ισχύ ο

Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

Για τη ρύθμιση επιμέρους θεμάτων έχει εκδοθεί σειρά κοινών υπουργικών αποφάσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ΚΥΑ με αρ. 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το ν. 4042/2012
- ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991», όπως έχει τροποποιηθεί με το ν. 4042/2012 και
- ΚΥΑ με αρ. Κ.Υ.Α. 146163//2012 «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων 1991», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ. 7 του ν. 4042/2012.

1.5 Αστικά Στερεά Απόβλητα στην Ελλάδα

Σύμφωνα με στοιχεία του 2001 στην Ελλάδα παράγονται περί τα 4,6 εκατομμύρια τόνοι αστικών στερεών αποβλήτων, που περιλαμβάνουν κυρίως τα απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες, καθώς και ένα μέρος των στερεών αποβλήτων που παράγονται από εμπορικές δραστηριότητες και συλλέγονται από τους ΟΤΑ (Η.Π. 50910/2727/2003). Παρατηρείται τάση σημαντικής αύξησης της παραγωγής αστικών αποβλήτων με το χρόνο, η οποία για την περίοδο 1991-1997 ανήλθε σε περίπου 4% ετησίως. Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ανάπτυξη των μεγάλων αστικών κέντρων, την αύξηση του τουριστικού ρεύματος και κυρίως την αντίστοιχη αύξηση του ΑΕΠ που συνοδεύτηκε από άνοδο του βιοτικού επιπέδου και αύξηση της κατανάλωσης. Η μέση ημερήσια παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά κάτοικο στην Ελλάδα για το 1997 ανέρχεται σε 0,97 kg/κάτοικο, ενώ για το 2001 εκτιμάται σε 1,14 kg/κάτοικο, τιμή που παραμένει κατώτερη από τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1,48 kg/κάτοικο/ημέρα (Η.Π. 50910/2727/2003, ΥΠΕΧΩΔΕ 2003).

Σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα που ισχύουν έως το έτος 2014 στην Ελλάδα, κάθε κάτοικος παράγει περίπου 1,39 kg/ημέρα ΑΣΑ και εκτιμάται ό,τι τα επόμενα

χρόνια το νούμερο αυτό θα αυξηθεί σε περίπου 1,48 kg/κάτοικο/ημέρα έως το έτος 2020. Με βάση αυτές τις εκτιμήσεις παρατίθενται στον Πίνακα 1-3 οι υπολογιζόμενες ποσότητες παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα, συναρτήσει του εκτιμώμενου πληθυσμού της χώρας, έως το έτος 2020 καθώς και η εκτιμώμενη ποιοτική τους σύστασή τους, Πίνακας 1-4.

Πίνακας 1-3: Εκτιμώμενες Τιμές Παραγόμενων Ποσοτήτων ΑΣΑ

Έτος Προβολής	Ισοδ. Πληθυσμός χώρας	Συνολική Παραγωγή ΑΣΑ (t)	kg / ισοδ. Κάτ. /έτος	kg/ισοδ. κατ/ημέρα
2011 ^(*)	10.962.751	5.574.757	508,5	1,39
2012 ^(*)	10.985.000	5.584.600	508,4	1,39
2013	11.007.000	5.584.600	507,4	1,39
2014	11.029.000	5.584.600	506,4	1,39
2015	11.051.000	5.584.600	505,3	1,38
2016	11.063.000	5.666.200	512,2	1,40
2017	11.074.000	5.748.700	519,1	1,42
2018	11.085.000	5.832.700	526,2	1,44
2019	11.097.000	5.917.900	533,3	1,46
2020	11.108.000	6.004.600	540,6	1,48

Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ (2014)

Πίνακας 1-4: Εκτιμώμενη Ποιοτική Σύσταση ΑΣΑ

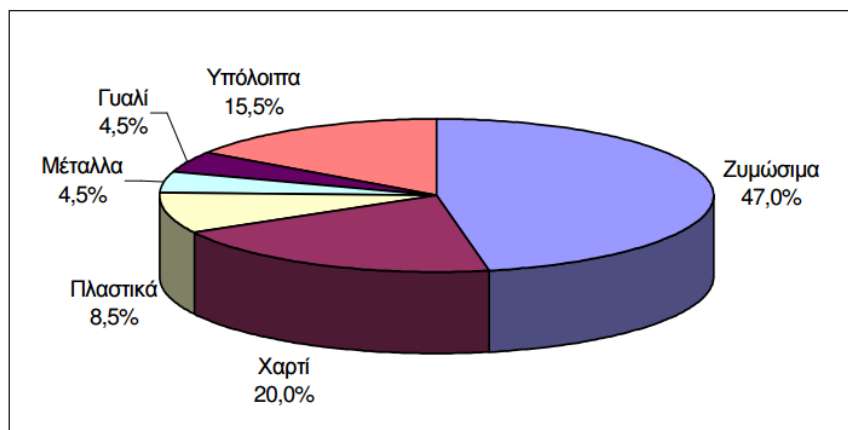
ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ % κ.β.	Έτος προβολής παραγωγής (Συνολική παραγωγή ΑΣΑ σε t/έτος)									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
		5.574.757	5.584.600	5.584.600	5.584.600	5.584.600	5.666.200	5.748.700	5.832.700	5.917.900	6.004.600
Οργανικό Κλάσμα (Ζυμώσιμα)	44,3%	2.469.617	2.473.978	2.473.978	2.473.978	2.473.978	2.510.127	2.546.674	2.583.886	2.621.630	2.659.900
Χαρτί - Χαρτόνι	22,2%	1.237.596	1.239.781	1.239.781	1.239.781	1.239.781	1.257.896	1.276.211	1.294.859	1.313.774	1.333.000
Πλαστικά	13,9%	774.891	776.259	776.259	776.259	776.259	787.602	799.069	810.745	822.588	834.600
Μέταλλα	3,9%	217.416	217.799	217.799	217.799	217.799	220.982	224.199	227.475	230.798	234.300
Γυαλί	4,3%	239.715	240.138	240.138	240.138	240.138	243.647	247.194	250.806	254.470	258.400
ΰλο	4,6%	256.439	256.892	256.892	256.892	256.892	260.645	264.440	268.304	272.223	276.100
Λούπα	6,8%	379.083	379.753	379.753	379.753	379.753	385.302	390.912	396.624	402.417	408.300

Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ (2014)

Η γνώση της σύστασης των παραγόμενων ΑΣΑ είναι ιδιαίτερης σημασίας για την εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης απορριμμάτων, στο σύνολο τους. Οι ενδεχόμενες μεταβολές στην ποιοτική σύσταση των παραγόμενων αποβλήτων στην πορεία του χρόνου, περιγράφουν στην πράξη τη μεταστροφή των καταναλωτικών συνηθειών και διαμορφώνουν τις μελλοντικές τάσεις παραγωγής ΑΣΑ. Τα στοιχεία αυτά είναι σημαντικά για τη χάραξη στρατηγικής διαχείρισης αποβλήτων σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο.

Σε ό,τι αφορά τη σύσταση των ΑΣΑ σε εθνικό επίπεδο τα υπάρχοντα στοιχεία προέρχονται από τον Εθνικό Σχεδιασμό «Ολοκληρωμένης και Εναλλακτικής

Διαχείρισης Απορριμμάτων και Αποβλήτων» όπου αναφέρεται η μέση ποιοτική σύσταση των οικιακών αποβλήτων στην Ελλάδα (1997). Η ίδια σύσταση αναφέρεται και στην κείμενη νομοθεσία ΚΥΑ 50910 (ΦΕΚ 1909/22-12-2003) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης». Η σύσταση αυτή θεωρείται αντιπροσωπευτική και της σημερινής κατάστασης και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1-1.



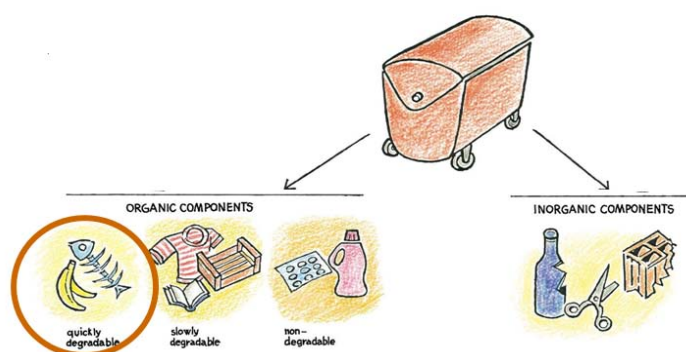
Διάγραμμα 1-1: Μέση Κατά Βάρος Σύθεση ΑΣΑ στην Ελλάδα (1997)

(Πηγή: Η.Π. 50910/2727/2003)

2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα

Η διαχείριση των ΑΣΑ είναι μία σημαντική πρόκληση στην οποία θα πρέπει να δοθούν βιώσιμες λύσεις. Στην ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης που υποστηρίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) προηγείται η πρόληψη παραγωγής στερεών αποβλήτων, με σκοπό τη μείωση του όγκου τους, ακολουθεί η ανακύκλωση και η ανάκτηση υλικών, κατόπιν η ανάκτηση ενέργειας, ενώ η ταφή αποτελεί τη χειρότερη επιλογή χειρισμού των αποβλήτων.



Εικόνα 2-1: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν σε μεγάλο ποσοστό τροφίμων, δηλαδή ένα υψηλό κλάσμα ταχέως βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ) σε εύλογο χρονικό διάστημα δύναται να αποδομούνται. Πιο συγκεκριμένα βιοαποδομήσιμα απόβλητα είναι τα υπολείμματα τροφίμων, τα πράσινα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απόβλητα χαρτιού και τα βιοαποικοδομήσιμα πλαστικά.



Εικόνα 2-2: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

Το κλάσμα των ταχέως βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυσκολία στη διαχείριση τους καθώς περιέχει υψηλό ποσοστό υγρασίας, φέρει παθογόνους μικροοργανισμούς και εκλύει δυσάρεστες οσμές.

Η διαχείριση των ΒΑΑ πρέπει να εναρμονίζεται πλήρως με όσα ορίζονται ρητά στην κείμενη κοινοτική νομοθεσία και κυρίως σε ότι αφορά σε συμμόρφωση με την Κοινοτική Οδηγία 1999/31/ΕΚ Οδηγία του Συμβουλίου περί Υγειονομικής Ταφής των Αποβλήτων και την ενσωμάτωση αυτής στο εθνικό δίκαιο (ΚΥΑ 29407/3508/2002) όπου ποσοτικοποιούνται οι στόχοι εκτροπής των ΒΑΑ από τους ΧΥΤΑ. Οι σχετικοί ποσοτικοί περιορισμοί συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Έως την 16^η Ιουλίου 2010 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 75% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.
- Έως την 16^η Ιουλίου 2013 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 50% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.
- Έως την 16^η Ιουλίου 2020 η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ΒΑΑ που θα διατίθεται προς υγειονομική ταφή θα ανέρχεται στο 35% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των ΒΑΑ που είχε παραχθεί το έτος 1995.

Τα μέτρα για την επίτευξη των προηγούμενων στόχων αναφέρονται κυρίως στην προώθηση της αξιοποίησης των αποβλήτων και ειδικότερα στην ανακύκλωση, λιπασματοποίηση ή παραγωγή βιομεθανίου ή ανάκτηση υλικών/ ενέργειας (άρθρο 21 Παράρτημα ΙΙΒ της ΚΥΑ 69728/96).

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται η ξήρανση και η κομποστοποίηση ως μέθοδοι διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων ΑΣΑ και στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται μέθοδοι αυτοί.

2.2 Ξήρανση

Ο όρος ξήρανση (drying) αναφέρεται κυρίως στην αφαίρεση μικρών σχετικά ποσοτήτων υγρού (αφαίρεση υγρασίας ή πτητικών ουσιών) από τα στερεά ή

ημιστέρεα υλικά προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του εναπομείναντος υγρού σε μία αποδεκτή χαμηλή τιμή και τελικά να παραχθεί ένα στερεό προϊόν. Η αφαίρεση υγρασίας από αέρια αποδίδεται κυρίως στους όρους αφύγρανση (dehumidification) και προσρόφηση (adsorption). Συνήθως η ξήρανση αποτελεί την τελική βαθμίδα μιας σειράς διεργασιών και το προϊόν μετά τη ξήρανση είναι πολλές φορές έτοιμο προς χρήση στο εμπόριο. Παράλληλα, το νερό ή οποιαδήποτε άλλα υγρά, απομακρύνονται είτε θερμικά με εξάτμιση είτε μηχανικά.

Στις διεργασίες ξήρανσης δίνεται περισσότερο έμφαση συνήθως στο αποξηραμένο τελικό προϊόν και στις περισσότερες περιπτώσεις η ξήρανση επιτυγχάνεται με αφαίρεση της υγρασίας σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού. Η διεργασία της ξήρανσης μετατρέπει ένα στερεό ή ημιστερεό ή υγρό υλικό σε ένα στερεό προϊόν με εξάτμιση του υγρού μέσω εφαρμογής θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συναγωγή (ξηραντήρες), με αγωγιμότητα, με ακτινοβολία ή με θέρμανση σε φούρνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ξήρανση δύναται να προκαλέσει επιθυμητές ή ανεπιθύμητες χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις, οδηγώντας σε αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή, και άλλες ιδιότητες του ρευστού προϊόντος.

Τα στέρεα που πρόκειται να υποστούν ξήρανση μπορεί να βρίσκονται σε διάφορες μορφές όπως νιφάδες, κόκκοι, κρύσταλλοι, σκόνη, πλάκες ή συνεχή φύλλα και να έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Το υγρό που πρόκειται να εξατμιστεί μπορεί να βρίσκεται είτε στην επιφάνεια του στερεού, είτε στο εσωτερικό του, είτε εν μέρει στην επιφάνεια και εν μέρει στο εσωτερικό. Συγκεκριμένα τα στερεά υλικά δύναται να περιέχουν δύο κατηγορίες υγρασίας:

- Την υγρασία που συγκρατείται με χαλαρούς χημικούς δεσμούς και είναι παγιδευμένη μέσα στη μικροκατασκευή του στερεού και η οποία ασκεί τάση ατμών μικρότερη από αυτή του καθαρού υγρού. Η υγρασία αυτή ονομάζεται «δεσμευμένη υγρασία» και παρουσιάζεται ως φυσικά προσροφημένο νερό, κρυσταλλικό νερό ή ως διάλυμα.
- Την υγρασία που συγκρατείται με χαλαρούς χημικούς δεσμούς και υπάρχει στο στερεό σαν υγρό διάλυμα. Η υγρασία αυτή ονομάζεται «μη δεσμευμένη» και είναι σε περίσσεια σε σχέση με τη δεσμευμένη.

Η κύρια διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες υγρασίας είναι ότι η αποβολή της μη δεσμευμένης υγρασίας πραγματοποιείται πιο εύκολα από το στερεό, ακόμα και με ελεύθερη εξάτμιση, ενώ για την αποβολή της δεσμευμένης υγρασίας απαιτείται θέρμανση.

Ο ρυθμός της ξήρανσης εξαρτάται από το ρυθμό που ακολουθούν:

- Η μεταφορά ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Προκαλείται από τη βαθμίδα της θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του υλικού και στον περιβάλλοντα αέρα. Η μεταφορά ενέργειας εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες, όπως η υγρασία αέρα, ο ρυθμός ροής του αέρα στην επιφάνεια έκθεσης και η πίεση. Τέλος μπορεί να επιτευχθεί με συναγωγή, αγωγή και ακτινοβολία.
- Η μεταφορά της μάζας της εσωτερικής υγρασίας στην επιφάνεια του στερεού λόγω διάχυσης και ακολούθως εξάτμισης. Η διάχυση της υγρασίας πραγματοποιείται από τη βαθμίδα συγκέντρωσης του νερού στο εσωτερικό του υλικού και την επιφάνεια του υλικού και εξαρτάται από τη φύση του υλικού και τη θερμοκρασία.

2.2.1 Μέθοδοι Ξήρανση

Η διεργασία της ξήρανσης έχει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία στις οποίες το απομακρυσμένο πτητικό συστατικό είναι συνήθως το νερό. Κάποιες από τις μεθόδους ξήρανσης χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε βιομηχανικό αλλά και σε εργαστηριακό επίπεδο. **Οι κυριότερες μέθοδοι ξήρανσης είναι:**

- **Συμβατική μέθοδος:** Πραγματοποιείται έχοντας ως πηγή θερμότητας θερμαινόμενο αέρα που διαχέεται μέσα στο φούρνο με τη βοήθεια ενός προσαρμοζόμενου ανεμιστήρα. Τα προϊόντα που τοποθετούνται μέσα στο φούρνο αλλάζουν σταδιακά ξεκινώντας από την αρχική τους θερμοκρασία και καταλήγοντας στη θερμοκρασία ξήρανσης του ξηραντήρα. Η θερμοκρασιακή διαφορά αποτελεί την κινητήρια δύναμη που οδηγεί στην εξάτμιση.
- **Ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying, freeze dehydration):** Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται συνήθως με την εφαρμογή κενού και ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Αρχικά έχουμε τη κατάψυξη του φρέσκου υλικού και ακολούθως την ξήρανση υπό κενό, έτσι ώστε να εξαχνωθεί ο πάγος. Η απόλυτη πίεση λειτουργίας είναι συνήθως χαμηλότερη από την πίεση του τριπλού σημείου του νερού με συνέπεια να επιτευχθεί η εξαχνωση του πάγου.

- **Οσμωτική Αφυδάτωση (osmotic dehydration)**: Πρόκειται για την αφαίρεση νερού από κυτταρώδη υλικά όπως τα φρούτα και λαχανικά, τα οποία βυθισμένα σε κορεσμένο οσμωτικό διάλυμα που αποτελείται από έναν ή περισσότερους διαλύτες, χάνουν το νερό από τα κύτταρα τους διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης.
- **Μικροκύματα**: Σύμφωνα με τη μέθοδο η εξάτμιση αρχίζει να πραγματοποιείται πολύ γρήγορα δημιουργώντας μια μεγάλη κινητήρια δύναμη. Συνεπώς, υπάρχει μια επίδραση μιας αναλυτικής δύναμης, η οποία ωθεί την υγρασία στην επιφάνεια του υλικού. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μια πολύ γρήγορη ξήρανση, χωρίς να χρειάζεται να υπερθερμανθεί η ατμόσφαιρα ή να υποστεί η επιφάνεια τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης.
- **Μέθοδος Βιολογικής Ξήρανσης**: Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατά επέκταση του όγκου τους, στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF. Ειδικότερα η μέθοδος αυτή μετατρέπει υπό αερόβιες συνθήκες το κλάσμα των σύμμεικτων απορριμμάτων, απαλλαγμένο από μέταλλα, σε δευτερογενές καύσιμο SRF πλουσιότερο σε οργανική ύλη. 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. Τέλος επισημαίνεται ότι η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης για την παραγωγή SRF εφαρμόζεται ήδη, με μεγάλη επιτυχία, σε συνολικά δέκα τρεις (13) εγκαταστάσεις στην Ιταλία, τη Γερμανία και το Βέλγιο. Επιπρόσθετα, τέσσερις (4) ακόμη μονάδες προετοιμάζονται στην Αγγλία. (Πηγή: ΕΣΔΑΚ, Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων, Α.Μαυρόπουλος, 2008).

Στην αγορά υπάρχουν συστήματα επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή χωρίς να ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχείρισης των οικιακών αποβλήτων. Στην συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή των υφιστάμενων εμπορικών συστημάτων ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή.

Τα υλικά, βάση της συμπεριφοράς τους κατά την ξήρανση, κατηγοριοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

- Στα κοκκώδη ή κρυσταλλικά υλικά: Συγκρατούν την υγρασία στα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων ή σε επιφανειακούς πόρους. Η κίνηση της υγρασίας δεν εμποδίζεται ιδιαίτερα και λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των βαρυτικών και των τριχοειδών δυνάμεων. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως ανόργανα και μένουν ανεπηρέαστα από την παρουσία του υγρού και γι' αυτό παραμένουν ανεπηρέαστα από την διεργασία της ξήρανσης. Επιπλέον στα υλικά αυτής της κατηγορίας οι συνθήκες ξήρανσης επιλέγονται κατά κύριο λόγο βάσει οικονομικών κριτηρίων και λιγότερο βάσει των ιδιοτήτων των αποξηραμένων προϊόντων. Στις ένυδρες ουσίες, οι συνθήκες ξήρανσης επηρεάζουν το προϊόν που λαμβάνεται, αλλά τα υλικά δεν επηρεάζονται από τις συνθήκες ξήρανσης για μεγάλα εύρη θερμοκρασιών και υγρασιών. Για τα υλικά αυτά η υγρασία ισορροπίας είναι συνήθως πολύ κοντά στο μηδέν.
- Στα οργανικά στερεά: Τα περισσότερα οργανικά στερεά είναι είτε άμορφα είτε ινώδη ή έχουν δομή παρόμοια με γέλη και αποτελούν την δεύτερη κατηγορία υλικών. Στα υλικά αυτά η υγρασία αποτελεί απαραίτητο μέρος της δομής τους ή είναι παγιδευμένη σε ίνες ή πόρους. Η κίνηση της υγρασίας είναι αργή και πιθανότατα πραγματοποιείται με τη διάχυση του υγρού μέσα στη δομή του στερεού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ρυθμός ξήρανσης να ελέγχεται από το ρυθμό διάχυσης του υγρού μέσα στο στερεό και γι αυτό το λόγο οι καμπύλες ξήρανσης δείχνουν πολύ μικρές περιόδους σταθερού ρυθμού που καταλήγουν σε υψηλές τιμές κρίσιμης υγρασίας. Η υγρασία ισορροπίας είναι γενικά μεγάλη, υποδηλώνοντας έτσι μια μεγάλη ποσότητα του νερού που κατακρατείται τόσο σταθερά από τη δομή του στερεού ή σε μικροσκοπικούς πόρους του, που η τάση ατμών εμφανίζεται αισθητά μειωμένη. Το νερό που υπάρχει είναι ισχυρά συνδεδεμένο με τη δομή του υλικού και γι αυτό το λόγο επηρεάζονται έντονα από την αφαίρεση της υγρασίας. Συχνά παρατηρείται η γρηγορότερη ξήρανση

των επιφανειακών στρωμάτων από τα εσωτερικά. Δηλαδή εάν ο ρυθμός ξήρανσης είναι υψηλός τότε μπορεί να δημιουργηθούν διαφορές στο ποσοστό υγρασίας μεταξύ των επιφανειακών και εσωτερικών στρωμάτων, με συνέπεια να εμφανιστούν ρωγμές και αναδιπλώσεις στο υλικό. Επίσης μπορεί να σχηματιστεί εξωτερικά ένα αδιαπέραστο αποξηραμένο κέλυφος, που εμποδίζει την διαδικασία της ξήρανσης και επιτείνει την ανομοιομορφία στο ποσοστό της υγρασίας, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες αλλοίωσης του στερεού.

Ένα σημαντικό φαινόμενο κατά την ξήρανση είναι η συρρίκνωση των υλικών όσο μειώνεται το ποσοστό υγρασίας. Υπάρχουν ωστόσο υλικά που διαφέρουν ως προς την ιδιότητα αυτή. Σκληρά, πορώδη ή μη πορώδη, στερεά δεν συστέλλονται σημαντικά κατά την ξήρανση, αλλά τα κολλοειδή και ινώδη υλικά συρρικνώνονται σημαντικά όσο προχωράει η αφαίρεση της υγρασίας από αυτά. Το φαινόμενο της συρρίκνωσης έχει τρεις σημαντικές συνέπειες: Πρώτη συνέπεια είναι η μεταβολή που παρατηρείται στην επιφάνεια του υλικού ανά μονάδα μάζας με συνέπεια να μην είναι γνωστή η επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα λαχανικά και στα τρόφιμα, όπου μεταβάλλεται η επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη στον αέρα. Η δεύτερη συνέπεια είναι η ανάπτυξη μιας σκληρής στοιβάδας, αδιαπέραστης από την ροή της υγρασίας είτε ως υγρό είτε ως ατμός. Συνεπώς η υγρασία αδυνατεί να κινηθεί εύκολα από το εσωτερικό του στερεού προς την επιφάνεια του, ελαττώνοντας σημαντικά την ξήρανση. Η τρίτη συνέπεια είναι η αλλαγή στην ολική δομή του στερεού.

Στα στερεά που παρουσιάζουν τη δεύτερη και τρίτη συνέπεια της συρρίκνωσης επιθυμητή είναι η διεξαγωγή της ξήρανσης με υγρό αέρα, δηλαδή επιδιώκεται η ελάττωση της διαφοράς υγρασίας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού έτσι ώστε να ελαττωθεί ο ρυθμός ξήρανσης.

Η ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή, Οικιακή Ξήρανση, θεωρείται ως μια αναδυόμενη βιώσιμη επιλογή για τη διαχείριση των διατροφικών αποβλήτων, δεδομένου ότι αυτό το κλάσμα των αποβλήτων έχει μια περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 75-95% κατά βάρος (Zhang et al, 2007). Επομένως, η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας με ξήρανση στην πηγή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση μάζας και όγκου των αποβλήτων κουζίνας. Τα υψηλά θερμοδικώς, οργανικά υλικά (βιομάζα), διαχωριζόμενα και αποξηραμένα στην πηγή μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα καθώς παρέχουν επιπλέον φιλικές προς

το περιβάλλον δυνατότητες για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας (π.χ. πράσινη ενέργεια, βιοκαύσιμα). Επιπλέον η ξήρανση των οικιακών αποβλήτων είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση και επεξεργασία των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές σε συστήματα μικρής κλίμακας, τα οποία να έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την διαχείριση των οργανικών απορριμμάτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

2.2.2 Τύποι Ξηραντήρων

Μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων ξήρανσης έχει αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια, βασισμένη κυρίως στη βιομηχανική εμπειρία. Συχνά υπάρχουν ξηραντήρες διαφορετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για παρόμοιες διεργασίες, γιατί είναι συνηθισμένο σ' ένα τομέα της βιομηχανίας να χρησιμοποιείται ένας τύπος και σ' έναν άλλο τομέα ένας άλλος τύπος, που μπορεί να είναι τελείως διαφορετικός, για τον ίδιο σκοπό. Οι κυριότεροι τύποι ξηραντήρων είναι οι εξής:

Ξηραντήρας Θαλάμου

Ξηραντήρας ασυνεχούς λειτουργίας. Αποτελείται από μονωμένο θάλαμο μεγάλου μεγέθους, για να μπορεί να χωράει μεγάλες παρτίδες ανά κύκλο. Διακρίνονται δύο τύποι ξηραντήρων θαλάμου, οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου και οι ξηραντήρες θαλάμου κενού.

Οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου λειτουργούν κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες ή κενό. Η θέρμανσή τους γίνεται με κυκλοφορία ενός αερίου μέσα στον ξηραντήρα, όπως προθερμασμένος αέρας ή θερμά καύσιμα αέρια. Το αέριο ξήρανσης εισέρχεται στον ξηραντήρα με την όσο το δυνατόν πιο υψηλή θερμοκρασία που η σταθερότητα του υλικού μπορεί να επιτρέψει. Η χρήση της όσο το δυνατόν πιο υψηλής θερμοκρασίας προτείνεται, επειδή η ικανότητα μεταφοράς υγρασίας του αερίου ν και ο ρυθμός ξήρανσης του υλικού υ αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το υλικό που θα ξηραθεί, τοποθετείται με οποιοδήποτε τρόπο, όπως π.χ με άπλωμα του υλικού και υποστήριξη του πάνω σε ράφια ή κρεμασμένο από κατάλληλες κρεμάστρες ή τοποθετημένο το ένα πάνω στο άλλο σε σωρό. Οι λεπτομέρειες της κατασκευής αντικατοπτρίζουν την ευκολία στο χειρισμό και την

μετέπειτα ξήρανση του υλικού. Για παράδειγμα, οι δίσκοι (ράφια) θα πρέπει να έχουν μια απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε ο θερμός αέρας ξήρανσης να μπορεί να κυκλοφορεί ανάμεσα και πάνω από κάθε δίσκο με δεδομένη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας, αν είναι απαραίτητο, ανακλαστήρες για ομοιομορφία κατανομής του μέσα στο ξηραντήριο. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα ειδικά χρησιμοποιείται για μικρές παρτίδες ή για ξήρανση υλικών που πρέπει να ξηρανθούν αργά και έτσι ο χρόνος ξήρανσης θα είναι μεγάλος. Ο ξηραντήρας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο εργονομικός, δηλαδή να μπορεί να λειτουργεί κάτω από συνθήκες όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ρυθμού ξήρανσης. Όταν το υλικό τοποθετείται στα ράφια, ανάλογα και με τη φύση του υλικού, η ξήρανση λαμβάνει χώρα και από τις δυο μεριές των ραφιών ή καλύτερα και ενδιάμεσα, αλλά αυτό αναφέρεται παρακάτω.

Στους ξηραντήρες θαλάμου κενού η ξήρανση υπό κενό χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του υλικού από αυξημένες θερμοκρασίες και οξειδώσεις. Επίσης χρησιμοποιείται για λόγους ευκολίας, όπως για παράδειγμα στην ανάληψη μιας οργανικής ουσίας από εκχυλισμένο στερεό. Αν σ' αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιηθεί αέρας ως μέσο ξήρανσης, η παροχή αέρα θα δώσει ένα μίγμα αέρα-διαλύτη, που μπορεί να είναι εκρηκτικό, και ενώ ο διαλύτης σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να αναληφθεί εύκολα, σ' άλλες δεν είναι και τόσο πρακτικό. Όταν χρησιμοποιείται κενό, ένα σημαντικό μέρος του συστήματος είναι ο συμπυκνωτής, που βρίσκεται μεταξύ του ξηραντήρα και της αντλίας κενού. Ο κύριος όγκος του διαλύτη συλλέγεται στο συμπυκνωτή. Μια ποσότητα διαλύτη χάνεται στην αντλία κενού, γιατί τα μη-συμπυκνούμενα αέρια που εξέρχονται είναι κορεσμένα με το διαλύτη. Για να υπάρχουν λίγες απώλειες σ' αυτό το σημείο, το νερό ψύξης του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι στη χαμηλότερη πρακτικά θερμοκρασία. Αν είναι αναγκαίο, η περίσσεια του διαλύτη στα μη-συμπυκνούμενα αέρια συλλέγεται με κατάλληλο προσροφητικό μέσο. Στη ξήρανση κενού χρησιμοποιείται έμμεση θέρμανση. Σε ξηραντήρες κενού με ράφια, οι δίσκοι του υλικού τοποθετούνται σε επίπεδα ράφια, διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί το μέσο ξήρανσης, όπως ατμός ή θερμό νερό. Οι περιστροφικοί ξηραντήρες κενού είναι εφοδιασμένοι με διπλότοιχο σύστημα και το προς ξήρανση υλικό έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες που αποξέονται συνεχώς. Η απόξυση διατηρεί τις θερμές επιφάνειες καθαρές και το υλικό σε συνεχή ανάμιξη, έτσι οι ρυθμοί ξήρανσης είναι σαφώς υψηλότεροι απ' αυτούς που θα είχαμε αν ξηραίναμε το υλικό σε ράφια. Εφόσον η απόξυση συνήθως παράγει σκόνη που

μπορεί να δημιουργήσει απόφραξη (fouling) στο συμπυκνωτή ή στην αντλία κενού, μετά τον ξηραντήρα συνήθως υπάρχει σύστημα για τη συλλογή της σκόνης. Κατά τη περίοδο σταθερού ρυθμού, το υγρό βράζει στο σημείο βρασμού, που αντιστοιχεί στο κενό που επικρατεί στον ξηραντήρα. Πολύ θερμοευαίσθητα υλικά, όπως η πενικιλίνη και ο ορός του αίματος ξηραίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (ψύξης) και απαιτούν τη διατήρηση πολύ υψηλού κενού. Αυτή η διεργασία ονομάζεται λυοφιλίωση (freeze-drying).

Ξηραντήρας Σήραγγας

Οι ξηραντήρες αυτοί έχουν σχεδιαστεί για ξήρανση υπό συνεχή λειτουργία μεγάλων ποσοτήτων υλικού, που σε μικρές ποσότητες αντιμετωπίζονταν σε ατμοσφαιρικούς ξηραντήρες θαλάμου. Για παράδειγμα, για τη μετατροπή από ξήρανση θαλάμου με ράφια σε ξήρανση σήραγγας, τα ράφια φορτώνονται σε καροτσάκια και καθώς ένα καροτσάκι εισέρχεται στη σήραγγα κάποιο άλλο εξέρχεται στο αντίθετο άκρο. Ο ξηραντήρας σήραγγας, μπορεί να διαιρεθεί σε τμήματα για την εφαρμογή διαφόρων συνθηκών ξήρανσης. Το μήκος της σήραγγας εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του υλικού στον ξηραντήρα, δηλαδή από το ρυθμό ξήρανσης και την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το υλικό στον ξηραντήρα. Η ξήρανση σήραγγας είναι φτωχό υποκατάστατο της ξήρανσης θαλάμου με ράφια, αφού τα εργατικά είναι το ίδιο υψηλά για το φόρτωμα και ξεφόρτωμα των καροτσιών. Το κύριο πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης ενός ξηραντήρα σήραγγας είναι η αντιρροή του αέρα ξήρανσης στα ράφια. Υπάρχουν πιο πρακτικοί τρόποι για τον χειρισμό υγρών μικρομερών στερεών σε συνεχή λειτουργία, όπως ο ξηραντήρας ενδιάμεσης κυκλοφορίας με μεταφορική ταινία, ο ξηραντήρας τουρμπίνας ή ο περιστροφικός ξηραντήρας.

Ο ξηραντήρας σήραγγας είναι προτιμότερος για ξήρανση, σε συνεχή λειτουργία υλικών όπως η ξυλεία, τούβλα, κεραμικά, δέρματα και υγρές κλωστές. Είναι η καλύτερη μέθοδος για ξήρανση υπέρυθρης ακτινοβολίας και «ψησίματος» βαμμένων ή λακαρισμένων επιφανειών.

Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας

Αυτοί οι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται για τη ξήρανση κοκκωδών υλικών. Ο αέρας ξήρανσης διέρχεται μέσα από τη κλίνη και γύρω από τα σωματίδια του προς ξήρανση υλικού. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι ρυθμοί ξήρανσης

ανά κιλό υλικού σε σχέση με την ξήρανση δίσκων σε παρόμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα.

Αν το υλικό κινείται ελεύθερα, τότε ο ξηραντήρας λειτουργεί με την αρχή της κινούμενης κλίνης, δηλαδή το υλικό εισέρχεται από την κορυφή ενός πύργου και κινείται με την βαρύτητα, ενώ ο αέρας ξήρανσης περνά από μέσα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο αέρας ξήρανσης μπορεί να κινείται και κατά πλάτος της κινούμενης κλίνης. Υλικά που μπορούν και κινούνται ελεύθερα μπορούν να ξηραθούν με την αρχή της ρευστοποιημένης στοιβάδας, με τον αέρα ξήρανσης να παίζει το ρόλο του ρευστοποιητικού μέσου. Σε άλλη περίπτωση το υλικό μπορεί να μην κινείται ελεύθερα, αλλά μπορεί να ξηραθεί σε συνεχή λειτουργία με κατάλληλο άπλωμα του πάνω σε κινούμενη μεταφορική ταινία. Μερικά υλικά δεν μπορούν να ξηραθούν σε τέτοιο τύπο ξηραντήρα λόγω της μικρής διαπερατότητας τους. Μπορούν όμως να τροποποιηθούν σε συσσωματώματα κατάλληλου μεγέθους και σχήματος για να δημιουργήσουν στοιβάδες υψηλής διαπερατότητας.

Ξηραντήρας Τουρμπίνας

Αποτελείται από δακτυλιοειδή ράφια που είναι τοποθετημένα κάθετα το ένα πάνω στο άλλο με την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Κάθε ράφι αποτελείται από τμήματα με κενά μεταξύ τους. Ο κεντρικός άξονας φέρει ανεμιστήρες τύπου τουρμπίνας, που εισάγουν ακτινικά τον αέρα ξήρανσης στον ξηραντήρα. Θερμαντικά στοιχεία είναι τοποθετημένα γύρω από τα ράφια. Όλο το σύστημα – ράφια, ανεμιστήρες και θερμαντικά στοιχεία είναι κλεισμένο σε κυλινδρικό ή εξαγωνικό κέλυφος. Υπάρχουν πόρτες για πρόσβαση στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Το σύστημα περιστρέφεται με ταχύτητες 0.1-1 rpm. Οι ανεμιστήρες κυκλοφορούν τον αέρα με ταχύτητες από 0.8 ως 3.0 m/s. Ο φρέσκος αέρας εισέρχεται στη βάση του ξηραντήρα, κυκλοφορεί μέσα στο ξηραντήρα και εξέρχεται από την κορυφή.

Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω ράφι. Ένας σταθερός βραχίονας πατάει και φέρνει στο ίδιο επίπεδο όλο το υλικό που εισέρχεται σε κάθε τμήμα του ραφιού. Καθώς το ράφι περιστρέφεται περνάει τελικά από ένα άλλο σταθερό βραχίονα, ο οποίος αποξύνει το υλικό και το αναγκάζει μέσα από μια οπή να πέσει στο αμέσως κάτω ράφι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και το υλικό κατέρχεται διαδοχικά από ράφι σε ράφι. Τα ράφια έχουν απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε το υλικό να μην βρίσκεται σε επαφή και με τα δύο ράφια καθώς κατέρχεται μέσω του

κενού. Καθώς το υλικό κατέρχεται από ράφι σε ράφι, πάντα μια φρέσκια επιφάνεια εκτίθεται στον αέρα ξήρανσης, με αποτέλεσμα ο ρυθμός ξήρανσης να είναι αυξημένος, σε σχέση με την απλή ξήρανση δίσκων και το προϊόν να είναι ομοιόμορφα ξηραμένο. Το τελικό προϊόν εξέρχεται από το κάτω ράφι πάνω σε μεταφορική ταινία και απομακρύνεται.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του ξηραντήρα είναι ότι έχει καλή δυναμικότητα ξήρανσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι καταλαμβάνει μικρό χώρο. Αυτοί οι τύποι ξηραντήρων μπορούν να ξηράνουν υλικά με μεγάλο εύρος υγρασιών.

Περιστροφικός Ξηραντήρας

Αποτελείται από περιστροφικό κυλινδρικό κέλυφος. Ο άξονας του κελύφους σχηματίζει μικρή γωνία με το οριζόντιο επίπεδο. Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω μέρος και κινείται προς τα εμπρός καθώς το κέλυφος περιστρέφεται. Η θέρμανση μπορεί να γίνει με απ' ευθείας επαφή του στερεού με θερμό αέρα ή με θερμά καύσιμα αέρια. Επίσης μπορεί να γίνει με έμμεση επαφή μέσω θερμαινόμενων επιφανειών.

Η μέθοδος της απ' ευθείας επαφής είναι πιο συνηθισμένη αλλά όταν η επαφή με τον θερμό αέρα ή με τα θερμά καύσιμα αέρια δεν είναι επιθυμητή χρησιμοποιείται η άλλη μέθοδος. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο θέρμανσης, οι ατμοί πρέπει να εξέρχονται από τον ξηραντήρα και αυτό γίνεται στις πλείστες περιπτώσεις με τη βοήθεια ρεύματος αέρα που περνά μέσω του ξηραντήρα. Αυτοί οι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται πιο πολύ για κοκκώδη υλικά που κινούνται ελεύθερα. Ο τύπος αυτός του ξηραντήρα διακρίνεται σε περιστροφικό ξηραντήρα με θέρμανση με απ' ευθείας επαφή και σε περιστροφικό ξηραντήρα με θέρμανση χωρίς απ' ευθείας επαφή.

Ξηραντήρας Τυμπάνων

Ο ξηραντήρας τυμπάνων αποτελείται από εσωτερικά θερμαινόμενα περιστροφικά τύμπανα. Η ξήρανση λαμβάνει χώρα στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου. Το υλικό καθώς ξηραίνεται είναι στη μορφή λεπτού στρώματος απλωμένου ομοιόμορφα και με όμοιο πάχος στην επιφάνεια του τυμπάνου. Έτσι αυτός ο τύπος ξηραντήρων είναι καταλληλότερος για πολτούς ή πάστες στερεών σε λεπτο-αιώρηση και αληθινών διαλυμάτων. Στη περίπτωση των διαλυμάτων, το

τύμπανο συνδυάζει τη λειτουργία συμπτυκνωτή και ξηραντήρα μαζί. Διαλύματα που μπορεί να ξηραθούν σε τύμπανα, είναι αυτά των ένυδρων κρυστάλλων τηγμένα στο νερό κρυστάλλωσής τους. Οι ξηραντήρες τυμπάνων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μονού τυμπάνου, διπλών τυμπάνων και ζεύγους τυμπάνων. Στους ξηραντήρες διπλών τυμπάνων, τα δυο τύμπανα περιστρέφονται το ένα ως προς το άλλο, ενώ στους ξηραντήρες ζεύγους τυμπάνων, περιστρέφονται αντίθετα.

2.3 Βιολογική Ξήρανση

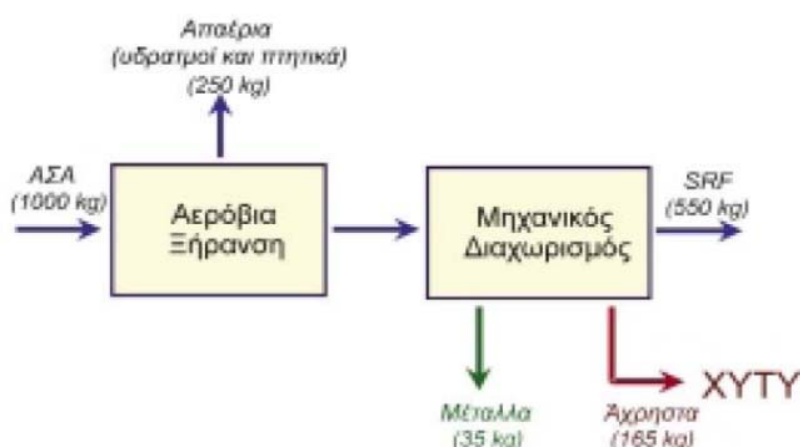
Η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης ή βιο-ξήρανση είναι μία μέθοδος παρόμοια με την αερόβια επεξεργασία σε συνδυασμό με τη μηχανική επεξεργασία. Το κύριο προϊόν είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο πλούσιο σε περιεχόμενο βιομάζας και υψηλής θερμογόνου δύναμης, το SRF (Solid Recovered Fuel) (Πηγή: C.A. Velis, 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)».

Κατά την βιολογική ξήρανση επιτυγχάνεται μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ (12 - 15% κατά βάρος), διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων σιδηρούχων μετάλλων και του αλουμινίου και 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. Στο Σχήμα 1-1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μιας εγκατάστασης βιολογικής ξήρανσης, με τυπικό ισοζύγιο μάζας.

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 τη θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ του νωπών απορριμμάτων (στερεά κατάσταση) και του αέρα που ρέει μέσα από το υλικό (αέρια κατάσταση).

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.



Σχήμα 2-1: Διάγραμμα Ροής Τυπικής Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας

(Πηγή: Αλέξανδρος Π. Οικονομόπουλος (Φεβρουάριος 2007), «Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης)

Η απαραίτητη ενέργεια για την ξήρανση παρέχεται από την βιολογική αερόβια αποδόμηση του υλικού, σε αντίθεση με τις συμβατικές ξηράνσεις 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 (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).

Ο ρυθμός της βιολογικής αποδόμησης γενικά δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτόν της κομποστοποίησης εφόσον λαμβάνει χώρα με πολύ μικρότερο περιεχόμενο υγρασίας (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).

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. Παράγεται και νερό από την μεταβολική δραστηριότητα (0,5-0,6g νερού/g υποστρώματος που βιοαποδομείται). Η ποσότητα που απομακρύνεται όμως είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται για αυτό και το υλικό ξηραίνεται.

Η Βιολογική ξήρανση εφαρμόζεται στις με τις εξής μεθόδους:

- **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. Ο εκλυόμενος αέρας οδηγείται σε 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. Το σταθεροποιημένο υλικό είτε δεματοποιείται και οδηγείται στο X.Y.T.A.. είτε αν είναι επιθυμητή η παραγωγή SRF, τότε πραγματοποιείται η μηχανική μετ-επεξεργασία.



Εικόνα 2-3: Τμήμα Υποδοχής, Τεμαχισμού, Βιολογικής Ξήρανσης Απορριμμάτων

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

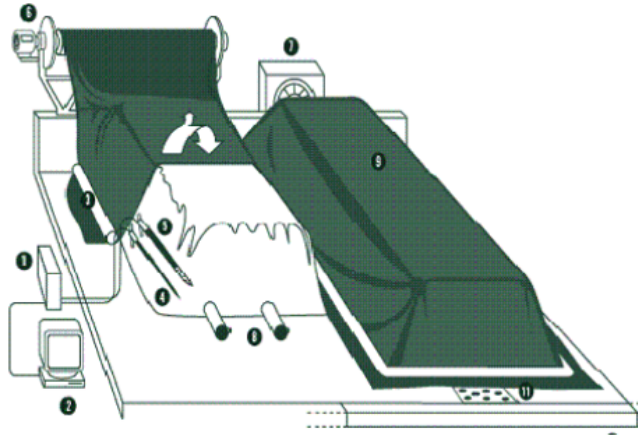
- **Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς:** Μέθοδος χαμηλού κόστους και η οποία εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακας εγκαταστάσεις ή σε απόβλητα που έχουν υποστεί σε κάποιο βαθμό διαλογή. Συνήθως αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται με στους ΧΥΤΑ και δεν απαιτούν σημαντική κτιριακή υποδομή. Σε αυτά τα συστήματα, 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 ΧΥΤΑ, 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).

1. Σύστημα ελέγχου
2. Η/Υ
3. Συγκρότηση 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. Κενάκια ερμιμηού τύπου "in floor"



Εικόνα 2-4: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς

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

- **Βιολογική Ξήρανση (Αερόβια Επεξεργασία):** Εναλλακτική τεχνική της αερόβιας κομποστοποίησης είναι η αερόβια ξήρανση. 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.



Κλειστό bio-box

Ανοιγμένο bio-box

Εικόνα 2-5: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά

(Πηγή: Juniper (2005), «Mechanical–Biological Treatment: A Guide for Decision Makers, Processes, Policies and Markets», Juniper Consultancy Services, UK)

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.

Η βιολογική ξήρανση σε βιομηχανικό κτίριο, εντός διαμερισμάτων (boxes) λαμβάνει χώρα σε κλειστά μεταλλικά ή τσιμεντένια κουτιά (διαμερίσματα) που η χωρητικότητα 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.

2.4 Κομποστοποίηση

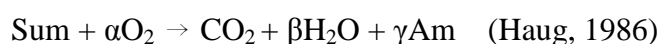
Η διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται η αερόβια σταθεροποίηση και αποδόμηση οργανικών υποστρωμάτων από μικροβιακούς πληθυσμούς, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ονομάζεται κομποστοποίηση (composting) (Li & Lu, 2013). Η κομποστοποίηση είναι η φυσική διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά απορρίμματα (φρούτα, λαχανικά, φύλλα, κλαδέματα κ.α.) μετατρέπονται σε ένα πλούσιο οργανικό μείγμα που λειτουργεί ως εδαφοβελτιωτικό και λίπασμα.

Η κομποστοποίηση είναι ο πιο πρακτικός, εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος για να εκμεταλλευτούμε τα οικιακά απορρίμματα και τα απόβλητα των κήπων, ενώ ταυτόχρονα να παράγουμε ένα πολύτιμο οργανικό λίπασμα (κομπόστ). Επιπλέον με τη χρήση του προϊόντος της κομποστοποίησης αυξάνουμε τη γονιμότητα των εδαφών. Επίσης με τη μέθοδο της κομποστοποίησης περιορίζουμε τη ρύπανση του εδάφους, των υπόγειων υδάτων και της ατμόσφαιρας καθώς επίσης μειώνουμε το ποσοστό απορριμμάτων που οδηγείται στους ΧΥΤΑ.

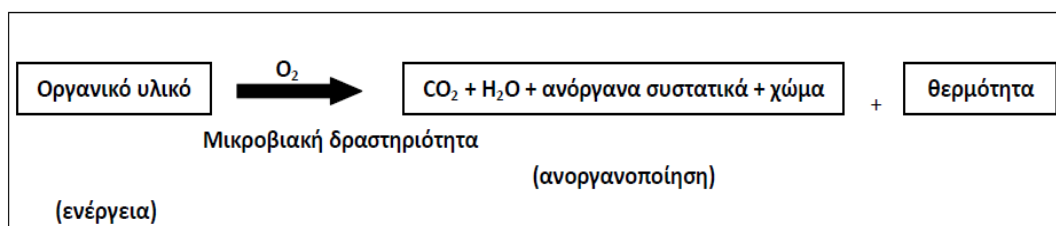
Τα κυριότερα αποτελέσματα που προκύπτουν από την κομποστοποίηση είναι:

- το τελικό προϊόν της διεργασίας, σταθεροποιημένο και απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς, μπορεί να διατεθεί για την καλλιέργεια του εδάφους με ευεργετικά για αυτό αποτελέσματα.
- παράγεται βιομάζα ως αποτέλεσμα της οξείδωσης του διαλυτού οργανικού υλικού σε CO₂ και H₂O.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω σχέση:



όπου: Sum: οργανική ουσία και Am: βιομάζα.

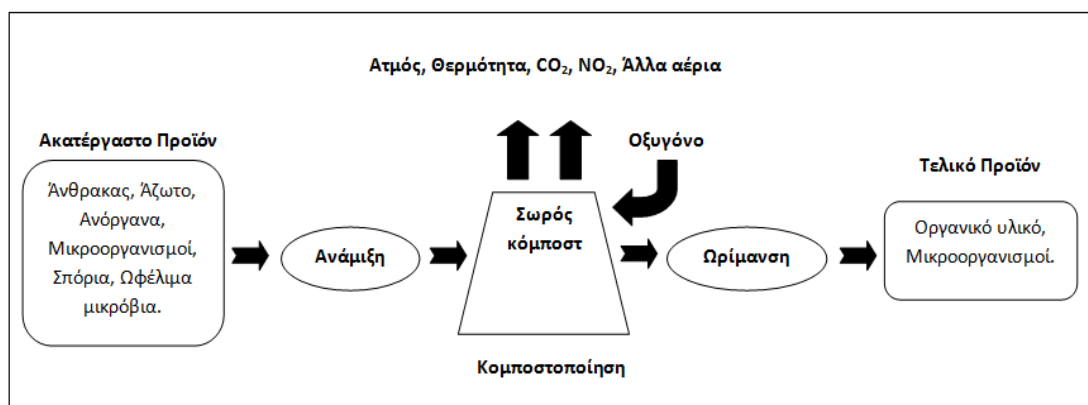


Εικόνα 2-6: Απεικόνιση Αντίδρασης Κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια επωφελή μέθοδο διαχείρισης και φυσικής ανακύκλωσης των οργανικών αποβλήτων, μέσω της οποίας αυτά βιοαποικοδομούνται σε ένα σταθερό προϊόν χουμοποίησης, το οποίο μετά από σχετική επεξεργασία μπορεί να αποθηκευτεί και χρησιμοποιηθεί, χωρίς πλέον να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντίθετα, συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, επιδρώντας θετικά στην ανάπτυξη και ανθοφορία των φυτών, ενώ υποβοηθά και στην καταστολή των φυτικών ασθενειών (Rynk et al., 1991; Martínez-Blanco et al., 2013).

Κατά τα αρχικά στάδια, οι μικροοργανισμοί αποικοδομούν το οργανικό υλικό με ταχείς ρυθμούς, καθώς αυτό διατίθεται σε μεγάλες ποσότητες. Στη συνέχεια προκειμένου να διασπασθούν οι εναπομείνουσες δύσκολα αποδομήσιμες ενώσεις, καθίσταται αναγκαίο να εκκρίνουν τα κατάλληλα ένζυμα.

Κατά τη διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται μείωση του όγκου και της μάζας των πρώτων υλών, ενώ παράγονται διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), νερό (H₂O), ανόργανες μορφές αζώτου και θερμότητα. Για την καλύτερη κατανόηση της διεργασίας παρατίθεται η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2-7: Απεικόνιση Διεργασίας Κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια διεργασία που εκτελείται με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Σε κάθε στάδιο της διαδικασίας οι μικροοργανισμοί ποικίλλουν ανάλογα με τις αλλαγές των διαφόρων φυσικοχημικών παραγόντων (π.χ. θερμοκρασία, pH, θρεπτικά συστατικά, επίπεδα οξυγόνου, αζώτου κλπ.), που διαμορφώνουν τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορούν να επιβιώσουν. Δηλαδή, σε κάθε στάδιο η αλλαγή στους φυσικοχημικούς παράγοντες συνεπάγεται την αλλαγή και διαδοχή των μικροβιακών πληθυσμών.

Δύο ιδιαίτερα σημαντικές φάσεις, κατά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης, είναι η ενεργή θερμοφιλή και η φάση ωρίμανσης. Στην πρώτη, η δραστηριότητα των μικροβιακών κοινοτήτων είναι έντονη και πραγματοποιείται η βιοαποικοδόμηση της οργανικής πρώτης ύλης. Ενώ στη δεύτερη, που αναφέρεται και ως φάση χουμοποίησης, τα εναπομείναντα οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε χουμικές ενώσεις.

