



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ

ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σμέρος Γ. Ιωάννης

**Συγκριτική αξιολόγηση δύο καινοτόμων
μεθόδων διαχείρισης του οργανικού
κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων**

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη

Επιβλέπουσα: Καθ. Λοϊζίδου Μαρία

Μέλη Τριμελούς Επιτροπής Διπλωματικής

Λοϊζίδου Μαρία, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. (Επιβλέπουσα)

Σιόλας Άγγελος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χαραλάμπους Αικατερίνη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Είμαι ευτυχής που κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, βρέθηκα να έχω την καθοδήγηση και στήριξη αξιόλογων ανθρώπων, που ο καθένας με τον τρόπο του συνεισέφερε στην ολοκλήρωσή της. Από τη θέση αυτή αισθάνομαι, ως ελάχιστη υποχρέωση, την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά:

Την Επιβλέπουσα της εργασίας μου, Καθηγήτρια Τμήματος Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, κ. Λοϊζίδου Μαρία, τόσο για την υπόδειξη του συγκεκριμένου θέματος, όσο και για την καθοδήγησή της. Επίσης για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, καθ'ολη τη διάρκεια εκπόνησης και συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Τους Καθηγητές ΕΜΠ, κύριο Σιόλα Άγγελο και κυρία Χαραλάμπους Αικατερίνη για την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση τους, αλλά και για τις χρήσιμες συμβουλές τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τους Διδάκτορες Μαργαρίτη Μάρκο και Σωτηρόπουλο Άγγελο για την συνεχή και καθημερινή παρακολούθηση της πορείας της εργασίας. Οι γνώσεις τους, η εμπειρία τους και η βοήθειά τους ήταν πολύτιμες και ουσιαστικές.

Τέλος, θέλω να εκφράσω τις πιο θερμές ευχαριστίες στους γονείς μου και στα αδέρφια μου, για τη στήριξη τους και την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια. Ο καθημερινός τους αγώνας για τη συνολική πρόοδο της οικογένειας αποτελεί παράδειγμα για μένα.

Σμέρος Γ. Ιωάννης

Οκτώβριος 2015

Συντομογραφίες – Αρκτικόλεξα

ΑΣΑ : Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΑΧ : Αναερόβια Χώνευση

ΒΑ : Βιοαπόβλητα ή Βιολογικά Απόβλητα

ΒΑΑ : Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

Δ.Α: Διαχείριση Αποβλήτων

Δ.Β: Δείκτης Βλαστικότητας

ΔΣΑ : Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων

ΔσΠ : Διαλογή στην Πηγή

ΕΔΣΝΑ: Ειδικός Διαβαθμιδικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής

Ε.Ε : Ευρωπαϊκή Ένωση

Ε.Μ.Π: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΕΠΠΕΡΑΑ: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη

ΕΣΥΕ: Εθνική Στατική Υπηρεσία Ελλάδος

ΜΠΕΤ: Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας

ΟΤΑ : Οργανισμός Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΟΥ: Οργανικό Υλικό

ΣΜΑ: Σταθμό Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων

ΥΠΕΚΑ : Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

ΧΥΤΑ : Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΧΥΤΥ : Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

ΧΑΔΑ : Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, αξιολογούνται και συγκρίνονται δύο καινοτόμα συστήματα διαχείρισης και επεξεργασίας των οικιακών βιοαποβλήτων. Το πρώτο μέσω της υγειονομικής και αποτελεσματικής αφαίρεσης της υγρασίας που αυτά περιέχουν (οικιακή ξήρανση) και το δεύτερο μέσω της διεργασίας της κομποστοποίησης, σε πρότυπο αντιδραστήρα οικιακού τύπου. Από ένα πρότυπο σύστημα για κάθε ένα από τα δύο, αναπτύχθηκε, σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και λειτούργησε σε πειραματικό αλλά και πιλοτικό επίπεδο.

Η εργασία απαρτίζεται από 6 κεφάλαια το περιεχόμενο των οποίων περιγράφεται ακολούθως. Στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας και χρήσιμοι ορισμοί, όπως διαλογή στην πηγή, βιοαπόβλητα, κομποστοποίηση και οικιακή ξήρανση. Έπειτα στο κεφάλαιο 2 αναλύεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο και εν συνεχεία στο κεφάλαιο 3 γίνεται η περιγραφή των τεχνολογιών επεξεργασίας βιοαποβλήτων της οικιακής ξήρανσης και της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας αποδόμησης των οργανικών αποβλήτων, γνωστή ως κομποστοποίηση. Στο κεφάλαιο 4 της μελέτης, περιγράφεται η μέθοδος σχεδιασμού του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης και κομποστοποίησης καθώς και τα βασικά μέρη από τα οποία αυτά απαρτίζονται. Το σύστημα μελετήθηκαν σε επίπεδο εργαστηρίου και έπειτα έγινε πιλοτική εφαρμογή του κάθε συστήματος διεργασίας σε επίπεδο Δήμου. Στο Δήμο Παπάγου – Χολαργού για την οικιακή ξήρανση και Κηφισίας για την οικιακή κομποστοποίηση, προκειμένου να αξιολογηθεί η τεχνική τους και σε πραγματικές συνθήκες.

Στο κεφάλαιο 5 της εργασίας, παρουσιάζεται η πιλοτική εφαρμογή για τον κάθε Δήμο και το αντίστοιχο πρόγραμμα που συμμετείχε για την υλοποίηση της έρευνας αυτής. Το "AthensBiowaste" για την κομποστοποίηση και το "Drywaste" για την οικιακή ξήρανση στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Life. Στο κεφάλαιο 6 αναλύονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών των πρότυπων συστημάτων διαχείρισης βιοαποβλήτων, μέσω της δυνατότητας ελέγχου της διεργασίας και του χαρακτηρισμού της ποιότητας του τελικού προϊόντος, ώστε τελικά να προκύψει η αξιολόγηση των πρότυπων συστημάτων. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής της εκάστοτε τεχνολογίας στους Δήμους και ορίστηκαν δείκτες για να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση τους. Τέλος, δίνονται τα τελικά ραβδογράμματα των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων για τις δύο μεθόδους και ταυτόχρονα πραγματοποιείται η σύγκριση μεταξύ τους. Κλείνοντας καταγράφονται τα συμπεράσματα και η αξιολόγηση, τα οποία προκύπτουν από τα αποτελέσματα της πειραματικής ανάλυσης και της πιλοτικής εφαρμογής.

Abstract

In this thesis, two innovative management systems and treatment of domestic biowaste are examined and evaluated. The first through the healthy and effective removal of the moisture they include (domestic drying) and the second through the process of composting, in a standard household type reactor. A prototype system of a domestic drying system and composting, was developed, designed, constructed and operated in an experimental and pilot level.

The essay consists of six chapters. The content of each chapter is described below. In Chapter 1 the subject of the essay and useful definitions are presented, such as sorting at the source, biowaste, composting and domestic drying. Then chapter 2 analyzes the legal framework governing the management of biowaste at a national and a European level and right after, Chapter 3 is on the description of bio-processing technologies for domestic drying and aerobic biological treatment of organic waste degradation, known as composting. In Chapter 4 ,the prototype system design method for drying and composting household is described as well as the essential parts of which they are composed. The systems were studied at a laboratory level and then there was a pilot operation of each process system at municipal level, in Papagou - Holargos for domestic drying and Kifissias for home composting in order to assess their techniques in real conditions.

In chapter 5 of the study, a pilot application for each municipality and the corresponding program, which participated for the implementation of this survey, were presented, in particular, "Athens Biowaste" for composting and "Drywaste" for domestic drying along with European Program "Life". Chapter 6 analyzes the results of laboratory tests of standard domestic biowaste management systems through the ability of monitoring the process, the characterization of the quality of the final product, and as a result, the evaluation of the model systems. In addition, the results of the pilot application of technology at the Municipalities are presented and indicators are set in order to complete its evaluation. Finally, in Chapter 6 the final bar graphs of the prices of physicochemical parameters for both methods are demonstrated along with a comparison between them and then the findings and evaluation are recorded, which derive from the results of experimental analysis and piloting.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	12
1.2 Ορισμοί.....	14
1.2.1 Διαλογή στη Πηγή (ΔσΠ).....	14
1.2.2 Βιοαπόβλητα.....	17
1.2.3 Κομποστοποίηση	20
1.2.4 Οικιακή ξήρανση	21
2. Νομοθετικό πλαίσιο.....	22
2.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό Πλαίσιο	22
2.2 Θεσμικές εξελίξεις στην διαχείριση των απορριμμάτων.....	30
2.3 Εθνικό Νομικό Πλαίσιο για την διαχείριση των βιοαποβλήτων	37
3. Τεχνικές Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων	42
3.1 Κομποστοποίηση	42
3.1.1 Στάδια της ολοκληρωμένης διεργασίας της κομποστοποίησης.....	43
3.1.2 Είδη συστημάτων κομποστοποίησης.....	45
3.1.2.1 Κλειστά συστήματα	45
3.1.2.2 Ανοικτά συστήματα	48
3.1.2.3 Παράμετροι ελέγχου και παρακολούθησης της κομποστοποίησης	50
3.1.2.4 Σύσταση Compost.....	57
3.1.2.5 Μικροβιολογία αερόβιας αποδόμησης.....	58

3.1.2.6	Κινητική μικροβιακής ανάπτυξης.....	59
3.1.2.7	Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία της κομποστοποίησης.....	62
3.2	Αναερόβια Χώνευση	63
3.2.1	Περιγραφή της διεργασίας.....	64
3.3	Ξήρανση.....	67
3.3.1	Μεταφορά ενέργειας, θερμότητας και μάζας	67
3.3.2	Μέθοδοι ξήρανσης.....	68
3.3.3	Συμπεριφορά υλικού κατά την ξήρανση.....	70
4.	Περιγραφή του συστήματος της κομποστοποίησης και της οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων.	72
4.1	Σύστημα κομποστοποίησης	72
4.2	Εξοπλισμός πρότυπου συστήματος κομποστοποίησης - αντιδραστήρας.....	73
4.2.1	Επιμέρους εξαρτήματα του πρότυπου συστήματος κομποστοποίησης.....	73
4.2.2	Λειτουργία συστήματος.....	78
4.3	Σύστημα οικιακής ξήρανσης	82
4.3.1	Επιμέρους εξαρτήματα της συσκευής οικιακής ξήρανσης.....	82
4.4	Περιγραφή εξοπλισμού για την μέθοδο ανάλυσης των παραμέτρων των συστημάτων της κομποστοποίησης και της οικιακής ξήρανσης	86
4.4.1	Μέθοδοι ανάλυσης.....	86
4.4.2	Προσδιορισμός θερμοκρασίας.....	89
4.4.3	Προσδιορισμός υγρασίας (%).....	89
4.4.4	Προσδιορισμός pH / αγωγιμότητας	89
4.4.5	Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας	89
4.4.6	Προσδιορισμός οξυγόνου	90

4.4.7	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)	90
4.4.8	Προσδιορισμός TKN (%) κατά Kjeldahl.....	90
4.4.9	Προσδιορισμός αμμωνιακών (NH ₄ -N) (%) κατά Kjeldahl.....	90
4.4.10	Προσδιορισμός νιτρικών N-NO ₃ (%) κατά Kjeldahl.....	91
4.4.11	Προσδιορισμός αναλογίας C/N	91
4.4.12	Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας	91
4.4.13	Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%) κατά Kjeldahl	92
4.4.14	Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%).....	93
4.4.15	Προσδιορισμός Βαρέων Μετάλλων	94
5.	Περιγραφή των πιλοτικών εφαρμογών των μεθόδων κομποστοποίησης και οικιακής ξήρανσης.....	95
5.1	Πιλοτική εφαρμογή οικιακής ξήρανσης στο Δήμο Παπάγου – Χολαργού.....	95
5.2	Τρέχουσα κατάσταση στην διαχείριση των απορριμμάτων	97
5.3	Πιλοτική χρήση της συσκευής της οικιακής ξήρανσης.....	101
5.4	Περιγραφή της δράσης	102
5.5	Αξιολόγηση της δράσης επίδειξης του συστήματος οικιακής ξήρανσης των βιοαποβλήτων στον Δήμο Παπάγου – Χολαργού	104
5.6	Πιλοτική εφαρμογή κομποστοποίησης για τα βιοαπόβλητα του Δήμου Κηφισιάς .	105
5.7	Στόχος του προγράμματος της πιλοτικής εφαρμογής.....	106
5.8	Υπάρχουσα κατάσταση απορριμμάτων του Δήμου Κηφισιάς	109
5.9	Περιγραφή της δράσης	112
5.10	Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής εφαρμογής της κομποστοποίησης	115
6.	Σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων σε πειραματικό επίπεδο	116
6.1	Δείκτες αξιολόγησης αποτελεσμάτων	116

6.1.1	Μείωση της μάζας.....	116
6.1.2	Μείωση του όγκου	117
6.1.3	Μείωση ποσοστού % της υγρασίας	117
6.1.4	Κατανάλωση Ενέργειας	118
6.1.5	Φυσικοχημικές ιδιότητες	119
6.2	Αξιολόγηση των συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων με βάση τους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς δείκτες	129
6.3	Καταγραφή πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των δύο συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων.....	136
6.4	Συμπεράσματα	137
	Βιβλιογραφία	139

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Συγκριτική αξιολόγηση δύο καινοτόμων μεθόδων διαχείρισης του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων» εξετάζει την διαχείριση των βιοαποβλήτων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Εθνικό επίπεδο και έπειτα γίνεται μια συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης/επεξεργασίας που έχουν ήδη εφαρμοστεί πειραματικά και πιλοτικά. Από τη μια, ο έλεγχος και η ρύθμιση της διεργασίας της κομποστοποίησης, σε πρότυπο αντιδραστήρα οικιακού τύπου (σχεδιασμένο από τη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ) και από την άλλη, το σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE με τις αντίστοιχες πιλοτικές εφαρμογές στους Δήμους Κηφισίας και Παπάγου – Χολαργού που πραγματοποιήθηκαν .

Περιγράφονται οι τρόποι διαχείρισης των βιοαποβλήτων καθώς και τα θετικά και τα αρνητικά σημεία που παρουσιάζει ο κάθε τρόπος. Η Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική πολιτική έχει δημιουργήσει ένα σύνολο από οδηγίες και νομικά πλαίσια για την σωστή διαχείριση των αποβλήτων. Τονίζοντας πως η πρόληψη είναι η μέγιστη δυνατή καλύτερη λύση. Τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εφαρμόσουν στο Εθνικό τους δίκαιο, τις οδηγίες αυτές και να δημιουργήσουν κατάλληλες υποδομές για τη σωστή εφαρμογή τους.

Η κομποστοποίηση έχει πολλαπλά οφέλη τόσο για την κοινωνία, την οικονομία όσο και για το περιβάλλον. Μέσω αυτής μπορεί να μειωθεί ο συνολικός όγκος των βιοαποβλήτων που καταλήγει στα Χ.Υ.Τ.Α. Ταυτόχρονα το κομπόστ που παράγεται μπορεί να διανεμηθεί είτε στον αγροτικό τομέα είτε σε άλλες ανάγκες μικρής ή μεγάλης κλίμακας ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό για το χώμα. Επιπλέον, εκτός από την παραγωγή του κομπόστ μέσω της διαδικασίας επεξεργασίας των βιοαποβλήτων μπορεί να παραχθεί ενέργεια. Με την παραγωγή της φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας μπορούν να καλυφθούν ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων χωρίς να υπονομείται το περιβάλλον.

Η Ελλάδα δεν έχει κάνει πολλά βήματα στην σωστή διαχείριση των στερεών αστικών απορριμμάτων της και κατ' επέκταση των βιοαποβλήτων. Ελάχιστες περιοχές της χώρας έχουν δημιουργήσει πιλοτικά προγράμματα οικιακής κομποστοποίησης και χωριστής διαλογής. Οι περισσότεροι πολίτες δεν είναι ενήμεροι για τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας αυτής με συνέπεια

να μην ενδιαφέρονται. Κρίνεται αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης βιοαποβλήτων που θα έχει ως βάση του την σωστή ενημέρωση των πολιτών.

Στα πλαίσια ολοκλήρωσης της διπλωματικής εργασίας αυτής έγινε προσπάθεια για την αξιολόγηση των συστημάτων με την επιλογή των καταλληλότερων δεικτών από τα δύο αυτά συστήματα.

Η διαχείριση των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα προϋποθέτει προσπάθεια αντιμετώπισης διάφορων προκλήσεων που εμποδίζουν την επίτευξη του έργου αυτού. Από την άλλη πλευρά σκόπιμο είναι να αναφερθεί ότι η χώρα έχει πολλές προοπτικές στο τομέα αυτό. Προοπτικές που αν αξιοποιηθούν σωστά ενδέχεται να συνεισφέρουν στην οικονομική βελτίωση της χώρας αλλά και στην κοινωνική ανάπτυξη, με ταυτόχρονη έμφαση στην προστασία του περιβάλλοντος.

1.2 Ορισμοί

1.2.1 Διαλογή στη Πηγή (ΔσΠ)

«Διαλογή στην Πηγή» ορίζεται η διαδικασία/τεχνική της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα των απορριμμάτων. Η διαλογή στην πηγή μπορεί να θεωρηθεί ως ολοκληρωμένη, εναλλακτική λύση έναντι των τεχνικών διάθεσης και κεντρικής ανάκτησης των αστικών στερεών απορριμμάτων. Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι με την εφαρμογή της διαλογής στην πηγή δε λύνεται οριστικά το πρόβλημα της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων, αλλά απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος, ο οποίος θα περιλαμβάνει την εφαρμογή και ενσωμάτωση άλλων μεθόδων και τεχνικών διαχείρισης παράλληλα με τη διαλογή στην πηγή.

Οι βασικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η βιωσιμότητα, η αποτελεσματικότητα και η λειτουργικότητα ενός προγράμματος διαλογής υλικών στην πηγή είναι:

- ✓ Το είδος και η διαθεσιμότητα των προς ανάκτηση υλικών
- ✓ Η δυνητικά ανακτήσιμη ποσότητα υλικών προς ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση

Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος συλλογής, μεταφοράς και αξιοποίησης των δυνητικά ανακτήσιμων υλικών και η πλήρης ενσωμάτωσή του στο συνολικό σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων

- ✓ Η δυνατότητα απρόσκοπτης προώθησης των ανακτηθέντων υλικών στις αντίστοιχες αγορές
- ✓ Η ποιότητα των ανακτηθέντων υλικών
- ✓ Η πρόληψη και έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών οργανωτικών δυσκολιών και λειτουργικών προβλημάτων
- ✓ Η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού (ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης) έτσι, ώστε να επιτευχθεί αυξημένη συμμετοχή του στα προγράμματα ανακύκλωσης υλικών.

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία κάθε προγράμματος διαλογής στην πηγή (ανεξάρτητα από την πρακτική που εφαρμόζεται για την ανάκτηση υλικών) είναι η αυξημένη συμμετοχή των πολιτών. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμμετοχή είναι:

- ✓ το είδος της περιοχής (αστική, ημιαστική, αγροτική),
- ✓ το βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού
- ✓ η σωστή, συνεχής και πλήρης ενημέρωση του κοινού
- ✓ το είδος της κατοικίας (μονοκατοικία, πολυκατοικία) και γενικότερα τα οικιστικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής

- ✓ η ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται από τους κατοίκους για τη συλλογή των υλικών
- ✓ το είδος των προγραμμάτων (υποχρεωτικά, εθελοντικά κ.λπ.)
- ✓ ο τρόπος συλλογής των υλικών (καθορισμένη συλλογή)

Η ενημέρωση του κοινού σχετικά με την ανάκτηση και ανακύκλωση υλικών πρέπει να αρχίζει πριν την έναρξη του προγράμματος και να συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκειά του. Επιπλέον, απαιτείται συνεχής επαφή και συνεργασία των υπευθύνων του προγράμματος με τους κατοίκους έτσι, ώστε να προλαμβάνονται πιθανά λειτουργικά και άλλα προβλήματα ή στην περίπτωση εμφάνισης προβλημάτων να αντιμετωπίζονται άμεσα και αποτελεσματικά. Η επιλογή της πιο κατάλληλης πρακτικής για διαλογή υλικών στην πηγή πρέπει να γίνεται με στόχο την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των αντίστοιχων προγραμμάτων πρέπει να προσαρμόζεται στην κάθε περιοχή και η τελική επιλογή να βασίζεται στα τοπικά χαρακτηριστικά, τα οικονομικά δεδομένα και τις απαιτήσεις που η κάθε μέθοδος παρουσιάζει, (www.biowaste.gr).

Ένα πρόγραμμα ΔσΠ των βιοαποβλήτων θα πρέπει να περιλαμβάνει μία σειρά από βήματα με κύριο σκοπό την επιτυχή εφαρμογή του. Πιο συγκεκριμένα:

- Βήμα 1: *Συλλογή στοιχείων παραγωγής και ρυθμός εξέλιξης των βιοαποβλήτων.* Σε αυτό το βήμα πραγματοποιείται υπολογισμός των παραγόμενων ποσοτήτων βιοαποβλήτων μιας περιοχής. Επίσης παρουσιάζεται ο τομέας προέλευσης τους με πιο συνηθισμένο να προέρχονται από οικίες, εμπορικές δραστηριότητες, υπηρεσίες και εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων
- Βήμα 2: *Υπολογισμός διαθέσιμης ποσότητας βιοαποβλήτων προς διαχείριση.* Πραγματοποιείται υπολογισμός της μέγιστης ποσότητας βιοαποβλήτων που είναι εύκολα προσβάσιμη και διαθέσιμη για διαχείριση.
- Βήμα 3: *Στόχοι εκτροπής μέσω προγραμμάτων ΔσΠ.* Καθορίζονται οι στόχοι αυτών των προγραμμάτων είτε σε επίπεδο περιφέρειας είτε σε επίπεδο δήμου.
- Βήμα 4: *Εφαρμογή των προγραμμάτων ΔσΠ για τα βιοαπόβλητα ανά τομέα παραγωγής.* Προσαρμόζονται τα προγράμματα ανάλογα με το αν απευθύνονται σε οικίες, εμπορικές δραστηριότητα, υπηρεσίες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας παραγωγής τροφίμων. Πιο ειδικά, για τις οικίες υπάρχουν κυρίως δύο συστήματα ΔσΠ των βιοαποβλήτων. Η συλλογή πόρτα – πόρτα από κάθε κατοικία και η συλλογή σε χωριστούς κάδους κοντά στα νοικοκυριά μέσω της δημιουργίας δικτύου χωροθέτησης κάδων. Οι

εμπορικές δραστηριότητες και οι επιχειρήσεις μπορούν να διακριθούν σε έξι ομάδες, όπου ανάλογα με αυτές θα εφαρμόζεται και το κατάλληλο πρόγραμμα ΔσΠ, σύμφωνα με το οδηγό βιοαποβλήτων. Πιο αναλυτικά, η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει τις επιχειρήσεις λιανικού και χονδρικού τύπου. Σε αυτή την ομάδα η συγκέντρωση βιοαποβλήτων θα πρέπει να γίνεται σε μεγάλους κάδους τοποθετημένους κοντά στην επιχείρηση. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει διάφορες εμπορικές επιχειρήσεις μικρής ή μεσαίας κλίμακας. Σε αυτή την ομάδα η συγκέντρωση των βιοαποβλήτων θα πρέπει να γίνεται σε μικρούς κάδους ανά ομάδα καταστημάτων ή συγκέντρωση σε επιλεγμένα κεντρικά σημεία σύμφωνα με τον οδηγό βιοαποβλήτων. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει χώρους εστίασης και ψυχαγωγίας. Σε αυτή την ομάδα εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των βιοαποβλήτων η συγκέντρωση θα πρέπει να γίνεται σε μεγάλους κάδους ανά επιχείρηση. Στη συνέχεια, στη τέταρτη ομάδα που αποτελείται από κτίρια εκπαίδευσης όπως Δημοτικά, Γυμνάσια, Λύκεια κ.ο.κ. , ενδείκνυται η συλλογή των βιοαποβλήτων να γίνεται σε μικρούς κάδους κοντά στους χώρους προμήθειας των γευμάτων. Στις ομάδες πέντε και έξη που αποτελούνται από γραφεία και υπηρεσίες και κέντρα υγείας και κοινωνικής μέριμνας ανάλογα, η συλλογή των βιοαποβλήτων θα πρέπει να γίνεται με μικρούς κάδους κοντά στην παραγωγή. Από την άλλη πλευρά στις βιομηχανίες τροφίμων λόγω του μεγάλου αριθμού των βιοαποβλήτων που ενδέχεται να παράγουν κρίνεται αναγκαίο να τοποθετούνται μεγάλοι κάδοι και κοντά στους χώρους παραγωγής. Όλα τα παραπάνω τα διαχειρίζεται ένα πρόγραμμα ΔσΠ όπου προσαρμόζεται ανάλογα με την περίπτωση.

- Βήμα 5: *Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού και συλλογής.* Γίνεται έρευνα και αγορά εξοπλισμού συλλογής βιοαποβλήτων, δίνοντας έμφαση στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της εκάστοτε περίπτωσης. Δηλαδή, άλλες ανάγκες παρουσιάζουν οι οικίες σε εξοπλισμό και άλλες οι επιχειρήσεις.
- Βήμα 6: *Επιλογή οχημάτων συλλογής.* Μια περιοχή που αναπτύσσει πρόγραμμα χωριστής διαλογής βιοαποβλήτων θα πρέπει εκτός από το κατάλληλο σχεδιασμό και εξοπλισμό να αποκτήσει ανάλογα απορριματοφόρα συλλογής. Υπάρχουν οχήματα μικρών διαστάσεων και χαμηλότερου κόστους χωρίς μηχανισμό συμπίεσης και οχήματα μεγάλων διαστάσεων και κόστους με μηχανισμούς συμπίεσης. Η επιλογή θα πρέπει να γίνεται αποκλειστικά με τη φύση των βιοαποβλήτων που θα πρέπει να συλλέγονται από μία περιοχή.
- Βήμα 7: *Σχεδιασμός της συχνότητας συλλογής των βιοαποβλήτων.* Πραγματοποιείται η δημιουργία σχεδίου συλλογής των αποβλήτων και δρομολογίων που θα ακολουθούν τα απορριματοφόρα. Για να είναι επιτυχής η διαδικασία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, η

πληθυσμιακή πυκνότητα που είναι τοποθετημένοι οι κάδοι, η υφιστάμενη εποχή (καλοκαίρι, χειμώνας κ.ο.κ.) και άλλοι παράγοντες που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους.

- Βήμα 8: *Παρακολούθηση του προγράμματος*. Θα πρέπει να δημιουργηθεί μία υπηρεσία που θα είναι αρμόδια για την παρακολούθηση της πορείας του προγράμματος. (Πιπέρης & Ψαρράς, 2014)

1.2.2 Βιοαπόβλητα

Με τον όρο “βιοαπόβλητα” ή διαφορετικά ‘βιολογικά απόβλητα’ καλούνται όλα τα σχετικά υλικά που καθορίζονται στον κατάλογο αποβλήτων της ΕΕ, όπως αναφέρεται στην απόφαση της επιτροπής με αριθμό 2000/532/ΕΚ και τροποποιήθηκε με τις αποφάσεις 2001/118/ΕΚ, 2001/119/ΕΚ και την απόφαση 2001/573/ΕΚ του Ευρωπαϊκού συμβουλίου.

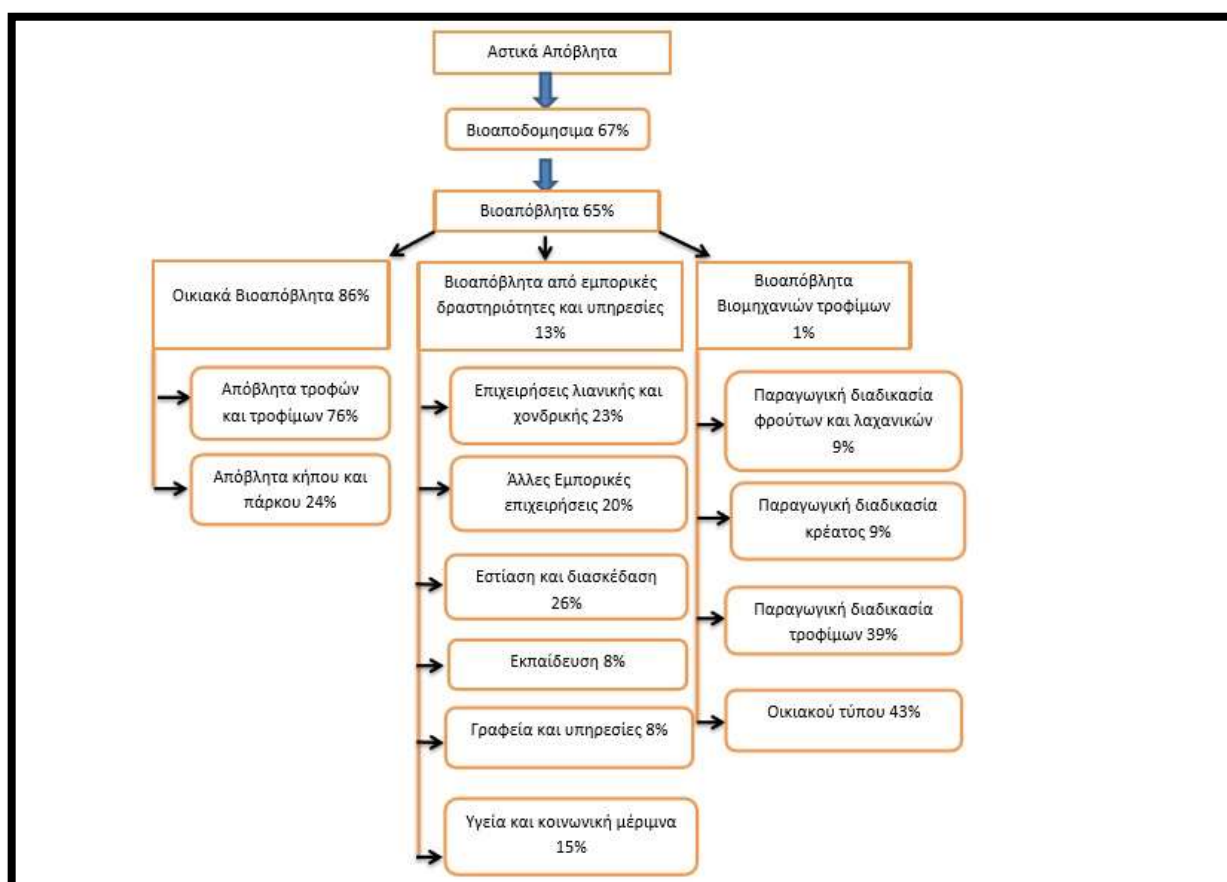
Επομένως, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 98/2008 για τα απόβλητα, τα βιοαπόβλητα ή βιολογικά απόβλητα αποτελούν υποσύνολο των Βιοαποδομήσιμων και ορίζονται ως: Βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, απόβλητα που προέρχονται από τροφές, μαγειρεία και νοικοκυριά, εστιατόρια, μονάδων εστίασης και καταστημάτων λιανικής πώλησης και παρεμφερή απόβλητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας τροφίμων. Συνεπώς, τα βιοαπόβλητα περιλαμβάνουν τα απόβλητα τροφών, τροφίμων, κήπων και πάρκων, τα οποία προκύπτουν από οικίες, εμπορικές δραστηριότητες και υπηρεσίες και εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων.

Πιο αναλυτικά, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω καταγράφονται με σύντομη ανάλυση, οι βασικές κατηγορίες προέλευσης των βιοαποβλήτων οι οποίες είναι :

- Τα οικιακά απόβλητα, όπου αποτελούν το οργανικό κλάσμα των Βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία δημιουργούνται στις οικίες. Διακρίνονται σε απόβλητα τροφών και απόβλητα κήπων. Στη πρώτη κατηγορία, περιλαμβάνονται τρόφιμα που απορρίπτονται γιατί είτε δεν χρησιμοποιήθηκαν είτε χρησιμοποιήθηκαν εν μέρει για την δημιουργία γευμάτων. Στη δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνονται απόβλητα που χαρακτηρίζονται και ως ‘πράσινα απόβλητα’ είτε από τους κήπους των οικιών είτε από δημόσιους χώρους. Αποτελούνται από χόρτα, φύλλα, κλαδέματα, φυτά και λουλούδια κ.ά.
- Τα εμπορικά απόβλητα, εδώ περιλαμβάνονται βιοαπόβλητα που προέρχονται από επιχειρήσεις που χρησιμοποιούνται είτε για εμπορικούς είτε για επαγγελματικούς λόγους, και δραστηριοποιούνται ως κέντρα διασκέδασης, αναψυχής και εστίασης. Επομένως, οι εμπορικές δραστηριότητες και υπηρεσίες από τις οποίες προέρχεται μεγάλο ποσοστό βιοαποβλήτων ομαδοποιούνται ως επιχειρήσεις λιανικής και χονδρικής, εμπορικές

επιχειρήσεις διαφόρων σκοπών, χώροι εστίασης και διασκέδασης, εκπαίδευση, γραφεία και υπηρεσίες τριτογενούς τομέα παραγωγής, και υγεία και κοινωνική μέριμνα. (Οδηγός βιοαποβλήτων, ΕΠΠΕΡΑΑ 2012)

- Τα βιομηχανικά απόβλητα, εδώ περιλαμβάνονται βιοαπόβλητα που προέρχονται από βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Επίσης, τα βιοαπόβλητα βιομηχανιών χωρίζονται σε κατηγορίες όπως, εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος και αλιευμάτων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων, φρούτων και λαχανικών.



Εικόνα 1: Κατηγορίες προέλευσης των βιοαποβλήτων - Πηγή : Υπάρχουσα κατάσταση διαχείρισης και εκτίμηση ποσοτών βιοαποβλήτων στην Ελληνική επικράτεια, ΕΠΠΕΡΑΑ, ΕΠΕΜ ΑΕ, 2011.

Στην εικόνα 1 απεικονίζεται με τη μορφή διαγράμματος η ροή με τις κατηγορίες προέλευσης των βιοαποβλήτων. Ενδεικτικά, τα βιοαπόβλητα αποτελούν το 65% των Βιοαποδομήσιμων και τα βιοαποδομήσιμα το 67% των αστικών αποβλήτων. Ειδικότερα, όσο αφορά τη προέλευση σύνθεσης των βιοαποβλήτων παρατηρείτε ότι το 86% προέρχεται από τα οικιακά απόβλητα , το 13% από τις εμπορικές δραστηριότητες και υπηρεσίες και μόλις το 1% από βιομηχανίες τροφίμων και πιο αναλυτικά στην Εικόνα 2.

ΟΙΚΙΑΚΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα οικιακά βιοαπόβλητα αποτελούν το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία δημιουργούνται στις οικίες (ή και σε δημόσιους χώρους στην περίπτωση των αποβλήτων κήπων) και διακρίνονται σε:

- **Απόβλητα τροφών** Το ρεύμα αυτό περιλαμβάνει τρόφιμα που απορρίπτονται γιατί δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου ή χρησιμοποιήθηκαν εν μέρει κατά την παρασκευή γευμάτων εντός των οικιών. Επίσης περιλαμβάνει τις ποσότητες φρέσκων φρούτων και λαχανικών που απορρίφθηκαν.
- **Απόβλητα κήπων - πρασίνου** τα οποία είναι τα πράσινα απόβλητα από τους κήπους των οικιών και δημόσιων χώρων και εν γένει των υπολειμμάτων βλάστησης από τη συντήρηση χώρων πρασίνου του τοπίου. Περιλαμβάνουν μοσχεύματα δέντρων, κλαδιά, χόρτα, φύλλα, κλαδέματα, παλιά φυτά, λουλούδια κλπ

ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα απόβλητα που προέρχονται από επιχειρήσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως για εμπορικούς ή επαγγελματικούς σκοπούς, δραστηριοποιούνται ως κέντρα διασκέδασης, αναψυχής και εστίασης. Η κατηγορία αυτή εμπεριέχει τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από αθλητικές δραστηριότητες, υπηρεσίες αναψυχής, τις υπηρεσίες δημοσίου ή ιδιωτικού χαρακτήρα, οργανισμούς κοινής ωφέλειας και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Ομαδοποίηση αποβλήτων από εμπορικές δραστηριότητες & υπηρεσίες

Ομάδα δραστηριότητας	Είδος επιχειρήσεων
Επιχειρήσεις λιανικής & χονδρικής	Super markets, αγορές τροφίμων
Διάφορες εμπορικές επιχειρήσεις	Επιχειρήσεις σε δρόμους & εμπορικά κέντρα
Εστίασης-Διασκέδασης	Ξενοδοχεία, Εστιατόρια, κέντρα διασκέδασης
Εκπαίδευση	Σχολεία, πανεπιστήμια
Γραφεία & υπηρεσίες	Δημόσιου και ιδιωτικού τομέα
Υγεία και Κοινωνική Μέριμνα	Νοσοκομεία, ιατρικά κέντρα, κέντρα περίθαλψης

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ

Βιοαπόβλητα βιομηχανιών νοούνται τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Στον εν λόγω ορισμό δεν συμπεριλαμβάνονται τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα, η κοπριά, η ιλύς επεξεργασίας αστικών λυμάτων καθώς και άλλα βιοαποδομήσιμα όπως οι φυσικές ίνες, το χαρτί ή το κατεργασμένο ξύλο. Επιπλέον και με βάση τον ορισμό για τα βιοαπόβλητα, εξαιρούνται τα παραπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα.

Τα βιοαπόβλητα βιομηχανιών χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Εγκαταστάσεις επεξεργασίας Φρούτων & Λαχανικών
- Εγκαταστάσεις επεξεργασίας Κρέατος & Αλιευμάτων
- Λοιπές εγκαταστάσεις επεξεργασίας Τροφίμων

Τα βιοαπόβλητα των παραπάνω εγκαταστάσεων χωρίζονται σε αυτά που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία και διατίθενται προς ταφή χωρίς επεξεργασία και σε αυτά που είναι αστικού τύπου.

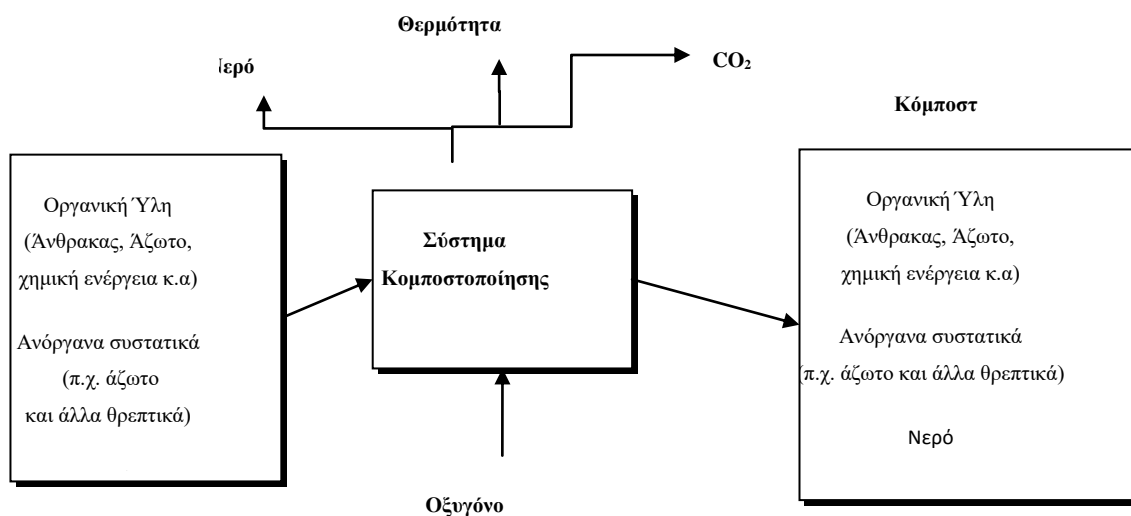
Εικόνα 2: Βασικές κατηγορίες προέλευσης των βιοαποβλήτων (ΕΠΠΕΡΡΑ, 2012)

1.2.3 Κομποστοποίηση

Ο όρος κομποστοποίηση αναφέρεται στην αερόβια βιολογική διεργασία αποδόμησης των οργανικών αποβλήτων υπό ελεγχόμενες συνθήκες και τη σταδιακή μετατροπή τους σε ένα βιολογικά σταθεροποιημένο προϊόν ευρύτερα γνωστό ως κομπόστ. Ο ορισμός της κομποστοποίησης ως μια «αερόβια βιολογική διεργασία αποδόμησης» διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από άλλες τεχνικές διαχείρισης του οργανικού κλάσματος όπως είναι η αναερόβια χώνευση, η θερμική επεξεργασία και η υγειονομική ταφή.

Με τον όρο «οργανικά απόβλητα» ορίζονται τα υλικά τα οποία δύναται να αποδομηθούν βιολογικά ενώ με τη φράση «ελεγχόμενες συνθήκες» η κομποστοποίηση διαφοροποιείται από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση, καθώς ελέγχονται οι συνθήκες της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του αερισμού κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Το τελικό προϊόν ορίζεται ως βιολογικά σταθεροποιημένο όταν δεν υπόκειται πλέον έντονη μικροβιακή δραστηριότητα, ενώ η τελική του χρήση εξαρτάται από ποικίλες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους που προσδιορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Ενδεχόμενες χρήσεις του κόμποστ περιλαμβάνουν τη ρύθμιση εδαφών, την αποκατάσταση εδαφών την αξιοποίησή του ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό κ.α. (Hogg et al., 2009; Κουλουμπής και Τσαντήλας, 2007; Epstein, 1997; Engeli et al., 1993; Carry et al., 1990; Toffey, 1990). Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται σχηματικά η διεργασία της κομποστοποίησης.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια βιολογική διεργασία βασιζόμενη στις δραστηριότητες συγκεκριμένων βακτηρίων και μυκήτων (Bharadwaj, 1995). Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης οι αερόβιοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν οξυγόνο για την οξείδωση της οργανικής ουσίας διασπώντας σύνθετες οργανικές ενώσεις του υποστρώματος σε ενδιάμεσα προϊόντα και έπειτα σε απλούστερες ενώσεις παράγοντας CO₂, ανόργανες μορφές αζώτου, νερό και θερμότητα ενώ επιτυγχάνεται μείωση του όγκου και της μάζας του υποστρώματος (Ipek et al., 2002; Epstein, 1997). Παράλληλα με τη βιοαποδόμηση της οργανικής ουσίας συντελούνται και διεργασίες χουμοποίησης οι οποίες περιλαμβάνουν τον πολυμερισμό ενώσεων από τους μικροοργανισμούς ή/και το σχηματισμό απλούστερων ενώσεων προερχόμενα από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας (Paredes et al., 2001). Επομένως, το βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό μετατρέπεται μέσω διαδοχικών μικροβιακών δραστηριοτήτων και βιοχημικών αντιδράσεων σε σταθερότερη οργανική ουσία η οποία έχει κοινά χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά με τις χουμικές ενώσεις. (Pare et al., 1998).



Εικόνα 3: Απεικόνιση της διεργασίας της κομποστοποίησης (Shaw and Stentiford, 1996; Rynk et al., 1992)

1.2.4 Οικιακή ξήρανση

Η ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή 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 στη πηγή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση μάζας και όγκου των απόβλητων κουζίνας. Τα υψηλά θερμοδικώς, οργανικά υλικά (βιομάζα), διαχωρισμένα και ξηραμένα 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).

2. Νομοθετικό πλαίσιο

2.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό Πλαίσιο

➤ Οδηγία 2008/98/ΕΚ περί των Στερεών Αποβλήτων

Η Οδηγία Πλαίσιο έχει στόχο την βελτιστοποίηση των διατάξεων της οδηγίας 75/442/ΕΟΚ, την απλοποίηση του υπάρχοντος νομικού πλαισίου, και την αποσαφήνιση των ορισμών.

Επιπλέον, στον τομέα της δανειοδότησης εγκαταστάσεων αποβλήτων, η οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα ενεργεί σε συνδυασμό με την οδηγία 96/61/ΕΚ σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (οδηγία ΟΠΕΡ).

Η Οδηγία δίνει ορισμούς σχετικά με τους όρους:

- απόβλητα
- επικίνδυνα απόβλητα
- απόβλητα έλαια
- βιολογικά απόβλητα
- παραγωγός αποβλήτων
- κάτοχος αποβλήτων
- έμπορος μεσίτης
- διαχείριση αποβλήτων
- συλλογή
- χωριστή συλλογή
- πρόληψη
- επαναχρησιμοποίηση
- επεξεργασία
- ανάκτηση
- προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση
- ανακύκλωση
- αναγέννηση απόβλητων ορυκτελαίων
- διάθεση
- βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές

Όσον αφορά την τάξη προτεραιότητας που ισχύει με την νέα Οδηγία σχετικά με την ιεράρχηση των δραστηριοτήτων διαχείρισης των αποβλήτων αυτή ακολουθεί την εξής σειρά:

- Πρόληψη
- Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση
- Ανακύκλωση
- Άλλου είδους ανάκτηση
- Διάθεση

Οι στόχοι που τίθενται από την Οδηγία, με χρονικό όριο εφαρμογής, αφορούν Θέματα Πρόληψης, Επαναχρησιμοποίησης και Ανακύκλωσης, και Θέματα Ανάκτησης.

Πέραν αυτού κάθε οργανισμός ή εταιρεία, που προτίθεται να εκτελέσει εργασίες διάθεσης ή ανάκτησης, πρέπει να λάβει άδεια από τις εθνικές αρμόδιες αρχές. Προϋπόθεση για κάθε άδεια που καλύπτει την αποτέφρωση ή τη συναποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας, είναι να πραγματοποιείται η ανάκτηση ενέργειας με υψηλό επίπεδο ενεργειακής απόδοσης.

Ορισμένα προσδιορισμένα απόβλητα παύουν να αποτελούν απόβλητα, εάν έχουν υποστεί εργασία ανάκτησης, περιλαμβανομένης της ανακύκλωσης, και πληρούν ειδικά κριτήρια που καθορίζονται σύμφωνα με όρους που τίθενται από την Οδηγία.

Ουσιαστικά αυτό που επιδιώκεται από τη νέα Οδηγία είναι (α) να διαμορφωθούν πρότυπα για τις αγορές, (β) να αναπτυχθούν αγορές ανακυκλώσιμων και (γ) να θεσπιστούν προδιαγραφές για τις επεξεργασίες που οδηγούν σε δευτερογενή προϊόντα.

Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί των Στερεών Αποβλήτων

Στόχος της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ είναι ο καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την πρόληψη ή μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων. Για το σκοπό αυτό, η Οδηγία θέτει αυστηρές λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις για τα απόβλητα και τους χώρους υγειονομικής ταφής.

Σύμφωνα με την Οδηγία αυτή, τα Κράτη Μέλη οφείλουν να καθορίζουν την εθνική στρατηγική για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η στρατηγική αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει μέτρα για την επίτευξη των στόχων της παραγράφου 2, μέσω ιδίως ανακύκλωσης, λιπασματοποίησης ή παραγωγής βιοαερίου ή ανάκτησης υλικών / ενέργειας.

Η Οδηγία θέτει στόχους σε βάθος χρόνου έως και 15 έτη από την ημερομηνία έναρξης ισχύος της για σταδιακή μείωση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που προορίζονται για υγειονομική ταφή.

Οδηγία 2000/76/ΕΚ για την Αποτέφρωση των Αποβλήτων

Η αποτέφρωση επικίνδυνων και μη επικίνδυνων αποβλήτων μπορεί να προκαλέσει εκπομπές ουσιών που ρυπαίνουν τον αέρα, το νερό και το έδαφος και οι οποίες έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Για τον περιορισμό των κινδύνων αυτών, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) επιβάλλει αυστηρές συνθήκες λειτουργίας και τεχνικές απαιτήσεις για τις μονάδες που αποτεφρώνουν ή συναποτεφρώνουν απόβλητα.

Η παρούσα οδηγία εφαρμόζεται όχι μόνο στις μονάδες αποτέφρωσης των στερεών ή υγρών απόβλητων, αλλά και στις μονάδες συναποτέφρωσης.

Αποκλείονται από το πεδίο εφαρμογής της οδηγίας οι πειραματικές μονάδες που στοχεύουν στη βελτίωση της μεθόδου αποτέφρωσης και οι οποίες επεξεργάζονται λιγότερο από 50 τόνους αποβλήτων ετησίως, καθώς και οι μονάδες επεξεργασίας μόνο των ακόλουθων αποβλήτων:

- ✓ φυτικών αποβλήτων της γεωργίας και της δασοκομίας·
- ✓ φυτικών αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων, εφόσον ανακτάται η εκλυόμενη θερμότητα· ορισμένων ινωδών
- ✓ φυτικών αποβλήτων από την παραγωγή χαρτοπολτού και από την παραγωγή χάρτου, εφόσον για τα απόβλητα αυτά εφαρμόζεται διαδικασία συναποτέφρωσης στον τόπο παραγωγής και η εκλυόμενη θερμότητα ανακτάται·
- ✓ ορισμένων απόβλητων ξύλου·
- ✓ αποβλήτων φελλού·
- ✓ ραδιενεργών αποβλήτων·
- ✓ σφαγίων ζώων·
- ✓ αποβλήτων της εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα οποία αποτεφρώνονται σε εγκαταστάσεις ανοικτής θάλασσας.

Όλες οι εγκαταστάσεις αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης πρέπει να κατέχουν άδεια για να ασκούν τις δραστηριότητές τους και η οποία χορηγείται από αρμόδια αρχή, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες ορίζονται από την παρούσα οδηγία. Η άδεια διευκρινίζει τα είδη και τις ποσότητες των αποβλήτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία, τη δυναμικότητα αποτέφρωσης ή συναποτέφρωσης των εγκαταστάσεων και τις διαδικασίες δειγματοληψίας και μέτρησης των ρύπων της ατμόσφαιρας και του νερού που θα χρησιμοποιηθούν.

