



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**«ΕΞΕΤΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΝΤΟΛΚΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΟΪΖΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013 - 2014 και πραγματοποιήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Λοϊζίδου Μαρία.

Ειδικότερα, διερευνήθηκε η εφαρμογή των μεθόδων της ξήρανσης και της κομποστοποίησης προδιαλεγμένων στην πηγή διατροφικών αποβλήτων για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού προϊόντος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην υπεύθυνη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. Κα Λοϊζίδου Μαρία, που μου ανέθεσε την παρούσα εργασία, δίνοντάς μου την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα θέμα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και επίκαιρο, αφού σχετίζεται άμεσα με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία.

Το ίδιο θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω και όλο ανεξάρτητα το προσωπικό της Μονάδας της Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχαν.

Ξεχωριστές ευχαριστίες θέλω να απευθύνω στην Υποψήφια Διδάκτορα κα. Παναρέτου Βασιλική τόσο για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε κατά την διενέργεια των εργαστηριακών αναλύσεων, όσο και για την καθοριστική συμβολή της στη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Τέλος, δεν θα ήθελα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αγάπη και υποστήριξή τους στην επίτευξη των στόχων μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Εξέταση φυσικοχημικών παραμέτρων και διερεύνηση αξιοποίησης διαχωρισμένων στην πηγή βιοαποβλήτων». Στόχος της είναι η μελέτη της εφαρμογής των διεργασιών της ξήρανσης και της κομποστοποίησης σε οικιακό επίπεδο, για την ανάκτηση των παραγόμενων βιοαποβλήτων και τη μετατροπή τους σε εδαφοβελτιωτικό προϊόν.

Το πρώτο κεφάλαιο, αποτελεί μία εισαγωγή στο θέμα της διαχείρισης των αποβλήτων, κατά την οποία παρατίθενται βασικοί ορισμοί που σχετίζονται με τα Αστικά Στερεά Αποβλήτα, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, ο οποίος περιλαμβάνει την κατηγοριοποίησή τους. Στο πλαίσιο αυτής της ταξινόμησης αποσαφηνίζονται επίσης το κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και το υποσύνολο των βιοαποβλήτων. Επίσης, γίνεται ανάλυση των βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών διαφόρων συστατικών των αποβλήτων, καθώς και των κύριων ζωντανών οργανισμών που δύνανται να διαβιώνουν στα στερεά απόβλητα, αναλόγως της κατηγορίας τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς την διαχείριση των αποβλήτων και παρουσιάζονται οι σχετικές Οδηγίες που έχουν θεσπιστεί για το σκοπό αυτό. Επίσης, παρατίθεται το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο, όπως έχει διαμορφωθεί στην προσπάθεια προσαρμογής της Ελλάδας στα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται ανασκόπηση και καταγραφή διαφόρων μελετών περιπτώσεων που σχετίζονται με τις ποσοότητες των βιοαποβλήτων που παράγονται σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο. Οι περιπτώσεις που διερευνήθηκαν εμπεριείχαν στοιχεία αναφορικά με την εποχιακή διακύμανση της σύστασης των βιοαποβλήτων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν οι εκάστοτε μέθοδοι διαχείρισής τους και τη σύνδεση της σύστασης των αποβλήτων με το εισόδημα του πληθυσμού. Η ανασκόπηση έγινε στο πλαίσιο της ανομοιογένειας των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σύνθεσης των ΑΣΑ και κατ' επέκταση των βιοαποβλήτων, με σκοπό να σχηματιστεί μια ολοκληρωμένη όσο γίνεται εικόνα, τονίζοντας το γεγονός ότι τα βιοαπόβλητα αποτελούν το επικρατέστερο/μεγαλύτερο κλάσμα των ΑΣΑ και συνεπώς η ορθή διαχείρισή τους είναι ύψιστη αναγκαιότητα. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι επεξεργασίας των βιοαποβλήτων (αερόβια επεξεργασία, αναερόβια επεξεργασία, θερμικές μέθοδοι και οικιακή ξήρανση) που χρησιμοποιούνται τόσο σε οικιακή, όσο και σε μεγαλύτερη κλίμακα και παρουσιάζονται μερικά από τα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα των τεχνολογιών οικιακής αναερόβιας χώνευσης, ξήρανσης και κομποστοποίησης.

Το πέμπτο κεφάλαιο που ακολουθεί μας εισάγει στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, επεξηγούνται τα δύο διακριτά στάδια της πειραματικής διαδικασίας κατά τα οποία πραγματοποιήθηκε αρχικώς ξήρανση των υπο μελέτη δειγμάτων και κατόπιν διερευνήθηκε η αξιοποίησή τους με τη μέθοδο της κομποστοποίησης. Αναλύεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε με τα πειραματικά πρωτόκολλα ξήρανσης και κομποστοποίησης, περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι μέθοδοι ανάλυσης των φυσικοχημικών παραμέτρων που μελετήθηκαν.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων και γίνεται ο σχολιασμός τους. Αναλυτικότερα, είκοσι δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων εξετάστηκαν ως προς τις παρακάτω φυσικοχημικές παραμέτρους: υγρασία (%), πτητικά στερεά (%), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, TOC (%), TN (%), λόγος C/N. Οι τιμές που υπολογίστηκαν για την

% υγρασία των είκοσι δειγμάτων κυμάνθηκαν μεταξύ 0,5 – 29,4 %, ενώ το εύρος τιμών για τα % πτητικά στερεά ήταν 88,9 – 96,8 %. Όσον αφορά την παράμετρο του pH, η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε είναι 5,27 και η ελάχιστη 3,8. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμάνθηκε μεταξύ 0,94 – 4,57 mS/cm και τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα μεταξύ 44,2 – 61,8 %. Για την παράμετρο του % ολικού αζώτου, οι τιμές που σημειώθηκαν για τα είκοσι δείγματα εντοπίζονται στην περιοχή 1 – 6,6 %. Τέλος, ο λόγος C/N υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών 8,37 – 42,53 %. Συμπερασματικά αναφέρεται ότι με τη διεργασία της ξήρανσης επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της μάζας των βιοαποβλήτων της τάξης του 81%, εύρημα το οποίο τονίζει το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης καινοτόμου τεχνολογίας από πλευράς ευκολίας διαχείρισης των παραγόμενων ποσοτήτων. Επιπρόσθετα, δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης του ξηρού υλικού για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να αλλοιώνονται τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά. Κατόπιν, με στόχο τη μελέτη της διεργασίας της κομποστοποίησης, πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων. Ειδικότερα, στον πρώτο, δεύτερο και τρίτο κύκλο η περιεκτικότητα του αρχικού υποστρώματος σε ξηρό υλικό ήταν 10 %, 30 % και 50 % κ.β. αντίστοιχα. Κατά τη διενέργεια των τριών πειραματικών κύκλων, παρατηρήθηκε ότι για το προς εξέταση μίγμα βιοαποβλήτων οι παράμετροι μελέτης δεν εξελίχθηκαν ομαλώς σύμφωνα με τη διεργασία της κομποστοποίησης. Τα τελικά προϊόντα δεν είναι σταθεροποιημένα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταποκριθούν στα πρότυπα ποιότητας του κόμποστ.

Το έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο εμπεριέχει τα συμπεράσματα που προέκυψαν τόσο από την έρευνα που διεξήχθη σχετικά με την ανασκόπηση και καταγραφή των παραγόμενων ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε διεθνές επίπεδο και τις μεθόδους διαχείρισής τους, όσο και από την μελέτη των πειραματικών διαδικασιών και αποτελεσμάτων. Η διπλωματική εργασία καταλήγει στο γενικό συμπέρασμα ότι στις σύγχρονες κοινωνίες η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα, με οικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις. Με γνώμονα την Ευρωπαϊκή πολιτική και τις δεσμεύσεις-στόχους που οφείλουν να τηρούν τα Κράτη Μέλη για την εφαρμογή κατάλληλων περιβαλλοντικά και οικονομικά τεχνολογιών για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων των οποίων δεν μπορεί να γίνει πρόληψη της δημιουργία τους, ο συνδυασμός των τεχνολογιών της ξήρανσης και της κομποστοποίησης που μελετήθηκαν θα μπορούσε να αποτελέσει έναν εναλλακτικό και βιώσιμο τρόπο διαχείρισής τους με πολλαπλά οφέλη, όπως η ανάκτηση χρήσιμων υλικών προς περαιτέρω αξιοποίηση.

SUMMARY

The present thesis is entitled "Examination of physicochemical parameters and investigation of valorization of source separated biowaste". The thesis scope is to study the implementation of processes of drying and composting at household level for the recovery of biowaste and their conversion into compost.

The first chapter is an introduction addressing the waste management problem, incorporating basic definitions related to the management of Municipal Solid Waste, according to the European Waste Catalogue, which includes their categorization. Within this framework, the biodegradable fraction of waste and the division of biowaste are also clarified, by providing the categorization of biowaste in terms of their source of production. Finally, the analysis of the key characteristics of different waste components, and the main living organisms present in them are given.

The second chapter summarizes the EU policy regarding the waste management and presents the relevant Directives which have been adopted for this purpose. The relevant Greek legislative framework is also presented as developed in the context of the efforts performed by Greece in order to be adjusted to the European standards.

The third chapter encompasses a review and recording of various case studies related to the quantities of produced biowaste within Europe and internationally. The cases investigated entailed data on the seasonal variation of the composition of biowaste, the environmental impacts resulting from the current waste management methods and the composition of the biowaste in conjunction with the income of the population. The review also targeted the problem of heterogeneity of the methods used for determining the composition of MSW and thus of biowaste between different countries, in order to form a complete picture, as possible, stressing the fact that bio-waste are the predominant / larger fraction of MSW and to this end proper management is of utmost necessity.

The fourth chapter includes the treatment methods employed for biowaste (aerobic treatment, anaerobic digestion, thermal drying methods and drying at household scale) and provides the description of various existing commercial systems of anaerobic digestion, drying and composting, at household or larger scale.

The fifth chapter introduces the experimental part of the present work. In particular, the two distinct stages of the experimental procedure are explained, according to which the drying step of the samples under investigation was initially applied, prior to their utilization for composting. To this direction, the detailed methodology incorporating the experimental protocols, the experimental apparatus and the methods of analysis of the physicochemical parameters are given.

The sixth chapter presents the experimental results in the form of tables and charts and the findings are discussed thoroughly. More specifically, twenty (20) samples of dried food waste were tested for the following physicochemical parameters: moisture content (%), volatile solids (%), pH, electric conductivity, TOC (%), TN (%), ratio C/N. The values calculated for the % moisture content of the examined samples ranged from 0.5 to 29.4%, while the range for the percentage of volatile solids were between 88.9 and 96.8%. Regarding the parameter of pH, the maximum measured value was 5.27, while the minimum 3.8. The electrical conductivity (EC) ranged between 0.94 – 4.57 mS/cm and the percentage of total organic

carbon (TOC) varied between 44.2 to 61.8%. Concerning the parameter of total nitrogen (TN), the measured values for the twenty samples ranged between 1 - 6.6%. Finally, the C/N ratio was calculated between the values 8.37 and 42.53%. In conclusion, it is stated that the drying process resulted in a significant mass reduction of biowaste of 81%, a finding which emphasizes the advantage of this innovative technology in terms of the effectiveness of the management of the produced quantities. In addition, the aforementioned technology enables the storage of dried material for long periods without altering the physicochemical features. Furthermore, for the study of the composting process, three rounds of experiments were conducted. Specifically, in the first, second and third cycle, the content of the initial substrate of dried biowaste was 10%, 30% and 50% by weight, respectively. During the three experimental cycles, it was observed that the studied parameters of the biowaste mixtures were not developed smoothly, in accordance with the typical process of composting. The finished products were not bio-stabilized, so they could not meet the standards of compost quality.

The seventh and last chapter contains the conclusions drawn from both the study of the experimental procedures and results, as well as the research conducted on the review and recording of the produced quantities of biowaste internationally and their management methods. The thesis concludes the general conclusion that in modern societies, the management of waste is a major environmental issue, with economic and social implications. With reference to the European policy and the commitments - targets which the Member States should follow for the implementation of appropriate environmental and economical technologies for the treatment of biowaste which cannot be prevented, the investigated combination of the drying and composting processes could be an alternative and sustainable management solution with multiple benefits, such as the production of useful material (compost).

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΒΑΑ: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα
ΒΑ: Βιοαπόβλητα
ΕΚΑ: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων
ΕΣΔΑ: Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Αποβλήτων
ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΞΔΑ: Ξηραντής Διατροφικών Αποβλήτων
ΠΔΠ: Προγράμματα Δράσης για το Περιβάλλον
ΠΕΣΔΑ: Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων
ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Κλιματικής Αλλαγής
ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

CNG: Compressed Natural Gas
CRI: Copenhagen Resource Institute
EC: Electrical Conductivity
EWC: European Waste Catalogue
LNG: Liquefied Natural Gas
MSW: Municipal Solid Wastes
NEA: National Environment Agency
PE: Polyethylene
PP: Polypropylene
RDF: Refuse Derived Fuel
TN: Total Nitrogen
TOC: Total Organic Carbon
VS: Volatile Solids
WEEE: Waste Electrical and Electronic Equipment
WFD: Waste Framework Directive

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
SUMMARY	5
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	8
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	11
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	12
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	13
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	16
1.1 Γενικά	16
1.2 Ορισμοί	16
1.2.1 Αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ).....	16
1.2.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ).....	17
1.2.3 Βιοαπόβλητα (ΒΑ).....	17
1.2.4. Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων.....	18
1.3 Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά συστατικών των αποβλήτων	21
1.4 Κύριοι ζωντανοί οργανισμοί σε διάφορα στερεά απόβλητα	23
2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση	24
2.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό πλαίσιο	24
2.2 Ελληνική Νομοθεσία.....	27
3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο.....	31
3.1 Μελέτη σύνθεσης των ΑΣΑ	31
3.2 Σύσταση των βιοαποβλήτων.....	31
3.3 Σύσταση των βιοαποβλήτων στις 4 εποχές	32
3.4 Περιγραφή οικιακών αποβλήτων στη Γροιλανδία - προσδιορισμός της ποσότητας των περιεχόμενων σε αυτά βιοαποβλήτων	34
3.5 Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στην Κίνα.....	35
3.6 Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής ...	36

3.6.1	Παραγωγή, ανάκτηση και απόρριψη αστικών στερεών αποβλήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κατά το έτος 2012.....	37
3.7	Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα.....	38
3.7.1	Υγειονομική ταφή βιοαποικοδομήσιμων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα 39	
3.8	Προσδιορισμός της ποσότητας των οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας 40	
3.8.1	Κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας	41
3.9	Σύσταση των αποβλήτων συναρτήσει του εισοδήματος των χωρών	43
3.10	Ανακύκλωση των βιοαποβλήτων σε 32 ευρωπαϊκές χώρες.....	44
3.11	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα βιοαπόβλητα ανάλογα με τη μέθοδο διαχείρισής τους	47
3.12	Ροές άνθρακα μέσω των κύριων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων	48
3.13	Απλοποιημένο ισοζύγιο μάζας του μεθανίου, που παράγεται σε χώρους υγειονομικής ταφής 49	
4.	Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων	50
4.1	Κομποστοποίηση	50
4.1.1	Τεχνολογίες κομποστοποίησης	59
4.1.2	Οικιακή κομποστοποίηση	63
4.1.3	Εμπορικά συστήματα οικιακής κομποστοποίησης	64
4.1.4	Κομποστοποίηση με γαισκόκληκες.....	66
4.2	Αναερόβια χώνευση	67
4.2.1	Οικιακή αναερόβια χώνευση	68
4.3	Θερμικές μέθοδοι.....	70
4.3.1	Αποτέφρωση.....	71
4.3.2	Πυρόλυση	74
4.3.3	Αεριοποίηση	75
4.4	Ξήρανση	76
4.4.1	Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης.....	76
4.4.2	Περιγραφή και λειτουργία καινοτόμου συστήματος ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμάτων	80
5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	86
5.1	Σκοπός.....	86
5.2	Μεθοδολογία και στάδια πειραματικής διαδικασίας.....	87
5.2.1	Στάδιο 1ο: Ξήρανση	87

5.2.1.1	Περιγραφή πειραματικής διάταξης ξήρανσης βιοαποβλήτων.....	87
5.2.1.2	Πειραματικό πρωτόκολλο ξήρανσης – παράμετροι μελέτης.....	90
5.2.2	Στάδιο 2ο: Κομποστοποίηση.....	91
5.2.2.1	Περιγραφή και λειτουργία αυτόματου κομποστοποιητή «Naturemill».....	91
5.2.2.2	Πειραματικό πρωτόκολλο κομποστοποίησης.....	95
5.2.2.3	Περιγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων που εξετάστηκαν σε κάθε δείγμα.....	98
5.3	Μέθοδοι ανάλυσης.....	105
5.3.1	Προσδιορισμός θερμοκρασίας.....	105
5.3.2	Προσδιορισμός υγρασίας.....	106
5.3.3	Προσδιορισμός pH.....	106
5.3.4	Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	107
5.3.5	Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VS).....	107
5.3.6	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).....	108
5.3.7	Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN).....	109
5.3.8	Προσδιορισμός νιτρικών.....	111
5.3.9	Προσδιορισμός αμμωνιακών.....	113
5.3.10	Προσδιορισμός αναλογίας C/N.....	114
5.3.11	Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων.....	114
6	Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	116
6.1	Αποτελέσματα Ξήρανσης.....	116
6.1.1	Μείωση μάζας βιοαποβλήτων και ενεργειακή κατανάλωση ξηραντήρα.....	116
6.2	Αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων.....	117
6.3	Αποτελέσματα Κομποστοποίησης.....	127
6.3.1	Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος.....	127
6.3.2	Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος.....	130
6.3.3	Προσδιορισμός pH του υποστρώματος.....	133
6.3.4	Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	135
6.3.5	Προσδιορισμός πτητικών στερεών.....	138
6.3.6	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα.....	141
6.3.7	Προσδιορισμός ολικού αζωτού.....	144
6.3.8	Προσδιορισμός λόγου C/N.....	147
6.3.9	Προσδιορισμός μικροστοιχείων.....	150
6.3.10	Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων.....	151

6.3.11	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ώριμου κόμποστ	153
7	Συμπεράσματα.....	155
8	Βιβλιογραφία	161

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:	Ανάλυση συστατικών των αποβλήτων ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες	22
Πίνακας 2:	Κύριοι ζωντανοί οργανισμοί που υπάρχουν σε διάφορα στερεά απόβλητα.....	23
Πίνακας 3:	Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων	30
Πίνακας 4:	Κλάσματα υλικών οικιακών αποβλήτων στη Γροιλανδία σε ποσοστά (%) και σε kg ανά κάτοικο ανά έτος. Η μέση σύσταση των οικιακών αποβλήτων της Δανίας παρατίθεται για συγκριτικούς λόγους.....	34
Πίνακας 5:	Σύγκριση του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων μεταξύ της Κίνας και άλλων χωρών.....	35
Πίνακας 6:	Ποσότητες των βιοαποβλήτων σε χιλιάδες τόνους , από το 1960 ως το 2012	36
Πίνακας 7:	Ποσότητες των βιοαποβλήτων σε ποσοστά % του συνόλου των αστικών στερεών αποβλήτων , από το 1960 ως το 2012	36
Πίνακας 8:	Παραγωγή, ανάκτηση και απόρριψη των συστατικών των βιοαποβλήτων, το 2012 (σε εκατομμύρια τόνους, η ανάκτηση εμφανίζεται και ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής του κάθε συστατικού).....	38
Πίνακας 9:	Εκτίμηση σύστασης (%) των ΑΣΑ της χώρας, βάσει ΠΕΣΔΑ.....	39
Πίνακας 10:	Ποσοστό (%) των βιοαποβλήτων στα αστικά απόβλητα σε 28 ευρωπαϊκές χώρες για τα έτη 2008 – 2010.....	46
Πίνακας 11:	Κατανομή των μικροοργανισμών στις φάσεις της κομποστοποίησης.....	54
Πίνακας 12:	Συγκεντρωτικός πίνακας ιδανικών συνθηκών για την κομποστοποίηση.....	58
Πίνακας 13:	Κριτήρια επιλογής συστήματος κομποστοποίησης	63
Πίνακας 14:	Λειτουργικά χαρακτηριστικά ξηραντήρα	88
Πίνακας 15:	Τεχνικά χαρακτηριστικά ξηραντήρα.....	88
Πίνακας 16:	Πρόσθετα εξαρτήματα ξηραντήρα.....	89
Πίνακας 17:	Αποδεκτά και μη αποδεκτά υλικά για τον ξηραντήρα	89
Πίνακας 18:	Κατανομή διατροφικών αποβλήτων σε «πράσινα» και «καφέ» συστατικά.....	94
Πίνακας 19:	Σύσταση (kg) του αρχικού υποστρώματος για κάθε κύκλο κομποστοποίησης.....	95
Πίνακας 20:	Σύσταση (%) του αρχικού υποστρώματος για κάθε κύκλο κομποστοποίησης	96
Πίνακας 21:	Ποσοστιαία σύσταση νωπών διατροφικών αποβλήτων του πρώτου κύκλου κομποστοποίησης.....	96
Πίνακας 22:	Μετρήσεις ποσοστού μείωσης μάζας και ενεργειακής κατανάλωσης ξηραντήρα	116
Πίνακας 23:	Σύσταση, υγρασία (%) και πτητικά στερεά (%) των δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων	117
Πίνακας 24:	Σύσταση, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων	120

Πίνακας 25: Σύσταση, ολικός οργανικός άνθρακας (%), ολικό άζωτο (%) και αναλογία C/N των δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων	123
Πίνακας 26: Καταγραφή της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης	127
Πίνακας 27: Ποσοστά (%) υγρασίας κατά τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	130
Πίνακας 28: Ποσοστά (%) των πτητικών στερεών κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης	138
Πίνακας 29: Ποσοστά (%) του ολικού οργανικού άνθρακα κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης	141
Πίνακας 30: Ποσοστά (%) του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης	144
Πίνακας 31: Περιεκτικότητα (mg/kg) σε μικροστοιχεία του ώριμου κόμποστ για τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	150
Πίνακας 32: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ώριμο κόμποστ που προέκυψε από κάθε κύκλο κομποστοποίησης	151
Πίνακας 33: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ώριμου κόμποστ	153
Πίνακας 34: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος	154

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) , Βιοαποδομήσιμων (ΒΑ) & Βιοαποβλήτων (ΒΑ) σε μορφή συνόλου	18
Διάγραμμα 2: Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων	20
Διάγραμμα 3: Πυραμίδα ιεράρχησης των αποβλήτων βάσει της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ.....	25
Διάγραμμα 4: Ποσοστά μεμονωμένων συστατικών στα βιοαπόβλητα ανάλογα με την εποχή, που έχουν συλλεχθεί από αστικό οικισμό (σε % νωπό βάρος). Οι τιμές που παρατίθενται σε κάθε εποχή βασίζονται σε 13 περιπτώσεις δειγματοληψίας	32
Διάγραμμα 5: Ποσοστά μεμονωμένων συστατικών στα βιοαπόβλητα ανάλογα με την εποχή, που έχουν συλλεχθεί από οικογενειακές κατοικίες (σε % νωπό βάρος). Οι τιμές που παρατίθενται σε κάθε εποχή βασίζονται σε 6 περιπτώσεις δειγματοληψίας	33
Διάγραμμα 6: Παραγωγή ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012	37
Διάγραμμα 7: Ανάκτηση ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012	37
Διάγραμμα 8: Απόρριψη ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012	38
Διάγραμμα 9: Υγειονομική ταφή βιοαποικοδομήσιμων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα	40
Διάγραμμα 10: Παραγωγή οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας	41
Διάγραμμα 11: Κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας	42
Διάγραμμα 12: Σύσταση των αποβλήτων συναρτήσει του εισοδήματος των χωρών	43
Διάγραμμα 13: Ανακύκλωση των βιοαποβλήτων ως ποσοστό της παραγωγής των αστικών αποβλήτων σε 32 ευρωπαϊκές χώρες, για τα έτη 2001 και 2010.....	44
Διάγραμμα 14: Πρόοδος των ευρωπαϊκών χωρών όσον αφορά την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων, 2001-2010.....	45

Διάγραμμα 15: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανάλογα με τη μέθοδο διαχείρισης για έναν τόνο βιοαποβλήτων	47
Διάγραμμα 16: Συγκριτική απεικόνιση της περιεχόμενης υγρασίας (%) στα δείγματα ξηρού υλικού	118
Διάγραμμα 17: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού των πτητικών στερεών στα δείγματα ξηρού υλικού.....	119
Διάγραμμα 18: Συγκριτική απεικόνιση του pH στα δείγματα ξηρού υλικού.....	121
Διάγραμμα 19: Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα ξηρού υλικού.....	122
Διάγραμμα 20: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα στα δείγματα ξηρού υλικού	124
Διάγραμμα 21: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού του ολικού αζώτου στα δείγματα ξηρού υλικού.....	125
Διάγραμμα 22: Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στα δείγματα ξηρού υλικού.....	126
Διάγραμμα 23: Απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	128
Διάγραμμα 24: Απεικόνιση της εξέλιξης της υγρασίας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης.....	131
Διάγραμμα 25: Απεικόνιση της εξέλιξης του pH στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	134
Διάγραμμα 26: Απεικόνιση της εξέλιξης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης.....	136
Διάγραμμα 27: Εξέλιξη του (%) ποσοστού των πτητικών στερεών στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	139
Διάγραμμα 28: Εξέλιξη του (%) ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης	142
Διάγραμμα 29: Εξέλιξη του (%) ποσοστού του ολικού αζώτου στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης.....	145
Διάγραμμα 30: Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N κατά την εξέλιξη των τριών κύκλων κομποστοποίησης.....	148
Διάγραμμα 31: Συγκριτική απεικόνιση των μακροστοιχείων (mg/kg) στο κόμποστ κάθε πειραματικού κύκλου	150
Διάγραμμα 32: Συγκριτική απεικόνιση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο κόμποστ κάθε πειραματικού κύκλου	152
Διάγραμμα 33: Ποσοστά (%) παραγόμενων βιοαποβλήτων ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, στην Ευρωπαϊκή Ένωση	155
Διάγραμμα 34: Ποσότητες παραγόμενων διατροφικών περισσευμάτων ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, στην Ιταλία.....	156

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Απόθεση αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρο υγειονομικής ταφής	17
Εικόνα 2: Βιοαπόβλητα	18
Εικόνα 3: Ροές άνθρακα μέσω των κύριων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης του άνθρακα και των αεριωδών εκπομπών του. Το διοξείδιο του άνθρακα από τη βιομάζα δεν συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο των αερίων του θερμοκηπίου, που προέρχονται από τα απόβλητα	48

Εικόνα 4: Απλοποιημένο ισοζύγιο μάζας του μεθανίου (CH ₄) : μονοπάτια για το παραγόμενο CH ₄ σε απόβλητα χώρων υγειονομικής ταφής.....	49
Εικόνα 5: Απεικόνιση της διεργασίας της κομποστοποίησης.....	51
Εικόνα 6: Μεταβολές του λόγου C/N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.....	56
Εικόνα 7: Διαγράμματα μεταβολών θερμοκρασίας και pH στις διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης.....	58
Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση των τριών βασικών συστημάτων κομποστοποίησης: a) αναδεδυόμενα σειράδια, b) αεριζόμενοι στατικοί σωροί, c) κλειστά συστήματα.....	59
Εικόνα 9: Κατανομή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού κομποστοποίησης.....	60
Εικόνα 10: Εγκαταστάσεις κομποστοποίησης σε στατικούς σωρούς.....	61
Εικόνα 11: Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (σύστημα Rudgers).....	62
Εικόνα 12: Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς.....	64
Εικόνα 13: Η μέθοδος της επιφανειακής κομποστοποίησης.....	65
Εικόνα 14: Ξύλινος κομποστοποιητής (αριστερά), συρμάτινος κομποστοποιητής (δεξιά).....	65
Εικόνα 15: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών βιοαποβλήτων.....	66
Εικόνα 16: Στάδια αναερόβιας χώνευσης.....	68
Εικόνα 17: Φορητός αναερόβιος χωνευτήρας της εταιρείας Ruxin Technology.....	69
Εικόνα 18: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων.....	71
Εικόνα 19: Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου.....	73
Εικόνα 20: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας 5L.....	76
Εικόνα 21: Εσωτερικά τμήματα των συστημάτων ξήρανσης Loofen.....	77
Εικόνα 22: Φίλτρο ενεργού άνθρακα των συστημάτων ξήρανσης Loofen.....	77
Εικόνα 23: Σύστημα οικιακής ξήρανσης Coway.....	78
Εικόνα 24: Τα βασικά μέρη ενός οικιακού ξηραντήρα Coway.....	78
Εικόνα 25: Πρώτο σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK.....	79
Εικόνα 26: Δεύτερο σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK.....	79
Εικόνα 27: Σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας Duo Enterprise Ltd.....	80
Εικόνα 28: Θάλαμος Ξήρανσης.....	81
Εικόνα 29: Βάση κάτω όψη (αριστερά) και πάνω όψη (δεξιά).....	81
Εικόνα 30: Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων.....	82
Εικόνα 31: Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων πάνω όψη (αριστερά) και κάτω όψη (δεξιά).....	83
Εικόνα 32: Πώμα του ΞΔΑ.....	83
Εικόνα 33: Θερμικός Δίσκος.....	84
Εικόνα 34: Διάταξη απόσμησης: υποδοχέας & πώμα.....	84
Εικόνα 35: Συναρμολογημένη διάταξη σε προοπτική όψη και σε τομή.....	85
Εικόνα 36 : Ξηραντήρας διατροφικών αποβλήτων.....	87
Εικόνα 37: Ζύγιση αρχικού νωπού υλικού για την καταγραφή της μάζας του.....	90
Εικόνα 38 Ζύγιση υλικού που παραλήφθηκε μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης και την εξαγωγή του από τον ξηραντήρα.....	90
Εικόνα 39: Συσκευή μέτρησης ενεργειακής κατανάλωσης και χρόνου λειτουργίας.....	91
Εικόνα 40: Απεικόνιση των τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται ο αυτόματος κομποστοποιητής «Naturemill».....	91
Εικόνα 41: Αναπαράσταση της λειτουργίας του κομποστοποιητή «Naturemill».....	92
Εικόνα 42: Αυτόματος κομποστοποιητής «Naturemill».....	92
Εικόνα 43: Διαδικασία ομογενοποίησης δειγμάτων.....	97

Εικόνα 44: Ψηφιακό θερμόμετρο	105
Εικόνα 45: Φούρνος ξήρανσης	106
Εικόνα 46: Μετρητής pH	107
Εικόνα 47: Φούρνος ξήρανσης και πορσελάνινες κάψες που χρησιμοποιούνται κατά τον προσδιορισμό των πτητικών στερεών	108
Εικόνα 48: Σύστημα υπολογισμού TOC (αριστερά), πορσελάνινες κάψες με δείγμα (δεξιά).....	109
Εικόνα 49: Σωλήνας χώνευσης (αριστερά), συσκευή KJELDATHERM (δεξιά).....	109
Εικόνα 50: Συσκευή απόσταξης VaroDest 30s	110
Εικόνα 51: Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση	110
Εικόνα 52: Συσκευή Digesdahl Digestion	115
Εικόνα 53: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Varian)	115

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 Γενικά

Στη σύγχρονη εποχή, η ενεργειακή κρίση και η περιβαλλοντική υποβάθμιση είναι δύο θέματα κρίσιμης σημασίας. Η πληθυσμιακή αύξηση, η μαζική αστικοποίηση και η ραγδαία οικονομική ανάπτυξη οδήγησαν στην παραγωγή χιλιάδων τόνων αποβλήτων, γεγονός που αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι κύριες ανησυχίες που προκύπτουν από τα απόβλητα αφορούν στον πιθανό αντίκτυπο της μη ορθής διαχείρισής τους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και εύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας έγινε πειστική.

Στα παραπάνω πλαίσια, στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν θέματα που σχετίζονται με την διαχείριση των αποβλήτων. Για την κατανόηση του θέματός της, στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρατίθενται βασικοί ορισμοί που σχετίζονται με τα Αστικά Απόβλητα, αναλύονται τα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά διαφόρων συστατικών των αποβλήτων, καθώς και οι κύριοι ζωντανοί οργανισμοί που δύνανται να διαβιώνουν στα στερεά απόβλητα.

1.2 Ορισμοί

Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες με στόχο την εναρμόνιση της ορολογίας και τη διαμόρφωση ενός κοινώς αποδεκτού μοντέλου/συστήματος ταξινόμησης και κωδικοποίησης των διαφόρων κατηγοριών των αποβλήτων. Στην παρούσα υποενότητα δίνονται βασικοί ορισμοί, που αφορούν στα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) και τα υποσύνολά τους που σχετίζονται με το οργανικό κλάσμα, τα οποία συχνά συγχέονται, όπως τα Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα (ΒΑΑ) και τα Βιοαπόβλητα (ΒΑ). Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στα βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά συστατικών των αποβλήτων, καθώς και στους ζωντανούς οργανισμούς, η παρουσία των οποίων είναι δυνατή σε διάφορα στερεά απόβλητα.

1.2.1 Αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ)

Ο όρος αστικά στερεά απόβλητα (κατά την αγγλική ορολογία: Municipal Solid Waste, MSW) αναφέρεται στα οικιακά απόβλητα, καθώς και σε άλλα απόβλητα τα οποία, λόγω φύσης ή σύνθεσης, είναι παρόμοια με τα οικιακά, όπως απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια). Περιλαμβάνει επίσης ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.) και απόβλητα κήπων, φύλλα, κλαδιά, κηπευτικά, καθώς και απόβλητα από καθαρισμό δρόμων. (ΕΕΔΣΑ, 2014)

Στον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (European Waste Catalogue – EWC) παρατίθεται ένας λεπτομερής ορισμός των αστικών στερεών αποβλήτων. Σύμφωνα με αυτόν, τα αστικά στερεά απόβλητα

αποτελούν την κατηγορία αποβλήτων 20 00 00, δηλαδή τα «Δημοτικά απόβλητα (οικιακά απόβλητα και παρόμοια απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα), περιλαμβανομένων κλασμάτων χωριστά συλλεχθέντων». Σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγονται τα εξής:

20 01: Χωριστά συλλεχθέντα κλάσματα αποβλήτων: χαρτί και χαρτόνι, γυαλί, μικρά πλαστικά, άλλα πλαστικά, μικρά μέταλλα, άλλα μέταλλα, ξύλο, οργανικά απόβλητα κουζίνας, ρούχα, υφάσματα, διάφοροι τύποι επικίνδυνων αποβλήτων (διαλύτες, οξέα, φυτοφάρμακα, κ.λ.π.).

20 02: Απόβλητα κήπων και πάρκων: απόβλητα δυνάμενα να λιπασματοποιηθούν, χώμα και πέτρες και άλλα μη δυνάμενα να λιπασματοποιηθούν απόβλητα.

20 03: Άλλα δημοτικά απόβλητα: ανάμεικτα δημοτικά απόβλητα, απόβλητα από αγορές, υπολείμματα από τον καθαρισμό δρόμων, λάσπη σηπτικής δεξαμενής, απόβλητα από τον καθαρισμό υπονόμων και ογκώδη απόβλητα. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013)



Εικόνα 1: Απόθεση αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρο υγειονομικής ταφής

(ΕΕΑ, 2011)

1.2.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ)

Σύμφωνα με την οδηγία περί υγειονομικής ταφής, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αποτελούν μια ευρύτερη έννοια και ορίζονται ως «οποιοδήποτε απόβλητο μπορεί να υποστεί αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση», όπως είναι τα διατροφικά απόβλητα, τα απόβλητα κηπουρικής, το χαρτί-χαρτόνι και το ξύλο (Saveyn & Eder, 2014; European Commission, 2014).

1.2.3 Βιοαπόβλητα (ΒΑ)

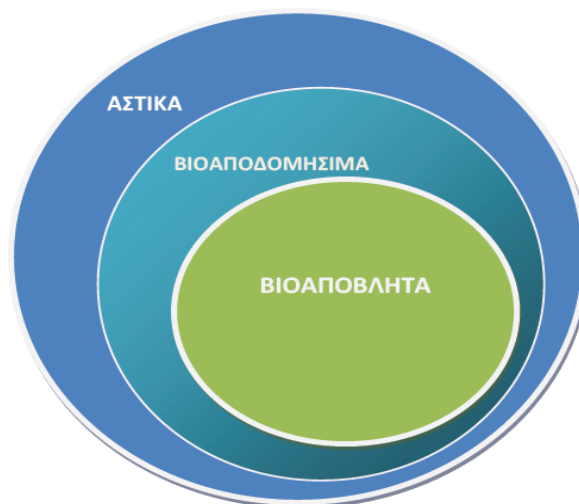
Στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα (WFD) τα βιοαπόβλητα ορίζονται ως «τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίματα τροφών και μαγειρείων από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων». Σε αυτά δεν περιλαμβάνονται τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα, η κοπριά, η ιλύς επεξεργασίας λυμάτων ή άλλα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (φυσικές ίνες, χαρτί ή κατεργασμένο ξύλο). (Saveyn & Eder, 2014; European Commission, 2014)



Εικόνα 2: Βιοαπόβλητα

(Waste2bio project, 2014)

Από το διάγραμμα που ακολουθεί, συμπεραίνεται ότι στα αστικά απόβλητα περιλαμβάνονται τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα και τα βιοαπόβλητα. Ωστόσο, τα βιοαπόβλητα συνιστούν υποσύνολο των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.



Διάγραμμα 1: Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), Βιοαποδομήσιμων (ΒΑ) & Βιοαποβλήτων (ΒΑ) σε μορφή συνόλου

(ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

1.2.4. Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων

Τα βιοαπόβλητα είναι δυνατό να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους:

- Τα οικιακά βιοαπόβλητα
- Τα εμπορικά βιοαπόβλητα
- Τα βιομηχανικά βιοαπόβλητα

Με σκοπό να γίνει κατανοητή η διάκριση στις παραπάνω κατηγορίες, ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή τους:

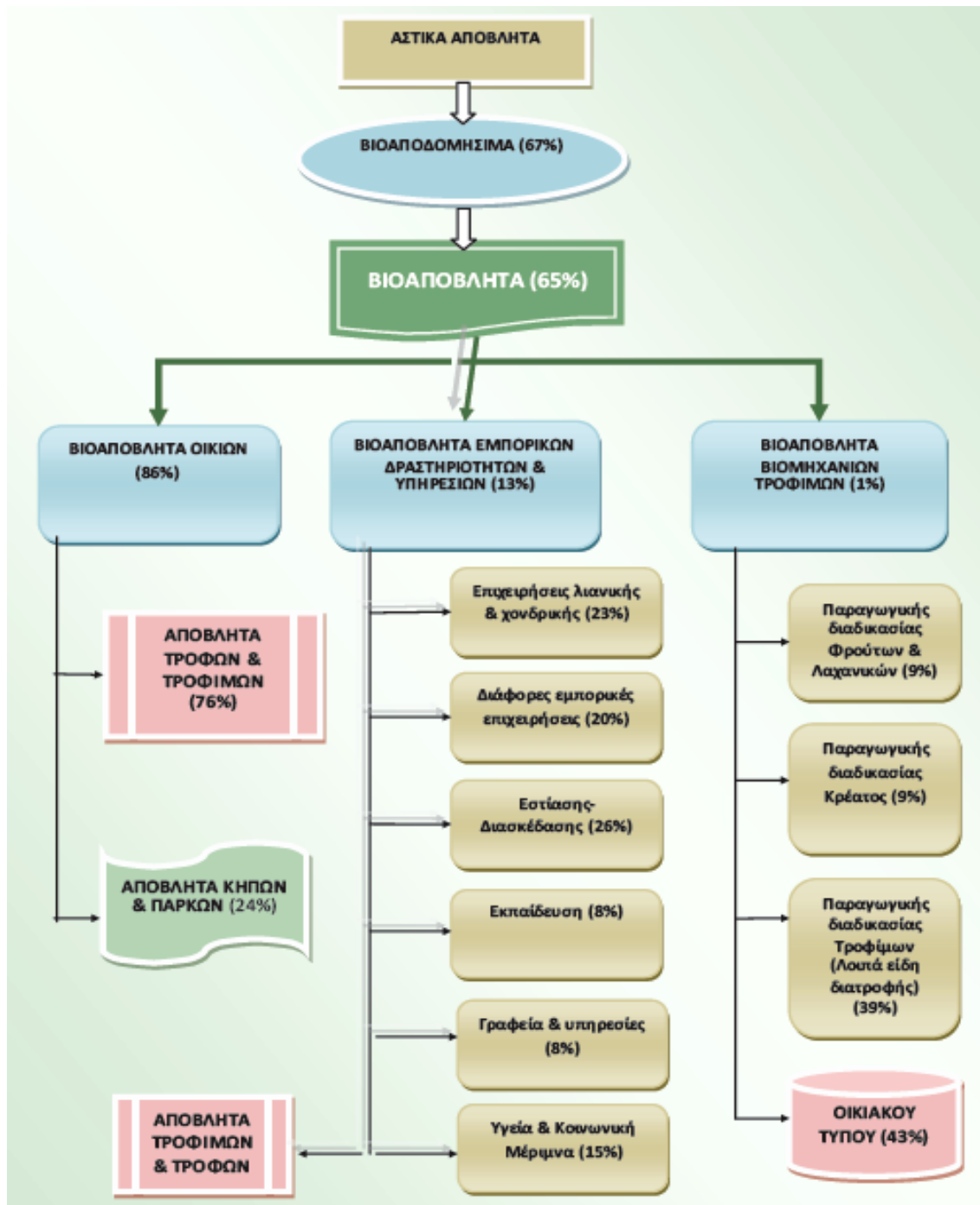
Οικιακά απόβλητα: Αποτελούν το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία δημιουργούνται στις οικίες (ή και σε δημόσιους χώρους στην περίπτωση των αποβλήτων κήπου) και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:

- Απόβλητα τροφών: Η κατηγορία αυτή 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: Είναι τα πράσινα απόβλητα από τους κήπους των οικιών και δημόσιων χώρων και εν γένει των υπολειμμάτων βλάστησης από τη συντήρηση χώρων πρασίνου. Περιλαμβάνει μοσχεύματα δένδρων, κλαδιά, χόρτα, φύλλα, κλαδέματα, λουλούδια κ.λ.π.

Εμπορικά απόβλητα: Είναι τα απόβλητα που προέρχονται από επιχειρήσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως για εμπορικούς ή άλλους επαγγελματικούς σκοπούς, δραστηριοποιούνται ως κέντρα διασκέδασης, αναψυχής και εστίασης. Επίσης, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από αθλητικές δραστηριότητες, υπηρεσίες δημόσιου ή ιδιωτικού χαρακτήρα, οργανισμούς κοινής ωφέλειας και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Βιομηχανικά απόβλητα: Ως βιοαπόβλητα βιομηχανιών εκλαμβάνονται τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Σε καμία περίπτωση, δεν εννοούνται 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. Ομοίως, εξαιρούνται τα παραπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι πηγές προέλευσης των βιοαποβλήτων, καθώς και τα διακριτά ρεύματα παραγωγής τους.



Διάγραμμα 2: Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων

(ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

1.3 Βασικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά συστατικών των αποβλήτων

Η ανάλυση των αποβλήτων ως προς τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι από τη γνώση τους, διευκολύνεται η επεξεργασία τους και παράλληλα καθίσταται δυνατό να προσδιορισθεί η καταλληλότερη μέθοδος διαχείρισής τους.

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων, που κρίνεται σκόπιμο να υπολογιστούν, είναι:

1. η πυκνότητα,
2. η κατανομή μεγέθους των συστατικών τους και
3. η περιεχόμενη υγρασία.

Η περιεχόμενη υγρασία αποτελεί παράμετρο καθοριστικής σημασίας για την εφαρμοζόμενη μέθοδο επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση εφαρμογής της κομποστοποίησης, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό των στραγγισμάτων.

Εξάλλου, ο υπολογισμός της πυκνότητας χρησιμεύει για να εκτιμηθούν: 1. ο χώρος (σε μονάδες όγκου), που πρέπει να διαθέτει το όχημα μεταφοράς των αποβλήτων και 2. το μέγεθος της μονάδας διάθεσής τους. (Chandrappa & Das, 2012)

Σχετικά με τα χημικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων, το ενδιαφέρον εστιάζεται στην εξαγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων για τις παραμέτρους που ακολουθούν:

1. της υγρασίας (το περιεχόμενο σε υγρασία μπορεί να μεταβάλλει τις φυσικές, αλλά και τις χημικές ιδιότητες των αποβλήτων),
2. των πτητικών στερεών,
3. της τέφρας,
4. της θερμιδικής αξίας και
5. των ποσοστών σε άνθρακα, υδρογόνο, οξυγόνο και θείο. (Chandrappa & Das, 2012)

1. Εισαγωγή και Ορισμοί

Πίνακας 1: Ανάλυση συστατικών των αποβλήτων ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες

Συστατικό του αποβλήτου	Πυκνότητα αποβλήτου (kg/m ³)	Περιεχόμενο σε υγρασία (%)	Αδρανές υπόλειμμα (%)	Θερμιδική αξία (kJ/Kg)	Άνθρακας (%)	Υδρογόνο (%)	Οξυγόνο (%)	Άζωτο (%)	Θείο (%)
Άσφαλτος	680	6-12		17100-18400	83-87	9,9-11	0,2-0,8	0,3-1,1	1,0-5,4
Χαρτόνι, Πτυχωτό χάρτινο κουτί	30-80	4-10	3-6	16375	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2
Τούβλο/ σκυρόδεμα/ πλακάκι/ χώμα	800-1500	6-12	99						
Ηλεκτρονικός εξοπλισμός	105		0-50,8	14116,27-45358,28	38,85-83,10	3,56-14,22	7,46-51,50	0,03-9,95	
Διατροφικά απόβλητα	120-480	50-80	2-8		48,0	6,4	37,6	2,6	0,4
Κλαδέματα κήπων	60-225	30-80	2-6	4785-18563	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3
Γυαλί	90-260	1-4	99		60,0				
Δέρμα	90-450	8-12	8-20			8,0	11,6	10,0	0,4
Σιδηρούχα μέταλλα	120-1200	2-6	99						
Μη σιδηρούχα μέταλλα	60-240	2-4	99						
Αστικά στερεά απόβλητα/ Βιοιατρικά απόβλητα	87-348	15-40							
Χαρτί	30-130	4-10	6-20	12216-18540	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2
Πλαστικό	30-156	1-4	6-20		60,0	7,2	22,8		
Καουτσούκ	90-200	1-4	8-20		78,0	10,0		2,0	
Πριονίδι	250-350			20510	49,0	6,0			0,1
Υφασμα	30-100	6-15	2-4		55,0	6,6	31,2	4,6	0,15
Ξύλο	156-900	15-40	1-2	14.400-17.400	49,5	6,0	42,7	0,2	1

(Tchobanoglaus , 1977; Wess et al., 2004; Othman, 2008)

1.4 Κύριοι ζωντανοί οργανισμοί σε διάφορα στερεά απόβλητα

Οι μικροοργανισμοί συντελούν στην αποσύνθεση του αποδομήσιμου κλάσματος των στερεών αποβλήτων. Θερμόφιλα βακτήρια αποδομούν τις πρωτεΐνες, ενώ οι μύκητες και οι ακτινομύκητες αποδομούν πολύπλοκο οργανικό υλικό, όπως η σελουλόζη και η λιγνίνη. Τα είδη «Streptomyces» και «microsporog» αποτελούν τους πιο συνήθεις ακτινομύκητες, που δρουν στο κόμποστ. Επιπλέον, κοινοί μύκητες που παρατηρούνται στο κόμποστ είναι οι «Thermomyces sp.», «asperigillus» και «penicillium durontii fumigatus». Οι περισσότεροι από αυτούς τους οργανισμούς υπάρχουν στα αστικά στερεά απόβλητα, ακόμα και πριν την κομποστοποίηση. (CPHEEO, 2000)

Εκτός των παραπάνω μικροοργανισμών, τα πρωτόζωα εντοπίζονται, επίσης, στα στερεά απόβλητα, παρόλο που διαβιώνουν πρωταρχικά σε υδάτινο περιβάλλον. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιβίωσή τους είναι η παρουσία βακτηρίων σε αερόβιο περιβάλλον, αφού τα χρησιμοποιούν ως τροφή. Αλλά και στη περίπτωση που οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για τη διαβίωσή τους, αυτά μετατρέπονται σε μια ανθεκτικότερη μορφή, τις κύστεις.

Επιπρόσθετα, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι, πολλοί από τους οργανισμούς που βρίσκονται στα απόβλητα είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία. Τα πρωτόζωα λειτουργούν παρασιτικά προς τον άνθρωπο και μπορούν να του προκαλέσουν διάφορες ασθένειες. Οι μύκητες που αναπτύσσονται κατά κόρον στα στερεά απόβλητα, περιλαμβάνουν 100 είδη, παθογόνα, για τους ανθρώπους και τα ζώα. Από την άλλη, τα σπόρια, που σχηματίζουν τα βακτήρια σε συνθήκες έλλειψης των απαραίτητων για την επιβίωσή τους θρεπτικών συστατικών, είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Ενδεικτικά, τα σπόρια του «Clostridium» είναι δυνατό να οδηγήσουν ακόμα και στο θάνατο, εάν μολύνουν πληγές ή το φαγητό. Ενώ είδη, όπως το «C.botulinum», παράγουν τοξίνες, που προκαλούν τροφική δηλητηρίαση. (Anthony & Elizabeth, 1981)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι κύριοι ζωντανοί οργανισμοί που εντοπίζονται σε κάθε κατηγορία αποβλήτων.

Πίνακας 2: Κύριοι ζωντανοί οργανισμοί που υπάρχουν σε διάφορα στερεά απόβλητα

Κατηγορία αποβλήτων	Μύκητες	Πρωτόζωα	Βακτήρια	Έντομα	Τρωκτικά
Βιοιατρικά απόβλητα	✓	✓	✓	✓	✓
Διατροφικά απόβλητα	✓	✓	✓	✓	✓
Επικίνδυνα απόβλητα					
Αστικά στερεά απόβλητα	✓	✓	✓	✓	✓
Ραδιενεργά απόβλητα					
Απόβλητα ηλεκτρικού & ηλεκτρονικού εξοπλισμού (WEEE)				✓	✓

(Chandrappa & Das, 2012)

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ορθή διαχείριση των αποβλήτων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της χρήσης των πόρων στο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, δεδομένων των τεράστιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που έχουν δημιουργηθεί, η ορθή διαχείριση των αποβλήτων έχει τεθεί ως βασική προτεραιότητα στις ευρωπαϊκές χώρες.

Κύριος στόχος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας είναι να καταστεί πιο αποδοτική η χρήση των φυσικών πόρων. Αναλυτικότερα, εκείνο που επιδιώκεται είναι κάθε χώρα να εκμεταλλεύεται στο μέγιστο δυνατό βαθμό την αξία των φυσικών πόρων που χρησιμοποιεί, προκειμένου να επιτύχαινε μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη με μικρότερο κόστος για το περιβάλλον. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθετεί «Προγράμματα Δράσης για το Περιβάλλον» (ΠΔΠ). Στο πλαίσιο των ΠΔΠ αναπτύσσει την πολιτική της ως προς τη διαχείριση των αποβλήτων, με τη θέσπιση Οδηγιών (Directives), Κανονισμών (Regulations) και Αποφάσεων (Decisions). Από τις πιο σημαντικές νομοθετικές διατάξεις που έχουν θεσπιστεί τα τελευταία χρόνια είναι η Οδηγία για τη διαχείριση των Απόβλητων 2008/98/ΕΚ (ΕΥ, 2008) και η Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων 1999/31/ΕΚ (ΕΥ, 1999).

2.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό πλαίσιο

🌐 Οδηγία για τη διαχείριση των Αποβλήτων 2008/98/ΕΚ (Οδηγία 2008/98/ΕΚ)

Στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα περιλαμβάνονται βασικές αρχές διαχείρισης των αποβλήτων, όπως:

Προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος

Τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι η διαχείριση των αποβλήτων πραγματοποιείται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία και χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον, και ιδίως:

- α) χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος για το νερό, τον αέρα, το έδαφος, τα φυτά ή τα ζώα,
- β) χωρίς να προκαλείται όχληση από θόρυβο ή οσμές, και
- γ) χωρίς να επηρεάζεται δυσμενώς το τοπίο ή οι τοποθεσίες ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.

Η Αρχή «ο Ρυπαίνων Πληρώνει» και η Αρχή της Διευρυμένης Ευθύνης του Παραγωγού

Σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων βαρύνει τον αρχικό παραγωγό αποβλήτων, τον τρέχοντα ή τους προηγούμενους κατόχους αποβλήτων. Επίσης, προκειμένου να ενισχυθούν η επαναχρησιμοποίηση και πρόληψη, η ανακύκλωση και άλλες μορφές ανάκτησης αποβλήτων, τα κράτη μέλη μπορούν να λαμβάνουν νομοθετικά και μη νομοθετικά μέτρα για να εξασφαλίζουν ότι τα φυσικά ή νομικά πρόσωπα τα οποία κατ' επάγγελμα αναπτύσσουν, κατασκευάζουν, μεταποιούν, επεξεργάζονται, πωλούν ή εισάγουν προϊόντα (παραγωγός του προϊόντος) φέρουν διευρυμένη ευθύνη παραγωγού.

Οι Αρχές της Αυτάρκειας και της Εγγύτητας

Τα βασικά σημεία των αρχών αυτών συνοψίζονται στα εξής:

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

α) Τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα, σε συνεργασία με άλλα κράτη μέλη εφόσον αυτό παρίσταται αναγκαίο ή σκόπιμο, ώστε να δημιουργηθεί ολοκληρωμένο και κατάλληλο δίκτυο εγκαταστάσεων διάθεσης των αποβλήτων, που θα λαμβάνει υπόψη τις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες που δεν συνεπάγονται υπερβολικό κόστος. Το δίκτυο αυτό πρέπει να επιτρέπει στην Κοινότητα ως σύνολο να καταστεί αυτάρκης στον τομέα της διάθεσης των αποβλήτων και στα κράτη μέλη να τείνουν χωριστά προς το στόχο αυτό, λαμβανομένων υπόψη των γεωγραφικών συνθηκών ή της ανάγκης ειδικών εγκαταστάσεων για ορισμένες κατηγορίες αποβλήτων.

β) Το δίκτυο αυτό πρέπει να επιτρέπει ακόμη τη διάθεση των αποβλήτων σε μία από τις πλησιέστερες κατάλληλες εγκαταστάσεις, με χρησιμοποίηση των καταλληλότερων μεθόδων και τεχνολογιών για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Επιπλέον, η ευρωπαϊκή πολιτική διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της ροής των βιοαποβλήτων, βασίζεται στην «ιεράρχηση των αποβλήτων», που κατατάσσει τις επιλογές διαχείρισης ανάλογα με το τι είναι καλύτερο για το περιβάλλον. Συνεπώς, δίνεται προτεραιότητα στην πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων ως βέλτιστης λύσης και ακολουθούν η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση, η ανάκτηση και η διάθεση των αποβλήτων. Η ιεράρχηση των αποβλήτων παρουσιάζεται συνοπτικά σε μια πυραμίδα, στην κορυφή της οποίας βρίσκονται οι πιο επιθυμητές επιλογές.



Διάγραμμα 3: Πυραμίδα ιεράρχησης των αποβλήτων βάσει της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ

(ISWM-TINOS, 2012)

Στη συνέχεια επεξηγείται κάθε επιλογή διαχείρισης των αποβλήτων ξεχωριστά:

«Πρόληψη»: τα μέτρα τα οποία λαμβάνονται πριν μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστούν απόβλητα, και τα οποία μειώνουν:

α) την ποσότητα των αποβλήτων, μέσω επαναχρησιμοποίησης ή παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων,

β) τις αρνητικές επιπτώσεις των παραγόμενων αποβλήτων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, ή

γ) την περιεκτικότητα των υλικών και προϊόντων σε επικίνδυνες ουσίες.

«Προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση»: κάθε εργασία ανάκτησης που συνιστά έλεγχο, καθαρισμό ή επισκευή, με την οποία προϊόντα ή συστατικά στοιχεία προϊόντων που αποτελούν πλέον απόβλητα προετοιμάζονται προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθούν χωρίς άλλη προεπεξεργασία.

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

«Ανάκτηση»: οποιαδήποτε εργασία της οποίας το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι απόβλητα εξυπηρετούν ένα χρήσιμο σκοπό αντικαθιστώντας άλλα υλικά τα οποία, υπό άλλες συνθήκες, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας, ή ότι απόβλητα υφίστανται προετοιμασία για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας, είτε στην εγκατάσταση είτε στο γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας.

«Διάθεση»: οποιαδήποτε εργασία η οποία δεν συνιστά ανάκτηση, ακόμη και στην περίπτωση που η εργασία έχει ως δευτερογενή συνέπεια την ανάκτηση ουσιών ή ενέργειας.

Τέλος, με την οδηγία αυτή ορίζονται δύο στόχοι, οι οποίοι πρέπει να έχουν εκπληρωθεί έως το 2020 με τη λήψη των αναγκαίων μέτρων από όλα τα κράτη-μέλη. Οι στόχοι αυτοί είναι οι εξής:

α) έως το 2020 η προετοιμασία για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υλικών αποβλήτων, όπως τουλάχιστον το χαρτί, το μέταλλο, το πλαστικό και το γυαλί από τα νοικοκυριά και ενδεχομένως άλλης προέλευσης στο βαθμό που τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοια με τα απόβλητα των νοικοκυριών, πρέπει να αυξηθεί κατ' ελάχιστον στο 50 % ως προς το συνολικό βάρος,

β) έως το 2020 η προετοιμασία για την επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση άλλων υλικών, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών υγειονομικής ταφής όπου γίνεται χρήση αποβλήτων για την υποκατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων εξαιρουμένων των υλικών που απαντούν στη φύση και τα οποία ορίζονται στην κατηγορία 17 05 04 του καταλόγου αποβλήτων πρέπει να αυξηθεί κατά 70 % τουλάχιστον ως προς το βάρος.

📌 Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων 1999/31/ΕΚ (Οδηγία 1999/31/ΕΚ)

Για την Ευρωπαϊκή Κοινότητα η υγειονομική ταφή των απορριμμάτων δεν αποτελεί πλέον βιώσιμη μέθοδο διαχείρισής τους. Αυτό αποτυπώνεται στην Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, που στοχεύει στην πρόληψη ή μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οποιουδήποτε κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία προκύπτει από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων. Πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της υγειονομικής ταφής είναι η μόλυνση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, του εδάφους, του αέρα, καθώς και η επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Οδηγία υποχρεώνει, επίσης, όλα τα κράτη-μέλη σε σταδιακή μείωση του ποσοστού των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής, με βάση τη συνολική ποσότητα βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το έτος 1995. Οι στόχοι μείωσης των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής είναι:

- μείωση στο 75 % μέχρι το 2006
- μείωση στο 50 % μέχρι το 2009
- μείωση στο 35 % μέχρι το 2016

Για όσες χώρες διέθεταν κατά το έτος 1995 περισσότερο από το 80 % των συλλεχθέντων αστικών στερεών αποβλήτων τους σε χώρους υγειονομικής ταφής δόθηκε επιπλέον περίοδος χάριτος 4 χρόνων για την επίτευξη των παραπάνω στόχων.

2.2 Ελληνική Νομοθεσία

Η ελληνική νομοθεσία αναφορικά με την διαχείριση των αποβλήτων έχει πλήρως εναρμονιστεί με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και τις σχετικές οδηγίες (ΕΙΒ, 2010). Την τελευταία δεκαετία όλες οι σχετικές ευρωπαϊκές οδηγίες έχουν αντιμετωπιστεί στην ελληνική νομοθεσία, με πιο πρόσφατο παράδειγμα την Οδηγία για τη διαχείριση των Αποβλήτων 2008/98/ΕΚ που αντιστοιχεί στον ελληνικό νόμο 4042/2012 του 2012 (ΥΠΕΚΑ, 2012).

- Ⓢ Νόμος 4042/2012 «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (ΦΕΚ 24/Α/13.2.2012)

Με το νόμο 4042/2012 εναρμονίζεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της ευρωπαϊκής οδηγίας 2008/98/ΕΚ και θεσπίζονται αποτρεπτικές, αποτελεσματικές και αναλογικές κυρώσεις μέσω του ποινικού δικαίου, για τις περιπτώσεις που προκαλείται ή ενδέχεται να προκληθεί ρύπανση ή υποβάθμιση του περιβάλλοντος, με σκοπό τη διασφάλιση της αποτελεσματικής ποινικής προστασίας του.

Γενικά, στον νόμο αυτό, όπως και στην Οδηγία 2008/98/ΕΚ, εμπεριέχονται βασικές αρχές διαχείρισης των αποβλήτων (προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος, αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας, αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» κ.λ.π.) και τίθενται οι επιλογές διαχείρισής τους κατά σειρά προτεραιότητας, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά συγκεκριμένα την διαχείριση των βιοαποβλήτων, ο νόμος αυτός θέτει δύο χρονικούς και ποσοτικούς στόχους:

- έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστον, στο 5% του συνολικού τους βάρους,
- έως το 2020, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει κατ' ελάχιστον, στο 10% του συνολικού τους βάρους.

