



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ Ι ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

<<Εξέταση και αξιολόγηση τελικού προϊόντος
προερχόμενο από κομποστοποίηση
προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων >>

Διπλωματική εργασία

Γιώργος Κονταξής

Υπεύθυνη καθηγήτρια

Μ. Λοϊζίδου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του προπτυχιακού διπλώματος χημικής μηχανικής το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015. Το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Λοϊζίδου Μαρία.

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 μελέτη, δίνοντάς μου τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα ζήτημα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και επίκαιρο, αφού σχετίζεται άμεσα με τα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία σε διεθνές επίπεδο.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας και ιδιαίτερα την κα Jelica Novaković για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση του πειραματικού μέρους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στο δρ Μαλαμή Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του, καθοριστική για τη συγγραφή και παρουσίαση αυτής της διπλωματικής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συμπαράσταση και την υποστήριξή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Εξέταση και αξιολόγηση τελικού προϊόντος προερχόμενο από κομποστοποίηση προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων». Στόχος της εργασίας είναι ο έλεγχος του τελικού προϊόντος το οποίο προέρχεται από την κομποστοποίηση προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων των Δήμων Αθηναίων και Κηφισιάς όπως αυτό προκύπτει από το πρόγραμμα Athens Biowaste.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της διαχείρισης των βιοαποβλήτων και παρατίθενται οι βασικοί ορισμοί που αφορούν τα Αστικά Στερεά Απόβλητα και το διαχωρισμό τους σε επιμέρους κατηγορίες όπου και αναλύονται έννοιες όπως των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και το υποσύνολο των βιοαποβλήτων. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση του υπάρχοντος νομοθετικού πλαισίου στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Επίσης, παρουσιάζονται τα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων και οι επιμέρους κατηγορίες τους. Τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της μεθόδου ΔσΠ όπως εφαρμόστηκε από το πιλοτικό πρόγραμμα Athens Biowaste καθώς και τα ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρκτηρισμού του τελικού προϊόντος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στο πειραματικό μέρος που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία. Αναλύεται λεπτομερώς η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε με τα πειραματικά πρωτόκολλα ελέγχου της ποιότητας του προϊόντος κόμποστ, περιγράφονται οι πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι μέθοδοι ανάλυσης των φυσικοχημικών παραμέτρων που μελετήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα υπό μορφή πινάκων και διαγραμμάτων και γίνεται ο σχολιασμός τους. Συγκεκριμένα 12 διαφορετικά δείγματα προ-επεξεργασμένων βιοαποβλήτων ελέχθησαν ως προς τις παρακάτω παραμέτρους : υγρασία, pH, TOC (%), TN (%), λόγος C/N, βαρέα μέταλλα, προσμίξεις και ανάπτυξη παθογόνων και παρασιτικών οργανισμών. Οι τιμές που υπολογίστηκαν για την % υγρασία των 12 δειγμάτων είναι ίσες με $29.55 \pm 12\%$ κ.β. και αντίστοιχα για το pH η τιμή των τελικών προϊόντων προσδιορίζεται στο 7.97 ± 0.6 . Τα αποτελέσματα για ολικό οργανικό άνθρακα προσδιορίστηκαν στο $39.45 \pm 3.9\%$. Για την παράμετρο του ολικού αζώτου, οι τιμές που σημειώθηκαν για τα 12 δείγματα εντοπίζονται στην περιοχή του $2.05 \pm 0.39\%$. Οι τιμές των 12 δειγμάτων για τα βαρέα μέταλλα αποδεικνύεται ότι κυμαίνονται μέσα στα ευρωπαϊκά πρότυπα ποιότητας κόμποστ, εκτός από τις κάποιες τιμές μολύβδου (Pb) οι οποίες σε 4 από τα 12 δείγματα που ελέχθησαν παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται από 129,04-221,05 mg/kg και είναι μεγαλύτερες από το όριο των 100 mg/kg που θέτει η ευρωπαϊκή κοινότητα, γεγονός που οφείλεται κυρίως σε προσμίξεις του αρχικού προϊόντος. Ο λόγος C/N υπολογίστηκε σε 20.16 ± 5.44 . Οι προσμίξεις υπολογίστηκαν

σε 2.1 ± 0.9 % κ.β. Τέλος στο τελικό προϊόν δεν υπήρξε ανάπτυξη παρασιτικών ή παθογόνων οργανισμών.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη των πειραματικών διαδικασιών και αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα 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 αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου ΔσΠ του προγράμματος Athens Biowaste καθώς το τελικό προϊόν κόμποστ τηρεί τα ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρακτηρισμού με μόνη εξαίρεση την περιεκτικότητα σε προσμίξεις.

ABSTRACT

The present thesis is entitled "Examination and evaluation of the finished product from composting preselected biowaste". The thesis scope is to examine the final product which is derived from the source separation of biowaste from the municipalities of Athens and Kifisia under the frame of the "Athens Biowaste" program

The first chapter is an introduction addressing the waste management problem, incorporating basic definitions related to the management of Municipal Solid Waste, which includes their categorization and clarification of terms such as the biodegradable fraction of waste and the division of biowaste. In addition there is a summarize of the Greek legislative framework and the current European policy regarding the waste management. Furthermore, there is an analysis of the stages of biowaste management practices and the processing methods that are being used. Finally there is an explanation of the source separation method, the advantages that this method has to offer and the end of waste criteria that the European Union uses to examine the quality of the final product

The second chapter introduces the experimental part of the present thesis. In particular, the detailed methodology incorporating the experimental protocols and the methods of analysis of the physicochemical parameters are extensively presented.

The third chapter presents the experimental results in the form of tables and charts and the results are discussed thoroughly. Specifically, twelve (12) samples of different biowaste products were tested for the following parameters: Moisture content (%), pH, Total organic carbon (TOC %), total nitrogen (TN %), ratio C/N, heavy metals, impurities, organic substance and parasitic organisms. The values calculated for the % moisture content and pH of the examined samples were $29.55 \pm 12\%$ w/w and 7.97 ± 0.6 respectively. The values calculated for TOC % were $39.45 \pm 3.9\%$. The results of TN% were $12.05 \pm 0.39\%$. As for the heavy metals the results were satisfactory and within the range given by the criteria of declassification (End of Waste Criteria) released in a report by the European Commission. The only exception was the concentration numbers of Pb in the compost which is higher ($129.04-221, 05$ mg/kg) in 4 samples out of 12, than the EU limit of 100 mg/kg due to impurities of the biowaste product. The values of the ratio C/N were equal to 20.16 ± 5.44 . The impurities were calculated to $2.1 \pm 0.9\%$ w/w. Finally according to the analysis there were no parasitic organisms in the final product.

The fourth and last chapter contains the conclusions drawn from both the study of the experimental procedures and results. Specifically 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, the effectiveness of the source separation method in the frame of Athens Biowaste program was being proven. The final product was labeled as a high quality product according to the end of waste criteria with the only exemption of the high amount of impurities that were over the limits.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΒΑΑ: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

ΒΑ: Βιοαπόβλητα

ΔΑ: Διαχείριση Απορριμμάτων

ΕΚΑ: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

ΕΣΔΑ: Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Αποβλήτων

ΠΔΠ: Προγράμματα Δράσης για το Περιβάλλον

ΠΕΣΔΑ: Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων

ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Κλιματικής Αλλαγής

ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΠΠΕΡΑΑ: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη

ΕΜΠ: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔσΠ: Διαλογή στην πηγή

MSW: Municipal Solid Wastes

PE: Polyethylene

PP: Polypropylene

TN: Total Nitrogen

TOC: Total Organic Carbon

IS: Inorganic carbon

PTE: Potentially Toxic Elements

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	5
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
Πίνακες.....	10
Εικόνες.....	11
Διαγράμματα	11
1. Θεωρητικό Μέρος.....	12
1.1. Εισαγωγή.....	12
1.2 Ορισμοί.....	13
1.2.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	13
1.2.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ).....	13
1.2.3 Βιοαπόβλητα (ΒΑ).....	13
1.2.4 Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων.....	14
1.3 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο	17
1.4 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης βιοαποβλήτων.....	22
1.4.1 Η κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	22
1.4.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα.....	23
1.4.3 Ποσοτική & ποιοτική κατανομή σε επίπεδο περιφέρειας.....	26
1.4.4 Υφιστάμενες εγκαταστάσεις διαχείρισης βιοαποδομήσιμων αποβλήτων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο	29
1.5 Συστήματα διαχείρισης βιοαποβλήτων	31
1.5.1 Συλλογή και μεταφορά βιοαποβλήτων	31
1.5.2 Χωριστή συλλογή ενός τύπου υλικού.....	33
1.5.3 Χωριστή ή μη χωριστή συλλογή τουλάχιστον δύο τύπων υλικών.....	33
1.5.4 Συλλογή με τη μέθοδο «Πόρτα-πόρτα»	34
1.5.5 Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοίκων	34
1.5.6 Συγκέντρωση Διαχωρισμένων Υλικών σε Κέντρα Συλλογής.....	35
1.5.7 Συλλογή υλικών από Ειδικές κατηγορίες Πηγών Προέλευσης	36
1.5.8 Συλλογή υλικών από Ειδικές Πληθυσμιακές Ομάδες	36

1.5.9 Τεχνολογίες επεξεργασίας βιοαποβλήτων	37
1.6 Οφέλη από την εφαρμογή συστημάτων ΔσΠ	51
1.7 Υφιστάμενες προδιαγραφές αξιολόγησης του τελικού προϊόντος σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.....	52
2. Πειραματικό μέρος	55
2.1 Εισαγωγή.....	55
2.2 Πειραματικό πρωτόκολλο και περιγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων.....	56
2.3 Μέθοδοι ανάλυσης	57
2.3.1 Προσδιορισμός υγρασίας	58
2.3.2 Προσδιορισμός pH.....	59
2.3.3 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).....	59
2.3.4 Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN).....	61
2.3.5 Προσδιορισμός της αναλογίας C/N.....	65
2.3.6 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων	66
3. Πειραματικά αποτελέσματα – Συζήτηση	67
3.1 Προσδιορισμός Υγρασίας	67
3.2 Προσδιορισμός pH	68
3.3 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC).....	69
3.4 Προσδιορισμός ολικού αζώτου.....	70
3.5 Προσδιορισμός C/N	72
3.6 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων	73
3.7 Προσμίξεις	80
3.8 Παθογόνοι μικροοργανισμοί	82
3.9 Παρασιτικοί οργανισμοί.....	84
4. Συμπεράσματα.....	86
5.Βιβλιογραφία.....	88

Πίνακες

Πίνακας 1. Νομοθετικό πλαίσιο που σχετίζεται με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο	19
Πίνακας 2. Ποσοστό ΒΑΑ που διατίθεται σε ΧΥΤΑ, συλλέγεται ως σύμμεικτα ΑΣΑ και με ΔσΠ (Πηγή: ΕΕΑ, 2002α, προσαρμογή στοιχείων για την Ελλάδα).....	24
Πίνακας 3. Σενάρια εξέλιξης της ποσότητας και της σύνθεσης των ΑΣΑ.	25
Πίνακας 4. Εκτίμηση της παραγωγής, σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον/έτος).....	27
Πίνακας 5. Σύσταση(%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια της Ελλάδας 2011	27
Πίνακας 6. Ποσότητα βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον/έτος).....	28
Πίνακας 7. Οφέλη από τη ΔσΠ των βιοαποβλήτων.....	51
Πίνακας 8. Παράμετροι που αναλύθηκαν	56
Πίνακας 9. Αποτελέσματα μέτρησης TOC.....	69
Πίνακας 10. Αποτελέσματα μετρήσεων IC.....	70
Πίνακας 11. Αποτελέσματα μετρήσεων για ολικό άζωτο	71
Πίνακας 13. Αποτελέσματα μετρήσεων C/N.....	72
Πίνακας 14. Αποτελέσματα μετρήσεων για την παρουσία βαρέων μετάλλων στα κόμποστ προϊόντα.....	77
Πίνακας 15. Ευρωπαϊκά πρότυπα τιμών συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων.....	78
Πίνακας 16. Περιεκτικότητα σε προσμίξεις (% κ.β. ξ.ο. <2mm) σε (α) προδιαλεγμένο κόμποστ από ATHENS BIOWASTE (n=12) και χώρες της Ε.Ε. και σε (β) σύμμεικτο κόμποστ στο ΕΜΑ Άνω Λιόσια	82
Πίνακας 17. Έλεγχος ποιότητας του κόμποστ ATHENS BIOWASTE αναφορικά με την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς (n=12).....	83
Πίνακας 18. Αποτελέσματα πειραμάτων μέτρησης της φυτρωτικότητας Παρασίτων/αναπαραγωγικών μερών ζιζανίων.....	85

Εικόνες

Εικόνα 1. Διάδοση των προγραμμάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων στην ΕΕ το 2009	30
Εικόνα 2. Φούρνος ξήρανσης	58
Εικόνα 3. Μετρητής pH	59
Εικόνα 4. Σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα	60
Εικόνα 5. Κεντρική μονάδα	60
Εικόνα 6. SSM 5000A	61
Εικόνα 7. Πορσελάνινες κάψες	61
Εικόνα 8. Σωλήνας χώνευσης και συσκευή KJELDATHERM	62
Εικόνα 9. Συσκευή απόσταξης VaroDest 30s	63
Εικόνα 10. Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση	64
Εικόνα 11. Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης AAS (Varian)	66
Εικόνα 12. Δείγματα καλλιεργειών τοποθετημένα σε θάλαμο υπό ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας	84

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1. Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), Βιοαποδομήσιμων (BA) & Βιοαποβλήτων (BA) σε μορφή συνόλου	14
Διάγραμμα 2. Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων	16
Διάγραμμα 3. Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων	21
Διάγραμμα 4. Διαχείριση ΑΣΑ και ποσοστά ανακύκλωσης σε επιλεγμένες χώρες της ΕΕ (Πηγή: EEA Signals 2004)	23
Διάγραμμα 5. Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας (2012)	28
Διάγραμμα 6. Τυπική μονάδα πυρόλυσης	46
Διάγραμμα 7. Παραστατική απεικόνιση της κομποστοποίησης	47

1. Θεωρητικό Μέρος

1.1. Εισαγωγή

Η διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά και δυσεπίλυτα περιβαλλοντικά προβλήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Η μαζική αστικοποίηση που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε συνδυασμό με τις ολοένα και αυξανόμενες καταναλωτικές συνήθειες των πολιτών καθιστούν ακόμα πιο αναγκαία την εύρεση βιώσιμης λύσης στον τομέα των αποβλήτων. Ειδικότερα, Η Ελλάδα μέσα σε κλίμα δεινής οικονομικής κρίσης, παραπέμπεται για δεύτερη φορά στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο, αντιμετωπίζοντας οικονομικές κυρώσεις (ύψους 80.000 ευρώ /ημέρα), διότι λειτουργεί ακόμη παράνομους Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ), ενώ θα έπρεπε μέχρι το τέλος του 2008, να είχε παύσει η λειτουργία τους και να είχαν ολοκληρωθεί οι εργασίες αποκατάστασης. Σήμερα λειτουργούν 57 ΧΑΔΑ ενώ 179 είναι ανενεργοί χωρίς να έχουν αποκατασταθεί. Η ύπαρξη των ΧΑΔΑ συνδέεται άμεσα με την ανυπαρξία των κατάλληλων υποδομών για την ορθή Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) αλλά και της έλλειψης αποφασιστικότητας και συντονισμού της σύγχρονης δημόσιας διοίκησης, οδηγώντας στη σημερινή κατάσταση. Αν εξαιρεθούν κάποια μικρής κλίμακας προγράμματα -κυρίως Οικιακής Κομποστοποίησης- που κατά καιρούς εφαρμόζονται σε Δήμους τα βιοαπόβλητα δεν τυχάνουν ξεχωριστής συλλογής και εναλλακτικής διαχείρισης. Η πρώτη ουσιαστική προσπάθεια εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης γίνεται μέσω του Προγράμματος **Life+ «ATHENS BIOWASTE»** που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία. Η περιβαλλοντική στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει επενδύσει σε προγράμματα που ενισχύουν την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων τα οποία θεωρεί ότι μπορούν να αποτελέσουν -με την εφαρμογή των κατάλληλων τεχνολογιών- οικονομικούς πόρους αλλά και να συντελέσουν στην ενεργειακή αυτάρκεια που η Ευρώπη οραματίζεται. Το **Life+** είναι το χρηματοδοτικό μέσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το περιβάλλον και στοχεύει στην εφαρμογή, ενημέρωση και ανάπτυξη της κοινοτικής περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας.

Το γεγονός ότι η Ελλάδα αδυνατεί μέχρι σήμερα να διαχειριστεί τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) σύμφωνα με τις τελευταίες Ευρωπαϊκές οδηγίες αναδεικνύει την

ανάγκη για καθολική εφαρμογή προγραμμάτων όπως το **Life+ «ATHENS BIOWASTE»**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του προδιαλεγμένου υλικού που

συλλέχθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος LIFE+ «ATHENS BIOWASTE», σύμφωνα με τη μέθοδο διαλογής στην πηγή σε δήμους της Αθήνας

1.2 Ορισμοί

1.2.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Ως ΑΣΑ ορίζονται «τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απόβλητα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απόβλητα), των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις, κλπ) τα οποία λόγω φύσης ή σύνθεσης προσομοιάζουν με τα οικιακά στερεά απόβλητα».

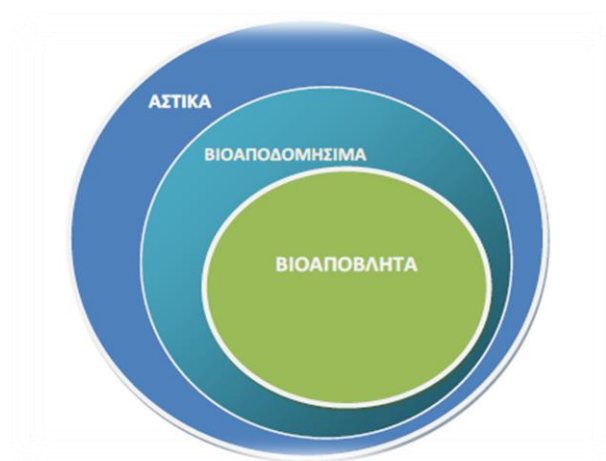
1.2.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (BAA)

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 (BA)

Τα βιοαπόβλητα ορίζονται ως «τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρειών 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)

Στο παρακάτω διάγραμμα αναδεικνύεται ότι τα βιοαπόβλητα είναι υποσύνολο των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και όλα ανήκουν στην ομάδα των αστικών στερεών αποβλήτων.



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

1.2.4 Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων

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

- Οικιακά απόβλητα
- Εμπορικά απόβλητα
- Βιομηχανικά απόβλητα

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

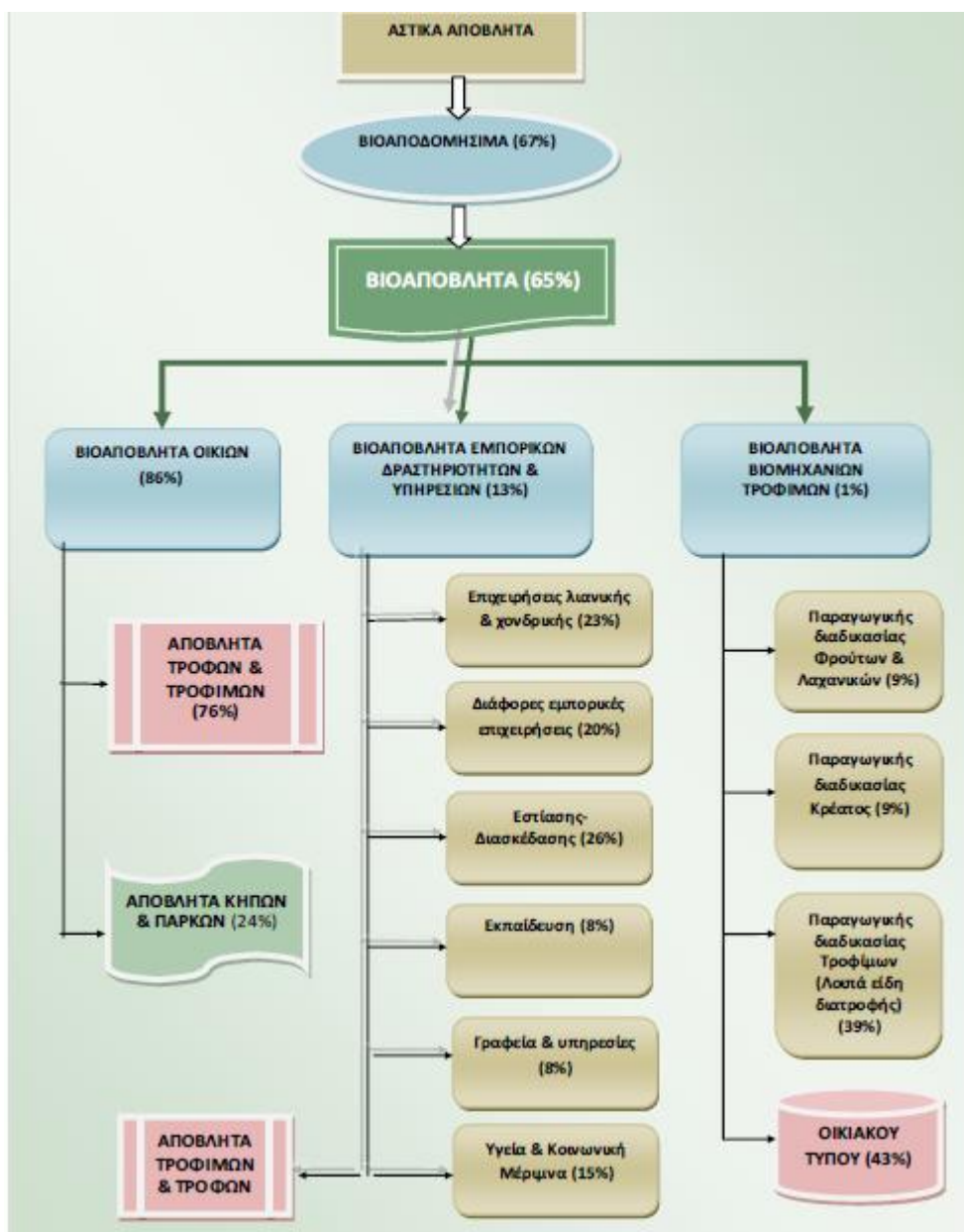
Οικιακά απόβλητα: Αποτελούν το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία δημιουργούνται στις οικίες (ή και σε δημόσιους χώρους στην περίπτωση των αποβλήτων κήπου) και χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:

- *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.λπ.