Ο Φορέας Εκμετάλλευσης (Φ.Ε.) μίας μονάδας αποτέφρωσης/συναποτέφρωσης υποχρεούται να γνωρίζει στοιχεία όπως η διαδικασία παραγωγής, η φυσική και χημική σύσταση των αποβλήτων, καθώς και τους συναφείς με τα απόβλητα κινδύνους.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης ολοκλήρωση της καύσης των αποβλήτων, η οδηγία υποχρεώνει τη διατήρηση των αερίων καύσεως που προκύπτουν από την αποτέφρωση/συναποτέφρωση, σε ελάχιστη θερμοκρασία 850 °C τουλάχιστον για 2 δευτερόλεπτα. Στην περίπτωση επικίνδυνων αποβλήτων με περιεκτικότητα σε αλογονούχες οργανικές ενώσεις άνω του 1%, εκφρασμένη σε χλώριο, η θερμοκρασία πρέπει να φέρεται στους 1.100 °C τουλάχιστον για 2 δευτερόλεπτα. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη διαδικασία αποτέφρωσης πρέπει να ανακτάται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.

Οι οριακές τιμές ατμοσφαιρικών εκπομπών για τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης καθορίζονται στο παράρτημα V της οδηγίας και αφορούν τα βαρέα μέταλλα, τις διοξίνες και τα φουράνια, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη), τον ολικό οργανικό άνθρακα (OOA), το υδροχλώριο (HCl), το υδροφθόριο (HF), το διοξείδιο του θείου (SO₂) και το οξείδιο του αζώτου (NO και NO₂).

Οι μονάδες αποτέφρωσης/συναποτέφρωσης πρέπει να διαθέτουν άδεια που τους επιτρέπει απορρίψεις λυμάτων που προέρχονται από τον καθαρισμό των αερίων καύσεως. Η εν λόγω άδεια πρέπει να εξασφαλίζει την τήρηση των οριακών τιμών εκπομπών του παραρτήματος IV της οδηγίας.

Τα κατάλοιπα της διαδικασίας αποτέφρωσης/συναποτέφρωσης πρέπει να περιορίζονται στο ελάχιστο και να ανακυκλώνονται στο μέτρο του δυνατού. Κατά τη μεταφορά των ξηρών καταλοίπων πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις για την αποφυγή της διασποράς τους στο περιβάλλον. Πρέπει να πραγματοποιούνται αναλύσεις για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των καταλοίπων, καθώς και του ρυπογόνου δυναμικού τους.

Σύμφωνα με την Οδηγία οι αιτήσεις χορήγησης αδειάς για νέες εγκαταστάσεις θα τίθενται στη διάθεση του κοινού, έτσι ώστε αυτό να προβαίνει σε σχόλια προτού η αρμόδια αρχή λάβει την εκάστοτε απόφαση.

Οι εγκαταστάσεις με ονομαστική δυναμικότητα μεγαλύτερη ή ίση των δύο τόνων ανά ώρα πρέπει να θέτουν στη διάθεση της αρμόδιας αρχής και του κοινού ετήσια έκθεση σχετικά με τη λειτουργία και παρακολούθησή τους. Ο κατάλογος των εγκαταστάσεων δυναμικότητας κάτω των δύο τόνων καταρτίζεται και δημοσιοποιείται από την αρμόδια αρχή.

Οδηγία 2008/1/EK – Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχος της Ρύπανσης

Η οδηγία 2008/1/EK αποτελεί κωδικοποίηση της προγενέστερης οδηγίας 96/61/EK, την οποία και αντικαθιστά. Σκοπός της παρούσας οδηγίας είναι η ενσωμάτωση των τροποποιήσεων της προγενέστερης οδηγίας σε αυτήν, ώστε να είναι πιο ολοκληρωμένη νομικά, χωρίς να σημειώνονται αλλαγές στις διατάξεις της.

Πιο συγκεκριμένα, η οδηγία 2008/1/EK αφορά την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης και καθορίζει τις υποχρεώσεις που πρέπει να τηρούνται από τις βιομηχανίες με υψηλό δυναμικό ρύπανσης. Κύριος στόχος της είναι να ελαχιστοποιηθούν οι ρύποι στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος, όπως και η ελαχιστοποίηση των παραγόμενων από βιομηχανίες αποβλήτων, ώστε να επιτευχθεί σε μέγιστο βαθμό η προστασία του περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη θέσπιση έκδοσης αδείας για τις προαναφερθείσες δραστηριότητες, οι οποίες πρέπει να πληρούν κατ' ελάχιστον ορισμένες προϋποθέσεις όσον αφορά την παραγωγή και τις εκπομπές ρύπων. Βασική προϋπόθεση της έκδοσης αδείας είναι οι αδειοδοτημένες επιχειρήσεις να δρουν ανάλογα ώστε να μεριμνούν οι ίδιες για την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης που δύναται να προκαλέσουν.

Η οδηγία 2008/1/EK αφορά βιομηχανικές δραστηριότητες υψηλού δυναμικού ρύπανσης, νέες ή υφιστάμενες, όπως: (συμπεριλαμβανομένου των μονάδων διαχείρισης αποβλήτων)

- ✓ Εγκαταστάσεις για την εξάλειψη ή την αξιοποίηση των επικίνδυνων αποβλήτων, ημερήσιας δυναμικότητας άνω των δέκα τόνων.
- ✓ Εγκαταστάσεις καύσης αστικών αποβλήτων (απόβλητα από νοικοκυριά, καθώς και παρόμοια απόβλητα εμπορικών και βιομηχανικών δραστηριοτήτων και απόβλητα ιδρυμάτων), με ωριαία δυναμικότητα άνω των τριών τόνων.
- ✓ Εγκαταστάσεις για την εξάλειψη ακίνδυνων αποβλήτων, με ημερήσια δυναμικότητα άνω των 50 τόνων.
- ✓ Χώροι ταφής που δέχονται άνω των δέκα τόνων ημερησίως ή ολικής χωρητικότητας άνω των 25.000 τόνων, εκτός από τους χώρους ταφής αδρανών απορριμμάτων.

Όλες οι δραστηριότητες που απαιτούν αδειοδότηση αναφέρονται στο Παράρτημα I της οδηγίας.

Για να μπορέσει μια βιομηχανική εγκατάσταση να λάβει την κατάλληλη άδεια λειτουργίας πρέπει να πληροί ορισμένες βασικές υποχρεώσεις οι οποίες σχετίζονται με:

- ✓ την πρόληψη κάθε σημαντικής ρύπανσης,
- ✓ την πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση ή διάθεση των αποβλήτων, με τις ελάχιστες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις,

- ✓ την αποτελεσματική χρήση της ενέργειας (ωστόσο οι αρχές να δύνανται, εάν το κρίνουν σκόπιμο, να μην επιβάλλουν μέτρα ενεργειακής αποτελεσματικότητας σε μονάδες καύσης),
- ✓ τη χρήση όλων των απαραίτητων μέτρων εξάλειψης της ρύπανσης και κυρίως την εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών,
- ✓ την πρόληψη των ατυχημάτων και τον περιορισμό των συνεπειών τους,
- ✓ την ικανοποιητική αποκατάσταση του χώρου εκμετάλλευσης της εγκατάστασης μετά την οριστική παύση λειτουργίας και την αποφυγή ενδεχόμενης εκδήλωσης ρύπανσης.

Για την έγκριση δανειοδότησης ή μη της δραστηριότητας, υπεύθυνη είναι η αρμόδια αρχή του εκάστοτε Κράτους μέλους. Η αίτηση δανειοδότησης πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- ✓ περιγραφή της εγκατάστασης, περιεχόμενο και εύρος των δραστηριοτήτων, καθώς και σε τι κατάσταση βρίσκεται η τοποθεσία όπου θα λειτουργήσει η εγκατάσταση,
- ✓ υλικά, ουσίες και ενέργεια που θα χρησιμοποιούνται ή θα παράγονται σε αυτή,
- ✓ πηγές εκπομπών της εγκατάστασης, ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των προβλεπόμενων εκπομπών (σε έδαφος, νερό και αέρα) και περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών,
- ✓ προβλεπόμενη τεχνολογία και τεχνικές που αποσκοπούν σε πρόληψη ή μείωση των εκπομπών που προκύπτουν από την εγκατάσταση,
- ✓ μέτρα σχετικά με την πρόληψη και αξιοποίηση των αποβλήτων,
- ✓ προβλεπόμενα μέτρα παρακολούθησης των εκπομπών,
- ✓ κύριες εναλλακτικές λύσεις που μελετήθηκαν.

Επιπλέον, η απόφαση έγκρισης άδειας λειτουργίας πρέπει να περιλαμβάνει κάποιους όρους, μεταξύ των οποίων οι κυριότεροι είναι:

- ✓ οι οριακές τιμές εκπομπής ρύπων (εξαιρουμένων των αερίων θερμοκηπίου στην περίπτωση που εφαρμόζεται το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής)
- ✓ ενδεχόμενα μέτρα για προστασία του εδάφους, του νερού και του αέρα,
- ✓ μέτρα διαχείρισης των αποβλήτων,
- ✓ μέτρα για εξαιρετικές περιστάσεις (διαρροές, δυσλειτουργίες, στιγμιαίες διακοπές ή οριστική παύση, κ.α.),
- ✓ ελαχιστοποίηση της διασυννοριακής ρύπανσης,
- ✓ επιτήρηση της απόρριψης αποβλήτων, και τέλος,
- ✓ κάθε άλλη ενδεδειγμένη απαίτηση.

Το σύνολο των ανωτέρω πληροφοριών πρέπει να βρίσκεται στη διάθεση:

- ✓ των πολιτών, με τα ενδεδειγμένα μέσα, παράλληλα με πληροφορίες που άπτονται κυρίως της διαδικασίας δανειοδότησης, της αρμόδιας αρχής στην οποία έχει ανατεθεί η έγκριση ή όχι του έργου και της δυνατότητας των πολιτών να συμμετέχουν στη διαδικασία δανειοδότησης,
- ✓ των υπολοίπων κρατών μελών, εάν πρόκειται για έργο που μπορεί να έχει διασυνοριακές επιπτώσεις. Κάθε κράτος μέλος οφείλει να γνωστοποιεί τις πληροφορίες αυτές στα ενδιαφερόμενα μέρη στην επικράτειά του, για να τους δώσει τη δυνατότητα να διατυπώσουν γνώμη.

Για αυτό το λόγο, πρέπει να προβλέπονται επαρκείς προθεσμίες, ώστε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να έχουν τη δυνατότητα κατάλληλης πληροφόρησης και αντίδρασης. Κατά τη διαδικασία της έγκρισης, όλες οι γνώμες που τυχόν έχουν εκφραστεί πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη.

Τα κράτη μέλη είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο της συμμόρφωσης των βιομηχανικών εγκαταστάσεων της επικράτειάς τους. Αυτός είναι και ο λόγος που η επιτροπή, τα κράτη μέλη και οι ενδιαφερόμενοι βιομηχανικοί κλάδοι ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές σε τακτική βάση. Εκθέσεις σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας συντάσσονται ανά τριετία.

Οδηγία 94/62/EK για τις Συσκευασίες και τα Απορρίμματα Συσκευασίας

Η οδηγία καλύπτει όλες τις συσκευασίες που διατίθενται στην αγορά της Κοινότητας και όλα τα απορρίμματα συσκευασίας, είτε έχουν χρησιμοποιηθεί είτε προέρχονται από τις βιομηχανίες, το εμπόριο, τα γραφεία, τα καταστήματα, τις υπηρεσίες, τα νοικοκυριά ή οποιαδήποτε άλλη πηγή, ανεξάρτητα από τα υλικά εκ των οποίων αποτελούνται.

Τα κράτη μέλη οφείλουν να θεσπίσουν μέτρα με στόχο την πρόληψη της δημιουργίας απορριμμάτων συσκευασίας και την ανάπτυξη συστημάτων επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών, μειώνοντας τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Η οδηγία 94/62/EK καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις ως προς τη σύνθεση και τον επαναχρησιμοποιήσιμο και αξιοποιήσιμο χαρακτήρα των συσκευασιών και των απορριμμάτων συσκευασίας, στις οποίες πρέπει αυτά να ανταποκρίνονται. Η Επιτροπή ενθαρρύνει την επεξεργασία ευρωπαϊκών προτύπων που αφορούν αυτές τις βασικές απαιτήσεις.

Τα κράτη μέλη πρέπει να δημιουργήσουν συστήματα πληροφορικής (βάσεις δεδομένων) για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας ώστε να είναι σε θέση να παρακολουθούν την

εφαρμογή των στόχων της παρούσας οδηγίας. Τα δεδομένα που διαθέτουν πρέπει να μεταβιβάζονται στην Επιτροπή υπό τις εξής μορφές.

1) Όσον αφορά τις πρωτογενείς, δευτερογενείς και τριτογενείς συσκευασίες

α) ποσότητες, για κάθε μεγάλη κατηγορία υλικών, των συσκευασιών που καταναλίσκονται εντός της χώρας (ποσότητες παραχθείσες + εισαχθείσες - εξαχθείσες)·

β) επαναχρησιμοποιούμενες ποσότητες.

2) Όσον αφορά τα οικιακά και μη οικιακά απορρίμματα συσκευασίας:

α) ποσότητες, για κάθε μεγάλη κατηγορία υλικών, των οποίων η ανάκτηση και η διάθεση έγινε εντός της χώρας (ποσότητες παραχθείσες + εισαχθείσες - εξαχθείσες)·

β) ανακυκλωμένες και ανακτώμενες ποσότητες, για κάθε μεγάλη κατηγορία υλικών.

Οδηγία 2004/12/EK που τροποποιεί την Οδηγία 94/62/EK για τις Συσκευασίες και τα Απορρίμματα Συσκευασίας

Η οδηγία 2004/12/EK, τροποποιεί την οδηγία 94/62/EK για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας, προσπαθεί να εναρμονίσει τα εθνικά μέτρα για τη διαχείριση συσκευασιών και απορριμμάτων συσκευασίας, ώστε να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος και να διασφαλιστεί η λειτουργία της εσωτερικής αγοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και κάθε κράτους μέλους ξεχωριστά. Το πεδίο εφαρμογής της καλύπτει όλες τις συσκευασίες και αντίστοιχα όλα τα απορρίμματα συσκευασίας που διατίθενται εντός της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, είτε έχουν χρησιμοποιηθεί είτε προέρχονται από τις βιομηχανίες, το εμπόριο, τα γραφεία, τα καταστήματα, τις υπηρεσίες, τα νοικοκυριά ή οποιαδήποτε άλλη πηγή, ανεξάρτητα από τα υλικά εκ των οποίων αποτελούνται.

Σύμφωνα με αυτή, τα κράτη μέλη οφείλουν να θεσπίσουν μέτρα με στόχο την πρόληψη της δημιουργίας απορριμμάτων συσκευασίας και την ανάπτυξη συστημάτων επαναχρησιμοποίησης των συσκευασιών, μειώνοντας τις δυσμενείς επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Επίσης, καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις ως προς τη σύνθεση και τον επαναχρησιμοποιήσιμο και αξιοποιήσιμο χαρακτήρα των συσκευασιών και των απορριμμάτων συσκευασίας, στις οποίες πρέπει αυτά να ανταποκρίνονται. Συγκεκριμένα, η αποτέφρωση απορριμμάτων σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης με ανάκτηση ενέργειας θεωρείται ότι συμβάλλει στην επίτευξη αυτών των στόχων. Έτσι, τα κράτη μέλη πρέπει ενθαρρύνουν, όπου ενδείκνυται, την ανάκτηση ενέργειας, στην

περίπτωση που κριθεί πως είναι προτιμότερη από την ανακύκλωση υλικών για περιβαλλοντικούς λόγους και λόγους κόστους – οφέλους.

Ακόμη, τα κράτη μέλη πρέπει να ενθαρρύνουν, όπου ενδείκνυται, τη χρησιμοποίηση υλικών που προέρχονται από ανακυκλωμένα απορρίμματα συσκευασίας για την παραγωγή συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Για αυτό είναι υπόχρεα να βελτιώσουν τις συνθήκες αγοράς για τα εν λόγω υλικά και να επανεξετάσουν τους υφιστάμενους κανονισμούς που εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση των υλικών αυτών. Η Επιτροπή από την πλευρά της πρέπει να ενθαρρύνει την επεξεργασία ευρωπαϊκών προτύπων που αφορούν αυτές τις βασικές απαιτήσεις.

Επιπλέον έχουν εκδοθεί Κοινοτικές Οδηγίες που αναφέρονται στη διαχείριση συγκεκριμένων ρευμάτων αποβλήτων των οποίων η διάθεση από κοινού με τα οικιακά απορρίμματα θα δημιουργούσε σημαντικά προβλήματα. Οι κυριότερες από τις Οδηγίες αυτές είναι:

- ✓ Οδηγία 2006/66/EK για τις ηλεκτρικές στήλες και τους συσσωρευτές που περιέχουν ορισμένες επικίνδυνες ουσίες,
- ✓ Οδηγία 96/59/EK για τη διάθεση των πολυχλωροδιφαινυλίων και των πολυχλωροτριφαινυλίων (PCB/PCT),
- ✓ Οδηγία 2000/53/EK για τα οχήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους,
- ✓ Οδηγία 2002/95/EK σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού,
- ✓ Οδηγία 2002/96/EK σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).
- ✓ Κανονισμός 1774/2002/EK, για την διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων και αποβλήτων. (IACO Ltd, 2012)

2.2 Θεσμικές εξελίξεις στην διαχείριση των απορριμμάτων

Οι βασικές αρχές που διέπουν την πολιτική διαχείρισης των αποβλήτων, όπως προκύπτουν από την ισχύουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία και ειδικότερα την Οδηγία Πλαίσιο (2008/98/ΕΕ) για τα απόβλητα, αναλύονται στα επόμενα εδάφια.

- *Ιεράρχηση διαχείρισης αποβλήτων.* Η στρατηγική της ΕΕ για τα απόβλητα στηρίζεται στην έννοια που είναι γνωστή ως ιεράρχηση των αποβλήτων, η οποία κατατάσσει τις επιλογές διαχείρισης σε πέντε επίπεδα (άρθρο 4 νέας Οδηγίας Πλαίσιο), όπως αποδίδεται σχηματικά:



Δίνεται προτεραιότητα στην πρόληψη (βέλτιστη επιλογή), ακολουθούμενη από την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, άλλες μορφές ανάκτησης (π.χ. ανάκτηση ενέργειας) και την ασφαλή διάθεση να αποτελεί την έσχατη λύση ανάγκης. Επιπλέον, εισάγεται η έννοια του κύκλου ζωής, που δύναται να επιτρέψει ειδικά ρεύματα αποβλήτων να παρεκκλίνουν από την ιεράρχηση, προκειμένου να προαχθεί το καλύτερο συνολικά περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

Η χρήση και αξιοποίηση των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ορθή εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων. Αποτελούν το απαραίτητο επιστημονικό και τεχνικό μέσο για την επιλογή καθαρών τεχνολογιών ή τεχνολογιών λιγότερο ρυπογόνων και οικονομικά βιώσιμων για τον ρυπαίνονταν.

- *Οι αρχές της προφύλαξης και της προληπτικής δράσης.* Με τις αρχές αυτές, ως βέλτιστη πολιτική προστασίας του περιβάλλοντος κρίνεται η εκ των προτέρων αποφυγή των προσβολών του περιβάλλοντος και όχι η εκ των υστέρων αντιμετώπιση των επιπτώσεών τους. Με την αρχή της πρόληψης προλαμβάνεται ο κίνδυνος που είναι βέβαιος και προβλέψιμος, ενώ με την αρχή της προφύλαξης που είναι συνώνυμη με τη σύνεση και την προνοητικότητα, λαμβάνονται μέτρα για τον κίνδυνο που είναι αβέβαιος και άγνωστος αλλά όμως πιθανός, αφού υπάρχουν υπόνοιες για αυτόν.
- *Η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».* Σύμφωνα με την αρχή αυτή, το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων βαρύνει τον αρχικό παραγωγό αποβλήτων, τον τρέχοντα ή τους προηγούμενους κατόχους αποβλήτων. Η αρχή αυτή έχει και αποτρεπτικό χαρακτήρα καθώς ο ρυπαίνων θα πρέπει να λάβει τα απαραίτητα προληπτικά και αποτρεπτικά μέτρα για να μειωθούν τα

επίπεδα ρύπανσης που προκαλεί η δραστηριότητα του ή να επιδεικνύει περισσότερη περιβαλλοντική φροντίδα.

- *Η αρχή της «ευθύνης του παραγωγού».* Η ευθύνη του παραγωγού υπήρξε μία από τις σημαντικότερες πρωτοβουλίες στην πολιτική της ΕΕ για τα απόβλητα. Στη νέα Οδηγία Πλαίσιο ενισχύεται ο ρόλος του παραγωγού στην πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων. Με την εφαρμογή της διεύρυνσης της ευθύνης του παραγωγού, επιδιώκεται η κάλυψη ολόκληρου του κύκλου ζωής του προϊόντος.
- *Οι αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας.* Η διαχείριση των αποβλήτων πρέπει να γίνεται κατά το δυνατό εντός των ορίων της περιοχής στην οποία παράγονται. Με την αρχή της εγγύτητας υπογραμμίζεται η ανάγκη για την επεξεργασία των αποβλήτων στις πλησιέστερες στον τόπο παραγωγή τους κατάλληλες εγκαταστάσεις, εφόσον είναι περιβαλλοντικά αποδεκτό και οικονομικά εφικτό, στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και του κόστους μεταφοράς των αποβλήτων. Σύμφωνα με τη νέα Οδηγία Πλαίσιο, το δίκτυο πρέπει να επιτρέπει στην ΕΕ ως σύνολο να καταστεί αυτάρκης στον τομέα της διάθεσης αποβλήτων και της ανάκτησης σύμμεικτων αστικών αποβλήτων και να επιτρέπει στα κράτη μέλη να κινηθούν χωριστά προς το στόχο αυτό, λαμβανομένων υπόψη των γεωγραφικών συνθηκών ή της ανάγκης για ειδικευμένες εγκαταστάσεις για ορισμένους τύπους αποβλήτων.
- *Η αρχή της «επανόρθωσης των προσβολών περιβάλλοντος κατά προτεραιότητα στην πηγή τους».* Ότι δεν κατορθώθηκε να αποφευχθεί, με την αρχή αυτή, επιδιώκεται να αντιμετωπιστεί τουλάχιστον στην πηγή του. Η καλύτερη πρόληψη περιβαλλοντικών προσβολών, πρέπει να λαμβάνει χώρα με παρέμβαση στην ίδια την πηγή ρύπανσης.

Εμπεριέχει την «αυτονόητη απαίτηση» της αποκατάστασης της περιβαλλοντικής βλάβης με τη λήψη μέτρων. Συναντά, κατά το μέρος της αποκατάστασης, την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», στο βαθμό που το κόστος της περιβαλλοντικής προσβολής καταλογίζεται στον ίδιο τον παραγωγό της ρύπανσης, (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 2015).

Στον ακόλουθο Πίνακα 1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά η Ευρωπαϊκή και Εθνική Νομοθεσία με τις αντίστοιχες επισημάνσεις.

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	Εθνική Νομοθεσία	Επισημάνσεις
<p>Οδηγία 98/2008/ΕΚ για τα απόβλητα</p> <p>Οδηγία 2008/99/ΕΚ σχετικά με την προστασία του Περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου.</p>	<p>ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Α' 24/13-02-2012) Ποινική προστασία του περιβάλλοντος - Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων.</p>	<p>(Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ και την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.) Σύμφωνα με το άρθρο 41: Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστον, στο 5% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων και έως το 2020, κατ' ελάχιστον, στο 10% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων.</p>
<p>Οδηγία 91/156/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων.</p>	<p>ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016Β/17.11.97), Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.</p>	<p>Ενσωμάτωση των γενικών κατευθύνσεων και προδιαγραφών της 75/442/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την 91/156/ΕΚ.</p>
<p>Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.</p>	<p>ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572Β/16.12.02), Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων</p>	<p>Θέσπιση στόχων για επεξεργασία πριν την ταφή και μείωση της ποσότητας των ΒΑΑ που οδηγείται για ταφή.</p>
<p>Οδηγία 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ.</p>	<p>ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22.12.2003), Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.</p>	<p>Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Σε εθνικό επίπεδο με την εν λόγω ΚΥΑ ενσωματώθηκε η 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ θέτοντας αυστηρότερες κατευθύνσεις,</p>

		μέτρα, όρους και διαδικασίες για την διαχείριση στερεών αποβλήτων και εισήγαγε τους ευρωπαϊκούς στόχους και αρχές στην εθνική στρατηγική διαχείρισης.
Οδηγία 2008/ι/ΕΚ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.
Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ, για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05.06.06), Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	Ενσωμάτωση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Το ΠΔ συμπληρώνεται και με τις εγκυκλίους όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω. Δίνονται προδιαγραφές για εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης και αναερόβιας χώνευσης (παρασκευής βιοαερίου), αδειοδότηση και ορθή λειτουργία. Επίσης, γίνεται και προσέγγιση για θέσπιση κριτηρίων οργανικών λιπασμάτων από υλικά αυτών των κατηγοριών.
Κανονισμός 1069/2009/ΕΚ, περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο - κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα).	-	Νέο συνεκτικό και συνολικό πλαίσιο κοινοτικών υγειονομικών κανόνων για τη συλλογή, τη μεταφορά, τον χειρισμό, τον μετασχηματισμό, τη μεταποίηση, την αποθήκευση, τη διάθεση στην αγορά, τη διανομή, τη χρήση ή την απόρριψη των ζωικών υποπροϊόντων.

<p>Κανονισμός 142/2011/ΕΚ, την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.</p>	-	<p>Θέσπιση κανόνων για τη διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων, την επίτευξη των στόχων του Κανονισμού 1069/2009/ΕΚ και τη βιώσιμη χρήση ζωικών υλικών, αλλά και τη διατήρηση υψηλού επιπέδου προστασίας της δημόσιας υγείας και υγείας των ζώων στην ΕΕ.</p>
<p>Οδηγία 2000/76/ΕΚ, για την αποτέφρωση των αποβλήτων.</p>	<p>ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.</p>	<p>Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.</p>
<p>Οδηγία 2006/799/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους.</p>	-	<p>Με τις οδηγίες αυτές είναι σαφής η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων υλικών ή/ και η ανακύκλωση οργανικής ύλης προερχόμενης από συγκέντρωση ή/ και επεξεργασία αποβλήτων, ως συμβολή στην ελαχιστοποίηση των προς τελική διάθεση στερεών αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο ακόμη δεν έχουν εναρμονιστεί.</p>
<p>Οδηγία 2007/64/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε καλλιεργητικά μέσα.</p>	-	

<p>Οδηγία 28/2009/ΕΚ, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές</p>	<p>Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27.06.06) Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές & Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης,(τροποποιήθηκε από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010.</p>	<p>Ενσωμάτωση της ευρωπαϊκής στην εθνική νομοθεσία. Τίθενται στόχοι σε εθνικό επίπεδο συμπεριλαμβάνοντας τα βιοαπόβλητα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, στο ευρύτερο πλαίσιο της βιομάζας.</p>
--	--	--

Πίνακας 1: : Συγκριτική παρουσίαση Εθνικού και Ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου σχετικά με τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

2.3 Εθνικό Νομικό Πλαίσιο για την διαχείριση των βιοαποβλήτων

Η Οδηγία πλαίσιο 2008/98/EK για τη διαχείριση των αποβλήτων θεσπίστηκε πρόσφατα στοχεύοντας σε όλο τον κύκλο ζωής τους δίνοντας έμφαση στην ανάκτηση και ανακύκλωση των υλικών. Η Οδηγία πλαίσιο αποβλέπει στο συντονισμό διαχείρισης των αποβλήτων στα Κράτη Μέλη της κοινότητας ώστε να περιοριστεί η παραγωγή αυτών και να βελτιστοποιηθεί η οργάνωση στη διαχείριση και διάθεσή τους. Η Οδηγία αντικαθιστά μια σειρά σημαντικών νομοθετικών κειμένων μεταξύ άλλων την Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα 2006/12/EK. Αναφορικά με το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των στερεών αστικών αποβλήτων η Οδηγία ενθαρρύνει τη θεσμοθέτηση ενός μηχανισμού για τη θέσπιση ποιοτικών κριτηρίων για τα προϊόντα που προέρχονται από την αερόβια βιολογική επεξεργασία των αστικών οργανικών αποβλήτων. Η Οδηγία πλαίσιο 2008/98/EK αναμένεται να εναρμονιστεί άμεσα στο Ελληνικό δίκαιο, ενώ με τις διατάξεις της προγενέστερης Οδηγίας (Οδηγίας πλαισίου 2006/12/EK) η Ελληνική νομοθεσία συμμορφώνεται με την ΚΥΑ 114218/1997 «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων» και την ΚΥΑ 50910/2727/2003 «Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης».

Η ΚΥΑ 114218/1997 προβλέπει την κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων σχετικά με (α) τη συλλογή, προσωρινή αποθήκευση και μεταφορά των αποβλήτων, (β) τη μεταφόρτωση των στερεών αποβλήτων, (γ) το σύστημα διαλογής στην πηγή, (δ) τους ΧΥΤΑ και (ε) τις θέσεις εγκατάστασης μονάδων διαχείρισης αποβλήτων. Επιπλέον η ίδια ΚΥΑ θέτει τεχνικές προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας εγκαταστάσεων μηχανικής διαλογής σε συνδυασμό με συστήματα κομποστοποίησης για την ανάκτηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος, ενώ ορίζει ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κόμποστ από τις εγκαταστάσεις αυτές όσο και των εδαφών στα οποία ενδέχεται να γίνει χρήση του προϊόντος (π.χ. ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, φυσικές και βιολογικές ιδιότητες). Τεχνικές προδιαγραφές προβλέπονται ακόμα και για τη διαχείριση της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων στις οποίες περιλαμβάνονται η προσωρινή αποθήκευση, η συμπύκνωση, η βιολογική χώνευση, η αφυδάτωση, η σταθεροποίηση, η οξείδωση, η κομποστοποίηση, η χρήση στη γεωργία, η υγειονομική ταφή και η θερμική επεξεργασία, (Μαλαμής 2011).

Αναφορικά με την ΚΥΑ 50910/2727/2003, προδιαγράφεται ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), ο οποίος, προβλέπει την πρόληψη – μείωση της ποσότητας, της βλαπτικότητας και της επικινδυνότητας των αποβλήτων, την αξιοποίηση των αποβλήτων με διάφορους τρόπους (ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση κλπ), την περιβαλλοντικά ασφαλή διαχείριση και εν γένει την ενθάρρυνση της ολοκληρωμένης διαχείρισης και τη δημιουργία εθνικού

δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων. Ο ΕΣΔΑ εξειδικεύεται περαιτέρω με τα περιφερειακά σχέδια διαχείρισης στερεών αποβλήτων για κάθε μία από τις δεκατρείς περιφέρειες της Ελλάδας, αρμόδιο όργανο για την υλοποίηση των οποίων είναι ο εκάστοτε φορέας διαχείρισης στερεών αποβλήτων.

Για την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης στην πηγή η Ε.Ε. εξέδωσε την Οδηγία 2008/1/EK σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (Οδηγία IPPC) η οποία ορίζει τις υποχρεώσεις που πρέπει να τηρούνται στο πλαίσιο βιομηχανικών και γεωργικών δραστηριοτήτων υψηλού δυναμικού ρύπανσης, θεσπίζει μια διαδικασία έκδοσης άδειας για τέτοιες δραστηριότητες και προσδιορίζει ελάχιστες απαιτήσεις τις οποίες πρέπει να καλύπτει κάθε άδεια, κυρίως σε ότι αφορά στην απόρριψη ουσιών που ρυπαίνουν. Στόχος είναι η αποτροπή της ρύπανσης ή η ελαχιστοποίηση των ρύπων στον αέρα, το νερό και το έδαφος, καθώς και των αποβλήτων που προέρχονται από βιομηχανικές και γεωργικές εγκαταστάσεις με σκοπό να επιτευχθεί μια υψηλής στάθμης προστασία του περιβάλλοντος. Αναφορικά με τα οργανικά απόβλητα, η Οδηγία θεσπίζει τις βασικές αρχές για την έκδοση άδειας και ελέγχου στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας της ροής αυτής των αποβλήτων οι οποίες έχουν δυναμικότητα επεξεργασίας μεγαλύτερη των 50 τόνων ημερησίως. Η Ελλάδα έχει προχωρήσει σε μερική εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/1/EK με τη θέσπιση του Ν.2965/2001 και του Ν.3325/2005, (Μαλαμής 2011).

Η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων είναι στις υψηλότερες προτεραιότητες αναφορικά με τις επιλογές διαχείρισής τους στην Ε.Ε. Εντούτοις, δεν υπάρχουν σχετικές διατάξεις σε επίπεδο Ε.Ε. οι οποίες να συμπεριλαμβάνουν όλες τις ροές των οργανικών αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση και/ή την ανακύκλωσή τους. Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει νομοθετικές διατάξεις ή είναι σε στάδιο για τη θέσπισή τους, για συγκεκριμένες ροές οργανικών αποβλήτων όπως είναι η ιλύς από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, τα ζωικά υποπροϊόντα και το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων. Η Οδηγία 86/278/ΕΟΚ ρυθμίζει τη χρήση της ιλύος από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων στη γεωργία ώστε να προλαμβάνονται οι επιζήμιες επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο. Αποσκοπεί επομένως στην ενθάρρυνση της ορθής επαναχρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία αντιμετωπίζοντας κυρίως τα θέματα των οριακών τιμών για τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος και την ύλη, την επεξεργασία της ιλύος, τις προϋποθέσεις χρήσης της στη γεωργία, τη δειγματοληπτική ανάλυση εδαφών και ιλύος και την τήρηση μητρώων για την παραγωγή και τη χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία. Επιπλέον σε στάδιο διαβούλευσης είναι η ανανέωση της Οδηγίας με την κατάθεση πρότασης για την αναθεώρησή της. Εναρμόνιση με τις κείμενες διατάξεις της Οδηγίας στο εθνικό δίκαιο έγινε με την ΚΥΑ 80568/4225/91 και συνιστά το βασικότερο κανόνα ρύθμισης των θεμάτων που

αναφέρονται στη γεωργική χρησιμοποίηση ιλύος. Αναφορικά με την κατηγορία των ζωικών υπολειμμάτων τα οποία δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο (συμπεριλαμβανομένης της κοπριάς), ο Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ μεταξύ άλλων καθορίζει τους σχετικούς κανόνες για την αναερόβια και αερόβια επεξεργασία των ζωικών υποπροϊόντων που δύναται να επεξεργαστούν βιολογικά. Προς συμμόρφωση με τον ανωτέρω κανονισμό το Προεδρικό Διάταγμα 211/2006 απαιτεί από τους παραγωγούς, τις επιχειρήσεις και όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τα ζωικά υποπροϊόντα να πληρούν τις απαιτήσεις του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ. Αξίζει να σημειωθεί ότι επί του παρόντος στην Ε.Ε. υφίστανται προδιαγραφές, σε εθελοντικό επίπεδο, για την επεξεργασία συγκεκριμένων ροών βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων όπως αυτές ορίζονται από τις Αποφάσεις 2006/799/ΕΚ και 2007/742/ΕΚ περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και καλλιεργητικά μέσα αντίστοιχα γνωστά ως «eco-label». Τα κριτήρια αυτά έχουν ως σκοπό την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων, τα οποία έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, συμβάλλοντας στην εκτροπή τους από τους ΧΥΤΑ. Επιπλέον ως προς τα βιοαπορρίμματα ή βιολογικά απόβλητα (biowaste) η Ε.Ε. έχει συντάξει κείμενα εργασίας για τη βιολογική διαχείριση τους (EC, 2001), ενώ σε στάδιο διαβούλευσης είναι η θέσπιση νομοθετικών μέτρων για την υποχρέωση της αύξησης των ποσοστών ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης τους στα Κράτη Μέλη, (Μαλαμής 2011).

Εκτός από την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων η Ε.Ε. με τις Οδηγίες 2000/76/ΕΚ και 2009/28/ΕΚ προβλέπει και τη δυνατότητα καύσης τους με ή χωρίς την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ λαμβάνονται μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό, στο μέτρο του δυνατού, της ρύπανσης του αέρα, του νερού και του εδάφους, η οποία προέρχεται από την αποτέφρωση και τη συνδυασμένη αποτέφρωση αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένων των βιοαποδομήσιμων), καθώς και των συνεπαγόμενων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου. Με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ προβλέπεται η προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μεταξύ άλλων στοχεύοντας στη χρησιμοποίηση βιομάζας προερχόμενη από βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα (π.χ. γεωργικά και δασικά υπολείμματα) για την παραγωγή ενέργειας. Η Ελλάδα έχει εναρμονιστεί με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ με την Υ.Α. 22912/1117/2005 «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων» ενώ αναμένεται η ενσωμάτωση στο εθνικό δίκαιο της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.

Σύμφωνα με την ιεράρχηση της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων ως τελευταία επιλογή διαχείρισης αποτελεί η ασφαλής διάθεσή τους. Το σημαντικότερο νομοθετικό βήμα αναφορικά με

την υγειονομική ταφή των αποβλήτων αποτελεί η Οδηγία 1999/31/ΕΚ. Η Οδηγία ρυθμίζει την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, ώστε να προλαμβάνονται ή να μειώνονται, κατά το δυνατόν, οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Προς αυτή την κατεύθυνση η Οδηγία περιλαμβάνει διατάξεις για τα επιτρεπόμενα ή τα απαγορευμένα απόβλητα και τις αντίστοιχες μεθόδους επεξεργασίας στους χώρους υγειονομικής ταφής και καθορίζει τις προϋποθέσεις χορήγησης αδειών λειτουργίας, κλεισίματος και εν συνεχεία μέριμνας για τους χώρους υγειονομικής ταφής. Επίσης, η Οδηγία επιβάλλει τη σταδιακή μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής ώστε να μειωθούν οι εκπομπές μεθανίου, σε συνδυασμό με τεχνικές απαιτήσεις για τη δέσμευση και επεξεργασία των εκπεμπόμενων αερίων. Αξίζει να αναφερθεί ότι για τα Κράτη Μέλη που διοχέτευαν σε χώρους υγειονομικής ταφής ποσότητες βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που υπερβαίνουν το 80% των αστικών στερεών αποβλήτων το 1995, δύνανται να αναβάλλουν την επίτευξη καθενός των στόχων κατά τέσσερα έτη κατά μέγιστο όριο. Ανάμεσα σε αυτά τα κράτη περιλαμβάνεται και η Ελλάδα.

Η ΚΥΑ 29407/3508/2002 αποτελεί το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο για τη θέσπιση μέτρων και όρων για την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων και η οποία αποσκοπεί στην εναρμόνιση με τα προβλεπόμενα διατάγματα της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ. Μεταξύ των διατάξεων της ΚΥΑ προβλέπεται η σταδιακή εκτροπή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών αποβλήτων που προορίζονται για τους ΧΥΤΑ κατά 75, 50 και 35% wb μέχρι το 2010, 2013 και 2020 αντίστοιχα, με βάση τη συνολική ποσότητα βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995. Η επίτευξη των παραπάνω στόχων προϋποθέτει τη δρομολόγηση ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, τα οποία θα εκτρέπουν σημαντικές ποσότητες του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος από τους ΧΥΤΑ καθώς και την καθιέρωση εργαλείων που θα αποτρέπουν την ταφή τους. Επιπλέον με την ΚΥΑ 4641/232/2006 καθορίζονται οι τεχνικές προδιαγραφές μικρών ΧΥΤΑ σε νησιά καθώς και σε απομονωμένους οικισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τα όσα ορίζουν τα παραπάνω νομοθετικά κείμενα δεν επιτρέπεται η διάθεση αποβλήτων σε ΧΥΤΑ τα οποία προηγουμένως δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 29407/3508/2002, ως επεξεργασία ορίζονται οι φυσικές, θερμικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης της διαλογής, που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, προκειμένου να περιοριστούν ο όγκος ή οι επικίνδυνες ιδιότητές τους, να διευκολυνθεί η διακίνησή τους ή να βελτιωθεί η ανάκτηση χρήσιμων υλών, (Μαλαμής, 2011).

Η πρακτική εφαρμογή της Οδηγίας για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων εξακολουθεί να μην είναι ικανοποιητική στα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1.3 με το συνολικό ποσοστό βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων να ξεπερνά το 60% wb σε επίπεδο Ε.Ε.

για το έτος 2009. Πλέον μιας δεκαετίας μετά την έκδοση της οδηγίας, ορισμένα Κράτη Μέλη δεν έχουν κοινοποιήσει τη μεταφορά της στην εθνική νομοθεσία και την εφαρμογή του συνόλου των διατάξεών της, ενώ η Επιτροπή εξακολουθεί να κινεί σε πολλές περιπτώσεις διαδικασίες επί παραβάσει κατά Κρατών Μελών για πλημμελή μεταφορά ή εφαρμογή της εν λόγω νομοθεσίας. Επί του παρόντος αρκετά Κράτη Μέλη εξακολουθούν να υφίστανται γενικευμένες και σημαντικές ανεπάρκειες όσον αφορά στην εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας.

Στην Ε.Ε. έχει διαπιστωθεί η ανάγκη και η σημαντικότητα για τη χάραξη κοινής πολιτικής στα Κράτη Μέλη για τη διαχείριση του βιοαποδομήσιμου οργανικού κλάσματος των αποβλήτων. Προς αυτή την κατεύθυνση βαδίζει η Ε.Ε. με τη σύνταξη της Πράσινης Βίβλου (COM(2008) 811 τελικό) με την προοπτική διαμόρφωσης νομοθετικού διατάγματος σχετικά με τη διαχείριση των βιοαπορριμμάτων.

Σκοπός της Πράσινης Βίβλου είναι να διερευνηθούν λύσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη της διαχείρισης των βιοαπορριμμάτων. Μεταξύ των λύσεων που προτείνονται για τη διαχείριση τους, πέραν της πρόληψης, είναι η διαλογή (στην πηγή ή στα σύμμικτα), η αναερόβια ζύμωση και η κομποστοποίηση, η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή. Παράλληλα τονίζεται ότι τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις κατά τόπους συνθήκες, όπως είναι η πυκνότητα πληθυσμού, οι υποδομές και το κλίμα, καθώς και από τις αγορές των αντίστοιχων προϊόντων (π.χ. ενέργεια, προϊόντα κομποστοποίησης). Η Ε.Ε. προκειμένου να υποστηρίξει τα Κράτη Μέλη στις μελλοντικές νομοθετικές υποχρεώσεις τους θα παρέχει τα κριτήρια, με βάση τα οποία θα γίνει η προώθηση για την αναγνώριση της βέλτιστης περιβαλλοντικά επιλογής αναφορικά με τη διαχείριση των αστικών οργανικών αποβλήτων. Είναι επομένως εμφανής η ιδιαίτερη βαρύτητα που δίνεται στη βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων με έμφαση στην κομποστοποίηση και τον καθορισμό ελάχιστων απαιτήσεων διαχείρισης καθώς και ποιοτικών κριτηρίων προκειμένου να εξασφαλιστεί υψηλό επίπεδο προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, (Μαλαμής 2011).

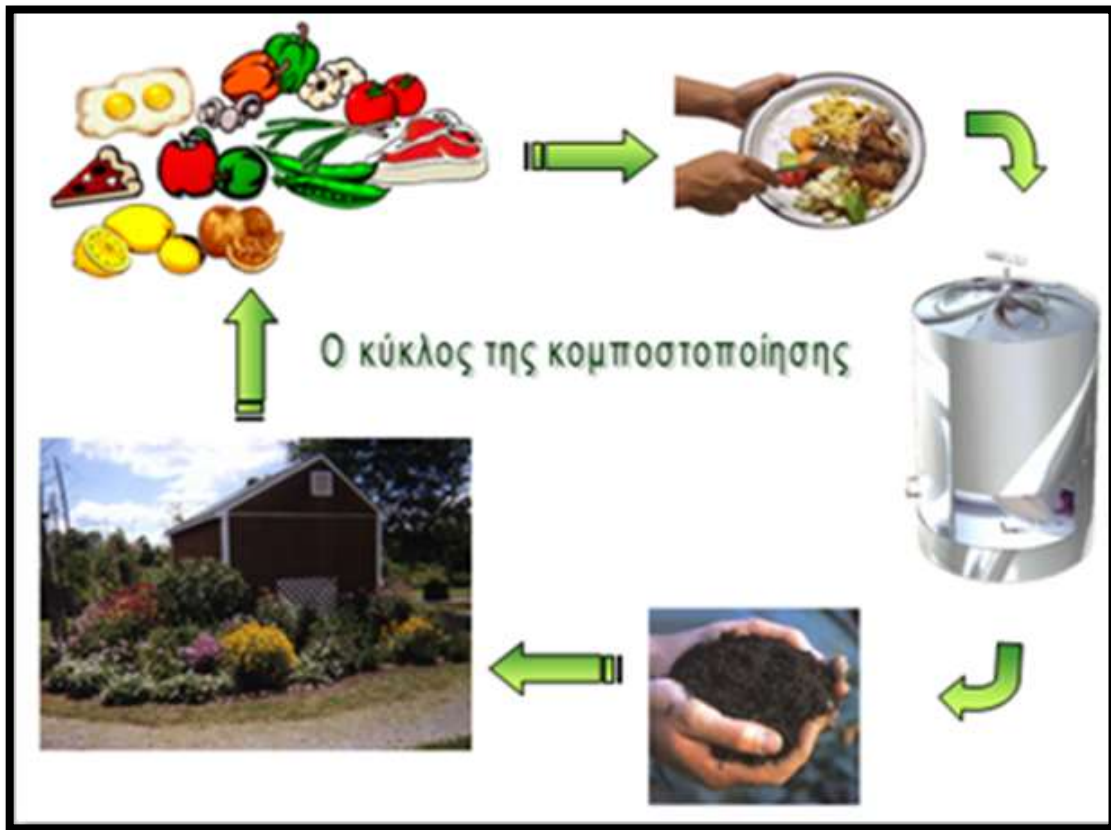
3. Τεχνικές Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων

3.1 Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια σύγχρονη μέθοδο επεξεργασίας, η οποία προκειμένου να πραγματοποιηθεί, απαιτείται αποτελεσματική διαλογή του υλικού στόχου στην πηγή. Με τη μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται μείωση της ποσότητας των παραγόμενων οικιακών ΒΑ καθώς και των βιοαποβλήτων πάρκων, εστιατορίων και βιομηχανιών, παράγοντας ταυτόχρονα ένα προϊόν το οποίο, με την ύπαρξη κατάλληλων προδιαγραφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε αγροτικές καλλιέργειες.

Η μέθοδος, μπορεί να εφαρμοστεί σε οικιακό επίπεδο σε αποκεντρωμένες μονάδες όσο και σε κεντρικές εγκαταστάσεις. Εκτιμάται ότι περίπου 29% ή 23,6 εκατομμύρια τόνοι βιοαποβλήτων (διαφόρων τύπων) συλλέγονται στην πηγή και κομποστοποιούνται στην Ευρώπη, σε σύνολο 115 εκατομμυρίων τόνων. Σε αυτές τις ποσότητες περιλαμβάνονται τα βιοαπόβλητα κουζίνας, κήπων, πάρκων, αγροτικά, κλπ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή περίπου 10,5 εκατομμυρίων τόνων compost στην Ευρώπη (ECN, 2012).

Ορισμένα κράτη-μέλη, όπως η Τσεχία, Γαλλία, Δανία και Σουηδία, επικεντρώνονται κυρίως στην κομποστοποίηση πράσινων βιοαποβλήτων, ενώ σε άλλα κράτη μέλη, όπως η Ιταλία και η Ισπανία, επικεντρώνονται στην κομποστοποίηση διατροφικών αποβλήτων. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι στις θερμότερες μεσογειακές χώρες της Ε.Ε (οι οποίες είναι οι χώρες του Νότου) η συλλογή των βιοαποβλήτων κουζίνας, θα πρέπει να γίνεται συχνότερα από ότι τα βιοαπόβλητα κήπων, συνεπώς υπάρχει αυξημένη ανάγκη για αξιοποίηση των διατροφικών αποβλήτων. Στην Εικόνα 4 περιγράφεται ο κύκλος κομποστοποίησης συνοπτικά.



