



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

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΞΗΡΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ
ΠΗΓΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΩΝ
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΜΠΟΣΤ»**



**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΜΠΛΕΤΣΑ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΟΪΖΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ**

ΑΘΗΝΑ 2014

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι το αποτέλεσμα της ενασχόλησης μου στον τομέα της περιβαλλοντικής επιστήμης και συγκεκριμένα στον τομέα της αξιοποίησης των οικιακών οργανικών στερεών απορριμμάτων.

Συγκεκριμένα διερευνήθηκε η αξιοποίηση των ξηραμένων στη πηγή διατροφικών απορριμμάτων για παραγωγή κόμποστ.

Η εργασία μου ανατέθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 από τη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με επιβλέπουσα καθηγήτρια την κυρία Λοϊζίδου Μαρία.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π., κα. Λοϊζίδου Μαρία, για την ανάθεση της ερευνητικής αυτής μελέτης. Η πολύτιμη καθοδήγηση και η αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της, κατέστησαν εφικτή την πραγμάτωση αυτής.

Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής Παυλάτου Ευαγγελία και Χαραλάμπους Αικατερίνη-Ιωάννα για τη τιμή που μου κάνουν να συμμετάσχουν στην αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Υποψήφια Διδάκτορα κα. Παναρέτου Βασιλική για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε και που ήταν πάντοτε πρόθυμη να με βοηθήσει σε κάθε ζήτημα που προέκυπτε.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., τόσο για το φιλικό κλίμα εντός του εργαστηρίου όσο και για τη συνεργασία και τη συμπαράστασή τους

Τέλος ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου που με στήριξε σε κάθε βήμα της φοιτητικής μου ζωής και μου έδωσε τη δυνατότητα να ολοκληρώσω απερίσπαστη τις σπουδές μου.

Περίληψη

Στις σύγχρονες κοινωνίες τα περιβαλλοντικά ζητήματα είναι πιο έντονα από ποτέ και χρήζουν άμεσης και αποτελεσματικής επίλυσης. Ένα μείζον θέμα είναι η διαχείριση των απορριμμάτων. Η ανακοίνωση της Ε.Ε στις 18 Μαΐου 2010, σχετικά με τα μελλοντικά βήματα για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων στην Ευρώπη, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση αποτελούν τις καταλληλότερες περιβαλλοντικά και οικονομικά τεχνολογίες για την επεξεργασία των ποσοτήτων βιοαποβλήτων των οποίων δεν μπορεί να γίνει πρόληψη της δημιουργίας τους. Η κομποστοποίηση του οργανικού κλάσματος με τον διαχωρισμό στην πηγή παραγωγής τους, μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία χρήσιμου προϊόντος.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των ξηραμένων στην πηγή διατροφικών απορριμμάτων ως πρόσθετο της διεργασίας της κομποστοποίησης, στο πλαίσιο της διερεύνησης της δυνατότητας αποκεντρωμένης επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των βιοαποβλήτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας περιγράφονται οι βασικές έννοιες που θα συζητηθούν , η υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα σχετικά με το πρόβλημα διαχείρισης των απορριμμάτων , παρατίθεται συνοπτικά η σχετική νομοθεσία , τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη λειτουργία χωματερών και το πώς ο συνδυασμός των τεχνολογιών της οικιακής ξήρανσης και της κομποστοποίησης μπορεί να δράσει καταλυτικά στην επίλυση τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα στάδια και οι πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων , οι μέθοδοι επεξεργασίας τους καθώς και ο τρόπος τελικής διάθεσης του παραγόμενου προϊόντος. Στη συνέχεια περνάμε στο πειραματικό τμήμα της εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε Πραγματοποιήθηκαν δύο κύκλοι πειραμάτων. Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων μελετήθηκε μίγμα με 0% και 10% ξηρό υλικό ενώ στο δεύτερο 30% και 50% κ.β. ξηρό υλικό. Παρατίθεται το πρωτόκολλο μετρήσεων της ξήρανσης και της κομποστοποίησης, η περιγραφή των πρότυπων συστημάτων ξήρανσης και κομποστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν, αναλύονται οι παράμετροι που μελετήθηκαν και οι μέθοδοι προσδιορισμού τους .Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα και γίνεται ο σχολιασμός τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση όλης της εργασίας μέσω της οποίας εξάγονται τα συμπεράσματα της μελέτης. προκύπτουν και προτείνονται βελτιώσεις στο πειραματικό κομμάτι της διεργασίας .

Τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής του συνδυασμού τεχνολογιών, της ξήρανσης και ακολούθως της κομποστοποίησης των συνθετικών δειγμάτων που μελετήθηκαν κρίνονται ως ενθαρρυντικά, εφόσον αποδεικνύεται ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης της διεργασίας, μέσω

της διόρθωσης των παραγόντων που κρίθηκε ότι την υποβάθμισαν στο σύνολό της. Η αποτίμηση της παρούσας εργαστηριακής μελέτης έδειξε ότι το ξηρό υλικό σε αναλογία 30% και 50% κ.β μπορεί να ευνοήσει την διεργασία της κομποστοποίησης επιφέροντας κόμποστ υψηλής ποιότητας.

Summary

In modern societies, environmental issues are more prominent than ever and require immediate and effective resolution. A major issue is the management of bio-waste. The announcement of the EU on 18 May 2010 on the future steps for bio-waste management in Europe, concludes that the composting and anaerobic digestion are the most appropriate environmental and economical technologies for the treatment of biowaste quantities, the production of which may not be prevented. The composting of biowaste, separated at source of production, may lead to a useful product.

The aim of this thesis is to study the effect of the dry material as an additive in the process of composting , in the context of exploring the possibility of decentralized treatment and reuse of biowaste .

In the first chapter, the basic concepts of biowaste management, the current situation in Greece on that problem and the summary of the relevant legislation are described. Moreover, the problems created by the operation of landfills and how the combination of drying in domestic scale and composting can act as a catalyst in solving them.

The second chapter presents the stages of biowaste management practices, the processing methods and the disposal of the final products. The next chapter encompasses the experimental procedure that was followed. In the first round of experiments, composting mixtures of 0 % and 10 % dry matter were studied, while in the second round composting mixtures with 30% and 50 % by weight dry material were examined. Then the protocols of drying and composting methods are presented and the drying and composting systems are described. Following, the studied parameters are listed and the methods for determining them are analyzed. The fourth chapter presents the results and the findings are discussed. The last chapter gives an overview of all the experimental work carried out in order to make the conclusions of the study and presents the improvements proposed for the experimental part of the process.

The overall results of the application of the combination of technologies (drying and subsequent composting) for the treatment of the synthetic mixtures studied is considered promising, as it is proved that there is a potential for improvement of the process by modifying the factors considered to have undermined the process. The evaluation of this laboratory study showed that the dry material at 30 % and 50 wt% can foster the process of composting by producing compost of good quality.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	2
Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Summary.....	5
1. Εισαγωγή.....	14
1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	14
1.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ).....	15
1.3 Βιοαπόβλητα (ΒΑ).....	15
1.4 Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων.....	16
1.5 Νομικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων.....	18
1.5.2. Ελληνική Νομοθεσία.....	20
1.6 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής και διαχείρισης βιοαποβλήτων.....	24
1.7 Οικονομικές συνέπειες στην Ελλάδα.....	30
1.8 Περιβαλλοντικές συνέπειες στην Ελλάδα.....	31
1.9 Αναγκαιότητα ορθής διαχείρισης των βιοαποβλήτων.....	34
2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων.....	35
2.1 Στάδιο Συλλογής και Μεταφοράς βιοαποβλήτων.....	35
2.1.1 Κατηγορίες Συστημάτων Διαλογής στην Πηγή.....	36
2.1.1.1. Χωριστή Συλλογή ενός Τύπου Υλικού.....	37
2.1.1.2 Χωριστή, ή Μη Χωριστή Συλλογή Τουλάχιστον Δύο Τύπων Υλικών.....	38
2.1.1.3. Συλλογή πόρτα – πόρτα (Door-to-door collection).....	38
2.1.1.4. Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών (curbside collection).....	38
2.1.1.5. Συγκέντρωση Διαχωρισμένων Υλικών σε Κέντρα Συλλογής.....	39
2.1.1.6. Συνδυασμό δύο ή περισσότερων κατηγοριών.....	39
2.1.2. Διαλογή στην Πηγή - Προϋπόθεση για αποδοτικότερη κομποστοποίηση.....	40
2.1.3. Η σπουδαιότητα της διαλογής στην πηγή των βιοαποβλήτων.....	41

2.1.4. Πρόγραμμα Εκτροπής ΒΑΑ	42
2.1.4.1. Δίκτυα Συλλογής, Μεταφοράς και Διασυνοριακής Μεταφοράς	45
2.1.5. Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού συλλογής	46
2.1.6 Επιλογή οχημάτων συλλογής και μεταφοράς	49
2.1.7 Σχεδιασμός συχνότητας διαλογής	50
2.1.8 Εκτίμηση κόστους υλοποίησης προγραμμάτων διαλογής στην πηγή.....	50
2.2. Στάδιο επεξεργασίας βιοαποβλήτων	51
2.2.1 Βιολογική επεξεργασία.....	52
2.2.1.1. Αερόβια βιολογική επεξεργασία βιοαποβλήτων (κομποστοποίηση).....	52
2.2.1.1.3. Πρόσθετα κομποστοποίησης	53
2.2.1.2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία- Αναερόβια ζύμωση	67
2.2.1.3. Βιολογική Ξήρανση.....	69
2.2.2 Θερμική επεξεργασία.....	70
2.2.2.1. Αποτέφρωση	70
2.2.2.2. Πυρόλυση	72
2.3 Τελική διάθεση.....	74
2.3.1. Κόμποστ.....	75
2.3.1.1. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ.....	75
2.3.2. Βιοαέριο	78
2.3.2.1. Δυνατές χρήσεις βιοαερίου.....	78
3. Πειραματικό μέρος	80
3.1 Σκοπός	80
3.2 Μεθοδολογία	80
3.2.1. 1ο Στάδιο: Ξήρανση.....	80
3.2.1.1. Περιγραφή και λειτουργία πειραματικής διάταξης	82
3.2.1.2. Πειραματικό πρωτόκολλο ξήρανσης – Παράμετροι που μελετήθηκαν.....	85
3.2.2. 2 ^ο Στάδιο: Κομποστοποίηση	88
3.2.2.1. Περιγραφή και λειτουργία πειραματικής διάταξης	88
3.2.2.2. Πειραματικό πρωτόκολλο Κομποστοποίησης-Παράμετροι που μελετήθηκαν	91
3.2.2.3. «Σταθερότητα» και «ωριμότητα» του κόμποστ.....	100
3.3. Μέθοδοι προσδιορισμού παραμέτρων.....	100
3.3.1. Προσδιορισμός θερμοκρασίας	100
3.3.2. Προσδιορισμός υγρασίας.....	101
3.3.3. Προσδιορισμός pH.....	102

3.3.4	Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας	102
3.3.5	Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VS)	102
3.3.6	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)	103
3.3.7	Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN)	105
3.3.8	Προσδιορισμός νιτρικών	108
3.3.9	Προσδιορισμός αμμωνιακών	110
3.3.10	Προσδιορισμός αναλογίας C/N	111
3.3.11	Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων	111
3.3.12	Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας.....	113
4.	Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων	115
4.1.	Αποτελέσματα ξήρανσης.....	115
4.1.1.	Μείωση μάζας συνθετικού υλικού	115
4.1.2	Μείωση όγκου συνθετικού υλικού	116
4.1.3.	Ενεργειακή κατανάλωση	117
4.2	Αποτελέσματα Κομποστοποίησης.....	117
4.2.1.	Μείωση μάζας συνθετικού υλικού	117
4.2.2.	Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος	118
4.2.3.	Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος	121
4.2.4.	Προσδιορισμός pH του υποστρώματος.....	124
4.2.5.	Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	127
4.2.6.	Προσδιορισμός απώλειας πτητικών στερεών	129
4.2.7.	Προσδιορισμός Ολικού Οργανικού Άνθρακα.....	131
4.2.8.	Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου	133
4.2.9.	Προσδιορισμός αμμωνιακών.....	136
4.2.10.	Προσδιορισμός νιτρικών	138
4.2.11.	Προσδιορισμός λόγου C/N	140
4.2.12.	Προσδιορισμός μακροστοιχείων.....	142
4.2.13.	Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων	144
4.2.14.	Φυτοτοξικότητα	147
4.2.15.	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ώριμου προϊόντος.....	149
5.	Συμπεράσματα	152

6. Βιβλιογραφία.....159

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 .Εθνικοί στόχοι για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων από την ταφή. (Πηγή ΥΠΕΚΑ 2014).....	22
Πίνακας 2. Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων(Πηγή :Μαλαμής , 2011).....	23
Πίνακας 3. Εκτίμηση της παραγωγής , σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον./ έτος) (Πηγή: ΥΠΕΚΑ ,2014)	24
Πίνακας 4 Σύσταση (%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια της Ελλάδας (2011)(Πηγή: ΥΠΕΚΑ,2014)	25
Πίνακας 5 Εκτίμηση ποσότητας βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον./ έτος) και διαχρονική εξέλιξη στο διάστημα 2012-2030. (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014).....	25
Πίνακας 6 Σύσταση αερίων των χώρων διάθεσης απορριμμάτων	32
Πίνακας 7 .Ποσοτικοποίηση στόχων εκτροπής ΒΑΑ από την ταφή το 2020. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)	43
Πίνακας 8. Απαιτούμενη δυναμικότητα χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2015. (Πηγή: ΕΠΕΡΑΑ, 2014)	44
Πίνακας 9. Απαιτούμενη δυναμικότητα χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2020. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014).....	45
Πίνακας 10.Τιμές για εργαλεία συλλογής αποβλήτων τροφών. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014).....	48
Πίνακας 11. Εκτιμήσεις κόστους για την υλοποίηση συστημάτων ΔσΠ αποβλήτων τροφών και τροφίμων (Πηγή: Ευροπμία , 2007)	51
Πίνακας 12 Οικονομικά στοιχεία εφαρμογής συστημάτων ΔσΠ στην Αυστρία (Ευροπμία ,2007)	51
Πίνακας 13.Χημική σύσταση του περλίτη	54
Πίνακας 14. ΟΤΑ που έχουν υλοποιήσει ή δρομολογήσει κάποιο πρόγραμμα οικιακής κομποστοποίησης στην Ελλάδα.....	61
Πίνακας 15. Όρια βαρέων μετάλλων Ε.Ε.....	64
Πίνακας 16. Μέγιστες και ελάχιστες οριακές τιμές μετάλλων (PTEs) στην ΕΕ (mg/kg).....	65
Πίνακας 17. Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων στο κόμποστ σε επιλεγμένες χώρες.....	65
Πίνακας 18.Κριτήρια αποδοχής απόθεσης του κόμποστ στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό	66
Πίνακας 19. Οι δυνατές χρήσεις του κόμποστ	77
Πίνακας 20. Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του συνθετικού μίγματος προς ξήρανση	81
Πίνακας 21. Ποσοστά και ποσότητες υλικών που αποτελούν το συνθετικό δείγμα κάθε αντιδραστήρα.....	91
Πίνακας 22. Η κατά βάρος σύσταση των συστατικών του νωπού υλικού για κάθε έναν από τους τέσσερις αντιδραστήρες.....	91
Πίνακας 23. Σύνολο φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων οι οποίες εξετάστηκαν στα διαφορετικά δείγματα	92
Πίνακας 24. Μείωση μάζας συνθετικού υλικού μετά τη διεργασία της ξήρανσης.....	115
Πίνακας 25. Ποσοστιαία μείωση του όγκου του δείγματος κατά τη διεργασία της ξήρανσης.....	116
Πίνακας 26. Ποσοστό % μείωσης μάζας.....	117

Πίνακας 27.Θερμοκρασιακό προφίλ των 4 αντιδραστήρων	118
Πίνακας 28.Ποσοστό % υγρασίας στους 4 αντιδραστήρες	122
Πίνακας 29.Τιμές pH όπως κατεγράφησαν στην εξέλιξη της διεργασίας	124
Πίνακας 30.Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την κομποστοποίηση	127
Πίνακας 31. Ποσοστά % απώλειας πτητικών στερεών για τους τέσσερις αντιδραστήρες	129
Πίνακας 32. Ποσοστά % ολικού οργανικού άνθρακα στους τέσσερις αντιδραστήρες	131
Πίνακας 33.Ποσοστό % του ολικού αζώτου	134
Πίνακας 34. Ποσοστό % των αμμωνιακών στο υπόστρωμα.....	136
Πίνακας 35. Ποσοστό % των νιτρικών στο υπόστρωμα	138
Πίνακας 36. Τιμές C/N τους τέσσερις αντιδραστήρες.....	140
Πίνακας 37. Ποσοστό % του ώριμου κόμποστ σε μακροστοιχεία για τους τέσσερις αντιδραστήρες.....	142
Πίνακας 38. Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ώριμο κόμποστ κάθε αντιδραστήρα.....	144
Πίνακας 39.Δείκτης βλαστικότητας και χαρακτηρισμός κόμποστ.....	147
Πίνακας 40. φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ώριμου κόμποστ	149
Πίνακας 41. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος.....	150

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων , Βιοαποδομήσιμων & Βιοαποβλήτων σε μορφή συνόλου	15
Διάγραμμα 2 .Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012).....	17
Διάγραμμα 3. Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας	26
Διάγραμμα 4 Ποσοτικοποίηση στόχων διαχείρισης ανά κατηγορία υλικών ΑΣΑ σε τόνους. (Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2012)	28
Διάγραμμα 5. Συγκριτική ποσοτικοποίηση διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρες της Ευρώπης(Πηγή: Eurostat ,2013).....	29
Διάγραμμα 6. Διακύμανση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001(Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ,2003)	30
Διάγραμμα 7 . Σχηματική παράσταση διαδικασιών κομποστοποίησης.....	53
Διάγραμμα 8. Στάδια Αναερόβιας χώνευσης , Πηγή :WtERT 2009	68
Διάγραμμα 9. Χρήσεις βιοαερίου (ΚΑΠΕ,2014).....	78
Διάγραμμα 10. Ποσοστιαία % σύσταση μίγματος προς ξήρανση	81
Διάγραμμα 11. Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας: A= Μεσόφιλοι, B= Θερμόφιλοι, C= Ψύξη, D= Ωρίμανση (Πηγή: Storm,1985).....	95

Διάγραμμα 12. Μείωση μάζας διατροφικών αποβλήτων.....	115
Διάγραμμα 13. Μείωση όγκου διατροφικών αποβλήτων.....	116
Διάγραμμα 14. Ποσοστό % μείωσης της μάζας ανά αντιδραστήρα.....	118
Διάγραμμα 15. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες.....	119
Στο διάγραμμα 16 απεικονίζεται συγκριτικά εξέλιξη της υγρασίας στους τέσσερις αντιδραστήρες.	122
Διάγραμμα 17. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες.....	122
Διάγραμμα 18. Συγκριτική απεικόνιση pH στους τέσσερις αντιδραστήρες.....	125
Διάγραμμα 19. Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους αντιδραστήρες.....	128
Διάγραμμα 20. Εξέλιξη της απώλειας των πτητικών στερεών στους αντιδραστήρες.....	130
Διάγραμμα 21. Εξέλιξη του ποσοστού % ολικού οργανικού άνθρακα στους τέσσερις αντιδραστήρες.....	132
Διάγραμμα 22. Εξέλιξη του ποσοστού % του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl.....	135
Διάγραμμα 23. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης των αμμωνιακών στους τέσσερις αντιδραστήρες.....	137
Διάγραμμα 24. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης των νιτρικών στους τέσσερις αντιδραστήρες.....	139
Διάγραμμα 25. Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N των τεσσάρων αντιδραστήρων κατά την εξέλιξη της διεργασίας.....	141
Διάγραμμα 26. Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού % των διαφόρων μακροστοιχείων στο κόμποστ που παρήχθη.....	143
Διάγραμμα 27. Συγκριτική απεικόνιση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο κόμποστ που παρήχθη.....	145
Διάγραμμα 28. Ο δείκτης βλαστικότητας των τεσσάρων αντιδραστήρων.....	148

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Συσσωρευμένα αστικά στερεά απόβλητα.....	14
Εικόνα 2. Η πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.....	19
Εικόνα 3 Έργα υγειονομικής ταφής αποβλήτων στη χώρα μας.....	27
Εικόνα 4 Καφέ κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων.....	39
Εικόνα 5. Σακούλες χάρτινες και βιοδιασπόμενες, Athens Biowaste 2011.....	46
Εικόνα 6. Τροχήλατοι κάδοι φόρτωσης ανοιγόμενοι εκ των άνω (Πηγή: Athens Biowaste 2011).....	47
Εικόνα 7 Κάδοι και σακούλες κατάλληλοι για ΔσΠ αποβλήτων τροφών και τροφίμων.....	47
Εικόνα 8 Στιγμιότυπο της διαδικασίας συλλογής βιοαποβλήτων από το δρόμο.....	48
Εικόνα 9. ΟΣΜ με διάταξη συμπίεσης τύπου (α) πρέσας και (β) μύλου, Athens Biowaste 2011.....	49
Εικόνα 10. ΟΣΜ Αυτόματης Πλάγιας Φόρτωσης, Athens Biowaste 2011.....	49
Εικόνα 11 Δορυφορικά Οχήματα με δυνατότητα μηχανικής & χειρονακτικής φόρτωσης, Athens Biowaste 2011.....	50
Εικόνα 12. Περλίτης.....	55
Εικόνα 13. Μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ (Amsterdam, Breccia, Vienna), (Πηγή: ΕΕΔΣΑ, 2014).....	71

Εικόνα 14. Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων, (Πηγή: ΕΕΔΣΑ, 2014)	72
Εικόνα15. Διεργασία πυρόλυσης (Πηγή: ΙΤΑ, Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων).....	73
Εικόνα16. Διεργασία Αεριοποίησης (Πηγή: Γιαδαράκος, Ε , 2006).....	74
Εικόνα 17 Δείγμα υλικού προς ξήρανση.....	82
Εικόνα 18. Καλάθι με το προς ξήρανση υλικό.....	82
Εικόνα 19.Θάλαμος ξηραντήρα	85
Εικόνα 20.Υποδοχέας των διατροφικών αποβλήτων (πάνω όψη)	85
Εικόνα 21. Τομή ξηραντήρα.....	85
Εικόνα 22. Ξηραντήρας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.....	85
Εικόνα 23. Ξηραντήρας Drywaste μονωμένος με πετροβάμβακα	86
Εικόνα 24 .Ζύγιση υλικού και καλάθιού πριν την εισαγωγή του στον ξηραντήρα	86
Εικόνα 25. Δείγμα μετά από ξήρανση	87
Εικόνα 26. Συσκευή μέτρησης ενεργειακής κατανάλωσης και χρόνου λειτουργίας	88
Εικόνα 27.Εξωτερική άποψη κομποστοποιητή με μόνωση	89
Εικόνα 28.Εσωτερική άποψη του κομποστοποιητή	89
Εικόνα 29 .Το σύστημα ανάδευσης με παχύτερες ράβδους.....	90
Εικόνα 30.Το σύστημα ανάδευσης με λεπτές ράβδους και η διάτρητη σχάρα.....	90
Εικόνα 31. Το κόμποστ που παρήχθη και τμήμα του συστήματος ανάδευσης.....	90
Εικόνα 32.Διάταξη σωρού διατροφικών αποβλήτων	90
Εικόνα 33. Ψηφιακό θερμόμετρο.....	101
Εικόνα 34. Φούρνος ξήρανσης	101
Εικόνα 35. Μετρητής pH.....	102
Εικόνα 36.Φούρνος ξήρανσης	103
Εικόνα 37.Το σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα	104
Εικόνα 38. Κεντρική μονάδα TOC	104
Εικόνα 39. Solid Sample Module SSM 5000A.....	104
Εικόνα 40. Πορσελάνινες κάψες	104
Εικόνα 41.Σωλήνας Χώνευσης.....	105
Εικόνα 42.Συσκευή KJELDATHERM.....	105
Εικόνα 43.Συσκευή απόσταξης VaroDest 30s	106
Εικόνα 44.Αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση	107
Εικόνα 45.Συσκευή Digesdhal Digestion	112
Εικόνα 46. Φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης (Varian)	113
Εικόνα 47.Τρυβλίο με σπόρους που έχουν βλαστήσει.....	114

1. Εισαγωγή

Στο παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο παρατίθενται βασικές έννοιες σχετικά με τη φύση και την προέλευση των βιοαποβλήτων, την κατηγοριοποίησή τους με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.)¹ και το νομικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείρισή τους σε Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο. Ακολουθώς δίνονται στοιχεία για την υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής και διαχείρισης των βιοαποβλήτων με τις αντίστοιχες οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες στη χώρα μας και υπογραμμίζονται οι αναγκαίοι λόγοι για τους οποίους πρέπει να εφαρμόζονται ορθές πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων, ώστε να δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ενός βιώσιμου ανθρώπινου και σύγχρονου περιβάλλοντος.

1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

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



Εικόνα 1 Συσσωρευμένα αστικά στερεά απόβλητα

(Πηγή :kasseris.wordpress.com ,2010)

¹ Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.) σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2000/532/ΕΚ της Επιτροπής για τη θέσπιση καταλόγου αποβλήτων όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει αποτελεί έναν εναρμονισμένο, μη εξαντλητικό κατάλογο αποβλήτων, η αναθεώρηση και ανασκευή του οποίου γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα βάσει νέων επιστημονικών πορισμάτων, σύμφωνα με το Άρθρο 18 της Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ όπως τροποποιήθηκε με την Οδηγία 91/156/ΕΚ. Διαθέσιμο στο [http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/EU.katalogos\(EKA\).pdf](http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/EU.katalogos(EKA).pdf)

1.2 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (BAA)

Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αποτελούν μέρος των αστικών αποβλήτων (ΑΣΑ) και σύμφωνα με την οδηγία περί υγειονομικής ταφής (99/31/EC) ορίζονται ως “κάθε απόβλητο που είναι σε θέση να υποστεί αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση”, όπως είναι τα απόβλητα τροφών και κηπουρικής, το χαρτί-χαρτόνι και το ξύλο.

1.3 Βιοαπόβλητα (BA)

Τα βιολογικά απόβλητα, όπως ορίζονται στην αναθεωρημένη οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα (WFD) περιλαμβάνουν απορρίμματα κήπων και πάρκων, απορρίμματα τροφών και μαγειρείων από σπίτια, εστιατόρια, καφετέριες και καταστήματα λιανικής καθώς και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων. Δεν περιλαμβάνονται τα δασοκομικά ή γεωργικά υπολείμματα και δεν πρέπει να συγχέεται με τον ευρύτερο όρο “βιοαποδομήσιμα απόβλητα” ο οποίος περιλαμβάνει επίσης και άλλα βιοδιασπώμενα υλικά, όπως ξύλο, χαρτί, χαρτόνι, λύματα λάσπη. [Commission, 2010]

Το διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 1) δείχνει σχηματικά την κατανομή των προαναφερθέντων αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (BAA), καθώς και των βιοαποβλήτων (BA) σε μορφή συνόλου.



Διάγραμμα 1. Κατανομή των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Βιοαποδομήσιμων & Βιοαποβλήτων σε μορφή συνόλου

(Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

1.4 Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων

Με βάση τον ορισμό, τα βιοαπόβλητα περιλαμβάνουν τα απόβλητα τροφών, τροφίμων, κήπων και παρεμφερή απόβλητα που προκύπτουν από:

- Οικίες
- Εμπορικές δραστηριότητες
- Εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων

Αναλυτικότερα, δίνονται οι εξής περιγραφές ανά πηγή προέλευσης των βιοαποβλήτων:

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 διακρίνονται σε :

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

Εμπορικά απόβλητα

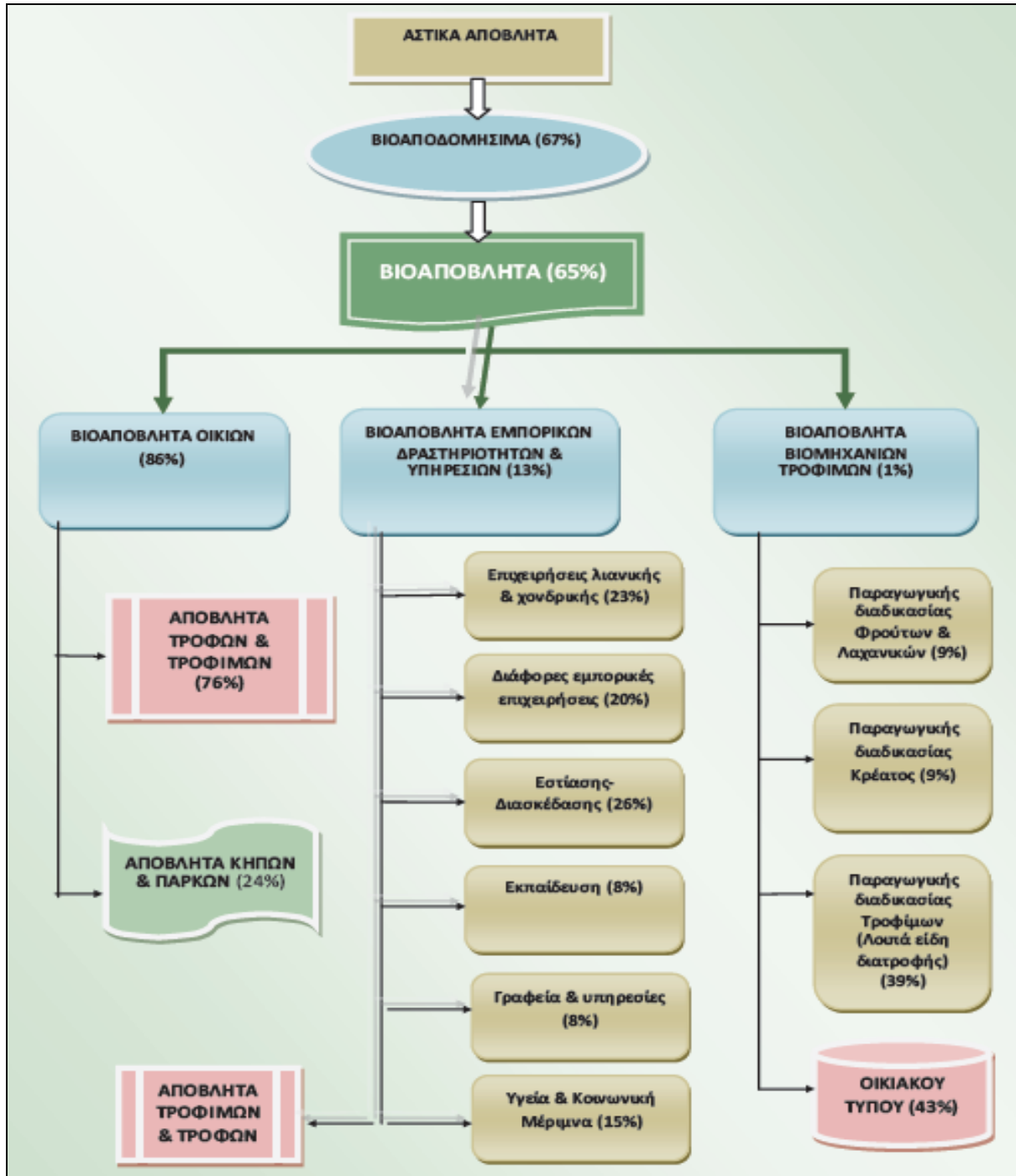
Τα απόβλητα που προέρχονται από επιχειρήσεις που χρησιμοποιούνται κυρίως για εμπορικούς ή επαγγελματικούς σκοπούς , δραστηριοποιούνται ως κέντρα διασκέδασης , αναψυχής και εστίασης. Από αθλητικές δραστηριότητες, οργανισμούς κοινής ωφέλειας και εκπαιδευτικά ιδρύματα.

Βιομηχανικά απόβλητα

Βιοαπόβλητα βιομηχανιών νοούνται τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Στον εν λόγω ορισμό δεν περιλαμβάνονται τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα , η κοπριά , η υλός επεξεργασίας αστικών λυμάτων καθώς και άλλα βιοαποδομήσιμα όπως οι

φυσικές ίνες, το χαρτί ή το κατεργασμένο ξύλο. Επίσης εξαιρούνται τα παραπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα.

Το Διάγραμμα 2 που έπεται δίνει μια παραστατική κατηγοριοποίηση του συνόλου των βιοαποβλήτων σε πηγές προέλευσης και τα επιμέρους διακριτά ρεύματα αυτών.



Διάγραμμα 2 .Κατηγορίες προέλευσης & διακριτά ρεύματα παραγωγής των βιοαποβλήτων (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

1.5 Νομικό πλαίσιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων

Για την επίτευξη των στρατηγικών σχεδίων αναφορικά με τα στερεά απόβλητα, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει θεσπίσει μια σειρά από νομοθετικές διατάξεις. Αυτές περιλαμβάνουν το βασικό νομοθετικό πλαίσιο, τη νομοθεσία για τις μεθόδους διαχείρισης των στερεών αποβλήτων καθώς και τη νομοθεσία για ειδικές κατηγορίες (ροές) αποβλήτων. Αντίστοιχα, κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης σταδιακά υιοθετεί και ενσωματώνει στο δικό του εθνικό δίκαιο το Ευρωπαϊκό πλαίσιο δημιουργώντας νομοθετικές διατάξεις σε αντιστοιχία με τις Ευρωπαϊκές. Οι ενότητες 1.5.1 και 1.5.2. που ακολουθούν περιλαμβάνουν το νομοθετικό πλαίσιο της Ευρώπης και της Ελλάδας, αντίστοιχα.

1.5.1 Ευρωπαϊκό Θεσμικό πλαίσιο

- ❖ *Ευρωπαϊκή Οδηγία για τη διαχείριση των Απόβλητων 2008/98/ΕΚ (Πηγή: Οδηγία 2008/98/ΕΚ)*

Το νομοθετικό πλαίσιο που ορίζεται για τη διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων από την περιβαλλοντική πολιτική της Ε.Ε. και ισχύει στα κράτη-μέλη της, βασίζεται στην ιεράρχηση των επιλογών διαχείρισης κατά σειρά προτεραιότητας ως εξής:

- την πρόληψη και μείωση της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων. Οι δράσεις για την πρόληψη των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων συνδέονται με την αλλαγή συμπεριφοράς των καταναλωτών και θα πρέπει να επικεντρώνονται στη συστηματική ενημέρωση – ευαισθητοποίηση των πολιτών συνδυαστικά με τη θέσπιση ικανών οικονομικών εργαλείων.
- την ανάκτηση υλικών με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση και αν αυτό δεν είναι δυνατόν την ανακύκλωσή τους. Βασικό προαπαιτούμενο της επιτυχούς εφαρμογής των προγραμμάτων ανακύκλωσης των ΒΑΑ είναι η διαμόρφωση αγοράς για την εξασφάλιση της απορρόφησης των παραγόμενων δευτερογενών προϊόντων (εδαφοβελτιωτικό - compost κλπ).
- την ανάκτηση ενέργειας και
- την ασφαλή διάθεση των υπολειμμάτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Υ.)



Εικόνα 2. Η πυραμίδα Ιεράρχησης Στόχων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ

(Πηγή: www.recyclingathome.eu, 2013)

Συγκεκριμένα, η Οδηγία Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ) περιλαμβάνει διατάξεις για τη διαχείριση των οικιακών απορριμμάτων σύμφωνα με τις οποίες τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. θα πρέπει να διαμορφώσουν την Εθνική τους Στρατηγική για τη διαχείριση των απορριμμάτων με τρόπο ώστε να προωθείται η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων καθώς και η απαραίτητη προετοιμασία για την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση υψηλής ποιότητας και τη δημιουργία ξεχωριστής συλλογής των απορριμμάτων.

Πιο αναλυτικά, τα κράτη-μέλη με την κατάλληλη σειρά μέτρων και ενεργειών θα πρέπει να καταφέρουν τους ακόλουθους στόχους:

-Έως το 2020 η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση υλικών όπως τουλάχιστον το χαρτί, μέταλλο, πλαστικό και γυαλί από οικίες και ενδεχομένως άλλες πηγές προέλευσης εφόσον αυτά τα ρεύμα αποβλήτων προσομοιάζουν των οικιακών, θα πρέπει να αυξηθεί τουλάχιστον στο 50% της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ.

Η οδηγία σκοπεύει στην ενίσχυση του στόχου προς μια κοινωνία ανακύκλωσης, υποχρεώνοντας τα κράτη μέλη να συλλέγουν χωριστά τουλάχιστον το χαρτί, μέταλλο, πλαστικό και γυαλί από το 2015, ενώ ταυτόχρονα ενθαρρύνει (δεν υποχρεώνει) τα κράτη μέλη να λάβουν μέτρα για :

- τη χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασίας τους με κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση
- την επεξεργασία των βιοαποβλήτων με χρήση τέτοιων μεθόδων ώστε να διασφαλίζεται σε υψηλό επίπεδο η προστασία του περιβάλλοντος
- τη χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών υλικών παραγόμενων από βιοαπόβλητα

❖ *Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων (Πηγή: Οδηγία 1999/31/ΕΚ)*

Η οδηγία αυτή στοχεύει στη πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την υγειονομική ταφή των αποβλήτων . Μεταξύ άλλων, ορίζει τρεις διαφορετικές κατηγορίες χώρων υγειονομικής ταφής ανάλογα με το είδος των αποβλήτων που οδηγούνται σε αυτούς και συγκεκριμένα χώρους υγειονομικής ταφής για τα επικίνδυνα απόβλητα, τα μη επικίνδυνα απόβλητα και τα αδρανή απόβλητα. Επιπλέον, η οδηγία θέτει συγκεκριμένους στόχους για τη σταδιακή εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής . Οι στόχοι μείωσης των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που δεν καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ορίζεται ως εξής;

- Μέχρι το 2013 και 2020 πρέπει να μειωθεί η ποσότητα των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων που οδηγούνται προς ταφή κατά 50% και 65% αντίστοιχα, της συνολικής (κατά βάρος) ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995

1.5.2. Ελληνική Νομοθεσία

❖ *Νόμος 4042/2012 Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Πηγή: ΦΕΚ/24/Α/13.2.2012.)*

Με το νόμο 4042/2012 εναρμονίζεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της οδηγίας 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 17ης Νοέμβρη 2008 <<σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μέσω ποινικού δικαίου>> και θεσπίζονται αποτρεπτικές αποτελεσματικές και αναλογικές , κυρώσεις μέσω του ποινικού δικαίου , για τις περιπτώσεις που προκαλείται ή ενδέχεται να προκληθεί ρύπανση ή υποβάθμιση του περιβάλλοντος , με σκοπό τη διασφάλιση της αποτελεσματικής ποινικής προστασίας του.