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Επιπλέον, με το νόμο αυτό επιβάλλεται ειδικό τέλος ταφής σε όσους οργανισμούς και επιχειρήσεις διαθέτουν τα απόβλητά τους σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής. Για το έτος 2014, το ειδικό τέλος ταφής ανέρχεται στο ποσό των 35 ευρώ ανά τόνο διατιθέμενων αποβλήτων και αυξάνεται ετησίως κατά 5 ευρώ ανά τόνο έως του ποσού των 60 ευρώ ανά τόνο.

- Ⓔ Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 29407/3508/2002 «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002)

Η ΚΥΑ 29407/3508 αποτελεί ουσιαστικά ενσωμάτωση της ευρωπαϊκής οδηγίας περί υγειονομικής ταφής 1999/31/ΕΚ στο εθνικό νομοθετικό πλαίσιο. Με την ΚΥΑ 29407/3508 καθορίζονται μέτρα και διαδικασίες, με στόχο τον περιορισμό των επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Ειδικότερα, για τη σταδιακή εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής τίθενται οι παρακάτω στόχοι:

- μέχρι το 2010, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 75 % της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995,
- μέχρι το 2013, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 50 % της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995,
- μέχρι το 2020, τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 35 % της συνολικής ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995.

- Ⓕ Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων - Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης» (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.2003)

Με την ΚΥΑ 50910/2727/2003 καθορίζεται ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), ο οποίος στοχεύει κυρίως:

- στην πρόληψη ή και στη μείωση της παραγωγής και της βλαπτικότητας των αποβλήτων με:
- την ανάπτυξη καθαρών και πιο οικονομικών τεχνολογιών
- την παραγωγή και διάθεση στην αγορά προϊόντων που είναι σχεδιασμένα ώστε να μην συμβάλλουν ή να συμβάλλουν όσο το δυνατόν λιγότερο στην αύξηση της ποσότητας και της βλαπτικότητας των αποβλήτων
- την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών για τη τελική διάθεση των επικίνδυνων ουσιών
- στην αξιοποίηση των αποβλήτων με ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανάκτηση ή οποιαδήποτε άλλη διαδικασία που έχει ως στόχο την παραγωγή δευτερογενών πρώτων υλών ή προϊόντων
- στην περιβαλλοντικά ασφαλή διαχείριση των αποβλήτων
- στην χρησιμοποίηση των αποβλήτων ως πηγή ενέργειας
- στην περιβαλλοντικά αποδεκτή και ασφαλή διάθεση των αποβλήτων
- στην ενθάρυνση της ορθολογικής οργάνωσης και της ολοκληρωμένης διαχείρισης των αποβλήτων
- και στην δημιουργία εθνικού δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων.

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ο ΕΣΔΑ εξειδικεύεται περαιτέρω με τα περιφερειακά σχέδια διαχείρισης στερεών αποβλήτων για κάθε μία από τις δεκατρείς περιφέρειες της Ελλάδας. Ο Πίνακας 2 που ακολουθεί συνοψίζει το νομοθετικό πλαίσιο της ΕΕ & Ελλάδας, σύμφωνα με τις προτεραιότητες ιεράρχησης της διαχείρισης των ΒΑ.

2. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Πίνακας 3: Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων

Ιεράρχηση διαχείρισης	Νομοθεσία Ε.Ε.	Ελληνική Νομοθεσία
Γενικό πλαίσιο διαχείρισης	Οδηγία 2008/98/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών	Ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο με το Νόμο 4042/2012 Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
	Προγενέστερη - Οδηγία 2006/12/ΕΚ	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ Β 1016/17.11.97) «Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων» ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ Β 1909/22.12.2003) «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης
Πρόληψη & Ελαχιστοποίηση	Οδηγία 2008/1/ΕΚ σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (IPPC)	Ν. 2965/2001 (ΦΕΚ 68/Α`/11.3.2005) «Βιώσιμη ανάπτυξη Αττικής και άλλες διατάξεις» Ν. 3325/2005 (ΦΕΚ 270/Α`/23.11.2001) «Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών, βιοτεχνικών εγκαταστάσεων στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και άλλες διατάξεις» Σε μερική εναρμόνιση με την Οδηγία 96/61/ΕΟΚ προγενέστερη της Οδηγίας 2008/1/ΕΚ
Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση	Οδηγία 86/278/ΕΟΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία	ΚΥΑ 80568/4225/1991 (ΦΕΚ Β 641/7.8.91) «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»
	Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ σχετικά με τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211/Α'/5.10.2006) «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».
	Αποφάσεις 2006/799/ΕΚ και 2007/64/ΕΚ περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και σε καλλιεργητικά μέσα αντίστοιχα	
Ανάκτηση Ενέργειας	Οδηγία 2000/76/ΕΚ σχετικά με την αποτέφρωση των αποβλήτων	ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ Β 759/06.06.2005) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων»
	Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ	Αναμένεται η ενσωμάτωση της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο
Τελική Διάθεση	Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ Β 1572/16.12.02) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων» ΚΥΑ 4641/232/2006 (ΦΕΚ Β 168/13-02-06) «Καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών μικρών χώρων υγειονομικής ταφής αποβλήτων σε νησιά και απομονωμένους οικισμούς, κατ' εφαρμογή του άρθρου 3 (παρ.4) σε συνδυασμό με το άρθρο 20 (παράρτημα Ι) της υπ' αριθμ. 29407/3508/2002 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για υγειονομική ταφή των αποβλήτων» (Β' 1572)»

(Μαλαμής, 2011)

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

3.1 Μελέτη σύνθεσης των ΑΣΑ

Η σύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων προσδιορίζεται από το ποσοστό των επί μέρους κλασμάτων των αποβλήτων που τα απαρτίζουν. Ωστόσο, για τον προσδιορισμό της σύνθεσης των ΑΣΑ δεν υπάρχει σήμερα μία τυποποιημένη μεθοδολογία σε εθνικό ή ευρωπαϊκό επίπεδο, και κατ' επέκταση σε παγκόσμιο, η οποία να υπολογίζει τα επί μέρους συστατικά των αστικών στερεών αποβλήτων. (Končalová & Dubcová, 2012; European Commission, 2004; Ploechl et al., 2003)

Πολλές διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε όλη την Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο (π.χ. ADEME 1998; ASTM International 2003; CIWMB 1999 κ.ά.), και ακόμη και μέσα στην ίδια χώρα, μπορεί παράλληλα να ακολουθούνται διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού. Ως εκ τούτου, λόγω της προαναφερθείσας ανομοιογένειας, ο χαρακτηρισμός και η ποσοτικοποίηση των διαφόρων ρών αποβλήτων μπορεί να επιτελείται σε διαφορετική βάση και αυτό δυσχεραίνει τις συγκρίσεις των ποικίλων συστημάτων συλλογής και διαχείρισης των ΑΣΑ (Dahlén & Lagerkvist, 2008).

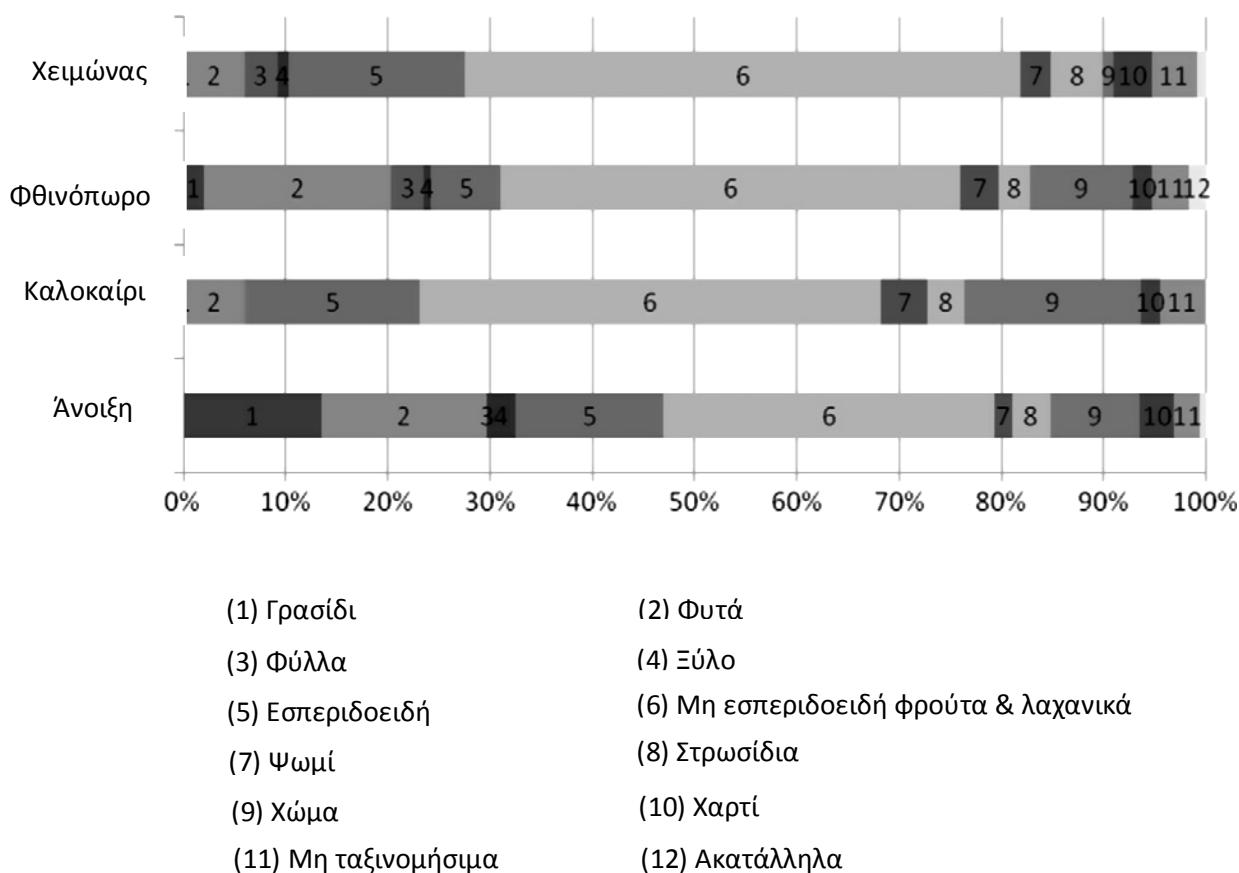
3.2 Σύσταση των βιοαποβλήτων

Στο πλαίσιο καταγραφής της υφιστάμενης κατάστασης σχετικά με την παραγωγή και σύνθεση των βιοαποβλήτων, βρέθηκε ότι το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα ΑΣΑ διαφέρει μεταξύ των αναπτυσσόμενων και ανεπτυγμένων χωρών, ακόμη και μεταξύ περιφερειών και πόλεων της ίδιας χώρας. Για παράδειγμα, τα ΑΣΑ στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν ένα πολύ μεγαλύτερο ποσοστό οργανικών αποβλήτων από ό, τι στις ανεπτυγμένες χώρες. Τα βιοαπόβλητα μπορεί να ανέλθουν μέχρι και στη μισή ποσότητα των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων που παράγονται (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η γνώση της σύστασης των βιοαποβλήτων παίζει σημαντικό ρόλο και θεωρείται προαπαιτούμενο στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου διαχείρισης αυτού του ευπαθούς κλάσματος των ΑΣΑ (Hanc et al., 2011).

Συνεπώς, δεδομένων των διαφορετικών τρόπων προσέγγισης και υπολογισμού των ΑΣΑ, αλλά και της διαφορετικής ποσοστιαίας σύστασης ανά περιοχή μελέτης, θεωρήθηκε αναγκαίο και ενδιαφέρον να γίνει μια ανασκόπηση του κλάσματος των βιοαποβλήτων σε παγκόσμιο επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη και δίνοντας στοιχεία για τη σύνθεση, την εποχιακή διακύμανση, τις μεθόδους διαχείρισης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν, τη σύνδεση με το εισόδημα του πληθυσμού κτλ. Ακολούθως, παρουσιάζονται σχετικές περιπτώσεις μελέτης που αφορούν σε περιοχές της Ευρώπης, της Αμερικής και της Ασίας.

3.3 Σύσταση των βιοαποβλήτων στις 4 εποχές

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη στο αστικό περιβάλλον της Πράγας, πρωτεύουσας της Τσεχίας, εκτιμήθηκε η σύσταση των βιοαποβλήτων ανάλογα με τις εποχές. Τα αποτελέσματα της έρευνας αφορούν απόβλητα που κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή τους, όπως φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα : 1) αυτά που προέρχονται από αστικό οικισμό και 2) αυτά που προέρχονται από οικογενειακές κατοικίες. Στην πρώτη περίπτωση, με τη φράση αστικός οικισμός εννοούνται πολυώροφα κτίρια, με πολλά διαμερίσματα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για μεμονωμένες οικογενειακές κατοικίες. (Hanc et al., 2011)

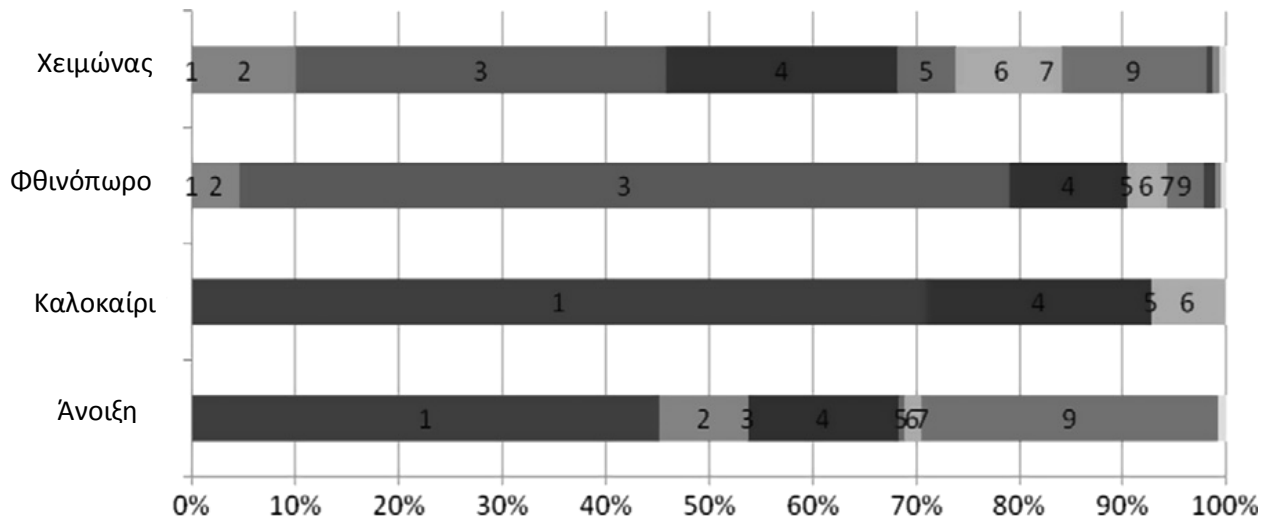


Διάγραμμα 4: Ποσοστά μεμονωμένων συστατικών στα βιοαπόβλητα ανάλογα με την εποχή, που έχουν συλλεχθεί από αστικό οικισμό (σε % νωπό βάρος). Οι τιμές που παρατίθενται σε κάθε εποχή βασίζονται σε 13 περιπτώσεις δειγματοληψίας

(Hanc et al., 2011)

Στην περίπτωση που τα απόβλητα έχουν παραχθεί από αστικό οικισμό, στη σύστασή τους άνα εποχή δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη διαφοροποίηση. Σημειώνεται ότι σε κάθε εποχή το μεγαλύτερο ποσοστό (58,2%) των βιοαποβλήτων καταλαμβάνουν τα φρούτα και τα λαχανικά.

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο



- | | |
|----------------------|---|
| (1) Γρασίδι | (2) Φυτά |
| (3) Φύλλα | (4) Ξύλο |
| (5) Εσπεριδοειδή | (6) Μη εσπεριδοειδή φρούτα και λαχανικά |
| (7) Ψωμί | (8) Στρωσίδια |
| (9) Χώμα | (10) Χαρτί |
| (11) Μη ταξινομήσιμα | (12) Ακατάλληλα |

Διάγραμμα 5: Ποσοστά μεμονωμένων συστατικών στα βιοαπόβλητα ανάλογα με την εποχή, που έχουν συλλεχθεί από οικογενειακές κατοικίες (σε % νωπό βάρος). Οι τιμές που παρατίθενται σε κάθε εποχή βασίζονται σε 6 περιπτώσεις δειγματοληψίας

(Hanc et al., 2011)

Αντίθετα, στα απόβλητα από μεμονωμένες οικογενειακές κατοικίες εντοπίζονται αλλαγές στη σύστασή τους, ανάλογα με την εποχή. Παρατηρείται ωστόσο ότι, καθόλη τη διάρκεια του έτους, τα συστατικά που κυριαρχούν έχουν προκύψει από τον φυσικό περίγυρο, δηλαδή τους κήπους των κατοικιών, ενώ το τρίτο πιο σημαντικό συστατικό τους είναι το ξύλο, σε ένα ποσοστό κατά μέσο όρο στις εποχές 17,5 %. (Hanc et al., 2011)

Αναλυτικότερα, το φθινόπωρο και τον χειμώνα τα φύλλα των δέντρων υπερисχύουν σε ποσότητα όλων των άλλων συστατικών. Ενώ, την άνοιξη και το καλοκαίρι το γρασίδι αποτελεί το καθοριστικό στοιχείο της σύστασης των βιοαποβλήτων, σε ποσοστά 45,2 % και 71% αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, κατά τη διάρκεια των περιόδων αυτών πραγματοποιείται το κούρεμα του γρασιδιού από τους ιδιοκτήτες των κατοικιών. Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι, υλικά που εμπεριέχουν μεγάλους όγκους γρασιδιού είναι πιθανό να προκαλέσουν προβλήματα οσμών σε εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. (Hanc et al., 2011)

Συνοψίζοντας, συμπεραίνεται ότι η σύσταση των βιοαποβλήτων από αστικό οικισμό είναι σχεδόν ομοιογενής για όλες τις εποχές και τα συστατικά που υπάρχουν σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι τα φρούτα και τα λαχανικά. Αντιθέτως, τα βιοαπόβλητα από ξεχωριστές οικογενειακές κατοικίες παρουσιάζουν μεταβολές στη σύσταση, ανάλογα με τις απαιτούμενες εποχιακές δραστηριότητες για την περιποίηση των κήπων. Με βάση λοιπόν τη σύστασή τους, τα πρώτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό σε διεργασία αναερόβιας χώνευσης και τα δεύτερα σε διεργασία κομποστοποίησης.

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

3.4 Περιγραφή οικιακών αποβλήτων στη Γροιλανδία - προσδιορισμός της ποσότητας των περιεχόμενων σε αυτά βιοαποβλήτων

Πίνακας 4: Κλάσματα υλικών οικιακών αποβλήτων στη Γροιλανδία σε ποσοστά (%) και σε kg ανά κάτοικο ανά έτος. Η μέση σύσταση των οικιακών αποβλήτων της Δανίας παρατίθεται για συγκριτικούς λόγους

Κλάσμα	Γροιλανδικά οικιακά απόβλητα		Δανέζικα οικιακά απόβλητα
	(%)	kg ανά κάτοικο ανά έτος	(%)
Χαρτί	8,4	11,2	22,9
Χαρτόνι	3,0	4,0	4,5
Μέταλλα : Μη αλουμινένια	1,5	2,0	1,7
Μέταλλα : Αλουμινένια	0,5	0,7	0,8
Γυαλί	7,1	9,4	8,8
Πλαστικό	2,4	3,2	1,7
Ξύλο	1,0	1,3	0,3
Βιοαπόβλητα	42,8	56,9	33,8
Καύσιμα υλικά	30,4	40,4	21,3
Μη καύσιμα υλικά	1,8	2,4	3,2
Επικίνδυνα απόβλητα : Μπαταρίες	0,1	0,1	0,1
Επικίνδυνα απόβλητα : Ηλεκτρικός & Ηλεκτρονικός εξοπλισμός	0,6	0,8	0,3
Επικίνδυνα απόβλητα : Άλλα	0,5	0,7	0,7
Σύνολο	100	133	100

(Eisted & Christensen, 2011; Riber et al., 2009)

Η διαχείριση των οικιακών αποβλήτων στη Γροιλανδία παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες, λόγω των μικρών ποσοτήτων που παράγονται, των μεγάλων αποστάσεων για τη μεταφορά τους και των ακραίων θερμοκρασιακών συνθηκών των αρκτικών περιοχών.

Αναφορικά με τη σύστασή τους, από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι, τα βιοαπόβλητα και τα καύσιμα υλικά κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο, σε ποσοστά 42,8 % και 30,4% αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα κλάσματα του γυαλιού και του χαρτιού, που καλύπτουν το 7,1 % και το 8,4 % των οικιακών αποβλήτων. Σύμφωνα με τις θεωρίες για τη διατροφική συμπεριφορά των Γροιλανδών, τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται αντιφατικά, αφού το χαρτί έπρεπε να εντοπίζεται σε υψηλότερες ποσότητες, λόγω της χρήσης συσκευασμένων τροφίμων, ενώ τα βιοαπόβλητα σε χαμηλότερες, λόγω της ανάγκης για συγκροτημένη κατανάλωση των διατιθέμενων πόρων. (Eisted & Christensen, 2011)

Συγκριτικά, στη Δανία τα βιοαπόβλητα και τα καύσιμα υλικά ξεχωρίζουν επίσης από τα υπόλοιπα συστατικά, αφού υφίστανται στις σημαντικότερες ποσότητες. Ωστόσο, το ίδιο συμβαίνει και με το χαρτί, που υπάρχει σε εξίσου υψηλό ποσοστό. Αντίθετα στη Γροιλανδία το περιεχόμενο σε χαρτί είναι χαμηλό και απέχει αρκετά από το περιεχόμενο σε βιοαπόβλητα και καύσιμα υλικά των οικιακών αποβλήτων.

Ειδικότερα για τα βιοαπόβλητα, παρατηρείται ότι και στις δύο χώρες συνιστούν το μεγαλύτερο τμήμα των οικιακών αποβλήτων. Στη Γροιλανδία, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν το 42,8 % των οικιακών αποβλήτων, παράγονται 56,9 kg ανά κάτοικο ανά έτος, ενώ στη Δανία αποτελούν το 33,8 %, ποσοστό που επίσης είναι το μεγαλύτερο συγκριτικά με τα υπόλοιπα.

3.5 Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στην Κίνα

Στην Κίνα, η πληθυσμιακή και οικονομική άνοδος συντέλεσαν στην αύξηση των στερεών αποβλήτων και κατ'επέκταση στην αύξηση του οργανικού τους κλάσματος, δηλαδή των βιοαποβλήτων.

Σχετικά με τις ποσότητες των βιοαποβλήτων που παράγονται στην Κίνα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το οργανικό κλάσμα και το περιεχόμενο των στερεών αποβλήτων σε υγρασία είναι ιδιαίτερα υψηλό (Yuan et al., 2006). Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί ως αποτέλεσμα της διατροφικής της παράδοσης, που περιλαμβάνει φρέσκα φρούτα και λαχανικά και δεν προωθεί την κατανάλωση συσκευασμένων ή επεξεργασμένων τροφίμων.

Συνεπώς, οι ποσότητες των βιοαποβλήτων σε διάφορες πόλεις της κυμαίνονται μεταξύ 44-72 % των ποσοτήτων των αστικών στερεών αποβλήτων, δηλαδή αποτελούν κατά μέσο όρο το 60 % αυτών (Hong et al., 2006; Zhao et al., 2009b; Jiang et al., 2009; Ko & Poon, 2009; Pariatamby & Tanaka, 2014).

Πίνακας 5: Σύγκριση του οργανικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων μεταξύ της Κίνας και άλλων χωρών

Χώρες	Οργανικό κλάσμα (%)
Κίνα (2003)	52,6
Σιγκαπούρη (2008)	9,5
ΗΠΑ (2005)	25,0
Ιαπωνία (2000)	34,0
Κορέα (2005)	28,0
Καναδάς (2005)	24,0
Γαλλία (2005)	32,0
Ολλανδία (2005)	35,0
Γερμανία (2005)	14,0
Ελβετία (2005)	29,0
Αυστραλία (2005)	47,0
Μεξικό (2005)	51,0
Σλοβακία (2005)	38,0
Πορτογαλία (2005)	34,0
Ουγγαρία (2005)	29,0
Ευρώπη (μέσος όρος)	30,0
Χαμηλού εισοδήματος χώρες	40-85
Μεσαίου εισοδήματος χώρες	20-65
Υψηλού εισοδήματος χώρες	6-30

(Visvanathan et al., 2004; National Environment Agency (NEA), Singapore, 2008; OECD, 2005; Tchobanoglous et al., 1993)

Η Κίνα χαρακτηρίζεται από το υψηλότερο ποσοστό οργανικού κλάσματος σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες, που εξετάζονται στον παραπάνω πίνακα. Επιπλέον, σε σύγκριση με την Ευρώπη, το σύνολο των αστικών στερεών αποβλήτων της συνίσταται από 78 % γρήγορα βιοαποδομήσιμα (διατροφικά απόβλητα), 10 % αργά βιοαποδομήσιμα (ξύλο, χαρτί, απόβλητα κήπων) και 12 % μη βιοαποδομήσιμα απόβλητα, ενώ στην Ευρώπη τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 12 %, 47 % και 41 % (Raninger, 2009).

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

3.6 Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Πίνακας 6: Ποσότητες των βιοαποβλήτων σε χιλιάδες τόνους, από το 1960 ως το 2012

Βιοαπόβλητα	Χιλιάδες τόνοι									
	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2008	2010	2011	2012
Διατροφικά απόβλητα	12.200	12.800	13.000	23.860	30.700	32.930	34.300	35.740	36.310	36.430
Κλαδέματα κήπων	20.000	23.200	27.500	35.000	30.530	32.070	32.900	33.400	33.710	33.960
Ολικά ΑΣΑ	88.120	121.060	151.640	208.270	243.450	253.730	252.480	250.420	250.380	250.890

(USEPA, 2014)

Πίνακας 7: Ποσοτήτες των βιοαποβλήτων σε ποσοστά % του συνόλου των αστικών στερεών αποβλήτων, από το 1960 ως το 2012

Βιοαπόβλητα	Ποσοστό (%) στο σύνολο των ΑΣΑ									
	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2008	2010	2011	2012
Διατροφικά απόβλητα	13,8 %	10,6 %	8,6 %	11,5 %	12,6 %	13,0 %	13,6 %	14,3 %	14,5 %	14,5%
Κλαδέματα κήπων	22,7 %	19,2 %	18,1 %	16,8 %	12,5 %	12,6 %	13,0 %	13,3 %	13,5 %	13,5 %
Ολικά ΑΣΑ	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

(USEPA, 2014)

Όπως αποτυπώνεται στον πίνακα, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η παραγωγή των αστικών στερεών αποβλήτων είχε ανοδική πορεία με το πέρασμα των χρόνων, αφού η συνολική τους ποσότητα που καταγράφηκε για το έτος 1960 έφτασε σχεδόν στο τριπλάσιο αυτής το έτος 2005, ενώ στο διάστημα 2005-2012 δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις.

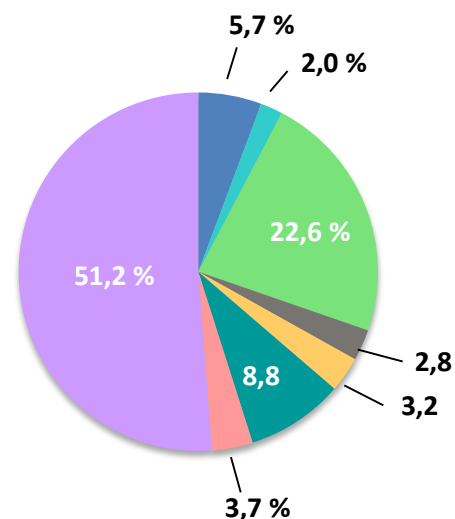
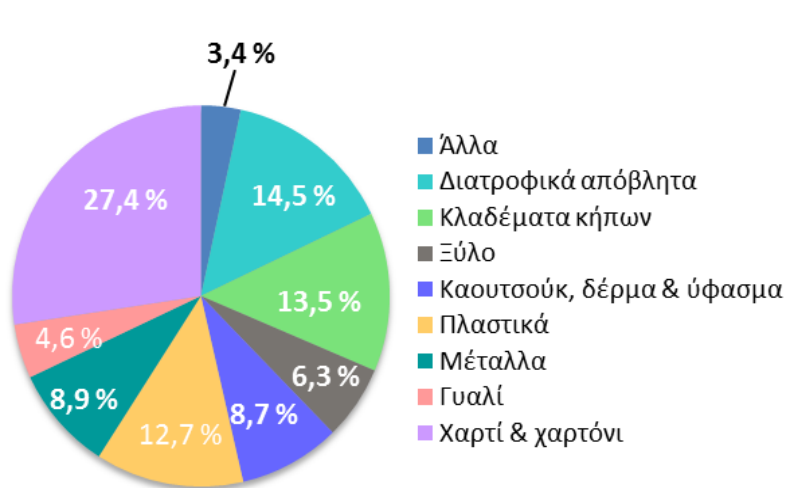
Παρόμοια αυξητική πορεία ακολούθησαν και οι ποσότητες των βιοαποβλήτων. Το έτος 2012 συνιστούσαν το 28 % των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων και η ποσότητά τους ανερχόταν σε λίγο πιο πάνω από 70 εκατομμύρια τόνους. Στον πίνακα είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς τη μεταβολή που παρουσίασε η σύσταση των βιοαποβλήτων στο πέρασμα των χρόνων. Στο διάστημα από το 1960 έως το 2000, τα κλαδέματα κήπων υπερέχουν σε ποσότητα των διατροφικών αποβλήτων, ενώ από το έτος 2000 και μετά τα διατροφικά απόβλητα συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος σε σχέση με τα κλαδέματα κήπων.

3.6.1 Παραγωγή, ανάκτηση και απόρριψη αστικών στερεών αποβλήτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κατά το έτος 2012

Η συνολική παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων για το 2012, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ήταν 251 εκατομμύρια τόνοι. Η σύστασή τους αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος από οργανικά απόβλητα, όπως χαρτί και χαρτόνι (27,4 %), διατροφικά απόβλητα (14,5 %) και κλαδέματα κήπων (13,5 %). Μεγάλο επίσης τμήμα τους, ποσοστό 12,7 %, καλύπτουν τα πλαστικά. Οι ποσότητες σε μέταλλα αφενός και σε καουτσούκ, δέρμα και ύφασμα αφετέρου, προσεγγίζουν ποσοστό 9 % των αστικών στερεών αποβλήτων. Το ξύλο, το γυαλί και τα απόβλητα ποικίλης σύστασης υπάρχουν σε ποσοστά 6,3 %, 4,6 % και 3,4 % αντίστοιχα (Διάγραμμα 6).

Σχετικά με τη συνολική ανάκτηση που επετεύχθη μέσω της ανακύκλωσης και της κομποστοποίησης, αυτή ανέρχεται σε 87 εκατομμύρια τόνους. Το χαρτί & χαρτόνι αποτελεί το 51,2 % της παραπάνω ποσότητας. Το επόμενο σημαντικότερο ποσοστό (22,6 %) αντιστοιχεί στα κλαδέματα κήπων, ενώ ακολουθούν τα μέταλλα με ποσοστό 8,8 % και τα απόβλητα ποικίλου σύστασης με ποσοστό 5,7 %. Το υπόλοιπο σχεδόν 12 % κατανέμεται στα εξής συστατικά: ξύλο, γυαλί, πλαστικά και διατροφικά απόβλητα, τα ποσοστά των οποίων ανέρχονται σε από 2-3,7 % (Διάγραμμα 7).

Από την άλλη, 164 εκατομμύρια τόνοι αστικών στερεών αποβλήτων που δεν κατέστη δυνατό να ανακτηθούν, απορρίφθηκαν. Το 21,1 % της προαναφερθείσας ποσότητας αποτελείτο από διατροφικά απόβλητα, το 17,6 % από πλαστικά και το 14,8 % από χαρτί & χαρτόνι. Καουτσούκ, δέρμα & ύφασμα ήταν σε ποσοστό 11,2 %, ενώ τα υπόλοιπα συστατικά (ξύλο, γυαλί, κλαδέματα κήπων και απόβλητα ποικίλης σύστασης) κυμαίνονταν σε ποσοστά μικρότερα του 10 % (Διάγραμμα 8).



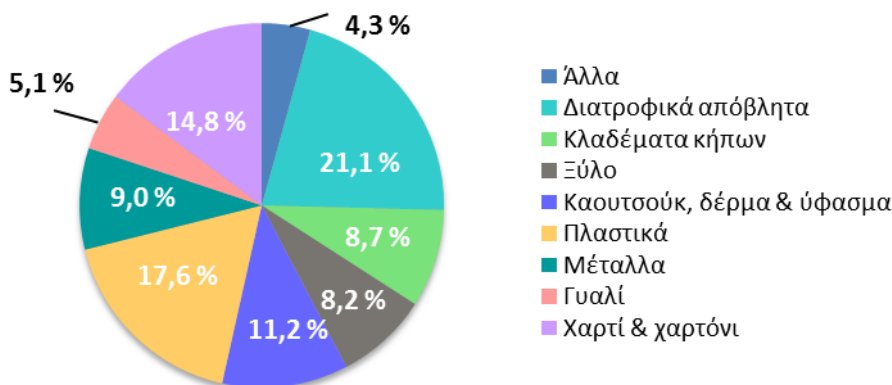
Διάγραμμα 6: Παραγωγή ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012

251 εκατομμύρια τόνοι (πριν την ανακύκλωση)

87 εκατομμύρια τόνοι

Διάγραμμα 7: Ανάκτηση ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο



Διάγραμμα 8: Απόρριψη ΑΣΑ (κατά υλικό) το 2012

164 εκατομμύρια τόνοι (μετά από ανακύκλωση και κομποστοποίηση)

(USEPA, 2014)

Πίνακας 8: Παραγωγή, ανάκτηση και απόρριψη των συστατικών των βιοαποβλήτων, το 2012 (σε εκατομμύρια τόνους, η ανάκτηση εμφανίζεται και ως ποσοστό της συνολικής παραγωγής του κάθε συστατικού)

Βιοαπόβλητα	Παραγόμενο βάρος	Ανακτώμενο βάρος	Ανάκτηση ως ποσοστό της παραγωγής	Βάρος που απορρίπτεται
Διατροφικά απόβλητα	36,43	1,74	4,8 %	34,69
Κλαδέματα κήπων	33,96	19,59	57,7 %	14,37
Σύνολο ΑΣΑ	250,89	86,62	34,5 %	164,27

(USEPA, 2014)

Η ωφέλεια για το περιβάλλον από την ανάκτηση των αποβλήτων, είναι εμφανής, αφού μέσω της ανακύκλωσης χαρτιού, χαρτονιού και μετάλλων και της κομποστοποίησης των κλαδεμάτων κήπων, επιτυγχάνεται η αποφυγή διάθεσης του 28 % των συνολικά παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε εγκαταστάσεις καύσης. Επιπρόσθετα αναφέρεται ότι, η ανάκτηση 87 εκατομμυρίων τόνων αστικών στερεών αποβλήτων (Πίνακας 8) έχει ως αποτέλεσμα την ετήσια μείωση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα κατά τουλάχιστον 168 εκατομμύρια μετρικούς τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. (USEPA, 2014)

3.7 Προσδιορισμός της ποσότητας των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα

Η μελέτη που διενήργησε για τα βιοαπόβλητα, το υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής, οδήγησε στην καταγραφή της παραγωγής και της σύστασης των αστικών στερεών αποβλήτων ανά περιφέρεια και συνολικά στη χώρα. Τα αποτελέσματα της μελέτης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

Πίνακας 9: Εκτίμηση σύστασης (%) των ΑΣΑ της χώρας, βάσει ΠΕΣΔΑ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Εκτιμώμενη Παραγωγή ΑΣΑ από ΠΕΣΔΑ (2011) tn/year	Οργανικό Κλάσμα	Χαρτί - Χαρτόνι	Πλαστικά	Μέταλλα	Γυαλί	Λοιπά
Αν. Μακεδονία & Θράκη	321.639	45,8	15,3	16,5	3,4	4,3	14,7
Κεντρική Μακεδονία	973.306	38,6	21,6	14,9	3,9	3,4	17,6
Δυτική Μακεδονία	127.138	46,2	19,4	14,4	2,3	1,9	15,8
Ήπειρος	137.492	44,9	18,9	11,3	5,2	3,8	15,9
Θεσσαλία	380.121	53,9	17,1	16,3	3,8	6,7	2,2
Ιόνια Νησιά	144.415	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5
Δυτική Ελλάδα	347.002	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5
Στερεά Ελλάδα	295.938	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5
Αττική	2.060.018	43,6	28,1	13,0	3,3	3,4	8,6
Πελοπόννησος	296.655	41,0	29,0	14,0	3,5	3,5	9,0
Βόρειο Αιγαίο	101.414	48,3	21,6	9,4	3,2	5,8	11,7
Νότιο Αιγαίο	264.490	30,0	28,0	21,0	3,0	7,0	11,0
Κρήτη	384.696	39,2	20,0	16,9	5,0	5,3	13,6
ΣΤΑΘ. ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΣΑ ΧΩΡΑΣ	5.834.324	43,1	23,5	13,7	3,8	4,1	11,8

(ΕΠΠΕΡΑΑ, 2013)

Η συνολική παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα το 2011, έφτασε τους 5.834.324 τόνους, εκ των οποίων το 35,3 % αποδίδεται στην περιφέρεια Αττικής. Αυτό είναι εύλογο, αν σκεφτεί κανείς, την πυκνότητα του πληθυσμού των αστικών κέντρων. Ως προς τη σύστασή τους, διαπιστώνεται ότι το οργανικό κλάσμα, συνιστούν το 43,1 % της συνολικής παραγωγής και ανέρχονται σε 2.514.593 τόνους. Το χαρτί – χαρτόνι και τα πλαστικά υπερिशύουν ποσοτικά, με ποσοστά 23,5 % και 13,7 % αντίστοιχα, ενώ τα μέταλλα, το γυαλί και τα υπόλοιπα συστατικά περιέχονται σε ποσοστά 3,8 %, 4,1 % και 11,8 % αντίστοιχα.

3.7.1 Υγειονομική ταφή βιοαποικοδομήσιμων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει στόχους μείωσης του ποσοστού των βιοαποικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων, που μεταφέρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, εκδίδοντας σχετικές οδηγίες. Η τήρηση των οδηγιών αυτών επιβάλλεται σε όλα τα κράτη μέλη της και η εφαρμογή τους πρέπει να γίνει εντός συγκεκριμένου χρονικού ορίζοντα.

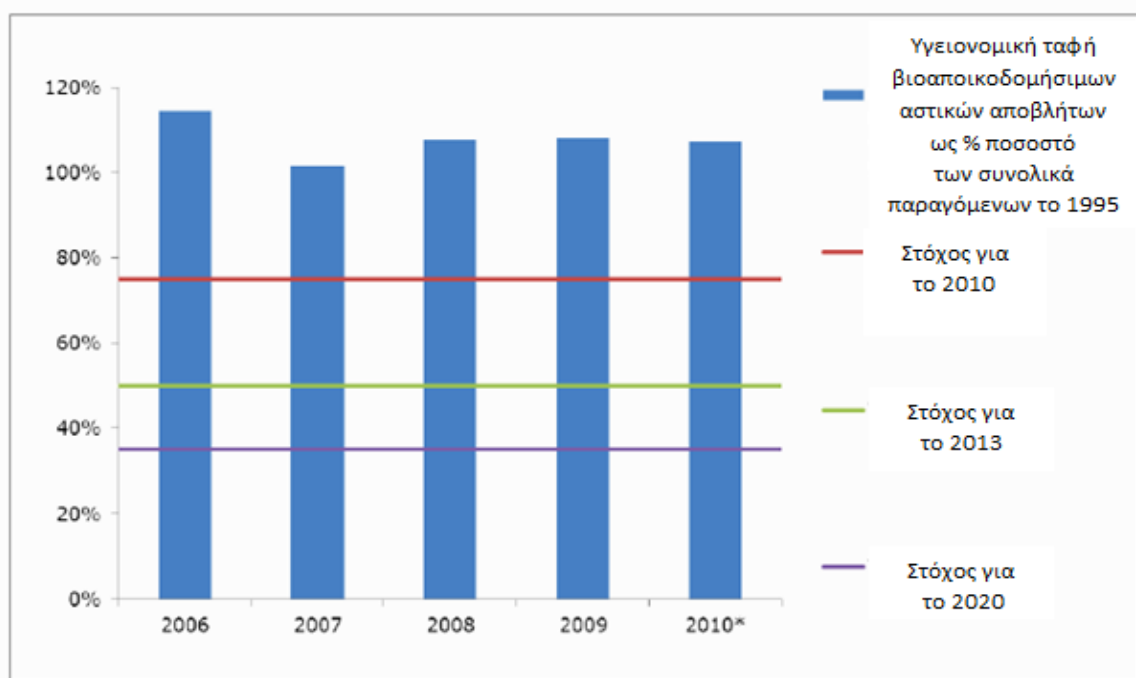
Στην Ελλάδα, περισσότερο από το 80 % των παραχθέντων το 1995 αστικών στερεών αποβλήτων κατέληξε σε χώρους υγειονομικής ταφής. Προκειμένου να μπορέσει να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις για μείωση των παραπάνω αποβλήτων, της παρεσχέθη περίοδος χάριτος τεσσάρων χρόνων (ΕΕΑ, 2013).

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

Ειδικότερα αναφέρεται ότι, τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα που παράχθηκαν στην Ελλάδα το 1995 ήταν 2.100.000 τόνοι (ΕΕΑ, 2013). Η ποσότητα αυτή παραγωγής θεωρήθηκε ότι ισχύει και για τα έτη 2006-2010. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα που

υπέστησαν υγειονομική ταφή ως ποσοστό % των συνολικά παραχθέντων το 1995, καθώς και οι στόχοι μείωσης τους για τα έτη 2010, 2013 και 2020. Οι πληροφορίες για τα έτη 2007-2009 βασίζονται σε αναφορές της Ελλάδας προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σχετικά με την υγειονομική ταφή των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων της (EC, 2012), ενώ για το 2010 παρατίθεται μια εκτίμηση από το Copenhagen Resource Institute (CRI).

Σύμφωνα, λοιπόν, με το διάγραμμα, παρατηρείται μείωση του ποσοστού των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων που μεταφέρθηκαν σε χώρους υγειονομικής ταφής κατά το έτος 2007, ενώ το 2008 το ποσοστό αυτό αυξάνεται και σταθεροποιείται σχεδόν στην ίδια τιμή για τα επόμενα δύο χρόνια. Ο στόχος που είχε τεθεί για το 2010 δεν επετεύχθη, αφού σημειώθηκε υπέρβασή του κατά ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό.



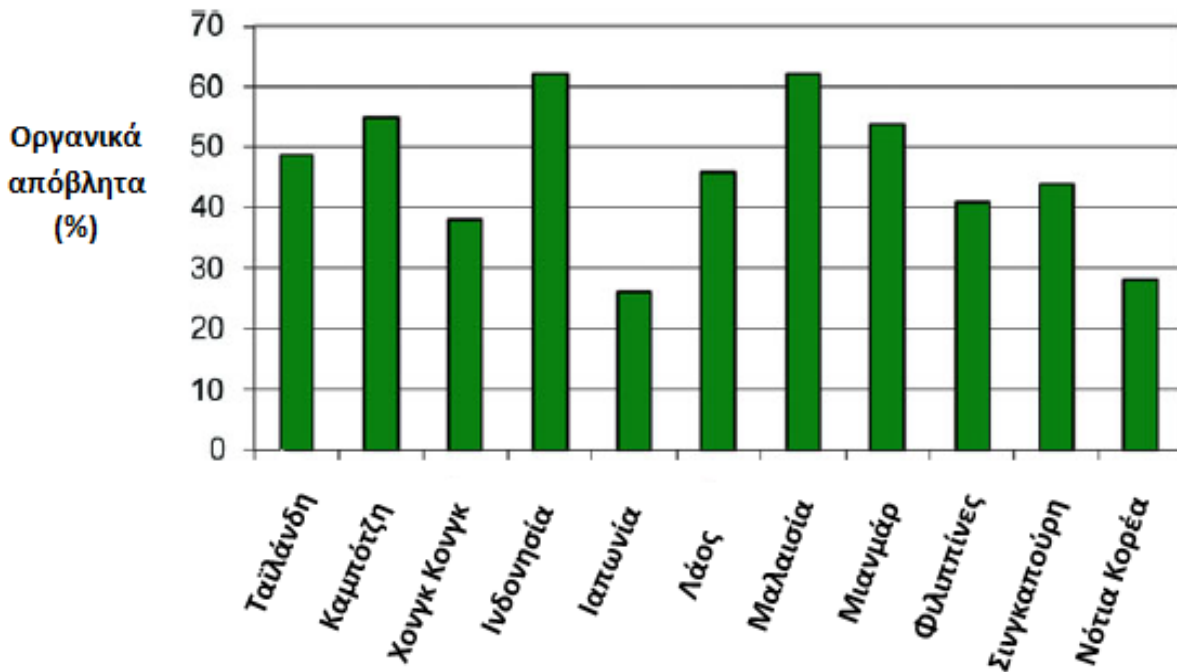
Διάγραμμα 9: Υγειονομική ταφή βιοαποικοδομήσιμων αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα

(EC, 2012; εκτιμήσεις CRI)

3.8 Προσδιορισμός της ποσότητας των οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα οργανικά απόβλητα συμμετέχουν στην σύσταση των αστικών στερεών αποβλήτων κατά μέσο όρο σε ποσοστά 50-70 % (Pariatamby & Tanaka, 2014). Ειδικότερα, σε επιλεγμένες ασιατικές χώρες τα οργανικά απόβλητα καταλαμβάνουν τις παρακάτω τιμές:

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο



Διάγραμμα 10: Παραγωγή οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας

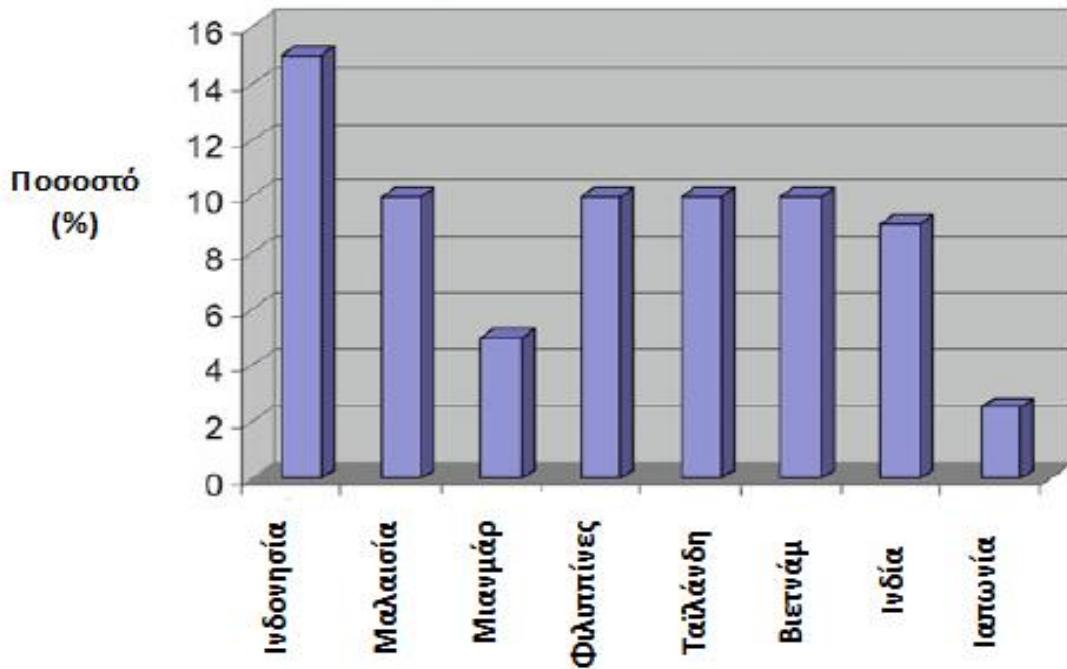
(The World Bank, 2012; Enayetullah, 2006; Agamuthu et al., 2004; AIT, 2004)

Αναφερόμενοι πιο συγκεκριμένα στην Ινδία, το κομποστοποίησιμο κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων της κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών 30,84 % - 56,57 % και αποτελεί κατά μέσο όρο το 43,7 % των συνολικών αποβλήτων (Singh et al., 2011). Σημειώνεται επίσης ότι, στις πόλεις της Ινδίας, η παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων αυξάνεται σταδιακά, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού και του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος (Gurta et al., 1998). Ωστόσο, στον τομέα διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων, η Ινδία δεν μπορεί, σε καμία περίπτωση, να χαρακτηριστεί ως εκσυγχρονισμένη, καθώς το μεγαλύτερο τμήμα των στερεών αποβλήτων της απορρίπτεται στη γη με μη συστηματικό τρόπο, κυρίως σε ανοιχτούς χώρους απόρριψης αποβλήτων και σε μη ελεγχόμενους χώρους υγειονομικής ταφής (Das et al., 1998).

3.8.1 Κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται τα ποσοστά κομποστοποίησης των οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας. Ως πρόσθετη πληροφορία παρατίθεται ότι, ενώ σε πολλές χώρες τα οργανικά απόβλητα μετατρέπονται σε κόμποστ μέσω της κομποστοποίησης ή σε πηγή ενέργειας μέσω της αναερόβιας χώνευσης, στην Ινδία τα οργανικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας μέσω της βιοαεριοποίησης και τα διατροφικά απόβλητα για την παραγωγή κόμποστ (Pariatamby & Tanaka, 2014).

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο



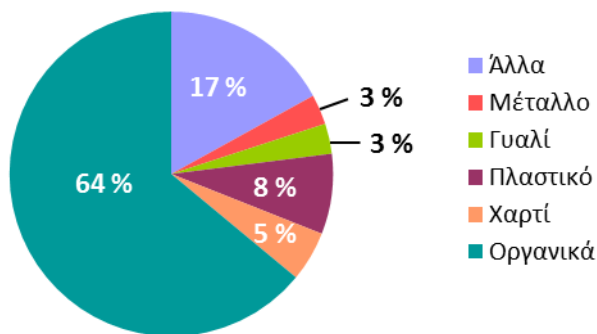
Διάγραμμα 11: Κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων σε επιλεγμένες χώρες της Ασίας

(Kaigisho 2006)

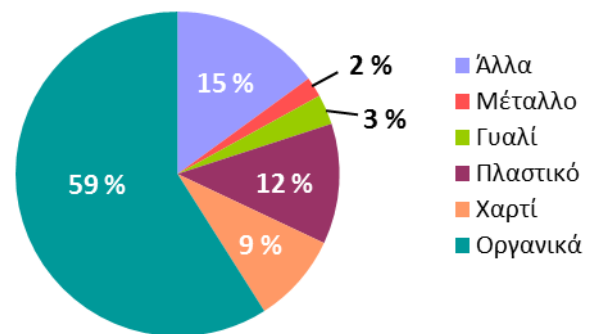
Έχει διαπιστωθεί, ότι σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως είναι πολλές χώρες της Ασίας και της περιοχής του Ειρηνικού, κύριο κίνητρο για τη διεξαγωγή της ανακύκλωσης είναι η, μέσω αυτής, οικονομική ενδυνάμωση ασθενέστερων οικονομικά κοινωνιών. Όταν το κίνητρο αυτό εκλείπει, γιατί αρχίζει να επιτυγχάνεται οικονομική ευμάρεια, δεν υπάρχει πλέον ιδιαίτερος λόγος για την πραγματοποίησή της (Agamuthu & Fauziah, 2011a, b). Συνεπώς, μελλοντικά η ανακύκλωση δεν θα συντελείται στον ίδιο βαθμό όπως παλιότερα, αλλά θα παρουσιάσει πτωτική πορεία. Κατ'επέκταση θα μειωθεί και η κομποστοποίηση των οργανικών αποβλήτων, εφόσον αυτή συνιστά μέθοδο ανακύκλωσής τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε κατά την οικονομική ανάπτυξη της Μαλαισίας και της Ταϊλάνδης. Το ίδιο αναμένεται να συμβεί στην Ινδία, το Μπανγκλαντές και το Πακιστάν, όταν το βιοτικό επίπεδο αρχίσει να βελτιώνεται.

3.9 Σύσταση των αποβλήτων συναρτήσει του εισοδήματος των χωρών

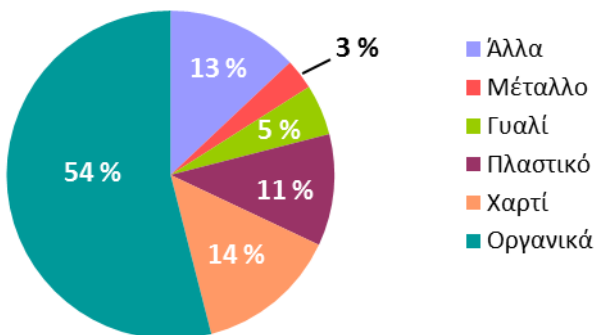
Τα οργανικά απόβλητα συνιστούν το 64 % των συνολικών αποβλήτων στις χώρες χαμηλού εισοδήματος. Το ποσοστό αυτό συναρτάται με το οικονομικό επίπεδο διαβίωσης των χωρών. Όσο οι συνθήκες διαβίωσης βελτιώνονται, το ποσοστό αυτό μειώνεται καταλήγοντας στις χώρες υψηλού εισοδήματος να υπολογίζεται σε 28 %. Η μείωση των οργανικών αποβλήτων όσο οδεύουμε προς χώρες με υψηλότερο εισόδημα και παράλληλα η αύξηση του ποσοστού του χαρτιού αποτελούν τις πιο αξιοσημείωτες διαφορές στη σύσταση των αποβλήτων μεταξύ χωρών με εισοδηματική διαφορά.



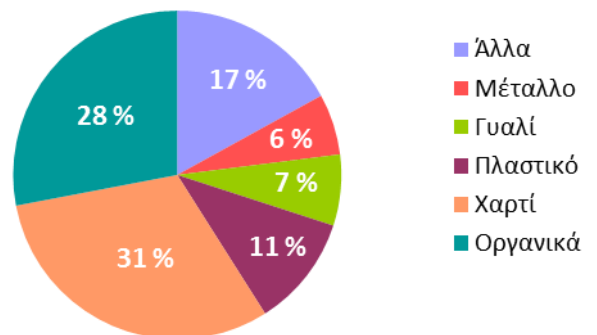
Σύσταση αποβλήτων σε χώρες χαμηλού εισοδήματος



Σύσταση αποβλήτων σε χώρες με χαμηλότερο μεσαίο εισόδημα



Σύσταση αποβλήτων σε χώρες με υψηλότερο μεσαίο εισόδημα



Σύσταση αποβλήτων σε χώρες υψηλού εισοδήματος

Διάγραμμα 12: Σύσταση των αποβλήτων συναρτήσει του εισοδήματος των χωρών

(Hoorweg & Bhada – Tata, 2012)

3.10 Ανακύκλωση των βιοαποβλήτων σε 32 ευρωπαϊκές χώρες

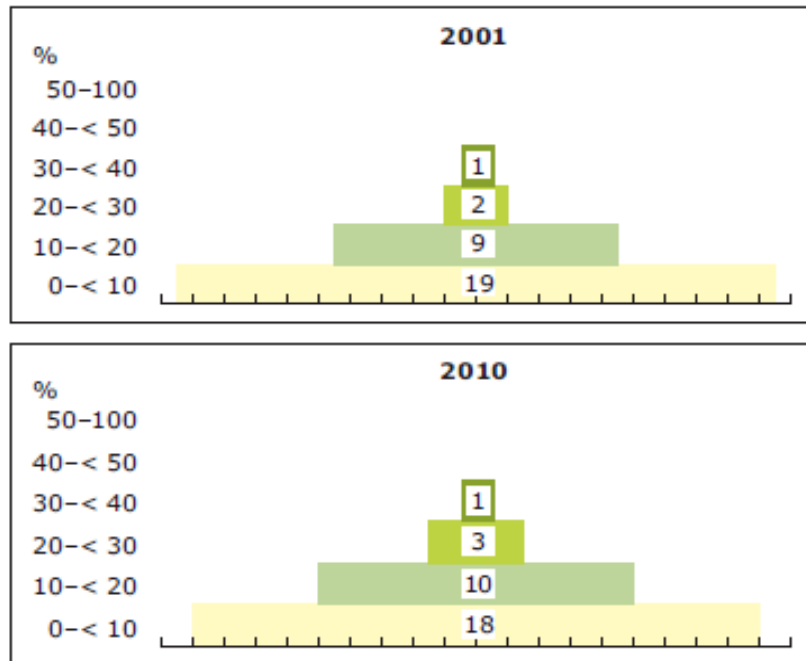
Το διάγραμμα 13 απεικονίζει την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων ως ποσοστό της παραγωγής των αστικών αποβλήτων σε 32 ευρωπαϊκές χώρες, για τα έτη 2001 και 2010. Επισημαίνεται ότι το ποσοστό ανακύκλωσης των βιολογικών αποβλήτων υπολογίζεται ως το ποσοστό των ανακυκλωμένων βιολογικών αποβλήτων από τα αστικά απόβλητα που παράγονται. Σύμφωνα με τη Eurostat, η συγκρισιμότητα των στοιχείων με την πάροδο του χρόνου είναι υψηλή. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη ορισμένων χρονοσειρών δεδομένων, η οποία μπορεί να επηρεάσει τη συγκρισιμότητα τόσο μεταξύ των χωρών όσο και την αξιολόγηση δεδομένων που προέρχονται από την ίδια χώρα.



Διάγραμμα 13: Ανακύκλωση των βιοαποβλήτων ως ποσοστό της παραγωγής των αστικών αποβλήτων σε 32 ευρωπαϊκές χώρες, για τα έτη 2001 και 2010.

(Eurostat, 2012a, 2012c; ETC/SCP, 2013a, 2013b, 2013d, 2013e, 2013f)

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο



Διάγραμμα 14: Πρόοδος των ευρωπαϊκών χωρών όσον αφορά την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων, 2001-2010

(Eurostat, 2012a, 2012c; ETC/SCP, 2013a, 2013b, 2013d, 2013e, 2013f)

Σημείωση: Ο αριθμός των χωρών που αντιστοιχεί σε κάθε εύρος ποσοστών ανακύκλωσης υποδεικνύεται σε κάθε λευκό κουτί.

Γενικά, η χρονική εξέλιξη της ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων ⁽¹⁾ στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες δεν χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ταχείς αυξητικούς ρυθμούς. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, μέσω των οποίων συμπεραίνεται ότι μόνο μία χώρα, το Ηνωμένο Βασίλειο, κατάφερε να αυξήσει την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων του κατά τουλάχιστον 10 % από το 2001 έως το 2010. Για το ίδιο χρονικό διάστημα τα ποσοστά αύξησης της ανακύκλωσης σε έξι χώρες κυμαίνονταν από 5-10 %, ενώ σε δεκαοκτώ χώρες δεν παρατηρήθηκε αξιόλογη αύξηση, καθώς αυτή συντελείτο μόνο στο 0-10 % των συνολικά παραγόμενων αστικών αποβλήτων (Διάγραμμα 14) (ΕΕΑ, 2013). Για την κατανόηση των αποτελεσμάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει προωθήσει την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων με την έκδοση οδηγιών, που να υποχρεώνουν όλα τα κράτη μέλη σε συγκεκριμένη αύξησή της. Ωστόσο, αυτό έχει συμβεί αναφορικά με τον περιορισμό της υγειονομικής ταφής των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων (ΕΕΑ, 2013).

¹ Τα βιοαπόβλητα ορίζονται στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα ως «τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορίματα τροφών και μαγειρείων από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων (ΕΥ, 2008). Η ανακύκλωση των βιοαποβλήτων περιλαμβάνει τις ποσότητες που έχουν υποστεί κομποστοποίηση ή χώνευση, σύμφωνα με αναφορές της Eurostat: η ΕΕ κατατάσσει τη βιολογική διαχείριση των αποβλήτων (κομποστοποίηση, αναερόβια χώνευση) στις μεθόδους ανακύκλωσής τους όταν το κόμποστ (ή το προϊόν της χώνευσης) χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό ή για την παραγωγή καλλιεργητικών μέσων (ΕΥ, 2011).