Στην αρχή της κομποστοποίησης, κυρίαρχη είναι η παρουσία των βακτηρίων που παράγουν αμμωνία. Ο πληθυσμός τους αυξάνεται ραγδαία τις δύο πρώτες εβδομάδες, για να ελαττωθεί στη συνέχεια, έως ότου αντικατασταθούν από αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια, που παραμένουν στο σωρό μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Στη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης και της φάσης που την ακολουθεί,

δρουν τα κυτταρινολυτικά βακτήρια, τα οποία, όμως, αναπτύσσονται με αργούς ρυθμούς, αφού στο τελευταίο στάδιο επικρατούν κυτταρινολυτικοί μύκητες και ακτινομύκητες (Riffaldi et al, 1986).

Σύμφωνα με τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται και το είδος των μικροοργανισμών που επικρατούν, η κομποστοποίηση μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια-φάσεις:

- **Μεσόφιλη φάση (1^ο Στάδιο):** Το στάδιο αυτό είναι μικρό χρονικά και κατά τη διάρκεια του παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας ως την περιοχή, που ευνοεί την ανάπτυξη των μεσόφιλων μικροβιακών κοινοτήτων ($T < 40^{\circ}\text{C}$). Αρχικά, διασπώνται οι εύκολα αποικοδομήσιμες ενώσεις και η τιμή του pH μειώνεται. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός, ότι μεσόφιλα βακτήρια ($25 < T < 45^{\circ}\text{C}$) παράγουν οργανικά οξέα από την αποικοδόμηση των σακχάρων και των πρωτεϊνών (Strom et al., 1985). Παραδείγματα τέτοιων βακτηρίων είναι τα *Lactobacillus* spp. και *Acetobacter* spp.

Καθώς η θερμοκρασία οδεύει προς τα όρια μεταξύ μεσόφιλης και θερμόφιλης φάσης, έχουν απομονωθεί μεσόφιλα είδη μυκήτων, αλλά και θερμόφιλα, θερμοανθεκτικά βακτήρια και μύκητες. Ο σωρός δεν έχει υποστεί μείωση στο μέγεθος του, υπάρχει, συνεπώς, αφθονία θρεπτικών συστατικών για τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών και την αύξηση του πληθυσμού τους. Συνεπακόλουθο των προαναφερθέντων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας σε τέτοια επίπεδα, ώστε να παρεμποδίζεται πλέον η δράση των μεσόφιλων μικροοργανισμών.

- **Θερμόφιλη φάση (2^ο Στάδιο):** Κατά το στάδιο αυτό, η θερμοκρασία μεταβάλλεται μεταξύ 40°C και 80°C , όρια που χαρακτηρίζουν τη θερμόφιλη φάση. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην δράση των μικροοργανισμών, που μεταβολίζουν το πλεονάζον οργανικό υλικό. Αποτέλεσμα της είναι η επιτάχυνση του μεταβολικού ρυθμού των μικροβιακών κοινοτήτων, η οποία με τη σειρά της συνεπάγεται την ώθηση της τιμής της θερμοκρασίας σε επίπεδα ανασταλτικά για την περαιτέρω αύξηση και επιβίωση τους ($T > 60^{\circ}\text{C}$). Στο σημείο αυτό, η θερμο-ανθεκτικότητα των μικροοργανισμών οφείλεται στην αντοχή των ενζυμικών τους συστημάτων. Επίσης, παρατηρείται

και αύξηση της τιμής του pH, εξαιτίας της διάσπασης των οργανικών οξέων και της δημιουργίας αλάτων κατά την εξάτμιση του νερού. Σε αυτές τις συνθήκες, τα κυρίαρχα μικροβιακά είδη είναι οι θερμοφιλοι μύκητες (άριστη ανάπτυξη: 40-50°C), οι ακτινομύκητες (50-60°C) και τα θερμοφιλα βακτήρια. Σε θερμοκρασίες άνω των 60°C, κάποια είδη μικροοργανισμών για να επιβιώσουν, υιοθετούν ανθεκτικές μορφές, όπως τα σπόρια και τα σκληρωτικά των μυκήτων. Ωστόσο, με την επίτευξη των τόσο υψηλών θερμοκρασιών, εξασφαλίζεται η εξυγίανση του τελικού προϊόντος, αφού θανατώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Στη συνέχεια, όσο οι πηγές θρεπτικών συστατικών και ενέργειας εξαντλούνται, οι μικροβιακοί πληθυσμοί πεθαίνουν. Αυτό συνεπάγεται πτώση της θερμοκρασίας και επανεμφάνιση των μεσόφιλων μικροοργανισμών.

- **Φάση Πτώσης της Θερμοκρασίας και Φάση της Ωρίμανσης (3^ο Στάδιο):**

Στο στάδιο αυτό, το μέγεθος του σωρού έχει παρουσιάσει σημαντική ελάττωση και οι απαιτήσεις των μικροοργανισμών ξεπερνούν τα αποθέματα σε ενέργεια, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να μειώνεται συνεχώς. Στο περιβάλλον αυτό, επικρατούν τα μεσόφιλα και θερμοανθεκτικά είδη βακτηρίων (Cho et al., 2008), που συμβάλλουν στην ωρίμανση και βελτίωση της ποιότητας του κομπόστ, αφού με τη δράση τους επιτυγχάνονται οι παρακάτω λειτουργίες:

- αποικοδόμηση των εναπομεινσών απλών ή πολύπλοκων οργανικών ενώσεων,
- παραγωγή πολύπλοκων χουμικών ενώσεων από τον πολυμερισμό απλών οργανικών,
- καταστολή των φυτοπαθογόνων μυκήτων με την παραγωγή αντιμυκητιακών ουσιών,
- αποτοξικοποίηση βαρέων μετάλλων με το σχηματισμό ανόργανων αλάτων,
- οξείδωση και μετατροπή των ανηγμένων ανόργανων αζωτούχων και θειούχων ενώσεων για την παραγωγή νιτρικών και θειικών αντίστοιχα,
- αζωτοδέσμευση και παραγωγή αμμωνίας και μετατροπή σε νιτρικά από τα νιτροποιητικά βακτήρια,
- δέσμευση μετάλλων (Mg^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} κ.ά.) και σχηματισμό αδρανών υλικών. (Beffa, 2002)

Στο τελευταίο αυτό στάδιο, παραμένουν για να αποδομηθούν οι δύσκολα αποικοδομήσιμες ενώσεις, όπως η κυτταρίνη, η λιγνίνη, η πηκτίνη και το άμυλο. Αυτό πραγματοποιείται με την έκκριση εξειδικευμένων εξωκυτταρικών ενζύμων από τους μύκητες και τους ακτινομύκητες. Η παρουσία των ακτινομυκήτων μπορεί να γίνει αντιληπτή από το ωχροκίτρινο χρώμα που δίνουν στην επιφάνεια του σωρού και την παραγωγή της γεωσμίνης (geosmin), αρωματικής ένωσης που δίνει στο χώμα τη χαρακτηριστική του οσμή.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατανομή των μικροβιακών πληθυσμών στις διαφορετικές φάσεις της διαδικασίας.

Πίνακας 2-1: Κατανομή Μικροοργανισμών στις Φάσεις της Κομποστοποίησης

(-: καμία ανάπτυξη, +:αργή ή μικρή αλλαγή, ---:μείωση, +++:αύξηση στο μέγεθος του πληθυσμού)

Πληθυσμός	Κατανομή πληθυσμού			
	Μεσόφιλη	Θερμόφιλη	Μεσόφιλη	Ωρίμανσης
Βακτήρια - μεσόφιλα		---	+++	+
Βακτήρια - θερμόφιλα	-	+++	---	-
Ακτινομύκητες - μεσόφιλοι		---	+++	+
Ακτινομύκητες - θερμόφιλοι	-	+++	---	-
Μύκητες - μεσόφιλοι		---	+++	+
Μύκητες - θερμόφιλοι	-	+++	---	-

Η κομποστοποίηση αποτελεί διεργασία που διεκπεραιώνεται, λόγω της δραστηριότητας μικροβιακών πληθυσμών. Αυτό σημαίνει ότι, οι παράμετροι που επιδρούν στην ανάπτυξη και δραστηριότητά τους, παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στο ρυθμό και την έκταση της μεθόδου, όσο και στην ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος (compost). Οι σπουδαιότεροι από αυτούς τους παράγοντες είναι οι πρώτες ύλες (το προς κομποστοποίηση οργανικό κλάσμα), ο λόγος C/N, ο απαιτούμενος αερισμός, η θερμοκρασία, το pH και την υγρασία. Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μία συνοπτική περιγραφή των παραγόντων:

- **Πρώτες ύλες:** Η σύσταση των πρώτων υλών πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, ώστε ο ρυθμός της αποσύνθεσής τους να μην παρεμποδίζεται και να διατηρείται σταθερός. Βασικές απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε θρεπτικά συστατικά αποτελούν τα εξής στοιχεία: άνθρακας (C), άζωτο (N), φώσφορος (P) και κάλιο (K). Αυτά τα συστατικά πρέπει να υπάρχουν στις κατάλληλες ποσότητες, για να μην επιβραδύνεται η διεργασία. Επίσης, η επιβίωση του μικροβιακού κύματος εξαρτάται και από την ύπαρξη ιχνοστοιχείων, όπως: το βόριο, το κοβάλτιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο, το νάτριο και ο ψευδάργυρος. Θα πρέπει να τονισθεί ότι, τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατό να αποβούν τοξικά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ενδεικνυόμενες.

Η κύρια χρησιμότητα του άνθρακα για τους μικροοργανισμούς έγκειται στην αξιοποίηση του ως πηγής ενέργειας και σε συνδυασμό με το άζωτο στη σύνθεση των πρωτεϊνών. Επιπλέον, το κάλιο και ο φώσφορος καθίστανται απαραίτητα για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Η ιδανική αναλογία άνθρακα/αζώτου είναι περίπου 30:1. Σημαντικές αποκλίσεις από αυτή την αναλογία, επιφέρουν μη επιθυμητά αποτελέσματα. Στην περίπτωση που έχουμε περίσσεια άνθρακα ή έλλειψη αζώτου, επιβραδύνεται η αποσύνθεση. Αντιθέτως, εάν έχουμε περίσσεια αζώτου, αναδύονται δυσάρεστες οσμές, λόγω της απελευθέρωσής του με τη μορφή αμμωνίας.

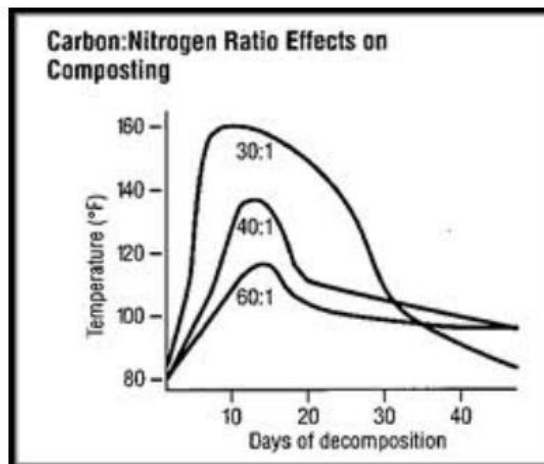
Αλλά και το μέγεθος των κόκκων του οργανικού υλικού είναι ένας άλλος παράγοντας, που αν τεθεί υπό έλεγχο, μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στο ρυθμό της βιοαποικοδόμησής του. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν το υλικό συνίσταται από τεμαχίδια μεγέθους λίγων χιλιοστών έως πέντε εκατοστών αποτελεί πιο ομοιογενές υπόστρωμα για τη δράση των μικροοργανισμών.

- **Λόγος C/N** Η τιμή του λόγου C/N επιδιώκεται να βρίσκεται μέσα σε ένα αποδεκτό εύρος τιμών, εφόσον σχετίζεται άμεσα με τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και άρα με την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης. Η βέλτιστη αναλογία κυμαίνεται μεταξύ 25-40 και εξαρτάται από το είδος του οργανικού υποστρώματος. Σε περιπτώσεις αποκλίσεων από τις παραπάνω αναλογίες συμβαίνουν τα εξής:
 - αν ο λόγος είναι χαμηλός (<20), ελαττώνεται η ποσότητα του αζώτου, με την απελευθέρωση αέριας αμμωνίας στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό είναι

δυνατό να οδηγήσει σε προβλήματα δυσάρεστων οσμών (αναερόβιες διεργασίες) και φυτοτοξικότητας.

- αντίθετα, αν ο λόγος είναι υψηλός (>50), ακολουθούν πολλοί βιοχημικοί κύκλοι, ώστε να φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα με την οξείδωση της περίσσειας του άνθρακα.

Όπως προαναφέρθηκε για τις περιπτώσεις των σημαντικών αποκλίσεων, η διενέργεια της κομποστοποίησης, κάτω από αυτές τις συνθήκες, δεν είναι η καλύτερη δυνατή. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, ο λόγος C/N παρουσιάζει πτωτική πορεία, διότι ελαττώνεται ο άνθρακας με τη δημιουργία του CO₂ και αυξάνεται το άζωτο λόγω της ύπαρξης των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων (Εικόνα 6).



Εικόνα 2-8: Μεταβολές Λόγου C/N κατά τη διάρκεια της Διεργασίας της Κομποστοποίησης

- **Αερισμός:** Το οξυγόνο καθίσταται απολύτως απαραίτητο για τη διεργασία της κομποστοποίησης, καθώς, μόνο υπό την προϋπόθεση της ύπαρξής του, είναι εφικτό να επιβιώσουν οι αερόβιοι μικροοργανισμοί και να πραγματοποιηθεί η οξειδωτική αποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Τα μέσα για να επιτευχθεί η διασπορά του οξυγόνου στη μάζα του σωρού είναι είτε το αναποδογύρισμα του υλικού, είτε η εφαρμογή συστημάτων αερισμού. Συμπληρωματικά προς τα παραπάνω, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και διογκωτικά υλικά (πριονίδι, ροκανίδι), τα οποία αυξάνουν το πορώδες, την ικανότητα απορρόφησης νερού και δημιουργούν διάκενα αερισμού (Nagao et al., 2008).

Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι ο αερισμός λειτουργεί και ως ρυθμιστικός παράγοντας της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Συνεπώς, οδηγεί στα εξής προσδοκώμενα αποτελέσματα :

- παρέχει το απαιτούμενο οξυγόνο για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών και την βιοαποικοδόμηση των πρώτων υλών,
- συνεισφέρει στον απεγκλωβισμό της αναπτυσσόμενης θερμότητας και κατά αυτό τον τρόπο μειώνεται η θερμοκρασία στις επιθυμητές τιμές,
- μειώνει τα ποσοστά υγρασίας σε υγρά οργανικά υποστρώματα, εφόσον ο αέρας θερμαίνεται, ερχόμενος σε επαφή με το υλικό, του προσδίδει μια πιο ξηρή μορφή,
- απομακρύνει τα αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού, όπως το CO₂, NO₂ κ.ά.

- **Θερμοκρασία:** Η θερμοκρασία έχει αναδειχθεί σε μία ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρο για την αποδόμηση των οργανικών ουσιών. Αυτό δικαιολογείται, επειδή οι τιμές που λαμβάνει, συνδέονται με το είδος των μικροβιακών πληθυσμών που διατηρούνται στη ζωή και την ένταση της δραστηριότητάς τους, συνεπώς και με το ρυθμό της βιοαποικοδόμησης. Επισημαίνεται ότι ο μέγιστος ρυθμός επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ των 45 και 55°C.

Στα αρχικά στάδια της διεργασίας, η περίσσεια του οργανικού υποστρώματος προωθεί την ανύψωση της θερμοκρασίας, λόγω της έντονης μικροβιακής δράσης. Κατά αυτό τον τρόπο, εφόσον η θερμοκρασία υπερβεί τους 60°C για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, το τελικό προϊόν απαλλάσσεται από παθογόνους οργανισμούς. Ενώ στη συνέχεια, η παρακάλυψη της διαδικασίας αποφεύγεται με την πτώση της θερμοκρασίας, που οφείλεται στη μειωμένη δραστηριότητα των μικροοργανισμών λόγω έλλειψης τροφής. Στη μεσόφιλη περιοχή, ως άριστο εύρος θερμοκρασιών καταγράφονται οι 35-45°C.

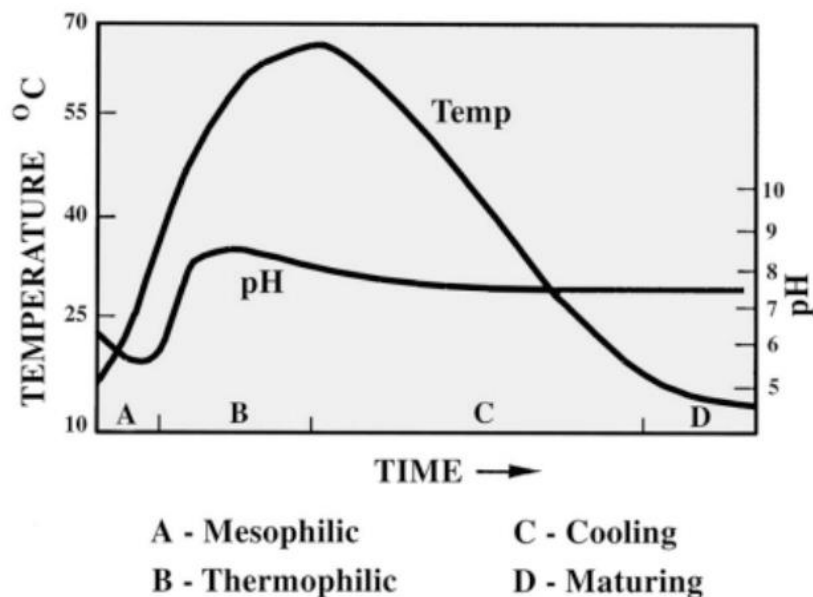
Αναφορικά με τα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης, διαδικαστικά η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον πραγματοποιείται με την επιλογή μικρής ελεύθερης επιφάνειας του σωρού και τη μόνωσή του (Ευθυμίου, 2012) .

- **pH:** Οι τιμές του pH εξαρτώνται από τα είδη των μικροοργανισμών που μπορούν να αναπτυχθούν και το βαθμό προόδου της διεργασίας. Τα βακτήρια

προτιμούν ουδέτερα ή αλκαλικά περιβάλλοντα, οι μύκητες ελαφρώς όξινα (pH 4-6) και οι ακτινομύκητες ελαφρώς αλκαλικά. Η προς κομποστοποίηση οργανική μάζα χαρακτηρίζεται γενικά από χαμηλές τιμές pH, με βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας να αντιστοιχούν σε pH μεταξύ 5.5 και 8 (De Bertoldi et al, 1983). Σχετικά με τη χρονική εξέλιξη του pH, έχει διαπιστωθεί ότι:

- στην αρχή διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα λόγω του σχηματισμού οργανικών οξέων - και έτσι ευνοεί την επικράτηση των μυκήτων,
- στο επόμενο στάδιο, σταθεροποιείται σε ουδέτερες ή και αλκαλικές τιμές, εξαιτίας της διάσπασης των οξέων, με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται τα βακτήρια.

Στο παρακάτω σχήμα, παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολής του pH και της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου



Εικόνα 2-9: Διαγράμματα μεταβολών θερμοκρασίας και pH στις διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης

- **Υγρασία:** Η παρουσία του νερού επηρεάζει το ρυθμό αποδόμησης των πρώτων υλών, καθώς συνδέεται άμεσα με τη μεταβολική λειτουργία των μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί παραλαμβάνουν τα απαραίτητα για τη διαβίωση τους θρεπτικά συστατικά προσκολλόμενοι στο υδάτινο στρώμα που σχηματίζεται στην επιφάνεια των σωματιδίων του υλικού, μόνο αν αυτά είναι

υδατοδιαλυτά. Το μέγιστο περιεχόμενο σε υγρασία των πρώτων υλών καθορίζεται από τις ιδιότητες τους και υπολογίζεται σε ιδανικές συνθήκες εντός των ορίων του 45-60%.

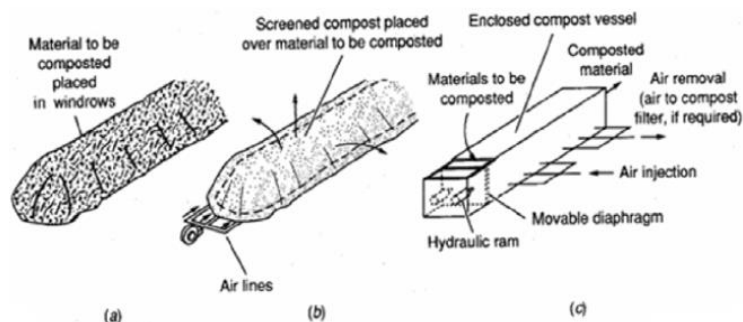
Έχει διακριβωθεί ότι η υπερβολική υγρασία είναι δυνατό να δημιουργήσει αναερόβιες συνθήκες, καθώς το οξυγόνο διαχέεται πιο αργά στο νερό απ' ότι στον αέρα και τέλος, ότι η διαβροχή και ανάμιξη του σωρού ενδείκνυνται για τη αποτελεσματικότερη διαχείριση της διαδικασίας.

Πίνακας 2-2: Συγκεντρωτικός Πίνακας Παραμέτρων Κομποστοποίησης

Παράμετρος	Αποδεκτές Τιμές	Ιδανικές Τιμές
C/N	20 - 40,1	25 - 36,1
Υγρασία (%)	40 - 55	45 - 60
pH	5,5 - 9,0	5,5 - 8,0
Θερμοκρασία στη θερμοφιλή φάση (°C)	43 - 66	54 - 60
O ₂ (%)	> 5	> 10

2.4.1 Τεχνολογίες Κομποστοποίησης

Γενικά, κατά την διεργασία της κομποστοποίησης το οργανικό κλάσμα αποικοδομείται βιολογικά υπό ελεγχόμενες, αερόβιες συνθήκες και μετατρέπεται σταδιακά σε σταθεροποιημένο προϊόν (κόμποστ), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (Haug, 1993; Golueke et al., 1955).



Εικόνα 2-10: Σχηματική Αναπαράσταση των Τριών Βασικών Συστημάτων Κομποστοποίησης:

(a) αναδεδυμένα σειράδια, (b) αεριζόμενοι στατικοί σωροί, (c) κλειστά συστήματα

Τα συστήματα κομποστοποίησης διαχωρίζονται σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, ανάλογα με το αν το υλικό περιέχεται σε έναν αντιδραστήρα ή όχι. Τα

συστήματα, στα οποία χρησιμοποιείται αντιδραστήρας, ονομάζονται κλειστά, ενώ ανοιχτά συστήματα είναι εκείνα, στα οποία η διεργασία εξελίσσεται χωρίς τη χρήση αντιδραστήρα. Ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω συστημάτων αποτελούν τα μικτά συστήματα. Συνοψίζοντας, διακρίνονται τρεις τύποι συστημάτων αερόβιας βιοσταθεροποίησης (Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011):

- τα ανοιχτά συστήματα (open systems),
- τα κλειστά συστήματα (Reactor or enclosed systems, container composting, mechanical systems) και
- τα μικτά συστήματα.

Ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης

Στα ανοιχτά συστήματα, η κομποστοποίηση συντελείται σε ανοιχτούς χώρους, ενώ δεν απαιτείται η χρήση ιδιαίτερου μηχανολογικού εξοπλισμού. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται τα σειράδια (κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς - windrow composting) και οι αεριζόμενοι στατικοί σωροί (aerated static pile composting).

Οι δύο μέθοδοι διαφέρουν ως προς τον τρόπο, με τον οποίο παρέχεται οξυγόνο στη μάζα του υλικού και κατ'επέκταση στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση των σειραδίων, το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των αεριζόμενων στατικών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες. Κομποστοποίηση σε σειράδια (windrow composting)

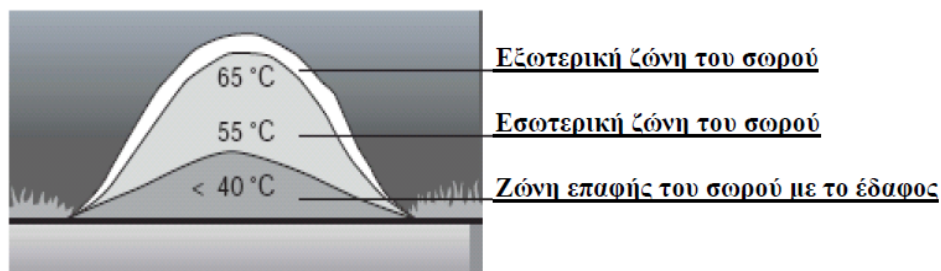
Η κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς συνίσταται στην τοποθέτηση των απορριμμάτων σε σωρούς τριγωνικής ή τραπεζοειδούς διατομής με ύψος 2-3 m, πλάτος 3-5 m και μήκος μέχρι 100 m, ώστε οι θερμοκρασίες εντός του σωρού να διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα και το οξυγόνο να μπορεί να φτάσει ως το κέντρο του (van Haaren et al., 2010). Οι σωροί αναδεύονται σε τακτά χρονικά διαστήματα με μηχανικό τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται:

- ο φυσικός αερισμός του σωρού,
- η ομοιογένεια στο σωρό. Σημειώνεται ότι, μέσω της αναμόχλευσης του σωρού καταστρέφονται τα συσσωματώματα των οργανικών ουσιών, που παρατηρούνται εξαιτίας της παραγόμενης υγρασίας κατά την κομποστοποίηση.

Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με το χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα και διαμορφώνονται ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες,

- η συνεχής ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού,
- η απελευθέρωση της παραγόμενης θερμότητας.
- Τέλος, στις περισσότερες περιπτώσεις οι μηχανικοί αναμοχλευτές διαθέτουν ακροφύσια, μέσω των οποίων εγχύεται νερό, ώστε το ποσοστό υγρασίας να παραμένει στα επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον, σε σύγχρονες εγκαταστάσεις σειραδίων εφαρμόζονται συστήματα συλλογής και διαχείρισης των στραγγισμάτων που δημιουργούνται κατά την διεργασία. (van Haaren et al., 2010)

Η θερμοκρασία στο κέντρο του σωρού, μπορεί να φτάσει τους 65°C και διατηρείται σταθερή μέχρι και 10 μέρες. Το χειμώνα οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 50-60°C, ενώ κοντά στην επιφάνεια του σωρού είναι ακόμη χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. (Muller-Kopp, 2005).



Εικόνα 2-11: Κατανομή Θερμοκρασίας, Εσωτερικό του Σωρού Κομποστοποίησης
(Πηγή: Muller-Kopp, 2005)

Συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες κομποστοποίησης, η μέθοδος των σειραδίων είναι χαμηλότερου κόστους. Ωστόσο, κατά τη μέθοδο αυτή καθίσταται πιο δυσχερής ο περιορισμός των ανεπιθύμητων εκπομπών αερίων και οσμών. Για το λόγο αυτό, η τροφοδοσία των σειραδίων δεν περιλαμβάνει διατροφικά απόβλητα, εκτός του ότι έτσι αποφεύγεται, επίσης, η προσέλκυση πτηνών, ζώων και εντόμων. Μικρές

ποσότητες διατροφικών αποβλήτων εντοπίστηκαν, όμως, σε απόβλητα κήπων, που συλλέχθηκαν από κοινότητες, λόγω του ότι η διαλογή στην πηγή δεν ήταν πλήρης.