Οι ποσοτικοί στόχοι που συνδέονται με τον εν λόγω νόμο είναι οι ακόλουθοι:

- Έως το 2015 , προβλέπεται ξεχωριστή συλλογή τουλάχιστον για το 5% των συνολικά παραγόμενων βιοαποβλήτων
- Έως το 2020 , προβλέπεται ξεχωριστή συλλογή τουλάχιστον για το 10 % των συνολικά παραγόμενων βιοαποβλήτων

Τέλος, ο νόμος 4042/2012 προβλέπει την εισαγωγή τέλους υγειονομικής ταφής μέχρι το 2014 για τη διάθεση των αποβλήτων που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία. Ως εκ τούτου οι παραγωγοί (οργανισμοί και επιχειρήσεις) θα επιβαρύνονται με επιπλέον χρέωση 35 ευρώ ανά τόνο το 2014, με αύξηση κατά 5ευρώ ανά έτος έως ότου η τιμή φτάσει τα 60 ευρώ ανά τόνο (δηλαδή το έτος 2019). Ο φόρος θα πρέπει να υποβάλλεται στο πράσινο ταμείο για την χρηματοδότηση προγραμμάτων και έργων ανάκτησης και διάθεσης.

- ❖ *Κοινή Υπουργική απόφαση Η.Π. 50910/2727 ΚΥΑ 50910/2727/03 'Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων – Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης'*

Στην ΚΥΑ 50910/2727/2003, προδιαγράφεται ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), ο οποίος, προβλέπει την πρόληψη – μείωση της ποσότητας, της βλαπτικότητας και της επικινδυνότητας των αποβλήτων, την αξιοποίηση των αποβλήτων με διάφορους τρόπους (ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση κλπ), την περιβαλλοντικά ασφαλή διαχείριση και εν γένει την ενθάρρυνση της ολοκληρωμένης διαχείρισης και τη δημιουργία εθνικού δικτύου εγκαταστάσεων διάθεσης αποβλήτων. Ο ΕΣΔΑ εξειδικεύεται περαιτέρω με τα περιφερειακά σχέδια διαχείρισης στερεών αποβλήτων για κάθε μία από τις δεκατρείς περιφέρειες της Ελλάδας, αρμόδιο όργανο για την υλοποίηση των οποίων είναι ο εκάστοτε φορέας διαχείρισης στερεών αποβλήτων.

- ❖ *Κοινή Υπουργική απόφαση 29407/3508/2002 . Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (Πηγή ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002)*

Η ΚΥΑ 29407/3508/2002 αποτελεί το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο για τη θέσπιση μέτρων και όρων για την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων και η οποία αποσκοπεί στην εναρμόνιση με τα προβλεπόμενα διατάγματα της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ. Μεταξύ των διατάξεων της ΚΥΑ προβλέπεται η σταδιακή εκτροπή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών αποβλήτων που προορίζονται για τους ΧΥΤΑ κατά 75, 50 και 35% wb μέχρι το 2010, 2013 και 2020 αντίστοιχα, με βάση τη συνολική ποσότητα βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995.

Πίνακας 1 .Εθνικοί στόχοι για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων από την ταφή. (Πηγή ΥΠΕΚΑ 2014)

Εθνικοί Στόχοι		2020
Παραγόμενα ΒΑΑ (Οργανικό κλάσμα και Χαρτί -Χαρτόνι)	χιλ.τόνοι	3.993
Καθορισμένος στόχος μείωσης ΒΑΑ (2003) που προορίζονται για υγιεινόμικη ταφή σε σχέση με την παραγόμενη ποσότητα ΒΑΑ του 1997*	%	35%
Στόχος εκτροπής ΒΑΑ	χιλ.τόνοι	3.083
Ταφή σε σχέση με την τρέχουσα παραγωγή ΒΑΑ	%	22,80%
Εκτροπή από ταφή σε σχέση με την τρέχουσα παραγωγή ΒΑΑ	%	77,20%

*Έτος βάσης ποσοτικοποίησης των στόχων για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία της Eurostat

Ο πίνακας 2 που ακολουθεί παρουσιάζει συνοπτικά το νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε και της Ελλάδας σύμφωνα με την ιεράρχηση των επιλογών για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων.

1. Εισαγωγή

Πίνακας 2. Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. και της Ελλάδας αναφορικά με την ιεράρχηση της διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων(Πηγή :Μαλαμής , 2011)

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

1.6 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής και διαχείρισης βιοαποβλήτων

Το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων είναι πολύ σοβαρό και επείγον, παρόλα αυτά η αδιαφορία της πολιτείας έχει οδηγήσει σε όξυνση του προβλήματος το οποίο απειλεί το περιβάλλον αλλά και εμάς τους ίδιους. Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων, το οποίο αποτελεί μείζον θέμα στις σύγχρονες κοινωνίες πρέπει να αντιμετωπίζεται με σοβαρότητα και διαφάνεια όπως προβλέπεται από το διεθνές και ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο. (Πηγή: Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, Νοέμβριος 2006)

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3) παρουσιάζονται εκτιμήσεις σχετικά με τη σύσταση και την εξέλιξη της ποσότητας των βιοαποβλήτων σε επίπεδο χώρας.

Πίνακας 3. Εκτίμηση της παραγωγής, σύστασης & εξέλιξης των βιοαποβλήτων, ανά τομέα παραγωγής τους, σε επίπεδο χώρας (τον./έτος) (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014)

	2012	2013	2015	2020	2025	2030
ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ	5831855	5914672	6086485	6542883	7037736	7563297
ΒΙΟΑΠΟΔΟΜΗΣΙΜΑ	3923116	3978247	4093349	4397807	4725343	5071028
ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ	2567867	2599157	2659912	2824699	2984759	3148588
ΟΙΚΙΩΝ	2196602	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	1909	3072	3245
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΚΡΕΑΣΤΟΣ & ΙΧΘΥΟΣ	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	107822	115861
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	26374	27119	27916	30032	31311	34720
ΓΡΑΦΕΙΑ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	25623	25992	25756	28785	30969	33278
ΥΓΕΙΑ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	50773	51504	53018	57037	61365	65940

1.Εισαγωγή

Ο Πίνακας 4 δίνει στοιχεία για τη % σύσταση των ΑΣΑ όλων των περιφερειών της χώρας. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα από τους περιφερειακούς σχεδιασμούς για το 2011 το μεγαλύτερο κλάσμα των ΑΣΑ αποτελούν τα βιοαπόβλητα με μέση τιμή 44%.

Πίνακας 4 Σύσταση (%) των ΑΣΑ ανά περιφέρεια της Ελλάδας (2011)(Πηγή: ΥΠΕΚΑ,2014)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΑ % (ΟΡΓΑΝΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ)	ΧΑΡΤΙ- ΧΑΡΤΟΝΙ %	ΜΕΤΑΛΛΑ %	ΠΛΑΣΤΙΚΑ %	ΓΥΑΛΙ %	ΛΟΙΠΑ %
ΑΝ.ΜΑΚ.ΘΡΑΚΗ	45,8	15,3	6,5	3,4	4,3	14,7
Κ.ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	38,6	21,6	14,9	3,9	3,4	17,6
ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	46,2	19,4	14,4	2,3	1,9	15,8
ΗΠΕΙΡΟΣ	44,9	18,9	11,3	5,7	3,8	15,8
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	53,9	17,1	16,3	3,8	6,7	2,2
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	47	20	8,5	4,5	4,5	15,5
ΑΤΤΙΚΗ	43,6	28,1	13	3,3	3,4	8,6
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	41	29	14	3,5	3,5	9
Β.ΑΙΓΑΙΟ	48,3	21,6	9,4	3,7	5,8	11,7
Ν.ΑΙΓΑΙΟ	30	28	21	3	7	11
ΚΡΗΤΗ	39,2	20	16,9	5	5,3	13,7

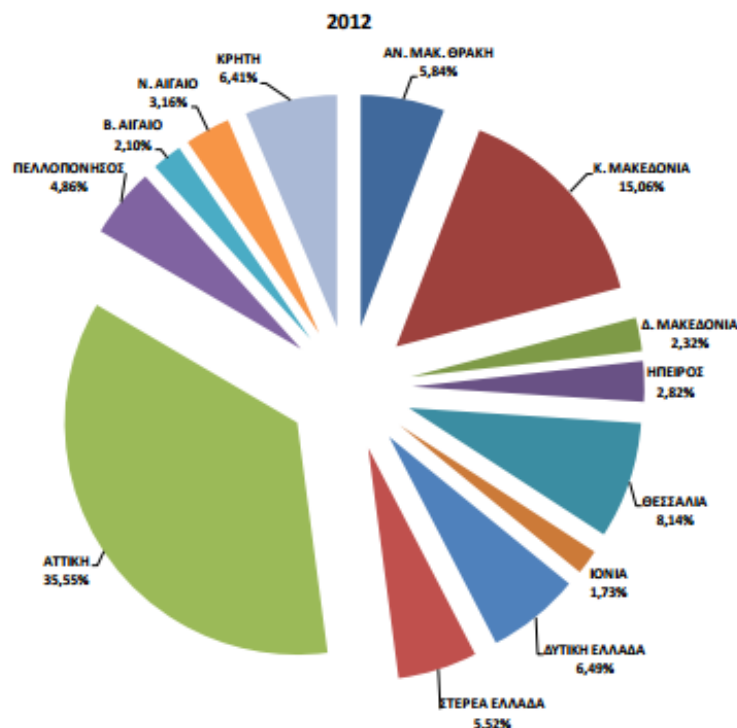
Πίνακας 5 Εκτίμηση ποσότητας βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια (τον./ έτος) και διαχρονική εξέλιξη στο διάστημα 2012-2030. (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2014)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	2012	2013	2015	2020	2025	2030
ΑΝ.ΜΑΚ.ΘΡΑΚΗ	150931	151871	153745	157949	162772	168964
Κ.ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	391194	397606	409994	439320	467422	496262
ΔΥΤ.ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	58930	59117	59464	60804	62241	63917
ΗΠΕΙΡΟΣ	71764	72295	73336	77381	81573	85995
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	210890	212545	215755	227885	239328	250441
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	43778	44319	45354	48420	51346	54145
ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	167038	168598	171633	182676	193704	204744
ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	143396	144478	146654	155595	165012	174762
ΑΤΤΙΚΗ	909711	923732	950682	1012922	1069214	1124555
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	123464	125254	128869	138641	149083	159956
Β.ΑΙΓΑΙΟ	53417	52957	52209	51740	52517	54379
Ν.ΑΙΓΑΙΟ	80102	80826	82203	87045	91919	97078
ΚΡΗΤΗ	163252	165559	170012	184319	198628	213389
ΣΥΝΟΛΟ	2567867	2599157	2659912	2824699	2984759	31485588

1.Εισαγωγή

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι κατά εκτίμηση ποσότητες των βιοαποβλήτων που παρήχθησαν στις 13 περιφέρειες της χώρας κατά το έτος 2012 και η διαχρονική εξέλιξη στην παραγωγή τους μέχρι το έτος 2030. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη ποσότητα βιοαποβλήτων παράγεται στην Αττική, καθότι αποτελεί το μεγαλύτερο αστικό κέντρο (909.711 τόνους για το έτος 2012), ακολουθεί η Κεντρική Μακεδονία με 391.194 τόνους, ενώ η μικρότερη ποσότητα στην παραγωγή βιοαποβλήτων δίνεται για την Περιφέρεια Ιονίων Νήσων και ισούται με 43.778 τόνους (στοιχεία 2012). Η διαχρονική εξέλιξη στην παραγωγή των βιοαποβλήτων αποκαλύπτει αυξητική τάση για το χρονικό διάστημα 2012-2030, με τη συνολική ποσότητα για όλες τις Περιφέρειες της χώρας να ανέρχεται στη σημαντική ποσότητα των 31.485.588 τόνων.

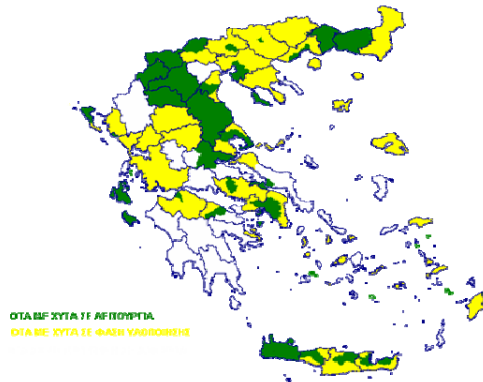
Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων στις διάφορες περιφέρειες της χώρας



Διάγραμμα 3. Ποσοστιαία κατανομή των βιοαποβλήτων ανά περιφέρεια στο σύνολο της χώρας .

(Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

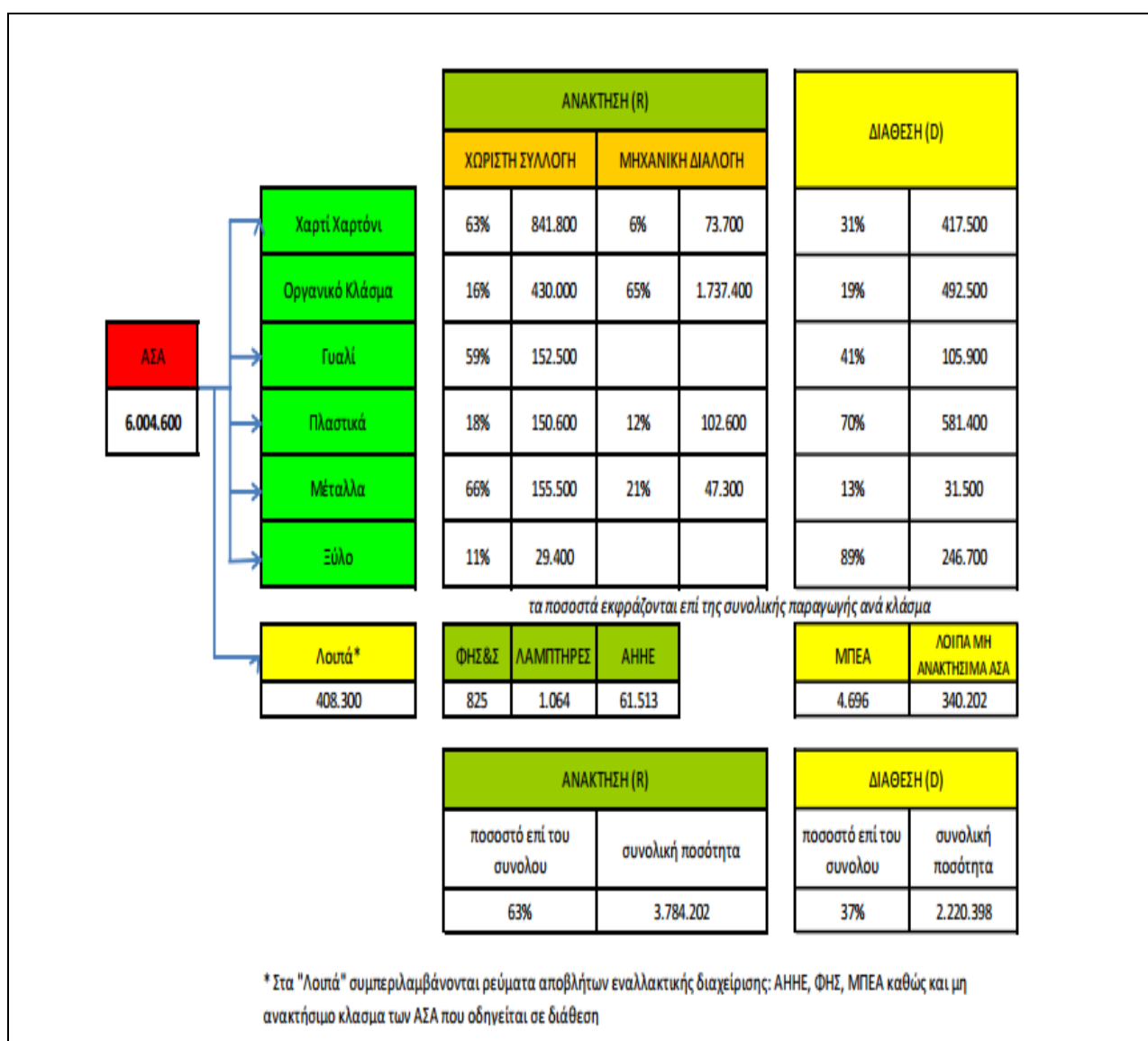
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται τα έργα υγειονομικής ταφής αποβλήτων στην Ελλάδα. Με πράσινο χρώμα είναι οι ΧΥΤΑ σε λειτουργία και με κίτρινο χρώμα οι ΧΥΤΑ σε φάση υλοποίησης.



Εικόνα 3 .Έργα υγειονομικής ταφής αποβλήτων στη χώρα μας

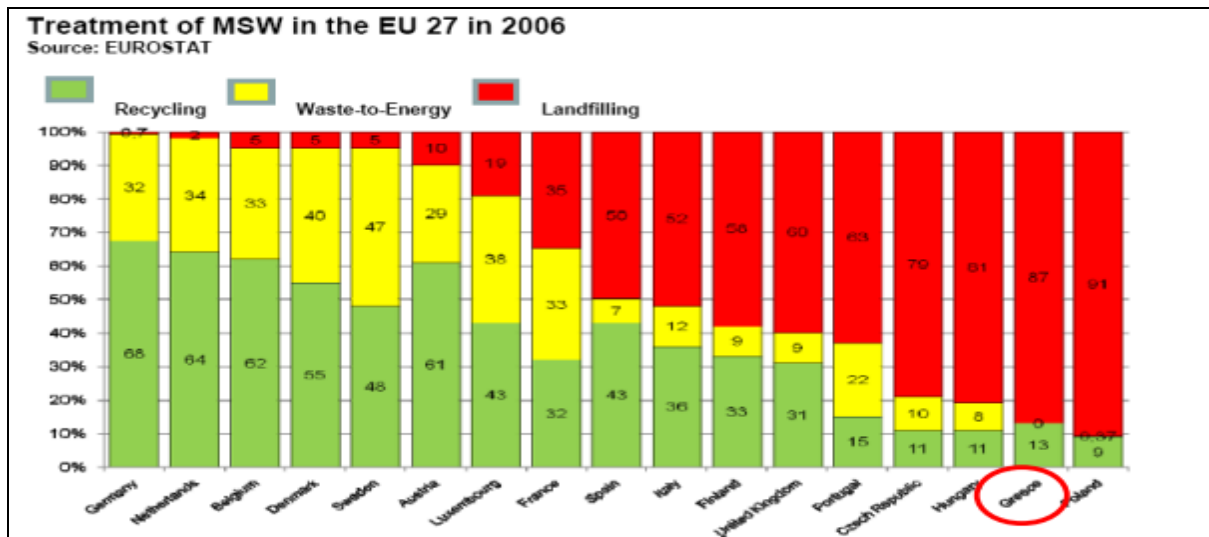
Σε σχέση με τα υπόλοιπα κράτη της Ε.Ε η Ελλάδα υστερεί σημαντικά στην σωστή και ορθολογική διαχείριση των απορριμμάτων. Αυτό είναι εύλογο καθώς η χώρα μας βασίζεται σε ποσοστό άνω του 92% στην, υγειονομική και μη, ταφή. Παρά τις οδηγίες για την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών συσκευασίας στην πηγή όπως η 2008/98 και η 1999/31 για την υγειονομική ταφή, είναι αδύνατο να επιτευχθεί μια καλύτερη λύση στο πρόβλημα των αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα σε περιοχές όπως η Αττική και η Πελοπόννησος, το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων οξύνεται συνέχεια. Τα χρονικά περιθώρια για την εφαρμογή διατάξεων από την χώρα μας, κυρίως στο θέμα των ανεξέλεγκτων ΧΥΤΑ και ΧΑΔΑ, καθώς επίσης και στην εφαρμογή διατάξεων με στόχο την ανακύκλωση, έχουν παρέλθει και από εδώ και πέρα θα επισύρονται μεγάλα πρόστιμα.

Στο διάγραμμα 4 φαίνεται η ποσοτικοποίηση των στόχων διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων ανά κατηγορία.



Διάγραμμα 4 Ποσοτικοποίηση στόχων διαχείρισης ανά κατηγορία υλικών ΑΣΑ σε τόνους. (Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2012)

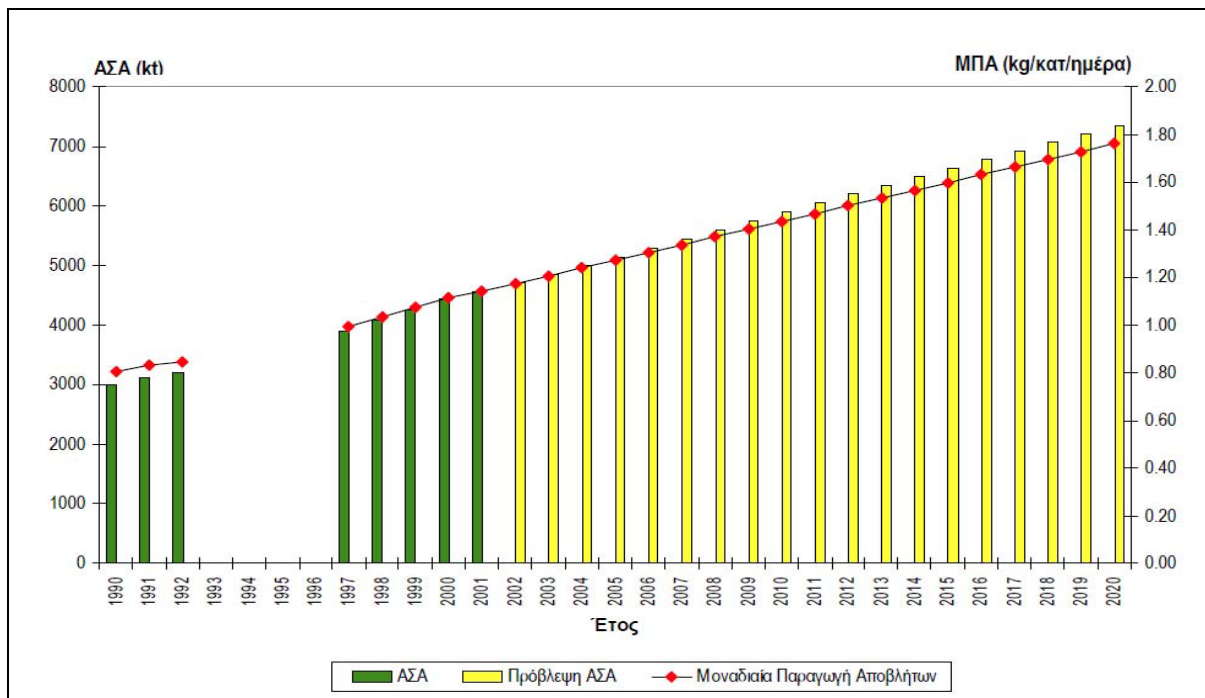
Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 5) παρουσιάζεται μια ποσοτική σύγκριση του τρόπου διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρες της Ευρώπης.



Διάγραμμα 5. Συγκριτική ποσοτικοποίηση διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων σε χώρες της Ευρώπης(Πηγή: Eurostat ,2013)

Γενικά στην Ελλάδα σε αντίθεση με τις άλλες χώρες της Ε.Ε όπου η μείωση των αποβλήτων είναι εμφανής, παρουσιάζεται μια συνεχιζόμενη τάση αύξησης της ποσότητας των αποβλήτων σε μεγάλες τιμές. Όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα αποτέλεσμα της τάσης αυτής είναι η αύξηση της ετήσιας παραγόμενης ποσότητας στην Ελλάδα κατά περισσότερο από 45% μέχρι το 2027 σε σχέση με σήμερα, κυρίως γιατί τα ποσοστά ανακύκλωσης και μείωσης της παραγόμενης ποσότητας στην πηγή θα εξακολουθήσουν να είναι χαμηλά (Πηγή: Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος , 2006)

Ακολουθεί το διάγραμμα 6 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001



Διάγραμμα 6. Διακύμανση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) και της μοναδιαίας παραγωγής ΑΣΑ στην Ελλάδα την περίοδο 1991-2001(Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ,2003)

1.7 Οικονομικές συνέπειες στην Ελλάδα

Όπως έγινε σαφές και πιο πάνω, η κατάσταση στην Ελλάδα αντί να βελτιώνεται χειροτερεύει αν επαληθευθούν και οι παραπάνω εκτιμήσεις. Σε συνάρτηση με αυτά, σημαντικές είναι οι επιπτώσεις και στην οικονομία της χώρας μας λόγω των ανεξέλεγκτων χωματερών. Επίσης, αμφιβολίες υπάρχουν από αρμόδιους παράγοντες στις Βρυξέλες για το αν η απογραφή των χωματερών που παραμένουν σε χρήση είναι έγκυρη. Οι χωματερές στην πραγματικότητα δεν είναι 492, όσες αναφέρονται στις τελευταίες αναφορές της χώρας μας προς την Κομισιόν, αλλά είναι ακόμα περισσότερες. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι θα επιβάλλεται πρόστιμο 34.000 ευρώ την ημέρα για κάθε χωματερή που θα εξακολουθεί να λειτουργεί. Το πιο ανησυχητικό στοιχείο της όλης υπόθεσης είναι ότι η χώρα μας δεν έχει κάνει αξιόπιστες προσπάθειες για τη μείωση των απορριμμάτων. Υπολογίζεται ότι κάθε πολίτης παράγει 474 κιλά σκουπίδια τον χρόνο, περίπου 1,3 κιλά την ημέρα και η γενική τάση την τελευταία τριετία είναι η αύξηση των ποσοτήτων που καταλήγουν στις χωματερές κατά 3% τον χρόνο. Η συνολική αύξηση από το 2000 είναι της τάξης του 48%. Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί ότι στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες καταγράφεται σταθεροποίηση, ενώ στη Σουηδία και τη Δανία τα απορρίμματα έχουν μειωθεί λόγω των προγραμμάτων ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων σε χώρες της Ευρώπης (Πηγή: Ελευθεροτυπία, 2009)

1.8 Περιβαλλοντικές συνέπειες στην Ελλάδα

Επιστημονικές μελέτες δείχνουν ότι η ύπαρξη των χωματερών και η μόλυνση που παράγουν όχι μόνο σκοτώνουν αργά όσους κατοικούν στις γύρω περιοχές, αλλά η απειλή φτάνει ακόμα και στα ράφια των σούπερ μάρκετ και φυσικά στο πιάτο μας. Είναι λοιπόν προφανές ότι η προστασία του περιβάλλοντος βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την προστασία της υγείας μας.

Κίνδυνοι από τις διοξίνες

Μια από τις μεγαλύτερες απειλές των χωματερών είναι η παραγωγή διοξινών, που μπορούν ακόμα και σε μικρές ποσότητες να προκαλέσουν ακόμα και θανάτους. Οι ανεξέλεγκτες πυρκαγιές καθώς και η καύση των απορριμμάτων έχουν ως αποτέλεσμα την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων διοξινών στην ατμόσφαιρα. Αυτό συμβαίνει, κυρίως με την καύση οργανικών υλικών και χλωρίου που υπάρχει κυρίως στα πλαστικά των οικιακών αποβλήτων. Παράλληλα, η μόλυνση από τις χωματερές έχει σχέση και με την αύξηση των κρουσμάτων καρκίνων κυρίως των όρχεων και του μαστού. (Πηγή: Greenpeace,2000) Πιο συγκεκριμένα οι διοξίνες αποτελούν μια κατηγορία 75 ουσιών που περιέχουν χλώριο. Συχνά στην ίδια κατηγορία κατατάσσονται και άλλες συγγενείς ουσίες όπως είναι τα PCBs (κλωφέν) και τα φουράνια. Οι διοξίνες αποτελούν επικίνδυνο παραπροϊόν διαφόρων διεργασιών, στις οποίες εμπλέκεται το χλώριο και δεν αποτελούν κάποιο χρήσιμο προϊόν της χημικής βιομηχανίας. Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι η καύση των σκουπιδιών ή αποβλήτων στα οποία περιέχεται χλώριο, έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση σημαντικών ποσοτήτων διοξινών οι οποίες απειλούν το περιβάλλον και την υγεία.(Πηγή: Κουτσομηνάς, 2011)

Η παρουσία του χλωρίου στα απορρίμματα που αποτελούνται από πλαστικά PVC είναι η βασική αιτία για την έκλυση διοξινών από την καύση των σκουπιδιών. Όπως είναι γνωστό κάθε χρόνο στις χωματερές καταλήγουν τόνοι πλαστικών PVC (φιάλες νερού, σωλήνες, δάπεδα, καλώδια, μουσαμάδες, κ.λπ.). Επιπροσθέτως, η φυσιολογική φθορά του PVC που καταλήγει στις χωματερές, έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση κυρίως τοξικών μετάλλων και διάφορων πλαστικοποιητών, όπως απέδειξαν πρόσφατες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι χωματερές, παρόλα αυτά, εκτός από το έδαφος ρυπαίνουν και τον αέρα. Τα αέρια απόβλητα μιας χωματερές έχουν ως κύρια συστατικά το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα ενώ στις περιπτώσεις χωματερών που καίγονται ανεξέλεγκτα παράγονται ακόμα διοξίνες και μονοξείδιο του άνθρακα. Αν λάβει υπόψη κανείς ότι το μεθάνιο επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου 21 φορές περισσότερο σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα, τότε γίνεται κατανοητό ότι η ανεξέλεγκτη αυτή έκκλυση αερίων έχει σοβαρές επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή (Πηγή: www.ecocity.gr, 2014)

Στον πίνακα 5 δίνεται η σύσταση αερίων των χώρων διάθεσης απορριμμάτων.

Πίνακας 6 Σύσταση αερίων των χώρων διάθεσης απορριμμάτων

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
Μεθάνιο	0-85 Vol%
Διοξείδιο του άνθρακα	0-88 Vol%
Μονοξείδιο του άνθρακα	2,8 Vol%
Αμμώνια	0-0,65 ppm
Υδρογόνο	0-3,6 Vol%
Οξυγόνο	0-31,6 Vol%
Άζωτο	0-82,5 Vol%
Υδροθείο	0-70 ppm
Ακεταλδεΐδη	150 ppm
Αιθυλομερκαπτάνη	0-120 ppm
Ακετόνη	100 ppm
Βενζόλιο	0,8 Vol%
Αργό	0,01 Vol%
Επτάνιο	0,45 Vol%
Νονάνιο	0,09 Vol%

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός ΧΥΤΑ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων σχετίζονται με:

- Παραγωγή διασταλαζόντων υγρών και πιθανή ρύπανση των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων και του εδάφους
- Ρύπανση επιφανειακών νερών
- Εκπομπή αερίων (CH₄, CO₂, SO₂, NH₃, H₂S κ.ά)
- Εμφάνιση διαφόρων ζωικών ειδών (ποντίκια, έντομα, πτηνά)
- Επιπτώσεις στην πανίδα και ειδικά σε ευαίσθητα φυτά και δένδρα
- Αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και αισθητική όχληση
- Δυσοσμία, Σκόνη, Διασπορά μικρών αντικειμένων με τον άνεμο
- Θόρυβοι από τη λειτουργία μηχανημάτων μεταφοράς και συμπίεσης
- Κίνδυνοι ανάφλεξης
- Κίνδυνος κατολίθωσης
- Κίνδυνος καθίζησης και διάβρωσης του υλικού επικάλυψης.

Για να κατανοηθούν οι μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον αναφέρουμε ότι, η αυτανάφλεξη της χωματερής στην περιοχή Ταγαράδων Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο του 2006, είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξινών στο περιβάλλον, που ανιχνεύθηκαν στο έδαφος και τα ζώα σε απόσταση 3-5 km για χρονικό διάστημα 10-15 ημερών.

Παραγωγή στραγγισμάτων

Τα στραγγίσματα ή εκκρίματα ή διασταλάζοντα υγρά (leachate) παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων και τον εμπλουτισμό τους με νερό από τη φυσική υγρασία των απορριμμάτων και την πιθανή διήθηση νερού βροχής. Η παραγωγή στραγγίσματος (απόπλυμα) είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς χημικών και βιοχημικών διεργασιών, κυριότερες των οποίων είναι η διάλυση των ευδιάλυτων αλάτων και η αποδόμηση του οργανικού υλικού.

Η παρουσία κατιόντων Ca, Mg, Na, K οφείλεται στη διάλυση χλωριούχων και θειούχων αλάτων των στοιχείων αυτών. Επίσης συνεισφέρει σημαντικά και η διάλυση ορυκτών από το υλικό επικάλυψης, το οποίο περιέχει συνήθως αργιλικά ορυκτά και ανθρακικό ασβέστιο.

Τα στοιχεία Fe, Mn, Al και Zn προέρχονται από τη μερική διάλυση των μεταλλικών αντικειμένων από το ισχυρά διαβρωτικό στραγγίσμα. Σε μικρές συγκεντρώσεις απαντώνται τα μέταλλα Cu, Ni, Co, Cr, Cd και Hg. Οι ΧΥΤΑ θεωρούνται ως σημειακές πηγές ρύπανσης. Η διαφυγή του στραγγίσματος από τον χώρο απόθεσης έχει ως αποτέλεσμα την κίνησή του αρχικά κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη και στη συνέχεια την εισαγωγή του στην κορεσμένη ζώνη, δημιουργώντας το πλούμιο ρύπανσης. Η κίνηση του στραγγίσματος στην κορεσμένη ζώνη καθορίζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα και την υδραυλική κλίση. Το σχήμα και η έκταση του πλούμιου ρύπανσης από μια χωματερή φαίνεται στο .

Επιπλέον διεργασίες που επηρεάζουν τη μεταφορά των ρύπων είναι: η διάχυση, η υδροδυναμική διασπορά, η ιοντοανταλλαγή, η προσρόφηση, η διάλυση και η απόθεση ορυκτών, η οξειδωση και αναγωγή, οι αντιδράσεις οξέων και βάσεων και οι βιοχημικές αντιδράσεις. Η υψηλή συγκέντρωση Cl-είναι ένδειξη της παρουσίας στραγγισμάτων στο υπόγειο νερό.

Ο έλεγχος διαρροής των στραγγισμάτων γίνεται σε κατάλληλες θέσεις (γεωτρήσεις) που προκύπτουν από την υδρογεωλογική έρευνα. Οι παράμετροι ελέγχου είναι: pH, BOD₅, COD, SO₄, NH₄-N, Cl, F, TOC, αρσενικό, οργανικό N, φαινόλες, φωσφορικά, βαρέα μέταλλα και υδρογονάνθρακες. Η παρακολούθηση της ποιοτικής σύστασης των στραγγισμάτων γίνεται ανά τρίμηνο στη φάση λειτουργίας. Επίσης η στάθμη των υπόγειων υδάτων πρέπει να παρακολουθείται ανά εξάμηνο στη φάση λειτουργίας. Τα στραγγίσματα έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (υψηλές τιμές BOD, TOC) και αποτελούν πιθανή πηγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτείται στεγανοποίηση του πυθμένα του ΧΥΤΑ και κατασκευή δικτύου στραγγιστηρίων για την απομάκρυνση των στραγγισμάτων. Το σύστημα συλλογής κατασκευάζεται πάνω από τον στεγανό πυθμένα του ΧΥΤΑ, διαμέσου του

οποίου τα στραγγίσματα κινούνται με ελεύθερη ροή και καταλήγουν σε δεξαμενή αποθήκευσης στραγγισμάτων, κατάντη του ΧΥΤΑ.

Για την αποφυγή επιφανειακών εισροών στο χώρο του ΧΥΤΑ απαιτείται η κατασκευή περιμετρικής αποστράγγισης, καθώς και αγωγών για την απομάκρυνση των ομβρίων. Τα συλλεγόμενα όμβρια διατίθενται σε ειδικά κατασκευασμένη δεξαμενή κατάντη του χώρου απόθεσης ή σε κατάλληλο αποδέκτη που θα κριθεί κατάλληλος. Η καθημερινή επικάλυψη των απορριμμάτων μειώνει τον όγκο του νερού που κατεισδύει και συνεπώς τον όγκο των στραγγισμάτων. Τα στραγγίσματα μετά τη συλλογή τους οδηγούνται σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού για επεξεργασία.

1.9 Αναγκαιότητα ορθής διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Η παραγωγή αποβλήτων είναι στοιχείο της καθημερινής ζωής όλων των πολιτών . Από το σύνολο των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων προκύπτουν απόβλητα , δηλαδή συμπυκνωμένη εργασία , ενέργεια και φυσικοί πόροι, υπό την μορφή προϊόντων που εξάντλησαν τον κύκλο ζωής τους. Όμως η εξάντληση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος σημαίνει ότι απώλεσε την αξία του στη συγκεκριμένη μορφή- οι φυσικοί πόροι , η ενέργεια και η εργασία που απαιτήθηκαν για να κατασκευαστεί το συγκεκριμένο προϊόν εξακολουθούν να είναι συμπυκνωμένα εντός του αποβλήτου.

Στον πυρήνα της ορθής διαχείρισης των βιοαποβλήτων βρίσκονται οι ακόλουθες απαιτήσεις:

- Μείωσης της ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων
- Αύξησης της επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών ή/ και ενέργειας
- Δραστικής μείωσης των βιοαποβλήτων που οδηγούνται προς ταφή

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα στάδια διαχείρισης των βιοαποβλήτων και στις υφιστάμενες μεθόδους διαχείρισης αυτών. Πέραν της πρόληψης η οποία βρίσκεται στην κορυφή της πυραμίδας της ιεράρχησης των στόχων της ΕΕ και κατ' επέκταση της Ελλάδας, οι κυριότερες πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων είναι η συλλογή και μεταφορά με πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική μέθοδο σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο τη διαλογή στη πηγή, η επεξεργασία με βιολογικές μεθόδους (κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση) ,ή με θερμικές μεθόδους (πχ. αποτέφρωση) και η τελική διάθεση (ασφαλής διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής).

Τα περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τις εφαρμοζόμενες πρακτικές ποικίλουν και συνδέονται άμεσα από τις κατά τόπους συνθήκες όπως η πληθυσμιακή πυκνότητα, οι υποδομές, οι κλιματικές συνθήκες καθώς και οι αγορές στις οποίες μπορούν να διατεθούν τα προϊόντα που προκύπτουν ανά είδος διεργασίας.

2.1 Στάδιο Συλλογής και Μεταφοράς 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.