3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο

Η απουσία κοινών ευρωπαϊκών προτύπων ποιότητας ή «end-of-waste» κριτηρίων ⁽²⁾ δεν διευκολύνει την επιλογή του ορθότερου τρόπου χρήσης του κόμποστ και του προϊόντος της χώνευσης, που αποτελούν τα κύρια προϊόντα της ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων. Οι πιο συνήθεις τρόποι αξιοποίησής τους είναι ως ενδιάμεσα ή τελικά χώματα επικάλυψης στους χώρους υγειονομικής ταφής, ενώ το κόμποστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό στους κήπους ή στη γεωργία. Με σκοπό την επίλυση του παραπάνω ζητήματος, το έτος 2014, έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή επιτροπή ως καταληκτική προθεσμία για τη δημιουργία κοινών ευρωπαϊκών προτύπων ποιότητας και «end-of-waste» κριτηρίων. (ΕΕΑ, 2013)

Η δυνατότητα ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων είναι ανάλογη των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων, που εμπεριέχονται στα συνολικά αστικά απόβλητα. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερες είναι οι ποσότητες των βιοαποβλήτων που παράγονται σε μία χώρα, τόσο πιο εφικτή είναι η αύξηση της ανακύκλωσής τους. Στον παρακάτω πίνακα διαπιστώνεται ότι χώρες, όπως η Λιθουανία, η Νορβηγία και η Σλοβενία έχουν μικρότερο δυναμικό πραγματοποίησης και βελτίωσης της ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων σε σχέση με χώρες, στις οποίες το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα συνολικά αστικά απόβλητα είναι υψηλότερο, όπως η Μάλτα. (ΕΕΑ, 2013)

Πίνακας 10: Ποσοστό (%) των βιοαποβλήτων στα αστικά απόβλητα σε 28 ευρωπαϊκές χώρες για τα έτη 2008 – 2010

Ποσοστό (%) των βιοαποβλήτων στα συνολικά αστικά απόβλητα	Χώρες
Λιγότερο από 20 %	Λιθουανία, Νορβηγία και Σλοβενία
Μεταξύ 20 και 30 %	Βουλγαρία, Δανία, Ιρλανδία, Ουγγαρία, Λεττονία και Ελβετία
Μεταξύ 30 και 40 %	Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ευρωπαϊκός μέσος όρος
Μεταξύ 40 και 50 %	Αυστρία, Βέλγιο, Τσεχία, Εσθονία, Φινλανδία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία, Πολωνία, Ρουμανία και Ισπανία
Μεταξύ 50 και 60 %	Ελλάδα, Πορτογαλία, Σλοβακία
Μεταξύ 60 και 80 %	Μάλτα

(ETC/SCP, 2011; ETC/SCP, 2012)

Στην Ευρώπη (ΕΕ-27, εξαιρώντας την Κύπρο, αλλά συνυπολογίζοντας τη Νορβηγία και την Ελβετία) τα βιοαπόβλητα συνιστούν το 37 % των αστικών αποβλήτων. Το ποσοστό αυτό αποτελεί έναν μέσο όρο και δεν μπορεί να θεωρηθεί ακριβές για κάθε χώρα ξεχωριστά. Εξάλλου, ο καθορισμός των αστικών αποβλήτων δεν είναι ο ίδιος από χώρα σε χώρα. (ΕΕΑ, 2013)

Τελικά, συμπεραίνεται ότι ακόμα και σε χώρες όπου το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα συνολικά αστικά απόβλητα είναι υψηλό, η ανακύκλωσή τους παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Κατά συνέπεια γίνεται σαφές ότι πρέπει να δοθεί έμφαση στην προσπάθεια βελτίωσης της ανακύκλωσης των βιοαποβλήτων στην Ευρώπη, αφού, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, η ισχύουσα κατάσταση απέχει αρκετά από την εκπλήρωση των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

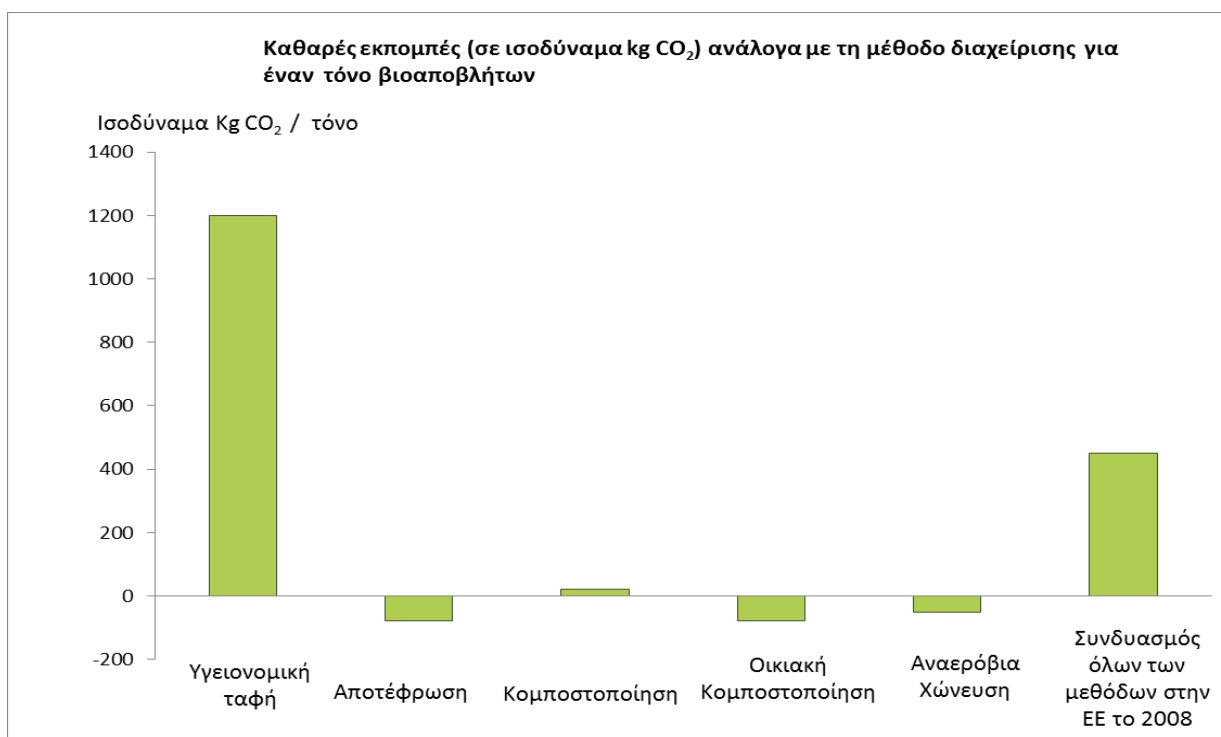
Ο παραπάνω πίνακας 10 συνοψίζει τα ποσοστά (%) των βιοαποβλήτων στα αστικά απόβλητα σε 28 ευρωπαϊκές χώρες για τα έτη 2008 – 2010.

² Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Απόβλητα, τα «end-of-waste» κριτήρια καθορίζουν πότε ένα συγκεκριμένο απόβλητο παύει πλέον να θεωρείται απόβλητο και αποκτάει την ιδιότητα του προϊόντος (ή της δευτερεύουσας πρώτης ύλης).

3.11 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα βιοαπόβλητα ανάλογα με τη μέθοδο διαχείρισής τους

Η περιβαλλοντικά ορθότερη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων αποτελεί κρίσιμο ζήτημα στις ευρωπαϊκές χώρες, εφόσον αυτά συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων. Η κατάλληλη διαχείρισή τους είναι σημαντική, διότι μπορεί να οδηγήσει σε αισθητή μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Ο στόχος αυτός είναι δυνατό να επιτευχθεί, αν ακολουθηθεί η κατεύθυνση προς την ανακύκλωσή τους. Παραδείγματα τέτοιων μεθόδων είναι η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση.

Η επιλογή της αναερόβιας χώνευσης έχει ευεργετικά αποτελέσματα για το περιβάλλον δεδομένου ότι, μέσω αυτής παράγονται αξιοποιήσιμα προϊόντα, που δεν το επιβαρύνουν. Αυτά είναι το βιοαέριο, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και ένα υπολειπόμενο υλικό, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως και το κόμποστ. Το κόμποστ, δηλαδή το προϊόν της κομποστοποίησης, χρησιμοποιείται στη γεωργία και στη φυτοκομεία ως λίπασμα ή εδαφοβελτιωτικό. (ΕΕΑ, 2011)



Διάγραμμα 15: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ανάλογα με τη μέθοδο διαχείρισης για έναν τόνο βιοαποβλήτων (ETC/SCP, 2011)

Στο Διάγραμμα 15 φαίνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (σε ισοδύναμα kg CO₂ / τόνο) για ένα τόνο βιοαποβλήτων, ανάλογα με τη μέθοδο διαχείρισής τους. Ειδικότερα σημειώνεται ότι, στην τελευταία στήλη το αποτέλεσμα προκύπτει από συνδυασμό όλων των μεθόδων διαχείρισης (23 % κομποστοποίηση, 17 % ανακύκλωση, 20 % αποτέφρωση και 40 % υγειονομική ταφή). Δυστυχώς, σε πολλές ακόμα χώρες της Ευρώπης, η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η υγειονομική ταφή, με αποτέλεσμα να εκπέμπονται μεγάλες ποσότητες μεθανίου. Συνεπώς, και με βάση το διάγραμμα, γίνεται σαφές ότι η επιλογή αυτή πρέπει να αποφευχθεί λόγω των αρνητικών της επιπτώσεων για το περιβάλλον (σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου). Από την άλλη, η αναερόβια χώνευση και η αποτέφρωση είναι διεργασίες επωφελείς για την ατμόσφαιρα, αφού

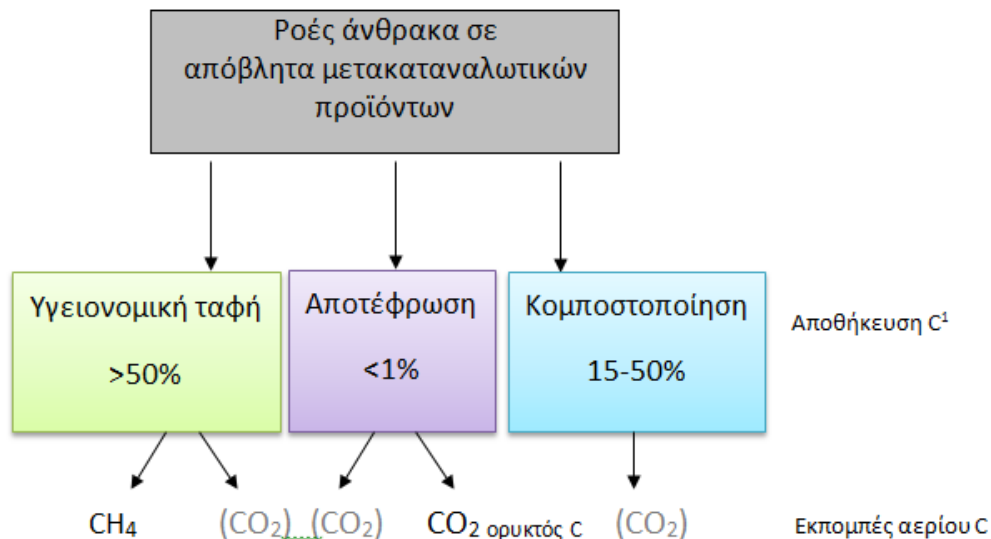
3. Ανασκόπηση και καταγραφή των ποσοτήτων των βιοαποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές επίπεδο χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές εκπομπές αερίων. Το ίδιο ισχύει και για την οικιακή κομποστοποίηση υπό την προϋπόθεση ότι πραγματοποιείται με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. (ΕΕΑ, 2011)

3.12 Ροές άνθρακα μέσω των κύριων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων

Διαπιστώνεται ότι, στους χώρους υγειονομικής ταφής η αποθήκευση του άνθρακα ξεπερνάει το 50 %, αφού αυτοί λειτουργούν σαν σχετικά αναποτελεσματικοί αναερόβιοι χωνευτές (IPCC, 2006). Σημαντικό μέρος του άνθρακα αυτού εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή μεθανίου. Δεδομένης της μεγάλης ευαισθητοποίησης της παγκόσμιας κοινότητας σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών του μεθανίου αυτού, προσελκύει έντονο ενδιαφέρον.

Όσον αφορά τη μέθοδο της αποτέφρωσης, η αποθήκευση του άνθρακα που πραγματοποιείται δεν είναι αξιοσημείωτη (<1 %). Ενώ, οι εκπομπές CO₂ θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας και προέρχονται από αποτεφρωμένο ορυκτό άνθρακα (πλαστικά). Γενικότερα, οι εκπομπές CO₂ που αποδίδονται σε όλα τα συστήματα διαχείρισης των απορριμμάτων (κομποστοποίηση, αποτέφρωση, υγειονομική ταφή) εκτιμάται ότι δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και για αυτό το λόγο δεν καταγράφονται (Bogner et al., 2007).

Στην εικόνα 3 αποδίδονται παραστατικά οι ροές άνθρακα μέσω των κύριων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης του άνθρακα και των αεριωδών εκπομπών του. Το διοξείδιο του άνθρακα από τη βιομάζα δεν συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο των αερίων του θερμοκηπίου, που προέρχονται από τα απόβλητα.

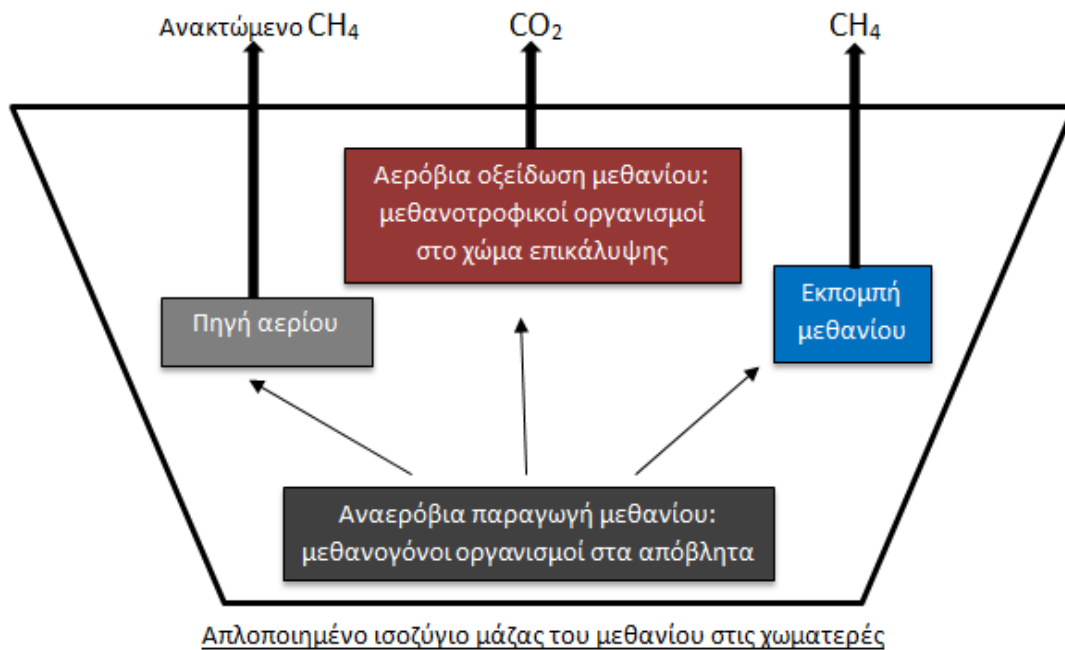


Εικόνα 3: Ροές άνθρακα μέσω των κύριων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης του άνθρακα και των αεριωδών εκπομπών του. Το διοξείδιο του άνθρακα από τη βιομάζα δεν συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο των αερίων του θερμοκηπίου, που προέρχονται από τα απόβλητα

(Bogner et al., 2007; Huber-Humer, 2004; Zinati et al., 2001; Barlaz, 1998; Bramryd, 1997; Bogner, 1992)

3.13 Απλοποιημένο ισοζύγιο μάζας του μεθανίου, που παράγεται σε χώρους υγειονομικής ταφής

Η κατάληξη του μεθανίου που παράγεται στους χώρους υγειονομικής ταφής ποικίλει. Συνηθέστερα εκπέμπεται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, αφού πρώτα παραχθεί από αναερόβιους μεθανογόνους μικροοργανισμούς. Σε άλλες περιπτώσεις, είναι δυνατό να οξειδωθεί από αερόβιους μεθανοτροφικούς μικροοργανισμούς, που βρίσκονται στα χώματα επικάλυψης ή να ανακτηθεί. Επιπρόσθετες είναι οι περιπτώσεις της πλάγιας μετανάστευσης και της εσωτερικής αποθήκευσης - δεν εμφανίζονται στο σχήμα (Bogner & Spokas, 1993; Spokas et al., 2006).



$$\text{Παραγόμενο μεθάνιο (CH}_4\text{), (μάζα/χρόνος)} = \sum (\text{CH}_4 \text{ ανακτώμενο} + \text{CH}_4 \text{ εκπεμπόμενο} + \text{CH}_4 \text{ οξειδωμένο})$$

Εικόνα 4: Απλοποιημένο ισοζύγιο μάζας του μεθανίου (CH₄) : μονοπάτια για το παραγόμενο CH₄ σε απόβλητα χώρων υγειονομικής ταφής

(Bogner et al., 2007)

4. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας των βιοαποβλήτων ανάλογα με την κλίμακα εφαρμογής τους. Αναλυτικότερα, περιγράφονται οι τεχνολογίες της κομποστοποίησης, της αναερόβιας χώνευσης, θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας, καθώς και η καινοτόμος τεχνολογία της οικιακής ξήρανσης.

4.1 Κομποστοποίηση

Η διεργασία με την οποία επιτυγχάνεται η αερόβια σταθεροποίηση και αποδόμηση οργανικών υποστρωμάτων από μικροβιακούς πληθυσμούς, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ονομάζεται κομποστοποίηση (composting) (Li & Lu, 2013).

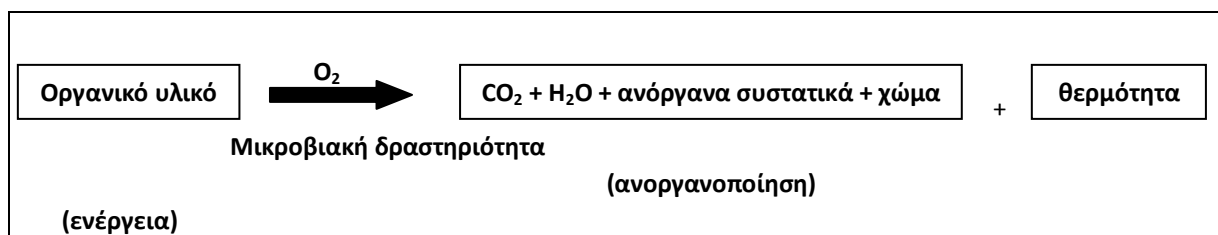
Τα κυριότερα αποτελέσματα που προκύπτουν από την κομποστοποίηση είναι:

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

Η διαδικασία αυτή μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω σχέση:



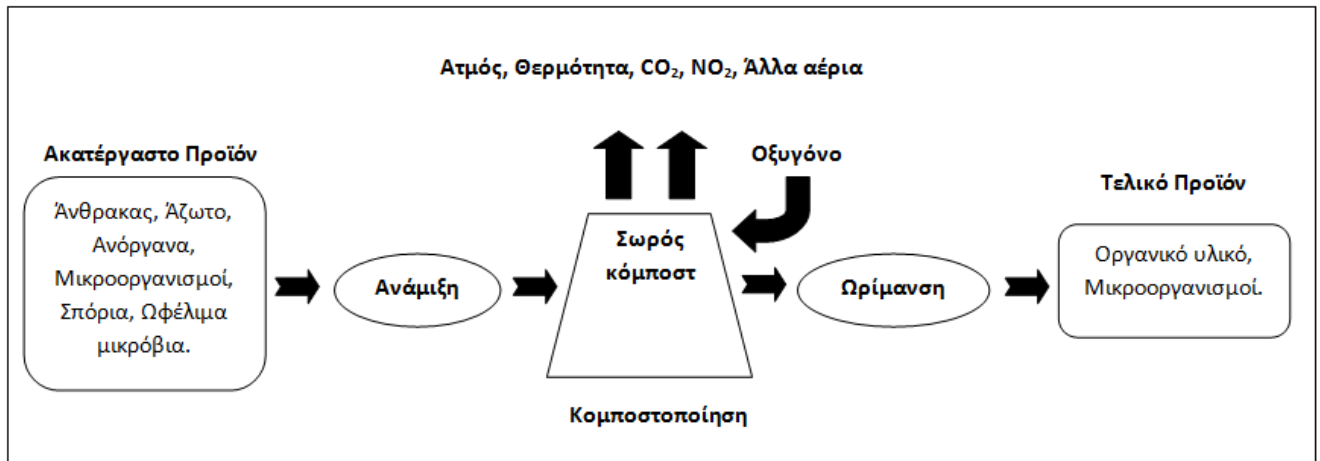
όπου Sum=οργανική ουσία και Am=βιομάζα.



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

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

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



Εικόνα 5: Απεικόνιση της διεργασίας της κομποστοποίησης

(Ευθυμίου, 2012)

Η μικροβιολογία της κομποστοποίησης

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

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

Στην αρχή της κομποστοποίησης, κυρίαρχη είναι η παρουσία των βακτηρίων που παράγουν αμμωνία. Ο πληθυσμός τους αυξάνεται ραγδαία τις δύο πρώτες εβδομάδες, για να ελαττωθεί στη συνέχεια, έως ότου αντικατασταθούν από αυτότροφα νιτροποιητικά βακτήρια, που παραμένουν στο σωρό μέχρι το τέλος της διαδικασίας. Στη διάρκεια της θερμοφιλής φάσης και της φάσης που την ακολουθεί, δρούν τα κυτταρινολυτικά βακτήρια, τα οποία, όμως, αναπτύσσονται με αργούς ρυθμούς, αφού στο τελευταίο στάδιο επικρατούν κυτταρινολυτικοί μύκητες και ακτινομύκητες (Riffaldi et al, 1986).

Παρόλο που οι μύκητες διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στην αποδόμηση της οργανικής ύλης σε όλα τα χερσαία οικοσυστήματα, η συμβολή τους στη διαδικασία της κομποστοποίησης θεωρείται ήσσονος σημασίας σε σχέση με αυτή των βακτηρίων (Miller, 1996). Αυτό συμβαίνει διότι στη θερμόφιλη φάση η θερμοκρασία αυξάνεται σε τέτοια επίπεδα ($>65^{\circ}\text{C}$), που καθιστά αδύνατη την επιβίωση τους (Peters et al., 2000). Αν, ωστόσο, μελετηθεί η συνεισφορά τους στην διαδικασία, αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω: Οι μύκητες δραστηριοποιούνται κυρίως στη μεσόφιλη φάση, δηλαδή πριν και μετά τη θερμόφιλη (De Bertoldi et al., 1983). Στο χρονικό αυτό διάστημα, αξιοποιούν ως πηγή άνθρακα λυγνινοκυτταρινούχα πολυμερή και αποικοδομούν πολύπλοκα πολυμερή, όπως αρωματικές ενώσεις. Επίσης, σε περίπτωση χρήσης του κομποστ ως λιπάσματος, βελτιώνουν την γονιμότητα του εδάφους και προωθούν την καταστολή φυτικών ασθενειών.

Τα στάδια της κομποστοποίησης

Με βάση τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται και το είδος των μικροοργανισμών που επικρατούν, η κομποστοποίηση μπορεί να χωριστεί σε τρία στάδια-φάσεις, τις εξής:

1. Μεσόφιλη φάση,
2. Θερμόφιλη φάση,
3. Φάση πτώσης της θερμοκρασίας και φάση της ωρίμανσης.

1^ο στάδιο – Μεσόφιλη φάση

Το στάδιο αυτό είναι μικρό χρονικά και κατά τη διάρκεια του παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας ως την περιοχή, που ευνοεί την ανάπτυξη των μεσόφιλων μικροβιακών κοινοτήτων ($T < 40^{\circ}\text{C}$). Αρχικά, διασπώνται οι εύκολα αποικοδομήσιμες ενώσεις και η τιμή του pH μειώνεται. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός, ότι μεσόφιλα βακτήρια ($25 < T < 45^{\circ}\text{C}$) παράγουν οργανικά οξέα από την αποικοδόμηση των σακχάρων και των πρωτεϊνών (Strom et al., 1985). Παραδείγματα τέτοιων βακτηρίων είναι τα *Lactobacillus* spp. και *Acetobacter* spp. Καθώς η θερμοκρασία οδεύει προς τα όρια μεταξύ μεσόφιλης και θερμόφιλης φάσης, έχουν απομονωθεί μεσόφιλα είδη μυκήτων, αλλά και θερμόφιλα, θερμοανθεκτικά βακτήρια και μύκητες. Ο σωρός δεν έχει υποστεί μείωση στο μέγεθος του, υπάρχει, συνεπώς, αφθονία θρεπτικών συστατικών για τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών και την αύξηση του πληθυσμού τους. Συνεπακόλουθο των προαναφερθέντων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας σε τέτοια επίπεδα, ώστε να παρεμποδίζεται πλέον η δράση των μεσόφιλων μικροοργανισμών.

2^ο στάδιο – Θερμόφιλη φάση

Κατά το στάδιο αυτό, η θερμοκρασία μεταβάλλεται μεταξύ 40°C και 80°C , όρια που χαρακτηρίζουν τη θερμόφιλη φάση. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην δράση των μικροοργανισμών, που μεταβολίζουν το πλεονάζον οργανικό υλικό. Αποτέλεσμα της είναι η επιτάχυνση του μεταβολικού ρυθμού των μικροβιακών κοινοτήτων, η οποία με τη σειρά της συνεπάγεται την ώθηση της τιμής της θερμοκρασίας σε επίπεδα ανασταλτικά για την περαιτέρω αύξηση και επιβίωση τους ($T > 60^{\circ}\text{C}$). Στο σημείο αυτό, η θερμοανθεκτικότητα των μικροοργανισμών οφείλεται στην αντοχή των ενζυμικών τους συστημάτων. Επίσης, παρατηρείται και αύξηση της τιμής του pH, εξαιτίας της διάσπασης των οργανικών οξέων και της δημιουργίας αλάτων κατά την εξάτμιση του νερού.

Σε αυτές τις συνθήκες, τα κυρίαρχα μικροβιακά είδη είναι:

- οι θερμόφιλοι μύκητες (άριστη ανάπτυξη:40-50°C),
- οι ακτινομύκητες (50-60 °C)
- και τα θερμόφιλα βακτήρια.

Σε θερμοκρασίες άνω των 60 °C, κάποια είδη μικροοργανισμών για να επιβιώσουν, υιοθετούν ανθεκτικές μορφές, όπως τα σπόρια και τα σκληρώτια των μυκήτων. Ωστόσο, με την επίτευξη των τόσο υψηλών θερμοκρασιών, εξασφαλίζεται η εξυγίανση του τελικού προϊόντος, αφού θανατώνονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Στη συνέχεια, όσο οι πηγές θρεπτικών συστατικών και ενέργειας εξαντλούνται, οι μικροβιακοί πληθυσμοί πεθαίνουν. Αυτό συνεπάγεται πτώση της θερμοκρασίας και επανεμφάνιση των μεσόφιλων μικροοργανισμών. (Ευθυμίου, 2012)

3^ο στάδιο – Φάση πτώσης της θερμοκρασίας και φάση της ωρίμανσης

Στο στάδιο αυτό, το μέγεθος του σωρού έχει παρουσιάσει σημαντική ελάττωση και οι απαιτήσεις των μικροοργανισμών ξεπερνούν τα αποθέματα σε ενέργεια, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να μειώνεται συνεχώς.

Στο περιβάλλον αυτό, επικρατούν τα μεσόφιλα και θερμοανθεκτικά είδη βακτηρίων (Cho et al., 2008), που συμβάλλουν στην ωρίμανση και βελτίωση της ποιότητας του κομπόστ, αφού με τη δράση τους επιτυγχάνονται οι παρακάτω λειτουργίες:

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

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

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

Πίνακας 11: Κατανομή των μικροοργανισμών στις φάσεις της κομποστοποίησης

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

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

(Fogarty & Tuovinen, 1991)

Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση αποτελεί διεργασία που διεκπεραιώνεται, λόγω της δραστηριότητας μικροβιακών πληθυσμών. Αυτό σημαίνει ότι, οι παράμετροι που επιδρούν στην ανάπτυξη και δραστηριότητά τους, παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στο ρυθμό και την έκταση της μεθόδου, όσο και στην ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος (compost).

Οι σπουδαιότεροι από αυτούς τους παράγοντες συνοψίζονται στα παρακάτω:

- πρώτες ύλες (το προς κομποστοποίηση οργανικό κλάσμα)
- λόγος C/N
- αερισμός
- θερμοκρασία
- pH
- υγρασία

Οι πρώτες ύλες

Η σύσταση των πρώτων υλών πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, ώστε ο ρυθμός της αποσύνθεσής τους να μην παρεμποδίζεται για να διατηρείται σταθερός. Βασικές απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε θρεπτικά συστατικά αποτελούν τα εξής στοιχεία:1.ο άνθρακας (C), 2.το άζωτο (N), 3.ο φώσφορος (P) και 4.το κάλιο (K). Αυτά τα συστατικά πρέπει να υπάρχουν στις κατάλληλες ποσότητες, για να μην επιβραδύνεται η διεργασία. Επίσης, η επιβίωση του μικροβιακού κύματος εξαρτάται και από την ύπαρξη ιχνοστοιχείων, όπως: το βόριο, το κοβάλτιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο, το νάτριο και ο ψευδάργυρος. Θα πρέπει να τονισθεί ότι, τα παραπάνω στοιχεία είναι δυνατό να αποβούν τοξικά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ενδεικνυόμενες.

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

Αλλά και το μέγεθος των κόκκων του οργανικού υλικού είναι ένας άλλος παράγοντας, που αν τεθεί υπό έλεγχο, μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στο ρυθμό της βιοαποικοδόμησής του. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν το υλικό συνίσταται από τεμαχίδια μεγέθους λίγων χιλιοστών έως πέντε εκατοστών αποτελεί πιο ομοιογενές υπόστρωμα για τη δράση των μικροοργανισμών. (Ευθυμίου, 2012)

Ο λόγος C/N

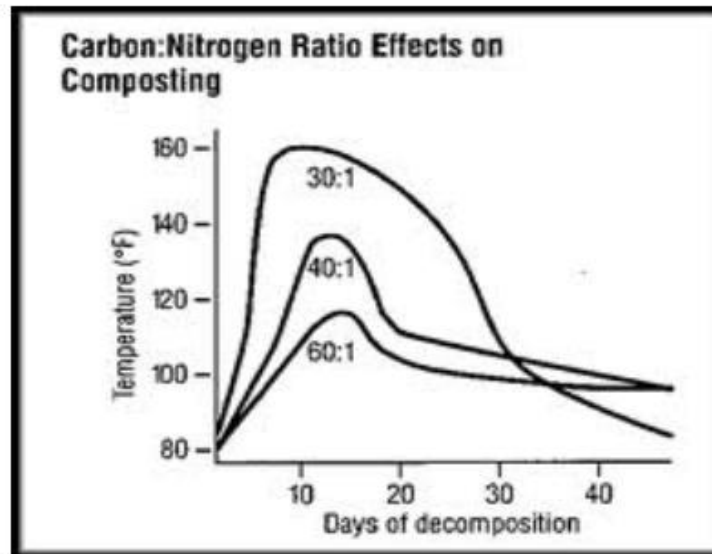
Η τιμή του λόγου C/N επιδιώκεται να βρίσκεται μέσα σε ένα αποδεκτό εύρος τιμών, εφόσον σχετίζεται άμεσα με τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και άρα με την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης. Η βέλτιστη αναλογία κυμαίνεται μεταξύ 25-40 και εξαρτάται από το είδος του οργανικού υποστρώματος.

Σε περιπτώσεις αποκλίσεων από τις παραπάνω αναλογίες συμβαίνουν τα εξής:

- αν ο λόγος είναι χαμηλός (<20), ελαττώνεται η ποσότητα του αζώτου, με την απελευθέρωση αέριας αμμωνίας στο περιβάλλον. Το φαινόμενο αυτό είναι δυνατό να οδηγήσει σε προβλήματα δυσάρεστων οσμών (αναερόβιες διεργασίες) και φυτοτοξικότητας.
- αντίθετα, αν ο λόγος είναι υψηλός (>50), ακολουθούν πολλοί βιοχημικοί κύκλοι, ώστε να φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα με την οξείδωση της περίσσειας του άνθρακα.

Όπως προαναφέρθηκε για τις περιπτώσεις των σημαντικών αποκλίσεων, η διενέργεια της κομποστοποίησης, κάτω από αυτές τις συνθήκες, δεν είναι η καλύτερη δυνατή.

Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, ο λόγος C/N παρουσιάζει πτωτική πορεία, διότι ελαττώνεται ο άνθρακας με τη δημιουργία του CO₂ και αυξάνεται το άζωτο λόγω της ύπαρξης των αζωτοδευσμειτικών βακτηρίων (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Μεταβολές του λόγου C/N κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης

(Ευθυμίου, 2012)

Ο αερισμός

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

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

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

Θερμοκρασία

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

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

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

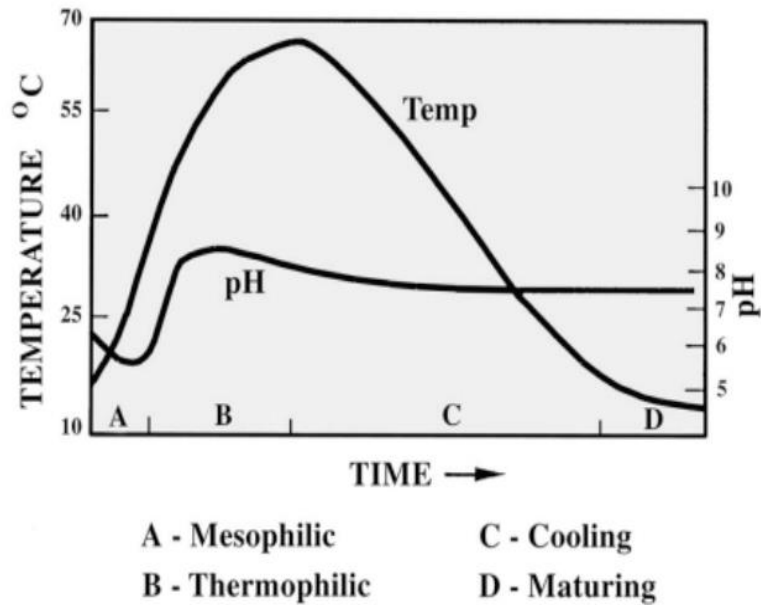
pH

Οι τιμές του pH συναρτώνται με τα είδη των μικροοργανισμών που μπορούν να αναπτυχθούν και το βαθμό προόδου της διεργασίας. Τα βακτήρια προτιμούν ουδέτερα ή αλκαλικά περιβάλλοντα, οι μύκητες ελαφρώς όξινα (pH:4-6) και οι ακτινομύκητες ελαφρώς αλκαλικά. Η προς κομποστοποίηση οργανική μάζα χαρακτηρίζεται γενικά από χαμηλές τιμές pH, με βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας να αντιστοιχούν σε pH μεταξύ 5.5 και 8 (De Bertoldi et al, 1983).

Σχετικά με τη χρονική εξέλιξη του pH, έχει διαπιστωθεί ότι:

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

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



Εικόνα 7: Διαγράμματα μεταβολών θερμοκρασίας και pH στις διαφορετικές φάσεις της κομποστοποίησης

(Ευθυμίου, 2012)

Υγρασία

Η παρουσία του νερού επηρεάζει το ρυθμό αποδόμησης των πρώτων υλών, καθώς συνδέεται άμεσα με τη μεταβολική λειτουργία των μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί παραλαμβάνουν τα απαραίτητα για τη διαβίωση τους θρεπτικά συστατικά προσκολλημένοι στο υδατινό στρώμα που σχηματίζεται στην επιφάνεια των σωματιδίων του υλικού, μόνο αν αυτά είναι υδατοδιαλυτά. Το μέγιστο περιεχόμενο σε υγρασία των πρώτων υλών καθορίζεται από τις ιδιότητες τους και υπολογίζεται σε ιδανικές συνθήκες εντός των ορίων του 45-60%.

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

Πίνακας 12: Συγκεντρωτικός πίνακας ιδανικών συνθηκών για την κομποστοποίηση

Παράμετρος	Αποδεκτές τιμές	Ιδανικές τιμές
C/N	20 - 40:1	25 - 35:1
Υγρασία (%)	40 - 65	45 - 60
pH	5.5 - 9.0	5.5 - 8.0
Θερμοκρασία στη θερμοφιλή φάση (°C)	43 - 66	54 - 60
O ₂ (%)	>5	>10

(Ευθυμίου, 2012)

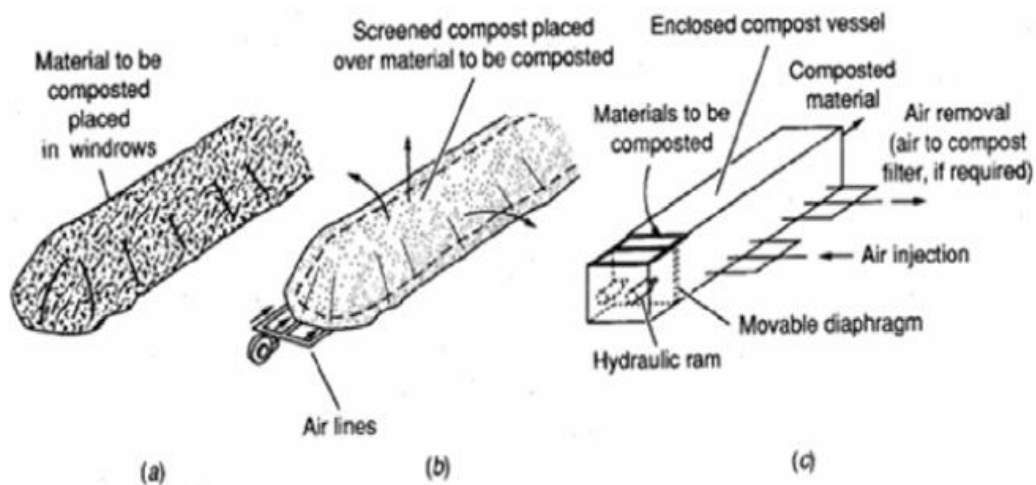
4.1.1 Τεχνολογίες κομποστοποίησης

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

Τα συστήματα κομποστοποίησης διαχωρίζονται σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα, ανάλογα με το αν το υλικό περιέχεται σε έναν αντιδραστήρα ή όχι. Τα συστήματα, στα οποία χρησιμοποιείται αντιδραστήρας, ονομάζονται κλειστά, ενώ ανοιχτά συστήματα είναι εκείνα, στα οποία η διεργασία εξελίσσεται χωρίς τη χρήση αντιδραστήρα. Ένα συνδυασμό των δύο παραπάνω συστημάτων αποτελούν τα μικτά συστήματα.

Συνοψίζοντας, διακρίνονται τρεις τύποι συστημάτων αερόβιας βιοσταθεροποίησης:

- τα ανοιχτά συστήματα (open systems),
- τα κλειστά συστήματα (Reactor or enclosed systems, container composting, mechanical systems),
- και τα μικτά συστήματα. (Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011)



Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση των τριών βασικών συστημάτων κομποστοποίησης: a) αναδευόμενα σειράδια, b) αεριζόμενοι στατικοί σωροί, c) κλειστά συστήματα

(Λάλας κ.α., 2007)

Ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης

Στα ανοιχτά συστήματα, η κομποστοποίηση συντελείται σε ανοιχτούς χώρους, ενώ δεν απαιτείται η χρήση ιδιαίτερου μηχανολογικού εξοπλισμού. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται:

- τα σειράδια (κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς - windrow composting)
- και οι αεριζόμενοι στατικοί σωροί (aerated static pile composting).

Οι δύο μέθοδοι διαφέρουν ως προς τον τρόπο, με τον οποίο παρέχεται οξυγόνο στη μάζα του υλικού και κατ'έπекταση στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση των σειραδίων, το οξυγόνο

εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των αεριζόμενων στατικών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες. (Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011)

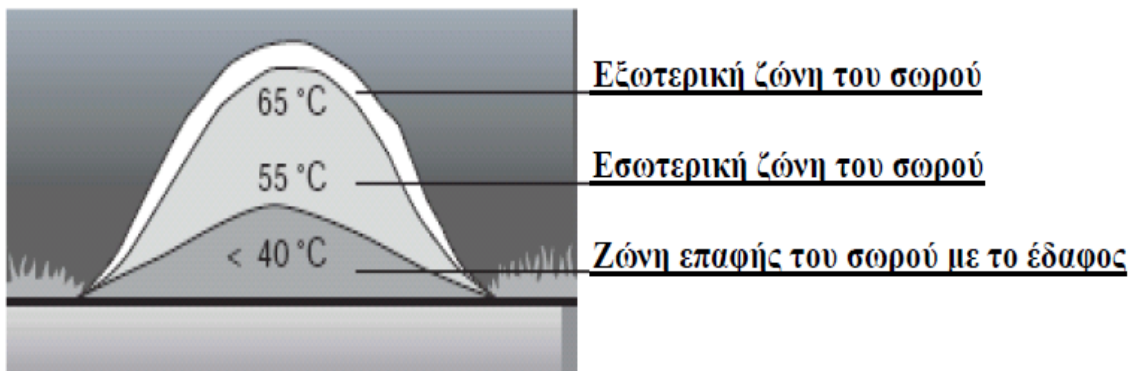
Κομποστοποίηση σε σειράδια (Windrow composting)

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

- ο φυσικός αερισμός του σωρού,
- η ομοιογένεια στον σωρό. Προστίθεται ότι, μέσω της αναμόχλευσης του σωρού καταστρέφονται τα συσσωματώματα των οργανικών ουσιών, που παρατηρούνται εξαιτίας της παραγόμενης υγρασίας κατά την κομποστοποίηση. Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με τον χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα και διαμορφώνονται ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες,
- η συνεχής ανάμιξη των υλικών για την καλύτερη επαφή των μικροοργανισμών με το υπόστρωμα και την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού,
- η απελευθέρωση της παραγόμενης θερμότητας. (Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011)

Συνήθως, οι μηχανικοί αναμοχλευτές διαθέτουν ακροφύσια, μέσω των οποίων εγχύεται νερό, ώστε το ποσοστό υγρασίας να παραμένει στα επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον, σε σύγχρονες εγκαταστάσεις σειραδίων εφαρμόζονται συστήματα συλλογής και διαχείρισης των στραγγισμάτων που δημιουργούνται κατά την διεργασία. (van Haaren et al., 2010)

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



Εικόνα 9: Κατανομή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού κομποστοποίησης

(Muller-Kopp, 2005)

Συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες κομποστοποίησης, η μέθοδος των σειραδίων είναι χαμηλότερου κόστους. Ωστόσο, κατά τη μέθοδο αυτή καθίσταται πιο δυσχερής ο περιορισμός των ανεπιθύμητων εκπομπών αερίων και οσμών. Για το λόγο αυτό, η τροφοδοσία των σειραδίων δεν περιλαμβάνει διατροφικά απόβλητα, εκτός του ότι έτσι αποφεύγεται, επίσης, η προσέλκυση πτηνών, ζώων και εντόμων. Μικρές ποσότητες διατροφικών αποβλήτων εντοπίστηκαν, όμως, σε απόβλητα κήπων, που συλλέχθηκαν από κοινότητες, λόγω του ότι η διαλογή στην πηγή δεν ήταν πλήρης. Οι οσμές που απελευθερώθηκαν από τις προσμίξεις αυτές, προκάλεσαν την ενόχληση των κατοίκων, που διέμεναν κοντά στις εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. (van Haaren, 2009)

Επιπρόσθετα, αξίζει να αναφερθεί ότι, υπό κανονικές συνθήκες το οξυγόνο δεν διαπερνάει όλη την έκταση του σωρού. Συνεπώς, λαμβάνουν χώρα αναερόβιες αντιδράσεις, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μεθανίου. Υπό την προϋπόθεση ότι οι σωροί αναδεύονται επαρκώς, οι ποσότητες του παραγόμενου μεθανίου είναι πολύ μικρές. (Komilis & Ham, 2004)



Εικόνα 10: Εγκαταστάσεις κομποστοποίησης σε στατικούς σωρούς

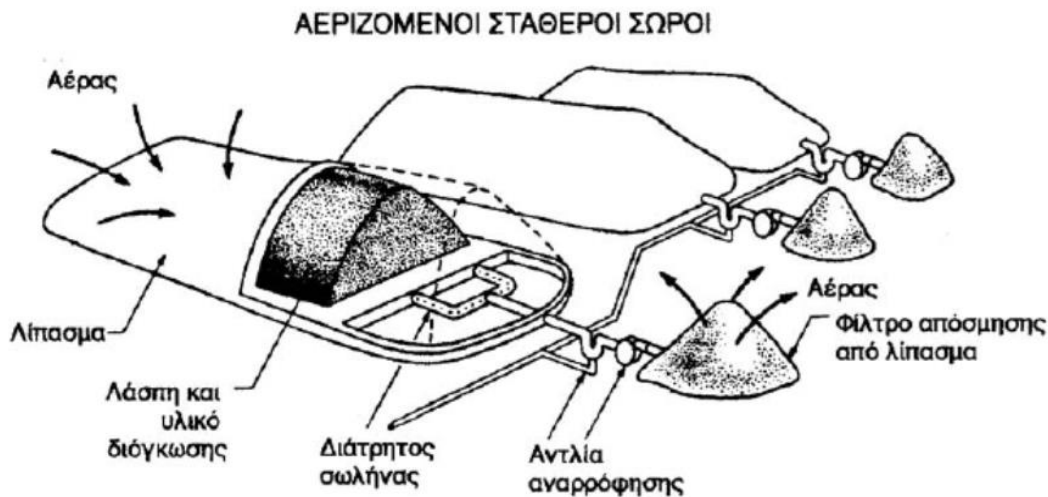
(Κανακόπουλος, 2011)

Κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile composting)

Η κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς αναπτύχθηκε με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης, καθώς και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης. Οι αεριζόμενοι στατικοί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς (μέθοδος Rudgers) και σε εκτεταμένους σωρούς (μέθοδος Beltsville). Ο αερισμός των σωρών πραγματοποιείται ή με αναρρόφηση αέρα ή με εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα διαμέσου των σωρών ή με συνδυασμό και των δύο, ώστε να διατηρούνται στους σωρούς η απαραίτητη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, καθώς και η απαραίτητη θερμοκρασία για την κομποστοποίηση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001). Το πιο κοινό σύστημα αερισμού περιλαμβάνει τη χρήση ενός πλέγματος υπόγειων σωληνώσεων, που κατασκευάζονται από εύκαμπτο πλαστικό και συναρμολογούνται στην επιφάνεια του σωρού.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την κομποστοποίηση υλούς, εφόσον δεν υπάρχει κανένας ειδικός μηχανισμός για την ανάδευση. Οπότε το υλικό που πρόκειται να κομποστοποιηθεί αναμειγνύεται με κάποιο πρόσθετο υλικό (διογκωτικό), όπως θρύμματα ξύλου, πριονίδι ή άχυρο. Το πρόσθετο αυτό υλικό έχει την ιδιότητα να προσδίδει σταθερότητα στον σωρό του κομποστ και να διατηρεί τα κενά αέρος, δίχως να χρειάζεται να γίνει αναστροφή. Μετά το πέρας της κομποστοποίησης, το υλικό διαχωρίζεται με εσχарισμό και ανακυκλώνεται. (Μάστακα, 2007)

Γενικά, το ύψος του σωρού μπορεί να φτάσει τα 2-2,5 m και μερικές φορές μπορεί να καλύπτεται ολόκληρος ή ένα μέρος του, ώστε να μην απελευθερώνονται άσχημες οσμές (Μάστακα, 2007).



Εικόνα 11: Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (σύστημα Rudgers)

(Αναγνωστόπουλος – Πολίτης & Χατζηδημητρίου, 2011)

Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης

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

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανά τακτά χρονικά διαστήματα προστίθεται νερό στο υλικό, που βρίσκεται μέσα στον αντιδραστήρα, ώστε να προωθηθεί η δράση των μικροοργανισμών. Επίσης, με στόχο πάλι την βελτιστοποίηση της διαδικασίας της κομποστοποίησης μπορεί να εισάγεται θερμός αέρας στον αντιδραστήρα, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα πλεονεκτήματα του κλειστού συστήματος είναι το ότι γίνεται καλύτερος έλεγχος των οσμών, το υλικό που κομποστοποιείται παραμένει για μικρό χρονικό διάστημα μέσα στον αντιδραστήρα και απαιτούνται μικρότερες εκτάσεις για την εγκατάστασή του. (Ανδρεαδάκης κ.α., 2001; Metcalf & Eddy, 2003)

Κριτήρια επιλογής συστήματος κομποστοποίησης

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

Πίνακας 13: Κριτήρια επιλογής συστήματος κομποστοποίησης

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

(Γρηγοροπούλου κ.α., 2013)

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

4.1.2 Οικιακή κομποστοποίηση

Επί του παρόντος, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 40 % των βιοαποβλήτων καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής (Eurostat, 2010). Προκειμένου ένα μέρος αυτών των βιοαποβλήτων να ανακτηθεί, μπορεί να αξιοποιηθεί η μέθοδος της οικιακής κομποστοποίησης, που συνιστά μια εναλλακτική τεχνολογία επεξεργασίας των οργανικών οικιακών απορριμμάτων. Με τη μέθοδο αυτή, μειώνεται η ποσότητα των παραγόμενων οικιακών βιοαποβλήτων και κατά συνέπεια η ποσότητα των απορριμμάτων, για τη διαχείριση των οποίων πρέπει να μεριμνήσει η δημοτική κοινότητα (Andersen et al., 2012).

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

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

4.1.3 Εμπορικά συστήματα οικιακής κομποστοποίησης

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

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

- Κομποστοποίηση σε σωρούς
- Επιφανειακή κομποστοποίηση
- Κομποστοποίηση σε κουτιά
- Υπόγεια κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση σε σωρούς

Κατά τη μέθοδο αυτή, το προς κομποστοποίηση υλικό συγκεντρώνεται σε κατάλληλα επιλεγμένο σημείο εκτός της οικίας (σε ένα χωράφι ή σε ένα κομμάτι του κήπου). Η διεργασία πραγματοποιείται από τον ίδιο τον κάτοικο, ο οποίος πρέπει να αναδεύει τακτικά τον σωρό, για να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός, αλλά και να διαβρέχει το προς κομποστοποίηση μίγμα, ώστε να διατηρείται η κατάλληλη υγρασία. (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

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



Εικόνα 12: Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς

(ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

Επιφανειακή κομποστοποίηση

Κατα την επιφανειακή κομποστοποίηση, το υλικό απλώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και όλη η διεργασία εξελίσσεται όπως ακριβώς συμβαίνει στη φύση, όπου το έδαφος καλύπτεται από τα φύλλα των φυτών και τη νεκρή βλάστηση, τα οποία μετατρέπονται σταδιακά σε οργανική ουσία. Συνεπώς, η διεργασία αυτή δεν απαιτεί την ιδιαίτερη συμμετοχή των κατοίκων και ενδείκνυται για την περίπτωση αγροτικών περιοχών και για την κομποστοποίηση υπολειμμάτων κήπων. (Waste2bio project, 2014)



Εικόνα 13: Η μέθοδος της επιφανειακής κομποστοποίησης

(Waste2bio project, 2014)

Κομποστοποίηση σε κουτιά

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



Εικόνα 14: Ξύλινος κομποστοποιητής (αριστερά), συρμάτινος κομποστοποιητής (δεξιά)

(Comwaste project, 2010)

Υπόγεια κομποστοποίηση

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



Εικόνα 15: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών βιοαποβλήτων

(Waste2bio project, 2014)

4.1.4 Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες

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

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

Η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα, αφού για την επαρκή αύξηση του πληθυσμού των γαιοσκωλήκων απαιτούνται αρκετοί μήνες. Σημαντικό πλεονέκτημά της θεωρείται η αισθητή μείωση των οσμών σε σχέση με συμβατικούς αντιδραστήρες. (Waste2bio project, 2014)

4.2 Αναερόβια χώνευση

Ως αναερόβια χώνευση ορίζεται η ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων, απουσία οξυγόνου (Yu & Schanbacher, 2010). Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή βιοαερίου, με κύρια συστατικά το CH₄ και το CO₂, καθώς και σταθεροποιημένου οργανικού υλικού. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ενέργεια σε διάφορες μορφές, όπως θερμότητα, ηλεκτρισμός, συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) ή/και υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), ενώ το σταθεροποιημένο οργανικό υλικό μπορεί να αξιοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (Ge et al., 2014). Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, τη μείωση του όγκου των αστικών στερών αποβλήτων και τη βιολογική σταθεροποίησή τους.

Η διεργασία πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια:

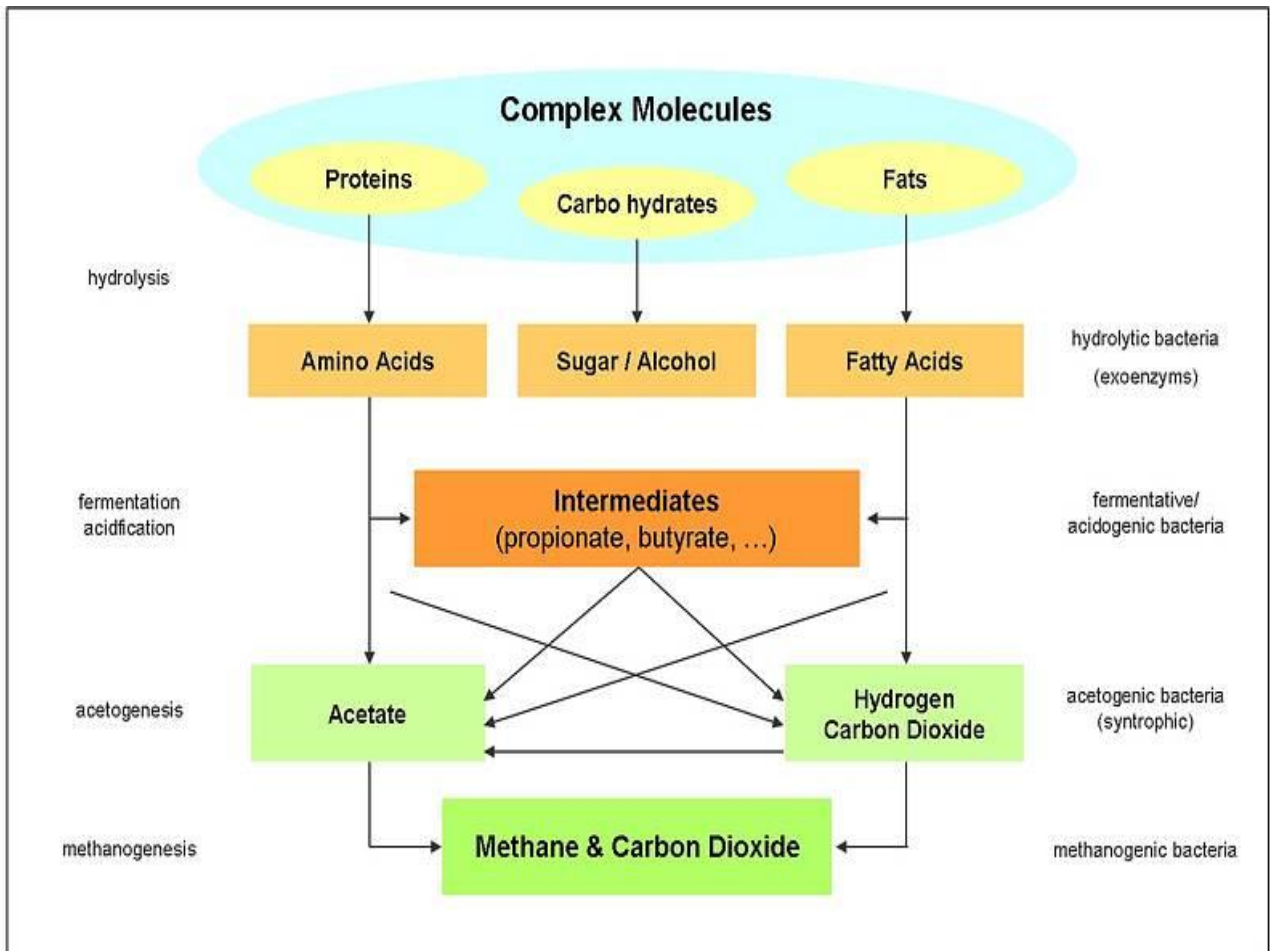
- Υδρόλυση
- Οξυδογένεση
- Ακετογένεση
- Μεθανογένεση

Η **υδρόλυση** είναι το πρώτο βήμα της αναερόβιας χώνευσης, κατά το οποίο οργανικά πολυμερή (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια μετατρέπονται σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (λιπαρά οξέα, αμινοξέα, μονοσακχαρίτες).

Κατά την **οξυδογένεση**, ζυμωτικά βακτήρια μετατρέπουν τα σάκχαρα και άλλες μονομερείς ενώσεις από την υδρόλυση σε οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.

Στο στάδιο της **ακετογένεσης**, τα προϊόντα από την οξυδογένεση (οργανικά οξέα, αλκοόλες) μετατρέπονται σε υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και οξικό οξύ.

Η **μεθανογένεση** αποτελεί το τελευταίο στάδιο της διεργασίας, κατά το οποίο μεθανογενή βακτήρια, τα οποία είναι αυστηρώς αναερόβια, μετατρέπουν τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. (Waste2bio project, 2014)



Εικόνα 16: Στάδια αναερόβιας χώνευσης

(Renewable Energy Concepts)

4.2.1 Οικιακή αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση δεν έχει εφαρμοστεί ανά τον κόσμο ως μέθοδος διαχείρισης των οικιακών βιοαποβλήτων, διότι παρουσιάζει ακόμα προβλήματα ως προς την ορθή υλοποίησή της. Μόνη εξαίρεση αποτελεί η Κίνα, στην οποία η μέθοδος χρησιμοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια.

Τα οικιακά συστήματα που έχουν σχεδιασθεί, δεν καθίστανται προς το παρόν αρκετά λειτουργικά και συνήθως προορίζονται για τη θέρμανση μιας οικίας, μέχρι και την καθολική ηλεκτροδότησή της. Κάποια από αυτά περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας της εταιρείας Agricultural Development Co., Ltd.

Η εταιρεία Agricultural Development Co. Ltd, που εδρεύει στην Κίνα, ειδικεύεται στην επεξεργασία διαφόρων τύπων αποβλήτων, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την εκμετάλλευση του βιοαερίου. Η εταιρεία αυτή έχει κατασκευάσει μια σειρά από αναερόβιους αντιδραστήρες, οι οποίοι τοποθετούνται εντός του εδάφους (Agricultural Development Co., Ltd., 2012).

Ως προς τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, για το εσωτερικό του χωνευτή έχει χρησιμοποιηθεί ενισχυμένο και υψηλής ελαστικότητας συνθετικό διάφραγμα, το οποίο δεν είναι δυνατό να διαβρωθεί ή να οξειδωθεί. Η ικανότητά του να απορροφάει και να αποθηκεύει την

4. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων

παραγόμενη θερμότητα είναι 30 % υψηλότερη συγκριτικά με εκείνη άλλων υλικών. Η χώνευση πραγματοποιείται μέσω μιας τεχνολογίας, που συνδυάζει εσωτερική χώνευση και εξωτερική προστασία. (Waste2bio, 2014)

Το εξωτερικό προστατευτικό είναι κατασκευασμένο από πλαστικό, ενισχυμένο με ίνες που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για 20-30 χρόνια, με αποτέλεσμα να παρατείνεται η διάρκεια ζωής του και να δημιουργείται μια αίθουσα χωρίς οξυγόνο για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς που επιτελούν τη ζύμωση. Επίσης, σύμφωνα με την εταιρεία παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Δεν χρειάζεται να οικοδομηθεί με τσιμέντο καθώς το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για 30 χρόνια
- Παράγονται μεγάλες ποσότητες βιοαερίου
- Η εγκατάσταση ολοκληρώνεται σε 1 μέρα
- Η διεργασία αρχίζει σε 2 μέρες. (Waste2bio, 2014)

Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας της εταιρείας Shenzhen Puxin Technology Co. Ltd., φορητός αναερόβιος χωνευτήρας

Η εταιρεία Shenzhen Puxin Technology Co. Ltd δραστηριοποιείται στους τομείς της ανανεώσιμης ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος. Ο φορητός αναερόβιος χωνευτήρας που έχει κατασκευάσει, αποτελείται από μία άνω και μία κάτω δεξαμενή. Τα βασικά δομικά του μέρη είναι ο 2 m³ φορητός χωνευτήρας, ένα δοχείο για την αποθήκευση του φυσικού αερίου, μια αντλία αερίου, ένας ηλιακός φορτιστής και ένα πιεσόμετρο.

Το συνολικό του βάρος είναι 90 κιλά και τοποθετείται πάνω στο έδαφος. Ως υλικά ζύμωσης μπορούν να εισαχθούν σε αυτόν διατροφικά απόβλητα, γρασίδι, φύλλα και άχυρα. Χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά σε παραγωγή βιοαερίου, η οποία μπορεί να φτάσει τα 1,6 – 2 m³/ημέρα. (Waste2bio, 2014)



Εικόνα 17: Φορητός αναερόβιος χωνευτήρας της εταιρείας Puxin Technology

(Puxin Technology Co. Ltd, 2001)

Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας στην Κίνα

Σήμερα στην Κίνα λειτουργούν περισσότεροι από 5 εκατομμύρια οικιακοί αναερόβιοι χωνευτήρες, που παράγουν βιοαέριο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κάθε οικίας, καθώς και λίπασμα για χρήση του στη γεωργία.

Τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για την αναερόβια χώνευση διαφέρουν μεταξύ των περιφερειών ανάλογα με τον τύπο της γεωργικής παραγωγής. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα και τα απόβλητα γεωργικών υποπροϊόντων, όπως για παράδειγμα τα στελέχη δημητριακών (κυρίως ρύζι). (Waste2bio project, 2014)

Στο τυποποιημένο σχέδιο του αντιδραστήρα, ο όγκος του διαθέσιμου χώρου επάνω από τον αντιδραστήρα είναι καθορισμένος, αν και αυξάνεται ελαφρώς με την αυξανόμενη πίεση δεδομένου ότι το υγρό επίπεδο λιμένων αποβλήτων αποχέτευσης κινείται πάνω-κάτω με τις αλλαγές πίεσης. Εάν σε κάποιες περιπτώσεις τα απόβλητα αποχέτευσης δεν αφαιρεθούν από το σύστημα τότε ο όγκος του αντιδραστήρα και ο όγκος του διαθέσιμου χώρου μειώνονται. Κατά συνέπεια, μεταβάλλεται η πίεση του αερίου που παρέχεται στην οικία. (Henderson, 2010 in Waste2bio project, 2014)

Η κατασκευή αυτών των αντιδραστήρων γίνεται από πεπειραμένους Κινέζους τεχνικούς, που εκπαιδεύονται σε κρατικό επίπεδο για τη δημιουργία αυτού του τύπου των οικιακών εγκαταστάσεων.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται από μεθάνιο σε ποσοστό 60%. Ενώ η πίεση του αερίου από τα συστήματα κυμαίνεται από 0 έως 80 εκατοστόμετρα νερού και κάθε σύστημα διαθέτει έναν μετρητή πίεσης. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και για την κάλυψη περίπου του 60 % των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια των κατοικιών. Τα τελικά προϊόντα της διεργασίας χρησιμοποιούνται ως λίπασμα ή ως συμπλήρωμα σίτισης για τους χοίρους, τα σκουλήκια, κ.λ.π. (Waste2bio project, 2014)

4.3 Θερμικές μέθοδοι

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την διαχείριση των οικιακών βιοαποβλήτων, εφόσον αυτά αποτελούν μέρος της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ.

Κατά τη θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων, αυτά μετατρέπονται σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας (Λοϊζίδου, 2006).

Μέσω της εφαρμογής των θερμικών μεθόδων επιτυγχάνεται:

- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ
- Η αδρανοποίησή τους (μετατροπή τους σε μη επιβλαβή υλικά)
- Η εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμής τους προς ανάκτηση ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα, καύσιμη ύλη)
- Η μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης. (Ειδική Μόνιμη Επιτροπή Προστασίας Περιβάλλοντος της Βουλής, 2009; Χιονίδης, 2007)

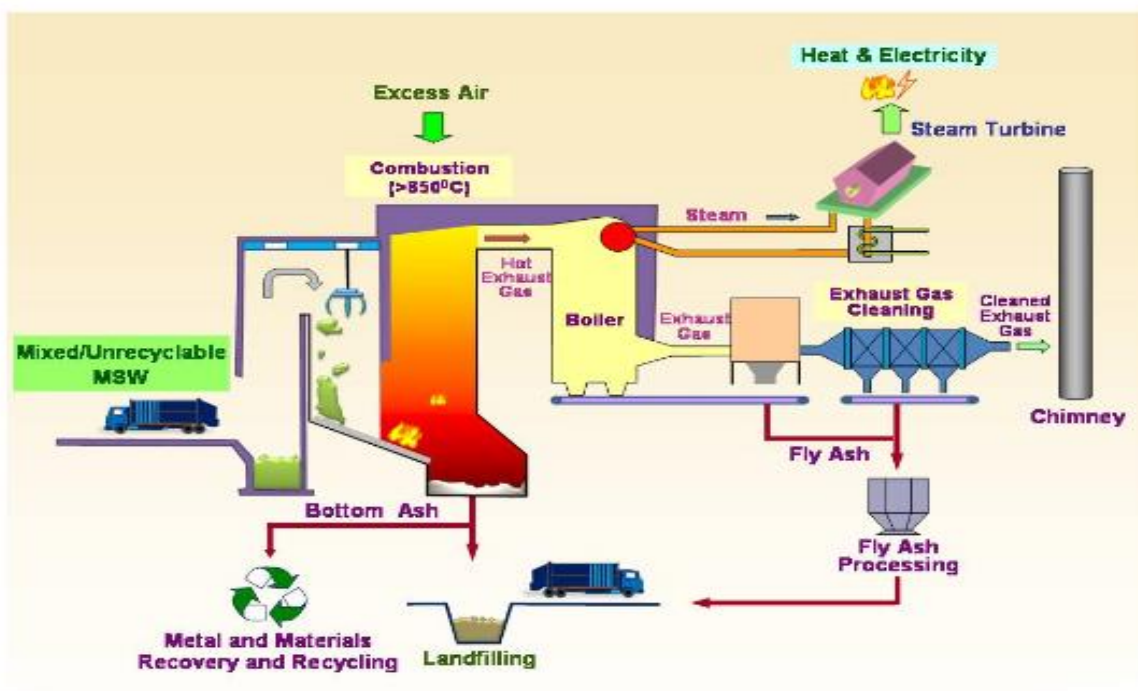
Οι κυριότερες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας είναι η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση.

4.3.1 Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση είναι μια παλιά και διαδεδομένη διεργασία, κατά την οποία τα απόβλητα οξειδώνονται παρουσία φλόγας, ενώ παρατηρείται και ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών (>850°C). Στόχος της διεργασίας είναι η μείωση του προς τελική διαθήκη όγκου των απορριμμάτων, καθώς και η εξάτμιση, η αποσύνθεση ή/και η καταστροφή των οργανικών συστατικών τους. (Γιδαράκος & Αϊβαλιώτη, 2007; Khiari et al., 2006; Oral et al., 2005)

Τα προϊόντα της διαδικασίας της αποτέφρωσης περιλαμβάνουν αέριες ενώσεις (π.χ. CO₂, οξείδια του αζώτου, όξινα αέρια κ.α.), οι οποίες χρήζουν κατάλληλης επεξεργασίας πριν την έκλυσή τους στην ατμόσφαιρα και σχετικά αδρανή στερεά υπολείμματα (τέφρα), τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40 % του βάρους της τροφοδοσίας του αποτεφρωτή. Στην περίπτωση της ατελούς καύσης των απορριμμάτων, η οποία είναι ανεπιθύμητη, παράγονται σημαντικές ποσότητες CO. Προκειμένου, λοιπόν, να εξασφαλιστεί η πλήρης καύση τους πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις (Γιδαράκος, 2006):

- επαρκής ποσότητα καύσιμου υλικού και οξειδωτικού μέσου (O₂) στην εστία καύσης,
- επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάφλεξης,
- σωστή αναλογία μίγματος καύσιμης ύλης – οξυγόνου,
- συνεχής απομάκρυνση των αερίων τα οποία παράγονται κατά την καύση,
- συνεχής απομάκρυνση των υπολειμμάτων της καύσης.



Εικόνα 18: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων

(Environmental Protection Department, 2009)

Όσον αφορά τις μονάδες αποτέφρωσης υπάρχουν δύο κατηγορίες: οι μονάδες στις οποίες απαιτείται ελάχιστη προεπεξεργασία των αποβλήτων (mass-fired) και οι μονάδες που λειτουργούν με πολύ συγκεκριμένα κλάσματα αποβλήτων που προκύπτουν από επεξεργασμένα ΑΣΑ, όπως είναι το Refuse-Derived Fuel (RDF) και το Solid Recovered Fuel (SRF). (Waste2bio project, 2014)

Οι μονάδες τύπου μαζικής καύσης (mass-fired) αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων μονάδων. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι τα απορρίμματα εισάγονται χωρίς καμία προεπεξεργασία στη μονάδα καύσης. Βέβαια, το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία της μονάδας, για παράδειγμα σε περίπτωση εισαγωγής ογκωδών ή ιδιαίτερα επικίνδυνων αποβλήτων. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η αυστηρή επίβλεψη των εισαγόμενων ΑΣΑ και με δυνατότητα χειροκίνητης διακοπής της εισαγωγής τους. Επίσης, το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων, καθώς δεν υπάρχει προεπεξεργασία τους, εξαρτάται από το κλίμα, τη συγκεκριμένη περίοδο και τη σύστασή τους. (Waste2bio project, 2014)

Τα ανακτώμενα υλικά (γυαλί, σιδηρούχα μέταλλα και αλουμίνιο) διαχωρίζονται από τη μάζα των απορριμμάτων μηχανικά και συλλέγονται για επεξεργασία και μελλοντική πώληση ή διάθεση. Το κλάσμα των υπόλοιπων υλικών (χαρτί, πλαστικό, λοιπά καύσιμα) ονομάζεται Καύσιμο από Σκουπίδια (RDF).

Κατά καιρούς, έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη αποτεφρωτήρων, οι συνηθέστεροι, όμως, από αυτούς είναι:

- Κινούμενων σχαρών
- Περιστρεφόμενου κλιβάνου
- Ρευστοποιημένης κλίνης

Αποτεφρωτήρας κινούμενων σχαρών

Οι σχάρες είναι στερεωμένες στα τοιχώματα της εστίας καύσης επάνω σε φέροντα μηχανισμό και εκτελούν τις παρακάτω λειτουργίες:

- μεταφορά των στερεών αποβλήτων
- επίτευξη ομοιόμορφης παροχής αέρα
- αναμόχλευση των υλικών στη ζώνη κύριας καύσης
- μεταφορά της παραγόμενης τέφρας. (Waste2bio project, 2014)

Εφόσον χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των απορριμμάτων μέσα στον αντιδραστήρα σε περίπου μία ώρα, πρέπει να έχουν σχεδιασθεί από κατάλληλα υλικά, για την προστασία τους έναντι των ακόλουθων φορτίσεων:

- Μηχανική φόρτιση από το βάρος των απορριμμάτων
- Θερμική φόρτιση από την εκλυόμενη θερμότητα κατά την καύση
- Χημική φθορά (διάβρωση)
- Μηχανική φόρτιση εξαιτίας της κίνησης.

Επιπλέον, ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίδεται στην ανθεκτικότητά τους έναντι στο θείο και το χλώριο, τα οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούν έντονα διαβρωτικές συνθήκες. (Waste2bio project, 2014)

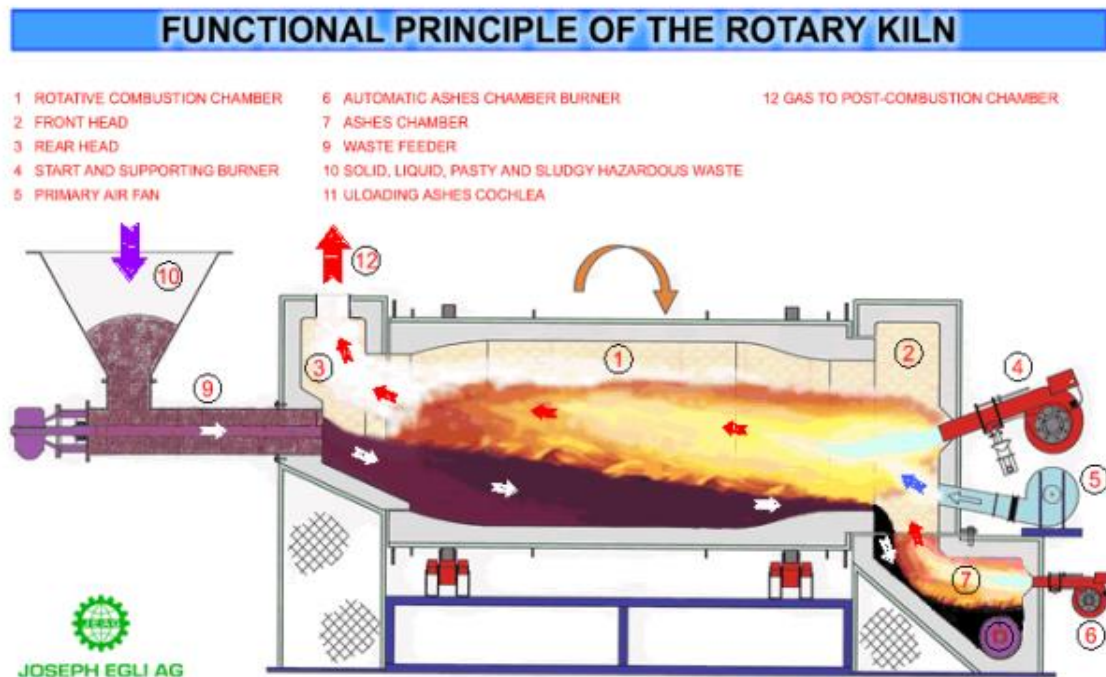
Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου

Ο αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου επεξεργάζεται με επιτυχία σχεδόν όλα τα απορρίμματα, ανεξαρτήτως είδους ή σύστασης και αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο κλίβανο, ένα μετακαυστήρα και ένα σύστημα ελέγχου των παραγόμενων απαερίων (Elattar et al., 2014; Waste2bio project, 2014).

Το σύστημα του περιστρεφόμενου κλιβάνου συγκροτείται από το σύστημα υποδοχής, το δοσομετρικό σύστημα, τον περιστροφικό κύλινδρο, το σύστημα παροχής αέρα, τον επιπλέοντα καυστήρα, το θάλαμο μετάκαυσης και το σύστημα απομάκρυνσης σκόνης και τέφρας. Ο θάλαμος μετάκαυσης τοποθετείται ώστε να διευκολυνθεί η πλήρης καύση των αποβλήτων, λόγω του ότι ο χρόνος παραμονής τους είναι μικρός.

Στους συμβατικούς περιστρεφόμενους κλιβάνους, ο κύλινδρος είναι οριζόντιος και περιστρέφεται περί τον άξονά του. Το υλικό αναδεύεται, υφίσταται θερμική επεξεργασία και στη συνέχεια οδηγείται με την επίδραση της βαρύτητας στο άλλο άκρο λόγω της υπάρχουσας κλίσης ως προς τον οριζόντιο άξονα (2-4 %), με αποτέλεσμα να έρχεται εντατικά σε επαφή με τον αέρα που ρέει μέσα στον κλίβανο. Η αποτελεσματική καύση επιτυγχάνεται με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών (800-1.400 °C) και κατάλληλου χρόνου παραμονής των αποβλήτων. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, ο κλίβανος πρέπει να διαθέτει πυρίμαχη επένδυση. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος χρόνος παραμονής απαιτείται και αντιστρόφως.

Τα απαέρια θα πρέπει να περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις CO, υδρογονανθράκων και υπολειμμάτων καύσης, δεδομένου ότι ο κλίβανος λειτουργεί με περίσσεια οξυγόνου (Γιδαράκος, 2006).



Εικόνα 19: Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου

(Αθανασιάδη, 2011)

Αποτεφρωτήρας ρευστοποιημένης κλίνης

Ο αποτεφρωτήρας ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιεί ένα στρώμα άμμου ή αλουμίνας (κλίνη), πάνω στο οποίο εισάγονται τα απορρίμματα. Κάτω από το στρώμα αυτό διοχετεύεται αέρας με τέτοια παροχή, ώστε ολόκληρη η κλίνη να βρίσκεται σε αιώρηση και σε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ανάφλεξης των υφιστάμενων ρύπων. Το παρεχόμενο οξυγόνο, οι έντονες συνθήκες ανάμιξης και η αυξημένη θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα την εξάτμιση και την καταστροφή των οργανικών ρύπων. (Waste2bio project, 2014)

Η θερμοκρασία, που αποτελεί βασική λειτουργική παράμετρο για το συγκεκριμένο είδος αποτεφρωτήρων, κυμαίνεται μεταξύ 750 – 880°C, σε χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες αποτέφρωσης, γεγονός που οφείλεται στην καλή ανάμιξη του προς επεξεργασία αποβλήτου.

Στον συγκεκριμένου τύπου αποτεφρωτήρα δεν παρατηρούνται τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές, με αποτέλεσμα να μειώνεται η εκπομπή αέριων ρύπων λόγω της ατελούς καύσης, η οποία προκαλείται από τις τοπικές διαφορές θερμοκρασίας. Επιπλέον, δύναται να αξιοποιηθούν ενεργειακά καύσιμα πλούσια σε τέφρα και υγρασία. Ο βαθμός μετατροπής του καυσίμου αυξάνεται, ενώ γίνεται πιο αποδοτική αξιοποίηση του αέρα με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις σε περίσσεια αέρα να είναι μικρές (55% έναντι του συνηθέστερου 100%) (Yassin et al., 2009).

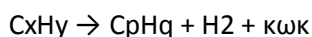
4.3.2 Πυρόλυση

Κατά την διεργασία της πυρόλυσης λαμβάνει χώρα φυσική και χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα απόβλητα μέσω της θέρμανσής τους (400 - 800°C), απουσία αέρα ή O₂ (Beneroso et al., 2014). Πρακτικά δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν συνθήκες πλήρους απουσίας O₂, επομένως, τα πραγματικά πυρολυτικά συστήματα λειτουργούν με ποσότητες O₂ μικρότερες των στοιχειομετρικών. Για τη διεξαγωγή της απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας, αφού πρόκειται για μια ισχυρά ενδόθερμη διεργασία.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα αρχικά, είναι κυρίως αντιδράσεις διάσπασης, όπου οργανικά συστατικά χαμηλής πτητικότητας, μετατρέπονται σε άλλα περισσότερο πτητικά:



Επίσης, στα αρχικά στάδια της πυρόλυσης συμβαίνουν αντιδράσεις συμπύκνωσης, αφυδρογόνωσης και αντιδράσεις σχηματισμού δακτυλίων, που οδηγούν στο σχηματισμό ενός στερεού ανθρακούχου υπολείμματος από οργανικές ενώσεις χαμηλής πτητικότητας:



Στη συνέχεια, συμβαίνουν και άλλες αντιδράσεις οργανικών ρύπων. (Waste2bio project, 2014)

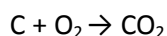
Τα τελικά προϊόντα μπορεί να είναι στερεά, υγρά και αέρια και η σύστασή τους εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας, όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στον πυρολυτικό θάλαμο (Bilitewski, 2006; Bhaskar et al., 2003; Demirbas, 2004). Η δε χρήση τους είναι κυρίως για την παραγωγή ενέργειας.

4.3.3 Αεριοποίηση

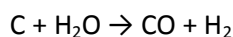
Η αεριοποίηση είναι μια μέθοδος, κατά την οποία τα στερεά απόβλητα μετατρέπονται σε καύσιμα αέρια. Η διεργασία περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων, κατά τις οποίες η τροφοδοσία μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης (CO , H_2) και άλλα αέρια προϊόντα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παροχής οξειδωτικού μέσου (αέρα, διοξειδίου του άνθρακα, οξυγόνου ή ατμού) στον αντιδραστήρα που περιέχει την τροφοδοσία, υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και ροής. Το είδος των αέριων προϊόντων που παράγονται, εκτός από το CO και H_2 , καθώς και τα CO_2 , CH_4 , H_2O , H_2S , SO_2 , εξαρτάται από το είδος της τροφοδοσίας, τη χημική της σύσταση και το οξειδωτικό μέσο που χρησιμοποιείται. (Speight, 2014)

Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι (Waste2bio project, 2014):

(1) Οξείδωση (εξώθερμη)

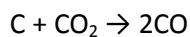


(2) Αντίδραση εξάτμισης νερού (ενδόθερμη)

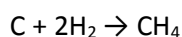


(3) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ (εξώθερμη)

(4) Αντίδραση Boudouard (ενδόθερμη)



(5) Αντίδραση σχηματισμού CH_4 (εξώθερμη)



Η θερμότητα για την εξέλιξη της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω των ενδόθερμων αντιδράσεων.

Η ταχύτητα της αντίδρασης αεριοποίησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το πορώδες και την εσωτερική δομή της καύσιμης ύλης. Συγκεκριμένα, τα μη επεξεργασμένα απόβλητα αεριοποιούνται δυσκολότερα από αυτά που προέρχονται από πυρόλυση. Αντιθέτως, συμπαγή υλικά επιτρέπουν ευκολότερα τη διέλευση του αέρα διαμέσου του στερεού υποστρώματος στον αντιδραστήρα. (Waste2bio project, 2014)

Η διαφορά της αεριοποίησης από την πυρόλυση έγκειται στο γεγονός ότι η αεριοποίηση είναι αυτοσυντηρούμενη (χωρίς εξωτερική πηγή ενέργειας μετά το στάδιο της ανάφλεξης) και χρησιμοποιεί πρόσθετο καύσιμο αέριο (ατμό, οξυγόνο, αέρα ή διοξείδιο του άνθρακα) για τη μετατροπή των οργανικών υπολειμμάτων σε αέρια προϊόντα (Γιδαράκος, 2006; Moustakas & Loizidou, 2010; Girods et al., 2009; Klein, 2002; Φάττα, 2006).

4.4 Ξήρανση

Η ξήρανση είναι μια πολυσύνθετη διεργασία, κατά την οποία λαμβάνουν χώρα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας, που οδηγούν στην απομάκρυνση της υγρασίας. Κατά αυτόν τον τρόπο, μειώνεται αισθητά ο όγκος και η μάζα των αποβλήτων και κατ'επέκταση το κόστος μεταφοράς τους (Lewicki, 2006).

Συνήθως, η ξήρανση συντελείται με χρήση θερμού ρεύματος αέρα σε δύο στάδια. Αρχικά, το εσωτερικό και η επιφάνεια του προς ξήρανση υλικού έχουν το ίδιο αρχικό περιεχόμενο σε υγρασία. Στο πρώτο στάδιο, παρατηρείται κορεσμός της επιφάνειας σε ατμό λόγω της θέρμανσής της με θερμό ρεύμα αέρα, με αποτέλεσμα το νερό που περιέχει να εξατμίζεται. Κατά το δεύτερο στάδιο, εφόσον η επιφάνεια έχει ξηραθεί, η περιεχόμενη υγρασία στο εσωτερικό του υλικού μεταφέρεται στην επιφάνεια, από όπου και απομακρύνεται. Σε αυτή τη φάση η ενέργεια που απαιτείται είναι πολύ μεγαλύτερη απ'ότι στο πρώτο στάδιο. Σημαντικές παράμετροι για τη διεργασία της ξήρανσης είναι η υγρασία, η θερμοκρασία και ο ρυθμός ροής του αέρα. (Fournier & Guinebault, 1995)

4.4.1 Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης

Μια καινοτόμος και πολλά υποσχόμενη μέθοδος διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων που παράγονται στην πηγή είναι η οικιακή ξήρανση. Γενικά, το περιεχόμενο των οικιακών απορριμμάτων σε υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 55 % και 85 %, τιμές που θεωρούνται ιδιαίτερα υψηλές. Για το λόγο αυτό, η απομάκρυνση της υγρασίας τους μέσω της ξήρανσης προκαλεί σημαντική μείωση της μάζας και του όγκου τους, ενώ το τελικό ξηρό υπόλειμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πράσινης ενέργειας. (DRYWASTE, 2012)

Παρόλα αυτά, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο δεν έχει πραγματοποιηθεί αξιοσημείωτη έρευνα πάνω σε συστήματα ξήρανσης μικρής κλίμακας. Στην αγορά υπάρχουν όμως συστήματα ξήρανσης των οργανικών οικιακών απορριμμάτων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή. Στη συνέχεια ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή τους.

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας LOOFEN

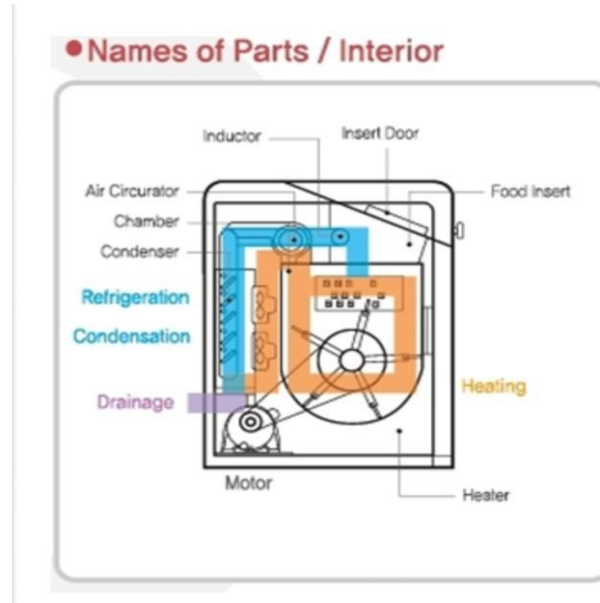
Η Loofen Lee Co., Ltd, που ιδρύθηκε στην Κορέα το 2003, έχει αναπτύξει μερικά καινοτόμα εμπορικά συστήματα ξήρανσης για τα οικιακά οργανικά απόβλητα. Αν και τα συστήματα αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως, έχουν αποκτήσει πολλές πιστοποιήσεις σε εθνικό κυρίως επίπεδο.



Εικόνα 20: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας 5L

(Loofen, 2010)

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνεται το εσωτερικό των συστημάτων ξήρανσης:



Εικόνα 21: Εσωτερικά τμήματα των συστημάτων ξήρανσης Loofen

(Loofen, 2010)

Τα βασικά εσωτερικά τμήματα του συστήματος είναι ο απαγωγέας, ο χώρος όπου τοποθετούνται τα τρόφιμα, ο κυρίως θάλαμος, ο συμπυκνωτήρας, το μοτέρ και το θερμαντικό στοιχείο. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στην ψύξη και στην συμπύκνωση. Η πορτοκαλί στην θέρμανση του συστήματος και η μωβ είναι η τελική έξοδος.

Επιπλέον, όλα τα συστήματα οικιακής ξήρανσης έχουν ενσωματωμένο ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα, το οποίο δεσμεύει τις δυσάρεστες οσμές που μπορεί να προκύψουν κατά την διεργασία. Ο αέρας με την υγρασία που απομακρύνεται από τα απορρίμματα, περνάει μέσα από το παχύ στρώμα του ενεργού άνθρακα, με αποτέλεσμα να κατακρατούνται πλήθος επιβλαβών ουσιών για το περιβάλλον, αλλά και την ανθρώπινη υγεία. Στη συνέχεια απεικονίζεται το φίλτρο ενεργού άνθρακα που χρησιμοποιείται στις συσκευές Loofen:



Εικόνα 22: Φίλτρο ενεργού άνθρακα των συστημάτων ξήρανσης Loofen

(Loofen, 2010)

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας COWAY

Η Coway ιδρύθηκε στην Κορέα το 1989 και έχει δημιουργήσει διάφορα προϊόντα όπως συσκευές καθαρισμού του αέρα, συσκευές φιλτραρίσματος του νερού κ.α. Αρχικά, το κόστος των προϊόντων της ήταν ιδιαίτερα υψηλό και οι καταναλωτές δεν ήταν εύκολο να τα αγοράσουν. Για το λόγο αυτό, μέσω της προώθησης ενός επιχειρηματικού σχεδίου η εταιρεία μείωσε το κόστος, κάνοντάς τα πιο προσβάσιμα στο ευρύ κοινό, με αποτέλεσμα ολοένα και περισσότεροι καταναλωτές να τα προτιμούν. Έτσι, άρχισε να επεκτείνεται το 2003 στην Ιαπωνία και στη συνέχεια στην Ταϊλάνδη, την Κίνα και τη Μαλαισία. Το 2010 ίδρυσε μια θυγατρική στις Η.Π.Α, στο Λος Άντζελες. Με στόχο την είσοδό της και στην ευρωπαϊκή αγορά, η εταιρεία Coway σχεδιάζει την δημιουργία θυγατρικών μονάδων.

Οι ξηραντήρες οικιακών οργανικών αποβλήτων που έχει κατασκευάσει, παρουσιάζουν διαφορετικές δυνατότητες από τους αντίστοιχους της εταιρείας Loofen, αλλά σε γενικές γραμμές η λειτουργία τους στηρίζεται στα ίδια βασικά σημεία:



Εικόνα 23: Σύστημα οικιακής ξήρανσης Coway

(Coway, 2010)



Εικόνα 24: Τα βασικά μέρη ενός οικιακού ξηραντήρα Coway

(Coway, 2010)

4. Μέθοδοι επεξεργασίας βιοαποβλήτων

1. Τα οικιακά οργανικά στερεά απόβλητα τοποθετούνται στην κατάλληλη θήκη
2. Ο ανεμιστήρας προκαλεί την ξήρανση των αποβλήτων
3. Τα απόβλητα κονιορτοποιούνται και θερμαίνονται
4. Οι ασχημές οσμές συγκρατούνται από το φίλτρο του ενεργού άνθρακα
5. Τα κονιορτοποιημένα οργανικά απορρίμματα αφαιρούνται από τον ξηραντήρα.

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK

Η Samoh NK ιδρύθηκε στην Κορέα και έχει αναπτύξει πλήθος καινοτόμων συστημάτων διαχείρισης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Τα προϊόντα της δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα. Οι ξηραντήρες με την ονομασία «smile household» που έχει κατασκευάσει, είναι δύο τύπων και έχουν διαφορετικές δυνατότητες.

Το πρώτο μοντέλο, το οποίο έχει όμως αποσυρθεί από την αγορά, παρουσιάζεται στην εικόνα:



Εικόνα 25: Πρώτο σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK

(SAMOH NK, 2010)

Το δεύτερο μοντέλο που κυκλοφόρησε είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 26: Δεύτερο σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK

(SAMOH NK, 2010)

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας DUO ENTERPRISE LTD

Η εταιρεία Duo Enterprise Ltd. Ιδρύθηκε το 1998 και από τότε έχει κατασκευάσει αλλά και εξαγάγει πλήθος αγαθών. Πέραν των άλλων, κατασκευάζει και συστήματα ξήρανσης οργανικών οικιακών αποβλήτων. Ένα τέτοιο σύστημα εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 27: Σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας Duo Enterprise Ltd

(DUO ENTERPRISE LTD, 2010)

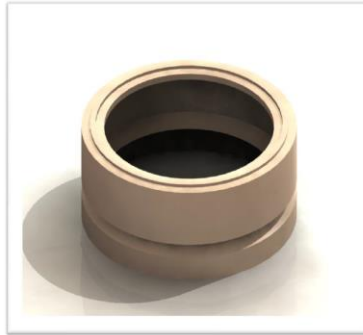
Η διεργασία της ξήρανσης πραγματοποιείται με διπλή ξήρανση και αποστείρωση με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Σύμφωνα με την εταιρεία, η χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας προσδίδει το πλεονέκτημα της εξοικονόμησης χρόνου, διότι τα στερεά απόβλητα ξεραίνονται ταυτόχρονα τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην διεισδυτικότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας λόγω του μήκους κύματός της.

Για την απομάκρυνση των οσμών η εταιρεία έχει χρησιμοποιήσει ένα πολλαπλό φίλτρο, το οποίο έχει διάρκεια ζωής έως και έξι μήνες. Τέλος, το δοχείο ξήρανσης στο οποίο τοποθετούνται τα απορρίμματα έχει τρύπες στο κάτω μέρος του, προκειμένου να καθίσταται αποδοτικότερη η διαδικασία της ξήρανσης.

4.4.2 Περιγραφή και λειτουργία καινοτόμου συστήματος ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμάτων

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 08 ENV/GR/000566, αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε πειραματική διάταξη για τη διεκπεραίωση της ξήρανσης. Η διάταξη αυτή αναφέρεται με την ονομασία **σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE** και αποτελεί ένα καινοτόμο σύστημα ξήρανσης βιοαποβλήτων, αφού δεν έχει χρησιμοποιηθεί ξανά στο παρελθόν. Τα δομικά μέρη, από τα οποία απαρτίζεται, περιγράφονται λεπτομερώς στη συνέχεια.

Θάλαμος



Εικόνα 28: Θάλαμος Ξήρανσης

Ο θάλαμος ξήρανσης (Chamber), με σχήμα κυλινδρικό, θεωρείται βασικό δομικό μέρος του ΞΔΑ (Ξηραντή Διατροφικών Αποβλήτων), εφόσον σε αυτόν προσαρτώνται όλα τα υπόλοιπα συνθετικά μέρη.

Στο ανώτερο τμήμα του διαθέτει περιμετρική διαμόρφωση, που εξασφαλίζει τη σταθερή προσαρμογή του υποδοχέα, εντός του οποίου συσσωρεύεται η μάζα των διατροφικών αποβλήτων. Η περιμετρική διαμόρφωση τριγωνικής διατομής που εντοπίζεται κεντρικά της παράπλευρης επιφάνειάς του, εξυπηρετεί αφενός, στο να οδηγεί τον εισερχόμενο στο θάλαμο θερμό αέρα προς τη μάζα των διατροφικών αποβλήτων και αφετέρου, στο να εμποδίζει την κάθοδο των συμπυκνωμάτων προς τη βάση του ξηραντή, όπου βρίσκονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις (ανεμιστήρας, θερμικό καλώδιο).

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του είναι πηλός τύπου «Stoneware» (Spanish Clay). Το εν λόγω υλικό επιλέχθηκε κυρίως χάριν της ευχέρειας που παρέχει στην κατά το δυνατόν πιστότερη κατασκευή του δομικού μέρους, σύμφωνα με το σχέδιο. Επιπλέον, παρέχει και το πλεονέκτημα της θερμικής μόνωσης, στοιχείο που είναι ζητούμενο και εξασφαλίζει την αποδοτική λειτουργία του ΞΔΑ, ως προς τη συγκράτηση των θερμικών φορτίων του αέρα ξήρανσης.

Βάση



Εικόνα 29: Βάση κάτω όψη (αριστερά) και πάνω όψη (δεξιά)

Η βάση του ΞΔΑ αποτελεί το σημείο εγκατάστασης των ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων του θερμικού καλωδίου και του ανεμιστήρα. Είναι σχήματος κυλινδρικού και στο ανώτερο τμήμα της συνδέεται με τη διάταξη του θαλάμου. Περιμετρικά, φέρει διαμόρφωση με διατομή τεταρτοκυκλίου

για τη διάχυση του 'θερμού' αέρα, από την περιοχή θέρμανσης προς το χώρο του υποδοχέα. Η θέρμανση του εισερχόμενου 'νωπού' αέρα, πραγματοποιείται από το θερμικό καλώδιο και υποστηρίζεται θερμικά από τον θερμικό δίσκο, ο οποίος προσαρμόζεται μέσω τεσσάρων όμοιων κοχλίων στη βάση του ΞΔΑ. Επίσης, στην περιοχή αυτή, έχει διανοιχτεί κυκλική οπή για τη σύνδεση σωλήνωσης μέσω της οποίας, τα συμπυκνώματα της διαδικασίας ξήρανσης θα εξέρχονται του συστήματος.

Στο κατώτερο τμήμα της, η βάση φέρει οκτώ όμοιες διαμήκεις οπές για την αναρρόφηση του 'νωπού' ατμοσφαιρικού αέρα. Ενώ στο κεντρικό της τμήμα, έχει ειδική κυλινδρική εσοχή, στο εσωτερικό της οποίας τοποθετείται ο κινητήρας του ανεμιστήρα.

Σχετικά με το υλικό κατασκευής της, επιλέχθηκε ομοίως πηλός τύπου 'Stoneware' (Spanish Clay). Λόγω των μονωτικών ιδιοτήτων του κεραμικού αυτού υλικού, παρέχεται ασφάλεια σε ενδεχόμενο βραχυκυκλώματος ή γενικότερα διαρροής ηλεκτρικού ρεύματος σε περίπτωση αστοχίας του κινητήρα ή/και του θερμικού καλωδίου.

Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων



Εικόνα 30: Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων

Η μάζα των νωπών διατροφικών αποβλήτων εισάγεται στο εσωτερικό του υποδοχέα (Collector), προκειμένου να ξηρανθεί. Ο υποδοχέας σχεδιάζεται ως ένας κύλινδρος με μεγάλη διάμετρο βάσης και αναλογικά μικρό ύψος, ώστε η επιφάνεια έκθεσης των διατροφικών αποβλήτων στο 'θερμό' ρεύμα αέρα να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη και να επιτυγχάνεται αποδοτικότερη ξήρανση.

Στο ανώτερο τμήμα του, φέρει περιμετρική διαμόρφωση για τη σταθερή συναρμογή του, αφενός με το θάλαμο (κάτω επιφάνεια), και αφετέρου, με το πώμα (άνω επιφάνεια). Την παράπλευρη επιφάνειά του αποτελεί ένα διάτρητο πλέγμα με διάκενα τέτοια, που να επιτρέπουν την ελεύθερη διάχυση του 'θερμού' αέρα προς τα συσσωρευμένα σωματίδια διατροφικών αποβλήτων και παράλληλα να παρεμποδίζουν πιθανή διέλευση σωματιδίων δια μέσω αυτών προς το συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων.

Με την ολοκλήρωση της ξήρανσης, για να παραληφθεί το ξηρό προϊόν, ο υποδοχέας αποσπάται με τη βοήθεια δύο χειρολαβών, αντιδιαμετρικά τοποθετημένων στο ανώτερο τμήμα του. Κατόπιν, επανατοποθετείται στο εσωτερικό του ΞΔΑ για την εκκίνηση νέου κύκλου λειτουργίας.

Τόσο για τον δακτύλιο ανάρτησης του πλέγματος επί του θαλάμου, όσο και για το πλέγμα αυτό καθαυτό, κατασκευαστικά επιλέχθηκε κράμα αλουμινίου του τύπου 'Aluminium 1060 Alloy'. Ο συγκεκριμένος τύπος αλουμινίου, εκτός από την ανοξειδωτή φύση του, χαρακτηρίζεται από υψηλή δυνατότητα μορφοποίησης και σχετικά χαμηλό κόστος.

Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων

Εικόνα 31: Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων πάνω όψη (αριστερά) και κάτω όψη (δεξιά)

Στο συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων (Plenum) συγκεντρώνονται οι ποσότητες υδρατμών, που τυχόν προέκυψαν κυρίως από την επαφή του θερμού αέρα με τα ψυχρά τοιχώματα του θαλάμου. Είναι τοποθετημένος στο κατώτερο τμήμα του θαλάμου, ώστε οι υδρατμοί να συσσωρεύονται σε αυτόν, κατερχόμενοι υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων είναι ένα αξονοσυμμετρικό στερεό μορφής 'πιάτου'. Η άνω επιφάνειά του είναι διαμορφωμένη ως υποδοχέας και το κεντρικό της τμήμα είναι ανασηκωμένο, ώστε οι ποσότητες του συμπυκνωμένου ύδατος να οδηγούνται προς την περίμετρο του 'πιάτου'. Στην περιοχή αυτή ο συλλεκτήρας φέρει κυκλική σπή μικρής διαμέτρου, στην οποία προσαρμόζεται σωλήνωση για την έξοδο των συμπυκνωμάτων. Η κάτω επιφάνειά του φέρει πτερύγια 'οδηγούς' που κατευθύνουν τη ροή του 'θερμού' αέρα, από την πτερωτή του ανεμιστήρα, προς το χώρο ξήρανσης.

Για την κατασκευή του συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε επίσης πηλός τύπου 'Stoneware' (Spanish Clay).

Πώμα

Εικόνα 32: Πώμα του ΞΔΑ

Μέσω του πώματος επιτυγχάνεται η τροφοδοσία του υποδοχέα με τις παραγόμενες ποσότητες διατροφικών αποβλήτων, ενώ η απόσπασή του διευκολύνει, προκειμένου να παραληφθεί το ξηρό προϊόν. Το πώμα τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα του ξηραντήρα και έχει σχήμα κυκλικό. Περιμετρικά είναι διαμορφωμένο έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερή συναρμογή του με τον υποδοχέα. Η

σταθερή προσαρμογή του συντελεί στην απουσία έκλυσης οσμών στον περιβάλλοντα χώρο του ΞΔΑ και στη συγκράτηση του θερμικού φορτίου του αέρα ξήρανσης στο εσωτερικό του θαλάμου. Επιπλέον, για την αποφυγή έκλυσης οσμών, στο κέντρο του πώματος διανοίγεται κυκλική οπή, στο εσωτερικό της οποίας προσαρμόζεται φίλτρο απόσμησης.

Ο πηλός τύπου ‘Stoneware’ αποτελεί επίσης το υλικό κατασκευής του, αφού διασφαλίζει τη θερμική μόνωση του χώρου ξήρανσης εκ των άνω, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

Θερμικός δίσκος



Εικόνα 33: Θερμικός Δίσκος

Ο θερμικός δίσκος (Thermal Plate) είναι μία μεταλλική πλάκα κυκλικού σχήματος επί της οποίας προσαρμόζεται το θερμικό καλώδιο. Προσαρτάται στη βάση του ΞΔΑ, όπου βρίσκεται και ο ανεμιστήρας. Προκειμένου να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη περιστροφή της πτερωτής του ανεμιστήρα, φέρει στο κεντρικό του τμήμα ευμεγέθη κυκλική οπή. Ως προς τη λειτουργικότητά του, συντελεί στην διατήρηση των θερμικών φορτίων στην περιοχή θέρμανσης του εισερχόμενου ‘νωπού’ αέρα, αλλά και στο χώρο αναρρόφησης του αέρα από τα διάκενα της βάσης.

Για την κατασκευή του θερμικού δίσκου επιλέχθηκε κράμα αλουμινίου του τύπου ‘Aluminum 1060 Alloy’, που παρέχει εύκολη κατεργασιμότητα και κοπή με στράτζα – ψαλίδι στις επιθυμητές διαστάσεις.

Διάταξη απόσμησης



Εικόνα 34: Διάταξη απόσμησης: υποδοχέας & πώμα

Το φίλτρο απόσμησης αποτελείται από τον υποδοχέα του μέσου απόσμησης και το πώμα. Προσαρμόζεται στην κυκλική εσοχή του πώματος της συσκευής ξήρανσης και εκτός από την απόσμηση που επιτυγχάνει, αφού δεσμεύει τις ενώσεις των απαερίων που παράγονται κατά την ξήρανση και είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών, λειτουργεί και ως δίοδος εξόδου του ‘θερμού’ αέρα από τον ΞΔΑ προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Ο υποδοχέας του μέσου απόσμησης είναι κυλινδρικός και φέρει διάκενα επί της παράπλευρης επιφάνειάς του. Τα διάκενα είναι τέτοιου μεγέθους, ώστε να επιτρέπουν τη διέλευση του ‘θερμού’ αέρα στο εσωτερικό του και παράλληλα να παρεμποδίζουν την διαφυγή των ‘pellets’ του μέσου

απόσμησης (ενεργός άνθρακας). Το πώμα του φίλτρου, επίσης, φέρει διάκενα για την έξοδο του 'θερμού' αέρα στο περιβάλλον.

Η συνολική διάταξη του φίλτρου απόσμησης (υποδοχέας και πώμα) κατασκευάστηκε από πολυπροπυλένιο (PP). Ο συγκεκριμένος τύπος θερμοσκληρυνόμενου πλαστικού επιλέχθηκε έναντι του πολυαιθυλενίου (PE), λόγω της υψηλότερης αντοχής του έναντι των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη ξήρανση στο εσωτερικό του θαλάμου.

Συναρμολογημένη διάταξη



Εικόνα 35: Συναρμολογημένη διάταξη σε προοπτική όψη και σε τομή

Έχοντας ολοκληρώσει την περιγραφή των δομικών μερών του ξηραντήρα, λαμβάνεται υπόψη η διάταξη ως σύνολο (συναρμολογημένη) και εξηγείται συνοπτικά ο τρόπος λειτουργίας της.

Αρχικά, ο χρήστης εισάγει στο εσωτερικό του υποδοχέα τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες ΔΑ της κατοικίας, τον τοποθετεί με την βοήθεια των χειρολαβών στο θάλαμο του ΞΔΑ και κλείνει χειρωνακτικά το πώμα. Κατόπιν, ενεργοποιεί τις διατάξεις του ανεμιστήρα και του θερμικού καλωδίου, προκειμένου να ξεκινήσει ο κύκλος λειτουργίας του συστήματος. Ο νωπός ατμοσφαιρικός αέρας, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εισέρχεται μέσω των διακένων της βάσης στο εσωτερικό του συστήματος. Εν συνεχεία, θερμαίνεται στο χώρο, που βρίσκεται μεταξύ του θερμικού δίσκου (κάτω όριο), του υποδοχέα συμπυκνωμάτων (άνω όριο) και του ανώτερου τμήματος της βάσης (παράπλευρο – περιμετρικό όριο). Μέσω της πτερωτής του ανεμιστήρα, ο θερμός πια αέρας εξαναγκάζεται να διέλθει ακτινικά στο διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ της περιφέρειας του υποδοχέα συμπυκνωμάτων και της εσωτερικής περιφέρειας του θαλάμου. Τελικά, εισέρχεται στο χώρο του υποδοχέα ΔΑ, όπου και απάγει βαθμιαία την υγρασία των ΔΑ. Οι υδρατμοί, που ενδεχομένως δημιουργηθούν, οδηγούνται λόγω βαρύτητας στον συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων και μέσω σωλήνωσης εξέρχονται του ΞΔΑ. Ο θερμός και νωπός αέρας ξήρανσης, εξερχόμενος του συστήματος διέρχεται από το εσωτερικό του φίλτρου απόσμησης ενεργού άνθρακα, όπου δεσμεύονται οι χημικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών.

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοποίησης προδιαλεγμένων στην πηγή βιοαποβλήτων, με τη μελέτη των διεργασιών της ζήρασης και της κομποστοποίησης. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, τέθηκαν οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

α) ως πρώτο στάδιο εξετάστηκαν είκοσι δείγματα ξηραμένων βιοαποβλήτων ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Τα δείγματα ξηρού υλικού ήταν διαφορετικής σύστασης και το καθένα από αυτά αποτελούνταν κυρίως από διατροφικά απόβλητα. Η πηγή προέλευσης των υπό εξέταση δειγμάτων ήταν οργανικά υλικά από μεγάλη ξενοδοχειακή μονάδα της Αττικής. Δόθηκε έμφαση στην ανάλυση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των βιοαποβλήτων και κρίθηκε αναγκαία και σημαντική, εφόσον αυτά επιδρούν στις βιολογικές διεργασίες, που συντελούνται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

Κατά το στάδιο αυτό, επίσης καταγράφηκαν και υπολογίστηκαν η μείωση της μάζας και του όγκου του υλικού, καθώς και η ενεργειακή κατανάλωση και ο χρόνος που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της ζήρασης, στην συσκευή που χρησιμοποιήθηκε.

β) Κατόπιν, αναμίχθηκαν ίσες ποσότητες από κάθε δείγμα ξηραμένων βιοαποβλήτων και δημιουργήθηκε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα ξηρού υλικού για να χρησιμοποιηθεί κατά την διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά το στάδιο της κομποστοποίησης, πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων κομποστοποίησης με χρήση αυτόματου κομποστοποιητή.

Το αρχικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείτο από συνθετικά μίγματα διατροφικών απορριμμάτων, καθώς και από απόβλητα κήπων. Κάθε κύκλος πειραμάτων διέφερε σε σχέση με τους υπόλοιπους ως προς την ποσοστιαία σύσταση των οργανικών υλικών, που διετίθεντο προς κομποστοποίηση. Ειδικότερα, επιλέχθηκε να μεταβάλλεται η αναλογία ξηρών και νωπών βιοαποβλήτων.

Το πειραματικό μέρος ολοκληρώθηκε με την διεξαγωγή της κομποστοποίησης και τον προσδιορισμό όλων των φυσικοχημικών παραμέτρων που είναι δυνατό να επηρεάσουν την εξέλιξή της και να καθορίσουν την ποιότητα του τελικού της προϊόντος (κόμποστ).

Ακολούθως περιγράφονται αναλυτικότερα τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας.

5.2 Μεθοδολογία και στάδια πειραματικής διαδικασίας

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων προηγήθηκε το στάδιο της ξήρανσης, ώστε να προκύψουν τα ξηραμένα βιοαπόβλητα, που αργότερα θα χρησιμοποιούνταν ως συστατικό στοιχείο του αρχικού μίγματος (υποστρώματος) κομποστοποίησης. Στη συνέχεια, ακολούθησε το στάδιο της κομποστοποίησης μίγματος βιοαποβλήτων, κατά τη διάρκεια του οποίου γινόταν παρακολούθηση των βασικών λειτουργικών παραμέτρων της διεργασίας, όπως η θερμοκρασία, ο αερισμός και η υγρασία και λαμβάνονταν δείγματα από το μίγμα, στα οποία πραγματοποιούνταν ανάλυση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών τους. Για την ολοκλήρωση του πειραματικού μέρους, έγινε προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και ο χαρακτηρισμός του τελικού προϊόντος (κόμποστ).

5.2.1 Στάδιο 1ο: Ξήρανση

Στο πρώτο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας, τα διαχωρισμένα στην πηγή βιοαπόβλητα οδηγήθηκαν προς ξήρανση σε συσκευή εμπορικού τύπου, η περιγραφή και λειτουργία της οποίας δίνεται στην υποενότητα 5.2.1.1 που ακολουθεί. Σημειώνεται ότι τα βιοαπόβλητα στα οποία πραγματοποιήθηκε ξήρανση, δεν είχαν προκαθορισμένη σύσταση, καθώς αποτελούνταν από οργανικά υλικά προερχόμενα από μεγάλη ξενοδοχειακή μονάδα της Αττικής.

5.2.1.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης ξήρανσης βιοαποβλήτων



Εικόνα 36 : Ξηραντήρας διατροφικών αποβλήτων

Για την επίτευξη της διεργασίας αξιοποιήθηκε ξηραντήρας, η φωτογραφία του οποίου δίνεται στην Εικόνα 34, που επιτρέπει την αποκεντρωμένη ξήρανση μεγάλων ποσοτήτων βιοαποβλήτων. Τα λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του, η περιγραφή των επιμέρους εξαρτημάτων που το απαρτίζουν, καθώς και οι κατηγορίες των οργανικών υλικών που επιτρέπεται να εισαχθούν σε αυτόν δίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Λειτουργία ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων

Πίνακας 14: Λειτουργικά χαρακτηριστικά ξηραντήρα

Χωρητικότητα	50 kg/κύκλο, 2 κύκλοι/ημέρα
Χρόνος ξήρανσης	6-9 ώρες/κύκλο
Χρόνος που απαιτείται για τη ψύξη του ξηραντήρα	1-2 ώρες/κύκλο
Θερμοκρασία κυλίνδρου λαδιού	165°C ± 15°C

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με το χρόνο λειτουργίας του ξηραντήρα δίνονται οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Ισούται με το άθροισμα του χρόνου ξήρανσης και του χρόνου που απαιτείται για τον τερματισμό της λειτουργίας του.
- Διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος των διατροφικών αποβλήτων που επιδιώκεται να ξηρανθούν και τη ρύθμιση της τιμής της θερμοκρασίας.
- Είναι πιθανό να αυξηθεί στην περίπτωση που:
 - το αρχικό περιεχόμενο σε υγρασία των διατροφικών αποβλήτων είναι υψηλό
 - εισάγονται κολλώδη διατροφικά απόβλητα
 - η θερμοκρασία ρυθμίζεται σε τιμή χαμηλότερη της προτεινόμενης στον παραπάνω πίνακα

Τεχνικά χαρακτηριστικά ξηραντήρα

Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά ξηραντήρα

Μοντέλο	GC-100
Χωρητικότητα	50 kg/κύκλο, 2 κύκλοι/ημέρα
Διαστάσεις: - Μήκος - Βάθος - Ύψος	1.400 mm 950 mm 1291 mm
Κινητήρας	0,4 kW, 150:1, 380 V, 50 Hz
Ανεμιστήρας - Πίεση - Ροή - Κινητήρας	max. 700 mmAq max. 1,0 m ³ /min 0,2 kW
Κύλινδρος λαδιού	6 kW
Συμπυκνωτής	0,112 kW
Πετρέλαιο θέρμανσης	24 L
Απαιτούμενη Ισχύς	6,7 kW
Ρεύμα	10,2 Amp
Βάρος	600 kg

Λίστα πρόσθετων εξαρτημάτων

Πίνακας 16: Πρόσθετα εξαρτήματα ξηραντήρα

Πόρτα εισαγωγής διατροφικών αποβλήτων	
Πόρτα εκφόρτωσης διατροφικών αποβλήτων	
Φίλτρο σκόνης	
Χρονόμετρο	
Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας	
Αισθητήρας ασφαλείας	

Πίνακας 17: Αποδεκτά και μη αποδεκτά υλικά για τον ξηραντήρα

Υλικά που είναι δυνατό να εισαχθούν στον ξηραντήρα	Υλικά που πρέπει να αποφεύγονται να εισαχθούν στον ξηραντήρα
Φρούτα	Ξύλα
Λαχανικά (εκτός από ξυλώδη υλικά)	Μέταλλα
Ζυμαρικά	Πέτρες
Ρύζι	Πλαστικά
Πατάτες, αμυλούχα τρόφιμα	Κεραμικά
Είδη αρτοποιίας	Κόκκαλα
Ψάρι	Υφάσματα
Κρέας	

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όσον αφορά στη φύση και είδος υλικών που είναι δυνατό να εισαχθούν στον ξηραντήρα, διευκρινίζεται ότι όλα τα οργανικά απόβλητα είναι αποδεκτά, εκτός των παρακάτω στοιχείων:

5.2.1.2 Πειραματικό πρωτόκολλο ξήρανσης – παράμετροι μελέτης

Το πρωτόκολλο της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε στο στάδιο της ξήρανσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα: Αρχικά τα βιοαπόβλητα ζυγίζονται, γίνεται καταγραφή της μάζας και εισάγονται στον υποδοχέα των διατροφικών αποβλήτων. Στη συνέχεια ενεργοποιείται η συσκευή ξήρανσης και κάθε κύκλος της διεργασίας ολοκληρώνεται ύστερα από οκτώ ώρες. Μετά το πέρας του προκαθορισμένου χρόνου (8 ώρες), το ξηραμένο υλικό εξάγεται και καταγράφεται η τελική του μάζα. Επίσης καταγράφεται και η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής. Η διεργασία της ξήρανσης διενεργήθηκε για πολλαπλούς κύκλους έως ότου παραληφθούν τα είκοσι διαφορετικά δείγματα βιοαποβλήτων που εξετάστηκαν ως προς τις φυσικοχημικές τους παραμέτρους.

Επιπροσθέτως, ο προσδιορισμός μείωσης της μάζας κατέστη δυνατός με τη χρήση ηλεκτρονικής ζυγαριάς. Αναλυτικότερα, πριν από την έναρξη της ξήρανσης, το αρχικό νωπό υλικό ζυγιζόταν και γινόταν καταγραφή της μάζας του. Οι ίδιες ακριβώς ενέργειες επαναλαμβάνονταν για το υλικό μετά το τέλος της ξήρανσης, ώστε να προσδιοριστεί η μείωση της μάζας του, λόγω της απομάκρυνσης υγρασίας. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμοζόταν για κάθε οκτάωρο κύκλο ξήρανσης.



Εικόνα 37: Ζύγιση αρχικού νωπού υλικού για την καταγραφή της μάζας του



Εικόνα 38 Ζύγιση υλικού που παραλήφθηκε μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης και την εξαγωγή του από τον ξηραντήρα

Τέλος, η μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης πραγματοποιήθηκε μέσω ειδικής συσκευής, που τοποθετήθηκε στο σημείο σύνδεσης του καλωδίου του ξηραντήρα με την παροχή ηλεκτρικού

ρεύματος. Το εν λόγω εξάρτημα, εκτός από την ενεργειακή κατανάλωση, καταγράφει και το χρόνο λειτουργίας του ξηραντήρα.



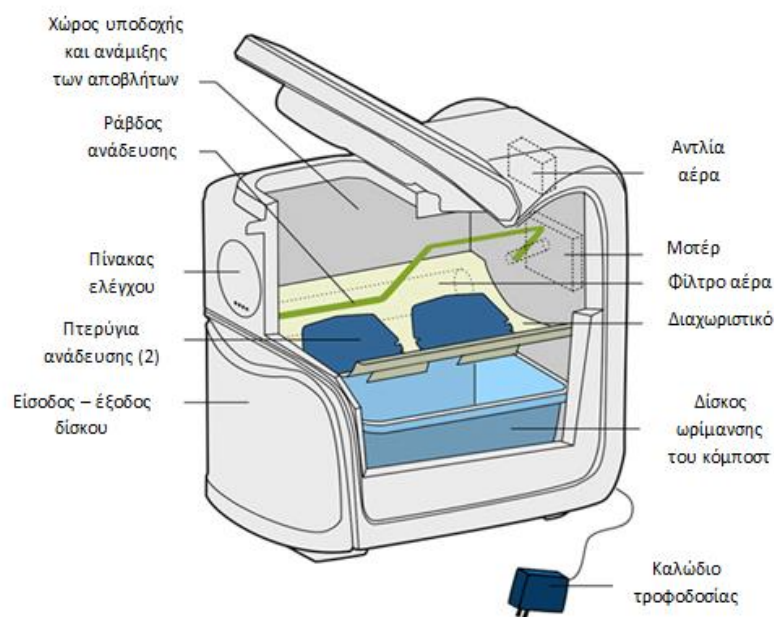
Εικόνα 39: Συσκευή μέτρησης ενεργειακής κατανάλωσης και χρόνου λειτουργίας

5.2.2 Στάδιο 2ο: Κομποστοποίηση

Στο στάδιο αυτό, διεξήχθη η κομποστοποίηση μίγματος νωπών και ξηρών διατροφικών αποβλήτων με τη χρήση ενός αυτόματου κομποστοποιητή. Τα ξηρά διατροφικά απόβλητα προέκυψαν ως αποτέλεσμα της ξήρανσης, που προηγήθηκε. Με στόχο να μελετηθεί η διεργασία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες καθόλη την διάρκειά της και εξετάστηκαν οι φυσικοχημικοί παράγοντες, που την επηρεάζουν.

5.2.2.1 Περιγραφή και λειτουργία αυτόματου κομποστοποιητή «Naturemill»

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ο κομποστοποιητής της εταιρείας «Naturemill», μια ηλεκτρική συσκευή κατάλληλα κατασκευασμένη για να λειτουργεί σε εσωτερικούς χώρους. Τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 40: Απεικόνιση των τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται ο αυτόματος κομποστοποιητής «Naturemill»

(<http://www.naturemill.net/>, Ιδία επεξεργασία)

Για να γίνει καταννοητή η λειτουργία του, πρέπει να αναφερθούν τα εξής: Αρχικά εισάγεται στον θάλαμο υποδοχής των αποβλήτων το προς κομποστοποίηση οργανικό υλικό, το οποίο έχει προηγουμένως αναμειχθεί ώστε να είναι ομοιογενές. Το οργανικό υλικό παραμένει στο χώρο αυτό για διάστημα σχεδόν ενός μήνα. Κατά τη χρονική αυτή περίοδο είναι απαραίτητο να θερμαίνεται, αερίζεται και αναδεύεται, ώστε να μετατραπεί σταδιακά σε κόμποστ. Οι λειτουργίες αυτές επιτελούνται με τη βοήθεια του συστήματος θέρμανσης, ανάδευσης και αερισμού που διαθέτει ο κομποστοποιητής. Πιο συγκεκριμένα, το διαχωριστικό που συγκρατεί τα οργανικά απόβλητα είναι στην ουσία μια θερμαινόμενη πλάκα, μέσω της οποίας η θερμοκρασία στο θάλαμο ανάδευσης φτάνει τους 60 °C. Ενώ, η ανάδευση επιτυγχάνεται μέσω της περιστροφής της ράβδου ανάδευσης. Μετά την παρέλευση του απαιτούμενου διαστήματος, η θερμαινόμενη πλάκα αναποδογυρίζει και το οργανικό υλικό συγκεντρώνεται στο εσωτερικό του δίσκου. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 41: Αναπαράσταση της λειτουργίας του κομποστοποιητή «Naturemill»

Γενικές πληροφορίες για τον αυτόματο κομποστοποιητή



Εικόνα 42: Αυτόματος κομποστοποιητής «Naturemill»

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ο κομποστοποιητής είναι κατασκευασμένος από το υλικό «temperene», το οποίο είναι ανακυκλώσιμο, ανθεκτικό και μοιάζει με μονωτικό υλικό. Στο εσωτερικό του, πολλά εξαρτήματα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι. Η χωρητικότητά του, που είναι 8-15 L την εβδομάδα, καθιστά δυνατή τη χρήση του για τα παραγόμενα οργανικά απορρίματα που δημιουργούνται από έως και 5 άτομα. Η ενεργειακή του κατανάλωση αντιστοιχεί σε περίπου 0.5 \$ το μήνα. Τέλος, η μείωση των οργανικών αποβλήτων σε όγκο και βάρος, που επιτυγχάνεται, είναι 70 % ή και μεγαλύτερη.