Εικόνα 4: Κύκλος κομποστοποίησης

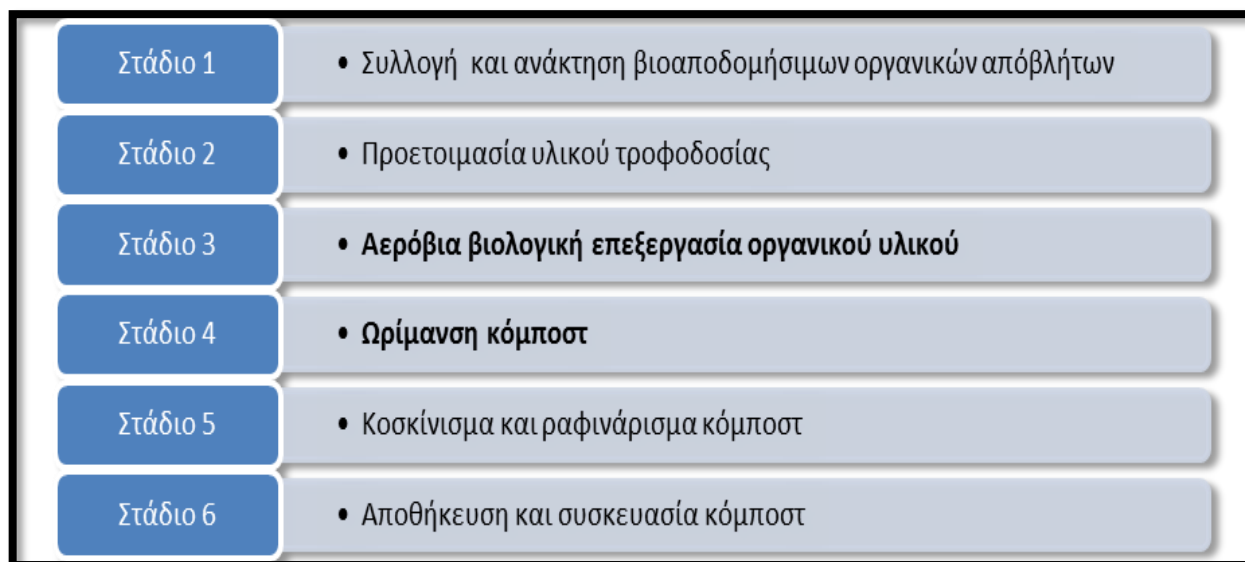
(<http://uest.ntua.gr/>)

3.1.1 Στάδια της ολοκληρωμένης διεργασίας της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση ως ολοκληρωμένη διεργασία διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων χαρακτηρίζεται από μια σειρά αναπόσπαστων σταδίων τα βασικότερα από τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 5. Το πρώτο στάδιο αποτελεί την ανάκτηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων το οποίο περιλαμβάνει την εποπτεία του συλλεχθέντος οργανικού υλικού και την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών. Στα ανεπιθύμητα υλικά συμπεριλαμβάνονται ουσίες οι οποίες δεν είναι ζυμώσιμες καθώς και κάθε άλλου είδους ουσία που δύναται να επηρεάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η διεργασία αυτή διαφοροποιείται σημαντικά ανά είδος βιοαποδομήσιμου στερεού αποβλήτου. Ροές όπως είναι η ιλύς από αστικά υγρά απόβλητα, η κοπριά ζώων, τα δασοκομικά και γεωργικά απόβλητα έχουν σαφέστατα πιο ομοιόμορφη και ομοιογενής σύσταση συγκριτικά με τα οργανικά αστικά στερεά απορρίμματα, ο βαθμός ανάκτησής των οποίων εξαρτάται σημαντικά από την εκάστοτε πολιτική διαχείρισής τους (π.χ. διαλογή στην πηγή, σύστημα συλλογής κ.α.). Αξίζει να αναφερθεί ότι τα προγράμματα διαλογής του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων παρουσιάζουν σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα, (USEPA, 1995). Επιπλέον, ο βαθμός της ομοιογένειας ως προς τη σύστασή τους εξαρτάται από το σχεδιασμό των προγραμμάτων διαλογής στην πηγή και

στο βαθμό στον οποίο υφίσταται ξεχωριστή συλλογή των διαφορετικών οργανικών ροών των αστικών στερεών αποβλήτων (υπολείμματα τροφών, πράσινα υπολείμματα κλπ), (USEPA, 1995) (Μαλαμής 2011).

Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας της κομποστοποίησης περιλαμβάνει την προετοιμασία του υλικού τροφοδοσίας για τη διαμόρφωση κατάλληλων φυσικοχημικών συνθηκών στο αρχικό υπόστρωμα για την ενίσχυση της απόδοσης της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας.



Εικόνα 5: Τυπικά στάδια της ολοκληρωμένης διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων με τη μέθοδο της κομποστοποίησης

Η προετοιμασία αυτή δύναται να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων (α) την επαρκή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε θρεπτικά συστατικά (π.χ. άνθρακα, άζωτο, φώσφορο) με την προσθήκη ενός ή περισσοτέρων ζυμώσιμων οργανικών υλικών, (β) τη ρύθμιση του μεγέθους και του πορώδους του υποστρώματος για τη διευκόλυνση της διάχυσης του οξυγόνου στην οργανική μάζα (π.χ. τεμαχισμός, χρήση διογκωτικών υλικών), (γ) τη ρύθμιση της περιεχόμενης υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα και (δ) την ομογενοποίηση του οργανικού προς κομποστοποίηση υλικού. Το τρίτο στάδιο αποτελεί το βιολογικό μέρος της κομποστοποίησης στο οποίο συντελείται η βιοαποδόμηση του οργανικού υλικού με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων. Έπειτα πραγματοποιείται η ωρίμανση του οργανικού υλικού και η περαιτέρω σταθεροποίησή του. Σε επόμενο στάδιο διεξάγεται το κοσκίνισμα και ραφινάρισμα του παραγόμενου κόμποστ για την απομάκρυνση μη επιθυμητών υλικών (π.χ. ογκώδη και αδρανή υλικά) ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται το απαιτούμενο μέγεθος και η κατάλληλη υφή του κόμποστ για τις διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την τελική του χρήση. Τέλος το κόμποστ αποθηκεύεται και συσκευάζεται καθώς η εποχική ζήτηση κόμποστ δεν συμπίπτει πάντοτε με τη διαθεσιμότητα σε οργανικά απόβλητα για επεξεργασία.

3.1.2 Είδη συστημάτων κομποστοποίησης

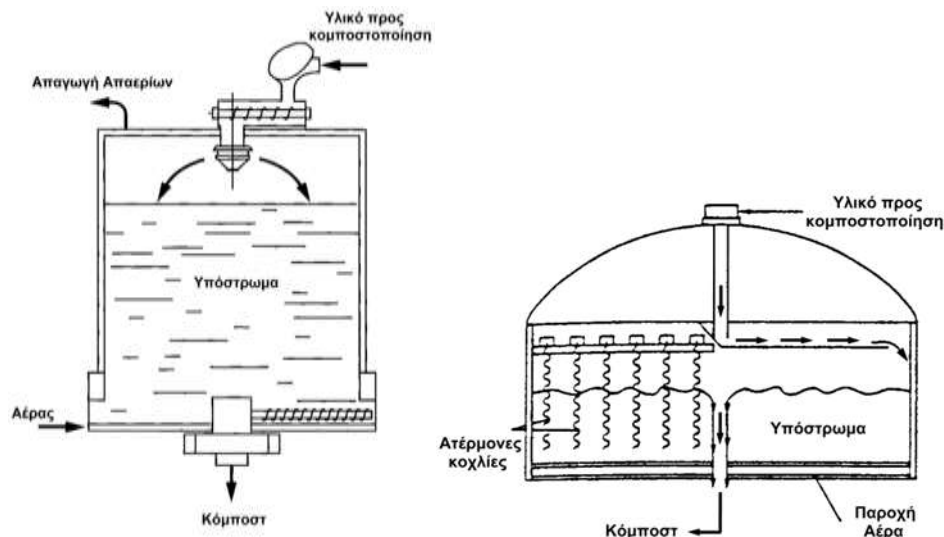
3.1.2.1 Κλειστά συστήματα

Η κατηγοριοποίηση των κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται, κατά βάση, σύμφωνα με τη ροή του οργανικού υλικού σε οριζόντιου και κάθετου τύπου. Επιπλέον, τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης διαφοροποιούνται ως προς τα χαρακτηριστικά του αερισμού του υποστρώματος, την ανάδευση, καθώς και τις διατάξεις φόρτωσης και εκφόρτωσης του οργανικού υλικού (Shammas and Wang, 2009). Κοινός συντελεστής είναι η επίτευξη της επιτάχυνσης των βιοξειδωτικών διεργασιών και της σταθεροποίησης του προς επεξεργασία οργανικού υλικού με τον έλεγχο και τη ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών της διεργασίας, παράγοντας ένα τελικό προϊόν με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Παράλληλα γίνεται ο έλεγχος και η δέσμευση των αερίων εκπομπών με βιοφίλτρα (Misra et al., 2003) ή άλλο κατάλληλο σύστημα ελέγχου (π.χ. πλυντρίδες) (Shammas and Wang, 2009).

I. Κάθετα κλειστά συστήματα

Οι εμπορικά διαθέσιμοι κλειστού τύπου κάθετοι αντιδραστήρες είναι κυρίως συνεχούς λειτουργίας με ή χωρίς ανάδευση. Τα συνεχούς ροής κάθετα συστήματα χωρίς ανάδευση περιλαμβάνουν θερμικά μονωμένους αεροστεγείς κλειστούς κυλίνδρους. Το υλικό εισάγεται περιοδικά (τυπικά σε ημερήσια ή εβδομαδιαία βάση) από την κορυφή και κατεβαίνει λόγω βαρύτητας (Shammas and Wang, 2009). Ο αερισμός του υποστρώματος επιτυγχάνεται με την παροχή αέρα από τον πυθμένα και την αναρρόφηση των αερίων εκπομπών από την κορυφή. Δεν εφαρμόζεται μηχανική ανάδευση για να μη διαταραχθούν οι βιολογικές διεργασίες γεγονός που καθιστά δύσκολο τον έλεγχο της ομοιογενούς κατανομής του οξυγόνου στην οργανική μάζα. Το τελικό προϊόν εξέρχεται και συλλέγεται από τον πυθμένα του αντιδραστήρα με ειδική διάταξη. Τυπικό κάθετο κλειστό σύστημα κομποστοποίησης συνεχούς ροής χωρίς ανάδευση παρουσιάζεται στην Εικόνα 6 (α).

Τα συνεχή κάθετα συστήματα με ανάδευση περιλαμβάνουν εσωτερικό αναδευτήρα που φέρει περιστρεφόμενη γέφυρα με ατέρμονες κοχλίες στο μισό της μήκος. Το προς κομποστοποίηση υλικό εισάγεται στο κέντρο περιστροφής της γέφυρας και με τη βοήθεια του ατέρμονα κοχλία μετατοπίζεται προς την περίμετρο. Περιοδικά το υπόστρωμα έρχεται σε επαφή με τον αέρα ενώ σταδιακά κινείται προς τα κάτω μέχρι που τελικά απάγεται από τον πυθμένα και οδηγείται σε κατάλληλο χώρο για ωρίμανση. Τυπικό κάθετο κλειστό σύστημα κομποστοποίησης συνεχούς ροής με ανάδευση παρουσιάζεται στην (Εικόνα 6(β)).



α.

β.

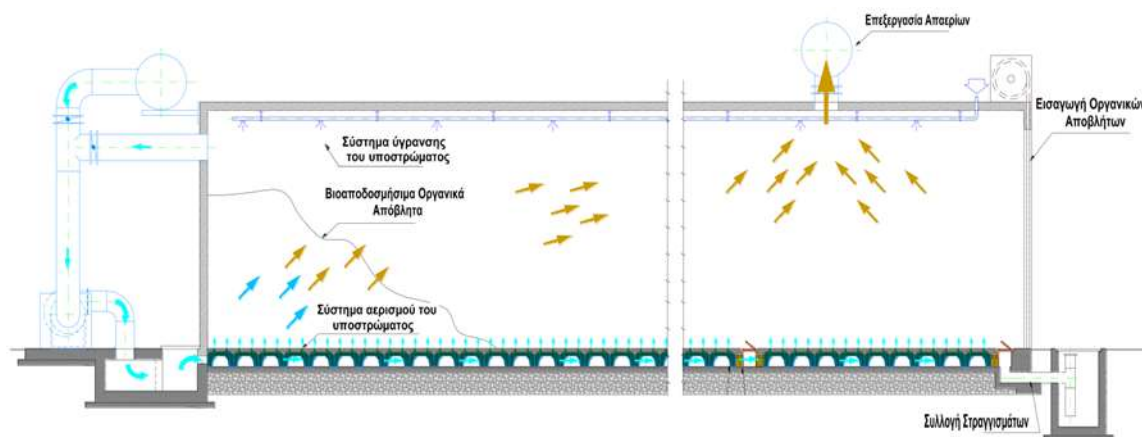
Εικόνα 6: Σχηματική αναπαράσταση τυπικών κάθετων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης (α) χωρίς ανάδευση και (β) με ανάδευση (Diaz et al., 2002)

II. Οριζόντια κλειστά συστήματα

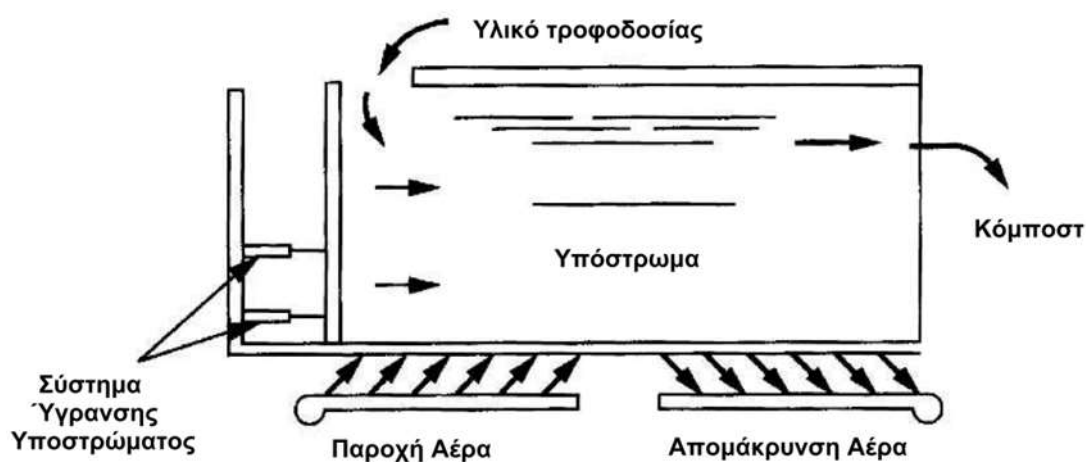
Τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης οριζόντιου τύπου μπορούν διακριθούν (α) εγκιβωτισμένα συστήματα όπως τα βιοκελιά (cells ή biocells), τα τούνελ (tunnels ή biotunnels), και τα κιβώτια (containers), (β) κανάλια (channels ή trenches) και (γ) περιστρεφόμενους κυλίνδρους (rotating drum). Τα βιοκελιά, τα τούνελ και τα κιβώτια αποτελούν παραλλαγές εγκιβωτισμένων, αεροστεγών συστημάτων στα οποία η διεργασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε ένα σχεδόν πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον αναφορικά με τις συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού. Ο έλεγχος των διεργασιών επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της εμφύσησης οξυγόνου (χρήση δυναμικού αερισμού), της αναρρόφησης των αερίων εκπομπών και την ενδεχόμενη ανακύκλωσή τους ενώ στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι εξοπλισμένα με συστήματα ύγρανσης για την προσθήκη και ανακύκλωση του νερού ώστε να ρυθμίζεται η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία. Όλα τα συστήματα αυτού του τύπου έχουν κατάλληλες διατάξεις για την απόσμιση και τον έλεγχο των αερίων εκπομπών που εκλύονται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης ενώ ο χρόνος παραμονής της οργανικής ουσίας στους αντιδραστήρες δεν ξεπερνά τις δύο εβδομάδες.

Τα βιοκελιά (Εικόνα 7) είναι ασυνεχούς λειτουργίας και περιλαμβάνουν θερμική μόνωση στην εξωτερική επιφάνεια του συστήματος για τη μείωση των θερμικών απωλειών ενώ έχουν αναφερθεί και κατασκευές οι οποίες ενσωματώνουν εναλλάκτη θερμότητας για τη θέρμανση του αέρα πριν την είσοδό του στον βιοαντιδραστήρα σε περιοχές εφαρμογής με ψυχρό κλίμα (Diaz and Savage, 2007a). Η δυναμικότητα αυτών των συστημάτων κυμαίνεται από 100 έως 1000 m³. Τα κιβώτια είναι και αυτά ασυνεχούς λειτουργίας μικρότερης χωρητικότητας (20 έως 40m³) και

χρησιμοποιούνται συνήθως σε παράλληλα στοιχεία, ώστε να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής με δυναμικότητα επεξεργασίας περίπου 3000-5000 τόνων οργανικού φορτίου ανά έτος για 6-8 παράλληλα στοιχεία (Diaz and Savage, 2007a). Τα τούνελ είναι συστήματα συνεχούς ροής, ενώ έχουν χωριστούς χώρους για τη φόρτωση και εκφόρτωση των υλικών στα άκρα του αντιδραστήρα. Η δυναμικότητα των συστημάτων αυτών είναι αντίστοιχη με αυτή των βιοκελιών (Εικόνα 8).



Εικόνα 7: Τυπική διάταξη οριζόντιων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης, τύπου βιοκελιών (Geoplast, 2010)



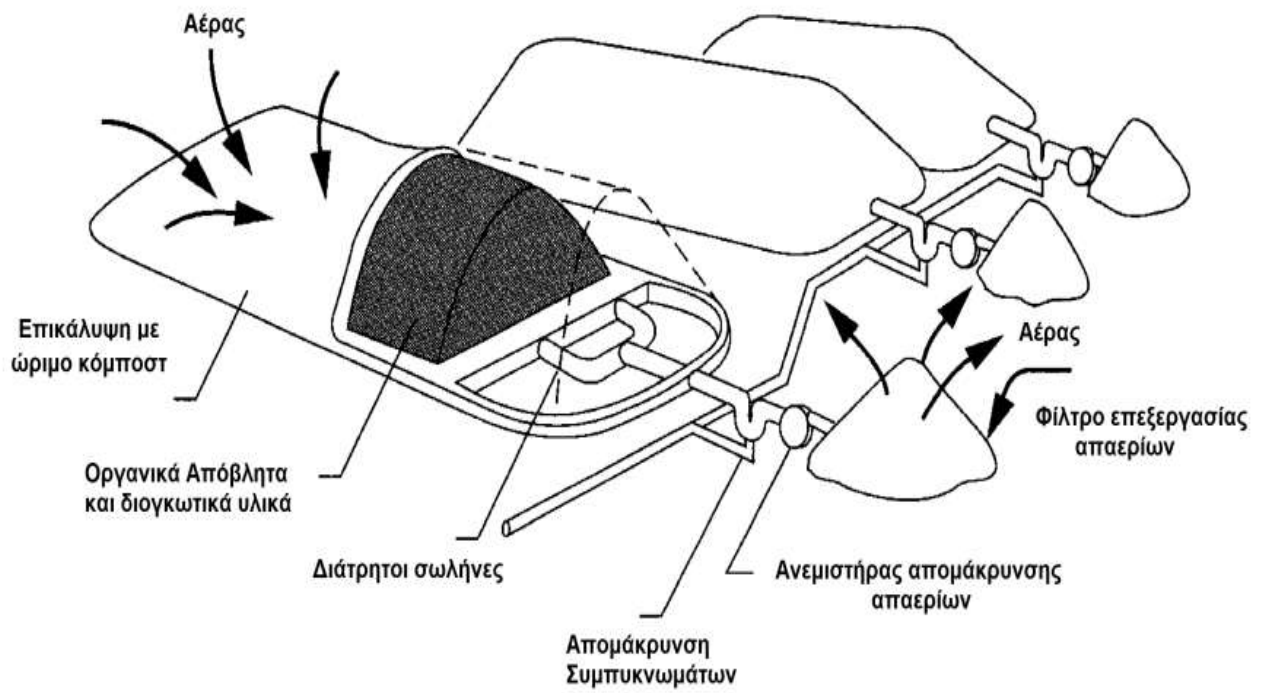
Εικόνα 8: Τυπική διάταξη οριζόντιων κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης, τύπου τούνελ (Diaz et al., 2002)

Τα οριζόντια συστήματα κομποστοποίησης περιστρεφόμενων τυμπάνων, είναι κυλινδρικοί, συνήθως με κλίση, βιοαντιδραστήρες συνεχούς ροής. Το υλικό εισέρχεται στο ένα άκρο του βιοαντιδραστήρα και με αργή περιστροφή του κυλίνδρου (συνήθως 2rpm) το οργανικό υλικό μεταφέρεται κατά μήκος του συστήματος έως ότου εξέλθει από το άλλο άκρο του κυλίνδρου (χρόνος παραμονής περίπου 1 εβδομάδα).

3.1.2.2 Ανοικτά συστήματα

Τα ανοικτά συστήματα διακρίνονται σε αναστρεφόμενα σειράδια (windrows) και σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile) ανάλογα με τη μέθοδο αερισμού του υποστρώματος. Στα συστήματα αναστρεφόμενων σειραδιών το οργανικό υλικό τοποθετείται σε παράλληλες σειρές μεγάλου μήκους (γραμμικές σωροί). Ο αερισμός του υποστρώματος επιτυγχάνεται αποκλειστικά με την περιοδική αναμόχλευση της σωρού με τη χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ενώ παράλληλα γίνεται ομογενοποίηση και μείωση του μεγέθους της οργανικής ουσίας (Shammas and Wang, 2009). Το ύψος, το πλάτος και το σχήμα των γραμμικών σωρών ρυθμίζονται σύμφωνα με το είδος του προς επεξεργασία υλικού και από τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάδευση.

Αναφορικά με τα συστήματα των αεριζόμενων στατικών σωρών (Εικόνα 9), το οργανικό υλικό τοποθετείται όπως και στην περίπτωση των αναστρεφόμενων σειραδιών, ενώ το υπόστρωμα δεν αναδύεται κατά τη διάρκεια του κύκλου κομποστοποίησης με αποτέλεσμα οι σωροί να πρέπει να διαμορφώνονται από την αρχή της διεργασίας. Το οργανικό υπόστρωμα συνήθως εμπλουτίζεται με διογκωτικό υλικό, ώστε να παρέχεται η κατάλληλη δομική σταθερότητα για τη διάχυση του οξυγόνου στην οργανική μάζα ενώ ο αερισμός της πραγματοποιείται με θετική (εμφύσηση) ή αρνητική πίεση (αναρρόφηση) (Shammas and Wang, 2009).



Εικόνα 9: Τυπική διάταξη οριζόντιου ανοιχτού συστήματος κομποστοποίησης, τύπου αεριζόμενων στατικών σωρών (Diaz et al., 2007, 2002)

3.1.2.3 Παράμετροι ελέγχου και παρακολούθησης της κομποστοποίησης

Οι παράμετροι ελέγχου της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν το σύνολο των μεγεθών που υπόκεινται σε μεταβολές κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας και δύναται, τις περισσότερες περιπτώσεις, να ρυθμιστούν από εξωτερικές παρεμβάσεις στοχεύοντας στην αύξηση του ρυθμού βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Τα μεγέθη ελέγχου και ρύθμισης των διεργασιών της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους. Στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των παραμέτρων αυτών η οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνει:

- ✓ Τη σημαντικότητα ελέγχου και προσδιορισμού της κάθε παραμέτρου
- ✓ Την καταγραφή του επιθυμητού εύρους τιμών και την αποτύπωση των κατώτερων και ανώτερων επιτρεπτών ορίων σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία
- ✓ Την εξέλιξη κάθε παραμέτρου κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης
- ✓ Τις τεχνικές και τις μεθόδους ρύθμισης των παραμέτρων για την επίτευξη του επιθυμητού εύρους τιμών

I. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί μια από τις βασικότερες παραμέτρους ελέγχου της διεργασίας της κομποστοποίησης ως προϊόν της μικροβιακής αποδόμησης της οργανικής ουσίας. Η σημαντικότητα ελέγχου και παρακολούθησης της θερμοκρασίας έγκειται στο γεγονός ότι αποτυπώνει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο υπόστρωμα και αποτελεί σημαντικό δείκτη της ομαλής διεξαγωγής της διεργασίας της κομποστοποίησης (Diaz and Savage, 2007a). Σύμφωνα με τους Hassen et al. (2001) η θερμοκρασία του υποστρώματος προσδιορίζει το ρυθμό με τον οποίο οι βιολογικές διαδικασίες λαμβάνουν χώρα και κατέχει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και τη διαδοχή του πληθυσμού των μικροοργανισμών. Η θερμοκρασιακή εξέλιξη του υποστρώματος υποδεικνύει τα διαφορετικά στάδια της διεργασίας της κομποστοποίησης η οποία σε γενικά πλαίσια μπορεί να διαχωριστεί σε πέντε φάσεις.

Η επίτευξη βέλτιστων θερμοκρασιακών επιπέδων είναι σημαντική για την αποτελεσματικότητα της διεργασίας της κομποστοποίησης (Finstain et al., 1986; Finstein and Morris, 1975) και συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη υψηλών ρυθμών βιοαποδόμησης κατά την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος (Miller, 1992). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το εύρος των βέλτιστων θερμοκρασιακών τιμών κατά το οποίο μεγιστοποιείται ο ρυθμός βιοαποδόμησης του οργανικού φορτίου κυμαίνεται από 43 έως 65°C (Πίνακας 2).

Εύρος θερμοκρασίας	Σχόλιο	Βιβλιογραφία
52 - 60°C	Μεγιστοποίηση της αποσύνθεσης	Bach et al. (1984),McKinley and Vestal (1984), MacGregor et al. (1981)
≤55°C	-	McKinley and Vestal (1984).
50 - 55°C	Ημικροβιακήδραστηριότηταπαρεμπο δίζεταιισευηλότεραθερμοκρασιακά επίπεδα	Diaz and Savage (2007a)
45 - 55°C	Μεγιστοποίηση του ρυθμού βιοαποδόμησης	Pagans et al. (2005), Stentiford (1996), De Bertoldi et al. (1983)
43 - 65°C	Αποδοτική κομποστοποίηση	EA (2001)
55 - 65°C	Αποδοτική λειτουργία της διεργασίας της κομποστοποίησης	Shammas and Wang (2007)

Πίνακας 2:Εύρος βέλτιστων θερμοκρασιακών τιμών (°C) στο οποίο παρατηρείται μεγιστοποίηση του ρυθμού διάσπασης της οργανικής ουσίας.

Επιπλέον, ανώτατα και κατώτερα θερμοκρασιακά όρια έχουν προσδιοριστεί εκτός των οποίων η ομαλή διεξαγωγή της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας αναστέλλεται. Σύμφωνα με τους Epstein (1997) και Miller (1992), όταν η μέγιστη θερμοκρασία στο υπόστρωμα είναι στους 60 έως 70°C, πολλοί θερμοφιλοί μικροοργανισμοί, απαραίτητοι για την ομαλή διεξαγωγή της διεργασίας της κομποστοποίησης, γίνονται λιγότερο ενεργοί και μειώνεται η μικροβιακή δράση. Σε ακόμα υψηλότερα επίπεδα (>70°C) οι Diaz and Savage (2007a), Mena et al. (2003), Fermor et al.(1989) και Finstein et al.(1986) αναφέρουν ότι οι μικροοργανισμοί καταστρέφονται ή αδρανοποιούνται. Ως κατώτερο θερμοκρασιακό όριο στο υπόστρωμα οι Mosher and Anderson (1977) έχουν θέσει τους 20°C κάτω από το οποίο επιβραδύνεται σημαντικά ή παύει η διεργασία της κομποστοποίησης.

II. Υγρασία

Η υγρασία είναι μια από τις βασικές παραμέτρους της κομποστοποίησης που επηρεάζει τις δράσεις των μικροοργανισμών, καθώς είναι το μέσο για τη μεταφορά των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για τις μεταβολικές και φυσικές τους δράσεις (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Η υγρασία είναι απαραίτητη για τη διεργασία της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της πραγματοποιείται στα λεπτά υγρά στρώματα πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων. Σύμφωνα με τους Margesin et al. (2006) και Liang et al. (2003) η υγρασία του υποστρώματος μπορεί να θεωρηθεί βασικότερος ρυθμιστικός παράγοντας της κομποστοποίησης από ότι η θερμοκρασία επειδή επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη δράση των μικροοργανισμών. Οι Gajalakshmi and Abbasi (2008), Stentiford (1996) και Καπετάνιος (1990), ορίζουν ως βέλτιστο εύρος της αρχικής περιεχόμενης υγρασίας στο υπόστρωμα τιμές μεταξύ 50% και 70%, πρέπει όμως να τονιστεί ότι το εύρος αυτό εξαρτάται από τη φύση του προς κομποστοποίηση υποστρώματος και πιο συγκεκριμένα από το πορώδες του υλικού (Nova Scotia, 2008; Diaz and Savage, 2007a; Manios, 2004; Μανιός, 1979).

Κατά τη εξέλιξη της κομποστοποίησης η αντιμετώπιση φαινομένων ξήρανσης του υποστρώματος περιλαμβάνει τεχνικές όπως (α) η προσθήκη νερού μέσω κατάλληλων συστημάτων ύγρυνσης του υποστρώματος και (β) η προσθήκη μερικώς επεξεργασμένου οργανικού υλικού το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλή υγρασία σε σύγκριση με το υπόστρωμα (Μιχαλόπουλος, 2010). Κατά την ενυδάτωση του υποστρώματος το παρεχόμενο νερό πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του υποστρώματος ούτως ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες ως προς τα επίπεδα υγρασίας. Στην περίπτωση κατά την οποία η οργανική ουσία εμφανίζει υψηλή περιεχόμενη υγρασία κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι τεχνικές μείωσης των επιπέδων υγρασίας περιλαμβάνουν (α) τη συνεχή ανάδευση του υποστρώματος προκειμένου να επιτευχθεί διάχυση του οξυγόνου σε όλα τα τμήματα της οργανικής μάζας και (β) την ανάμιξη του υποστρώματος με οργανική ουσία η οποία χαρακτηρίζεται είτε από χαμηλά επίπεδα υγρασίας είτε από υψηλό πορώδες (Μιχαλόπουλος, 2010).

III. Αερισμός – Παροχή οξυγόνου

Ο αερισμός και κατ' επέκταση η παροχή οξυγόνου αποτελεί αναγκαίο και αναπόσπαστο μέρος για την εύρυθμη διεξαγωγή της διεργασίας της κομποστοποίησης καθώς διασφαλίζει την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών μέσω των αναπνευστικών και μεταβολικών διεργασιών τους (Barrington et al., 2003). Ο αερισμός κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης επιτυγχάνεται με ανάδευση ή με παροχή αέρα μέσω εμφύσησης ή αναρρόφησης ή με συνδυασμό των παραπάνω τρόπων. Η απουσία οξυγόνου στην οργανική μάζα έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση αναγωγικών αντιδράσεων και ενδιάμεσων δύσοσμων προϊόντων (Diaz et al., 2002). Ο αερισμός επιτυγχάνει πολλαπλούς σκοπούς προκειμένου να διαμορφώσει αποδοτικότερες συνθήκες βιοαποδόμησης των οργανικών αποβλήτων όπως (α) η επαρκής παροχή οξυγόνου στο οργανικό προς κομποστοποίηση μίγμα, (β) ο έλεγχος της θερμοκρασίας του συστήματος και (γ) η απομάκρυνση και ο έλεγχος της υγρασίας καθώς και των αερίων εκπομπών (π.χ. CO₂). Επομένως, η θερμοκρασία, η υγρασία και ο αερισμός του υποστρώματος αποτελούν παραμέτρους που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα και κατ' επέκταση οι υψηλές θερμοκρασίες απαιτούν ορισμένο επίπεδο περιεχόμενης υγρασίας ώστε οι πόροι και τα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων του υποστρώματος να επαρκούν για τη διάχυση του αέρα μέσα από αυτά.

IV. pH

Η οξύτητα και η αλκαλικότητα του υποστρώματος (pH) είναι μια ακόμα σημαντική παράμετρος ελέγχου της διεργασίας της κομποστοποίησης. Το pH σχετίζεται με τα είδη των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται για την βιοαποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Σύμφωνα με τους Shammas and Wang (2007), Zorpas et al. (2003), Καπετάνιος (1990), και Golueke (1972), τιμές μεταξύ 6.0 και 7.5 ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων ενώ οι μύκητες προτιμούν περιβάλλον με τιμές pH μεταξύ 5.0 - 8.0. Κατά την έναρξη της βιοσταθεροποίησης έχει διαπιστωθεί ότι το pH μειώνεται λόγω της δράσης οξυγενούς βακτηριακής μικροχλωρίδας και της διάσπασης των άμεσα αποδομήσιμων οργανικών ενώσεων για το σχηματισμό οργανικών οξέων (π.χ. σάκχαρα, άμυλο και λιπαρά) ως ενδιάμεσο προϊόν του μικροβιακού μεταβολισμού (Kirchmann and Widen, 1994; Haug, 1993; Nakasaki et al., 1993; Poincelot, 1974). Σε ειδικές περιπτώσεις έχει αναφερθεί η προσθήκη ασβεστίου για τη ρύθμιση της οξύτητας στα αρχικά στάδια της διεργασίας (Γιδαράκος, 2007). Στη συνέχεια της κομποστοποίησης το pH αυξάνεται τόσο λόγω της κατανάλωσης των οργανικών οξέων από μύκητες ανθεκτικούς σε όξινο περιβάλλον, όσο και λόγω της παράλληλης παραγωγής αμμωνιακών λόγω της βιοαποδόμησης του οργανικού αζώτου (Finstein and Morris, 1975). Οι παραπάνω δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση αλκαλικών συνθηκών στο υπόστρωμα ευνοώντας τις απώλειες αζώτου υπό μορφή αμμωνίας.

Τιμές του pH μεγαλύτερες του 8.5 επιτρέπουν την περαιτέρω μετατροπή των αζωτούχων ενώσεων σε αμμωνιακά γεγονός που συμβάλλει περισσότερο στην αλκαλικότητα του υποστρώματος και των εκπομπών αμμωνίας στην ατμόσφαιρα (EA, 2001). Για τη ρύθμιση του αλκαλικού περιβάλλοντος έχει αναφερθεί η χρήση όξινων πρόσθετων αλάτων (π.χ. FeSO_4) αλλά σύμφωνα με τους Pagans (2006) η ρύθμιση αυτή στην πράξη παρουσιάζει δυσκολίες. Με το πέρας των μέγιστων θερμοκρασιών στο υπόστρωμα παρουσιάζεται σταδιακή μείωση του pH η οποία εκδηλώνεται, σύμφωνα με τους Pagans et al. (2005) και Mena et al. (2003), λόγω της δράσης νιτροποιητικών μικροοργανισμών για τη μετατροπή αμμωνιακών σε νιτρικά (διεργασία της νιτροποίησης) αλλά και της πτητικότητας της αμμωνίας. Ανεξάρτητα από το αρχικό pH του οργανικού μίγματος κατά την EA (2001) το τελικό παραγόμενο υλικό πρέπει να παρουσιάζει σταθερό pH προς ουδέτερες τιμές.

V. Θρεπτικά συστατικά

Οι μικροοργανισμοί υπεύθυνοι για την εξέλιξη της αερόβιας βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας απαιτούν συγκεκριμένα θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη της και για τις μεταβολικές τους διεργασίες. Στα στοιχεία αυτά περιλαμβάνονται ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Η πλειοψηφία των οργανικών αποβλήτων εμπεριέχουν επαρκείς ποσότητες σε θρεπτικά με τον άνθρακα και το άζωτο να αποτελούν τα στοιχεία τα οποία δύναται να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη διεξαγωγή της διεργασίας της κομποστοποίησης με την περίσσεια ή την ανεπάρκεια τους στο υπόστρωμα (EA, 2001).

Ο άνθρακας είναι το στοιχείο το οποίο καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις των μικροοργανισμών, υπεύθυνων για την εξέλιξη της διεργασίας, αλλά ταυτόχρονα ένα μέρος του καθίσταται ως βασικό δομικό συστατικό τους. Το άζωτο αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των αμινοξέων, των ενζύμων και των συνενζύμων που είναι απαραίτητα για τη μικροβιακή ανάπτυξη των κυττάρων αποτελώντας το 50% της ξηρής τους μάζας (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Επομένως, η θρεπτική ισορροπία στο υλικό τροφοδοσίας μπορεί να προσδιοριστεί κυρίως με το λόγο του άνθρακα προς το άζωτο (C/N) όπως επισημαίνεται από τους Bernal et al. (2009), εκφράζοντας ουσιαστικά την αναλογία των ατόμων άνθρακα προς τα άτομα αζώτου στο πρότυπο μόριο του αποβλήτου. Η σχέση C/N για τους μικροοργανισμούς έχει αναφερθεί ότι κυμαίνεται μεταξύ 9 έως 12 (Zucconi and de Bertoldi, 1987) ενώ σύμφωνα με τον Alexander(1977) οι μικροοργανισμοί κατά την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων αφομοιώνουν το 1/3 περίπου του μεταβολιζόμενου άνθρακα ενώ το υπόλοιπο απελευθερώνεται ως CO₂. Συνεπώς, προκύπτει ότι η θεωρητικά βέλτιστη αναλογία C/N στο αρχικό υπόστρωμα είναι μεταξύ 27 έως 36. Πράγματι, οι τιμές που αναφέρονται ως βέλτιστες από διάφορους ερευνητές είναι μεταξύ 25 και 35 μέρη άνθρακα για κάθε μέρος αζώτου (Gaur, 2000; Golueke, 1992; Bishop and Godfrey, 1983). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι σε υψηλές τιμές λόγου C/N στο υπόστρωμα (C/N>35), απαιτούνται διαδοχικοί βιοχημικοί κύκλοι για την οξείδωση της περίσσειας του άνθρακα, έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητικός λόγος C/N για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών (Bernal et al., 1998c; Verdonck, 1988). Αντίθετα, αν οι αρχικές τιμές του λόγου C/N είναι χαμηλές (C/N<10) διαμορφώνονται συνθήκες περίσσειας αζώτου με αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών του, κυρίως υπό μορφή αμμωνίας, ειδικά όταν συντρέχουν ευνοϊκά και άλλες παράμετροι όπως υψηλές τιμές pH και θερμοκρασίας (Pagansetal., 2005; ;). Η μεταβολή του λόγου C/N κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης εξαρτάται από την εξέλιξη του άνθρακα, του αζώτου και των ανόργανων μορφών του (π.χ. NO₃⁻, NH₄⁺) κατά τη διάσπαση τη οργανικής ουσίας του υποστρώματος.

Επομένως, η αναλογία C/N διαμορφώνεται από:

- ✓ το ρυθμό κατανάλωσης του άνθρακα και του αζώτου κατά τη διάσπαση των οργανικών μακρομορίων του υποστρώματος,
- ✓ το βαθμό απωλειών άνθρακα κατά τις βιοξειδωτικές αντιδράσεις, υπό μορφή αερίων εκπομπών (π.χ. CO₂) και
- ✓ το βαθμό απωλειών αζώτου που προκύπτουν λόγω της πτητικότητας της αμμωνίας, των διεργασιών της *απονιτροποίησης αλλά και της εκχύλισης μέσω των στραγγισμάτων.*

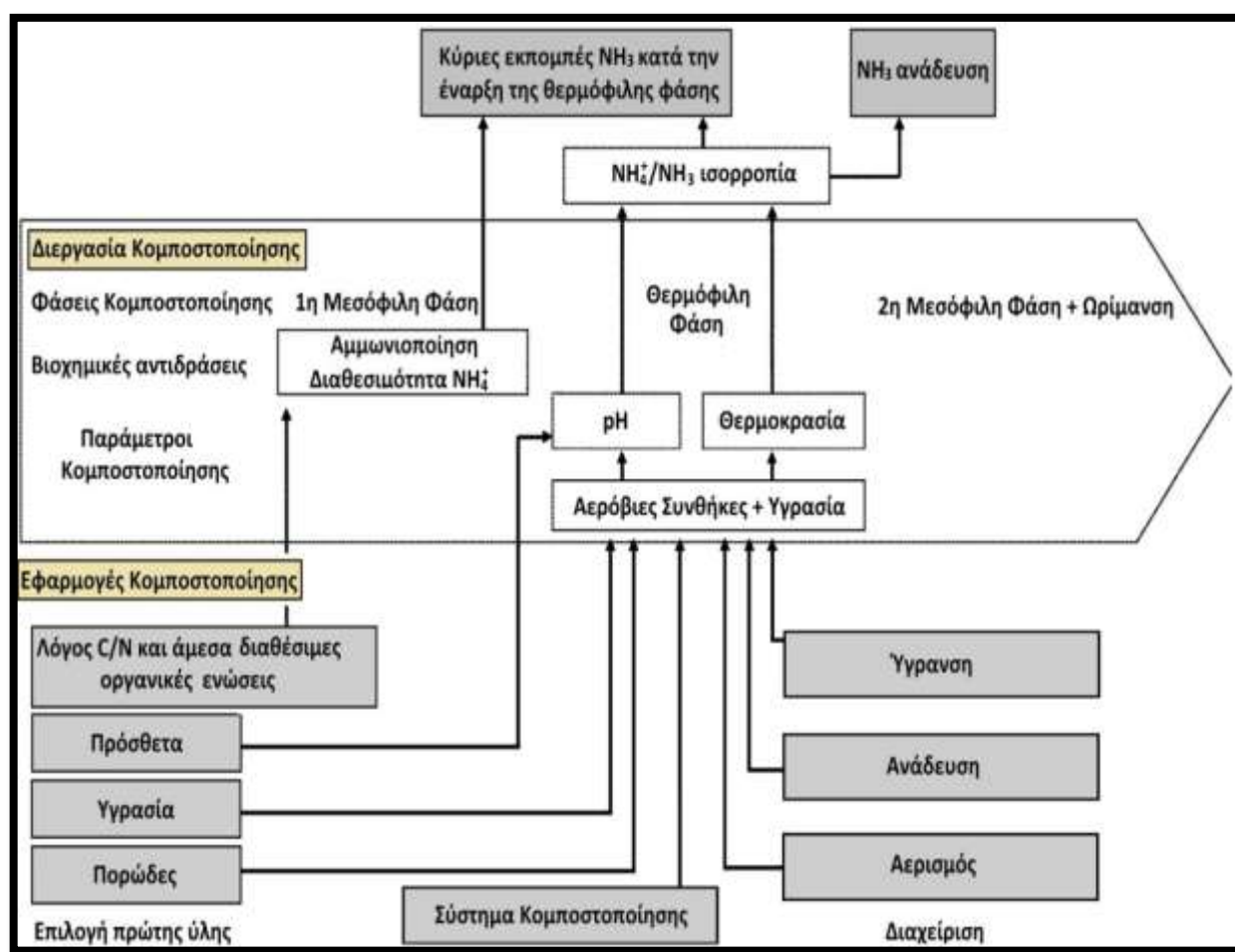
Άνθρακας

Κατά τη θερμόφιλη φάση της διεργασίας της κομποστοποίησης η περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα μειώνεται σημαντικά λόγω της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας από τους μικροοργανισμούς. Στη διάρκεια αυτής της φάσης, ασταθείς οργανικές ενώσεις όπως απλοί υδατάνθρακες, λίπη και αμινοξέα διασπώνται άμεσα ενώ πιο ανθεκτικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη διασπώνται μερικώς με μικρότερους ρυθμούς. Καθώς η διεργασία εξελίσσεται ο ρυθμός βιοαποδόμησης του άνθρακα μειώνεται σταδιακά λόγω της ελάττωσης των διαθέσιμων προς άμεση κατανάλωση οργανικών ενώσεων αλλά και λόγω της έναρξης των διεργασιών χουμοποίησης, δηλαδή τη δημιουργία νέων σύνθετων πολυμερικών οργανικών ενώσεων οι οποίες επικρατούν κυρίως κατά το στάδιο ωρίμανσης του υποστρώματος. Η βιοαποδόμηση του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ρυθμίζεται από τη σύσταση και το είδος της οργανικής ουσίας η οποία εκφράζεται με βάση το βαθμό βιοαποδόμησής της (Haug, 1993), ιδιότητα η οποία επηρεάζει το ρυθμό διάσπασης, την έκλυση αερίων εκπομπών, τη διάρκεια της διεργασίας και την απαίτηση σε οξυγόνο. Επομένως, η κομποστοποίηση περιλαμβάνει τη μερική μετατροπή της οργανικής ουσίας σε ανόργανα συστατικά (π.χ. CO₂) οδηγώντας σε απώλειες άνθρακα καθόλη τη διάρκεια της διεργασίας οι οποίες αντισταθμίζονται με τη συνεπακόλουθη αύξηση του βαθμού σταθεροποίησης των εναπομεινάντων οργανικών ενώσεων (Bernal et al., 2009).

Άζωτο

Το άζωτο υπόκειται σε πληθώρα οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων κατά τη διεργασία την κομποστοποίησης με συνεπακόλουθη διαμόρφωση ενώσεων με εύρος αριθμών οξείδωσης που κυμαίνεται από +5 (για τα NO₃⁻) έως -3 (για την NH₃) (Bothe et al., 2007). Αυτές οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (Εικόνα 10) πραγματοποιούνται με διαφορετικούς τρόπους και από διαφορετικούς μικροοργανισμούς, το σύνολό των οποίων αποτελούν το βιοχημικό κύκλο του αζώτου. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μέρος του οργανικού αζώτου του υποστρώματος μετατρέπεται σε ανόργανες μορφές του (ανοργανοποίηση) με πρώτο στάδιο τη διεργασία της

αμμωνιοποίησης και την παραγωγή αμμωνιακών (Tiquia and Tam, 2000). Τα αμμωνιακά μετέπειτα είτε απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ως αμμωνία λόγω της πτητικότητάς της, είτε οξειδώνονται, υπό την παρουσία περίσσειας οξυγόνου, σε νιτρικά μέσω της διεργασίας της νιτροποίησης (Bernal et al., 2009). Η ανοργανοποίηση του αζώτου συντελείται παράλληλα με την ακινητοποίησή του (τη μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικό) κατά την οποία οι μικροοργανισμοί του υποστρώματος αφομοιώνουν τις ανόργανες μορφές του για τις βιολογικές τους λειτουργίες (Kokkora, 2008). Η ισορροπία μεταξύ ανοργανοποίησης και ακινητοποίησης του αζώτου εξαρτάται από την περιεκτικότητά του στο υπόστρωμα και κατ' επέκταση από το λόγο C/N. Συνθήκες κατά τις οποίες επικρατούν υψηλοί λόγοι C/N υπερισχύει η διεργασία της ακινητοποίησης λόγω ανεπάρκειας αζώτου (περίσσεια άνθρακα) ενώ σε χαμηλού λόγους C/N υπερισχύει η ανοργανοποίηση λόγω της περίσσειας αζώτου (ανεπάρκεια άνθρακα) (Kokkora, 2008).



Εικόνα 10: Απώλειες αμμωνίας κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης (Reigné and Girardin, 2004)

3.1.2.4 Σύσταση Compost

Κατά το πέρας των διεργασιών, η μάζα του παραγόμενου προϊόντος είναι κατά σημαντικό ποσοστό μικρότερη συγκριτικά με την αρχική μάζα του τροφοδοτούμενου αποβλήτου. Το κύριο αίτιο αυτής της μείωσης είναι η παραγωγή αέριων προϊόντων κατά τη διάσπαση των οργανικών μακρομορίων.

Η χημική σύσταση του compost αποτελείται κυρίως από δυσδιάσπαστες οργανικές ενώσεις, υγρασία, τέφρα (ανόργανες ενώσεις) και μικρές ποσότητες βιοαποδομήσιμων ενώσεων που δεν καταναλώθηκαν από τους μικροβιακούς πληθυσμούς (Brinton, 2000). Συγκεκριμένα, τα βασικά συστατικά που συνθέτουν την ξηρή μάζα του compost, περιλαμβάνουν (Nova Scotia FinalReport, 2001):

- ✓ Βιομάζα θανόντων μικροοργανισμών,
Νεοσχηματισμένο ΟΥ που περιλαμβάνει:
- ✓ Κολλοειδείς,
- ✓ Προχουμικές
- ✓ Χουμικές ενώσεις,
- ✓ Υπολειμματική δυσδιάσπαστη οργανική ουσία
- ✓ Τέφρα (ανόργανες ουσίες).

Η ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ και η δυνατότητα διάθεσής του είναι καθοριστικές τόσο για την επιτυχία μιας μονάδας ή ενός συστήματος κομποστοποίησης, όσο και για την αποδοχή και εξέλιξη της μεθόδου της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας στο πλαίσιο της ορθολογικής και βιώσιμης διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων. Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ βασίζεται στον προσδιορισμό του βαθμού ωρίμανσης και σταθεροποίησής του. Ο όρος ωρίμανση συσχετίζεται με την ανάπτυξη των φυτών ή με την φυτοτοξικότητα (Iannotti et al., 1993), ενώ ο όρος σταθεροποίηση συνήθως αναφέρεται στη μικροβιακή δραστηριότητα που παρατηρείται στο κόμποστ.

Ενδεικτικοί παράμετροι ελέγχου της ποιότητας του κόμποστ στη χημική επεξεργασία είναι: με βάση τα θρεπτικά συστατικά (αναλογία C/N, Άζωτο NH_4^+ , NO_3^- , λόγος $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$), βάση της ποιότητας οργανικής ουσίας: η σύνθεση οργανικών όπως λιγνίτη, σύνθετοι υδατάνθρακες, λιπίδια κ.α. Στον ακόλουθο Πίνακα 3 αναφέρονται οι φυσικοί, χημικοί και βιολογικοί παράμετροι για την ποιότητα του κόμποστ με τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τους.

Κατηγορία	Κριτήριο	Παράμετροι ελέγχου
Φυσικές	Χρώμα	Χρωματισμός
	Οσμή	Έκλυση και ένταση δυσάρεστων οσμών
	Θερμοκρασία	Σταθεροποίηση της θερμοκρασίας
	Υγρασία	Περιεκτικότητα υγρασίας
	Συγκράτηση νερού	Προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας
	Αδρανή ύλη	Περιεκτικότητα σε αδρανή υλικά
Χημικές	Μέγεθος σωματιδίων Θρεπτικά συστατικά	Κοκκομετρία Αναλογία C/N, ζώοιο (NH_4^+ , NO_3^- , Λόγος $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$)
	Ποιότητα οργανικής ουσίας	Σύνθεση οργανικών: λιγνίνη, κυτταρίνη, σύνθετοι υδατάνθρακες, λιπίδια, σάκχαρα κ.α.
	Χουμοποίηση	Χαρακτηρισμός χουμικών ενώσεων (π.χ. κατανομή MB), Δείκτες χουμοποίησης (C-HA/C-FA, E ₄ /E ₆ κ.α.) ⁽¹⁾
	Ρυπαντές	Βαρέα μέταλλα και επίμονες οργανικές ενώσεις
	Υδατοδιαλυτότητα εκχυλίσματος	pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα κ.α.
Βιολογικές	Παθογόνοι μικροοργανισμοί	Συνθήκες θερμοκρασίας -χρόνου προσδιορισμός συγκέντρωσης παθογόνων
	Μικροβιολογική δραστηριότητα	Αναπνευστικές παράμετροι (π.χ. πρόσληψη O ₂ , κατανάλωση O ₂ , παραγωγή CO ₂ , έλεγχος αυτοθέρμανσης), Ενζυμική δραστηριότητα, Περιεχόμενο ATP ⁽²⁾ , Μικροβιακή βιομάζα, Δυναμική αζώτου (διεργασίες ανοργανοποίησης- ακινητοποίησης)
	Φυτοτοξικότητα	Βλαστικότητα και έλεγχος ανάπτυξης φυτών

Πίνακας 3:Ενδεικτικές παράμετροι ελέγχου της ποιότητας του κόμποστ

3.1.2.5 Μικροβιολογία αερόβιας αποδόμησης

Η αποδόμηση του ΟΥ (Οργανικού Υλικού) πραγματοποιείται κυρίως από τη δράση μικροοργανισμών και δευτερευόντως από αποδομητές μεγαλύτερου μεγέθους. Οι τρεις βασικές ομάδες μικροοργανισμών αφορούν σε βακτήρια, μύκητες και ακτινομύκητες, ενώ αποδομητές

μεγαλύτερου μεγέθους, όπως έντομα ή γαιοσκώληκες, απαντώνται μόνο κατά τα τελικά στάδια των ΔΑΑ (ψυχρόφιλη φάση, σταθεροποίηση, ωρίμανση).