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 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

Οι σχετικές οδηγίες της ευρωπαϊκής ένωσης με τα απόβλητα , θέτουν ποσοτικούς στόχους ανακύκλωσης για το 47% από τα 3 εκ τόνους αποβλήτων τα οποία παράγονται στα κράτη μέλη, ενώ περίπου το 50% αυτής της ποσότητας οδηγείται στην ανακύκλωση.

Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η εφαρμογή της οδηγίας 1999/31/ΕΚ για την υγειονομική ταφή σχετικά με τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ όπου σε συνδυασμό με τους μακροπρόθεσμους και ενδιάμεσους στόχους, λειτούργησε προς την κατεύθυνση αυτή. Ωστόσο η πλήρης υλοποίηση των στόχων εκτροπής εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση για πολλές χώρες στην Ε.Ε και στην Ελλάδα.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι οι στόχοι που τίθενται σε ευρωπαϊκό επίπεδο παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά την περαιτέρω προώθηση της ανακύκλωσης ανά ρεύμα αποβλήτων και καθιστά επιβεβλημένη τη θέσπιση και ενσωμάτωση στόχων στις επερχόμενες πολιτικές όλων των κρατών μελών.

Σε αυτή την κατεύθυνση προσανατολίζεται ο πρόσφατος ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Ά 24/13-02-2012) << Ποινική προστασία του περιβάλλοντος-Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων>> όπου εναρμονίζεται με την οδηγία 2008/99/ΕΚ και την οδηγία 2008/98/Ε και θέτει στόχους σχετικά με τη διαχείριση βιοαποβλήτων (άρθρο 41), ενώ ορίζονται τα κατάλληλα μέτρα και οι ελάχιστες απαιτήσεις ανάλογα με την περίπτωση (άρθρο 45) προκειμένου να ενθαρρυνθεί : α) Η χωριστή συλλογή βιολογικών αποβλήτων (βιοαποβλήτων), με σκοπό την κομποστοποίηση ή και τη ζύμωση των βιολογικών αποβλήτων και β) Η επεξεργασία των βιολογικών αποβλήτων κατά τρόπο που να διασφαλίζεται υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας και γ) Η χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών υλικών, τα οποία παράγονται από βιολογικά απόβλητα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτικά το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο που σχετίζεται με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, για τα βιοαποδομήσιμα και αστικά απόβλητα εν γένει

Πίνακας 1. Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα και την ΕΕ (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

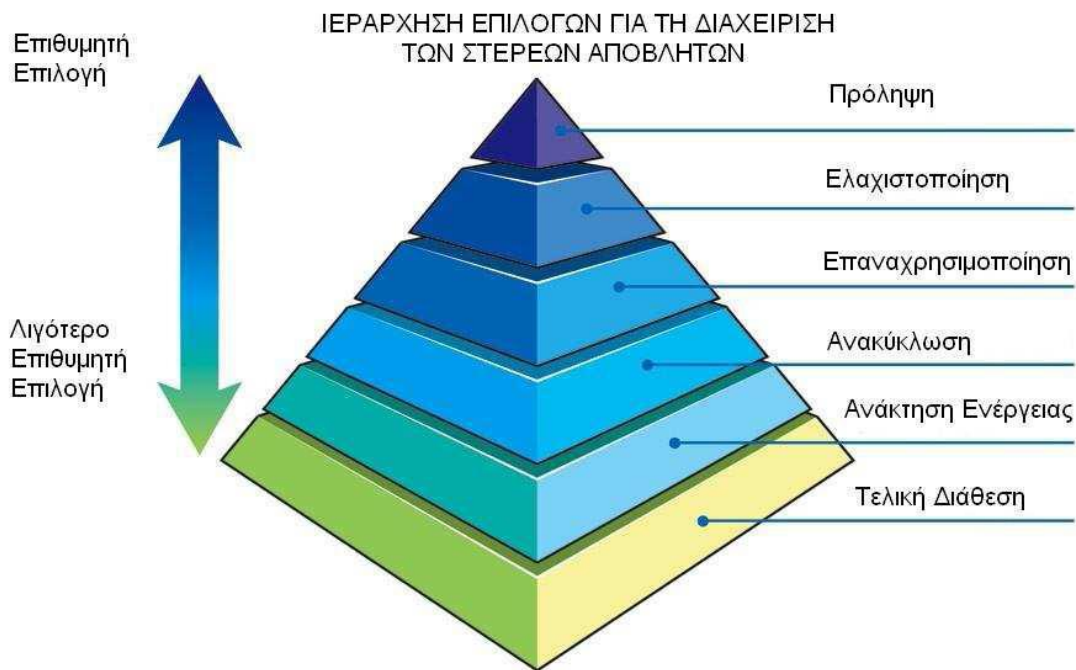
Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	Εθνική Νομοθεσία	Επισημάνσεις
Οδηγία 98/2008/ΕΚ για τα απόβλητα Οδηγία 2008/99/ΕΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου.	ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Α' 24/13-02-2012) Ποινική προστασία του περιβάλλοντος - Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων.	(Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ και την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.) Σύμφωνα με το άρθρο 41: Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστον, στο 5% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων και έως το 2020, κατ' ελάχιστον, στο 10% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων.
Οδηγία 91/156/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων.	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016Β/17.11.97), Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.	Ενσωμάτωση των γενικών κατευθύνσεων και προδιαγραφών της 75/442/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την 91/156/ΕΚ.
Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572Β/16.12.02), Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων	Θέσπιση στόχων για επεξεργασία πριν την ταφή και μείωση της ποσότητας των ΒΑΑ που οδηγείται για ταφή.
Οδηγία 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ.	ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22.12.2003), Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Σε εθνικό επίπεδο με την εν λόγω ΚΥΑ ενσωματώθηκε η 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ θέτοντας αυστηρότερες κατευθύνσεις, μέτρα, όρους και διαδικασίες για την διαχείριση στερεών αποβλήτων και εισήγαγε τους ευρωπαϊκούς στόχους και αρχές στην εθνική στρατηγική διαχείρισης.
Οδηγία 2008/4/ΕΚ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την απόθεση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.

Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ, για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05.06.06), Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	Ενσωμάτωση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Το ΠΔ συμπληρώνεται και με τις εγκυκλίους όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω. Δίνονται προδιαγραφές για εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης και ανασρόβιας χώνευσης (παρασκευής βιοαερίου), αδειοδότηση και ορθή λειτουργία. Επίσης, γίνεται και προσέγγιση για θέσπιση κριτηρίων οργανικών λιπασμάτων από υλικά αυτών των κατηγοριών.
Κανονισμός 1069/2009/ΕΚ, περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο - κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα).	-	Νέο συνεκτικό και συνολικό πλαίσιο κοινοτικών υγειονομικών κανόνων για τη συλλογή, τη μεταφορά, τον χειρισμό, τον μετασχηματισμό, τη μεταποίηση, την αποθήκευση, τη διάθεση στην αγορά, τη διανομή, τη χρήση ή την απόρριψη των ζωικών υποπροϊόντων.
Κανονισμός 142/2011/ΕΚ, για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	-	Θέσπιση κανόνων για τη διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων, την επίτευξη των στόχων του Κανονισμού 1069/2009/ΕΚ και τη βιώσιμη χρήση ζωικών υλικών, αλλά και τη διατήρηση υψηλού επιπέδου προστασίας της δημόσιας υγείας και υγείας των ζώων στην ΕΕ.
Οδηγία 2000/76/ΕΚ, για την αποτέφρωση των αποβλήτων.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.
Οδηγία 2006/799/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους.	-	Με τις οδηγίες αυτές είναι σαφής η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων υλικών ή/ και η ανακύκλωση οργανικής ύλης προερχόμενης από συγκέντρωση ή/ και επεξεργασία αποβλήτων, ως συμβολή στην ελαχιστοποίηση των προς τελική διάθεση στερεών αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο ακόμη δεν έχουν εναρμονιστεί.
Οδηγία 2007/64/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε καλλιεργητικά μέσα.	-	

Πίνακας 1. Νομοθετικό πλαίσιο που σχετίζεται με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

Η ισχύουσα Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα **2008/98/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 «για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών» θεσπίζει μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας εμποδίζοντας ή μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής και διαχείρισης των αποβλήτων. Ειδικότερα, αποσαφηνίζει τους ορισμούς «απόβλητο», «ανακύκλωση», «ανάκτηση» και την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» ενώ εισάγει την έννοια της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού». Σύμφωνα με την αρχή αυτή οι επιχειρήσεις που διαθέτουν προϊόντα στην αγορά, αναλαμβάνουν και την οικονομική ευθύνη για τις δραστηριότητες που αφορούν την πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση ή άλλες μορφές ανάκτησης για τα απόβλητα που παράγονται από τη χρήση των προϊόντων τους. Επίσης οφείλουν να πληροφορούν το κοινό για το βαθμό στον οποίο το προϊόν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να ανακυκλωθεί. Η πρόληψη συνδέεται άμεσα με τη βελτιστοποίηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται, δημιουργώντας συνθήκες ανάπτυξης, παραγωγής και εμπορίας προϊόντων που είναι κατάλληλα για πολλαπλές χρήσεις, ανθεκτικά από τεχνική άποψη και, αφού καταστούν απόβλητα, κατάλληλα για ορθή και ασφαλή ανάκτηση και διάθεση συμβατή με το περιβάλλον. Στο άρθρο 4 της Οδηγίας αναφέρεται η ιεράρχηση των δράσεων και εργασιών της διαχείρισης αποβλήτων που κάθε κράτος-μέλος οφείλει να ακολουθεί κατά προτεραιότητα

α) πρόληψη, β) ελαχιστοποίηση, γ) επαναχρησιμοποίηση, δ) ανακύκλωση, ε) ανάκτηση ενέργειας, στ) τελική διάθεση



Διάγραμμα 3.Ιεράρχηση επιλογών για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων

(πηγή: Σημειώσεις μαθήματος «Ρύπανση και Συστήματα Προστασίας Περιβάλλοντος» του ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» Ε.Μ.Π.)

Επιπλέον θέτει συγκεκριμένους στόχους στα κράτη μέλη:

α) έως το 2020, αύξηση τουλάχιστον στο 50 % κατά βάρος, της προετοιμασίας για την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των υλικών αποβλήτων, όπως το χαρτί, το μέταλλο, το πλαστικό και το γυαλί από νοικοκυριά και ενδεχομένως άλλης προέλευσης, στο βαθμό που τα απόβλητα αυτά είναι παρόμοια με τα απόβλητα των νοικοκυριών.

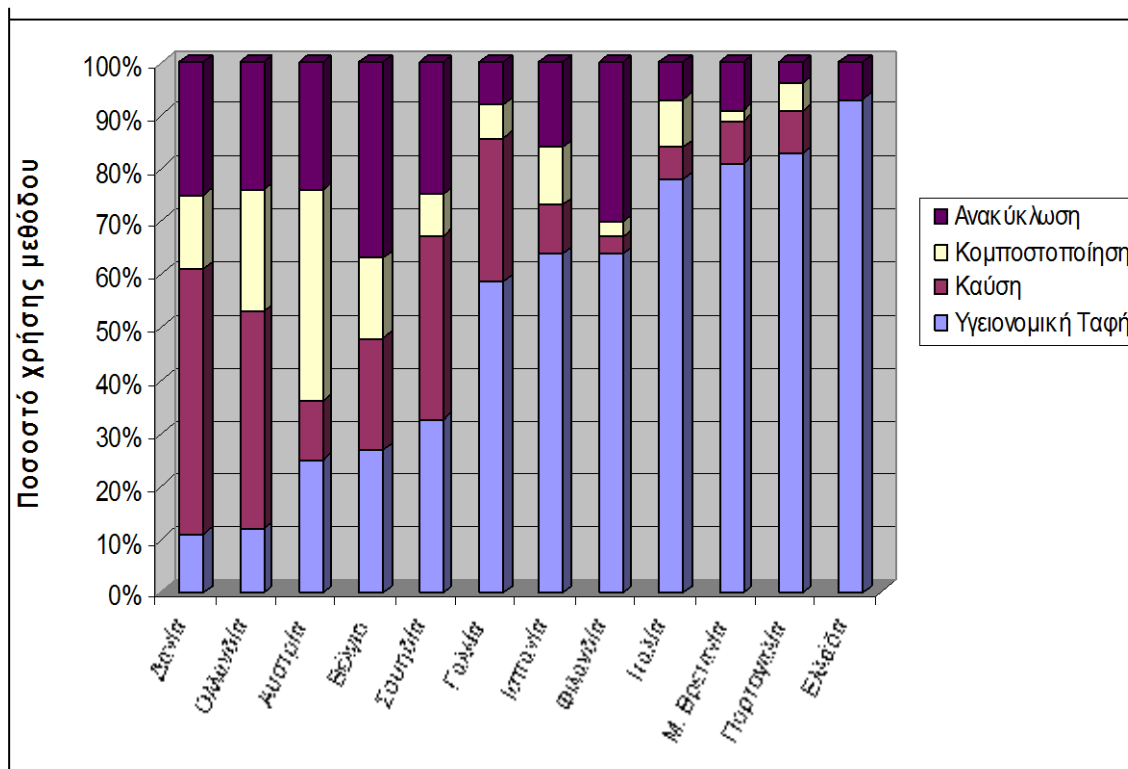
β) έως το 2020 αύξηση τουλάχιστον στο 70 % κατά βάρος της προετοιμασίας για την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση άλλων υλικών συμπεριλαμβανομένων των εργασιών υγειονομικής ταφής όπου γίνεται χρήση αποβλήτων για την υποκατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων,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

1.4 Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης βιοαποβλήτων

1.4.1 Η κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η κατάσταση της διαχείρισης των ΑΣΑ διαφοροποιείται σημαντικά ανάμεσα στα κράτη-μέλη, όσον αφορά στις παραγόμενες κατ' άτομο ποσότητες, τη σύνθεση των αποβλήτων και τις μεθόδους συλλογής, επεξεργασίας και διάθεσης, με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν διαφορετικό βαθμό δυσκολίας στην επίτευξη των στόχων εκτροπής των ΒΑΑ. Η ετήσια παραγωγή των ΑΣΑ κυμαίνεται από 220 kg/ca για την Πολωνία έως 960 kg/ca για την Ισλανδία με μέσο όρο για την ΕΕ-15 τα 560 kg/ca το 2001, όταν η αντίστοιχη τιμή για την Ελλάδα ήταν 430 kg/ca (ΕΕΑ 2005). Συνεπώς οι Έλληνες παράγουν λιγότερα ΑΣΑ κατ άτομο σε σχέση με τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο, υποδεικνύοντας ότι είναι πολύ πιθανή η αύξηση της ποσότητας αυτής, ειδικά όσο αυξάνει το ΑΕΠ (Λάλας κ.ά. 2007, Lasaridi & Stentiford 1999). Η σύνθεση των ΑΣΑ επίσης παρουσιάζει πολύ σημαντικές διαφοροποιήσεις, με γενική – αν και όχι απόλυτη – τάση αναφορικά με τα ΒΑΑ, τη μείωση του ποσοστού των ζυμώσιμων και την αύξηση του ποσοστού του χαρτιού (έντυπου και συσκευασίας) όσο αυξάνει το ΑΕΠ. Το ποσοστό των ζυμώσιμων εξαρτάται πάντως και από άλλους γεωγραφικούς παράγοντες, με τις Μεσογειακές χώρες να εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά.

Πιο σημαντική ωστόσο είναι η διαφοροποίηση ως προς τις μεθόδους διαχείρισης των ΑΣΑ (Διάγραμμα 2), οι οποίες επηρεάζουν και το ποσοστό των ΒΑΑ που διατίθεται σε ΧΥΤΑ. Ορισμένες χώρες όπως η Δανία, η Αυστρία, η Ολλανδία και η Φλαμανδική περιοχή του Βελγίου υπερκαλύπτουν ήδη τις απαιτήσεις εκτροπής για το 2016, αφού σήμερα λιγότερο από 25% των ΒΑΑ διατίθενται σε ΧΥΤΑ. Από τις χώρες αυτές, άλλες χρησιμοποιούν καύση για σημαντικό ποσοστό των αποβλήτων τους (Δανία και Ολλανδία) ενώ άλλες χρησιμοποιούν περισσότερο κομποστοποίηση και ανακύκλωση (Αυστρία και Φλαμανδία). Σε όλες όμως τις περιπτώσεις, όλες χώρες υπερκαλύπτουν ή έστω πλησιάζουν τους στόχους εκτροπής χρησιμοποιούν ένα μείγμα όλων των διαφορετικών επιλογών διαχείρισης. Αντίθετα, χώρες όπως η Ελλάδα, η Πορτογαλία, η Μ. Βρετανία και η Ιταλία, εξακολουθούν να βασίζονται σε μεγάλο ποσοστό στην υγειονομική ταφή και είναι πιθανό να αντιμετωπίσουν δυσκολίες στην έγκαιρη επίτευξη των στόχων εκτροπής, παρά τη χρονική παράταση τεσσάρων χρόνων που έχουν λάβει οι τρεις πρώτες από αυτές. Από το Διάγραμμα 2 φαίνεται ότι η χώρα που αναμένεται να συναντήσει τις σημαντικότερες δυσκολίες προσαρμογής είναι η Ελλάδα, καθώς παρουσιάζει σημαντική υστέρηση σε όλους τους τομείς διαχείρισης των αποβλήτων της. Πολλές χώρες (Αυστρία, Δανία, Φλαμανδία, Ολλανδία, Γερμανία) επιτυγχάνουν ένα σημαντικό ποσοστό εκτροπής με ΔσΠ των ΒΑΑ (38-69%), τα οποία κυρίως κομποστοποιούνται και σε μικρότερο βαθμό, υφίστανται αναερόβια χώνευση



Διάγραμμα 4. Διαχείριση ΑΣΑ και ποσοστά ανακύκλωσης σε επιλεγμένες χώρες της ΕΕ (Πηγή: EEA Signals 2004)

1.4.2 Η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα

Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ η παραγόμενη ποσότητα των ΑΣΑ το 2001 ανήλθε σε 4.559.000 τόνους (Λάλας κ.ά., 2007) παρουσιάζοντας μια αυξητική τάση της τάξης του 50% κατά τη δεκαετία 1991-2001. Η γνώση της διαχρονικής τάσης μεταβολής τόσο της παραγόμενης ποσότητας όσο και της σύνθεσης των ΑΣΑ είναι ιδιαίτερα σημαντική για το Σχεδιασμό της Εθνικής Πολιτικής για τα ΒΑΑ και τον προγραμματισμό των αναγκαίων υποδομών επεξεργασίας- εκτροπής, καθώς θα επέτρεπε την παραγωγή μοντέλων πρόβλεψης της παραγωγής και σύνθεσης αποβλήτων κατά την περίοδο 2010 έως 2020, όπου τίθεται η επίτευξη των στόχων. Δυστυχώς όμως, τα ιστορικά δεδομένα σχετικά με την εξέλιξη της ποσότητας των ΑΣΑ είναι πολύ περιορισμένα και, ειδικά για την περίοδο πριν από το 1997, αμφιβόλου αξιοπιστίας, ενώ αναφορικά με τη σύνθεση των ΑΣΑ οι αβεβαιότητες είναι ακόμη μεγαλύτερες. Στη συνέχεια παρατίθενται, με όλες τις επιφυλάξεις που

θέτουν οι παραπάνω περιορισμοί, τα διαθέσιμα στοιχεία από διάφορες επίσημες πηγές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Περιφερειακοί Σχεδιασμοί, EUROSTAT) και τη λιγοστή σχετική επιστημονική βιβλιογραφία.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της EUROSTAT μόνο για πέντε έτη, 1985, 1990, 1991, 1992 και 1997, υπάρχουν στοιχεία για την παραγωγή των ΑΣΑ στην Ελλάδα. Επιπλέον, στην ΚΥΑ Η.Π. 50910/2727 δημοσιεύονται δεδομένα για την παραγωγή απορριμμάτων στα έτη 1997-2001 (Πίνακας 2). Η μέση παραγωγή αποβλήτων (ΜΠΑ – kg/ca/day), σύμφωνα με τα προηγούμενα στοιχεία και με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για τον πληθυσμό της χώρας παρουσιάζεται επίσης στον Πίνακα 3. Δεν υπολογίζονται τιμές για το 1985 και 1990 καθώς τα στοιχεία της ετήσιας ποσότητας δεν θεωρούνται αξιόπιστα. Η ΜΠΑ διατηρεί αυξητική τάση, γεγονός αναμενόμενο αφού είναι κατώτερη από τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η παραγωγή αποβλήτων για τις περισσότερες χώρες παραμένει συνδεδεμένη με την αύξηση του ΑΕΠ (ΕΠΕΜ, 2003).