Οι οσμές που απελευθερώθηκαν από τις προσμίξεις αυτές, προκάλεσαν την ενόχληση των κατοίκων, που διέμεναν κοντά στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. (van Haaren, 2009). Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι, υπό κανονικές συνθήκες το οξυγόνο δεν διαπερνάει όλη την έκταση του σωρού. Συνεπώς, λαμβάνουν χώρα αναερόβιες αντιδράσεις, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μεθανίου. Υπό την προϋπόθεση ότι οι σωροί αναδύονται επαρκώς, οι ποσότητες του παραγόμενου μεθανίου είναι πολύ μικρές. (Komilis & Ham, 2004).

Κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς

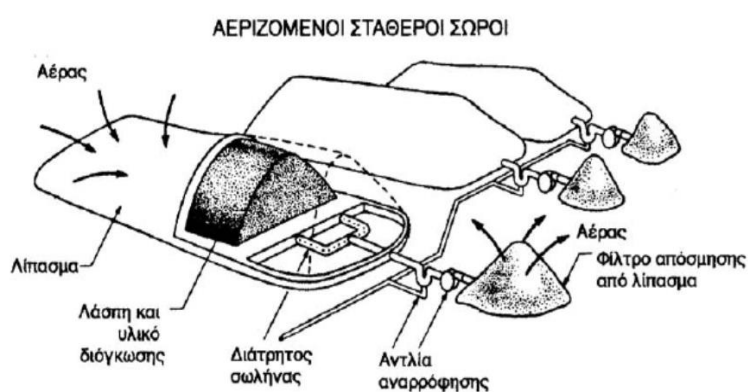
Η κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile composting) αναπτύχθηκε με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης, καθώς και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Οι αεριζόμενοι στατικοί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς (μέθοδος Rudgers) και σε εκτεταμένους σωρούς (μέθοδος Beltsville).

Ο αερισμός των σωρών πραγματοποιείται ή με αναρρόφηση αέρα ή με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα διαμέσου των σωρών ή με συνδυασμό και των δύο, ώστε να διατηρούνται στους σωρούς η απαραίτητη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και η απαραίτητη θερμοκρασία για την κομποστοποίηση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001). Το πιο κοινό σύστημα αερισμού περιλαμβάνει τη χρήση ενός πλέγματος υπόγειων σωληνώσεων, που κατασκευάζονται από εύκαμπτο πλαστικό και συναρμολογούνται στην επιφάνεια του σωρού.



Εικόνα 2-12: Εγκαταστάσεις κομποστοποίησης σε στατικούς σωρούς
(Πηγή: Κανακόπουλος, 2011)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την κομποστοποίηση ιλύος, εφόσον δεν υπάρχει κανένας ειδικός μηχανισμός για την ανάδευση. Οπότε το υλικό που πρόκειται να κομποστοποιηθεί αναμειγνύεται με κάποιο πρόσθετο υλικό (διογκωτικό), όπως θρύμματα ξύλου, πριονίδι ή άχυρο. Το πρόσθετο αυτό υλικό έχει την ιδιότητα να προσδίδει σταθερότητα στον σωρό του κομποστ και να διατηρεί τα κενά αέρος, δίχως να χρειάζεται να γίνει αναστροφή. Μετά το πέρας της κομποστοποίησης, το υλικό διαχωρίζεται με εσχарισμό και ανακυκλώνεται. (Μάστακα, 2007). Γενικά, το ύψος του σωρού μπορεί να φτάσει τα 2-2,5 m και μερικές φορές μπορεί να καλύπτεται ολόκληρος ή ένα μέρος του, ώστε να μην απελευθερώνονται άσχημες οσμές (Μάστακα, 2007).



Εικόνα 2-13: Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (Σύστημα Rudgers)

(Πηγή: Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011)

Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης

Στα συστήματα αυτά, η κομποστοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους, οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, οι οποίοι διαθέτουν μηχανολογικό εξοπλισμό κατάλληλο για την μείωση των οσμών και τον έλεγχο παραμέτρων, όπως η παροχή αέρα, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, το pH και η υγρασία. (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001)

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανά τακτά χρονικά διαστήματα προστίθεται νερό στο υλικό, που βρίσκεται μέσα στον αντιδραστήρα, ώστε να προωθηθεί η δράση των μικροοργανισμών. Επίσης, με στόχο πάλι την βελτιστοποίηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης μπορεί να εισάγεται θερμός αέρας στον αντιδραστήρα, ώστε η

θερμοκρασία να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα πλεονεκτήματα του κλειστού συστήματος είναι το ότι γίνεται καλύτερος έλεγχος των οσμών, το υλικό που κομποστοποιείται παραμένει για μικρό χρονικό διάστημα μέσα στον αντιδραστήρα και απαιτούνται μικρότερες εκτάσεις για την εγκατάστασή του. (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001; Metcalf & Eddy, 2003)

Κριτήρια επιλογής συστήματος κομποστοποίησης

Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται τα τρία βασικά συστήματα κομποστοποίησης ως προς παραμέτρους, που πρέπει να ληφθούν υπόψη, προτού κάποιο από αυτά επιλεγεί ως το πλέον κατάλληλο για την εκάστοτε περίπτωση.

Πίνακας 2-3: Κριτήρια Επιλογής Συστήματος Κομποστοποίησης

(Πηγή: Γρηγοροπούλου κ.α., 2013)

	Σειράδια	Αεριζόμενος σωρός	Αντιδραστήρας
Κεφάλαιο Εγκατάστασης	Χαμηλό	Χαμηλό	Υψηλό
Λειτουργικό Κόστος	Χαμηλό	Υψηλό	Χαμηλό
Απαιτήσεις γης	Υψηλές	Υψηλές	Χαμηλές
Ρύθμιση Αερισμού	Περιορισμένη	Πλήρης	Πλήρης
Ελεγχόμενες Παράμετροι	Συχνότητα ανάδευσης, πρόσθετα ή προϊόν, αερισμός	Παροχή αέρα, παράγων δομής	Παροχή αέρα, ανάδευση, πρόσθετα ή προϊόν
Ευαισθησία στον καιρό	ευαίσθητο εκτός εάν στεγάζεται σε υπόστεγο	μη ευαίσθητο	μη ευαίσθητο
Έλεγχος οσμών	εξαρτάται από την τροφοδοσία	εξαρτάται από την τροφοδοσία	καλός

Η οικονομικότερη λύση είναι το σύστημα σειραδίων, στεγασμένο σε υπόστεγο (για να αποφευχθεί η ευαισθησία σε καιρικές συνθήκες) και με δυνατότητα πρόσθετου αερισμού με φυσητήρες (για να διασφαλίζεται επαρκής ρύθμιση του αερισμού).

Οικιακή κομποστοποίηση

Έως σήμερα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης περίπου το 40 % των βιοαποβλήτων καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής (Eurostat, 2010). Προκειμένου ένα μέρος αυτών των βιοαποβλήτων να ανακτηθεί, μπορεί να αξιοποιηθεί η μέθοδος της οικιακής κομποστοποίησης, που συνιστά μια εναλλακτική τεχνολογία επεξεργασίας των οργανικών οικιακών απορριμμάτων. Με τη μέθοδο αυτή, μειώνεται η ποσότητα των παραγόμενων οικιακών βιοαποβλήτων και κατά

συνέπεια η ποσότητα των απορριμμάτων, για τη διαχείριση των οποίων πρέπει να μεριμνήσει η δημοτική κοινότητα (Andersen et al., 2012).

Η οικιακή κομποστοποίηση αποτελεί μια ευέλικτη και χαμηλού κόστους μέθοδο διαχείρισης των βιοαποβλήτων. Ωστόσο, για την υλοποίησή της απαιτείται η ενεργή συμμετοχή των κατοίκων της εκάστοτε περιοχής, καθώς ο άνθρωπος που παράγει τα απόβλητα είναι, επίσης, υπεύθυνος για την επεξεργασία τους, αλλά και ο τελικός χρήστης του παραγόμενου προϊόντος (Jasim & Smith, 2003). Η εθελοντική ενασχόληση των πολιτών με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατό να προωθηθεί μέσω της ενημέρωσης σε επίπεδο δήμου.

Από περιβαλλοντική σκοπιά, μέσω της οικιακής κομποστοποίησης αποφεύγεται η συλλογή και μεταφορά των οργανικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα να ελαττώνονται η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές αερίων (Blet et al., 2013; Andersen et al., 2011). Ωστόσο, η οικιακή κομποστοποίηση επιφέρει και αρνητικά αποτελέσματα για το περιβάλλον. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εκπομπή αερίων (CH_4 , NH_3 , N_2O και VOCs), που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης, στην περίπτωση που το παραγόμενο κόμποστ δεν είναι καλής ποιότητας, τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του, καθώς και το περιεχόμενό του σε βαρέα μέταλλα επηρεάζουν την περιβαλλοντική απόδοση του συστήματος, στο οποίο εφαρμόζεται. (Andersen et al., 2011)

Η οικιακή κομποστοποίηση έχει ήδη εφαρμοστεί σε πολλούς δήμους ανά τον κόσμο ως μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων τους. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των υλικών, το είδος του προς κομποστοποίηση οργανικού υλικού, το είδος της βασικής ομάδας αποδομητών, το χώρο στον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι διεργασίες αερόβιας αποδόμησης κ.λ.π. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012).

Οι τεχνικές κομποστοποίησης που θεωρούνται κατάλληλες για αγροτικές περιοχές ή για οικίες με μεγάλους κήπους είναι οι εξής (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012):

- **Κομποστοποίηση σε σωρούς:** Κατά τη μέθοδο αυτή, το προς κομποστοποίηση υλικό συγκεντρώνεται σε κατάλληλα επιλεγμένο σημείο εκτός της οικίας (σε ένα χωράφι ή σε ένα κομμάτι του κήπου). Η διεργασία πραγματοποιείται από τον ίδιο τον κάτοικο, ο οποίος πρέπει να αναδεύει τακτικά τον σωρό, για να

εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός, αλλά και να διαβρέχει το προς κομποστοποίηση μίγμα, ώστε να διατηρείται η κατάλληλη υγρασία.



Εικόνα 2-14: Υλικό προς Οικιακή Κομποστοποίηση σε Σωρούς (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

Η μέθοδος ενδείκνυται κυρίως για αγροτικές περιοχές, όπου υπάρχει ανάγκη για παραγωγή λιπάσματος, καθώς και χώρος για το άπλωμα των σωρών. Ωστόσο, παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι ο σωρός των βιοαποβλήτων μπορεί να προσελκύσει τρωκτικά και έντομα. Για το λόγο αυτό, ο σωρός καλύπτεται πολλές φορές με φύλλα πλαστικού. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012).

- **Επιφανειακή κομποστοποίηση:** Κατά την επιφανειακή κομποστοποίηση, το υλικό απλώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και όλη η διεργασία εξελίσσεται όπως ακριβώς συμβαίνει στη φύση, όπου το έδαφος καλύπτεται από τα φύλλα των φυτών και τη νεκρή βλάστηση, τα οποία μετατρέπονται σταδιακά σε οργανική ουσία.



Εικόνα 1-15: Επιφανειακή κομποστοποίηση (Waste2bio project, 2014)

Συνεπώς, η διεργασία αυτή δεν απαιτεί την ιδιαίτερη συμμετοχή των κατοίκων και ενδείκνυται για την περίπτωση αγροτικών περιοχών και για την κομποστοποίηση υπολειμμάτων κήπων (Waste2bio project, 2014).

- **Κομποστοποίηση σε κουτιά:** Σε αυτήν την περίπτωση, τα οργανικά απορρίμματα τοποθετούνται σε μια ιδιόχειρη κατασκευή, συνήθως ξύλινη, πλαστική ή από σύρμα πάνω στο έδαφος. Ο σωρός του υλικού εντός του «κουτιού» αποδομείται αργά και είναι πιθανό να προσελκύσει τρωκτικά και γενικά μικρά ζώακια. Η μέθοδος αυτή δεν κοστίζει ακριβά και συνιστάται κυρίως για υπολείμματα κήπων (Waste2bio project, 2014).



Εικόνα 2-15: Κομποστοποίηση σε κουτιά

Ξύλινος κομποστοποιητής (αριστερά), συρμάτινος κομποστοποιητής (δεξιά)

(Πηγή: Comwaste project, 2010)

- **Υπόγεια κομποστοποίηση:** Πρόκειται για μία μέθοδο, κατά την οποία το προς κομποστοποίηση υλικό θάβεται στο έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 30 cm και στη συνέχεια σκεπάζεται με εδαφικό υλικό. Απαιτούνται περίπου 6 μήνες, ώστε το υλικό να ενσωματωθεί στο έδαφος και να είναι δυνατή η φύτευση σε αυτό το σημείο. Για την πραγματοποίηση της διεργασίας, απαραίτητη προϋπόθεση είναι και πάλι η ύπαρξη κήπου ή αγροτικών εκτάσεων, ενώ η συμμετοχή των κατοίκων περιορίζεται στον ενταφιασμό των προς κομποστοποίηση υλικών. Η υπόγεια κομποστοποίηση συνιστάται για τη γρήγορη βελτίωση των φτωχών εδαφών και την κομποστοποίηση υλικών που απελευθερώνουν δυσάρεστες οσμές (Waste2bio project, 2014).



Εικόνα 2-16: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών βιοαποβλήτων
(Πηγή: Waste2bio project, 2014)

- **Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες:** Κατά τη μέθοδο αυτή, η αποδόμηση των οργανικών οικιακών απορριμμάτων συντελείται λόγω της δράσης των γαιοσκωλήκων. Σύμφωνα με τους Doínguez et al. (2010) η διεργασία της κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες είναι δυνατό να διαχωριστεί σε δύο φάσεις. Κατά την πρώτη φάση, οι γαιοσκώληκες χρησιμοποιούν το οργανικό υλικό ως τροφή και το αποδομούν, τροποποιώντας τις φυσικοχημικές του ιδιότητες και το είδος των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο σύστημα. Ενώ στη δεύτερη φάση, οι μικροοργανισμοί που μπορούν και συνυπάρχουν με τους γαιοσκώληκες, αποσυνθέτουν πλήρως το εναπομείναν υλικό, που έχει υποστεί προεπεξεργασία από τους γαιοσκώληκες.

Συνήθως, τα υφιστάμενα συστήματα συγκροτούνται από έναν αντιδραστήρα στο εσωτερικό του οποίου πραγματοποιούνται οι διεργασίες αποδόμησης του οργανικού υλικού από πλήθος γαιοσκωλήκων. Η τροφοδοσία του υλικού είναι συνεχής και επιτυγχάνεται μέσω αποσπώμενου κυκλικού καπακιού, που καλύπτει ολόκληρη την άνω βάση του θαλάμου. Κατά την έναρξη χρήσης του συστήματος, οι απαιτούμενοι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων τοποθετούνται πάνω σε προστατευτικό υπόστρωμα που αποτελείται από μικρά κομμάτια χαρτιού και ξηρά φύλλα δέντρων. Στη συνέχεια, το οργανικό υλικό απλώνεται σε όλη την κυκλική επιφάνεια επί του υποστρώματος. Για κάθε νέα τροφοδοσία του οργανικού υλικού δημιουργείται ένα νέο υπόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό διατάσσονται επάλληλες στρώσεις καθ' ύψος του κομποστοποιητή και το ώριμο κόμποστ λαμβάνεται από το τελευταίο επίπεδο (Waste2bio project, 2014). Η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα, αφού για την επαρκή αύξηση του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων απαιτούνται αρκετοί μήνες. Σημαντικό πλεονέκτημά της

θεωρείται η αισθητή μείωση των οσμών σε σχέση με συμβατικούς αντιδραστήρες (Waste2bio project, 2014).

2.5 Αναερόβια Χώνευση

Αναερόβια χώνευση καλείται η βιολογική επεξεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται σε μίγμα μεθανίου (CH₄) και διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), βιοαέριο, με τη συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.

Συνολική αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης είναι:

Οργανική ύλη + νερό → CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + νέα κύτταρα + θερμότητα

Το βιοαέριο που παράγεται, μείγμα CH₄ και CO₂ έχει ενδεικτική σύσταση 30-35% σε CH₄ και 65-70% σε CO₂. Όταν η περιεκτικότητα μεθανίου είναι χαμηλή, περίπου 5-15 %, τότε το μείγμα είναι εκρηκτικό.

Στην αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη είναι οι εξής:

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα τροφίμων (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες: Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης, οι αποκλειστικές καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται και φροντίζονται αποκλειστικά για την παραγωγή βιοαερίου, και τελικά ενέργειας.

Η αναερόβια επεξεργασία ως μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Δεν υπάρχει περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των

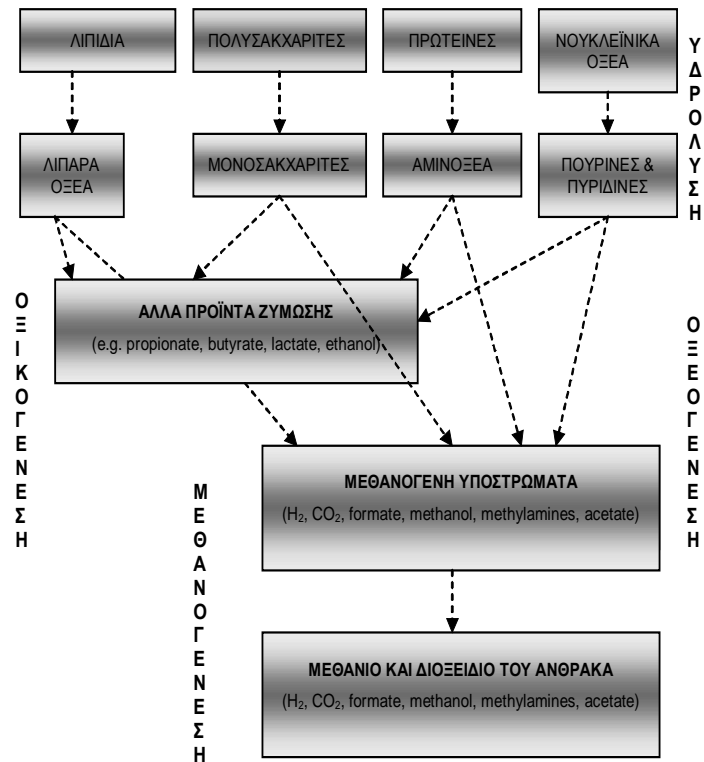
αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαζόμαστε υγρά βιομηχανικά απόβλητα υψηλών οργανικών φορτίων, υλικά που δεν βιοαποδομούνται με αερόβιες διεργασίες (όπως κυτταρίνη) και προκαλούν προβλήματα (όπως λιπαρές ουσίες).

- Εμφανίζει μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο).
- Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους αερόβιους, μπορούν να διατηρούνται χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σημειώνεται καμία σημαντική μείωση στην ενεργότητά τους.
- Δεν απαιτείται μεγάλο ποσό ενέργειας, η οποία μάλιστα καταναλώνεται κυρίως για θέρμανση, για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Δεν εμφανίζονται προβλήματα όχλησης στην περιοχή εφαρμογής από οσμές, έντομα ή θόρυβο, διότι αποφεύγεται η επαφή του αέρα με τα απόβλητα οπότε η επεξεργασία πραγματοποιείται σε τελείως κλειστά δοχεία.

Τα βασικά στάδια της διεργασίας αναερόβιας χώνευσης είναι:

- (1) Υδρόλυση: Κατά το στάδιο αυτό, ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες, το άμυλο και κάποια απλά σάκχαρα υδρολύονται από αερόβια βακτήρια. Η υδρόλυση των υδρογονανθράκων ολοκληρώνεται εντός κάποιων ωρών, ενώ εκείνη των πρωτεϊνών και των λιπιδίων εντός λίγων ημερών. Το διαλυμένο οξυγόνο καταναλώνεται από τα βακτήρια.
- (2) Οξυγένεση: Κατά τη διάρκεια της οξυγένεσης τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Πιο συγκεκριμένα, οι ολιγοσακχαρίτες, οι μονοσακχαρίτες, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό οξύ (CH_3COOH) (50%), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρογόνο (H_2) (20%) καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες (30%).
- (3) Μεθανογένεση: Μεθανογενή βακτήρια διασπούν τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης. Παράγεται αέριο μεθάνιο (CH_4), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και μεταλλικά άλατα. Εξαιτίας της αναγωγικής ατμόσφαιρας μέσα στον αντιδραστήρα και της παραγωγής αμμωνίας από την αναερόβια διάσπαση των πρωτεϊνών, η τιμή του pH στο σύστημα συνεχώς αυξάνεται, με τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 7,5 - 8,5. Περίπου το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από το οξικό οξύ. Το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του διοξειδίου του

άνθρακα.

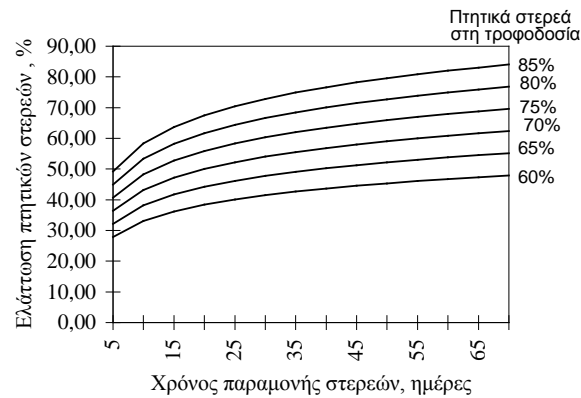


Εικόνα 2-17: Διάγραμμα Ροής Μετατροπής Βιομάζας σε Βιοαέριο
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)

Οι κρίσιμες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την αποδοτικότητα της αναερόβιας είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία: Η αναερόβια χώνευση είναι είτε μεσοφιλική (περίπου 33- 37°C), είτε θερμοφιλική (περίπου 55-60°C). Γενικά προτιμώνται θερμοκρασίες 25 – 30°C γιατί δημιουργούν καλύτερους βιολογικούς ρυθμούς και πιο σταθερές συνθήκες. Στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες ο ρυθμός της αντίδρασης πέφτει, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής στερεών και μεγαλύτεροι όγκοι αντιδραστήρα.
- Χημική σύσταση της τροφοδοσίας
- Θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορος)
- Τοξικές ουσίες- παρεμποδιστές
- Τύπος του αντιδραστήρα
- Ο χρόνος παραμονής στερεών (solids retention time, SRT) στον αναερόβιο

αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία διεξαγωγής της αναερόβιας χώνευσης είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας τέτοιου είδους μονάδας. Γενικά, για τα συμβατικά συστήματα αναερόβιας χώνευσης απαιτείται SRT της τάξης των 20 ημερών για θερμοκρασία 30°C. Οι χρόνοι είναι πολύ μεγαλύτεροι για χαμηλότερες θερμοκρασίες.



Σχήμα2-2: Μείωση των Πτητικών Στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής στον χωνευτήρα και της συγκέντρωσής τους στην τροφοδοσία
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)

Με την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης, εκτός από βιοαέριο, παράγεται και αναερόβια ιλύς. Η παραγόμενη ιλύς υπόκειται σε επεξεργασία κατά την οποία αφαιρείται η υγρασία, η οποία φιλτράρεται και οδηγείται στον αναερόβιο χωνευτήρα με επανακυκλοφορία, ενώ η αφυδατωμένη ιλύς υφίσταται αερόβια επεξεργασία, συνήθως σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς, με σκοπό το σχηματισμό εδαφοβελτιωτικού (κομπόστ). Το παραγόμενο κομπόστ ελέγχεται για τυχόν ανεπιθύμητες προσμίξεις, όπως κομμάτια γυαλιού, μετάλλου ή πλαστικού, ανάλογα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί σε κάθε χώρα.

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης σε μία τυπική μονάδα ακολουθεί τα κάτωθι βασικά στάδια:

- 1) Διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος από τα ανεπιθύμητα υλικά, όπως τα μέταλλα, τα πλαστικά, το γυαλί και άλλα ανόργανα υλικά
- 2) Αιώρηση των οργανικών σε νερό και τροφοδότηση στο βιοαντιδραστήρα (ανάλογα με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία)
- 3) Αναερόβια χώνευση (χρόνος παραμονής 2-3 εβδομάδες)

4) Διήθηση ή φυγοκέντριση αναερόβιας ιλύος (αφυδάτωση)

5) Αερόβια σταθεροποίηση αναερόβιας ιλύος

Σε ένα αποτελεσματικό αναερόβιο σύστημα εξασφαλίζονται οι παρακάτω συνθήκες:

- ✓ μεγάλος χρόνος παραμονής της βιομάζας
- ✓ καλή επαφή βιομάζας και υποστρώματος
- ✓ υψηλά ποσοστά αντίδρασης
- ✓ επικράτηση ευνοικών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλους τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας

Το βιοαέριο που παράγεται δύναται να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία για παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας. Επισημαίνεται ότι μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης συνήθως ιδιοκαταναλώνει ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας.

Τεχνικές & Συστήματα Αναερόβιας Επεξεργασίας

Οι τεχνικές αναερόβιας επεξεργασίας των ΑΣΑ είναι οι:

α) Συμβατική υγρή αποσύνθεση υπό μορφή αιωρήματος. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί με ποσοστό ολικών στερεών στην τροφοδοσία έως 15-20%, τυπικά 10%.

β) Ξηρή αναερόβια αποσύνθεση. Λειτουργεί με ποσοστό ολικών στερεών στην τροφοδοσία του αντιδραστήρα περίπου 35-40%, τυπικά 30%. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η μείωση κατά ένα πέμπτο του απαιτούμενου όγκου του αντιδραστήρα. Τα ξηρά συστήματα απαιτούν λιγότερη χρήση νερού, αλλά έναν αντιδραστήρα υψηλότερης τεχνολογίας.

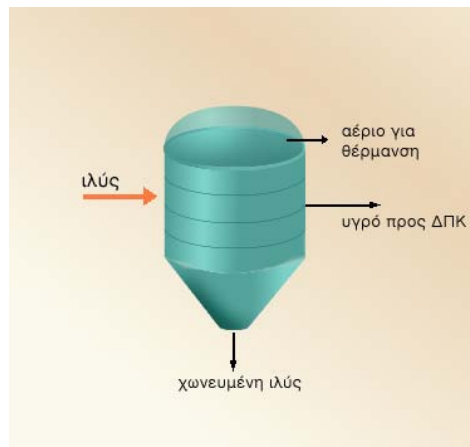
γ) Αναερόβια αποσύνθεση δύο φάσεων. Η υδρόλυση και οξίνιση του υλικού γίνονται σε διαφορετικούς αντιδραστήρες.

Μία μέθοδος αναερόβιας χώνευσης που εφαρμόζεται σήμερα στην Ευρώπη είναι η μέθοδος Dranco. Η μέθοδος αυτή, είναι μέθοδος ξηρής αναερόβιας αποσύνθεσης και έχει αναπτυχθεί για τη μετατροπή των στερεών οργανικών αποβλήτων, ειδικότερα για τη μετατροπή του οργανικού κλάσματος των στερεών αστικών απορριμμάτων, σε ενέργεια και ένα χουμοειδές υλικό που λέγεται Humotex.