Η ακριβής γνώση του είδους, των χαρακτηριστικών και των λειτουργιών των οργανισμών που αναπτύσσονται και δρουν κατά τις επιμέρους διεργασίες βιοαποδόμησης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα βελτιστοποίησης ως προς την απόδοση των αντίστοιχων συστημάτων σε οποιαδήποτε κλίμακα.

3.1.2.6 Κινητική μικροβιακής ανάπτυξης

Εάν σε θρεπτικό υπόστρωμα, που αποτελείται από κατάλληλο μίγμα ουσιών και βρίσκεται σε κατάλληλες περιοχές θερμοκρασίας και pH, προστεθούν μικροβιακά κύτταρα, τότε παρατηρείται αύξηση του αριθμού των κυττάρων σε συνάρτηση με το χρόνο.

✓ Λανθάνουσα φάση

Στη φάση αυτή, που είναι η αρχική υπάρχει καθυστέρηση στην ανάπτυξη. Αυτό οφείλεται στην προσαρμογή των κυττάρων στο νέο περιβάλλον με σκοπό να χρησιμοποιήσουν τις περιεχόμενες θρεπτικές ουσίες για τον καταβολισμό και τη βιοσύνθεση των απαραίτητων συστατικών. Προς το τέλος της φάσης παρατηρείται μια μεταβατική φάση κατά τη διάρκεια της οποίας ορισμένος αριθμός κυττάρων αρχίζει να αναπτύσσει τους ενζυμικούς μεταβολικούς μηχανισμούς καταναλίσκοντας υπόστρωμα και παρουσιάζοντας μικρή ανάπτυξη.

✓ Εκθετική φάση

Η φάση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί και λογαριθμική. Τότε όλα τα κύτταρα αναπτύσσονται με σταθερούς ρυθμούς με αποτέλεσμα την εκθετική αύξηση του πληθυσμού. Στη φάση αυτή ισχύει η σχέση:

$$\frac{dN}{dt} = N \cdot \mu$$

N: αριθμός κυττάρων

μ: ειδικός ρυθμός ανάπτυξης (h^{-1})

Η κινητική πρώτης τάξης αποτελεί την πλέον διαδεδομένη και ευρύτερα χρησιμοποιημένη από την επιστημονική κοινότητα μεθοδολογική προσέγγιση για την περιγραφή της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης του οργανικού υλικού (Baptista et al., 2010). Ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της μάζας της βιοαποδομήσιμης ουσίας εξαρτάται από την αρχική ποσότητά της και από το ρυθμό βιοξείδωσής της. Ο εν λόγω ρυθμός μεταβολής εκφράζεται από την Εξίσωση (3.1).

$$\frac{d(\text{BOM})}{dt} = -k_d(\text{BOM}) \quad \text{Εξίσωση (3.1)}$$

Όπου:

BOM: Βιοαποδομήσιμη οργανική ουσία (kg)

k_d : Ρυθμός βιοαποδόμησης πρώτης τάξης της οργανικής ουσίας (d^{-1})

t: Χρόνος (d)

Ολοκληρώνοντας την Εξίσωση (6.2) και θεωρώντας $\text{BOM}_t = \text{BOM}_0$ όταν $t=0$, προκύπτει:

$$\text{BOM}_t = \text{BOM}_0 e^{-k_d t} \quad \text{Εξίσωση (3.2)}$$

Επομένως, κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας της κομποστοποίησης η βιοαποδομήσιμη οργανική ουσία μειώνεται εκθετικά με ρυθμό που καθορίζεται από το $k_d^{(1)}$. Η ποσοστιαία απομάκρυνση της βιοαποδομήσιμης οργανικής ουσίας ($\text{BOM}_{\text{loss}(t)}$) ως προς την περιεκτικότητα της αρχικής οργανικής ουσίας (OM) μπορεί να εκφραστεί από την Εξίσωση (3.3):

$$\text{BOM}_{\text{loss}(t)} = \text{BOM}_0 (1 - e^{-k_d t}) \quad \text{Εξίσωση (3.3)}$$

Όπου:

$\text{BOM}_{\text{loss}(t)}$: Το ποσοστό απομάκρυνσης της βιοαποδομήσιμης οργανικής ουσίας τη χρονική στιγμή t, εκφρασμένο ως ποσοστό της αρχικής οργανικής ουσίας (% OM)

BOM_0 : Το συνολικό ποσοστό βιοαποδομήσιμης οργανικής ουσίας στο αρχικό υπόστρωμα ($t=0$) το οποίο δύναται να οξειδωθεί, εκφρασμένο ως ποσοστό της αρχικής οργανικής ουσίας (% OM)

Ο ρυθμός βιοαποδόμησης k_d , αποτελεί το μέτρο της συνολικής απόδοσης της υπό εξέταση διεργασίας. Επομένως, το k_d εξαρτάται από το σχεδιασμό του συστήματος κομποστοποίησης, τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος, τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος καθώς και από οποιαδήποτε άλλη παράμετρο η οποία δύναται να επηρεάσει τη συνολική απόδοση της κομποστοποίησης (Bartista et al., 2010). Σημαντικός αριθμός προτύπων προσομοίωσης κινητικών αντιδράσεων της κομποστοποίησης έχει δημοσιευθεί αναφορικά με την επίδραση των κρίσιμων παραμέτρων στο ρυθμό διάσπασης της βιοαποδομήσιμης οργανικής ουσίας κατά την

⁽¹⁾ Θεωρητικά για k_d σταθερό, ο ρυθμός μεταβολής της μάζας της βιοαποδομήσιμης οργανικής ουσίας υπολογίζεται από τη Εξίσωση (3.2). Στην πράξη όμως το k_d μεταβάλλεται χρονικά καθότι ο ρυθμός βιοαποδόμησης εξαρτάται από πληθώρα παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία)

κομποστοποίηση (Bartistaetal., 2010; ; Cathcart et al., 1986; Whang and Meenaghan, 1980; Jeris and Regan, 1973a; JerisandRegan, 1973b; ;). Η επίδραση των παραμέτρων αυτών στην κομποστοποίηση θεωρείται ότι διέπεται από πολλαπλασιαστική δομή σύμφωνα με την Εξίσωση (3.4) (Mason, 2007; Hamelers, 2004).

$$k_d(x_1, x_2, \dots, x_n) = k_{max} \cdot F_1(x_1) \cdot F_2(x_2) \dots F_n(x_n) \quad \text{Εξίσωση (3.4)}$$

Όπου:

k_{max} : Μέγιστος ρυθμός βιοαποδόμησης (d^{-1})

x : Κρίσιμη παράμετρος η οποία επιδρά στη διεργασία της κομποστοποίησης

n : Αριθμός των κρίσιμων παραμέτρων που επιδρούν στη διεργασία της κομποστοποίησης

$F(x)$: Συντελεστές διόρθωσης της επίδρασης της εκάστοτε κρίσιμης παραμέτρου στη διεργασία της κομποστοποίησης (τιμές 0-1)

Από την Εξίσωση (3.4) μπορεί να διαπιστωθεί ότι σε ιδανικές συνθήκες (όταν οι παράμετροι δεν αποτελούν περιοριστικό παράγοντα στη διεργασία της κομποστοποίησης), οι συντελεστές διόρθωσης, $F(x)$, οι οποίες περιγράφουν την επίδραση των κρίσιμων παραμέτρων στο ρυθμό βιοαποδόμησης του υποστρώματος, λαμβάνουν τιμή ίση με 1 ενώ ο ρυθμός βιοαποδόμησης k_d λαμβάνει τη μέγιστη τιμή ίση με k_{max} . Επομένως, το k_{max} είναι χαρακτηριστικό του συστήματος κομποστοποίησης σε βέλτιστες λειτουργικές συνθήκες και ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Οι εν λόγω κρίσιμες παράμετροι κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν την εξέλιξη της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της περιεκτικότητας σε οξυγόνο, του πορώδους, του pH και της αναλογίας C/N κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας. Οι κρίσιμες αυτές παράμετροι και κατ' επέκταση οι διορθωτικοί συντελεστές που τις περιγράφουν, διαφέρουν ως προς το επίπεδο της σημαντικότητάς τους και επομένως στο βαθμό επίδρασης τους στις διεργασίες της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας. Οι πλέον κρίσιμες παράμετροι οι οποίες απαντώνται στα περισσότερα πρότυπα προσομοίωσης των αντιδράσεων βιοξείδωσης της οργανικής ουσίας είναι η θερμοκρασία και η υγρασία ενώ σε μικρότερο βαθμό λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και του πορώδους του υποστρώματος. Η επίδραση των μεταβολών του pH και του λόγου C/N στο ρυθμό βιοξείδωσης απαντάται σπάνια στα πρότυπα προσομοίωσης καθώς η διακύμανση των μεγεθών αυτών κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας είναι απόρροια μεταβολών άλλων παραμέτρων (Μιχαλόπουλος, 2010). Σύμφωνα με τα παραπάνω ο ρυθμός βιοαποδόμησης, k_d , προσδιορίζεται από το γινόμενο του μέγιστου ρυθμού βιοαποδόμησης, k_{max} , και των διορθωτικών συντελεστών, $F(x)$ (Εξίσωση 3.5), εκφράζοντας τη συνδυαστική επίδραση των

πλέον κρίσιμων παραμέτρων της διεργασίας ($F(TOT)$), στο μέγιστο ρυθμό βιοξείδωσης του οργανικού υποστρώματος σε κάθε χρονική στιγμή της διεργασίας.

$$k_d = k_{max} \cdot F(T) \cdot F(MC) \cdot F(O_2) \cdot F(FAS) = k_{max} \cdot F(TOT) \quad \text{Εξίσωση (3.5)}$$

Όπου:

$F(T)$: Διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία (τιμές 0-1)

$F(MC)$: Διορθωτικός συντελεστής για την περιεχόμενη υγρασία (τιμές 0-1)

$F(O_2)$: Διορθωτικός συντελεστής για τη συγκέντρωση του οξυγόνου (τιμές 0-1)

$F(FAS)$: Διορθωτικός συντελεστής για το πορώδες (τιμές 0-1)

$F(TOT)$: Συνδυασμένη επίδραση των επιλεγμένων διορθωτικών συντελεστών η οποία εκφράζεται ως το γινόμενο των επιμέρους διορθωτικών συντελεστών (τιμές 0-1).

3.1.2.7 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία της κομποστοποίησης

Το κόμποστ κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται ως υψηλής ποιότητας λίπασμα στον τομέα της γεωργίας. Η πρακτική αυτή περιορίζει τη χρήση λιπασμάτων και είναι επικίνδυνα για το έδαφος. Οι αρνητικές επιπτώσεις της κομποστοποίησης συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων: αέρια του θερμοκηπίου (GHG), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και οσμές. Προκειμένου η διεργασία της κομποστοποίησης να είναι αποτελεσματική αυτά τα αέρια πρέπει να ελέγχονται. Οι κύριες αρνητικές συνέπειες για το έδαφος και τα ύδατα οφείλονται στην εναπόθεση αλάτων και βαρέων μετάλλων.

I. Ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι πτητικές οργανικές ενώσεις, CO_2 , CH_4 , NH_3 και H_2S (Reigne&Girardin 2004). Οι ρύποι αυτοί έχουν πολύ σημαντικό κόστος στο περιβάλλον και τείνουν να υποβαθμίσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας, προκαλώντας σοβαρές περιβαλλοντικές αλλαγές. Οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, τον εξαερισμό και τη βιολογική δραστηριότητα του κόμποστ. Τα αέρια του θερμοκηπίου (CO_2 και CH_4) παγιδεύουν τη θερμική ενέργεια που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και συνεπώς αυξάνεται η παγκόσμια

θερμοκρασία της Γης. Η συμβολή της κομποστοποίησης στην υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, π.χ. θερμική επεξεργασία. Εκτός από το τελευταίο, το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διεργασία είναι για σύντομο κύκλο όσο τα βιογενή υλικά διασπώνται. (Tsiliyannis., 1999).

II. Υδατική ρύπανση

Οι κύριοι ρύποι των υδάτων προκαλούνται από την έκπλυση του εδάφους κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης. Επομένως, η μόλυνση των υδάτινων συστημάτων περιλαμβάνει βαρέα μέταλλα, διάφορες οργανικές ενώσεις, π.χ. φαινόλες, PAHs, PCBs, κλπ. Και τα άλατα, π.χ. NO_3NH_4^+ (Reigne & Girardin, 2004).

III. Εδαφική ρύπανση

Η εδαφική ρύπανση οφείλεται κυρίως στην προσθήκη αλάτων, βαρέων μετάλλων και διαφόρων οργανικών ενώσεων. Το έδαφος αλλάζει και γίνεται τοξικό για τα φυτά, ενώ τα βαρέα μέταλλα: όπως π.χ. μόλυβδος (Pb), ψευδάργυρος (Zn) και χαλκός (Cu) γίνονται μέρος της τροφικής αλυσίδας και οδηγούν σε τοξικές καλλιέργειες. Εάν η βιοδιαθεσιμότητα είναι υψηλή, οι ενώσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση σε όλη την τροφική αλυσίδα (United Nations Environment Programme, 2010).

3.2 Αναερόβια Χώνευση

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια διεργασία η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου. Ειδικότερα στις βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες, τα βιοαπόβλητα κήπου και τροφών παράγουν το 40% του βιοαερίου, το οποίο με τη σειρά του χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω τουρμπίνας ατμού. Η μέθοδος εφαρμόζεται και σε οικιακό επίπεδο. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της χρήσης της δεν έχουν έλθει ακόμα σε ικανοποιητικά επίπεδα λόγω της πολυπλοκότητας της διεργασίας.

Σε γενικές γραμμές, η αναερόβια διεργασία απαιτεί προεπεξεργασία του υποστρώματος προκειμένου να πραγματοποιηθεί αποδοτικά. Η προεπεξεργασία είναι σημαντική για την αφαίρεση των μη χωνεύσιμων υλικών (γυαλί, μέταλλα, πέτρες, κλπ.) και τον τεμαχισμό των υπολοίπων, ώστε η διεργασία να πραγματοποιηθεί σωστά. Για το λόγο αυτό το αρχικό υπόστρωμα προέρχεται από διαλογή στην πηγή ή μέσω μηχανικής διαλογής. Ωστόσο, το τελικό προϊόν έχει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά από το αρχικό στην περίπτωση διαλογής των ΒΑ στην πηγή (Verma. S, 2002).

3.2.1 Περιγραφή της διεργασίας

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη διασπάται σε απλούστερα χημικά συστατικά, χωρίς είσοδο οξυγόνου αποφεύγοντας έτσι την οξείδωσή της. Η υποβάθμιση της οργανικής ύλης περιλαμβάνει μεθανογενή βακτήρια, τα οποία λειτουργούν σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και pH. Η αναερόβια χώνευση παράγει σημαντικές εκπομπές αερίων, όπως το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) (Πίνακας 4). Κατά τη διάρκεια της διεργασίας, δύναται να συλλεχθεί μεθάνιο (CH_4) προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάκτηση ενέργειας (Poliafico M, 2007).

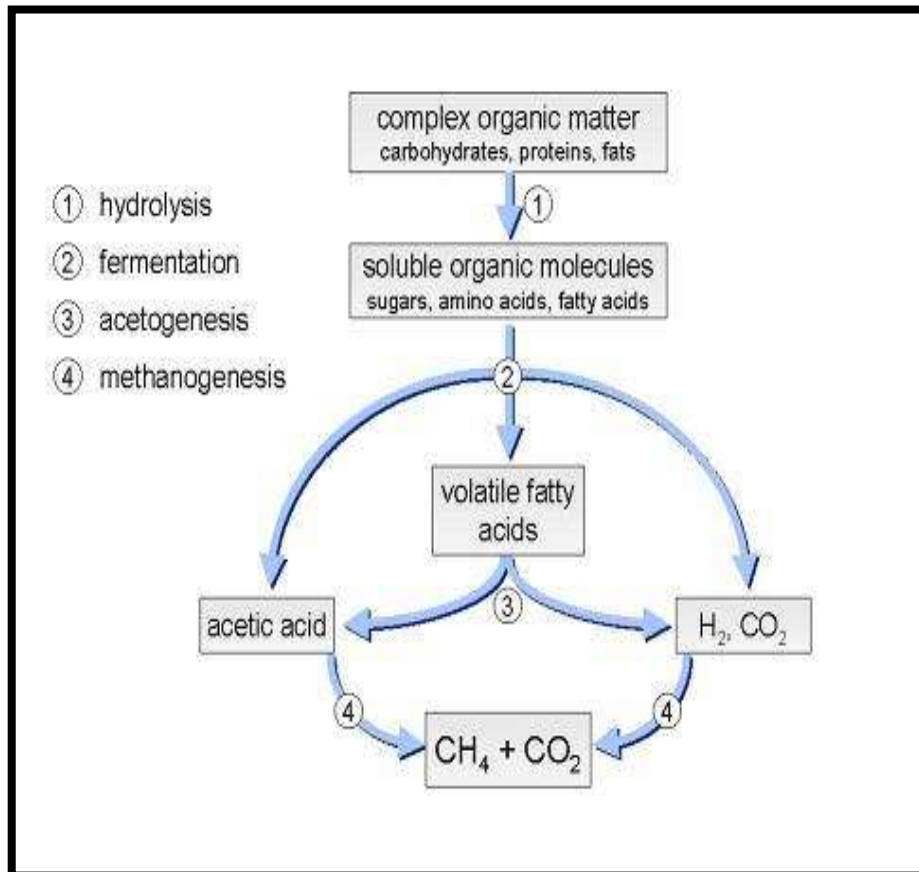
Τυπική Σύσταση Βιοαερίου	
Μεθάνιο (CH_4)	50-70%
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)	25-50%
Υδρογόνο (H_2)	5-10%
Νιτρικά (N_2)	1-2%
Υδρόθειο (H_2S)	Ίχνη

Πίνακας 4: Σύσταση βιοαερίου

Η αναερόβια χώνευση μπορεί να διαχειριστεί ένα ευρύ φάσμα οργανικών απορριμμάτων. Η χώνευση των σύμμεικτων αποβλήτων καθιστά σχεδόν αδύνατη τη χρήση του προϊόντος ζύμωσης (Vestal) ως εδαφοβελτιωτικό. Αντίθετα, βιολογικά απόβλητα από κουζίνες, εστιατόρια και ξενοδοχεία, λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία αποτελούν, κατάλληλα υποστρώματα για την πραγματοποίηση της διεργασίας.

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία από τις παλαιότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αποβλήτων. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, έχουν προωθηθεί κυρίως γεωργικοί αντιδραστήρες μικρής κλίμακας παραγωγής βιοαερίου. Ειδικότερα στην Κίνα και την Ινδία λειτουργούν για την επεξεργασία αποβλήτων και την παραγωγή φυσικού αερίου. Τα οργανικά απορρίμματα μπορούν να μετατραπούν μέσω της αναερόβιας χώνευσης σε βιοαέριο του οποίου κύριο συστατικό είναι το μεθάνιο. Σήμερα το ενδιαφέρον για το βιοαέριο ως ανανεώσιμη ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διάδοση εγκαταστάσεων βιοαερίου.

Η αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται από ένα σύνολο μικροοργανισμών που λειτουργούν μαζί. Τα τέσσερα βήματα της διεργασίας είναι: υδρόλυση, ενδογένεση, αυτογένεση και μονογένεση (Εικόνα 11):



Εικόνα 11. Βιοχημικά στάδια αναερόβιας χώνευσης
(University of Iowa., 2009)

Η Υδρόλυση είναι το πρώτο βήμα της αναερόβιας χώνευσης κατά το οποίο τα αδιάλυτα σύνθετα μόρια, όπως οι υδατάνθρακες και τα λίπη με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια μετατρέπονται σε σάκχαρα, λιπαρά οξέα και αμινοξέα.

Κατά την Οξυδογένεση, ζυμωτικά βακτήρια μετατρέπουν τα σάκχαρα και άλλες μονομερείς ενώσεις από την υδρόλυση σε οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), υδρογόνο (H₂) και αμμωνία (NH₃).

Η ακετογένεση αποτελεί το τρίτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Τα προϊόντα από την οξυδογένεση (οργανικά οξέα, αλκοόλες) μετατρέπονται σε υδρογόνο (H₂), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και οξικό οξύ (CH₃COOH). Για την παραγωγή οξικού οξέος, οξεογενικά βακτηρίδια χρειάζονται οξυγόνο και άνθρακα (GTZ , 2009).

Η μεθανογένεση είναι το τέταρτο και τελικό στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Μεθανογενή βακτηρίδια (μεθανογόνα), τα οποία είναι αυστηρώς αναερόβια, μετατρέπουν το οξικό οξύ, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο σε ένα μίγμα μεθανίου (CH₄, 50-75%), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂, 25-50%) και ποσότητες αζώτου, υδρόθειου και άλλα στοιχεία. Αυτό το μείγμα ονομάζεται βιοαέριο (PIPOLI T, 2005).

Τρία είναι τα είδη των μικροοργανισμών που εμπλέκονται στην αναερόβια μετατροπή οργανικών υποστρωμάτων σε μεθάνιο (Εικόνα 12).

- ✓ Τα υδρολυτικά και οξυγενή βακτήρια, που μετατρέπουν τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις σε πτητικά οξέα, αλκοόλες και διοξείδιο του άνθρακα.
- ✓ Τα οξικογενή βακτήρια, που μετατρέπουν τα προϊόντα των υδρολυτικών μικροοργανισμών σε υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ.
- ✓ Οι μεθανογενείς μικροοργανισμοί που μετατρέπουν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα ή το οξικό οξύ σε μεθάνιο.



Εικόνα 12: Διεργασία Αναερόβιας Χώνευσης
(University of Iowa, 2012)

3.3 Ξήρανση

Η ξήρανση περιγράφει τη διαδικασία θερμικής απομάκρυνσης ποσοτήτων υγρού (πηκτικών ουσιών ή υγρασίας) από ένα προϊόν, προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του εναπομείναντος υγρού σε μια αποδεκτά χαμηλή τιμή και τελικά να παραχθεί ένα στερεό προϊόν. Τα στερεά που πρόκειται να ξηραθούν μπορεί να βρίσκονται σε μορφές: νιφάδες, κόκκοι, κρύσταλλοι, σκόνη, πλάκες ή συνεχή φύλλα και να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες. Το υγρό που πρόκειται να εξατμιστεί μπορεί να βρίσκεται στην επιφάνεια του στερεού, ή εν μέρει έξω και εν μέρει στο εσωτερικό (McCabe et al., 2003). Η υγρασία που συγκρατείται με χαλαρούς χημικούς δεσμούς και υπάρχει στο στερεό σαν υγρό διάλυμα ή που βρίσκεται παγιδευμένη μέσα στη μικροκατασκευή του στερεού και η οποία ασκεί τάση ατμών μικρότερη από αυτή του καθαρού υγρού, ονομάζεται «δεσμευμένη υγρασία». Η υγρασία που είναι σε περίσσεια σε σχέση με τη δεσμευμένη ονομάζεται «μη δεσμευμένη» (Κροκίδα et al., 2003).

3.3.1 Μεταφορά ενέργειας, θερμότητας και μάζας

Όταν ένα στερεό που έχει υγρασία υποβάλλεται σε θερμική ξήρανση συμβαίνουν ταυτόχρονα δυο διαδικασίες:

1. Μεταφορά ενέργειας, υπό μορφή θερμότητας, από το γύρο περιβάλλον με σκοπό την εξάτμιση της επιφανειακής υγρασίας.
2. Μεταφορά της εσωτερικής υγρασίας στην επιφάνεια του στερεού λόγω διάχυσης και ακολούθως εξάτμιση που οφείλεται στη διαδικασία.

Η ωθούσα δύναμη για τη μεταφορά θερμότητας είναι η βαθμίδα της θερμοκρασίας, ανάμεσα στην επιφάνεια του υλικού και στον περιβάλλοντα αέρα, ενώ εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες, υγρασία αέρα, ρυθμός ροής του αέρα στην επιφάνεια έκθεσης και πίεση. Όσον αφορά στη μεταφορά της μάζας η διάχυση της υγρασίας οδηγείται από τη βαθμίδα συγκέντρωσης του νερού στο εσωτερικό του υλικού και την επιφάνεια του υλικού, ενώ εξαρτάται και από τη φύση του στερεού και τη θερμοκρασία. Η μεταφορά της ενέργειας σε μορφή θερμότητας από το περιβάλλον στο υγρό στερεό μπορεί να επιτευχθεί με συναγωγή, αγωγή και ακτινοβολία, ενώ η μεταφορά μάζας με μοριακή διάχυση, τριχοειδή ροή, ροή κατά Knudsen κλπ.

Ο ρυθμός ξήρανσης εξαρτάται από το ρυθμό που ακολουθούν οι δύο προαναφερθείσες διαδικασίες. Παρόλα αυτά, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης καθεμία από αυτές μπορεί να είναι ο περιοριστικός παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό ξήρανσης, αν και οι δυο προχωρούν ταυτόχρονα. Όπως αναφέρθηκε, η περιεχόμενη υγρασία σε ένα στερεό μπορεί να είναι δεσμευμένη ή μη. Υπάρχουν

δύο μέθοδοι απομάκρυνσης της μη δεσμευμένης υγρασίας: εξάτμιση και ατμοποίηση. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα όταν η τάση ατμών της επιφανειακής υγρασίας είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση. Αυτό επιτυγχάνεται αυξάνοντας τη θερμοκρασία της υγρασίας έως το σημείο βρασμού (ξηραντήρες κυλίνδρων).

Αν το προς ξήρανση υλικό είναι θερμοευαίσθητο, τότε η θερμοκρασία εξάτμισης, δηλαδή το σημείο βρασμού μπορεί να μειωθεί αν μειωθεί η πίεση (εξάτμιση υπό κενό). Αν η πίεση είναι μικρότερη από την πίεση που αντιστοιχεί στο τριπλό σημείο, τότε δεν μπορεί να υπάρξει υγρή φάση και το περιεχόμενο στο στερεό νερό παγώνει. Η προσφορά θερμότητας προκαλεί άμεση εξάχνωση του πάγου σε υδρατμό (ξηρανση δια καταψύξεως). Κατά την ατμοποίηση, η ξήρανση πραγματοποιείται με συναγωγή, δηλαδή με ροή θερμού αέρα πάνω ή διαμέσου από το προϊόν. Ο αέρας ψύχεται από το προϊόν και η υγρασία απομακρύνεται μεταφερόμενη από το προϊόν στον αέρα. Σε αυτή την περίπτωση, η τάση κορεσμένου ατμού πάνω από το στερεό είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση.

3.3.2 Μέθοδοι ξήρανσης

Στο πεδίο εφαρμογής της διαδικασίας ξήρανσης, οι αντίστοιχες διατάξεις μικρής, μέσης και ευρείας κλίμακας προκειμένου για οργανικά απόβλητα, δεν διαφέρουν από αυτές που χρησιμοποιούνται για την ξήρανση των τροφίμων στη βιομηχανία. Εν γένει, οι ξηραντές περιλαμβάνουν μια ευρεία ποικιλία τύπων μεταξύ των οποίων αναφέρονται οι κυριότεροι (Mujundar, 1987 and Nijhuis et al., 1998)

- ✓ Ξηραντές στατικών δοχείων. Το υλικό τοποθετείται στο εσωτερικό κλειστού δοχείου (in vessel) στο οποίο προσάγεται θερμός αέρας δια μέσω του διάτρητου πυθμένα. Ο εν λόγω τύπος ενδείκνυται για τύπους υλικών με μεγάλο σχετικά μέγεθος σωματιδίων όπου, κατά τη συσσώρευσή τους σχηματίζουν μεταξύ τους διάκενα.
- ✓ Ξηραντές δίσκων και σήραγγας. Το υλικό διατάσσεται σε στρώσεις επί της επιφάνειας διάτρητων δίσκων οι οποίοι προσαρμίζονται στο εσωτερικό σήραγγας. Η ξήρανση επιτυγχάνεται από ρεύμα θερμού αέρα που διαχέεται μεταξύ των δίσκων κατά μήκος της σήραγγας. Εναλλακτικά, η ξήρανση γίνεται με θέρμανση της επιφάνειας των δίσκων.
- ✓ Ξηραντές με χρήση μεταφορικού ιμάντα. Το υλικό τοποθετείται στην επιφάνεια μεταφορικής ταινίας με διάτρητη βάση για τη διέλευση του αέρα ξήρανσης. Η συνεχής αναδιάταξη του υλικού μεταξύ επάλληλων διαδρομών της μεταφορικής ταινίας ευνοεί την ξήρανση.
- ✓ Ξηραντές τυμπάνου. Το υλικό διατάσσεται κατά μήκος της εξωτερικής επιφάνειας περιστρεφόμενων κυλίνδρων, στο εσωτερικό των οποίων διαχέεται υπέρθερμος ατμός. Η

απόληψη του υλικού επιτυγχάνεται με χρήση μηχανικών ξέστρων που αποκολλούν το υλικό από την επιφάνεια των κυλίνδρων σε κάθε κύκλο λειτουργίας.

- ✓ Ξηραντές υπό συνθήκες κενού. Το υλικό διατάσσεται σε μεταφορική ταινία η οποία βρίσκεται εντός θαλάμου με αεροστεγή τοιχώματα, στον οποίο εφαρμόζονται συνθήκες υπερπίεσης. Η υγρασία και ο αέρας εντός του θαλάμου απομακρύνεται με χρήση αντλητικού συγκροτήματος. Οι συνθήκες κενού ευνοούν την απομάκρυνση της υγρασίας και κατ' επέκταση, την αποδοτικότητα της ξήρανσης.
- ✓ Ξηραντές εξάχνωσης. Το υλικό συσσωρεύεται σε θάλαμο κενού όπου και καταψύχεται. Η θέρμανση του υλικού γίνεται με αγωγή μέσω παροχής θερμού αέρα, ή ακτινοβολία. Η αφαιρούμενη υγρασία εξέρχεται του συστήματος με χρήση αντλητικού συγκροτήματος σε συνθήκες κενού.
- ✓ Ξηραντές ρευστοστερεάς κλίνης. Το υλικό τεμαχίζεται με σωματίδια μικρού μεγέθους τα οποία, κατά την εισαγωγή τους στο θάλαμο ξήρανσης αιωρούνται σε ρεύμα θερμού αέρα. Το ρεύμα του αέρα είναι ανοδικό και εισέρχεται στο θάλαμο από ειδικά διαμορφωμένο διάτρητο πυθμένα.
- ✓ Ξηραντές με ψεκασμό. Το υλικό εισέρχεται στο θάλαμο ξήρανσης μέσω εκνεφωτή σε μορφή σταγονιδίων. Σε κατεύθυνση αντίθετη της φοράς ροής του εκνεφωτή, προσάγεται ρεύμα θερμού αέρα το οποίο και ξηραίνει το υλικό.

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι, οι τύποι ξηραντών που αναφέρθηκαν ανωτέρω αφορούν κυρίως σε ξήρανση τροφίμων. Προκειμένου για ξήρανση οργανικών αποβλήτων, οι τύποι ξηραντών που έχουν εφαρμοστεί σε κεντρικές εγκαταστάσεις μηχανικής ανακύκλωσης αφορούν σε ξηραντές σήραγγας και ξηραντές με χρήση μεταφορικού ιμάντα. Με δεδομένο ότι, ο σχεδιασμός του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης αφορά σε εφαρμογές οικιακής κλίμακας με υλικό τροφοδοσίας ποσότητες οικιακών βιοαποβλήτων, ο σχεδιαζόμενος ξηραντήρας θα είναι τύπου στατικού δοχείου. Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει διάταξη της οποίας ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η αποδοτική λειτουργία καθίσταται εφικτή στα πλαίσια μιας κατοικίας όπου υπάρχει σχετικά χαμηλή διαθεσιμότητα χώρου, στοιχείο που εν πολλοίς αποκλείει την επιλογή των άλλων τύπων ξηραντή. Επίσης, το μέσο μέγεθος των σωματιδίων βιοαποβλήτων είναι τέτοιο που δεν ευνοεί τη χρήση άλλων τύπων λόγω του γεγονότος ότι, απαιτούνται διεργασίες μείωσης του μεγέθους των σωματιδίων, στοιχείο που αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος προκειμένου για οικιακής κλίμακας εφαρμογές, (Σωτηρόπουλος, 2015).

3.3.3 Συμπεριφορά υλικού κατά την ξήρανση

Τα υλικά κατηγοριοποιούνται σε δυο ομάδες με βάση την συμπεριφορά τους στην ξήρανση. Κοκκώδη ή κρυσταλλικά υλικά, που συγκρατούν υγρασία στα διάκενα μεταξύ των σωματιδίων ή σε επιφανειακούς πόρους, αποτελούν την πρώτη ομάδα. Σε αυτά τα υλικά η κίνηση της υγρασίας δεν εμποδίζεται ιδιαίτερα και λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των βαρυτικών και των τριχοειδών δυνάμεων. Η περίοδος σταθερού ρυθμού συνεχίζεται για αρκετό χρονικό διάστημα έως ότου επιτευχθούν σχετικά χαμηλά ποσοστά υγρασίας. Αν και η περίοδος ελαττωμένου ρυθμού διακρίνεται στις δυο επιμέρους περιοχές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, προσεγγιστικά μοιάζει με μια ευθεία γραμμή στο γράφημα του ρυθμού ξήρανσης με την υγρασία.

Το στερεό υλικό, που είναι συνήθως ανόργανο, δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την παρουσία του υγρού και γι' αυτό μένει ανεπηρέαστο από την διεργασία της ξήρανσης. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, οι συνθήκες ξήρανσης μπορούν να επιλεγούν με βάση την τεχνική ευκολία, αλλά και βάσει οικονομικών κριτηρίων, απαιτώντας λίγο μόνο προβληματισμό όσον αφορά στις ιδιότητες των αποξηραμένων προϊόντων. Στην περίπτωση των ένυδρων ουσιών, οι συνθήκες ξήρανσης επηρεάζουν το προϊόν που λαμβάνεται, αλλά γενικά τα υλικά δεν επηρεάζονται από τις συνθήκες ξήρανσης για μεγάλα εύρη θερμοκρασιών και υγρασιών. Παραδείγματα τέτοιων υλικών είναι η συνθλιμμένη πέτρα, το διοξείδιο του τιτανίου, οι καταλύτες, ο ένυδρος θειικός ψευδάργυρος, το φωσφορικό νάτριο κλπ. Για τα υλικά αυτά η υγρασία ισορροπίας είναι συνήθως πολύ κοντά στο μηδέν. Τα περισσότερα οργανικά στερεά είναι είτε άμορφα είτε ινώδη ή έχουν δομή παρόμοια με γέλη (gel) και αποτελούν την δεύτερη ομάδα υλικών.

Στα εν λόγω υλικά η υγρασία αποτελεί ένα απαραίτητο μέρος της δομής τους ή είναι παγιδευμένη μέσα σε ίνες ή πόρους. Η κίνηση της υγρασίας είναι αργή και πιθανότατα συμβαίνει με τη διάχυση του υγρού μέσα στην δομή του στερεού, με αποτέλεσμα οι καμπύλες ξήρανσης των υλικών αυτών να δείχνουν πολύ μικρές περιόδους σταθερού ρυθμού που καταλήγουν σε υψηλές τιμές κρίσιμης υγρασίας. Για τους ίδιους λόγους, η πρώτη περίοδος ελαττωμένου ρυθμού είναι αρκετά μειωμένη και στο μεγαλύτερο μέρος της διεργασίας ξήρανσης ο ρυθμός ξήρανσης ελέγχεται από τον ρυθμό διάχυσης του υγρού μέσα από το στερεό. Η κυρίως ξήρανση εκτυλίσσεται στην δεύτερη περίοδο ελαττωμένου ρυθμού. Η υγρασία ισορροπίας είναι γενικά υψηλή, υποδηλώνοντας έτσι ότι μια σημαντική ποσότητα του νερού κατακρατείται τόσο σταθερά από την δομή του στερεού ή σε μικροσκοπικούς πόρους του, που η τάση ατμών του εμφανίζεται αισθητά μειωμένη. Αφού το νερό που υπάρχει είναι ισχυρά συνδεδεμένο με την δομή του υλικού, τέτοια υλικά επηρεάζονται έντονα από την αφαίρεση της υγρασίας.

Τα επιφανειακά στρώματα τείνουν να ξηραίνονται πιο γρήγορα από τα εσωτερικά. Αν ο ρυθμός ξήρανσης είναι υψηλός, μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες διαφορές στο ποσοστό υγρασίας μεταξύ της επιφάνειας και των εσωτερικών στρωμάτων του υλικού και να εμφανιστούν ρωγμές και αναδιπλώσεις στο υλικό. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να σχηματιστεί εξωτερικά ένα σχετικά αδιαπέραστο αποξηραμένο κέλυφος (πέτσα/ κρούστα), που εμποδίζει την περαιτέρω ξήρανση και επιτείνει την ανομοιομορφία στο ποσοστό υγρασίας μέσα στο υλικό, δημιουργώντας συνεπώς ευνοϊκές συνθήκες για την αλλοίωση του στερεού. Ένα σημαντικό φαινόμενο κατά την ξήρανση κάποιων υλικών είναι η συρρίκνωσή τους, καθώς το ποσοστό υγρασίας μειώνεται. Υπάρχουν ωστόσο υλικά που διαφέρουν ως προς αυτήν την ιδιότητα. Σκληρά, πορώδη ή μη πορώδη στερεά δεν συστέλλονται σημαντικά κατά την ξήρανση, αλλά κολλοειδή και ινώδη υλικά συρρικνώνονται σημαντικά, καθώς αφαιρείται υγρασία από αυτά. Το φαινόμενο της συρρίκνωσης έχει τρεις συνέπειες: Στην πρώτη, μεταβάλλεται η επιφάνεια του υλικού ανά μονάδα μάζας και έτσι σε πολλές περιπτώσεις η επιφάνεια δεν είναι πλέον γνωστή. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για υλικά όπως τα λαχανικά και τα τρόφιμα, στα οποία το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή του ποσοστού της επιφάνειας που είναι εκτεθειμένο στον αέρα.

Η δεύτερη και πιο σημαντική συνέπεια είναι η ανάπτυξη μιας σκληρής στοιβάδας στην επιφάνεια, αδιαπέραστη από τη ροή της υγρασίας είτε ως υγρό είτε ως ατμός. Αυτό σημαίνει ότι η υγρασία δε δύναται να κινηθεί εύκολα από το εσωτερικό του στερεού προς την επιφάνεια ή το σύνορο όπου λαμβάνει χώρα η ξήρανση. Αυτό ελαττώνει σημαντικά τη ξήρανση. Η τρίτη συνέπεια συνίσταται στην αλλαγή της ολικής δομής, κάτι που συμβαίνει επί παραδείγματι στην ξήρανση του ξύλου. Σε υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από μεταβολή της ολικής τους δομής ή από δημιουργία σκληρής επιφανειακής στιβάδας είναι συνήθως επιθυμητή η διεξαγωγή της ξήρανσης με υγρό αέρα. Σε αυτήν την περίπτωση επιδιώκεται η ελάττωση της διαφοράς υγρασίας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού, έτσι ώστε να ελαττωθεί ο ρυθμός ξήρανσης. Αυτό συχνά επιφέρει μια λιγότερο απότομη διαφορά υγρασίας από μέσα προς τα έξω, συμβάλλοντας στον περιορισμό της συρρίκνωσης του υλικού. Για παράδειγμα, οι ξηραντήρες ξύλου έχουν την ικανότητα να υγραίνουν τον αέρα κατά την διάρκεια των αρχικών σταδίων της ξήρανσης, ώστε να μην υπάρχει ούτε μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ούτε μεγάλη διαφορά υγρασίας μεταξύ του υλικού και του αέρα. Έτσι ο ρυθμός ξήρανσης ελαττώνεται σε σημείο που το υλικό διατηρεί μια σημαντική σταθερότητα διαστάσεων (Ζουμπούλης et al., 2009).

4. Περιγραφή του συστήματος της κομποστοποίησης και της οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων.

4.1 Σύστημα κομποστοποίησης

Για το σχεδιασμό και την κατασκευή του συστήματος λήφθηκαν υπόψη παράμετροι, όπως η δυνατότητα επεξεργασίας μιας ευρείας κλίμακας βιοαποδομήσιμων οικιακών οργανικών αποβλήτων, η αποτελεσματική και ελεγχόμενη εφαρμογή ανάδευσης, ύγρυνσης και αερισμού του υποστρώματος, η συλλογή των παραγόμενων στραγγισμάτων και η απομάκρυνση και δέσμευση των αερίων εκπομπών, μέσω της αποτελεσματικότερης ανάδευσης του υποστρώματος. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια τα οποία περιλαμβάνουν:

- (α) τις πειραματικές εφαρμογές του συστήματος κομποστοποίησης
- (β) το χαρακτηρισμό της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ και
- (γ) την προσομοίωση της κινητικής των αντιδράσεων βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται ο φυσικοχημικός χαρακτηρισμός μιας μεγάλης ποικιλίας οργανικών οικιακών απορριμμάτων, αποτελούμενων από υπολείμματα τροφών πλούσιων σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και κυτταρινούχες ενώσεις, που χρήζουν κατάλληλης διαχείρισης. Έπειτα πραγματοποιείται η σύνθεση του αρχικού υλικού τροφοδοσίας στο σύστημα κομποστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες των αποβλήτων, έτσι ώστε να διαμορφωθούν κατάλληλες συνθήκες για την ενίσχυση της διεργασίας της κομποστοποίησης. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η έναρξη και η παρακολούθηση των διεργασιών της κομποστοποίησης εξετάζοντας την εξέλιξη βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων του υποστρώματος και των παραγόμενων στραγγισμάτων, με σκοπό τον έλεγχο της αερόβιας βιοαποδόμησης των προεπιλεγμένων μιγμάτων. Στο δεύτερο στάδιο της αξιολόγησης του συστήματος κομποστοποίησης γίνεται ο ποιοτικός έλεγχος του τελικού προϊόντος ως προς τις φυσικοχημικές και βιολογικές του ιδιότητες για τον καθορισμό του βαθμού σταθεροποίησης και ωριμότητάς του. Επιπλέον, αξιολογείται η δυνατότητα χρήσης του κόμποστ με την εφαρμογή προκαταρκτικών πειραμάτων ελέγχου της επίδρασης του δείκτη βλαστικότητάς του σε προκαθορισμένους καλλιεργήσιμους σπόρους. Σε τελικό στάδιο εφαρμόζεται η προσομοίωση της κινητικής των αντιδράσεων βιοξείδωσης της οργανικής ουσίας του υποστρώματος προκειμένου να διερευνηθεί και να προσδιορισθεί ο ρυθμός αντίδρασης με τον οποίο το υπόστρωμα βιοαποδομείται όπως και ο βαθμός βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας που επιτυγχάνεται.

4.2 Εξοπλισμός πρότυπου συστήματος κομποστοποίησης - αντιδραστήρας

Στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΜΠ με βάση:

- ✓ την εμπειρία της ομάδας εργασίας σε θέματα ανάπτυξης της διεργασίας κομποστοποίησης και ελέγχου των λειτουργικών παραμέτρων
- ✓ τα αποτελέσματα του εργαστηριακού ελέγχου των εναλλακτικών συστημάτων οικιακής κομποστοποίησης και τις επισημάνσεις που προέκυψαν κατά την αξιολόγηση της λειτουργίας τους
- ✓ τα πιο αποτελεσματικά επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά των άλλων συστημάτων οικιακής κομποστοποίησης που αξιολογήθηκαν, μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης, σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και ελέγχθησαν τα επιμέρους τμήματα του πρότυπου συστήματος (πρώτη μορφή).

Παρακάτω δίδονται αναλυτικά στοιχεία των επιμέρους τμημάτων του συστήματος, όπου περιλαμβάνονται:

- ✓ Παρουσίαση των επιμέρους εξαρτημάτων/τμημάτων που συναποτελούν το πρότυπο σύστημα. Κάθε εξάρτημα περιγράφεται τόσο μεμονωμένα, όσο και σε σχέση με τη σύνδεσή του με άλλα εξαρτήματα. Η ενότητα αυτή ολοκληρώνεται με την επιλογή των υλικών κατασκευής των συνθετικών τμημάτων του συστήματος
- ✓ Στοιχεία διαστασιολόγησης των επιμέρους τμημάτων

4.2.1 Επιμέρους εξαρτήματα του πρότυπου συστήματος κομποστοποίησης

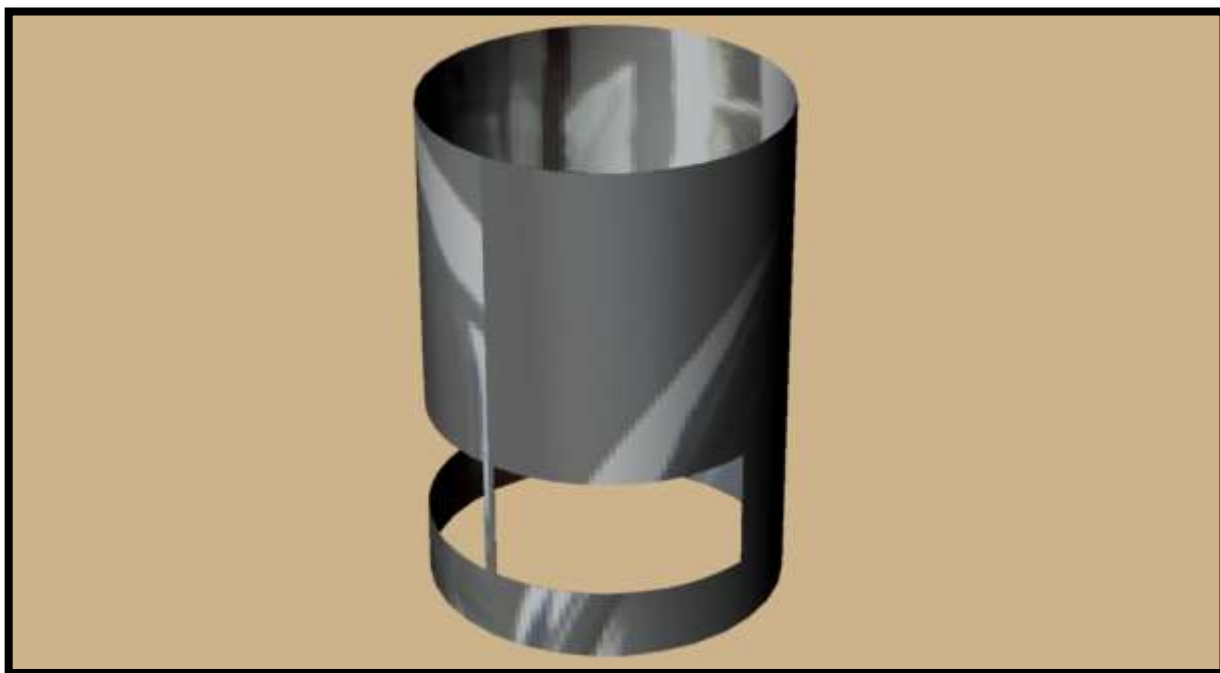
Θάλαμος

Ο θάλαμος αποτελεί το κυρίαρχο στοιχείο του οικιακού κομποστοποιητή, καθώς το σύνολο των υπόλοιπων εξαρτημάτων περιέχονται και προσαρμόζονται, άμεσα (κατόπιν συγκόλλησης) ή έμμεσα σε αυτόν. Αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους τμήματα:

- ✓ την παράπλευρη επιφάνεια, που εφεξής θα ορίζεται ως κυλινδρικό περίβλημα,
- ✓ το κάλυμμα τμήματος της ανώτερης επιφάνειας, που αποτελεί το στατικό στέλεχος του πάματος,
- ✓ το δάπεδο του διαμερίσματος τροφοδοσίας,
- ✓ τη βάση, επί της οποίας επικάθεται ο οικιακός κομποστοποιητής και
- ✓ τα συμπληρωματικά εξαρτήματα που αφορούν στη στήριξη του πάματος, της εσχάρας διαχωρισμού και των υποδοχέων κόμποστ.

➤ **Περίβλημα**

Η παράπλευρη επιφάνεια του θαλάμου συγκροτείται από ένα ορθογώνιο επίπεδο μεταλλικό έλασμα μήκους 157.08 cm, ύψους 70.90 cm και πάχους 0.10 cm (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Κυλινδρικό περίβλημα μετά τις εργασίες κάμψης και συγκόλλησης (Μαργαρίτης, 2013)

➤ **Στατικό στέλεχος πώματος**

Η ελεύθερη επιφάνεια στο άνω τμήμα του κυλινδρικού περιβλήματος καλύπτεται κατά το ήμισυ, από το στατικό στέλεχος του πώματος.