Πίνακας 2. Ποσοστό ΒΑΑ που διατίθεται σε ΧΥΤΑ, συλλέγεται ως σύμμεικτα ΑΣΑ και με ΔσΠ (Πηγή: ΕΕΑ, 2002α, προσαρμογή στοιχείων για την Ελλάδα).

Χώρα ή Περιφέρεια	Έτος	% ΒΑΑ σε ΧΥΤΑ	% ΒΑΑ που συλλέγονται ως σύμμεικτα	% ΒΑΑ που συλλέγονται με ΔσΠ
Αυστρία	1996	20,4	43,0	57,0
Δανία	1998	5,3	58,0	42,0
Ιρλανδία	1998	90,3	90,0	10,0
Βέλγιο –Φλαμανδία	1998	16,7	32,2	68,8
Φινλανδία	1997	64,9	70,0	29,3
Γαλλία	1998	40,3	81,8	18,2
Γερμανία	1998	30,2	62,0	38,0
Ελλάδα	1997	98,5	98,5	1,5
Ιταλία	1997	68,4	85,7	14,3
Ολλανδία	1998	13,1	47,7	52,3
Νορβηγία	1997	59,0	68,7	31,3
Μ. Βρετανία	1998-99	86,2	72,1	27,9
Ισπανία-Καταλονία	1998	73,4	95,0	5,0

Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των ΒΑΑ που θα πρέπει να εκτρέπονται από την εδαφική διάθεση το 2010, 2013 και 2020 θα πρέπει να προβλεφθεί όχι μόνο η μεταβολή της παραγόμενης ποσότητας αλλά και της σύνθεσης των ΑΣΑ. Ωστόσο, οποιαδήποτε πρόβλεψη στον τομέα αυτό στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, καθώς δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία

ποσοτικής σύνθεσης ούτε σήμερα ούτε βέβαια σε ένα ιστορικό βάθος. Ο κύριος λόγος είναι ότι δεν υπάρχει ένα Εθνικό Πρόγραμμα ανάλυσης των αποβλήτων, που να εφαρμόζει τυποποιημένες και στατιστικά έγκυρες μεθόδους ώστε να παράγει συγκρίσιμα στοιχεία, ούτε κάποια υποχρέωση της Διοίκησης για την περιφερειακή συλλογή στοιχείων. Έτσι, όσες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα γίνονταν αποσπασματικά και συχνά στο πλαίσιο ερευνητικών προγραμμάτων κάποιου Πανεπιστημιακού Ιδρύματος. Τα επίσημα στοιχεία μέσης ποιοτικής σύνθεσης της χώρας για το 2001 (Η.Π. 50910/2727/2003) έχουν ως εξής: ζυμώσιμα 47%, χαρτί 20%, πλαστικά 8,5%, μέταλλα 4,5%, γυαλί 4,5% και υπόλοιπα 15,5%. Επίσης στον Πίνακα 4 συγκεντρώνονται τα διαθέσιμα στοιχεία από τις αναλύσεις ποιοτικής σύνθεσης που έχουν κατά καιρούς πραγματοποιηθεί και δημοσιευτεί σε επιστημονικές εργασίες, μελέτες και επίσημες αναφορές. Από τα στοιχεία αυτά διαφαίνεται μια πτωτική τάση για τα ζυμώσιμα και μια αυξητική για το χαρτί και τα άλλα απόβλητα συσκευασίας, δεν μπορούν όμως να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την εξέλιξη της σύνθεσης έως το 2020.

Πίνακας 3.Σενάρια εξέλιξης της ποσότητας και της σύνθεσης των ΑΣΑ.

	<i>Ποσότητες</i>		<i>Σύνθεση - Ανακύκλωση</i>
Σ1	Ετήσια αύξηση 1% (αισιόδοξο)	ΣΑ	Σταθερή σύσταση ΑΣΑ (47% ζυμώσιμα και 20% χαρτί), σταθερή ανακύκλωση χαρτιού 435.000 τόνοι/έτος (ρεαλιστικό)
Σ2	Ετήσια αύξηση 1,5% (ρεαλιστικό)	ΣΒ	Μείωση των ζυμώσιμων (35% των ΑΣΑ) και αύξηση του χαρτιού (30% των ΑΣΑ) με 50% ανακύκλωση χαρτιού (αισιόδοξο)
Σ3	Ετήσια αύξηση 3% (απαισιόδοξο)		

1.4.3 Ποσοτική & ποιοτική κατανομή σε επίπεδο περιφέρειας

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται εκτιμήσεις σχετικά με τη σύσταση και την εξέλιξη της ποσότητας των βιοαποβλήτων σε επίπεδο χώρας για τις τρεις προαναφερθείσες βασικές κατηγορίες προέλευσης (Οικίων, Βιομηχανίας, Εμπορικών Δραστηριοτήτων & υπηρεσιών) καθώς και τις αντίστοιχες υποκατηγορίες τους.

	2012	2013	2015	2020	2025	2030
ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	5831855	5914672	6086485	6542883	7037736	7563297
ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΑ	3923126	3978247	4093349	4397807	4725343	5071028
ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ	2567867	2599157	2659912	2824699	2984759	3148588
ΟΙΚΙΩΝ	2196682	2222775	2272776	2408822	2537969	2669125
ΒΑ-ΤΡΟΦΩΝ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ	1678991	1698759	1736485	1839271	1936142	2034274
ΒΑ-ΚΗΠΩΝ & ΠΑΡΚΩΝ	517692	524016	536290	569551	601827	634851
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ*	30162	30451	31038	32783	34626	36572
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΦΡΟΥΤΩΝ	2676	2702	2754	2909	3072	3245
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΡΕΑΤΟΣ & ΙΧΘΥΩΝ	2600	2625	2675	2826	2985	3152
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΛΟΙΠΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	11833	11946	12176	12860	13584	14347
ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	13054	13179	13433	14188	14985	15828
ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ & ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	341022	345930	356098	383094	412164	442890
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΛΙΑΝΙΚΗΣ & ΧΟΝΔΡΙΚΗΣ	79718	80865	83242	89553	96348	103531
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	68962	69954	72010	77470	83348	89562
ΕΣΤΙΑΣΗΣ-ΔΙΑΣΚΕΔΑΣΗΣ	89212	90496	93156	100218	107823	115861
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	26734	27119	27916	30032	32311	34720
ΓΡΑΦΕΙΑ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	25623	25992	26756	28785	30969	33278
ΥΓΕΙΑ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	50773	51504	53018	57037	61365	65940

*Αφορά τις διαθέσιμες (και καταγεγραμμένες) ποσότητες των βιοαποβλήτων και όχι το σύνολο των παραγόμενων βιοαποβλήτων από τη βιομηχανία τροφίμων

Πίνακας 4. Εκτίμηση της παραγωγής, σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον/έτος)

Πηγή: (Οδηγός Βιοαποβλήτων, ΥΠΕΚΑ, 2012)

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται μία εκτίμηση της σύστασης των ΑΣΑ για το 2011

Πίνακας 5. Σύσταση(%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια της Ελλάδας 2011

	Περιφέρεια	Βιοαπόβλητα (Οργανικό κλάσμα)	Χαρτί- χαρτόνι	Μέταλλα	Πλαστικά	Γυαλί	Λοιπά
1	ΑΝ. ΜΑΚ. ΘΡΑΚΗ	45,8	15,3	16,5	3,4	4,3	14,7
2	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	38,6	21,6	14,9	3,9	3,4	17,6
3	ΔΥΤ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	46,2	19,4	14,4	2,3	1,9	15,8
4	ΗΠΕΙΡΟΣ	44,9	18,9	11,3	5,2	3,8	15,8
5	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	53,9	17,1	16,3	3,8	6,7	2,2
6	ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
7	ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
8	ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
9	ΑΤΤΙΚΗ	43,6	28,1	13	3,3	3,4	8,6
10	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	41	29	14	3,5	3,5	9
11	Β. ΑΙΓΑΙΟ	48,3	21,6	9,4	3,2	5,8	11,7
12	Ν. ΑΙΓΑΙΟ	30	28	21	3	7	11
13	ΚΡΗΤΗ	39,2	20	16,9	5	5,3	13,7

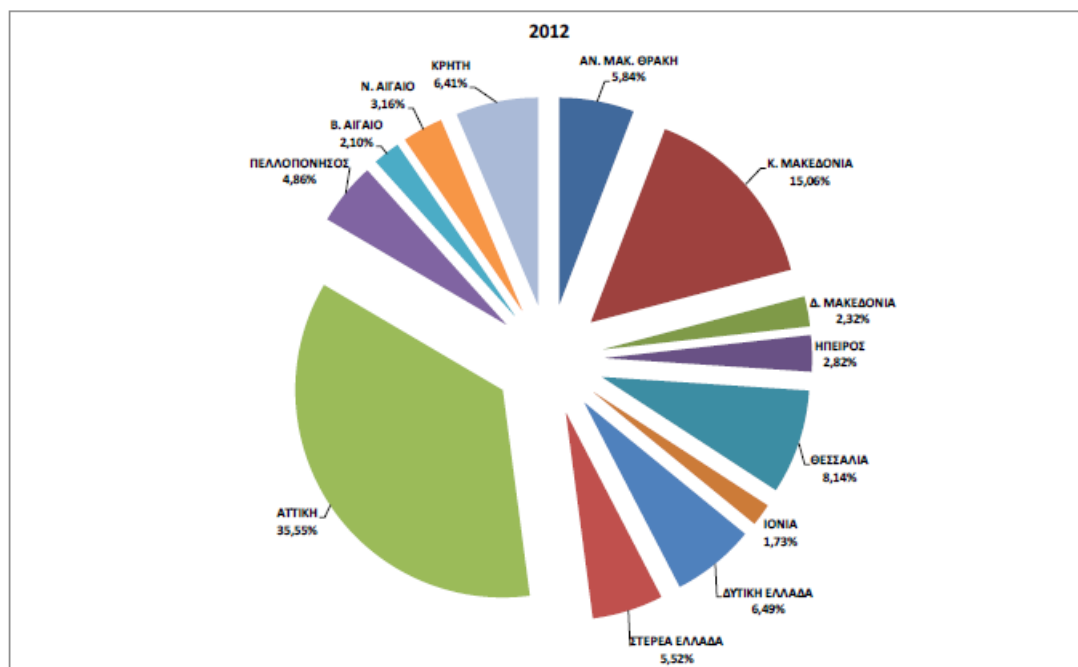
Αντίστοιχα η εκτίμηση της ποσότητας των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια και η εξέλιξη της έως το 2030 παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 6. Ποσότητα βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον/έτος)

	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	2012	2013	2015	2020	2025	2030
1	ΑΝ. ΜΑΚ. ΘΡΑΚΗ	150931	151871	153745	157949	162772	168964
2	Κ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	391194	397606	409994	439320	467422	496262
3	Δ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	58930	59117	59464	60804	62241	63917
4	ΗΠΕΙΡΟΣ	71764	72295	73336	77381	81573	85995
5	ΘΕΣΣΑΛΙΑ	210890	212545	215755	227885	239328	250441
6	ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	43778	44319	45354	48420	51346	54145
7	ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	167038	168598	171633	182676	193704	204744
8	ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	143396	144478	146654	155595	165012	174763
9	ΑΤΤΙΚΗ	909711	923732	950682	1012922	1069214	1124555
10	ΠΕΛΛΟΠΟΝΗΣΟΣ	123464	125254	128869	138641	149083	159956
11	Β. ΑΙΓΑΙΟ	53417	52957	52209	51740	52517	54379
12	Ν. ΑΙΓΑΙΟ	80102	80826	82203	87045	91919	97078
13	ΚΡΗΤΗ	163252	165559	170012	184319	198628	213389
	ΣΥΝΟΛΟ	2567867	2599157	2659912	2824699	2984759	3148588

Πηγή (ΥΠΕΚΑ, 2012)

Η ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια για το 2012 δίνεται στο ακόλουθο σχήμα



Διάγραμμα 5. Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας (2012)

Πηγή (ΥΠΕΚΑ, 2012)

1.4.4 Υφιστάμενες εγκαταστάσεις διαχείρισης βιοαποδομήσιμων αποβλήτων σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο

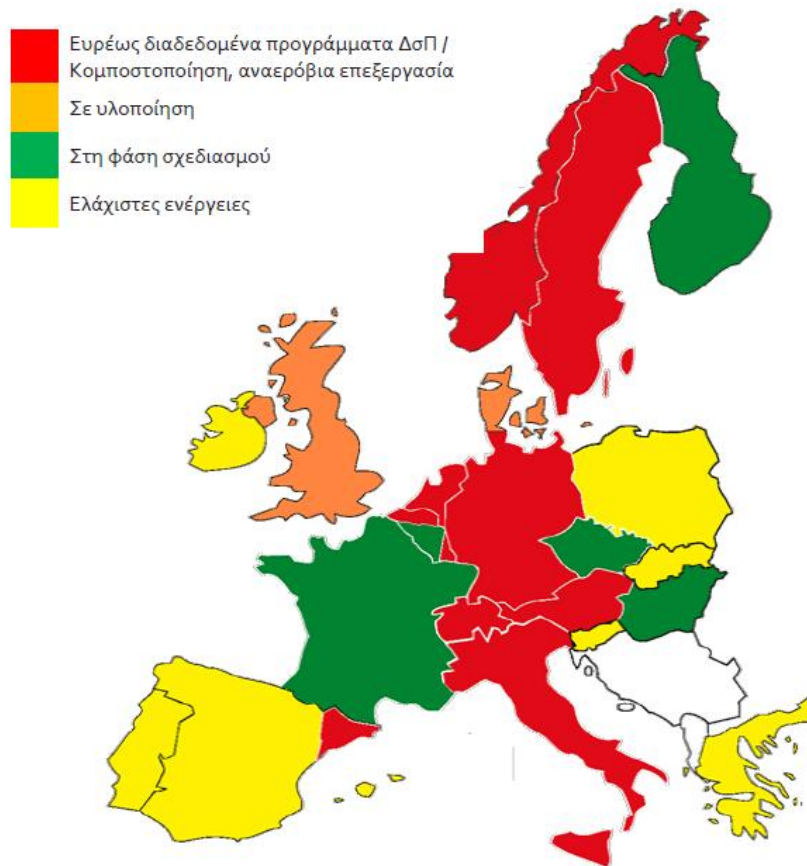
Κάθε χρόνο παράγονται περίπου 120-140 εκ. τόνοι βιοαποβλήτων στην ΕΕ και σχεδόν 90 εκ. τόνοι είναι απόβλητα τροφών και τροφίμων (food waste)

Σύμφωνα με το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο της ΕΕ αλλά και κάθε κράτους μέλους χωριστά, για τα βιοαπόβλητα που δεν μπορεί να προληφθεί η δημιουργία τους, θα πρέπει να επιλεγεί ο καλύτερος τρόπος για την επεξεργασία τους λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Ορισμένα κράτη μέλη έχουν ήδη μειώσει αρκετά και αναμένεται να μειώσουν ακόμα παραπάνω την υγειονομική ταφή των βιοαποβλήτων και να αυξήσουν τη βιολογική επεξεργασία τους, ωστόσο για το 2010, το 40% (κατά Μ.Ο) των παραγόμενων βιοαποβλήτων στην ΕΕ οδηγείται προς ταφή ενώ σε κάποιες χώρες το ποσοστό αυτό φτάνει στο 100% .

Σύμφωνα με στοιχεία του ECN (European Compost Network) εκτιμάται ότι το 25% των παραγόμενων βιοαποβλήτων οδηγείται προς επεξεργασία σε μονάδες κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης, με τη Γερμανία (800 μονάδες) και την Αυστρία (461), να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό και Ιταλία (240) , Αγγλία (220) και Ολλανδία (70) να ακολουθούν.

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται η κατάσταση σε ότι αφορά τα προγράμματα διαχείρισης και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιοαποβλήτων στην ΕΕ για το 2009



Εικόνα 1. Διάδοση των προγραμμάτων επεξεργασίας βιοαποβλήτων στην ΕΕ το 2009

Πηγή (3rd Baltic biowaste conference)

Στην Ελλάδα υπάρχουν πέντε εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης (ΕΜΑΚ). Ένα στην Αττική (Άνω Λιόσια), δύο στην Κρήτη (Χανιά και Ηράκλειο), έναν στους Ιονίους νήσους (Κεφαλονιά) και ένα στην Πελοπόννησο (Καλαμάτα). Το ΕΜΑΚ Καλαμάτας δεν λειτουργεί πλέον. Τα ΕΜΑΚ Αττικής, Χανίων, Κεφαλονιάς εφαρμόζουν τη μέθοδο της κομποστοποίησης, ενώ το ΕΜΑΚ Ηρακλείου τη μέθοδο της βιοξήρανσης.

1.5 Συστήματα διαχείρισης βιοαποβλήτων

Στην παρούσα ενότητα γίνεται συνοπτική αναφορά στα διαφορετικά συστήματα συλλογής και μεθόδους επεξεργασίας των ΒΑ που χρησιμοποιούνται στην πράξη

1.5.1 Συλλογή και μεταφορά βιοαποβλήτων

Η συλλογή έγκειται κατά κύριο λόγο στη διαλογή ενός ή περισσότερων υλικών από το σύνολο των απορριμμάτων .Ο αποτελεσματικότερος τρόπος διαλογής των απορριμμάτων είναι η διαλογή στην πηγή (ΔσΠ) (κατά την αγγλική ορολογία: source separation) παραγωγής τους.

Με τον όρο «Διαλογή στην Πηγή» ορίζεται η διαδικασία/τεχνική της ανακύκλωσης με την οποία επιτυγχάνεται ανάκτηση χρήσιμων υλικών πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα των απορριμμάτων. (πηγή. ΥΠΕΚΑ)

Η διαλογή στην πηγή μπορεί να θεωρηθεί ως ολοκληρωμένη, εναλλακτική λύση έναντι των τεχνικών διάθεσης και κεντρικής ανάκτησης των αστικών στερεών απορριμμάτων.

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

- Το είδος και η διαθεσιμότητα των προς ανάκτηση υλικών
- Η δυνητικά ανακτήσιμη ποσότητα υλικών προς ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση
- Ο σωστός σχεδιασμός του συστήματος συλλογής, μεταφοράς και αξιοποίησης των δυνητικά ανακτήσιμων υλικών και η πλήρης ενσωμάτωσή του στο συνολικό σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων
- Η δυνατότητα απρόσκοπτης προώθησης των ανακτηθέντων υλικών στις αντίστοιχες αγορές
- Η ποιότητα των ανακτηθέντων υλικών
- Η πρόληψη και έγκαιρη αντιμετώπιση πιθανών οργανωτικών δυσκολιών και λειτουργικών προβλημάτων

- Η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού (ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης) έτσι, ώστε να επιτευχθεί αυξημένη συμμετοχή του στα προγράμματα ανακύκλωσης υλικών

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

- το είδος της περιοχής (αστική, ημιαστική, αγροτική),
- το βιοτικό και μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού
- η σωστή, συνεχής και πλήρης ενημέρωση του κοινού
- το είδος της κατοικίας (μονοκατοικία, πολυκατοικία) και γενικότερα τα οικιστικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής
- η ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται από τους κατοίκους για τη συλλογή των υλικών
- το είδος των προγραμμάτων (υποχρεωτικά, εθελοντικά κ.λπ.)
- ο τρόπος συλλογής των υλικών (καθορισμένη συλλογή)

Η ενημέρωση του κοινού σχετικά με την ανάκτηση και ανακύκλωση υλικών πρέπει να αρχίζει πριν την έναρξη του προγράμματος και να συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκειά του. Επιπλέον, απαιτείται συνεχής επαφή και συνεργασία των υπευθύνων του προγράμματος με τους κατοίκους έτσι, ώστε να προλαμβάνονται πιθανά λειτουργικά και άλλα προβλήματα ή στην περίπτωση εμφάνισης προβλημάτων να αντιμετωπίζονται άμεσα και αποτελεσματικά. Η επιλογή της πιο κατάλληλης πρακτικής για διαλογή υλικών στην πηγή πρέπει να γίνεται με στόχο την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των αντίστοιχων προγραμμάτων πρέπει να προσαρμόζεται στην κάθε περιοχή και η τελική επιλογή να βασίζεται στα τοπικά χαρακτηριστικά, τα οικονομικά δεδομένα και τις απαιτήσεις που η κάθε μέθοδος παρουσιάζει. (Πηγή Athens Biowaste, 2014)

Η διαλογή στην πηγή μπορεί να αφορά σε ένα τύπο αποβλήτου ή σε περισσότερα. Ανάλογα με την οργάνωση των σημάτων συλλογής και την προέλευση των αποβλήτων προκύπτουν οι ακόλουθες κατηγορίες συστημάτων διαλογής στην πηγή

1.5.2 Χωριστή συλλογή ενός τύπου υλικού

Η εφαρμογή του συστήματος επιτυγχάνει την ανάκτηση ενός μόνο υλικού σε ειδικά διαμορφωμένους κάδους που χρησιμοποιούνται ως Μέσα Προσωρινής Αποθήκευσης (ΜΠΑ).