Εγκατάσταση

Για χρήση σε εσωτερικό χώρο - εντός της οικίας - είναι προτιμότερο το σημείο εγκατάστασης του κομποστοποιητή να βρίσκεται κοντά ή μέσα στην κουζίνα, διότι κατ' αυτόν τον τρόπο τα διατροφικά απόβλητα είναι πιο εύκολο να μεταφερθούν. Επιπρόσθετα, η εγκατάστασή του πρέπει να πραγματοποιείται σε μέρος όσο το δυνατόν πιο ζεστό, όπως κοντά σε φούρνο ή απευθείας εκτεθειμένο στον ήλιο. Τα προαναφερθέντα απαιτούνται γιατί, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία στο σημείο της εγκατάστασης (μέχρι τους 120 F ή 50°C), τόσο πιο ευνοϊκές είναι οι συνθήκες για την παραγωγή του κόμποστ. Αντιθέτως, χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην ποιότητά του. Σε περίπτωση χρήσης στην ύπαιθρο, ο κομποστοποιητής πρέπει να διατηρείται στεγνός και όσο το δυνατόν πιο ζεστός.

Γενικές οδηγίες κατά τη χρήση του κομποστοποιητή σύμφωνα με τον κατασκευαστή

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική διεργασία ανακύκλωσης διατροφικών αποβλήτων και μετατροπή τους σε εδαφοβελτιωτικό, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 4.1. Για να πραγματοποιηθεί, πρέπει να επικρατούν κατάλληλες συνθήκες και για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά, όπως το πριονίδι, ένα «καφέ» συστατικό, που εξισορροπεί τα «πράσινα» διατροφικά απόβλητα και η μαγειρική σόδα, που ελαττώνει την οξύτητα. Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιες γενικές παρατηρήσεις, που λειτουργούν καθοδηγητικά στην πορεία της κομποστοποίησης:

Για να αποφευχθεί εμπλοκή ή ζημιά στη συσκευή, τα διατροφικά απόβλητα πρέπει να εισάγονται στον κομποστοποιητή σε κομμάτια των 4 ιντσών (10 cm) ή σε μικρότερα.

Τα παρακάτω πρέπει να εισάγονται στον κομποστοποιητή σε περιορισμένες ποσότητες:

- Τρόφιμα με έντονες μυρωδιές όπως το μπρόκολο και το σκόρδο, για την αποφυγή έντονων οχλήσεων οσμής
- Τα εσπεριδοειδή, συμπεριλαμβανομένων του λεμονιού, του κίτρου, των πορτοκαλιών, του γκρέιπφρουτ, του ανανά και άλλων όξινων ειδών, διότι το οξύ εξοντώνει τους πληθυσμούς των μικροοργανισμών που συντελούν στην κομποστοποίηση.

Επίσης τα παρακάτω είδη συνιστάται να αποφεύγονται, καθώς δεν είναι δυνατό να κομποστοποιηθούν και μπορούν να δημιουργήσουν λειτουργικά προβλήματα στη συσκευή.

Ινώδη στοιχεία όπως: σκληρά κοτσάνια φυτών, φλούδες καλαμποκιού, λεμονόχορτο κ.λ.π.

Σκληρά στοιχεία όπως: σπόρια καλαμποκιού, κόκκαλα από μπριζόλα, κουκούτσια φρούτων, κελύφη από αστακό και οστρακοειδή, φελλός του κρασιού, τσόφλια από καρύδια κ.λ.π. Όλα τα προαναφερθέντα είναι δυνατό να προκαλέσουν ζημιά στη συσκευή.

Χαρτί : εφημερίδα, σχισμένα χαρτιά, χάρτινα ποτήρια, φίλτρα καφέ, σακουλάκια τσαγιού. Κάποια είδη χαρτιού είναι πιθανό να περιέχουν επικίνδυνα χημικά.

Συνθετικά είδη : πλαστικό, μέταλλο, γυαλί, καουτσούκ, ίνες υφάσματος, χημικά, σαπούνη, απορρυπαντικά, καλλυντικά, φάρμακα, σακούλες κ.λ.π. Συγκεκριμένα, το σαπούνη και τα χημικά καταστρέφουν τους μικροοργανισμούς, που πραγματοποιούν την κομποστοποίηση.

Τα διατροφικά απόβλητα που μπορούν να κομποστοποιηθούν, κατανέμονται στις εξής κατηγορίες που δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 18: Κατανομή διατροφικών αποβλήτων σε «πράσινα» και «καφέ» συστατικά

«Πράσινα» συστατικά	«Καφέ» συστατικά
περισεύματα από φρούτα και λαχανικά	πριονίδι, σφαιρίδια από ξυλόσομπα
κρέας, κοτόπουλο, ψάρι	σχισμένα χαρτιά
μικρά κόκκαλα από ψάρι και κοτόπουλο	άχυρο
κελύφη και ουρές από γαρίδες	ψωμί, ρύζι, ζυμαρικά
τυρί, αυγά, τσόφλια αυγού	σπόροι, δημητριακά, κράκερ
φύλλα τσαγιού	πατατάκια καλαμποκιού
αποκόμματα γρασιδιού ή φυτών	κόκκοι καφέ

Σχετικά με τη χρήση του κόμποστ

Το παραγόμενο κόμποστ είναι δυνατό να αξιοποιηθεί σε κήπους και πιο συγκεκριμένα σε θάμνους, δέντρα και στο γκαζόν. Για την καλύτερη χρήση του είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

Το υγιές κόμποστ διαθέτει μία ήπια οργανική οσμή

Το φρέσκο κόμποστ είναι κατάλληλο για υπαίθρια χρήση, αλλά εφόσον δεν είναι ακόμα ώριμο, είναι πιθανό να προσελκύσει έντομα. Από την άλλη, για χρήση σε εσωτερικό χώρο, είναι απαραίτητο πρώτα να ωριμάσει και να στεγνώσει σε εξωτερικό χώρο για πολλές μέρες ή και εβδομάδες.

Εναλλακτική επιλογή αποτελεί η ωρίμανση του κόμποστ σε έναν κάδο ή μια γλάστρα στον πυθμένα των οποίων πρέπει να υπάρχει μία μικρή τρύπα αποστράγγισης. Ο κάδος ή η γλάστρα πρέπει να παραμένουν ξεσκέπαστα, εφόσον απαραίτητη για την διεκπεραίωση της ωρίμανσης είναι η πρόσληψη οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς. Το κρύο, η παγωνιά ή η βροχή καθυστερούν την ωρίμανση.

Το κόμποστ είναι πολύ δραστικό και για το λόγο αυτό μπορεί να οδηγήσει στο κάψιμο ευαίσθητων ριζών των φυτών. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό συνιστάται να απλώνεται μόνο στην επιφάνεια του εδάφους.

Σχετικά με την ποιότητα του κόμποστ

Το **υγιές κόμποστ** είναι σκούρο σε χρώμα, νωπό, ζεστό και αναδίδει μια οργανική οσμή σαν βρεγμένο άχυρο. Η προσθήκη προς κομποστοποίηση διατροφικών αποβλήτων, που διαθέτουν έντονη γεύση ή μυρωδιά (π.χ. κρέας, τυρί, σκόρδο) ισχυροποιούν τις οσμές.

Η **έντονη μυρωδιά «απορριμάτων»** αποτελεί ένδειξη ότι οι μικροοργανισμοί έχουν καταστραφεί. Στην περίπτωση αυτή, το οργανικό υλικό είναι κρύο και χρώματος ανοιχτού καφέ. Ως επόμενο βήμα ενδείκνυται η απομάκρυνση του κόμποστ, καθώς αυτό θεωρείται πλέον ακατάλληλο για χρήση. Οι αιτίες που είναι πιθανό να οδηγήσουν στο παραπάνω φαινόμενο συνοψίζονται στις εξής :

- ανεπαρκείς αρχικοί πληθυσμοί μικροβίων,
- η μη κατάλληλη ποσότητα αποβλήτων χρώματος καφέ,
- η προσθήκη μη σωστής ποσότητας πρόσθετου υλικού, όπως π.χ. η μαγειρική σόδα,
- η υπερβολική περιεχόμενη υγρασία του αρχικού υλικού (υποστρώματος),
- η ψυχρή τοποθεσία,
- η προσθήκη σαπουνάδας ή χημικών,
- προβλήματα στην τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας
- η υπερβολική προσθήκη ποσότητας όξινων αποβλήτων, όπως είναι τα μούρα, τα σταφύλια, τα πορτοκάλια, οι ντομάτες, το ξύδι, το λεμόνι, το γκρέιπφρουτ και ο ανανάς.
- Το ενδεχόμενο δημιουργίας ενός τέτοιου προβλήματος περιορίζεται με την προσθήκη επαρκών καφέ στοιχείων και την περιορισμένη χρήση όξινων υλικών.

Οι **οσμές αμμωνίας** παρατηρούνται συνήθως στα διατροφικά απόβλητα και είναι ενδεικτικές της ανεπάρκειας σε καφέ συστατικά. Συνεπώς, απαιτείται μελλοντικά να προστεθούν περισσότερα καφέ στοιχεία, όπως πριονίδι, σχισμένα χαρτιά ή φύλλα από τον κήπο.

Πλημμύρισμα: Στην περίπτωση που ο δίσκος του κομποστοποιητή περιέχει υγρό, αλλά το κόμποστ φαίνεται υγιές και στεγνό, συνιστάται η προσθήκη λιγότερων υλικών με αυξημένη υγρασία ή περισσότερων ξηρών συστατικών.

Ξηρότητα: Εάν το κόμποστ είναι στεγνό και τραγανιστό, με τις στεγνές περιοχές του να μην έχουν κομποστοποιηθεί πλήρως, είναι σκόπιμο να προστεθούν περισσότερα υλικά με αυξημένη υγρασία (φρούτα, λαχανικά κ.λ.π.).

Δομή: Το κόμποστ πρέπει να είναι σπογγώδες και αφράτο, όπως το λίπασμα. Εάν είναι κατά τμήματα ενοποιημένο (σβωλιασμένο), απαιτείται να προστεθούν μελλοντικά μικρότερα, πιο μαλακά συστατικά. Ενώ σε περίπτωση που παρατηρηθούν μεγάλα, ξεχωριστά, μη κομποστοποιημένα κομμάτια, καθίσταται αναγκαίο να τεμαχιστούν σε μικρότερα.

5.2.2.2 Πειραματικό πρωτόκολλο κομποστοποίησης

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την διεξαγωγή τριών κύκλων κομποστοποίησης. Σε κάθε κύκλο, το προς κομποστοποίηση μίγμα είχε διαφορετική σύσταση, αφού μεταβαλλόταν η αναλογία ξηρών και νωπών διατροφικών απορριμάτων. Το αρχικό υπόστρωμα συγκροτείτο από πράσινα απόβλητα (λεπτά κλαριά, χλώρα και ξερά φύλλα), νωπά και ξηρά διατροφικά απόβλητα. Η ακριβής σύστασή του για κάθε πειραματικό κύκλο παρατίθεται ακολούθως:

Πίνακας 19: Σύσταση (kg) του αρχικού υποστρώματος για κάθε κύκλο κομποστοποίησης

ΣΥΣΤΑΣΗ	1ος ΚΥΚΛΟΣ	2ος ΚΥΚΛΟΣ	3ος ΚΥΚΛΟΣ
ΞΗΡΟ (kg)	0,2	0,6	1
ΝΩΠΟ (kg)	1,5	1,1	0,7
ΠΡΑΣΙΝΑ (kg)	0,3	0,3	0,3
ΣΥΝΟΛΟ (kg)	2	2	2

Πίνακας 20: Σύσταση (%) του αρχικού υποστρώματος για κάθε κύκλο κομποστοποίησης

ΣΥΣΤΑΣΗ	1ος ΚΥΚΛΟΣ	2ος ΚΥΚΛΟΣ	3ος ΚΥΚΛΟΣ
ΞΗΡΟ (%)	10	30	50
ΝΩΠΟ (%)	75	55	35
ΠΡΑΣΙΝΑ (%)	15	15	15
ΣΥΝΟΛΟ (%)	100	100	100

Σημειώνεται ότι όλα τα συστατικά του μίγματος των οργανικών αποβλήτων αναμίχθηκαν μεταξύ τους κατά την εισαγωγή τους στον κομποστοποιητή, ώστε να προκύψει ένα ομοιογενές μίγμα.

Επιπρόσθετα, τα νωπά διατροφικά απόβλητα τεμαχίστηκαν σε κομμάτια περίπου των 2 cm. Το μέγεθος αυτό επιτρέπει την δημιουργία διακένων αερισμού. Έτσι, καθίσταται δυνατή η παροχή οξυγόνου στους αερόβιους μικροοργανισμούς, που επιτελούν την αποδόμηση του οργανικού κλάσματος, ενώ παράλληλα αποφεύγεται η έκλυση δυσάρεστων οσμών, εφόσον δεν επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Σε όλους τους πειραματικούς κύκλους κομποστοποίησης, το μίγμα των νωπών διατροφικών αποβλήτων περιείχε τα παρακάτω συστατικά στις αναγραφείσες ποσότητες:

Πίνακας 21: Ποσοστιαία σύσταση νωπών διατροφικών αποβλήτων του πρώτου κύκλου κομποστοποίησης.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΥΛΙΚΟ	ΣΥΣΤΑΣΗ (%)
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	Πατάτα	9
	Κρεμμύδι	5
	Μαρούλι	25
	Πιπεριά	1
	Πράσινη σαλάτα	2
	Πράσσο	1
	Λάχανο	3
	Ντομάτα	2
ΦΡΟΥΤΑ	Πορτοκάλι	5
	Μπανάνα	11
	Μήλο	10
	Λεμόνι	2
ΟΣΠΡΙΑ	Φασόλια	4
	Ρεβύθια	4
ΜΑΚΑΡΟΝΙΑ/ΡΥΖΙ	Μακαρόνια/Ρύζι	13
ΨΩΜΙ & ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΑΡΤΟΠΟΪΙΑΣ	Ψωμί	3
ΣΥΝΟΛΟ		100

Συχνότητα δειγματοληψίας και προετοιμασία δειγμάτων

Για την διενέργεια των εργαστηριακών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία:

- α) από το μίγμα των οργανικών αποβλήτων, με το οποίο τροφοδοτήθηκε ο κομποστοποιητής,
- β) από το οργανικό υλικό που βρισκόταν εντός του κομποστοποιητή, κατά τη διάρκεια της διεργασίας,
- γ) από το ώριμο κόμποστ (μετά το τέλος της κομποστοποίησης, το παραγόμενο προϊόν αφηνόταν να ωριμάσει για διάστημα ενός μήνα).

Όσον αφορά τη συχνότητα δειγματοληψίας, τις πρώτες ημέρες εξέλιξης της διεργασίας λαμβάνονταν δείγματα καθημερινά, ενώ τις τελευταίες σε πιο αραιά χρονικά διαστήματα.

Η απαιτούμενη προετοιμασία των δειγμάτων περιελάμβανε την ομογενοποίησή τους, εφόσον είχε προηγηθεί η μέτρηση της υγρασίας τους. Για την ομογενοποίηση χρησιμοποιήθηκε μύλος άλεσης. Η επιτυγχανόμενη μέσω αυτού κοκκομετρία του υλικού θεωρείτο ικανοποιητική, εφόσον το δείγμα μπορούσε να διαπεράσει τους πόρους κόσκινου του 1 mm. Στην περίπτωση που αυτό δεν ήταν εφικτό, γινόταν προσπάθεια περαιτέρω μείωσης της κοκκομετρίας του υλικού με χρήση γουδιού. Τα ομογενοποιημένα δείγματα αποθηκεύονταν σε πλαστικά μπουκάλια, για να ακολουθήσει η ανάλυση των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών. Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζεται η διαδικασία ομογενοποίησης των δειγμάτων.



Εικόνα 43: Διαδικασία ομογενοποίησης δειγμάτων

5.2.2.3 Περιγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων που εξετάστηκαν σε κάθε δείγμα

Το σύνολο των φυσικοχημικών παραμέτρων που εξετάστηκαν, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, μαζί με τον αναγκαίο εξοπλισμό για τη διενέργεια των αντίστοιχων αναλύσεων.

Πίνακας 22: Οι φυσικοχημικές παράμετροι που εξετάστηκαν και ο απαιτούμενος για την διενέργεια των αναλύσεων εξοπλισμός

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
Θερμοκρασία	❖ Θερμοστοιχείο
Υγρασία	❖ Φούρνος ξήρανσης ❖ Ζυγός Ακριβείας
Αγωγιμότητα	❖ Αγωγιμόμετρο
pH	❖ Πεχάμετρο
Πτητικά Στερεά	❖ Φούρνος ξήρανσης ❖ Ξηραντήρας ❖ Ζυγός Ακριβείας
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	❖ Μονάδα υπολογισμού TOC
Ολικό Άζωτο (TN)	❖ Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm ❖ Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest ❖ Ζυγός ακριβείας
Λόγος C/N	—
Αμμωνιακά (NH ₄ ⁺)	❖ Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest ❖ Ζυγός ακριβείας
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	—
Μέταλλα	❖ Σύστημα χώνευσης με μικροκύματα ❖ Σύστημα διήθησης υπό κενό ❖ Ζυγός ακριβείας

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή κάθε παραμέτρου:

Θερμοκρασία

Η τιμή της θερμοκρασίας είναι ανάλογη της έντασης της μικροβιακής δραστηριότητας, που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης (υψηλή τιμή της θερμοκρασίας αποδίδεται σε έντονη δράση των μικροοργανισμών). Θεωρείται μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους, καθώς μέσω της γνώσης της είναι δυνατό να προσδιοριστεί το στάδιο, στο οποίο βρίσκεται η διεργασία της κομποστοποίησης (Haug, 1993; Kaiser, 1996; Tang et al., 2011). Η διατήρηση μιας βέλτιστης θερμοκρασίας στη θερμόφιλη φάση αποτελεί προϋπόθεση για ταχύτερη και πιο ολοκληρωμένη κομποστοποίηση (Lin, 2008; Kumar et al., 2010).

Επιπρόσθετα, καθορίζει το είδος των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται και το ρυθμό της βιοαποικοδόμησης (Kumar et al., 2010). Για το λόγο αυτό, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως βασική ρυθμιστική μεταβλητή ελέγχου της διεργασίας (Ugwuanayi, 1999).

Εκτός των προαναφερθέντων, όταν η τιμή της φτάσει περίπου τους 60 °C, επιτυγχάνεται η εξόντωση των ανεπιθύμητων παθογόνων μικροοργανισμών. Το γεγονός αυτό έχει επιβεβαιωθεί από έρευνες

πολλών επιστημόνων. Σε μία από τις έρευνες, όπου τα «total coliforms» χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτης των παθογόνων μικροοργανισμών, διαπιστώθηκε ότι όταν η θερμοκρασία έφτασε τους 65 °C, ο πληθυσμός των «total coliforms» μειώθηκε δραστικά (Lin, 2008). Σύμφωνα με άλλη έρευνα, η διατήρηση της θερμοκρασίας στους 55 °C για διάστημα 3 - 4 ημερών οδηγεί στην πλήρη εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών (López-Real & Foster, 1985). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Stentiford, εφόσον στα πειράματα που διεξήγαγε, επετεύχθη η πλήρης αδρανοποίηση των παθογόνων σε εύρος θερμοκρασιών 55 - 65 °C (Stentiford, 1996).

Υγρασία

Μέσω της υγρασίας συντελείται η μεταφορά των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών, που είναι απαραίτητες για τη μεταβολική λειτουργία των μικροοργανισμών (Liang et al., 2003). Η υγρασία επηρεάζει και εμμέσως την αερόβια μικροβιακή δραστηριότητα, εφόσον μπορεί να παρεμποδίσει τον αερισμό της μάζας του κόμποστ (Liang et al., 2003). Αναλυτικότερα, όταν τα επίπεδα υγρασίας είναι ιδιαίτερα υψηλά, τα διάκενα του υποστρώματος, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο αερισμός, αρχίζουν να φράσσονται και δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες.

Το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας εξαρτάται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τα βιολογικά χαρακτηριστικά των υλικών που πρόκειται να κομποστοποιηθούν (Liang et al., 2003; Cekmecelioglu et al., 2005; Kumar et al., 2010; Huet et al., 2012). Συνήθως, η βιοαποικοδόμηση διαφορετικών υποστρωμάτων ευνοείται όταν το περιεχόμενο σε υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 50 – 70 % (Iqbal et al., 2010). Ειδικότερα, για τη συγκομποστοποίηση πράσινων και διατροφικών αποβλήτων, το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας εκτιμάται περίπου στο 60 %, με βάση πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για ένα εύρος τιμών υγρασίας (45-75 %) (Kumar et al., 2010). Το παραπάνω συμπέρασμα συνδέεται άμεσα με τα πειράματα για την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς εκτός των άλλων πραγματοποιήθηκε και συγκομποστοποίηση πράσινων και διατροφικών αποβλήτων.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται ως μέτρο του διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ, όπου τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στη συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σε ένα διάλυμα. Η αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών άμεσα και έμμεσα. Κάθε είδος φυτού έχει διαφορετική ανεκτικότητα στα άλατα. Συνεπώς, η αγωγιμότητα μπορεί να υποδείξει αν ένα προϊόν είναι φυτοτοξικό όταν χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους. Υψηλή περιεκτικότητα σε άλας για ένα κόμποστ μπορεί να του προσδίδει υψηλή θρεπτική αξία, αλλά μπορεί και να καταστρέψει τα φυτά, να κάψει τις ρίζες και να καθυστερήσει τη διαδικασία βλάστησης. Η υπερβολικά υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα τη λήψη θρεπτικών συστατικών, αφού αυτά είναι διαλυμένα στο νερό και μέσω αυτού μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα άλατος μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας. (Μαργαρίτης, 2013)

Για τους παραπάνω λόγους, τα επίπεδα αλατότητας στις πρώτες ύλες πρέπει να προσδιοριστούν πριν αυτά χρησιμοποιηθούν στις διεργασίες κομποστοποίησης. Στις περιπτώσεις που τα άλατα δημιουργούν πρόβλημα στην ανάπτυξη του φυτού (όπως στις κηπευτικές και γεωργικές εφαρμογές), θα πρέπει να προηγείται η εκχύλιση τους από το κόμποστ πριν από την σπορά ή τη μεταφύτευση. Τόσο το νερό της βροχής όσο και της άρδευσης εκχυλίζουν τα άλατα. (Ζορπός, 1999)

pH

Το pH εκφράζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του υποστρώματος που πρόκειται να κομποστοποιηθεί. Η τιμή του καθορίζει το είδος των μικροοργανισμών που είναι δυνατό να αναπτυχθούν, για να επιτελέσουν την αποικοδόμηση του υποστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, τα βακτήρια δρουν σε ουδέτερο pH, ενώ οι μύκητες αναπτύσσονται καλύτερα σε ελαφρά όξινο. Μια ιδιαίτερα χαμηλή τιμή pH παρεμποδίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα και συνεπώς την εξέλιξη της κομποστοποίησης (Beck-Friis et al., 2001). Το ίδιο συμβαίνει και όταν η τιμή του pH είναι ιδιαίτερα υψηλή (πάνω από 9), καθώς το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία και παύει να είναι πλέον διαθέσιμο για τους μικροοργανισμούς (Storm, 1985; Guanzone & Holmer, 2003; Zhentong et al., 2013).

Κατά την έναρξη της διαδικασίας της κομποστοποίησης, η τιμή του pH μειώνεται, διότι παράγονται οργανικά οξέα από τη μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων (Beck-Friis et al., 2001; Guanzone & Holmer, 2003; Storm, 1985). Στη συνέχεια, με την ανάπτυξη και των υπόλοιπων μικροοργανισμών στο υλικό που κομποστοποιείται, η τιμή του pH αρχίζει να αυξάνει και σταθεροποιείται σε τιμές γύρω από το ουδέτερο pH (Guanzone & Holmer, 2003).

Όσον αφορά συγκεκριμένα την κομποστοποίηση διατροφικών αποβλήτων προστίθεται, επίσης, ότι:

- οι αερόβιοι μικροοργανισμοί δρουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα από την αρχή της διεργασίας σε χαμηλές τιμές pH, γεγονός που παρατείνει το χρόνο κομποστοποίησης. Για το λόγο αυτό, συνιστάται η χρήση πρόσθετων ουσιών (π.χ. ρυθμιστικών διαλυμάτων) για να διατηρηθεί το pH στα επιθυμητά επίπεδα, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία και να βελτιωθεί η αποδοτικότητά της,
- με βάση πειράματα που διενεργήθηκαν με οργανικά οικιακά απόβλητα (διατροφικά απορρίμματα και άλλα απόβλητα μαγειρείων) απεδείχθη ότι ο μεγαλύτερος ρυθμός βιοαποικοδόμησης επιτυγχάνεται, όταν το pH κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8. (Smårs et al., 2002)

Πτητικά Στερεά

Τα πτητικά στερεά, δηλαδή τα ξηρά στερεά που χάνονται με ανάφλεξη στους 550 °C, αποτελούν μια παράμετρο, μέσω της οποίας εκτιμάται η οργανική ύλη του υποστρώματος. Το περιεχόμενο σε πτητικά στερεά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης, εφόσον η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία αποσύνθεσης του οργανικού υλικού. Επιπρόσθετα, αναφέρεται ότι αποτελούν τις πιο άμεσα προσλήψιμες ενώσεις από τους μικροοργανισμούς, που εμπεριέχονται στο υπόστρωμα. Συνεπώς, η παρουσία τους βοηθάει στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας. (Μαργαρίτης, 2013)

Άνθρακας

Οι ενώσεις του άνθρακα παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για τη βιοαποικοδόμηση (Eklind & Kirchmann, 2000a). Οπότε τα απορρίμματα που επιδιώκεται να κομποστοποιηθούν, πρέπει να επιλεχθούν έτσι, ώστε ο περιεχόμενος σε αυτά άνθρακας:

να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για τη δράση των μικροοργανισμών,

να βρίσκεται στην επιθυμητή αναλογία σε σχέση με το περιεχόμενο άζωτο (λόγος C/N), για να μην επιβραδύνεται η διεργασία.

Μέσω των μετατροπών των συστατικών, που περιέχουν οργανικό άνθρακα, είναι δυνατό να εκτιμηθεί ο βαθμός της αποσύνθεσης ή και της ωρίμανσης αστικών κομποστοποιημένων αποβλήτων (Inoko et al., 1979; Harada et al., 1981). Τέλος, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, σχηματίζονται πτητικά λιπαρά οξέα (Kirchmann & Widén, 1994), μία μορφή άνθρακα που είναι φυτοτοξική και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, αν χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια (DeVleeschauwer et al., 1981).

Άζωτο

Η παρουσία του αζώτου στο προς κομποστοποίηση υλικό κρίνεται αναγκαία, εφόσον αυτό αποτελεί: βασικό συστατικό των πρωτεϊνών, που σχηματίζονται κατά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Χωρίς άζωτο οι μικροοργανισμοί είναι αδύνατο να πολλαπλασιαστούν. Θρεπτικό συστατικό, απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών.

Κατά την κομποστοποίηση, σημειώνονται αερίωδεις απώλειες αζώτου κυρίως με τη μορφή NH_3 (Witter & Lopez-Real, 1987; Martins & Dewes, 1992), αλλά μπορεί, επίσης, και με τη μορφή N_2 (Mahimairaja et al., 1994) ή NO_x (Martins & Dewes, 1992), ή ακόμα και του N_2O (Sibbesen & Lind, 1993). Για παράδειγμα, η κομποστοποίηση διαχωρισμένων στην πηγή οργανικών οικιακών απορριμμάτων συνδέεται με απώλειες αζώτου της τάξης του 50-60 % (Kirchmann & Widén, 1994; Brink, 1995).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό της αμμωνίας και συνεπώς τις απώλειες σε άζωτο είναι το pH, η θερμοκρασία, ο αερισμός, η ικανότητα απορρόφησης αμμωνίας και αμμωνίου από επιπρόσθετες ουσίες (Witter & Kirchmann, 1989) και η ύπαρξη διαθέσιμης ενέργειας που είναι δυνατό να οδηγήσει στην ακινητοποίηση του αζώτου (μετατροπή ανόργανου αζώτου σε οργανικό) (Kirchmann, 1985; Kirchmann & Witter, 1989). Ένας τρόπος μείωσης των απωλειών του αζώτου με τη μορφή NH_3 είναι η προσθήκη ενός υλικού πλούσιου σε άνθρακα, ώστε να αυξηθεί ο λόγος C/N (Eklind & Kirchmann, 2000b).

Λόγος C/N

Η αναλογία C/N των προς κομποστοποίηση υλικών είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα του κόμποστ και εξαρτάται από τις ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων αποβλήτων (Adhikari et al., 2008). Τα μείγματα των απορριμμάτων που έχουν λόγο C/N από 20/1 έως 35/1 θεωρούνται κατάλληλα (Guanzon & Holmer, 2003).

Για παράδειγμα, απορρίμματα, που περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό ξυλώδες υλικό ή εφημερίδες, έχουν λόγο C/N από 35/1 έως 40/1. Αντιθέτως, τα λεγόμενα «πράσινα» απόβλητα, όπως τα φρέσκα αγριόχορτα, τα κλαδέματα, τα απομεινάρια από την κουζίνα, περιέχουν σχετικά μεγάλα ποσοστά αζώτου. Από την ανάμειξη των δύο παραπάνω ειδών απορριμμάτων θα προκύψει ο επιθυμητός λόγος C/N. (Γιδαράκος, 2007)

Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πολύ μεγάλος λόγος C/N (πάνω από 40/1) ή πολύ μικρός (κάτω από 20/1) διαταράσσει τη βιολογική διαδικασία της αποσύνθεσης. Ο λόγος C/N των περισσότερων οργανικών αστικών απορριμμάτων κυμαίνεται μεταξύ 15-30/1. (Guanzon & Holmer, 2003)

Βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα είναι στοιχεία που βρίσκονται φυσιολογικά στο περιβάλλον, στο έδαφος και στα τρόφιμα και συνεπώς υπάρχουν, αλλά και μεταφέρονται σε κομποστοποιημένα οργανικά περισεύματα (Whittle & Dyson, 2002; Lineres, 1992). Εισέρχονται στο κόμποστ και ειδικά στα αστικά στερεά απορρίμματα από διάφορες πηγές, όπως η σκόνη των σπιτιών, οι μπαταρίες, τα αναλώσιμα οικιακά υλικά (π.χ. καπάκια μπουκαλιών), τα πλαστικά, τα κεραμικά, τα χρώματα και τα μελάνια, τα φάρμακα και τα παρασιτοκτόνα (NHHWF (National Household Hazardous Waste Forum), 2000; Bardos, 2004).

Γενικά, η μακροπρόθεσμη συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος επισύρει ανησυχίες, διότι ενδεχομένως να έχει δυσμενείς συνέπειες:

- στην ανάπτυξη των φυτών (σε μικρές ποσότητες πολλά από τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών, αντιθέτως υψηλότερες συγκεντρώσεις μπορεί να αποβούν καταστροφικές - τοξικότητα στα φυτά) (Iwegbue et al., 2007; Pendias-Kabata & Pendias, 1984),
- στις μικροβιακές διεργασίες, που πραγματοποιούνται στο έδαφος,
- στην υγεία ανθρώπων και ζώων, εφόσον τα βαρέα μέταλλα εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα μέσω του εδάφους, των υπόγειων υδάτων και των φυτών (Senesi et al., 1999; Iwegbue et al., 2007; Pendias-Kabata & Pendias, 1984).

Εφόσον τα βαρέα μέταλλα διατεθούν στο έδαφος, έχουν πολύ μεγάλους χρόνους παραμονής σε αυτό.

Ειδικότερα, οι αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης κόμποστ λόγω της απόθεσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος συνοπτικά είναι οι εξής:

- μειωμένη ανάπτυξη των φυτών (φυτοτοξικότητα), εξαιτίας της συσσώρευσής τους στους φυτικούς ιστούς σε τιμές πάνω από τις ανεκτές (Zn, Cu, Ni, Cr),
- είσοδός τους στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της σοδειάς (Cd),
- είσοδός τους στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της άμεσης κατανάλωσης τροφίμων, για την παραγωγή των οποίων έχει χρησιμοποιηθεί εδαφοβελτιωτικό, π.χ. όταν το κόμποστ εφαρμόζεται σε κήπους οικιών (Cd, Pb, Hg),
- είσοδός τους στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα μέσω της κατανάλωσης κρέατος από ζώα, στον οργανισμό των οποίων έχει εισέλθει χώμα, στο οποίο έχει εφαρμοστεί κόμποστ (Cd και Pb),
- η διακινδύνευση της υγείας των ζώων (Cu, Pb),
- η παρέμβαση στις μικροβιακές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο έδαφος (Zn). (Chaney & Ryan, 1993; Ryan & Chaney, 1993; Déportes et al., 1995)

Συνεπώς, συμπεραίνεται ότι παρά την ευεργετική δράση των κομποστοποιημένων αστικών απορριμμάτων στη βελτίωση των χαρακτηριστικών των εδαφών, η ενδεχόμενη αυξημένη περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα μπορεί να είναι περιοριστικός παράγοντας στην εκμετάλλευσή τους ως εδαφοβελτιωτικά (Jordao et al., 2006). Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια προωθείται η διαλογή στην πηγή του οργανικού κλάσματος των οικιακών αποβλήτων, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα επίπεδα μόλυνσης των παραγόμενων εξ αυτών προϊόντων κομποστοποίησης (Hargreaves et al., 2008; Huerta-Pujol et al., 2011).

Από πλευράς περιβαλλοντικής νομοθεσίας, το περιεχόμενο σε βαρέα μέταλλα κομποστοποιημένων αποβλήτων είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς μέσω της γνώσης του είναι δυνατό:

να αποφασισθεί αν το κόμποστ πληρεί τα «end of waste» κριτήρια

να προστατευτεί η ποιότητα του εδάφους, εφόσον μπορεί να αποτραπεί πιθανή μόλυνσή του από απόθεση εδαφοβελτιωτικού με βαρέα μέταλλα σε ποσότητες μεγαλύτερες των επιτρεπτών. (Smith, 2009)

Τα κυριότερα βαρέα μέταλλα είναι:

❖ Μόλυβδος (Pb)

Τα φυτά προσλαμβάνουν μικρές ποσότητες μολύβδου από τα περισσότερα εδάφη. Συνεπώς, ο μόλυβδος θεωρείται επικίνδυνος λόγω της τοξικότητάς του σε χαμηλές συγκεντρώσεις για τα ζώα και τους ανθρώπους. Σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου έχουν εντοπιστεί σε βλάστηση, που βρίσκεται κοντά σε δρόμους, αλλά αυτό οφείλεται πρωταρχικά στην εναπόθεση αερολυμάτων μολύβδου στα φυτά, παρά στην απορρόφησή του μέσω του εδάφους.

Συμπερασματικά, ενώ η εφαρμογή κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα αυξάνει το περιεχόμενο των εδαφών σε μόλυβδο, η πρόσληψή του από τα φυτά θα είναι μικρή. Μάλιστα, σε μολυσμένα εδάφη, ειδικά σε αυτά με χαμηλά ποσοστά οργανικής ύλης ή με χαμηλό pH, η προσθήκη κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα μπορεί ακόμα και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του μολύβδου στις ρίζες των φυτών. Με λίγα λόγια, η πρόσληψη του μολύβδου από τα φυτά δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Από την άλλη, ανησυχητικό παράγοντα συνιστά το γεγονός, ότι μπορεί να προσβάλλει την υγεία ανθρώπων και ζώων. Στον ανθρώπινο οργανισμό είναι δυνατό να εισέλθει μέσω της αναπνευστικής οδού, ενώ ειδικά για τα παιδιά και τα ζώα μέσω της αλλοτριοφαγίας (διατροφική διαταραχή, κατά την οποία συνηθίζεται η κατανάλωση μη-εδώδιμων υλικών). (Woodbury, 1992)

❖ Κάδμιο (Cd)

Υπό ευνοϊκές συνθήκες το κάδμιο προσλαμβάνεται από πολλά είδη φυτών και μπορεί να αποδειχθεί τοξικό για αυτά. Το γεγονός, όμως, ότι είναι τοξικό για τους ανθρώπους και τα ζώα προκαλεί μεγαλύτερες ανησυχίες. Η βιοδιαθεσιμότητά του περιορίζεται και συνεπώς καθίσταται πολύ λιγότερο τοξικό, όταν εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της κατανάλωσης φαγητού. Ωστόσο, δεν παύει να ισχύει ότι οι άνθρωποι εκτίθενται στο κάδμιο κυρίως μέσω της λήψης φαγητού. Αυτό συνεπάγεται ότι κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα που εφαρμόζονται σε γεωργικά εδάφη, πρέπει να ελέγχονται ως προς το περιεχόμενό τους σε κάδμιο. (Woodbury, 1992)

Επίσης, πρέπει να εξετάζεται και ο λόγος Cd/Zn, αφού στην περίπτωση που είναι μικρότερος από 0,01, προξενούνται ζημιές στη σοδειά λόγω της φυτοτοξικότητας του ψευδαργύρου, προτού φτάσει το περιεχόμενό της σε κάδμιο να είναι πλεονάζον (Chaney, 1974).

❖ Νικέλιο (Ni)

Ενώ το νικέλιο είναι απαραίτητο στοιχείο, τουλάχιστον για τα όσπρια, θεωρείται φυτοτοξικό για πολλά είδη σοδειάς, όταν η συγκέντρωσή του στα φύλλα των φυτών παίρνει τιμές από 10-50 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Welch, 1981; Bollard, 1983). Ωστόσο, σύμφωνα με έρευνες, το νικέλιο είναι απίθανο να επιφέρει προβλήματα φυτοτοξικότητας, εξαιτίας της εφαρμογής σε εδάφη κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα (Welch, 1981; Bollard, 1983; Richard & Woodbury, 1992; Pendias-Kabata & Pendias, 1992; Petruzelli et al., 1989; Haan & Lubbers, 1983; Giordano et al., 1975; Bauduin et al., 1987; Hirschheydt & Schwerzenbach, 1985a; Hirschheydt & Schwerzenbach, 1985b). Αυτό δικαιολογείται, εφόσον οι συγκεντρώσεις του στους φυτικούς ιστούς βρέθηκαν να είναι χαμηλότερες από αυτές που έχουν αναφερθεί ως τοξικές. Γενικότερα, οι συγκεντρώσεις του νικελίου σε κόμποστ, που έχουν παραχθεί από αστικά στερεά απόβλητα, είναι χαμηλές.

❖ Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός είναι τοξικός για τα περισσότερα είδη φυτών, όταν βρίσκεται στο φύλλωμά τους σε ποσότητες μεταξύ των 20-30 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Robson & Reuter, 1981). Σε αυτή την περίπτωση, το περιεχόμενο σε χαλκό των ριζών είναι πολύ υψηλότερο και κατά συνέπεια η ανάπτυξη των ριζών αναστέλλεται (Wainwright & Woolhouse, 1977).

Αναφορικά με τη χρήση κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα, έχει παρατηρηθεί ότι, αυξάνει αμελητέα τα επίπεδα του χαλκού στις σοδειές. Η οργανική ύλη που εμπεριέχεται στο κόμποστ σχηματίζει ενώσεις με το χαλκό, ελαττώνοντας τη διαθεσιμότητά του στα φυτά. Επομένως, ο χαλκός που υπάρχει στο κόμποστ δεν είναι καθόλου πιθανό να αποβεί τοξικός για τα φυτά. Αντιθέτως, η προσθήκη κόμποστ ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη χαλκού, εφόσον αυτός αποτελεί πολύτιμο θρεπτικό συστατικό τους. (Woodbury, 1992)

❖ Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο στη τρισθενή μορφή του χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς τοξικό για τα φυτά, τα ζώα και τους ανθρώπους. Το εξασθενές, όμως, χρώμιο θεωρείται τοξικό για τα φυτά, τα ζώα και τους μικροοργανισμούς. Φυτά, που αναπτύσσονται σε εδάφη, στα οποία έχει προστεθεί κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα, δεν προσλαμβάνουν σημαντικές ποσότητες χρωμίου, με δεδομένο ότι στο έδαφος το χρώμιο υφίσταται κυρίως στη τρισθενή όχι ιδιαίτερα ευέλικτη μορφή του. (Woodbury, 1992)

❖ Υδράργυρος (Hg)

Ο υδράργυρος είναι τοξικός για τα ζώα και τους ανθρώπους σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και ιδιαίτερα ο μεθυλικός υδράργυρος, που συνιστά μία από τις περισσότερο τοξικές μορφές του. Στα φυτά η πρόσληψη του μεθυλικού υδραργύρου πραγματοποιείται τέσσερις φορές πιο γρήγορα απ' ό,τι του ανόργανου.

Κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα έχουν συνήθως χαμηλή περιεκτικότητα σε υδράργυρο και κατά συνέπεια η πιθανότητα πρόσληψής του από τα φυτά είναι μικρή. Ωστόσο, σε κάποια είδη μανιταριών παρατηρείται συσσώρευση βαρέων μετάλλων, όπως ο υδράργυρος. Για το λόγο αυτό, η χρήση κόμποστ με υψηλή περιεκτικότητα σε υδράργυρο δεν ενδείκνυται για την παραγωγή τους. (Woodbury, 1992)

❖ Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι απαραίτητο στοιχείο για τα φυτά και η συγκέντρωσή του στο φύλλωμα ανέρχεται μεταξύ 1,2 και 73 $\mu\text{g g}^{-1}$ για διάφορα είδη σοδειάς (Pendias-Kabata & Pendias, 1992). Είναι δυνατό να προκαλέσει φυτοτοξικότητα στις σοδειές μόνο εφόσον οι συγκεντρώσεις στους ιστούς είναι μεταξύ 200 και 500 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Romheld & Marschner, 1991).

Η εφαρμογή κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα αυξάνει σημαντικά το περιεχόμενο σε ψευδάργυρο των εδαφών, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει ελαφρώς το αντίστοιχο περιεχόμενο στο φύλλωμα. Μόνο υπό ασυνήθιστες συνθήκες, για παράδειγμα στην περίπτωση ευαίσθητων φυτικών ειδών και σε χαμηλό pH εδάφους, ο ψευδάργυρος που περιέχεται στο κόμποστ μπορεί να βλάψει τις σοδειές. Αντίθετα, σε εδάφη με έλλειψη ψευδαργύρου, η χρήση κόμποστ λειτουργεί ευεργετικά. (Woodbury, 1992)

Μικροστοιχεία

Η ύπαρξη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων απαιτείται, προκειμένου οι μικροοργανισμοί να είναι σε θέση να αναπτυχθούν και να επιτελέσουν την αποικοδόμηση του οργανικού υποστρώματος. Τα στοιχεία αυτά, που πρέπει να υφίστανται σε αφομοιώσιμη μορφή και στις κατάλληλες ποσότητες, είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na) και το μαγνήσιο (Mg).

5.3 Μέθοδοι ανάλυσης**5.3.1 Προσδιορισμός θερμοκρασίας**

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό θερμόμετρο και πραγματοποιούνταν μετρήσεις σε διάφορα σημεία του μίγματος κομποστοποίησης.



Εικόνα 44: Ψηφιακό θερμόμετρο

5.3.2 Προσδιορισμός υγρασίας

Σε κατάλληλες κάψες λαμβάνεται το δείγμα και ζυγίζεται. Τα δείγματα τοποθετούνται σε φούρνο σε θερμοκρασία 105°C για 12h. Η υγρασία υπολογίζεται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 105°C.

Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό υγρασίας του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος.

$$\frac{(M_k + M_{c,1}) - (M_k + M_{c,2})}{M_{c,1}} * \%$$

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (g)

$M_{c,1}$: αρχική μάζα του δείγματος πριν την ξήρανση (g)

$M_{c,2}$: η τελική μάζα δείγματος μετά από ξήρανση στους 105°C (g)



Εικόνα 45: Φούρνος ξήρανσης

5.3.3 Προσδιορισμός pH

Για τη μέτρηση του pH, **2 g** δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των **100 ml** για **30 λεπτά** με προσθήκη **40 ml** απιονισμένου νερού. Ακολουθεί μέτρηση με χρήση pH – μέτρου (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227).



Εικόνα 46: Μετρητής pH

5.3.4 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας, **2 g** δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των **100 ml** για **30 λεπτά** με προσθήκη **40 ml** 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). Το εν λόγω όργανο είναι το ίδιο, που χρησιμοποιείται και για την μέτρηση του pH.

5.3.5 Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VS)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους **105°C** λιωτριβείται και ζυγίζεται περίπου **1 g** σε πορσελάνινες κάψες. Το δείγμα ξηραίνεται στους **550°C** για περίπου 5 ώρες. Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους **550°C**. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό πτητικών στερεών του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος και συγκεκριμένα:

$$\frac{(M_k + M_{c,1}) - (M_k + M_{c,2})}{M_{c,1}} * \%$$

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (**g**)

$M_{c,1}$: αρχική μάζα του δείγματος πριν την ξήρανση (**g**)

$M_{c,2}$: η τελική μάζα δείγματος μετά από ξήρανση στους **550°C** (**g**)



Εικόνα 47: Φούρνος ξήρανσης και πορσελάνινες κάψες που χρησιμοποιούνται κατά τον προσδιορισμό των πτητικών στερεών

5.3.6 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιотριβείται και ζυγίζονται με ακρίβεια 40 mg αυτού, σε ειδική κάψα από πορσελάνη. Στη συνέχεια η κάψα τοποθετείται στον ειδικό φούρνο (Solid Sample Module SSM 5000A) όπου το δείγμα θερμαίνεται στους 900°C . Στη θερμοκρασία αυτή γίνεται καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγούνται στην κεντρική μονάδα TOCV_{CSH}. Στη μονάδα αυτή υπολογίζεται η μάζα του οργανικού άνθρακα (mg) από το CO_2 που παράγεται κατά την καύση. Το % ποσοστό του οργανικού άνθρακα δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\%TOC = \frac{\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)}{2} * 100$$

Όπου:

m_1 : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του πρώτου δείγματος (mg)

m_2 : η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του δεύτερου δείγματος (mg)

M_1 : η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mg).

M_2 : η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mg).



Εικόνα 48: Σύστημα υπολογισμού TOC (αριστερά), πορσελάνινες κάψες με δείγμα (δεξιά)

5.3.7 Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN)

Η αρχή της μεθόδου είναι η καύση του δείγματος με περίσσεια πυκνού θειικού οξέος παρουσία καταλυτών (θειικό άλας χαλκού $CuSO_4$ και σελήνιο Se). Από το όξινο θειικό αμμώνιο που σχηματίζεται, ελευθερώνεται αμμωνία σε αλκαλικό περιβάλλον, η οποία αποστάζει και δεσμεύεται σε περίσσεια διαλύματος βορικού οξέος, όπου και προσδιορίζεται.

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους $105^{\circ}C$ λιотριβείται και ζυγίζονται $0,5\text{ g}$. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους προαναφερθέντες καταλύτες και 20 ml πυκνού θειικού οξέος ($H_2SO_4\ 98\%$). Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM της εταιρίας Gerhardt που εικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 49: Σωλήνας χώνευσης (αριστερά), συσκευή KJELDATHERM (δεξιά)

Μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας ο σωλήνας θερμαίνεται, ήπια αρχικά, μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός και στη συνέχεια ακολουθεί έντονη θέρμανση για περίπου μία ώρα στους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η πλήρης χημική διάσπαση έχει επιτευχθεί όταν το διάλυμα γίνει διαυγές. Το διάλυμα αφήνεται να ψυχθεί, μέσα στο σωλήνα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Vapodest 30s της εταιρίας Gerhardt.



Εικόνα 50: Συσκευή απόσταξης Vapodest 30s

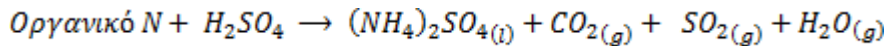
Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 25 ml βορικού οξέος H_3BO_3 $2\% \text{ w/v}$. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου NaOH $32\% \text{ w/v}$ και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του θειικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με το καυστικό νάτριο NaOH , απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl $0,1\text{N}$. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.



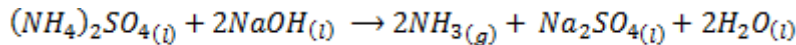
Εικόνα 51: Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

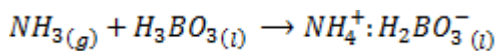
Κατά τη χώνευση



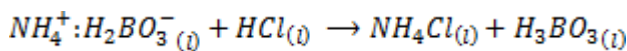
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο κατά Kjeldahl υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%TKN = \frac{1,4007 * c * (V - V_b)}{m}$$

Όπου:

c : η συγκέντρωση του διαλύματος του υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση. Αξίζει να τονίσουμε πως η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος HCl είναι ίση με την κανονικότητά του, και για την παραπάνω πειραματική διαδικασία ίση με $0,1 \text{ mol/lit}$.

V : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

V_b : ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος HCl που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (ml).

m : η αρχική μάζα του δείγματος (g).

5.3.8 Προσδιορισμός νιτρικών

Στον υπολογισμό του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN) μετράται το σύνολο του οργανικά δεσμευμένου αζώτου, του αζώτου σε μορφή αμμωνίας NH_3 και του αζώτου σε μορφή αμμωνιακών NH_4^+ . Για να προσδιοριστεί η ποσότητα των νιτρικών NO_3^- στο δείγμα, ακολουθούμε τη μέθοδο Kjeldahl με τη διαφορά ότι αρχικά προσθέτουμε και μια μικρή ποσότητα, κράματος Devarda. Το κράμα Devarda αποτελείται από τρία μέταλλα στις παρακάτω αναλογίες:

Αλουμίνιο	Al (44% – 46%)
Χαλκός	Cu (49% – 51%)
Ψευδάργυρος	Zn (4% – 6%)

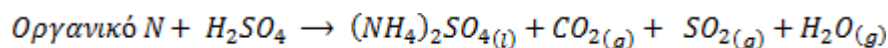
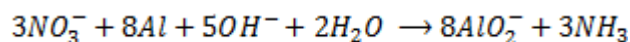
Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους $105^{\circ}C$ λιотριβείται και ζυγίζονται $0,5\text{ g}$. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους καταλύτες, (θειικό άλας χαλκού $CuSO_4$ και σελήνιο Se), και 20 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4 98%). Εν συνεχεία προσθέτουμε περίπου $0,2 - 0,3\text{ g}$ κράματος Devarda. Το κράμα Devarda, κατά τη διάρκεια της χώνευσης, μετατρέπει τα νιτρικά ανιόντα NO_3^- σε αμμωνία NH_3 . Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM.

Μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας ο σωλήνας θερμαίνεται, ήπια αρχικά, μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός και στη συνέχεια ακολουθεί έντονη θέρμανση για περίπου μία ώρα στους $100^{\circ}C$. Η πλήρης χημική διάσπαση έχει επιτευχθεί όταν το διάλυμα γίνει διαυγές. Το διάλυμα αφήνεται να ψυχθεί, μέσα στο σωλήνα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

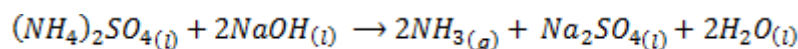
Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 25 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου $NaOH$ 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θειικού αμμωνίου $(NH_4)_2SO_4$ με το καυστικό νάτριο $NaOH$, απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.

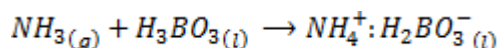
Κατά τη χώνευση



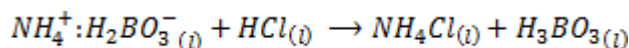
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%N = \frac{1,4007 * c * (V - V_b)}{m}$$

Όπου:

c: η συγκέντρωση του διαλύματος του υδροχλωρικού οξέος **HCl** που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση. Αξίζει να τονίσουμε πως η συγκέντρωση του υδροχλωρικού οξέος **HCl** είναι ίση με την κανονικότητά του, και για την παραπάνω πειραματική διαδικασία ίση με **0,1 mol/lit**.

V: ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος **HCl** που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (**ml**).

V_b: ο όγκος του διαλύματος υδροχλωρικού οξέος **HCl** που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (**ml**).

m: η αρχική μάζα του δείγματος (**g**).

Τέλος η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε νιτρικά **NO₃⁻** υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%NO_3^- = \%N - \%TKN.$$

5.3.9 Προσδιορισμός αμμωνιακών

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

Διάλυμα βορικού οξέος **H₃BO₃ 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 θεικού οξέος **H₂SO₄ 0,005M**

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους **105°C** λιотριβείται και ζυγίζονται **5 g**. Το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των **100 ml** και προστίθενται **50 ml** διαλύματος χλωριούχου καλίου **KCl**. Το ποτήρι αφήνεται σε αναδευτήρα για περίπου μία ώρα. Εν συνεχεία γίνεται ένας υποτυπώδης

διαχωρισμός του υγρού το οποίο υφίσταται φυγοκέντρωση στις **3000 στροφές / λεπτό** για **10 λεπτά** και διήθηση υπό κενό. Από το διήθημα λαμβάνονται **5 ml** με την πιπέτα δειγματοληψίας και εκχύνονται στον ειδικό σωλήνα χώνευσης. Στο σωλήνα χώνευσης πάλι με τη χρήση πιπέτας εκχύνονται **6 ml** διαλύματος υδροξειδίου του μαγνησίου **MgOH** και μερικές σταγόνες οκτανδιόλης.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των **250 ml** μέσα στην οποία έχουν προστεθεί **25 ml** βορικού οξέος **H₃BO₃ 2% w/v**. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου **NaOH 32% w/v** και απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με διάλυμα θειικού οξέος **H₂SO₄ 0,01 M**. Χρησιμοποιούνται 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

Η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\%NH_4 = \frac{0,07(V - V_b)}{V_a}$$

Όπου:

V: ο όγκος του διαλύματος θειικού οξέος **H₂SO₄** που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (**ml**).

V_b: ο όγκος του διαλύματος θειικού οξέος **H₂SO₄** που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (**ml**).

V_a: ο αρχικός όγκος του δείγματος (**ml**).

5.3.10 Προσδιορισμός αναλογίας C/N

Η αναλογία **C/N** υπολογίζεται από την σχέση:

$$C/N = \frac{\%TOC}{\%TKN}$$

5.3.11 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων

Για τον προσδιορισμό των μετάλλων αρχικά έλαβε χώρα χώνευση σε ποσότητα ξηρού (στους 105°C για 12h) compost σε συσκευή Digesdahl Digestion για μέταλλα και στη συνέχεια τα μέταλλα προσδιορίζονται σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Perkin Elmer 2380.



Εικόνα 52: Συσσκευή Digesdahl Digestion

Η διαδικασία της χώνευσης περιγράφεται ως εξής:

Λαμβάνεται δείγμα ξηρού compost (105°C) βάρους $0,5\text{g}$, λειοτριβημένου. Προστίθενται 4 ml πυκνού H_2SO_4 .

Ταυτόχρονα ανοίγεται η συσκευή και θερμαίνεται στους 440°C . Αφού επιτευχθεί η θερμοκρασία, το δείγμα τοποθετείται και ανοίγεται η βάνα του νερού για δημιουργία κενού.

Το δείγμα βράζει για περίπου έξι λεπτά. Δεν πρέπει να φύγει όλο το οξύ. Εάν διαφύγει τότε η διαδικασία πρέπει να σταματήσει.

Προστίθενται $15\text{ ml H}_2\text{O}_2$ 30% v/v και συνεχίζεται η θέρμανση για περίπου επτά λεπτά. Αν το δείγμα δε γίνει άχρωμο, χρειάζεται να προστεθούν επιπλέον $5\text{ ml H}_2\text{O}_2$ 30% v/v. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_5 + \text{H}_2\text{O}$

Η θέρμανση συνεχίζεται για περίπου έξι λεπτά, όμως όχι έως ξηρού.

Το δείγμα ψύχεται στο cooling rad.

Προστίθενται αργά μερικά ml απιονισμένου νερού και το δείγμα διηθείται.

Το διάλυμα φέρεται με απιονισμένο νερό σε όγκο συνήθως 15 ml και σε αυτό προσδιορίζονται τα μέταλλα στο φασματοφωτόμετρο της ατομικής απορρόφησης (Varian).



Εικόνα 53: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (Varian)

6 Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

6.1 Αποτελέσματα Ξήρανσης

6.1.1 Μείωση μάζας βιοαποβλήτων και ενεργειακή κατανάλωση ξηραντήρα

Από τη διεργασία της ξήρανσης λήφθηκαν τα δεδομένα μάζας και ενεργειακής κατανάλωσης αντίστοιχα που φαίνονται στον πίνακα 25. Ο πίνακας 25 αναφέρει ενδεικτικές μέσες τιμές μάζας νωπού, μάζας ξηρού και αντίστοιχου ποσοστού % μείωσης ανά φόρτιση του ξηραντήρα με νωπό υλικό. Επίσης, φαίνεται και η αντίστοιχη ενεργειακή κατανάλωση που μετρήθηκε ανά κύκλο ξήρανσης (8 ώρες).

Πίνακας 22: Μετρήσεις ποσοστού μείωσης μάζας και ενεργειακής κατανάλωσης ξηραντήρα

Δείγμα	Αρχική Μάζα (kg)	Τελική Μάζα (kg)	Ποσοστό Μείωσης Μάζας (%)	Ενεργειακή Κατανάλωση (kWh)
1	55,35	12,4	77,60	46,00
2	43,54	10,48	75,93	41,50
3	45,04	13,46	70,12	43,40
4	57,58	11,76	79,58	45,60
5	58,12	14,31	75,38	49,20
6	54,88	13,76	74,93	41,50
7	53,06	10,59	80,04	51,20
8	66,44	19,6	70,50	55,00
9	24,74	1,76	92,89	31,10
Μέσος Όρος (Μ.Ο.)			81,10	44,94

Συμπερασματικά, το ποσοστό μείωσης της μάζας που επιτυγχάνεται κατά μέσο όρο στη χρησιμοποιούμενη πειραματική διάταξη ανέρχεται σε 81,10%, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση που καταγράφηκε ανά κύκλο ξήρανσης, διάρκειας 8 ωρών, καταγράφηκε ίση με 44,94 kWh.

6.2 Αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν στα είκοσι δείγματα ξηρών, προδιαλεγμένων στην πηγή, διατροφικών αποβλήτων αναλύονται στους πίνακες 26 έως 28 που ακολουθούν και ο σχολιασμός τους γίνεται σε σύγκριση με δείγματα διατροφικών αποβλήτων που μελετήθηκαν σε 4 Ευρωπαϊκές χώρες τα οποία προήλθαν από οικίες στις οποίες εφαρμόζεται η μέθοδος της διαλογής στην πηγή.

Στον πίνακα 22 δίνονται οι τιμές της υγρασίας και των πτητικών στερεών καθώς και η σύσταση των ξηρών δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων που μελετήθηκαν. Στον πίνακα επίσης περιέχονται οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων που εξετάστηκαν σε δείγματα διατροφικών αποβλήτων σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Φινλανδία, Ιταλία, Πορτογαλία) για λόγους σύγκρισης.