➤ **Δάπεδο τροφοδοσίας**

Χαμηλότερα από το επίπεδο συγκόλλησης του στατικού στελέχους του πώματος επί του κυλινδρικού περιβλήματος, βρίσκεται το δάπεδο του διαμερίσματος τροφοδοσίας. Η διάταξη του δαπέδου βρίσκεται ακριβώς κάτω από το περιστρεφόμενο στέλεχος του πώματος, όταν το τελευταίο βρίσκεται σε ‘πλήρως κλειστή’ θέση. Το δάπεδο του διαμερίσματος τροφοδοσίας αποτελείται από ένα ημικυκλικό επίπεδο μεταλλικό έλασμα.

➤ **Βάση θαλάμου**

Το κυλινδρικό περίβλημα που συγκροτεί το θάλαμο του οικιακού κομποστοποιητή επικάθεται σε ειδικά διαμορφωμένη βάση. Η βάση καλύπτει πλήρως την κατώτατη κυκλική επιφάνεια του κυλινδρικού περιβλήματος.

➤ Υποστηρίγματα

Ο θάλαμος υποστηρίζεται και από ορισμένα συμπληρωματικά μεταλλικά εξαρτήματα, μικρού μεγέθους, που αποσκοπούν κυρίως στη στήριξη των τμημάτων που αφορούν στο περιστρεφόμενο στέλεχος του πώματος, στην διάταξη της εσχάρας διαχωρισμού και στους υποδοχείς του κόμποστ. Τα εξαρτήματα αυτά είναι συγκολλητώς πακτωμένα περιμετρικά, επί της εσωτερικής παράπλευρης επιφάνειας του κυλινδρικού περιβλήματος, σε ύψος ανάλογο με αυτό των συνθετικών τμημάτων που έρχονται σε επαφή.

➤ Περιστρεφόμενο πώμα

Η διάταξη του πώματος ολοκληρώνεται με το κινούμενο τμήμα του, το οποίο μπορεί και περιστρέφεται σε επίπεδο κάθετα στον άξονα του αναδευτήρα. Κατά την περιστροφή στηρίζεται στο στατικό στέλεχος του πώματος και στα τρία υποστηρίγματα που βρίσκονται διατεταγμένα επί της εσωτερικής επιφάνειας του κυλινδρικού περιβλήματος.

➤ Αναδευτήρας

Το κυρίως στέλεχος του αναδευτήρα αποτελείται από μία ευθύγραμμη σωληνοειδή ράβδο, κυκλικής διατομής (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Θέση του αναδευτήρα στο εσωτερικό του θαλάμου (Μαργαρίτης, 2013)

➤ Διάταξη χειρολαβής

Ο αναδευτήρας επί του άνω άκρου του φέρει συγκολλημένη τη διάταξη της χειρολαβής, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η περιστροφή του αναδευτήρα. Η χειρολαβή αποτελείται από μια ευθύγραμμη

σωληνοειδή ράβδο. Είναι συγκολλημένη επί του άνω άκρου του άξονα, σε σημείο περί το μέσο της και σε διεύθυνση κάθετα από αυτήν που ορίζεται από τον κυρίως άξονα.

➤ **Διαφράγματα**

Χαμηλότερα της χειρολαβής και πάνω από το άκρο του αξονικού στελέχους, βρίσκονται συγκολλημένα δύο όμοια επίπεδα μεταλλικά ελάσματα τραπεζοειδούς σχήματος, τα οποία εφεξής θα ορίζονται ως διαφράγματα

➤ **Στελέχη ανάδευσης**

Η λειτουργία της ανάδευσης πραγματοποιείται μέσω των αντίστοιχων στελεχών τα οποία συγκροτούνται από δύο συμπαγείς μεταλλικές ράβδους οι οποίες διαπερνούν κάθετα τον άξονα του αναδευτήρα

➤ **Εσχάρα διαχωρισμού**

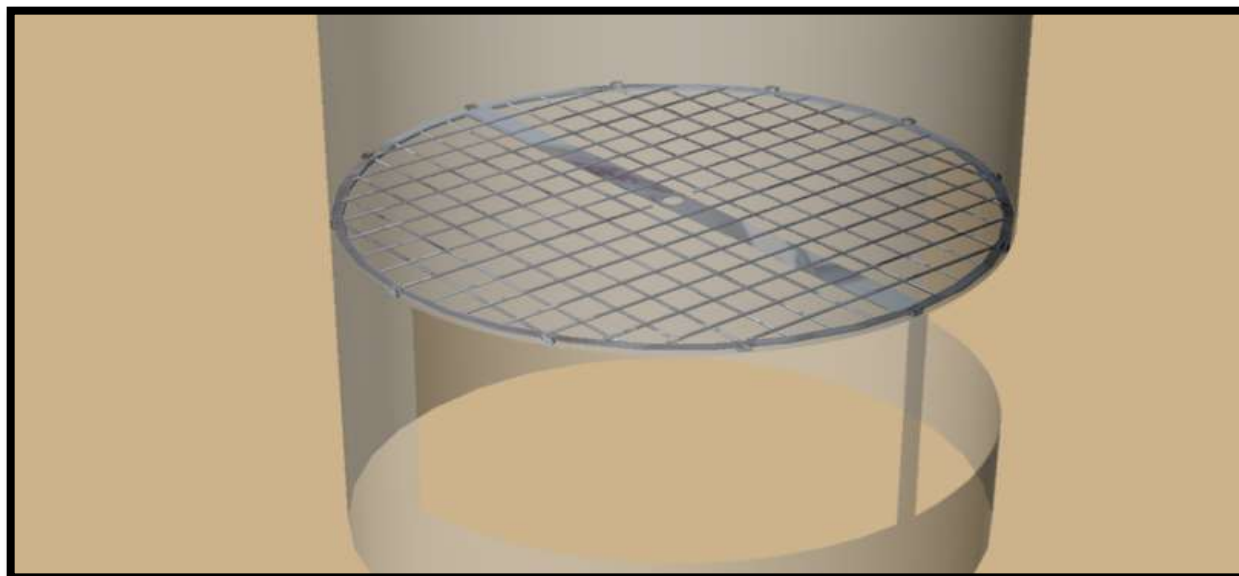
Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελείται από το πλέγμα διαχωρισμού (κυρίως εσχάρα) και το πλαίσιο,

➤ **Πλαίσιο εσχάρας**

Το πλαίσιο της εσχάρας συγκροτείται από μια κυκλική στεφάνη.

➤ **Πλέγμα εσχάρας**

Επί της εσωτερικής παράπλευρης επιφάνειας του πλαισίου, είναι συγκολλητώς πακτωμένες οι ευθύγραμμες μεταλλικές ράβδοι που ορίζουν το πλέγμα της εσχάρας (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Θέση στήριξης εσχάρας διαχωρισμού επί των υποστηριγμάτων της εσωτερικής παράπλευρης επιφάνειας του κυλινδρικού περιβλήματος, (Μαργαρίτης, 2013)

➤ **Υποδοχείς κόμποστ**

Οι υποδοχείς του κόμποστ βρίσκονται ακριβώς κάτω από το επίπεδο της εσχάρας διαχωρισμού και συγκρατούνται στο εσωτερικό του κυλινδρικού περιβλήματος, επικαθήμενοι στις τέσσερις μεταλλικές ράβδους στήριξης και οδήγησης, κατά την είσοδο και έξοδό τους από το σύστημα (δύο ράβδοι ανά υποδοχέα).



Εικόνα 16: Πρότυπο Σύστημα Κομποστοποίησης
(<http://uest.ntua.gr/>)



Εικόνα 17: Εσωτερικό οικιακού κομποστοποιητή (υποδοχείς εκτός του συστήματος)

4.2.2 Λειτουργία συστήματος

Το πρότυπο σύστημα στηρίζεται στη μηχανική ανάδευση, τη συνεχή τροφοδοσία και την κατακόρυφη ροή υλικών. Ανάλογα με τη φύση της επιτελούμενης λειτουργίας, επιμερίζεται σε τέσσερα επάλληλα διαμερίσματα που αφορούν:

- ✓ στο χώρο υποδοχής και προσωρινής παραμονής των ημερησίως παραγόμενων διατροφικών αποβλήτων (δ.α.) (διαμέρισμα τροφοδοσίας),
- ✓ στο χώρο τέλεσης των διεργασιών αερόβιας αποδόμησης (μεσόφιλη και θερμοφιλη φάση) (διαμέρισμα κομποστοποίησης),
- ✓ στο χώρο συλλογής και παραλαβής του κόμποστ (διαμέρισμα απόληψης) και
- ✓ στο χώρο συγκέντρωσης των διασταλαζόντων υγρών που εκρέουν από το σωρού των δ.α. (διαμέρισμα στραγγισμάτων).

Τα τέσσερα διαμερίσματα με τη σειρά που αναφέρονται ανωτέρω, βρίσκονται σε διαδοχικές θέσεις, από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του θαλάμου.

➤ Διαμέρισμα τροφοδοσίας

Ανάλογα με τις ιδιαίτερες διατροφικές συνήθειες και τα χαρακτηριστικά που επικρατούν σε ένα νοικοκυριό, τα δ.α. παράγονται κυρίως κατά την προετοιμασία ενός γεύματος και κατά δεύτερο λόγο, κατά την περάτωση αυτού (αποφάγια). Τα απόβλητα αυτά, που αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από οργανική ύλη, οδηγούνται στο διαμέρισμα τροφοδοσίας του οικιακού κομποστοποιητή.

➤ Υποδοχή διατροφικών αποβλήτων (δ.α)

Η χωρητικότητα του διαμερίσματος τροφοδοσίας ανέρχεται σε 9615 cm^3 , ή ισοδύναμα σε 9.615 lt.

Ο όγκος αυτός περικλείεται:

- άνωθεν, από την καμπυλωμένη επιφάνεια του μεταλλικού ελάσματος που συγκροτεί το περιστρεφόμενο στέλεχος του πώματος,
- παραπλεύρως, από τμήμα του κυλινδρικού περιβλήματος και από τις δύο επίπεδες τραπεζοειδείς επιφάνειες των διαφραγμάτων του αναδευτήρα,
- κάτωθεν, από την επίπεδη ημικυκλική επιφάνεια του μεταλλικού ελάσματος που συγκροτεί το δάπεδο του διαμερίσματος τροφοδοσίας.

Συνολικά, ο χώρος που ορίζεται ως διαμέρισμα τροφοδοσίας είναι ένα, κατά προσέγγιση, ημικυλινδρικό στερεό. Ο χώρος που βρίσκεται αντιδιαμετρικά του διαμερίσματος τροφοδοσίας, καθώς δεν διαθέτει δάπεδο στο ύψος των διαφραγμάτων, αποτελεί εκ των άνω χωρική προέκταση του διαμερίσματος κομποστοποίησης. Η διοχέτευση των δ.α. από τον κ.ο. προς το διαμέρισμα τροφοδοσίας, επιτυγχάνεται με τη χειρωνακτική μετακίνηση του περιστρεφόμενου στελέχους του πώματος.

➤ Μεταφορά διατροφικών αποβλήτων στο διαμέρισμα κομποστοποίησης

Η μεταφορά των δ.α. από το διαμέρισμα τροφοδοσίας στο αντίστοιχο διαμέρισμα κομποστοποίησης, επιτυγχάνεται με χειρωνακτική περιστροφή του αξονικού στελέχους του αναδευτήρα. Όταν ολόκληρη η ποσότητα των δ.α. σαρωθεί από το διαμέρισμα τροφοδοσίας και κατέλθει στο χώρο κομποστοποίησης, τα διαφράγματα του αναδευτήρα επανέρχονται στις αρχικές τους θέσεις φράσσοντας εκ νέου την παράπλευρη επιφάνεια του διαμερίσματος. Οι 'νέες' ποσότητες δ.α. που συγκεντρώνονται στο κ.ο., διοχετεύονται μέσω του 'ανοικτού' πώματος στο κενό περιεχομένου διαμέρισμα τροφοδοσίας, το περιστρεφόμενο πώμα κλείνει και επαναλαμβάνεται η σχετική διαδικασία.

➤ Διαμέρισμα κομποστοποίησης

Η περιστροφική κίνηση των διαφραγμάτων του αναδευτήρα έχει ως αποτέλεσμα την κάθοδο των δ.α. από το διαμέρισμα τροφοδοσίας σε αυτό της κομποστοποίησης. Οι διαδοχικές πτώσεις και αποθέσεις των εν λόγω ποσοτήτων, δημιουργούν ένα βαθμιαία αυξανόμενο όγκο οργανικού υλικού. Ο σωρός αυτός βγαίνει ανερχόμενος από τον πυθμένα του διαμερίσματος κομποστοποίησης προς τα άνω.

Βασικός στόχος του σχεδιαζόμενου συστήματος είναι, η κατά το δυνατόν ταχύτερη μετατροπή του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων σε κόμποστ, που ισοδυναμεί με ελαχιστοποίηση του χρονικού διαστήματος περάτωσης των διεργασιών αερόβιας αποδόμησης. Η επιδίωξη αυτή προϋποθέτει τη δημιουργία ενός βελτιστοποιημένου περιβάλλοντος δράσης των μικροβιακών πληθυσμών, στο εσωτερικό του διαμερίσματος κομποστοποίησης.

Η ταχύτητα περάτωσης των διεργασιών αερόβιας αποδόμησης ,εξαρτάται από ένα πλήθος παραμέτρων οι οποίες επιδρούν, τόσο στο ρυθμό ανάπτυξης και δράσης των μικροοργανισμών, όσο και μεταξύ τους. Οι κυριότερες εκ των παραμέτρων αυτών αφορούν:

- στη θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την εξέλιξη των διεργασιών,
- στο λόγο ‘άνθρακα προς άζωτο’ (C:N) του υπό κομποστοποίηση οργανικού υλικού,
- στα επίπεδα της περιεχόμενης υγρασίας, κυρίως κατά την έναρξη των διεργασιών,
- στην τιμή του pH,
- στον όγκο του υπό κομποστοποίηση οργανικού υλικού,
- στο μέσο μέγεθος των σωματιδίων που συνθέτουν το σωρό,
- στο πορώδες του σωρού και
- στην περιεκτικότητα του περιβάλλοντος των διεργασιών σε οξυγόνο.

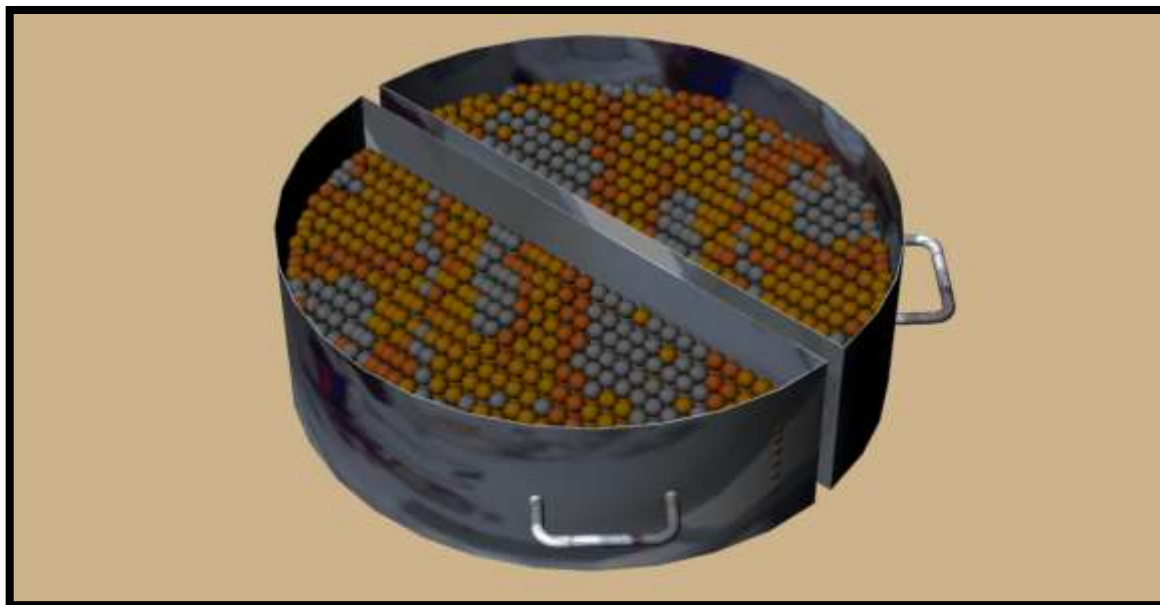
Ο οικιακός κομποστοποιητής είναι σχεδιασμένος να δέχεται το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων και ειδικότερα, ποσότητες δ.α. που παράγονται καθημερινά σε κάθε κατοικία. Συνεπώς, η κομποστοποίηση δεν αφορά σε μίγμα διαφορετικών τύπων οργανικού υλικού, γεγονός που σημαίνει ότι, η τιμή του pH και του λόγου C:N λαμβάνονται ‘defacto’ κατά την έναρξη των διεργασιών και δεν τροποποιούνται με τεχνητά μέσα (ανάμιξη με άλλο τύπο οργανικού υλικού, εισαγωγή πρόσθετων υλικών για ρύθμιση του pH κ.ά.) προκειμένου να μεταβληθεί η ταχύτητα βιοαποδόμησης. Επιπλέον, καθώς δεν υφίσταται διάταξη τεμαχισμού των δ.α. κατά την είσοδό τους στο σύστημα, δεν μεταβάλλεται το μέσο μέγεθος των σωματιδίων που συγκροτούν το σωρό του οργανικού υλικού στο διαμέρισμα κομποστοποίησης. Με βάση τις επισημάνσεις αυτές, οι σχετικές διεργασίες θα εκτελούνται σε περιβάλλον που θα χαρακτηρίζεται από:

- ✓ τη δημιουργία πορώδους, επαρκών διαστάσεων, προκειμένου να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη διέλευση του αέρα, από και προς το εσωτερικό του σωρού, παρέχοντας τις απαιτούμενες ποσότητες οξυγόνου,
- ✓ τη συγκέντρωση όγκου δ.α. σε ποσότητες που ευνοούν την αποδοτική ανάπτυξη και δράση των μικροβιακών πληθυσμών και κατ’ επέκταση, τη δημιουργία και συντήρηση υψηλών θερμοκρασιών στον πυρήνα των διεργασιών,

- ✓ την εξασφάλιση των επιθυμητών επιπέδων υγρασίας μέσω απαγωγής του πλεονάζοντος ύδατος από τον όγκο του υπό κομποστοποίηση οργανικού υλικού.

➤ Παραλαβή κόμποστ

Οι δύο υποδοχείς, έχουν σχήμα ημικυλινδρικού στερεού και χωρητικότητα 14735 cm^3 , ή 14.735 l έκαστος. Συνεπώς, η μέγιστη ωφέλιμη χωρητικότητα του διαμερίσματος απόληψης είναι 29.47 l , (Εικόνα 17).



Εικόνα 17:Υποδοχείς κόμποστ πλήρης περιεχομένου

Έπειτα από κάθε εκκένωση, το περιεχόμενο των υποδοχέων μπορεί να φυλάσσεται σε ειδικούς σάκους και να αφήνεται σε υπαίθριους χώρους (βεράντες, αυλές ή κήποι) για περαιτέρω ωρίμανση έτσι ώστε, το κόμποστ να αποκτήσει τις υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές που το χαρακτηρίζουν.

➤ Διαμέρισμα συλλογής στραγγισμάτων

Το διαμέρισμα συλλογής στραγγισμάτων αφορά στην κατώτατη περιοχή του οικιακού κομποστοποιητή. Ο όγκος του ορίζεται, παραπλεύρως από το κυλινδρικό περίβλημα, εκ των άνω, από τον πυθμένα των υποδοχέων και στο κάτω τμήμα, από την κυκλική βάση του θαλάμου. Η χωρητικότητα του διαμερίσματος είναι 19283 cm^3 ή 19.283 l . Η χρήση του τμήματος αυτού, αφορά στη συλλογή και προσωρινή αποθήκευση των διασταλαζόντων υγρών του σωρού των δ.α., αλλά και στην ποσότητα των υδρατμών που με τη μορφή σταγονιδίων κατέρχονται από τα τοιχώματα του θαλάμου.

Τα δ.α., κατά την είσοδό τους στο σύστημα και τη συγκέντρωσή τους στο διαμέρισμα κομποστοποίησης, διαθέτουν κατά ένα μέρος ύλη που βρίσκεται σε υγρή φάση. Τα εν λόγω υγρά ορίζονται ως πρωτογενή στραγγίσματα καθώς, εγκαταλείπουν τη σωρό των δ.α. και κατέρχονται στο διαμέρισμα στραγγισμάτων, εντός χρονικού διαστήματος μικρότερο των τριών ωρών από τη στιγμή που ο δεδομένος όγκος δ.α. οδηγήθηκε από το διαμέρισμα τροφοδοσίας σε αυτό της κομποστοποίησης. Τα στραγγίσματα αυτά, διέρχονται μέσω της εσχάρας διαχωρισμού και εν συνεχεία, μέσω των οπών στους πυθμένες των υποδοχέων, καταλήγουν στο διαμέρισμα στραγγισμάτων. Η ποσότητα των πρωτογενών στραγγισμάτων αποτελεί μικρό ποσοστό μικρότερο συγκριτικά με το συνολικό όγκο των διασταλλαζόντων υγρών που συγκεντρώνονται στο διαμέρισμα αυτό.

Τα δευτερογενή στραγγίσματα, που αποτελούν την μεγάλη πλειοψηφία των συλλεγόμενων στραγγισμάτων, εκρέουν από το σωρό των δ.α. κατά την εξέλιξη των διαδοχικών σταδίων της κομποστοποίησης. Κατά τις εργασίες αερόβιας αποδόμησης, οι μικροβιακοί πληθυσμοί διασπών τα οργανικά μακρομόρια σε απλούστερες οργανικές ενώσεις μικρότερου μοριακού βάρους. Από τις ενώσεις αυτές, ένα τμήμα τους διαφεύγει με τη μορφή αερίων (πτητικά στερεά), ενώ ένα άλλο τμήμα, εγκαταλείπει τον όγκο των δ.α. κατερχόμενο, με τη μορφή διασταλλαζόντων υγρών. Τα στραγγίσματα κατέρχονται λόγω βαρύτητας και δια μέσω της εσχάρας διαχωρισμού και των οπών στον πυθμένα των υποδοχέων, συγκεντρώνονται στο αντίστοιχο διαμέρισμα. Έχει παρατηρηθεί ότι, η ποσότητα των εκρέοντων δευτερογενών στραγγισμάτων είναι ανάλογη των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών κατά τις φάσεις ταχείας βιοαποδόμησης (μεσόφιλη και θεرمόφιλη φάση). Δηλαδή, όσο πιο έντονη είναι η μικροβιακή δραστηριότητα, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα στραγγισμάτων παράγεται.

Εκτός των στραγγισμάτων που εκρέουν κατά τις φάσεις αερόβιας αποδόμησης, στο διαμέρισμα αυτό οδηγούνται κατερχόμενες και οι ποσότητες ύδατος, που προέρχονται από τη συμπύκνωση των παραγόμενων υδρατμών που εγκατέλειψαν το σωρό, λόγω της αναπτυσσόμενης θερμότητας στον πυρήνα των διεργασιών. Τα συμπυκνώματα αυτά επικάθονται στα 'ψυχρά' τοιχώματα του θαλάμου και κατέρχονται λόγω βαρύτητας στο διαμέρισμα στραγγισμάτων.

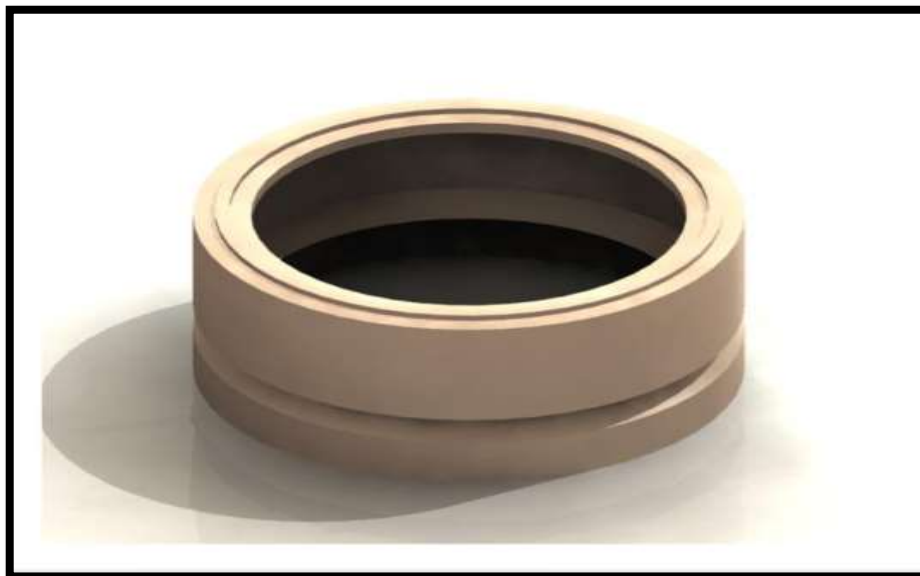
4.3 Σύστημα οικιακής ξήρανσης

4.3.1 Επιμέρους εξαρτήματα της συσκευής οικιακής ξήρανσης

➤ Θάλαμος

Ο θάλαμος ξήρανσης (Chamber) αποτελεί βασικό δομικό μέρος του ΞΔΑ (Ξηραντήρα Διατροφικών Αποβλήτων) καθώς γύρω από αυτόν προσαρμίζονται όλα τα υπόλοιπα συνθετικά μέρη. Έχει

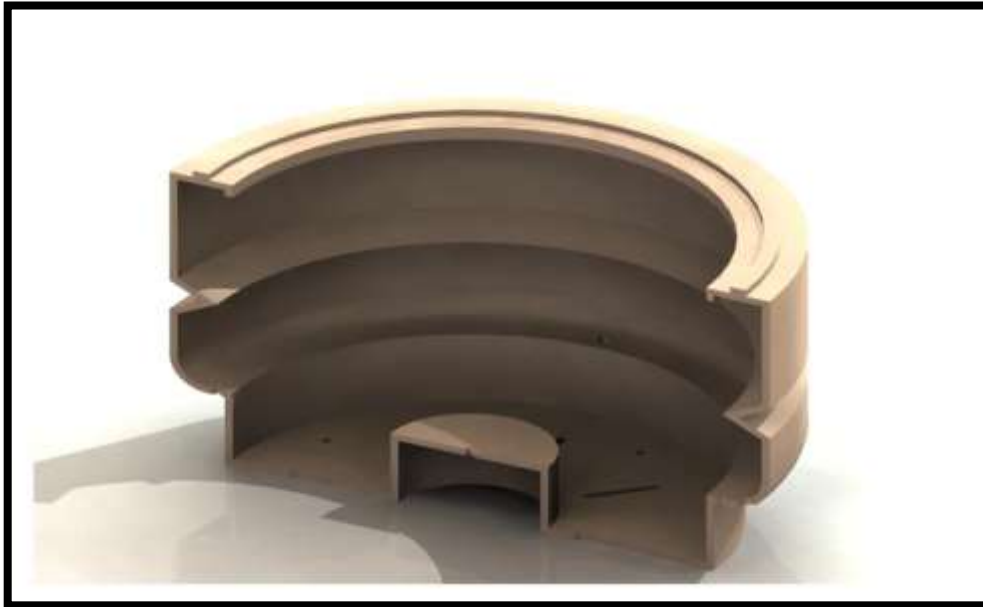
κυλινδρικό σχήμα και στο ανώτερο τμήμα του φέρει περιμετρική διαμόρφωση για τη σταθερή συναρμογή του υποδοχέα εντός του οποίου συσσωρεύεται η μάζα των διατροφικών αποβλήτων (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Θάλαμος ξήρανσης

➤ **Βάση**

Η βάση (Base) αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο του ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων καθώς πάνω σε αυτή προσαρμόζονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις του κεραμικού καλωδίου και του ανεμιστήρα (πτερωτή και κινητήρας). Έχει άξονα συμμετρικό, κυλινδρικό σχήμα και στο ανώτερο τμήμα της συνδέεται με τη διάταξη του θαλάμου. Περιμετρικά, φέρει διαμόρφωση με διατομή τεταρτοκύκλιου για τη διάχυση του ‘θερμού’ αέρα, από την περιοχή θέρμανσης προς το χώρο του υποδοχέα.



Εικόνα 19:Θάλαμος και βάση συσκευής (τομή)

➤ **Υποδοχέας Διατροφικών Αποβλήτων**

Οι ποσότητες νωπής μάζας των Διατροφικών Αποβλήτων, αφού συγκεντρωθούν από το χρήστη, διατάσσονται στο εσωτερικό του υποδοχέα (Collector) προκειμένου να ξεραθούν. Κατά τη διαδικασία τροφοδοσίας, είναι επιθυμητή η διάταξη των διατροφικών αποβλήτων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται επιφανειακή κάλυψη ολόκληρης της βάσης του υποδοχέα με διατροφικά απόβλητα (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων

➤ **Συλλεκτήρας Συμπυκνωμάτων**

Στο συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων (Plenum) συγκεντρώνονται οι ποσότητες των υδρατμών που τυχόν υγροποιήθηκαν κατά τη διαδρομή τους στο εσωτερικό του ξηραντήρα, κυρίως λόγω της επαφής τους με τα ψυχρά τοιχώματα του θαλάμου. Οι υδρατμοί που αναμένεται να παραχθούν κατά τη διεργασία ξήρανσης του αποβλήτου, αφορούν την περιεχόμενη υγρασία νωπής μάζας (αρχική και υγροσκοπική υγρασία). Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων είναι τοποθετημένος στο κατώτερο τμήμα του θαλάμου έτσι ώστε, οι ποσότητες των υγροποιημένων υδρατμών να συγκεντρώνονται σε αυτόν κατερχόμενες λόγω βαρύτητας από το επίπεδο του υποδοχέα διατροφικών αποβλήτων.

➤ **Πώμα**

Η χειρονακτική τροφοδοσία του υποδοχέα με τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες διατροφικών αποβλήτων, καθώς επίσης και η αφαίρεση του υποδοχέα από το εσωτερικό του ξηραντήρα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η λήψη του τελικού ξηρού προϊόντος, επιτυγχάνεται δια μέσου του πώματος (Lid). Το πώμα τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα του ξηραντήρα και έχει κυκλικό σχήμα. Περιμετρικά φέρει διαμόρφωση (κάτω επιφάνεια) μέσω της οποίας διασφαλίζεται η σταθερή συναρμογή με τον υποδοχέα, κατά τη φάση λειτουργίας του συστήματος.

➤ **Θερμικός Δίσκος**

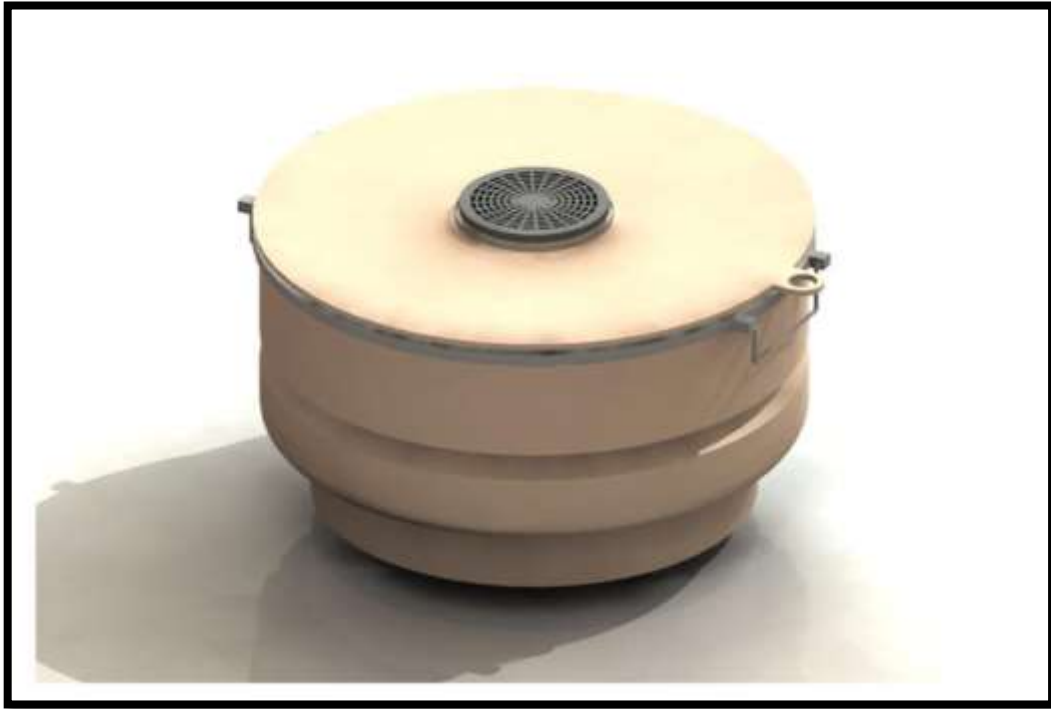
Ο θερμικός δίσκος (Thermal Plate) αποτελείται από μια μεταλλική πλάκα κυκλικού σχήματος επί της οποίας προσαρμόζεται το θερμικό καλώδιο. Η λειτουργικότητα του, εκτός από τη στήριξη του καλωδίου αφορά και στην διατήρηση των θερμικών φορτίων στην περιοχή θέρμανσης του εισερχόμενου 'νωπού' αέρα αλλά και στο χώρο αναρρόφησης του αέρα από τα διάκενα της βάσης.

➤ **Διάταξη Απόσμησης**

Η χρήση του φίλτρου απόσμησης αφορά τη δέσμευση των ενώσεων που αποτελούν συνθετικό στοιχείο των απαερίων της ξήρανσης και είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών. Το φίλτρο απόσμησης αποτελείται από τον υποδοχέα του μέσου απόσμησης και το πώμα.

➤ **Χειρολαβή και Υποστηρίγματα Βάσης**

Τα εξαρτήματα που αφορούν τη χειρολαβή (Handler) και το υποστήριγμα (Stand), αποτελούν συμπληρωματικά μέρη του ξηραντήρα. Η σχεδίαση τους είναι ενδεικτική για τη μορφή που επιδιώκεται να έχουν, καθώς κατά τη φάση κατασκευής, θα επιλεγούν τυποποιημένες διατάξεις του εμπορίου.



Εικόνα 21: Ξηραντήρας Διατροφικών Αποβλήτων

4.4 Περιγραφή εξοπλισμού για την μέθοδο ανάλυσης των παραμέτρων των συστημάτων της κομποστοποίησης και της οικιακής ξήρανσης

4.4.1 Μέθοδοι ανάλυσης

Οι μέθοδοι ανάλυσης περιλαμβάνουν μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων οι οποίες εξετάστηκαν σε δείγματα που συλλέχθηκαν από (α) το μίγμα των οργανικών αποβλήτων το οποίο συνθέτετε το υλικό τροφοδοσίας του βιοαντιδραστήρα (β) το υλικό εντός των αντιδραστήρων κατά την εξέλιξη της διεργασίας (γ) το τελικό προϊόν (κόμποστ). Το σύνολο των παραμέτρων που εξετάστηκαν για κάθε ένα από τα προαναφερόμενα δείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 και στον Πίνακα 6 αναφέρονται οι παράμετροι που απαρτίζουν την οικιακή ξήρανση. Όλοι οι παράμετροι εξετάζονται με την χρήση ειδικών συσκευών και στη συνέχεια αναφέρεται περιληπτικά ο προσδιορισμός των παραμέτρων αυτών.

Παράμετρος	Υλικό τροφοδοσίας		Υπόστρωμα		Τελικό προϊόν	
Θερμοκρασία			✓	°C	✓	°C
Υγρασία	✓	% wb	✓	% wb	✓	% wb
Αγωγιμότητα	✓	% wb	✓	% wb	✓	% wb
Οξυγόνο			✓	% v/v	✓	% v/v
pH	✓		✓		✓	
Πτητικά Στερεά			✓	% dm	✓	% dm
TOC	✓	% dm	✓	% dm	✓	% dm
N-TKN	✓	% dm	✓	% dm	✓	% dm
NH₄⁺			✓	mg kg ⁻¹	✓	mg kg ⁻¹
NO₃⁻			✓	mg kg ⁻¹	✓	mg kg ⁻¹
C/N	✓		✓		✓	
Na – Na₂O		% dm			✓	% dm
K- K₂O		% dm			✓	% dm
Ca - CaO		% dm			✓	% dm
Mg- MgO		% dm			✓	% dm
Φυτοτοξικότητα					✓	% Δ.Β.

Πίνακας 5: Σύνολο φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων που εξετάστηκαν στην κομποστοποίηση

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
		Διάλυμα $C_7H_6O_3 / H_2SO_4$ Στερεό $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$
	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm	Στερεό $K_2SO_4-CuSO_4 \cdot 5H_2O-TiO_2$
TN	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest	Διάλυμα NaOH
	Ζυγός ακριβείας	Διάλυμα H_3BO_3 Διάλυμα H_2SO_4 Δείκτης
TKN	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm	Στερεό $K_2SO_4-CuSO_4 \cdot 5H_2O-TiO_2$ Διάλυμα NaOH
	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest	Διάλυμα H_3BO_3
	Ζυγός ακριβείας	Διάλυμα H_2SO_4 Δείκτης
NH ₄ -N	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest	Διάλυμα KCl Διάλυμα MgOH
	Συσκευή ανάδευσης	Διάλυμα H_3BO_4 Διάλυμα H_2SO_4
VS	Φούρνος ξήρανσης Ξηραντήρας με silicagel Ζυγός ακριβείας	
TOC	Συσκευή TOC Shimatzu	
pH	Πεχάμετρο	
Αγωγιμότητα	Αγωγιμόμετρο	
Βαρέα μέταλλα/ Ιχνοστοιχεία	Συσκευή χώνευσης GerhardKjeldahl	Διάλυμα H_2SO_4
	Συσκευή ατομικής απορρόφησης (AAS)	Διάλυμα $CuSO_4$ (30%)

Πίνακας 6: Σύνολο χημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στην οικιακή ξήρανση

4.4.2 Προσδιορισμός θερμοκρασίας

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας των κάδων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό θερμόμετρο, και πραγματοποιούνταν μετρήσεις σε διάφορα σημεία του αντιδραστήρα.

4.4.3 Προσδιορισμός υγρασίας (%)

Τα δείγματα ζυγίστηκαν αρχικά με χρήση ζυγού ακριβείας (5g από το κάθε ένα δείγμα). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε δοχεία ζέσεως σε φούρνο ξήρανσης στους 105°C για χρονικό διάστημα ίσο με 16 ώρες .

Μετά το πέρας των 16 ωρών τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silicagel για περίπου 30 λεπτά προκειμένου να έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος χωρίς να πάρουν υγρασία. Τα δείγματα ζυγίστηκαν εκ νέου για να προσδιοριστεί η τελική τους μάζα αλλά και το ποσοστό υγρασίας που είχαν. Οι ζυγίσεις επαναλαμβάνονταν ανά χρονικό διάστημα 30 λεπτών μέχρις ότου η πτώση της μάζας ήταν μικρότερη του 4%.

Η υγρασία (%) υπολογίστηκε από τη διαφορά μάζας πριν και μετά τη διεργασία ξήρανσης στους 105°C (ASTM 2004):

$$\text{Υγρασία (\%)} = [(m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}) / m_{\text{αρχ}}] * 100$$

όπου:

$m_{\text{αρχ}}$ = η αρχική μάζα του δείγματος + μάζα κάψας

$m_{\text{τελ}}$ = η τελική μάζα του δείγματος + μάζα κάψας

4.4.4 Προσδιορισμός pH / αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση του pH, 10g δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml για 30 λεπτά με προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν ανάδευση του διαλύματος με χρήση κατάλληλης συσκευής για 30 λεπτά μέχρις ότου να ομογενοποιηθεί πλήρως. Ακολουθεί μέτρηση με χρήση pH – μέτρου (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227).

4.4.5 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας, 10g δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των 100ml για 30 λεπτά με προσθήκη 50ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί φυγοκέντρηση του διαλύματος στις 3000 στροφές / λεπτό για 10 λεπτά και διήθηση υπό κενό. Η αγωγιμότητα του διαλύματος προσδιορίζεται με αγωγιμόμετρο (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227).

4.4.6 Προσδιορισμός οξυγόνου

Η μέτρηση της ποσοστιαίας περιεκτικότητας σε οξυγόνο πραγματοποιείται με τη χρήση φορητού οξυγονόμετρου (Umwelt Elektronik CM 37) το στέλεχος του οποίου βυθίζεται στο υπόστρωμα σε τρία σημεία κατά μήκος του βιοαντιδραστήρα.

4.4.7 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Για τον προσδιορισμό της επί της εκατό περιεκτικότητας (%) ολικού οργανικού άνθρακα TOC χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TOC της εταιρείας Shimadzu η οποία λειτουργεί στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (ΜΠΕΤ) του Ε.Μ.Π. Η ποσότητα ολικού οργανικού άνθρακα είναι ίση με την αρχική ποσότητα του δείγματος εφόσον αφαιρέσουμε τη τελική τέφρα του. Δείγμα στο οποίο είχε προηγηθεί ξήρανση στους 105°C υπέστη λειοτριβήση με grinder και στη συνέχεια ζυγίστηκαν με ακρίβεια 40mg τα οποία χωρίστηκαν ισόποσα στις ειδικές κάψες από πορσελάνη. Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετήθηκαν στον ειδικό φούρνο (Solid Sample Module SSM 5000A) όπου το δείγμα θερμαίνεται στους 900°C. Στη θερμοκρασία αυτή έγινε καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγήθηκαν στην κεντρική μονάδα TOCVCSH.

4.4.8 Προσδιορισμός TKN (%) κατά Kjeldahl

Για τον προσδιορισμό των TKN πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία με αυτήν του προσδιορισμού του ολικού αζώτου με τη διαφορά ότι σε αυτή τη μέτρηση δεν έγινε προσθήκη σαλικυλικού οξέος στη φάση της επώασης αλλά ούτε και προσθήκη $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ στο τέλος αυτής. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την τιτλοδότηση του αποσταγμένου διαλύματος και τον προσδιορισμό του χρησιμοποιούμενου θεικού οξέος.

4.4.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών ($\text{NH}_4\text{-N}$) (%) κατά Kjeldahl

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

- ✓ Διάλυμα βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v
- ✓ 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου
- ✓ Ετερογενές διάλυμα υδροξειδίου του μαγνησίου MgOH . Θερμαίνονται 17 g MgO στους 800 °C για 2 ώρες. Εν συνεχεία η ποσότητα αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε αφυγραντήρα. Τέλος διαλύονται τα 17 g σε 100 ml νερού.
- ✓ Οκτανδιόλη. Χρησιμοποιείται για τη μείωση του αφρισμού.

- ✓ Διάλυμα χλωριούχου καλίου KCl 2M. Διαλύονται 745,51 g στερεού χλωριούχου καλίου KCl σε 5 lt απιονισμένου νερού.
- ✓ Διάλυμα θειικού οξέος H₂ SO₄ 0,005M

4.4.10 Προσδιορισμός νιτρικών N-NO₃(%) κατά Kjeldahl

Στον υπολογισμό του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TN) μετράται το σύνολο του οργανικά δεσμευμένου αζώτου, του αζώτου σε μορφή αμμωνίας NH₃ και του αζώτου σε μορφή αμμωνιακών NH₄⁺. Για να προσδιοριστεί η ποσότητα των νιτρικών NO₃⁻ στο δείγμα χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\text{N-NO}_3 (\%) = \text{TN} (\%) - \text{TKN} (\%)$$

4.4.11 Προσδιορισμός αναλογίας C/N

Η αναλογία C/N υπολογίζεται από την σχέση:

$$\text{C/N} = (\% \text{TOC}) / (\% \text{TKN})$$

4.4.12 Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

- ✓ Τρυβλία.
- ✓ Σπόροι.
- ✓ Διηθητικό χαρτί (Whatman #1).
- ✓ Απιονισμένο νερό.
- ✓ Ψυγείο 25°C (σκοτεινός θάλαμος).
- ✓ Χάρακας.

Η διαδικασία του υπολογισμού του δείκτη βλαστικότητας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- ✓ 10g φρέσκου compost ζυγίζονται.
- ✓ Προστίθενται 100ml H₂O.
- ✓ Ανάδευση για 30 λεπτά.
- ✓ Φυγοκέντρωση στις 3000 στροφές / λεπτό για 10 λεπτά.
- ✓ Διήθηση υπό κενό με Whatman 41 (20 – 25 μm).
- ✓ Σε δύο τρυβλία (Petri dish) τοποθετείται διηθητικό χαρτί (Whatman 1).

- ✓ 20 σπόροι μαρουλιού (σε κάθε τρυβλίο) τοποθετούνται σε διάταξη ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους.
- ✓ Προστίθενται 10ml H₂O και 10ml extract αντίστοιχα.
- ✓ Τοποθετούνται σε ψυγείο (20 ± 5 °C) όπου επικρατούν συνθήκες σκότους για 5 ημέρες.
- ✓ Καταμέτρηση αριθμού σπόρων όπου έχουν βλαστήσει.
- ✓ Καταμέτρηση μήκους βλαστών .

Ο δείκτης βλαστικότητα (Δ.Β.) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη φυτρωτική ικανότητα και το μήκος του βλαστού σύμφωνα με την πιο κάτω σχέση:

$$\Delta.B. = \left(\frac{G * L}{100} \right)$$

Όπου:

G: [αριθμός των βλαστών του δείγματος / αριθμός των βλαστών του μάρτυρα] * 100 → όπου δηλώνει τη φυτρωτική ικανότητα του δείγματος

L: [μήκος βλαστού στο δείγμα / μήκος βλαστού στον μάρτυρα] * 100

Για το δείκτη βλαστικότητα ισχύει:

0 < Δ.Β. < 25 → πολύ φυτοτοξικό

26 < Δ.Β. < 65 → φυτοτοξικό

66 < Δ.Β. < 100 → μή φυτοτοξικό

Δ.Β. > 101 → φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό

4.4.13 Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%) κατά Kjeldahl

Η μέθοδος προσδιορισμού χωρίζεται σε τρία μέρη: τη χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος που εφαρμόστηκε βασίζεται στην τροποποιημένη κατά Kjeldahl μέθοδο προσδιορισμού αζώτου η οποία περιγράφεται συνοπτικά ως εξής: Αρχικά πραγματοποιείται μετατροπή του οργανικού αζώτου και ελεύθερου αμμωνίου σε άλας θειικού αμμωνίου (χώνευση) παρουσία θειικού οξέος και καταλυτών (διοξειδίου του τιτανίου). Τα νιτρικά και νιτρώδη ανάγονται σε αμμωνιακά με τη χρήση σαλικυλικού οξέος και θειοθειικού νατρίου. Έπειτα, η αμμωνία αποστάζεται και προσδιορίζεται ογκομετρικά με τιτλοδότηση. Ακολουθεί αναλυτικότερη

περιγραφή της μεθόδου με τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν και αναφορές στις ποσότητες και τα είδη αυτών.

➤ Χώνευση

Στην αρχή παρασκευάστηκε ο καταλύτης με ανάμειξη 200gθειικού καλίου (K_2SO_4), 6gθειικού χαλκού ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) και 6gοξειδίου του τιτανίου (Ti_2O). Στη συνέχεια, παρασκευάστηκαν τα δείγματα έτσι ώστε να τοποθετηθούν στη συσκευή Gerhardtη οποία έχει χωρητικότητα 8 φιαλών

Κατά τη χώνευση, οι νίτρο-ενώσεις που σχηματίζονται σε όξινο περιβάλλον από την αντίδραση του σαλικυλικού οξέος με το περιεχόμενο νιτρικό άζωτο του κάθε δείγματος, ανάγονται σε αμινο-ενώσεις, υπό τη θέρμανση του με το θειοθειικό νάτριο. Στην συνέχεια το μίγμα θερμαίνεται περίπου στους $400^\circ C$ και πραγματοποιείται η χημική αποσύνθεση του δείγματος. Τελικά, αυτό που απομένει στη φιάλη κάθε δείγματος είναι ένα διάλυμα θειικού αμμωνίου.

➤ Απόσταξη

Στη συνέχεια, αφού η οι φιάλες έλθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τοποθετούνται στη συσκευή απόσταξης Vapodest όπου και πραγματοποιείται απόσταξη σε κάθε ένα δείγμα.

➤ Τιτλοδότηση

Τέλος, προστέθηκαν 25 ml βορικού οξέος (H_3BO_4) καθώς και 3-4 σταγόνες δείκτη στο αποσταγμένο διάλυμα και πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με χρήση θειικού οξέος (H_2SO_4) 0,1N. Μέσω της τιτλοδότησης καθορίζεται η ποσότητα της περιεχόμενης αμμωνίας, και ως εκ τούτου η ποσότητα του περιεχόμενου αζώτου. Η ογκομέτρηση συνεχίζεται μέχρις ότου να μεταβληθεί το χρώμα του αποστάγματος από πράσινο σε βιολετί.

4.4.14 Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του περιεχόμενου οργανικού φορτίου ενός στερεού δείγματος μέσω της καύσης του σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται κλίβανος σε θερμοκρασία λειτουργίας $550^\circ C$, με χρόνο παραμονής των στερεών τις 4 ώρες. Η εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού φορτίου γίνεται με τον υπολογισμό της απώλειας βάρους, πριν και μετά την εισαγωγή του δείγματος στον κλίβανο. Κατά την καύση πραγματοποιείται οξείδωση των οργανικών ουσιών γι' αυτό και η απώλεια βάρους που υπολογίζεται αποτελεί στην ουσία μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα στερεά, παρόλο που κατά την καύση απομακρύνονται μερικές φορές και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά του δείγματος. Η διαφορά βάρους αντιπροσωπεύει κατά βάση το πόσο του οργανικού φορτίου που απομακρύνθηκε από το στερεό. Το δείγμα στην συνέχεια τοποθετήθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία $550^\circ C$ για 4 ώρες. Αφού ολοκληρώθηκε η καύση της ύλης, οι κάψες τοποθετήθηκαν

σε ξηραντήρα (με silicagel) για χρόνο 1 ώρας τουλάχιστον προκειμένου το υλικό να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος, η τελική μάζα του δείγματος ζυγίστηκε με τη χρήση ζυγού ακριβείας.