Για τα τροφικά υπολείμματα χρησιμοποιούνται κάδοι μικρού όγκου (<200lt), τροχήλατοι, με υλικό κατασκευής πλαστικό, ανοξείδωτο ή γαλβανισμένο χάλυβα. Οι κάδοι φέρουν πώμα για ελαχιστοποίηση έκλυσης δυσάρεστων οσμών. Σημαντικό είναι τα υπολείμματα να απορρίπτονται σε ειδικούς σάκους (βιοαποδομήσιμους ή μη) πριν την απόρριψη στους κάδους. Τα Οχήματα Συλλογής και Μεταφοράς (ΟΣΜ) που επιλέγονται είναι σχετικά μικρής χωρητικότητας με υπερκατασκευή ανύψωσης κάδων.

Για τα «πράσινα» απορρίμματα χρησιμοποιούνται κάδοι μεγάλης χωρητικότητας από γαλβανισμένο χάλυβα, συνήθως ακάλυπτοι, οι οποίοι μέσω μηχανισμού ανύψωσης τοποθετούνται στην καρότσα ειδικού τύπου ΟΣΜ.

Η συλλογή των βιοαποβλήτων με εφαρμογή της χωριστής συλλογής στην πηγή, μπορεί να οδηγήσει το ανακτημένο υλικό σε εγκαταστάσεις διαχείρισης ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί για οικιακή κομποστοποίηση. Κατά την εν λόγω πρακτική, ο πολίτης διαχωρίζει στην πηγή το οργανικό κλάσμα (υπολείμματα τροφών-πράσινα απορρίμματα) των σύμμεικτων απορριμμάτων και το διοχετεύει στο εσωτερικό ειδικών κάδων κομποστοποίησης, προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υλικού (compost).

1.5.3 Χωριστή ή μη χωριστή συλλογή τουλάχιστον δύο τύπων υλικών

Κατά τη χωριστή συλλογή δύο ή περισσότερων ρευμάτων κάθε υλικό συλλέγεται σε διαφορετικού χρώματος μέσο προσωρινής αποθήκευσης. Εάν η μετέπειτα επεξεργασία επιτρέπει τα επιμέρους υλικά να αναμιχθούν σε έναν κάδο, μπορεί να γίνει μη χωριστή συλλογή τουλάχιστον δύο υλικών. Η συλλογή ομάδας υλικών μπορεί να γίνει με τη μέθοδο «πόρτα-πόρτα» ή με κάδους συλλογής. Ειδικά στην περίπτωση της ΔσΠ του οργανικού κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων, που προορίζεται για εδαφοβελτιωτικό, μπορεί να περιλαμβάνει και τα πράσινα απορρίμματα ή το χαρτόνι, ως συλλεγόμενη ομάδα υλικών.

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλή αποδοτικότητα ως προς το ποσοστό προσμίξεων στα διαχωρισθέντα υλικά. Μπορεί να συνδυασθεί με τη δημιουργία Κέντρων Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΚΔΑΥ) με σκοπό τον περαιτέρω διαχωρισμό και επεξεργασία των υλικών και τη μετατροπή τους σε δευτερογενείς πρώτες ύλες. Η εφαρμογή της χωριστής ή μη χωριστής συλλογής υλικών, προϋποθέτει κατάλληλο σχεδιασμό δικτύου συλλογής αφού θα απαιτηθεί εγκατάσταση κάδων συλλογής για όλα τα υλικά.

1.5.4 Συλλογή με τη μέθοδο «Πόρτα-πόρτα»

Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε αραιοκατοικημένους οικιστικούς ιστούς όπου κάθε κατοικία φιλοξενεί από ένα έως και τρία νοικοκυριά. Κάθε υλικό τοποθετείται από τον κάτοικο σε κάδο οικιακής κλίμακας ή σάκο που φέρουν ειδική σήμανση. Η χωρητικότητα τους καθορίζεται από το υλικό και τη συχνότητα αποκομιδής των κάδων. Το περιεχόμενο κάθε οικιακού κάδου/σάκου, εκκενώνεται σε κάδο μεγαλύτερης χωρητικότητας ο οποίος βρίσκεται σε δημόσιο χώρο εξωτερικά της οικίας, κατάλληλα διαμορφωμένο. Η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συνέπεια του συνολικού μηχανισμού συλλογής ενώ απαιτεί λόγω των πολλών στάσεων αυξημένο εξοπλισμό σε οχήματα μεταφοράς και αυξημένο αριθμό προσωπικού. Απαραίτητη είναι και η συνέπεια εκ μέρους των κατοίκων που εθελοντικά αναλαμβάνουν τη συγκέντρωση των κάδων/σάκων οικιακής κλίμακας και την τοποθέτησή τους στον κάδο εξωτερικά της οικίας.

1.5.5 Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοίκων

Αποτελεί το συνηθέστερα εφαρμοζόμενο σύστημα ΔσΠ. Ο διαχωρισμός των υλικών γίνεται από τους πολίτες στο χώρο κατοικίας και στη συνέχεια απορρίπτονται σε ειδικούς κάδους που βρίσκονται σε κατάλληλες θέσεις του οικιστικού ιστού, στα σημεία που βρίσκονται και οι κάδοι για τα σύμμεικτα απορρίμματα. Η διαφορά της συλλογής με κάδους ανά ομάδες κατοίκων έγκειται στη χρήση –εκτός των διαφορετικών κάδων-και διαφορετικών τύπων ΟΣΜ λόγω της διαφορετικής φύσης

και συχνότητας αποκομιδής των υλικών, που επιδιώκεται να διαχωριστούν στην πηγή.

Προκειμένου για το ρεύμα των βιοαποβλήτων, κατά τη συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοίκων, οι αντίστοιχες ποσότητες συλλέγονται σε οικιακού τύπου μονάδες προσωρινής αποθήκευσης οι οποίες εκκενώνονται σε μεγαλύτερες μονάδες προσωρινής αποθήκευσης που βρίσκονται σε επιλεγμένα σημεία, κατά μήκος του πεζοδρομίου.

1.5.6 Συγκέντρωση Διαχωρισμένων Υλικών σε Κέντρα Συλλογής

Τα Κέντρα Συλλογής είναι εγκαταστάσεις ελαφρού τύπου στις οποίες λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα απορρύπανσης (περιμετρικά τοιχώματα αντιανεμικής προστασίας για την αποφυγή διασποράς αέριων ρύπων στο περιβάλλον, δάπεδο από μπετόν ή ασφαλτοτάπητα). Οι ΜΠΑ των Κέντρων Συλλογής είναι μεταλλικά κοντέινερ ή μεταλλικοί κάδοι χωρητικότητας μεγαλύτερης των 2m³. Οι σταθερές κατασκευές ΜΠΑ (τάφροι) αποφεύγονται για λόγους αποτροπής της ρύπανσης.

Η συγκέντρωση των υλικών στα κέντρα συλλογής γίνεται με δύο τρόπους:

- Οι πολίτες με δική τους πρωτοβουλία προσέρχονται και εναποθέτουν στα κέντρα τα υλικά που έχουν διαχωρίσει.
- Ειδικά διαμορφωμένα ΟΣΜ, κατόπιν συνεννόησης παραλαμβάνουν από μια ή περισσότερες κατοικίες ποσότητες των υλικών που διαχωρίζονται, και τα οδηγούν στο αντίστοιχο κέντρο συλλογής. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η ύπαρξη γεφυροπλάστιγγας για την ακριβή καταγραφή του βάρους κάθε υλικού. Η πρακτική εφαρμόζεται κυρίως για ειδικά ρεύματα αστικών αποβλήτων (Απόβλητα Ηλεκτρονικού & Ηλεκτρικού Εξοπλισμού, μεταχειρισμένα ελαστικά κα).

Αναφορικά με τη ΔσΠ των βιοαποβλήτων, στην πλειονότητα των περιπτώσεων αναφέρεται ότι η μέθοδος των Κέντρων Συλλογής εφαρμόζεται στη συγκέντρωση ποσοτήτων πράσινων αποβλήτων (κλαδέματα κήπων, πάρκων).

1.5.7 Συλλογή υλικών από Ειδικές κατηγορίες Πηγών Προέλευσης

Πρόκειται για στοχευόμενο πρόγραμμα ΔσΠ και αφορά συνήθως σε διαχωρισμό ενός-τριών τύπων αποβλήτων. Οι πηγές προέλευσης χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραγωγή του αποβλήτου που αναμένεται να διαχωριστεί. Για τα βιοαπόβλητα ενδεικτικά τέτοιες πηγές προέλευσης μπορεί να είναι:

- *Χώροι μαζικής εστίασης (εστιατόρια, ξενοδοχεία)* όπου παράγονται μεγάλες ποσότητες τροφικών υπολειμμάτων από την προετοιμασία και την κατανάλωση τροφών
- *Πολυκαταστήματα εμπορίας τροφίμων* που διαθέτουν μεγάλες ποσότητες τροφίμων που έχει λήξει η επιτρεπόμενη περίοδος κατανάλωσης, με την προϋπόθεση ότι θα είναι απαλλαγμένα από την συσκευασία τους
- *Βιομηχανίες-βιοτεχνίες παρασκευής τροφίμων* που διαθέτουν πρώτες ύλες που στον ποιοτικό έλεγχο τίθενται εκτός προδιαγραφών αλλά και υπολείμματα πρώτων υλών (π.χ. φλούδες φρούτων) υπό την προϋπόθεση τα συγκεκριμένα απόβλητα να μην είναι χαρακτηρισμένα ως επικίνδυνα και να μην ανήκουν σε ειδικές κατηγορίες αποβλήτων που πρέπει να διαχειρισθούν ανάλογα (π.χ. ζωικά υποπροϊόντα)
- *Πάρκα-άλση*, όπου παράγονται ποσότητες πράσινων αποβλήτων κατά τις εργασίες συντήρησης και καλλωπισμού των χώρων

1.5.8 Συλλογή υλικών από Ειδικές Πληθυσμιακές Ομάδες

Η μέθοδος αυτή επικεντρώνεται στη συλλογή υλικών-συνήθως τριών και περισσότερων υλικών- από χώρους όπου συναθροίζονται, διέρχονται, εργάζονται ομάδες πολιτών. Ενδεικτικά τέτοιοι χώροι είναι:

- *Αεροδρόμια*
- *Στρατόπεδα*
- *Φυλακές*

- *Χώροι γραφείων*
- *Σχολεία-Πανεπιστήμια-Αθλητικά συγκροτήματα*

Η επιτυχία προγραμμάτων που βασίζονται στη συλλογή υλικών από Ειδικές Πληθυσμιακές Ομάδες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών και απαιτείται συνεχής ενθάρρυνση ενεργής συμμετοχής στην ανακύκλωση.

Η εφαρμογή της μεθόδου στα βιοαπόβλητα, μπορεί να οδηγήσει σε υλικό υψηλής καθαρότητας αφού τα τροφικά υπολείμματα προέρχονται κυρίως από χώρους εστίασης (catering αεροδρομίου, λέσχες εστίασης στρατιωτικών, καντίνες, κυλικεία).

1.5.9 Τεχνολογίες επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Αναμφισβήτητα η ταφή των βιοαποβλήτων αποτελεί τη χειρότερη επιλογή διαχείρισής τους. Η διαχείριση του εκτρεπόμενου από την ταφή βιοαποδομήσιμου κλάσματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Η επιλογή εξαρτάται από ένα σύνολο τοπικών παραγόντων (σύνθεση των βιοαποβλήτων, κλιματικές συνθήκες, την ζήτηση σε συγκεκριμένα προϊόντα-ηλεκτρική ενέργεια, κόμποστ, θερμότητα-, τον τρόπο συλλογής των αποβλήτων). Οι συνήθεις μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τα βιοαπόβλητα είναι η κομποστοποίηση (αερόβια, βιοξήρανση), η αναερόβια χώνευση, η αποτέφρωση, η πυρόλυση και αεριοποίηση, η μηχανική-βιολογική επεξεργασία και η υγειονομική ταφή. Βασικό κριτήριο για την επιλογή μεθόδου αποτελεί η σύσταση του εισερχόμενου υλικού η οποία εξαρτάται από το σύστημα συλλογής που ακολουθείται. Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές αρχές των μεθόδων επεξεργασίας ενώ δίνεται εκτενέστερη ανάλυση στο κεφ.3.4 στην αερόβια κομποστοποίηση λόγω της εφαρμογής της στη μελέτη περίπτωσης (κομποστοποίηση στο Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης-Κομποστοποίησης του ΕΔΣΝΑ).

1.5.9.1 Μηχανικές Βιολογικές Μέθοδοι

Με τον όρο Μηχανική-Βιολογική Μέθοδο επεξεργασίας αποβλήτων (ΜΒΕ) προσδιορίζεται ένα κεντρικό σύστημα μηχανικής διαλογής που διαθέτει τον κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό να επιτυγχάνει τον διαχωρισμό των απορριμμάτων σε κλάσματα με παρόμοιες ιδιότητες (μέγεθος, σύνθεση κλπ) και την βιολογική επεξεργασία του οργανικού κλάσματος. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών (αν υπάρχουν αλλά αναμένονται περιορισμένα σε ρεύμα οργανικών από διαλογή στην πηγή), ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος και η προετοιμασία του για βιολογική επεξεργασία και η απομάκρυνση ογκωδών και άλλων προβληματικών υλικών.

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

Ο βαθμός της μηχανικής επεξεργασίας εξαρτάται από το είδος των εισερχόμενων αποβλήτων (μικτά αστικά απορρίμματα, υπόλειμμα από διαλογή στην πηγή, κ.λ.π), το ποσοστό των ανακυκλώσιμων στα εισερχόμενα απόβλητα, την απαιτούμενη ποιότητα των προϊόντων, το επιθυμητό ποσοστό ανάκτησης των ανακυκλώσιμων .

Εφαρμογή της μεθόδου ΜΒΕ αποτελεί το Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης Κομποστοποίησης του Ειδικού Διαβαθμιδικού Συνδέσμου που λειτουργεί στην περιοχή των Άνω Λιοσίων στην Αττική και περιγράφεται στο κεφ.5.

Οι βασικές επιπτώσεις από τη Μηχανική διαλογή (προεπεξεργασία) κυρίως επικεντρώνονται στις αέριες εκπομπές. Οι αέριες εκπομπές περιλαμβάνουν κυρίως:

- Οσμές, υδρόθειο και μερκαπτάνες από τη μεταφορά και επεξεργασία των απορριμμάτων
- Σκόνη κατά την εκφόρτωση των απορριμματοφόρων
- Σκόνη κατά τις εργασίες κοσκινίσματος, αλέσματος, ανάδευσης, κ.λπ.

- Αμμωνία και πτητικές οργανικές ενώσεις όπως VOCs

Παραλλαγή της ΜΒΕ αποτελεί η Βιολογική ξήρανση. Σε αυτή την περίπτωση η βιολογική επεξεργασία προηγείται της μηχανικής με στόχο την παραγωγή καλής ποιότητας στερεού καυσίμου (Solid Recovered FUEL-SRF). Αρχικά γίνεται μερική αποδόμηση των αποβλήτων- μετά τον τεμαχισμό τους προς μείωση του μεγέθους τους- με παροχή οξυγόνου, χωρίς προσθήκη νερού. Αποτέλεσμα της αερόβιας επεξεργασίας είναι ένα υλικό με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και υγειονοποιημένο εξαιτίας των εξώθερμων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά το στάδιο της βιοξήρανσης (~55C°). Στη συνέχεια ακολουθεί η μηχανική διαλογή όπου απομακρύνονται τα μέταλλα και γενικότερα τα μη καύσιμα υλικά (πέτρες, γυαλί κα). Το τελικό προϊόν της βιοξήρανσης είναι υλικό με σημαντική θερμογόνο δύναμη (~15-18 MJ/kg) και χαμηλό ποσοστό προσμίξεων αφού ο μηχανικός διαχωρισμός γίνεται πιο εύκολα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία. Η βιολογική ξήρανση των απορριμμάτων γίνεται α)σε βιομηχανικό κτίριο εντός ενιαίας δεξαμενής β)σε καλυμμένους σωρούς γ) εντός διαμερισμάτων (boxes).(ΕΣΔΚΝΑ,2008)

1.5.9.2 Βιολογικές μέθοδοι

Οι βιολογικές μέθοδοι είναι η αερόβια βιολογική επεξεργασία οργανικού υλικού ή κομποστοποίηση και η αναερόβια βιολογική χώνευση, Η πρώτη οδηγεί στην παραγωγή σταθεροποιημένου εδαφοβελτιωτικού (κόμποστ) ενώ η δεύτερη σε παραγωγή ενέργειας (μέσω του βιοαερίου) και ενός υδαρούς υπολείμματος (digate) το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε κόμποστ με περαιτέρω αερόβια επεξεργασία. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα επιλεγεί απαιτείται μηχανική επεξεργασία ώστε να διαχωριστούν από τα οργανικά τυχόν προσμίξεις που μπορεί να καθυστερήσουν τη διαδικασία βιοαποικοδόμησης ή και να επιμολύνουν το τελικό προϊόν(κόμποστ ή χώνευμα).

Το κύριο όφελος των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας εντοπίζεται στην επιστροφή των οργανικών υλικών στο έδαφος. Ιδιαίτερα για περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της εμφάνισης φαινομένων ερημοποίησης λόγω κακών πρακτικών καλλιέργειας (π.χ. εντατική χρήση λιπασμάτων) αλλά και λόγω

κλιματικών συνθηκών, η χρήση του κόμποστ υπό τις κατάλληλες προϋποθέσεις μπορεί να αναβαθμίσει σημαντικά την ποιότητα των εδαφών.

Τα κυριότερα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με την κομποστοποίηση αφορούν στις αέριες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένων των οσμών, που παράγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, την πιθανή ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από τα στραγγίσματα της διεργασίας, τη ρύπανση και μόλυνση του εδάφους κατά τη χρήση του κομποστ, το θόρυβο των οχημάτων μεταφοράς και της μονάδας, τη διάδοση παθογόνων μικροοργανισμών και την κατανάλωση ενέργειας (ΕΠΕΜ, 2008)

1.5.9.2.α Αερόβια βιολογική επεξεργασία-κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση είναι η βιολογική, αερόβια, θερμόφιλη και ελεγχόμενη διεργασία μερικής αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων που οδηγεί στην παραγωγή κόμποστ, δηλ. ενός οργανικού εδαφοβελτιωτικού που προσομοιάζει στο χούμους του εδάφους και προωθεί την ανάπτυξη των φυτών.

Ανάλογα με το επίπεδο της εφαρμογής της μεθόδου μπορεί να διακριθεί σε *οικιακή κομποστοποίηση, κομποστοποίηση σε περιφερειακό επίπεδο, κομποστοποίηση σε αγροκτήματα και συγκεντρωτική κομποστοποίηση σε κεντρικές μονάδες.*

1.5.9.2.β Αναερόβια βιολογική χώνευση

Κατά την αναερόβια επεξεργασία, το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετατρέπεται σε μεθάνιο (CH₄), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O) μέσω της μικροβιακής ζύμωσης απουσία αέρα, αφήνοντας ένα μερικώς σταθεροποιημένο οργανικό υλικό.

Κατά το στάδιο της μεθανογένεσης, ο ρυθμός μετατροπής/διάσπασης της οργανικής ύλης είναι ανάλογος με το ρυθμό παραγωγής μεθανίου. Η δράση αναπτύσσεται παρουσία τουλάχιστον δέκα διαφορετικών ειδών βακτηρίων, το καθένα από τα οποία έχει περιορισμένη επίδραση σε συγκεκριμένες μόνο οργανικές ουσίες. Παράλληλα, για αρκετές πολύπλοκες οργανικές ουσίες απαιτείται

η συνεργασία και δράση πολλών διαφορετικών βακτηρίων για να επιτευχθεί η αποδόμησή τους και η παραγωγή μεθανίου.

Ανάλογα με τη διαδοχή των βιολογικών διεργασιών που πραγματοποιούνται, η πορεία της Αναερόβιας Χώνευσης ολοκληρώνεται σε τέσσερις διακριτές φάσεις (Παναγιωτακόπουλος, 2002):

1. *Υδρόλυση* των πολυμερών οργανικών ενώσεων (λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια και μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ).
2. *Οξεογένεση* των παραπάνω διαλυτών προϊόντων και μετατροπή τους σε μια ποικιλία ενδιάμεσων προϊόντων, όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.
3. *Ακετογένεση*, δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου με τη βοήθεια υποχρεωτικά ακετογενών βακτηρίων. Στη φάση αυτή το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.
4. *Μεθανιογένεση*, κατά την οποία τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανιογόνα βακτήρια.

Όπως δηλώνεται από τη συνοπτική περιγραφή των φάσεων, όλες τους πραγματοποιούνται μέσω του μεταβολισμού συγκεκριμένων ομάδων βακτηρίων ο οποίος οδηγεί στην παραγωγή μεθανίου. Δεν πρέπει ωστόσο, να αγνοηθεί η ταυτόχρονη δραστηριότητα άλλων ομάδων βακτηρίων, οι οποίες αναπτύσσονται ανταγωνιστικά προς τα μεθανιογόνα βακτήρια και ενδέχεται να αναστείλουν ή να μειώσουν το ρυθμό της επιθυμητής παραγωγής μεθανίου και εάν για κάποιο λόγο διακοπεί το στάδιο της μεθανογένεσης, τότε είναι αρκετά δύσκολο να ξαναρχίσει.

Η διεργασία αναπτύσσεται σε κλειστούς αντιδραστήρες (χωνευτήρες) απουσία οξυγόνου, με ανάμιξη του υλικού, ρύθμιση του pH (σε τιμές κοντά στην ουδέτερη περιοχή) και θέρμανση μέχρι τους 55 – 60°C. Συνήθως απαιτείται η προσθήκη θρεπτικών για την υποβοήθηση της ανάπτυξης και του πολλαπλασιασμού των βακτηριακών πληθυσμών όπως και αύξηση του ποσοστού υγρασίας.