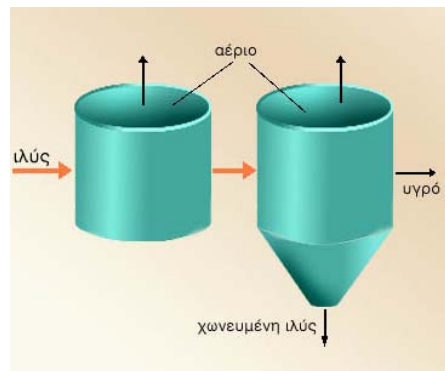
Έως σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης και είναι τα εξής:

- **Συμβατικοί χωνευτήρες** (χωρίς ανάδευση και συνήθως χωρίς θέρμανση)

- **Χωνευτήρες χαμηλής ταχύτητας μιας βαθμίδας** (όπου πραγματοποιείται ανάδευση και θέρμανση)
- **Χωνευτήρες υψηλής ταχύτητας δυο βαθμίδων**
- **Χωνευτήρες με ανακυκλοφορία ιλύος** (για αύξηση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών)
- **Χωνευτήρες ανοδικής ροής με αιωρούμενη ή προσκολλημένη βιομάζα**
- **Βιολογικά αναερόβια φίλτρα**



Σχήμα 2-3: Συμβατικός Αναερόβιος Χωνευτήρας
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)



Σχήμα 2-4: Αναερόβιος Χωνευτήρας ιλύος δύο σταδίων
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)

Ανά τόνο απορρίμματος (και ανάλογα με τη σύσταση των αποβλήτων) τυπικά παράγονται:

- ✓ 100-200 m³ βιοαερίου (μεθάνιο 55-70%)
- ✓ 200-300 kg compost

Εν κατακλείδι, η αναερόβια χώνευση είναι μια ιδιαίτερα διεργασία με ευρεία εφαρμογή διότι εκτός από τη χρήση της για επεξεργασία ιλύος που προέρχεται από βιολογικό καθαρισμό, τα τελευταία έτη χρησιμοποιείται για παραγωγή ενέργειας, επεξεργασία αποβλήτων με ισχυρό οργανικό φορτίο και επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων. Κερδίζει έδαφος διότι κατά τη διεργασία αυτή αφενός παράγεται μεθάνιο, αφετέρου η διεργασία έχει μικρές απαιτήσεις σε υποστρώμα και περιορισμούς.

Ταχύρρυθμα Συστήματα (High-Rate systems)

Οι ταχύρρυθμοι αναερόβιοι χωνευτήρες στοχεύουν στην επίτευξη κατανάλωσης υψηλού ποσοστού υποστρώματος. Στο εσωτερικό του χωνευτήρα εφαρμόζεται πλήρης ανάδευση και θέρμανση και συνεπώς ο χρόνος παραμονής είναι σημαντικά μικρότερος. Σε αυτή την κατηγορία χωνευτήρων προβλέπεται συλλογή και αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου και λειτουργία σε θερμοκρασίες της θερμοφιλικής περιοχής.

Οι ταχύρρυθμοι αναερόβιοι αντιδραστήρες στοχεύουν στην ταχεία κατανάλωση του υποστρώματος. Είναι εξοπλισμένοι με κατάλληλα συστήματα για την διαχείριση των βιοστερεών. Διακρίνονται σε δυο τύπους:

- (α) στα **ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας** (suspended growth high-rate anaerobic reaction systems) και
- (β) στα **ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας** (growth high-rate anaerobic reaction systems).

Αντιπροσωπευτικοί αντιδραστήρες του τύπου *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας* (suspended growth high-rate anaerobic reaction systems) είναι:

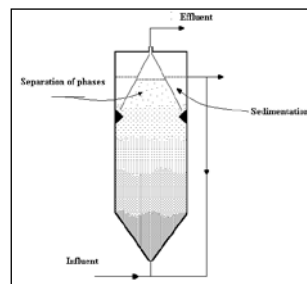
- Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) αντιδραστήρας
- Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Αντιπροσωπευτικοί αντιδραστήρες του τύπου *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας* (growth high-rate anaerobic reaction systems) είναι:

- τα Ανοδικής και Καθοδικής Ροής Αναερόβια Φίλτρα (Upflow and Downflow Anaerobic Filters) και

- οι Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Anaerobic Bioreactors).

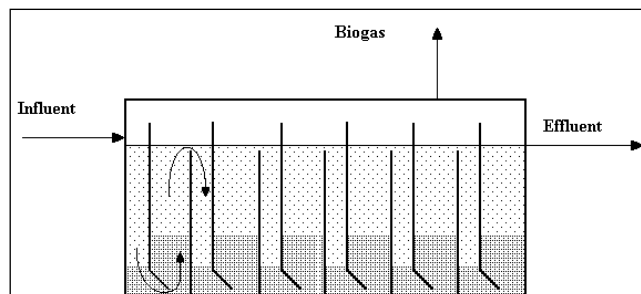
Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB): Κυλινδρικά δοχεία στο εσωτερικό των οποίων τα απόβλητα κινούνται προς τα πάνω δια μέσου ενός καλύμματος (blanket) λάσπης. Στο πάνω τμήμα του αντιδραστήρα τοποθετείται συλλέκτης βιοαερίου σχήματος χοάνης. Το υγρό υπερχειλίζει πάνω από την χοάνη και η περιοχή μεταξύ χοάνης και κορυφής στον αντιδραστήρα χρησιμοποιείται ως ζώνη καθίζησης εξασφαλίζοντας την καθίζηση και την παραμονή των στερεών στον αντιδραστήρα.



Σχήμα 2-5: UASB Αναερόβιος Χωνευτήρας

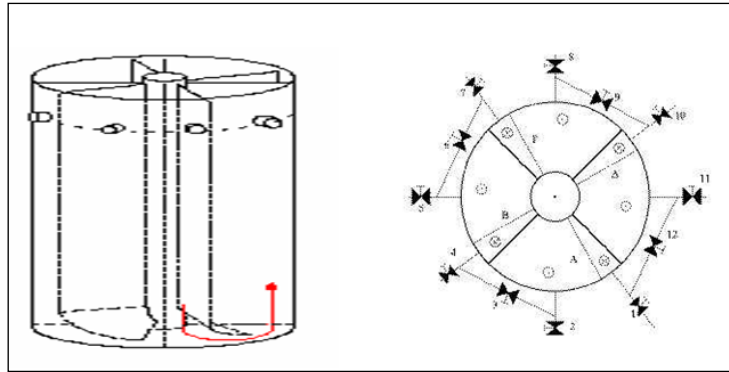
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)

The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): Εναλλασσόμενο σύστημα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας και μεγάλων χρόνων παραμονής της βιομάζας. Το απόβλητο αναγκάζεται να κινείται μέσω διαδοχικών διαμερισμάτων ανοδικής και καθοδικής ροής αντίστοιχα.



Σχήμα 2-6: ABR Αναερόβιος Χωνευτήρας

(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)



Σχήμα 2-7: PABR (Periodic Anaerobic Baffled Reactor) Αναερόβιος Χωνευτήρας
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων»)

2.6 Υγειονομική Ταφή

Η υγειονομική ταφή, αν και είναι η χειρότερη λύση με βάση την ιεράρχηση των αποβλήτων, αποτελεί ακόμη τον βασικό τρόπο διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι χώροι υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) πρέπει να κατασκευάζονται και να λειτουργούν σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία για την υγειονομική ταφή αποβλήτων, ώστε να αποφεύγονται οι ζημιές στο περιβάλλον από την παραγωγή μεθανίου και λυμάτων.

Τα κριτήρια καταλληλότητας για την χωροθέτηση Χ.Υ.Τ.Α. βασίζονται σε περιβαλλοντικά, κοινωνικά, χωροταξικά και οικονομικά του τόπου.

Η υγειονομική ταφή χαρακτηρίζεται και σαν ελεγχόμενη διάθεση (sanitary landfill of controlled tipping).

Κατ' αρχήν διαστρώνονται τα απορρίμματα και συμπιέζονται σε διαδοχικές επάλληλες στρώσεις, πάχους 2.50m περίπου, που καλύπτονται κάθε φορά με στρώμα χώματος πάχους 0.30m.

Το λοξό μέτωπο της εργασίας καλύπτεται επίσης στο τέλος κάθε ημέρας εργασίας με χώμα πάχους 0.15m

Ο χώρος ταφής αποτελείται τελικά από επάλληλες αποθέσεις απορριμμάτων, με ενδιάμεσες στρώσεις χώματος, οριζόντιες και λοξές.

Οι αποθέσεις αυτές παθαίνουν με το χρόνο σημαντική ομοιόμορφη καθίζηση και συμπίεση (π.χ. μέχρι 60% του αρχικού πάχους σε 5 χρόνια).

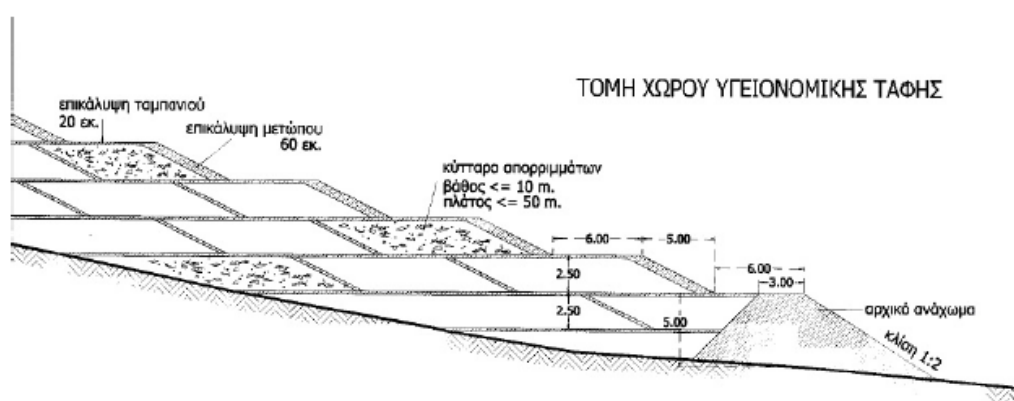
Για το σχηματισμό των στρώσεων η εκφόρτωση γίνεται, είτε στο πάνω μέρος και ακολουθεί διάστρωση και συμπίεση, είτε στο κάτω μέρος και τα απορρίμματα συμπιέζονται στο λοξό πρανές.

Κοντά στο χώρο εργασίας πρέπει να τοποθετούνται κινητοί φράχτες προς την κατεύθυνση που πνέουν οι άνεμοι, για να συγκρατούν τα παρασυρόμενα ελαφρά απορρίμματα (κυρίως πλαστικά). Οι θέσεις ταφής πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 500m από κατοικίες.

Η μέθοδος της υγειονομικής ταφής, εφόσον εφαρμόζεται σωστά είναι υγειονομικά ασφαλής και αποδεκτή αισθητικά. Μπορεί μάλιστα να συμβάλει στην ανάδειξη του τοπίου, όταν μετά την εξάντληση του χώρου, φυτευτεί η περιοχή με πράσινο και αξιοποιηθεί.

Τα κριτήρια επιλογής ΧΥΤΑ είναι:

- Γεωτεχνικά κριτήρια επιλογής: Διαπερατότητα, Ευστάθεια εδάφους
- Γεωλογικά – υδρογεωλογικά κριτήρια επιλογής: Επιφανειακή απορροή, Σπουδαιότητα υπογείων νερών
- Τοπογραφικά κριτήρια επιλογής: Μέγιστη κλίση 15-20%
- Χωροταξικά κριτήρια επιλογής: Χρήσεις γης
- Περιβαλλοντικά κριτήρια
- Λειτουργικά κριτήρια



Σχήμα 2-8: Τομή ΧΥΤΑ

3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ

3.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη διαχείριση των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει μια πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση, ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την τελική διάθεση τους καθώς και μείωση των τυχόν επιπτώσεων που δύναται να προκύψουν από τη διάθεση τους. Είναι κοινώς αποδεχτό ότι τα στερεά απορρίμματα ευθύνονται για ένα μεγάλο ποσοστό ρύπανσης, με συνέπειες που μπορούν να είναι επιβλαβές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, αλλά και ότι με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να επανακτηθούν χρήσιμες πρώτες ύλες.

Για τον λόγο αυτό, οι περιβαλλοντικές στρατηγικές και πολιτικές που εφαρμόζονται σήμερα στην διαχείριση αποβλήτων, τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, δίνουν νέες κατευθύνσεις και θέτουν καινούργιες αρχές, κυρίως μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών και ενέργειας, με απώτερο σκοπό τη μείωση του συνολικού όγκου και την ασφαλέστερη διάθεση των απορριμμάτων.

Η ορθολογική διαχείριση των βιοαποβλήτων, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο κλάσμα των ΑΣΑ και προκαλούν προβλήματα στους χώρους υγειονομικής ταφής κυρίως λόγω της δημιουργίας αερίων και συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι κάτι παραπάνω από επιβεβλημένη. Επιπλέον στις μέρες μας με την συνεχόμενη εξέλιξη των διαθέσιμων τεχνολογιών και τη θέσπιση ισχυρού νομοθετικού πλαισίου, η διαχείριση των βιοαποβλήτων είναι αναγκαία.

3.2 Σκοπός και αντικείμενο μελέτης

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί και να εκτιμηθεί τεχνοοικονομικά το καταλληλότερο ολοκληρωμένο εναλλακτικό σενάριο διαχείρισης βιοαποβλήτων σε επίπεδο δήμου.

Στην παρούσα μελέτη ο όρος βιοαπόβλητα (bio-waste) περιλαμβάνει τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα των κατοικιών ενός δήμου όπως τα απόβλητα τροφίμων και κουζίνας από τις οικίες των δημοτών, τα απόβλητα των εγκατεστημένων στο δήμο χώρων εστίασης όπως απόβλητα τροφίμων από καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος (πχ απόβλητα χώρων εστίασης, εστιατορίων, ταβερνών, καντίνων

κ.α.), απόβλητα χώρων διασκέδασης (καφετέριες, μπάρ κ.α.) και χώρων εκδήλωσης, απόβλητα ξενοδοχείων και σούπερ μάρκετ, απόβλητα λαϊκών αγορών καθώς και απόβλητα κοινόχρηστων χώρων πρασίνου (πάρκα, πλατίες, παιδικές χαρές) και απόβλητα αυλών των κατοικιών του δήμου.

Ως εκ τούτου μελετήθηκαν και αναπτύχθηκαν τρία διαφορετικά εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων με γνώμονα τη ορθολογικότερη αποκεντρωμένη διαχείριση των βιοαποβλήτων ενός δήμου.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ερευνήθηκαν και αποτιμήθηκαν σύγχρονες τεχνολογίες διαχείρισης βιοαποβλήτων όπως η ξήρανση και η κομποστοποίηση και έγινε τεχνοοικονομική μελέτη της αποκεντρωμένης διαχείρισης των βιοαποβλήτων ενός δήμου. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι γίνεται διαχωρισμός των βιοαποβλήτων στην πηγή και τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα (απόβλητα τροφίμων, κουζίνας, υπολείμματα λαϊκών αγορών, κλαδέματα από τα πάρκα και τους κήπους των κατοικιών κ.α.) συγκεντρώνονται σε ένα χώρο εντός της έκτασης του δήμου (green point) και υπόκεινται σε επεξεργασία πριν από την τελική τους διάθεση.

Κατασκευάστηκε ένα μοντέλο τύπου ρυζόχαρτου (spreadsheet) για το σχεδιασμό των διαφορετικών σεναρίων, λαμβάνοντας υπόψη τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των διαλεγμένων βιοαποβλήτων, βιοαπόβλητα που αντιστοιχούν σε 100.000 κατοίκους. Το μοντέλο αυτό έχει επίσης τη δυνατότητα να υπολογίζει το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος διαχείρισης κάθε σεναρίου λαμβάνοντας υπόψη το κόστος λειτουργίας της κάθε εφαρμοζόμενης τεχνολογίας, το κόστος των αναλωσίμων, τα τέλη διάθεσης, το κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων και του παραγόμενου επεξεργασμένου προϊόντος καθώς και το κόστος του ειδικού τέλους ταφής των βιοαποβλήτων. Επιπλέον στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς για το κόστος του απαιτούμενου σύμφωνα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία εξοπλισμού καθώς και για το κόστος της επένδυσης.

Κατά το σχεδιασμό και την διερεύνηση του καταλληλότερου ολοκληρωμένου εναλλακτικού σεναρίου διαχείρισης οι εκτιμήσεις που έγιναν ειδικά ως προς τις ποσότητες είναι επισφαλείς και βασίζονται σε απλοποιήσεις και παραδοχές.

Όσο αναφορά στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων ιδιαίτερη σημασία έχουν τα απόβλητα από τα καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος

3.3 Υπολογισμοί για το Σχεδιασμό των Σεναρίων

Θεωρούμε ότι ο δήμος στην έκταση του αποτελείται από περιοχές αμιγούς κατοικίας, περιοχές με εμπορικές χρήσεις όπως χώροι εστίασης (εστιατόρια, ταβέρνες, καντίνες) και χώρους πρασίνου (όπως πάρκα, δενδρόφυτους χώρους, πλατείες με πράσινο, παιδικές χαρές κ.α.).

Επιπλέον θεωρούμε ότι ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων του δήμου ανέρχεται σε 100.000 άτομα. Με βάση τον αριθμό των μόνιμων κατοίκων και των επισκεπτών και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΣΑ ανέρχεται σε 300-450kg/κάτοικο/έτος εκτιμήθηκε ότι η ετήσια ποσότητα των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων στο δήμο ανέρχεται σε περίπου 38.541 ton/year ήτοι 105,60 ton/day.

Τέλος με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων εκτιμήθηκε ότι η ετήσια ποσότητα των παραγόμενων βιοαποβλήτων ανέρχεται σε περίπου 14.538 ton/year ήτοι 39,83 ton/day.

Πίνακας 3-1: Ετήσιες Ποσότητες ΑΣΑ

Τύπος Αποβλήτων	Ποσότητα (tn/year)
Σύνολο Αστικών Στερεών Αποβλήτων	38.541
Σύμμεικτα	33.345
Οργανικά Απόβλητα – Βιοαπόβλητα	14.538

Η σύσταση των προς επεξεργασία ΑΣΑ υπολογίστηκε με βάση τη σύσταση των στερεών αποβλήτων της εγκεκριμένης μελέτης της Αναθεώρησης του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Ιούλιος 2014). Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές της ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ που λαμβάνεται υπόψη.

Πίνακας 3-2: Τυπικές Τιμές Ποιοτικής Σύστασης ΑΣΑ (ΠΕΣΔΑ)

Τύπος Αποβλήτου	% (κ.β.)
Οργανικά	43,6 %
Χαρτί – Χαρτόνι	17,6 %
Πλαστικά	8,8 %
Μέταλλα	13,2 %

Τύπος Αποβλήτου	% (κ.β.)
Γυαλί	7 %
Ξύλο	2,6 %
Λοιπά	7,2 %
Σύνολο	100 %

Κατά τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι τυπικές τιμές της περιεκτικότητας σε υγρασία, της πυκνότητας, της περιεκτικότητας σε στοιχεία C, H, O, S καθώς επίσης και οι τυπικές τιμές του ενεργειακού περιεχομένου σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3-3: Τυπικές Τιμές Ποιοτικών Χαρακτηριστικών ΑΣΑ
(Γ. Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων)

	Πυκνότητα (kg/m ³)	% Περιεκτικότητα σε υγρασία	% C ξ.β.	% H ξ.β.	%O ξ.β.	%N ξ.β.	%S ξ.β.	Αδρανές υπόλειμμα %	Ενεργειακό περιεχόμενο (kJ/kg)
υπολείμματα τροφών	291	70	48	6.4	37.6	2.6	0.40	5	4652
χαρτί	89	6	43.5	6	44	0.3	0.20	6	16747.2
χαρτόνι	50	5	44	5.9	44.6	0.3	0.20	5	16282
πλαστικά	65	2	60	7.2	22.8	0	0.00	10	32564
υφάσματα	65	10	55	6.6	31.2	4.6	0.15	6.5	17445
λάστιχο	131	2	78	10		2	0.00	9.9	23260
δέρμα	160	10	60	8	11.6	10	0.40	8	17445
υπολείμματα αυλών	101	60	47.8	6	38	3.4	0.40	4.5	6512.8
ξύλο	237	20	49.5	6	42.7	0.2	0.10	1.5	18608
γυαλί	196	2	0.5	0.1	0.4	0.1		98.9	139.56
λευκοσίδηρος	89	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
αλουμίνιο	160	2	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
άλλα μέταλλα	320	3	4.5	0.6	4.3	0.1		90.5	697.8
λοιπά ανόργανα	481	8	26.3	3	2	0.5	0.2	68	697.8

Θεωρώντας ότι η πυκνότητα των ΑΣΑ ισούται με $d = 291.7 \text{ kgr/m}^3$ υπολογίζεται ότι ο ετήσιος όγκος των ΑΣΑ ανέρχεται σε $49.840 \text{ m}^3/\text{year}$.

Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τιμές περιεκτικότητας σε υγρασία και σε C, H, O, N και S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (Πίνακας 3-4) εκτιμάται ο εμπειρικός τύπος των παραγόμενων ΑΣΑ.

Πίνακας 3-4: Τυπικές Τιμές Περιεκτικότητας σε Υγρασία και C, H, O, N, S των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.

(Λυμπεράτος, Διαχείριση Στερεων Αποβλήτων)

ΑΣΑ	% C ξ.β.	% H ξ.β.	% O ξ.β.	% N ξ.β.	% S ξ.β.	% περιεκτικότητα σε υγρασία
Οργανικά	48	6,4	37,6	2,6	0,40	70

Πιο συγκεκριμένα:

Το ξηρό βάρος σε C, H, O, N και S υπολογίζεται βάσει τις περιεκτικότητες των C, H, O, N και S στα απόβλητα και του ξηρού βάρους του κάθε είδους αποβλήτου στο πτητικό κλάσμα :

Το βάρος της υγρασίας (β.υ.) υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\text{B.υ. οργ. Κλάσμα} = 14.538 \text{ tn} * 70\% = 10.178 \text{ tn}$$

Το ξηρό βάρος (ξ.β.) προκύπτει αφαιρώντας από την ολική μάζα την ποσότητα της υγρασίας δηλαδή:

$$\text{Ξ.β. οργ. Κλάσμα} = 14.538\text{tn} - 10.178 \text{ tn} = 4.360 \text{ tn}$$

Το ξηρό βάρος του C υπολογίζεται (ξ.β. C) από τη σχέση:

$$\text{Ξ.β.C (οργ. Κλάσμα)} = 4.360 \text{ tn} * 48\% = 2.092,8 \text{ tn}$$

Αντίστοιχα τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-5 που ακολουθεί.

Πίνακας 3-5: Ποσότητα υγρασίας, ξ.β. και C, H, O, N, S οργανικών ΑΣΑ

Αποτελέσματα Υπολογισμών	Οργανικά
Ποσότητα (tn)	14.538
Βάρος Υγρασίας (tn)	10.178
Ξηρό βάρος (kg)	4.361.526,00
Ξηρό βάρος C (kg)	2.093.532,48
Ξηρό βάρος H (kg)	279.137,66
Ξηρό βάρος O (kg)	1.639.933,78
Ξηρό βάρος N (kg)	113.399,68
Ξηρό βάρος S (kg)	17.446,10

Για τον υπολογισμό του εμπειρικού τύπου ξηρού βάρους του βιοαποδομήσιμου μέρους των αποβλήτων, υπολογίζουμε τα mol των C, H, O, N, S (μάζα/AB) κι έπειτα διαιρώντας με τα mol N ή S βρίσκουμε τους αντίστοιχους εμπειρικούς τύπους. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-6.

Πίνακας 3-6: Ποσότητα σε moles C, H, O, N, S των οργανικών ΑΣΑ

	mole/moles N	mole/moles S
C	21,54	320,00
H	34,46	512,00
O	12,65	188,00
N	1,00	14,86
S	-	1,00

Συνεπώς από τα αποτελέσματα των υπολογισμών ο εμπειρικός τύπος, ξηρού βάρους του οργανικού μέρους των αποβλήτων που παράγονται (εμπειρικός τύπος αποβλήτων στην πηγή) είναι: $C_{22}H_{35}O_{12}N$ ή $C_{320}H_{512}O_{188}N_{14}S$

3.4 Παραδοχές - Υποθέσεις

Κατά το σχεδιασμό των τριών εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων έχουν ληφθεί υπόψη οι εξής παραδοχές - υποθέσεις :

- Ως σύγχρονες τεχνολογίες επεξεργασίας των βιοαποβλήτων έχουν επιλεγεί η ξήρανση και η κομποστοποίηση.
- Το παραγόμενο προϊόν από την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην παρούσα εργασία δύναται να ανακυκλωθεί, επαναχρησιμοποιηθεί. Ειδικότερα το παραγόμενο προϊόν από τη ξήρανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο ενώ το προϊόν της κομποστοποίησης δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ).
- Η διαλογή των οργανικών, βιοαποβλήτων θεωρούμε ότι πραγματοποιείται στην πηγή, δηλαδή τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα συλλέγονται σε διαφορετικό κάδο από τα σύμμεικτων και το ποσοστό συμμετοχής στην διαλογή των κατοίκων ανέρχεται στο 100%.
- Το πρόγραμμα αποκομιδής είναι σχεδιασμένο σε διεβδομαδιαία βάση (δηλαδή η συλλογή των βιοαποβλήτων γίνεται μέρα παρά μέρα).
- Η αποκομιδή των κάδων συλλογής βιοαποβλήτων πραγματοποιείται με οχήματα τύπου πρέσσας χωρητικότητας $16m^3$ (11.5 - 12 tn), με βαθμό συμπίεσης 2 και πληρότητα ίση με 80%.

- Η μέση διαδρομή που διανύουν τα οχήματα συλλογής των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων εκτιμάται σε 15 km από το σημείο συλλογής των κάδων έως το σημείο επεξεργασίας των αποβλήτων δηλαδή το green point.
- Η μέση διαδρομή από το σημείο επεξεργασίας (green point) έως το χώρο τελικής διάθεσης εκτιμάται σε περίπου 21,5 km. Συνεπώς η διαδρομή που θα διανύσει ένα όχημα από το σημείο επεξεργασίας ως το χώρο διάθεσης και η επιστροφή ανέρχεται σε περίπου 43 km.
- Το κόστος μεταφοράς των βιοαποβλήτων εκτιμάται σε 5€/km
- Το κόστος διάθεσης των βιοαποβλήτων στον ΕΔΣΝΑ ανέρχεται σε 45€/tn
- Το ειδικό τέλος ταφής/διάθεσης των αποβλήτων ανέρχεται σε 35€/tn

3.5 Εναλλακτικά Σενάρια

Στην παρούσα εργασία μελετούνται τρία εναλλακτικά ολοκληρωμένα σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων.