Πίνακας 23: Σύσταση, υγρασία (%) και πτητικά στερεά (%) των δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων

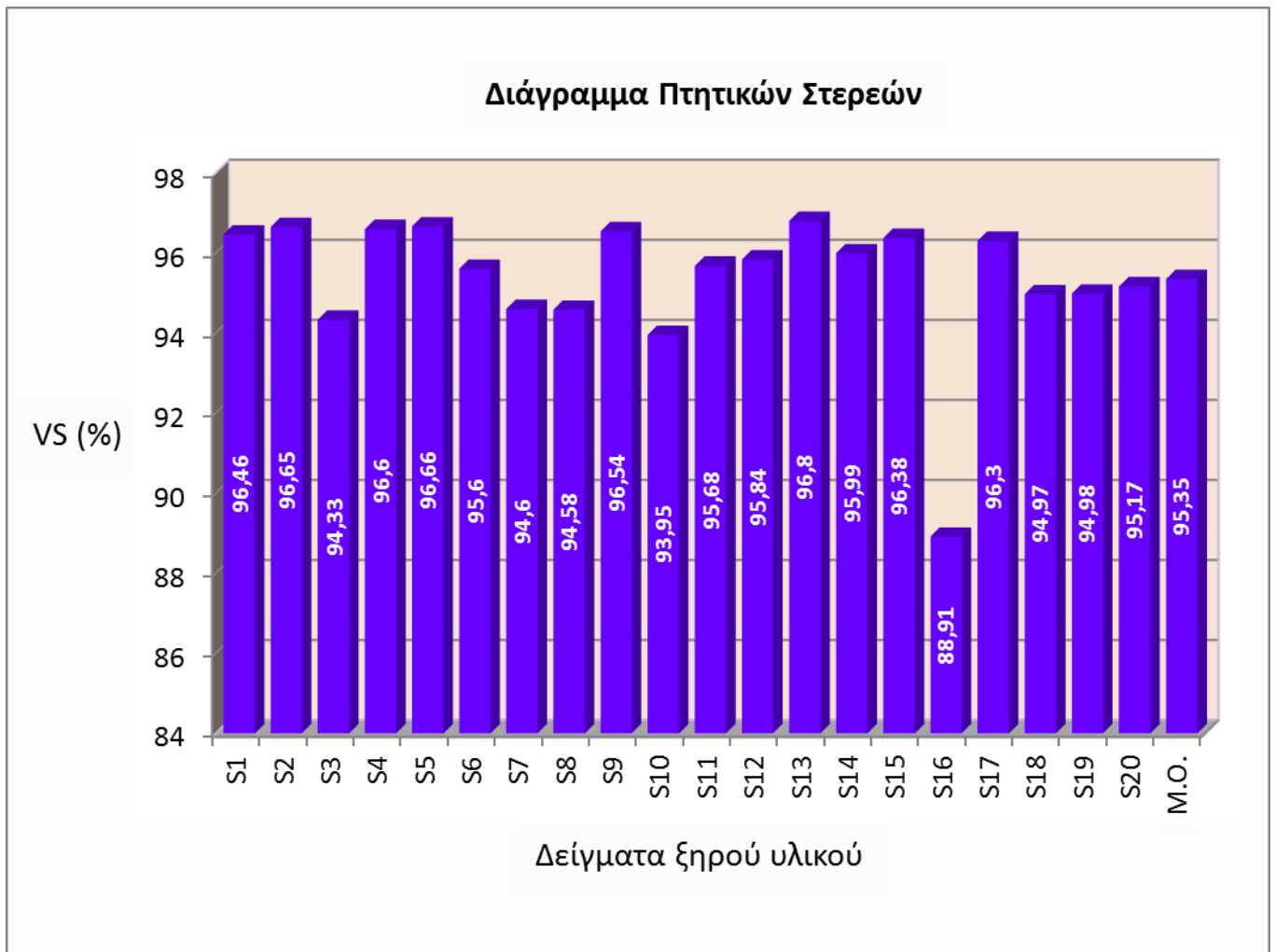
ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ	ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	VS (%)
S1	ΔΙΑΦΟΡΑ	0,5	96,46
S2	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	15,2	96,65
S3	ΔΙΑΦΟΡΑ	0,5	94,33
S4	50% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 50% ΔΙΑΦΟΡΑ	4,9	96,60
S5	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1,5 L ΛΑΔΙ	22,1	96,66
S6	ΔΙΑΦΟΡΑ	3,5	95,60
S7	ΠΑΤΑΤΑ	3,2	94,60
S8	ΔΙΑΦΟΡΑ	1,1	94,58
S9	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1 L ΛΑΔΙ	20,8	96,54
S10	ΔΙΑΦΟΡΑ (ΚΡΕΑΣ, ΨΑΡΙ, ΣΟΥΒΛΑΚΙΑ)	1,0	93,95
S11	ΔΙΑΦΟΡΑ	3,5	95,68
S12	ΔΙΑΦΟΡΑ	2,0	95,84
S13	25 kg ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 26 kg ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΡΟΦΕΣ	2,9	96,80
S14	ΔΙΑΦΟΡΑ	2,6	95,99
S15	51 kg ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	4,0	96,38
S16	50% ΧΟΡΤΑ, 50% ΠΕΠΟΝΙ	29,4	88,91
S17	---	7,5	96,30
S18	---	7,8	94,97
S19	ΔΙΑΦΟΡΑ	8,4	95,17
S20	ΔΙΑΦΟΡΑ	1,7	94,98
M.O.		7,1	95,35
*Αγγλία (5)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	-	92,15
*Φινλανδία (1)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 1 ΠΕΡΙΟΧΗ	-	92,26
*Ιταλία (2)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	-	84,96
*Πορτογαλία (3)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	-	79,66



Διάγραμμα 16: Συγκριτική απεικόνιση της περιεχόμενης υγρασίας (%) στα δείγματα ξηρού υλικού

Για τα δείγματα των ξηρών διατροφικών αποβλήτων που εξετάστηκαν, με βάση το παραπάνω διάγραμμα, διακρίνεται ότι, εκείνο με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (29,4 %) είναι το S16. Το δείγμα αυτό δημιουργήθηκε από την ξήρανση χόρτων και πεπονιού σε ισότιμες ποσότητες. Το δείγμα S5 ακολουθεί με ποσοστό υγρασίας 22,1 %. Αυτό προέκυψε από την ξήρανση πορτοκαλιών, στα οποία προστέθηκε 1,5 L λάδι. Η σύσταση του δείγματος S9 είναι ίδια με αυτήν του δείγματος S5, με μόνη διαφορά ότι περιέχει 0,5 L λάδι λιγότερα, οπότε το ποσοστό υγρασίας του είναι εξίσου υψηλό (20,8 %). Τα χόρτα, τα πεπόνια και τα πορτοκάλια διαθέτουν ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό υγρασίας και το λάδι είναι καθαρό υγρό. Μία πιθανή εξήγηση για την υψηλή τιμή της υγρασίας που απέμεινε είναι ότι τα συγκεκριμένα υλικά δεν παρέμειναν για αρκετό χρόνο στον ξηραντήρα (1 κύκλος: 8 ώρες) και συνεπώς απαιτείται ένας δεύτερος κύκλος ξήρανσης. Στη συνέχεια, η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος S2 υπολογίστηκε ίση με 15,2 %, τιμή αρκετά υψηλότερη σε σχέση με αυτές των εναπομείναντων δειγμάτων. Η σύστασή του αποτελείται εξ'ολοκλήρου από ξηραμένα πορτοκάλια. Τα ποσοστά υγρασίας των υπόλοιπων δειγμάτων ξηρού υλικού κυμαίνονται μεταξύ 0,5-8,4 %.

Τα παραπάνω ξηραμένα διατροφικά απόβλητα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μέσω της μεθόδου της κομποστοποίησης, εφόσον σε αυτά προστεθούν νωπά διατροφικά απόβλητα, στην κατάλληλη αναλογία, ώστε να προκύψουν μίγματα με ποσοστά υγρασίας εντός των ορίων του 45-60 %. Το εύρος αυτό του περιεχομένου σε υγρασία των πρώτων υλών έχει διαπιστωθεί ότι είναι το βέλτιστο για την διεργασία της κομποστοποίησης (Li & Lu, 2013).



Διάγραμμα 17: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού των πτητικών στερεών στα δείγματα ξηρού υλικού

Όπως έχει προαναφερθεί, μέσω της παραμέτρου των πτητικών στερεών εκτιμάται το περιεχόμενο σε οργανική ύλη του προς κομποστοποίηση υποστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, τα πτητικά στερεά αποτελούν τις πιο άμεσα προσλήψιμες ενώσεις από τους μικροοργανισμούς, που εμπεριέχονται στο υπόστρωμα.

Κατά γενική εικόνα, το περιεχόμενο σε οργανική ύλη των δειγμάτων ξηρού υλικού κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα (93,95-96,80 %). Το δείγμα S16 είναι το μόνο που ξεχωρίζει, διότι σε σχέση με τα υπόλοιπα έχει το χαμηλότερο ποσοστό σε πτητικά στερεά (88,91 %). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι συνίσταται μόνο από πεπόνι και χόρτα, ενώ τα περισσότερα από τα άλλα δείγματα ξηρού υλικού αποτελούνται από διάφορα διατροφικά απόβλητα.

Επιπλέον, με βάση τον πίνακα 22, τα ποσοστά πτητικών στερεών που υπολογίστηκαν για διατροφικά απόβλητα σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες κυμαίνονται επίσης σε υψηλά επίπεδα. Ειδικότερα, στις χώρες της Αγγλίας και της Φινλανδίας, τα ποσοστά πτητικών στερεών είναι 92,15 % και 92,26 % αντίστοιχα και βρίσκονται πολύ κοντά στο μέσο όρο των ποσοστών σε πτητικά στερεά (95,35 %) που υπολογίστηκε για τα είκοσι δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων.

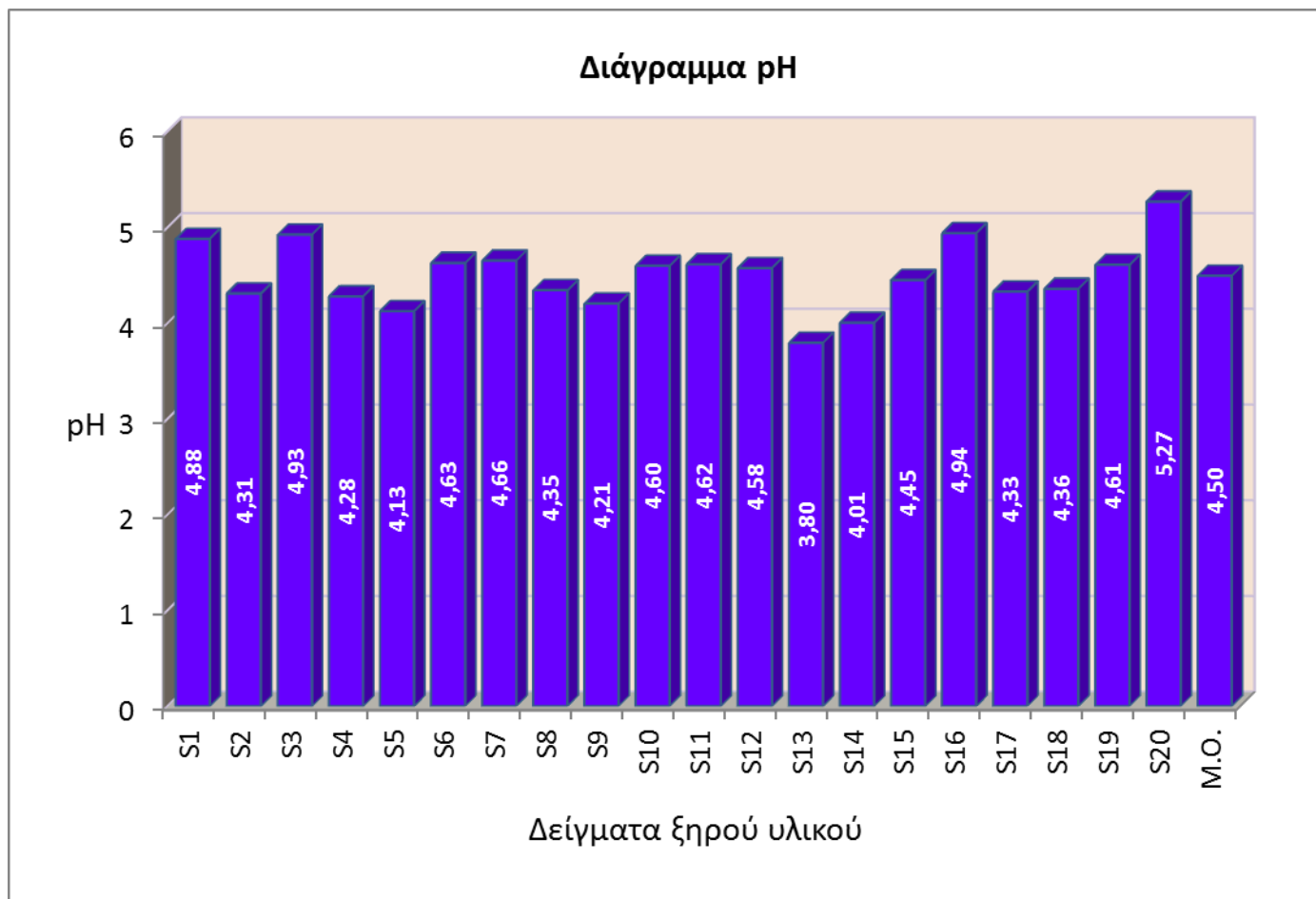
6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Σε περίπτωση χρήσης των δειγμάτων ξηρού υλικού κατά την διεργασία της κομποστοποίησης, το γεγονός ότι τα ποσοστά τους σε πτητικά στερεά είναι υψηλά, εκλαμβάνεται ως θετικός παράγοντας, καθώς αυτό σημαίνει υψηλή διαθεσιμότητα άμεσα προσλήψιμων ενώσεων για τους μικροοργανισμούς. Συνεπώς, θα διευκολύνεται η μικροβιακή δραστηριότητα, πάνω στην οποία βασίζεται η μέθοδος της κομποστοποίησης.

Στον πίνακα 25 καταγράφονται οι τιμές του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και η σύσταση των ξηρών δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων που μελετήθηκαν. Στον ίδιο πίνακα αναφέρονται και οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων που εξετάστηκαν σε δείγματα διατροφικών αποβλήτων σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Φινλανδία, Ιταλία, Πορτογαλία) για λόγους σύγκρισης.

Πίνακας 24: Σύσταση, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ	pH	EC (mS/cm)
S1	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,88	2,01
S2	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	4,31	0,94
S3	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,93	2,37
S4	50% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 50% ΔΙΑΦΟΡΑ	4,28	1,45
S5	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1,5 L ΛΑΔΙ	4,13	0,94
S6	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,63	1,87
S7	ΠΑΤΑΤΑ	4,66	1,12
S8	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,35	2,80
S9	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1 L ΛΑΔΙ	4,21	1,28
S10	ΔΙΑΦΟΡΑ (ΚΡΕΑΣ, ΨΑΡΙ, ΣΟΥΒΛΑΚΙΑ)	4,60	3,62
S11	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,62	2,52
S12	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,58	2,37
S13	25 kg ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 26 kg ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΡΟΦΕΣ	3,80	1,66
S14	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,01	2,07
S15	51 kg ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	4,45	1,70
S16	50% ΧΟΡΤΑ, 50% ΠΕΠΟΝΙ	4,94	4,57
S17	---	4,33	1,92
S18	---	4,36	2,57
S19	ΔΙΑΦΟΡΑ	5,27	2,19
S20	ΔΙΑΦΟΡΑ	4,61	4,00
M.O.		4,50	2,20
*Αγγλία (5)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	5,15	-
*Φινλανδία (1)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 1 ΠΕΡΙΟΧΗ	5,34	-
*Ιταλία (1)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 1 ΠΕΡΙΟΧΗ	6,16	-
*Πορτογαλία (1)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 1 ΠΕΡΙΟΧΗ	5,93	-

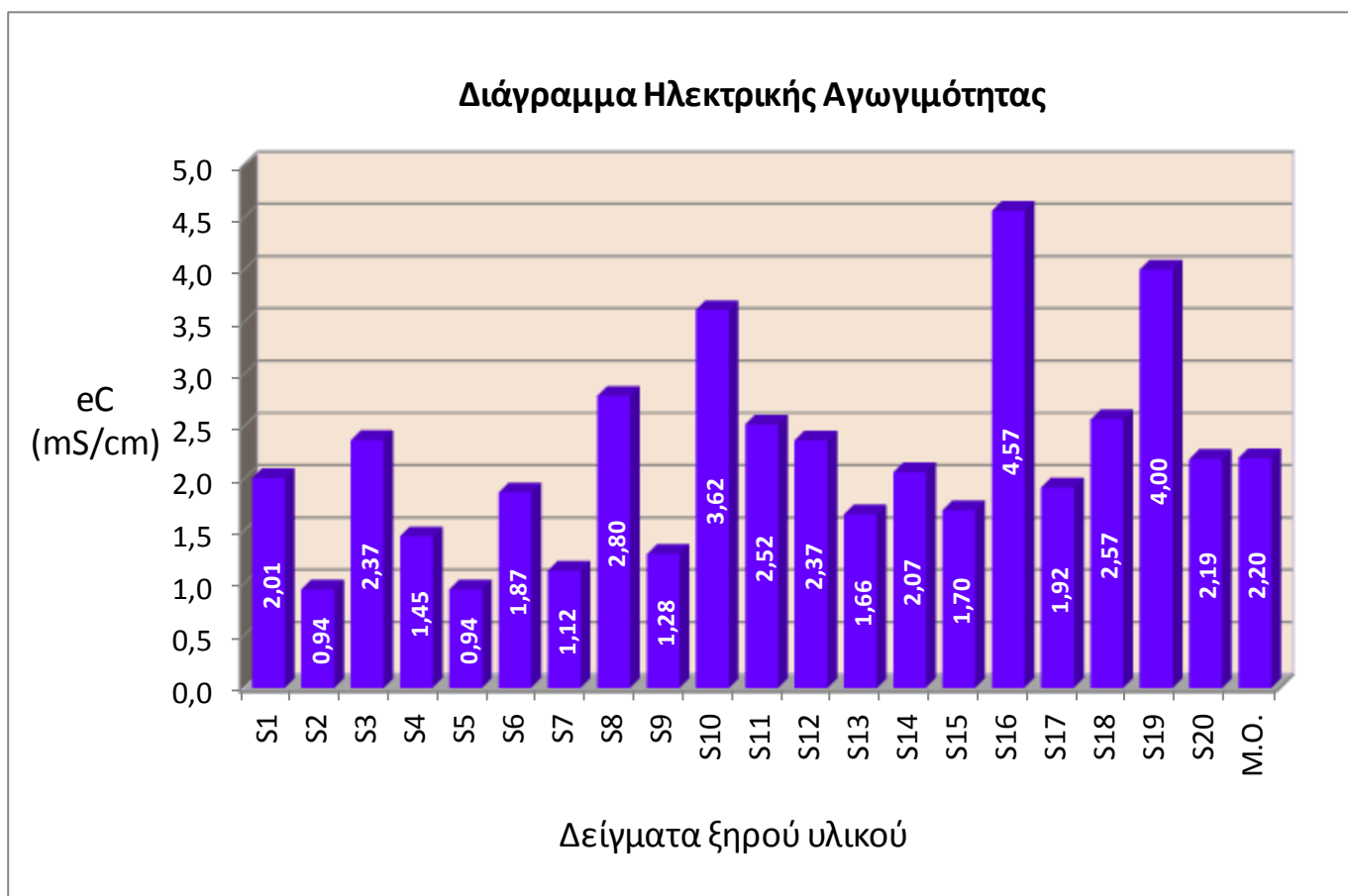


Διάγραμμα 18: Συγκριτική απεικόνιση του pH στα δείγματα ξηρού υλικού

Το pH εκφράζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του υποστρώματος που πρόκειται να κομποστοποιηθεί. Έχει διαπιστωθεί ότι η προς κομποστοποίηση οργανική μάζα χαρακτηρίζεται γενικά από χαμηλές τιμές pH, γεγονός που επιβεβαιώνεται με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας. Όπως είναι φανερό από το παραπάνω διάγραμμα, όλα τα δείγματα των ξηρών διατροφικών αποβλήτων έχουν pH κάτω του 5, με εξαίρεση το δείγμα S20 με pH 5,27. Το χαμηλότερο pH (3,8) αντιστοιχεί στο δείγμα S13, ενώ οι τιμές του pH για τα υπόλοιπα δείγματα βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη και κυμαίνονται μεταξύ 4 και 5.

Εάν έπρεπε να επιλεγεί ένα από τα δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων ως καταλληλότερο - με βάση το pH- για την διεργασία της κομποστοποίησης, αυτό θα ήταν το δείγμα S20 με το υψηλότερο pH (5,27). Η τιμή αυτή προσεγγίζει καλύτερα το βέλτιστο εύρος τιμών pH (5,5-8) για την διεργασία της κομποστοποίησης.

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 23, οι τιμές του pH που προέκυψαν για τα διατροφικά απόβλητα σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες πλησιάζουν τις αντίστοιχες τιμές των δειγμάτων που εξετάστηκαν.



Διάγραμμα 19: Συγκριτική απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα δείγματα ξηρού υλικού

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί δείκτη της συγκέντρωσης του διαλυτού άλατος που περιέχεται στο κόμποστ. Τα επίπεδα των αλάτων στο κόμποστ επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, οπότε μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκτιμάται αν ένα προϊόν είναι κατάλληλο ή όχι για εδαφοβελτιωτικές χρήσεις.

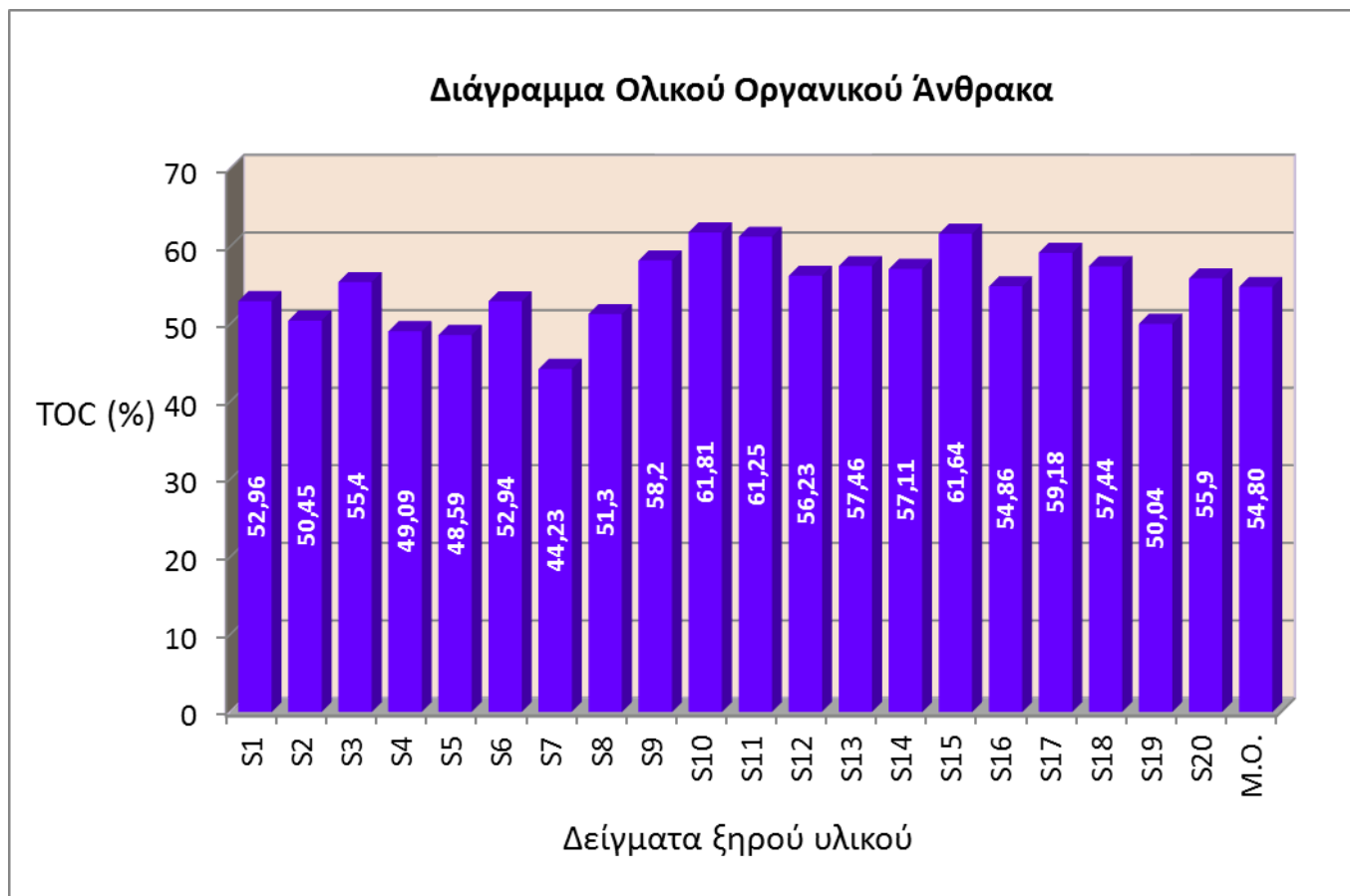
Σχετικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων των ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων, συμπεραίνεται ότι το δείγμα S16, το οποίο συνίσταται από χόρτα και πεπόνι, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα (4,57 mS/cm). Το ξηρό υλικό, που χρησιμοποιήθηκε κατά τον δεύτερο κύκλο κομποστοποίησης, εμφανίζει την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη τιμή (4 mS/cm). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του δείγματος S10 μπορεί, επίσης, να θεωρηθεί υψηλή (3,62 mS/cm). Τα υπόλοιπα δείγματα ξηρού υλικού δεν χαρακτηρίζονται από τόσο υψηλές συγκεντρώσεις σε διαλυτά άλατα, η αγωγιμότητά τους υπολογίστηκε σε ένα εύρος τιμών 0,94-2,80 mS/cm. Αναφέρεται ότι, η χαμηλότερη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αντιστοιχεί σε δείγμα, που περιείχε μόνο πορτοκάλι.

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Στον πίνακα 26 καταγράφονται οι τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα TOC (%), του ολικού αζώτου TN (%) του προκύπτοντα λόγου C/N, καθώς και η σύσταση των ξηρών δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων που μελετήθηκαν. Στον ίδιο πίνακα αναφέρονται και οι τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων που εξετάστηκαν σε δείγματα διατροφικών αποβλήτων σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία, Φινλανδία, Ιταλία, Πορτογαλία) για λόγους σύγκρισης.

Πίνακας 25: Σύσταση, ολικός οργανικός άνθρακας (%), ολικό άζωτο (%) και αναλογία C/N των δειγμάτων ξηρών διατροφικών αποβλήτων

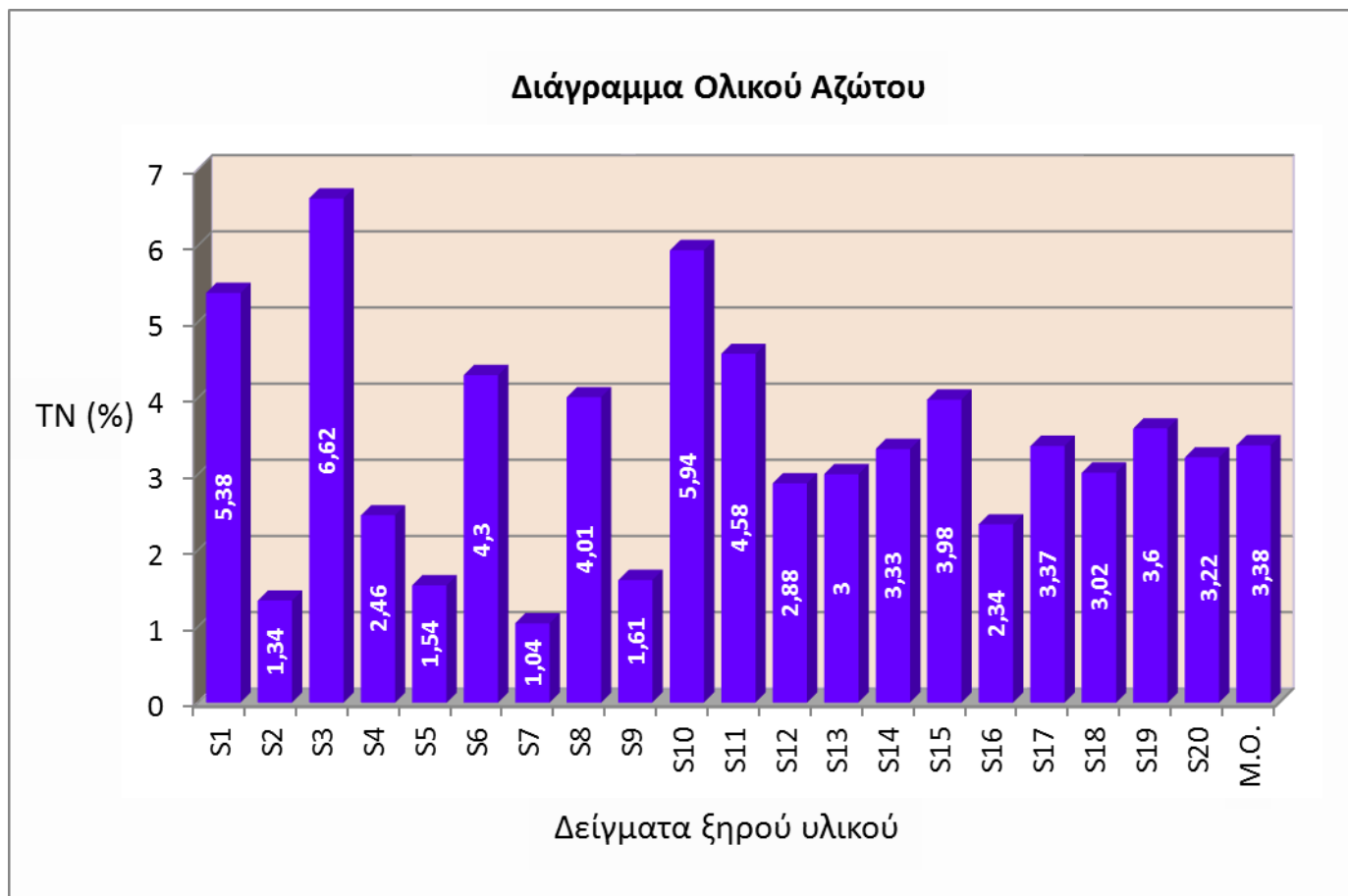
ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΣΤΑΣΗ	TOC (%)	TN (%)	C/N
S1	ΔΙΑΦΟΡΑ	52,96	5,38	9,84
S2	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	50,45	1,34	37,65
S3	ΔΙΑΦΟΡΑ	55,40	6,62	8,37
S4	50% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 50% ΔΙΑΦΟΡΑ	49,09	2,46	19,96
S5	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1,5 L ΛΑΔΙ	48,59	1,54	31,55
S6	ΔΙΑΦΟΡΑ	52,94	4,30	12,31
S7	ΠΑΤΑΤΑ	44,23	1,04	42,53
S8	ΔΙΑΦΟΡΑ	51,30	4,01	12,79
S9	100% ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ + 1 L ΛΑΔΙ	58,20	1,61	36,15
S10	ΔΙΑΦΟΡΑ (ΚΡΕΑΣ, ΨΑΡΙ, ΣΟΥΒΛΑΚΙΑ)	61,81	5,94	10,41
S11	ΔΙΑΦΟΡΑ	61,25	4,58	13,37
S12	ΔΙΑΦΟΡΑ	56,23	2,88	19,52
S13	25 kg ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ, 26 kg ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΡΟΦΕΣ	57,46	3,00	19,15
S14	ΔΙΑΦΟΡΑ	57,11	3,33	17,15
S15	51 kg ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	61,64	3,98	15,49
S16	50% ΧΟΡΤΑ, 50% ΠΕΠΟΝΙ	54,86	2,34	23,44
S17	---	59,18	3,37	17,56
S18	---	57,44	3,02	19,02
S19	ΔΙΑΦΟΡΑ	50,04	3,60	13,90
S20	ΔΙΑΦΟΡΑ	55,90	3,22	17,36
M.O.		54,80	3,38	19,88
*Αγγλία (5)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	49,89	3,06	16,30
*Φινλανδία (1)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 1 ΠΕΡΙΟΧΗ	-	2,39	-
*Ιταλία (2)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	-	2,70	-
*Πορτογαλία (3)	ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ 3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ	-	4,24	-



Διάγραμμα 20: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα στα δείγματα ξηρού υλικού

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι, τα δείγματα S10, S11 και S15, που αποτελούνται από διάφορα διατροφικά απόβλητα, έχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα, κοντά στο 62 %. Αντιθέτως, το δείγμα S7, του οποίου συστατικό είναι η πατάτα, έχει το χαμηλότερο ποσοστό σε ολικό οργανικό άνθρακα (44,23 %). Όσον αφορά τα άλλα δείγματα ξηρών διατροφικών αποβλήτων, διαθέτουν υψηλό περιεχόμενο σε οργανικό άνθρακα, αφού τα αντίστοιχα ποσοστά τους κυμαίνονται σε τιμές μεταξύ 48,6-59,2 %.

Με βάση τον πίνακα 24 συμπεραίνεται ότι ο μέσος όρος των ποσοστών του ολικού οργανικού άνθρακα υπολογίστηκε στο 54,8 %, τιμή που προσεγγίζει αρκετά αυτήν που προέκυψε (49,89 %) κατά την ανάλυση δειγμάτων διατροφικών αποβλήτων από πέντε περιοχές της Αγγλίας.

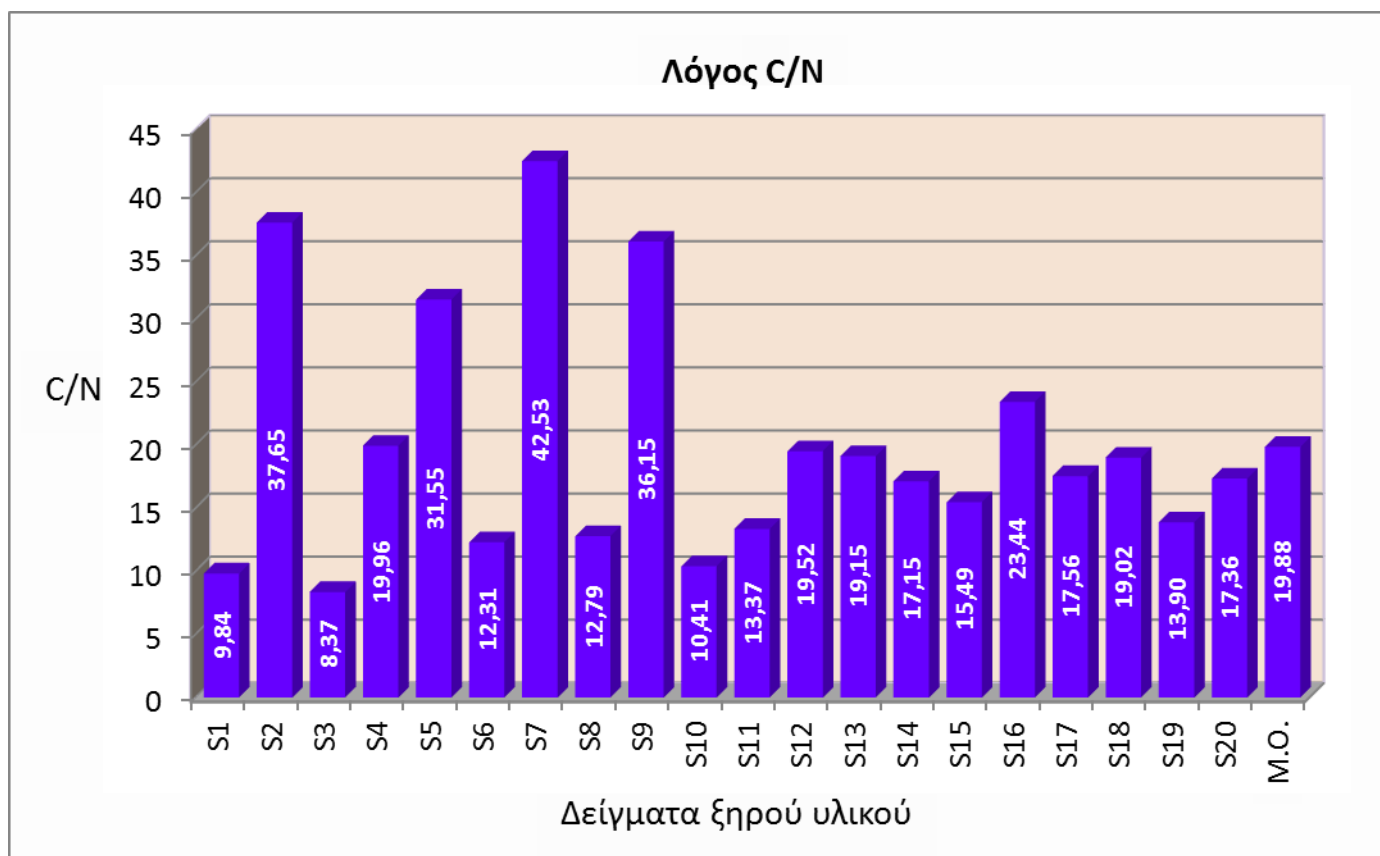


Διάγραμμα 21: Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού του ολικού αζώτου στα δείγματα ξηρού υλικού

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, τα υψηλότερα ποσοστά ολικού αζώτου (>5 %) αντιστοιχούν στα δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων S3, S10 και S1, τα οποία συντίθενται από διάφορα διατροφικά απόβλητα. Με ποσοστά ολικού αζώτου κοντά στο 4 % ακολουθούν τα δείγματα S6, S8, S11 και S15, τα οποία επίσης αποτελούνται από διάφορα διατροφικά απορρίμματα. Αντιθέτως, τα χαμηλότερα ποσοστά σε ολικό αζώτο υπολογίστηκαν για τα δείγματα S2, S5 και S9, που συνίστανται εξ'ολοκλήρου από πορτοκάλι και το δείγμα S7, του οποίου συστατικό είναι η πατάτα. Τα ποσοστά ολικού αζώτου για τα υπόλοιπα δείγματα κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών από 2,3 – 3,6 %.

Συνοψίζοντας, συμπεραίνεται ότι τα δείγματα που αποτελούνται από διάφορα διατροφικά απόβλητα διαθέτουν το υψηλότερο περιεχόμενο σε ολικό άζωτο, ενώ εκείνα των οποίων συστατικό είναι το πορτοκάλι το χαμηλότερο.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ευρεθείσες τιμές των ποσοστών σε ολικό άζωτο (πίνακας 24) από αντίστοιχες αναλύσεις, που διεξήχθησαν σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες διαπίστωνεται ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα.



Διάγραμμα 22: Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N στα δείγματα ξηρού υλικού

Από το παράπανω διάγραμμα καθίσταται εμφανές ότι το δείγμα ξηρού υλικού S7, που συνίσταται από πατάτα, έχει υψηλό λόγο C/N (42,53), ενώ πολύ κοντά στην τιμή αυτή μετρήθηκε και ο λόγος C/N των δειγμάτων S2, S5 και S9, που αποτελούνται από πορτοκάλι. Αντιθέτως, τα δείγματα S1, S3, S6, S8, S10, S11 και S19 που έχουν δημιουργηθεί από την ανάμιξη διαφόρων διατροφικών αποβλήτων διαθέτουν χαμηλό λόγο C/N (8,37-13,90). Όσον αφορά όλα τα υπόλοιπα δείγματα, παρατηρείται ότι ο λόγος C/N προσεγγίζει την τιμή 20.

Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι για τη διεργασία της κομποστοποίησης η βέλτιστη αναλογία C/N κυμαίνεται μεταξύ 25-40 και εξαρτάται από το είδος του οργανικού υποστρώματος (Ευθυμίου, 2012). Για το λόγο αυτό, τα δείγματα με ιδιαίτερα χαμηλή αναλογία C/N, όπως για παράδειγμα τα S1, S3 και S10 δεν θεωρούνται προτιμητέα για να αξιοποιηθούν με τη μέθοδο της κομποστοποίησης.

6.3 Αποτελέσματα Κομποστοποίησης

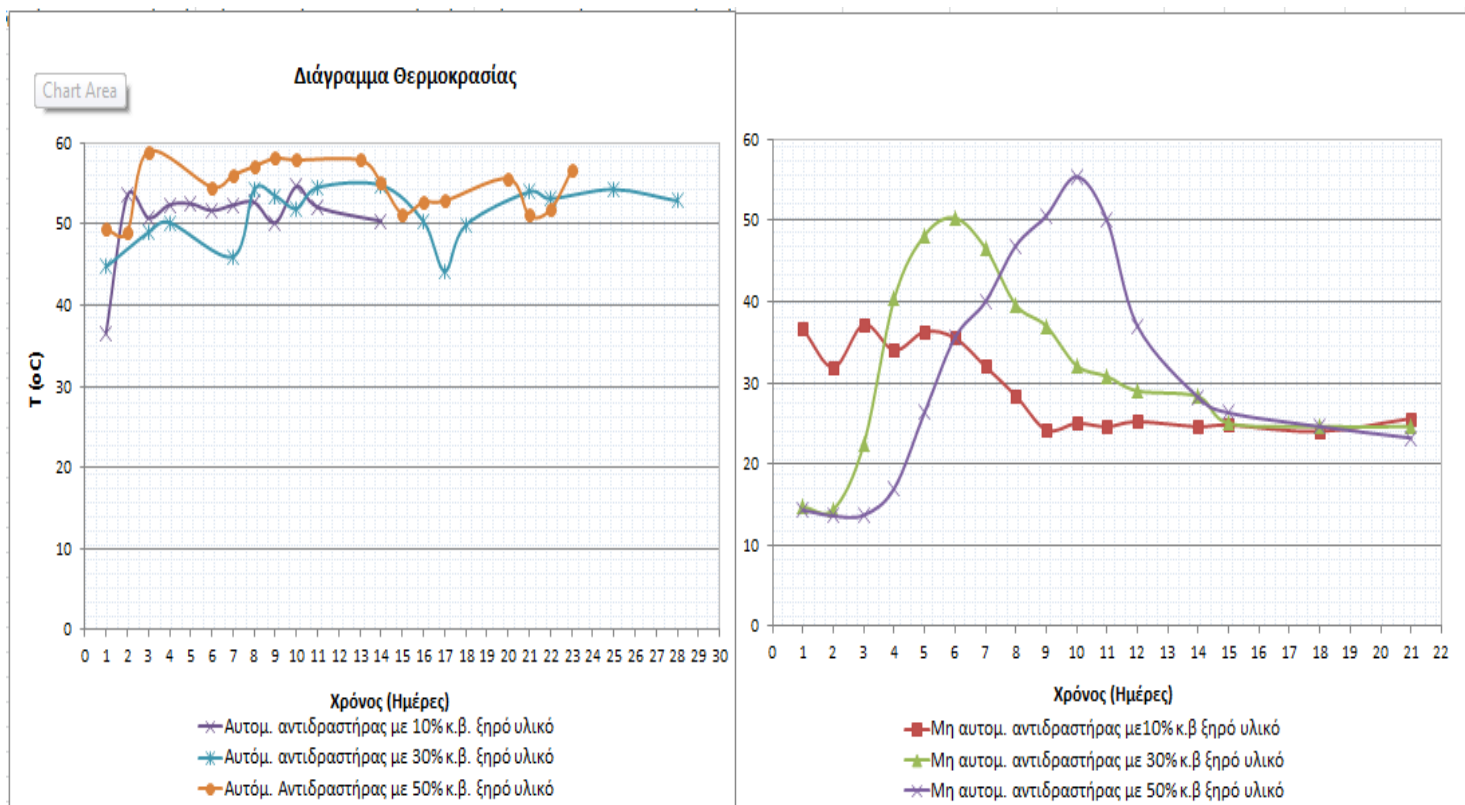
Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα που απεικονίζουν την εξέλιξη κάθε παραμέτρου που μελετήθηκε κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης με χρήση αυτόματου κομποστοποιητή. Επίσης, για λόγους σύγκρισης έχουν προστεθεί τα διαγράμματα που προέκυψαν κατά την διεξαγωγή αντίστοιχων πειραμάτων με χρήση μη αυτόματου κομποστοποιητή, για την εκπόνηση άλλης διπλωματικής εργασίας.

6.3.1 Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος

Πίνακας 26: Καταγραφή της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	T (°C)	Ημερ/νία	Ημέρα	T (°C)	Ημερ/νία	Ημέρα	T (°C)
14-5-13	1	36,6	7-1-14	1	44,7	5-2-14	1	49,4
15-5-13	2	53,5	9-1-14	3	49,0	6-2-14	2	49,0
16-5-13	3	50,7	10-1-14	4	50,2	7-2-14	3	58,9
17-5-13	4	52,4	13-1-14	7	46,0	10-2-14	6	54,6
18-5-13	5	52,5	14-1-14	8	54,3	11-2-14	7	56,0
19-5-13	6	51,7	15-1-14	9	53,5	12-2-14	8	57,1
20-5-13	7	52,3	16-1-14	10	51,9	13-2-14	9	58,1
21-5-13	8	52,7	17-1-14	11	54,5	14-2-14	10	57,9
22-5-13	9	50,2	20-1-14	14	54,8	17-2-14	13	57,9
23-5-13	10	54,6	22-1-14	16	50,3	18-2-14	14	55,1
24-5-13	11	52,1	23-1-14	17	44,2	19-2-14	15	51,3
27-5-13	14	50,4	24-1-14	18	49,9	20-2-14	16	52,7
			27-1-14	21	54,0	21-2-14	17	52,8
			28-1-14	22	53,1	24-2-14	20	55,6
			31-1-14	25	54,3	25-2-14	21	51,1
			3-2-14	28	52,8	26-2-14	22	51,8
						27-2-14	23	56,7

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 23: Απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Η θερμοκρασία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη διεργασία της κομποστοποίησης, καθώς μέσω της παρακολούθησης της εξέλιξής της είναι δυνατό να προσδιοριστεί το στάδιο, στο οποίο βρίσκεται η διεργασία και εν συνεχεία να εκτιμηθεί ότι έχει επέλθει ο τερματισμός της.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το θερμοκρασιακό προφίλ των τριών πειραματικών κύκλων δεν συμφωνεί με τη θεωρητικά αποδεκτή καμπύλη της θερμοκρασίας για τη μέθοδο της κομποστοποίησης (δεν μπορούμε να διακρίνουμε τα τρία στάδια της διεργασίας, που είναι κατά ακολουθία η μεσόφιλη, η θερμόφιλη και η μεσόφιλη φάση), ενώ μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερό, με μικρές διακυμάνσεις. Η διατήρηση της θερμοκρασίας σε σχεδόν σταθερά επίπεδα δικαιολογείται, με δεδομένο ότι ο κομποστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε και για τους τρεις κύκλους, παρείχε συνεχώς θερμότητα στο μίγμα κομποστοποίησης μέσω θερμαινόμενης πλάκας, καθώς ήταν συνδεδεμένος με την παροχή ρεύματος.

Η θερμοκρασία του οργανικού υποστρώματος που επιτυγχάνεται με τη χρήση του κομποστοποιητή χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- ήταν αδύνατο να μειωθεί στα επίπεδα της μεσόφιλης περιοχής, κατά συνέπεια καθ' όλη την διάρκεια της διεργασίας επικρατούσε η θερμόφιλη φάση, όπως φαίνεται άλλωστε και από το διάγραμμα. Συνεπώς, η αποδόμηση του οργανικού υλικού μπορεί να αποδοθεί στη δράση κυρίως των θερμόφιλων μικροβιακών κοινοτήτων,
- η εξέλιξή της δεν καθορίστηκε από την αυτόνομη μεταβολή της θερμοκρασίας λόγω της ίδιας της διεργασίας και της δράσης των μικροοργανισμών που την επιτελούν, διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα επιφέροντας ως αποτέλεσμα την εξόντωση τυχόν παθογόνων μικροοργανισμών, που υπήρχαν στο μίγμα.

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Οι μικρές διακυμάνσεις που παρατηρούνται, πιθανώς να οφείλονται στους παρακάτω παράγοντες: στο τακτικό άνοιγμα και κλείσιμο του επάνω μέρους της συσκευής, με σκοπό την ανάδευση του μίγματος, στην προσθήκη νωπών και ξηρών διατροφικών αποβλήτων, που αναμιγνύονταν με το ήδη υπάρχον υλικό, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της θερμοκρασίας του συνολικού μίγματος, στη μείωση της μάζας του μίγματος λόγω της λήψης δειγμάτων αλλά και της ίδιας της διεργασίας, που τροποποιούσε κάθε φορά τον απαιτούμενο χρόνο για τη θέρμανσή του στη θερμοκρασία λειτουργίας της συσκευής.

Αναφορικά με τη θερμοκρασία για κάθε πειραματικό κύκλο ξεχωριστά, σημειώνεται ότι:

Για τον κύκλο με το 10% κ.β. ξηρό υλικό, η θερμοκρασία της πρώτης μέρας δεν πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς η τιμή της είναι χαμηλή (36,6) σε σχέση με αυτές των επόμενων ημερών, διότι ο κομποστοποιητής τέθηκε για πρώτη φορά σε λειτουργία και η θερμοκρασία δεν πρόλαβε να φτάσει κοντά στην τιμή λειτουργίας του. Η υψηλότερη θερμοκρασία παρατηρείται τη 10^η μέρα (54,6 °C) και η χαμηλότερη την 9^η μέρα (50,2 °C).

Για τον κύκλο με το 30% κ.β. ξηρό υλικό, η μέγιστη θερμοκρασία σημειώθηκε την 14^η μέρα (54,8) και η ελάχιστη την 17^η (44,2).

Οι τιμές της θερμοκρασίας **του κύκλου με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό** κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα, με μέγιστη τιμή τους 58,9 °C τη 3^η μέρα και ελάχιστη τους 49 °C τη 2^η μέρα. Αυτό είναι εμφανές και στο γράφημα της θερμοκρασίας του εν λόγω κύκλου, αφού αυτό είναι μετατοπισμένο προς τα πάνω συγκριτικά με τα γραφήματα των άλλων δύο κύκλων.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων της θερμοκρασίας για τον αυτόματο και τον μη αυτόματο κομποστοποιητή συμπεραίνεται ότι:

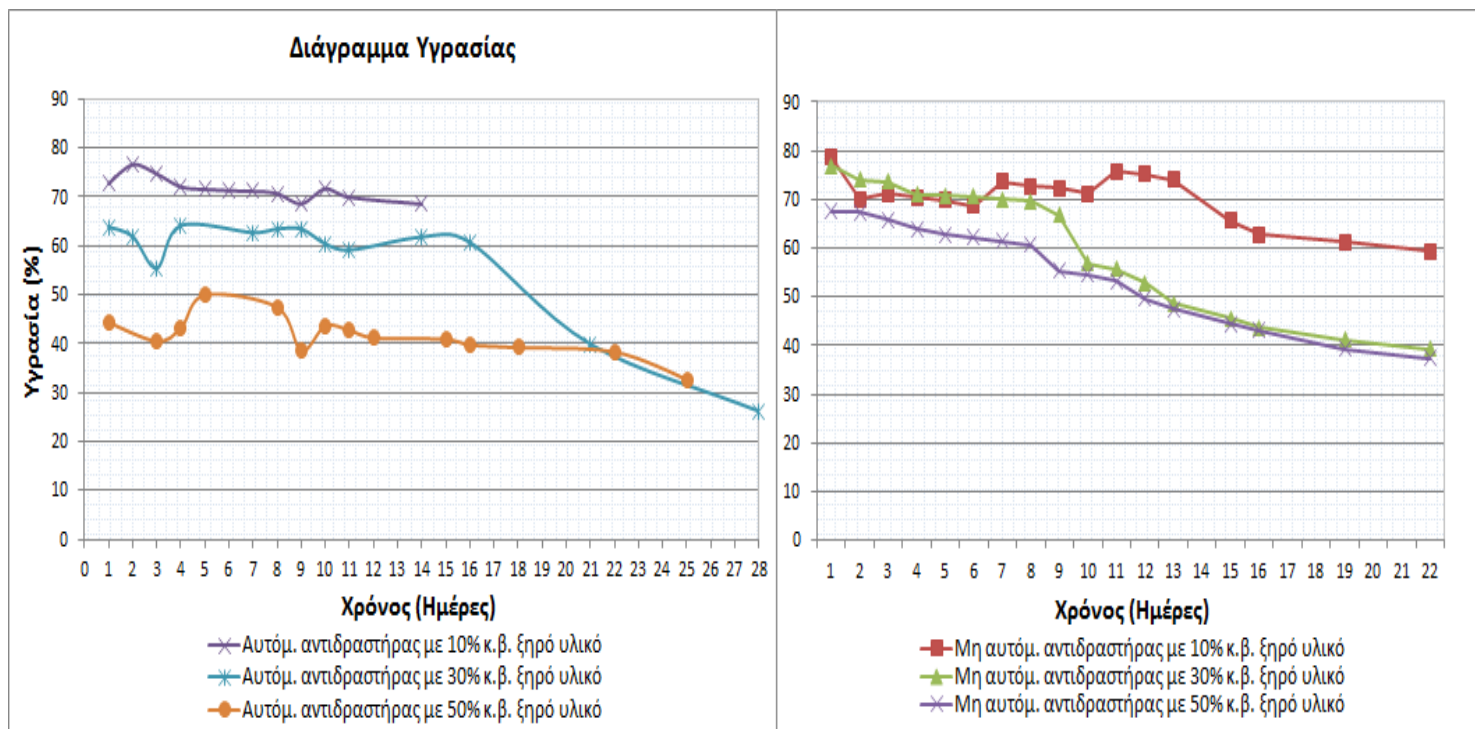
- η θερμοκρασία στον αυτόματο κομποστοποιητή διατηρείται σε υψηλά επίπεδα καθ'όλη τη διάρκεια της διεργασίας, λόγω του συστήματος θέρμανσης που διαθέτει,
- ενώ η πορεία της θερμοκρασίας στον μη αυτόματο κομποστοποιητή είναι τυπική της διεργασίας της κομποστοποίησης (μεσόφιλη, θερμόφιλη και μεσόφιλη φάση).

6.3.2 Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος

Πίνακας 27: Ποσοστά (%) υγρασίας κατά τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)				Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			
Ημερ/νία	Ημέρα	Υ (%)	ΣΧΟΛΙΑ	Ημερ/νία	Ημέρα	Υ (%)	ΣΧΟΛΙΑ
14-5-13	1	72,7		7-1-14	1	63,8	
15-5-13	2	76,6	Προσθήκη 1,8 kg νωπών και 0,2 kg ξηρών διατροφικών αποβλήτων	8-1-14	2	61,9	
16-5-13	3	74,7	Προσθήκη 1,8 kg νωπών και 0,2 kg ξηρών διατροφικών αποβλήτων	9-1-14	3	55,4	Προσθήκη 500 g νωπών διατροφικών αποβλήτων
17-5-13	4	72,1		10-1-14	4	64,1	Προσθήκη 500 g νωπών διατροφικών αποβλήτων
18-5-13	5	71,5	Προσθήκη 250 g καφέ	13-1-14	7	62,7	Προσθήκη 650 g νωπών και 200 g ξηρών διατροφικών αποβλήτων
19-5-13	6	71,3		14-1-14	8	63,5	
20-5-13	7	71,1		15-1-14	9	63,4	
21-5-13	8	70,7		16-1-14	10	60,4	Προσθήκη 500 g νωπών και 200 g ξηρών διατροφικών αποβλήτων
22-5-13	9	68,6		17-1-14	11	59,1	
23-5-13	10	71,7		20-1-14	14	61,8	
24-5-13	11	69,9		22-1-14	16	60,7	Προσθήκη 172 g ξηρών διατροφικών αποβλήτων
27-5-13	14	68,5		27-1-14	21	39,9	
				3-2-14	28	26,2	

Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)			
Ημερ/νία	Ημέρα	Υ (%)	Σχόλια
3-2-14	1	44,3	
5-2-14	3	40,5	
6-2-14	4	43,2	Προσθήκη 1 kg νωπών και 1 kg ξηρών διατροφικών αποβλήτων
7-2-14	5	49,9	
10-2-14	8	47,4	Προσθήκη 0,5 kg νωπών και 0,5 kg ξηρών διατροφικών αποβλήτων
11-2-14	9	38,5	Προσθήκη 0,75 kg νωπών και 0,75 kg ξηρών διατροφικών αποβλήτων
12-2-14	10	43,6	
13-2-14	11	42,7	
14-2-14	12	41,2	
17-2-14	15	40,9	
18-2-14	16	39,7	
20-2-14	18	39,2	
24-2-14	22	38,3	
27-2-14	25	32,7	



Διάγραμμα 24: Απεικόνιση της εξέλιξης της υγρασίας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Η παρουσία του νερού στο μίγμα κομποστοποίησης εξασφαλίζει τη μεταβολική λειτουργία των μικροοργανισμών, που επιτελούν τη βιοαποδόμηση της οργανικής ουσίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, η υγρασία είναι το μέσο μεταφοράς των απαραίτητων για τη λειτουργία τους θρεπτικών συστατικών.

Όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα, τα ποσοστά υγρασίας είχαν πτωτική τάση κατά τη διάρκεια και των τριών κύκλων κομποστοποίησης. Αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι, η θερμοκρασία των μιγμάτων διατηρούνταν σε υψηλά επίπεδα, λόγω του συστήματος θέρμανσης του κομποστοποιητή και της δράσης των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα να συντελεί και στην αφύγρανση του οργανικού υποστρώματος. Παρατηρείται, επιπλέον, ότι τα αρχικά ποσοστά υγρασίας για κάθε κύκλο ήταν διαφορετικά. Αυτό είναι εύλογο, αν ληφθεί υπόψη ότι χρησιμοποιήθηκε διαφορετική αναλογία νωπού και ξηρού υλικού για το αρχικό μίγμα κάθε κύκλου. Είναι αυτονόητο ότι ο κύκλος με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ξηρό υλικό θα παρουσιάζε τη μικρότερη αρχική υγρασία και εκείνος με τη μικρότερη περιεκτικότητα σε ξηρό υλικό τη μεγαλύτερη αρχική υγρασία. Η προαναφερθείσα παρατήρηση διαπιστώθηκε, διότι τα αρχικά ποσοστά υγρασίας για τον Α' κύκλο (10 % κ.β. ξηρό υλικό), τον Β' κύκλο (30 % κ.β. ξηρό υλικό) και τον Γ' κύκλο (50 % κ.β. ξηρό υλικό) ήταν 72,7 %, 63,8 % και 44,3 % αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ακόμα, ότι κατά τη διάρκεια των τριών πειραματικών κύκλων κρίθηκε απαραίτητη η προσθήκη νωπών ή/και ξηρών διατροφικών αποβλήτων. Κατά τις πρώτες μέρες της διεργασίας παρατηρήθηκε αισθητή μείωση της μάζας του μίγματος στον κάδο του κομποστοποιητή (χωρητικότητας περίπου 2 kg σε νωπά διατροφικά απόβλητα), οπότε θεωρηθήκε αναγκαία η προσθήκη διατροφικών αποβλήτων, ώστε να επαρκεί το οργανικό υλικό για τη συνέχιση της διεργασίας, αλλά και για την καθημερινή λήψη δειγμάτων. Επιπρόσθετα, η προσθήκη διατροφικών αποβλήτων αποσκοπούσε και στη ρύθμιση του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας στο μίγμα κομποστοποίησης.

Στον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, η υγρασία του μίγματος κυμάνθηκε μεταξύ των ποσοστών 68 - 77 %. Το παραπάνω εύρος βρίσκεται αρκετά υψηλότερα συγκριτικά με τα βέλτιστα επίπεδα σε υγρασία των πρώτων υλών, που υπολογίζονται μεταξύ 45-60 %. Η υψηλότερη τιμή της υγρασίας σημειώθηκε τη 2^η μέρα (76,6 %), κατά την οποία είχε πραγματοποιηθεί προσθήκη νωπών και ξηρών διατροφικών αποβλήτων, ενώ η ελάχιστη τιμή της (68,5 %) προέκυψε τη 14^η μέρα, δηλαδή την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης.

Στον κύκλο με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της υγρασίας ήταν 64,1 % και 26,2 % αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε την 4^η μέρα της διεργασίας, σε αυτό συνέβαλε η προσθήκη νωπών διατροφικών αποβλήτων την προηγούμενη μέρα, που αύξησε το ποσοστό της υγρασίας από το 55,4 % στο 64,1 %. Η ελάχιστη τιμή της υγρασίας (26,2 %) μετρήθηκε την 28^η μέρα, με το πέρας της διεργασίας. Το παραπάνω ποσοστό είναι ιδιαίτερα χαμηλό και θα οδηγήσει στην παραλαβή ενός κόμποστ με μη επιθυμητή υγρασία, δεδομένου ότι:

- στο τελικό προϊόν (κόμποστ) η περιεχόμενη υγρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 25 %, καθώς τότε δεν είναι δυνατή η ενσωμάτωση του στο έδαφος,
- το ποσοστό υγρασίας στο κόμποστ αναμένεται να είναι ακόμα χαμηλότερο από 26,2 % και άρα από 25 %, διότι μετά τον τερματισμό της κομποστοποίησης απαιτείται η έκθεση του μίγματος στον ατμοσφαιρικό αέρα για διάστημα ενός μήνα, ώστε να παραληφθεί ώριμο το τελικό προϊόν.

Ένας παράγοντας που επηρέασε στη διαμόρφωση της ελάχιστης τιμής της υγρασίας στο 26,2 % ήταν και η προσθήκη ξηρών διατροφικών αποβλήτων κατά τη 16^η μέρα. Η προσθήκη αυτή θεωρήθηκε αναγκαία τη δεδομένη στιγμή, καθώς το μίγμα διατηρούσε υγρή και λασπώδη μορφή, αν και η διεργασία χρονικά είχε προχωρήσει αρκετά.

Για τον κύκλο με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό, το εύρος των τιμών της υγρασίας ήταν 32-50 %. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (49,9 %) μετρήθηκε την 5^η μέρα, δηλαδή μετά την προσθήκη μεγάλης ποσότητας ξηρών και νωπών διατροφικών αποβλήτων κατά την 4^η μέρα. Ενώ το μικρότερο ποσοστό υγρασίας (32,7 %) μετρήθηκε την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης, δηλαδή την 25^η μέρα.