Όπως και στην αερόβια επεξεργασία, έτσι και στην αναερόβια, ο λόγος C/N διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα των διεργασιών. Για ταχέως έως μετρίως βιοαποδομήσιμα υποστρώματα, ο βέλτιστος λόγος κυμαίνεται μεταξύ 25 και 30 (φαγητά, χαρτί) ενώ για βραδέως βιοαποδομήσιμα (π.χ. ξύλα), ο λόγος αυτός μπορεί και να ανέρχεται στο 40. Χαμηλές τιμές C/N γενικά έχουν σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη εκπομπή αζώτου σαν αέρια αμμωνία, η συγκέντρωση της οποίας μπορεί να αποβεί τοξική για τον μικροβιακό πληθυσμό. Οι βέλτιστες τιμές C/N επιτυγχάνονται με την κατάλληλη μίξη συστατικών των αποβλήτων

Το υλικό που απομένει μετά την αναερόβια επεξεργασία αποτελείται από αιωρούμενα στερεά των μη διασπώμενων υλικών, ανθεκτικά οργανικά, βιομάζα και διάφορα υπολείμματα αποσύνθεσης μικροοργανισμών. Αυτό το υγρό, μερικώς σταθεροποιημένο μίγμα ονομάζεται 'digestate'. Δεδομένου ότι πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές, το ξηρό αυτό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό είτε απευθείας είτε μετά από αερόβια επεξεργασία.

1.5.9.3 Θερμικές μέθοδοι

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων είναι μια συστηματική σειρά ενεργειών μετατροπής τους σε προϊόντα αέριας, υγρής ή στερεής κατάστασης με την εφαρμογή μεθόδων όπως η αποτέφρωση, η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η τεχνική πλάσματος (Λοϊζίδου, 2006). Οι θερμικές μέθοδοι αποσκοπούν αφενός στη μείωση του όγκου των αποβλήτων και της επικινδυνότητας τους αφετέρου στην ανάκτηση θερμότητας που παράγεται κατά την καύση προς παραγωγή ενέργειας.

1.5.9.3.α Αποτέφρωση

Η πλέον διαδεδομένη από τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας είναι η *καύση*, όπου αξιοποιείται μόνο η θερμική ενέργεια των αερίων της διεργασίας καύσης για

την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Η καύση (αποτέφρωση) των αποβλήτων είναι η οξείδωση, δηλαδή η ένωση των χημικών στοιχείων των στερεών αποβλήτων με το οξυγόνο.

Σκοπός της μεθόδου είναι η ελάττωση του όγκου των απορριμμάτων με ταυτόχρονη μετατροπή μεγάλου μέρους τους σε αδρανή υλικά και η κατά το δυνατό εκμετάλλευση της περιεχόμενης στα απορρίμματα ενέργειας για διάφορους σκοπούς (π.χ. θέρμανση, παραγωγή ατμού, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).

Τα βασικότερα μειονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι:

- τα πολυδάπανα συστήματα καθαρισμού που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της παραγωγής διοξινών, φουρανίων και άλλων τοξικών αέριων ρύπων και
- το τοξικό στερεό υπόλειμμα που μένει ως παραπροϊόν της διεργασίας και το οποίο πρέπει να υποστεί επεξεργασία πριν την εναπόθεσή του στους χώρους υγειονομικής ταφής.

Κατά την καύση, λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω φυσικές και χημικές διεργασίες:

I. Ξήρανση

- Η ξήρανση των αποβλήτων επιτυγχάνεται με την έκθεσή τους σε θερμοκρασία τουλάχιστον 100 οC. Η απαιτούμενη για την ξήρανση θερμότητα εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και την περιεχόμενη σε αυτά υγρασία.

II. Θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων

- Η θερμική διάσπαση των οργανικών ενώσεων επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 250 - 900οC και κατά την ανάπτυξή της απομακρύνονται τα πτητικά οργανικά υλικά.

III. Απαερίωση

- Η απαερίωση περιλαμβάνει τη μετατροπή των οργανικών υλικών, κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, σε αέριο καύσιμο υλικό. Η διεργασία αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 800 - 1150 οC.

IV. Κύρια καύση

- Η κύρια καύση περιλαμβάνει την πλήρη οξείδωση των αερίων που παράγονται κατά την απαερίωση των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ανάλογα, με τη σύσταση των αποβλήτων παράγονται και άλλα αέρια προϊόντα όπως οξείδια του θείου και του αζώτου κ.λπ.

Τα προϊόντα της διαδικασίας καύσης είναι τα ακόλουθα:

- Απαέρια (με υδρατμούς) που μετά από επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα, δεσμεύοντας τα επικίνδυνα στερεά που συνοδεύουν τη φάση αυτή.
- Ανόργανη τέφρα
- Υγρό απόβλητο το οποίο παράγεται κατά τις διαδικασίες σβέσης της τέφρας και ψύξης των αερίων
- Θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού ή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μονάδες αποτέφρωσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες,

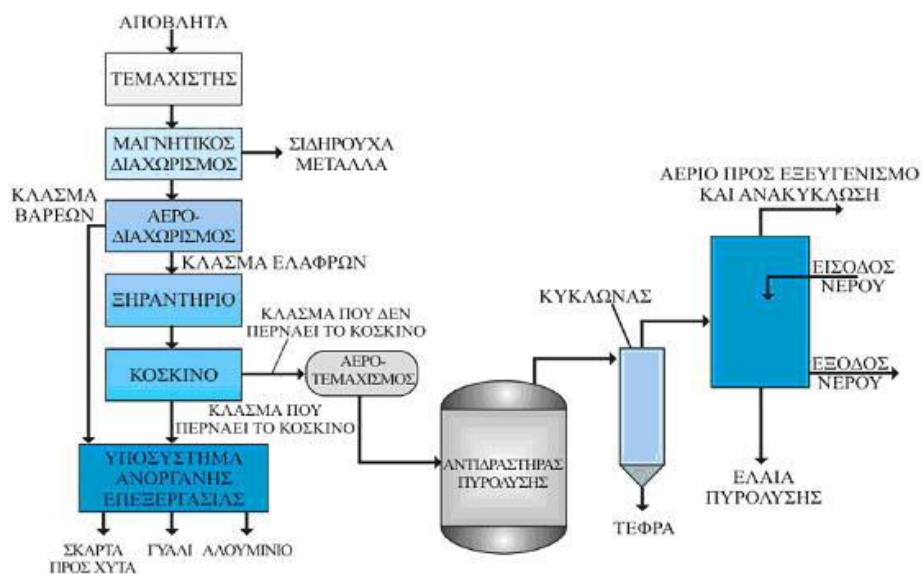
1. τις μονάδες που απαιτούν ελάχιστη προεπεξεργασία των απορριμμάτων – στερεών αποβλήτων, λειτουργούν με μικτά στερεά απορρίμματα (μονάδες μαζικής καύσης - mass-fired)
2. και τις μονάδες που λειτουργούν με τα λεγόμενα δευτερογενή καύσιμα (SRF- Solid Refuse Fuel ή RDF -Refuse Derived Fuel).

1.5.9.3.β Πυρόλυση

Η μέθοδος της πυρόλυσης στηρίζεται στη θερμική αποδόμηση των απορριμμάτων σε θερμοκρασία 400-600 °C απουσία οξυγόνου. Η αντίδραση είναι ενδόθερμη σε αντίθεση με τις έντονα εξώθερμες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην αποτέφρωση και την αεριοποίηση. 32

Κύρια στάδια που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία της πυρόλυσης είναι (Λοϊζίδου,2012):

- Προεπεξεργασία για την απομάκρυνση των μεταλλικών αντικειμένων, τη θραύση και ομογενοποίηση των αποβλήτων καθώς και τη μείωση της υγρασίας τους
- Θερμική επεξεργασία σε κλίβανο απουσία αέρα σε χαμηλή θερμοκρασία όπου τα απόβλητα αποδομούνται θερμικά με αποτέλεσμα την παραγωγή στερεού υπολείμματος και αέριου καύσης
- Μεταφορά της αέριας φάσης σε δευτερογενή θάλαμο καύσης για την αποτέφρωση της από όπου τα παραγόμενα αέρια επαναχρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του φούρνου πυρόλυσης
- Απομάκρυνση και επεξεργασία των στερεών υπολειμμάτων



Διάγραμμα 6.Τυπική μονάδα πυρόλυσης

1.5.9.3.γ Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι διεργασία ατελούς καύσης στην οποία τα στερεά απόβλητα υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία με χρήση οξυγόνου σε ποσότητα μικρότερη από τη στοιχειομετρικά απαιτούμενη. Θεωρητικά, η διεργασία της αεριοποίησης είναι το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης όπου το υπολειμματικό κοκ οξειδώνεται σε θερμοκρασίες $>800^{\circ}\text{C}$. Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιείται ατμός, CO_2 , O_2 ή αέρας.

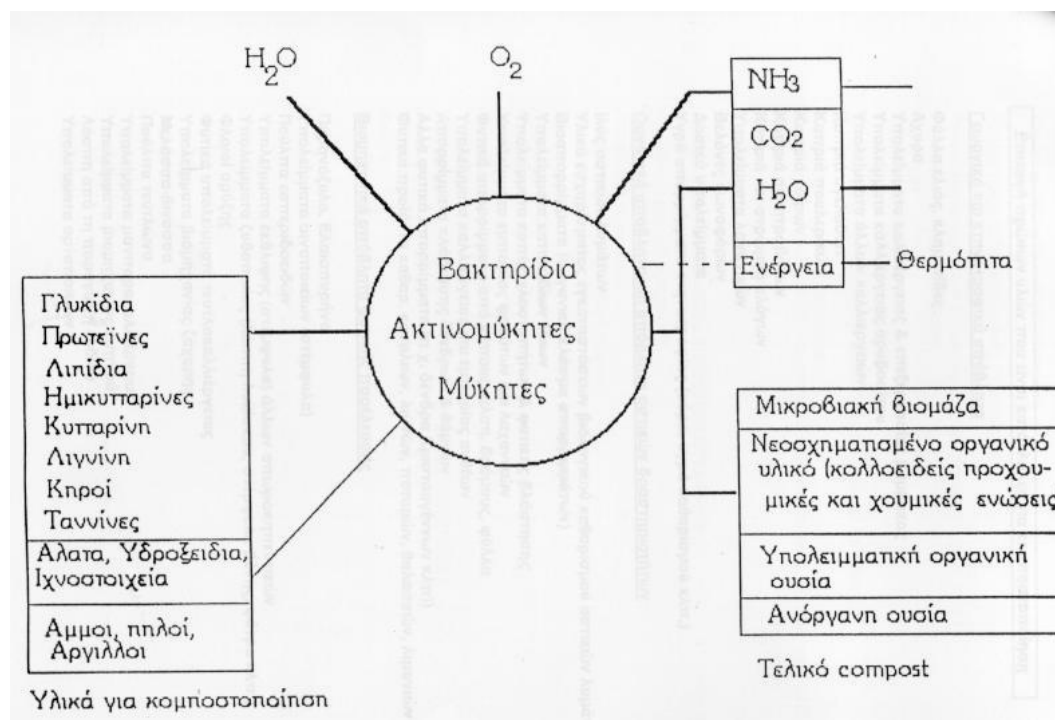
Τα τελικά προϊόντα της αεριοποίησης είναι:

- Αέριο πλούσιο σε μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και κορεσμένους υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.
- Στερεό υπόλειμμα που αποτελείται από άνθρακα και αδρανή.
- Συμπυκνωμένο υγρό υπόλειμμα, με χαρακτηριστικά και σύσταση παρόμοια με αυτό που παράγεται κατά την πυρόλυση.

Τόσο η μέθοδος της πυρόλυσης όσο και αυτή της αεριοποίησης αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα στο μέλλον ως εναλλακτικές μέθοδοι της αποτέφρωσης η οποία αντιμετωπίζει προβλήματα κοινωνικής αποδοχής. Συγκεκριμένα για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων, δεν αποτελούν διαδεδομένες μεθόδους διαχείρισης.

1.5.9.4 Αερόβια βιολογική επεξεργασία - κομποστοποίηση

Ο όρος κομποστοποίηση (λιπασματοποίηση,composting) αναφέρεται στη βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού).



Διάγραμμα 7. Παραστατική απεικόνιση της κομποστοποίησης

Στην περίπτωση που το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ συλλέγεται χωριστά, με διαλογή στην πηγή, απαιτείται προεπεξεργασία, ο βαθμός της οποίας εξαρτάται από την καθαρότητα του συλλεγόμενου υλικού και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι εξής παράγοντες:

Η σταθερότητα της κατανομής των διάφορων συστατικών. Η οργανική μάζα που προορίζεται για κομποστοποίηση συνίσταται από στερεά ουσία, νερό και αέρια (οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα), σε σχετικά σταθερή κατανομή.

Το μέγεθος των κόκκων του υλικού. Η μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού έχει ως αποτέλεσμα αυτό να αποτελεί καλύτερο και πιο ομοιογενές υπόστρωμα για την μικροβιακή δράση

Οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας το υλικό θα πρέπει να αναμιγνύεται με νερό ώστε να διασφαλίζονται ομοιόμορφες συνθήκες για αποδόμηση και αύξηση του επιπέδου υγρασίας σε 45-60% κατά βάρος.

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μέσω της μεταβολικής δραστηριότητας βακτηρίων, ακτινομυκήτων και μυκήτων επιτυγχάνεται η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πλήθους μεταβολικών προϊόντων και κλασμάτων (χουμικές ουσίες, λιγνο-πρωτεΐνες), την απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων από οργανικές ενώσεις που μεταφέρονται σε διαλυτά και αδιάλυτα ανόργανα άλατα και την έκλυση αερίων όπως διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς, αμμωνίας και οξειδίων του αζώτου αλλά και μεθάνιο και υδρόθειο.

Οι κυριότερες ομάδες οργανικών ουσιών που βρίσκονται στο βιοαποδομήσιμο κλάσμα είναι:

- Πρωτεΐνες (3-4%)
- Λίπη (2-4%)
- Σάκχαρα (8-10%)
- Κυτταρίνες και ημικυτταρίνες (44-50%)
- Λιγνίνες (12-15%)

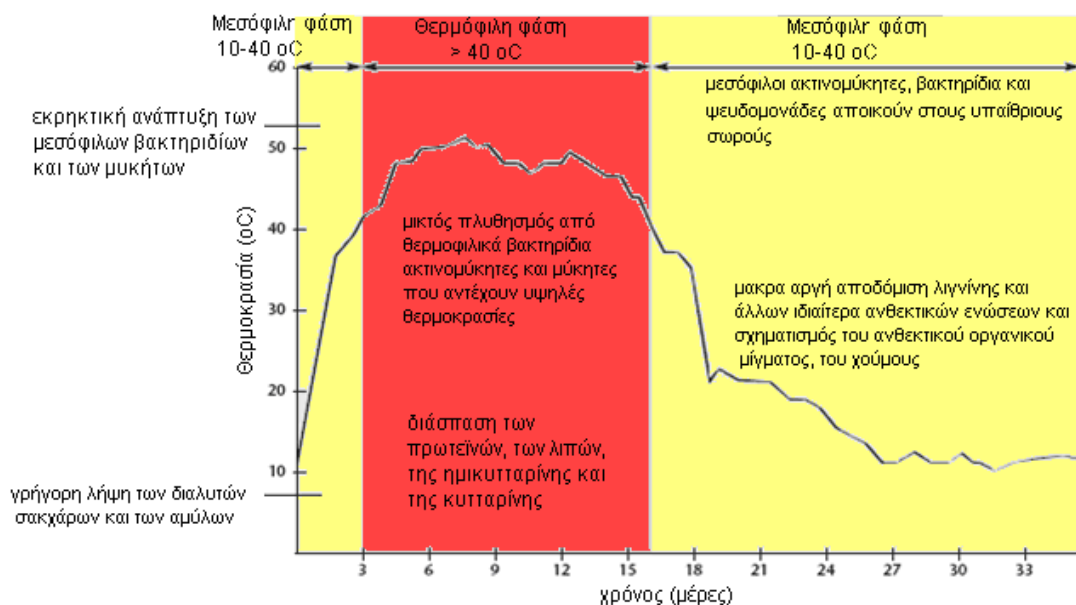
Από τις παραπάνω ουσίες τα σάκχαρα, οι ημικυτταρίνες και κάποιες πρωτεΐνες αποδομούνται εύκολα ενώ οι κυτταρίνες και τα λίπη απαιτούν αρκετό χρονικό διάστημα και κατάλληλες συνθήκες. Οι λιγνίνες είναι πολύ ανθεκτικές στην αποδόμηση.

Η βιοσταθεροποίηση ξεκινά μέσω μίας φάσης προσαρμογής, εξελίσσεται μέσω μίας αρχικής σύντομης μεσόφιλης σε μία παρατεταμένη θερμοφιλή φάση ως αποτέλεσμα βιολογικής παραγωγής θερμότητας ακολουθεί μία μεσόφιλη φάση και ολοκληρώνεται με θερμοκρασία μικρότερη της μεσόφιλης προς ψυχρόφιλη.

- **Λανθάνουσα Φάση:** αντιστοιχεί στο χρόνο που χρειάζεται για να γίνουν οι αποικίες των μικροοργανισμών
- **Μεσόφιλη Φάση:** Στο στάδιο αυτό οι θερμοκρασίες αυξάνονται από το επίπεδο των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος προς το θερμοφιλο επίπεδο, κυριαρχούν τα μεσόφιλα βακτήρια τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα, χρησιμοποιούν το διαθέσιμο οξυγόνο για να μετατρέψουν τον οργανικό άνθρακα του υποστρώματος, σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό και παράλληλα παράγεται ενέργεια σε μορφή θερμότητας. Η θερμότητα συσσωρεύεται στα εσωτερικά στρώματα του υποστρώματος αυξάνεται πάνω από τα όρια ανοχής των μεσόφιλων οργανισμών. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 45°C οι μεσόφιλοι πληθυσμοί πεθαίνουν και κυριαρχούν τα θερμοφιλα βακτήρια.
- **Θερμόφιλη φάση:** ενεργοποιούνται οι θερμοφιλοι οργανισμοί οι οποίοι προτιμούν θερμοκρασίες μεταξύ 45°C και 70°C και παράγουν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες θερμότητας από ότι οι μεσόφιλοι, έτσι ώστε η θερμοκρασία που παρατηρείται αρκεί για να σκοτώσει την πλειοψηφία των παθογόνων οργανισμών. Όσο υπάρχουν πηγές θρεπτικών και ενέργειας οι μικροοργανισμοί συνεχίζουν τη δράση της αποδόμησης του υποστρώματος. Όταν όμως αρχίζουν να εξαντλούνται, οι θερμοφιλοι οργανισμοί πεθαίνουν και η θερμοκρασία του μειώνεται. Στη φάση αυτή, οι ενώσεις του αζώτου αποδομούνται σχεδόν πλήρως και ταχύτατα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην παραγωγή σημαντικών ποσών αμμωνίας που ανεβάζουν τις τιμές του pH σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Δεύτερη Μεσόφιλη Φάση:

- Καθώς μειώνεται η θερμοκρασία ακολουθεί ένας δεύτερος κύκλος μικροβιακής δραστηριότητας στον οποίο επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, κυρίως μύκητες που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, οι οποίοι χρησιμοποιούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει από το στάδιο της θερμοφίλης φάσης καθώς και την λιγνίνη. Τα συστατικά αυτά χρησιμοποιούνται με βραδύ ρυθμό και οι παραγόμενες ποσότητες θερμότητας δεν μπορούν να αναπληρώσουν τις απώλειες. Κατά συνέπεια, η θερμοκρασία της διεργασίας εξακολουθεί να μειώνεται.
- **Φάση Ωρίμανσης:** Σταδιακά, ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων αυξάνεται όσο η θερμοκρασία πέφτει και οι εναπομένουσες πιο πολύπλοκες ενώσεις μπορούν να διασπασθούν από εξωκυτταρικά ένζυμα. Οι ακτινομύκητες προτιμούν συνήθως τη χαμηλή υγρασία, τις έντονα αερόβιες συνθήκες και το ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό pH. Ο πληθυσμός των ακτινομυκήτων ορισμένες φορές είναι τόσο μεγάλος ώστε γίνονται ορατοί στην επιφάνεια του κομποστ (ελαφρώς ωχροκίτρινο χρώμα). Καθώς η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 35°C, οι ενώσεις που δεν έχουν ήδη διασπασθεί εμφανίζουν μια αντοχή στην αποσύνθεση, ενώ κυριαρχούν οι μύκητες με την ικανότητά τους, μέσω των ενζύμων, να αποικοδομούν τις πιο δύσκολες ενώσεις. Η συνολική μικροβιακή δραστηριότητα μειώνεται σταδιακά με πολύ αργούς ρυθμούς όταν οι ενώσεις που απομένουν είναι ανθεκτικές στην αποσύνθεση.



1.6 Οφέλη από την εφαρμογή συστημάτων ΔσΠ

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα οφέλη από την εφαρμογή προγραμμάτων διαλογής στην πηγή των βιοαποβλήτων.