Εναλλακτικό Σενάριο 1

Σε αυτό το σενάριο θεωρούμε ότι τα βιοαπόβλητα συλλέγονται σε κάδους και στη συνέχεια μεταφέρονται στο χώρο τελικής διάθεσης (ΧΥΤΑ) χωρίς να υποστούν καμία επεξεργασία. (Διάγραμμα Ροής 3-1)



Διάγραμμα 3-1: Διάγραμμα Ροής Εναλλακτικού Σεναρίου 1

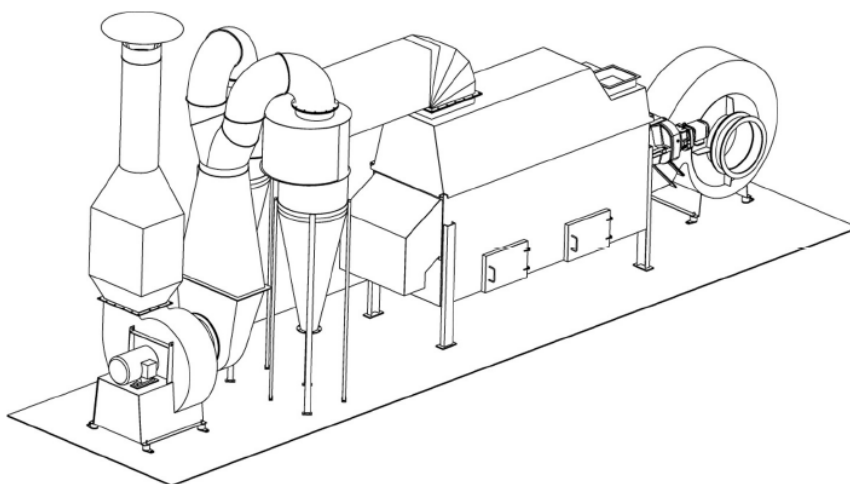
Εναλλακτικό Σενάριο 2

Σε αυτό το σενάριο θεωρούμε ότι τα βιοαπόβλητα συλλέγονται σε κάδους, στη συνέχεια μεταφέρονται σε κατάλληλο χώρο εντός των ορίων του δήμου (green point) όπου υπόκεινται σε επεξεργασία, ξήρανση, και το τελικό προϊόν της ξήρανσης οδηγείται στο χώρο τελικής διάθεσης (Διάγραμμα Ροής 3-2).



Διάγραμμα 3-2: Διάγραμμα Ροής Εναλλακτικού Σεναρίου 2

Στο σενάριο αυτό η επεξεργασία των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου της ξήρανσης, με τη χρήση ξηραντήρα ενδιάμεσης κυκλοφορίας, δυναμικότητας 2,4 ton/h (Εικόνες 3-1 και 3-2).



Εικόνα 3-1: Compact ξηραντήρας για εφαρμογές μικρού και μεσαίου μεγέθους

Ο ξηραντήρας λειτουργεί με την αρχή της κινούμενη κλίνης. Περιλαμβάνει ένα σύστημα τροφοδοσίας, δύο ανεμιστήρες, ένα εναλλάκτη θερμότητας (για τη θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα πριν την είσοδο του στο θάλαμο), ένα διάτρητο δίσκο έτσι ώστε να διασκορπίζεται ομοιόμορφα ο θερμός αέρας στο εσωτερικό του ξηραντήρα, έναν αγωγό υπερχείλισης για την απομάκρυνση του ξηρού προϊόντος, ένα βραχίονα ανάδευσης εξοπλισμένο κατά μήκος με κατάλληλα στελέχη για

ανάδευση (Εικόνα. 3-3), δύο κυκλώνες και ένα φίλτρο αέρος προκειμένου να συγκρατηθούν τα σωματίδια του απορρίμματος μπορεί να συμπαρασύρονται με τον θερμό αέρα. Στον πυθμένα τοποθετείται ένας θάλαμος μέσα στον οποίο εισέρχεται ο θερμός αέρας και στη συνέχεια διανέμεται ομοιόμορφα μέσω ακροφυσίων στο θάλαμό έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση στο εσωτερικό του θαλάμου.

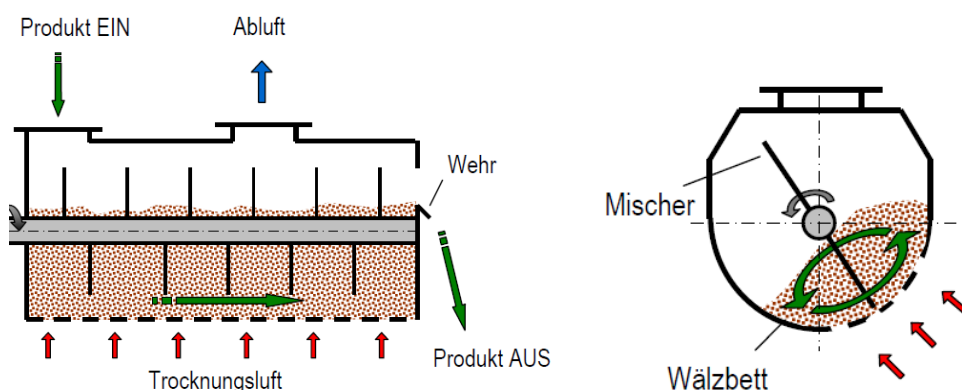


Εικόνα 3-2: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

Εικόνα 3-3: Βραχίονας Ανάδευσης

Η τεχνική που εφαρμόζεται στο ξηραντήρα επιτυγχάνει υψηλό βαθμό μεταφοράς θερμότητας και λόγω της τυρβώδους ροής που επικρατεί στο θάλαμο ο θερμός αέρας ξηραίνει ομοιόμορφα τα απορρίμματα (Εικόνα 3-4). Πριν από την τροφοδοσία του ξηραντήρα, τα απορρίμματα (βιοαπόβλητα) τεμαχίζονται με

λειτουργημαχιστές ή με χρήση οδοντωτού τυμπάνου και στη συνέχεια το τεμαχισμένο μίγμα μεταφέρεται σε θάλαμο κινούμενης κλίνης.



Εικόνα 3-4: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του ξηραντήρα

Το τελικό παραγόμενο προϊόν ενός ξηραντήρα κινούμενης κλίνης με ατμό (κλειστός βρόγχος ξήρανσης χωρίς οσμές) είναι ένα ξηρό κοκκώδες υλικό, το οποίο περιέχει 10% υγρασία και η φαινόμενη πυκνότητα του προϊόντος ανέρχεται σε 300 kg/m³.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια για την λειτουργία του ξηραντήρα κινούμενης κλίνης ανέρχονται σε περίπου 90 kWh ανά κύκλο λειτουργίας..

Το σύστημα ξήρανσης αποτελείται από τα εξής μέρη :

- Διάταξη μεταφοράς βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων – μεταφορική ταινία: Η τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα με τις απαιτούμενες ποσότητες οργανικών απορριμμάτων (βιοαποβλήτων) πραγματοποιείται με τη χρήση μεταφορικής ταινίας, η οποία μεταφέρει με ανοδική κλίση προς τη χοάνη της θυρίδας τροφοδοσίας.
- Ο ξηραντήρα κινούμενης κλίνης αποτελείται από τα εξής μέρη:
 - Κλίβανο μήκους 8m, πλάτος 1,5m, δυναμικότητα 2.400 kg/h ή 2,4 ton/h, κατασκευασμένο από ανθρακικό χάλυβα.
 - Εναλλάκτη θερμότητας, θερμικής ισχύος 1.154kW. Χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα που διαπερνά τον κλίβανο με κατεύθυνση από το κατώτερο στο ανώτερο τμήμα του. Αντί για ατμοσφαιρικό αέρα θα δύναται να χρησιμοποιηθούν καυσαέρια μιας άλλης διεργασίας.

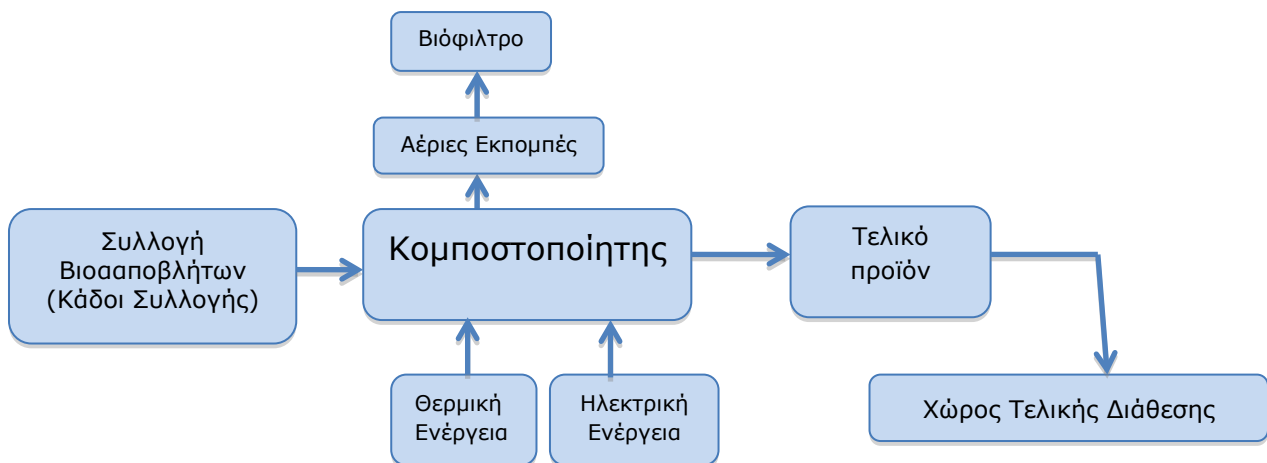
- Βραχίονα ανάδευσης, κατασκευασμένος από χάλυβα. Κατά μήκος του βραχίονα είναι τοποθετημένα χαλύβδινα στελέχη, κατασκευασμένα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη ανάδευση του υπό ξήρανση απορρίμματος. Η λειτουργία του βραχίονα ανάδευσης ελέγχεται από το εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης που συνδέεται με υπολογιστή.
 - Θυρίδα εισόδου τροφοδοσίας και απόληξης. Η είσοδος της τροφοδοσίας του απορρίμματος είναι εγκατεστημένη στο άνω άκρο του ξηραντήρα και περιμετρικά φέρει χοάνη για την υποδοχή του υλικού. Το τελικό προϊόν εξέρχεται από θυρίδα η οποία βρίσκεται στη άλλη άκρη του ξηραντήρα και σε ύψος λίγο πιο πάνω από το μέσο της πλευρά, δημιουργώντας ένα φράγμα υπερχειλίσης. Το τελικό προϊόν κατά την έξοδό του περιέχει ποσοστό υγρασίας περίπου 10%, ενώ η θερμοκρασία του ανέρχεται σε περίπου 55⁰C.
 - Βάσεις στήριξης κατασκευασμένες από χάλυβα σχήματος «Η». Οι τέσσερις βάσεις στήριξης είναι τοποθετημένες σε κάθε πλευρά του ξηραντήρα προκειμένου να τον συγκρατούν σε οριζόντια θέση.
 - Σύστημα αερισμού – απαγωγής αέριων εκπομπών. Για την διαδικασία της ξήρανσης χρησιμοποιείται ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος θερμαίνεται, έως τη θερμοκρασία 140⁰C κατά την είσοδό του, από ένα εναλλάκτη θερμότητας. Ο θερμός αέρας εισέρχεται από το κατώτερο τμήμα του ξηραντήρα και διαχέεται σε όλη την έκταση του ξηραντήρα από μια πλάκα που αποκαλείται πλάκα διανομής με συνέπεια να προκαλεί εξάτμιση της υγρασίας του απορρίμματος με ρυθμό 900kg/h. Με χρήση ανεμιστήρα απάγονται τα αέρια μαζί με την εξάτμιση (ποσοστό υγρασίας που εξατμίζεται) από ένα κυκλικό άνοιγμα στο άνω κεντρικό τμήμα του θαλάμου και οδηγούνται στην διάταξη του καθαρισμού. Η θερμοκρασία των αερίων κατά την έξοδο είναι περίπου 59⁰C και τα αέρια εξέρχονται με ρυθμό 32.000 Bm³.
 - Σύστημα αυτόματου ελέγχου και παρακολούθησης. Όλες οι λειτουργίες του ξηραντή καθώς και η παροχή θερμού αέρα, η κίνηση του βραχίονα ανάδευσης, η κίνηση του κοχλία μεταφοράς, ελέγχονται από μια μονάδα ελέγχου η οποία ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ξήρανσης όσο το δυνατόν καλύτερα.
- Συστήματα καθαρισμού αέριων εκπομπών. Οι αέριες εκπομπές μετά την έξοδό τους από τον θάλαμο οδηγούνται αρχικά σε μία διάταξη δύο κυκλώνων μέσω των

οποίων αφαιρούνται σωματίδια και ανεπιθύμητες ουσίες. Τα συστήματα καθαρισμού αερίων εκπομπών είναι συνδεδεμένα παράλληλα προκειμένου να επιτυγχάνεται αύξηση της απόδοσής τους στην κατακράτηση αιρούμενων σωματιδίων. Στη συνέχεια οι αέριες εκπομπές οδηγούνται σε φίλτρο αέρος για τη συγκράτηση των βλαβερών χημικών ουσιών οι οποίες παράγονται κατά τη διαδικασία της ξήρανσης.

- Συστήματα μεταφοράς οργανικών αποβλήτων. Η τροφοδοσία του ξηραντήρα με τις απαιτούμενες ποσότητες οργανικών αποβλήτων πραγματοποιείται με τη χρήση μεταφορικής ταινίας. Η ταινία μεταφέρει τα απορρίμματα με ανοδική κλίση προς τη θυρίδα εισόδου τροφοδοσίας.

Εναλλακτικό Σενάριο 3

Σε αυτό το σενάριο θεωρούμε ότι τα βιοαπόβλητα συλλέγονται σε κάδους, στη συνέχεια μεταφέρονται σε κατάλληλο χώρο εντός των ορίων του δήμου (green point) όπου υπόκεινται σε επεξεργασία, κομποστοποίηση και το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης, κομπόστ, οδηγείται στο χώρο τελικής διάθεσης (Διάγραμμα Ροής 3-3).



Διάγραμμα 3-3: Διάγραμμα Ροής Εναλλακτικού Σεναρίου 3

Στο σενάριο αυτό η επεξεργασία των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων πραγματοποιείται σε μηχανικό κομποστοποιητή ή βιοαντιδραστήρα κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, δυναμικότητας 1.500 kgf /ημέρα και διαστάσεων 6,320 m μήκος, 1,640 m πλάτος και 2,225 m ύψος. Αποτελείται από τρεις θαλάμους και ένα μετακομιστή ο οποίος μετακινεί το απόρριμμα από τον ένα θάλαμο στον άλλον. Η

διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Αρχικά το απόρριμμα τοποθετείται στον πρώτο θάλαμο και αναμιγνύεται απευθείας με τα μικρόβια που αναπτύσσονται στην μεσόφιλη και θερμόφιλη φάση της κομποστοποίησης και αλέθεται παθητικά από βραχίονα ανάδευσης. Στο πρώτο θάλαμο το απόρριμμα θερμαίνεται από αέριες θερμές μάζες που εισέρχονται με τη χρήση ανεμιστήρων. Στην συνέχεια όταν το μέγεθος του ομογενοποιημένου μίγματος είναι ικανό να περάσει μέσα από την διαχωριστική σχάρα, αυτό οδηγείται στο δεύτερο θάλαμο στον οποίο ολοκληρώνεται η αερόβια διεργασία και ταυτόχρονα γίνεται παραγωγή θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα όταν απαιτείται συμπληρώνεται έτσι ώστε η θερμοκρασία του βιοαντιδραστήρα και να διατηρείται στους 70⁰C. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η πλήρης ομογενοποίηση του μίγματος. Επιπλέον η χρήση του βραχίονα επιτυγχάνει την περαιτέρω ανάμιξη του μίγματος έτσι ώστε το οξυγόνο να διανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του μίγματος. Ακολουθεί η είσοδος του μίγματος στον τρίτο θάλαμο όταν αυτό έχει μετατραπεί σε ώριμο κομπόστ. Τέλος το κομπόστ με τη βοήθεια ατέρμονα κοχλίας εξέρχεται από τον βιοαντιδραστήρα.

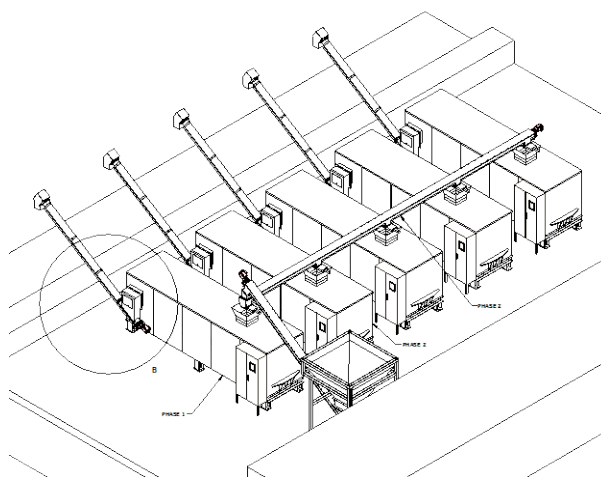
Ο βιοαντιδραστήρας είναι εξοπλισμένος με ανεμιστήρες, με ένα βραχίονα ανάδευσης, ένα ατέρμονα κοχλία και μια πηγή θερμότητας.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα κομποστοποίησης είναι τα εξής (Εικόνα 3-5):

Βιοαντιδραστήρας: Ο βιοαντιδραστήρας αποτελείται από το θάλαμο, βάσεις στήριξης, θυρίδες τροφοδοσίας και απόληξης, σύστημα μηχανικής ανάδευσης, σύστημα απαγωγής αέριων εκπομπών, σύστημα απομάκρυνσης στραγγισμάτων, σύστημα εναλλακτών θερμότητας και σύστημα αυτόματου ελέγχου και παρακολούθησης.

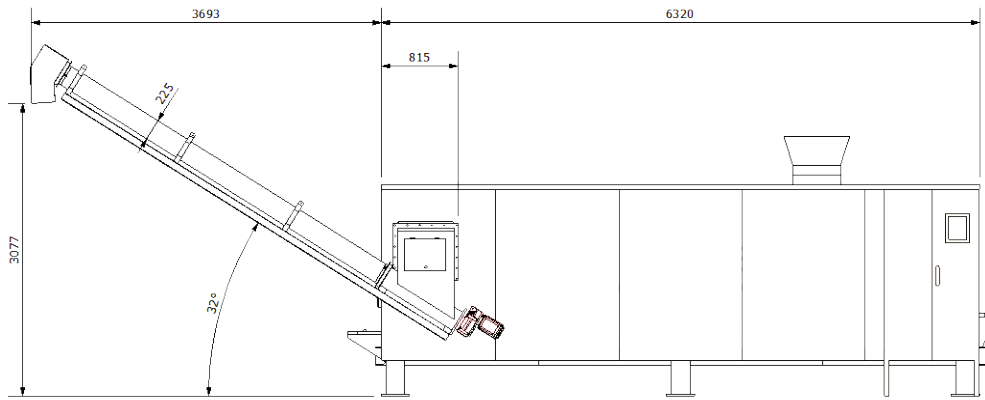
- Εντός του κυλινδρικού θαλάμου συσσωρεύεται η μάζα των οργανικών αποβλήτων και λαμβάνουν χώρα όλες οι επιμέρους λειτουργίες ρύθμισης συγκεκριμένων παραμέτρων που επηρεάζουν τον ρυθμό των βιολογικών διεργασιών όπως ο αερισμός και η υγρασία. Ο θάλαμος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα που περικλείεται από μεταλλικό περίβλημα και χωρίζεται σε τρεις επιμέρους υποθαλάμους οι οποίοι μεταξύ τους διαχωρίζονται από σχάρα (Εικόνα 3-6.).

- Δεδομένου ότι ο άξονας του κυλινδρικού θαλάμου είναι τοποθετημένος οριζόντια, η βάση στήριξης αποτελείται από τρία υποστυλώματα που βρίσκονται στις δύο άκρες και στην μέση του θαλάμου.
- Από θυρίδα τροφοδοσίας (σχήματος τετράγωνου) εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο, το μίγμα των οργανικών αποβλήτων. Η θυρίδα τροφοδοσίας είναι εγκατεστημένη στο άνω μέρος στην μια άκρη του θαλάμου και φέρει διάταξη χοάνης για τη υποδοχή της μάζας των αποβλήτων. Η μεταφορά των αποβλήτων προς τη θυρίδα τροφοδοσίας γίνεται με μεταφορική ταινία.
- Η θυρίδα απόληξης του τελικού παραγόμενου προϊόντος βρίσκεται στο αντίθετο πλαϊνό άκρο από αυτό που βρίσκεται η θυρίδα τροφοδοσίας και η μεταφορά του τελικού προϊόντος γίνεται με μεταφορική ταινία (Εικόνα 3-7).



Εικόνα 3-5: Σχηματική Απεικόνιση Συστήματος Κομποστοποίησης

Εικόνα 3-6: Απεικόνιση Θαλάμου Συστήματος Κομποστοποίησης



Εικόνα 3-7: Απεικόνιση Θυρίδας τροφοδοσίας και Θυρίδας Απόληψης

- Σύστημα μηχανικής ανάδευσης. Η ανάδευση του υποστρώματος πραγματοποιείται μέσω περιστρεφόμενου άξονα που κατά μήκος του φέρει στελέχη ορθογώνιου σχήματος τα οποία είναι κατάλληλα διαμορφωμένα για το σκοπό αυτό. Ο άξονας ανάδευσης συνδέεται με διάταξη μειωτήρα στροφών και η ταχύτητα περιστροφής του ρυθμίζεται από ηλεκτροκινητήρα ισχύος 0,55 kW. (Εικόνα 3-8).



Εικόνα 3-8: Απεικόνιση Συστήματος Μηχανικής Ανάδευσης

- Σύστημα απαγωγής αέριων εκπομπών. Οι λειτουργίες αερισμού του υποστρώματος και απαγωγής των αέριων εκπομπών, που προκύπτουν ως προϊόντα των αντιδράσεων βιοξείδωσης, πραγματοποιούνται με την χρήση ανεμιστήρων. Λόγω της λειτουργίας των ανεμιστήρων δημιουργούνται συνθήκες υποπίεσης στο εσωτερικό του βιοαντιδραστήρα, με συνέπεια ποσότητες

ατμοσφαιρικού αέρα να αναρροφούνται στο εσωτερικό δια μέσω κατάλληλου φίλτρου προκειμένου να γίνεται κατακράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων.

- Σύστημα απομάκρυνσης στραγγισμάτων. Η απομάκρυνση των στραγγισμάτων επιτυγχάνεται μέσω κατασκευαστικών διαμορφώσεων στη θυρίδα απόληξης στο χαμηλότερο τμήμα του βιοαντιδραστήρα.
- Σύστημα εναλλακτών θερμότητας. Στο κατώτερο τμήμα του βιοαντιδραστήρα είναι εγκατεστημένα ένα σύστημα έξι (6) εναλλακτών θερμότητας με συνέπεια τον απόλυτο έλεγχο της θερμοκρασίας σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Ο κάθε ένας εναλλάκτης έχει ισχύ 0,4 kW και καταναλώνει 10kWh ανά 24 ώρες.
- Σύστημα αυτόματου ελέγχου και παρακολούθησης. Η ρύθμιση, ο έλεγχος, και η παρακολούθηση ορισμένων κρίσιμων παραμέτρων των διεργασιών της αερόβιας βιοαποδόμησης όπως του αερισμού, της λειτουργίας των ανεμιστήρων, της κίνησης του αναδευτήρα, πραγματοποιούνται με τη χρήση προγραμματισμένου λογισμικού. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι απόλυτα ελεγχόμενη και δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της διεργασίας από το χειριστή.



all screen
element

Εικόνα 3-9: Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου Παρακολούθησης

Η διάταξη απόσμισης αέριων εκπομπών: Οι αέριες εκπομπές των αντιδράσεων βιοξείδωσης οδηγούνται μέσω εύκαμπτου αεραγωγού σε διάταξη βιόφιλτρου για την δέσμευση των χημικών ενώσεων. Ως μέσο απόσμισης χρησιμοποιούνται ποσότητες ώριμου κομπόστ, οι οποίες συσσωρεύονται στο εσωτερικό κλειστού τοιχίου τετραγωνικού σχήματος.

Διάταξη μεταφοράς βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων: Η τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα με τις απαιτούμενες ποσότητες οργανικών αποβλήτων πραγματοποιείται με τη χρήση μεταφορικής ταινίας, μέσω της οποίας μεταφέρονται με ανοδική κλίση προς τη χοάνη της θυρίδας τροφοδοσίας.

4 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα της τεχνοοικονομικής μελέτης των τριών ολοκληρωμένων εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων.

Κατά την οικονομική εκτίμηση του κάθε σεναρίου λαμβάνεται υπόψη το κόστος αγοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού (κόστος επένδυσης) καθώς και το ετήσιο κόστος λειτουργίας κάθε σεναρίου. Επιπλέον εκτιμάται ο χρόνος απόσβεσης για κάθε εναλλακτικό σενάριο.

Σενάριο 1- Διαχωρισμός των βιοαποβλήτων στην πηγή, Μεταφορά των βιοαποβλήτων στο χώρο τελικής διάθεσης χωρίς να υπόκεινται σε επεξεργασία

Σύμφωνα με το σχεδιασμό του Σεναρίου 1 τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα συλλέγονται σε κάδους και μεταφέρονται στον τελικό χώρο διάθεσης, χώρος υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) χωρίς να υποστούν καμμία επεξεργασία στα όρια του δήμου.

Εκτιμάται ότι η ετήσια συνολική ποσότητα των ΑΣΑ 38.540 tn/έτος, εκ των οποίων ποσότητα 33.345 tn/έτος είναι τα σύμμεικτα. Θεωρούμε ότι ποσοστό 43,6% σύμμεικτων είναι τα βιοαπόβλητα (απόβλητα χώρων εστίασης, χώρων διασκέδασης, τρόφιμα νοικοκυριών και υπολείμματα χώρων πρασίνου) συνεπώς τα βιοαπόβλητα σε ετήσια βάση ανέρχονται σε περίπου 14.538 tn/έτος. Άρα η μέση ημερήσια ποσότητα που δύναται να συλλεχθεί ανέρχεται σε 39,83tn/day.

Σύμφωνα με την ημερήσια ποσότητα των βιοαποβλήτων και θέτοντας ότι η αποκομιδή τους γίνεται δύο φορές την εβδομάδα προκύπτει ότι ο απαιτούμενος αριθμός κάδων συλλογής, χωρητικότητας 1m³, ανέρχεται σε περίπου 220 κάδους.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρησιμοποιούνται απορριμματοφόρα τύπου πρέσσας, δυναμικότητας 11,5-12tn έκαστο, με βαθμό συμπίεσης 2 και πληρότητα 0,8 ανά δρομολόγιο, προκειμένου να συλλεχθεί η ανωτέρω ποσότητα των βιοαποβλήτων απαιτούνται περίπου 5 δρομολόγια ημερησίως.