4.4.15 Προσδιορισμός Βαρέων Μετάλλων

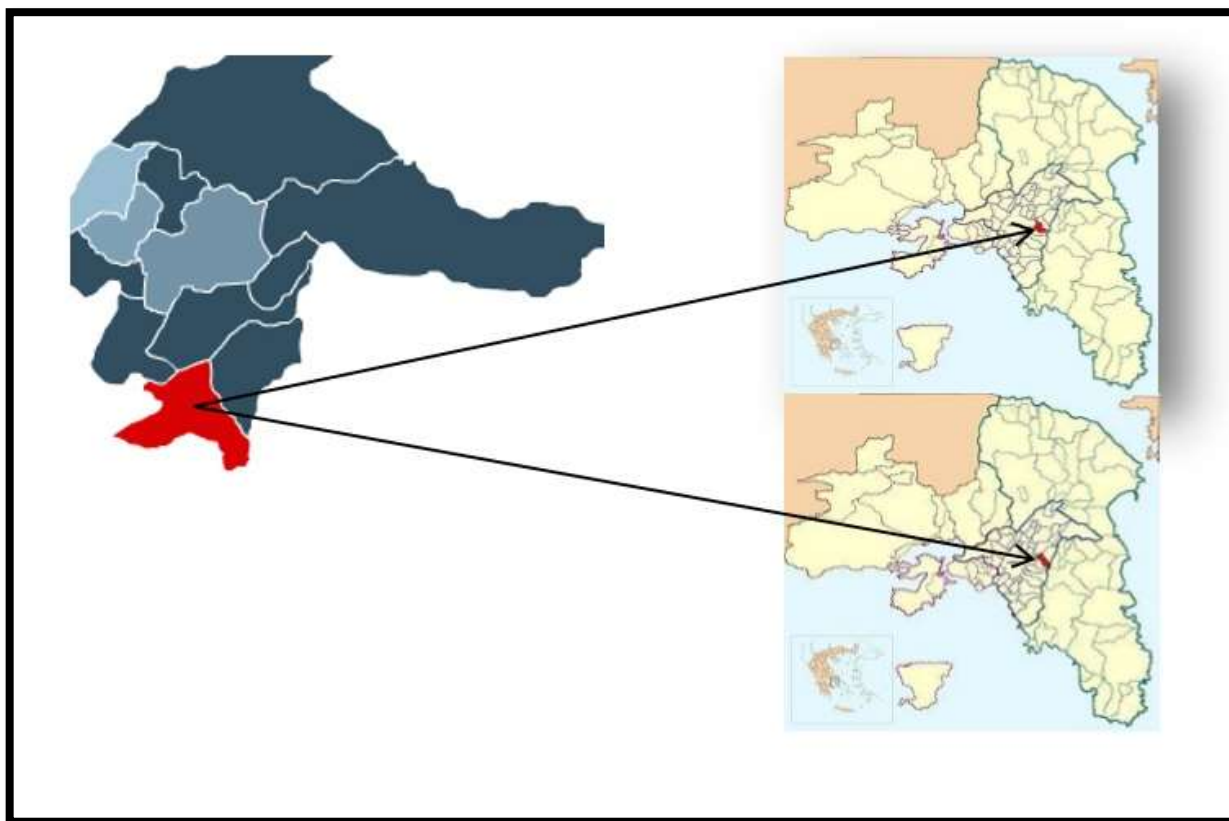
Σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επεξεργασία των αποβλήτων, είναι η παρουσία βαρέων μετάλλων. Κι αυτό επειδή θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος, αφού τόσο τα βαρέα μέταλλα όσο και οι ενώσεις τους δεν αποδομούνται, αλλά συσσωρεύονται και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμη, ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων είναι σημαντικός καθώς μας δείχνουν πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω τα στερεά απόβλητα προκειμένου η διαχείριση τους να καταστεί αειφόρα.

5. Περιγραφή των πιλοτικών εφαρμογών των μεθόδων κομποστοποίησης και οικιακής ξήρανσης

5.1 Πιλοτική εφαρμογή οικιακής ξήρανσης στο Δήμο Παπάγου – Χολαργού

Γενική περιγραφή του Δήμου Παπάγου – Χολαργού

Ο Δήμος Παπάγου – Χολαργού με έδρα τον Χολαργό δημιουργήθηκε τον Ιανουάριο του 2011 από την συνένωση των πρώην Δήμων Παπάγου και Χολαργού (Εικόνα 22), βάσει του νόμου 3852/7-7-2010 «Καλλικράτης». Η έκταση του νέου Δήμου είναι 8.63 τ. χλμ. και ο πληθυσμός του 45.850 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2011, ενώ η πυκνότητα πληθυσμού ανέρχεται σε 6.259,39 κάτοικοι/Km².



Εικόνα 22: Δήμος Παπάγου – Χολαργού

Δημοτική Κοινότητα Παπάγου

Η Δημοτική Κοινότητα Παπάγου οικοδομήθηκε, όταν οι εργαζόμενοι στα σώματα του στρατού στο γειτονικό Πεντάγωνο κληρώθηκαν ώστε να αποκτήσουν κατοικία και κάπως έτσι ξεκίνησε η δόμηση της περιοχής. Η ονομασία οφείλεται στο Στρατάρχη Αλέξανδρο Παπάγο. Συνήθως χαρακτηρίζεται ανατολικό ή βόρειο-ανατολικό προάστιο των Αθηνών.

Βασικό χαρακτηριστικό της Δημοτικής Κοινότητας είναι η αραιή δόμηση, με χαμηλό συντελεστή δόμησης, μονοκατοικίες της δεκαετίας του '70 κυρίως να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο κομμάτι, και πλούσια άλση και χώροι πρασίνου, παρά την εγγύτητά του στο κέντρο της πόλης. Με την διάνοιξη της Αττικής Οδού ο Δήμος απέκτησε γρήγορη σύνδεση με τα Μεσόγεια, τη Δυτική Αττική, και τις Εθνικές Οδούς 1 και 8. Συγκοινωνιακά εξυπηρετείται από τη λεωφόρο Μεσογείων και το σταθμό του μετρό "Εθνική Άμυνα".

Η Δημοτική Κοινότητα Παπάγου καταλαμβάνει έκταση 3.100 περίπου στρεμμάτων ημιορεινής μορφολογίας με πυκνή βλάστηση και βρίσκεται σε υψόμετρο 232 μέτρων. Συνολικά στον Παπάγο υπάρχουν 102 οδοί, 18 πάρκα και άλση και 13 πλατείες. Μαζί με το Κοιμητήριο μπορεί κανείς να μετρήσει 14 ιστορικά μνημεία.

Δημοτική Κοινότητα Χολαργού

Η Δημοτική Κοινότητα Χολαργού Αττικής έχει έκταση 3.950 στρεμμάτων. Υπάγεται στο γενικότερο πολεοδομικό συγκρότημα των Αθηνών και εντάσσεται γεωγραφικά στα βορειοανατολικά προάστια της πρωτεύουσας.

Η ονομασία Χολαργός δόθηκε προς τιμή του αρχαίου ομώνυμου δήμου από τον οποίο καταγόταν ο φημισμένος Αθηναίος πολιτικός Περικλής. Φιλολογικά και αρχαιολογικά (επιγραφικά) στοιχεία, όμως, αποδεικνύουν ότι ο αρχαίος δήμος βρισκόταν σε αρκετά διαφορετική θέση από το σημερινό, συγκεκριμένα κοντά στα Νέα Λιόσια, ίσως και το Καματερό.

Την περίοδο του 2004, με την επέκταση του αστικού δικτύου μετακινήσεων, ο Χολαργός συνδέεται με τα βόρεια προάστια, μέσω της επέκτασης της γραμμής 3 του μετρό, καθώς επίσης και με την πεδιάδα των Μεσογείων. Επίσης, ανακοινώνεται κατασκευή σταθμών μετρό σε όλο το μήκος της λεωφόρου Μεσογείων στα σύνορα των βορειοανατολικών προαστίων.

Σήμερα γίνονται βήματα προς τον εκμοντερνισμό και την ανάπλασή της Δημοτικής Κοινότητας. Μικρές τάσεις πρασίνου στολίζουν τις γειτονιές, η ανοικοδόμηση διαφοροποιεί το τοπίο αρχιτεκτονικά και η σύνδεση του Χολαργού με τις συγκοινωνίες βελτιώνεται και πληθώρα αθλητικών και πολιτιστικών χώρων βελτιώνουν το κέντρο της πόλης.

Η αγορά είναι συγκεντρωμένη σε ένα εμπορικό κέντρο στον κεντρικό δρόμο της πόλεως, ενώ η λεωφόρος Μεσογείων που στην βόρεια πλευρά της Κοινότητας προσφέρει διάφορα προϊόντα, υπηρεσίες υγείας και χώρους ψυχαγωγίας.

5.2 Τρέχουσα κατάσταση στην διαχείριση των απορριμμάτων

Η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιείται σήμερα στον ενιαίο Δήμο Παπάγου – Χολαργού για την διαχείριση των Δημοτικών απορριμμάτων είναι η μέθοδος της υγειονομικής ταφή απορριμμάτων στον ΧΥΤΑ Φυλής στον οποίο ο Δήμος έχει πρόσβαση μέσω της Αττικής οδού. Αυτή η μέθοδος διαχείρισης αποτελεί κανόνα για την συντριπτική πλειοψηφία των Δήμων του λεκανοπεδίου της Αττικής και της Ελλάδος γενικότερα. Σύμφωνα με την ισχύουσα μέχρι 31/12/2011 νομοθεσία, οι Δήμοι ήταν υποχρεωμένοι να καταβάλουν στον τότε Ενιαίο Σύνδεσμο Διαχείρισης Απορριμμάτων (Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.) εισφορά ανάλογα με τον προϋπολογισμό του κάθε Δήμου. Το 2011 ο Δήμος κατέβαλε 1.050.000 ευρώ για την ταφή μόνο των απορριμμάτων του χωρίς να ληφθεί υπόψη το κόστος αποκομιδής και μεταφοράς των απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ. Το κόστος λειτουργίας των απορριμματοφόρων (περιλαμβάνονται έξοδα συντήρησης και καυσίμων) σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του Δήμου ανήλθε στα 368,611 ευρώ συνολικά το έτος 2011.

Από 1/1/2012 σύμφωνα με την απόφαση αριθ. οικ. 52546 “Σύσταση Ειδικού Διαβαθμιδικού Συνδέσμου για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων στην μητροπολιτική περιφέρεια Αττικής” η οποία νομοθετήθηκε με το ΦΕΚ 2854 που εκδόθηκε στις 16ης Δεκεμβρίου του 2011, η εισφορά που θα καταβάλλεται από τους Δήμους στον Φορέα Διαχείρισης Απορριμμάτων (Ε.Δ.Σ.Ν.Α.- Ειδικός Διαβαθμιδικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής) θα έχει σχέση με το συνολικό βάρος των στερεών αποβλήτων που θα μεταφέρουν τα απορριμματοφόρα κάθε Δήμου στον ΧΥΤΑ της Φυλής.

Με το νέο σύστημα, το οποίο αναμφισβήτητα είναι πιο δίκαιο από το προηγούμενο, οι Δήμοι οι οποίοι δεν υλοποιούν προγράμματα ανακύκλωσης η εναλλακτική διαχείριση των απορριμμάτων τους, θα κληθούν να καταβάλουν μεγαλύτερη εισφορά σε σχέση με αυτήν που κατέβαλαν στο παρελθόν με την ευθύνη και το κόστος να μετακινείται πλέον αποκλειστικά στους Δήμους.

Προκειμένου να γίνει μια λεπτομερής απεικόνιση της υπάρχουσας κατάστασης στον Δήμο, στοιχεία σχετικά με την ποσότητα των απορριμμάτων που εστάλησαν από τον Δήμο στον ΧΥΤΑ Φυλής, ζητήθηκαν και εδόθησαν από τον Ε.Δ.Σ.Ν.Α. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 που ακολουθεί:

Δήμος Παπάγου - Χολαργού	Μηνιαίες διελεύσεις απορριμματοφόρων Δήμου	Βάρος απορριμματοφόρων (τόνοι)
Απρίλιος 2011	69	1609,38
Μάιος 2011	62	1771,63
Ιούνιος 2011	73	1712,244
Ιούλιος 2011	75	1774,54
Αύγουστος 2011	55	1353,068
Σεπτέμβριος 2011	70	1609,52
Οκτώβριος 2011	49	1424,309
Νοέμβριος 2011	83	1845,181
Δεκέμβριος 2011	67	1595,97
Ιανουάριου 2012	73	1455,75
Φεβρουάριος 2012	52	1678,23
Μάρτιος 2012	68	1776,34
Σύνολο Δήμου	796	19606,16

Πίνακας 7: Στοιχεία προερχόμενα από τον Ειδικό Διαβαθμιδικό Σύνδεσμο Νομού Αττικής (Ε.Δ.Σ.Ν.Α., 2012)

Πέραν της διαχείρισης των απορριμμάτων με την μέθοδο της υγειονομικής ταφής, ο ενιαίος πλέον Δήμος συμμετέχει σε πρόγραμμα ανακύκλωσης με χρήση μπλε κάδων από το 2007, ο οποίος υπολογίζεται ότι καλύπτει περίπου το 30% των νοικοκυριών που υπάρχουν στον Δήμο (Εικόνα23) και στους οποίους τοποθετούνται υλικά των ποιο κάτω κατηγοριών:

Πλαστικά μπουκάλια και δοχεία:

- ✓ Νερού
- ✓ Γάλακτος
- ✓ Καθαριστικών Υλικών
- ✓ Υλικών Συντήρησης
- ✓ Χυμών
- ✓ Μαλακτικών

- ✓ Σκόνης και Υγρού Πλυσίματος
- ✓ Υγρών Σαπουνιών και Σαμπουάν

Μεταλλικές Συσκευασίες:

- ✓ Αναψυκτικών
- ✓ Καφέδων
- ✓ Κονσερβών
- ✓ Μεταλλικών Πωμάτων και καπάκια
- ✓ Αλουμινένιοι Δίσκοι
- ✓ Κουτιά και σωληνάρια

Χάρτινες Συσκευασίες Ποτών (Tetrapak):

- ✓ Χυμοί
- ✓ Κρασιά
- ✓ Γάλακτος και Κρέμες

Στους μπλε κάδους δεν τοποθετούνται υλικά που ανήκουν σε άλλα συστήματα ανακύκλωσης όπως: μπαταρίες, ηλεκτρικές συσκευές, ελαστικά, μέταλλα, ρούχα, πλαστικά δοχεία από λάδια αυτοκινήτων, οικοδομικά υλικά, έπιπλα και οργανικά υπολείμματα τροφίμων. Οι κάδοι δόθηκαν δωρεάν στον Δήμο μαζί με 2 (δύο) οχήματα ανακύκλωσης τα οποία λειτουργεί και συντηρεί ο ίδιος ο Δήμος Παπάγου-Χολαργού με δικά του έξοδα.



Εικόνα 23: Μπλε κάδος ανακύκλωσης του Δήμου (Ε.Ε.Α.Α.,2012)

Προκειμένου να υπάρξει μια καλύτερη εικόνα του ποσοστού ανακύκλωσης για την μελέτη της ομάδας έργου, η ομάδα ήλθε σε επικοινωνία με την Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (Ε.Ε.Α.Α.) η οποία παρείχε στοιχεία για τις ποσότητες των ανακυκλώσιμων και ανακτώμενων υλικών του Δήμου για το έτος 2011. Τα στοιχεία για το έτος 2011 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8 που ακολουθεί:

Συνολικός αριθμός μπλε κάδων	488
Συνολική χωρητικότητα δικτύου κάδων (m³)	526,8
Οχήματα που έχουν παραχωρηθεί από Ε.Ε.Α.Α	2
Συλλογή	-
Δρομολόγια που εκτελέστηκαν	806
Συλλεγόμενες ποσότητες (τόνοι)	2957,19
Υπόλειμμα	
Επιστροφή Υπολείμματος (τόνοι)	0
Αποθήκη Υπολείμματος (τόνοι)	0

Πίνακας 8: Ετήσια στατιστικά στοιχεία (2011) ανακύκλωσης του Δήμου Παπάγου-Χολαργού της Ελληνική Εταιρίας Αξιοποίησης Ανακύκλωσης (Ε.Ε.Α.Α., 2012)

Τα ανακυκλώσιμα υλικά, αφού διαχωριστούν και τοποθετηθούν από τους κατοίκους του Δήμου στους μπλε κάδους ανακύκλωσης, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι σε όλη την έκταση του Δήμου σε σημεία εύκολης πρόσβασης για το κοινό, μεταφέρονται με την χρήση των δύο (2) απορριμματοφόρων που έχουν δοθεί από την Ε.Ε.Α.Α. στο Δήμο (ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται και δημοτικά οχήματα για το σκοπό αυτό) στο Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών του Ασπροπύργου (2), όπου και ανακτάται ένα μέρος των υλικών αυτών. Τα υλικά που δεν ανακτώνται λόγω κακής ποιότητας, μεταφέρονται στον ΧΥΤΑ Φυλής όπου και απορρίπτονται με κόστος που καλύπτεται από τον Δήμο.

5.3 Πιλοτική χρήση της συσκευής της οικιακής ξήρανσης

Τα συστήματα που προβλέπονταν να κατασκευαστούν σύμφωνα με την εγκριθείσα πρόταση ήταν 20 στον αριθμό και δεν προβλέπονταν η κατασκευή επιπλέον συσκευών, η ομάδα έργου αποφάσισε να λειτουργήσει τα 20 συστήματα για περίοδο 3 μηνών στα πρώτα 20 επιλεγμένα νοικοκυριά και στην συνέχεια να μεταφερθούν στα υπόλοιπα νοικοκυριά (επιλαχόντες) που εξέφρασαν την επιθυμία να συμμετάσχουν στο πρόγραμμα προκειμένου να ληφθούν περεταίρω στοιχεία αυξάνοντας το συνολικό αριθμό των συμμετεχόντων οικιών. Η απόφαση για τη μεταφορά των συστημάτων λαμβανόταν σύμφωνα με τα στοιχεία τα οποία προέκυπταν από: τη θέληση για συμμετοχή των κατοίκων, τη θέληση για επικοινωνία, τη διάθεση για σωστή χρήση της συσκευής, τη θέληση για καταγραφή και παροχή των απαιτούμενων δεδομένων στην ομάδα εργασίας και τον αριθμό των δηλωθέντων συμμετοχών.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι ως βασική προϋπόθεση για τη συμμετοχή των νοικοκυριών στην πιλοτική εφαρμογή του συστήματος, ήταν η καταγραφή της ημερήσιας μάζας τροφοδοσίας των βιοαποβλήτων στο ξηραντήρα με τη χρήση ζυγαριάς, την οποία οι χρήστες είχαν προμηθευτεί από την ομάδα εργασίας. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες πραγματοποιούσαν εβδομαδιαία καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής με τη χρήση κατάλληλου μετρητή ο οποίος είχε μοιραστεί σε κάθε νοικοκυριό από την ομάδα εργασίας. Στους κατοίκους δεν δόθηκαν επιπλέον αρμοδιότητες δεδομένου ότι η καταγραφή αυτών των στοιχείων σε ημερήσια και εβδομαδιαία βάση θεωρήθηκε ικανή συνθήκη για την αξιολόγηση της πιλοτικής εφαρμογής, δίχως να επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία του συστήματος από τους συμμετέχοντες.

Η συσκευή τοποθετούνταν σε εξωτερικό χώρο προστατευμένο από τα καιρικά φαινόμενα με δυνατότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Στους πολίτες είχαν παρασχεθεί εκτός των μετρητών ενεργειακής κατανάλωσης και της ζυγαριάς, ετικέτες και σακούλες αποκομιδής του Δήμου προκειμένου η ομάδα έργου να γνωρίζει κάθε φορά την οικία από την οποία προέρχονται τα οργανικά απορρίμματα.

Η συμμετοχή των κατοίκων ήταν εθελοντική. Ανακοινώσεις, από την πλευρά του Δήμου αναρτήθηκαν στο διαδίκτυο και τον τοπικό τύπο για την ενημέρωση των πολιτών αναφορικά με την έναρξη της πιλοτικής λειτουργίας του συστήματος στον Δήμο τους. Δηλώσεις συμμετοχής υποβάλλονταν στην Διεύθυνση Περιβάλλοντος καθαριότητας και Πρασίνου του Δήμου Παπάγου - Χολαργού. Ερωτήσεις ή απορίες σχετικά με την δράση και τον τρόπο υλοποίησης της, υποβάλλονταν στην Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Πρασίνου του Δήμου καθώς επίσης και στα τηλέφωνα επικοινωνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) τα οποία παρέχονταν στους ενδιαφερόμενους πολίτες από την υπηρεσία του Δήμου αλλά και μέσω της ιστοσελίδας του

έργου. Συνολικά 104 νοικοκυριά δήλωσαν συμμετοχή σε όλη την περίοδο της πιλοτικής λειτουργίας της συσκευής ενώ 30 από αυτά έλαβαν και λειτούργησαν το σύστημα, από τα οποία 7 ανήκαν στην Δημοτική κοινότητα Χολαργού και 23 στην Δημοτική κοινότητα Παπάγου. Η επιλογή του συνόλου των νοικοκυριών έγινε με σειρά προτεραιότητας, καθώς η συμμετοχή ήταν μεγαλύτερη της αναμενόμενης. Η περίοδος της πιλοτικής εφαρμογής της συσκευής διήρκησε συνολικά 8 μήνες (Αύγουστο 2011 έως Απρίλιο 2012).

5.4 Περιγραφή της δράσης

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η δράση επίδειξης του συστήματος και να αξιολογηθεί η απόδοση της συσκευής σε πραγματικές πλέον συνθήκες, δόθηκαν στους κατοίκους τα παρακάτω αντικείμενα:

Η συσκευή οικιακής ξήρανσης, μια ζυγαριά χειρός (για την ζύγιση των οργανικών απορριμμάτων, όποιος επιθυμούσε μπορούσε να πραγματοποιήσει την ζύγιση με δική του ζυγαριά), ένας μετρητής ενεργειακής κατανάλωσης (για την μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής και των ωρών λειτουργίας του συστήματος, δημοτικές σακούλες (για την συλλογή και αποθήκευση του ξηραμένου υλικού, αυτοκόλλητες ετικέτες (προκειμένου να γράφουν τα στοιχεία τους οι κάτοικοι και να τις κολλούν επάνω στις σακούλες για την αποκομιδή ώστε να γνωρίζει η επιστημονική ομάδα από ποιο νοικοκυριό προέρχονται), το εγχειρίδιο χρήσης της συσκευής καθώς επίσης και εκπαιδευτικό υλικό (training material) το οποίο είχε διαμορφώσει η ομάδα έργου, ώστε να είναι απλό στην δομή του προκειμένου να είναι κατανοητό από τους πολίτες. Τέλος, στους συμμετέχοντες γινόταν και διανομή ενημερωτικού υλικού σχετικά με την εξέλιξη και την πρόοδο του έργου.

Στην συνέχεια η ομάδα εργασίας από το Δήμο Παπάγου-Χολαργού και το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) επικοινωνούσε τηλεφωνικώς με τους κατοίκους οι οποίοι είχαν παραλάβει την συσκευή και τα υπόλοιπα υλικά, προκειμένου να οριστεί ημερομηνία για την κατ'οίκον εκπαίδευση των συμμετεχόντων, αναφορικά με τη λειτουργία της συσκευής. Σκοπός της επικοινωνίας της ομάδας έργου με τους κατοίκους, ήταν η εκπαίδευσή τους στη σωστή χρήση της συσκευής, καθώς και η κατανόηση από μεριάς των κατοίκων, των εργασιών που έπρεπε να γίνουν τόσο κατά την προετοιμασία των δειγμάτων τους, όσο και κατά την καταγραφή των αποτελεσμάτων τους. Απώτερος στόχος της ομάδας έργου ήταν να συλλέξει όσο το δυνατόν περισσότερα και αξιόπιστα δεδομένα αναφορικά με την απόδοση του συστήματος ξήρανσης των βιοαποβλήτων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

Τα ανακυκλώσιμα υλικά που παράγονταν στα νοικοκυριά τοποθετούνταν από τους πολίτες που συμμετείχαν στην δράση στους οικιακούς κάδους απορριμμάτων που διέθεταν στο νοικοκυριό τους και στην συνέχεια οδηγούνταν από τους ίδιους στους μπλε κάδους ανακύκλωσης που υπήρχαν στην γειτονιά τους. Προκειμένου να καταγράψει η εκτίμηση των ποσοτήτων των παραγόμενων ανακυκλώσιμων υλικών στα επιλεγμένα νοικοκυριά, η ομάδα έργου έλαβε στοιχεία από την Ε.Ε.Α.Α. σχετικά με τις ποσότητες ανακυκλώσιμων υλικών ανά κάτοικο ανά ημέρα που παραλαμβάνει το Κ.Δ.Α.Υ. Ασπροπύργου από το Δήμο Παπάγου Χολαργού καθώς επίσης και στοιχεία αναφορικά με το ποσοστό ανάκτησης των ανακυκλώσιμων υλικών ανά κάτοικο το οποίο επιτυγχάνεται για το έτος 2011.

Μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης δειγμάτων

Το ξηραμένο οργανικό προϊόν αποθηκευόταν προσωρινά από τους κατοίκους σε πλαστικές σακούλες τις οποίες προμήθευε ο Δήμος και τις οποίες συνέλεγε σε προκαθορισμένες ημέρες με ειδικό όχημα. Τα συλλεχθέντα δείγματα μεταφέρονταν από τις υπηρεσίες του Δήμου στην εργαστηριακή ομάδα του ΕΜΠ, η οποία παραλάμβανε το ξηραμένο υλικό του εκάστοτε νοικοκυριού.

Αρχικά η ομάδα προέβαινε στον ποιοτικό έλεγχο του τελικού προϊόντος, ζυγίζοντας το ξηρό υλικό που παραλάμβανε ανά νοικοκυριό και καταγράφοντας οπτικά (optical sorting) τη συχνότητα με την οποία απαντώνται τα διάφορα οργανικά υλικά ανά νοικοκυριό, ώστε να γίνει μια εκτίμηση της ποιοτικής σύστασης του τελικού ξηρού υλικού και κατ' επέκταση της αρχικής σύστασης του νωπού υλικού.

Ποσοτική καταγραφή των διαφορετικών ειδών τροφίμων στο τελικό προϊόν δεν ήταν εφικτή, δεδομένου ότι η ακριβής καταγραφή της μάζας του κάθε υλικού δεν μπορούσε να πραγματοποιηθεί λόγω της αδυναμίας διαχωρισμού των ξηραμένων υλικών (π.χ. συσσωμάτωση διαφορετικών οργανικών υλικών κατά τη διεργασία της ξήρανσης).

Στις ετικέτες που ήταν τοποθετημένες επάνω στις σακούλες, οι κάτοικοι κατέγραφαν την ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής και τις ώρες λειτουργίας της, την εβδομαδιαία μάζα των οργανικών απορριμμάτων που τοποθετούσαν στο σύστημα για ξήρανση καθώς και το όνομα του νοικοκυριού από το οποίο προέρχονταν. Για οποιαδήποτε πληροφορία η οποία δεν υπήρχε επάνω στην ετικέτα η ομάδα έργου προέβαινε άμεσα επικοινωνία με τα νοικοκυριά προκειμένου να συλλεχθούν οι απαιτούμενες πληροφορίες. Όλα τα δεδομένα καταγράφονταν προκειμένου να γίνει η επεξεργασία τους σε επόμενη φάση.

Στη συνέχεια, η επιστημονική ομάδα της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π λάμβανε ένα δείγμα από το ξηρό υλικό κάθε σακούλας ίσο με το 1/5 της συνολικής μάζας του περιεχόμενου της σακούλας (με τη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας) προκειμένου να πραγματοποιήσει τις απαιτούμενες εργαστηριακές αναλύσεις με βάση τις διαδικασίες που προβλέπονται κατά ISO 9001:2008. Οι επόμενες παράμετροι καταγράφηκαν και προσδιορίστηκαν σε εβδομαδιαία βάση σε όλη τη διάρκεια της δράσης επίδειξης του συστήματος:

Ποιοτική καταγραφή

- ✓ Καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής ξήρανσης
- ✓ Καταγραφή του εβδομαδιαίου χρόνου λειτουργίας της
- ✓ Καταγραφή της μάζας του νωπού υλικού
- ✓ Καταγραφή της μάζας του ξηρού υλικού
- ✓ Καταγραφή και διαχωρισμός όλων των ληφθέντων στοιχείων (προβλημάτων, παρατηρήσεων, κλπ. εφόσον υφίστανται) ανά νοικοκυριό.

Χημικές Αναλύσεις

- ✓ Προσδιορισμός Υγρασίας (%)
- ✓ Προσδιορισμός ΡΗ-Αγωγιμότητας
- ✓ Προσδιορισμός Πτητικών Στερεών (VS-Volatile Solids)
- ✓ Προσδιορισμός Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC-Total Organic Carbon)
- ✓ Προσδιορισμός Βαρέων Μετάλλων (Cr,Cu,Mn,Fe,Ni,Cd,Pb,Zn)
- ✓ Ιχνοστοιχεία (K, Na, Ca, Mg).

5.5 Αξιολόγηση της δράσης επίδειξης του συστήματος οικιακής ξήρανσης των βιοαποβλήτων στον Δήμο Παπάγου – Χολαργού

Αξιολόγηση της δράσης επίδειξης του συστήματος με βάση τα στοιχεία που παρέχουν οι συμμετέχοντες

Η δράση επίδειξης του συστήματος αξιολογήθηκε από τους ίδιους τους κατοίκους μετά την λήξη της πιλοτικής εφαρμογής, μέσω ερωτηματολογίου το οποίο δημιουργήθηκε από την ομάδα έργου ειδικά για το σκοπό αυτό. Στη φάση αυτή επιπλέον, πραγματοποιήθηκε στατιστική καταγραφή, τυχόν προβλημάτων (οσμών, θορύβου, δυσλειτουργίας, λοιπών οχλήσεων), προκειμένου να υπάρξει συνολική εικόνα από την ομάδα έργου, σε σχέση με τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, ώστε να αντιμετωπιστούν εγκαίρως αφενός και αφετέρου να προταθούν τρόποι μελλοντικής αντιμετώπισής τους.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος οικιακής ξήρανσης όπως αυτή προέκυψε από τα στοιχεία που λάβαμε από τα επιλεγμένα νοικοκυριά, και τις εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, τέθηκαν από την επιστημονική ομάδα κατάλληλοι δείκτες οι οποίοι δημιουργήθηκαν με γνώμονα τα αναμενόμενα αποτελέσματα βάσει τους στόχους του έργου στο σύνολό του, των αποτελεσμάτων της εργαστηριακής λειτουργίας του συστήματος, που είχαν πραγματοποιηθεί σε προηγούμενη δράση, καθώς και τους αναμενόμενους στόχους της ομάδας έργου από την πιλοτική εφαρμογή.

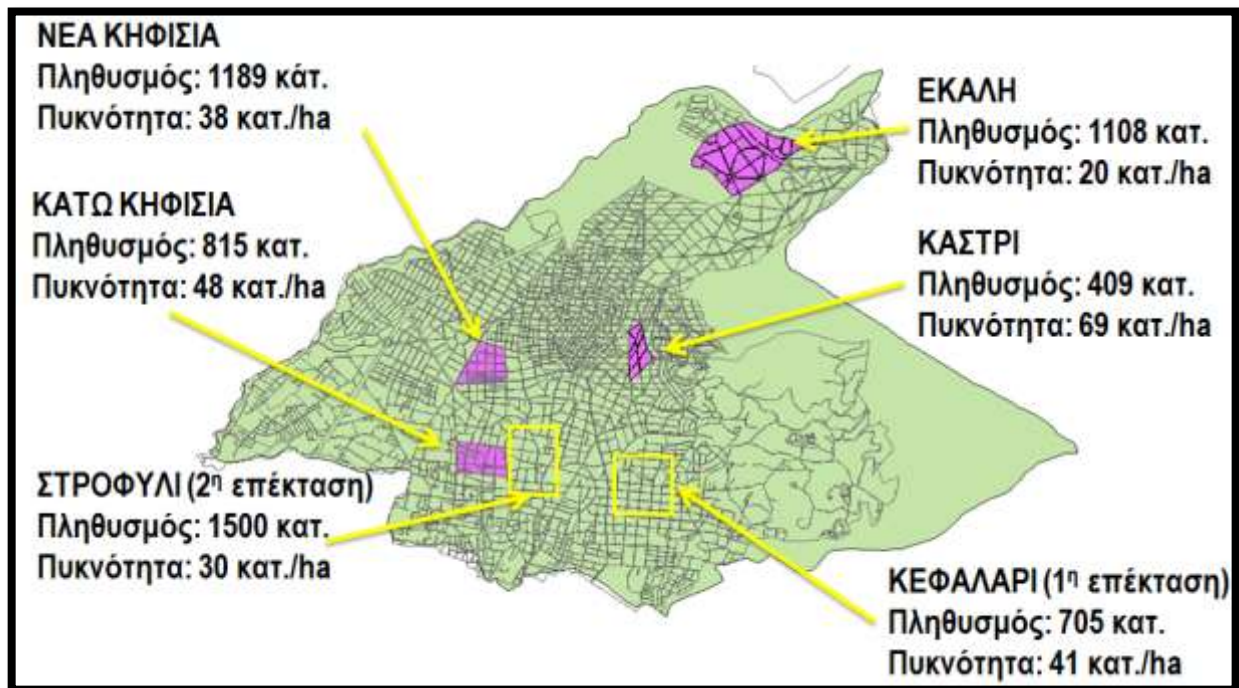
5.6 Πιλοτική εφαρμογή κομποστοποίησης για τα βιοαπόβλητα του Δήμου Κηφισιάς

Γενική περιγραφή της κοινότητας Κηφισιάς

Στην αρχαιότητα αποτελούσε τον ομώνυμο αττικό δήμο της Ερεχθίδος φυλής που τοποθετείτο στη μεσόγαια χώρα, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση του Κλεισθένους. Σήμερα συνιστά εύρωστη πόλη της Αττικής και ιστορική έδρα των βορείων προαστίων των Αθηνών.

Η περιοχή εντοπίζεται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους Πεντέλης και Πάρνηθος σε υψόμετρο κέντρου 290 μέτρων, οικοδομημένη σε πευκόφυτη πεδιάδα. Τα όρια του δήμου εκτείνονται από τις δασόφυτες ρεματιές του Κηφισού στα δυτικά μέχρι τους ορεινούς όγκους του Πεντελικού και τη ράχη του Κοκκινιάρá στα ανατολικά. Τοποθετείται δε στο βόρειο άκρο του λεκανοπεδίου της Αττικής, 15 χιλιόμετρα βορειοανατολικά των Αθηνών. Βρίσκεται δε μόλις 3 χιλιόμετρα βόρεια του μητροπολιτικού κέντρου του Αμαρουσίου και 5 χιλιόμετρο νότια του Αγίου Στεφάνου

Ο Δήμος Κηφισιάς ανασυστάθηκε σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης και αποτελείται από τους δήμους Κηφισιάς, Νέας Ερυθραίας και Εκάλης (Εικόνα24). Η έκταση του νέου Δήμου ανέρχεται στις 43.03 τ.χλμ και ο μόνιμος πληθυσμός πλησιάζει τους 70.600 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ).



Εικόνα 24: Σημεία του Δήμου Κηφισιάς που έγινε η πιλοτική εφαρμογή της κομποστοποίησης

(www.comwaste.gr)

Το κέντρο της πόλης εντοπίζεται στην καρδιά του δήμου επιδεικνύοντας μια πλούσια και πολυτελή αγορά, ενώ πέριξ τούτου εκτείνονται οι φιλήσυχοι συνοικισμοί, ορισμένοι από τους οποίους είναι η Νέα Κηφισιά, το Κεφαλάρι, η Πολιτεία, ο Κοκκινάρας, πολλοί από τους οποίους αργότερα αποσπώνται ως ανεξάρτητες κοινότητες, όπως η Νέα Ερυθραία μαζί το Καστρί και το Μορτερό, καθώς και η Εκάλη. Στην Κηφισιά βρίσκεται ο τερματικός σταθμός του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου και η περιοχή έχει πρόσβαση στην εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας, (www.wikipedia.gr).

5.7 Στόχος του προγράμματος της πιλοτικής εφαρμογής

Η επιτυχής εκτροπή των βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων από τους Χ.Υ.Τ.Α. βασίζεται στη διαλογή αυτών στην πηγή. Αν και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μπορεί να εξαχθεί από τα μεικτά απορρίμματα, απαιτεί πολύ εργασία και έτσι το παραγόμενο προϊόν είναι μολυσμένο. Η διαλογή στην πηγή προσφέρει υψηλής ποιότητας τροφοδοσία για κομποστοποίηση καθώς και την παραγωγή ενός καθαρού τελικού προϊόντος.

Τα «καθαρά» απορρίμματα που συλλέγονται μέσω της διαλογής στην πηγή είναι πιο πιθανό να καλύπτουν τις απαιτήσεις του κόμποστ και αυτό κατά συνέπεια να είναι κατάλληλο για πώληση και χρήση, έχοντας τα σχετικά περιβαλλοντικά οφέλη. Η χρήση του τελικού προϊόντος κόμποστ αναιρεί την απαίτηση για άλλα εδαφοβελτιωτικά, όπως η τύρφη, σε καλλιέργειες και κήπους.

Η διαλογή στην πηγή των βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων προωθεί επίσης την κομποστοποίηση στα σπίτια ή σε μικρές, τοπικές κοινότητες. Το κομποστοποιήσιμο κλάσμα των απορριμμάτων συχνά

είναι ένα από τα πιο μολυσματικά του συνολικού ρεύματος των απορριμμάτων. Με την εφαρμογή του προγράμματος αυτού είναι εφικτή η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που οδηγούνται σε Χ.Υ.Τ.Α. ή προς αποτέφρωση, ενώ ευνοείται η προσπάθεια εκπλήρωσης των τοπικών στόχων ανακύκλωσης.

Το σύστημα που θα αναπτυχθεί θα βασίζεται στην ταυτόχρονη βιοαποδόμηση και σταθεροποίηση του οικιακού οργανικού κλάσματος. Επιπρόσθετα θα χαρακτηρίζεται από αυξημένη δυνατότητα προσαρμογής, εμπιστοσύνη προς χρήση και ικανότητα να διαχειρίζεται μικρές ποσότητες απορριμμάτων σε μικρό χρονικό διάστημα, μέσα στις οικίες. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού του συστήματος, όπως τα πρόσθετα υλικά, ο τύπος των μικροοργανισμών, οι απαιτήσεις σε θερμό αέρα κ.λ.π., θα καθοριστούν μετά από λεπτομερή έρευνα όλων των εναλλακτικών τεχνολογιών και θα είναι προσαρμοσμένα στις ιδιαίτερες ανάγκες των υπό εξέταση νοικοκυριών.

Αυτή είναι η πρώτη προσπάθεια στην Ελλάδα εφαρμογής τέτοιου συστήματος για ταυτόχρονη διαλογή και κομποστοποίηση στην πηγή. Η ομάδα εργασίας θα προσπαθήσει να αναπτύξει ένα αποτελεσματικό, κατάλληλο και λειτουργικό σύστημα, με σκοπό τη μελλοντική εφαρμογή του σε πλήρη κλίμακα και σε άλλες περιοχές της χώρας. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του νέου και πρωτότυπου συστήματος θα περιλαμβάνει όλες τις υπερσύγχρονες αντιλήψεις και ιδέες όσο αφορά στην τεχνολογία και την επιστήμη (www.uest.ntua.gr).

Το πρόγραμμα πιλοτικής διαλογής βιοαποβλήτων

Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σε συνεργασία με τους φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης των δήμων Αθηναίων και Κηφισιάς, τον Ειδικό Διαβαθμιακό Σύνδεσμο Νομού Αττικής (ΕΔΣΝΑ) και τους Συμβούλους – Μελετητές Περιβαλλοντικών Έργων (ΕΡΤΑ) έθεσε σε εφαρμογή το πιλοτικό πρόγραμμα ATHENSBIOWASTE. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζουμε και αξιολογούμε την πιλοτική εφαρμογή που υλοποιήθηκε στον Δήμο Κηφισιάς.

Το πρόγραμμα BIOWASTE το οποίο εφαρμόστηκε στο Δήμο Κηφισιάς, αποσκοπεί στην πρώτη πιλοτική διαλογή των βιοαποβλήτων στην πηγή στο Δήμο και την επεξεργασία αυτών στη μονάδα Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΕΜΑΚ) του ΕΔΣΝΑ για την παραγωγή κόμποστ υψηλής ποιότητας. Επιπλέον, με την ανάπτυξη κατάλληλων λογισμικών εργαλείων θα προσδιορισθούν τα οφέλη των βιώσιμων μεθόδων διαχείρισης των βιοαποβλήτων αναφορικά με τις εκπομπές αερίων των θερμοκηπίων (συνεισφορά στη κλιματική αλλαγή), ενώ θα πραγματοποιείται αξιολόγηση της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ δεδομένης της σύνθεσης και των μεθόδων συλλογής των βιοαποβλήτων. Μέσω των προαναφερθέντων στόχων και μέσω της διαμόρφωσης κατάλληλου οδηγού θα προωθηθεί και θα ενισχυθεί η δημιουργία αγοράς για το κόμποστ και η ευαισθητοποίηση

των πολιτών, των αρμόδιων αρχών και άλλων ενδιαφερόμενων φορέων αναφορικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων. Επιπλέον, θα συνταχθούν προτάσεις για την τροποποίηση των τεχνικών προδιαγραφών και νομοθετικών διατάξεων διαχείρισης των αποβλήτων.

Οι ειδικοί στόχοι του έργου είναι:

- ✓ Η δημιουργία ολοκληρωμένης διαχείρισης των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα
- ✓ Η αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών διαχείρισης βιοαποβλήτων βάση όλου του κύκλου ζωής
- ✓ Η αξιολόγηση της τελικής ποιότητας κόμποστ σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά υλικών εισροής και άλλων λειτουργικών παραμέτρων
- ✓ Η διαμόρφωση της βάσης για τη διαμόρφωση αγοράς κόμποστ στην Ελλάδα
- ✓ Η αξιολόγηση εναλλακτικών συστημάτων διαλογής
- ✓ Η διαμόρφωση του πρώτου συστήματος διαλογής βιοαποβλήτων στην πηγή στην Ελλάδα
- ✓ Η παροχή καθοδήγησης στις τοπικές αρχές διαχείρισης απορριμμάτων όσον αφορά στη διαχείριση των βιοαποβλήτων
- ✓ Η αύξηση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και γνώσης των πολιτών, των αρμόδιων αρχών και άλλων ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων
- ✓ Η σύνταξη προτάσεων τροποποίησης των υφιστάμενων τεχνικών προδιαγραφών που περιλαμβάνονται στην ελληνική νομοθεσία (www.biowaste.gr)

Το έργο αποσκοπεί στην πρώτη πιλοτική διαλογή στην πηγή των βιοαποβλήτων στο Δήμο Κηφισιάς και την επεξεργασία αυτών στη Μονάδα Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΕΜΑΚ) του ΕΔΣΝΑ για την παραγωγή κόμποστ υψηλής ποιότητας. Ανάπτυξη κατάλληλων λογισμικών εργαλείων και οδηγιών για τη βελτίωση της διαχείρισης των βιοαποβλήτων με συστήματα ΔσΠ.

Ειδικότερα, με την ανάπτυξη κατάλληλων λογισμικών εργαλείων θα προσδιορισθούν τα περιβαλλοντικά οφέλη των βιώσιμων μεθόδων διαχείρισης των βιοαποβλήτων από τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής), ενώ θα πραγματοποιείται αξιολόγηση της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ για διαφορετικές συνθέσεις και μεθόδους συλλογής των βιοαποβλήτων.

Μέσω των προαναφερθέντων στόχων και με τη διαμόρφωση κατάλληλου οδηγού θα διευκολυνθεί η δημιουργία αγοράς για το κόμποστ και η ευαισθητοποίηση των πολιτών, των αρμόδιων αρχών και άλλων ενδιαφερόμενων φορέων. Επιπρόσθετα, θα συνταχθούν προτάσεις για την τροποποίηση των τεχνικών προδιαγραφών και νομοθετικών διατάξεων διαχείρισης των βιοαποβλήτων.

Τον Νοέμβριο του 2012 ξεκίνησε η εφαρμογή σε πιλοτικές περιοχές του Δήμου Κηφισιάς και τα προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα ήδη τροφοδοτούνται στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης του Ε.Δ.Σ.Ν.Α. σε ξεχωριστή γραμμή κομποστοποίησης ενώ σύντομα αναμένονται και τα πρώτα φορτία από τον Δήμο Αθηναίων.

Το πρόγραμμα Life+ είναι το χρηματοδοτικό μέσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το περιβάλλον. Ο κύριος σκοπός του προγράμματος Life+ είναι να συμβάλλει στην εφαρμογή, ενημέρωση και ανάπτυξη της Κοινοτικής περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας, συμβάλλοντας στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης (www.edsna.gr).

Τα κριτήρια που επιλέχθηκε η περιοχή της Κηφισιάς για την πιλοτική εφαρμογή:

- ✓ Μέση Πυκνότητα Δήμου Κηφισιάς και Μέση Τιμή Ζώνης
- ✓ Χαμηλή Πυκνότητα Δήμου Κηφισιάς και Υψηλή Τιμή Ζώνης
- ✓ Υψηλή Πυκνότητα Δήμου Κηφισιάς
- ✓ Επίσης, ο Δήμος Κηφισιάς θεώρησε ως βέλτιστο, οι πιλοτικές περιοχές να ανήκουν σε διαφορετική Δημοτική Ενότητα (πρώην Δήμος/Κοινότητα), ήτοι να επιλεγεί μία τουλάχιστον περιοχή από την Κηφισιά, τη Ν. Ερυθραία και την Εκάλη.
- ✓ Η επιλογή έγινε βάσει διαφορετικών κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων με κάλυψη πληθυσμού 3.500-4.000 κατοίκων.
- ✓ Επιλογή και επιμόρφωση προσωπικού για την ενασχόληση του με το Πρόγραμμα
- ✓ Προκήρυξη Διαγωνισμών και απόφαση Δημ. Συμβουλίου για την αγορά σακουλών και κάδων

5.8 Υπάρχουσα κατάσταση απορριμμάτων του Δήμου Κηφισιάς

Ο Δήμος Κηφισιάς σύμφωνα με την τοπική Διεύθυνση Καθαριότητας – Διεύθυνση Περιβάλλοντος κάθε ημέρα απασχολεί 19 στο σύνολο απορριμματοφόρα για την συλλογή των οικιακών απορριμμάτων. Τα οικιακά απορρίμματα παράγονται κυρίως από τις κατοικίες ή τις πολυκατοικίες και αποτελούνται από τροφικά υπολείμματα, Ζυμώσιμα υλικά, πλαστικό, γυαλί, μέταλλο, ηλεκτρικά είδη, συσκευές, απόβλητα κήπων κ.ο.κ Τα οικιακά απορρίμματα του δήμου εφόσον συλλεχθούν μεταφέρονται σε Σταθμό Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων (ΣΜΑ). Ο ΣΜΑ του Δήμου Κηφισιάς βρίσκεται στο άκρο της πόλης πλησίον της Εθνικής οδού και διαθέτει σύγχρονο εξοπλισμό χωρίς να επιβαρύνει αρνητικά το περιβάλλον, καθώς η διαδικασία της μεταφόρτωσης γίνεται σε κλειστά containers. Στη συνέχεια, μεταφέρονται σε χώρο υγειονομικής ταφής όπως ορίζεται από την ισχύουσα νομοθεσία, για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Έχουν υπολογισθεί ότι

90 – 100 τόνους οικιακών απορριμμάτων ημερησίως τα οποία οδηγούνται μέσω ενός τοπικού Σ.Μ.Α. στον Χ.Υ.Τ.Α. Άνω Λιοσίων από τον Δήμο.

Τα απορριμματοφόρα του Δήμου είναι 19 όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο και ιδιαίτερα 12 απασχολούνται στην Κηφισιά, 4 στην Νέα Ερυθραία και 3 στην Εκάλη. Επιπλέον, ο δήμος παρέχει υπηρεσίες όπως συντήρηση και έλεγχο των κάδων αποβλήτων, συλλογή ογκωδών αποβλήτων, καθαριότητα κ.ο.κ.

Στο Δήμο Κηφισιάς εφαρμόστηκε σύστημα συλλογής πόρτα-πόρτα, όπου κάθε κτίριο παρέλαβε κάδο αποκλειστικής χρήσης, μεγέθους 30-360 lt για τη διαλογή των βιοαποβλήτων (Εικόνα 25). Η συλλογή ξεκίνησε το Νοέμβριο του 2012.



Εικόνα 25: Διαδικασία συλλογής του Δήμου Κηφισιάς

(www.biowaste.gr)

Εκκίνηση προγράμματος στο Δήμο Κηφισιάς με διανομή κάδων πόρτα- πόρτα με ημερομηνία εκκίνησης 14 Νοεμβρίου 2012. Η διανομή έγινε με 15 άτομα προσωπικό, 3 φορτηγά του Δήμου Κηφισιάς και την αρωγή των εταιρών από το ΕΜΠ, την ΕΣΔΝΑ και την ΕΠΤΑ.

- ✓ Οι κάτοικοι έλαβαν τους κάδους τους μαζί με ποσότητα βιοδιασπώμενων σακουλών καθώς και φυλλάδια οδηγιών.
- ✓ Παρουσίαση του Προγράμματος, στους κατοίκους που λαμβάνουν μέρος σε αυτό σε ειδικές εκδηλώσεις.
- ✓ Οργάνωση τμήματος γραμματειακής υποστήριξης, ενημέρωσης πολιτών, επισήμανσης δυσκολιών καθώς και επίλυση προβλημάτων ή τυχόν παραπόνων για το πρόγραμμα.
- ✓ Επάνδρωση οχήματος και άμεση αποκομιδή των οργανικών αποβλήτων σε καθορισμένες ημέρες και ώρες ανά περιοχή.
- ✓ Συχνές συναντήσεις με τους οδηγούς και τα πληρώματα για διαπίστωση τυχόν προβλημάτων και πιθανές αλλαγές που αφορούν στη βελτίωση του προγράμματος.
- ✓ Επέκταση του προγράμματος στις περιοχές Στροφύλι (Δεκέμβριος 2012) και Κεφαλάρι (Ιανουάριος 2013).