Πίνακας 7.Οφέλη από τη ΔσΠ των βιοαποβλήτων

Οφέλη από τη ΔσΠ των βιοαποβλήτων

- Δ Επίτευξη υψηλών στόχων ανακύκλωσης, καθώς αποτελούν σημαντικό ποσοστό των αποβλήτων.
- Δ Επίτευξη σημαντικού ποσοστού εκτροπής των Βιοαποδομήσιμων Αστικών Αποβλήτων (ΒΑΑ) από τον ΧΥΤ, καθώς τα βιοπόβλητα αποτελούν το μεγαλύτερο και «δυσκολότερο» ρεύμα των ΒΑΑ.
- Δ Αναδιοργάνωση του συνολικού συστήματος συλλογής αποβλήτων έτσι ώστε να ανακυκλώνονται / αξιοποιούνται πολλαπλά ρεύματα χωρίς σημαντική επιβάρυνση του κόστους.
- Δ Διευκόλυνση της αξιοποίησης των υπόλοιπων αποβλήτων αφού η ΔσΠ των βιοαποβλήτων «απομακρύνει» τα οργανικά υλικά που χαρακτηρίζονται από υψηλή υγρασία και χαμηλή θερμιδική αξία, από τα υπόλοιπα Α.Σ.Α.
- Δ Παραγωγή κόμποστ υψηλής ποιότητας, με χαμηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και αδρανών προσμείξεων (πλαστικά, γυαλί), το οποίο πληρεί αυστηρές προδιαγραφές και κερδίζει την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοποίησή του (δυνατή η απόδοση Ευρωπαϊκού Οικολογικού Σήματος – Ecolabel).
- Δ Αποτελεσματική επιστροφή της οργανικής ουσίας και των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, με πολλαπλά οφέλη (βελτίωση της δομής του εδάφους, της υδατο-ικανοτητάς του, της παραγωγικότητας, καταπολέμηση της ερημοποίησης, μερική υποκατάσταση λιπασμάτων, μείωση των φυτοφαρμάκων, ενίσχυση της αποθήκης άνθρακα του εδάφους και συνεπώς συνεισφορά στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής).
- Δ Ενημέρωση – ευαισθητοποίηση των πολιτών για θέματα διαχείρισης αποβλήτων που συνεισφέρει στην αλλαγή της καταναλωτικής συμπεριφοράς και στη μακροπρόθεσμη μείωση των αποβλήτων.

1.7 Υφιστάμενες προδιαγραφές αξιολόγησης του τελικού προϊόντος σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

Η ποιότητα του παραγόμενου κόμποστ και η δυνατότητα διάθεσής του είναι καθοριστικές τόσο για την επιτυχία μιας μονάδας ή ενός συστήματος κομποστοποίησης, όσο και για την αποδοχή και εξέλιξη της μεθόδου της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας στο πλαίσιο της ορθολογικής και βιώσιμης διαχείρισης των βιοαποβλήτων. Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας του παραγόμενου κόμποστ βασίζεται στον προσδιορισμό του βαθμού ωρίμανσης και σταθεροποίησής του. Ο όρος ωρίμανση συσχετίζεται με την ανάπτυξη των φυτών ή με την φυτοτοξικότητα (Iannotti et al., 1993), ενώ ο όρος σταθεροποίηση συνήθως αναφέρεται στη μικροβιακή δραστηριότητα που παρατηρείται στο κόμποστ. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και οι δύο όροι για τον προσδιορισμό της ποιότητας του τελικού προϊόντος παρότι εννοιολογικά είναι διαφορετικές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτοτοξικές ενώσεις παράγονται από μικροοργανισμούς που προέρχονται από μη σταθεροποιημένο κόμποστ (Zucconi et al., 1985). Μη ώριμο και μη σταθεροποιημένο κόμποστ δύναται να προκαλέσει προβλήματα κατά την αποθήκευση και την τελική του χρήση. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του ενδέχεται να διαμορφωθούν αναερόβιες συνθήκες και έκλυση οσμών καθώς και δημιουργία τοξικών ενώσεων. Επιπλέον, η εναπόθεση μη ώριμου κόμποστ μπορεί να παρεμποδίσει τη βλάστηση των σπόρων, να καταστρέψει τη ρίζα και να οδηγήσει στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης του φυτού.

Στα Κράτη Μέλη υπάρχει μεγάλη διακύμανση ως προς τις παραμέτρους και τα όρια ελέγχου του τελικού προϊόντος η οποία συνήθως αντανακλά τις διαφορετικές προσεγγίσεις στη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων και το επίπεδο αυστηρότητας στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στις προδιαγραφές ποιότητας του κόμποστ τόσο σε επίπεδο κρατών μελών της Ε.Ε. όσο και διεθνώς βασίζονται στο γεγονός ότι κάθε κράτος έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά υποδηλώνοντας ότι ο καθορισμός ποιοτικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται σε μία χώρα δεν είναι απαραίτητα κατάλληλες για την υιοθέτηση σε μία άλλη. Επιπρόσθετα, η διαφοροποίηση στην προσέγγιση θέσπισης προδιαγραφών για το κόμποστ σε κοινοτικό επίπεδο οφείλεται και στις διαφορετικές επιστημονικές απόψεις, αναφορικά με την κατάρτιση μεθοδολογιών, οριακών και αποδεκτών τιμών για την πλειονότητα των υπό εξέταση χαρακτηριστικών του κόμποστ (Brinton, 2000). Με τις υφιστάμενες ποιοτικές προδιαγραφές συνήθως γίνεται προσπάθεια να συμβιβαστούν δύο συχνά αντικρουόμενοι στόχοι. Ο πρώτος στόχος περιλαμβάνει την προστασία της δημόσιας υγείας, του εδάφους και γενικότερα του περιβάλλοντος ενώ ο δεύτερος στόχος προσβλέπει στη μεγιστοποίηση της

ανακύκλωσης των αποβλήτων. Σε πολλά κράτη μέλη της Ε.Ε. μέσω θεσμοθετημένων διατάξεων είτε μέσω εθελοντικών συστημάτων προδιαγραφών ποιότητας κόμποστ προβλέπεται η κατάταξη του παραγόμενου κόμποστ σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση (α) τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων, (β) το είδος του προς επεξεργασία οργανικού αποβλήτου, (γ) το βαθμό ωρίμανσης και (δ) το είδος της τελικής χρήσης/διάθεσης. Σε εθνικό επίπεδο συναφή νομοθετικά κείμενα αποτελούν (α) η ΚΥΑ 114218/1997 η οποία αναφέρεται σε τεχνικές προδιαγραφές και ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κόμποστ που προκύπτει από σύμμικτα ΑΣΑ αποκλειστικά σε μονάδες ΜΒΕ και (β) η πρόσφατη ΚΥΑ 56366/4351/2014 (ΦΕΚ Β 3339 12.12.2014) η οποία τροποποιεί την ΚΥΑ 114218/1997 και μεταξύ άλλων εισαγάγει νέα όρια για το σύμμεικτο κομποστ και τεχνικές προδιαγραφές τόσο για την αερόβια όσο και για την αναερόβια διαδικασία επεξεργασίας. Επομένως, στο εθνικό νομοθετικό πλαίσιο, όπως αυτό έχει διαμορφωθεί μέχρι πρότινος, δεν μνημονεύει τις κατάλληλες προδιαγραφές ποιότητας σε κόμποστ το οποίο προέρχεται από προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα.

Σε επίπεδο Ε.Ε. η Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα θέτει το πλαίσιο για τη διαμόρφωση κριτηρίων αποχαρακτηρισμού των αποβλήτων (end of waste criteria) συμπεριλαμβανομένων και των βιοαποβλήτων. Ειδικότερα το άρθρο 6 της Οδηγίας αναφέρει τα εξής:

“Ορισμένα προσδιορισμένα απόβλητα παύουν να αποτελούν απόβλητα, εάν έχουν υποστεί εργασία ανάκτησης, περιλαμβανομένης της ανακύκλωσης, και πληρούν ειδικά κριτήρια που θα καθοριστούν σύμφωνα με τους ακόλουθους όρους:

α) η ουσία ή το αντικείμενο χρησιμοποιείται συνήθως για συγκεκριμένους σκοπούς,

β) υπάρχει αγορά ή ζήτηση για τη συγκεκριμένη ουσία ή αντικείμενο,

γ) η ουσία ή το αντικείμενο πληροί τις τεχνικές απαιτήσεις για τους συγκεκριμένους σκοπούς και συμμορφώνεται προς την κειμένη νομοθεσία και τα πρότυπα που ισχύουν για τα προϊόντα, και

δ) η χρήση της ουσίας ή του αντικειμένου δεν πρόκειται να έχει δυσμενή αντίκτυπο στο περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία.

Εφόσον απαιτείται, τα κριτήρια περιλαμβάνουν οριακές τιμές για τους ρύπους και συνεκτιμούν ενδεχόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ουσίας ή του αντικειμένου.”

Στο πλαίσιο αυτό η Ε.Ε. στοχεύει στην διευκόλυνση της ανακύκλωσης των αποβλήτων με την απαίτηση υψηλής ποιότητας ανακυκλώσιμων υλικών, την προώθηση της τυποποίησης προδιαγραφών και πιστοποίησης των προϊόντων και τη βελτίωση της εναρμόνισης και της νομικής βεβαιότητας στην αγορά ανακυκλώσιμων υλικών. Ειδικότερα για την περίπτωση των βιοαποβλήτων

δημοσιεύθηκε από την Ε.Ε. η τελική μελέτη για τα κριτήρια αποχαρκτηρισμού των βιοαποβλήτων όταν υπόκεινται σε βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας συμπεριλαμβανομένου και της κομποστοποίησης. Η μελέτη αυτή θέτει τις βάσεις πάνω στις οποίες μπορεί να γίνει ο έλεγχος και η αξιολόγηση του τελικού προϊόντος το οποίο προκύπτει από την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με τη μέθοδο της αερόβιας επεξεργασίας. Ο έλεγχος αυτός βασίζεται σε σειρά παραμέτρων εξέτασης του τελικού προϊόντος και οι οποίες μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τα εξής κριτήρια (IPTS, 2014):

- 1) ελάχιστη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία
- 2) παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών σε επίπεδα που δεν υπεισέρχεται κίνδυνος για την υγεία
- 3) περιορισμός της περιεκτικότητας σε παρασιτικούς οργανισμούς
- 4) περιορισμός της περιεκτικότητας σε προσμίξεις
- 5) περιορισμός της περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα

Σκοπός των προαναφερόμενων κριτηρίων είναι να αποκλείσει προϊόντα τα οποία (α) έχουν χαμηλή ποιότητα και επομένως περιορισμένη ζήτηση στην αγορά (β) δεν πληρούν τις τεχνικές προδιαγραφές για τις πιο σημαντικές τελικές χρήσεις του υλικού και (γ) είναι πιθανό να προκαλέσουν συνολικά δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι επί του παρόντος στην Ε.Ε. υφίστανται προδιαγραφές, σε εθελοντικό επίπεδο, για την επεξεργασία συγκεκριμένων ροών βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων όπως αυτές ορίζονται από τις Αποφάσεις 2006/799/ΕΚ και 2007/742/ΕΚ περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους και καλλιεργητικά μέσα αντίστοιχα γνωστά ως «eco-label». Τα κριτήρια αυτά έχουν ως σκοπό την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων, τα οποία έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, συμβάλλοντας στην εκτροπή τους από τους ΧΥΤΑ.

2. Πειραματικό μέρος

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία μετρήσεων και αναλύσεων του τελικού προϊόντος που προκύπτει από την μονάδα αερόβιας επεξεργασίας των βιοαποβλήτων στο ΕΜΑ

Σκοπός της πειραματικής μελέτης είναι ο έλεγχος και η αξιολόγηση του τελικού προϊόντος των διατροφικών απορριμμάτων, που έχουν ήδη υποστεί επεξεργασία με τη μέθοδο της κομποστοποίησης, ως προς τις κυριότερες φυσικοχημικές τους παραμέτρους. Η μελέτη των παραμέτρων αυτών είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος κομποστ σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα που έχουν αναφερθεί εκτεταμένα στο θεωρητικό μέρος

Οι παράμετροι ελέγχου περιλαμβάνουν μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών αναλύσεων το σύνολο των οποίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 8. Η επιλογή των παραμέτρων ελέγχου βασίζεται κατά κύριο λόγο στα κριτήρια ελέγχου ποιότητας του κόμποστ όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1.7

Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε εξειδικευμένα εργαστήρια Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και πιο συγκεκριμένα στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ το οποίο είναι διαπιστευμένο από το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης Α.Ε. (Ε.ΣΥ.Δ.) για χημικές αναλύσεις σε στερεά απόβλητα, κόμποστ και συναφή υλικά, ενώ υποστηρίζεται από έμπειρη διεπιστημονική ομάδα κατάλληλα εκπαιδευμένων και εξειδικευμένων επιστημόνων για κάθε αναλυτική διαδικασία.

2.2 Πειραματικό πρωτόκολλο και περιγραφή φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι φυσικές, χημικές και βιολογικές παράμετροι που εξετάστηκαν σε προ διαλεγμένα και προ επεξεργασμένα δείγματα βιοαποβλήτων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με συγκεκριμένες αναλυτικές μεθόδους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές.

Πίνακας 8. Παράμετροι που αναλύθηκαν

Παράμετρος		Μέθοδος	Μονάδες
Υγρασία / Ξηρή Ουσία		ISO 11465:1993	% wb
Πυκνότητα		TMECC 03.01	kg m ⁻³
pH/Αγωγιμότητα		EPA 9045D / EPA 9050A & TMECC 04.10-11	-
Ολικός Οργανικός Άθρακας (TOC)		EN 13137:2002 & ISO 11465:1993	%
Ολικό Άζωτο (TN)		ISO 11261:1995 & ISO 11465:1993	%
Λόγος άνθρακα αζώτου (TOC/TN)		Προκύπτει από τον προσδιορισμό των παραμέτρων TN και TOC	-
Βαρέα Μέταλλα	Cd	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹
	Cr	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹

	Pb	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹
	Cu	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹
	Ni	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹
	Zn	US EPA 3051A:2007 & APHA-AWWA-WEF Standards Methods: 3111, 22th Ed., 2012 & ISO 11465:1993	mg kg ⁻¹
Περιεκτικότητα σε προσμίξεις (γυαλί, πλαστικό μέταλλο)		TMECC Method 03.06 & ASTM D 2217-85	% w.w.
Περιεκτικότητα σε Παρασιτικούς οργανισμούς		TMECC Method 05.09	count (4L) ⁻¹
Μικροβιολογικά			
i. <i>Salmonella spp</i> ,		TMECC Method 07.02	MPN (4gr) ⁻¹
ii. <i>Escherichia coli</i>		TMECC Method 07.01-C	MPN g ⁻¹

2.3 Μέθοδοι ανάλυσης

2.3.1 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 2. Φούρνος ξήρανσης

2.3.2 Προσδιορισμός pH

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



Εικόνα 3.Μετρητής pH

2.3.3 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται και ζυγίζονται με ακρίβεια 40mg , 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 TOCVcsh. Στη μονάδα αυτή υπολογίζεται η μάζα του οργανικού άνθρακα(mg) από το CO₂ 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 :

m1: η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του πρώτου δείγματος (mg)

m2: η μετρούμενη μάζα του οργανικού άνθρακα του δεύτερου δείγματος (mg)

M1: η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mg)

M2: η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mg)



Εικόνα 4. Σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα



Εικόνα 5. Κεντρική μονάδα



Εικόνα 6.SSM 5000A



Εικόνα 7.Πορσελάνινες κάψες

2.3.4 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 °C λιοτριβείται και ζυγίζονται 0.5g. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια

προστίθενται ταμπλέτες 5g που περιέχουν τους προαναφερθέντες καταλύτες και 20ml 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 8. Σωλήνας χώνευσης και συσκευή 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 °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 της εταιρίας Gerhardt.



Εικόνα 9. Συσσκευή απόσταξης Vapodest 30s

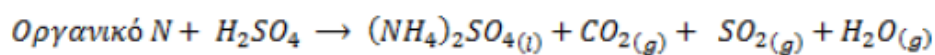
Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 25ml βορικού οξέος (H_3BO_3 2% w/v). Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου $NaOH$ 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της 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.



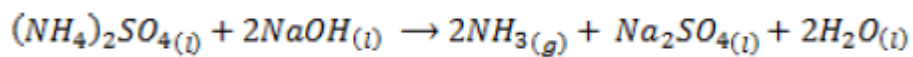
Εικόνα 10. Η αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση

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

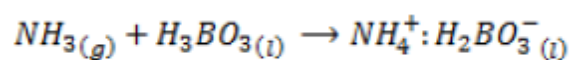
Κατά τη χώνευση



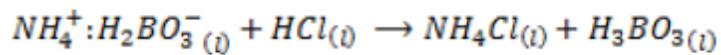
Κατά την απόσταξη



Κατά τη συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



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

$$TKN (\%) = \frac{(V_{\Delta} - V_T) \times c(H^+) \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\Xi.B.}}{100}$$

όπου,

V_{Δ} : ο όγκος (mL) του θειικού οξέος που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση του δείγματος,

V_T : ο όγκος (mL) του θειικού οξέος που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση του τυφλού,

$C(H^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θειικό οξύ ίση με 0,05,

M_N : το μοριακό βάρος (g/mol) του αζώτου ίσο με 14,0067,

m : η μάζα (g) του ξηραμένου στερεού δείγματος,

$\%Y_{\Xi.B.}$: η υγρασία δείγματος (%) σε ξηρή βάση.

2.3.5 Προσδιορισμός της αναλογίας C/N

Η αναλογία C/N υπολογίζεται από την σχέση:

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

2.3.6 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων

Από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επεξεργασία των αποβλήτων, είναι η παρουσία βαρών μετάλλων. Κι αυτό επειδή θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος, αφού τόσο τα βαρέα μέταλλα όσο και οι ενώσεις τους δεν αποδομούνται, αλλά συσσωρεύονται και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα

Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας ζυγίστηκαν 0,5gr λειοτριβημένου δείγματος τα οποία τοποθετήθηκαν σε ειδικές ογκομετρικές φιάλες. Στη συνέχεια προστέθηκαν 6ml πυκνού θειικού οξέος προκειμένου να επιτευχθεί η διεξαγωγή των μετάλλων από το εσωτερικό μοριακό στρώμα της ύλης. Το διάλυμα τοποθετήθηκε σε συσκευή χώνευσης Gerhardt στους 450o C και παρέμεινε εκεί για 6 λεπτά. Έπειτα, έγινε προσθήκη 16,7ml υπερθειϊκού χαλκού (30% κ.ό) και ακολούθησε διήθηση με διηθητικό χαρτί (0,45μm) και αραίωση σε 100ml υπερκάθαρου νερού. Τέλος, η διαδικασία έλαβε τέλος με την ανάλυση του διαλύματος στη συσκευή ατομικής απορρόφησης.



Εικόνα 11.Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης AAS (Varian)

3. Πειραματικά αποτελέσματα – Συζήτηση

Στην παρούσα ενότητα αναλύονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, σύμφωνα με τις προαναφερθείσες μεθόδους για τις φυσικοχημικές παραμέτρους του υλικού κόμποστ, επεξηγείται η σημασία της κάθε παραμέτρου και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα ευρωπαϊκά πρότυπα που καθορίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Ελέχθησαν 12 διαφορετικά είδη προ-επεξεργασμένων οργανικών απορριμμάτων, στα πλαίσια του προγράμματος LIFE+ Athens Biowaste, χρησιμοποιώντας 2 δείγματα από κάθε προϊόν.

3.1 Προσδιορισμός Υγρασίας

Η περιεχόμενη υγρασία στο κόμποστ αποτελεί βασική παράμετρο αξιολόγησης του υλικού. Υπερβολικά υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία έχει αποδειχθεί από μελετητές ότι ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα στο έδαφος δρώντας ανταγωνιστικά ως προς τους φυτικούς μικροοργανισμούς (Diaz and Savage, 2007b) ενώ δυσχεραίνει τις εργασίες μεταφοράς και διάθεσης του προϊόντος. Χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία δημιουργεί δυσκολία στην ενσωμάτωση του υλικού στο έδαφος. Οι Eggerth et al. (2007), Bary et al. (2002) συνιστούν η περιεχόμενη υγρασία να κυμαίνεται από 40-60% και 20-50% αντίστοιχα ενώ ο Faithfull (2002) ορίζει ως μέγιστη επιτρεπτή τιμή αυτή του 40%.

Στην Απόφαση της Επιτροπής 2006/799/ΕΚ της 3ης Νοεμβρίου 2006 για τα βελτιωτικά Εδάφους (Eco-Label) «Περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους», αναφέρεται ότι η περιεχόμενη υγρασία πρέπει να είναι μικρότερη από 75%. Στις βελγικές προδιαγραφές τελικού υλικού η υγρασία δεν πρέπει να ξεπερνά το 40% ενώ η περιεχόμενη υγρασία του κόμποστ σύμφωνα με τις αυστριακές προδιαγραφές

κυμαίνεται μεταξύ 35-45%. Ο Σύνδεσμος Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Αποβλήτων (California Integrated Waste Management Board) θέτει ως παράμετρο αξιολόγησης την περιεκτικότητα σε υγρασία με τιμή 30-40%.

Στο τελικό προϊόν το οποίο προκύπτει από το έργο ATHENS BIOWASTE η περιεχόμενη υγρασία είναι ίση με $29.55 \pm 12\%$ κ.β. ποσοστό που κρίνεται ικανοποιητικό σύμφωνα με τα στοιχεία τα οποία δίνονται παραπάνω.