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)

2.1.1 Κατηγορίες Συστημάτων Διαλογής στην Πηγή

Για την κατηγοριοποίηση των συστημάτων διαλογής στην πηγή μελετώνται οι εξής παράμετροι:

- Ο αριθμός των υλικών που προδιαλέγονται, συλλέγονται και ανακτώνται από τις πηγές παραγωγής τους. Έτσι διακρίνονται οι δύο ακόλουθες περιπτώσεις.
 - Χωριστή συλλογή ενός υλικού
 - Χωριστή ή μη χωριστή συλλογή τουλάχιστον δύο τύπων υλικών

- Ο τρόπος οργάνωσης της συλλογής των υλικών από τις πηγές παραγωγής τους . Οι πηγές αυτές αφορούν κυρίως σε κατοικίες και έτσι η μεγαλύτερη σύσταση τους αποτελούν συστατικά των ΑΣΑ. Διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:
 - Συλλογή με τη μέθοδο ‘Πόρτα – Πόρτα’ (Door to Door Collection),
 - Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών (Curbside Collection),
 - Συγκέντρωση προδιαλεγμένων υλικών σε Κέντρα Συλλογής (Collection at ‘Green’ Points or ‘Bring’ Systems),
 - Συνδυασμό δύο ή περισσότερων κατηγοριών
- Συλλογή υλικών από πηγές που αποτελούν ειδικές κατηγορίες πηγών προέλευσης όπως βιομηχανικές – βιοτεχνικές μονάδες στις οποίες παράγονται απόβλητα από υλικά που προσομοιάζουν στα ΑΣΑ (π.χ. παραγωγή scrap από επεξεργασία μετάλλων), χώρους μαζικής σίτισης (π.χ. εστιατόρια, ξενοδοχεία κ.ά.), εμπορικά καταστήματα (π.χ. παραγωγή χάρτινων συσκευασιών κ.ά.).
- Συλλογή υλικών που από πηγές που αποτελούνται από ειδικές πληθυσμιακές ομάδες όπως σχολεία, φυλακές, στρατόπεδα, χώρους άθλησης, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια κ.ά..

2.1.1.1. Χωριστή Συλλογή ενός Τύπου Υλικού

Αυτή η μέθοδος εστιάζει στην ανάκτηση ενός μόνο υλικού σε ειδικούς κάδους που χρησιμοποιούνται ως Μέσα Προσωρινής Αποθήκευσης (ΜΠΑ). Η αποκομιδή του υλικού από τους κάδους επιτυγχάνεται μηχανικά. Με βάση τις ανωτέρω παραμέτρους, ο τύπος

υλικού – στόχου που συνηθέστερα συλλέγεται αφορά σε:

- Απόβλητα από γυαλί.
- Απόβλητα από χαρτί, χαρτόνι ή πλαστικό ή μέταλλο
- Τροφικά Απορρίμματα
- ‘Πράσινα’ απορρίμματα.

Στα πλαίσια της μεθόδου χωριστής συλλογής ενός υλικού εντάσσεται και η διαλογή και επεξεργασία στην πηγή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, ή εναλλακτικά, η οικιακή κομποστοποίηση καθώς ο κάτοικος διαχωρίζει στην πηγή το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ που συντίθεται από τροφικά απορρίμματα και από ποσότητες ‘πράσινων’ απορριμμάτων. Έπειτα διοχετεύει τις ποσότητες αυτές σε ειδικά διαμορφωμένο κάδο εντός του οποίου τελούνται οι

διεργασίες αερόβιας αποδόμησης που μετασχηματίζουν το οργανικό φορτίο σε αξιοποιήσιμο τελικό προϊόν (compost).

2.1.1.2 Χωριστή, ή Μη Χωριστή Συλλογή Τουλάχιστον Δύο Τύπων Υλικών

Κατά την περίπτωση της χωριστής συλλογής δύο ή παραπάνω ρευμάτων, κάθε υλικό μεταφέρεται σε ξεχωριστό κάδο διαφορετικού χρώματος. Ως αποτέλεσμα οι κάδοι είναι τουλάχιστον τριών τύπων, συμπεριλαμβανομένου και αυτού που αφορά στο ρεύμα των σύμμεικτων ΑΣΑ. Κατά την περίπτωση μη χωριστής συλλογής τουλάχιστον δύο τύπων υλικών, τα ρεύματα των διαχωρισθέντων υλικών – στόχων είναι πιθανό να συλλέγονται ανάμικτα σε ένα κάδο. Η δυνατότητα ανάμιξης δύο ή περισσότερων υλικών σε ένα κάδο εξαρτώνται συνήθως από τις διαδικασίες της μετέπειτα επεξεργασίας.

2.1.1.3. Συλλογή πόρτα – πόρτα (*Door-to-door collection*)

Η συγκεκριμένη μέθοδος αφορά στην τοποθέτηση των βιοαποβλήτων σε ειδικούς σάκους με κατάλληλη σήμανση, ή σε τελάρα, ή σε κάδους μηχανικής αποκομιδής, ή σε δέματα ανά νοικοκυριό ή ανά πολυκατοικία: Οι συγκεκριμένες ενέργειες πρέπει να γίνονται από τους πολίτες εθελοντικά και να έχουν ως στόχο τη διευκόλυνση του προσωπικού συλλογής το οποίο εκφορτώνει μηχανικά ή χειρονακτικά τα βιοαπόβλητα στα φορτηγά συλλογής. (Πηγή;Athens Biowaste, 2014)

Βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος συλλογής, το οποίο καθορίζει και το κόστος συλλογής είναι το αν θα συλλέγονται μαζί στον ίδιο κάδο τα απόβλητα τροφών και τα απόβλητα κήπου.

Για την επίτευξη όσο του δυνατό καθαρότερου οργανικού κλάσματος στην περίπτωση της συλλογής πόρτα πόρτα, καθοριστικό ρόλο παίζουν οι πρακτικές παράμετροι του συστήματος. Οι στεγανές διαφάνειες και οι βιοδιασπόμενες σακούλες μπορεί να ενθαρρύνουν τα νοικοκυριά να υιοθετήσουν τα συστήματα διαλογής στη πηγή. Η διαφάνεια τους βοηθάει να αντιληφθούν τι πετάνε μέσα και η στεγανότητα τους επιτρέπει την αποκομιδή ακόμα και των σχετικά υγρών αποβλήτων της κουζίνας. Εφόσον χρησιμοποιούνται βιοδιασπόμενες σακούλες είναι δυνατό να απορρίπτονται και να επεξεργάζονται μαζί με το περιεχόμενό τους. (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2012)

2.1.1.4. Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών (*curbside collection*)

Στην περίπτωση της μεθόδου αυτής, οι κάτοικοι καλούνται να εφαρμόσουν τη διαλογή των βιοαποβλήτων σε ειδικά διαμορφωμένους κάδους οι οποίοι τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις του οικιστικού ιστού. Η συλλογή των βιοαποβλήτων γίνεται με παρόμοιο τρόπο όπως ήδη εφαρμόζεται με τα απορριμματοφόρα για τη συλλογή των αστικών στερεών αποβλήτων.



Εικόνα 4 Καφέ κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων

(Athens Biowaste, 2014)

2.1.1.5. Συγκέντρωση Διαχωρισμένων Υλικών σε Κέντρα Συλλογής

Πρόκειται για εγκαταστάσεις όπου το κοινό με δική του πρωτοβουλία εναποθέτει σε ειδικά ΜΠΑ μία ή περισσότερες ομάδες υλικών

Πρέπει, όμως, να σημειωθεί ότι με την εφαρμογή της διαλογής στην πηγή δε λύνεται οριστικά το πρόβλημα της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων, αλλά απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος, ο οποίος θα περιλαμβάνει την εφαρμογή και ενσωμάτωση άλλων μεθόδων και τεχνικών διαχείρισης παράλληλα με τη διαλογή στην πηγή. Ωστόσο για ειδικά ρεύματα ΑΣΑ , όπως μεταχειρισμένα ελαστικά, απόβλητα ηλεκτρονικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού κ.ά. , υπάρχει η δυνατότητα κατόπιν συνεννόησης , της παραλαβής από μια ή περισσότερες κατοικίες ποσότητες των εν λόγω ρευμάτων και τις οδηγούν στο αντίστοιχο κέντρο συλλογής.

2.1.1.6. Συνδυασμό δύο ή περισσότερων κατηγοριών

Υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των προηγούμενων μεθόδων για επίτευξη βέλτιστου αποτελέσματος. Ειδικότερα, προκειμένου για εφαρμογή συστήματος ΔσΠ σε περιοχές όπου υπάρχουν διακυμάνσεις στην πληθυσμιακή πυκνότητα του οικιστικού ιστού, η συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών συνδυάζεται με τη μέθοδο 'πόρτα – πόρτα'

2.1.2. Διαλογή στην Πηγή - Προϋπόθεση για αποδοτικότερη κομποστοποίηση

Είναι εύλογο ότι τα μη βιοαποδομήσιμα υλικά που εισέρχονται σε μια μονάδα κομποστοποίησης θα ληφθούν αναλλοίωτα στην έξοδο της. Στην περίπτωση των αστικών αποβλήτων τέτοια υλικά περιλαμβάνουν προσμίξεις ξένων σωμάτων, όπως γυαλί και πλαστικό φιλμ, αλλά και μη βιοδιασπάσιμους ρύπους (βαρέα μέταλλα, εμμένοντες οργανικούς ρύπους - POP8, φάρμακα), μη ορατούς μακροσκοπικά και μικροσκοπικά, που ανιχνεύονται όμως στο τελικό προϊόν (κόμποστ), υποβαθμίζοντας την αξία του και περιορίζοντας τις δυνατότητες χρήσης του. Συνεπώς η καθαρότητα των υλικών εισόδου καθορίζει αναπόφευκτα την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η μόνη ασφαλής και ταυτόχρονα οικονομική δυνατότητα για να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα στο τελικό προϊόν είναι η ΔΙΑΛΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ (ΔσΠ) των βιοαποδομήσιμων υλικών. Χωρίς ΔσΠ θα πρέπει οι μονάδες να διαθέτουν ακριβές υποδομές προεπεξεργασίας - επεξεργασίας για να επιτύχουν την καθαρότητα των υλικών εισόδου, χωρίς να μπορούν εύκολα να επιτύχουν υψηλή καθαρότητα του τελικού προϊόντος (κόμποστ).

Η ΔσΠ είναι η καλύτερη επιλογή. Όμως ποια προβλήματα μπορεί να δημιουργηθούν και πως αντιμετωπίζονται; Έτσι, σε σχέση με την τοποθέτηση σε κατοικημένες περιοχές ενός ξεχωριστού κάδου για τα οικιακά οργανικά θα πρέπει να απαντηθούν τα κάτωθι ερωτήματα:

Το αρχικό κόστος για την κάλυψη όλης της Ελλάδας με ένα επιπλέον κάδο για τα οργανικά εκτιμάται σε περίπου 15-17 εκατομμύρια € και θα αντισταθμιστεί από τους ΟΤΑ τα αμέσως επόμενα χρόνια από το μειωμένο κόστος απόκτησης του κάδου για τα απορρίμματα. Επίσης, μπορεί το κόστος προμήθειας των κάδων να συμπεριληφθεί στο συνολικό κόστος δημιουργίας των μονάδων κομποστοποίησης σε μία περιοχή και να καλυφθεί από τους προμηθευτές της μονάδας κομποστοποίησης.

Η πρόταση της Οικολογικής Εταιρείας Ανακύκλωσης και άλλων φορέων για 4 κάδους είναι εφικτή διότι οι 4 κάδοι θα έχουν πολύ μικρότερο μέγεθος από 4 σημερινούς κάδους απορριμμάτων. Οι κάδοι μπορούν να τοποθετηθούν α) είτε στο οδόστρωμα σε ειδικό χώρο που θα προσδιορίζεται από 2 μπάρες σχήματος Π κάθετα στην άκρη του δρόμου, οπότε θα καταλαμβάνουν μία θέση πάρκιν, β) είτε μέσα στα όρια υπαρχόντων ή νέων κτιρίων εάν υπάρξει πολεοδομική ρύθμιση. Το παράδειγμα των 120.000 μπλε κάδων της ανακύκλωσης, που τοποθετήθηκαν σε λίγα χρόνια σε όλη την Ελλάδα μας δείχνει ότι είναι εφικτό και για τη ΔσΠ των οργανικών.

Τα απορρίμματα εάν μαζεύονται από δύο κάδους ή από ένα κάδο δεν αλλάζει η ποσότητά τους, οπότε τα δρομολόγια που θα απαιτούνται θα είναι ακριβώς τα ίδια και άρα και το κόστος αποκομιδής δεν θα διαφοροποιηθεί σημαντικά. Ενδέχεται λόγω περισσότερων στάσεων κατά την

αποκομιδή να αυξηθεί κατά 5-10% ο συνολικός χρόνος της. Αντίθετα το κόστος μεταφοράς μπορεί να μειωθεί διότι τα οργανικά θα μεταφέρονται σε οργανωμένες μονάδες με πολύ καλύτερες συνθήκες από ότι στους ΧΥΤΑ, που χαρακτηρίζονται από καθυστερήσεις λόγω μπουτιλιαρίσματος και κακές συνθήκες των οδών πρόσβασης. Αθροιστικά, ο συνολικός χρόνος (άρα και το κόστος) αποκομιδής και μεταφοράς δεν θα διαφοροποιηθεί σημαντικά, αντίθετα θα μπορούσε μέχρι και να μειωθεί, εξαρτώμενος από την θέση της μονάδας κομποστοποίησης σε σχέση με τον ΧΥΤΑ της κάθε περιοχής. (Πηγή: Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, 2014)

2.1.3. Η σπουδαιότητα της διαλογής στην πηγή των βιοαποβλήτων

Θέτοντας το φιλόδοξο στόχο της δημιουργίας της «Ευρωπαϊκής κοινωνίας της ανακύκλωσης, με υψηλό επίπεδο εξοικονόμησης φυσικών πόρων», η Ευρωπαϊκή Οδηγία 98/2008/ΕΚ ζητάει από κάθε Ευρωπαϊκή χώρα να εφαρμόσει μια συστηματική προσέγγιση αναφορικά με τη συλλογή και διαχείριση των αποβλήτων. Θέτει επίσης κι έναν ποσοτικό στόχο: μέχρι το 2020, τουλάχιστον το 50% των δημοτικών στερεών αποβλήτων πρέπει να επαναχρησιμοποιείται ή να ανακυκλώνεται.

Ακόμα κι αν η Οδηγία δεν απαιτούσε τη διαλογή των βιοαποβλήτων στην πηγή, σύντομα έγινε ξεκάθαρο ότι ο στόχος δε θα μπορεί να επιτευχθεί χωρίς αυτήν: μια μέση ευρωπαϊκή σακούλα σκουπιδιών περιέχει 35% βιοαπόβλητα. Αυτό το ποσοστό είναι ακόμη υψηλότερο σε χώρες του νότου όπως η Ελλάδα, η Ιταλία και η Ισπανία. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Διαχείρισης Αποβλήτων της Καταλονίας, η διαλογή στην πηγή των ανακυκλώσιμων υλικών συσκευασίας μπορεί να φτάσει συνολικά στο 20%. Όταν τα βιοαπόβλητα συλλέγονται με διαλογή στην πηγή, σε ξεχωριστούς κοινόχρηστους κάδους, επιτυγχάνεται 35% ανάκτηση. Άρα, πώς θα επιτευχθεί το 50%; Ο μόνος τρόπος, αναφέρει η Υπηρεσία, είναι ένα εντατικό και εκτεταμένο πρόγραμμα διαλογής στην πηγή, όπως η συλλογή πόρτα-πόρτα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η Υπηρεσία κατέληξε σε αυτό το συμπέρασμα στηριζόμενη σε δεδομένα 725 δήμων, από τους 947, που ήδη εφαρμόζουν διαλογή βιοαποβλήτων στην πηγή.

Η διαλογή των βιοαποβλήτων στην πηγή δεν είναι μόνο θέμα νομικής υποχρέωσης είναι επίσης ένα θέμα περιβαλλοντικό και οικονομικό. Οι ισχυρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που απορρέουν από τη διαχείριση των απορριμμάτων, όταν αυτά θάβονται, είναι οι εκπομπές μεθανίου στην ατμόσφαιρα, η παραγωγή στραγγισμάτων στο έδαφος και η χρήση γης. Η επονομαζόμενη Οδηγία για τους ΧΥΤΑ (1999/31/ΕΚ) απευθύνεται σε αυτά τα προβλήματα και θέτει την προοδευτική μείωση της ποσότητας βιοαποδομήσιμων υλικών, που οδηγούνται προς ταφή (βιοαπόβλητα και χαρτί). Εν τούτοις, τα βιοαπόβλητα πρέπει να θεωρούνται φυσικός πόρος, επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή κόμποστ, ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Κόμποστ άριστης ποιότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στη γεωργία, προσφέροντας υψηλές αποδόσεις. Για την παραγωγή καλού κόμποστ, η διαλογή στην πηγή είναι προαπαιτούμενη, επειδή μόνο τότε οι επιμολύνσεις, από μη οργανικά υλικά, είναι σε χαμηλά ποσοστά. Οι κλασικές πλαστικές σακούλες απορριμμάτων, που κατασκευάζονται κυρίως από πολυαιθυλένιο, αποτελούν ανεπιθύμητο υπόλειμμα, που πρέπει να απομακρύνεται από τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Αντ' αυτού, οι βιοαποδομήσιμες σακούλες απορριμμάτων συμπεριφέρονται, μέσα στη διαδικασία της κομποστοποίησης, με τον ίδιο τρόπο όπως και τα βιοαπόβλητα, μειώνοντας έτσι το κόστος επεξεργασίας, το κόστος τελικής διάθεσης του πλαστικού και τέλος, οδηγούν σε παραγωγή καλύτερου προϊόντος.

Από περιβαλλοντικής πλευράς, η χρήση του κόμποστ στη γεωργία είναι ένας τρόπος καταπολέμησης της υπερθέρμανσης του πλανήτη, αξιοποιώντας το κόμποστ ως ταμιευτήρα άνθρακα. Επιπλέον, είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος της διάβρωσης και της ερημοποίησης των εδαφών, που προκαλείται από τη χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανικές ύλες.

Όταν μια μονάδα κομποστοποίησης λειτουργεί αναερόβια, παράγει βιοαέριο, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, η οποία έχει εμπορική αξία και αποδίδει οικονομικά. Από αυτή την οπτική, όταν τα βιοαπόβλητα δε διαχειρίζονται με την καλύτερη δυνατή μέθοδο, εκτός από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα χαμένα πλεονεκτήματα από την ορθή διαχείριση.

Η εφαρμογή της διαλογής των βιοαποβλήτων στην πηγή είναι σημαντική για πολλούς λόγους. Τα περιβαλλοντικά και τα νομικά ζητήματα δεν είναι τα μόνα, παρότι είναι επείγοντα και δεν μπορούν να αγνοηθούν. Το γεγονός όμως παραμένει, ότι η συλλογή και η επεξεργασία των βιοαποβλήτων, με τον καλύτερο τρόπο, αποδίδει και οικονομικά παράγοντας ηλεκτρική και θερμική ενέργεια και άριστης ποιότητας κόμποστ. Σε αυτήν τη βάση, είναι σημαντική η προώθηση καλών πρακτικών, με μια διαχειριστική προσέγγιση από την πηγή στην πηγή, ενσωματώνοντας ολόκληρους τους κύκλους παραγωγής και κατανάλωσης. Για τη διάχυση των πλεονεκτημάτων αυτών, απαιτείται η συνεργασία αλλά και η ενίσχυση της τοπικής αυτοδιοίκησης, των ιδρυμάτων, των μονάδων επεξεργασίας και των ιδιωτών. (Πηγή: Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, 2014)

2.1.4. Πρόγραμμα Εκτροπής ΒΑΑ

Το πρόγραμμα για την εκτροπή των ΒΑΑ από την υγειονομική ταφή περιλαμβάνει την καθιέρωση δικτύων χωριστής συλλογής και την πλήρη ανάπτυξη των δικτύων επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ για την κάλυψη των αναγκών της χώρας μέχρι το τέλος του 2020.

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

(α) Δίκτυα χωριστής συλλογής

(β) Δίκτυα επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ

Τα δίκτυα επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ θα έχουν ως προτεραιότητα να εξυπηρετούν την επίτευξη του εθνικού στόχου εκτροπής των ΒΑΑ από την υγειονομική ταφή έως το 2020. Ο σχεδιασμός των δικτύων (τεχνολογικό σχήμα, δευτερογενή προϊόντα, αριθμός μονάδων, κλπ) θα είναι σύμφωνος με τις κατευθύνσεις. Ειδικότερα θα δρομολογηθούν τα παρακάτω:

- Ολοκλήρωση των υπό κατασκευή μονάδων και επιτάχυνση της υλοποίησης των προγραμματιζόμενων/σχεδιαζόμενων μονάδων επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ του υφιστάμενου σχεδιασμού.
- Ολοκλήρωση των πρόσθετων απαιτούμενων υποδομών σε μονάδες επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ

Ο πίνακας 7 περιγράφει τους στόχους των ποσοτήτων ΒΑΑ που θα εκτρέπονται από την ταφή ως το 2020.

Πίνακας 7 . Ποσοτικοποίηση στόχων εκτροπής ΒΑΑ από την ταφή το 2020. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)

	χιλ. τόνοι	%
Συνολικός στόχος εκτροπής ΒΑΑ	3.083	
<u>Επιμέρους στόχοι</u>		
<u>Δίκτυα χωριστής συλλογής</u>		
Εκτροπή από το δίκτυο βιοαποβλήτων	430	13,90%
Εκτροπή χαρτιού (συσκευασίας και έντυπο χαρτί)	842	27,30%
Σύνολο εκτροπής ΒΑΑ σε συστήματα χωριστής συλλογής	1272	41,30%
<u>Δίκτυα σύμμεικτων ΑΣΑ</u>		
Εκτροπή ΒΑΑ από σύμμικτα ΑΣΑ (επεξεργασία σε κεντρικές μονάδες)	1811	58,70%

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Ο πίνακας 8 αναλύει τις προβλέψεις σχετικά με απαιτούμενη δυναμικότητα χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2015 στις περιφέρειες της Ελλάδας .

Πίνακας 8. Απαιτούμενη δυναμικότητα χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2015. (Πηγή: ΕΠΕΡΑΑ, 2014)

2015				
Περιφέρεια	Παραγωγή βιοαποβλήτων	Χωριστή συλλογή	Περιφερειακός στόχος εκτροπής βιοαποβλήτων	% Συμμετοχή περιφέρειας στο συνολικό στόχο
Αν. Μακεδονία & Θράκη	114.800	9.900	9%	7%
Κ. Μακεδονία	384.800	19.600	5%	14%
Δ. Μακεδονία	63.100	4.400	7%	3%
Ήπειρος	39.800	5.400	14%	4%
Θεσσαλία	169.600	11.700	7%	8%
Ιόνιοι Νήσοι	60.800	4.300	7%	3%
Δυτική Ελλάδα	127.000	12.600	10%	9%
Στερεά Ελλάδα	126.500	10.700	8%	8%
Αττική	1.026.500	24.400	2%	18%
Πελοπόννησος	56.800	12.400	22%	9%
Β. Αιγαίο	33.600	4.200	13%	3%
Ν. Αιγαίο	93.700	4.300	5%	3%
Κρήτη	176.600	14.100	8%	10%
Σύνολο χώρας	2.474.000	138.000	5,60%	

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Στον πίνακα 9 αποτυπώνονται οι προβλέψεις χωριστής δυναμικότητας ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2020 στις περιφέρειες της Ελλάδας .

Πίνακας 9. Απαιτούμενη δυναμικότητα χωριστής συλλογής και ανακύκλωσης βιοαποβλήτων για το 2020. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)

2020				
Περιφέρεια	Παραγωγή βιοαποβλήτων	Χωριστή συλλογή	Περιφερειακός στόχος εκτροπής βιοαποβλήτων	% Συμμετοχή περιφέρειας στο συνολικό στόχο
Αν. Μακεδονία & Θράκη	123.400	24.000	19%	6%
Κ. Μακεδονία	413.700	28.500	7%	7%
Δ. Μακεδονία	67.800	7.000	10%	2%
Ήπειρος	42.800	36.800	86%	9%
Θεσσαλία	182.300	17.100	9%	4%
Ιόνιοι Νήσοι	65.400	13.800	21%	3%
Δυτική Ελλάδα	136.600	66.600	49%	15%
Στερεά Ελλάδα	136.600	21.100	16%	5%
Αττική	1.014.100	169.500	15%	39%
Πελοπόννησος	61.100	15.200	25%	4%
Β. Αιγαίο	36.100	5.500	15%	1%
Ν. Αιγαίο	100.700	6.200	6%	1%
Κρήτη	189.900	18.700	10%	4%
Σύνολο χώρας	2.659.900	430.000	16,20%	

2.1.4.1. Δίκτυα Συλλογής, Μεταφοράς και Διασυνοριακής Μεταφοράς

Τα δίκτυα συλλογής και μεταφοράς των ΑΣΑ καλύπτουν σήμερα το 100% της χώρας. Ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος των ΑΣΑ συλλέγεται στο κύριο ρεύμα των σύμμεικτων αποβλήτων, ενώ τα προγράμματα χωριστής συλλογής των ειδικών ρευμάτων δεν είναι επαρκώς ανεπτυγμένα. Τα δίκτυα συλλογής θα πρέπει να επανασχεδιαστούν από τους υπόχρεους φορείς, ώστε να ενσωματωθούν τα προγράμματα χωριστής συλλογής των ειδικών ρευμάτων. Η ενσωμάτωση θα επηρεάσει την συχνότητα περισυλλογής των ΑΣΑ και τους παραγόμενους όγκους ανά κάδο.

Συγκεκριμένα για τα Βιοαπόβλητα: : Οι υπόχρεοι φορείς διαχείρισης που επιλέγουν σύστημα χωριστής συλλογής προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων θα πρέπει να προχωρήσουν σε μελέτη χωροθέτησης των συλλεκτήριων κάδων, ανάλογα με το επίπεδο προώθησης του συστήματος. Σε οποιαδήποτε περίπτωση οι συλλεκτήριοι κάδοι οικιακών Βιοαποβλήτων δεν τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία από τους υπόλοιπους κάδους σύμμεικτων ΑΣΑ και αποβλήτων συσκευασίας – ΑΥ, ενώ θα πρέπει να προβλεφθούν και ιδιαίτερα σημεία συγκέντρωση ογκωδών αποβλήτων κήπων και πάρκων, ανά περιοχή, καθώς αυτά μπορούν να συλλέγονται μόνο από ανοιχτά οχήματα . Το χρονικό όριο για την ποιοτική αναβάθμιση των δικτύων περισυλλογής τίθεται το 2ο εξάμηνο του 2018. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)

2.1.5. Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού συλλογής

Για να πραγματοποιηθεί η ΔσΠ αποβλήτων τροφών και τροφίμων εύκολα μέσα στη κουζίνα κάθε νοικοκυριό πρέπει να εξοπλιστεί με (Πηγή: Athens Biowaste 2011) :

Ένα μικρό κάδο χωρητικότητας 6 με 10 λίτρων για χρήση μέσα στη κουζίνα (Η χρήση μικρού κάδου εμποδίζει τη συλλογή ογκωδών υλικών όπως μπουκάλια και συσκευασίες και οδηγεί έτσι σε υψηλότερα ποσοστά καθαρής συλλογής βιοαποβλήτων). Μια σειρά από διαφανείς σακούλες που θα τοποθετούνται μέσα στον κάδο (50 με 100 σακούλες το χρόνο κρίνονται αρκετές).



Εικόνα 5.Σακούλες χάρτινες και βιοδιασπόμενες , Athens Biowaste 2011

Όταν οι σακούλες γεμίσουν πρέπει να τοποθετούνται σε μεγάλους κάδους που θα έχουν δοθεί σε κάθε οικία με όγκο που θα ανταποκρίνεται στην αντίστοιχη παραγωγή .Συγκεκριμένα, ανάλογα με την κτηριακή υποδομή προτείνονται οι ακόλουθοι κάδοι, μεγαλύτερης χωρητικότητας:

- Μεγάλοι κάδοι (700 έως 1100 λίτρα) σε περιοχές με μονοκατοικίες και κήπους , έτσι ώστε να μειωθεί η συχνότητα συλλογής για κάθε οικία

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

- Τροχήλατοι κάδοι με χωρητικότητα από 80 έως 240 λίτρα για διαμερίσματα σε πολυώροφα κτίρια . Έτσι ένας κάδος αντιστοιχεί σε 10-20 οικογένειες , ανάλογα με τη συχνότητα συλλογής



Εικόνα 6. Τροχήλατοι κάδοι φόρτωσης ανοιγόμενοι εκ των άνω (Πηγή: Athens Biowaste 2011)

Μικρός κάδος (6 λίτρα) για εύκολο διαχωρισμό των αποβλήτων στην κουζίνα	Απορρίμματα τροφών μέσα σε στεγανές, διαφανείς σακούλες	Μεγάλος κάδος (20-40 λίτρα) για συλλογή σε μονοκατοικίες	Τροχήλατοι κάδοι για οικογένειες που διαμένουν σε διαμερίσματα και πολυώροφα κτίρια
			

Εικόνα 7 Κάδοι και σακούλες κατάλληλοι για ΔσΠ αποβλήτων τροφών και τροφίμων

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων



Εικόνα 8 Στιγμιότυπο της διαδικασίας συλλογής βιοαποβλήτων από το δρόμο

Πίνακας 10. Τιμές για εργαλεία συλλογής αποβλήτων τροφών. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014)

ΕΡΓΑΛΕΙΑ	ΟΓΚΟΣ(λίτρα)	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΗΣ (ευρώ)
Σακούλες από πολυαιθυλένιο	6,5-10	0,013-0,018
Βιοσακούλες (υλικά με βάση το καλαμπόκι- άμυλο)	6,5-10	0,03-0,04
Βιοσακούλες (χαρτί)	12-15,0	0,04-0,07
Μεμβράνες (υλικά με βάση το καλαμπόκι - άμυλο)	120-240	0,4-0,45
Μικρός κάδος	6-12,0	1,5-4
Μεγάλοι κάδοι	20-40	7,5-12
Τροχήλατοι κάδοι	80-120	20-27
Τροχήλατοι κάδοι	240	30-40
Containers	600-1100	100-150
Containers (σφραγισμένα)	5000-8000	1000-2000

2.1.6 Επιλογή οχημάτων συλλογής και μεταφοράς

Ο εξοπλισμός συλλογής και μεταφοράς αφορά στα οχήματα συλλογής – μεταφοράς (ΟΣΜ) στα οποία φορτώνονται μηχανικά (ανυψωτική σιαγόνα) ή χειρονακτικά οι κάδοι με τα απορρίμματα. Ορισμένοι τύποι των ΟΣΜ διαθέτουν μηχανισμό συμπίεσης. Ανάλογα με τον τύπο του μηχανισμού συμπίεσης τα ΟΣΜ διακρίνονται σε (Πηγή: Athens Biowaste 2011):

- ΟΣΜ με διάταξη συμπίεσης τύπου ‘μύλου’.
- ΟΣΜ με διάταξη συμπίεσης τύπου ‘πρέσας’.

Στην περίπτωση εφαρμογής συστημάτων ΔσΠ ανεξάρτητα από τον τρόπο συλλογής, ο εξοπλισμός συλλογής και μεταφοράς αφορά σε:

- ΟΣΜ Αυτόματης Πλάγιας Φόρτωσης
- Δορυφορικά Οχήματα
- Γερανοφόρα ΟΣΜ Ανοικτού Τύπου
- ΟΣΜ με συμπίεση Ανοικτού Τύπου

Οι εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 9 – Εικόνα 11) περιέχουν φωτογραφίες διαφόρων τύπων οχημάτων συλλογής.



Εικόνα 9. ΟΣΜ με διάταξη συμπίεσης τύπου (α) πρέσας και (β) μύλου, Athens Biowaste 2011



Εικόνα 10. ΟΣΜ Αυτόματης Πλάγιας Φόρτωσης, Athens Biowaste 2011



Εικόνα 11 Δορυφορικά Οχήματα με δυνατότητα μηχανικής & χειρονακτικής φόρτωσης , Athens Biowaste 2011

2.1.7 Σχεδιασμός συχνότητας διαλογής

Ο σχεδιασμός της συχνότητας συλλογής των αποβλήτων εξαρτάται από την περιοχή εφαρμογής του προγράμματος διαλογής, καθώς και από την εποχή του έτους. Είναι γνωστό πως κατά την καλοκαιρινή περίοδο η συχνότητα συλλογής είναι αυξημένη σχετικά με τη χειμερινή περίοδο διότι έτσι αντιμετωπίζονται οι οχλήσεις που δημιουργούνται από την γρηγορότερη αποδόμηση του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων. Συνεπώς, η συχνότητα δρομολογίων των οχημάτων συλλογής, μπορεί να ακολουθήσει τα ακόλουθα μοτίβα.

- Τουλάχιστον 2-3 φορές την εβδομάδα (2 δρομολόγια αν είναι δυνατόν σε χωριά με μονοκατοικίες και χώρο για αποθήκευση στους κήπους)
- Έως και 4 φορές την εβδομάδα ή και συχνότερα , σε θερμές περιόδους (Ιούνιο , Ιούλιο , Αύγουστο) και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

2.1.8 Εκτίμηση κόστους υλοποίησης προγραμμάτων διαλογής στην πηγή

Το κόστος υλοποίησης ενός προγράμματος ΔσΠ περιλαμβάνει τις ακόλουθες παραμέτρους(Πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ, 2014):

- Το αρχικό κόστος επένδυσης που αφορά την αγορά του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού και το κόστος απόσβεσης του (Στόλος οχημάτων που απαιτούνται , ή χρήση του υπάρχοντος με τροποποιήσεις , χρηματοδοτική μίσθωση ή αγορά νέων οχημάτων , αγορά κάδων και εξοπλισμού)
- Αριθμός επιπλέον προσωπικού που απαιτείται
- Το κόστος λειτουργίας του προγράμματος (Συντήρηση εξοπλισμού , κάυσιμα)
- Την προβολή και τη διαφήμιση του προγράμματος
- Τα έξοδα για τη διαφήμιση του προγράμματος

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Ο πίνακας 10 παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές κόστους για την υλοποίηση συστημάτων διαλογής στην πηγή αποβλήτων τροφών και τροφίμων, ενώ ο Πίνακας 11 προσφέρει οικονομικά στοιχεία από περιπτώσεις εφαρμογής συστημάτων ΔσΠ στην Αυστρία.

Πίνακας 11. Εκτιμήσεις κόστους για την υλοποίηση συστημάτων ΔσΠ αποβλήτων τροφών και τροφίμων (Πηγή: Eurotnia , 2007)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ
Προμήθεια κάδων 10 lt	1€/κάτοικο
Σάκοι κομποστοποίησης	0,82 €/κάτοικο (Για 30 σάκκους)
Ενημερωτική εκστρατεία	1,0-5,0 €/κάτοικο
Οχήματα συλλογής	80000 €/όχημα
ΔσΠ & κομποστοποίηση	35-75 €/τόνο
ΔσΠ βιοαποβλήτων & αναερόβια επεξεργασία	80-125 €/τόνο
Σύγκριση με διάθεση σε ΧΥΤΑ & καύση	Κόστος , €/τόνο
Κόστος διάθεσης σε ΧΥΤΑ σύμμεικτων	55
Κόστος καύσης σύμμεικτων	90

Πίνακας 12 Οικονομικά στοιχεία εφαρμογής συστημάτων ΔσΠ στην Αυστρία (Eurotnia ,2007)

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ ευρώ/τόνο
Συλλογή Αποβλήτων τροφών & τροφίμων	80
Κομποστοποίηση	46
Σύνολο	126
Συλλογή Αποβλήτων κήπου	5
Κομποστοποίηση	26
Σύνολο	28

2.2. Στάδιο επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Το στάδιο στην αλυσίδα της διαχείρισης των βιοαποβλήτων που ακολουθεί αυτό της συλλογής και μεταφοράς είναι η επεξεργασία του υλικού που έχει συγκεντρωθεί. Οι βασικότερες μέθοδοι επεξεργασίας είναι η βιολογική επεξεργασία (αερόβια και αναερόβια) , η θερμική επεξεργασία (καύση , αποτέφρωση) και η οικιακή ξήρανση που έχει εφαρμοστεί σε πιλοτική κλίμακα.

2.2.1 Βιολογική επεξεργασία

2.2.1.1. Αερόβια βιολογική επεξεργασία βιοαποβλήτων (κομποστοποίηση)

Η έννοια της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια φυσική διαδικασία η οποία μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε μια πλούσια σκούρα ουσία. Αυτή η ουσία λέγεται κόμποστ ή χούμους ή εδαφοβελτιωτικό. Η κομποστοποίηση είναι ένας πολύ άμεσος και σημαντικός τρόπος ανακύκλωσης. Έχει υπολογιστεί ότι το 35% των οικιακών απορριμμάτων μπορούν να κομποστοποιηθούν.

Η λέξη κόμποστ προέρχεται από την αγγλική λέξη compost. Η λέξη compost προέρχεται από τη λατινική λέξη compositus από το ρήμα componere (com - together, μαζί + ponere - to place, τοποθετώ). Στα τέλη του 14ου αι. στη γαλλική γλώσσα εμφανίζεται η λέξη composte με την έννοια του μίγματος των φύλλων, της κοπριάς και άλλων υλικών για τη λίπανση της γης. Η λέξη compost με τη σημερινή της έννοια εμφανίζεται το 1580 στην Αγγλία. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

2.2.1.1.1. Φάσεις κομποστοποίησης

Πρώτη φάση (Λανθάνουσα). Ξεκινά από τη στιγμή που το μίγμα των ζυμώσιμων απορριμμάτων έχει τοποθετηθεί στο χώρο όπου θα γίνει η κομποστοποίηση. Διάρκει από λίγες ώρες ως μία μέρα το πολύ. Σ' αυτό το διάστημα οι μικροοργανισμοί δημιουργούν αποικίες στο μίγμα.

Δεύτερη φάση (Έντονη αύξηση θερμοκρασίας). Η θερμοκρασία ανεβαίνει πολύ σε σύντομο χρονικό διάστημα. Έντονη αναπνοή και έκλυση διοξειδίου του άνθρακα.