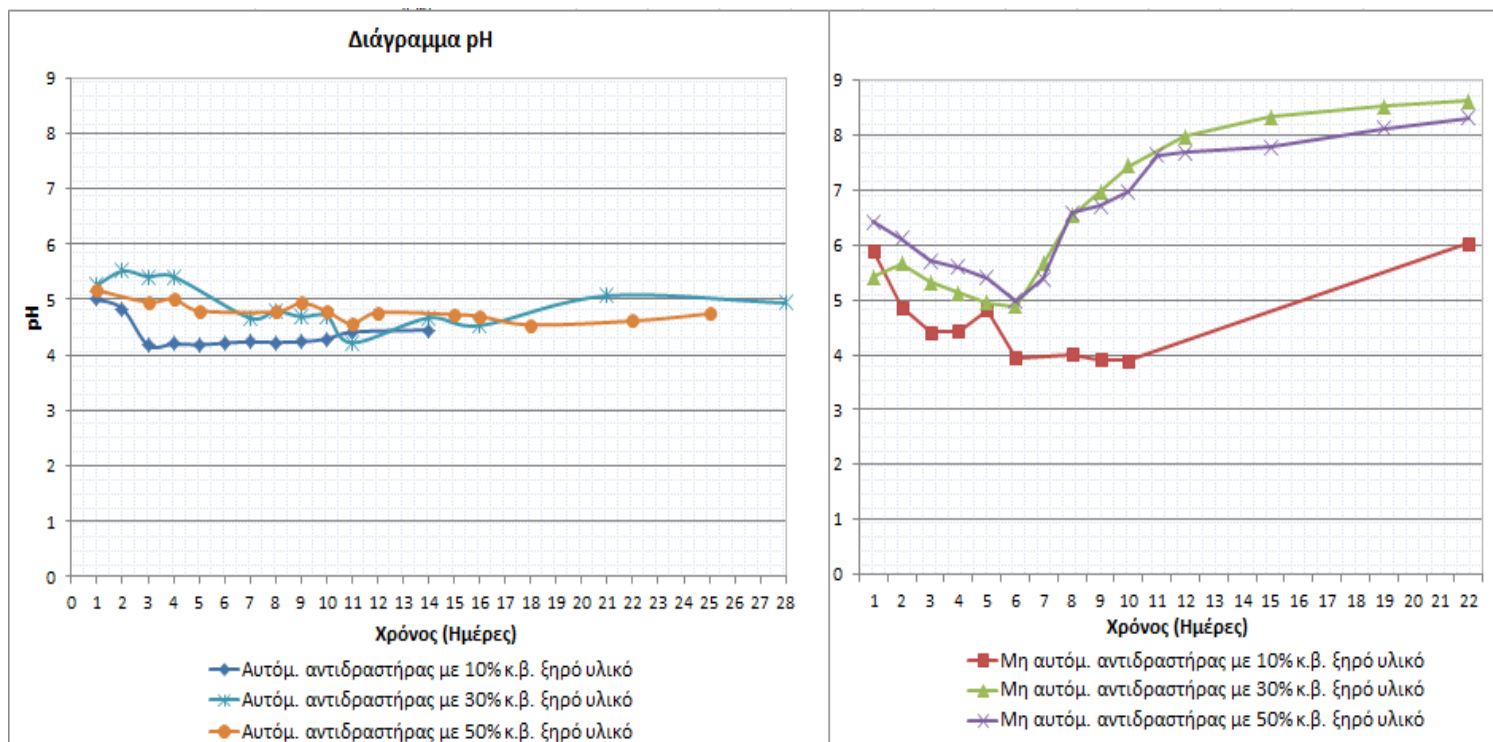
Από την παρατήρηση των καμπυλών της υγρασίας για τον αυτόματο και τον μη αυτόματο κομποστοποιητή διαπιστώνεται ότι:

- κατά την εξέλιξη της διεργασίας τα επίπεδα της υγρασίας διατηρούνται σε υψηλότερα επίπεδα στην περίπτωση χρήσης του μη αυτόματου κομποστοποιητή. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι ο αυτόματος κομποστοποιητής διαθέτει σύστημα θέρμανσης, ενώ παράλληλα ο μη αυτόματος ήταν εκτεθειμένος στο εξωτερικό περιβάλλον,
- η υγρασία ακολουθεί πτωτική πορεία καθ'όλη τη διάρκεια της διεργασίας με χρήση και των δύο κομποστοποιητών.

6.3.3 Προσδιορισμός pH του υποστρώματος

Πίνακας 28: Καταγραφή του pH κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	pH	Ημερ/νία	Ημέρα	pH	Ημερ/νία	Ημέρα	pH
14-5-13	1	5,00	7-1-14	1	5,26	3-2-14	1	5,17
15-5-13	2	4,84	8-1-14	2	5,52	5-2-14	3	4,96
16-5-13	3	4,18	9-1-14	3	5,42	6-2-14	4	5,02
17-5-13	4	4,20	10-1-14	4	5,42	7-2-14	5	4,80
18-5-13	5	4,19	13-1-14	7	4,67	10-2-14	8	4,78
19-5-13	6	4,22	14-1-14	8	4,80	11-2-14	9	4,94
20-5-13	7	4,24	15-1-14	9	4,69	12-2-14	10	4,79
21-5-13	8	4,23	16-1-14	10	4,71	13-2-14	11	4,57
22-5-13	9	4,24	17-1-14	11	4,22	14-2-14	12	4,77
23-5-13	10	4,29	20-1-14	14	4,67	17-2-14	15	4,73
24-5-13	11	4,42	22-1-14	16	4,53	18-2-14	16	4,70
27-5-13	14	4,45	27-1-14	21	5,07	20-2-14	18	4,55
			3-2-14	28	4,94	24-2-14	22	4,62
						27-2-14	25	4,75



Διάγραμμα 25: Απεικόνιση της εξέλιξης του pH στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Κατά τη διεξαγωγή και των τριών κύκλων κομποστοποίησης, το αρχικό pH των υποστρωμάτων εντοπίζεται στην όξινη περιοχή. Αυτό αποδίδεται στη σύσταση των προς κομποστοποίηση μιγμάτων. Καθ'όλη την διάρκεια της διεργασίας, η θερμοκρασία διατηρείται σε υψηλά επίπεδα λόγω του συστήματος θέρμανσης του κομποστοποιητή, με αποτέλεσμα να συντελείται συνεχώς η διάσπαση των εύκολα αποδομήσιμων ενώσεων από τους θερμοφίλους μικροοργανισμούς. Συνεπώς, σχηματίζονται οργανικά οξέα και το pH μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.

Στον κομποστοποιητή με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, το pH ξεκίνησε από την τιμή 5. Από την δεύτερη μέρα άρχισε να μειώνεται για να φτάσει την τρίτη μέρα στην τιμή 4,18. Στη συνέχεια, ακολούθησε μια πορεία αυξομείωσης μεταξύ του εύρους τιμών 4,19 – 4,45 και κατέληξε την τελευταία μέρα στην τιμή 4,45.

Η αρχική τιμή του pH **στον κομποστοποιητή με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό** ήταν 5,26. Τη δεύτερη μέρα της κομποστοποίησης αυξήθηκε ελαφρώς. Από το χρονικό αυτό σημείο και ως το τέλος της διεργασίας, παρουσίασε μικρές αυξομειώσεις και την τελευταία μέρα έλαβε την τιμή 4,94.

Η πορεία του pH **στον κύκλο με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό** ήταν παρόμοια με τους δύο προηγούμενους κύκλους. Η μέγιστη τιμή του pH σημειώθηκε την πρώτη μέρα και ήταν 5,17. Κατόπιν το pH μειώθηκε, παρουσίασε μια πορεία με μικρές διακυμάνσεις για να φτάσει στην τιμή 4,75 την τελευταία μέρα της διεργασίας.

Αναφορικά με το pH σε σχέση με τη χρήση του αυτόματου και του μη αυτόματου κομποστοποιητή σημειώνεται ότι:

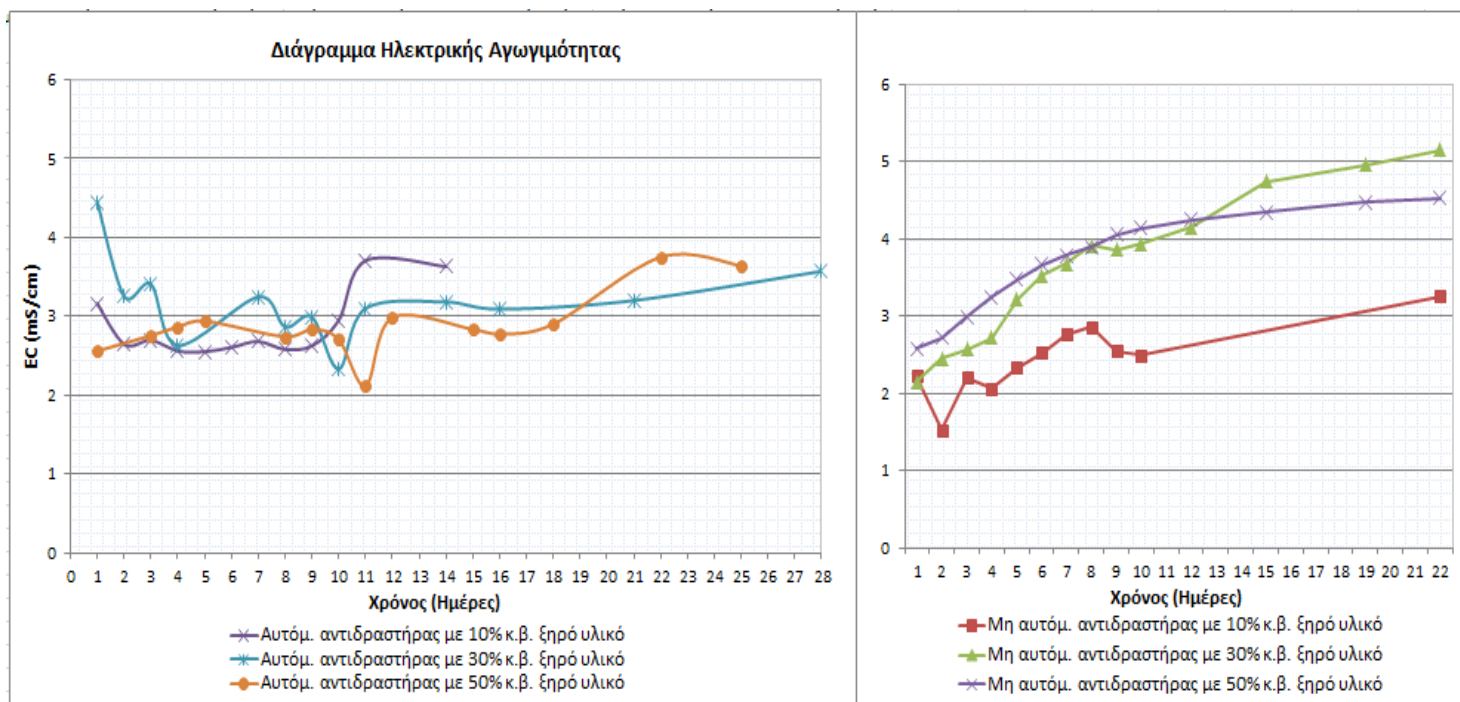
- και στις δύο περιπτώσεις η αρχική του τιμή είναι εντός της όξινης περιοχής
- κατά την εξέλιξη της διεργασίας στο μη αυτόματο κομποστοποιητή παρουσιάζει αυξητική πορεία, διαμορφώνοντας αλκαλικό περιβάλλον, στον δε αυτόματο παρουσιάζει πτωτική πορεία με μικρές αυξομειώσεις των τιμών, παραμένοντας πάντα στην όξινη περιοχή.

6.3.4 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

Πίνακας 29: Καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	EC (mS/cm)	Ημερ/νία	Ημέρα	EC (mS/cm)	Ημερ/νία	Ημέρα	EC (mS/cm)
14-5-13	1	3,16	7-1-14	1	4,45	3-2-14	1	2,56
15-5-13	2	2,65	8-1-14	2	3,26	5-2-14	3	2,76
16-5-13	3	2,70	9-1-14	3	3,41	6-2-14	4	2,87
17-5-13	4	2,56	10-1-14	4	2,63	7-2-14	5	2,94
18-5-13	5	2,55	13-1-14	7	3,25	10-2-14	8	2,74
19-5-13	6	2,61	14-1-14	8	2,87	11-2-14	9	2,84
20-5-13	7	2,68	15-1-14	9	2,99	12-2-14	10	2,71
21-5-13	8	2,58	16-1-14	10	2,33	13-2-14	11	2,12
22-5-13	9	2,63	17-1-14	11	3,10	14-2-14	12	2,99
23-5-13	10	2,95	20-1-14	14	3,18	17-2-14	15	2,84
24-5-13	11	3,71	22-1-14	16	3,09	18-2-14	16	2,78
27-5-13	14	3,63	27-1-14	21	3,20	20-2-14	18	2,90
			3-2-14	28	3,57	24-2-14	22	3,75
						27-2-14	25	3,64

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 26: Απεικόνιση της εξέλιξης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται ως μέτρο της περιεκτικότητας του κόμποστ σε διαλυτά άλατα και υποδεικνύει την καταλληλότητά του ή μη για εδαφοβελτιωτικές εφαρμογές. Αν τα επίπεδα αλατότητας στο κόμποστ που χρησιμοποιείται δεν είναι τα κατάλληλα για την εκάστοτε περίπτωση, μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών. Τα άλατα περιέχονται στο κόμποστ κυρίως σε διαλυμένη μορφή. Τα κυριότερα που εντοπίζονται σε αυτό είναι το χλωριούχο κάλιο, το χλωριούχο νάτριο, διαφόρων ειδών νιτρικά, ενώσεις που περιλαμβάνουν θειικά, άλατα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου καθώς και ανθρακικά άλατα. Η υπερβολικά υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και κατά συνέπεια την λήψη των απαραίτητων για την ανάπτυξη των φυτών θρεπτικών συστατικών, εφόσον αυτά είναι διαλυμένα στο νερό. Αντιθέτως, πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας.

Τα αρχικά υποστρώματα παρουσίασαν διαφορετικές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, λόγω της διαφορετικής τους σύστασης και άρα της διαφορετικής τους περιεκτικότητας σε διαλυτά άλατα.

Στον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, η αρχική τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 3,16 mS/cm. Τις επόμενες ημέρες της διεργασίας έως και την 10^η μέρα η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται ελαφρώς και παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις. Προς το τέλος της κομποστοποίησης σημειώνονται οι μεγαλύτερες τιμές της, με μέγιστη τα 3,71 mS/cm. Η αύξηση της αγωγιμότητας αποδίδεται στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε διαλυτά άλατα.

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Κατά τον κύκλο με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ακολούθησαν παρόμοια πορεία με τον προαναφερθέντα κύκλο. Η αρχική τιμή της μετρήθηκε στα 2,56 mS/cm και η μέγιστη που σημειώθηκε τις τελευταίες μέρες της διεργασίας στα 3,75 mS/cm.

Στον κύκλο με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό, η αρχική τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 4,45 mS/cm. Τις επόμενες μέρες οι τιμές της κυμαίνονται σε ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα, για να αυξηθούν και πάλι προς το τέλος της διεργασίας.

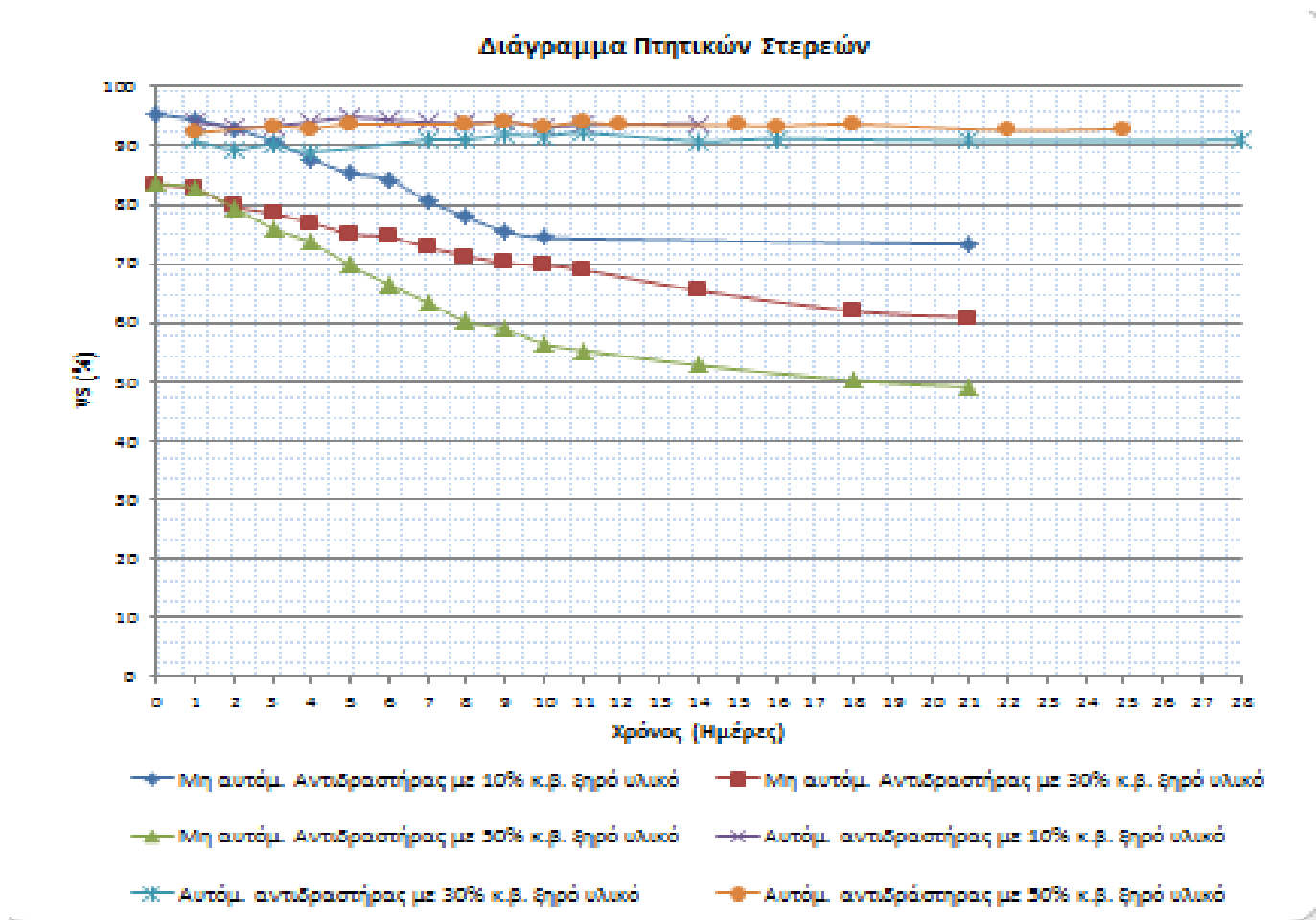
Από την μελέτη της λειτουργίας των συστημάτων του αυτόματου και του μη αυτόματου κομποστοποιητή, αναφορικά με την αγωγιμότητα παρατηρήθηκαν τα εξής:

- οι αρχικές της τιμές στον μη αυτόματο κομποστοποιητή είναι μεταξύ 2 - 3 mS/cm, ενώ στον αυτόματο κυμαίνονται μεταξύ 3,16 – 4,45 mS/cm.
- κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η ηλεκτρική αγωγιμότητα στον μη αυτόματο παρουσιάζει αυξητική πορεία (η αύξηση οφείλεται στην εκτεταμένη αποσύνθεση της οργανικής ύλης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε διαλυτά άλατα), ενώ στον αυτόματο παρουσιάζει αυξομειώσεις στο ενδιάμεσο της διεργασίας, καταλήγοντας να αυξάνεται προς το τέλος.

6.3.5 Προσδιορισμός πτητικών στερεών

Πίνακας 28: Ποσοστά (%) των πτητικών στερεών κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α΄ ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β΄ ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ΄ ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	VS (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	VS (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	VS (%)
14-5-13	1	94,07	7-1-14	1	90,99	3-2-14	1	92,14
15-5-13	2	93,22	8-1-14	2	89,35	5-2-14	3	93,33
16-5-13	3	93,35	9-1-14	3	90,28	6-2-14	4	92,93
17-5-13	4	94,12	10-1-14	4	89,02	7-2-14	5	93,66
18-5-13	5	94,92	13-1-14	7	91,04	10-2-14	8	93,72
19-5-13	6	94,49	14-1-14	8	91,07	11-2-14	9	94,08
20-5-13	7	94,04	15-1-14	9	91,87	12-2-14	10	93,35
21-5-13	8	93,90	16-1-14	10	91,64	13-2-14	11	94,01
22-5-13	9	94,18	17-1-14	11	92,19	14-2-14	12	93,60
23-5-13	10	93,24	20-1-14	14	90,82	17-2-14	15	93,47
24-5-13	11	93,51	22-1-14	16	91,23	18-2-14	16	93,32
27-5-13	14	93,85	27-1-14	21	90,89	20-2-14	18	93,65
			3-2-14	28	90,93	24-2-14	22	92,63
						27-2-14	25	92,87



Διάγραμμα 27: Εξέλιξη του (%) ποσοστού των πηθτικών στερεών στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Μέσω της μέτρησης των πηθτικών στερεών είναι δυνατό να εκτιμηθεί η περιεχόμενη οργανική ύλη του υποστρώματος, που αξιοποιείται στην διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά την διάρκεια του χρόνου κομποστοποίησης, η οργανική ύλη αποσυντίθεται λόγω της δράσης των μικροοργανισμών. Συνεπώς, η πορεία μείωσης του οργανικού υλικού μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω της απεικόνισης της εξέλιξης των πηθτικών στερεών.

Κατά τη μέθοδο προσδιορισμού των πηθτικών στερεών λαμβάνονταν δείγματα από το μίγμα κομποστοποίησης και εισάγονταν σε κλίβανο των 550 °C. Κάθε δείγμα περιείχε ένα ποσοστό οργανικής ύλης. Υπό την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στον κλίβανο, η οργανική ύλη οξειδωνόταν (καιγόταν) και παρέμενε το δείγμα δίχως την οργανική ύλη, που αρχικά περιείχε. Η απώλεια μάζας που συνέβαινε κατά την παραμονή των δειγμάτων στον κλίβανο προσδιοριζόταν με μέτρηση του βάρους των δειγμάτων πριν και μετά τον κλίβανο. Ουσιαστικά, εκείνο που υπολογιζόταν ήταν η απώλεια των πηθτικών στερεών ή αλλιώς η απώλεια της οργανικής ύλης των δειγμάτων.

Κατά τον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, το αρχικό ποσοστό της οργανικής ύλης του υποστρώματος είναι υψηλό και υπολογίζεται περίπου στο 94 %. Το ποσοστό αυτό μειώνεται τη 2^η μέρα κομποστοποίησης και στη συνέχεια παρουσιάζει σημαντική αύξηση έως και την 5^η μέρα, κατά την οποία λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του. Η αύξηση, ουσιαστικά, του περιεχομένου σε οργανική ύλη, που

παρατηρείται από την 2^η έως την 5^η μέρα οφείλεται στην προσθήκη διατροφικών αποβλήτων κατά τη 2^η και 3^η μέρα, τα οποία έφεραν οργανικό φορτίο. Στην συνέχεια, το ποσοστό της οργανικής ύλης παρουσιάζει πτωτική τάση έως και το τέλος της διεργασίας, με μη αξιοσημείωτες διακυμάνσεις.

Στον κύκλο με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό, το αρχικό ποσοστό της οργανικής ύλης είναι 91 %, χαμηλότερο συγκριτικά με τον προηγούμενο κύκλο. Η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική σύσταση των αρχικών μιγμάτων των δύο κύκλων. Κατά τη 2^η μέρα, το οργανικό υλικό μειώνεται, για να αυξηθεί την επόμενη μέρα λόγω της προσθήκης διατροφικών αποβλήτων. Στη συνέχεια, το ποσοστό σε οργανική ύλη μειώνεται και πάλι κατά την 4^η μέρα, λόγω της δράσης των μικροοργανισμών που αποικοδομούν την οργανική ύλη. Από την 4^η έως και την 11^η μέρα, η οργανική ύλη παρουσιάζει αυξητική τάση με μικρές διακυμάνσεις, λόγω της προσθήκης διατροφικών αποβλήτων (δηλ. οργανικού υλικού) διάσπαρτα σε διάφορες μέρες (4^η, 7^η, 10^η). Από το σημείο αυτό και έπειτα, δεν πραγματοποιήθηκε καμία προσθήκη, με αποτέλεσμα το περιεχόμενο σε οργανικό υλικό να ελαττώνεται σταδιακά λόγω της εξάντλησής του από τις μικροβιακές ομάδες.

Στον κύκλο με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό, τα ποσοστά σε οργανική ύλη εμφανίζουν μια ανοδική πορεία έως και την 11^η μέρα, με μικρές διακυμάνσεις. Η ανοδική πορεία δικαιολογείται λαμβάνοντας υπόψη ότι, έως και την 9^η μέρα προστίθενται διατροφικά απόβλητα. Πιο συγκεκριμένα, ανατροφοδότηση του οργανικού υλικού πραγματοποιήθηκε κατά την 4^η, 8^η και 9^η μέρα. Από την 11^η μέρα και έως το πέρας της διεργασίας, τα ποσοστά οργανικού υλικού ακολούθησαν σταθερή πτωτική πορεία. Αυτό είναι εύλογο, εφόσον οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν συνεχώς την οργανική ύλη του υποστρώματος για τις μεταβολικές τους ανάγκες, με αποτέλεσμα το οργανικό φορτίο να εξαντλείται και ο ρυθμός αποδόμησής του να ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου.

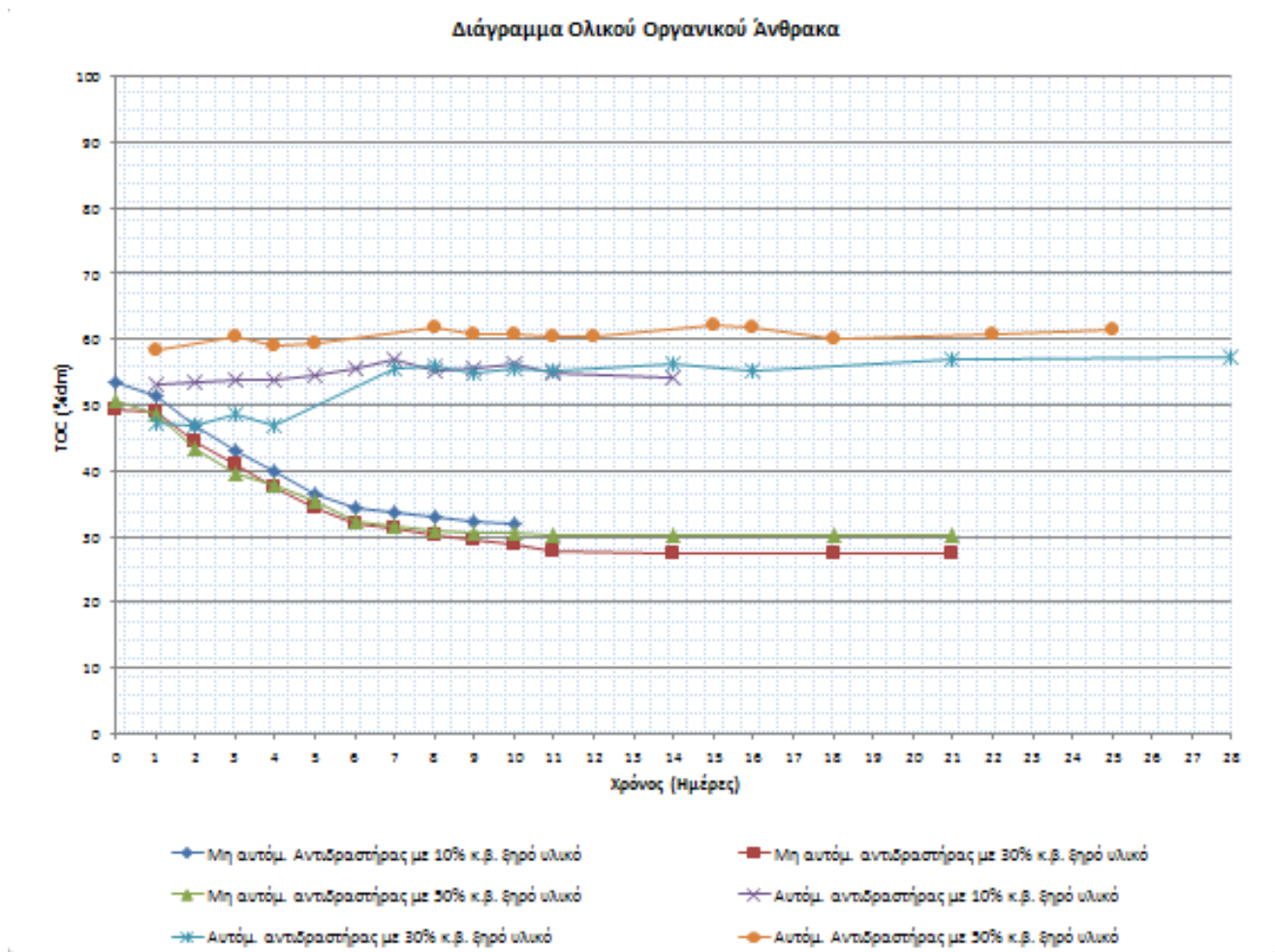
Συγκρίνοντας τα διαγράμματα για τα % πτητικά στερεά, που αντιστοιχούν στον αυτόματο και τον μη αυτόματο κομποστοποιητή συμπεραίνεται ότι:

- οι αρχικές τιμές και για τους δύο είναι ιδιαίτερα υψηλές, για τον μη αυτόματο κυμαίνονται μεταξύ 83,33 – 95,39 %, ενώ για τον αυτόματο το εύρος τιμών των ποσοστών ορίζεται μεταξύ 91 – 94 %.
- κατά τη διάρκεια της διεργασίας στον μη αυτόματο κομποστοποιητή παρουσιάζεται έντονη πτωτική τάση, με αποτέλεσμα τα ποσοστά των πτητικών στερεών στο τέλος της να κυμαίνονται μεταξύ 49,12 – 73,29 %. Αντίθετα, στον αυτόματο κομποστοποιητή διατηρούνται καθ'όλη τη διάρκεια σχεδόν στο ίδιο επίπεδο, παρουσιάζοντας μικρές διακυμάνσεις.

6.3.6 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα

Πίνακας 29: Ποσοστά (%) του ολικού οργανικού άνθρακα κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	TOC (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	TOC (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	TOC (%)
14-5-13	1	53,28	7-1-14	1	47,11	3-2-14	1	58,34
15-5-13	2	53,33	8-1-14	2	46,89	5-2-14	3	60,27
16-5-13	3	53,69	9-1-14	3	48,73	6-2-14	4	59,07
17-5-13	4	53,84	10-1-14	4	46,80	7-2-14	5	59,51
18-5-13	5	54,37	13-1-14	7	55,61	10-2-14	8	61,90
19-5-13	6	55,55	14-1-14	8	55,89	11-2-14	9	60,74
20-5-13	7	56,90	15-1-14	9	54,93	12-2-14	10	60,87
21-5-13	8	55,16	16-1-14	10	55,44	13-2-14	11	60,29
22-5-13	9	55,57	17-1-14	11	55,34	14-2-14	12	60,34
23-5-13	10	56,24	20-1-14	14	56,40	17-2-14	15	62,28
24-5-13	11	54,90	22-1-14	16	55,30	18-2-14	16	61,85
27-5-13	14	54,19	27-1-14	21	57,05	20-2-14	18	59,96
			3-2-14	28	57,44	24-2-14	22	60,67
						27-2-14	25	61,43



Διάγραμμα 28: Εξέλιξη του (%) ποσοστού του ολικού οργανικού άνθρακα στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα ξεκινούν με διαφορετικές τιμές για καθένα από τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης, λόγω της διαφορετικής σύστασης των αρχικών υποστρωμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, **στον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό**, το αρχικό ποσοστό ολικού οργανικού άνθρακα είναι 53,28 %. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο του μίγματος σε οργανικό άνθρακα παρουσιάζει αυξητική τάση και φτάνει στη μέγιστη τιμή του (56,9 %) την 7^η μέρα. Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, μειώνεται με μικρές διακυμάνσεις ως το τέλος της διεργασίας, για να καταλήξει στην τιμή 54,19 %. Η αύξηση των ποσοστών του ολικού οργανικού άνθρακα που παρατηρήθηκε κατά τις πρώτες μέρες οφείλεται στο ότι κατά διαστήματα πραγματοποιήθηκε προσθήκη διατροφικών αποβλήτων.

Στον κύκλο με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό, το αρχικό ποσοστό σε ολικό οργανικό άνθρακα είναι 47,11 %. Από τη 2^η μέρα και ως το τέλος της διεργασίας η πορεία των ποσοστών του ολικού οργανικού άνθρακα είναι ανοδική με μικρές διακυμάνσεις. Η μέγιστη τιμή παρατηρείται κατά την τελευταία μέρα και είναι 57,44 %. Η αυξητική αυτή τάση δικαιολογείται, δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια και αυτού του πειραματικού κύκλου προσετίθεντο διατροφικά απόβλητα.

Κατά τον τρίτο κύκλο κομποστοποίησης, στον οποίο η αναλογία ξηρού υλικού ήταν 50 %, τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα που μετρήθηκαν καθ'όλη τη διάρκεια της διεργασίας ήταν υψηλότερα σε σχέση με τους δύο προηγούμενους. Η αρχική τιμή του ήταν 58,34 %. Τις επόμενες μέρες και ως το

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

τέλος της διεργασίας, τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα κυμαίνονται σε υψηλότερα επίπεδα, με αποτέλεσμα η τιμή που μετρήθηκε κατά την τελευταία μέρα να είναι 61,43 %.

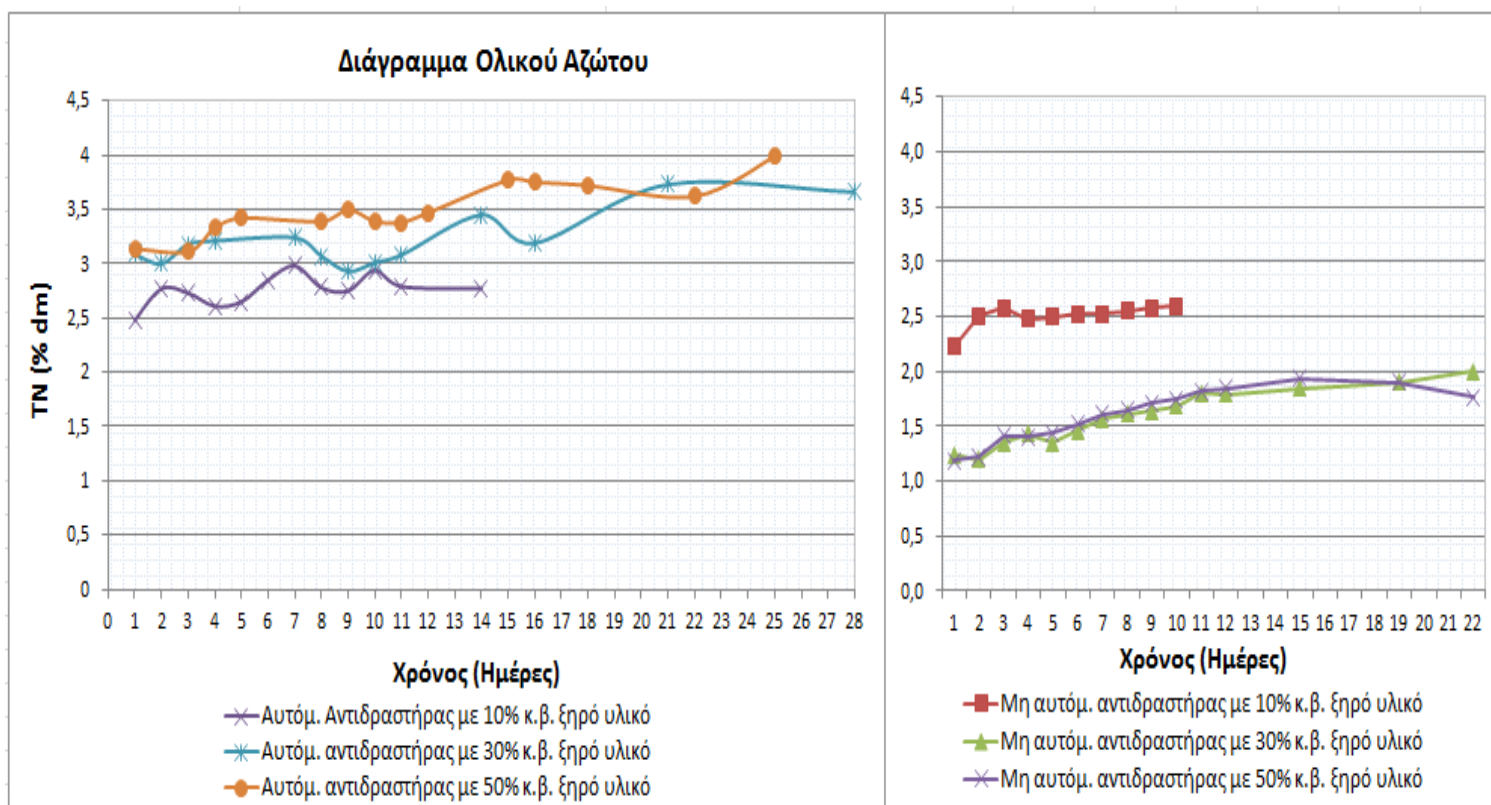
Αντιπαραβάλλοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων του % ολικού οργανικού άνθρακα, που προέκυψαν κατά τη διενέργεια κομποστοποίησης με χρήση αυτόματου και μη αυτόματου κομποστοποιητή διαπιστώνεται ότι:

- το εύρος των αρχικών τιμών των ποσοστών του ολικού οργανικού άνθρακα είναι σε παρόμοια επίπεδα, μεταξύ 50 και 60 %,
- κατά τη διάρκεια της διεργασίας στον μη αυτόματο κομποστοποιητή τα ποσοστά παρουσιάζουν πτωτική τάση και σταθεροποιούνται σχετικά προς το τέλος, ενώ στον αυτόματο διατηρούνται σε σταθερά περίπου επίπεδα, με μικρές διακυμάνσεις προς τα πάνω.

6.3.7 Προσδιορισμός ολικού αζωτού

Πίνακας 30: Ποσοστά (%) του ολικού αζώτου κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	TN (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	TN (%)	Ημερ/νία	Ημέρα	TN (%)
14-5-13	1	2,48	7-1-14	1	3,09	3-2-14	1	3,14
15-5-13	2	2,77	8-1-14	2	3,00	5-2-14	3	3,11
16-5-13	3	2,73	9-1-14	3	3,18	6-2-14	4	3,33
17-5-13	4	2,61	10-1-14	4	3,21	7-2-14	5	3,42
18-5-13	5	2,65	13-1-14	7	3,24	10-2-14	8	3,39
19-5-13	6	2,85	14-1-14	8	3,07	11-2-14	9	3,50
20-5-13	7	2,98	15-1-14	9	2,93	12-2-14	10	3,39
21-5-13	8	2,78	16-1-14	10	3,01	13-2-14	11	3,38
22-5-13	9	2,75	17-1-14	11	3,08	14-2-14	12	3,47
23-5-13	10	2,94	20-1-14	14	3,45	17-2-14	15	3,77
24-5-13	11	2,79	22-1-14	16	3,19	18-2-14	16	3,75
27-5-13	14	2,77	27-1-14	21	3,73	20-2-14	18	3,72
			3-2-14	28	3,66	24-2-14	22	3,62
						27-2-14	25	3,99



Διάγραμμα 29: Εξέλιξη του (%) ποσοστού του ολικού αζώτου στους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

Κατά τη διεξαγωγή των τριών πειραματικών κύκλων καταγράφηκε η πορεία του ολικού αζώτου, το οποίο περιλαμβάνει το οργανικό άζωτο (N-org), τα αμμωνιακά (N-NH₄⁺), τα νιτρικά (N-NO₃⁻) και τα νιτρώδη (N-NO₂⁻).

Με βάση λοιπόν τις τιμές που μετρήθηκαν για τα ποσοστά ολικού αζώτου, παρατηρείται ότι ο δεύτερος και τρίτος κύκλος κομποστοποίησης ξεκινούν από υψηλότερες αρχικές τιμές σε % ολικό άζωτο εν συγκρίσει με τον πρώτο κύκλο. Αυτό ήταν αναμενόμενο, λόγω του ότι το αρχικό τους υπόστρωμα περιείχε πράσινα απόβλητα που αυξάνουν το περιεχόμενο του μίγματος σε άζωτο.

Κατά τον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, η αρχική περιεκτικότητα σε άζωτο ήταν 2,48 %. Τις επόμενες μέρες και έως την 7η, τα ποσοστά ολικού αζώτου παρουσιάζουν ανοδική πορεία. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε κατά την 7η μέρα και είναι 2,98 %. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι κατά την 5η μέρα έγινε προσθήκη διατροφικών αποβλήτων. Μέχρι το τέλος της διεργασίας τα ποσοστά ολικού αζώτου κυμαίνονται κοντά στο 2,7 %.

Στον δεύτερο κύκλο, το ολικό άζωτο υπολογίστηκε αρχικά σε 3,09 %. Το εύρος τιμών του τις επόμενες μέρες έως και την 11η ήταν μεταξύ 2,93 – 3,24 %. Ενώ κατά τις τελευταίες μέρες παρουσίασε αύξηση και κατέληξε την τελευταία μέρα στην τιμή 3,66 %.

Η πορεία του ολικού αζώτου **κατά τον τρίτο κύκλο** ήταν παρόμοια με αυτήν του δεύτερου. Το ολικό άζωτο ξεκίνησε από την τιμή 3,14 %, τις επόμενες μέρες έως και την 12^η κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 3,11 – 3,5 %, ενώ τις τελευταίες μέρες παρουσίασε αύξηση, με τη μέγιστη τιμή (3,99 %) να σημειώνεται την τελευταία μέρα της διεργασίας.

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης συντελείται η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου που περιέχεται στο υπόστρωμα, λόγω της δράσης των μικροοργανισμών. Στη συνέχεια, η αμμωνία είτε οξειδώνεται βιολογικά με τη σταδιακή μετατροπή της σε αμμωνιακά, νιτρώδη και εν τέλει νιτρικά, είτε περνά στην αέρια φάση και απομακρύνεται από το σύστημα.

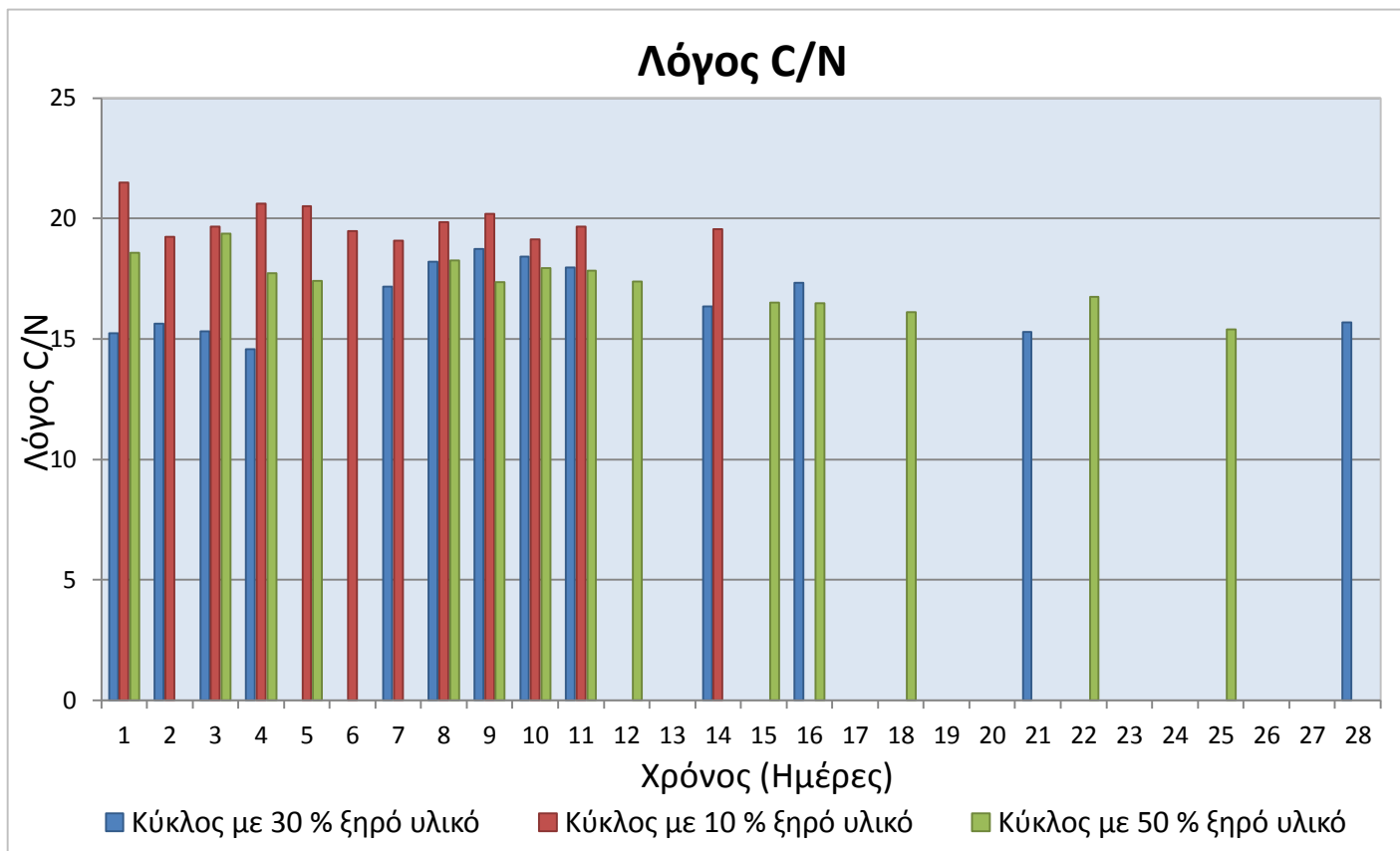
Μελετώντας τα διαγράμματα που αφορούν το % ολικό άζωτο που μετρήθηκε κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης με χρήση αυτόματου και μη αυτόματου κομποστοποιητή συμπεραίνεται ότι:

- στον μη αυτόματο κομποστοποιητή οι αρχικές τιμές ήταν μεταξύ 1,19 – 2,23 %, ενώ στον αυτόματο κυμάνθηκαν μεταξύ 2,48 – 3,14 %,
- κατά την εξέλιξη της διεργασίας και μέχρι το τέλος της, στον μη αυτόματο κομποστοποιητή οι τιμές των ποσοστών του ολικού αζώτου έχουν αυξητική πορεία, ενώ στον αυτόματο παρουσιάζουν καθ'όλη τη διάρκειά της μικρές διακυμάνσεις με ελαφρώς αυξητική τάση.

6.3.8 Προσδιορισμός λόγου C/N

Πίνακας 31: Καταγραφή του λόγου C/N κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης με αυτόματο κομποστοποιητή

Α΄ ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)			Β΄ ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)			Γ΄ ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)		
Ημερ/νία	Ημέρα	C/N	Ημερ/νία	Ημέρα	C/N	Ημερ/νία	Ημέρα	C/N
14-5-13	1	21,48	7-1-14	1	15,25	3-2-14	1	18,58
15-5-13	2	19,25	8-1-14	2	15,63	5-2-14	3	19,38
16-5-13	3	19,67	9-1-14	3	15,32	6-2-14	4	17,74
17-5-13	4	20,63	10-1-14	4	14,58	7-2-14	5	17,40
18-5-13	5	20,52	13-1-14	7	17,16	10-2-14	8	18,26
19-5-13	6	19,49	14-1-14	8	18,21	11-2-14	9	17,35
20-5-13	7	19,09	15-1-14	9	18,75	12-2-14	10	17,96
21-5-13	8	19,84	16-1-14	10	18,42	13-2-14	11	17,84
22-5-13	9	20,21	17-1-14	11	17,97	14-2-14	12	17,39
23-5-13	10	19,13	20-1-14	14	16,35	17-2-14	15	16,52
24-5-13	11	19,68	22-1-14	16	17,34	18-2-14	16	16,49
27-5-13	14	19,56	27-1-14	21	15,29	20-2-14	18	16,12
			3-2-14	28	15,69	24-2-14	22	16,76
						27-2-14	25	15,40



Διάγραμμα 30: Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N κατά την εξέλιξη των τριών κύκλων κομποστοποίησης

Η αναλογία C/N είναι παράμετρος κρίσιμης σημασίας για την διεργασία της κομποστοποίησης, εφόσον απαιτούμενο για τη μεταβολική λειτουργία των μικροοργανισμών, που επιτελούν την αποδόμηση του οργανικού υλικού, είναι η ύπαρξη των στοιχείων του άνθρακα και του αζώτου, και μάλιστα στις κατάλληλες ποσότητες. Επίσης, ο λόγος C/N των πρώτων υλών επηρεάζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Zhu, 2007; Chang & Hsu, 2008).

Η ιδανική αρχική αναλογία C/N για την κομποστοποίηση κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 25-30 (Kumar et al., 2010). Κατά τη διεξαγωγή των τριών πειραματικών κύκλων, η αρχική αναλογία C/N που υπολογίστηκε για τον Α', Β' και Γ' κύκλο ήταν 21,5, 15,3 και 18,6 αντίστοιχα. Οι προαναφερθείσες τιμές είναι μικρότερες του 25 και βρίσκονται εκτός του βέλτιστου εύρους τιμών. Ωστόσο, πρόσφατα πολλοί επιστήμονες διενήργησαν επιτυχημένα πειράματα κομποστοποίησης, με αναλογίες C/N χαμηλότερες του 25, όπως για παράδειγμα 20 ή ακόμα και 15 (Huang et al., 2004; Zhu, 2007; Kumar et al., 2010 ; Ogunwande et al., 2008). Με βάση τα αποτελέσματα των ερευνών τους, η κομποστοποίηση σε χαμηλότερες αναλογίες C/N απαιτεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και αυξάνει τις απώλειες αζώτου με τη μορφή αέριας αμμωνίας.

Αναφέρεται επίσης ότι, όσο η διεργασία εξελίσσεται δίχως εξωτερικές παρεμβάσεις, ο λόγος C/N θα ελαττώνεται, λόγω της αποδόμησης της οργανικής ύλης. Στους τρεις πειραματικούς κύκλους που διεκπεραιώθηκαν, ο λόγος C/N αυξανόταν κάθε φορά που προστίθεντο διατροφικά απόβλητα και επομένως οργανικό υλικό.

Αναλυτικότερα, **στον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό**, η αρχική αναλογία C/N μειώθηκε κατά την 2^η μέρα, ενώ τις δύο επόμενες παρουσίασε αυξητική τάση, εξαιτίας της προσθήκης διατροφικών αποβλήτων κατά την 2^η και 3^η μέρα. Από την 4^η μέρα και μέχρι τη λήξη της διεργασίας ο λόγος C/N ελαττώνεται με μικρές διακυμάνσεις.

Στον κύκλο με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό, η αρχική αναλογία C/N είναι αρκετά χαμηλή (15), διότι το αρχικό μίγμα περιείχε και πράσινα απόβλητα, γεγονός που συντέλεσε στην αύξηση της περιεκτικότητας του αζώτου συγκριτικά με τον άνθρακα. Σε γενικές γραμμές, ο λόγος αυτός αυξάνεται έως και την 9^η μέρα, λόγω της προσθήκης διατροφικών αποβλήτων, διάσπαρτα εντός του χρονικού αυτού διαστήματος. Από την 9^η μέρα έως και την τελευταία, ο λόγος C/N ελαττώνεται, για να καταλήξει σε μια τιμή κοντά στο 15.

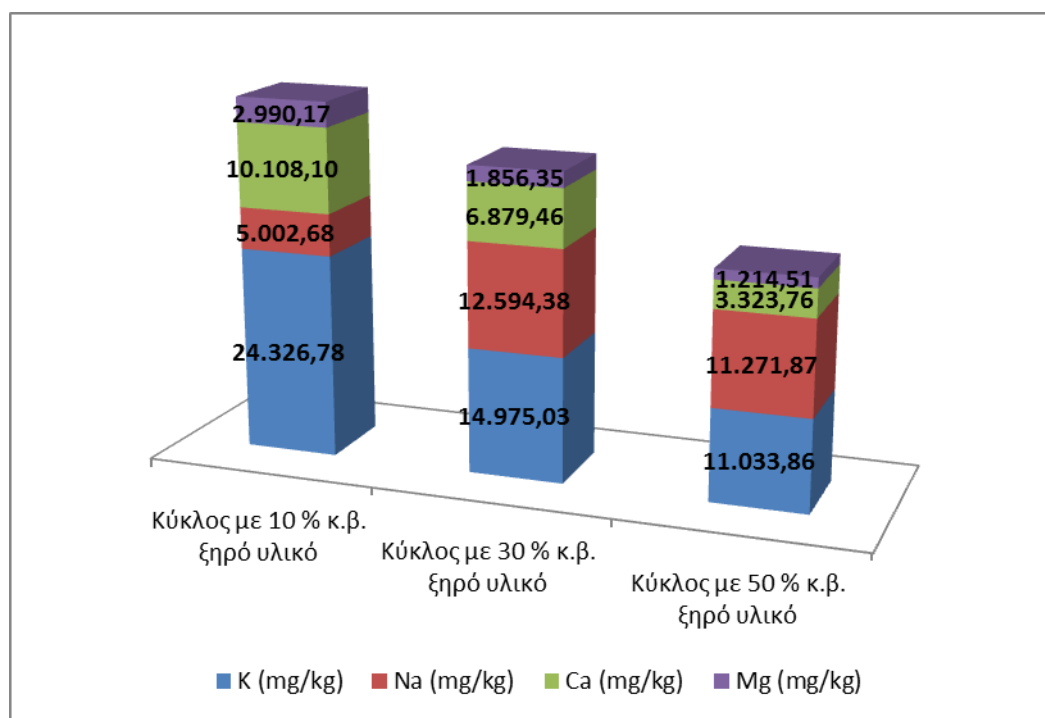
Η πορεία της αναλογίας C/N **του κύκλου με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό** εμφάνισε, επίσης, διακυμάνσεις, που κατά κύριο λόγο οφείλονται στις προσθήκες διατροφικών αποβλήτων. Αρχικά, ο λόγος C/N αυξήθηκε κατά την 3^η μέρα, ενώ στην συνέχεια ακολούθησε πτωτική πορεία έως την 8^η μέρα. Την 8^η μέρα προστέθηκε οργανικό υλικό και κατά συνέπεια ο λόγος C/N μετρήθηκε υψηλότερος συγκριτικά με τις αμέσως προηγούμενες μέρες. Την 9^η μέρα προστέθηκαν και πάλι διατροφικά απόβλητα, οπότε την 10^η μέρα ο λόγος είχε αυξηθεί ελαφρώς. Από το σημείο αυτό και έπειτα, η αναλογία C/N ελαττωνόταν συνεχώς, για να φτάσει στην τιμή 15,4 την τελευταία μέρα της κομποστοποίησης.

6.3.9 Προσδιορισμός μικροστοιχείων

Τα μικροστοιχεία συνιστούν απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών. Εκείνα που απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα φυτά είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο, ενώ σε μικρότερες ποσότητες το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Συνεπώς, είναι επιθυμητό να περιέχονται στο κόμποστ στις κατάλληλες ποσότητες.

Πίνακας 31: Περιεκτικότητα (mg/kg) σε μικροστοιχεία του ώριμου κόμποστ για τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης

ΩΡΙΜΟ ΚΟΜΠΟΣΤ	K (mg/kg)	Na (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Α' ΚΥΚΛΟΥ (10 % ξηρό υλικό)	24.326,78	5.002,68	10.108,10	2.990,17
Β' ΚΥΚΛΟΥ (30 % ξηρό υλικό)	14.975,03	12.594,38	6.879,46	1.856,35
Γ' ΚΥΚΛΟΥ (50 % ξηρό υλικό)	11.033,86	11.271,87	3.323,76	1.214,51



Διάγραμμα 31: Συγκριτική απεικόνιση των μικροστοιχείων (mg/kg) στο κόμποστ κάθε πειραματικού κύκλου

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Το κάλιο είναι απαραίτητο για τη σύνθεση των αμινοξέων, των πρωτεϊνών και τη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Οι τιμές του περιεχόμενου καλίου στα παραγόμενα κόμποστ υπολογίστηκαν εντός της περιοχής των 11.033 – 24.326 mg/kg. Η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στον κομποστοποιητή με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό.

Η περιεκτικότητα σε Na των παραγόμενων κόμποστ κυμάνθηκε μεταξύ 5.002 – 12.594 mg/kg. Η υψηλότερη τιμή αντιστοιχεί στο κόμποστ του κύκλου με το 30 % κ.β. ξηρό υλικό.

Η παρουσία του ασβεστίου είναι σημαντική για τον σχηματισμό της κυτταρικής μεμβράνης και νέων κυττάρων. Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο των κόμποστ που προέκυψαν από τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης ήταν μεταξύ 3.323 – 10.108 mg/kg.

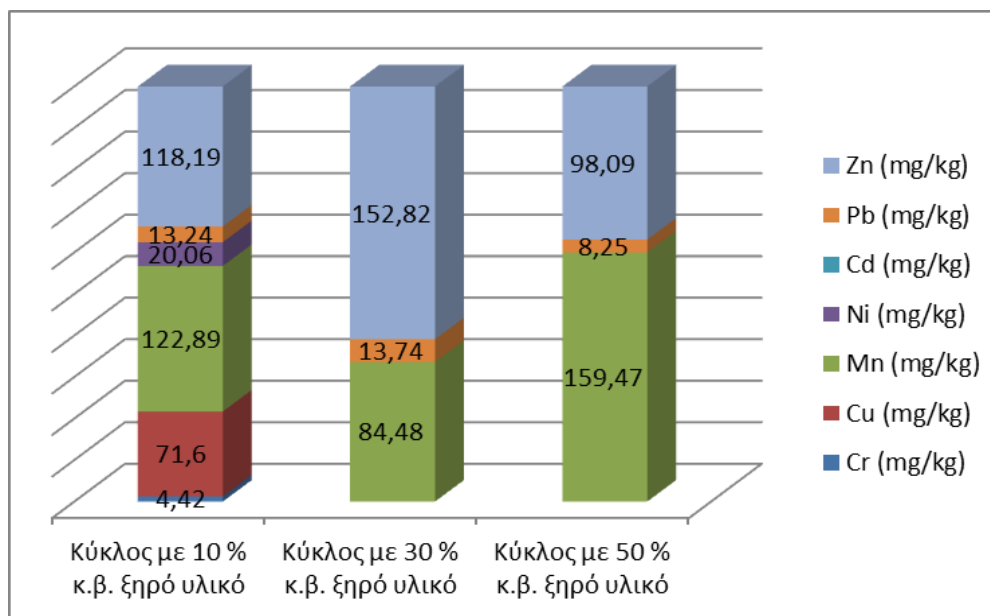
Το μαγνήσιο αξιοποιείται από τα φυτά κατά τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα μακροστοιχεία η περιεκτικότητα σε μαγνήσιο των παραγόμενων κόμποστ ήταν χαμηλότερη και κυμάνθηκε μεταξύ 1214 – 2990 mg/kg. Η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί στο κόμποστ του πειραματικού κύκλου με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό.

6.3.10 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων

Πίνακας 32: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ώριμο κόμποστ που προέκυψε από κάθε κύκλο κομποστοποίησης

ΩΡΙΜΟ ΚΟΜΠΟΣΤ	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
A' ΚΥΚΛΟΥ (10 % ξηρό υλικό)	4,42	71,60	122,89	20,06	–	13,24	118,19
B' ΚΥΚΛΟΥ (30 % ξηρό υλικό)	–	–	84,48	–	–	13,74	152,82
Γ' ΚΥΚΛΟΥ (50 % ξηρό υλικό)	–	–	159,47	–	–	8,25	98,09

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 32: Συγκριτική απεικόνιση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο κόμποστ κάθε πειραματικού κύκλου

Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο κόμποστ δεν πρέπει να είναι αυξημένη, καθώς στην περίπτωση αυτή η χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την ανάπτυξη των φυτών, την ανθρώπινη υγεία και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Για το λόγο αυτό, στα παραγόμενα κόμποστ των τριών πειραματικών κύκλων υπολογίστηκε η περιεκτικότητά τους σε χρώμιο (Cr), χαλκό (Cu), μαγγάνιο (Mn), νικέλιο (Ni), κάδμιο (Cd), μόλυβδο (Pb) και ψευδάργυρο (Zn).

Η περιεκτικότητα σε χρώμιο στο κόμποστ του κύκλου με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό υπολογίστηκε 4,42 mg/kg, τιμή που βρίσκεται εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (<100 mg/kg), ενώ στα κόμποστ του δεύτερου και τρίτου πειραματικού κύκλου ήταν μη ανιχνεύσιμη.

Χαλκό περιείχε επίσης μόνο το κόμποστ που παρήχθη κατά τον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, σε περιεκτικότητα 71,60 mg/kg, που εμπίπτει εντός των επιτρεπτών ορίων (<100 mg/kg).

Το εύρος της περιεκτικότητας του μαγγανίου στα παραγόμενα κόμποστ ήταν μεταξύ 84,48 – 159,47 mg/kg. Ειδικότερα, οι τιμές της περιεκτικότητας σε μαγγάνιο για το κόμποστ του πρώτου, δεύτερου και τρίτου κύκλου ήταν 122,89, 84,48 και 159,47 mg/kg αντίστοιχα.

Νικέλιο εντοπίστηκε μόνο στο κόμποστ του κύκλου με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, σε περιεκτικότητα 20,06 mg/kg. Η παραπάνω τιμή εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (<50 mg/kg).

Οι περιεκτικότητες σε κάδμιο για τα προϊόντα και των τριών κύκλων κομποστοποίησης ήταν μη ανιχνεύσιμες.