Στον ακόλουθο Πίνακα 9 αναγράφεται η ποσότητα συλλογής βιοαποβλήτων από τα απορριμματοφόρα του δήμου Κηφισιάς.

Μήνας	Δρομολόγια	Ποσότητα (Kg)
Δεκέμβριος 2012	3	7.610
Ιανουάριος 2013	4	17.200
Φεβρουάριος 2013	2	9.860
Απρίλιος 2013	4	16.880
Μάιος 2013	5	12.180
Ιούνιος 2013	4	9.010
Συνολικά		85.190

Πίνακας 9: Ποσότητα συλλογής προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων

(www.biowaste.gr, www.uest.gr)

5.9 Περιγραφή της δράσης

Τρόπος λειτουργίας του προγράμματος

- ✓ Διαλογή στην πηγή υπολειμμάτων τροφών οι οποίες τοποθετούνται σε βιοδιασπώμενες σακούλες (από καλαμπόκι) και περισυλλέγονται σύμφωνα με το εβδομαδιαίο πρόγραμμα ανά περιοχή.
- ✓ Το υλικό που συλλέγεται οδηγείται στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης στα Άνω Λιόσια, του Φορέα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Νομού Αττικής (Ε.Δ.Σ.Ν.Α).
- ✓ Υφίσταται επεξεργασία σε ξεχωριστό τμήμα από τα λοιπά απόβλητα, όπου και θα παράγεται εδαφοβελτιωτικό (οργανικό λίπασμα ή κόμποστ) υψηλής ποιότητας. Το κόμποστ θα αξιοποιηθεί από το Δήμο και τους Δημότες.

Συσκευή που χρησιμοποιήθηκε

Για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός Κατάλληλου Πρωτότυπου Συστήματος για την Διαλογή και Κομποστοποίηση στην πηγή ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- ✓ Σχεδιασμός κατάλληλου και αποτελεσματικού συστήματος για ταυτόχρονη διαλογή και κομποστοποίηση στην πηγή για τα νοικοκυριά της Αττικής
- ✓ Ανάπτυξη του συστήματος

Ειδικότερα:

- ✓ Εξετάστηκαν όλα τα διεθνώς διαθέσιμα συστήματα οικιακής κομποστοποίησης Μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης επιλέχθηκαν τα βέλτιστα τα οποία δοκιμάστηκαν εργαστηριακά.
- ✓ Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του πρωτότυπου συστήματος. Βασική επιδίωξη ήταν το σύστημα αυτό να συγκεντρώνει τα πλεονεκτήματα των επιλεγμένων συστημάτων και να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ελληνικών νοικοκυριών, (www.uest.ntua.gr).

Προϊόντα κατάλληλα για το σύστημα:

- ✓ Υπολείμματα φαγητού
- ✓ Αλλοιωμένα τρόφιμα
- ✓ Υπολείμματα καφέ και βοτάνων
- ✓ Κελύφη αυγών

- ✓ Λαχανικά και φρούτα
- ✓ Φύλλα
- ✓ Χαρτοπετσέτες, χαρτί κουζίνας
- ✓ Χόρτα

Τι προϊόντα δε μπορούμε να κομποστοποιήσουμε:

- ✓ Πλαστικά
- ✓ Κουτιά από χυμούς και γάλατα
- ✓ Δοχεία και καπάκια δοχείων
- ✓ Γυαλί
- ✓ Πορσελάνη, κεραμικά
- ✓ Κόκαλα
- ✓ Σακούλες από ηλεκτρικές σκούπες
- ✓ Λάστιχα
- ✓ Υφάσματα
- ✓ Επικίνδυνα απορρίμματα

Η καινοτόμος προσπάθεια της χρήσης των κάδων κομποστοποίησης σε οικιακό επίπεδο είναι φυσικό εκτός από τα θετικά αποτελέσματα να συνοδεύεται και από επιμέρους προβλήματα. Για την γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των πιθανών αυτών προβλημάτων κρίθηκε απαραίτητη η οργάνωση τριμελών κυρίως ομάδων οι οποίες λειτούργησαν συμβουλευτικά αλλά και καταλυτικά με σκοπό τόσο την αντιμετώπιση των προβλημάτων στα νοικοκυριά όσο και την συνεχή ενημέρωσή τους.

Συγκεκριμένα συστάθηκαν εννέα ομάδες. Η κάθε ομάδα αποτελούνταν από δύο μέλη της ερευνητικής ομάδας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ένα άτομο μέλος της ομάδας εργασίας του Δήμου. Παρακολουθήθηκαν 30 συστήματα οικιακής κομποστοποίησης ενώ η κάθε τριμελής ομάδα είχε υπό την επίβλεψή της 10 συστήματα. Στις δραστηριότητες της ομάδας συμπεριλαμβανόταν σειρά επισκέψεων με στόχο την επίλυση τεχνικών προβλημάτων που ενδεχομένως να παρουσιάζονταν, την εξαγωγή συμπερασμάτων από την πορεία χρήσης του συστήματος, την παροχή συμβουλών και οδηγιών προς στους δημότες – χρήστες του κάδου και την πραγματοποίηση δειγματοληπτικού έλεγχου στο compost και στο στράγγισμα.

Επιπλέον η παράδοση του κάδου κομποστοποίησης συνοδεύτηκε από φυλλάδιο λειτουργίας του κάδου το οποίο περιλάμβανε γενικές οδηγίες χρήσης, είδη διατροφικών υπολειμμάτων που μπορούν να μπουν στον κάδο και σχετικές εικόνες οι οποίες υποδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο συλλέγουν το στράγγισμα, το κόμποστ κ.ά.

Μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης δειγμάτων

Τα δείγματα του παραγόμενου compost από κάθε οικία μεταφέρονταν στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Ε.Μ.Π. προκειμένου να πραγματοποιηθεί ανάλυση της ποιότητας και της φυτοτοξικότητας τους. Σημειώνεται ότι ο δημότης – χρήστης του κάδου κομποστοποίησης παρέδιδε στη συμβουλευτική ομάδα συμπληρωμένο έντυπο με στοιχεία για την πορεία χρήσης του κάδου. Επίσης, η συμβουλευτική ομάδα σε κάθε επίσκεψη της κατέγραφε στοιχεία που αφορούσαν τη λειτουργία του κάδου.

➤ Ποιοτική καταγραφή

Η σωστή προετοιμασία του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων προς κομποστοποίηση αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο για την επιτυχή ανάπτυξη της διεργασίας. Το άζωτο, ο άνθρακας, η οργανική ουσία, ο λόγος C/N και η υγρασία είναι από τις βασικούς παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός και η καταγραφή των τιμών των παραμέτρων αυτών στα τρόφιμα, φρούτα και λαχανικά με την συχνότερη κατανάλωση. Έτσι κατά την εφαρμογή του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές αναλύσεις από την επιστημονική ομάδα της Μονάδας Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Ε.Μ.Π προκειμένου να προσδιοριστούν η περιεχόμενη υγρασία (% υγρασία), ο οργανικός άνθρακας (% C_{org}), η οργανική ουσία (% OM), το ολικό άζωτο (%N) καθώς και ο λόγος C/N για ένα μεγάλο εύρος τροφίμων, λαχανικών και φρούτων τα οποία καταναλώνονται συχνά από τους κατοίκους.

➤ Χημικές αναλύσεις

- ✓ υγρασία
- ✓ pH
- ✓ φυτοτοξικότητα
- ✓ οργανικός άνθρακας
- ✓ περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο
- ✓ θρεπτικά συστατικά (Na, Mg, Ca, K)
- ✓ μέταλλα (Cu, Cr, Ni, Zn, Pb)

5.10 Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής εφαρμογής της κομποστοποίησης

- ✓ Αξιολόγηση της συμμετοχής των πολιτών στη διαδικασία υλοποίησης του προγράμματος (ερωτηματολόγια – συνεντεύξεις)
- ✓ Ανάλυση των προβλημάτων που ενδεχομένως να προκύψουν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης
- ✓ Ανάπτυξη λύσεων με σκοπό να ξεπεραστούν τυχόν προβλήματα
- ✓ Ανάπτυξη προδιαγραφών για την υλοποίηση του προγράμματος σε μεγαλύτερη κλίμακα

Επίσης:

- ✓ Από την έναρξη αποκομιδής τον Νοέμβριο του 2012 μέχρι σήμερα βάση των ζυγολογιών κάθε εβδομάδα απορρίπτονται περίπου 1.500 κιλά οργανικού προϊόντος στη γραμμή παραγωγής του εργοστασίου στο ΧΥΤΑ.
- ✓ Το προϊόν το οποίο συλλέγεται έχει καθαρότητα 98%
- ✓ Παράδοση: 1.757 κάδοι (69% της συνολικής κάλυψης των προβλεπόμενων 2.536 κάδων)

Όσο αφορά στα διατροφικά υπολείμματα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σχεδόν όλα κρίνονται κατάλληλα για την χρησιμοποίησή τους ως υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση. Όσον αφορά στις λειτουργικές παραμέτρους της οικιακής κομποστοποίησης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα θεοκρασίας που αναπτύσσονται στους κάδους οικιακής κομποστοποίησης είναι επαρκή, δεδομένου ότι αρχικά παρατηρούνται σχετικά χαμηλές θερμοκρασιακές τιμές οι οποίες αυξάνονται κατά την ανάπτυξη της διεργασίας, προσεγγίζοντας επίπεδα που είναι ευνοϊκά τόσο για την υποβοήθηση της κομποστοποίησης όσο και για την καταστροφή των παθογόνων οργανισμών που πιθανόν να αναπτύσσονται κατά την κομποστοποίηση. Αναφορικά με τις τιμές περιεχόμενης υγρασίας, σε κάποιες περιπτώσεις ήταν αυξημένες, με αποτέλεσμα να προστίθεται μεγαλύτερη ποσότητα ροκανιδιού για την ρύθμιση της σε βέλτιστα επίπεδα. Τέλος, το οξυγόνο ήταν επαρκές για την ανάπτυξη και διατήρηση αερόβιων συνθηκών που απαιτούνται για την ανάπτυξη της διεργασίας.

Για την αξιολόγηση του συστήματος επεξεργασίας οικιακών απορριμμάτων με την μέθοδο της κομποστοποίησης δόθηκαν

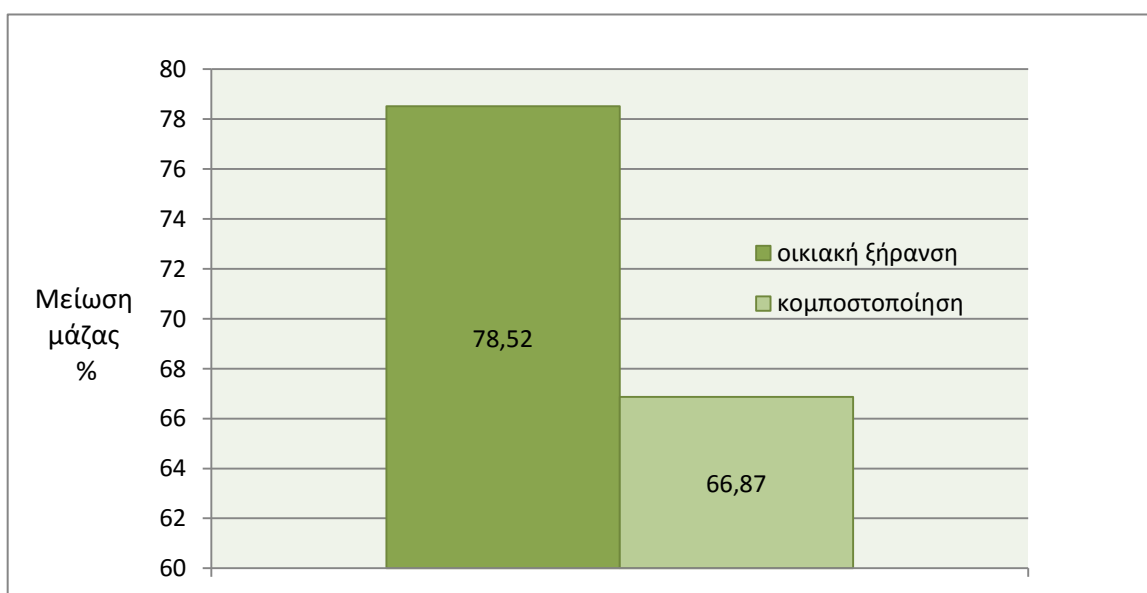
6. Σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων σε πειραματικό επίπεδο

Πραγματοποιήθηκε συγκριτική αξιολόγηση του πειραματικού σταδίου των Διδακτορικών διατριβών, «Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου» του Μαργαρίτη Μάρκου και «Ανάπτυξη συστήματος επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων» του Σωτηρόπουλου Άγγελου.

6.1 Δείκτες αξιολόγησης αποτελεσμάτων

6.1.1 Μείωση της μάζας

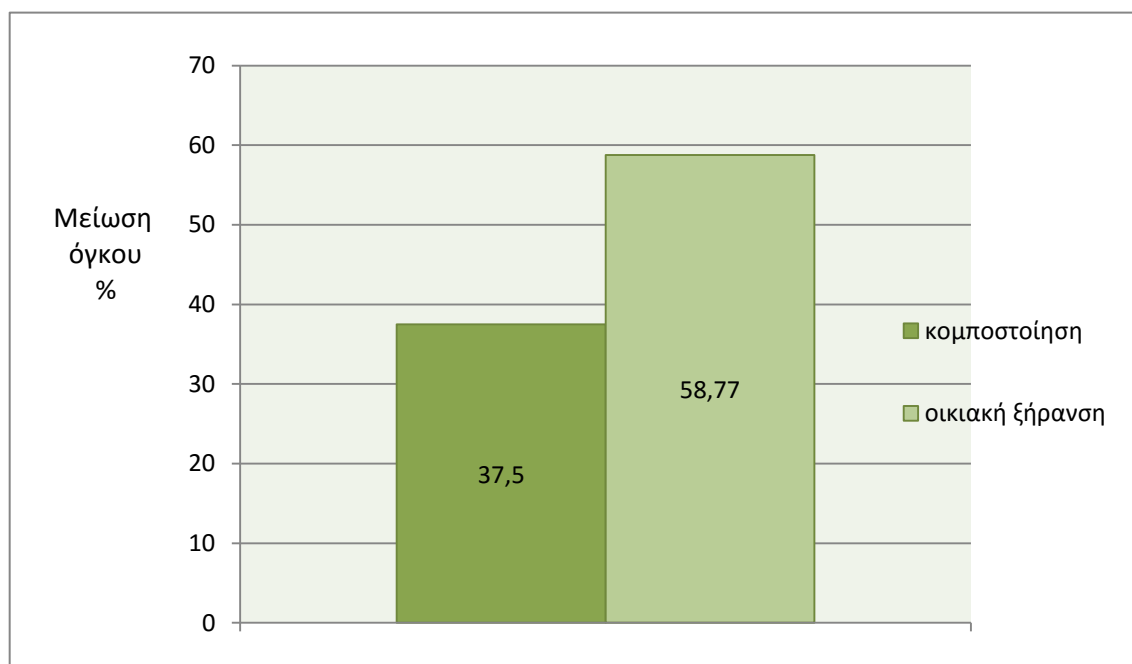
Στο σύστημα της κομποστοποίησης ο αντιδραστήρας, είχε μια μείωση μάζας της τάξεως του 66,87%, ενώ στο σύστημα της οικιακής ξήρανσης, το ποσοστό μείωσης της μάζας ήταν 78,52%. Στο ακόλουθο Διάγραμμα 1 απεικονίζεται η σύγκριση των τιμών μείωσης.



Διάγραμμα 1: Απεικόνιση της μείωσης μάζας των δύο συστημάτων

6.1.2 Μείωση του όγκου

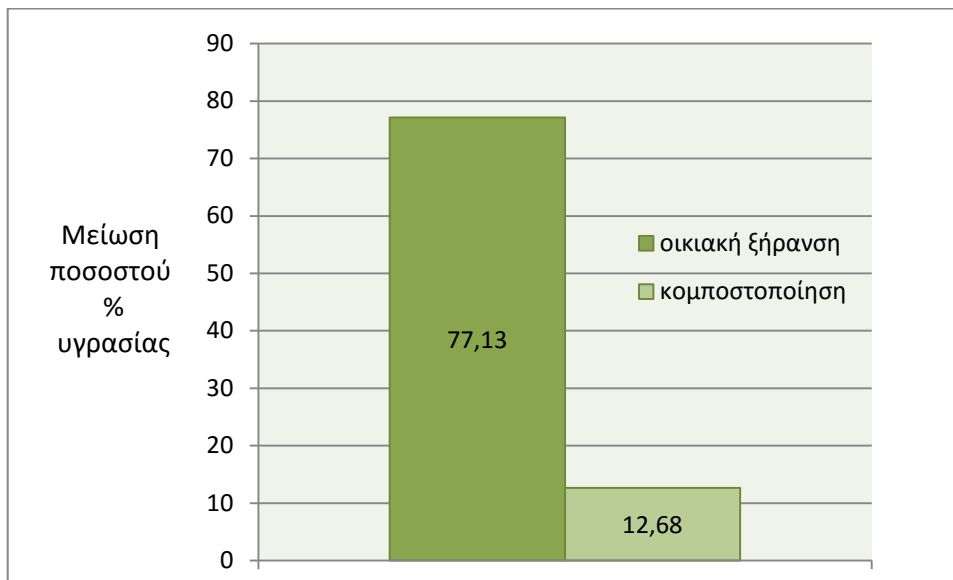
Στη μέθοδο της κομποστοποίησης ο κάδος του αντιδραστήρα των 60L ήταν καλυμμένος περίπου στα 4/5, δηλαδή στα 48L. Μπορεί κατά την διάρκεια του κύκλου (21 ημερών) να υπήρξαν μικρές αυξομειώσεις στον αρχικό όγκο. Ο όγκος του τελικού προϊόντος ήταν περίπου στο 1/5 με 2/5 του συνολικού όγκου, αυτό εξαρτάται φυσικά και από το ποσοστό της υγρασίας που κυμαινόταν, ενώ η μείωση του όγκου ήταν περίπου 37,5%. Στο σύστημα της οικιακής ξήρανσης, η μείωση του όγκου που σημειώθηκε ήταν της τάξεως του 58,77%. Στο παρακάτω ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 2) απεικονίζεται η μείωση του όγκου.



Διάγραμμα 2: Απεικόνιση της μείωσης του όγκου των δύο συστημάτων

6.1.3 Μείωση ποσοστού % της υγρασίας

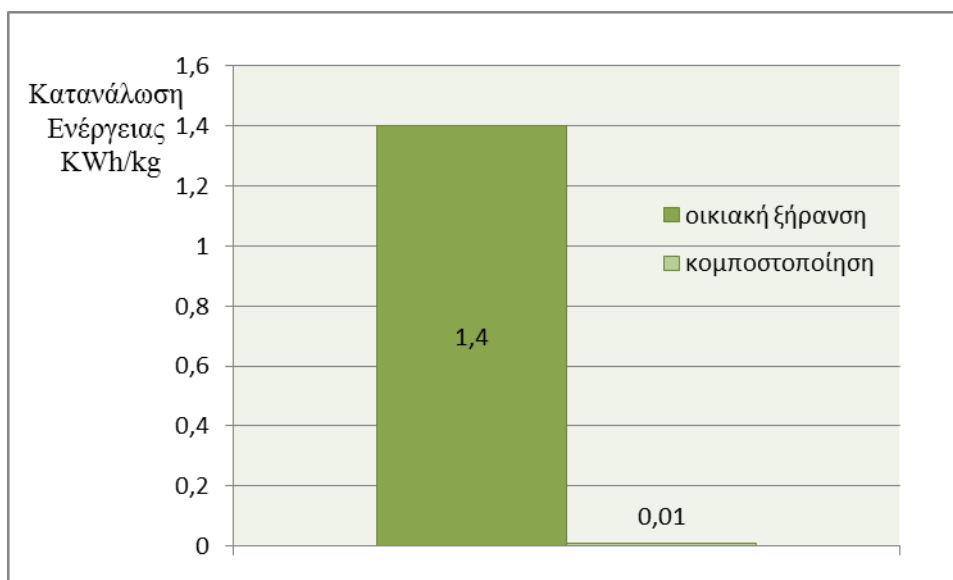
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται το ποσοστό (%) μείωσης υγρασίας όπως αυτό προέκυψε από την πειραματική διεργασία της οικιακής ξήρανσης και της διεργασίας της κομποστοποίησης. Παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση στην κομποστοποίηση, ενώ στην ξήρανση δεν υπάρχει τόσο μεγάλη μείωση του ποσοστού της υγρασίας (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Σύγκριση υγρασίας % των δύο συστημάτων

6.1.4 Κατανάλωση Ενέργειας

Στη σύγκριση των δυο αντιδραστήρων παρατηρήθηκε ότι στη διαδικασία της κομποστοποίησης δεν απαιτείται κατανάλωση ενέργειας για να υλοποιηθεί, και αυτό καταγράφεται στα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού. Σε αντίθεση με τη διαδικασία της οικιακής ξήρανσης, όπου για να πραγματοποιηθεί χρειάζεται ενεργειακή κατανάλωση. Η κατανάλωση αυτή υπολογίσθηκε κατά μέσο όρο στα 1,4 KWh/kg (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Απεικόνιση της κατανάλωσης ενέργειας των δύο μεθόδων

6.1.5 Φυσικοχημικές ιδιότητες

Από τους πειραματικούς κύκλους που πραγματοποιήθηκαν για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων, προκύπτουν τα ακόλουθα στοιχεία στον Πίνακα 12.

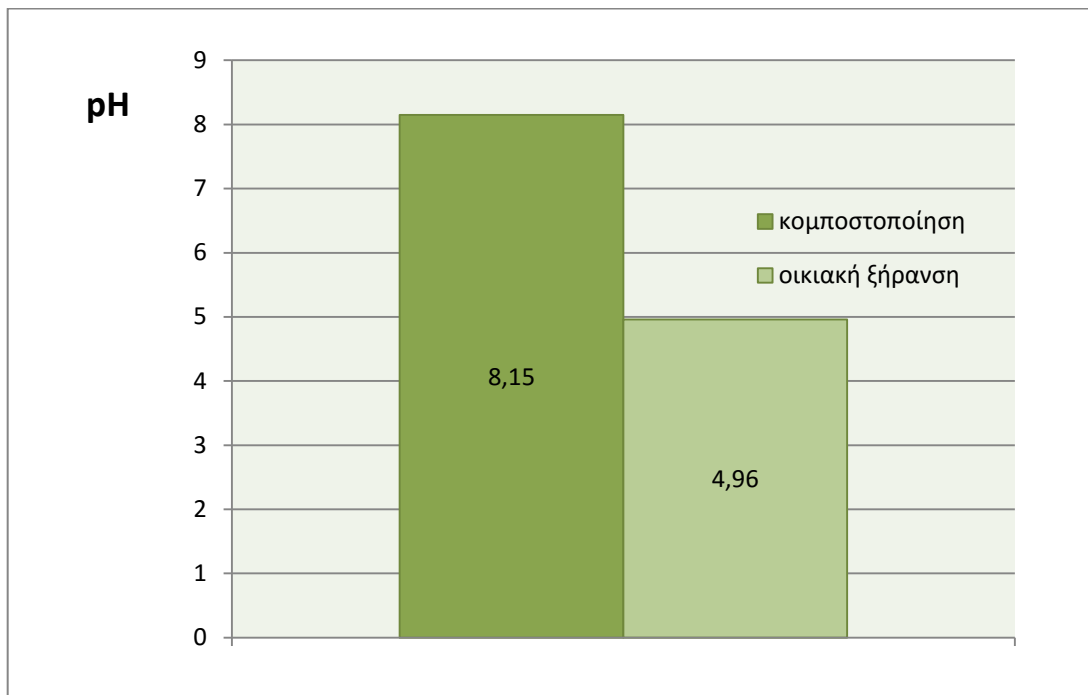
Παράμετροι	Κομποστοποίηση	Οικιακή Ξήρανση
TOC (%)	29,49	53,16
TKN (%)	2,72	1,16
pH	8,15	4,96
NO ₃ ⁻ - N	0,43	-
NH ₄ ⁻ - N	0,29	0,07
Αγωγιμότητα (mS)	3,96	2,21
C/N	10,85	-
VS (%)	56,38	95,01

Πίνακας 12: Μ.Ο. των φυσικοχημικών παραμέτρων των δύο μεθόδων

➤ pH

Η δράση βακτηρίων και η συνεπακόλουθη αμμωνιοποίηση μέρους του οργανικού αζώτου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του pH. Λόγω της πτητικότητας της αμμωνίας της παράλληλης οξείδωσης των αμμωνιακών σε νιτρικά (νιτροποίηση), η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώνεται με παράλληλη μικρή μείωση του pH.

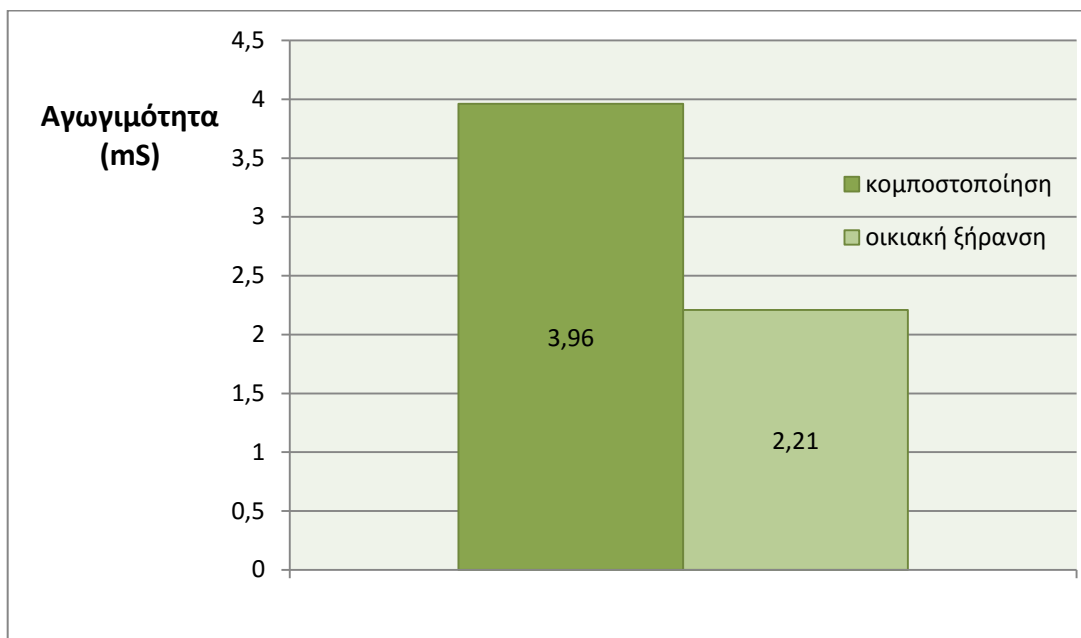
Παρατηρούμε ότι το pH στην κομποστοποίηση είναι βασικό με τιμή 8,15, ενώ στην οικιακή ξήρανση είναι όξινο με τιμή 4,96. Στην κομποστοποίηση έχουμε μια ανοδική πορεία της τιμής του pH, σε αντίθεση με την ξήρανση που το pH ακολουθεί μια πτωτική τάση -είναι μια γραμμική πτώση λόγω του ότι είναι μια φυσική αντίδραση η μέθοδος αυτή, και όχι χημική όπως είναι η διαδικασία της κομποστοποίησης, όπου η τιμή του pH μπορεί να επηρεαστεί και εξαρτάται από την διακύμανση των αμμωνιακών και νιτρικών στοιχείων- (Διάγραμμα 5). Οι τιμές αυτές καθορίζουν και την σύσταση του τελικού προϊόντος (κόμποστ) για την μετέπειτα χρήση του.



Διάγραμμα 5: Απεικόνιση του pH των δύο συστημάτων

➤ Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

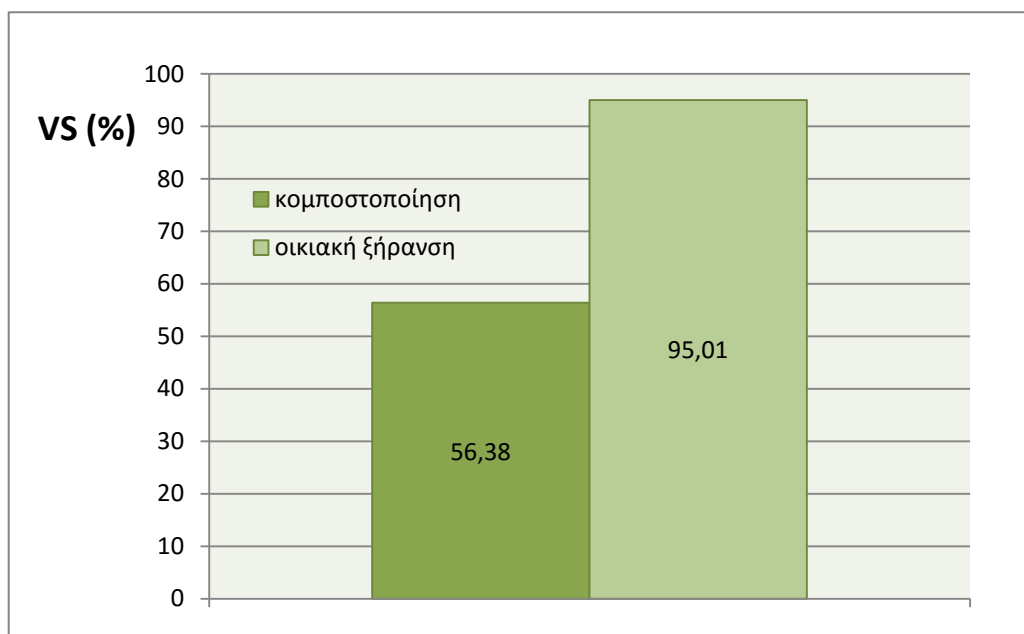
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται άμεσα με το είδος και τον αριθμό των ιόντων σε ένα διάλυμα. Ως μέτρο του διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στην συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σ' ένα διάλυμα, υψηλές τιμές αγωγιμότητας στο κόμποστ δύναται να του προσδίδουν υψηλή θρεπτική αξία, αλλά μπορεί και να καταστρέψουν τα φυτά, ειδικά τους σπόρους και ενδέχεται να καθυστερήσουν τη διαδικασία βλάστησης. Στο ακόλουθο ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 6) απεικονίζονται οι τιμές της αγωγιμότητας των δυο μεθόδων. Της κομποστοποίησης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με της οικιακής ξήρανσης κι αυτό οφείλεται στα άλατα του τελικού προϊόντος και στο pH του.



Διάγραμμα 7: Απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο συστημάτων

➤ Πτητικά στερεά (VS)

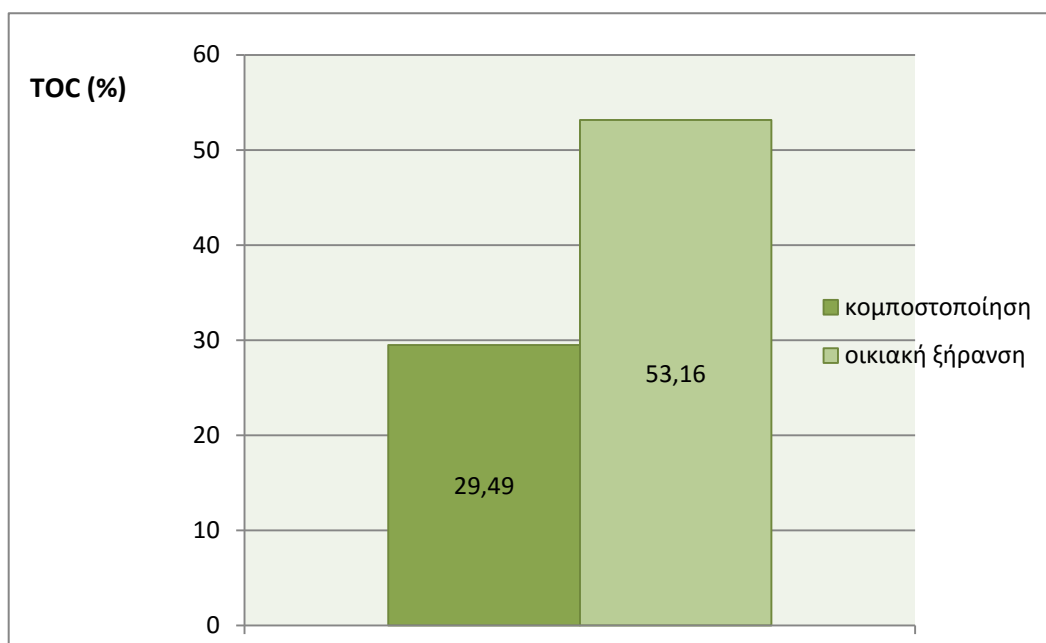
Τα πτητικά στερεά αποτελούν μια πολύ βασική παράμετρο της διεργασίας, καθώς χρησιμοποιούνται συχνά ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης και η σταθεροποίηση του κόμποστ είναι μια διαδικασία που έχει σχέση με την ποσότητα και την αποσύνθεση του οργανικού υλικού. Από το ακόλουθο ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 8) παρατηρείται και η διαφορά του ποσοστού μεταξύ των δύο μεθόδων.



Διάγραμμα 8: Απεικόνιση του ποσοστού των πτητικών συστατικών (VS %)

➤ Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

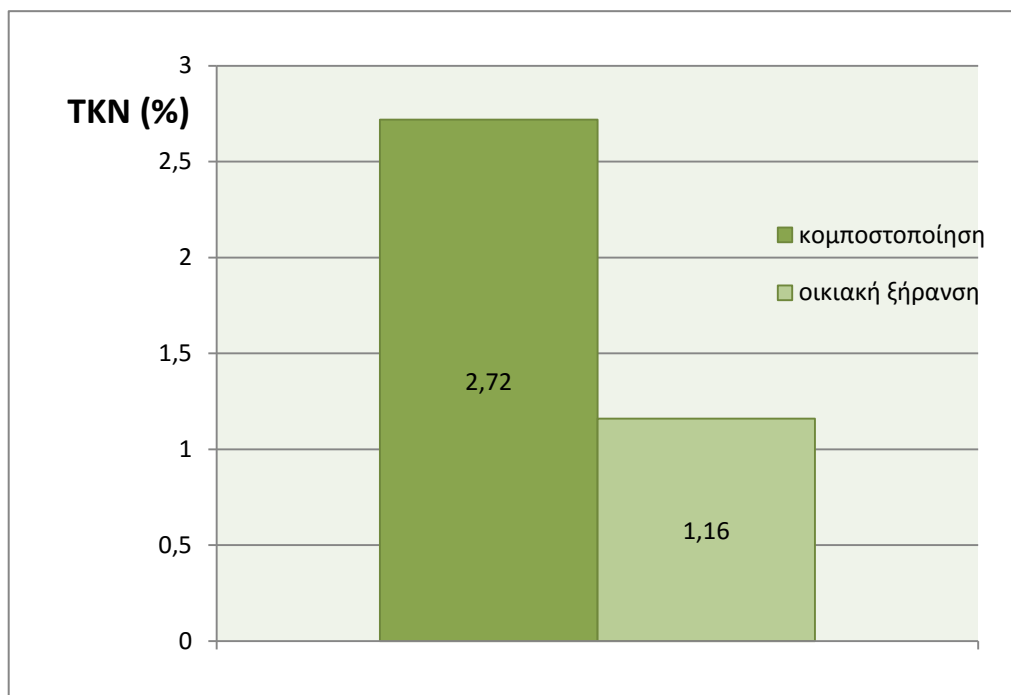
Ο ολικός οργανικός άνθρακας παρουσιάζει μείωση καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης εξαιτίας των βιοξειδωτικών διεργασιών και της μετατροπής του σε CO₂. Η εντονότερη κατανάλωση του οργανικού άνθρακα επιτυγχάνεται κατά τη θερμοφιλή φάση της διεργασίας όπου και παρατηρείται η εντονότερη μικροβιακή δραστηριότητα λόγω των άμεσα διαθέσιμων οργανικών ενώσεων. Στο τέλος του λειτουργικού χρόνου στον βιοαντιδραστήρα κομποστοποίησης καταγράφονται πολύ μειωμένες τιμές του ποσοστού του οργανικού άνθρακα σε σχέση με το ποσοστό της οικιακής ξήρανσης, διότι η οργανική ύλη έχει καταναλωθεί όλη σχεδόν και είναι ένα σταθεροποιημένο προϊόν. Σε αντίθεση με το τελικό υλικό της ξήρανσης που δεν έχει βιοαποδομηθεί, δεν είναι σταθεροποιημένο και θα χρειαστεί επεξεργασία για να χρησιμοποιηθεί μετά (1 Διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 9: Απεικόνιση του τελικού ποσοστού οργανικού άνθρακα των δύο μεθόδων

➤ **Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN %)**

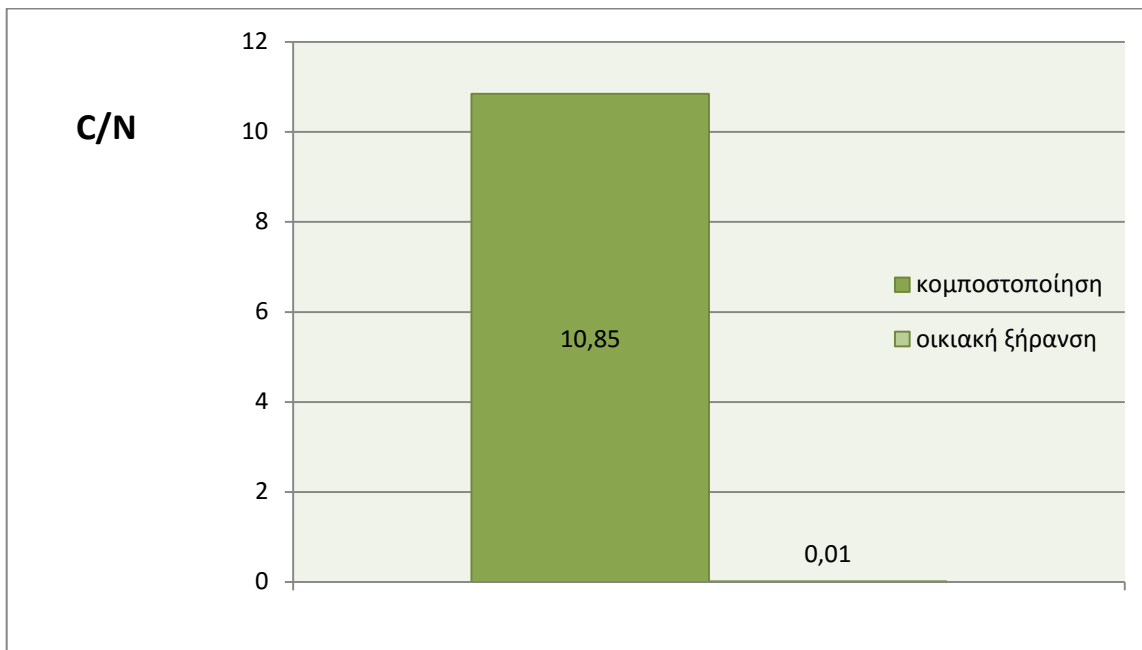
Στο ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 10) που ακολουθεί παρατηρείται πως η τιμή του TKN% είναι μεγαλύτερη στη διεργασία της κομποστοποίησης σε σχέση με την τιμή της οικιακής ξήρανσης, λόγω του ότι στην κομποστοποίηση έχουμε βιοξειδωτικές διεργασίες με απώλειες στον οργανικό άνθρακα, ενώ στην ξήρανση είναι μια φυσική διεργασία και δεν υπάρχουν αντιδράσεις, ούτε μεγάλες απώλειες στο άζωτο.



Διάγραμμα 10: Απεικόνιση του ολικού αζώτου στο τελικό προϊόν των δύο συστημάτων

➤ **Ο λόγος C/N**

Ο λόγος C/N παρουσιάζει φθίνουσα πορεία καθόλη τη διάρκεια της κομποστοποίησης και η τελική μέση τιμή παρουσιάζεται στο ακόλουθο ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 11) μαζί με την μηδενική τιμή του λόγου C/N της οικιακής ξήρανσης, λόγω του ότι δεν μετρήθηκε στο τελικό προϊόν της διεργασίας.

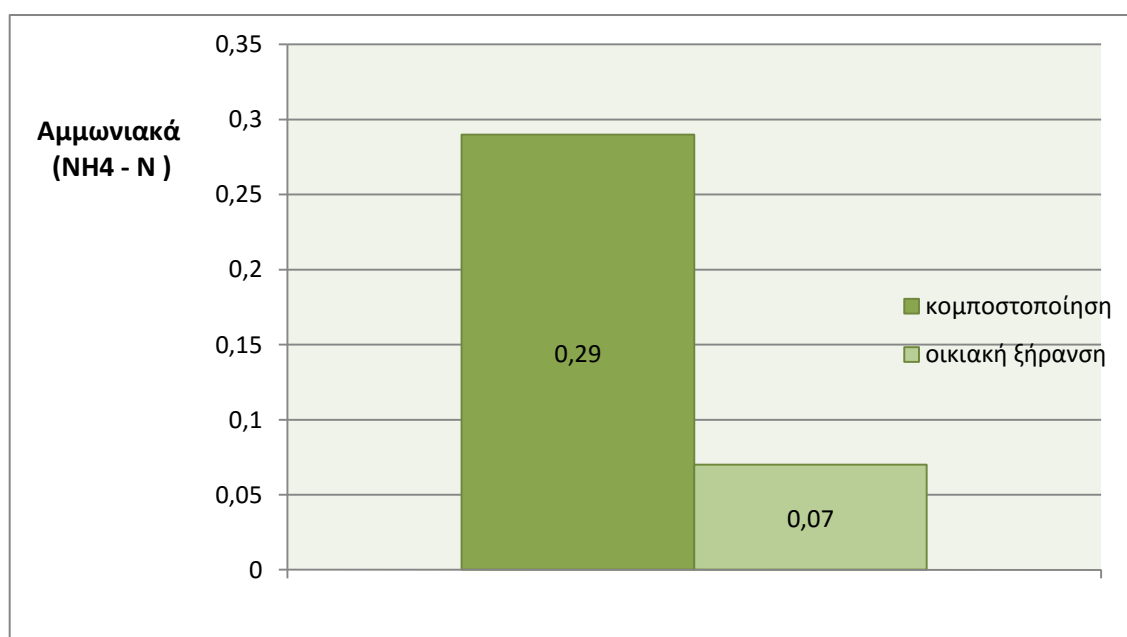


Διάγραμμα 11: Απεικόνιση του λόγου C/Nτων δύο μεθόδων

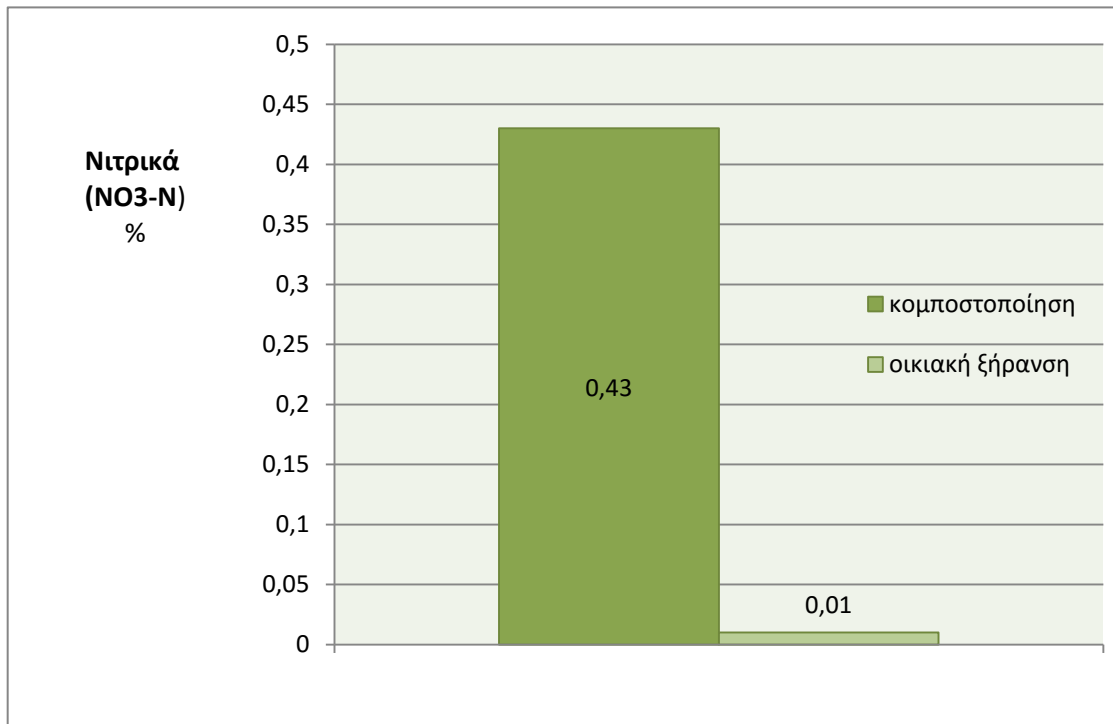
➤ **Νιτρικά ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) και αμμωνιακών ($\text{NH}_4^- - \text{N}$)**

Κατά τη διεργασία της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων ένα μέρος του οργανικού αζώτου μεταβολίζεται σε αμμωνιακά μέσω της δράσης πρωτεολυτικών βακτηρίων με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης αυτών τις πρώτες ημέρες της διεργασίας.

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης η συγκέντρωση των νιτρικών αυξάνεται λόγω της οξείδωσης αμμωνιακών προς νιτρικά, σε σχέση με την ξήρανση που δεν υπάρχει τέτοια αύξηση και είναι σχεδόν αμελητέα, όπως παρουσιάζεται και στο ραβδόγραμμα (Διάγραμμα 12) που ακολουθεί.



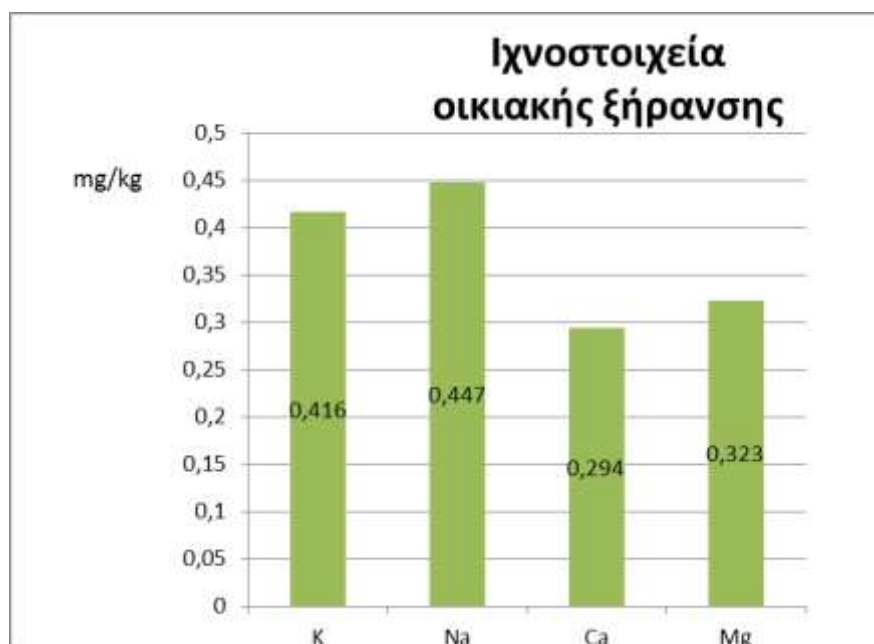
Διάγραμμα 12: Απεικόνιση του τελικού ποσοστού αμμωνιακών των δύο συστημάτων



Διάγραμμα 13: Απεικόνιση του τελικού ποσοστού νιτρικών των δύο συστημάτων

➤ Βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Στα ακόλουθα διαγράμματα 14 – 15 απεικονίζονται τα ποσοστά των βαρέων μετάλλων και των ιχνοστοιχείων από την μέθοδο της οικιακής ξήρανσης.



Διάγραμμα 14 – 15: Απεικόνιση των τελικών ποσοστών βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων για την διεργασία της οικιακής ξήρανσης

Βαρέα μέταλλα

Τα επίπεδα συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο προς κομποστοποίηση υλικό είναι κρίσιμης σημασίας για την εξέλιξη της διεργασίας και την τελική ποιότητα του προϊόντος. Δεδομένου ότι

κατά την κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα απώλεια μάζας, οι αρχικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων αυξάνονται μετά το πέρας της διεργασίας. Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την προσθήκη του κόμποστ στο έδαφος με μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, είναι δύο. Η τοξική επίδραση τους στην ανάπτυξη των φυτών και η μεταφορά των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και στα ζώα που καταναλώνουν την παραγωγή των φυτών που αναπτύχθηκαν σε αυτά τα εδάφη, δεδομένου ότι τα βαρέα μέταλλα απορροφούνται από τα φυτά και συγκεντρώνονται στους φυτικούς ιστούς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι το προς κομποστοποίηση υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων με τη χρήση οικιακού κομποστοποιητή προέρχεται από οικιακά απορρίμματα των οποίων η διαλογή έγινε στην πηγή. Η σημαντικότητα της διαλογής στην πηγή στη διεργασία της κομποστοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι η προς κομποστοποίηση πρώτη ύλη έχει σαφώς λιγότερες προσμίξεις από ακαθαρσίες, όπως πλαστικό, γυαλί κλπ αλλά και η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα είναι μικρότερη σε σύγκριση με αυτή του ανακτώμενου ζυμώσιμου υλικού από σύμμεκτα απορρίμματα. Πραγματοποιήθηκε μία σειρά μετρήσεων συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων και επιβεβαιώθηκε η απουσία τους από το τελικό προϊόν της κομποστοποίησης.