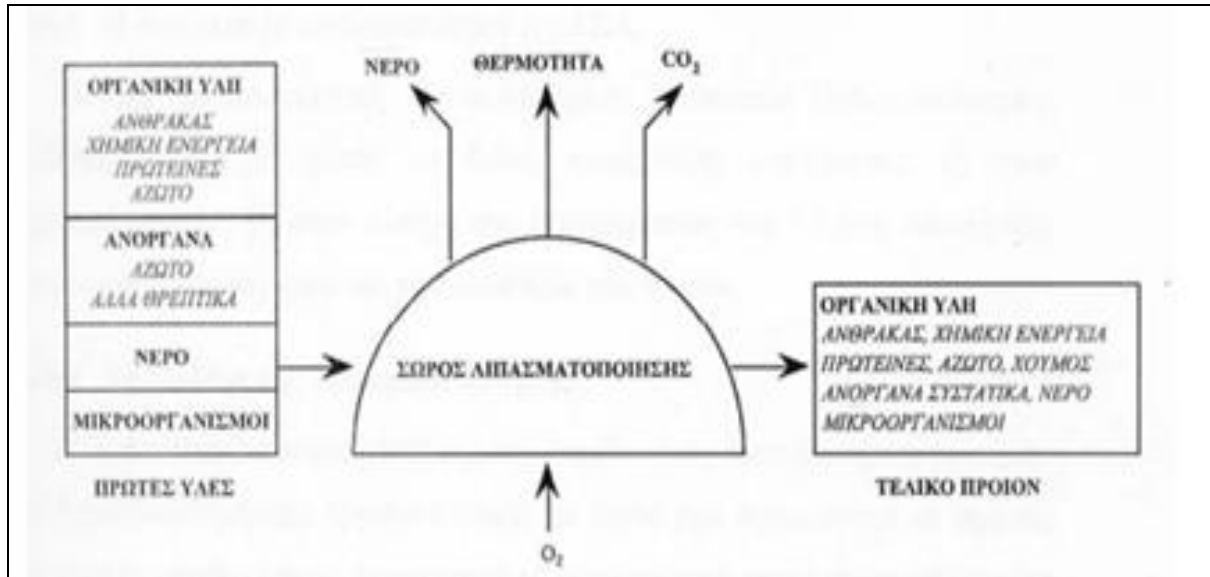
Τρίτη φάση (Επίσης θερμόφιλη). Υψηλή θερμοκρασία, που σταδιακά μμειώνεται. Έντονη αναπνοή και έκλυση διοξειδίου του άνθρακα.

Τέταρτη φάση (Φάση ωρίμανσης). Η θερμοκρασία μειώνεται, ώσπου φτάνει αυτήν του περιβάλλοντος. Είναι δευτεροβάθμια βραδεία ζύμωση, που οδηγεί στο σχηματισμό χρήσιμων χουμικών κολλοειδών και τελικά χούμους.

2.2.1.1.2. Χρονική διάρκεια και έλεγχος των φάσεων

Στις μονάδες κομποστοποίησης χρειάζεται 2-6 εβδομάδες για τα πρώτα στάδια (ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται) και άλλες 7-8 (ή και περισσότερες, ανάλογα πάλι με τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις και τον καιρό) για το στάδιο της ωρίμανσης. Η παρακολούθηση της εξέλιξης της ζύμωσης γίνεται συνήθως με την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, του pH αλλά

επίσης και με τη μέτρηση του λόγου C/N και άλλων βιοχημικών παραμέτρων. (Πηγή: Βλοντάκης , 2007)



Διάγραμμα 7. Σχηματική παράσταση διαδικασιών κομποστοποίησης

(Πηγή: Εφημερίδα Journal of the air & waste management association , 2005)

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την κομποστοποίηση αποτελούν ένα σύνολο μεγεθών που υπόκεινται σε μεταβολές κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας και δύναται, τις περισσότερες περιπτώσεις, να ρυθμιστούν από εξωτερικές παρεμβάσεις με στόχο την αύξηση του ρυθμού βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Αυτά τα μεγέθη ελέγχου και ρύθμισης των διεργασιών της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία , η υγρασία , το pH , η ηλεκτρική αγωγιμότητα , το άζωτο ο άνθρακας , τα μακροστοιχεία και βαρέα μέταλλα καθώς και η φυτοτοξικότητα και οι οποίες θα περιγραφούν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, ενότητα 3.3.

2.2.1.1.3. Πρόσθετα κομποστοποίησης

Για να υπερνικηθούν οι δυσκολίες που αφορούν τον αερισμό του υποστρώματος και τη μεταφοράς οξυγόνου σε όλα τα στρώματα, καθώς επίσης και για να αυξηθούν τα ποσοστά άνθρακα και αζώτου στο υπόστρωμα, γίνεται προσθήκη κάποιων υλικών με χαρακτηριστική δομή και σύνθεση που συντελούν στην επιτάχυνση της διεργασίας.

Ο όρος πρόσθετο αναφέρεται στο υλικό εκείνο, το οποίο προστίθεται στο υπόστρωμα τροφοδοσίας, με στόχο τη μείωση του ειδικού βάρους και την αύξηση του πορώδους, ώστε να διευκολύνεται ο αερισμός ή η αύξηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών υλικών στο

μείγμα. Στα πρόσθετα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται ορυκτά όπως ο ζεόλιθος, ο βερμικουλίτης και ο περλίτης αλλά και ροκανίδι, πριονίδι, άχυρο, τύρφη, πυρηνόξυλο, κοπριά, και ώριμο κόμποστ. Το ιδανικό «πρόσθετο» πρέπει να είναι ξηρό, να έχει μικρό ειδικό βάρος και να βιοαποδομείται σχετικά εύκολα.

Γενικά για τον Περλίτη

Ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα του οποίου η γενεσιουργός αιτία είναι η όξινη λαβα , που εγχύθηκε επιφανειακά ή υποθαλάσσια κατά την διάρκεια ηφαιστειακών δραστηριοτήτων. Η τελευταία στην συνέχεια ψύχθηκε και στερεοποιήθηκε ταχύτατα , υπό συνθήκες που δεν επέτρεψαν στα άτομα του ορυκτού να τοποθετηθούν σε σχηματισμούς κρυσταλλικού πλέγματος , γεγονός που έδωσε τελικά στον περλίτη την υαλώδη μορφή του.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επέδρασε για τον σχηματισμό του περλίτη ήταν η παρουσία νερού και διαφόρων αερίων που παγιδεύτηκαν στην μάζα του , την στιγμή της ψύξης και στερεοποίησης του. Το όνομα προέρχεται από την υφή του που χαρακτηρίζεται από την παρουσία κόκκων, θυμίζοντας μικρά μαργαριτάρια (πέρλες).

Πετρογραφικά ο περλίτης είναι ένα ηφαιστειογενές υλικό. Έχει χαρακτηριστική περλιτική δομή που αποτελείται από ομόκεντρα σπασίματα τα οποία μοιάζουν με πέρλες που είναι τοποθετημένες σε όλο το γυαλί, άλλοτε κυκλικά και άλλοτε σε πολυγωνικούς σχηματισμούς. Αυτό είναι και το έντονο χαρακτηριστικό του περλίτη . Τα προαναφερθέντα σπασίματα είναι φαινόμενο που παρατηρείται σε όξινα γυαλιά. Η χημική του σύνθεση είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 13.Χημική σύσταση του περλίτη

<i>SiO₂</i>	71 – 75%
<i>Al₂O₃</i>	12,5 – 13,8%
<i>Na₂O</i>	3,8 – 4,2%
<i>K₂O</i>	3,3 – 4,7%
<i>CaO</i>	0,8 – 1,5%
<i>MgO</i>	0,4 – 0,7%
<i>Fe₂O₃</i>	0,7 – 1,5%

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

<i>S and SO₃</i>	0 %
<i>L. O. I.</i>	2,2 – 4,5%

Το υλικό το οποίο εξορύσσεται αρχικά αλέθεται, διαχωρίζεται και στη συνέχεια υφίσταται θερμική επεξεργασία στους 900-1000 °C. Κατά τη διάρκεια αυτής της επεξεργασίας οι μικρές ποσότητες νερού που υπάρχουν στα μικροτεμάχια του ακατέργαστου περλίτη μετατρέπονται σε ατμό με αποτέλεσμα τη διόγκωση του αρχικού όγκου κατά 4-20 φορές και τη μετατροπή του σε σπογγώδεις κόκκους πολύ μικρού βάρους. Η υψηλή θερμοκρασία της επεξεργασίας αυτής έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση ενός αποστειρωμένου υλικού. Η επιφάνεια του κάθε τεμαχίου αυξάνεται σημαντικά και οι κοιλότητες που υπάρχουν στην επιφάνειά τους απορροφούν το νερό.

Ο περλίτης είναι σχετικά ουδέτερο υλικό με pH από 7,0 – 7,5 αλλά δεν παρουσιάζει ρυθμιστική ικανότητα και επίσης δεν προσφέρει θρεπτικά στοιχεία.

Η Ελλάδα είναι η χώρα από την οποία εξορύσσονται οι μεγαλύτερες ποσότητες σε παγκόσμιο επίπεδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα έτη 2003 και το 2004 από το σύνολο των εξαγωγών κατεργασμένου περλίτη της Ελλάδας, ο οικοδομικός τομέας (δομικά υλικά και επιχρίσματα) απορρόφησε το 58%-59%, οι γεωργικές χρήσεις (υδροπονία και παραγωγή ανθοκομικών μειγμάτων) το 28%-30% και οι άλλες χρήσεις(διηθητικά μέσα, κρυογενείς μονώσεις) το υπόλοιπο 11%-14%. Είναι φανερό πως ο περλίτης έχει μεγάλη ποικιλία εφαρμογών αλλά αυτό που τον κάνει να υπερέχει είναι η χαμηλή του τιμή. Έτσι ο μέσος όρος τιμής του διογκωμένου περλίτη ανά τόνο, είναι για εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών €420, για πληρωτικό €411για βοηθητικό διηθήσεως €329, για ανθοκηπουρική χρήση €325, για οικοδομικό υλικό €150. Οι τιμές εξαρτώνται από την κοκκομετρία, την ποιότητα και την εφαρμογή. Η τιμή του ακατέργαστου περλίτη είναι περίπου 320 ευρώ/τόνο, ενώ ένας σάκος κατεργασμένου περλίτη κοστίζει περίπου 10-15 ευρώ. (Μαργαρίτης, 2013)



Εικόνα 12.Περλίτης

2.2.1.1.3. Πλεονεκτήματα κομποστοποίησης

Από τη φύση της μεθόδου η κομποστοποίηση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με όλες τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες, γεγονός που την καθιστά αναντικατάστατη επιλογή στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων ή αποβλήτων γενικότερα. Παρακάτω κωδικοποιούνται αυτά τα πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης.

Χρειάζεται μικρό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος σε σχέση με όλες τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες, με θετική επίδραση στα δημοτικά τέλη, που πληρώνουν οι δημότες.

Έχει μεγάλη κοινωνική αποδοχή με συνέπεια να μπορούν να ολοκληρωθούν οι σχετικές επενδύσεις γρηγορότερα από οποιεσδήποτε άλλες. και πιο κοντά στις περιοχές παραγωγής των υλικών, με αποτέλεσμα μικρότερο κόστος μεταφοράς τους.

Μπορεί να χωροθετηθεί σε μικρή απόσταση από την παραγωγή αποβλήτων, σαν αποτέλεσμα της κοινωνικής αποδοχής, με συνέπεια μικρότερο κόστος μεταφοράς τους και άρα ακόμη χαμηλότερα δημοτικά τέλη σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Έχει μικρό χρόνο κατασκευής, που μπορεί να είναι μικρότερος και από 6 μήνες, άρα αποτελεί μια άμεσα εφαρμοζόμενη επιλογή σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες που απαιτούν μερικά χρόνια κατασκευής.

Δεν παράγει επικίνδυνα – τοξικά αέρια ή καρκινογόνες ουσίες, όπως άλλες τεχνολογίες, ενώ οι όποιες εκπομπές της ή οσμές αντιμετωπίζονται εύκολα.

Δεν παράγει τοξικά στερεά κατάλοιπα, αλλά μικρές ποσότητες μη επιθυμητών αδρανών στερεών υπολειμμάτων, που μπορούν να ταφούν σε ΧΥΤΥ.

Τα οργανικά γίνονται χρήσιμο κόμποστ, που επιστέφει πάλι στη γη και την εμπλουτίζει, κλείνοντας αρμονικά και με ασφάλεια τον οικολογικό κύκλο ζωής των οργανικών υλικών καλύτερα από κάθε άλλη τεχνολογία. Έτσι, η διαχείριση των οργανικών υλικών με κομποστοποίηση είναι στην καρδιά του ορισμού της αειφορίας.

Ευνοείται και ενθαρρύνεται η μείωση και ανακύκλωση όλων των βασικών υλικών, μεταξύ των οποίων και των πλαστικών και του χαρτιού, που άλλες τεχνολογίες δεν θέλουν να ανακυκλωθούν για να είναι πιο αποδοτικές.

Η συνολική διαχείριση με κομποστοποίηση έχει καλύτερες επιδόσεις σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές και την ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με άλλες μεθόδους διαχείρισης.

Δεν υπάρχει ανάγκη να δεσμεύονται οι τοπικές κοινωνίες με μακροχρόνιες συμβάσεις ποσότητας και ποιότητας των εισερχομένων υλικών, με κίνδυνο την επιβολή χρηματικών ποινών στους ΟΤΑ και κατ' επέκταση στους δημότες.

Δημιουργεί τετραπλάσιες θέσεις εργασίας από τις άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες, όπως οι ΧΥΤΑ και η θερμική επεξεργασία. Αυτό το γεγονός στην Ελλάδα της οικονομικής κρίσης και της αυξανόμενης ανεργίας είναι πολύ σημαντικό θετικό χαρακτηριστικό.

Είναι πολύ απλούστερη τεχνολογία και με μικρή εξάρτηση από τους προμηθευτές.

Με την διαλογή στην πηγή (ΔσΠ) των οργανικών υλικών πριν την κομποστοποίηση διευκολύνεται και ενθαρρύνεται η εφαρμογή των συστημάτων Πληρώνω Όσο Πετάω (ΠΟΠ) για δικαιότερη χρέωση των δημοτικών τελών με βάση το βάρος των απορριμμάτων.

Θέλει τους δημότες ενημερωμένους και ενεργούς για να γίνεται ακόμη καλύτερη η ΔσΠ των οργανικών και να λειτουργεί αποτελεσματικότερα η μονάδα κομποστοποίησης, σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες, που θα προτιμούσαν τους πολίτες άβουλους καταναλωτές, που παράγουν απόβλητα.

2.2.1.1.4. Μειονεκτήματα κομποστοποίησης

Στα ελάχιστα μειονεκτήματα της κομποστοποίησης, που όμως είναι πολύ εύκολα αντιμετωπίσιμα, θα συμπεριλαμβάναμε τα εξής:

Καταλαμβάνει περισσότερο χώρο. Όμως υπάρχουν παντού διαθέσιμοι χώροι για την δημιουργία μονάδων κομποστοποίησης, που πολύ εύκολα θα μπορούσαν να συναινέσουν για τη χρήση αυτή οι τοπικές κοινωνίες. Ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα (π.χ. Αττική κ.α.) μπορούν να αξιοποιηθούν οι επιφάνειες των αποκατεστημένων παλαιών κυττάρων των ΧΥΤΑ των περιοχών τους.

Απαιτεί να τοποθετηθεί ξεχωριστός κάδος για την ΔσΠ των οικιακών οργανικών και να γίνεται ξεχωριστή αποκομιδή. Οι επιπλέον κάδοι για τη ΔσΠ των οργανικών στην περίπτωση της κομποστοποίησης κοστίζουν σχετικά λίγο και ταυτόχρονα μειώνουν τον όγκο και το κόστος των κάδων των σκουπιδιών - υπολειμμάτων, οπότε μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν και να αποσβεστούν γρήγορα από τους ΟΤΑ. Το παράδειγμα των 120.000 μπλε κάδων της ανακύκλωσης, που τοποθετήθηκαν σε λίγα χρόνια σε όλη την Ελλάδα, καθώς και η υλοποίηση προτάσεων για διαμόρφωση χώρου για τους κάδους μέσα στα νέα κτίρια, μας δείχνει ότι και χωροταξικά είναι εφικτή η τοποθέτηση επιπλέον μικρών κάδων για τη ΔσΠ των οργανικών. Τέλος, το κόστος μεταφοράς και αποκομιδής δεν αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση και ενδεχομένως και να μειώνεται, αφού αυξάνεται 5-10% ο χρόνος αποκομιδής, αλλά ο μεγάλος

χρόνος της μεταφοράς μειώνεται, λόγω της πιθανής μικρότερης απόστασης και των καλύτερων συνθηκών παράδοσης των υλικών στις μονάδες κομποστοποίησης.

Γίνεται φανερό ότι η κομποστοποίηση διαθέτει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνολογικές επιλογές, ενώ τα δύο «μειονεκτήματά» της είναι ελάχιστος σημασίας και εύκολα αντιμετωπίσιμα. Άρα, το συμπέρασμα είναι ότι η Κομποστοποίηση είναι η πιο ενδεδειγμένη επιλογή τεχνολογίας για την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων – απορριμμάτων. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

2.2.1.1.5. Οφέλη της οικιακής κομποστοποίησης για τους ΟΤΑ

Με την οικιακή κομποστοποίηση μειώνονται τα σκουπίδια που καταλήγουν στις χωματερές και στους ΧΥΤΑ και άρα αυξάνεται ο μέσος χρόνος ζωής τους και μειώνεται το συνολικό κόστος δημιουργίας νέων ΧΥΤΑ. Εκτιμάται ότι ένα νοικοκυριό 4 ατόμων, που κάνει συστηματικά οικιακή κομποστοποίηση, εκτρέπει από τα σκουπίδια κάθε χρόνο περίπου 450-650 κιλά οργανικά απορρίμματα και τα μετατρέπει σε κόμποστ. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί στο περίπου 30-35% των συνολικών ετήσιων απορριμμάτων του νοικοκυριού.

Ο ΟΤΑ εξοικονομεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους αφού μειώνεται το κόστος συλλογής, μεταφοράς και τελικής διάθεσης των απορριμμάτων του. Με βάση τον ένα κάδο κήπου σε τετραμελή οικογένεια, και με ένα μέσο συνολικό κόστος διαχείρισης απορριμμάτων για τον ΟΤΑ τα 200 € ανά τόνο, προκύπτει ότι ο ΟΤΑ μπορεί να εξοικονομεί 90-130 € ετησίως ανά κάδο, που λειτουργεί αποτελεσματικά.

Εάν ληφθεί υπόψη ότι ένας κάδος οικιακής κομποστοποίησης κοστίζει στους ΟΤΑ 80-100 € (μαζί με τους γαιοσκώληκες και το ΦΠΑ) γίνεται φανερό ότι συμφέρει και οικονομικά να ξεκινήσουν οι ΟΤΑ να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν ολοκληρωμένα προγράμματα οικιακής κομποστοποίησης στις περιοχές τους με παράλληλη ενημέρωση και υποστήριξη των δημοτών τους. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

2.2.1.1.6. Οφέλη της κομποστοποίησης για τους πολίτες

Ένα νοικοκυριό παράγοντας κόμποστ καλής ποιότητας στην κατοικία του βελτιώνει την ποιότητα του χώματος του κήπου του ή των φυτών του και παράλληλα αποφεύγει το κόστος αγοράς αντίστοιχης ποσότητας φυτοχώματος.

Έτσι, το νοικοκυριό εξοικονομεί οικονομικούς πόρους μη αγοράζοντας φυτόχωμα ή λίπασμα για τα φυτά του. Το ετήσιο οικονομικό όφελος μιας τετραμελούς οικογένειας που κάνει οικιακή κομποστοποίηση εκτιμάται σε min 100 € ετησίως. Ακόμη και εάν πληρώσει εξ ολοκλήρου το κόστος του κάδου μπορεί να αποσβέσει αυτό το κόστος σε περίπου ένα χρόνο και εν συνεχεία να έχει και οικονομικό όφελος.

Μειώνοντας τα σκουπίδια του το νοικοκυριό συμβάλλει στην αντιμετώπιση του προβλήματος των απορριμμάτων στο δήμο του, στη μείωση του κόστους διαχείρισης και στην αύξηση του χρόνου ζωής του ΧΥΤΑ της περιοχής. Έτσι, δείχνει έμπρακτα ότι μπορεί να αποτελέσει μέρος της λύσης του προβλήματος της διαχείρισης των απορριμμάτων και να ταυτόχρονα να αποτελέσει παράδειγμα προς μίμηση και για άλλους δήμους. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

2.2.1.1.7. Βελτιωμένη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων - αναξιοποίητο δυναμικό

Τα ακόλουθα οφέλη θα μπορούσαν να επιτευχθούν εάν η ανακύκλωση και η ανάκτηση των βιολογικών αποβλήτων μεγιστοποιηθεί:

- Αποφυγή περίπου 10 εκατομμυρίων τόνων εκπομπών ισοδυνάμου CO₂, δηλαδή συνεισφορά 4% για το 2020, μείωση κατά 10% της ΕΕ σε σύγκριση με τις εκπομπές του 2005 για τους τομείς που δεν καλύπτονται από το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών. Στην περίπτωση φιλόδοξων πολιτικών πρόληψης μέχρι 44 εκατ. τόνοι CO₂ θα μπορούσαν να αποφευχθούν.

- Στόχος της ΕΕ για το 2020 είναι περίπου το ένα τρίτο των αναγκών σε καύσιμο στις συγκοινωνίες να μπορούν να καλυφθούν χρησιμοποιώντας το βιοαέριο που παράγεται από βιολογικά απόβλητα. Γύρω στο 2% του συνολικού στόχου παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές θα μπορούσε να επιτευχθεί εάν όλα τα βιοαπόβλητα μετατρέπονται σε ενέργεια.

- Αυξημένη αγορά ποιοτικού κόμποστ με συντελεστή 2,6 για να φθάσει περίπου τα 28 εκατομμύρια τόνους.

- Εξοικονόμηση πόρων με την αντικατάσταση του 10% των φωσφορικών λιπασμάτων, του 9% των λιπασμάτων καλίου και του 8% των λιπασμάτων ασβέστη με το κόμποστ.

- Βελτίωση 3% έως 7% των εξαντλημένων γεωργικών εδαφών στην ΕΕ με τα προϊόντα λιπασματοποίησης και αντιμετώπιση του προβλήματος της υποβάθμισης της ποιότητας του εδάφους στην Ευρώπη.

–Υπάρχουν επίσης συνέργειες: για παράδειγμα η αναερόβια χώνευση μπορεί να συμβάλει στους στόχους για το CO₂ και τα βιοκαύσιμα και τη βελτίωση του εδάφους, εάν το κόμποστ χρησιμοποιείται στο έδαφος. Τα οφέλη επιδεικνύουν σημαντικές δυνατότητες που μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, ιδίως αφού είναι η πιο οικονομικά αποδοτική λύση.

Τα πιο σημαντικά οφέλη από τη βελτίωση της διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων είναι η αποφυγή των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η οποία θα μεταφραστεί σε σημαντικά κοινωνικά οφέλη. Ταυτόχρονα, η παραγωγή λιπάσματος καλής ποιότητας και βίο-αερίου θα συμβάλει στην αυξημένη ποιότητα του εδάφους και της αποδοτικότητας των πόρων, καθώς και ένα υψηλότερο επίπεδο αυτάρκειας της ενέργειας. (Πηγή: Commission, 2010)

2.2.1.1.8. Ύπαρξη χώρων στην Ελλάδα για την κομποστοποίηση

Στην Ελλάδα το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορούν εύκολα να χωροθετηθούν οχλούσες ή μη δραστηριότητες, λόγω πολλών άλλων προβλημάτων και λανθασμένων επιλογών (π.χ. έλλειψη κτηματολογίου & βιομηχανικών πάρκων, λάθη στη συμμετοχή & διαβούλευση των εφαρμοζόμενων πολιτικών κ.α.) και όχι γιατί δεν υπάρχουν οι απαιτούμενες εκτάσεις.

Επιπλέον, έχει προταθεί η ιδέα να εξετασθούν όλοι οι παλαιοί χώροι ταφής ή οι ΧΥΤΑ στην Ελλάδα, ώστε να αξιοποιηθεί η επιφάνειά τους για την χωροθέτηση των σειραδίων της κομποστοποίησης. Στην περίπτωση μάλιστα της Αττικής η επιφάνεια των κυττάρων του ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων και της Φυλής, που έχουν κλείσει, επαρκεί για να δημιουργηθεί μία όσο μεγάλη χρειάζεται μονάδα κομποστοποίησης και να αφεθούν οι σημερινοί ακάλυπτοι χώροι της ευρύτερης περιοχής της Φυλής για αξιοποίηση για πολύ πιο αναγκαίες χρήσεις. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

Από τη σύντομη εξέταση των προδιαγραφών και των συστημάτων πιστοποίησης ποιότητας κόμποστ στις χώρες της ΕΕ, προκύπτει ότι η χώρα μας βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια. Σήμερα οι χρήστες έχουν μια θετική προδιάθεση απέναντι στο κόμποστ, καθώς γνωρίζουν τα προβλήματα των Ελληνικών εδαφών και δεν είναι ακόμη εξοικειωμένοι με τους πιθανούς κινδύνους. Η Πολιτεία και όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς θα πρέπει να καταβάλλουν σημαντική προσπάθεια ώστε να μην καταστραφεί αυτό το θετικό κλίμα από την ανεξέλεγκτη διάθεση στην αγορά χαμηλής ποιότητας προϊόντων. Μεγάλες ποσότητες κόμποστ, μέτριας και χαμηλής ποιότητας, όπως αυτό που παράγεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής, θα μπορούσαν να απορροφηθούν σε έργα

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

αποκατάστασης, οδοποιίας και αναδασώσεις. Τέτοιοι χώροι υπάρχουν και στο Ν. Αττικής, όπου θα παράγεται η μεγαλύτερη ποσότητα κόμποστ από ΑΣΑ στη χώρα μας, και με κατάλληλο σχεδιασμό και επενδύσεις θα μπορούσε το κόμποστ από το εργοστάσιο των Α. Λιοσίων να αξιοποιηθεί για την περιβαλλοντική αναβάθμιση του Νομού. Αντίθετα, σκέψεις για τη γεωργική αξιοποίηση του, ειδικά σε καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, θα συναντήσουν πολλαπλές δυσχέρειες – από το κόστος μεταφοράς σε αγροτικές περιοχές και την εύλογη δυσπιστία των αγροτών, έως νομοθετικούς περιορισμούς από την ΕΕ (π.χ. αναθεώρηση της Οδηγίας για την γεωργική αξιοποίηση της ιλύος και η πρόταση Οδηγίας για την κομποστοποίηση). Από την άλλη μεριά, στη χώρα μας παράγονται τεράστιες ποσότητες αγροτικών αποβλήτων και υπολειμμάτων, με πολύ χαμηλά ποσοστά σε τοξικές ουσίες, που σήμερα καίγονται ή διατίθενται με μεθόδους περιβαλλοντικά επιζήμιες και τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν (συχνά και σε συνδυασμό με την παραγωγή ενέργειας) για την παραγωγή υψηλής ποιότητας οργανικών εδαφοβελτιωτικών, τα οποία είναι απαραίτητα για τα φτωχά σε οργανικά εδάφη της χώρας μας. (Πηγή: Λαζαρίδη)

Πίνακας 14. ΟΤΑ που έχουν υλοποιήσει ή δρομολογήσει κάποιο πρόγραμμα οικιακής κομποστοποίησης στην Ελλάδα

ΣΦΑΚΙΑ	ΘΕΡΜΗΣ	ΓΕΡΑΚΑ	ΥΔΡΑΣ
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗ ΡΕΝΤΗ
ΦΙΛΙΠΠΩΝ	ΕΡΜΙΟΝΗΣ	ΙΛΙΟΥ	ΣΤΑΥΡΟΥΠΟΛΗΣ
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑΣ	ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΥ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΔΡΑΜΑ	ΠΟΣΕΙΔΩΝΟΣ
ΜΑΡΟΥΣΙ	ΛΑΡΙΣΑ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΚΑΒΑΛΑ	ΙΟΡΔΑΝΟΥ
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΠΟΛΗ	ΠΑΤΡΑ
ΑΝΟΙΞΗ	ΣΕΠΟΔΑΘ ΣΤΗ ΘΗΒΑ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	ΖΕΦΥΡΙ
ΑΓΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ	ΕΜΠ- ΚΗΦΙΣΙΑ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΞΑΝΘΗ	ΣΑΜΟΘΡΑΚΗΣ
ΚΡΥΟΝΕΡΙ	ΕΜΠ-ΑΧΑΡΝΕΣ	ΔΙΑΑΜΑΘ-ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	ΜΕΛΙΣΣΙΑ
ΒΟΥΛΑ	ΕΜΠ- ΝΕΑ ΧΑΛΚΗΔΟΝΑ	ΣΑΛΑΜΙΝΑΣ	ΑΛΜΥΡΟΥ
ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗ	ΔΡΟΣΙΑΣ	ΝΕΑΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ	ΛΕΩΝΙΔΙΟΥ
ΠΑΙΑΝΙΑ	ΚΕΡΑΤΕΑ	Ν.ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ	ΛΑΜΙΑΣ

2.1.1.1.9. Μονάδες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας στην Ελλάδα

Οι μέθοδοι της Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ), που εφαρμόζονται διεθνώς, είναι οι ακόλουθες:

- Αερόβια ΜΒΕ με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών
- Αερόβια ΜΒΕ με ανάκτηση RDF (Refused Derived Fuel)
- Αναερόβια ΜΒΕ με ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών
- Βιολογική Ξήρανση

Η εμπειρία στην Ελλάδα από μονάδες ΜΒΕ είναι οι εξής:

- Το ΕΜΑΚ στην Καλαμάτα
- Το ΕΜΑΚ στα Άνω Λιόσια
- Το ΕΜΑΚ στα Χανιά

Παρακάτω γίνεται αναφορά σε αυτές τις μονάδες.

ΕΜΑΚ Καλαμάτας

Δυστυχώς για την Καλαμάτα και το νομό Μεσσηνίας η μονάδα αυτή αποτέλεσε την μεγαλύτερη αρνητική εμπειρία της χώρας μας από μονάδες ΜΒΕ. Σχεδιάστηκε για 90 t/d με κόστος μεγαλύτερο από 5 εκατ. € και λειτούργησε αναποτελεσματικά για ελάχιστο χρονικό διάστημα. Ο κακός σχεδιασμός και τα λάθη διαχείρισης οδήγησαν την μονάδα να κλείσει με δικαστική απόφαση χωρίς να μπορέσει να παραχθεί έστω και κάποια μικρή ποσότητα κομπόστ. Η περίπτωση του ΕΜΑΚ της Καλαμάτας είναι σίγουρα παράδειγμα προς αποφυγή.

ΕΜΑΚ Άνω Λιοσίων

Το ΕΜΑΚ αποτέλεσε το μεγαλύτερο έργο του ΕΣΔΚΝΑ. Σχεδιάστηκε να επεξεργάζεται 1.200 τόνους απορρίμματα ημερησίως (t/d), μαζί με 300 t/d λυματολάσπης και 130 t/d κλαδέματα και να παράγει RDF, κάποια ανακυκλώσιμα υλικά, κόμποστ και υπολείμματα για το ΧΥΤΑ. Σήμερα η δυναμικότητά του είναι 260.000 t/γ. Δυστυχώς η εμπειρία από το ΕΜΑΚ στα Άνω Λιόσια είναι μέχρι σήμερα αρνητική. Για πολλούς λόγους καθυστέρησε περισσότερο από 5 χρόνια η κατασκευή και η πιλοτική του λειτουργία, κόστισε περισσότερο από 100 εκατ. €, σχεδιάστηκε να παράγει μεγάλη ποσότητα RDF, που επί χρόνια διατίθεται στο ΧΥΤΑ, ανακτά μικρή σχετικά ποσότητα ανακυκλώσιμων υλικών και το παραγόμενο κόμποστ δεν έχει μέχρι στιγμής εμπορική αξία. Μάλιστα, για πολλούς μήνες έμεινε και εκτός λειτουργίας. Τα λάθη, στην όλη διαχείριση του έργου θα πρέπει να μας προβληματίσουν όλους για την αποτελεσματικότητα τέτοιων τεράστιων εγκαταστάσεων στη χώρα μας. Παρά τις δυσκολίες, εκτιμάται από πολλούς ειδικούς, ότι με μικρό σχετικά κόστος μπορούν να γίνουν τροποποιήσεις και προσθήκες νέου εξοπλισμού διαχωρισμού, ώστε η μεγάλη αυτή μονάδα να μπορεί να ανακτά περισσότερο χαρτί και πλαστικό και να μειώσει το παραγόμενο RDF και τα υπολείμματα. Οι παραπάνω αλλαγές σε συνδυασμό με την λειτουργία του ΕΜΑΚ σε εξαήμερη βάση και σε δύο βάρδιες, θα μπορούσε να αυξήσει την δυναμικότητα του

ΕΜΑΚ σε τουλάχιστον 400.000 t/y και να συμβάλλει σημαντικά στην διαχείριση των απορριμμάτων στην Αττική.

ΕΜΑΚ Χανίων

Το ΕΜΑΚ Χανίων αποτελεί το καλύτερο παράδειγμα αποτελεσματικής λειτουργίας μιας μονάδας με ΜΒΕ τεχνολογία στη χώρα μας. Εξυπηρετεί 150.000 κατοίκους και δέχεται ημερησίως περισσότερους από 160 τόνους. Σχεδιάστηκε και ως μονάδα διαλογής των ανακυκλώσιμων υλικών από τους μπλε κάδους και ως κλασική μονάδα ΜΒΕ. Από την άνοιξη του 2005, που ξεκίνησε τη λειτουργία του μέχρι το 2010 έχουν ανακτηθεί και πουληθεί στην βιομηχανία της ανακύκλωσης 30.000 τόνοι ανακυκλώσιμων υλικών χαρτί πλαστικό αλουμίνιο σιδηρούχα και γυαλί, και έχουν οδηγηθεί προς κομποστοποίηση 35.000 τόνοι ζυμώσιμων και οργανικών υλικών, παρατείνοντας κατά ένα χρόνο την διάρκεια ζωής του ΧΥΤ. Ήδη, η ΔΕΔΙΣΑ έχει καταφέρει να παράγει ένα πολύ καλής ποιότητας κόμποστ και μάλιστα εκπονεί και ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα για την βελτίωση της αποδοτικότητας του ΕΜΑΚ και την καλύτερη αξιοποίηση του κόμποστ για αγροτικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές. (Πηγή: Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, 2014)

2.1.1.1.10. Ποιοτικός χαρακτηρισμός κόμποστ

Τα προϊόντα βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των Α.Σ.Α. διακρίνονται σε δύο χοντρικά κατηγορίες: Τα υψηλής ποιότητας, που θα ονομάζονται κομπόστ και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται σε γεωργία, δασοκομία, φυτώρια και τα χαμηλής που θα λέγονται «σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα» και θα μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για αποκαταστάσεις τοπίου κ.α.

Σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον τρόπο διάθεσης των προϊόντων βιολογικής επεξεργασίας των Hans Saveyn & Peter Eder , 2014 , απαιτείται ο προσδιορισμός των ακόλουθων παραμέτρων πριν την διάθεση του στην αγορά.

- Χρησιμότητα σχετικά με τη βελτίωση της λειτουργίας του εδάφους:
- Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη
- Περιεκτικότητα σε CaO
- Χρησιμότητα σχετικά με τη λειτουργία λίπανσης:

-Περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (N, P, K, Mg)

-Περιεκτικότητα σε άζωτο (NH₄-N, NO₃-N)

- Βιολογικές ιδιότητες:

-Σταθερότητας / Ωριμότητας

-Φυτοτοξικότητα

- Γενικές ιδιότητες

-Υγρασία

-Φαινόμενη πυκνότητα

-Κοκκομετρία

-pH

-Ηλεκτρική αγωγιμότητα

2.1.1.11. Όρια τοξικών στοιχείων (Βαρέα μέταλλα)

Στο τελικό προϊόν, ακριβώς μετά την φάση της κομποστοποίησης και πριν από οποιαδήποτε ανάμιξη με άλλα υλικά, η περιεκτικότητα των παρακάτω στοιχείων πρέπει να είναι χαμηλότερη από τις τιμές του πίνακα, μετρημένες από την άποψη του ξηρού βάρους:

Πίνακας 15. Όρια βαρέων μετάλλων Ε.Ε

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	mg/kg (ξ.β)	ΤΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΕΥ ECO-LABEL (2007/64/ΕC & 2006/799/ΕC)
Zn	400	532
Cu	100	100
Ni	50	50
Cd	1.5	2.25
Pb	120	144
Hg	1	1
Cr	100	100

Το Ecolabel είναι ένα εθελοντικό σχήμα πιστοποίησης φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και υπηρεσιών που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. Για τα βελτιωτικά εδάφους οι απαιτήσεις για την παροχή του Ecolabel ρυθμίζονται με την απόφαση 2006/799/Ε.Κ .

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Πίνακας 16. Μέγιστες και ελάχιστες οριακές τιμές μετάλλων (PTEs) στην ΕΕ (mg/kg)

	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>CrVl</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>
Limit values for Compost from source separation (BWC & GC)									
min	0.7	50	0	25	0.2	10	45	75	5
max	3	250	3	600 (1,000) *	3	100	280	1,500 (4.000) *	50
limit values for MSW and MBT Composts									
min	3	250	0	450	3	100	200	1,000	10
max	20	1,000	10	1,000	16	300	800	4,000	25
Ελλάδα									
	10	510	10	500	5	200	500	2000	15

Στον πίνακα 17 παρουσιάζονται οι Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων στο κόμποστ σε επιλεγμένες χώρες

Πίνακας 17. Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρύπων στο κόμποστ σε επιλεγμένες χώρες

Παράμετρος (mg/kg dm)	Αυστρία .1.			Βέλγιο	Γερμανία .2.			Δανία .3.	Ισπανία .4.			Ιταλία .5.	Ολλανδία .6.		UK .7.	Ecolabel .8.
	A+	A	B		A	B	RAL		ΥπΓ	K1	K2		A	A+		
Cd	0,7	1	3	1,5	1	1,5	1,5	0,4	10	2	3	10	1	0,7	1,5	1
Cr	70	70	250	70	70	100	100	100	400	100	250	510	50	50	100	100
Cu	70	150	500	90	70	100	100	1000	450	100	500	600	60	25	200	100
Hg	0,4	0,7	3	1	0,7	1	1	0,8	7	1	3	10	0,3	0,2	1	1
Ni	25	60	100	20	35	50	50	30	120	60	100	200	20	10	50	30
Pb	45	120	200	120	100	150	150	120160	300	150	300	500	100	65	150	100
Zn	200	500	1800	300	300	400	400	4000	1100	400	1000	2500	200	75	400	300
As	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	10	15	5	-	10
PCBs	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAHs	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
NPE	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
DEHP	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-

Επεξήγηση πίνακα 17 (Πηγή :Λαζαρίδη , 2002)

Κόμποστ κατηγορίας A+ , A και B μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιολογική γεωργία , γεωργικές εφαρμογές και αποκατάσταση εδαφών αντίστοιχα

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Κόμποστ που πληροί τα όρια της στήλης Α και Β μπορεί να εφαρμόζεται στο έδαφος σε μέγιστη ποσότητα 3 και 2 t dm ανά στρέμμα κατά μέσο όρο 3 ετών , αντίστοιχα , έτσι ώστε η συνολική ποσότητα βαρέων μετάλλων που προστίθενται στο έδαφος να είναι η ίδια. RAL είναι το σήμα ποιότητας που αποδίδει ο Οργανισμός Πιστοποίησης Ποιότητας κόμποστ (Bundegütegemeinschaft Kompost – BGK). Η εφαρμογή πιστοποιημένου κόμποστ υπόκειται σε λιγότερους περιορισμούς . Οι βασικοί νόμοι είναι οι Biowaste Ordinance (1/10/98) και Fertilizer Ordinance.