Επιπλέον θεωρώντας ότι κάθε απορριματοφόρο πραγματοποιεί δύο (2) δρομολόγια ημερησίως υπολογίστηκε ότι χρειάζονται περίπου τρία (3) απορριματοφόρα ημερησίως για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των παραγόμενων στο δήμο βιοαποβλήτων.

Επιπλέον θεωρώντας ότι σε εβδομαδιαία βάση η αποκομιδή των βιοαποβλήτων θα γίνεται 2 φορές προκύπτει ότι οι απαιτήσεις για την αποκομιδή των βιοαποβλήτων σε εβδομαδιαία βάση ανέρχονται σε εννέα (9) απορριματοφόρα ανά ημέρα αποκομιδής.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την αποκομιδή σε κάθε απορριματοφόρο απασχολούνται τρεις υπάλληλοι (ένας οδηγός και δύο εργάτες καθαριότητας) προκύπτει ότι για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των βιοαποβλήτων απαιτούνται συνολικά εννέα (9) εργαζόμενοι.

Επιπλέον θεωρούμε ότι η χιλιομετρική απόσταση από το σημείο συλλογής έως το σημείο τελικής διάθεσης καθώς και οι διαδρομές που κάνουν τα απορριματοφόρα ισούται με 58km.

Θεωρώντας ότι το κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων ανά χιλιόμετρο ισούται με 5€ και με βάση τα ανωτέρω υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων ισούται με 539.881€

Δηλαδή: (9 απορριματοφόρα) x (4 φορές/week) x (52 weeks/year) x (58 km/διαδρομή) x (5€/km) = 539.881€ ετησίως.

Θεωρώντας ότι το κόστος του κάθε εργαζομένου ανέρχεται σε 18.000 € ετησίως προκύπτει ότι το ετήσιο κόστος του προσωπικού που απασχολείται στην αποκομιδή των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε: 9 άτομα x 18.000€/έτος = 162.000€ ετησίως.

Επιπλέον το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων επιβαρύνεται από το κόστος διάθεσης, περίπου 45€/tn και από το κόστος του ειδικού σήματος ταφής, περίπου 35€/tn. Συνέπεια το συνολικό ετήσιο κόστος διαχείρισης ανέρχεται σε 654.229€/έτος και το κόστος του ειδικού σήματος ταφής ανέρχεται σε 508.845€/έτος. Δηλαδή το συνολικό κόστος διαχείρισης ισούται με 1.864.954 €ετησίως.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το συνολικό ετήσιο κόστος (κόστος συλλογής και μεταφοράς, κόστος προσωπικού και κόστος διαχείρισης) του Σεναρίου 1 ανέρχεται σε 1.871.660 € ετησίως. Ο πίνακας που ακολουθεί περιλαμβάνει όλους τους υπολογισμούς του σεναρίου 1.

Πίνακας 4-1: Αποτελέσματα Υπολογισμών - Σενάριο 1

Βιοαποδομήσιμα (ton/year)	14.538
Ετήσιος Όγκος βιοαποδομήσιμων (m ³ /year)	49.840
Εβδομαδιαία ποσότητα Βιοαποδομήσιμων (ton/day)	279.59
Αριθμός εβδομ. Δρομολογίων	36
Αριθμός κάδων (τεμ.)	220
Κόστος συλλογής & μεταφοράς (€)	539.881
Κόστος Προσωπικού (€)	162.000
Κόστος Διάθεσης ΕΔΣΝΑ (€)	654.229
Κόστος ειδικού τέλους ταφής (€)	508.845
Ετήσιο Κόστος Σεναρίου 1 (€)	1.864.954

Σενάριο 2 – Συλλογή Βιοαποβλήτων, Μεταφορά σε Ειδικό χώρο (Green point), Επεξεργασία με ζήρανση και επεξεργασία με την μέθοδο της ξήρανσης και στο χώρο τελικής διάθεσης

Στο Σενάριο 2 τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα, μεταφέρονται σε χώρο εντός της έκτασης του δήμου και επεξεργάζονται με τη μέθοδο της ξήρανσης, πριν τη μεταφορά τους στο χώρο τελικής διάθεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρησιμοποιούνται απορριμματοφόρα τύπου πρέσσας, δυναμικότητας 11,5-12tn έκαστο, με βαθμό συμπίεσης 2 και πληρότητα 0,8 ανά δρομολόγιο, προκειμένου να συλλεχθεί η ποσότητα των 14.538 ton/year ήτοι 39,83ton/day βιοαποβλήτων απαιτούνται περίπου 5 δρομολόγια ημερησίως.

Επιπλέον θεωρώντας ότι κάθε απορριμματοφόρο πραγματοποιεί δύο (2) δρομολόγια ημερησίως υπολογίστηκε ότι χρειάζονται περίπου τρία (3) απορριμματοφόρα ημερησίως για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των παραγόμενων στο δήμο βιοαποβλήτων.

Επιπλέον θεωρώντας ότι σε εβδομαδιαία βάση η αποκομιδή των βιοαποβλήτων θα γίνεται 2 φορές προκύπτει ότι οι απαιτήσεις για την αποκομιδή των βιοαποβλήτων σε εβδομαδιαία βάση ανέρχονται σε εννέα (9) απορριματοφόρα ανά ημέρα αποκομιδής.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την αποκομιδή σε κάθε απορριματοφόρο απασχολούνται τρεις υπάλληλοι (ένας οδηγός και δύο εργάτες καθαριότητας) προκύπτει ότι για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των βιοαποβλήτων απαιτούνται συνολικά εννέα (9) εργαζόμενοι.

Θεωρείται ότι η χιλιομετρική απόσταση από το σημείο συλλογής έως το χώρο επεξεργασίας εντός του δήμου (green point) ισούται με 15km.

Θεωρώντας ότι το κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων ανά χιλιόμετρο ισούται με 5€ και με βάση τα ανωτέρω υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων από τους κάδους του δήμου έως χώρο επεξεργασίας το ισούται με 139.624 €

Δηλαδή: (9 απορριματοφόρα) x (4 φορές/week) x (52 weeks/year) x (15 km/διαδρομή) x (5€/km) = 139.624€ ετησίως.

Θεωρώντας ότι το κόστος του κάθε εργαζομένου ανέρχεται σε 18.000 € ετησίως προκύπτει ότι το ετήσιο κόστος του προσωπικού που απασχολείται στην αποκομιδή των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε: 9 άτομα x 18.000€/έτος = 162.000€ ετησίως.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της επεξεργασίας θεωρούμε ότι με την ξήρανση επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του 70% της υγρασίας των βιοαποβλήτων και το παραγόμενο προϊόν, προϊόν ξήρανσης, εκτιμάται ότι θα ανέρχεται σε 11,95 ton/day.

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Σενάριο 2 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος ξήρανσης, ξηραντήρα, και το λειτουργικό κόστος του ξηραντήρα (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα (Πίνακας)

- Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα ανέρχεται σε περίπου 1.800.000€, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής ξηραντήρων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς δηλαδή σε περίπου 180.000€.
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς δηλαδή σε 90.000 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική απαίτηση για τα μηχανικά μέρη του εξοπλισμού ανέρχεται στα 90 kWh/day, οπότε η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανέρχεται σε 673.920 kWh και το ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 134.784 €.
- Επιπλέον στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία του, που εξαρτάται από τις θερμικές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία του. Ειδικότερα για τις θερμικές απαιτήσεις του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί στον εναλλάκτη θερμότητας.

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, και την εκτιμώμενη ποσότητα των προς επεξεργασία βιοαποβλήτων θεωρείται ότι ο ξηραντήρας λειτουργεί έξι (6) ημέρες την εβδομάδα. Ο κύκλος λειτουργίας είναι περίπου 24 ώρες. Σε έναν κύκλο λειτουργίας ο εναλλάκτης θερμότητας, θερμικής ισχύος 1,154 kW, λειτουργεί 16 ώρες ενώ η ετήσια θερμική απαίτηση ανέρχεται σε 5.760.768 kWh. Στα πλαίσια της μελέτης εκτιμήθηκε το κόστος χρήσης πετρελαίου και φυσικού αερίου ως καύσιμο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το πετρέλαιο ως καύσιμο το ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανέρχεται σε 633.684 €, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται φυσικό αέριο ως καύσιμο το ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανέρχεται σε 331.071 €

Για την λειτουργία του χώρου επεξεργασίας απαιτούνται δύο εργαζόμενοι με συνολικό ετήσιο κόστος 36.000€.

Θεωρώντας ότι το παραγόμενο από τη ξήρανση προϊόν ανέρχεται σε 11,95ton/day και ότι η χιλιομετρική απόσταση από το χώρο επεξεργασίας εντός του δήμου (green point) έως το χώρο τελικής διάθεσης ισούται με 43km εκτιμάται ότι το κόστος μεταφοράς του προϊόντος της ξήρανσης ισούται με 120.077 €

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα κόστη από την λειτουργία του Σεναρίου 2.

Τέλος το ετήσιο κόστος λειτουργίας του Σεναρίου 2 στην περίπτωση που ως καύσιμο χρησιμοποιηθεί το πετρέλαιο ανέρχεται σε 1.496.170€, ενώ αντίστοιχα το κόστος λειτουργίας στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί το φυσικό αέριο ως καύσιμο ανέρχεται σε 1.193.557€

Πίνακας 4-2: Εκτίμηση Κόστους Συλλογής Μεταφοράς – Σενάριο 2

Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (ton/year)	14.538
Ημερήσια Ποσότητα βιοαποβλήτων (ton/day)	39,83
Ποσοστό Μείωσης (%)	70,00%
Προϊόν Ξήρανσης (ton/day)	11,95
Κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου (€)	139.624
Κόστος Προσωπικού αποκομιδής βιοαποβλήτων, εντός δήμου (9 άτομα) (€)	162.000
Κόστος Προσωπικού χώρου επεξεργασίας (2 άτομα) (€)	36.000

Πίνακας 4-3: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Ξήρανσης με Χρήση Πετρελαίου ως Καύσιμη Ύλη

Κόστος αγοράς συστήματος (€)	1.800.000
Κόστος συντήρησης μονάδων (€)	180.000
Ασφάλεια συστήματος ξήρανσης (€)	90.000
Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (€)	134.784
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων	
Κατανάλωση Πετρελαίου (€)	633.684
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας Ξηραντήρα με χρήση πετρελαίου ως καύσιμο (€)	1.038.468

Πίνακας 4-4: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Ξήρανσης με Χρήση Φ.Α. ως Καύσιμη Ύλη

Κόστος αγοράς συστήματος (€)	1.800.000
Κόστος συντήρησης μονάδων (€)	180.000
Ασφάλεια συστήματος ξήρανσης (€)	90.000
Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (€)	134.784
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων	
Κατανάλωση Φυσικού Αερίου (€)	331.071
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας Ξηραντήρα με χρήση ΦΑ ως καύσιμο (€)	735.855

Πίνακας 4-5: Εκτίμηση Συνολικού Κόστους διαχείρισης βιοαποβλήτων με ξήρανση – Σενάριο 2

Κόστος Διαχείρισης (πετρέλαιο) (€)	1.496.170
Κόστος Διαχείρισης (LNG) (€)	1.193.557

Σενάριο 3 – Συλλογή Βιοαποβλήτων, Μεταφορά σε Ειδικό χώρο (Green point), και επεξεργασία με την μέθοδο της Κομποστοποίησης και μεταφορά στο χώρο τελικής διάθεσης

Στο Σενάριο 3 τα διαλεγμένα βιοαπόβλητα, μεταφέρονται σε χώρο εντός της έκτασης του δήμου και επεξεργάζονται με τη μέθοδο της κομποστοποίησης, πριν τη μεταφορά τους στο χώρο τελικής διάθεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρησιμοποιούνται απορριμματοφόρα τύπου πρέσσας, δυναμικότητας 11,5-12tn έκαστο, με βαθμό συμπίεσης 2 και πληρότητα 0,8 ανά δρομολόγιο, προκειμένου να συλλεχθεί η ποσότητα των 14.538 ton/year ήτοι 39,83ton/day βιοαποβλήτων απαιτούνται περίπου 5 δρομολόγια ημερησίως.

Επιπλέον θεωρώντας ότι κάθε απορριμματοφόρο πραγματοποιεί δύο (2) δρομολόγια ημερησίως υπολογίστηκε ότι χρειάζονται περίπου τρία (3) απορριμματοφόρα ημερησίως για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των παραγόμενων στο δήμο βιοαποβλήτων.

Επιπλέον θεωρώντας ότι σε εβδομαδιαία βάση η αποκομιδή των βιοαποβλήτων θα γίνεται 2 φορές προκύπτει ότι οι απαιτήσεις για την αποκομιδή των βιοαποβλήτων σε εβδομαδιαία βάση ανέρχονται σε εννέα (9) απορριματοφόρα ανά ημέρα αποκομιδής.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά την αποκομιδή σε κάθε απορριματοφόρο απασχολούνται τρεις υπάλληλοι (ένας οδηγός και δύο εργάτες καθαριότητας) προκύπτει ότι για την αποκομιδή της ημερήσιας ποσότητας των βιοαποβλήτων απαιτούνται συνολικά εννέα (9) εργαζόμενοι.

Θεωρείται ότι η χιλιομετρική απόσταση από το σημείο συλλογής έως το χώρο επεξεργασίας εντός του δήμου (green point) ισούται με 15km.

Θεωρώντας ότι το κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων ανά χιλιόμετρο ισούται με 5€ και με βάση τα ανωτέρω υπολογίζεται ότι το συνολικό κόστος συλλογής και μεταφοράς των βιοαποβλήτων από τους κάδους του δήμου έως χώρο επεξεργασίας το ισούται με 139.624 €

Δηλαδή: $(18 \text{ διαδρομές}) \times (2 \text{ φορές/week}) \times (52 \text{ weeks/year}) \times (15 \text{ km/διαδρομή}) \times (5\text{€ km}) = 139.624\text{€}$ ετησίως.

Θεωρώντας ότι το κόστος του κάθε εργαζομένου ανέρχεται σε 18.000 € ετησίως προκύπτει ότι το ετήσιο κόστος του προσωπικού που απασχολείται στην αποκομιδή των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε: $9 \text{ άτομα} \times 18.000\text{€/έτος} = 162.000\text{€}$ ετησίως.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της επεξεργασίας θεωρούμε ότι με την κομποστοποίηση επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του 70% της υγρασίας των βιοαποβλήτων και το παραγόμενο προϊόν, κομπόστ, εκτιμάται ότι θα ανέρχεται σε 11,95 ton/day.

Το κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων σύμφωνα με το Σενάριο 3 περιλαμβάνει το κόστος της επένδυσης, αγοράς του συστήματος κομποστοποίησης, μονάδες μηχανικών κομποστοποιήτων, και το λειτουργικό κόστος του συστήματος κομποστοποίησης (κόστος συντήρησης, κόστος ασφάλισης, κόστος απαιτούμενων για τη λειτουργία αναλώσιμων). Πιο συγκεκριμένα (Πίνακας 4-6).

- Το κόστος αγοράς ενός μηχανικού κομποστοποιήτη ανέρχεται σε περίπου 205.835 €, μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε εταιρείες κατασκευής μηχανικών κομποστοποιήτων σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Όμως η ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων και κατά επέκταση η ημερήσια ποσότητα που πρέπει να διαχειριστούμε, σύμφωνα με τη δυναμικότητα του κομποστοποιητή (δυναμικότητα 1.5 tn/day) απαιτεί περίπου 27 μονάδες μηχανικών κομποστοποιτών. Συνεπώς το συνολικό κόστος αγοράς του εξοπλισμού για τη επεξεργασία της ημερήσιας ποσότητας βιοαποβλήτων ανέρχεται σε 5.465.780 €.
- Το ετήσιο κόστος συντήρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10% του κόστους αγοράς των μηχανικών κομποστοποιητών, δηλαδή σε περίπου 546.578 €
- Το ετήσιο κόστος ασφάλισης του εξοπλισμού, των μηχανικών κομποστοποιητών, αντιστοιχεί σε ποσοστό 5% του κόστους αγοράς, δηλαδή σε 273.289 €.
- Στο λειτουργικό κόστος συμπεριλαμβάνεται το κόστος των καυσίμων για τη λειτουργία των μηχανικών κομποστοποιητών, που εξαρτάται από τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη λειτουργία τους. Ειδικότερα για τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός μηχανικού κομποστοποιήτη δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε πετρέλαιο είτε φυσικό αέριο με συνέπεια το λειτουργικό κόστος του συστήματος να διαφοροποιείται ανάλογα με το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί.

Σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, και την εκτιμώμενη ποσότητα των προς επεξεργασία βιοαποβλήτων θεωρείται ότι το σύστημα των μηχανικών κομποστοποιήτων αποτελείται από 27 μονάδες, οι οποίες λειτουργούν επτά (7) ημέρες την εβδομάδα.

Ο ημερήσιος κύκλος λειτουργίας κάθε κομποστοποιητή είναι περίπου 24 ώρες.

Για έναν κύκλο λειτουργίας, κάθε κομποστοποιητής χρησιμοποιεί για τις ανάγκες λειτουργίας του περίπου 200 kWh, συνεπώς η ετήσια ενεργειακή απαίτηση ανέρχεται σε 74.256 kWh. Συνεπώς οι ετήσιες απαιτήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος των 27 μονάδων κομποστοποίησης, ανέρχονται σε περίπου 2.004.912 kWh.

Επιπλέον στα πλαίσια της μελέτης εκτιμήθηκε το κόστος χρήσης πετρελαίου και φυσικού αερίου ως καύσιμο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών για την λειτουργία των 27 μονάδων κομποστοποίησης στην περίπτωση που χρησιμοποιείται το πετρέλαιο ως καύσιμο το ετήσια κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανέρχεται σε 255.175 €

ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται φυσικό αέριο ως καύσιμο το ετήσια κόστος κατανάλωσης καυσίμου ανέρχεται σε 115,499 €

Για την λειτουργία του χώρου επεξεργασίας απαιτούνται δύο εργαζόμενοι με συνολικό ετήσιο κόστος 36.000€.

Θεωρώντας ότι το παραγόμενο από τη ξήρανση προϊόν ανέρχεται σε 11,95ton/day και ότι η χιλιομετρική απόσταση από το χώρο επεξεργασίας εντός του δήμου (green point) έως το χώρο τελικής διάθεσης ισούται με 43km, εκτιμάται ότι το κόστος μεταφοράς του παραγόμενου κομπόστ ισούται με 120.077 €.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα κόστη από την λειτουργία του Σεναρίου 3.

Τέλος το συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας του Σεναρίου 3 στην περίπτωση που ως καύσιμο χρησιμοποιηθεί το πετρέλαιο ανέρχεται σε 1.532.743€, ενώ αντίστοιχα το κόστος λειτουργίας στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί το φυσικό αέριο ως καύσιμο ανέρχεται σε 1.410.886€

Θεωρώντας ότι το παραγόμενο από την κομποστοποίηση προϊόν, κομπόστ, ανέρχεται σε 11,95ton/day και θεωρώντας ότι η μέση τιμή πώλησης του κομπόστ, είναι 50-60 €/ton, το ετήσιο εισόδημα που δύναται να εξασφαλιστεί ανέρχεται σε 261.692 €/year.

Πίνακας 4-6: Εκτίμηση Κόστους Συλλογής Μεταφοράς – Σενάριο 3

Ετήσια ποσότητα βιοαποβλήτων (ton/year)	14.538
Ημερήσια Ποσότητα βιοαποβλήτων (ton/day)	39,83
Ποσοστό Μείωσης (%)	70,00%
Προϊόν Κομποστοποίησης (ton/day)	11,95
Κόστος συλλογής και μεταφοράς βιοαποβλήτων εντός δήμου (€)	139.624
Κόστος Προσωπικού αποκομιδής βιοαποβλήτων, εντός δήμου (9 άτομα) (€)	162.000
Κόστος Προσωπικού χώρου επεξεργασίας (2 άτομα) (€)	36.000
Κόστος μεταφοράς βιοαποβλήτων από το χώρο επεξεργασίας έως το χώρο τελικής διάθεσης (€)	120.077

Πίνακας 4-7: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Κομποστοποίησης με Χρήση Πετρελαίου ως Καύσιμη Ύλη

Κόστος αγοράς συστήματος (€)	5.465.780
Κόστος συντήρησης μονάδων (€)	546.578
Ασφάλεια συστήματος κομποστοποίησης (€)	273.289
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων	
Κατανάλωση Πετρελαίου (€)	255.175
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας Συστήματος Κομποστοποίησης με χρήση πετρελαίου ως καύσιμο (€)	1.040.407

Πίνακας 4-8: Εκτίμηση Λειτουργικού Κόστους Συστήματος Κομποστοποίησης με Χρήση Φ.Α. ως Καύσιμη Ύλη

Κόστος αγοράς συστήματος (€)	5.465.780
Κόστος συντήρησης μονάδων (€)	546.578
Ασφάλεια συστήματος κομποστοποίησης (€)	273.289
Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων	
Κατανάλωση Φυσικού Αερίου (€)	115.499
Συνολικό Κόστος Λειτουργίας Συστήματος Κομποστοποίησης με χρήση ΦΑ ως καύσιμο (€)	935.089

Πίνακας 4-9: Εκτίμηση Συνολικού Κόστους διαχείρισης βιοαποβλήτων με κομποστοποίηση – Σενάριο 3

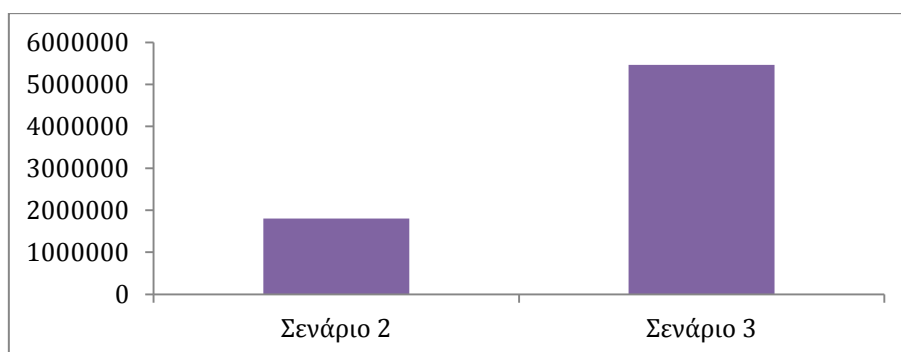
Κόστος Διαχείρισης (πετρέλαιο) (€)	1.532.743
Κόστος Διαχείρισης (LNG) (€)	1.410.886

Σύμφωνα με την τεχνοοικονομική μελέτη προκύπτει ότι το Σενάριο 2 είναι οικονομικότερο από τα Σενάρια 1 και 3.

Πιο συγκεκριμένα:

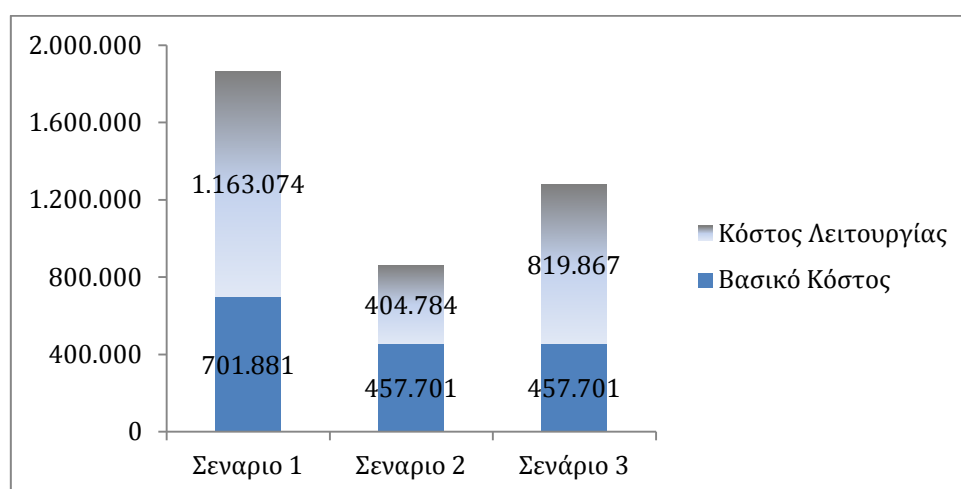
το κόστος αγοράς του εξοπλισμού για την εφαρμογή της μεθόδου της ξήρανσης είναι κατά πολύ μικρότερο από το κόστος του εξοπλισμού για την εφαρμογή της μεθόδου

της κομποστοποίησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δυναμικότητα των κομποστοποιητών είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με αυτή των ξηραντήρων με αποτέλεσμα να απαιτούνται περίπου είκοσι επτά (27) κομποστοποιητές για την επεξεργασία της ημερήσιας παραγόμενης ποσότητας βιοαποβλήτων.



Διάγραμμα 4-1: Κόστος αγοράς απαιτούμενου Εξοπλισμού Επεξεργασίας

Συγκρίνοντας τα τρία εναλλακτικά σενάρια προκύπτει ότι το Σενάριο 2 όπου εφαρμόζεται η ξήρανση είναι το οικονομικότερο Σενάριο.