Η περιεκτικότητα σε μόλυβδο των παραγόμενων κόμποστ ήταν ιδιαίτερα χαμηλή, με εύρος τιμών από 8,25 έως 13,74 mg/kg. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ανώτερο επιτρεπτό όριο είναι τα 120 mg/kg, η περιεκτικότητα σε μόλυβδο όλων των τελικών προϊόντων γίνεται αποδεκτή.

Το εύρος της περιεκτικότητας του ψευδαργύρου για τα παραγόμενα κόμποστ υπολογίστηκε μεταξύ 98,09 – 152,82 mg/kg και εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (<400 mg/kg).

6.3.11 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ώριμου κόμποστ

Πίνακας 33: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ώριμου κόμποστ

Παράμετρος	Α' ΚΥΚΛΟΣ (10 % ξηρό υλικό)	Β' ΚΥΚΛΟΣ (30 % ξηρό υλικό)	Γ' ΚΥΚΛΟΣ (50 % ξηρό υλικό)
Υγρασία (%)	26,4	9,6	17,1
Αγωγιμότητα (mS/cm)	3,83	4,63	2,68
pH	6,34	5,43	4,70
Πτητικά Στερεά (%)	87,51	90,05	93,14
TOC (%)	49,28	57,61	60,64
TN (%)	3,88	4,00	4,01
C/N	12,70	14,40	15,12

6. Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων & Συζήτηση αποτελεσμάτων

Πίνακας 34: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος

Παράμετρος	Επιθυμητές Τιμές	10%	30%	50%
Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (%)	>20%	49,28	57,61	60,64
Ωριμότητα / Σταθερότητα **	<10 mg CO ₂ /g οργανικής ύλης/μέρα	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Φυτοτοξικότητα**	βλάστηση 80% του τυφλό δείγμα	Δ.Μ	Δ.Μ.	Δ.Μ.
Υγρασία** (%)	<50 % w/w	26,4	9,6	17,1
Φαινόμενη πυκνότητα**	<550 g/l (φρέσκου υλικού)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
weed seeds and propagules **	Μηδενική ανά λίτρο κόμποστ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Κοκκομετρία **	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
pH**	pH<9	6,34	5,43	4,70
Ηλεκτρική αγωγιμότητα** (mS/cm)	<1500 μS/cm	3,83	4,63	2,68
Παρουσία σαλμονέλας	Μηδενική σε δείγμα 50 g	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Παρουσία E-coli **	<1000 cfu/g (φρέσκου δείγματος)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Προσμίξεις (γυαλί , μέταλλο , πλαστικό)**	<0,2% μέταλλο , < 0,05% πλαστικό , < 0,1% γυαλί	0	0	0
σχέση C/N	<20/1	12,70	14,40	15,12
Pb	<120 mg/Kg (ξηρού βάρους)	13,24	13,74	8,25
Cd	<1,5 mg/Kg (ξηρού βάρους)	κ.ο.α	κ.ο.α	κ.ο.α
Cr	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)	4,42	κ.ο.α	κ.ο.α
Cu	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)	71,60	κ.ο.α	κ.ο.α
Ni	<50 mg/Kg (ξηρού βάρους)	20,06	κ.ο.α	κ.ο.α
Hg	<1 mg/Kg (ξηρού βάρους)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Zn	<400 mg/Kg (ξηρού βάρους)	118,19	152,8	98,09

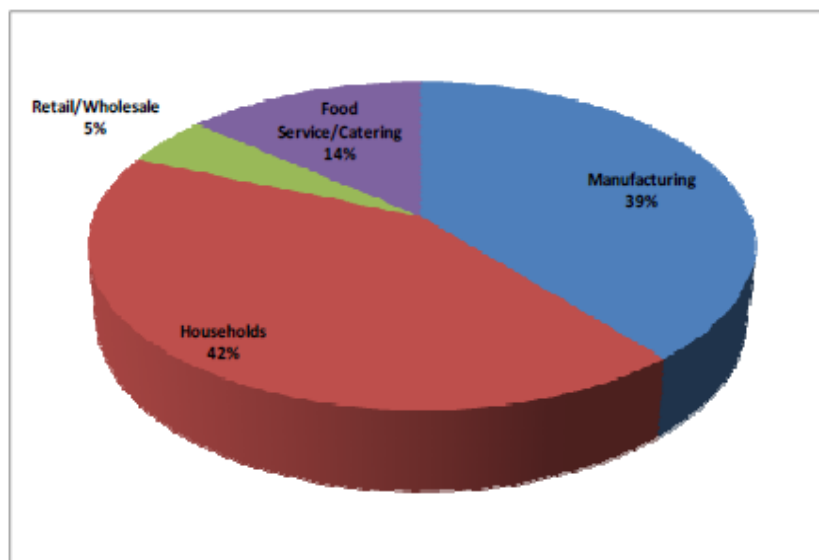
κ.ο.α= κάτω από το όριο ανίχνευσης , Δ.Μ= Δεν μετρήθηκε

(Saveyn & Eder, 2014)

7 Συμπεράσματα

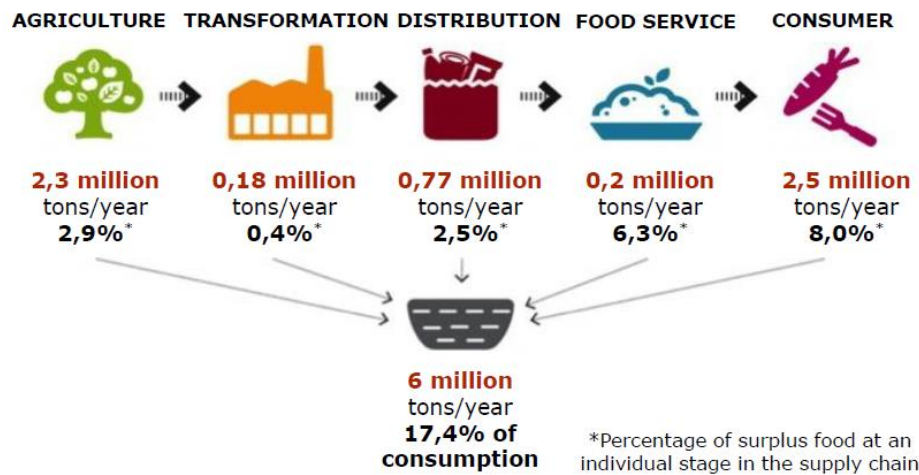
Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν οι μέθοδοι της ξήρανσης και της κομποστοποίησης προδιαλεγμένων στην πηγή διατροφικών απορριμμάτων, με στόχο να εκτιμηθεί η δυνατότητα αξιοποίησής τους προς παραγωγή χρήσιμου προϊόντος (κόμποστ). Από τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε, αλλά και κατόπιν από την έρευνα και μελέτη των διεργασιών που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, αποτυπώνονται τα ποσοστά των παραγόμενων βιοαποβλήτων ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Διάγραμμα 31) και στην Ιταλία ειδικότερα (Διάγραμμα 32), όπου επίσης αναφέρονται και οι ποσότητες σε απόλυτο αριθμό. Αναλυτικότερα, στις ευρωπαϊκές χώρες το 42 % του συνόλου των παραγόμενων βιοαποβλήτων αποδίδεται στα νοικοκυριά, ενώ στην Ιταλία από τους 6 εκατομμύρια τόνους διατροφικών περισσευμάτων που παράγονται ετησίως, οι 2,5 εκατομμύρια τόνοι προέρχονται από τα νοικοκυριά. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι παραπάνω ποσότητες είναι ιδιαίτερα μεγάλες, συμπεραίνεται ότι αξίζει δοθεί προσοχή στο ευπαθές κλάσμα των βιοαποβλήτων και γνωρίζοντας τα προβλήματα που προκύπτουν από τη μη ορθή διαχείρισή του να διερευνηθεί η αξιοποίηση των παραγόμενων σε οικιακό επίπεδο βιοαποβλήτων με εναλλακτικούς τρόπους.



Διάγραμμα 33: Ποσοστά (%) παραγόμενων βιοαποβλήτων ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, στην Ευρωπαϊκή Ένωση

(European Commission, 2010)



Διάγραμμα 34: Ποσότητες παραγόμενων διατροφικών περισσευμάτων ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους, στην Ιταλία

(Banco Alimentare, 2014)

Το 2014 ανακηρύχθηκε ως «Ευρωπαϊκό έτος κατά της σπατάλης τροφίμων».

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει διαμορφωθεί ένα Ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την διαχείριση των αποβλήτων. Οι κύριες νομοθετικές διατάξεις που περιλαμβάνει είναι η Οδηγία για τη διαχείριση των Αποβλήτων 2008/98/ΕΚ και η Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων 1999/31/ΕΚ. Όσον αφορά τη διαχείριση ειδικότερα των βιοαποβλήτων, αναμένεται να θεσπιστεί μια αντίστοιχη Ευρωπαϊκή Οδηγία, προκειμένου να προωθηθεί η εκτροπή σημαντικών ποσοτήτων βιοαποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής.

Αν και η ελληνική νομοθεσία αναφορικά με την διαχείριση των αποβλήτων έχει πλήρως εναρμονιστεί με την ευρωπαϊκή νομοθεσία και τις σχετικές οδηγίες, η Ελλάδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες φαίνεται να έχει μείνει πίσω στην εφαρμογή των μεθόδων και πρακτικών, καθώς και στην τήρηση των στόχων που ορίζει η Ευρώπη με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά από την επιβολή προστίμων.

Από την καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης σχετικά με την παραγωγή και σύνθεση των βιοαποβλήτων διαπιστώθηκε ότι το ποσοστό των βιοαποβλήτων στα ΑΣΑ διαφέρει μεταξύ των αναπτυσσόμενων και ανεπτυγμένων χωρών, ακόμη και μεταξύ περιφερειών και πόλεων της ίδιας χώρας.

Για τη διερεύνηση των διεργασιών της ξήρανσης και κατόπιν της κομποστοποίησης υποστρωμάτων αποτελούμενων από ξηρά και νωπά βιοαπόβλητα σε διαφορετικές αναλογίες, επιλέχθηκε ως καταλληλότερη η μέθοδος της ξεχωριστής συλλογής των βιοαποβλήτων διότι έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- ◇ τα προδιαλεγμένα υλικά εμφανίζουν υψηλή καθαρότητα με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία τους και κατ' επέκταση τα προϊόντα που ανακτώνται να έχουν καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη αξία.
- ◇ η πρακτική της διαλογής στην πηγή αποτελεί μια κοινώς αποδεκτή και αποδοτική μέθοδο με εφαρμογές σε διάφορα διακριτά ρεύματα αποβλήτων και θεωρείται σύμφωνα με μελέτες ότι βελτιώνει την περιβαλλοντική ευθύνη του τελικού χρήστη, καθώς ο ίδιος έρχεται σε επαφή και διαχωρίζει τις ποσότητες των αποβλήτων που παράγει.

Από την διερεύνηση της διεργασίας της ξήρανσης διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για μία μέθοδο διαχείρισης των βιοαποβλήτων, που παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, αφού μέσω αυτής:

1. μειώνεται η μάζα και ο όγκος τους και κατ'επέκταση το κόστος μεταφοράς τους,
2. καθίσταται δυνατή η αποθήκευση των βιοαποβλήτων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς να αλλοιώνονται τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της διεργασίας, τα είκοσι δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων εξετάστηκαν ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τις ακόλουθες παραμέτρους: υγρασία (%), πτητικά στερεά (%), pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, TOC (%), TN (%), λόγος C/N.

Οι τιμές που υπολογίστηκαν για την % υγρασία των είκοσι δειγμάτων κυμάνθηκαν μεταξύ 0,5 – 29,4 %, με μέσο όρο 7,1 %.

Το εύρος τιμών για τα % πτητικά στερεά ήταν 88,9 – 96,8 %. Επίσης, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των % πτητικών στερεών του συνόλου των δειγμάτων και βρέθηκε να είναι 95,35 %. Η τιμή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στο 92 %, που μετρήθηκε για την ίδια παράμετρο κατά την διενέργεια αντίστοιχων πειραμάτων με διατροφικά απόβλητα στην Αγγλία και την Φινλανδία.

Για την παράμετρο του pH, η μέγιστη τιμή που μετρήθηκε είναι 5,27 και η ελάχιστη 3,8. Ο μέσος όρος του pH για τα είκοσι δείγματα υπολογίστηκε σε 4,5. Η τιμή αυτή πλησιάζει τους μέσους όρους των αντίστοιχων τιμών των δειγμάτων που εξετάστηκαν σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία: 5,15 , Φινλανδία: 5,34, Ιταλία: 6,16, Πορτογαλία: 5,93).

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμάνθηκε μεταξύ 0,94 – 4,57 mS/cm, ενώ ο μέσος όρος των τιμών για το σύνολο των δειγμάτων είναι 2,20 mS/cm.

Τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα των δειγμάτων των διατροφικών αποβλήτων κινήθηκαν μεταξύ 44,2 – 61,8 % και ο μέσος όρος τους είναι 54,8 %.

Για την παράμετρο του % ολικού αζώτου, οι τιμές που σημειώθηκαν για τα είκοσι δείγματα εντοπίζονται στην περιοχή 1 – 6,6 %. Ο μέσος όρος τους υπολογίστηκε σε 3,38 %, τιμή που είναι παραπλήσια με τους αντίστοιχους μέσους όρους που υπολογίστηκαν σε τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (Αγγλία: 3,06 %, Ιταλία: 2,7 %, Φινλανδία: 2,39 %, Πορτογαλία: 4,24 %).

Ο λόγος C/N υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών 8,37 – 42,53 %, με μέση τιμή 19,88 %.

Με στόχο τη μελέτη της διεργασίας της κομποστοποίησης, πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων. Το μίγμα κομποστοποίησης που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε κύκλο διέφερε ως προς τη σύσταση, αφού μεταβαλλόταν η αναλογία ξηρών και νωπών βιοαποβλήτων. Ειδικότερα, στον πρώτο, δεύτερο και τρίτο κύκλο έγινε προσθήκη 10 %, 30 % και 50 % κ.β. ξηρού υλικού αντίστοιχα.

Η κομποστοποίηση του μίγματος των βιοαποβλήτων διεξήχθη με τη χρήση ενός αυτόματου κομποστοποιητή της εταιρείας «Naturemill». Πρόκειται για μια ηλεκτρική συσκευή κατάλληλα κατασκευασμένη για να λειτουργεί σε εσωτερικούς χώρους, που διαθέτει σύστημα ανάδευσης, θέρμανσης και αερισμού του προς κομποστοποίηση μίγματος.

Η κομποστοποίηση είναι μία διεργασία, που μιμείται τη φυσική αποσύνθεση των οργανικών υποστρωμάτων από μικροβιακούς πληθυσμούς, υπό ελεγχόμενες όμως συνθήκες. Οι παράμετροι που είναι δυνατό να επηρεάσουν την εξέλιξή της, καθώς και την ποιότητα του τελικού της προϊόντος είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, τα πτητικά στερεά, ο ολικός οργανικός άνθρακας, το ολικό άζωτο, ο λόγος C/N και τα αμμωνιακά. Για το λόγο αυτό, εξετάστηκαν όλες οι προαναφερθείσες φυσικοχημικές παράμετροι κατά την διεξαγωγή των τριών πειραματικών κύκλων με τη χρήση του αυτόματου κομποστοποιητή και τα αποτελέσματα που παραλήφθηκαν συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν κατά τη διενέργεια της ίδιας διαδικασίας με χρήση μη αυτόματου κομποστοποιητή, που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση άλλης διπλωματικής εργασίας.

Η θερμοκρασία κατά τον πρώτο κύκλο των πειραμάτων (10 % κ.β. ξηρό υλικό) κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 50,2 – 54,6 °C. Στον δεύτερο κύκλο με περιεκτικότητα 30 % σε ξηρό υλικό είχε ελάχιστη και μέγιστη τιμή τους 44,8 °C και 54,8 °C αντίστοιχα. Ενώ κατά τον τρίτο και τελευταίο κύκλο (50 % κ.β. ξηρό υλικό) το εύρος τιμών της ήταν 49 – 58,9 °C. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι, η θερμοκρασία διατηρήθηκε σε σχεδόν σταθερά επίπεδα, γεγονός που δικαιολογείται, εφόσον ο κομποστοποιητής που χρησιμοποιήθηκε και για τους τρεις κύκλους διέθετε σύστημα θέρμανσης που δεν άφηνε την θερμοκρασία να πέσει κάτω από ορισμένες τιμές. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα καθ'όλη την διάρκεια της διεργασίας να επικρατούν σταθερότερες και υψηλές θερμοκρασίες.

Αντιθέτως, το θερμοκρασιακό προφίλ κατά την κομποστοποίηση με μη αυτόματο κομποστοποιητή δεν ήταν σταθερό και μπορεί να θεωρηθεί τυπικό της διεργασίας της κομποστοποίησης. Πέρασε από τη μεσόφιλη στη θερμόφιλη φάση και έπειτα στη δεύτερη μεσόφιλη φάση (φάση ψύξης). Σημειώνεται ότι ο πρώτος κύκλος με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό δεν ανέπτυξε τις αναμενόμενες απαιτούμενες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να διακοπεί στις 10 ημέρες.

Τα ποσοστά υγρασίας κατά την διάρκεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης είχαν πτωτική τάση. Αυτό ήταν αναμενόμενο, δεδομένου ότι η θερμοκρασία των μιγμάτων διατηρούνταν σε υψηλά επίπεδα λόγω της δράσης των μικροοργανισμών, αλλά και του συστήματος θέρμανσης του κομποστοποιητή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η υγρασία που περιέχεται στο ώριμο κόμποστ είναι ιδανική όταν κυμαίνεται στο εύρος τιμών μεταξύ 40 – 50 %, διότι έτσι εξασφαλίζεται η περιορισμένη δράση των μικροοργανισμών, που είναι επιθυμητή για την ασφαλή εναπόθεσή του κόμποστ στο έδαφος. Αντίθετα, υγρασία σε ποσοστό μικρότερο του 25 % είναι απαγορευτική για την ενσωμάτωσή του στο έδαφος. Η τιμή της υγρασίας του ώριμου κόμποστ υπολογίστηκε για τον πρώτο κύκλο (10% κ.β. ξηρό υλικό) σε 26,4 %, για τον δεύτερο (30% κ.β. ξηρό υλικό) σε 9,6 % και για τον τρίτο (50% κ.β. ξηρό υλικό) σε 17,1 %. Με βάση τα προαναφερθέντα, διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά υγρασίας του ώριμου κόμποστ και των τριών πειραματικών κύκλων δεν βρίσκονται εντός του επιθυμητού, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, εύρους τιμών.

Στον μη αυτόματο κομποστοποιητή, ο αντιδραστήρας με το 10 % ξηρό υλικό σημείωσε πολύ υψηλά επίπεδα υγρασίας στο τελικό προϊόν, ενώ οι αντιδραστήρες με 30 % και 50 % κ.β ξηρό υλικό επέδειξαν ποσοστά υγρασίας στο ώριμο κόμποστ ικανοποιητικά και οριακά κοντά στα επιθυμητά όρια της βιβλιογραφίας. Συνεπώς, στην περίπτωση χρήσης του μη αυτόματου κομποστοποιητή η περιεχόμενη υγρασία στο τελικό προϊόν βρίσκεται κοντά στο αποδεκτό εύρος τιμών, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες τιμές που υπολογίστηκαν κατά τη χρήση του αυτόματου κομποστοποιητή. Συμπερασματικά, για την περίπτωση του αυτόματου κομποστοποιητή διορθωτικές ενέργειες είναι απαραίτητες κατά τη διάρκεια επόμενων κύκλων κομποστοποίησης ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας.

Κατά τον πρώτο κύκλο κομποστοποίησης με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό, το κόμποστ που παρήχθη είχε τιμή pH 6,34. Για τους κύκλους με 30 % και 50 % κ.β. ξηρό υλικό η τελική τιμή του pH ήταν αντίστοιχα 5,43 και 4,70. Για την διεργασία της κομποστοποίησης, η τιμή του pH που απαιτείται πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 6 – 8,5. Συνεπώς, η τιμή pH του κόμποστ του πρώτου κύκλου είναι αποδεκτή. Αντιθέτως, οι τιμές του pH για τα κόμποστ του δεύτερου και τρίτου κύκλου είναι χαμηλές και δεν βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων. Αυτό αποδίδεται στη σύσταση του αρχικού υποστρώματος κομποστοποίησης, που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεξαγωγή αυτών των πειραματικών κύκλων.

Τα τελικά προϊόντα της κομποστοποίησης με χρήση μη αυτόματου κομποστοποιητή είχαν τιμές pH, που κυμαίνονταν από 8-9 και προσεγγίζουν ικανοποιητικά το εύρος των επιθυμητών τιμών για το pH. Συνεπώς, προτείνεται η διενέργεια μελλοντικών πειραμάτων με διαφορετικά ποσοστά αναλογίας ξηρού-νωπού υλικού, ώστε να διερευνηθεί περαιτέρω η επίδρασή τους στο pH καθώς και σε ολόκληρη τη διεργασία.

Κατά την διενέργεια των τριών κύκλων κομποστοποίησης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμάνθηκε μεταξύ των 2 - 4,4 mS/cm. Στο τελικό προϊόν του κύκλου με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό η τιμή της μετρήθηκε ίση με 3,83 mS/cm, ενώ για τους κύκλους με το 30 % και 50 % κ.β. ξηρό υλικό οι τιμές που υπολογίστηκαν είναι 4,63 και 2,68 mS/cm αντίστοιχα. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, το αποδεκτό εύρος τιμών για την αγωγιμότητα κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα είναι από 3,69 έως 7,49 mS/cm. Ως εκ τούτου, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για το κόμποστ του κύκλου με το 50 % κ.β. ξηρό υλικό είναι η μόνη που δεν βρίσκεται εντός της περιοχής των επιθυμητών ορίων.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της χρήσης του μη αυτόματου κομποστοποιητή, ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των προϊόντων που παραλήφθηκαν από τους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό ήταν 5,15 και 4,52 mS/cm και επομένως αποδεκτές σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία.

Τα πτητικά στερεά αποτελούν μια παράμετρο, μέσω της οποίας εκτιμάται η οργανική ύλη του υποστρώματος. Για τους τρεις κύκλους κομποστοποίησης, το αρχικό ποσοστό της οργανικής ύλης ήταν ιδιαίτερα υψηλό, άνω του 90 %. Ειδικότερα, κατά τον κύκλο με το 10 % κ.β. ξηρό υλικό σημειώθηκε το υψηλότερο αρχικό ποσοστό. Αυτό οφείλεται στη σύσταση του υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκε, που περιελάμβανε λιγότερο ξηρό και περισσότερο νωπό υλικό, με αποτέλεσμα οι μικροοργανισμοί να καταναλώνουν με πιο ταχείς ρυθμούς το διαθέσιμο οργανικό υλικό.

Κατά τη διάρκεια της διεργασίας με χρήση του μη αυτόματου κομποστοποιητή, παρατηρείται ότι τα ποσοστά των πτητικών στερεών δεν παρουσιάζουν τόσο έντονη πτωτική πορεία. Αυτό δικαιολογείται, εφόσον κατά την εξέλιξη της γινόταν κατά διαστήματα προσθήκη διατροφικών αποβλήτων, με αποτέλεσμα να επανατροφοδοτείται το μίγμα κομποστοποίησης με οργανικό υλικό. Από την άλλη, η πτωτική πορεία των ποσοστών σε πτητικά στερεά κατά την εξέλιξη της διεργασίας με χρήση του μη αυτόματου κομποστοποιητή αποδεικνύει την ομαλή εξέλιξη της διεργασίας και την αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

Κατά τη διεξαγωγή των τριών κύκλων κομποστοποίησης, τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα ακολούθησαν ελαφρώς ανοδική πορεία, γεγονός που επίσης οφείλεται στην προσθήκη διατροφικών αποβλήτων που πραγματοποιούνταν κατά διαστήματα και είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του οργανικού περιεχομένου του μίγματος κομποστοποίησης.

Αντιθέτως, στον μη αυτόματο αντιδραστήρα παρατηρήθηκε μείωση του ολικού οργανικού άνθρακα και στους τρεις αντιδραστήρες. Ειδικότερα, στον αντιδραστήρα που προστέθηκε μεγαλύτερη ποσότητα ξηρού υλικού σημειώθηκε μεγαλύτερη μείωση απ' ό τι στον αντιδραστήρα με μικρότερη ποσότητα ξηρού υλικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ξηρού υλικού ως πρόσθετου επιβηθάει και επιταχύνει την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης.

Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα τελικά προϊόντα και των τριών πειραματικών κύκλων κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα και σε όλες τις περιπτώσεις εντός των ορίων που θεσπίζει η Έκθεση της ευρωπαϊκής επιτροπής «End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate)». Στην παραγωγή κόμποστ με χαμηλές συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα συνέβαλε καθοριστικά το γεγονός, ότι πραγματοποιήθηκε διαλογή στην πηγή των βιοαποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικό υπόστρωμα κομποστοποίησης, επομένως υπήρχαν προσμίξεις και εξαλείφθηκε ο κίνδυνος επιμόλυνσης από άλλα υλικά.

Στα ώριμα κόμποστ που παραλήφθηκαν από τον μη αυτόματο κομποστοποιητή, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ήταν επίσης χαμηλές και εντός των αποδεκτών ορίων, διότι και στην περίπτωση αυτή το υλικό τροφοδοσίας ήταν προσεκτικά προδιαλεγμένο στη πηγή.

Τα παραγόμενα κόμποστ ήταν πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (Ca, Na, Mg, K). Αυτό αποτελεί θετικό παράγοντα για τη χρήση τους ως εδαφοβελτιωτικό προϊόν, εφόσον η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών.

Δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες προσμίξεις (πλαστικό, γυαλί, μέταλλο), λόγω του ότι το υπόστρωμα κομποστοποίησης ήταν προσεκτικά προδιαλεγμένο στην πηγή.

8 Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Αθανασιάδη, Μ. (2011) *Αποτίμηση τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων*. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών.

Αναγνωστόπουλος-Πολίτης, Η., Χατζηδημητρίου, Α. (2011) *Επίδραση του λόγου C/N και πρόσθετων στην κομποστοποίηση οργανικών αποβλήτων*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Διαθέσιμο στο: <http://dspace.lib.ntua.gr/handle/123456789/4664>

Ανδρεαδάκης, Α., Κατσιρή, Α., Μαμάης, Δ. (2001) *Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων, Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Τόμος Α*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Γιδαράκος, Ε. (2006) *‘Διαχείριση και Επεξεργασία Στερεών Αποβλήτων’, Σημειώσεις Μαθήματος ‘Ειδικά θέματα περιβάλλοντος και Υγείας’, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης*.

Γιδαράκος, Ε. (2007) *Σημειώσεις κομποστοποίησης (λιπασματοποίησης) του μαθήματος ‘Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων’*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων.

Γιδαράκος, Ε., Αϊβαλιώτη, Μ. (2007) *‘Μέθοδοι Θερμικής Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων’*.

Γρηγοροπούλου, Ε., Λυμπεράτος, Γ., Χαλουλάκου, Α., Βλυσίδης, Α. (2013) *Περιβαλλοντική Μηχανική*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΕΕΔΣΑ, Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2014) *Ορισμοί Αστικών Στερεών αποβλήτων*. Διαθέσιμο σε: <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=94>.

Ειδική μόνιμη επιτροπή προστασίας περιβάλλοντος της Βουλής (2009) *Συμπεράσματα και προτάσεις για τη βιώσιμη διαχείριση των στερεών απορριμμάτων στην Αττική*. Αθήνα.

ΕΠΠΕΡΑΑ (2012) *Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογή στη Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων*.

ΕΠΠΕΡΑΑ (2013) *Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης αποβλήτων και αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης*.

Ευθυμίου, Α. (2012) *Μικροβιακή ποικιλομορφία κατά τη συγκομποστοποίηση υπολειμμάτων εκκοκκισμού βάμβακος και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Ζορπάς, Α. (1999) *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κανακόπουλος, Δ. (2011) *Η κομποστοποίηση ως μέθοδος επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων*. Ημερίδα ΤΕΕ, Λάρισα.

Διαθέσιμο στο: http://library.tee.gr/digital/larlib/ekdiloseis/3688/3688_kanakopoulos

Κ.Υ.Α Η.Π. 50910/2727/03 'Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων – Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης'. Διαθέσιμο στο:

http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/kya50910_2727_03.fek.b_1909_22_12_03.pdf

Κ.Υ.Α. Η.Π. 29407/3508/2002 - Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002). Διαθέσιμο στο:

http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/b1572_2002.1126869857589.pdf

Λάλας, Δ., Γεωργοπούλου, Ε., Γιδαράκος, Ε., Γκέκας, Ρ., Λαζαρίδη, Α. (2007) *Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων*. Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΙΤΑ), Αθήνα.

Λοϊζίδου, Μ. (2006) *Στερεά απόβλητα*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Μαλαμής, Δ.Κ. (2011) *Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία βιοαντιδραστήρα για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων*, Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μαργαρίτης, Μ. (2013) *Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου*, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μάστακα, Β. (2007) *Μικροβιακή διαδοχή κατά την κομποστοποίηση ιλύος από τον βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου, με τη μέθοδο των αναστρεφόμενων σωρών*. Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Νόμος 4042/2012-Ποινική προστασία του περιβάλλοντος –Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων –Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98/ΕΚ-Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=7Z1up05Xrto%3d&tabid=777&language=el-GR>

Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων , Επίσημη Εφημερίδα αριθμ. L 182 της 16.7.1999. Διαθέσιμο στο <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EL:NOT>

Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008, για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών, ΕΕ L 312 της 22/11/2008. Διαθέσιμο στο <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:el:HTML>

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2012) *Νομοθεσία για τα απόβλητα*. Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=437&language=el-GR>

Φάττα, Δ. (2006) 'Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων', Σημειώσεις Μαθήματος 'Διαχείριση Στερεών και Επικίνδυνων Αποβλήτων', Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Χιονίδης, Θ. (2007) *Ενέργεια από απόβλητα: Διαχείριση απορριμμάτων περιφέρειας Κρήτης με θερμική και/ή μηχανική – βιολογική επεξεργασία*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Life Project ISWM-TINOS (2012) Παραδοτέο 1-2: Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο για τα Στερεά Απόβλητα – Εκτενής Περίληψη στην Ελληνική Γλώσσα.

ISWM-TINOS: "Ανάπτυξη και εφαρμογή πιλοτικού συστήματος για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων στην Τήνο σε συμφωνία με την Οδηγία Πλαίσιο για τα Στερεά Απόβλητα".

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adhikari, B.K., Barrington, S., Martinez, J., King, S. (2008) 'Characterization of food waste and bulking agent for composting', *Waste Management*, 28, pp. 795-804.

Agamuthu, P., Fauziah, S.H., Simon, C. (2004) 'Towards efficient waste management in developing countries (Malaysia)—the dilemma'. Proceedings of the conference of solid waste, Philadelphia, USA, 21–24 March 2004, pp. 637–646.

Agamuthu, P., Fauziah, S.H. (2011a) 'Challenges and issues in moving towards sustainable landfilling in a transitory country—Malaysia', *Waste Management Resources*, 29(1), pp. 13–19.

Agamuthu, P., Fauziah, S.H. (2011b) '3R practice in Asia and the Pacific Islands'. *Proceedings of the ISWA world congress*, Daegu, South Korea.

AIT (2004) *Municipal solid waste management in Asia, Asian regional research program on environmental technology*. Asian Institute of Technology, Thailand. ISBN 974-417-258-1

Agricultural Development Co.,Ltd (2012). Available at: <http://www.acumenfund.org/investment/gulu-agriculturaldevelopment-company.html>

Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2012) 'Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling', *Waste Management*, 32, pp. 31-40.

Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2011) 'Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste', *Waste Management*, 31 (9-10), pp. 1934-1942.

Anthony, G., Elizabeth, G. (1981) *Microbiology for environmental scientists and engineers*. New York: McGraw-Hill International Book Company.

Barlaz, M. (1998) 'Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory-scale landfills', *Global Biogeochemical Cycles*, 12 (2), pp. 373-380.

Bogner, J. (1992) 'Anaerobic burial of refuse in landfills: increased atmospheric methane and implications for increased carbon storage', *Ecological Bulletin*, 42, pp. 98-108.

Bramryd, T. (1997) 'Landfilling in the perspective of the global CO₂ balance'. *Proceedings of the Sardinia '97, International Landfill Symposium*, University of Cagliari, October 1997. Sardinia: CISA.

Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., Zhang, T. Waste Management, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bogner, J., Spokas, K. (1993) 'Landfill CH₄: rates, fates, and role in global carbon cycle', *Chemosphere*, 26 (1-4), pp. 366-386.

Beffa, T. (2002) 'The Composting Biotechnology: A Microbial Aerobic Solid Substrate Fermentation Complex Process', *The composting process and management*, pp. 1-37.

Beneroso, D., Bermúdez, J.M., Arenillas, A., Menéndez, J.A. (2014) 'Integrated microwave drying, pyrolysis and gasification for valorisation of organic wastes to syngas', *Fuel*, 132, pp. 20-26.

Bhaskar, T., Uddin, A., Murai, K., Kaneko, J., Hamano, K., Kusaba, T., Muto, A., Sakata, Y. (2003) 'Comparison of thermal degradation products from real municipal waste plastic and model mixed plastics', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 70, pp. 579-587.

Bilitewski, B. (2006) 'Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies', *Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium*, Organized by International Waste Working Group (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC).

Beck-Friis, B., Smårs, S., Jönsson, H., Kirchmann, H. (2001) 'Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes', *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, pp. 423-430.

Brink, N. (1995) 'Composting of food waste with straw and other carbon sources for nitrogen catching', *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 45, pp. 118-123.

Bardos, P. (2004) 'Composting of mechanically segregated fractions of municipal solid waste – a review', *Sita Environmental Trust*, Falfield, Bristol.

Bollard, E.G. (1983) 'Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition'. In: Lauchli, A., Bieliski, R.L. (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*. Vol. 15B. Berlin: Springer. pp. 695-755.

Bauduin, M., Delcarte, E., Impens, R. (1987) 'Compost: Production Quality, and Use Proceedings of a symposium organized by the Commission of European Communities'. In: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F. (eds.) Directorate-General Science, Research and Development, Udine, Italy: Elsevier Applied Science. pp. 479-486.

Banco Alimentare (2014) Food donation in Europe: Challenges and opportunities, The Italian case. Conference on FOOD DONATION: FIGHTING FOOD POVERTY AND ADDRESSING FOOD WASTE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE, Brussels, 7 July 2014. Available at: <http://www.eesc.europa.eu/resources/docs/3-angela-frigo.pdf>

Chandrappa, P., Das, D.B. (2012) 'Waste Quantities & Characteristics'. In: *Solid Waste Management: Principles and Practice, Environmental Science and Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. pp. 47-63.

CPHEEO, Central Public Health and Environmental Engineering Organisation (2000) *Manual on municipal solid waste management*. Ministry of Urban Development, and Government of India.

Cho, K., Lee, S., Math, R., Islam, S., Kambiranda, D., Kim, J., Yun, M., Cho, J., Kim, J., Lee, Y. (2008) 'Culture-independent analysis of microbial succession during composting of swine slurry and mushroom cultural wastes', *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18, pp. 1874-1883.

Comwaste project (2010) Διαθέσιμο στο: <http://www.uest.gr/comwaste/> [Τελευταία επίσκεψη: 10 Σεπτεμβρίου 2012]

Coway (2010). Available at: <http://www.coway.com/>

Cekmecelioglu, D., Demirci, A., Graves, R.E., Davitt, N.H. (2005) 'Applicability of optimised in-vessel food waste composting for windrow systems', *Biosystems Engineering*, 91, pp. 479-486.

Chaney, R.L., Ryan, J.A. (1993) 'Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW-composts: research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc.'. In: Hoitink, H.A.J., Keener, H.M. (eds.) *Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Worthington, Ohio: Renaissance Publications. pp. 451-506.

Chaney, R.L. (1974) 'Recommendations for management of potentially toxic elements in agricultural and municipal wastes'

Chang, J.I., Hsu, T.E. (2008) 'Effects of compositions on food waste composting', *Bioresource Technology*, 99 (17), pp. 8068-8074.

Dahlén, L., Lagerkvist, A. (2008) 'Methods for household waste composition studies', *Waste Management*, 28 (7), pp. 1100-1112. Διαθέσιμο στο: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0700270X>

Das, D.M., Srinivasu, Bandyopadhyay M. (1998) 'Solid state acidification of vegetable waste', *Indian Journal of Environmental Health* 1998, 40 (4), pp. 333-342.

De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., (1983) 'The Biology of Composting: A Review', *Waste, Management & Research*, 1, pp. 157 - 176.

Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M. (2010) 'Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes'. In: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (eds.) *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 93-114.

Demirbas, A. (2004) 'Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72, pp. 97-102.

DUO ENTERPRISE LTD (2010). Available at: <http://duoent.en.ec21.com/>

DeVleeschauwer, D., Verdonck, O., VanAssche, P. (1981) 'Phytotoxicity of refuse compost', *Biocycle*, 1 (2), pp. 44-46.

Déportes, I., Benoit-Guyod, J.L., Zmirou, D. (1995) 'Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review', *Science of The Total Environment*, 172, pp. 197-222.

European Commission (2014) *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals*. Sevilla.

EU (2008) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, OJ L 312, 22.11.2008, pp. 3–30.

EU (1999) Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, OJ L 182, 16.7.1999, pp. 1–19.

EIB, European Investment Bank (2010) *EIB Study: JESSICA instruments for SWM in Greece: Final Report - Part 1: Analysis of Solid Waste Management in Greece*. Available at : <http://www.eib.org/attachments/documents/jessica-instruments-for-solid-waste-management-in-greece-en.pdf>

European Commission (2004) Methodology for the analysis of solid waste (SWA-tool), 5th Framework Program, Vienna, Austria. Available at: [http:// www.wastesolutions.org](http://www.wastesolutions.org)>

Eisted, R., Christensen, T.H. (2011) 'Characterization of household waste in Greenland', *Waste Management*, 31 (7), pp. 1461-1466.

EEA, European Environment Agency (2013) *Managing municipal solid waste: a review of achievements in 32 European countries*. Copenhagen.

EC (2012) Member States' reporting to the Commission according to Council Directive 1999/31 of 26 April 1999 Landfill Directive and Commission Decision 2000/738/EC concerning a questionnaire for Member States reports on the implementation of Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. E-mail from the Commission to the EEA on 16 February, 2012.

Enayetullah, I. (2006) 'Community based solid waste management through public-private community partnerships: experience of waste concern in Bangladesh'. *Paper presented at 3R Asia conference*, Tokyo, Japan, 30 October –1 November 2006.

- Eurostat** (2012c) *Municipal waste*. Available at: (http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database) accessed 11 January 2013.
- ETC/SCP** (2013a) *Municipal waste management in Austria*, February 2013.
- ETC/SCP** (2013b) *Municipal waste management in Iceland*, February 2013.
- ETC/SCP** (2013d) *Municipal waste management in Italy*, February 2013.
- ETC/SCP** (2013e) *Municipal waste management in Luxembourg*, February 2013.
- ETC/SCP** (2013f) *Municipal waste management in Slovenia*, February 2013.
- ETC/SCP** (2012) *Eionet review of ETC/SCP and EEA MSW model*, consultation paper of 29 April 2012.
- ETC/SCP** (2011) *Projections of municipal waste and greenhouse gas emissions*, ETC/SCP working paper 4/2011. Available at: (<http://scp.eionet.europa.eu/publications/2011WP4>)
- EU** (2011) Commission Decision 2011/753/EU of 18 November 2011 establishing rules and calculation methods for verifying compliance with the targets set in Article 11(2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council (notified under document C(2011) 8165), OJ L 310, 25.11.2011, pp. 11–16.
- European Environment Agency** (2011) *Waste opportunities: Past and future climate benefits from better municipal waste management in Europe*. Copenhagen: Publications Office of the European Union.
- Eurostat** (2010) Eurostat: statistical office of the European communities. Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental/data/database>
- European Commission** (2010) *Final Report-Preparatory Study on Food Waste*.
- Environmental Protection Department, Government of Hong Kong**. Available at: http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/waste/prob_solutions/WFdev_IWMFtech.html
- Elattar**, H.F., Staney, R., Specht, E., Fouda, A. (2014) 'CFD simulation of confined non-premixed jet flames in rotary kilns for gaseous fuels', *Computers & Fluids*, 102, pp. 62-73.
- Eklind**, Y., Kirchmann, H. (2000a) 'Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover', *Bioresource Technology*, 74 (2), pp. 115-124.
- Eklind**, Y., Kirchmann, H. (2000b) 'Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses', *Bioresource Technology*, 74 (2), pp. 125-133.
- Fogarty**, A.M., Tuovinen, O.H. (1991) 'Microbial Dearadation of Pesticides in Yard Waste Composting', *Microbiological Reviews*, pp. 225-233.
- Fournier**, M., Guinebault, A. (1995) 'The shell dryer-modeling and experimentation', *Renewable Energy*, 6, pp. 459-463.

- Gupta, S., Krishna, M., Prasad, R.K., Gupta, S., Kansal, A. (1998)** ‘Solid waste management in India: options and opportunities’, *Resource Resources, Conservation and Recycling* 1998, 24, pp. 137–154.
- Golueke, C.G., McGauhey, P.H. (1955)** ‘Reclamation of Municipal Refuse by Composting’, *Technical Bulletin 9*, Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley.
- Ge, X., Matsumoto, T., Keith, L., Li, Y. (2014)** ‘Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion’, *Bioresource Technology*, 169, pp. 38-44.
- Girods, P., Dufour, A., Rogaume, Y., Rogaume, C., Zoulalian, A. (2009)** ‘Comparison of gasification and pyrolysis of thermal pre-treated wood board waste’, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85, pp. 171-183.
- Guanzon, Y.B., Holmer, R.J. (2003)** ‘Basic Cultural Management Practices for Urban Vegetable Production in the Philippines’, *Urban Agriculture Magazine*, 10, pp. 14-15.
- Giordano, P.M., Mortvedt, J.J., Mays, D.A. (1975)** ‘Effect of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals’, *Journal of Environmental Quality*, 4, pp. 394-399.
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012)** ‘What a waste : a global review of solid waste management’. Urban development series: knowledge papers no. 15. Washington D.C. - The Worldbank. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-waste-management>
- Hanc, A., Novak, P., Dvorak, M., Habart, J., Svehla, P. (2011)** ‘Composition and parameters of household bio-waste in four seasons’, *Waste Management*, 31 (7), pp. 1450-1460.
- Hong, R.J., Wang, G.F., Guo, R.Z., Cheng, X., Liu, Q., Zhang, P.J., Qian, G.R. (2006)** ‘Life cycle assessment of BMT-based integrated municipal solid waste management: case study in Pudong, China’, *Resource, Conservation and Recycling*, 49, pp. 129 - 146.
- Huber-Humer, M. (2004)** *Abatement of landfill methane emissions by microbial oxidation in biocovers made of compost*. PhD Thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienna, pp. 279.
- Haug, R.T. (1986)** ‘Composting process desiring criteria, part 3, aeration’, *Biocycle*, 26, pp. 53-57.
- Haug, R. (1993)** *The practical handbook of composting engineering*. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers.
- Huet, J., Druilhe, C., Trémier, A., Benoist, J.C., Debenest, G. (2012)** ‘The impact of compaction, moisture content, particle size and type of bulking agent on initial physical properties of sludge-bulking agent mixtures before composting’, *Bioresource Technology*, 114, pp. 428–436.
- Harada, Y., Inoko, A., Tadaki, M., Izawa, T. (1981)** ‘Maturing process of city refuse compost during piling’, *Soil Science & Plant Nutrition*, 27 (3), pp. 357-364.

- Hargreaves**, J.C., Adl, M.S., Warman, P.R. (2008) 'A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture', *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, pp. 1-14.
- Huerta-Pujol**, O., Gallart, M., Soliva, M., Martinez-Farre, F.X., Lopez, M. (2011) 'Effect of collection system on mineral content of biowaste', *Resources, Conservation and Recycling*, 55, pp. 1095-1099.
- Haan**, S. de., Lubbers, J. (1983) 'Microelements in potatoes under 'normal' conditions, and as affected by microelements in municipal waste compost, sewage sludge, and dredged materials from harbours', *Bodemvruchtbaarheid, Rapp.* 3-83, pp. 22.
- Hirschheydt**, A.v., Schwerzenbach, C.H. (1985a) 'Über einen Feldversuch zur Wirkung von Schwermetallen aus Mullkompost. Teil I: Versuchsanordnung, Metallanreicherung im Boden', *Wasser Boden*, 37, pp. 228-233.
- Hirschheydt**, A.v., Schwerzenbach, C.H. (1985b) 'Über einen Feldversuch zur Wirkung von Schwermetallen aus Mullkompost. Teil II: Kulturen und Kulturfolge der Anreicherungsphase', *Wasser Boden*, 37, pp. 381-383.
- Huang**, G.F., Wong, J.W.C., We, Q.T., Nagar, B.B. (2004) 'Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust', *Waste Management*, 24, pp. 805-813.
- IPCC** (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/IGES, Hayama, Japan. Available at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/ppd.htm>
- Inoko**, A., Miyamatsu, K., Sugahara, K., Harada, Y. (1979) 'On some organic constituents of city refuse composts produced in Japan', *Soil Science & Plant Nutrition*, 25 (2), pp. 225-234.
- Iqbal**, K.M., Shafiq, T., Ahmed, K. (2010) 'Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost', *Bioresource Technology*, 101, pp. 1913–1919.
- Iwegbue**, C.M.A, Emuh, F.N., Isirimah, N.O., Egun, A.C. (2007) 'Fractionation, characterization and speciation of heavy metals in composts and compost-amended soils', *African Journal of Biotechnology*, 6 (2), pp. 67-78.
- Jiang**, J.G., Lou, Z.Y., Ng, S., Ciren, L., Ji, D. (2009) 'The current municipal solid waste management situation in Tibet', *Waste Management*, 29, pp. 1186 - 1191.
- Jasim**, S., Smith, S.R. (2003) *The practicability of home composting for the management of biodegradable domestic solid waste. Final report*. Centre for Environmental Control and Waste Management, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.
- Jordao**, C.P., Nascentes, C.C., Cecon, P.R., Fontes, R.L.F., Pereira, J.L. (2006) 'Heavy Metal Availability in Soil Amended with Composted Urban Solid Wastes', *Environmental Monitoring and Assessment*, 112, pp. 309-326.
- Končalová**, A., Dubcová, A. (2012) 'Analysis of the composition of municipal solid waste and the process in the selected municipalities in district Zlaté Moravce in 2011'. *13th International scientific conference of*

- PhD. students and young scientists and pedagogues.* Available at: conferences.ukf.sk/index.php/phdconf/phdconf2012/paper/.../910/264
- Ko, P.S., Poon, C.S.** (2009) 'Domestic waste management and recovery in Hong Kong', *Journal of Mater Cycles Waste Management*, 11, pp. 104 - 109.
- Kaigisho, M.** (2006) '3Rs for municipal organic waste Asia'. Paper presented in conference, Tokyo, Japan, 31 November 2006.
- Komilis, D., Ham, R.** (2004) 'Life-cycle inventory of municipal solid waste and yard waste windrow composting in the United States', *Journal of Environmental Engineering*, 130 (11), pp. 1390-1400.
- Khiari, B., Marias, F., Zagrouba, F., Vaxelaire, J.** (2006) 'Use of a transient model to simulate fluidized bed incineration of sewage sludge', *Journal of Hazardous Materials*, 135, pp. 200-209.
- Klein, A.** (2002) *Gasification: An alternative process for energy recovery and disposal of Municipal Solid Wastes*. MS Thesis, Columbia University.
- Kaiser, J.** (1996) 'Modelling composting as a microbial ecosystem: a simulation approach', *Ecological Modelling*, 91, pp. 25–37.
- Kumar, M., Ou, Y.L., Lin, J.G.** (2010) 'Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio', *Waste Management*, 30, pp. 602–609.
- Kirchmann, H., Widén, P.** (1994) 'Separately collected organic household waste. Chemical composition and composting characteristics', *Swedish Journal of Agricultural Research*, 24, pp. 3-12.
- Kirchmann, H., Witter, E.** (1989) 'Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition', *Plant and Soil*, 115, pp. 35-41.
- Kirchmann, H.** (1985) 'Losses, plant uptake and utilization of manure nitrogen during a production cycle', *Acta Agriculturae Scandinavica Supplementum*, 24.
- Li, Z., Lu, H.** (2013) 'Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review'. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513009211>
- Lleó, T., Albacete, E., Barrena, R., Font, X., Artola, A., Sánchez, A.** (2013) 'Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management', *Journal of Cleaner Production*, 47, pp. 70-76.
- Lewicki, P.** (2006) 'Design of hot air drying for better foods', *Trends in Food Science & Technology*, 17, pp. 153-163.
- Life Project DRYWASTE** (2012) Δελτίο τύπου. Διαθέσιμο στο: <http://www.econews.gr/2012/02/12/drywaste-ntua>
- Loofen** (2010). Available at: <http://www.loofenireland.com/>

- Lin, C.** (2008) 'A negative-pressure aeration system for composting food wastes', *Bioresource Technology*, 99, pp. 7651–7656.
- López-Real, J., Foster, M.** (1985) 'Plant pathogen survival during composting of agricultural waste'. In: Gasser, J.K.R. (ed.) *Composting of Agricultural Wastes*. London: Elsevier Applied Science. pp. 291-299.
- Liang, C., Das, K.C., 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, pp. 131–137.
- Lineres, M.** (1992) 'Transfer of inorganic pollution by composts'. In: Jackson, J.V., Merillot, J.M., L'Hermite, P. (eds.) *Composting and Compost Quality Assurance Criteria*. Luxembourg: Commission of the European Communities. pp. 237-245.
- Miller, F.C.** (1996) 'Composting as a process based on the control of ecologically selective factors', *Soil Microbial Technology*, pp. 515-544.
- Martínez-Blanco, J., Rieradevall, J., Antón, A., Muñoz, P.** (2013) 'Multifunctionality-solving approaches of compost application in crop rotations', *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-12.
- Muller-Kopp, A.** (2005) *Die Rotte-Kapitel 3: Biologie der Grungutverwertung*. Ratgeber Grungutverwertung, Kompostforum Schweiz, seiten 67-73. Available at: <http://www.educompost.ch>
- Metcalf, Eddy** (2003) 'Wastewater Engineering: Treatment and Reuse'. Revised by Tschobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. 4th Ed. McGraw-Hill Higher Education, pp. 1546-1554.
- Moustakas, K., Loizidou, M.** (2010) 'Solid Waste Management through the application of Thermal Methods', *Waste Management*, Er Sunil Kumar (Ed.),
- Martins, O., Dewes, T.** (1992) 'Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes', *Bioresource Technology*, 42, pp. 103-111.
- Mahimairaja, S., Bolan, N.S., Hedley, M.J., Macgregor, A.N.** (1994) 'Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: an incubation experiment', *Bioresource Technology*, 47, pp.265-273.
- National Environment Agency (NEA) Singapore** (2008). Available at: <http://app2.nea.gov.sg/index.aspx> (accessed 20.05.09).
- Nagao, N., Watanabe, K., Osa, S., Matsuyama, T., Kurosawa, N., Toda, T.** (2008) 'Bacterial community and decomposition rate in long term fed-batch composting using woodchip and Polyethylene terephthalate (PET) as bulking agent', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, pp. 1417-1424.
- NHHWF, National Household Hazardous Waste Forum** (2000) *Issues surrounding the collection and identification of post-consumer batteries*, Leeds.

- Othman**, N., Basri, N.E.A., Yunus, N.M., Sidek, L.M. (2008) 'Determination of physical and chemical characteristics of electronic plastic waste (Ep-Waste) resin using proximate and ultimate analysis method'. *International conference on construction and building technology*, pp. 169–180.
- OECD**, Organization for Economic Co-operation and Development (2005) *Environment Data: Compendium 2005*. Available at: <http://www.oecd.org/dataoecd/22/58/41878186.pdf> (accessed 02.11.09).
- Oral**, J., Stehlik, P., Sikula, J., Puchy, R., Hajny, Z., Martina, P. (2005) 'Energy utilization from industrial sludge processing', *Energy*, 30, pp. 1343-1352.
- Ogunwande**, G.A., Osunade, K.O., Adekalu, K.O., Ogunjimi, L.A.O. (2008) 'Nitrogen loss in chicken litter compost as affected by carbon to nitrogen ratio and turning frequency', *Bioresource Technology*, 99, pp. 7495-7503.
- Ploechl**, C., Dobson, G., Buell, U. (2003) Standardization of solid waste analyses in the EU. *Waste Management World*. ISWA, pp. 32–40.
- Pariatamby**, A., Tanaka, M. (2014) 'Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands: Challenges and Strategic Solutions', *Environmental Science*.
- Peters**, S., Koschinsky, S., Schwieger, F., Tebbe, C.C. (2000) 'Succession of microbial communities during hot composting as detected by PCR-single-strand-conformation polymorphism-based genetic profiles of small-subunit rRNA genes', *Applied and Environmental Microbiology*, 66, pp. 930-936.
- Puxin Technology Co. Ltd** (2001). Available at: http://puxinkj.oinside1.cn/_d269997656.htm [Τελευταία επίσκεψη: 26 Σεπτεμβρίου 2012]
- Pendias-Kabata**, A., Pendias, H. (1984) 'Trace elements in soils and plants', CRC Press, Boca Raton.
- Pendias-Kabata**, A., Pendias, H. (1992) 'Trace elements in soils and plants', CRC Press, Boca Raton.
- Petruzelli**, G., Lubrano, L., Guidi, G. (1989) 'Uptake by corn and chemical extractability of heavy metals from a four year compost treated soil', *Plant Soil*, 116, pp. 23-27.
- Renewable Energy Concepts**. Available at: <http://www.renewable-energy-concepts.com/biomass-bioenergy/biogas-basics/anaerobic-digestion.html>
- Riber**, C., Petersen, C., Christensen, T.H. (2009) 'Chemical composition of material fractions in Danish household waste', *Waste Management*, 29, pp. 1251–1257.
- Raninger**, B. (2009), 'Management and Utilization of Municipal and Agricultural Bioorganic Waste in Europe and China', Workshop in School of Civil Environmental Engineering. Nanyang Technological University, Singapore.
- Rynk**, R., Kamp, M., Wilson, G., Singley, M., Richard, T., Kolega, J., Gouin, F. (1991) *On-farm Composting Handbook*. Ithaca, NY: North-East Regional Agricultural Engineering Service.

Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Pera, A., de Bertoldi, M. (1986) 'Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses', *Waste Management and Research*, 4, pp. 387-396.

Ryan, J.A., Chaney, R.L. (1993) 'Regulation of municipal sewage sludge under the Clean Water Act Section 503: a model for exposure and risk assessment for MSW-compost'. In: Hoitink, H.A.J., Keener, H.M. (eds.) *Science and engineering of composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Worthington, Ohio: Renaissance Publications. pp. 422-450.

Richard, T.L., Woodbury, P.B. (1992) 'The impact of separation on heavy metal contaminants in municipal solid waste composts', *Biomass and Bioenergy*, 3, pp. 195-211.

Robson, A.D., Reuter, D.J. (1981) 'Diagnosis of copper deficiency and toxicity'. In: Loneragan, J.F., Robson, A.D., Graham, R.D. (eds.) *Copper in Soils and Plants*. London: Academic Press. pp. 287-312.

Romheld, V., Marschner, H. (1991) 'Function of micronutrients in plants'. In: Mortvedt et al. (eds.) *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America. pp. 297-328.

Saveyn, H., Eder, P. (2014) 'End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals'. Available at: <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>

Singh, R.P., Tyagi, V.V., Tanu Allen, Hakimi Ibrahim, M., Richa Kothari. (2011) 'An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9), pp. 4797-4808. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003169>

Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-le-Golvan, Y., Bureau, N., Hebe, I. (2006) 'Methane mass balance at three landfill sites: what is the efficiency of capture by gas collection systems?', *Waste Management*, 26, pp. 516-525.

Strom, P.F. (1985) 'Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting', *Applied and Environmental Microbiology*, 50, pp. 899-905.

Speight, J.G. (2014) 'Chapter 2 - Chemistry of Gasification'. In: Speight, J.G. (ed.) *Gasification of Unconventional Feedstocks*. Boston: Gulf Professional Publishing. pp. 30-53.

SAMOH NK (2010). Available at: <http://samohnk.en.ec21.com/>

Stentiford, E.I. (1996) 'Composting control: principles and practice'. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (eds.) *The Science of composting, Part 1*. Glasgow: Blackie. pp. 56-59.

Smårs, S., Gustafson, L., Beck-Friis, B., Jönsson, H. (2002) 'Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control', *Bioresource Technology*, 84, pp. 237-241.

Strom, P.F. (1985) 'Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting', *Applied Environmental Microbiology*, 50 (4), pp. 899-905.

Sibbesen, E., Lind, A.M. (1993) 'Loss of nitrous oxide from animal manure in dungheaps', *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science*, 43, pp. 16-20.

Senesi, G.S., Baldassarre, G., Senesi, N., Radina, B. (1999) 'Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health', *Chemosphere*, 39, pp. 343-377.

Smith, R.S. (2009) 'A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge', *Environment International*, 35 (1), pp. 142-156.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Eliassen, R. (1977) *Solid wastes: engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A. (1993) 'Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues', In: McGraw Hill for Mainland China Edition (Ed.). McGraw-Hill Companies Inc., and Tsinghua University Press, Beijing, China.

Tang, Z., Yu, G.H., Liu, D.Y., Xu, D.B., Shen, Q.R. (2011) 'Different analysis techniques for fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy to assess compost maturity', *Chemosphere*, 82, pp. 1202–1208.

USEPA, United States Environmental Protection Agency (2014) *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Tables and Figures for 2012*. Washington: Office of Resource Conservation and Recovery.

Ugwuanyi, J.O. (1999) 'Effect of process temperature, pH and suspended solids content upon pasteurization of a model agricultural waste during thermophilic aerobic digestion', *Journal of Applied Microbiology*, 87, pp. 387–395.

van Haaren, R., Themelis, N.J., Barlaz, M. (2010) 'LCA comparison of windrow composting of yard wastes with use as alternative daily cover (ADC)', *Waste Management*, 30 (12), pp. 2646-2656.

van Haaren, R. (2009) *Large Scale Aerobic Composting of Source Separated Organic Wastes: A Comparative Study of Environmental Impacts, Costs, and Contextual Effects*. Unpublished Results, MS Thesis, Columbia University.

Visvanathan, C., Tränkler, J., Basnayake, B.F.A. (2004) 'Landfill management in Asia - notions about future approaches to appropriate and sustainable solutions', In: Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia.

Waste2bio project (2014). Διαθέσιμο σε: <http://www.waste2bio.eu/>

Wess, J.A., Olsen, L.D., Sweeney, M.H. (2004) Asphalt (bitumen). Concise International Chemical Assessment Document 59 (2012) World health organization. Available at: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/CICAD59 AsphaltWebVersion 2004 08 04.pdf>. Accessed 17 Mar 2012

- World Bank** (2012) *What a waste: a global review of solid waste management*. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-wastemanagement>
- Witter**, E., Lopez-Real, J. (1987) 'The potential of sewage sludge and composting in a nitrogen recycling strategy for agriculture', *Biological Agriculture and Horticulture*, 5, pp. 1-23.
- Witter**, E., Kirchmann, H. (1989) 'Peat, zeolite and basalt as adsorbents of ammoniacal nitrogen during manure decomposition', *Plant and Soil*, 115, pp. 43-52.
- Whittle**, A.J., Dyson, A.J. (2002) 'The fate of heavy metals in green waste composting', *The Environmentalist*, 22, pp. 13-21.
- Woodbury**, P.B. (1992) 'Trace elements in municipal solid waste composts: A review of potential detrimental effects on plants, soil biota, and water quality', *Biomass and Bioenergy*, 3 (3-4), pp. 239-259.
- Welch**, R.M. (1981) 'The biological significance of nickel', *Journal of Plant Nutrition*, 3, pp. 345-356.
- Wainwright**, S.J., Woolhouse, H.W. (1977) 'Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in *Agrostis fenus* Sibth: Cell elongation and membrane damage', *Journal of Experimental Botany*, 28, pp. 1029-1036.
- Yuan**, H., Wang, L., Su, F., Hu, G. (2006) 'Urban solid waste management in Chongqing: challenge and opportunities', *Waste Management*, 26, pp. 1052 - 1062.
- Yu**, Z., Schanbacher, F.L. (2010) 'Production of Methane Biogas as Fuel Through Anaerobic Digestion'. In: Singh, O.V., Harvey, S.P. (eds.) *Sustainable Biotechnology*. New York: Springer. pp. 105-127.
- Yassin**, L., Lettieri, P., Simons, S.J.R., Germana, A. (2009) 'Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context', *Chemical Engineering Journal*, 146 (3), pp. 315-327.
- Zhao**, Y., Wang, H.T., Lu, W.J. (2009) 'Life-cycle assessment of the municipal solid waste management system in Hangzhou, China', *Waste Management & Research*, 27, pp. 399 - 406.
- Zinati**, G.M., Li, Y.C., Bryan, H.H. (2001) 'Utilization of compost increases organic carbon and its humin, humic, and fulvic acid fractions in calcareous soil', *Compost Science & Utilization*, 9, pp. 156-162.
- Zhentong**, L., Hongwei, L., Lixia, R., Li, H. (2013) 'Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review', *Chemosphere*, 93 (7), pp. 1247-1257.
- Zhu**, N. (2007) 'Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw', *Bioresource Technology*, 98, pp. 9-13.

<http://www.naturemill.net/>