3.2 Προσδιορισμός pH

Το pH του παραγόμενου κόμποστ αποτελεί μια επιπλέον φυσική παράμετρο αξιολόγησης του τελικού προϊόντος. Η σημαντικότητα ελέγχου του pH στο κόμποστ αφορά στην επίδρασή του στο pH του εδάφους και κατ' επέκταση στη διαθεσιμότητα των χημικών ενώσεων στους φυτικούς οργανισμούς. Επομένως, το pH αποτελεί παράμετρο η οποία σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (π.χ. τη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας) θα πρέπει να εκτιμάται πριν την εναπόθεση κόμποστ στα εδάφη. Σύμφωνα με τους Bary et al.(2002), μικρότερες του 5.0 ή μεγαλύτερες του 8.0 μπορεί να προκαλέσουν επιβλαβείς συνθήκες στα φυτά ενώ ως βέλτιστο εύρος τιμών ορίζουν το 6.0-7.0. Οι Κουλουμπής και Τσαντήλας (2007), τονίζουν ότι τιμές κάτω του 5.0 αυξάνουν σημαντικά την κινητικότητα των βαρέων μετάλλων που περιέχονται στο κόμποστ, διευκολύνοντας τη δίοδο τους στα φυτά και στους υδάτινους αποδέκτες. Οι Zmora-Nahum et al.(2007) εξέτασαν το pH σε 37 κόμποστ του εμπορίου, που προέρχονταν από χώρες τις Ευρώπης με διαφορετικό υλικό τροφοδοσίας και κατέληξαν σε εύρος τιμών 5.27-8.36 με μέση τιμή 7.41. Στο τελικό προϊόν το οποίο προκύπτει από το έργο ATHENS BIOWASTE το pH προσδιορίζεται στο 7.97 ± 0.6 .

3.3 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δειγμάτων για τον ολικό οργανικό άνθρακα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 9.Αποτελέσματα μέτρησης TOC

		TOC		
Sample	Weight	%C	SD	CV
AB1a	49,3	36,74		
AB1b	49,8	37,7		
AB2a	51,1	45,57		
AB2b	49,6	44,8	1,06	2,35
AB3a	51,1	42,83		
AB3b	48,6	43,53	0,5	1,15
AB4a	48,5	32,78		
AB4b	51,5	38,74	4,21	11,8
AB5a	49,8	37,7		
AB5b	49	35,88	1,29	3,5
AB6a	50	35,69		
AB6b	49,7	35,45	0,18	0,5
AB7a	50,1	44,61		
AB7b	51	43,45	1,64	3,77
AB8a	49,5	39,35		
AB8b	51,3	38,4	0,67	1,73
AB9a	49,8	42,95		
AB9b	49,9	44,37	1,28	2,93
AB10a	49,6	34		
AB10b	49,7	34,39	0,56	1,62
AB11a	49,7	40,29		
AB11b	50,7	41,9	0,71	1,74
AB12a	50,3	39,9		
AB12b	52,4	35,87	2,27	6,07

Προκύπτει ότι το τελικό προϊόν έχει τιμή ολικού οργανικού άνθρακα ίση με 39.45 ±3.9 %

Αντίστοιχα οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό του ανόργανου άνθρακα (IC) παρουσιάζονται παρακάτω

Πίνακας 10.Αποτελέσματα μετρήσεων IC

		IC		
Sample	Weight	%C	SD	CV
AB1a	49,5	2		
AB1b	49,8	2,229		
AB2a	52,5	0,284		
AB2b	49,9	0,4	0,08	23,8
AB3a	49,8	0,682		
AB3b	51,7	0,839	0,11	14,5
AB4a	50,3	1,352		
AB4b	52	1,144	0,15	11,8
AB5a	50,3	1,186		
AB5b	50,6	0,819	0,26	25,9
AB6a	49,3	2,961		
AB6b	51	0,529	1,78	98,5
AB7a	49,6	0,601		
AB7b	51,8	0,198	0,28	71,2
AB8a	51	1,652		
AB8b	49,4	1,473	0,13	8,1
AB9a	51,31	-0,015		
AB9b	50,3	0,505	0,37	150
AB10a	50	1,667		
AB10b	50,3	1,254	0,29	20
AB11a	49,9	0,914		
AB11b	51,1	0,148	0,54	102
AB12a	50,9	1,376		
AB12b	49,3	1,219	0,11	8,59

Επίσης προκύπτει ότι το τελικό προϊόν έχει τιμή ανόργανου άνθρακα ίση με $1.06 \pm 0.71 \%$

3.4 Προσδιορισμός ολικού αζώτου

Το άζωτο αποτελεί συστατικό των πρωτεϊνών, των νουκλεϊκών οξέων, των αμινοξέων και των ενζύμων και είναι υψίστης σημασίας για τη μικροβιακή ανάπτυξη. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης το άζωτο (N) μεταβολίζεται κυρίως σε NH₃, ενώ οι μη διαλυτές ενώσεις αζώτου κατά την κομποστοποίηση μετατρέπονται σε διαλυτές μορφές που είναι πιο εύκολα διαθέσιμες για τις μεταβολικές δραστηριότητες. Οι αέριες απώλειες του αζώτου οφείλονται κυρίως στην έκλυση NH₃, αλλά μπορεί να οφείλονται και στην έκλυση νιτρικών ιόντων και νιτρικών οξέων.

Για τον προσδιορισμό ολικού αζώτου(TN) τα δείγματα χωρίσθηκαν σε 4 ομάδες των 3 δειγμάτων η καθεμία. Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 11.Αποτελέσματα μετρήσεων για ολικό άζωτο

TN			
Sample	Weight	TN(%)	
AB1a	49,6	1,21	
AB1b	49,6	1,16	
AB2a	51,1	2,03	
AB2b	49,2	1,85	
AB3a	50,6	1,52	
AB3b	50,9	1,62	
AB4a	51,1	2,6	
AB4b	51,1	2,55	
AB5a	50,9	2,28	
AB5b	51	2,39	
AB6a	49,6	2,14	
AB6b	50	2,33	
AB7a	49,7	1,95	
AB7b	49,6	1,92	
AB8a	50,6	2,52	
AB8b	50,3	2,39	
AB9a	50,2	2,01	
AB9b	51,2	2,11	
AB10a	49,9	2,41	
AB10b	49,7	2,48	
AB11a	50,2	1,95	
AB11b	51,7	1,98	
AB12a	49,9	1,99	
AB12b	49,9	1,96	

Παρατηρούμε ότι η % περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο του τελικού προϊόντος είναι 2.06 ± 0.39 τιμή που βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά ευρωπαϊκά πρότυπα

3.5 Προσδιορισμός 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).

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τον προσδιορισμό του λόγου C/N στα 12 δείγματα που ελέχθησαν

Sample	%C	%N	C/N
AB1a	36,74	1,21	30,36364
AB1b	37,7	1,16	32,5
AB2a	45,57	2,03	22,44828
AB2b	44,8	1,85	24,21622
AB3a	42,83	1,52	28,17763
AB3b	43,53	1,62	26,87037
AB4a	32,78	2,6	12,60769
AB4b	38,74	2,55	15,19216
AB5a	37,7	2,28	16,53509
AB5b	35,88	2,39	15,01255
AB6a	35,69	2,14	16,67757
AB6b	35,45	2,33	15,21459
AB7a	44,61	1,95	22,87692
AB7b	43,45	1,92	22,63021
AB8a	39,35	2,52	15,61508
AB8b	38,4	2,39	16,06695
AB9a	42,95	2,01	21,36816
AB9b	44,37	2,11	21,02844
AB10a	34	2,41	14,10788
AB10b	34,39	2,48	13,86694
AB11a	40,29	1,95	20,66154
AB11b	41,9	1,95	21,48718
AB12a	39,9	1,99	20,05025
AB12b	35,87	1,96	18,30102

Πίνακας 12.Αποτελέσματα μετρήσεων C/N

Οι τιμές C/N για τα δείγματα που μελετήθηκαν κυμαίνονται από 12.6-32. Η τιμή του τελικού κόμποστ που προκύπτει είναι 20.16 ± 5.44 και κρίνεται ικανοποιητική.

Σύμφωνα με διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία 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). Οι Diaz et al.(2002) ορίζουν ενδεικτικές εμπορικές προδιαγραφές ποιότητας τελικού προϊόντος μέγιστο λόγο TOC:TN ίση με 15:1 για κόμποστ κλάσης A και μέγιστο λόγο TOC:TN ίσο με 20 για κόμποστ κλάσης B. Οι Zmora-Nahum et al.(2007) εξέτασαν την αναλογία άνθρακα-αζώτου -μεταξύ άλλων παραμέτρων –σε κόμποστ που προέρχονταν από χώρες τις Ευρώπης (Γαλλία, Ελλάδα) με διαφορετικό υλικό τροφοδοσίας και κατέληξαν σε εύρος τιμών μεταξύ 9.8-21.6 με μέση τιμή ίση με 14.9.

Στα δείγματα 4,10 παρατηρούμε ότι οι τιμές του λόγου C/N είναι ελαφρώς μικρότερες από τα προτεινόμενα όρια ενώ σε όλα τα υπόλοιπα δείγματα οι τιμές είναι άκρως ικανοποιητικές.

3.6 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων

Η περιεκτικότητα του τελικού προϊόντος σε βαρέα μέταλλα αποτελεί την πιο σημαντική φυσικοχημική παράμετρο για την αξιολόγηση της ποιότητάς του. Το κόμποστ προϊόν που παράγεται αναμένεται να χρησιμοποιηθεί μεταξύ άλλων και ως λίπασμα για το υπέδαφος. Για το γεγονός αυτό, ουσίες που επηρεάζουν άμεσα τη ζωή των φυτών και κατ' επέκταση των ζώων και του ανθρώπου πρέπει να τηρούν αυστηρά τα διεθνή όρια.

Ο βιολογικός κύκλος των φυτών εξαρτάται σημαντικά από την παρουσία συγκεκριμένων χημικών στοιχείων στους ιστούς τους, τα οποία αποτελούν τα αναγκαία θρεπτικά συστατικά. Η ύπαρξη των στοιχείων αυτών και μάλιστα σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις καθορίζει την ομαλή ανάπτυξη των φυτών ενώ κάποια διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων (έλλειψη/ αφθονία) επιφέρει ανωμαλίες στην ανάπτυξη του φυτού, αποχρωματισμό της επιφάνειας των φύλλων ή και μαρασμό.

Ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα, τα θρεπτικά συστατικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα μακρό-στοιχεία (απαραίτητα σε μεγάλες ποσότητες) και τα μικρό-στοιχεία (απαραίτητα σε μικρές έως ελάχιστες ποσότητες, γνωστά και ως ιχνοστοιχεία). Στα μακρό-στοιχεία ανήκει ο άνθρακας, το ασβέστιο, θείο, κάλιο κ). Στα μικρό-στοιχεία συγκαταλέγονται τα βαρέα μέταλλα τα οποία αποτελούν μια ομάδα χημικών στοιχείων με μεγάλο μοριακό βάρος (πυκνότητα > 5g cm⁻³). Τα μικρό-στοιχεία δρουν κυρίως ως καταλύτες στις διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στους ιστούς του φυτού και ενεργοποιούν τη διαδικασία μετατροπής των μακρό-στοιχείων σε ιόντα (Παναγόπουλου, 2011). Η επίδραση των μετάλλων στην ανάπτυξη των φυτών (όταν έχει προστεθεί στο έδαφος κόμποστ) δεν εξαρτάται μόνο από την συγκέντρωση των μετάλλων, αλλά και από ιδιότητες του εδάφους, όπως το pH, η περιεκτικότητα σε οργανικά και η ιοντοεναλλακτική ικανότητα. Επίσης τα διάφορα είδη φυτών αντιδρούν διαφορετικά στην παρουσία των μετάλλων.

Τα βαρέα μέταλλα (PTE's) εκτός από την επίδραση που μπορεί να έχουν στην ανάπτυξη των φυτών, μέσω της τροφικής αλυσίδας μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την υγεία των ζώων και των ανθρώπων. Διακινούνται στον οργανισμό με την κυκλοφορία του αίματος και εισέρχονται στα κύτταρα. Είναι ιδιαίτερα τοξικά για τα θερμόαιμα ζώα και τον άνθρωπο και ενδέχεται να προκαλούν δηλητηριάσεις, συνήθως χρόνιες λόγω της αθροιστικής τους δράσης. Επίσης προξενούν γενετικές ανωμαλίες, δρουν στο ανοσοποιητικό και ενδοκρινολογικό σύστημα και προσβάλλουν τα νευρικά κύτταρα.

Τα βαρέα μέταλλα που εξετάζονται είναι τα ακόλουθα

- Χρώμιο (Cr)
- Χαλκός (Cu)
- Μαγγάνιο (Mn)
- Νικέλιο (Ni)

- Κάδμιο (Cd)
- Μόλυβδος (Pb)
- Ψευδάργυρος (Zn)
- Υδράργυρος (Hg)

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση 3 δειγμάτων για κάθε ένα κόμποστ ,για μεγαλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων, ως προς την περιεκτικότητα τους στα παραπάνω βαρέα μέταλλα. Στον ακόλουθο πίνακα αναδεικνύεται ο τελικός μέσος όρος των 3 δειγμάτων σε κάθε κόμποστ και παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα.

	Cr	Cu	Mn	Ni	Cd	Pb	Zn	Hg
	mg/kg							
AB1	28,88973	178,87200	142,38390	37,59635	0,459743	141,6234	521,7465	0,214058
AB2	-	66,827651	85,319268	3,424698287	-	45,6591	156,6821	-
AB3	7,330528	130,87482	97,353932	9,492074582	-	60,93894	262,2236	0,012687
AB4	26,12313	136,64964	169,2631	25,34802794	0,281716	195,6986	360,3654	0,123498
AB5	19,32108	182,02047	152,53199	21,91274455	0,590409	103,2218	339,9166	0,087513
AB6	15,8358	151,41699	156,2646	24,22097715	0,383253	129,0427	359,515	0,268158
AB7	3,509634	94,452547	126,76917	10,62116935	0,239878	59,57345	264,5731	-
AB8	12,95409	124,10514	149,01721	19,09098717	0,312028	221,0494	312,1128	0,049376
AB9	2,737585	76,229447	101,02904	8,316287074	-	53,69714	174,6614	-

AB10	13,40898	130,8663	171,203	17,7582	-	106,907	380,9377	0,10677
AB11	15,14171	85,20659	122,4508	8,323975	-	69,41054	206,7993	0,010725
AB12	8,309169	107,518	175,4784	13,05072	0,08293	66,29164	246,7309	0,111414

Πίνακας 13.Αποτελέσματα μετρήσεων για την παρουσία βαρέων μετάλλων στα κόμποστ προϊόντα

Τα όρια που επιβάλλει η Ευρωπαϊκή κοινότητα για τις τιμές βαρέων μετάλλων στο κόμποστ προϊόν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι ανώτατες τιμές βαρέων μετάλλων που θα πρέπει να τηρεί ένα προϊόν για να λάβει πιστοποίηση Κόμποστ καθορίστηκαν τον Δεκέμβριο του 2013 στη Σεβίλλη της Ισπανίας (EoWC , End of Waste Criteria)

			Cd	Cr _{tot}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
EU	EU ECO Label	Απόφαση Επιτρ. (EC) αρ. 64/2007 eco-label to growing media & Απόφαση Επιτρ. (EC) αρ. 799/2006 eco-label to soil improvers	1	100	100	1	50	100	300
	EC Reg. n° 2092/91	Απαιτήσεις οργανικής καλλιέργειας	0,7	70	70	0,4	25	45	200
	EoWC	End of Waste Criteria 2014	1,5	100	200	1	50	120	600
	ECN	European Composting Network	1,3	60	200	0,45	40	130	600

Πίνακας 14.Ευρωπαϊκά πρότυπα τιμών συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων

Χρώμιο

Η περιεκτικότητα του Χρωμίου στο παραγόμενο κόμποστ όπως αναγράφεται στον πίνακα με τις μετρήσεις παρουσιάζει μέση τιμή τα 13.96 ± 8.47 mg/kg αρκετά μικρότερη από το όριο των 100 mg/kg που θέτει η Ευρωπαϊκή ένωση και επομένως το κόμποστ τηρεί τις προδιαγραφές ως προς το Χρώμιο

Χαλκός

Η περιεκτικότητα του Χαλκού στο παραγόμενο κόμποστ όπως αναγράφεται στον πίνακα με τις μετρήσεις παρουσιάζει μέση τιμή τα 122.08 ± 37.59 mg/kg , επομένως ικανοποιεί το όριο των 200 mg/kg

Νικέλιο

Η περιεκτικότητα του Νικελίου στο παραγόμενο κόμποστ όπως αναγράφεται στον πίνακα με τις μετρήσεις παρουσιάζει μέση τιμή τα 16.6 ± 10.03 mg/kg , μικρότερη του ορίου (50 mg/kg), επομένως τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά το προϊόν

Κάδμιο

Η περιεκτικότητα των προϊόντων σε Κάδμιο έχει μέση τιμή τα 0.33 ± 0.16 mg/kg, εμπίπτει δηλαδή και αυτή εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (1,5 mg/kg).

Μόλυβδος

Η περιεκτικότητα των προϊόντων σε Μόλυβδο έχει μέση τιμή τα 104.42 ± 57.6 mg/kg χαμηλότερη δηλαδή από το επιτρεπτό όριο των 120 mg/kg.

Ψευδάργυρος

Η περιεκτικότητα των προϊόντων σε ψευδάργυρο έχει μέση τιμή τα 298.86 ± 102.28 mg/kg και εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (600 mg/kg).

Υδράργυρος

Τα τελικά προϊόντα εμφανίζουν χαμηλά επίπεδα ψευδαργύρου με μέση τιμή τα 0.12 ± 0.08 επομένως βρίσκονται μέσα στα όρια της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας (1 mg/kg)

Παρατηρούμε ότι για όλα τα βαρέα μέταλλα οι τιμές είναι ικανοποιητικές και το παραγόμενο κόμποστ εναρμονίζεται με τα αυστηρά ευρωπαϊκά πρότυπα. Η αιτία για την οποία παρουσιάστηκαν σε κάποια δείγματα μεγαλύτερες τιμές Pb έγκειται στην επιμόλυνση του εισερχόμενου προς κομποστοποίηση υλικού με μη οργανικά απορρίμματα (π.χ. γυαλί) καθώς όπως έχει αναφερθεί εκτενέστερα σε παραπάνω ενότητες οι συνθήκες για την εφαρμογή του προγράμματος Διαλογή στην πηγή δεν είναι πάντα οι ενδεδειγμένες.

3.7 Προσμίξεις

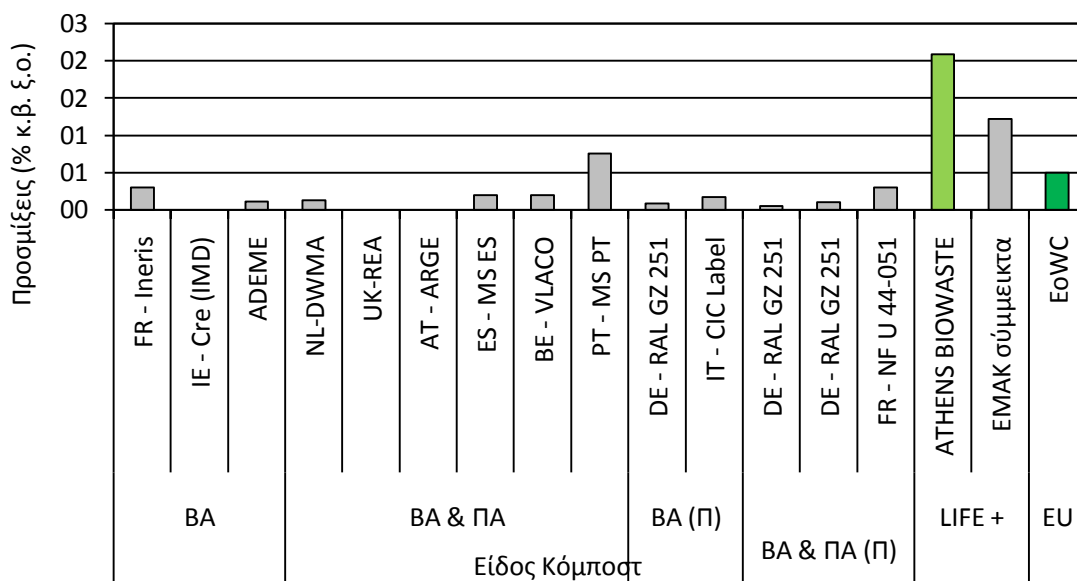
Οι προσμίξεις στο τελικό προϊόν αφορούν σε ξένα υλικά όπως μέταλλα, πλαστικά και γυαλί. Η παρουσία των προσμίξεων στο κόμποστ συσχετίζεται άμεσα με το εκάστοτε πρόγραμμα προδιαλογής των βιοαποβλήτων και την καθαρότητα που επιτυγχάνεται στο διαχωρισμό των υλικών από τους συμμετέχοντες στο πρόγραμμα ΔσΠ. Επομένως, όσο πιο αποτελεσματικός είναι ο διαχωρισμός των βιοαποβλήτων στην πηγή τόσο μικρότερος θα είναι ο βαθμός της παρουσίας προσμίξεων στο τελικό προϊόν.

Η παρουσία μικροσκοπικών προσμίξεων στο κόμποστ, ειδικά θραυσμάτων από πλαστικό, μέταλλο ή γυαλί, μειώνουν την αισθητική αξία του χώρου όπου

διατίθεται το υλικό αλλά κυρίως αποτελούν κίνδυνο για τον άνθρωπο και τα ζώα όταν εκτίθενται χωρίς προφυλάξεις ή μέσω κατάποσης (μέσω της τροφικής αλυσίδα). Κομμάτια μετάλλων μπορεί να είναι μια πιθανή πηγή ιχνοστοιχείων που αλληλεπιδρούν με το έδαφος ενώ σκληρά πλαστικά σε μεγάλες ποσότητες επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους (π.χ. ο χρωματισμός του εδάφους, η συγκράτηση θερμότητας, αποχέτευση). Επομένως το επίπεδο της παρουσίας προσμίξεις αποτελεί ένα επιπλέον κριτήριο της αξιολόγησης της ποιότητας του κόμποστ.