Το όριο για το αρσενικό και η χαμηλότερη τιμή για το μόλυβδο ισχύουν για εφαρμογή σε κήπους .NPE: nonylphenol , DEHP:Di (2-ethylexyl) phtalate

Υπ.Γ. Προδιαγραφές του Νόμου για τα λιπάσματα και συναφή προϊόντα ,του Υπ. Γεωργίας , Κ1 και Κ2 κόμποστ κατηγορίας 1 (διαλογή στη πηγή) και 2 (σταθεροποιημένα βιοαπορρίμματα) αντίστοιχα σύμφωνα με την υπό ψήφιση νομοθεσία της περιοχής της Καταλονίας . Η κατηγορία 2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως υλικό αποκαταστάσεων και κάλυψης ΧΥΤΑ.

Νόμος DCI 27/7/84 , επίκειται αλλαγή συμπεριλαμβανομένων περιορισμών στις επιτρεπόμενες χρήσεις (απαγόρευση για παραγωγή τροφών και ζωοτροφών)

Οι προδιαγραφές αυτές αναφέρονται σε εθελοντικά σχήματα πιστοποίησης VFG κόμποστ (A) και υψηλής ποιότητας κόμποστ (A+)

Πρόκειται για εθελοντικό σχήμα πιστοποίησης που διαχειρίζεται ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός Composting Association. Η θέσπιση υποχρεωτικών εθνικών προδιαγραφών είναι πιθανή.

Πρόκειται για τα νέα αναθεωρημένα κριτήρια που καλύπτουν εδαφοβελτιωτικά και (για πρώτη φορά) υποστρώματα. Απαγορεύεται η χρήση βιολογικής ύλης (λόγω της αβεβαιότητας για τη φύση και την εξέλιξη των οργανικών ρύπων) τύρφης (προστασία των τυρφώνων) και φλοιών που έχουν υποστεί επεξεργασία με παρασιτοκτόνα

2.1.1.12. Παράμετροι εξέτασης ποιότητας κόμποστ και χαρακτηρισμός του

Για να είναι αποδεκτό το παράγωγο της κομποστοποίησης για απόθεση στο έδαφος και χρησιμοποίηση ως εδαφοβελτιωτικό πρέπει να τηρούνται τα παρακάτω κριτήρια.

Πίνακας 18.Κριτήρια αποδοχής απόθεσης του κόμποστ στο έδαφος ως εδαφοβελτιωτικό

Παράμετρος	Επιθυμητές Τιμές
Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη	>20%
Ωριμότητα / Σταθερότητα **	<10 mg CO ₂ /g οργανικής ύλης/μέρα

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Παράμετρος	Επιθυμητές Τιμές
Φυτοτοξικότητα**	βλάστηση 80% του τυφλού δείγματος
Υγρασία**	<50 % w/w
Φαινόμενη πυκνότητα**	<550 g/l (φρέσκου υλικού)
weed seeds and propagules **	Μηδενική ανά λίτρο κόμποστ
Κοκκομετρία **	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη
pH**	pH<9
Ηλεκτρική αγωγιμότητα**	<1500 μS/cm
Παρουσία σαλμονέλας	Μηδενική σε δείγμα 50 g
Παρουσία E-coli **	<1000 cfu/g (φρέσκου δείγματος)
Προσμίξεις (γυαλί , μέταλλο , πλαστικό)**	<0,2% μέταλλο , < 0,05% πλαστικό , < 0,1% γυαλί
NH ₄ -N**	<50 mg/l
σχέση C/N	<20/1
Pb	<120 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Cd	<1,5 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Cr	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Cu	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Ni	<50 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Hg	<1 mg/Kg (ξηρού βάρους)
Zn	<400 mg/Kg (ξηρού βάρους)

*Η πηγή Wrap << Guidelines for the Specification of Quality Compost for use in Growing Media>> , Ιούνιος 2011 , θέτει όριο στο Pb<200mg/Kg και Cu<200mg/Kg

**Οι τιμές με δύο αστερίσκους έχουν ληφθεί από τη πηγή Wrap, 2011 ενώ οι υπόλοιπες από την Έκθεση ευρωπαϊκής επιτροπής των Hans Saveyn & Peter Eder , 2014

(Πηγή: Wrap, 2011, Hans Saveyn & Peter Eder , 2014, Τσαμούτσογλου,2008)

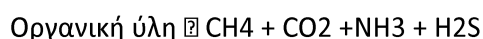
2.2.1.2. Αναερόβια βιολογική επεξεργασία- Αναερόβια ζύμωση

Η αναερόβια επεξεργασία (χώνευση) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία . Σε αυτή τη μέθοδο το κλάσμα μπορεί να υποστεί αναερόβια επεξεργασία (χώνευση) που οδηγεί τελικά στην παραγωγή βιοαερίου (μίγμα κυρίως μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα). Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας επεξεργασίας πραγματοποιείται βιοαποδόμηση των οργανικών ουσιών απουσία οξυγόνου μέσα σε κλειστό σύστημα , σε διακριτά στάδια. (Λοϊζίδου ,2006)

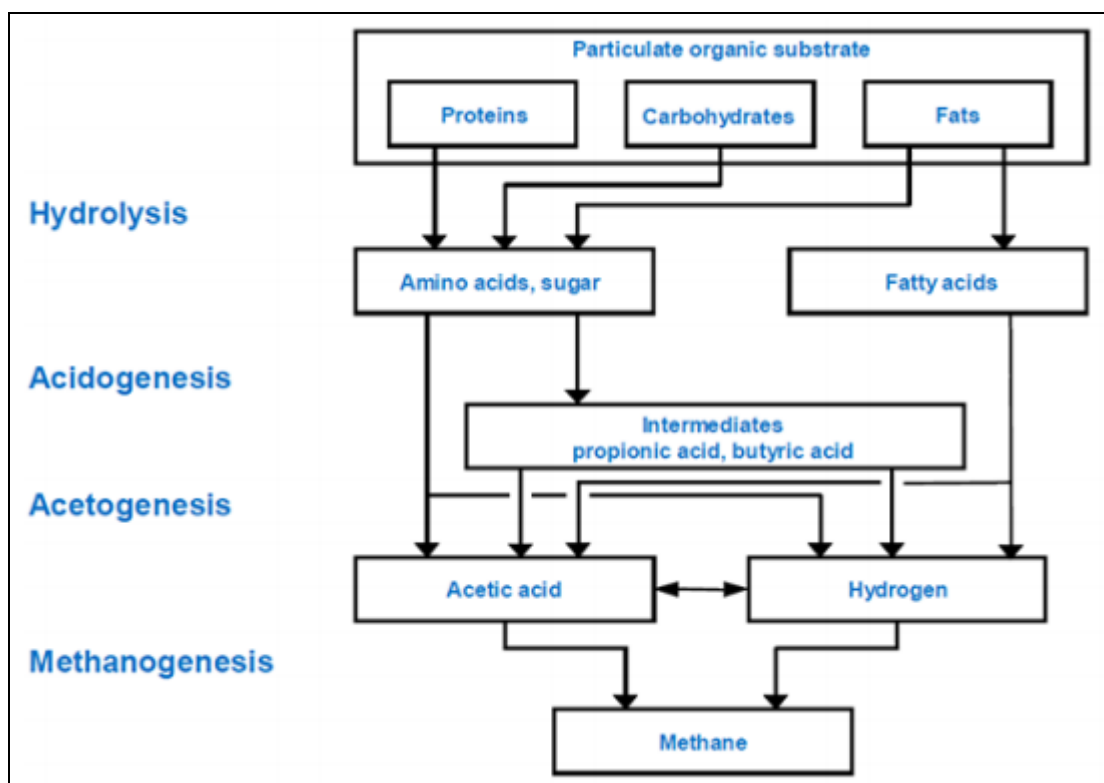
Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή α) σταθεροποιημένου οργανικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό αντικαθιστώντας τα τεχνητά και τα χημικά λιπάσματα και β) αερίου υψηλής περιεκτικότητας σε μεθάνιο (CH₄), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας π.χ. σε συστήματα θερμικής επεξεργασίας στερεών αποβλήτων. Η αναερόβια επεξεργασία γίνεται σε κλειστούς αντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίησή τους.

2.2.1.2.1. Μικροβιολογία διεργασίας

Η αναερόβια αποδόμηση των οργανικών υλικών πραγματοποιείται ελλείψει οξυγόνου και παρουσία αναερόβιων μικροοργανισμών. Η γενική χημική αντίδραση είναι απλουστευμένη ως εξής;



Η διεργασία πραγματοποιείται σε 4 στάδια : την υδρόλυση (hydrolysis) , την οξίνιση (acidogenesis) , την ακετογένεση (acetogenesis) και τη μεθανογένεση (methanogenesis) .



Διάγραμμα 8. Στάδια Αναερόβιας χώνευσης, Πηγή :WtERT 2009

Υδρόλυση

Κατά την υδρόλυση, τα οργανικά πολυμερή καταλύονται από υδρολυτικά ένζυμα σε ευδιάλυτα μονομερή. Οι πρωτεΐνες δηλαδή μετατρέπονται σε αμινοξέα, τα λιπίδια σε μακράς αλύσου λιπαρά οξέα, οι πολυσακχαρίτες σε μονοσακχαρίτες και τα νουκλεϊκά οξέα σε πουρίνες και πυριμιδίνες. (Polprasert, 1996)

Οξίνιση

Τα βακτήρια οξίνισης μεταβολίζουν τα μονομερή που προέκυψαν από την υδρόλυση σε πτητικά οξέα, αλκοόλες, κετόνες, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Τα προϊόντα που παράγονται εξαρτώνται από τον τύπο των βακτηρίων και τις ειδικές συνθήκες όπως θερμοκρασία και pH. (Zeikus, 1980)

Ακετογένεση

Σε αυτό το στάδιο τα πτητικά λιπαρά οξέα καταλύονται από τα ακετονικά βακτήρια σε οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. (Climatoribus, 2009)

Μεθανογένεση

Σε αυτό το στάδιο τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων μετατρέπονται τελικά σε μεθάνιο και σε άλλα τελικά προϊόντα από βακτήρια που ονομάζονται μεθανογόνα.

2.2.1.3. Βιολογική Ξήρανση

Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Ειδικότερα στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατά επέκταση του όγκου τους, στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Οι ξηραντήρες είναι συνήθως είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes) τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων. (ΕΕΔΣΑ)

2.2.2 Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων αφορά σε διαδικασίες μετατροπής των στερεών αποβλήτων σε αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα, με ταυτόχρονη ή συνεπακόλουθη αποδέσμευση θερμικής ενέργειας. Οι θερμικές μέθοδοι που εφαρμόζονται για το σκοπό αυτό είναι η αποτέφρωση, πυρόλυση και η αεριοποίηση. (Λοϊζίδου, 2006)

2.2.2.1. Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση είναι η καύση των στερεών απορριμμάτων. Εκπροσωπεί μια αρκετά παλαιά και διαδεδομένη διεργασία, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη υψηλών θεοκρασιών, με παρουσία φλόγας, για την οξείδωση των επιμέρους στοιχείων αυτών, δηλαδή την ένωσή τους με το οξυγόνο. Στόχος της εν λόγω διεργασίας είναι η εξάτμιση, η αποσύνθεση και/ή η καταστροφή των οργανικών στοιχείων των απορριμμάτων, παρουσία οξυγόνου (είτε σε στοιχειομετρική αναλογία, είτε σε περίσσεια), καθώς και η ταυτόχρονη μείωση του προς τελική διάθεση όγκου τους. Αυτό πραγματοποιείται με χρήση είτε της απαιτούμενης στοιχειομετρικά ποσότητας αέρα (stoichiometric combustion) είτε με περίσσεια αέρα (excess - air combustion). Οι προϋποθέσεις για την επίτευξη πλήρους καύσης των αποβλήτων είναι:

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

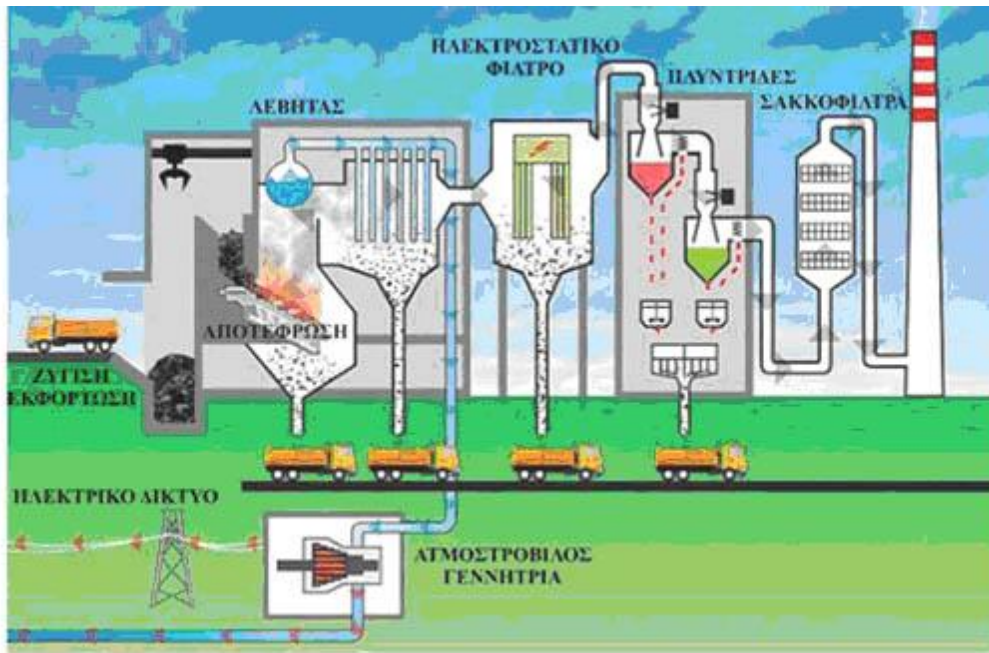
Κατά την καύση εκτός των τυπικών προϊόντων καύσης (διοξείδιο του άνθρακα, ατμός, μονοξείδιο του άνθρακα) παράγεται ανάλογα με την ποιότητα των αποβλήτων και μια σειρά άλλων ουσιών όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου, υδροχλώριο, υδροφθόριο, πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες κλπ. Επίσης, κατά την καύση των στερεών αποβλήτων παραμένουν στερεά υπολείμματα, τα οποία αντιστοιχούν στο 25-40% του βάρους των εισερχομένων αποβλήτων. Η ποσότητα των υπολειμμάτων εξαρτάται από τη σύνθεση των αποβλήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Διακρίνονται σε τέφρα που παράγεται στο χώρο της καύσης (απομακρύνονται μετά την εσχάρα), τέφρα από τους λέβητες (υπολείμματα τα οποία δημιουργούνται στις θερμαντικές επιφάνειες των λεβήτων και συγκεντρώνονται στις χοάνες κάτω από το λέβητα), ιπτάμενη τέφρα και σκόνη που κατακρατείται στα φίλτρα (συγκεντρώνεται στις

χοάνες κάτω από τα ηλεκτρόφιλτρα ή σακκόφιλτρα) και υπολείμματα τα οποία παράγονται από τα συστήματα καθαρισμού των αερίων.



Εικόνα 13. Μονάδα αποτέφρωσης ΑΣΑ (Amsterdam, Breccia, Vienna) , (Πηγή: ΕΕΔΣΑ, 2014)

Οι μονάδες αποτέφρωσης σχεδιάζονται ώστε να επεξεργάζονται είτε σύμμεικτα απόβλητα (mass-burned incineration) είτε εναλλακτικά καύσιμα που προέρχονται από την επεξεργασία των αποβλήτων (SRF-RDF). Διαφοροποιούνται τόσο σε σχέση με τον τύπο του συστήματος καύσης (κινούμενων εσχαρών, περιστρεφόμενου κλιβάνου, ρευστοποιημένης κλίνης) όσο και σε σχέση με το σύστημα ελέγχου της ρύπανσης. (υγρή /ξηρή επεξεργασία απαερίων, σακκόφιλτρα, ηλεκτροστατικά φίλτρα, πλυντρίδες κ.α.). Για την επεξεργασία των σύμμεικτων αποβλήτων χρησιμοποιείται το σύστημα κινούμενων εσχαρών ενώ οι άλλοι τύποι συστημάτων καύσης χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποτέφρωση επεξεργασμένων ρευμάτων αποβλήτων.



Εικόνα 14. Τυπική μονάδα αποτέφρωσης αποβλήτων, (Πηγή: ΕΕΔΣΑ, 2014)

2.2.2.2. Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μία επεξεργασία που προκαλεί χημική αποσύνθεση των οργανικών ουσιών μέσω της θέρμανσης τους με απουσία οξυγόνου. Πρακτικά δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί περιβάλλον πλήρους απουσίας οξυγόνου. Στην πραγματικότητα τα πυρολυτικά συστήματα λειτουργούν με ποσότητα οξυγόνου μικρότερη από τη στοιχειομετρική και επομένως η οξείδωση είναι αναπόφευκτη. Στην περίπτωση που τα απόβλητα περιέχουν πτητικές ή ημιπτητικές ουσίες θα προκληθεί και εξαερίωση αυτών

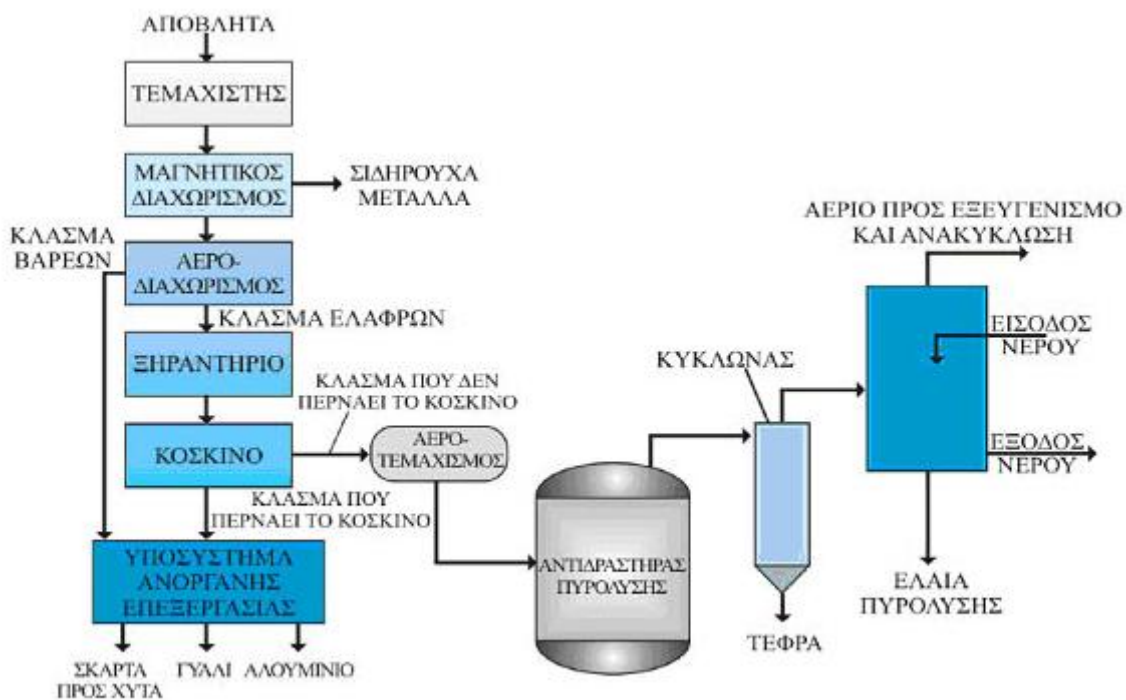
Η πυρόλυση διαφοροποιείται από την καύση αποβλήτων σε δύο παράγοντες

- (α) Τη θερμοκρασία λειτουργίας, όπου στην πυρόλυση είναι χαμηλότερη.
- (β) Την απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου, όπου για την πυρόλυση είναι κατά πολύ μικρότερη απ' ό τι για την καύση.

Η πυρόλυση διακρίνεται στις ακόλουθες επτά φάσεις:

- 1) Ξήρανση (100-200 °C).
- 2) Οξείδωση και αποθείωση στους 200 °C, όπου και πραγματοποιείται διάσπαση του υδρόθειου και του διοξειδίου του άνθρακα.

- 3) Διάσπαση των συνδέσμων των αλειφατικών ενώσεων (μεθάνιο) στους 340 °C.
- 4) Διάσπαση των δεσμών του άνθρακα με οξυγόνο και άζωτο αντίστοιχα στους 400 °C.
- 5) Μετατροπή πρισσαφαλτούχων σε καύσιμη ύλη και πίσσα (400-600 °C).
- 6) Διάσπαση πρισσαφαλτούχων (600 °C).
- 7) Δημιουργία αρωματικών ενώσεων και αφυδρογόνωση βουταδιενίου (πάνω από 600 °C).



Εικόν

α15. Διεργασία πυρόλυσης (Πηγή: ΙΤΑ, Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων)

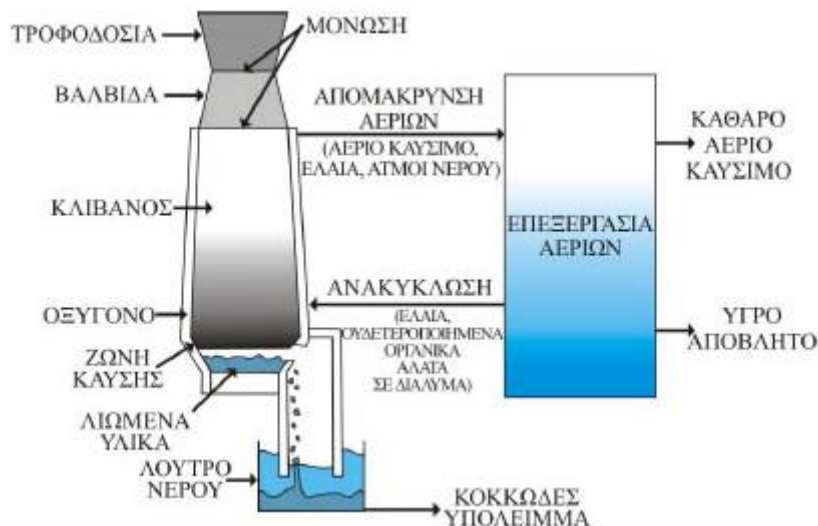
2.2.2.3. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια ενδόθερμη θερμική διεργασία κατά την οποία η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο. Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης (syngas).

Το παραγόμενο αυτό αέριο αποτελεί μίγμα πολλών καύσιμων (και μη) αερίων: μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO, CO₂), υδρογόνο (H₂), μεθάνιο (CH₄), υδρατμοί (H₂O), ίχνη υδρογονανθράκων (π.χ. C₂H₆, C₂H₄) και άζωτο (N₂, σε περίπτωση που για την διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο). Πέραν των παραπάνω ενώσεων στο αέριο προϊόν

εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές κυριότεροι εκ των οποίων είναι η σωματίδια πίσσας, τέφρα, αμμωνία, οξέα και σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

Από χημικής πλευράς, η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας είναι αρκετά σύνθετη και περιλαμβάνει, κατά σειρά, τα ακόλουθα επιμέρους στάδια: αποσύνθεση της οργανικής βιομάζας σε μη συμπυκνώσιμο αέριο, υδρατμούς και πίσσα, θερμική διάσπαση των ατμών σε αέριο σύνθεσης και πίσσα, αεριοποίηση της πίσσας και μερική οξείδωση του αερίου σύνθεσης, των ατμών και της πίσσας. Η απαιτούμενη θερμότητα για την αεριοποίηση της βιομάζας παρέχεται από την καύση μέρους της αρχικής ποσότητας της βιομάζας. Πρέπει να τονισθεί ότι το αέριο σύνθεσης δεν χρησιμοποιείται απευθείας, καθώς εξέρχεται από τον αντιδραστήρα, στις μηχανές παραγωγής ενέργειας. Είναι απαιτούμενη η προεπεξεργασία του ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που περιέχονται σε αυτό (πίσσα, αμμωνία, θείο, κ.λπ.) καθώς και η ψύξη του. Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, η διεργασία παράγει και κάποιες ποσότητες πίσσας (η ποσότητας της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως π.χ. το είδος της βιομάζας). Εξαιτίας της υψηλής θερμογόνου δύναμης της, ως βέλτιστος τρόπος διαχείρισής της πίσσας θεωρείται η ενεργειακή εκμετάλλευση της εντός της μονάδας αεριοποίησης. Αναμφίβολα η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια τεχνολογία πιο πολύπλοκη και με λιγότερες εμπορικές εφαρμογές, σε σχέση με την συνήθη καύση της βιομάζας. (Πηγή: Biomass energy, 2014)



Εικόνα16. Διεργασία Αεριοποίησης (Πηγή: Γιαδαράκος, Ε , 2006)

2.3 Τελική διάθεση

Αφού ολοκληρωθεί το στάδιο της επεξεργασίας ακολουθεί το στάδιο της τελικής διάθεσης του παραγόμενου προϊόντος .

2.3.1. Κόμποστ

Το κύριο προϊόν της αερόβιας μεθόδου επεξεργασίας είναι το κόμποστ.

2.3.1.1. Δυνατότητες διάθεσης του κόμποστ.

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η προσθήκη κόμποστ στο έδαφος μπορεί να έχει θετική επίδραση σε μία μακρά σειρά χημικών, φυσικών και βιολογικών χαρακτήρων του. (Πηγή: Βαρελά, 2011)

Η γεωργία και οι διάφορες συναφείς δραστηριότητες συνιστούν την κυριότερη οδό αξιοποίησης των διαφόρων υλικών κόμποστ, τα οποία μάλιστα κατά τη διεθνή πρακτική εφαρμόζονται σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις για ελληνικά δεδομένα. Για την εδαφική εφαρμογή του κόμποστ στη γεωργία, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και να διενεργούνται λεπτομερείς έλεγχοι σχετικά με τις ακόλουθες παραμέτρους, και ανάλογα με τις διάφορες χρήσεις και κατηγορίες ποιότητας του κόμποστ : ποσότητα εφαρμογής, περιεκτικότητα σε θρεπτικά, ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, επιβλαβείς οργανικές ενώσεις, παθογόνα κλπ., επίπεδο ωρίμανσης κόμποστ (φρέσκο ή ώριμο κόμποστ), χρονική περίοδος εφαρμογής, συχνότητα εφαρμογής, βάθος ενσωμάτωσης στο έδαφος, τύπος εδάφους και χαρακτήρες αυτού κ.ά. Οι ενδεικνυόμενες χρήσεις του κόμποστ, εξαρτώνται από τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και ποικίλουν από τη χρήση σε βιολογικά καλλιεργούμενα τρόφιμα, και γενικότερα καλλιέργειες παραγωγής τροφής και ζωοτροφών, έως τη χρήση για αποκατάσταση εδαφών και ως κάλυψη σε ΧΥΤΑ. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν νομοθετικοί περιορισμοί για τις επιτρεπόμενες χρήσεις με στόχο την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος. Σε αυτό το πλαίσιο παρατίθεται ένας ενδεικτικός οδηγός χρήσεων κόμποστ :

- Φυτά μεγάλης καλλιέργειας, απαιτητικά σε χουμικά συστατικά, με κατάλληλη αμειψισποράς, προκειμένου να ενισχυθεί το ισοζύγιο χουμικών συστατικών στα καλλιεργούμενα εδάφη π.χ. τεύτλα, πατάτες αλλά και διάφορα λαχανικά αγρού, σε ποσότητα 4-10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2-4 χρόνια.
- Σιτηρά, σε ποσότητα 2-6 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 2-4 χρόνια.
- Λειβαδικές εκτάσεις, σε ποσότητα 2-5 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 2-4 χρόνια. Το κόμποστ πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ξένα σώματα, που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στα βόσκοντα ζώα.
- Δενδρώδεις καλλιέργειες, μηλοειδή, πυρηνόκαρπα, εσπεριδοειδή, συκιές κλπ. σε ποσότητα 10-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα, κάθε 3 χρόνια.

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

- Αμπέλια, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (φρέσκο κόμποστ σε βαριά εδάφη) ή 10 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα (ώριμο κόμποστ σε ελαφρά εδάφη), κάθε 3-4 χρόνια. Σε περίπτωση επικλινών εκτάσεων, συνιστώνται μεγαλύτερες δόσεις, 20-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα. (φρέσκο κόμποστ). Ως χρόνος εφαρμογής συνιστάται η περίοδος μεταξύ του τρυγητού και της έναρξης της βλάστησης.
- Θερμοκηπιακές καλλιέργειες, σε ποσότητα 1-1,5 kg/m² νωπού υλικού, κάθε 2-4 χρόνια.
- Δασικά φυτώρια, σε ποσότητα 15-20 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα στην αρχή και έπειτα 3-4 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2 χρόνια.
- Ανθοκομικές καλλιέργειες, σε ποσότητα 10-25 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα ή για τη παρασκευή υποστρωμάτων σε πρόσμιξη μέχρι 20%.
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος και επιφανειών πρασίνου σε αστικές περιοχές, πάρκα, αθλητικά πεδία, αποτροπή φαινομένων διάβρωσης σε επικλινείς επιφάνειες, συγκράτηση πρανών, χλοοφορία σε τaráτσες, σε θαμνοσυστάδες σε δρόμους, αντικατάσταση μητρικού εδάφους για την αποκατάσταση λατομείων, και χωματερών / ΧΥΤΑ, σε δόσεις των 10-30 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα στην αρχή και έπειτα 2-3 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα κάθε 2 χρόνια.
- Αναδασώσεις, με ενσωμάτωση έως 150 τόνων νωπού υλικού ανά στρέμμα.
- Ως υλικό βιοφίλτρου για την απορρόφηση δυσάρεστων οσμών από βιομηχανικές εγκαταστάσεις με δύσοσμα απαέρια, εξαερισμών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, κομποστοποίησης, μαζικής διατήρησης ζώων, κ.λπ. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστώνται δόσεις 1 τόνου νωπού υλικού ανά m² επιφάνειας βιοφίλτρου, κάθε 4 χρόνια, για ποσότητα απαερίων 50-100 m³ ανά ώρα και ανά m².
- Ως ηχομόνωσης για την προστασία από θορύβους σε αυτοκινητοδρόμους κοντά σε αστικές περιοχές

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

Πίνακας 19. Οι δυνατές χρήσεις του κόμποστ

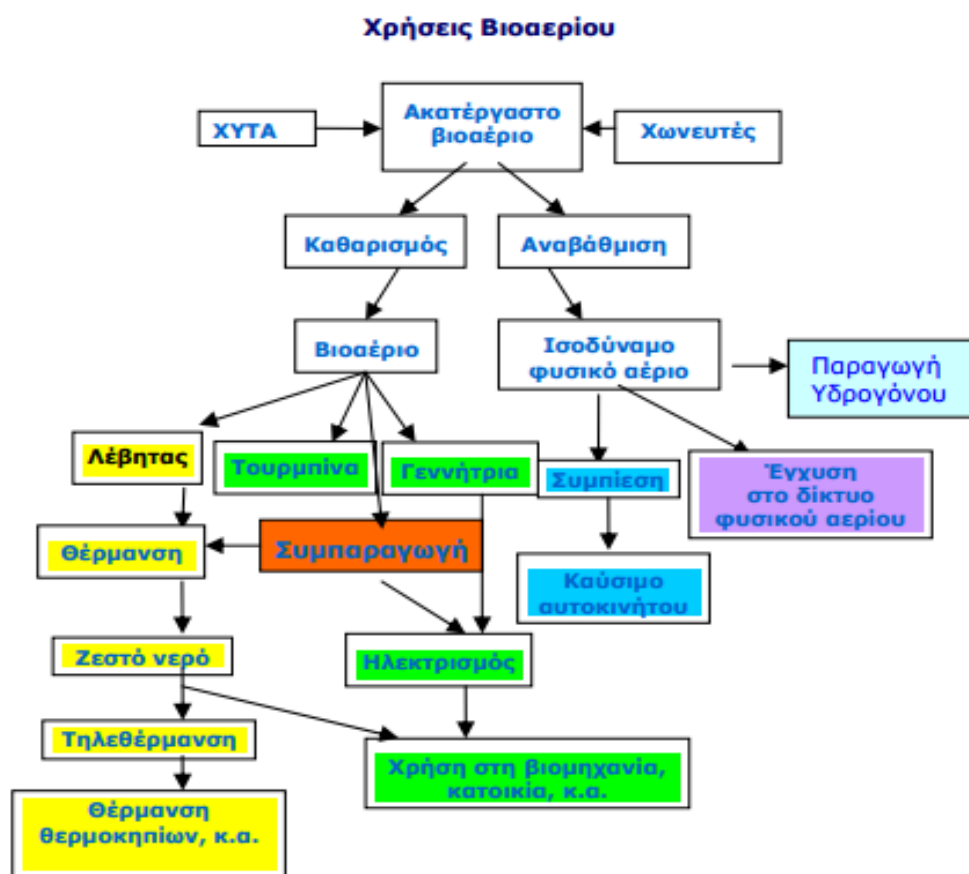
Δυνατές χρήσεις του κόμποστ		
Εφαρμογή	Κόμποστ από μονάδες ΜΒΕ σύμμεικτων αποβλήτων	Κόμποστ από μονάδες προδιαλεγμένων οργανικών
Σε αγροτικές καλλιέργειες	Πρακτικά δεν χρησιμοποιείται	Πολύ καλή χρήση
Στη δασοκομία	Περιορισμένη χρήση	Πολύ καλή χρήση
Ως εδαφοβελτιωτικό ειδικά σε άγονες περιοχές	Καλή χρήση	Πολύ καλή χρήση
Σε ενεργειακές καλλιέργειες π.χ. καλλιέργειες κράμβης για βιοντίζελ, και ιτιάς	Πρακτικά δεν χρησιμοποιείται	Πολύ καλή χρήση
Στην κηπουρική	Πρακτικά δεν χρησιμοποιείται	Πολύ καλή χρήση
Σε αθλητικές εγκαταστάσεις (γήπεδα γκολφ, πλαγιές για σκι)	Πολύ περιορισμένη εφαρμογή	Πολύ καλή χρήση
Πληρωτικό υλικό σε βιοφίλτρα απόσμησης (EPA)	Καλή χρήση	Πολύ καλή χρήση
Σε ρυπασμένους χώρους - για αποκατάσταση χώρων	Καλή χρήση	Πολύ καλή χρήση
Ως υλικό επικάλυψης ή τελική κάλυψη σε ΧΥΤΑ	Πολύ καλή χρήση	Πολύ καλή χρήση

2.3.2. Βιοαέριο

Κατά την αναερόβια επεξεργασία το πολυτιμότερο προϊόν που παράγεται είναι το βιοαέριο .

2.3.2.1. Δυνατές χρήσεις βιοαερίου

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης, (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Το βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, μετά την διαδικασία του καθαρισμού, δηλαδή την απομάκρυνση των σωματιδίων, H_2S , NH_3 , H_2O και την αναβάθμισή του, δηλαδή την απομάκρυνση CO_2 και προσθήκη προπανίου. Χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο μεταφορών απαντάται στη Σουηδία, Ελβετία, Γαλλία και Γερμανία ενώ στη Σουηδία και στη Γερμανία, το βιοαέριο διοχετεύεται και στο δίκτυο του φυσικού αερίου.



Διάγραμμα 9. Χρήσεις βιοαερίου (ΚΑΠΕ,2014)

Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την αναβάθμιση του βιοαερίου είναι κυρίως οι εξής: απορρόφηση νερού, Pressure Swing Absorption (PSA), χημική απορρόφηση, απορρόφηση με διαλύτη διμεθυλαιθέρων πολυαιθυλενικής γλυκόλης (Selexol) και διαχωρισμός με μεμβράνες. Σε

2. Στάδια και πρακτικές διαχείρισης των βιοαποβλήτων

στάδιο ανάπτυξης βρίσκεται η κρυογονική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πίεσης 80 bar και ψύξης -45o C. Στις συνθήκες αυτές το CO₂ συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή σε χαμηλότερη πίεση και υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το CH₄ και έτσι μπορεί να διαχωριστεί. (Πηγή: ΚΑΠΕ, 2014)

3. Πειραματικό μέρος

3.1 Σκοπός

Για την εκτέλεση του πειραματικού μέρους της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά μίγματα αποτελούμενα από ξηρά και νωπά διατροφικά απορρίμματα.

Η μέθοδος διαχείρισης της παραπάνω κατηγορίας των βιοαποβλήτων που μελετάται είναι ο συνδυασμός των τεχνολογιών της ξήρανσης και ακολούθως της κομποστοποίησης σε πρότυπους αντιδραστήρες οικιακού τύπου.

Σκοπός της πειραματικής μελέτης είναι η διερεύνηση της διεργασίας της κομποστοποίησης με προσθήκη διατροφικών απορριμμάτων ξηραμένων στη πηγή. Επιμέρους στόχοι είναι α) η μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του μίγματος διατροφικών αποβλήτων συγκεκριμένης σύστασης προ και μετά ξήρανσης, η μέτρηση μείωσης μάζας και όγκου του υλικού, η ενεργειακή κατανάλωση και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της ξήρανσης, β) η μελέτη της διεργασίας κομποστοποίησης με προσθήκη ξηρού υλικού σε αναλογίες 10%, 30% και 50% κ.β και γ) ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και ο χαρακτηρισμός του τελικού προϊόντος (κόμποστ).

3.2 Μεθοδολογία

Η πειραματική διαδικασία διενεργήθηκε και ολοκληρώθηκε μέσω δύο ξεχωριστών σταδίων επεξεργασίας (1ο στάδιο: ξήρανση, 2ο στάδιο: κομποστοποίηση) στα οποία χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά δείγματα διαφορετικής σύστασης κατάλληλα για κάθε στάδιο.