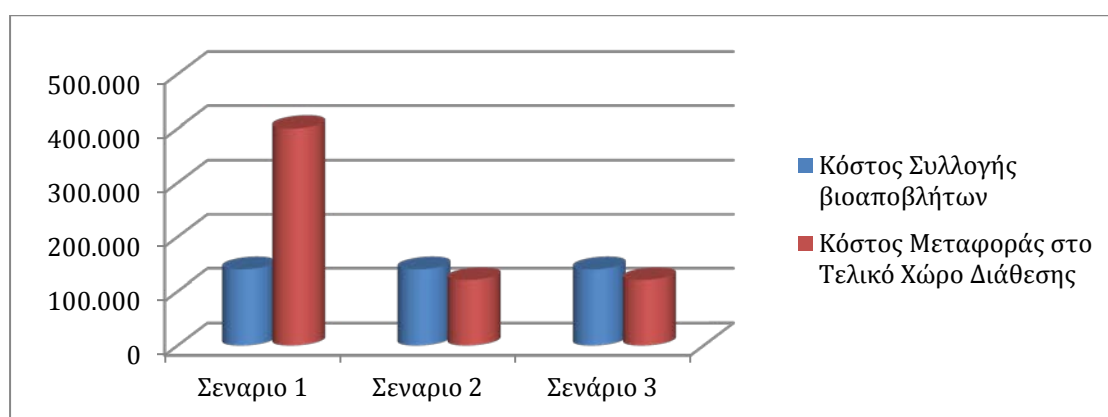


Διάγραμμα 4-2: Βασικό και Λειτουργικό Κόστος των τριών Εναλλακτικών Σεναρίων

Στο Διάγραμμα 4-2 δίνεται η σύγκριση του βασικού κόστους των τριών σεναρίων (κόστος συλλογής και κόστος μεταφορά στον τελικό χώρο διάθεσης, κόστος προσωπικού αποκομιδής και κόστος προσωπικού χώρου επεξεργασίας) και του κόστους λειτουργίας των τριών σεναρίων (κόστος συντήρησης και ασφάλισης εξοπλισμού, κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τα σενάρια 2 και 3

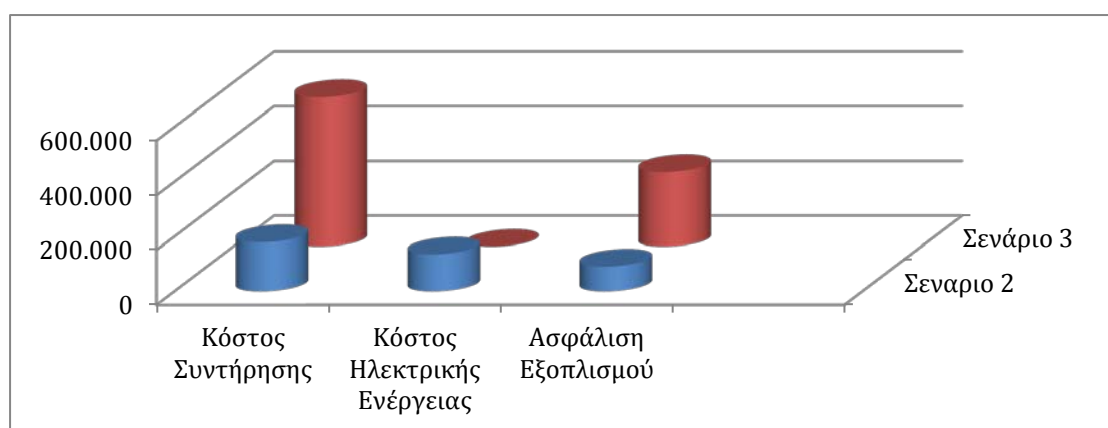
καθώς και κόστος διάθεσης στο ν ΕΔΣΝΑ και κόστος τέλη ταφής για τα βιοαπόβλητα του σεναρίου 1)

Επίσης το συνολικό κόστος συλλογής και μεταφοράς των διαλεγμένων βιοαποβλήτων, από το σημείο συλλογής τους (κάδοι) έως τον τελικό χώρο διάθεσης, των Σεναρίων 2 και 3 είναι κατά πολύ μικρότερο σε σχέση με το κόστος συλλογής και μεταφοράς του Σεναρίου 1. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα βιοαπόβλητα στα Σεναρία 2 και 3 υπόκεινται σε επεξεργασία με αποτέλεσμα την μείωση του όγκου τους και του βάρους τους.



Διάγραμμα 4-3: Διάγραμμα Κόστους Συλλογής Μεταφοράς

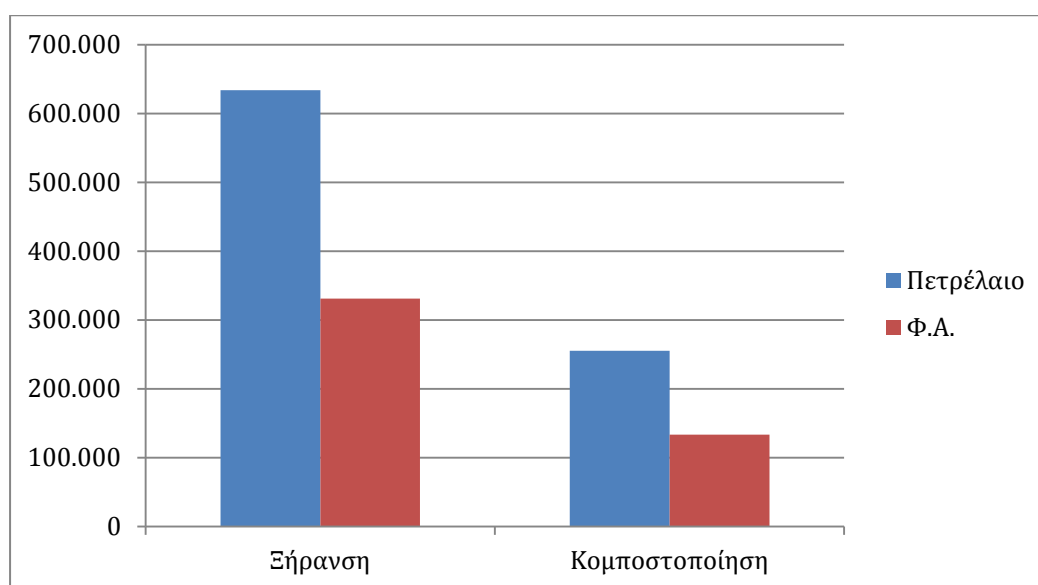
Επιπλέον σύμφωνα με τα πάγια λειτουργικά κόστη (κόστος συντήρησης και ασφάλισης εξοπλισμού, κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας) των Σεναρίων 2 και 3 προκύπτει ότι το Σενάριο 2 είναι το οικονομικότερο.



Διάγραμμα 4-4: Πάγια Λειτουργικά κόστη Σεναρίων 2 και 3

Στα Σενάρια 2 και 3 οι ενεργειακές και θερμικές ανάγκες λειτουργίας του εξοπλισμού, δηλαδή του ξηραντήρα και των κομποστοποιητών, αντίστοιχα απαιτούν κατανάλωση καυσίμων. Σύμφωνα με την απαιτούμενη κατανάλωση καυσίμου (πετρελαίου ή φυσικού αερίου) προκύπτει ότι η χρήση φυσικού αερίου είναι οικονομικότερη σε σχέση με τη χρήση πετρελαίου. Κατά το σχεδιασμό θεωρείται ότι η μέση τιμή πώλησης πετρελαίου είναι 0,11 €/kWh και η μέση τιμή πώλησης Φ.Α είναι 0,05747 €/kWh.

Εκτιμάται ότι η χρήση του πετρελαίου ως καύσιμο και στα δύο Σενάρια (2&3) επιβαρύνει οικονομικά περισσότερο το ετήσιο κόστος λειτουργίας.

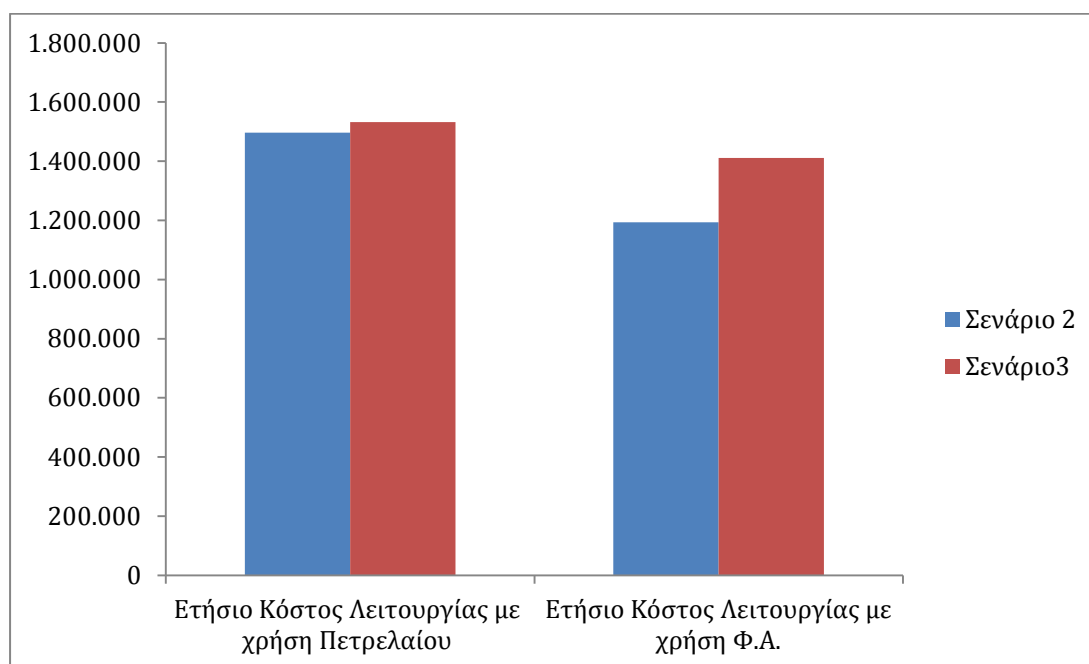


Διάγραμμα 4-5: Ετήσιο κόστος κατανάλωσης καυσίμων για την λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού των Σεναρίων 2 και 3.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το παραγόμενο προϊόν, ξηρή βιομάζα, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο για τις θερμικές ανάγκες του ξηραντήρα. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του ξηραντήρα δύναται να χρησιμοποιηθεί το παραγόμενο προϊόν προκειμένου να καλύψει ποσοστό έως 20% των θερμικών του αναγκών. Η ποσότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος και τη θερμογόνο του δύναμη και συνεπώς από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων.

Συγκρίνοντας τα εναλλακτικά Σενάρια 2 και 3 και λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο κόστος διαχείρισης των σεναρίων προκύπτει ότι το Σενάριο 2 είναι οικονομικότερο

σε σχέση με το Σενάριο 3 ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης καύσιμης ύλης (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο).



Διάγραμμα 4-6: Συνολικό Ετήσιο Κόστος Διαχείρισης Σεναρίων 2 και 3

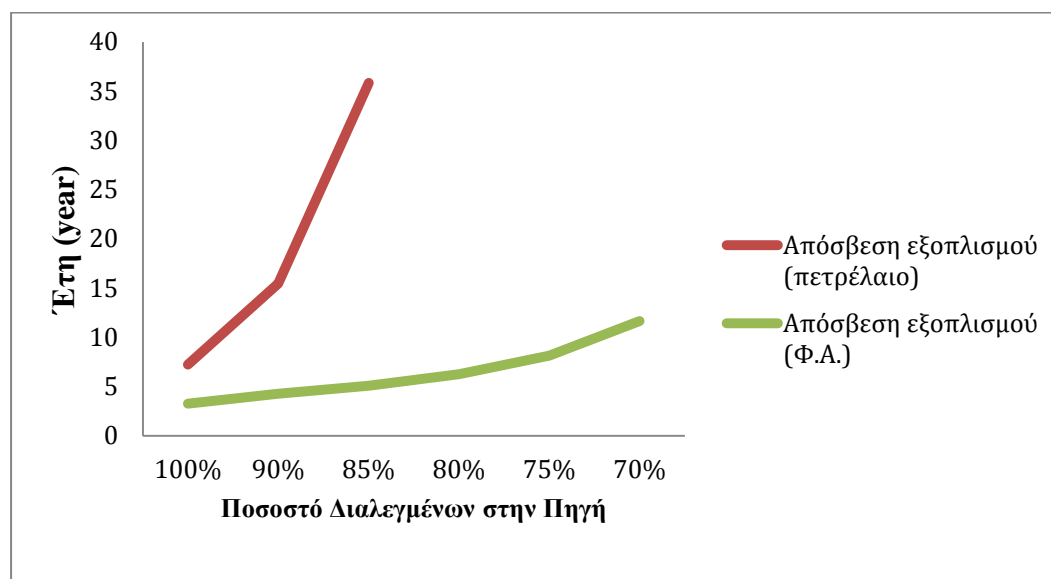
Επιπλέον στη παρούσα μελέτη εκτιμήθηκε ο χρόνος απόσβεσης του κόστους αγοράς και εγκατάστασης του απαιτούμενου για επεξεργασία μηχανολογικού εξοπλισμού των Σεναρίων 2 και 3. Η εκτίμηση του χρόνου απόσβεσης (Πίνακας 4-10) πραγματοποιήθηκε για χρήση και των δύο ειδών καυσίμων πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Πίνακας 4-10: Χρόνος Απόσβεσης Εναλλακτικών Σεναρίων 2 και 3

	Χρόνος Απόσβεσης
Σενάριο 2	
Χρήση Πετρελαίου ως καύσιμο	7,24 έτη
Χρήση Φυσικού Αερίου ως καύσιμο	3,26 έτη
Σενάριο 3	
Χρήση Πετρελαίου ως καύσιμο	16 έτη
Χρήση Φυσικού Αερίου ως καύσιμο	12 έτη

Τέλος, το ποσοστό διαλογής στην πηγή των βιοαποβλήτων εμπεριέχει το στοιχείο της αβεβαιότητας σε μεγάλο βαθμό διότι εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Για τον λόγο αυτό στην παρούσα μελέτη διενεργήθηκε ανάλυση ευαισθησίας του χρόνου απόσβεσης του κόστους αγοράς και εγκατάστασης του απαιτούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού για τα Σενάρια 2 και 3, ως προς το ποσοστό διαλογής.

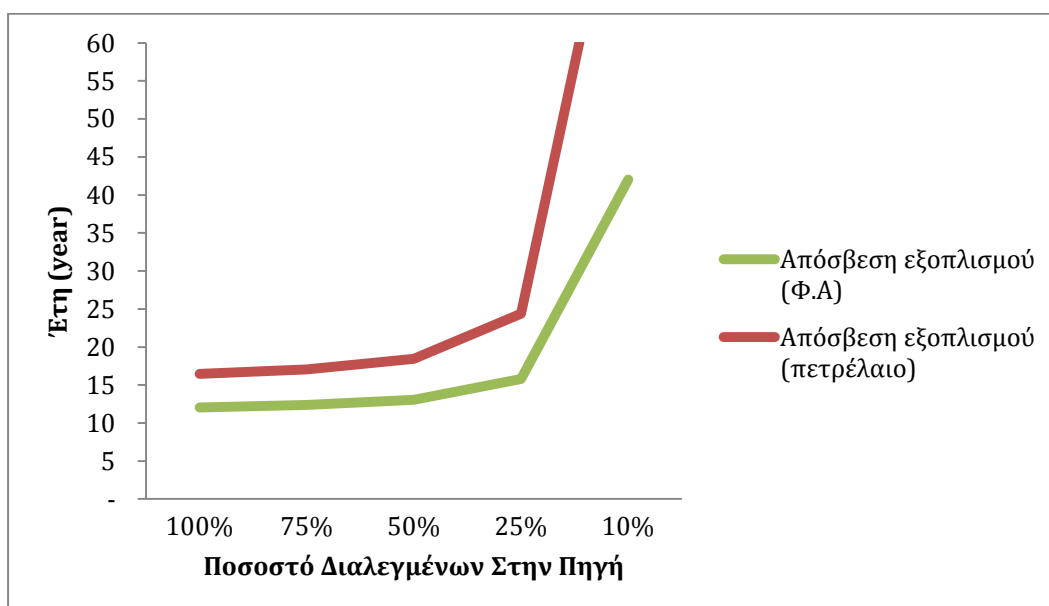
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για το Σενάριο 2 προκύπτει ότι ο χρόνος απόσβεσης είναι πολύ μεγάλος στην περίπτωση που το πετρέλαιο χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη σε αντίθεση με την περίπτωση που το Φ.Α. χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη. Επίσης προκύπτει ότι η επένδυση σε ξηραντήρα, ο οποίος χρησιμοποιεί ως καύσιμη ύλη το πετρέλαιο, γίνεται ασύμφορη οικονομικά στην περίπτωση μείωσης του ποσοστού διαλεγμένων βιοαποβλήτων κάτω από το 90%, ενώ η επένδυση σε ξηραντήρα, ο οποίος λειτουργεί με φυσικό αέριο, μετατρέπεται σε ασύμφορη οικονομικά όταν το ποσοστό διαλεγμένων βιοαποβλήτων είναι μικρότερο του 70%.



Διάγραμμα 4-7: Ανάλυση Ευαισθησίας. Χρόνος Απόσβεσης Σεναρίου 2 ως προς την Μεταβολή του Ποσοστού Διαλογής των Βιοαποβλήτων

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας για το Σενάριο 3 υποδεικνύουν ότι ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται σταδιακά όταν το ποσοστό των διαλεγμένων βιοαποβλήτων, ενώ ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται δραματικά για ποσοστό

διαλεγμένων βιοαποβλήτων μικρότερο του 25% ανεξάρτητα από το είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο).



Διάγραμμα 4-8: Ανάλυση Ευαισθησίας του Χρόνου Απόσβεσης Σεναρίου 3 ως προς την Μεταβολή του Ποσοστού Διαλογής των Βιοαποβλήτων

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη τεchnοοικονομική εκτίμηση των τριών ολοκληρωμένων εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης βιοαποβλήτων παρουσιάζονται συνοπτικά στις ενότητες που ακολουθούν:

- Το Σενάριο 2 στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος ξήρανσης ως μέθοδος επεξεργασίας των βιοαποβλήτων αναδεικνύεται το πιο οικονομικό από τα τρία ολοκληρωμένα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης βιοαποβλήτων, ανεξαρτήτως της καύσιμης ύλης (πετρέλαιο ή φυσικό αέριο) που χρησιμοποιείται για τις θερμικές ανάγκες του.
- Το Σενάριο 1 είναι πιο δαπανηρό από τα τρία ολοκληρωμένα εναλλακτικά σενάρια.
- Το Σενάριο 3, σύστημα κομποστοποίησης λόγω της μικρής δυναμικότητας των κομποστοποιητών απαιτεί αρκετά μεγάλο αριθμό μονάδων και συνεπώς απαιτεί

μεγαλύτερη έκταση για την εγκατάστασή τους. Αυτό θα έχει ως συνέπεια αφενός την αύξηση του κόστους της επένδυσης για αγορά οικοπέδων αφετέρου η εύρεση ελεύθερου χώρου μεγάλης έκτασης εντός ενός δήμου είναι απαγορευτική.

- Παρόλο που το Σενάριο 2 αναδεικνύεται οικονομικότερο σε σχέση με τα άλλα δύο σενάρια που εξετάστηκαν η χρήση πετρελαίου ως καύσιμη ύλη στον εναλλάκτη θερμότητας αυξάνει το λειτουργικό κόστος του σε σχέση με τη χρήση φυσικού αερίου.
- Ομοίως η χρήση πετρελαίου ως καύσιμη ύλη στο Σενάριο 3 έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του λειτουργικού κόστους του σεναρίου σε σχέση με τη χρήση φυσικού αερίου.
- Συγκρίνοντας τα τρία σενάρια αναδεικνύεται ότι το ετήσιο κόστος διαχείρισης των βιοαποβλήτων επιβαρύνεται περισσότερο από το λειτουργικό κόστος κάθε σεναρίου
- Ομοίως το λειτουργικό κόστος του σεναρίου 2 αποτελεί το οικονομικότερο σε σύγκριση των τριών σεναρίων.
- Το κόστος επένδυσης για την εφαρμογή του σεναρίου 3, σενάριο στο οποίο εφαρμόζεται η κομποστοποίηση για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων είναι πολύ υψηλό λόγω του μεγάλου αριθμού μονάδων κομποστοποίησης που απαιτούνται. Ο απαιτούμενος μεγάλος αριθμός μονάδων κομποστοποίησης οφείλεται στο γεγονός ότι η δυναμικότητα των κομποστοποιητών περιορίζεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Το κόστος μεταφοράς των βιοαποβλήτων από το δήμο έως το χώρο τελικής διάθεσης μειώνεται δραματικά στα σενάρια 2 και 3 λόγω της επεξεργασίας που υπόκεινται, σε αντίθεση με το σενάριο 1.
- Η μείωση του ποσοστού διαλογής των βιοαποβλήτων αυξάνει σταδιακά τον χρόνο αποπληρωμής του κόστους αγοράς του εξοπλισμού του σεναρίου 2 όταν το φυσικό αέριο αποτελεί την καύσιμη ύλη.
- Το ποσοστό Διαλογής των βιοαποβλήτων επηρεάζει πίο πολύ τον χρόνο απόσβεσης του σεναρίου 2 σε σύγκριση με το σενάριο 3.
- Τέλος με την αποκεντρωμένη διαχείριση των διαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων επιτυγχάνεται η ορθολογική διαχείριση τους, με μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα μειώνονται οι επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 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,
2. **Andersen**, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C., 2012, «Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling», *Waste Management*, 32, pp. 31-40
3. **Beffa**, T., 2002, «The Composting Biotechnology: A Microbial Aerobic Solid Substrate Fermentation Complex Process, *The composting process and management*», pp. 1-37
4. C.A. Velis, P.J. Longhurst, G.H. Drew, R. Smith, S.J.T. Pollard, «Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering”, *Bioresource Technology* 100: 2747- 2761)», 2009
5. **Cho**, K., Lee, S., Math, R., Islam, S., Kambiranda, D., Kim, J., Yun, M., Cho, J., Kim, J., Lee, Y., 2008, ‘Culture-independent analysis of microbial succession during composting of swine slurry and mushroom cultural wastes’, *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18, pp. 1874-1883,
6. **Domínguez**, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M., 2010, «Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes». In: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (eds.) *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 93-114,
7. Diaz, L. F., G.M. Savage, L. L. Eggerth, and C. G. Golueke., 1993, *Composting and Recycling Municipal Solid Waste* Lewis Publishers, Inc., Ann Arbor, MI.,
8. Environmental statistics and accounts in Europe, 2010 edition
Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat>
9. Environmental Protection Agency, (E.P.A.), 2012. [online] Reading: Available from: <http://www.epa.gov/metsbane/sources.html> [Accessed 4 June 2012].
10. **Fogarty**, A.M., Tuovinen, O.H., 1991, ‘Microbial Dearadation of Pesticides in Yard Waste Composting’, *Microbiological Reviews*, pp. 225-23,
11. Juniper, 2005, «Mechanical–Biological Treatment: A Guide for Decision Makers, Processes, Policies and Markets», Juniper Consultancy Services, UK,
12. **Komilis**, D., Ham, R., 2004, «Life-cycle inventory of municipal solid waste and

- yard waste windrow composting in the United States», *Journal of Environmental Engineering*, 130 (11), pp. 1390-1400,
13. **Li, Z.**, Lu, H., 2013, «Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review»,
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513009211>
 14. **Martínez-Blanco, J.**, Rieradevall, J., Antón, A., Muñoz, P., 2013, 'Multifunctionality-solving approaches of compost application in crop rotations', *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-12,
 15. **Mujumdar, AS**, 1997, Application of electrical fields in dewatering and drying. «Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing»,
 16. **Muller-Kopp, A.**, 2005, *Die Rotte-Kapitel 3: Biologie der Grungutverwertung*. Ratgeber Grungutverwertung, Kompostforum Schweiz, seiten 67-73,
Available at: <http://www.educompost.ch>
 17. **Nagao, N.**, Watanabe, K., Osa, S., Matsuyama, T., Kurosawa, N., Toda, T., 2008 «Bacterial community and decomposition rate in long term fed-batch composting using woodchip and Polyethylene terephthalate (PET) as bulking agent», *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, pp. 1417- 1424,
 18. Position paper of the Bio-waste alliance., 2009. [online]. Reading: Available from: <http://www.biowaste.eu/> [Accessed 6 August 2012]
 19. Rynk., 1992, «Farm Composting Handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service» Ithaca, New York, USA,
 20. **Riffaldi, R.**, Levi-Minzi, R., Pera, A., de Bertoldi, M., 1986, «Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses», *Waste Management and Research*, 4, pp. 387-396,
 21. 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),
 22. **Saveyn, H.**, Eder, P., 2014, «End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment(compost & digestate): Technical proposals»,
Available at: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>

23. Zhang, R., El-Mashad, H.M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Gamble, P., 2007, «Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion». *Bioresour. Technol.* 98, (4), 929-935,
24. **Haug**, R.T., 1986, «Composting process desiring criteria, part 3, aeration», *Biocycle*, 26, pp. 53-57,
25. **Haug**, R., 1993, “*The practical handbook of composting engineering.*” Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers.,
26. **van Haaren**, R., 2009, “*Large Scale Aerobic Composting of Source Separated Organic Wastes: A Comparative Study of Environmental Impacts, Costs, and Contextual Effects.*” Unpublished Results, MS Thesis, Columbia University
27. Αβραμίκος, η., Ανθούλης, Α., Διαχείριση στερεών αποβλήτων: Νομοθεσία και πολιτική, έννοια που δεν ταυτίζονται πάντοτε. Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΕΕΔΣΑ). Αθήνα : Hydromedia
28. Αναγνωστόπουλος-Πολίτης, Η., Χατζηδημητρίου, Α., 2011, *Επίδραση του λόγου C/N και πρόσθετων στην κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα., Διαθέσιμο στο: <http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/4664>
29. Ανδρεαδάκης, Α., Κατσίρη, Α., Μαμάης, Δ., 2001, *Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων, Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Τόμος Α*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
30. Βαρελά Ευαγγελία., 2011, Διπλωματική Εργασία : Αξιολόγηση τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Αθήνα.
31. Γρηγοροπούλου, Ε., Λυμπεράτος, Γ., Χαλουλάκου, Α., Βλυσίδης, Α., 2013, *Περιβαλλοντική Μηχανική*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
32. Διαχείριση στερεών αποβλήτων, www.environ-develop.ntua.gr/uploads/k_2.pdf
33. Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, Ορισμοί Αστικών Στερεών Αποβλήτων <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=6>
34. Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, 2006, (www.eedsa.gr) :Το νομοθετικό πλαίσιο των ΑΣΑ στην Ελλάδα,
35. ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε., 2010,Ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την περιφέρεια Ηπείρου, Μελέτη χωροθέτησης εργοστασίου επεξεργασίας στερεών αποβλήτων.

36. ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012. Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογή στη Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων
37. Ευθυμίου, Α., 2012, Μικροβιακή ποικιλομορφία κατά τη συγκομποστοποίηση υπολειμμάτων εκκοκκισμού βάμβακος και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα
38. ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013, Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης αποβλήτων και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης.,
39. ΕΣΔΑΚ, Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων, Α.Μαυρόπουλος, 2008
40. Κανακόπουλος, Δ., 2011, Η κομποστοποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων. Ημερίδα ΤΕΕ, Λάρισα.,
41. Λαζαρίδης, Κ., 2012, Η ανακύκλωση & η πρόληψη αποβλήτων στην Ελλάδα, Εισήγηση στην ημερίδα «Ανταλλαγή Εμπειριών στη Διαχείριση των Απορριμμάτων», Αθήνα,
42. Λάλας, Δ., Γεωργοπούλου, Ε., Γιδαράκος, Ε., Γκέκας, Ρ., Λαζαρίδη, Α., 2007, Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων. Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΙΤΑ), Αθήνα,
43. Λυμπεράτος, Γ., 2013, Διαχείριση Στερεών αποβλήτων, εκδ ΕΜΠ.,
44. Μάστακα, Β., 2007, Μικροβιακή διαδοχή κατά την κομποστοποίηση ιλύος από τον βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου, με τη μέθοδο των αναστρεφόμενων σωρών. Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα,
45. Νταράκας Ευ., 2014, Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, εκδ. ΑΠΘ,
46. Οικονομόπουλος Π. Αλέξανδρος, 2007, «Διαχείριση Οικιακού Τύπου Απορριμμάτων/ Προβλήματα Εθνικού Σχεδιασμού και ορθολογικές λύσεις», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Διαθέσιμο στο : http://library.tee.gr/digital/larlib/ekdiloseis/3688/3688_kanakopoulos