Σύμφωνα με τα κριτήρια αποχαρκτηρισμού των βιοαποβλήτων (IPPTS, 2014) οι προσμίξεις σε γυαλί, μέταλλα και πλαστικά δεν πρέπει να υπερβαίνουν αθροιστικά το 0.5% κ.β. ξηρή ουσία στο τελικό προϊόν με μέγεθος >2mm. Μελετώντας το παραγόμενο κόμποστ διαπιστώνεται ότι το ποσοστό προσμίξεων είναι υψηλό και ίσο με 2.1 ± 0.9 % κ.β. ξηρή ουσία και αποτελούνται από γυαλί (80% κ.β) και πλαστικό (20% κ.β.). Επομένως, το κριτήριο αξιολόγησης για το αποχαρκτηρισμό των βιοαποβλήτων δεν ικανοποιείται και συμπεραίνεται ότι ο τυπικός χειρωνακτικός διαχωρισμός προσμίξεων των προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων κατά την εκφόρτωση του υλικού στην πλατεία του EMA δεν επαρκεί για την επίτευξη των ορίων που τίθενται αναφορικά με τις προσμίξεις σε κόμποστ. Ιδιαίτερα για την περίπτωση του γυαλιού παρατηρήθηκε ότι οι γυάλινες συσκευασίες οι οποίες καταλήγουν στο κανάλι κομποστοποίησης έχουν την τάση να θρυμματίζονται κατά την ανάμιξη του υποστρώματος με τη χρήση της ηλεκτροκίνητης μηχανής ανάδευσης. Συμπερασματικά, για τη μείωση των προσμίξεων στο τελικό προϊόν πρέπει να υπάρξει συστηματικός τρόπος για την εκτροπή των γυάλινων συσκευασιών πριν την εισαγωγή του υλικού στο κανάλι κομποστοποίησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω μηχανικής διαλογής του προδιαλεγμένου υλικού αλλά και επαναλαμβανόμενες δράσεις ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης του κόσμου για τη βελτίωση του διαχωρισμού των βιοαποβλήτων στην πηγή.

Από δεδομένα σε προδιαλεγμένο κόμποστ άλλων χωρών της Ε.Ε. διαπιστώνεται ότι το επίπεδο των προσμίξεων είναι συστηματικά χαμηλότερα από το ανώτατο επιτρεπτό όριο. Αντιθέτως, για την περίπτωση του σύμμεικτου κόμποστ το οποίο προκύπτει στο EMA αλλά και σε άλλες μονάδες μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης στην Ε.Ε. διαπιστώνεται ότι υπάρχει σημαντική δυσκολία για την τήρηση επίτευξη του επιθυμητού όριο αναφορικά με τις προσμίξεις σε γυαλί, πλαστικό και μέταλλο (IPPTS, 2014). Επομένως, η ορθολογική προδιαλογή των βιοαποβλήτων σε συνδυασμό με μικρού κεφαλαιουχικού κόστους μηχανική διαλογή δύναται να επιτύχει χαμηλά επίπεδα σε προσμίξεις ώστε να τηρούνται τα απαιτούμενα όρια.



Πίνακας 15. Περιεκτικότητα σε προσμίξεις (% κ.β. ξ.ο. <math><2\text{mm}</math>) σε (α) προδιαλεγμένο κόμποστ από ATHENS BIOWASTE (n=12) και χώρες της Ε.Ε. και σε (β) σύμμεικτο κόμποστ στο EMA Άνω Λιόσια

ATHENS BIOWASTE: Παραγόμενο κόμποστ στα πλαίσια του προγράμματος ATHENS BIOWASTE

EoWC: Ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρκτηρισμού βιοαποβλήτων (IPTS, 2014)

BA: Κόμποστ από προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα

BA & ΠΑ: Κόμποστ από προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα και πράσινα απόβλητα

BA (Π): Κόμποστ από προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα πιστοποιημένο από αρμόδιο φορέα

BA & ΠΑ (Π): Κόμποστ από προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα και πράσινα απόβλητα πιστοποιημένο από αρμόδιο φορέα

EMA σύμμεικτα: Σύμμεικτο κόμποστ από το EMA

3.8 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο κόμποστ αποτελεί έναν ακόμη περιοριστικό παράγοντα της εναπόθεσής του στο έδαφος και κατ' επέκταση θεωρείται ως επιπρόσθετη βιολογική παράμετρος της ποιότητας του τελικού

προϊόντος. Η σημαντικότητα ελέγχου της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών στο κόμποστ έγκειται στο ενδεχόμενο ρίσκο έκθεσης και μετάδοσής τους στα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο κατά τη διάθεσή του στο έδαφος. Πιθανοί τρόποι μετάδοσης των παθογόνων μικροοργανισμών από τη χρήση κόμποστ περιλαμβάνουν την επιβάρυνση των φυτικών καρπών και των ζώων (κατ' επέκταση και στον άνθρωπο) καθώς και των επιφανειακών και υπογείων υδάτων μέσω διεργασιών απορροής EC,(2010).

Ο προσδιορισμός των ποιοτικών προδιαγραφών στο τελικό προϊόν αναφορικά με την καθαρότητα του κόμποστ βασίζεται στη λήψη άμεσων μέτρων με τον καθορισμό ανώτατων επιτρεπτών ορίων συγκέντρωσης συγκεκριμένων παθογόνων μικροοργανισμών που λειτουργούν ως δείκτες καθαρότητας του προϊόντος. Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρκτηρισμού των βιοαποβλήτων με τη μέθοδο της κομποστοποίησης απαιτείται ο προσδιορισμός συγκεκριμένων παθογόνων μικροοργανισμών και ειδικότερα των (α) *Salmonella spp* και (β) *Escherichia coli*. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κόμποστ αναφορικά με την περιεκτικότητά του στους προαναφερόμενους παθογόνους μικροοργανισμούς. Διαπιστώνεται ότι το τελικό προϊόν είναι πλήρως καθαρό, γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στις συνθήκες θερμοκρασίας-χρόνου κατά τη διεργασία της αερόβιας επεξεργασίας των βιοαποβλήτων.

Κριτήρια Ποιότητας Κόμποστ	Παράμετρος	Κριτήρια Αποχαρκτηρισμού βιοαποβλήτων της Ε.Ε. (IPTS, 2014)	ATHENS BIOWASTE
Καθαρότητα (Παθογόνοι)	Salmonella sp.	Απουσία σε 25 g δείγματος	Απουσία
	E.Coli	Max 1000 CFU ανά g δείγματος	<10 CFU ανά g δείγματος

Πίνακας 16.Έλεγχος ποιότητας του κόμποστ ATHENS BIOWASTE αναφορικά με την περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς (n=12)

Σε κάθε παθογόνο μικροοργανισμό υπάρχει μια οριακή τιμή θερμοκρασίας μεγαλύτερη της οποίας ο μικροοργανισμός δεν είναι πλέον βιώσιμος. Στους ιούς η θερμική αδρανοποίηση οφείλεται στην αλλοίωση της κυτταρικής του δομής ενώ σε άλλους παθογόνους μικροοργανισμούς υψηλές θερμοκρασίες καταστρέφουν τα κύτταρά τους εξαιτίας της αδρανοποίησης των ενζυμικών κυττάρων (Haug, 1993). Επομένως, θεωρείται ότι τα θερμοκρασιακά επίπεδα και η διάρκεια έκθεσης των μικροοργανισμών σε αυτά τα επίπεδα κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης των

βιοαποβλήτων είναι ικανή συνθήκη για τη θερμική αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών.

3.9 Παρασιτικοί οργανισμοί

Οι παρασιτικοί οργανισμοί αφορούν σε σπόρους ζιζανίων ή βλαστικά αναπαραγωγικά μέρη επιθετικών ζιζανίων που αναπτύσσονται κατά την εφαρμογή του κόμποστ σε εδάφη σύμφωνα με τη μέθοδο «TMECC Method 05.09: *Viable Weed in Compost. Peat Moss Dilution Method*». Η παρουσία τέτοιων οργανισμών κατά τη χρήση του κόμποστ δεν είναι επιθυμητή και εντάσσεται στα κριτήρια ελέγχου του τελικού προϊόντος όπως αυτά προβλέπονται για τον αποχαρακτηρισμό των βιοαποβλήτων (IPTS, 2014). Σε κόμποστ καλής ποιότητας δεν αναμένεται η παρουσία παρασιτικών οργανισμών, ενώ η εμφάνισή τους υποδεικνύει ότι το τελικό υλικό δεν έχει υποστεί την απαιτούμενη επεξεργασία (π.χ. ανάπτυξη απαιτούμενων συνθηκών θερμοκρασίας-χρόνου) ή υπήρξε επιμόλυνση του υλικού κατά την αποθήκευσή του ή την ανάμιξή με άλλα υλικά.

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει την καλλιέργεια 15 σπόρων (*radish seeds*) σε κάθε δείγμα το οποίο προέρχεται από την ανάμιξη κόμποστ και τύρφης σε δεδομένη αναλογία και την πλήρωση ειδικών σπορειών με 1 λίτρο μίγματος. Στη συνέχεια τα ειδικά σπορεία τοποθετούνται σε ελεγχόμενο θάλαμο με τεχνητό φωτισμό (12 ώρες ημερησίως) σε θερμοκρασία 25°C και ενυδάτωση ανά 2 ημέρες ώστε το μίγμα να παραμένει υγρό όχι όμως υδαρές



Εικόνα 12.. Δείγματα καλλιεργειών τοποθετημένα σε θάλαμο υπό ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού, θερμοκρασίας και υγρασίας

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν αναπτύσσονται παρασιτικά είδη φυτών κατά την εφαρμογή και χρήση του κόμποστ σε πειραματικές καλλιέργειες καθώς η φυτρωτικότητα τους σε διαφορετικά δείγματα υλικού είναι μηδενική. Συγκεκριμένα, δεν παρατηρήθηκαν παρασιτικοί οργανισμοί σε κανένα από τα εξεταζόμενα δείγματα κόμποστ τηρώντας το μέγιστο επιτρεπτό όριο ανάπτυξης το οποίο είναι ίσο με 2 σπόρους ζιζανίων και βλαστικών αναπαραγωγικών μερών επιθετικών ζιζανίων ανά λίτρο υλικού σύμφωνα με τα κριτήρια Ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρκτηρισμού βιοαποβλήτων (Πίνακας 20). Τα θετικά αποτελέσματα αναφορικά με την παρουσία παρασιτικών οργανισμών συσχετίζονται με την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιακών επιπέδων (>60°C) για επιθυμητό χρονικό διάστημα (>5ημέρες) κατά την κομποστοποίηση των βιοαποβλήτων στο κανάλι. Οι συνθήκες αυτές επιτρέπουν την

Δείγματα κόμποστ	Αριθμός ανάπτυξης σπόρων (radish seeds)	Αριθμός παρασιτικών μικροοργανισμών	Ευρωπαϊκά κριτήρια αποχαρκτηρισμού βιοαποβλήτων (IPTS, 2014)
1	12 από 15	Απουσία	Έως 2 σπόροι ζιζανίων και βλαστικών αναπαραγωγικών μερών επιθετικών ζιζανίων ανά λίτρο υλικού
2	13 από 15	Απουσία	
3	12 από 15	Απουσία	
4	14 από 15	Απουσία	
5	13 από 15	Απουσία	

Πίνακας 17.Αποτελέσματα πειραμάτων μέτρησης της φυτρωτικότητας Παρασίτων/αναπαραγωγικών μερών ζιζανίων

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κομποστοποίησης προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων, τα οποία συλλέγονται από πιλοτικές περιοχές και σημεία των Δήμων Αθηναίων και Κηφισιάς στα πλαίσια του έργου ATHENS BIOWASTE.

Στα πλαίσια του έργου ATHENSBIOWASTE παρουσιάστηκε η πιλοτική εφαρμογή της ΔσΠ των βιοαποβλήτων στους Δήμους Αθηναίων και Κηφισιάς η οποία έχει σκοπό την έναρξη της προδιαλογής των βιοαποβλήτων σε επιλεγμένες περιοχές του Δ. Αθηναίων (Κυπριάδου και Γκάζι) και του Δ. Κηφισιάς (Νέα και Κάτω Κηφισιά, Εκάλη και Καστρί) καθώς και σε συγκεκριμένα σημεία εξυπηρέτησης του Δ. Αθηναίων (το κέντρο εστίασης του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το κέντρο εστίασης της Λέσχης Αξιοματικών Ενόπλων Δυνάμεων και τα ανθοκομικά απόβλητα του Αγροτικού Ανθοπαραγωγικού Συνεταιρισμού Αττικής ΣΠΕ «Η Συνιδιοκτησία»).

Το πρόγραμμα ΔσΠ για την περίπτωση του Δ. Αθηναίων αφορά στην διαλογή των βιοαποβλήτων με σύστημα κεντρικών κάδων, ενώ για την περίπτωση του Δ. Κηφισιάς έγινε η επιλογή συστήματος πόρτα-πόρτα. Η σημαντική αποδοχή της νέας κοινωνικής υπηρεσίας από τους δημότες σε συνδυασμό με την πρωτοβουλία των συμμετεχόντων ΟΤΑ οδήγησε σε επέκταση της εφαρμογής της ΔσΠ των βιοαποβλήτων στις περιοχές Κεφαλάρι και Στροφύλι για το Δ. Κηφισιάς και στην διπλή διεύρυνση της έκτασης κάλυψης στην περιοχή Κυπριάδου για το Δ. Αθηναίων. Στο πρόγραμμα εντάχθηκαν, παραλαμβάνοντας κάδο, συνολικά 1653 και 1419 νοικοκυριά στο Δ. Αθηναίων και Δ. Κηφισιάς αντίστοιχα. Επιπλέον στην πορεία εξέλιξης του έργου εντάχθηκαν και εστιατόρια – catering του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος». Πλέον των προαναφερόμενων βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων έγινε και η συλλογή πράσινων αποβλήτων τα οποία προέρχονται από την κοπή φυτών (κλαδιά δέντρων και θάμνων) από δημόσιους χώρους Δήμων της Αττικής και τα οποία οδηγούνται στο ΕΜΑΚ. Τα πράσινα απόβλητα αποτελούν πρόσθετο υλικό για τη διεργασία της κομποστοποίησης μέσω της ανάμιξής τους, σε κατάλληλη αναλογία, με τα απόβλητα τροφών με σκοπό τη βελτίωση των διεργασιών αποδόμησης της οργανικής ουσίας.

Για την περαιτέρω διερεύνηση της διεργασίας, τα 12 δείγματα ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων εξετάστηκαν ως προς τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά και πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν ποσοτικές αναλύσεις για

τις ακόλουθες παραμέτρους: υγρασία (%), pH, TOC (%), TN (%), λόγος C/N, βαρέα μέταλλα, προσμίξεις, ανάπτυξη παθογόνων και παρασιτικών οργανισμών.

Οι τιμές που υπολογίστηκαν για την % υγρασία και το pH των 12 δειγμάτων κυμαίνονται στα $29.55 \pm 12\%$ κ.β. υγρασία και 7.97 ± 0.6 pH

Τα ποσοστά σε ολικό οργανικό άνθρακα των δειγμάτων των διατροφικών αποβλήτων κινήθηκαν μεταξύ $32.78\%-45.57\%$ με μέση τιμή $39.45 \pm 3.9\%$.

Για την παράμετρο του % ολικού αζώτου, οι τιμές που σημειώθηκαν για τα είκοσι δείγματα εντοπίζονται στην περιοχή $1.16\%-2.6\%$ με μέσο όρο $2.06 \pm 0.39\%$

Ο λόγος C/N υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών $12.6\%-32.5\%$ με μέσο όρο $20.16 \pm 5.43\%$

Με βάση τα αποτελέσματα για τον προσδιορισμό βαρέων μετάλλων διαπιστώθηκε ότι τηρούνται οι προϋποθέσεις αναφορικά με τα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων (Κάδμιο – Cd, Χρώμιο – Cr, Μόλυβδο – Pb, Χαλκό – Cu, Υδράργυρος – Hg, Νικέλιο – Ni, Ψευδάργυρο - Zn) όπως έχουν θεσπιστεί από την ΕΕ το Δεκέμβριο του 2013 στη Σεβίλλη της Ισπανίας (EoWC , End of Waste Criteria)

Αντιθέτως, το τελικό προϊόν ξεπερνάει τα προβλεπόμενα όρια ως προς την περιεκτικότητα σε προσμίξεις υποδηλώνοντας ότι απαιτείται ένα στάδιο τυπικής προεπεξεργασίας πριν την είσοδο των προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων στο κανάλι κομποστοποίησης ώστε να υπάρξει μείωση των ξένων υλικών και ειδικότερα των γυάλινων συσκευασιών.

Πρέπει να σημειωθεί, τέλος, ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά προδιαλεγμένου κόμποστ προερχόμενο από το έργο ATHENS BIOWASTE και από εφαρμογές άλλων ευρωπαϊκών χωρών είναι ευνοϊκότερα σε σχέση με το κόμποστ προερχόμενο από μονάδες μηχανικής διαλογής σύμμεικτων απορριμμάτων. Επομένως, η εφαρμογή συστημάτων διαλογής στην πηγή των βιοαποβλήτων θεωρείται απαραίτητη για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του τελικού οργανικού υλικού το οποίο προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία ώστε να καταστεί ευκολότερη η αξιοποίηση και απορρόφησή του στην αγορά. Είναι αναγκαίο να καταστούν δυνατές οι προϋποθέσεις ώστε να γίνει σταδιακή αντικατάσταση της παραγωγής σύμμεικτου κόμποστ, αμφιβόλου ποιότητας, με προδιαλεγμένο κόμποστ το οποίο θα τηρεί της απαιτούμενες προδιαγραφές αποχαρακτηρισμού των βιοαποβλήτων (end of waste criteria).

5.Βιβλιογραφία

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adhikari, B., Barrington, S., Martinez, J., King, S.,(2008) Characterization of food waste and bulking agents for composting. Waste Management 28. 795-804

Bary, A., Cogger, C.and Sullivan, D. (2002). What does compost analysis tell you about your compost? www.sails1.org

Castaldi, P., Santona, L., Melis, P.,(2006).Evolution of heavy metals mobility during municipal solid waste composting. Fresenius Environ.Bull.15, 1133-1140

Commission of the European Communities (CEC) (2010) Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on FUTURE STEPS IN BIO-WASTE MANAGEMENT IN THE EUROPEAN UNION, Brussels

Comwaste project (2010) Διαθέσιμο στο: <http://www.uest.gr/comwaste/> [Τελευταία επίσκεψη: 10 Σεπτεμβρίου 2012]

Diaz, L.F. and Savage, G.M., (2007b). Bioremediation.in Compost Science and Technology, Elsevier, Amsterdam, 49-64

Diaz, L.F., Savage, G.M., Golueke, C.G., 2002. Composting of Municipal Solid Wastes, in: Tchobanoglous G., Kreith F., eds. Handbook of Solid Waste Management. McGraw Hill USA, New York, 12.11–12.70.

Dipl.ing. Florian amlinger, dr. Michael pollak, dr. Enzo favoino, (2004) <<Heavy metals and organic Compounds from Wastes used as Fertilizers >>. Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/hm_annex2.pdf

EEA, 2013, EEA Report, no 2/2013, Managing municipal solid waste a review of achievements in 32 European countries, European Environment Agency, Copenhagen

European Commission, (2014). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm>

Eggerth, L.L., Diaz, L.F., Chang, M.T.F. and Iseppi, L. (2007). Marketing of Composts in: L.F.Diaz, M. de Bertoldi, W.Bildingmaier and E.Stentiford, Compost Science and Technology, vol.8,Elsevier, Amsterdam,pp.325-355.

Eliot Epstein (1997) << The science of composting >>, Published by: CRC , USA 1997

Eurostat (2010) Eurostat: statistical office of the European communities. Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/environmental/data/database>

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

Hans Saveyn & Peter Eder (2014), 'Έκθεση ευρωπαϊκής επιτροπής << 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>

IPTS (2012). Technical Report, 3rd Working Document, End of waste criteria on Biodegradable waste subject to biological treatment. Joint Research Center, Seville.

IPTS, (2013) Draft Final Report, Study report on End of waste criteria on Biodegradable waste subject to biological treatment. Joint Research Center, Seville

IPTS, (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals, Final Report. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies

Journal of composting and Recycling (1999), Biocycle, Available at: <http://www.biocycle.net/>

Kirchmann, H and Widen, P.,(1994), <<Seperately collected organic household wastes chemical composition and composting characteristics> , Swedish Journal of Agricultural Research

Moustakas K. & Loizidou, (2010). «Solid Waste Management through the application of Thermal Methods», Waste Management, Er Sunil Kumar (Ed.).

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>

Smith, S.R., 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environment International. 35, 142–156.

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.

Zmora-Nahum, S., Hadar, Y., Chen, Y., 2007. Physico-chemical properties of commercial composts varying in their source materials and country of origin. Soil Biol. Biochem. 39, 1263-1276.

Waste2bio project, (2014). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.waste2bio.eu/>

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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.

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

ΕΠΠΕΡΑΑ (2012) Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογής στη Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων

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

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

Κουλουμπής, Π., Τσαντήλας, Χ., 2007. Εγχειρίδιο Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Ενδεδειγμένη Αξιοποίηση Ιλύος των Αστικών Λυμάτων, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων

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.

Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2012). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.ypeka.gr/>