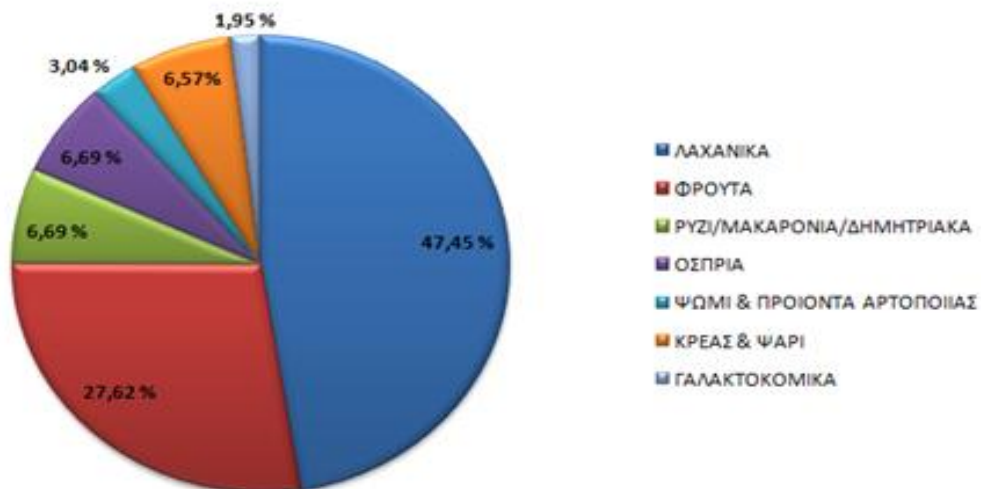
3.2.1. 1ο Στάδιο: ξήρανση

Για τη δημιουργία του προς ξήρανση μίγματος χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες απορρίμματα από λαϊκές αγορές και οικίες. Ακολούθως γίνεται η περιγραφή καθενός από τα συστατικά του μίγματος και παρατίθεται η μαζική και ποσοστιαία σύσταση. Αναφέρεται ότι η ποσοστιαία σύσταση ορίστηκε βάσει δεδομένων που συλλέχθηκαν από νοικοκυριά του δήμου Παπάγου-Χολαργού σχετικά με το είδος και την ποσότητα των κατηγοριών που εμφανίζονται κατά κύριο λόγο στα παραγόμενα απορρίμματα, καθώς και το μέγεθος του νοικοκυριού (Πίνακας 20). Συγκεκριμένα, το υλικό το οποίο οδηγήθηκε προς ξήρανση είχε την ακόλουθη σύσταση: πράσινα λαχανικά, πατάτα, ντομάτα, κρεμμύδι, πιπεριά, ρεβίθια, φασόλια, ψωμί, μπανάνα, τυρί, μήλο, πορτοκάλι, λεμόνι, κρέας και ψάρι. Το διάγραμμα πίτας (Διάγραμμα 10) που ακολουθεί δείχνει την επί τοις % σύσταση των διαφόρων κατηγοριών βιοαποβλήτων του μίγματος.

3. Πειραματικό Μέρος

Πίνακας 20. Μαζική και ποσοστιαία σύσταση του συνθετικού μίγματος προς ξήρανση

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΥΛΙΚΟ	1-ΜΕΛΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟ (g)	2-ΜΕΛΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟ (g)	3-ΜΕΛΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟ (g)	4-ΜΕΛΕΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΟ (g)	Ποσοστό %
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	Πατάτα	124,5	249	373,5	498	30,29
	Κρεμμύδι	21,5	43	64,5	86	5,23
	Μαρούλι	11,5	23	34,5	46	2,80
	Πιπεριά	4	8	12	16	0,97
	Πράσινη σαλάτα	6	12	18	24	1,46
	Πράσο	4	8	12	16	0,97
	Λάχανο	13,5	27	40,5	54	3,28
	Ντομάτα	10	20	30	40	2,43
ΦΡΟΥΤΑ	Πορτοκάλι	20,5	41	61,5	82	4,99
	Μπανάνα	46,5	93	139,5	186	11,31
	Μήλο	39,5	79	118,5	158	9,61
	Λεμόνι	7	14	21	28	1,70
ΟΣΠΡΙΑ	Φασόλια, Ρεβίθια	27,5	55	82,5	110	6,69
ΡΥΖΙ/ΜΑΚΑΡΟΝΙΑ/ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ	Μακαρόνια/Ρύζι	27,5	55	82,5	110	6,69
ΨΩΜΙ & ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΑΡΤΟΠΟΙΙΑΣ	Ψωμί	12,5	25	37,5	50	3,04
ΚΡΕΑΣ & ΨΑΡΙ	Κοτόπουλο	11	22	33	44	2,68
	Χοιρινό	12,5	25	37,5	50	3,04
	Ψάρι	3,5	7	10,5	14	0,85
ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΑ	Τυρί	8	16	24	32	1,95
Σύνολο		411	822	1233	1644	100,00



Διάγραμμα 10. Ποσοστιαία % σύσταση μίγματος προς ξήρανση

Σχετικά με το μέγεθος του νοικοκυριού, μία μονομελής οικογένεια παράγει 411 γραμμάρια διατροφικών απορριμμάτων την ημέρα, μια διμελής οικογένεια παράγει 822 γραμμάρια διατροφικών απορριμμάτων την ημέρα, μία τριμελής παράγει 1233 γραμμάρια διατροφικών απορριμμάτων την ημέρα και η ποσότητα για μία τετραμελή οικογένεια ανέρχεται σε 1644 γραμμάρια διατροφικών απορριμμάτων την ημέρα, Οι παρατηρήσεις και μετρήσεις της μείωσης μάζας και όγκου καθώς και η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής ξήρανσης που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκαν στις 4 παραπάνω περιπτώσεις νοικοκυριών.



Εικόνα 17 Δείγμα υλικού προς ξήρανση



Εικόνα 18. Καλάθι με το προς ξήρανση υλικό

3.2.1.1. Περιγραφή και λειτουργία πειραματικής διάταξης

Για την επίτευξη της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE το οποίο αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 08 ENV/GR/000566 με την ονομασία DRYWASTE. Η συσκευή αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη.

- Θάλαμος.

Πρόκειται για βασικό τμήμα καθώς γύρω του συνδέονται όλα τα υπόλοιπα συνθετικά μέρη. Είναι κυλινδρικού σχήματος, με ειδική διαμόρφωση για συναρμολόγηση εισαγωγέα εντός του οποίου συσσωρεύεται η μάζα των διατροφικών αποβλήτων. Το υλικό που επιλέχθηκε για την κατασκευή του είναι πηλός τύπου 'Stoneware' (Spanish Clay). Η σκοπιμότητα της επιλογής του εν λόγω υλικού οφείλεται κυρίως στην ευχέρεια της κατά το δυνατόν πιστότερης κατασκευής του δομικού μέρους, σύμφωνα με το σχέδιο. Επιπλέον, το εν λόγω υλικό παρέχει το πλεονέκτημα της κεραμικής μόνωσης, στοιχείο που είναι ζητούμενο και προϋποθέτει την αποδοτική λειτουργία του ξηραντήρα, ως προς τη συγκράτηση των κεραμικών φορτίων του αέρα ξήρανσης.

- Βάση

Πάνω σε αυτή προσαρμόζονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις του κεραμικού καλωδίου και του ανεμιστήρα (πτερωτή και κινητήρας). Η θέρμανση του εισερχόμενου 'νωπού' αέρα, πραγματοποιείται από το θερμικό καλώδιο και υποστηρίζεται θερμικά από τον θερμικό δίσκο ο οποίος προσαρμόζεται μέσω τεσσάρων ομοίων κοχλιών στη βάση του ξηραντή. Επίσης, στην περιοχή αυτή, έχει διανοιχτεί κυκλική οπή για τη σύνδεση σωλήνωσης μέσω της οποίας, τα συμπτκνώματα της διεργασίας ξήρανσης θα εξέρχονται του συστήματος. Το υλικό κατασκευής της είναι πηλός τύπου 'Stoneware' (Spanish Clay).. Η επιλογή του κεραμικού ως συνθετικό υλικό της βάσης ενέχει το πλεονέκτημα της μόνωσης έναντι βραχυκυκλώματος και γενικότερα διαρροής ηλεκτρικού ρεύματος σε περίπτωση αστοχίας του κινητήρα ή/και του θερμικού καλωδίου.

- Υποδοχέας Διατροφικών Αποβλήτων

Ο υποδοχέας των διατροφικών αποβλήτων σχεδιάζεται ως ένας κύλινδρος με μεγάλη διάμετρο βάσης και αναλογικά μικρό ύψος. Η παράπλευρη επιφάνεια του υποδοχέα, διαθέτει διάκενα τέτοια ώστε, αφενός να επιτρέπουν την ελεύθερη διάχυση του 'θερμού' αέρα προς τα συσσωρευμένα σωματίδια διατροφικών αποβλήτων, αφετέρου, να παρεμποδίζουν πιθανή διέλευση των σωματιδίων, δια μέσω αυτών προς το συλλεκτήρα συμπτκνωμάτων. Με την ολοκλήρωση της διεργασίας ξήρανσης, ο υποδοχέας αποσπάται από τον ξηραντήρα όπου και εκκενώνεται το περιεχόμενό του με τη χρήση δύο χειρολαβών αντιδιαμετρικά τοποθετημένων στο ανώτερο τμήμα

του υποδοχέα. Κατόπιν, ο υποδοχέας επανατοποθετείται στο εσωτερικό του ξηραντήρα για την εκκίνηση νέου κύκλου λειτουργίας.

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

- Συλλεκτήρας Συμπυκνωμάτων

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων είναι τοποθετημένος στο κατώτερο τμήμα του θαλάμου. Στο συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων (Plenum) συγκεντρώνονται οι ποσότητες των υδρατμών που τυχόν υγροποιήθηκαν κατά τη διαδρομή τους στο εσωτερικό του ξηραντήρα, κυρίως λόγω της επαφής τους με τα ψυχρά τοιχώματα του θαλάμου. Κατά τη φάση κατασκευής του συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε πηλός τύπου 'Stoneware' (SpanishClay)

- Πώμα

Το πώμα τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα του ξηραντήρα και έχει κυκλικό σχήμα. Η σταθερή προσαρμογή επιδιώκεται προκειμένου να διασφαλιστεί η απουσία έκλυσης οσμών σε χώρο εξωτερικά του ξηραντήρα, αλλά και για τη συγκράτηση του θερμικού φορτίου του αέρα ξήρανσης, στο εσωτερικό του θαλάμου. Επιπλέον, στο κέντρο του πώματος, φέρεται κυκλική οπή στο εσωτερικό της οποίας θα προσαρμοστεί η διάταξη του φίλτρου απόσμησης. Κατά τη φάση κατασκευής του πώματος, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε πηλός τύπου 'Stoneware' (SpanishClay). Επιπλέον, η επιλογή αυτή διασφαλίζει τη θερμική μόνωση του χώρου ξήρανσης, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

3.2.1.2. Πειραματικό πρωτόκολλο ξήρανσης – Παράμετροι που μελετήθηκαν

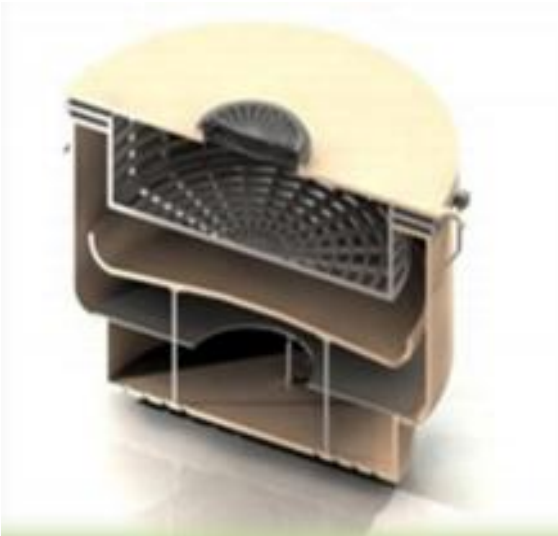
Συγκεντρώνεται το απαραίτητο νωπό υλικό , ζυγίζεται κάθε συστατικό , και τεμαχίζεται σε μικρά κομμάτια διαμέτρου περίπου δύο εκατοστών. Το μέγεθος αυτό θεωρείται ιδανικό ώστε να διεξάγεται ομαλά η διεργασία καθώς εξασφαλίζει μεγάλη επιφάνεια νωπού υλικού με μικρό όγκο.



Εικόνα 19.Θάλαμος ξηραντήρα



Εικόνα 20.Υποδοχέας των διατροφικών αποβλήτων (πάνω όψη)



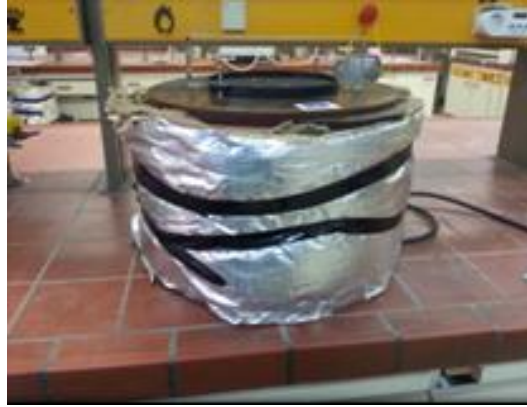
Εικόνα 21. Τομή ξηραντήρα



Εικόνα 22. Ξηραντήρας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

Επίσης το μέγεθος αυτό των κομματιών εξασφαλίζει ότι θα παραμείνουν εντός του καλάθιου και δεν θα ξεφύγουν από τα διάκενα του πλέγματος του. Τοποθετείται σε ειδικό κάδο και μέσα στον ξηραντήρα. Ο ξηραντήρας είναι ρυθμισμένος στους 80 °C για 8 ώρες. Καταγράφεται η μεταβολή μάζας , η μεταβολή ύψους του δείγματος και η ενεργειακή κατανάλωση .Όσο μειώνεται το ύψος του υλικού στον κάδο τοποθετείται νέο υλικό έως ότου πληρωθεί το καλάθι – υποδοχέας των

διατροφικών αποβλήτων και μέχρι σταθεροποίησης της μάζας. Η σταθεροποίηση της μάζας αποτελεί ένδειξη ότι η ξήρανση έχει ολοκληρωθεί. Για την μείωση των απωλειών της θερμότητας και ενέργειας ο ξηραντήρας περιβάλλεται με μονωτικό υλικό (πετροβάμβακα) όπως φαίνεται στην εικόνα 22.



Εικόνα 23. Ξηραντήρας Drywaste μονωμένος με πετροβάμβακα

3.2.1.2.1. Προσδιορισμός μείωσης μάζας

Ο προσδιορισμός μείωσης της μάζας πραγματοποιείται άμεσα με τη βοήθεια της ηλεκτρονικής ζυγαριάς του εργαστηρίου. Συγκεκριμένα καταγράφεται το βάρος του καλαθιού κάθε φορά πριν και μετά το πέρας του οχταώρου και διαπιστώνεται η απώλεια της μάζας



Εικόνα 24 .Ζύγιση υλικού και καλαθιού πριν την εισαγωγή του στον ξηραντήρα

3.2.1.2.2. Προσδιορισμός μείωσης όγκου

Για τον προσδιορισμό του ποσοστού της μείωσης του όγκου του νωπού υλικό όταν αυτό ξηραθεί πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του ύψους του δείγματος που προστίθεται στο καλάθι του ξηραντήρα σε κάθε του πλήρωση και του τελικού ύψους του ξηρού δείγματος που προκύπτει. Δεδομένου ότι το καλάθι είναι κυλινδρικού σχήματος, για τη μετατροπή των δεδομένων του ύψους σε όγκο χρησιμοποιήθηκε η εξής σχέση:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h$$

όπου,

$R = 13,5 \text{ cm}$

$h =$ το μετρούμενο ύψος κάθε φορά

Για τον προσδιορισμό της μείωσης του όγκου αφαιρούμε από τον συνολικό όγκο του νωπού δείγματος που προστέθηκε σε κάθε ξηραντήρα τον όγκο του τελικού ξηρού υλικού που λαμβάνεται από κάθε ξηραντήρα

$\% \text{ μείωση όγκου} = (\text{όγκος νωπού} - \text{όγκος ξηρού}) / (\text{όγκο νωπού}) \cdot 100$



Εικόνα 25. Δείγμα μετά από ξήρανση

3.2.1.2.3. Προσδιορισμός ενεργειακής κατανάλωσης

Ο προσδιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης της λειτουργίας του ξηραντήρα γίνεται με την συσκευή που φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Η συσκευή αυτή καταγράφει επίσης και τις ώρες λειτουργίας του ξηραντήρα.



Εικόνα 26. Συσκευή μέτρησης ενεργειακής κατανάλωσης και χρόνου λειτουργίας

3.2.2. 2^ο Στάδιο: Κομποστοποίηση

Για τη δημιουργία του προς κομποστοποίηση μίγματος χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες απορρίμματα από λαϊκές αγορές και οικίες για το νωπό μέρος του συνθετικού δείγματος, ενώ για το ξηρό μέρος χρησιμοποιήθηκε το υλικό στη μορφή που παραλήφθηκε από τον ξηραντήρα.

3.2.2.1. Περιγραφή και λειτουργία πειραματικής διάταξης

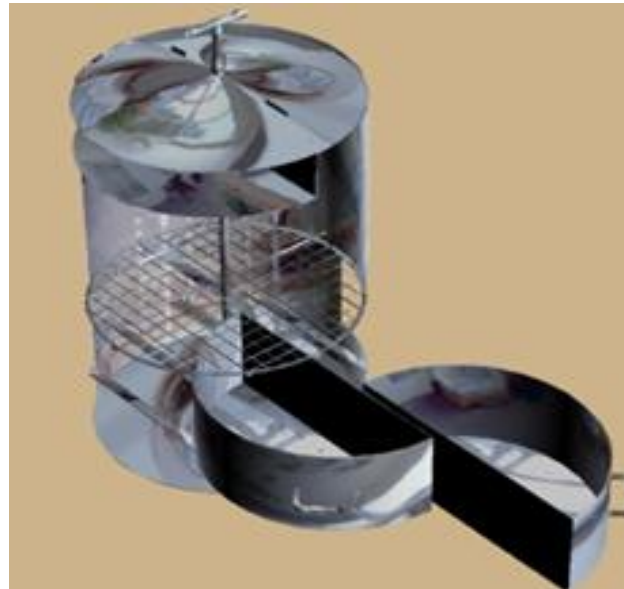
Μετά το τέλος της ξήρασης και έχοντας συγκεντρώσει την απαιτούμενη ποσότητα ξηρού υλικού ξεκινά η διαδικασία της κομποστοποίησης. Θα χρησιμοποιηθούν δύο κομποστοποιητές για κάθε κύκλο πειραμάτων.

Οι κομποστοποιητές αυτοί είναι πιλοτικοί, το οποίο αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 03 ENV/GR/000205 με την ονομασία COMWASTE. Το σύστημα αποτελείται από βιοαντιδραστήρα κλειστού τύπου ασυνεχούς τροφοδοσίας με δυναμικότητα επεξεργασίας 17 κιλών βιοαποδομήσιμων οικιακών απορριμμάτων. Ο καθένας είναι κυλινδρικού σχήματος, και αποτελείται από τρία μέρη τα οποία χωρίζονται με διάτρητη σχάρα. Στο άνω τμήμα συσσωρεύεται το υλικό τροφοδοσίας και παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια της διεργασίας. Το έτοιμο κόμποστ υπό κορφή χούμους διαπερνά στη συνέχεια την διάτρητη σχάρα και συγκεντρώνεται στο επόμενο τμήμα του κομποστοποιητή σε ειδικά συρτάρια τα οποία

διευκολύνουν την εξαγωγή του προϊόντος από τον κάδο. Ακολουθεί το τμήμα όπου συλλέγονται τα στραγγίσματα που πιθανώς παραχθούν και με τη βοήθεια μιας βρύσης αποβάλλονται. Τα μεταλλικά τμήματα του συστήματος κατασκευάστηκαν από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι κομποστοποιητές τυλίχθηκαν με πετροβάμβακα για θερμική μόνωση. Για τη διευκόλυνση της ανάδευσης έχει τοποθετηθεί άξονας με αναδευτήρες κάθετα στο κέντρο του κομποστοποιητή. Ο αναδευτήρας επί του άνω άκρου του φέρει συγκολλημένη τη διάταξη της χειρολαβής, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η περιστροφή του αναδευτήρα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη αναδευτήρα, ένα με λεπτές και ένα με παχύτερες ράβδους για να διαπιστωθεί ποια περίπτωση είναι αποτελεσματικότερη. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα δύο συστήματα.



Εικόνα 27. Εξωτερική άποψη κομποστοποιητή με μόνωση



Εικόνα 28. Εσωτερική άποψη του κομποστοποιητή



Εικόνα 29. Το σύστημα ανάδευσης με παχύτερες ράβδους



Εικόνα 30. Το σύστημα ανάδευσης με λεπτές ράβδους και η διάτρητη σχάρα



Εικόνα 31. Το κόμποστ που παράχθη και τμήμα του συστήματος ανάδευσης



Εικόνα 32. Διάταξη σωρού διατροφικών αποβλήτων

3.2.2.2. Πειραματικό πρωτόκολλο Κομποστοποίησης-Παράμετροι που μελετήθηκαν

Θα πραγματοποιηθούν 2 κύκλοι κομποστοποίησης . Σε καθένα από αυτούς θα χρησιμοποιηθούν δύο κομποστοποιητές . Στον πρώτο κύκλο θα έχουμε αναλογία 0% και 10% ξηρό υλικό κατά βάρος σε σχέση με το αρχικό υλικό τροφοδοσίας, ενώ στον δεύτερο κύκλο η σύσταση ξηρού υλικού που προστέθηκε είναι 30% και 50 % αντίστοιχα. Προστίθεται επίσης μια ποσότητα περλίτη και πράσινα απόβλητα (φύλλα και κλαδάκια) για την αύξηση του πορώδους του υποστρώματος και την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Διευκρινίζεται ότι το νωπό υλικό τροφοδοσίας τεμαχίστηκε σε κομμάτια μεγέθους περίπου 2-3 εκατοστών πριν την ανάμιξη του με το ξηρό υλικό , τα πράσινα απόβλητα και τον περλίτη και την φόρτιση του στον κομποστοποιητή.

Στη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη, ως πρόσθετο κομποστοποίησης χρησιμοποιήθηκε ο περλίτης σε ποσοστό ~5% σε κάθε αντιδραστήρα.

Ο πίνακας 21 παρουσιάζει αναλυτικά τα ποσοστά και τις ποσότητες των επιμέρους υλικών που αποτελούν το συνθετικό δείγμα, ενώ στον πίνακα 22 δίνεται η κατά βάρος σύσταση των συστατικών του νωπού υλικού για κάθε έναν από τους τέσσερις αντιδραστήρες που μελετήθηκαν.

Πίνακας 21. Ποσοστά και ποσότητες υλικών που αποτελούν το συνθετικό δείγμα κάθε αντιδραστήρα

Αντιδραστήρας	ΠΡΟΣΘΕΤΟ (kg) περλίτης ~ 5%	ΠΡΟΣΘΕΤΟ ξηρό υλικό	ΞΗΡΟ (kg)	ΝΩΠΟ (kg)	ΠΡΑΣΙΝΑ (kg)	ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΑ (kg)	ΣΥΝΟΛΟ (kg)
1	0,75	0%	0,00	15,00	2,00	13,00	15,75
2	0,75	10%	1,58	13,43	2,00	11,43	15,75
3	0,75	30%	4,73	10,28	2,00	8,28	15,75
4	0,75	50%	7,88	7,13	2,00	5,13	15,75

Πίνακας 22. Η κατά βάρος σύσταση των συστατικών του νωπού υλικού για κάθε έναν από τους τέσσερις αντιδραστήρες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΟΥ	ΥΛΙΚΟ	Ποσοστό (%)	Τροφοδοσία σε νωπό υλικό (kg)			
			1ος Αντιδραστήρας	2ος Αντιδραστήρας	3ος Αντιδραστήρας	4ος Αντιδραστήρας
ΛΑΧΑΝΙΚΑ	Πατάτα	30,29	4,54	4,07	3,11	2,16
	Κρεμμύδι	5,23	0,78	0,70	0,54	0,37
	Μαρούλι	2,80	0,42	0,38	0,29	0,20
	Πυτεριά	0,97	0,15	0,13	0,10	0,07
	Πράσινη σαλάτα	1,46	0,22	0,20	0,15	0,10
	Πράσο	0,97	0,15	0,13	0,10	0,07
	Λάχανο	3,28	0,49	0,44	0,34	0,23
	Ντομάτα	2,43	0,36	0,33	0,25	0,17
ΦΡΟΥΤΑ	Πορτοκάλι	4,99	0,75	0,67	0,51	0,36

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΟΥ	ΥΛΙΚΟ	Ποσοστό (%)	Τροφοδοσία σε νωπό υλικό (kg)			
			1ος Αντιδραστήρας	2ος Αντιδραστήρας	3ος Αντιδραστήρας	4ος Αντιδραστήρας
	Μπανάνα	11,31	1,70	1,52	1,16	0,81
	Μήλο	9,61	1,44	1,29	0,99	0,69
	Λεμόνι	1,70	0,26	0,23	0,18	0,12
ΜΑΚΑΡΟΝΙΑ/ΡΥΖΙ/ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ	Ρύζι	6,69	1,00	0,90	0,69	0,48
	Μακαρόνια	6,69	1,00	0,90	0,69	0,48
ΨΩΜΙ & ΕΙΔΗ ΑΡΤΟΠΟΙΙΑΣ	Ψωμί	3,04	0,46	0,41	0,31	0,22
ΟΣΠΡΙΑ	Ρεβίθια	5,72	0,86	0,77	0,59	0,41
	Φασόλια	2,80	0,42	0,38	0,29	0,20
ΣΥΝΟΛΟ		100,00	15,00	13,43	10,28	7,13

Αναφέρεται ότι η συχνότητα δειγματοληψίας είναι η εξής:

- ημέρες 1-10: καθημερινά 1 δείγμα
- ημέρες 11-21:κάθε 3 μέρες 1 δείγμα
- 1 μήνα μετά το πέρας της διεργασίας (ωρίμανση προϊόντος):1 δείγμα τελικού προϊόντος

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν στα δείγματα φαίνονται στον πίνακα 23. Αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο ξηρό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετο , στα δείγματα που παραλαμβάνονταν καθημερινά κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης αλλά και στο τελικό ώριμο προϊόν .

Πίνακας 23. Σύνολο φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων οι οποίες εξετάστηκαν στα διαφορετικά δείγματα

Παράμετρος	Υλικό τροφοδοσίας	Υπόστρωμα	Τελικό προϊόν	Μονάδα
Θερμοκρασία	✓	✓	✓	°C
Υγρασία	✓	✓	✓	% wb
Αγωγιμότητα		✓	✓	% wb
Οξυγόνο		✓	✓	% v/v
pH	✓	✓	✓	
Πτητικά Στερεά		✓	✓	% dm
TOC	✓	✓	✓	% dm
N-TKN	✓	✓	✓	% dm
NH ₄ ⁺		✓	✓	mg/ kg
NO ₃ ⁻		✓	✓	mg/ kg
C/N	✓	✓	✓	
K - K ₂ O			✓	mg/ kg
Ca - CaO			✓	mg/ kg
Mg - MgO			✓	mg/ kg

Παράμετρος	Υλικό τροφοδοσίας	Υπόστρωμα	Τελικό προϊόν	Μονάδα
Na			✓	mg/ kg
Φυτοτοξικότητα			✓	% Δ.Β.
Βαρέα Μέταλλα			✓	mg/ kg

Ακολουθεί αναλυτική επεξήγηση κάθε παραμέτρου:

Θερμοκρασία

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί διασπούν την οργανική ύλη παράγοντας CO₂, νερό, θερμότητα και χούμους, που αποτελεί και το τελικό οργανικό προϊόν. Υπό βέλτιστες συνθήκες, η κομποστοποίηση περνά από 3 φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η μεσόφιλη. Η αποδόμηση της οργανικής ύλης αρχικά, συντελείται από τους μεσόφιλους μικροοργανισμούς, οι οποίοι αποδομούν τις εύκολα βιοδιασπώμενες οργανικές ενώσεις. Η δραστηριότητα αυτή απελευθερώνει μεγάλα ποσά ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας. Συνυπολογίζοντας και την ιδιότητα του κόμποστ να είναι καλός μονωτής όλη αυτή η παραγόμενη θερμότητα εγκλωβίζεται και έτσι παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και καθώς αυτή περνά τους 40 °C οι μεσόφιλοι οργανισμοί γίνονται λιγότερο ανταγωνιστικοί και τελικά κυριαρχούν οι θερμόφιλοι. Η δεύτερη φάση, λοιπόν, είναι η θερμόφιλη, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και μπορεί να διαρκέσει από μερικές μέρες έως μερικές εβδομάδες. Τέλος η τρίτη φάση είναι μια δεύτερη μεσόφιλη ή φάση ωρίμανσης η οποία και συμβάλει στην σταθεροποίηση του κόμποστ. (Πηγή: Μαργαρίτης ,2013)

Υγρασία

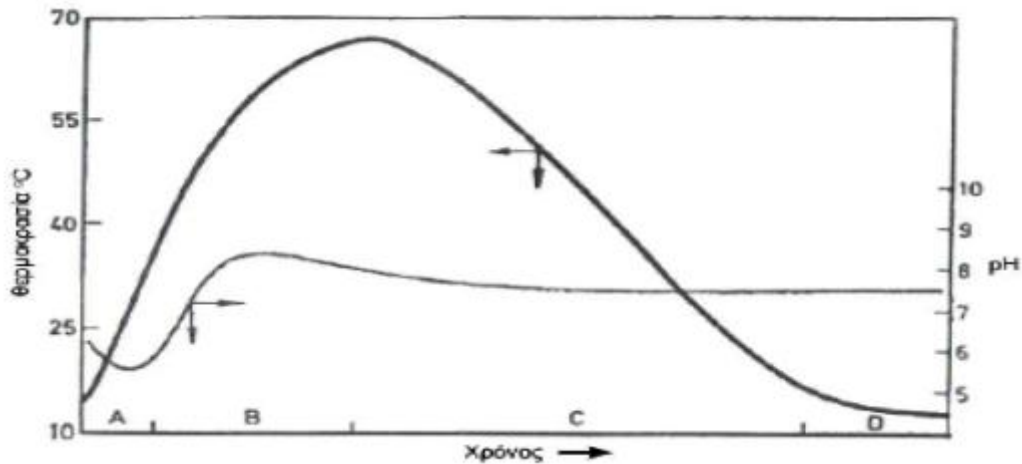
Υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ υγρασίας και αερισμού . Ο αποτελεσματικός αερισμός της μάζας του κόμποστ εξαρτάται από τα διάκενα (πόρους) που υπάρχουν . Καθώς αυξάνει η υγρασία οι πόροι γεμίζουν νερό, τα διάκενα όπου μπορεί να κυκλοφορήσει ο αέρας μειώνονται και αρχίζουν να επικρατούν αναερόβιες συνθήκες σε τμήματα του σωρού. Η αρχική υγρασία πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο 60-70% και να μην αφήνεται να πέσει κάτω από 30-35%. Κάτω από 25% υγρασία, η μικροβιακή δραστηριότητα παρεμποδίζεται ισχυρά, ενώ κάτω από 10-15% σταματά τελείως. Μια συνέπεια της έλλειψης νερού είναι ότι, καθώς εμποδίζεται η μικροβιακή δραστηριότητα, το υλικό δίνει μια ψευδή εικόνα σταθεροποίησης. Έτσι μπορεί να διατεθεί ως έτοιμο κόμποστ στην αγορά. Όταν όμως ξαναβραχεί, στο χωράφι ή τον κήπο, η μικροβιακή δραστηριότητα επανακάμπτει και μπορεί να «κάψει» τα φυτά ή να απελευθερώσει δυσάρεστες οσμές. (Πηγή: Epstein , 1997)

Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράει το διαλυτό άλας που περιέχεται στο κόμποστ. Τα διαλυτά άλατα αναφέρονται στην συγκέντρωση διαλυτών ιόντων σ' ένα διάλυμα. Η αγωγιμότητα μπορεί να υποδείξει εάν ένα προϊόν είναι φυτοτοξικό όταν χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους. Υψηλή περιεκτικότητα σε άλας για ένα κόμποστ μπορεί να του προσδίδει υψηλή θρεπτική αξία, αλλά μπορεί και να καταστρέψει τα φυτά, ειδικά τους σπόρους ενδέχεται να κάψει τις ρίζες και να καθυστερήσει τη διαδικασία βλάστησης. Η ύπαρξη υπερβολικά υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα την θρεπτική λήψη αφού τα θρεπτικά συστατικά είναι διαλυμένα στο νερό και με αυτό μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως όμως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα άλατος ειδικά όπως το κάλιο, το ασβέστιο ή το μαγνήσιο μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας. (Πηγή: Μαργαρίτης ,2013)

Οξύτητα ή Αλκαλικότητα (pH)

Το pH εκφράζει την αλκαλικότητα ή την οξύτητα στην υγρασία του σωρού. Τα βακτήρια δρουν σε υψηλότερους ρυθμούς με pH 6 - 7,5 ενώ οι μύκητες παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών, μεταξύ 5,5 και 8. Εάν το pH πέσει κάτω του 6 οι μικροοργανισμοί και κυρίως τα βακτήρια πεθαίνουν και ο ρυθμός κομποστοποίησης ελαττώνεται. Εάν το pH υπερβεί την τιμή 9 τότε το άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνία και παύει να είναι διαθέσιμο για τους μικροοργανισμούς. Όπως και στην θερμοκρασία, έτσι και το pH παρουσιάζεται να ακολουθεί μια καμπύλη κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Το μεγαλύτερο μέρος της κομποστοποίησης πραγματοποιείται μεταξύ των τιμών 5,5 και 9. Κατά το ξεκίνημα της κομποστοποίησης οργανικά οξέα παράγονται και το pH κυμαίνεται στο 5. Σε αυτήν την τιμή μύκητες ανθεκτικοί στο όξινο περιβάλλον παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση του pH. (Πηγή: Storm,1985)



Διάγραμμα 11. Διακύμανση Θερμοκρασίας και pH σε σχέση με το χρόνο, φάσεις μικροβιακής δραστηριότητας: A= Μεσόφιλοι, B= Θερμόφιλοι, C= Ψύξη, D= Ωρίμανση (Πηγή: Storm,1985)

Πτητικά στερεά

Ως πτητικά στερεά ορίζεται το ποσοστό των ξηρών στερεών που χάνονται με ανάφλεξη στους 550 °C. Αποτελούν μια παράμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της οργανικής ύλης. Το περιεχόμενο σε πτητικά στερεά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης, επειδή η σταθεροποίηση του κόμποστ είναι μια διαδικασία που έχει σχέση με την ποσότητα και την αποσύνθεση του οργανικού υλικού. Η παρουσία τους βοηθάει στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας καθότι αποτελούν άμεση πηγή προς κατανάλωση. (Πηγή: Μαργαρίτης 2013)

Άνθρακας

Μέσω της οξείδωσης του κατά το μεταβολισμό, ο άνθρακας δίνει την απαραίτητη ενέργεια στους μικροοργανισμούς. Το μεγαλύτερο μέρος απώλειας μάζας και της έκλυσης θερμότητας κατά την κομποστοποίηση οφείλεται στην οξείδωση του άνθρακα σε CO₂. (Πηγή: Journal of composting and recycling, 1999)

Από πρακτική σκοπιά, η διαθεσιμότητα του άνθρακα καθορίζει:

- (1) την καταλληλότητα των αποβλήτων ως πηγή άνθρακα για την κομποστοποίηση,
- (2) το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να διασπαστούν τα απόβλητα - και συνεπώς τον απαιτούμενο χρόνο παραμονής τους στο σύστημα, και

(3) το ανώτατο όριο του λόγου του άνθρακα προς άζωτο (C/N) που δεν επιβραδύνει τη διεργασία

Άζωτο

Το άζωτο είναι βασικό συστατικό του πρωτοπλάσματος και χωρίς αυτό οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να πολλαπλασιαστούν. Η μικροβιακή δραστηριότητα όμως μπορεί να επιτευχθεί και απουσία αζώτου. Το άζωτο βρίσκεται σε ικανοποιητικό ποσοστό και σε διαθέσιμες μορφές στα υπολείμματα φαγητού, στα απόβλητα κήπων και πάρκων (ιδίως όταν έχουν γρασίδι), στη λάσπη βιολογικών καθαρισμών και στις διάφορες κοπριές. Αντίθετα έλλειμμα παρουσιάζεται στα ξυλώδη απορρίμματα, το χαρτί και διάφορα βιομηχανικά οργανικά απόβλητα. Η ανάμιξη με απόβλητα πλούσια σε άζωτο είναι η ενδεικνυόμενη λύση για την κομποστοποίηση φτωχών σε άζωτο αποβλήτων. Εναλλακτικά, μπορεί να προστεθεί άζωτο σε ανόργανη μορφή, π.χ. ως αζωτούχο λίπασμα.

Η ποσότητα του ολικού αζώτου ποικίλλει από έδαφος σ' έδαφος, αλλά και στο ίδιο το έδαφος, ανάλογα με το βάθος. Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ποσότητα του ολικού αζώτου σ' ένα συγκεκριμένο έδαφος είναι το κλίμα, η βλάστηση, η μηχανική σύσταση του εδάφους και το σύστημα καλλιέργειας.

Οι οργανικές αζωτούχες ενώσεις είναι συστατικά της οργανικής ουσίας του εδάφους, από τις οποίες ελευθερώνεται άζωτο με τη μορφή αμμωνίας με βιοχημικές διεργασίες και με ρυθμό που εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες. Συνήθως το 2-3% του αζώτου των οργανικών ενώσεων ελευθερώνεται με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε νιτρώδη κατ' αρχήν και τελικά σε νιτρικά ιόντα.

Οι ανόργανες μορφές του αζώτου είναι τα ιόντα NH_4^+ , NO_3^- και NO_2^- που προέρχονται κυρίως είτε από την αποικοδόμηση των οργανικών υλικών, είτε από τα χημικά λιπάσματα, που προστίθενται στο έδαφος. (Πηγή: Journal of composting and recycling, 1999), (Πηγή: Σινάνης, 2003)

Αναλογία Άνθρακα προς Άζωτο

Η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους. Η βέλτιστη αναλογία για την κομποστοποίηση κυμαίνεται από 20 έως 30 μέρη διαθέσιμου άνθρακα προς 1 μέρος διαθέσιμου αζώτου. Υψηλότερες τιμές του λόγου C/N, επιβραδύνουν τη διεργασία της κομποστοποίησης. Κατά την ενεργή φάση της διεργασίας το πρόβλημα εκδηλώνεται με μείωση της παραγωγής θερμότητας. Όταν ο λόγος C/N είναι χαμηλότερος από περίπου 18-19/1, το

πλεόνασμα του αζώτου χάνεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αμμωνίας. Προκαλούνται έτσι δυσάρεστες οσμές, και αυξάνεται το pH σε επίπεδα δυσμενή για την κομποστοποίηση. Τα στοιχεία αέρας-νερό και άνθρακας-άζωτο πρέπει να βρίσκονται σε κάποια ισορροπία. Η έλλειψη οξυγόνου στο κομπόστ προκαλεί σαπίλα με άσχημη μυρωδιά, όταν το νερό πλεονάζει.