Επίσης γίνεται αναφορά τα ελάχιστα όρια των βαρέων μετάλλων που προβλέπει η ελληνική (ΚΥΑ 114218) και η Ευρωπαϊκή νομοθεσία (Ecolabel) καθώς και ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός αρ.2092/91 του Συμβουλίου περί του βιολογικού τρόπου παραγωγής προϊόντων και των σχετικών ενδείξεων στα γεωργικά προϊόντα και στα είδη διατροφής που προβλέπει ελάχιστες οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο οργανικό λίπασμα (Πίνακας 10).

Βαρέα Μέταλλα	Ελληνικά Όρια (ΚΥΑ)	Ευρωπαϊκά Όρια (Eco label)
Χαλκός	500 mg/kg	100 mg/kg
Ψευδάργυρος	2000 mg/kg	300 mg/kg
Μόλυβδος	500 mg/kg	100 mg/kg
Χρόμιο	510 mg /kg	100 mg/kg
		N. 2092/91 = 70 mg/kg
Νικέλιο	200 mg/kg	5 mg/kg
		N. 2092/91 = 25 mg/kg

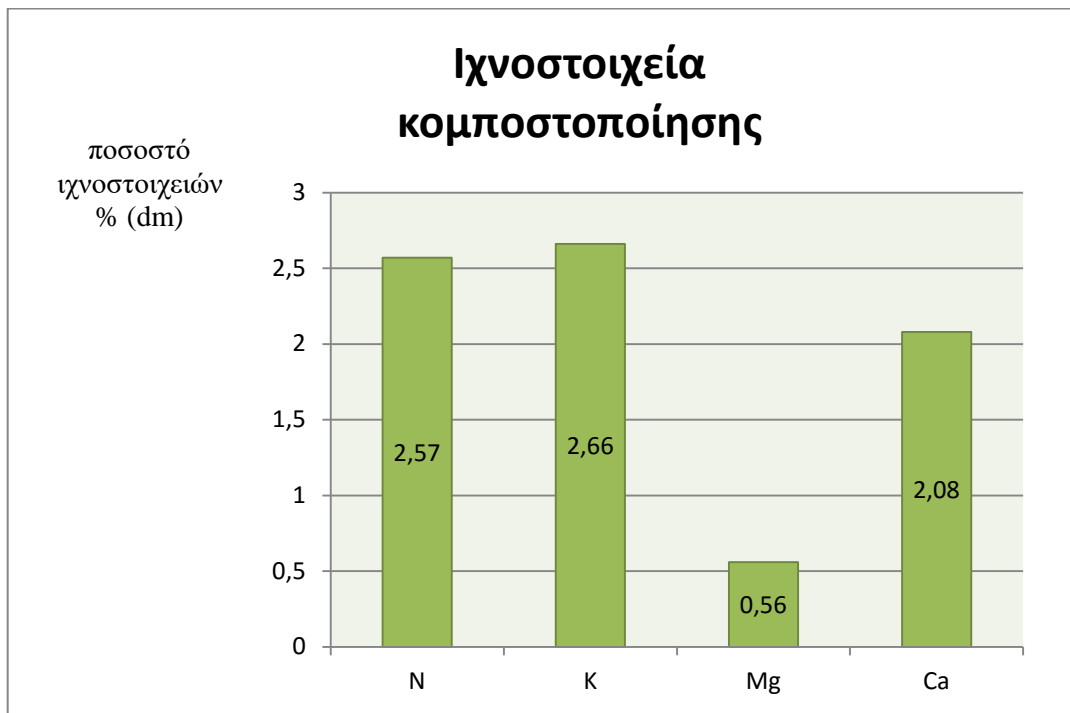
Πίνακας 10: Καταγραφή των ελάχιστων ελληνικών και ευρωπαϊκών ορίων βαρέων μετάλλων

Ιχνοστοιχεία

Η σημαντικότητα ελέγχου της περιεκτικότητας των ιχνοστοιχείων στο κόμποστ έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούν το βασικό παράγοντα της θρεπτικής αξίας του τελικού προϊόντος για την εναπόθεση του, καθότι κάθε φυτικός οργανισμός απαιτεί συγκεκριμένες ποσότητες σε θρεπτικά στοιχεία για την ανάπτυξη του. Τα στοιχεία αυτά που απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα φυτά είναι τα μακροστοιχεία με κυρίαρχα, κατά σειρά προτεραιότητας, το άζωτο, το φώσφορο και το κάλιο. Επιπλέον, το μαγνήσιο είναι εξίσου σημαντικό για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών, μαζί με άλλα ιχνοστοιχεία (Na, Ca), αλλά χρησιμοποιούνται σε μικρότερες ποσότητες. Η περιεκτικότητα του κόμποστ σε μακροστοιχεία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την τελική του χρήση. Εντούτοις, κόμποστ με χαμηλή ποσότητα σε θρεπτικά συστατικά (κυρίως άζωτο, φώσφορο ή κάλιο) παρουσιάζουν μειωμένη θρεπτική αξία με αποτέλεσμα είτε να χρειάζονται μεγάλες ποσότητες χρήσης αυτού είτε να γίνεται η συμπλήρωση των αναγκαίων ποσοτήτων από χημικά λιπάσματα. (Μαλαμής 2011).

Αντίθετα, η εναπόθεση κόμποστ με υψηλή περιεκτικότητα μακροστοιχείων δύναται να δημιουργήσει συνθήκες οι οποίες μπορούν να επιβαρύνουν το περιβάλλον με ενδεχόμενη αποστράγγιση – εκχύλιση αυτών και τη ρύπανση παρακείμενων υδατικών οικοσυστημάτων (υπόγειων ή επιφανειακών) (WSDE, 1994).

Παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα αναφορικά με την περιεκτικότητα του παραγόμενου κόμποστ σε άζωτο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο, στο ακόλουθο Διάγραμμα 16. Πρέπει να τονισθεί ότι η περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία στο τελικό προϊόν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις εξαρτώμενη κυρίως από την επεξεργαζόμενη οργανική πρώτη ύλη, το πρόσθετο κομποστοποίησης, καθώς και από τον βαθμό βιοαποδόμησης που έχει υποστεί το υπόστρωμα (Bary et al., 2002; Zaccheo et al., 2002).



Διάγραμμα 16: Απεικόνιση των τελικών ποσοστών ιχνοστοιχείων της διεργασίας της κομποστοποίησης

6.2 Αξιολόγηση των συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων με βάση τους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς δείκτες

Προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση των συστημάτων, οικιακής ξήρανσης και κομποστοποίησης, όπως και η απόδοση της λειτουργίας αυτών των καινοτόμων συστημάτων διαχείρισης οικιακών βιοαποβλήτων, τέθηκαν κατάλληλοι παράμετροι – δείκτες (περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί) . Στον Πίνακα 11 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παράμετροι που εξετάστηκαν με τους αντίστοιχους δείκτες:

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΔΕΙΚΤΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ
Μείωση της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων αερίων θερμοκηπίου	(%) ποσοστό μείωσης της μάζας των απορριμμάτων	Μέσω της συνολικής μείωσης της μάζας των απορριμμάτων
Σταθεροποιημένο προϊόν	(%) ποσοστό μείωσης TOC	Μέσω της μείωσης του τελικού οργανικού άνθρακα
Ενεργειακή κατανάλωση της Συσκευής	kWh/οικία	Μέσω μετρήσεων της ενεργειακής κατανάλωσης
Αξιοποίηση τελικού προϊόντος	Παράμετροι: pH, Βαρέα Μέταλλα και ιχνοστοιχεία, Θερμογόνος δύναμη	Μέσω μετρήσεων: Θερμογόνου Δύναμης, pH, ιχνοστοιχείων, βαρέων μετάλλων
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΔΕΙΚΤΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ
Βαθμός αποδοχής	% ποσοστό	Μέσω ερωτηματολογίου
Παρουσία οχλήσεων	% ποσοστό	Μέσω ερωτηματολογίου
Ευκολία στην χρήση	% ποσοστό	Μέσω ερωτηματολογίου
Πρόθεση κατοίκων για μελλοντική χρήση της συσκευής	% ποσοστό	Μέσω ερωτηματολογίου
Αξιολόγηση του βαθμού μείωσης και βελτίωσης της ποιότητας των απορριμμάτων	% ποσοστό	Μέσω ερωτηματολογίων

Πίνακας 11: Καταγραφή των δεικτών αξιολόγησης των πιλοτικών εφαρμογών

- Περιβαλλοντικοί δείκτες
 - ✓ Μείωση της μάζας των βιοαποβλήτων

Το ποσοστό μείωσης της μάζας των βιοαποβλήτων / απορριμμάτων, συνεπάγεται τη μείωση της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου.

Ο Ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος το 2011, (EEA, 2009) σε αναφορά του προσδιορίζει τις ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου που παρήχθησαν το 2008 στην Ευρώπη προερχόμενες από βιοαπόβλητα και κατηγοριοποιημένες ανά μέθοδο επεξεργασίας απορριμμάτων, υποθέτοντας ότι το 23 % κομποστοποιείται, το 17 % ανακυκλώνεται, το 20 % καίγεται, και το 40 % οδηγείται σε ΧΥΤΑ.

Οι ΧΥΤΑ είναι η τρίτη μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή παραγωγής μεθανίου στις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς φαίνονται ότι παρήγαγαν το 17% της συνολικής ποσότητας μεθανίου που παρήχθει το 2009. Το αποτέλεσμα της βιοχημικής αποδόμησης των βιοαποβλήτων που υπάρχουν στα απορρίμματα που εναποτίθενται στους ΧΥΤΑ, είναι η παραγωγή βιοαερίου το οποίο αποτελείται κατά 90% από CH_4 και CO_2 ενώ περιέχει και χαμηλές συγκεντρώσεις σε NH_3 , CO , H_2 , κλπ. Η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου, καθώς επίσης και η χημική σύνθεση του, εξαρτάται από παράγοντες όπως η σύνθεση των απορριμμάτων, η περιεκτικότητα σε υγρασία, η θερμοκρασία, ο βαθμός συμπίεσης, ο χρόνος που έχει περάσει από τη στιγμή της εναπόθεσης των απορριμμάτων κλπ.

Η συνολική ποσότητα που βάλουμε στον αντιδραστήρα της κομποστοποίησης ήταν 14400 gr και η μάζα του τελικού προϊόντος ήταν 4270 gr, δηλαδή παρατηρήθηκε μείωση της μάζας των παραγόμενων βιοαποβλήτων μέσω της μεθόδου της κομποστοποίησης κατά 66,87%. Από την μέθοδο της οικιακής ξήρανσης η μείωση της μάζας ήταν σε ποσοστό 78,52%.

Συνεπώς με μια σωστή και αποδοτική χρήση της συσκευής της οικιακής ξήρανσης από πλευράς των πολιτών στο μέλλον, δεν θα υφίστανται οι παραπάνω εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθώς το υλικό αυτό όντας αποξηραμένο ουσιαστικά, δεν μπορεί να υποστεί βιοαποδόμηση, γεγονός που αναμένεται να προσδώσει πολλαπλά οφέλη στο περιβάλλον και την κοινωνία. Επιπλέον το υλικό αυτό δεν θα οδηγείται για ταφή παρέχοντας επιπλέον οφέλη για τους Δήμους και τους κατοίκους τους.

✓ Μείωση των δρομολογίων των απορριμματοφόρων

Εφόσον ένας Δήμος εφαρμόσει την χρήση των μεθόδων αυτών για την επεξεργασία των αποβλήτων, τότε θα έχει σαν αποτέλεσμα να μειώσει και τα δρομολόγια των απορριμματοφόρων, που αυτό ισοδυναμεί με μείωση του καυσαερίου προς την ατμόσφαιρα, φθορές στο όχημα κ.α .

✓ Σταθεροποιημένο προϊόν

Από την διαδικασία της μεθόδου της κομποστοποίησης το τελικό προϊόν που προκύπτει (κόμποστ) είναι ένα σταθεροποιημένο προϊόν, δεν συνεχίζονται να πραγματοποιούνται η ευρείας κλίμακας μικροβιακές δράσεις, σε αντίθεση με το τελικό ξηρό υλικό από την οικιακή ξήρανση.

✓ Δείκτης αξιοποίησης τελικού προϊόντος

Το τελικό προϊόν από την κομποστοποίηση, το κόμποστ, είναι έτοιμο να αξιοποιηθεί, δε χρειάζεται να υποστεί κάποια επιπρόσθετη επεξεργασία. Ενώ, το ξηρό υλικό από την οικιακή ξήρανση, θα χρειαστεί επεξεργασία για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα, όπως να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ενέργειας μέσω θερμικής επεξεργασίας καθώς η τιμή θερμογόνου δύναμης προσδιορίστηκε να είναι στα ίδια επίπεδα με αυτή της ξυλώδους βιομάζας, είτε ως αρχικό υπόστρωμα για την παραγωγή βιοαερίου.

✓ Ενεργειακή κατανάλωση

Ένας σημαντικός περιβαλλοντικός δείκτης είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τα συστήματα επεξεργασίας βιοαποβλήτων. Καθώς από την καταγραφή που είχαμε από τους πολίτες – χρήστες διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ενεργειακή κατανάλωση από την μέθοδο της οικιακής ξήρανσης σε σχέση με την οικιακή κομποστοποίηση που δεν απαιτείται κατανάλωση ενέργειας για να πραγματοποιηθεί. Μέσω της ερευνητικής ομάδας στόχος είναι η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης και μείωσης της ανά μονάδα μάζας.

✓ Καθαρότητα τελικού προϊόντος

Από τον υπολογισμό που έγινε στο τέλος του κάθε κύκλου επεξεργασίας και στις δύο περιπτώσεις, είχαμε ένα θετικό αποτέλεσμα η καθαρότητα του τελικού υλικού είτε του ξηρού από την οικιακή ξήρανση είτε του κόμποστ από την κομποστοποίηση, είναι σε μεγάλο ποσοστό 98-99%. Αυτό, είναι ένα από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων γιατί συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και στην αξιοποίηση του τελικού προϊόντος

➤ Κοινωνικοί δείκτες

✓ Αποδοχή από τους πολίτες

Κατά την διδακτορική διατριβή του Σωτηρόπουλου Άγγελου πραγματοποιήθηκε και πιλοτική εφαρμογή της οικιακής ξήρανσης, στο Δήμο Χολαργού – Παπάγου και προκειμένου να αξιολογηθεί το εύρος της αποδοχής του συστήματος αυτού από τους πολίτες, έγινε τηλεφωνική συνέντευξη στο τέλος της πιλοτικής εφαρμογής η οποία ήταν με την μορφή ερωτήσεων προς τους χρήστες της συσκευής.

Οι ερωτήσεις που τέθηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί ο βαθμός αποδοχής της συσκευής ήταν οι εξής (αριθμημένες με την σειρά που τέθηκαν):

- Ερ.4: Θα χρησιμοποιούσατε την συσκευή στην περίπτωση που είχατε κάποιο όφελος σε οικονομική βάση μέσω του Δήμου αν επιδοτούνταν η αγορά της από τον Δήμο; (π.χ. μείωση Δημοτικών τελών διαχείρισης απορριμμάτων)
- Ερ.6: Θα αγοράζατε την συσκευή σε περίπτωση που διατίθεντο στο εμπόριο (χωρίς οικονομικό αντάλλαγμα από τον Δήμο...;)
- Ερ.7: Παρατηρήσατε οχλήσεις κατά την διάρκεια λειτουργίας της συσκευής; Α. Ναι (Τι είδους όχληση? Πχ. Θόρυβος, Οσμές, Κλπ.)
- Ερ.8: Θεωρείτε ότι η συσκευή είναι εύκολη στην χρήση? (αν αφαιρέσουμε το γεγονός ότι ζυγίζατε τα απορρίμματα και μετρούσατε την ενεργειακή της κατανάλωση)

Στη πλειοψηφία, απάντησαν ότι θα χρησιμοποιούσαν την συσκευή σε περίπτωση που παρέχονταν σε αυτούς ένα οικονομικό όφελος από τον Δήμο και θα την αγόραζαν. Οι κάτοικοι οι οποίοι απάντησαν αρνητικά ήταν πολυμελής οικογένειες που δεν τους βόλεψε η χρήση της συγκεκριμένης συσκευής ως προς την χωρητικότητά της όπως ανέφεραν. Οι οικογένειες αυτές παρήγαγαν μεγάλες ποσότητες διατροφικών αποβλήτων ημερησίως που η συσκευή δεν μπορούσε να καλύψει. Κατά την διάρκεια της χρήσης της, υπήρξαν μικρές οχλήσεις, εφόσον το μηχάνημα ήταν τοποθετημένο σε εξωτερικό σημείο από υπνοδωμάτιο (ενόχληση στον ύπνο), και ένα ποσοστό οσμών από τροφές με έντονες οσμές (π.χ ψάρι). Γενικά, οι πολίτες χαρακτήρισαν την χρήση της συσκευής εύκολη και δεν αντιμετώπισαν δυσκολίες.

Παρατηρήσεις μέσω της πιλοτικής εφαρμογής της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση, είτε πραγματοποιείται σε οικιακό είτε σε κεντρικό επίπεδο, επιφέρει πολλαπλά οφέλη για έναν Δήμο και τους Δημότες του. Τα οφέλη της συμπεριλαμβάνουν κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς παράγοντες, οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά

την υλοποίηση ενός προγράμματος κομποστοποίησης οικιακών ΒΑ και να αντισταθμίζονται με τα αντίστοιχα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η διεργασία. Πιο συγκεκριμένα:

Κοινωνικά Οφέλη:

- ✓ Το κοινό ευαισθητοποιείται σε θέματα διαχείρισης απορριμμάτων και γίνεται ποιο ενεργά υπεύθυνο.
- ✓ Η εφαρμογή της διεργασίας συμβάλει στην εκπαίδευση του κοινού και ειδικότερα των μαθητών σε θέματα περιβάλλοντος.
- ✓ Πραγματοποιείται στροφή της συμπεριφοράς του κόσμου (προς το θετικότερο) σε θέματα αναφορικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων.
- ✓ Δίδεται πνευματική διέξοδος σε κατοίκους (μέσω της ενασχόλησής τους με την κομποστοποίηση), οι οποίοι παράγουν compost εντός της οικίας τους μέσω της διεργασίας της οικιακής κομποστοποίησης.
- ✓ Βελτιώνεται το κοινωνικό σύνολο στον τρόπο που αντιμετωπίζει τα απορρίμματά του.
- ✓ Δύναται η παραγωγή compost εκτός οικίας να συμβάλλει στην τόνωση της αγοράς compost, καθώς το κοινό μαθαίνει τα οφέλη του παραγόμενου υλικού ως λίπασμα στα φυτά.

Περιβαλλοντικά Οφέλη:

- ✓ Μειώνεται σημαντικά η ποσότητα των ΒΑ που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ
- ✓ Μειώνεται η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. CO₂, CH₄, κλπ.), τα οποία αποτελούν βασικούς ρύπους οι οποίοι παράγονται σε ΧΥΤΑ. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια η συμβολή αυτών των αερίων στη συνολικά παραγόμενη ποσότητα από διαφορετικές πηγές θεωρείται σημαντική από την επιστημονική κοινότητα.
- ✓ Στην περίπτωση που πραγματοποιείται διαλογή στην πηγή για παραγωγή compost, αυτό θεωρείται υψηλής ποιότητας σε σχέση με αυτό που παράγεται από ΑΣΑ. Στη δεύτερη περίπτωση, το προϊόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργειες βάσει της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας.
- ✓ Η προσθήκη compost στα εδάφη βελτιώνει την ποιότητά τους, προσφέροντάς τους απαραίτητα θρεπτικά συστατικά, συμβάλλοντας στην αποτροπή της ερημοποίησης περιοχών. Επιπλέον, βοηθά στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων υψηλής ποιότητας, καθώς συμβάλλει, στην ευκολότερη ανάπτυξη των φυτών, μέσω της παροχής των απαραίτητων για αυτά θρεπτικών συστατικών.
- ✓ Υλικά όπως το compost, χρησιμοποιούνται για την αποτροπή ζιζανίων στα φυτά, μειώνοντας έτσι τη χρήση των μολυσματικών για το περιβάλλον ζιζανιοκτόνων.

Οικονομικά Οφέλη:

- ✓ Η κομποστοποίηση συμβάλλει δραστικά στη μείωση των ποσοτήτων των ΒΑ που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ, μειώνοντας έτσι το κόστος απλής ταφής για ένα Δήμο, το οποίο πλέον ανέρχεται άνω των 45 ευρώ/τόνο. Σε αυτά τα έξοδα θα πρέπει να συνυπολογίζονται και τα έξοδα από την αποφυγή της δημιουργίας αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι το CO₂.
- ✓ Οι πολίτες ωφελούνται μακροπρόθεσμα, καθώς τα οικονομικά οφέλη από την εκτροπή των ΒΑ από τους ΧΥΤΑ, για τους Δήμους, ενδεχομένως να μετακυλήσει σε αυτούς, συμβάλλοντας στη μείωση των δημοτικών τελών για υπηρεσίες καθαριότητας και διαχείρισης απορριμμάτων.
- ✓ Η εκμετάλλευση του παραγόμενου compost από ένα Δήμο θα μπορούσε να αυξήσει τα έσοδά του, καθώς η πώληση του παραγόμενου προϊόντος (εντός συγκεκριμένου πλαισίου προδιαγραφών) θα μπορούσε να αποφέρει σημαντικά έσοδα.
- ✓ Οι πολίτες, χρησιμοποιώντας compost που παράγουν μόνοι τους, δεν χρειάζεται να αγοράζουν άλλου τύπου εδαφοβελτιωτικά για τα φυτά τους, μειώνοντας έτσι τα έξοδα συντήρησης των φυτών τους.

Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ

Οι ενδεικνυόμενες χρήσεις του κομποστ, εξαρτώνται από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και ποικίλουν από τη χρήση σε βιολογικά καλλιεργούμενα τρόφιμα, και γενικότερα καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, έως τη χρήση για αποκατάσταση εδαφών και ως κάλυψη σε ΧΥΤΑ. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν νομοθετικοί περιορισμοί για τις επιτρεπόμενες χρήσεις με στόχο την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο παρατίθεται ένας ενδεικτικός οδηγός χρήσεων κομποστ:

- ✓ Φυτά μεγάλης καλλιέργειας
- ✓ Σιτηρά
- ✓ Λειβαδικές εκτάσεις
- ✓ Δενδρώδεις καλλιέργειες
- ✓ Αμπέλια
- ✓ Δασικά φυτώρια
- ✓ Θερμοκηπιακές καλλιέργειες
- ✓ Ανθοκομικές καλλιέργειες
- ✓ Διαμόρφωση περιβάλλοντος

6.3 Καταγραφή πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των δύο συστημάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Πλεονεκτήματα διεργασίας κομποστοποίησης

- ✓ Μείωση των οχλήσεων κατά τη συλλογή και μεταφορά των οικιακών φορτιών στερεών αποβλήτων
- ✓ Μικρότερη επιβάρυνση των χώρων ταφής αποβλήτων λόγω της μειωμένης ποσότητας στερεών αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους αυτούς, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του χρόνου λειτουργίας τους.
- ✓ Μειωμένη παραγωγή στραγγισμάτων στους χώρους ταφής αποβλήτων
- ✓ Μειωμένες αέριες εκπομπές από τους χώρους ταφής αποβλήτων (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, πτητικές οργανικές ενώσεις κ.λπ.)
- ✓ Παραγωγή προϊόντος προστιθέμενης αξίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές (εδαφοβελτιωτικό).
- ✓ Παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας λόγω του γεγονότος ότι προέρχεται από τη χρήση υλικών διαχωρισμένων στην πηγή (σε αντίθεση με το προϊόν που προέρχεται από οργανικό υλικό το οποίο διαχωρίζεται σε κεντρικές μονάδες μηχανικής διαλογής)

Μειονεκτήματα διεργασίας κομποστοποίησης

- ✓ Χρονοβόρα διεργασία (όταν υλοποιείται σε οικιακό επίπεδο), καθώς απαιτεί χρόνο και κόπο στον κήπο, ώστε να διεξαχθεί σωστά.
- ✓ Προβλήματα υλοποίησης της διεργασίας λόγω κακής ποιότητας της πρώτης ύλης (όσον αφορά κυρίως την καθαρότητα του υλικού)
- ✓ Προβλήματα λόγω πιθανής δυσοσμίας στους χώρους που λαμβάνει χώρα η διεργασία
- ✓ Ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες. Χιόνι, κρύος και ξηρός καιρός δεν είναι ιδανικός για κομποστοποίηση.
- ✓ Ανάγκη ταφής του μη ζυμώσιμου κλάσματος

Πλεονεκτήματα οικιακής ξήρανσης

- ✓ Σημαντική μείωση της μάζας & του όγκου των βιοαποβλήτων από 70 έως 90%
- ✓ Δεν υπάρχουν οχλήσεις κατά τη λειτουργία ξήρανσης των προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων εντός της οικίας
- ✓ Παραγωγή βιομάζας η οποία είναι (α) άοσμη, (β) εύκολα διαχειρίσιμη, (γ) δεν βιοαποδομείται με την πάροδο του χρόνου λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε νερό και

(δ) μπορεί να αξιοποιηθεί για τη παραγωγή εναλλακτικών προϊόντων προστιθέμενης αξίας (π.χ. ενέργεια).

- ✓ Σημαντική μείωση του κόστους συλλογής & μεταφοράς των απορριμμάτων στους Δήμους καθώς η βιομάζα συλλέγεται κάθε 20 - 30 ημέρες.

Μειονεκτήματα οικιακής ξήρανσης

- ✓ Ενεργειακή κατανάλωση για την υλοποίηση της διεργασίας
- ✓ Απελευθέρωση της υγρασίας στην ατμόσφαιρα εντός της οικίας
- ✓ Ύπαρξη οσμών σε ορισμένες περιπτώσεις κατά την διάρκεια της ξήρανσης
- ✓ Προβλήματα υλοποίησης της διεργασίας λόγω κακής ποιότητας της πρώτης ύλης (όσον αφορά κυρίως την καθαρότητα του υλικού)

6.4 Συμπεράσματα

Η μέθοδος επεξεργασίας οικιακής ξήρανσης και της οικιακής κομποστοποίησης αποτελούν δύο καινοτόμες προσεγγίσεις όσον αφορά την διαχείριση των οικιακών βιολογικών αποβλήτων με κύριο στόχο την μείωση της μάζας και του όγκου αυτών. Η εργαστηριακή λειτουργία των συστημάτων καθώς και η πιλοτική τους λειτουργία σε πραγματικές συνθήκες, οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τις επιδόσεις του συστήματος όσον αφορά τη μείωση της μάζας και του όγκου των οικιακών βιοαποβλήτων στην πηγή, τους δρόμους που ανοίγει η χρήση της διαφορετικής τεχνικής στη διαχείριση των οικιακών βιοαποβλήτων καθώς και των εν δυνάμει χρήσεων του τελικού υλικού.

Συνοψίζοντας, έπειτα από την σύγκριση που έγινε των δύο συστημάτων διαπιστώνεται ότι τα οικιακά βιοαπόβλητα δύναται να επεξεργαστούν αποτελεσματικά, με τη χρήση της τεχνικής της οικιακής ξήρανσης και της κομποστοποίησης ενώ παράλληλα το παραγόμενο προϊόν διαθέτει τις απαιτούμενες φυσικοχημικές ιδιότητες για την περαιτέρω εκμετάλλευσή του – αξιοποίηση του. Επομένως, η εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης των οικιακών βιοαποβλήτων με χρήση της τεχνικής της οικιακής ξήρανσης και της κομποστοποίησης, σε ευρεία κλίμακα, σε αστικό περιβάλλον, δύναται να συμβάλει στην ορθολογική διαχείριση των βιοαποβλήτων στην πηγή, εκτρέποντας το ρεύμα αυτό από τους ΧΥΤΑ.

Παράλληλα, η διάθεση του παραγόμενου ξηρού προϊόντος και του κόμποστ στην αγορά δύναται να συμβάλλει στην ανάπτυξη υπαρχόντων αγορών αλλά και τη δημιουργία νέων. Το γεγονός ότι σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, επιβάλλεται «πλαφόν» 6% στη χρήση καυσίμων προερχόμενα από ενεργειακές καλλιέργειες έως το 2020, δίνει ιδιαίτερη προστιθέμενη αξία στο

τελικό ξηρό προϊόν καθώς θα μπορούσε να αποτελέσει άριστη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων και ιδιαίτερα βιοαιθανόλης στο άμεσο μέλλον.

Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι τα μίγματα διαφορετικών ροών βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων δύνανται να επεξεργαστούν αποτελεσματικά με τη χρήση του συστήματος κομποστοποίηση ενώ παράλληλα το παραγόμενο προϊόν διαθέτει τις απαιτούμενες φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες για το χαρακτηρισμό του ως ώριμο και σταθεροποιημένο κόμποστ το οποίο μπορεί να διατεθεί με ασφάλεια σε γεωργικές καλλιέργειες. Παράλληλα, η διάθεση του παραγόμενου κόμποστ μπορεί να γίνει τοπικά συνεισφέροντας στην ασφαλή και μακροχρόνια διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά και οργανική ουσία για τη συντήρηση ή/και την αποκατάσταση της ποιότητας των εδαφών.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων της έρευνας συνδράμει στην υιοθέτηση εναλλακτικής προσέγγισης στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων μέσω αποκεντρωμένων διατάξεων. Αυτή η προσέγγιση στοχεύει στη βιώσιμη επεξεργασία, ανάκτηση και ανακύκλωση των αποβλήτων στο σημείο παραγωγής τους αλλά και στο περιορισμό της αναγκαιότητας κεντρικών μονάδων επεξεργασίας, προσδίδοντας περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Alexander, F., Szmidi, R. and Cruz, P., (2002). Factsheet on composting biosolids. Remade Scotland
- Alexander, M., (1977). Introduction to Soil Microbiology, John Wiley & Sons, New York.
- Bach, P. D., Shoda, M. and Kubota, H., (1984). Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor, *Journal of Fermentation Technology* 62 285–291.
- Baptista, M., Antunes, F., Gonçalves, M. S., Morvan, B. and Silveira, A., (2010). Composting kinetics in full-scale mechanical-biological treatment plants, *Waste Management* 30(10) 1908-1921
- Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M. and Knight, W., (2003). Compost convective airflow under passive aeration, *Bioresource Technology* 86 259–266.
- Bary, A., Cogger, C. and Sullivan, D., (2002). What does compost analysis tell you about your compost? www.soils1.org
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. and Moral, R., (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *Bioresource Technology* 100(22) 5444-5453
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. and Moral, R., (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review, *Bioresource Technology* 100(22) 5444-5453.
- Bernal, M. P., Navarro, A. F., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A. and Cegarra, J., (1998c). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil, *Soil Biology and Biochemistry* 30(3) 305-313.
- Bharadwaj, K. K. R., (1995). Improvements in microbial compost technology: A special reference to microbiology of composting. Wealth from waste, EC (2001a) ‘Establishing ecological criteria for the award of the Community eco-label to soil improvers and growing media’ (2001/688/EC), Official Journal L 242 , 12/09/2001, pp. 0017 – 0022.
- Bishop, P. L. and Godfrey, C., (1983). Nitrogen transformation during sewage composting, *Biocycle* 24 34–39
- Bothe, H., Ferguson, S. J. and Newton, W. E., (2007). *Biology of the Nitrogen Cycle*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands
- Brinton, W. F., (2000). Compost quality standards & guidelines: An International View, Woods End Research Laboratory, pp. 32–35.
- Carry, C. W., Stahl, J. F., Hansen, B. E. and Friess, P. L., (1990). Sludge management and disposal practices of the county sanitation districts of Los Angeles (USA), *Water Science and Technology* 22(12) 23-32

- Cathcart, T. P., Wheaton, F. W. and Brinsfield, R. B., (1986). Optimizing variables affecting composting of blue crab scrap, *Agricultural Wastes* 15(4) 269-287
- de Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A., (1983). The biology of composting: A review, *Waste Management and Research* 1(2) 157-176.
- Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2002). Composting of Municipal Wastes. in: G. Tchobanoglous and F. Kreith (Eds.), *Handbook of Solid Waste Management*, McGraw Hill, USA, p. 459.
- Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2007a). Factors that Affect the Process. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (Eds.), *Compost Science and Technology* Elsevier, Amsterdam, pp. 49-64.
- Diaz, L. F. and Savage, G. M., (2007b). Bioremediation. in: L. F. Diaz, M. de Bertoldi, B. W. and S. E. (Eds.), *Compost Science and Technology*, Elsevier, Amsterdam, pp. 159-176.
- Diaz, L. F., Savage, G. M. and Golueke, C. G., (2002). Composting of Municipal Solid Wastes. in: G. Tchobanoglous and F. Kreith (Eds.), *Handbook of Solid Waste Management*, McGraw Hill USA, New York, pp. 11-70.
- Dos Energy, *Τεχνολογία Αεριοποίησης* (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.dosenergy.gr>
- EA (Environment Agency), (2001). *Technical Guidance on Composting Operations (Draft)*, Environment Agency UK, Bristol.
- EA (Environment Agency), (2001). *Technical Guidance on Composting Operations (Draft)*, Environment Agency UK, Bristol.
- ECN. (2012). *European Compost Network*. Ανάκτηση Νοέμβριος, 2014, από <http://www.compostnetwork.info>.
- EEA. (2009). *Diverting waste from landfill Effectiveness of waste-management policies in the European Union*. Ανάκτηση Ιούνιος, 2013, από <http://www.eea.europa.eu/publications>.
- Engeli, H., Edelmann, W., Fuchs, J. and Rottermann, K., (1993). Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion, *Water Science and Technology* 27(2) 69-76.
- Epstein, E., (1997). *The science of composting*, Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania, USA.
- Fermor, T. R., Wood, D. A. and Lynch, J. M., (1989). Microbiological processes in compost, *International Symposium on Compost Production and Use*, San Michele All'Adige, Italy, pp. 282–300.
- Finstein, M. S. and Morris, M. L., (1975). Microbiology of municipal solid waste composting, *Advances in Applied Microbiology* 19 113–151.
- Finstein, M. S., Miller, F. C. and Strom, P. F., (1986). Waste treatment composting as a controlled system, *Biotechnology* 8 396–398.

- Gajalakshmi, S. and Abbasi, S. A., (2008). Solid waste management by composting: State of the art, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 38(5) 311-400.
- Gaur, A. C., (2000). Bulky organic manures and crop residues. in: H. L. S. Tandon (Ed.), *Fertilizers, organic manures, recyclable wastes and biofertilizers*, Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.
- Golueke, C. G., (1972). "Composting" a study of process and its principles, Rodate press Emmaus, Pennsylvania.
- Golueke, C. G., (1992). *Bacteriology of composting*, Biocycle 33 55–57.
- Goyal, S., Dhull, S. K. and Kapoor, K. K., (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity, *Bioresource Technology* 96(14) 1584-1591.
- GTZ. (2009). *Biogas Sanitation for Blackwater or Brownwater, or Excreta Treatment and Reuse in Developing Countries*. Germany : Agency for Technical Cooperation (GTZ) GmbH and Sustainable Sanitation Alliance
- Hamelers, H. V. M., (2004). Modeling composting kinetics: A review of approaches, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 3(4) 331-342
- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, A., Cherif, A., Cherif, M. and Boudabous, A., (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste, *Bioresource Technology* 80 217-225.
- Haug, R. T., (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
- Haug, R. T., (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla.
- Henry, C., Sullivan, D., Rynk, R., Dorsey, K. and Cogger, C., (1999). *Managing N from Biosolids*, Washington State Department of Ecology. <http://faculty.washington.edu/clh/nmanual/>.
- Hogg, D., Barth, J. and Faviono, E., (2002). *Comparison of Compost Standards within the EU, North America, and Australasia*, The Waste and Resources Action Programme, Banbury, Oxon, UK.
- Hogg, D., Lister, D., Barth, J., Faviono, E. and Amlinger, F., (2009). *Frameworks for use of compost in agriculture in Europe*, Eunomia Research and Consulting.
- Hoitink, H. A. J. and Kuter, S. A., (1986). Effects of composts in growth media on soilborne pathogens. in: Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.), *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 289–306.
- Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T. and Nagar, B. B., (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust, *Waste Management and Research* 24 805–813

- Iannotti, D. A., Pang, T., Toth, B. L., Elwell, D. L., Keener, H. M. and Hoitink, H. A. J., (1993). A quantitative respirometric method for monitoring compost stability, *Compost Science and Utilization* 1 52–65.
- Ipek, U., Obek, E., Akca, L., Arslan, E. I., Hasar, H., Dogru, M. and Baykara, O., (2002). Determination of degradation of radioactivity and its kinetics in aerobic composting, *Bioresource Technology* 84 283–286.
- Jeris, J. S. and Regan, R. W., (1973a). Controlling environmental parameters for optimum composting I: experimental procedures and temperature, *Compost Science* 14(1) 10–15.
- Jeris, J. S. and Regan, R. W., (1973b). Controlling environmental parameters for optimum composting II: moisture, free air space and recycle, *Compost Science* 14(2) 8–15.
- Kirchmann, H. and Widen, P., (1994). Separately collected organic household wastes chemical composition and composting characteristics, *Swedish Journal of Agricultural Research* 24 3–12.
- Kokkora, M. I., (2008). Biowaste and vegetable waste compost application to agriculture, School of Applied Sciences, Ph.D., Cranfield University National Soil Resource Institute, UK
- Liang, C., Das, K. C. and McClendon, R. W., (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend, *Bioresource Technology* 86(2) 131-137.
- Lopez-Real, J. and Foster, M., (1985). Plant pathogens survival during composting of agricultural organic wastes. in: J. K. R. Gasser (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*, Elsevier Applied Science, London, pp. 291–299
- MacGregor, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M. and Finstein, M. S., (1981). Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature, *Applied and Environmental Microbiology* 41 1321–1330.
- Manios, T., (2004). The composting potential of different organic solid wastes: Experience from the island of Crete, *Environment International* 29(8) 1079-1089.
- Margesin, R., Cimadom, J. and Schinner, F., (2006). Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures, *International Biodeterioration and Biodegradation* 57(2) 88-92.
- Mason, I. G., (2007). A study of power, kinetics, and modelling in the composting process, vol. Ph.D. Thesis, University of Canterbury, Christchurch
- McKinley, V. L. and Vestal, J. R., (1984). Biokinetic analysis of adaptation and succession: microbial activity in composting municipal sewage sludge, *Applied and Environmental Microbiology* 47 933–941.
- McKinley, V. L., Vestal, J. R. and Eralp, A. E., (1986). Microbial activity in composting. The biocycle guide to in-vessel composting, JG Press Inc., Emmaus, Pennsylvania, pp. 171–181.

- Mena, E., Garrido, A., Hernández, T. and García, C., (2003). Bioremediation of sewage sludge by composting, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34(7-8) 957-971.
- Miller, E. C., (1991). Biodegradation of solid wastes by composting. in: A. M. Martin (Ed.), *Biological Degradation of Wastes*, Elsevier Applied Science, London, pp. 1-30.
- Miller, F. C., (1992). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. in: F. Blaine-Metting (Ed.), *Soil Microbial Ecology: Applications in Agriculture Environment Management*, Marcel Dekker Inc., New York, p. 646.
- Mosher, D. and Anderson, R. K., (1977). Composting sewage sludge by high-rate suction aeration techniques—the process as conducted at Bangor, ME, and some guidelines of general applicability, in: US Government Printing Office (Ed.), Washington, DC.
- Mujundar, A. (1987). *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, M. and Kubota, H., (1993). Effects of pH control on composting of garbage, *Waste Management and Research* 11 117–125.
- Nova Scotia, (2008). *Environment Compost Maturity Study*, Nova Scotia., <http://www.gov.ns.ca/nse/waste/docs/Compost.Maturity.Study.Report.pdf>
- Pagans, E. L., Font, X. and Sánchez, A., (2005). Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases, *Chemical Engineering Journal* 113(2-3) 105-110
- Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M. and Dumontet, S., (1998). Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper, *Biology and Fertility of Soils* 26 173–178.
- Paredes, C., Bernal, M. P., Roig, A. and Cegarra, J., (2001). Effects of olive mill wastewater addition in composting of agroindustrial and urban wastes, *Biodegradation* 12 225–234.
- Peigné, J. and Girardin, P., (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices, *Water, Air, and Soil Pollut.* 153(1-4) 45-68.
- Peigne, J., Girardin, P., (2004). «Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air, and Soil Pollution»
- Poincelot, R. P., (1974). A scientific examination of the principles and practice of composting, *Compost Science* 15(3) 24-31.
- Poincelot, R. P., (1977). The biochemistry of composting, *Proc. National Conference on Composting of Municipal Residues and Sludges*, Information Transfer, Inc., Rockville, MD, p. 33.
- Poliáfico M. (2007). *Anaerobic Digestion: a decision support software*. Cork Institute of technology department of Civil, Structural and Environmental Engineering.
- Qiao, L. and Ho, G., (1997). The effects of clay amendment on composting of digested sludge, *Water Research* 31(5) 1056-1064.

- Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. L., Gouin, F. R., Laliberty Jr, L., Kay, D., Murphy, D. W., Hoitink, H. A. J. and Brinton, W. F., (1992). On-farm composting handbook, Natural Resource, Agriculture and Engineering Service, Cornell University, Ithaca, NY.
- Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., Parades, C. and Bernal, M. P., (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effect on pH, EC and maturity of the composting mixtures, *Bioresource Technology* 78 301–308.
- Schulze, K. L., (1961). Relationship between moisture content and activity of finished compost, *Compost Science* 2(2) 32–34
- Shammas, N. K. and Wang, L. K., (2007). Biosolids composting. in: L. K. Wang, N. K. Shammas and Y. T. Hung (Eds.), *Handbook of Environmental Engineering: Biosolids Treatment Process*, vol. 6, Humana Press, pp. 645–685.
- Shaw, C. M. and Stentiford, E. I., (1996). Heat Transfer in Composting Systems. in: M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (Eds.), *Proceedings of the Science of Composting*, vol. 2, Blackie Academic & Professional, Glasgow, pp. 1331–1334.
- Southern Energy Network, (2009). Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://climateaction.net/taxonomy/term/>
- Stentiford, E. I., (1996). Composting control: principles and practice. in: M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (Eds.), *The Science of Composting, Part 1*, Glasgow, pp. 49-59.
- Stentiford, E. I., (2001). Composting-optimising the process and keeping the neighbours happy, in: Κ. Λαζαρίδη&Κ. Παυλόπουλος (Ed.), *Ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αβλήτων και υπολειμμάτων, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθήνα*, pp. 41-48.
- Stombaugh, D. P. and Nokes, S. E., (1996). Development of a biologically based aerobic composting simulation model, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39(1) 239-250.
- Strauch, D., (1991). Microbiological treatment of municipal sewage waste and refuse as a means of disinfection prior to recycling in agriculture, *Studies in Environmental Science* 42 121-136.
- Strauch, D., (1998). Pathogenic micro-organisms in sludge. Anaerobic digestion and disinfection methods to make sludge usable as a fertiliser, *European Water Management* 1(2) 12-26.
- Suler, D. J. and Finstein, M. S., (1977). Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste, *Applied and Environmental Microbiology* 33 345–350.
- Thermal methods of municipal waste treatment (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: www.capenhurst.com
- Tiquia, S. M. and Tam, N. F. Y., (2000). Fate of nitrogen during composting of chicken litter, *Environmental Pollution* 110(3) 535-541

- Tiquia, S. M., Richard, T. L. and Honeyman, M. S., (2002). Carbon, nutrient and mass loss during composting, *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 62 15–24.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, I. J., (1996a). Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents, *Bioresource Technology* 55 201–206.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. and Hodgkiss, I. J., (1998). Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents, *Agriculture Ecosystems and Environment* 67 79–89.
- Toffey, W. E., (1990). Large-scale sewage sludge composting: A case for maintaining a diversified program, *Water Science and Technology* 22(12) 107-116.
- Tsilivianis, C.A., (1999). «Comparison of environmental impacts from solid waste treatment and disposal facilities».
- United Nations Environment Programme. Division of Technology, Industry and Economics., 2010. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: http://www.unep.or.jp/Ietc/ESTdir/Pub/MSW/SP/sp4/SP4_3.asp
- University of Iowa., (2010). Anaerobic Digestion. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο:<http://wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Anaerobic+Digestion>
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2003). Environmental regulations and technology. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, EPA/625/R-92/013.
- Verdonck, O., (1988). Composts from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates, *Biological Wastes* 26(4) 325-330.
- Verma. S. (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organism in MSW. Columbia: Master Thesis Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University.
- Verma. S. (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organism in MSW. Columbia: Master Thesis Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University.
- Wesner, G. M., (1978). Sewage Biosolids Composting, Technology Transfer Seminar, Publication on Sludge Treatment and Disposal, Cincinnati, OH.
- Whang, D. S. and Meenaghan, G. F., (1980). Kinetic model of composting process, *Compost Science* May/June 44–46.
- WSDE (Washington State Department of Ecology), (1994). Interim Guidelines for Compost Quality, Solid Waste Services Program, USA. <http://www.p2pays.org/ref/14/13257.pdf>.
- Zaccheo, P., Ricca, G. and Crippa, L., (2002). Organic matter characterization of composts from different feedstocks, *Compost Science and Utilization* 10(1) 29-38.

- 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.
- Zhu, N., (2007). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw, *Bioresource Technology* 98(1) 9-13.
- Zorpas, A. A., Arapoglou, D. and K., P., (2003). Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production, *Waste Management* 23 27–35.
- Zucconi, F. and de Bertoldi, M., (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste, in: M. de Bertoldi, M. P. Ferranti, P.L'Hermite, F. Zucconi. (Eds), *Compost: Production, Quality and use*, Elsevier Applied Science, London, pp.30-50.

Ελληνική Βιβλιογραφία / Ηλεκτρονικές πηγές

Biowaste – Athens : www.biowaste.gr

IACO ltd, Κυπριακή δημοκρατία, (2012). Σχέδιο Διαχείρισης για τα Οικιακά και Παρομοίου Τύπου Απόβλητα.

Βικιπαίδεια: www.wikipedia.gr

Γιδάρακος, Ε., (2007). Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων, Σημειώσεις Μαθήματος, Εργαστήριο τοξικών και επικινδύνων αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Ειδικός Διαβαθμιδικός Σχεδιασμός Νομού Αττικής (ΕΔΣΝΑ): www.edсна.gr

Ε.Ε.Α.Α. (2013). Ελληνική Εταιρία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης. Αθήνα. Ανάκτηση από <http://www.herrco.gr/>

ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2011). Ελληνική Στατιστική Αρχή. Ανάκτηση Φεβρουάριος, 2013, από <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>.

ΕΛ.ΣΤΑΤ. (2012). Ελληνική Στατιστική Αρχή. Ανάκτηση Απρίλιος 2013, από <http://www.statistics.gr/>

ΕΜΠ – Life: www.uest.ntua.gr

ΕΠΠΕΡΑΑ, (2012). Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογής στην Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων.

Ζουμπούλης Α, Καραπάντσιος Θ, Μάτης Κ, Μαύρος Π. (2009). Στοιχεία Φυσικών Διεργασιών. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

ΚΥΑ 114218,. (1997) ‘Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων’, Εφημερίδα Ελληνικής Κυβερνήσεως, Αρ. Φύλλου 1016.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1980/2000 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 17ης Ιουλίου 2000 περί αναθεωρημένου κοινοτικού συστήματος απονομής οικολογικού σήματος.

Κανονισμός (ΕΟΚ) αριθ. 2092/91 του Συμβουλίου της 24ης Ιουνίου 1991 περί του βιολογικού τρόπου παραγωγής γεωργικών προϊόντων και των σχετικών ενδείξεων στα γεωργικά προϊόντα και στα είδη διατροφής.

Καπετάνιος, Ε., (1990). Παραγωγή και αξιολόγηση του compost από απορρίμματα και δέσμευση βαρέων μετάλλων του με χρήση κλινοπτιλόλιθου, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαλαμής Δ. Κ., (2011). Διδακτορική διατριβή: «Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία βιοαντιδρστήρα για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων», ΕΜΠ Αθήνα.

Μανιός, Β. Ι. και Μανιαδάκης, Κ. Μ., (2001). Προδιαγραφές ποιότητας κομπόστ, in: Κ. Λαζαρίδης and Κ. Παυλόπουλος (Eds.), Διημερίδα για την ολοκληρωμένη διαχείριση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, pp. 119-122.

Μανιός, Β. Ι., (1979). Διερεύνηση δυνατότητας παρασκευής φυτοχώματος από εκχυλισμένη ελαιουπυρήνα, vol. Διδακτορική διατριβή, Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών, Αθήνα.

Μαργαρίτης Μ., (2013). Διδακτορική διατριβή: «Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου», ΕΜΠ Αθήνα.

Μιχαλόπουλος, (2010). Σχεδιασμός πρότυπου συστήματος, οικιακού τύπου, για την αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων με αερόβιες διεργασίες, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Οδηγός βιοαποβλήτων, ΕΠΠΕΡΑΑ 2012

Πιπέρης Σ. & Ψαρράς Ι., (2014). Διπλωματική Εργασία: «Διαχείριση βιοαποβλήτων σε τοπικό επίπεδο, προκλήσεις και προοπτικές για την Ελλάδα», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθήνα.

Πρακτικά 2ου Διεθνές Συνεδρίου για την Αειφόρο Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Athens biowaste 2014.

Σωτηρόπουλος Α., (2015). Διδακτορική διατριβή: «Ανάπτυξη συστήματος επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων», ΕΜΠ Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ, (2012.) Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη, «Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων ΔσΠ & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων».

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, (2015). Τοπικό σχέδιο αποκεντρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων του Δήμου Παπάγου – Χολαργού.