Για να πετύχουμε κάπως μία καλή σχέση άνθρακα προς άζωτο στο κόμποστ πρέπει οι ουσίες που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι σε χλωρή και σε ξηρή κατάσταση. Για παράδειγμα πράσινα υπολείμματα κουζίνας, φύλλωμα πράσινο, γκαζόν, κοπριά ζωική από τη μία πλευρά και από την άλλη πλευρά υλικά που έχουν περισσότερο άνθρακα, όπως είναι τα ξερά κλαδιά, τα άχυρα, οι φλούδες δέντρων, τα χαρτιά, τα πριονίδια κλπ.

Φυτοτοξικότητα

Η φυτοτοξικότητα προσδιορίζεται με τη βοήθεια του δείκτη βλαστικότητας (Δ.Β). Ο προσδιορισμός του Δ.Β. έγκειται στην ποσοτικοποίηση της ανάπτυξης επιλεγμένων καρπών κατά τη χρήση υγρού εκχυλίσματος του κόμποστ σε σύγκριση με την ανάπτυξη των καρπών σε τυφλό δείγμα (συνήθως απιονισμένο νερό). Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο προσδιορισμού του Δ.Β. θα αναμενόταν τιμές κάτω του 100% να υποδεικνύουν ενδεχόμενη φυτοτοξικότητα ενώ αντίστοιχα τιμές μεγαλύτερες του 100% να υποδεικνύουν τη θετική επίδραση του προϊόντος στους καρπούς και κατ' επέκταση την ωριμότητά του. Αντιθέτως, με βάση τη βιβλιογραφία, διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει ένα κοινό κατώτερο όριο του Δ.Β. πάνω από το οποίο διασφαλίζεται ότι το κόμποστ είναι ώριμο. (Τα συνηθέστερα όρια κυμαίνονται σε Δ.Β.>80%. (Πηγή:Zucconi et al. 1981)

Μακροστοιχεία

Για να είναι αποτελεσματική η κομποστοποίηση, οι μικροοργανισμοί απαιτούν την ύπαρξη ορισμένων θρεπτικών στοιχείων, σε αφομοιώσιμη μορφή, στις κατάλληλες συγκεντρώσεις και στην σωστή αναλογία. Τα βασικά στοιχεία, αυτά δηλαδή που απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες, είναι ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P) και το κάλιο (K). Θρεπτικά στοιχεία αποτελούν ακόμη και το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg).

Βαρέα μέταλλα

Τα ιχνοστοιχεία είναι στοιχεία που βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στον εξωτερικό φλοιό της γης. Μεταφέρονται μέσω του εδάφους στα φυτά και από εκεί στα ζώα και στον άνθρωπο. Κάποια

από αυτά είναι τοξικά ενώ κάποια όχι. Επιπλέον κάποια στοιχεία είναι απαραίτητα σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά τοξικά σε υψηλές. Τα τελευταία αναφέρονται ως βαρέα μέταλλα.

Βαρέα μέταλλα, είναι μια κατηγορία χημικών στοιχείων με μεγάλα μοριακά βάρη (όπως υδράργυρος, νικέλιο, βανάδιο, αρσενικό, βηρύλλιο, κάδμιο, βάριο, χρώμιο, χαλκός, μολυβδαίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος, σελήνιο, ράδιο κ.α) τα οποία έχουν χημική συμπεριφορά μετάλλου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν και τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε μικρές ποσότητες, ακόμη και η ίδια η ύπαρξή τους και η πιθανότητα απελευθέρωσής τους στο περιβάλλον θα πρέπει να είναι ανησυχητικές καθώς τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα τοξικά. Κανένα από τα στοιχεία αυτά δεν συναντάται, ούτε και είναι απαραίτητα για τους ζωντανούς οργανισμούς, ενώ επιπλέον είναι ιδιαίτερα τοξικά για τον άνθρωπο ή τα ζώα ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα έρχονται σε επαφή με τον άνθρωπο κυρίως μέσω της απελευθέρωσής τους στην ατμόσφαιρα από καμινάδες εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, από το έδαφος ή τα ύδατα όπου έχουν αποτεθεί ως ρύποι και μέσω της τροφικής αλυσίδας. (Πηγή: Florian, 2004)

Τα κυριότερα βαρέα μέταλλα στο περιβάλλον καθώς και η τοξική τους δράση, είναι:

1. Μόλυβδος (Pb):

Ο μόλυβδος είναι σημαντικός ρυπαντής και επικίνδυνος για την υγεία λόγω της μεγάλης του τοξικότητας και αφετέρου, λόγω της ποικιλίας των πηγών προέλευσης. Ο μόλυβδος φτάνει στον άνθρωπο, είτε μέσω της αναπνοής μετά την εναπόθεσή του στο έδαφος, είτε μέσω της τροφικής αλυσίδας, είτε από το νερό. Τα σωματίδια του μολύβδου μεταφέρονται εύκολα στις κυψελίδες των πνευμόνων λόγω της μικρής τους διαμέτρου που δεν υπερβαίνει το 1 μm. Εναποτίθεται κυρίως στα οστά, από όπου μπορεί να μεταβιβαστεί στο αίμα κάτω από συνθήκες άγχους και ασθένειας. Στο αίμα παρεμποδίζει το σχηματισμό αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα την αναιμία. Ο μόλυβδος εμποδίζει τα ένζυμα στην λειτουργία τους και διακόπτει μεγάλο αριθμό μεταβολικών λειτουργιών. Στα παιδιά ακόμη και μικρές συγκεντρώσεις μολύβδου επηρεάζουν τις διανοητικές λειτουργίες τους, ενώ μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει διανοητική καθυστέρηση. Μπορεί ακόμη να προκαλέσει χρόνια νεφρίτιδα, καρδιαγγειακά προβλήματα, εγκεφαλική παράλυση, καθώς και προβλήματα στο συκώτι. Το σημαντικό πρόβλημα με το μόλυβδο είναι ότι απομακρύνεται δύσκολα λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής του. Για το λόγο αυτό με οδηγία της Ε.Ε., απαγορεύτηκε η βενζίνη με μόλυβδο και αντικαταστάθηκε με χημικό υποκατάστατο. (Πηγή: Florian, 2004)

2. Κάδμιο (Cd):

Το κάδμιο εκτός από τα ορυκτά του, εμφανίζεται ως πρόσμιξη στα ορυκτά του ψευδαργύρου (κοινώς τσίγκος). Χρησιμοποιείται κυρίως στην ηλεκτροαπόθεση, ως σταθεροποιητής στα πλαστικά και στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου. Το κάδμιο ανήκει στις καρκινογόνες ενώσεις και είναι γνωστό ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα και εδάφη. (Πηγή: Florian, 2004)

3. Υδράργυρος (Hg):

Είναι γνωστός σε όλους μας, αφού αποτελεί το περιεχόμενο των θερμομέτρων. Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανίες κατασκευής ηλεκτρικού εξοπλισμού και ανιχνεύεται στις τοξικές λάσπες, των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορεί να μπει στο σώμα από τους πνεύμονες, το δέρμα και από το πεπτικό σύστημα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση δηλητηρίασης από υδράργυρο είναι μέσω της αναπνοής. Οι συνήθεις δηλητηριάσεις από υδράργυρο προέρχονται από σύντομες εκθέσεις σ' αυτόν, σε υψηλά όμως επίπεδα. Μπορούν όμως να προκαλέσουν οξεία δηλητηρίαση, χαρακτηριστικά της οποίας είναι σφίξιμο και πόνος στο στήθος, δυσκολία στη αναπνοή, φλεγμονές στο στόμα και τα ούλα, πυρετός και πονοκέφαλος. Πιο επικίνδυνες όμως είναι οι χρόνιες δηλητηριάσεις από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα.

4. Χρώμιο

Το τρισθενές χρώμιο είναι από τα πιο ισχυρά ανόργανα καρκινογόνα. Υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για την καρκινική δράση στο στομάχι, ενώ η δράση των ιόντων χρωμίου που οδηγεί σε καρκίνο συνίσταται σε προσβολή του DNA και των πρωτεϊνών.

Το χρώμιο είναι πολύ διαδεδομένο στη φύση με φυσική αφθονία στο φλοιό της Γης 100 ppm. Τα φυσιολογικά επίπεδά του στα μη ρυπασμένα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται στην περιοχή 1 - 10 μg/L. Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις του βρίσκονται στην περιοχή 0,4 - 8 μg/L. Στον αέρα βρίσκεται σε συγκεντρώσεις <0,1 μg/m³.

Σχεδόν όλο το χρώμιο στη φύση βρίσκεται ως τρισθενές χρώμιο, Cr(III). Το εξασθενές χρώμιο, Cr(VI), που συναντάται στο περιβάλλον, είναι σχεδόν αποκλειστικά ανθρωπογενές (προέρχεται από δραστηριότητες του ανθρώπου). Διάφορες βιομηχανίες εκπέμπουν στον αέρα, στο νερό και στο έδαφος πλήθος ενώσεων του Cr(VI). Το Cr(VI) είναι σταθερό στον αέρα και στο καθαρό νερό, αλλά ανάγεται ταχύτατα προς Cr(III), όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και σε ζωντανούς οργανισμούς. (Πηγή: Florian, 2004)

5. Χαλκός

Απαραίτητο μέταλλο για τα φυτά και τα ζώα. Ο χαλκός θεωρείται τοξικός για τιμές από 25 έως 40 μg/g ξηρού βάρους. Ο χαλκός είναι μια πολύ κοινή ουσία που εμφανίζεται φυσικά στο περιβάλλον και διαδίδεται σε αυτό μέσω των φυσικών φαινομένων. Η απορρόφηση του χαλκού είναι απαραίτητη, επειδή ο χαλκός είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για την ανθρώπινη υγεία. Αν και οι άνθρωποι μπορούν να χειριστούν αναλογικά μεγάλες συγκεντρώσεις χαλκού, υπερβολική πρόσληψη χαλκού μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα υγείας. (Πηγή: Florian, 2004)

3.2.2.3. «Σταθερότητα» και «ωριμότητα» του κόμποστ

Ο καθορισμός του χρονικού σημείου της ολοκλήρωσης της διαδικασίας είναι ένα δύσκολο και πολυσυζητημένο θέμα. Για τον καθορισμό αυτού του χρονικού σημείου χρησιμοποιούνται οι όροι «ωριμότητα» και «σταθερότητα». Οι όροι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν επί σειρά ετών ως περίπου ταυτόσημοι, όμως σήμερα αναγνωρίζεται πως εκφράζουν διαφορετικές έννοιες (Erstein 1997). Συγκεκριμένα, το «ώριμο» ορίζεται ως το απαλλαγμένο από φυτοτοξικές ουσίες προϊόν, ενώ το «σταθερό» αυτό στο οποίο πρακτικά οι διεργασίες έχουν σταματήσει. Για την εκτίμηση της σταθερότητας και της ωριμότητας υπάρχουν κάποιες απλές μέθοδοι αλλά και μια ποικιλία εργαστηριακών μεθόδων που συχνά απαιτούν ειδικό εργαστηριακό εξοπλισμό και έμπειρο προσωπικό. Για μικρές μονάδες πιο πρακτικοί τρόποι είναι η παρακολούθηση της εξέλιξης της θερμοκρασίας (για την σταθερότητα) και οι δοκιμές φυτοτοξικότητας, που γίνονται συνήθως με σπορά σπόρων κάρδαμου στο έτοιμο προϊόν (Erstein 1997, Manser, Keeling 1996), καθώς επίσης και με εμπειρικά/οργανοληπτικά κριτήρια όπως η μυρωδιά και η υφή. Ακόμα χρησιμοποιείται η εξέλιξη της τιμής του pH και άλλοι βιοχημικοί δείκτες, όπως αυτοί που προαναφέρθηκαν. Να σημειωθεί πως το ανώριμο κόμποστ μπορεί να προκαλέσει προβλήματα φυτοτοξικότητας στα φυτά, εφ' όσον χρησιμοποιηθεί για την καλλιέργειά τους. (Πηγή: Λαζαρίδη, 2002)

3.3. Μέθοδοι προσδιορισμού παραμέτρων

3.3.1. Προσδιορισμός θερμοκρασίας

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



Εικόνα 33. Ψηφιακό θερμομέτρο

3.3.2. Προσδιορισμός υγρασίας

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

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

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

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (g).

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

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



Εικόνα 34. Φούρνος ξήρανσης

3.3.3. Προσδιορισμός pH

Για τη μέτρηση του pH, 10 g δείγματος αναδεύονται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml για 30 λεπτά με προσθήκη 50 ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί μέτρηση με χρήση pH – μέτρου (μοντέλο METTLER TOLEDO MPC227).



Εικόνα 35. Μετρητής pH

3.3.4 Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας

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

3.3.5. Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VS)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται και ζυγίζεται περίπου 1 g σε πορσελάνινες κάψες. Το δείγμα ξηραίνεται στους 550°C για 20 λεπτά. Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 550°C Το επί τοις εκατό (%)

ποσοστό πτητικών στερεών του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος και συγκεκριμένα:

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

Όπου:

M_k : η μάζα της κάψας (g).

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

$M_{c,2}$: η τελική μάζα δείγματος μετά από ξήρανση στους 550°C (g) (Adani et al., 2000).



Εικόνα 36. Φούρνος ξήρανσης

3.3.6. Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται με grinder και ζυγίζονται με ακρίβεια 100mg τα οποία χωρίζονται ισόποσα στις ειδικές κάψες από πορσελάνη. Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετούνται 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:

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

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 37. Το σύστημα υπολογισμού ολικού οργανικού άνθρακα



Εικόνα 38. Κεντρική μονάδα TOC



Εικόνα 39. Solid Sample Module SSM 5000A



Εικόνα 40. Πορσελάνινες κάψες

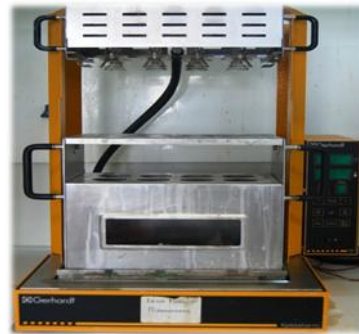
3.3.7. Προσδιορισμός ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN)

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

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιοτριβείται και ζυγίζονται 1,5 g. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους προαναφερθέντες καταλύτες και 20 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4 98%). Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM της εταιρίας Gerhardt που εικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 41. Σωλήνας Χώνευσης



Εικόνα 42. 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.



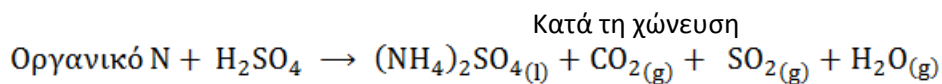
Εικόνα 43. Συσσκευή απόσταξης Vapodest 30s

Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 50 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου NaOH 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θειικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με το καυστικό νάτριο NaOH, απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N. 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.

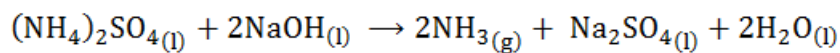


Εικόνα 44. Αλλαγή χρώματος κατά την τιτλοδότηση

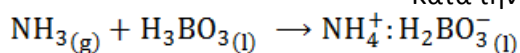
Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω.



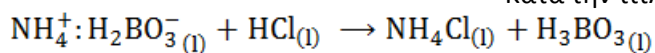
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



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

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

Όπου:

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

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

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

m: η αρχική μάζα του δείγματος (g).

3.3.8. Προσδιορισμός νιτρικών

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

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

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους $105^\circ C$ λιотριβείται και ζυγίζονται 1,5 g. Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικό σωλήνα χώνευσης και στη συνέχεια προστίθενται ταμπλέτες 5 g που περιέχουν τους καταλύτες, (θειικό άλας χαλκού $CuSO_4$ και σελήνιο Se), και 20 ml πυκνού θειικού οξέος (H_2SO_4 98%). Εν συνεχεία προσθέτουμε περίπου 0,2 – 0,3 g κράματος Devarda. Το κράμα Devarda, κατά τη διάρκεια της χώνευσης, μετατρέπει τα νιτρικά ανιόντα NO_3^- σε αμμωνία NH_3 . Ο σωλήνας με το περιεχόμενό του τοποθετούνται στην ειδική συσκευή χώνευσης KJELDATHERM.

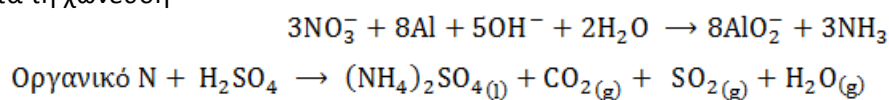
Μέσω του ρυθμιστή θερμοκρασίας ο σωλήνας θερμαίνεται, ήπια αρχικά, μέχρι να αρχίσει ο αφρισμός και στη συνέχεια ακολουθεί έντονη θέρμανση για περίπου μία ώρα στους $100^\circ C$. Η πλήρης χημική διάσπαση έχει επιτευχθεί όταν το διάλυμα γίνει διαυγές. Το διάλυμα αφήνεται να ψυχθεί, μέσα στο σωλήνα, σε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

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν

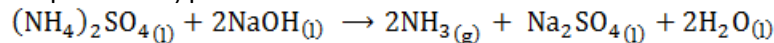
προσθεθεί 50 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου NaOH 32% w/v και απιονισμένου νερού. Κατά τη διάρκεια της ανάμειξης του θειικού αμμωνίου $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ με το καυστικό νάτριο NaOH , απελευθερώνεται αέρια αμμωνία NH_3 η οποία με τη διαδικασία της απόσταξης παγιδεύεται από το βορικό οξύ H_3BO_3 . Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα HCl 0,1N. Χρησιμοποιούνται 3-5 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

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

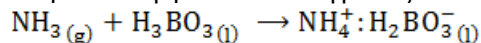
Κατά τη χώνευση



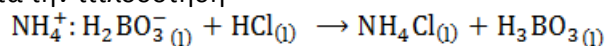
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



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

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

Όπου:

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

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

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

m : η αρχική μάζα του δείγματος (g).

Τέλος η επί τις εκατό περιεκτικότητα του δείγματος σε νιτρικά NO_3^- υπολογίζεται από τη σχέση:

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

3.3.9. Προσδιορισμός αμμωνιακών

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

- Διάλυμα βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v
- 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου
- Ετερογενές διάλυμα υδροξειδίου του μαγνησίου $MgOH$. Θερμαίνονται 17 g MgO στους 800 °C για 2 ώρες. Εν συνεχεία η ποσότητα αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα σε αφυγραντήρα. Τέλος διαλύονται τα 17 g σε 100 ml νερού.
- Οκτανδιόλη. Χρησιμοποιείται για τη μείωση του αφρισμού.
- Διάλυμα χλωριούχου καλίου KCl 2M. Διαλύονται 745,51 g στερεού χλωριούχου καλίου KCl σε 5 lt απιονισμένου νερού.
- Διάλυμα θειικού οξέος H_2SO_4 0,005M

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήρανση στους 105°C λιотριβείται και ζυγίζονται 5 g. Το δείγμα τοποθετείται σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml και προστίθενται 50 ml διαλύματος χλωριούχου καλίου KCl . Το ποτήρι αφήνεται σε αναδευτήρα για περίπου μία ώρα. Εν συνεχεία γίνεται ένας υποτυπώδης διαχωρισμός του υγρού το οποίο υφίσταται φυγοκέντρηση στις 3000 στροφές / λεπτό για 10 λεπτά και διήθηση υπό κενό. Από το διήθημα λαμβάνονται 5 ml με την πιπέτα δειγματοληψίας και εκχύνονται στον ειδικό σωλήνα χώνευσης. Στο σωλήνα χώνευσης πάλι με τη χρήση πιπέτας εκχύνονται 6 ml διαλύματος υδροξειδίου του μαγνησίου $MgOH$ και μερικές σταγόνες οκτανδιόλης.

Ο σωλήνας, στη συνέχεια, προσαρμόζεται στην ειδική συσκευή απόσταξης Varodest 30s. Για τη συλλογή του αποστάγματος χρησιμοποιείται κωνική φιάλη των 250 ml μέσα στην οποία έχουν προστεθεί 5 ml βορικού οξέος H_3BO_3 2% w/v. Η συσκευή απόσταξης, μέσω ρυθμιζόμενου προγράμματος διοχετεύει περίσσεια διαλύματος καυστικού νατρίου NaOH 32% w/v και απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια γίνεται τιτλοδότηση με διάλυμα θειικού οξέος H_2SO_4 0,005M. Χρησιμοποιούνται 2-4 σταγόνες από μεικτό προπαρασκευασμένο δείκτη που περιέχει ερυθρό του μεθυλίου και μπλε του μεθυλενίου. Η τιτλοδότηση ολοκληρώνεται μόλις παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος, από magenta σε ανοιχτό πράσινο. Παράλληλα εκτελείται και λευκός προσδιορισμός.

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

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

Όπου:

V: ο όγκος του διαλύματος θειικού οξέος H_2SO_4 που χρησιμοποιείται στην τιτλοδότηση (ml).

V_b : ο όγκος του διαλύματος θειικού οξέος H_2SO_4 που χρησιμοποιείται στον λευκό προσδιορισμό (ml).

V_a : ο αρχικός όγκος του δείγματος (ml).

3.3.10. Προσδιορισμός αναλογίας C/N

Η αναλογία C/N υπολογίζεται από την σχέση:

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

3.3.11. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων

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



Εικόνα 45.Συσκευή Digesdhal Digestion

Η διαδικασία της χώνευσης περιγράφεται ως εξής:

- Λαμβάνεται δείγμα ξηρού compost (105°C) βάρους 0,5g, λειοτριβημένου. Προστίθενται 4 ml πυκνού H₂SO₄.
- Ταυτόχρονα ανοίγεται η συσκευή και θερμαίνεται στους 440°C. Αφού επιτευχθεί η θερμοκρασία, το δείγμα τοποθετείται και ανοίγεται η βάννα του νερού για δημιουργία κενού.
- Το δείγμα βράζει για περίπου έξι λεπτά. Δεν πρέπει να φύγει όλο το οξύ. Εάν διαφύγει τότε η διαδικασία πρέπει να σταματήσει.
- Προστίθενται 15 ml H₂O₂ 30% v/v και συνεχίζεται η θέρμανση για περίπου επτά λεπτά. Αν το δείγμα δε γίνει άχρωμο, χρειάζεται να προστεθούν επιπλέον 5 ml H₂O₂ 30% v/v. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι η εξής: $H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_5 + H_2O$
- Η θέρμανση συνεχίζεται για περίπου έξι λεπτά, όμως όχι έως ξηρού.
- Το δείγμα ψύχεται στο cooling pad.
- Προστίθενται αργά μερικά ml απιονισμένου νερού και το δείγμα διηθείται.

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



Εικόνα 46. Φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης (Varian)

3.3.12. Προσδιορισμός φυτοτοξικότητας

Για τη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού αμμωνιακών χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια:

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

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

- 10g φρέσκου κόμποστ ζυγίζονται.
- Προστίθενται 100 ml νερού
- Ανάδευση για 30 λεπτά
- Φυγοκέντρηση στις 3000 στροφές/ λεπτό για 10 λεπτά
- Διήθηση υπό κενό με Whatman 41 (20-25 μm)
- Σε δύο τρυβλία (Petri dish) τοποθετείται διηθητικό χαρτί (Whatman 1).
- 20 σπόροι μαρουλιού (σε κάθε τρυβλίο) τοποθετούνται σε διάταξη ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους.

- Προστίθενται 10 ml νερού και 10ml extract αντίστοιχα.
- Τοποθετούνται σε ψυγείο ($20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) όπου επικρατούν συνθήκες σκότους για 5 ημέρες.
- Καταμέτρηση αριθμού σπόρων όπου έχουν βλαστήσει.
- Καταμέτρηση μήκους βλαστών .

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

$$\Delta.B. = (G * L) / 100$$

Όπου:

G: [αριθμός των βλαστών του δείγματος / αριθμός των βλαστών του μάρτυρα] * 100 → όπου

δηλώνει τη φυτρωτική ικανότητα του δείγματος

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



Εικόνα 47. Τρυβλίο με σπόρους που έχουν βλαστήσει

Για το δείκτη βλαστικότητας ισχύει:

0 < Δ.Β. < 25 ☐ πολύ φυτοτοξικό

26 < Δ.Β. < 65 φυτοτοξικό

66 < Δ.Β. < 100 μή φυτοτοξικό

Δ.Β. > 101 φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

4.1. Αποτελέσματα ξήρανσης

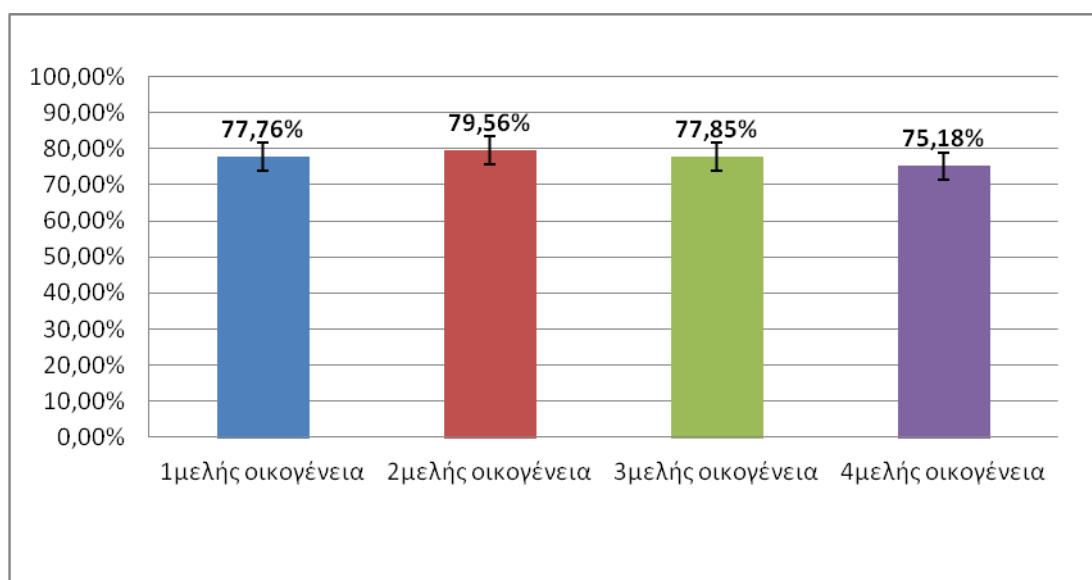
4.1.1. Μείωση μάζας συνθετικού υλικού

Από τη διεργασία της ξήρανσης λαμβάνονται τα δεδομένα μάζας που φαίνονται στον πίνακα 24. Ο πίνακας 24 αναφέρει ενδεικτικές μέσες τιμές μάζας νωπού, μάζας ξηρού και αντίστοιχου ποσοστού % μείωσης ανά κατηγορία νοικοκυριού οι οποίες προέκυψαν από πολλαπλές επαναλήψεις της διεργασίας ξήρανσης για τη συγκέντρωση της απαιτούμενης συνολικής ποσότητας ξηρού υλικού. Η ζητούμενη ποσότητα που υπολογίστηκε ίση με 14,18 kg προέκυψε από την ξήρανση 63,28 kg νωπών διατροφικών αποβλήτων.

Πίνακας 24. Μείωση μάζας συνθετικού υλικού μετά τη διεργασία της ξήρανσης

Μέγεθος νοικοκυριού	Μάζα νωπού (kg)	Μάζα ξηρού (kg)	Ποσοστό μείωσης μάζας
1μελής οικογένεια	4,92	1,094	77,76%
2μελής οικογένεια	4,926	1,007	79,56%
3μελής οικογένεια	4,92	1,09	77,85%
4μελής οικογένεια	3,28	0,814	75,18%
Μ.Ο			77,59%

Στο διάγραμμα 12 φαίνεται η ποσοστιαία % ελάττωση της μάζας των συνθετικών δειγμάτων που υποβλήθηκαν στη διεργασία της ξήρανσης.



Διάγραμμα 12. Μείωση μάζας διατροφικών αποβλήτων

Η μείωση της μάζας των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων, οφείλεται στην απώλεια της υγρασίας κατά τη διεργασία της ξήρανσης και είναι ίση με 77,59 %. Το ποσοστό κυμάνθηκε στο εύρος τιμών μεταξύ 75,18-79,56 %. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στις διαφορετικές ποσότητες που χρησιμοποιούνται κάθε φορά καθώς όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν σταθερές.

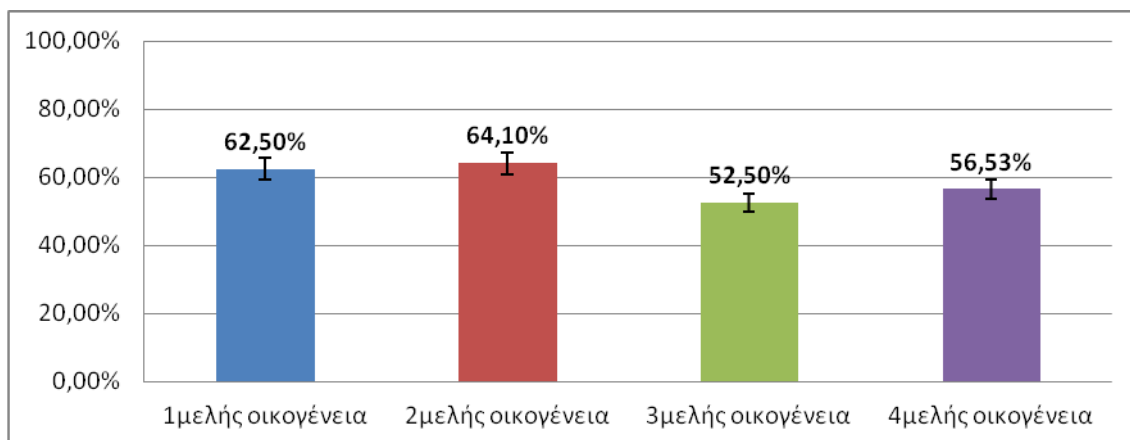
4.1.2 Μείωση όγκου συνθετικού υλικού

Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνεται το ποσοστό της μείωσης του όγκου σε καθένα από τα τέσσερα νοικοκυριά διαφορετικού μεγέθους και ο μέσος όρος αυτών. Το ποσοστό της μείωσης του όγκου των ξηραμένων διατροφικών απορριμμάτων υπολογίστηκε στο 58,91%. Το εύρος των τιμών κυμάνθηκε μεταξύ 52,5% και 62,5% .

Πίνακας 25. Ποσοστιαία μείωση του όγκου του δείγματος κατά τη διεργασία της ξήρανσης

Μέγεθος νοικοκυριού	Όγκος νωπού (lt)	Όγκος ξηρού (lt)	Ποσοστό μείωσης όγκου
1μελής οικογένεια	13,73436	5,150385	62,50%
2μελής οικογένεια	11,16	4,006	64,10%
3μελής οικογένεια	11,4453	5,4365175	52,50%
4μελής οικογένεια	9,91926	4,19661	56,53%
Μ.Ο			58,91%

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μείωση του όγκου του νωπού υλικού που μετατρέπεται σε ξηρό υλικό.



Διάγραμμα 13. Μείωση όγκου διατροφικών αποβλήτων

4.1.3. Ενεργειακή κατανάλωση

Η ενεργειακή κατανάλωση σύμφωνα με εργαστηριακές δοκιμές είναι 1,3 KWh για την ξήρανση ενός κιλού νωπών διατροφικών απορριμμάτων. Για τη συλλογή των 14,18 kg ξηρού υλικού μέσω της ξήρανσης 63,28 kg νωπών βιοαποβλήτων καταναλώθηκαν συνολικά 82,26 KWh.

4.2 Αποτελέσματα Κομποστοποίησης

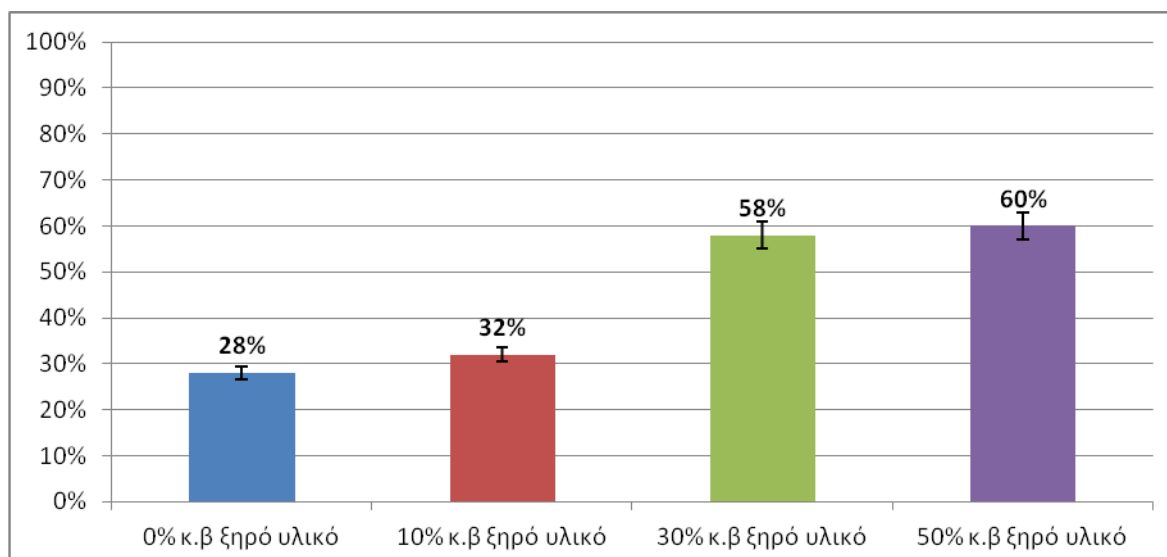
4.2.1. Μείωση μάζας συνθετικού υλικού

Από κάθε κομποστοποιητή αφαιρούταν καθημερινά μια ποσότητα δείγματος για την μελέτη της εξέλιξης της διεργασίας. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 26) φαίνεται η αρχική τροφοδοσία, οποία είναι και στις τέσσερις περιπτώσεις 15,750 κιλά. Αφαιρείται η μάζα που εξάγεται καθημερινά για την ανάλυση δειγμάτων και έτσι προκύπτει η μάζα που θα έπρεπε θεωρητικά να περιλαμβάνεται μέσα στον αντιδραστήρα. Παρατηρείται όμως πως η πραγματική μάζα κόμποστ που λαμβάνεται μετά το πέρας της διεργασίας διαφέρει από την θεωρητική. Η διαφορά αυτή οφείλεται σε απώλειες πχ. υγρασίας. Στον αντιδραστήρα με 0% και 10% ξηρό υλικό κατά βάρος τροφοδοσίας η λήψη δείγματος σταμάτησε την 10η ημέρα καθώς διαπιστώθηκε πως η διεργασία δεν εξελίσσεται.

Πίνακας 26. Ποσοστό % μείωσης μάζας

	0% κ.β ξηρό υλικό	10% κ.β ξηρό υλικό	30% κ.β ξηρό υλικό	50% κ.β ξηρό υλικό
Αρχική τροφοδοσία	15750 g	15750g	15750 g	15750 g
Σύνολο Δειγματοληψίας	3138 g	3104 g	1445 g	1368 g
Θεωρητικά στον αντιδραστήρα	12612 g	12646 g	14305 g	14382 g
Πραγματικά στον αντιδραστήρα	10341	8600 g	6008 g	5753 g
Ποσοστό μείωσης μάζας	28%	32%	58%	60%

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ποσοστιαία μείωση της μάζας των διατροφικών απορριμμάτων μέσα στους 4 αντιδραστήρες.



Διάγραμμα 14. Ποσοστό % μείωσης της μάζας ανά αντιδραστήρα

4.2.2. Προσδιορισμός της θερμοκρασίας του υποστρώματος

Η θερμοκρασία αποτελεί ίσως τον κρίσιμότερο παράγοντα της διεργασίας, βάσει του οποίου καθορίστηκε τόσο η πορεία της κομποστοποίησης όσο και το πέρας της. Ο πρώτος κύκλος διεξήχθη κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος-Ιούλιος 2013), ενώ ο δεύτερος κύκλος κατά την χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος 2013- Ιανουάριος 2014).

Στον πίνακα 27 παρουσιάζεται το θερμοκρασιακό προφίλ της διεργασίας και των 4 αντιδραστήρων.

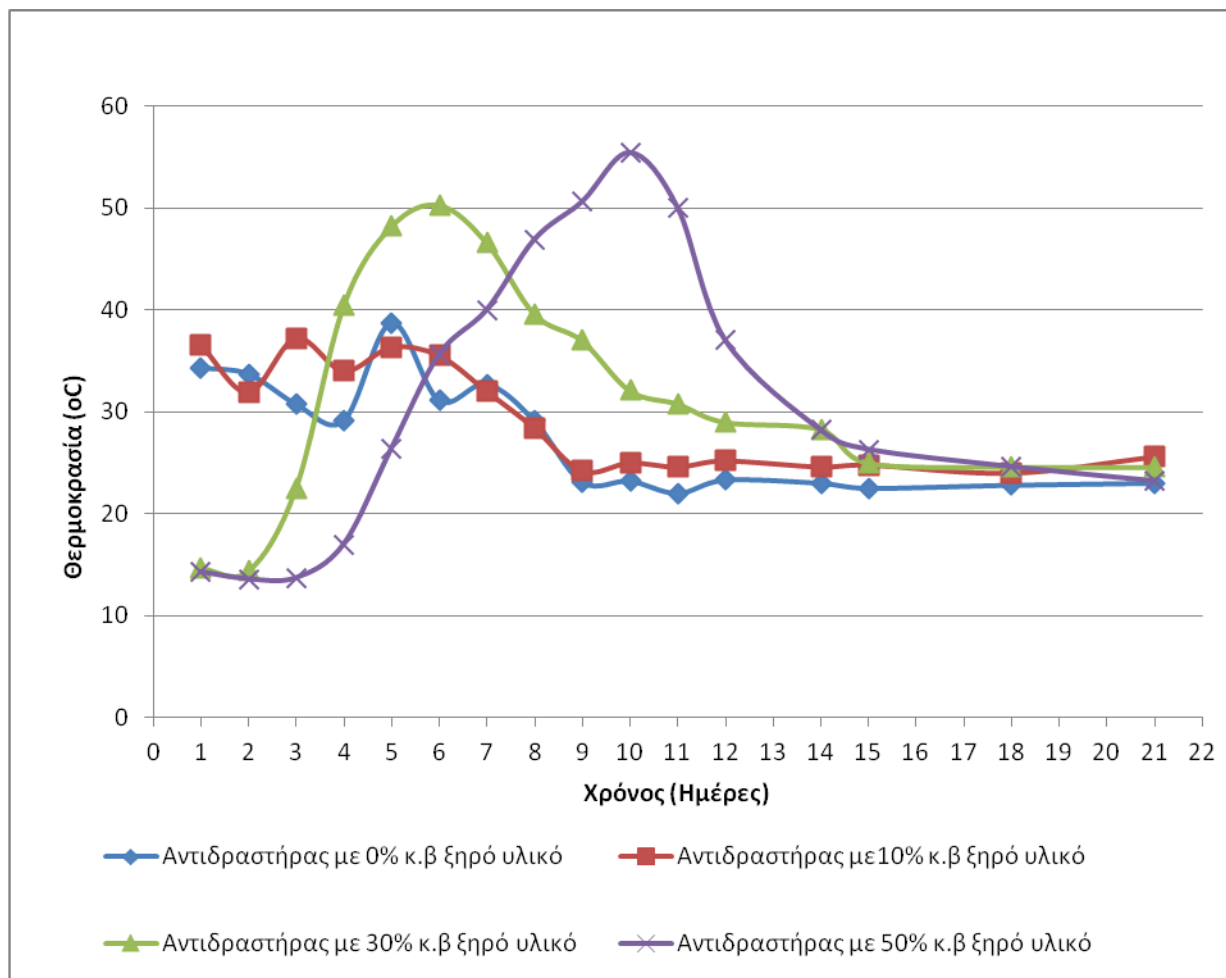
Πίνακας 27.Θερμοκρασιακό προφίλ των 4 αντιδραστήρων

	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
Ημέρα	T (°C)			
1	34,3	36,6	14,7	14,3
2	33,7	31,9	14,4	13,6
3	30,75	37,2	22,5	13,7
4	29,1	34	40,4	17
5	38,7	36,3	48,2	26,4
6	31,1	35,5	50,3	35,6
7	32,7	32	46,6	40
8	29,1	28,4	39,6	46,9
9	23,1	24,2	37	50,6
10	23,2	25	32,1	55,4
11	22	24,6	30,8	50
12	23,3	25,2	29	37
14	23	24,6	28,3	28,2

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
15	22,5	24,8	25	26,3
18	22,8	24	24,6	24,6
21	23	25,6	24,6	23,2

Στο διάγραμμα 16 απεικονίζεται η συγκριτική εξέλιξη της θερμοκρασίας στους αντιδραστήρες.



Διάγραμμα 15. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες

Η μέγιστη θερμοκρασία που σημειώθηκε για τον αντιδραστήρα με 0% κ.β. ξηρό υλικό ήταν 38,7° C κατά την 5η ημέρα λειτουργίας του. Ωστόσο, το θερμοκρασιακό προφίλ του συγκεκριμένου αντιδραστήρα περιγράφεται από χαμηλές τιμές θερμοκρασίας οι οποίες καταδεικνύουν ότι η διεργασία της κομποστοποίησης δεν προχώρησε. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ακαταλληλότητα του μίγματος κομποστοποίησης ως προς τη σύστασή του, η οποία οδήγησε στον πρόωρο

τερματισμό της διεργασίας. Το νωπό υλικό (μίγμα από διατροφικά και πράσινα απόβλητα), όπως ήταν αναμενόμενο δεν ήταν δυνατό να κομποστοποιηθεί χωρίς την χρήση κάποιου πρόσθετου υλικού διότι η υψηλή περιεχόμενη υγρασία σε συνδυασμό με το μικρό πορώδες του υποστρώματος δεν προσέφεραν τη δυνατότητα για επαρκή αερισμό και την ανάπτυξη των κατάλληλων συνθηκών για την εξέλιξη της διεργασίας, παρά την ανάδευση σε καθημερινή βάση. Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις που καταγράφηκαν από την 9η έως την 21η ημέρα λειτουργίας του, στο επίπεδο των 22-23 °C, οφείλονται σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, καθώς η διεργασία είχε ήδη τερματιστεί από την 9η ημέρα.

Ο αντιδραστήρας με 10% κ.β. ξηρό υλικό, με αρχική θερμοκρασία τους 35,1° C κατά την πρώτη μέρα που ξεκίνησε η λειτουργία του, έφτασε τους 37,2° C σε διάστημα τριών ημερών. Από την τέταρτη μέρα άρχισε η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, η οποία κατέληξε την 9η μέρα στους 24,20C, γεγονός που σηματοδότησε και την ολοκλήρωση της διεργασίας. Η σύντομη μείωση της θερμοκρασία του μίγματος ουσιαστικά δείχνει και την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών που αναπτύχθηκαν μέχρι τότε. Οι θερμοκρασίες που ακολούθησαν κυμάνθηκαν μεταξύ των 24 και 25° C και αποδίδονται σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η χρονική διάρκεια της διεργασίας ήταν σύντομη. Ο αντιδραστήρας λειτούργησε στη μεσόφιλη φάση και έφτασε οριακά αλλά δεν πέρασε στη θερμόφιλη. Παρά την καθημερινή ανάδευση, ο αερισμός του υποστρώματος δεν ήταν επαρκής ώστε να προχωρήσει ομαλά η διεργασία και αυτό πιθανόν αποδίδεται στο μικρό πορώδες και την υψηλή περιεχόμενη υγρασία..

Σχετικά με τον αντιδραστήρα με 30% κ.β. ξηρό υλικό, από τους 14,70C που είχε την πρώτη μέρα που ξεκίνησε η λειτουργία του, έφτασε τους 40,4° C σε διάστημα τεσσάρων ημερών. Η θερμοκρασία του συνέχισε να είναι ανοδική μέχρι την 6^η ημέρα, όπου καταγράφηκε η υψηλότερη θερμοκρασία (52,3° C). Από την έβδομη μέρα άρχισε η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, η οποία κατέληξε την 21^η μέρα στους 24,6° C, γεγονός που σηματοδότησε και την ολοκλήρωση της διεργασίας. Αρχικά, την 1^η - 4^η μέρα (μεσόφιλη φάση) αναπτύχθηκαν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι κατανάλωσαν τις εύκολα βιοαποικοδομήσιμες ουσίες παράγοντας τα απαιτούμενα ποσά θερμότητας. Η παραγόμενη θερμότητα συντέλεσε στην έναρξη της κομποστοποίησης και την επικράτηση μικροοργανισμών περισσότερο ανθεκτικών σε υψηλότερες θερμοκρασίες (θερμόφιλοι). Σημειώνεται ότι ο ρυθμός αποδόμησης των οργανικών σχεδόν διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10 °C. Τη 5^η μέρα ξεκίνησε το θερμόφιλο στάδιο (>50 °C) και σε αυτή τη φάση οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί επικρατούσαν συγκριτικά με τους μεσόφιλους, που δεν κατάφεραν να επιβιώσουν με την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Οι θερμόφιλοι μικροοργανισμοί κυριάρχησαν για 3 περίπου μέρες, προτού αρχίσει να μειώνεται

σταδιακά η θερμοκρασία. Κατά το διάστημα των τριών αυτών ημερών και ειδικότερα την 6η μέρα λειτουργίας, ο ρυθμός της αποσύνθεσης έλαβε την μέγιστη τιμή του. Μετά την 6^η μέρα η αποδόμηση συνεχίστηκε αλλά με χαμηλότερους ρυθμούς σε συνδυασμό με την μείωση της θερμοκρασίας.

Ο αντιδραστήρας με 50% κ.β. ξηρό υλικό, ξεκίνησε τη λειτουργία του με καταγεγραμμένη θερμοκρασία ίση με 14,3 °C. Κατά τις δύο πρώτες ημέρες, η θερμοκρασία κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές, ενώ η προσθήκη 2L νερού, κατά την 2^η ημέρα οδήγησε σε σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, όπου η μικροβιακή δραστηριότητα γίνεται εντονότερη, διαμορφώνοντας μια πρώτη μεσόφιλη φάση μέχρι την 6^η μέρα, την οποία διαδέχεται τη 7^η ημέρα η θερμόφιλη. Η μέγιστη θερμοκρασία καταγράφηκε κατά την 8^η ημέρα και ήταν ίση με 56,4° C. Συνολικές οι υψηλές θερμοκρασίες, (>50° C) διατηρήθηκαν στο βιοαντιδραστήρα για 3 συνεχείς ημέρες (7^η ως 9^η ημέρα) . Η μείωση των επιπέδων θερμοκρασίας και η επικράτηση μιας δεύτερης μεσόφιλης φάσης πραγματοποιείται μόνο εφόσον έχει βιοαποδομηθεί σημαντικό μέρος του οργανικού κλάσματος του υποστρώματος ικανό να ενισχύσει και να συντηρήσει την έντονη μικροβιακή δραστηριότητα. Από τη 10^η μέρα η θερμοκρασία άρχισε να μειώνεται σταδιακά κατά 2 – 4 °C, γεγονός που δείχνει ότι η βιοαποδόμηση συνεχίστηκε αλλά με χαμηλότερους ρυθμούς μέχρι το τέλος της διεργασίας και την πτώση της θερμοκρασίας στους 21° C, κατά την 21^η μέρα.

4.2.3. Προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος

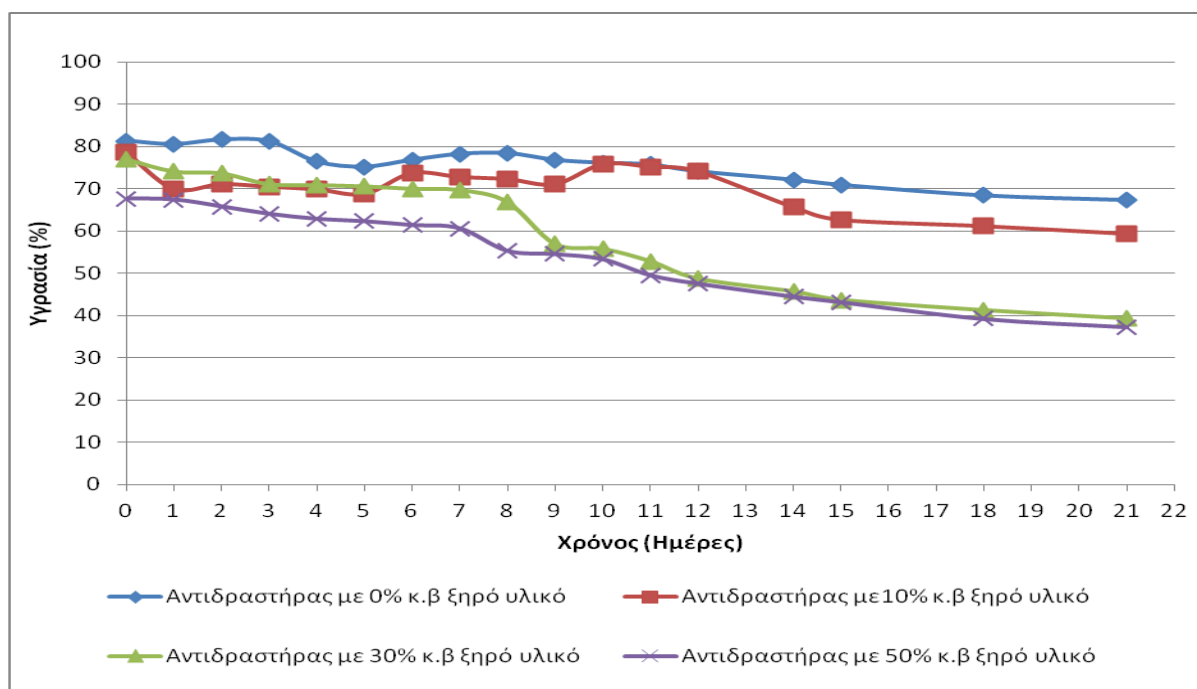
Η υγρασία είναι μια από τις βασικές παραμέτρους της κομποστοποίησης που επηρεάζει τις δράσεις των μικροοργανισμών, καθώς είναι το μέσο για τη μεταφορά των διαλυμένων θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται για τις μεταβολικές και φυσικές τους δράσεις (Gajalakshmi and Abbasi, 2008). Η υγρασία είναι απαραίτητη για τη διεργασία της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της πραγματοποιείται στα λεπτά υγρά στρώματα πάνω στην επιφάνεια των σωματιδίων. Σύμφωνα με τους Margesin et al. (2006) και Liang et al. (2003) η υγρασία του υποστρώματος μπορεί να θεωρηθεί βασικότερος ρυθμιστικός παράγοντας της κομποστοποίησης από ότι η θερμοκρασία επειδή επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη δράση των μικροοργανισμών.

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Πίνακας 28. Ποσοστό % υγρασίας στους 4 αντιδραστήρες.

ΥΓΡΑΣΙΑ %				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	81,33	78,6	76,98	67,61
1	80,5	70	74,07	67,41
2	81,6	71,1	73,63	65,78
3	81,2	70,5	71,05	64,03
4	76,4	69,9	70,84	62,86
5	75,2	68,8	70,55	62,29
6	76,8	73,7	69,97	61,38
7	78,2	72,8	69,67	60,62
8	78,4	72,3	66,85	55,32
9	76,8	71,1	56,89	54,54
10	76,1	75,8	55,74	53,34
11	75,7	75,2	52,81	49,57
12	74,1	74,1	48,68	47,58
14	72,1	65,7	45,63	44,52
15	70,9	62,7	43,65	43,2
18	68,4	61,2	41,2	39,25
21	67,3	59,4	39,23	37,32

Στο διάγραμμα 16 απεικονίζεται συγκριτικά εξέλιξη της υγρασίας στους τέσσερις αντιδραστήρες.



Διάγραμμα 17. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης της θερμοκρασίας στους 4 αντιδραστήρες

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η μεταβολή της υγρασίας που περιέχεται στο υπόστρωμα κατά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης για κάθε ένα από τους 4 αντιδραστήρες. Η διακύμανση της αρχικής υγρασίας των υποστρωμάτων οφείλεται στις διαφορετικές αναλογίες των νωπών και ξηρών βιοαποβλήτων που επιλέχτηκαν να αποτελέσουν το υπόστρωμα κάθε αντιδραστήρα στοχεύοντας στη διαμόρφωση μιγμάτων τα οποία είχαν 0%, 10%, 30% και 50% κ.β. ξηρό υλικό.

Η περιεκτικότητα σε υγρασία του αρχικού μίγματος και στους τέσσερις αντιδραστήρες, βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα μεταξύ 67,61% και 81,33%. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα τέσσερα διαφορετικά υποστρώματα που μελετήθηκαν, προήλθαν από το συνδυασμό πρώτων υλών οι οποίες κατά κύριο λόγο είναι κυτταρινούχες τροφές με υψηλά ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας.

Σημειώνεται ότι η ιδανική περιεχόμενη υγρασία στο τελικό προϊόν (κόμποστ) κυμαίνεται στο εύρος τιμών μεταξύ 40% και 50% διότι με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται περιορισμένη δράση των μικροοργανισμών, γεγονός που είναι επιθυμητό για την ασφαλή εναπόθεση του κόμποστ στο έδαφος. Επισημαίνεται ότι η περιεχόμενη υγρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 25% καθότι τότε δεν είναι δυνατή η ενσωμάτωσή του στο έδαφος. Οι πειραματικές τιμές που καταγράφηκαν στο πέρας της διεργασίας κυμαίνονται από 37,32% έως 67,3%, με τη μικρότερη τιμή να συνδέεται με τον αντιδραστήρα με 50% πρόσθετο ξηρό υλικό και τη μεγαλύτερη με τον αντιδραστήρα στον οποίο δεν προστέθηκε ξηρό υλικό.

Ο αντιδραστήρας με 0% πρόσθετο ξηρό υλικό περιείχε μόνο νωπά διατροφικά απορρίμματα και πράσινα απόβλητα (φύλλα και κλαδάκια), επομένως είχε και την υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία. Για τον ανωτέρω αντιδραστήρα, οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν ήταν πολύ χαμηλές καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Σε αυτό συνετέλεσε η φύση των υλικών του υποστρώματος και κατ' επέκταση το πορώδες του που ήταν μικρό, γεγονός που δεν βοήθησε στον επαρκή αερισμό του με αποτέλεσμα να μην αναπτυχτούν οι κατάλληλες συνθήκες για την εξέλιξη της διεργασίας. Το μίγμα είχε υγρή και λασπώδη μορφή, ενώ η οσμή του ήταν δυσάρεστη λόγω των αναερόβιων συνθηκών που προκλήθηκαν με αποτέλεσμα την έκλυση αερίων, όπως αμμωνίας και υδρόθειου. Στην περίπτωση αυτού του αντιδραστήρα, κατά την οποία η οργανική ουσία εμφάνιζε υψηλή περιεχόμενη υγρασία κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, η τεχνική μείωσης των επιπέδων υγρασίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν η συνεχής ανάδευση του υποστρώματος προκειμένου να επιτευχθεί διάχυση του οξυγόνου σε όλα τα τμήματα της οργανικής μάζας (Μιχαλόπουλος, 2010). Παρ' όλα αυτά θεωρείται ότι η διεργασία της κομποστοποίησης σε αυτό τον αντιδραστήρα δεν προχώρησε ομαλώς.

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στον αντιδραστήρα, με 10% κ.β. πρόσθετο ξηρό υλικό, η υγρασία του υποστρώματος κυμάνθηκε μεταξύ των ποσοστών 78,6 έως 59,4%, εύρος που θεωρείται υψηλό για τα ιδανικά επίπεδα υγρασίας που απαιτούνται κατά την κομποστοποίηση, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία. Η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται μετά το πέρας των 30 ημερών κατά τις οποίες το κόμποστ αφήνεται να ωριμάσει και να σταθεροποιηθεί και είναι κυρίως αποτέλεσμα εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών και όχι διεργασιών σταθεροποίησης του προϊόντος καθώς η διεργασία όπως έχει προηγουμένως αναλυθεί, δεν εξελίχθηκε ομαλά.

Στον αντιδραστήρα, με 30% κ.β. πρόσθετο ξηρό υλικό, η υγρασία του υποστρώματος κυμάνθηκε μεταξύ των ποσοστών 76,98 έως 39,23 %, εύρος που θεωρείται οριακά κάτω από τα ιδανικά επίπεδα υγρασίας που απαιτούνται κατά την κομποστοποίηση. Στον αντιδραστήρα αυτό, το κόμποστ που παρήχθη είχε τη χαρακτηριστική επιθυμητή όψη, οσμή και υφή χούμους. Η αναλογία επομένως του νωπού και ξηρού υλικού που επιλέχθηκε σε αυτόν τον αντιδραστήρα κρίθηκε ικανοποιητική.

Μικρότερη περιεχόμενη υγρασία (37,32%) μετρήθηκε στο μίγμα με 50% κ.β. ξηρό υλικό, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της σύνθεσης του υποστρώματος, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους αντιδραστήρες στους οποίους το ξηρό πρόσθετο ήταν σε μικρότερο ή μηδενικό ποσοστό. Στον εν λόγω αντιδραστήρα έγινε επιπλέον προσθήκη νερού (2L) με ψεκασμό για να βοηθήσει να αναπτυχθούν οι κατάλληλες συνθήκες.

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β. ξηρό υλικό, η μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας παρατηρείται προς το τέλος της θερμοφιλης φάσης, καθώς σε αυτό το στάδιο της κομποστοποίησης έχουν επικρατήσει υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του υποστρώματος. Κατά την έναρξη της 2η μεσόφιλης φάσης παρατηρείται μικρότερη μείωση της υγρασίας, μέχρι που σταθεροποιήθηκε ομαλότερα προς το τέλος της διεργασίας.

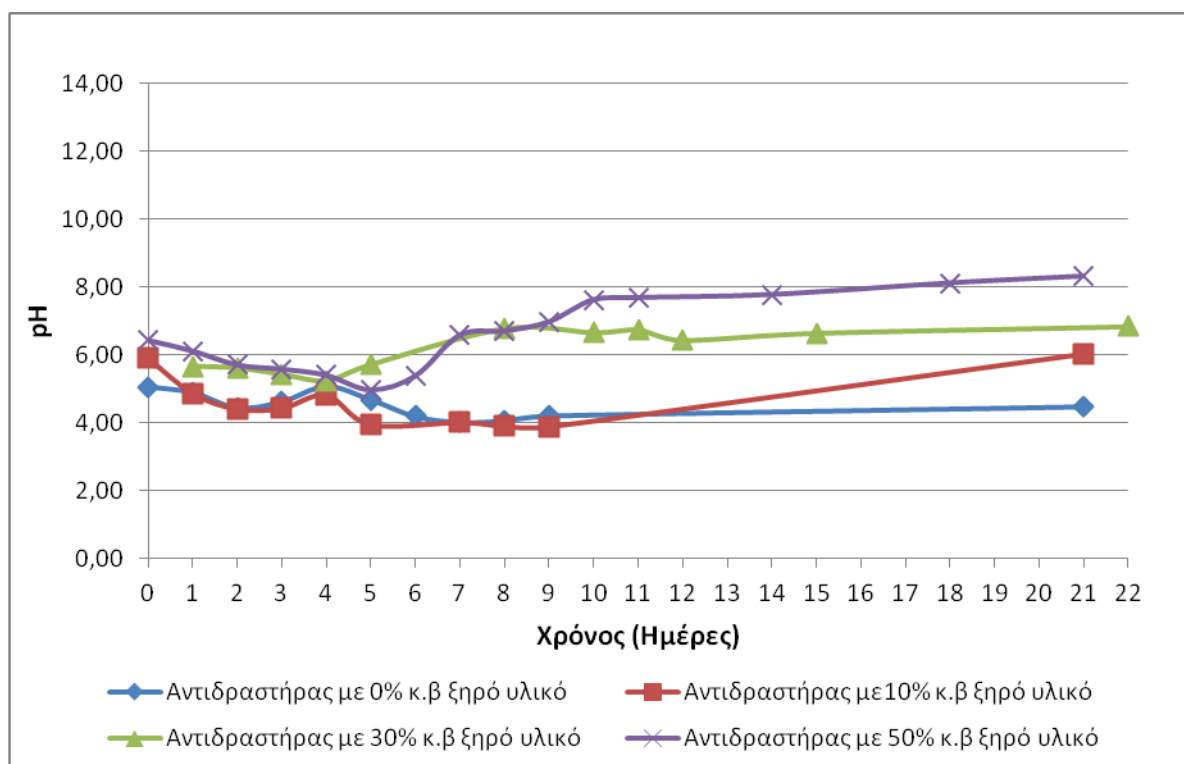
4.2.4. Προσδιορισμός pH του υποστρώματος

Πίνακας 29. Τιμές pH όπως κατεγράφησαν στην εξέλιξη της διεργασίας

Ημέρα	pH			
	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	5,06	5,91	5,42	6,43
1	4,90	4,87	5,67	6,12

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Ημέρα	pH			
	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
2	4,45	4,41	5,32	5,71
3	4,63	4,43	5,12	5,59
4	5,07	4,82	4,95	5,41
5	4,69	3,95	4,88	4,98
6	4,20	3,98	5,67	5,39
7	4,03	4,02	6,54	6,59
8	4,08	3,91	6,98	6,71
9	4,22	3,89	7,45	6,98
10			7,68	7,63
11			7,98	7,69
14			8,34	7,78
18			8,53	8,12
21	4,48	6,03	8,63	8,32



Διάγραμμα 18. Συγκριτική απεικόνιση pH στους τέσσερις αντιδραστήρες

Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό το pH κυμαίνεται εξ αρχής σε όξινα επίπεδα λόγω της σύστασης του υποστρώματος. Σε αυτούς τους δύο αντιδραστήρες παρατηρήθηκε αδυναμία αύξησης της θερμοκρασίας της διεργασίας με αποτέλεσμα την περιορισμένη διάσπαση των εύκολα αποδομήσιμων οργανικών ενώσεων όπως τα σάκχαρα και κατά συνέπεια τον περιορισμένο σχηματισμό οργανικών οξέων κατά τις πρώτες μέρες λειτουργίας του συστήματος. (Πηγή: Kirchman and Widen , 1994), (Πηγή: Haug, 1993). Μέχρι και την τρίτη ημέρα παρατηρείται και στους δύο αντιδραστήρες μείωση της τιμής του pH .Οι ελάχιστες τιμές που λαμβάνονται σε αυτή τη φάση είναι 4,45 και 4,41 αντίστοιχα . Υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας υδρολύονται οι πρωτεΐνες και διασπάται το οργανικό άζωτο με αποτέλεσμα τον σχηματισμό αμμωνιακών τα οποία οδηγούν σε αύξηση των τιμών του pH . Οι αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό όμως δεν κατόρθωσαν να εισέλθουν στη θερμοφιλή φάση και επομένως η παραγωγή των αμμωνιακών υπήρξε περιορισμένη. (Πηγή: Μάστακας, 2007, Berner 2004). Αυτό δικαιολογεί την ανικανότητα του συστήματος να αυξήσει τις τιμές του pH σε βασικά επίπεδα. Έπειτα καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα διακόπτεται μετά την 9η ημέρα και το δείγμα τείνει προς σταθεροποίηση.

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό, η διακύμανση του pH είναι παρόμοια και στους δύο κομποστοποιητές. Τις πρώτες ημέρες λειτουργίας παρατηρείται έντονη διάσπαση των εύκολα αποδομήσιμων οργανικών ενώσεων όπως τα σάκχαρα και κατά συνέπεια τον σχηματισμό οργανικών οξέων που ελαττώνουν την τιμή του pH (Πηγή: Kirchman and Widen , 1994, Haug, 1993). Στον αντιδραστήρα με 30% κ.β. ξηρό υλικό η ελάχιστη τιμή (4,88) παρατηρείται την πέμπτη ημέρα ενώ στον αντιδραστήρα με 50% κ.β. ξηρό υλικό η ελάχιστη τιμή (4,98) παρατηρείται την πέμπτη ημέρα. Καθώς το σύστημα μεταβαίνει από την πρώτη μεσόφιλη φάση στην θερμοφιλή διαπιστώθηκε αύξηση του pH και διαμόρφωση αλκαλικού περιβάλλοντος διότι αναπτύσσονται πρωτεϊνολυτικές διεργασίες (διάσπαση των οργανικών οξέων) που έχουν ως συνέπεια την παραγωγή αμμωνίας. Στη συνέχεια οι τιμές του pH μειώνονται όσο προχωρεί η διεργασία της κομποστοποίησης λόγω της πτητικότητας της αμμωνίας της παράλληλης οξειδωσης των αμμωνιακών σε νιτρικά (νιτροποίηση), και κατά συνέπεια η ωρίμανση του υποστρώματος. Όταν το κόμποστ ωριμάσει η τιμή του pH κυμαίνεται γύρω στο 7 θεωρητικά οπότε και χαρακτηρίζεται ως σταθεροποιημένο. Στον αντιδραστήρα με 30% κ.β. ξηρό υλικό η τελική τιμή του pH είναι 8,63 ενώ στον αντιδραστήρα με 50% κ.β. ξηρό υλικό η τελική τιμή του pH είναι 8,32. Οι τιμές αυτές είναι πολύ κοντινές στις τιμές που διαπίστωσε και η Raquel Barrena (2014) η οποία πραγματοποίησε αναλύσεις σε 27 διαφορετικά δείγματα οικιακού κόμποστ.. Σημειώνεται ότι ο περλίτης που επιλέχθηκε σε αυτή την πειραματική μελέτη, λόγω των ιοντοεναλλακτικών του ιδιοτήτων δεσμεύει

μέρος των παραγόμενων αμμωνιακών διατηρώντας το pH σε χαμηλότερα επίπεδα από τα συνήθη εξελικτικά στάδια της κομποστοποίησης (Πηγή: Reigne and Girardin, 2004).

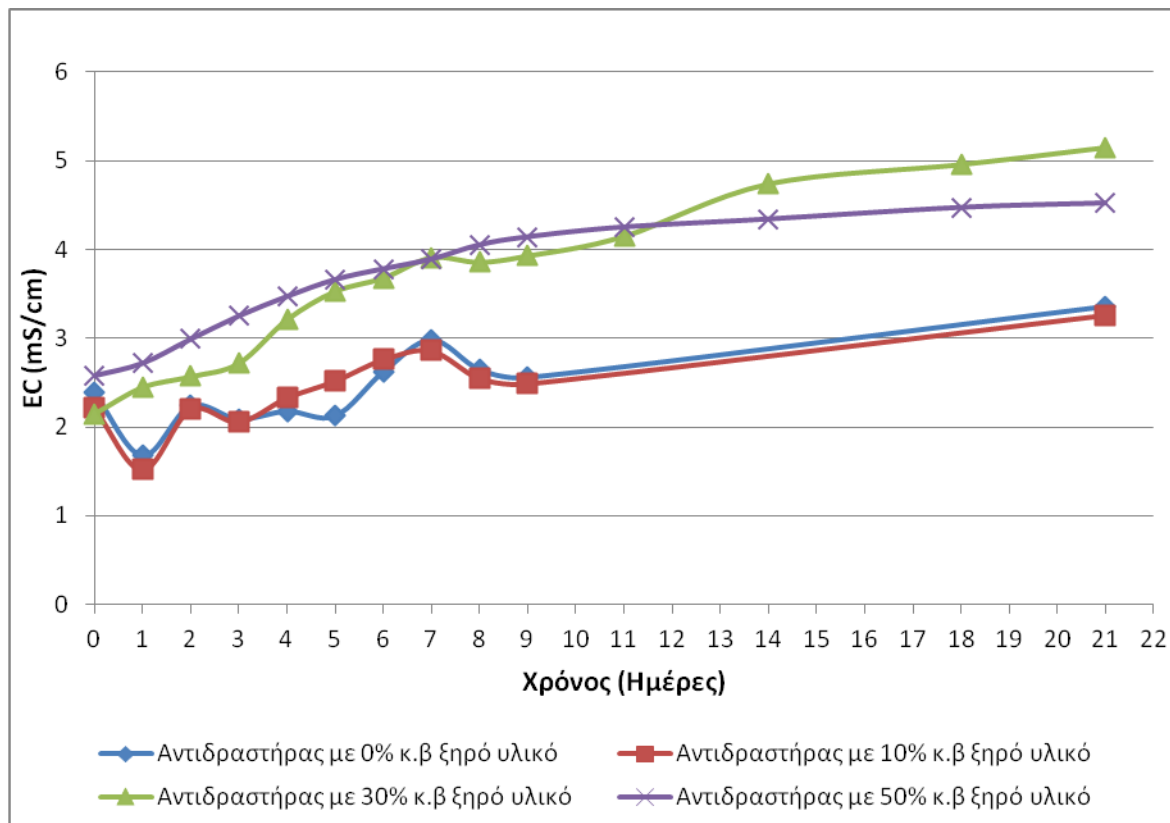
4.2.5. Προσδιορισμός ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα υποδεικνύει την συγκέντρωση των αλάτων στο κόμποστ και την καταλληλότητα του ή μη για καλλιέργεια και εδαφοβελτιωτικές χρήσεις. Τα επίπεδα των αλάτων αποτελούν πολύ σημαντική παράμετρο χαρακτηρισμού του κόμποστ καθώς μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τη βλάστηση των φυτών εάν η περιεκτικότητα των αλάτων του λιπάσματος που χρησιμοποιείται δεν είναι η σωστή για την εκάστοτε περίπτωση. Τα άλατα που περιέχονται είναι συνήθως σε διαλυμένη κυρίως μορφή. Συγκεκριμένα περιέχεται χλωριούχο κάλιο, χλωριούχο νάτριο, διαφόρων ειδών νιτρικά, ενώσεις που περιλαμβάνουν θειικά, άλατα ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου καθώς και ανθρακικά άλατα. Οι υπερβολικά υψηλές αλλά και οι υπερβολικά χαμηλές τιμές αποτελούν αμφότερες πρόβλημα. Η υπερβολικά υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα ελαττώνει την ικανότητα απορρόφησης νερού από τις ρίζες και συνεπακόλουθα την θρεπτική λήψη αφού τα θρεπτικά συστατικά είναι διαλυμένα στο νερό και με αυτό μπορούν να μεταφερθούν. Αντιθέτως όμως, πολύ χαμηλά επίπεδα σε περιεκτικότητα άλατος μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλά επίπεδα γονιμότητας ειδικά αν η απώλεια έγκειται στο κάλιο, το ασβέστιο ή το μαγνήσιο.

Πίνακας 30. Τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την κομποστοποίηση

Ημέρα	EC mS/cm			
	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	2,385	2,22	2,15	2,58
1	1,68	1,52	2,45	2,72
2	2,24	2,2	2,57	2,99
3	2,09	2,06	2,72	3,25
4	2,18	2,33	3,21	3,47
5	2,125	2,52	3,53	3,66
6	2,62	2,76	3,68	3,78
7	2,985	2,86	3,91	3,89
8	2,65	2,55	3,86	4,05
9	2,56	2,49	3,93	4,14
11			4,15	4,25
14			4,74	4,34
18			4,96	4,47
21	3,36	3,26	5,15	4,52

Στο διάγραμμα 19 παρουσιάζεται συγκριτικά η εξέλιξη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους αντιδραστήρες όπως αυτή παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της διεργασίας .



Διάγραμμα 19. Συγκριτική απεικόνιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους αντιδραστήρες

Τα αρχικά μίγματα στους δύο κομποστοποιητές παρουσίασαν διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας που οφείλονταν στη διαφορετική σύσταση τους, άρα και διαφορετική αρχική περιεκτικότητά τους σε διαλυμένα άλατα.

Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται σταθερά στα επίπεδα των 2 mS/cm. Η τιμή αυτή είναι κοντά στο όριο της W_{gr} , 2011 για χρήση στη γεωργία. Αν και η τιμή αυτή φαίνεται ικανοποιητική αν εξεταστεί μεμονωμένα από τις υπόλοιπες παραμέτρους, παρόλα αυτά το τελικό προϊόν των αντιδραστήρων αυτών δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κόμποστ καθώς το θερμοκρασιακό προφίλ που παρουσίασε δεν ήταν ενδεικτικό της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα ξεκινά από 5,21 και 6,28 αντίστοιχα. Τις ημέρες της θερμόφιλης φάσης καταγράφονται οι μέγιστες τιμές. Η αύξηση της αγωγιμότητας αποδίδεται στην εκτεταμένη αποσύνθεση της οργανικής ύλης η οποία με την σειρά

της έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε άλατα. Οι τιμές της αγωγιμότητας των προϊόντων των αντιδραστήρων με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό είναι 5,2 και 5,34 mS/cm το οποίο είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία για αγωγιμότητα κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα (εύρος 3,69 έως 7,49 mS/cm) (Μαργαρίτης, 2013).

4.2.6. Προσδιορισμός απώλειας πτητικών στερεών

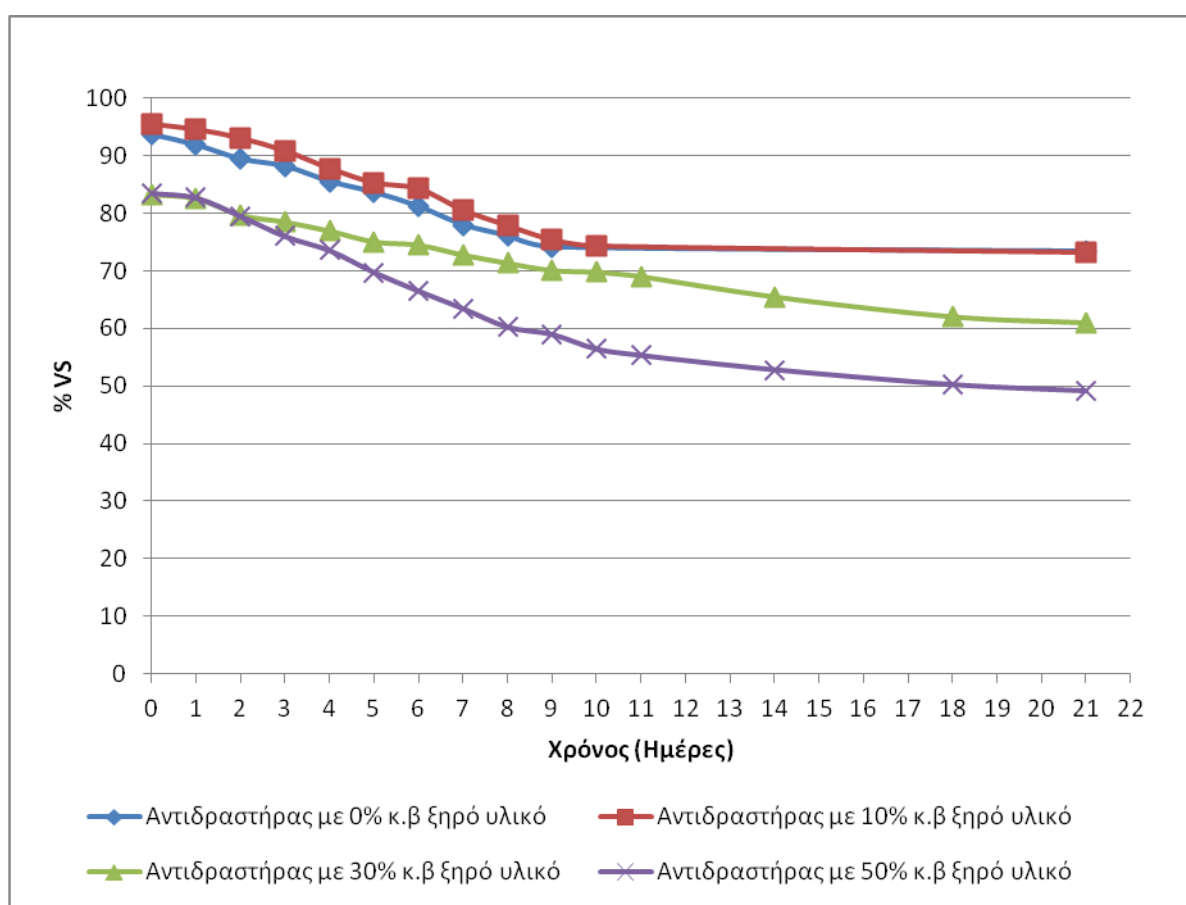
Μια πολύ βασική παράμετρο της διεργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός της απώλειας των πτητικών στερεών. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιήθηκε ως μια ένδειξη της περιεχόμενης οργανικής ύλης των στερεών. Τα πτητικά στερεά χρησιμοποιούνται συχνά ως δείκτης της πορείας της αποσύνθεσης και η σταθεροποίηση του κόμποστ είναι μια διαδικασία που έχει σχέση με την ποσότητα και την αποσύνθεση του οργανικού υλικού. Για τον προσδιορισμό αυτής της παραμέτρου τα δείγματα τοποθετούνται σε κλίβανο (5 ώρες στους 550 °C) . Αρχικά τα δείγματα περιέχουν ένα ποσοστό οργανικής ύλης . Στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εντός του κλιβάνου , το οργανικό φορτίο οξειδώνεται . Αυτή η διαδικασία γίνεται αντιληπτή με τη μείωση του βάρους των δειγμάτων. Η απώλεια του βάρους αποτελεί μέτρο των οργανικών ουσιών των στερεών αλλά και ένδειξη της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης τους. Το ποσοστό της οργανικής ύλη που περιέχεται στα δείγματα προσδιορίζεται με τη διαφορά τη μάζας τους πριν και μετά τον κλίβανο.

Στον πίνακα 31 και το διάγραμμα 20 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 31. Ποσοστά % απώλειας πτητικών στερεών για τους τέσσερις αντιδραστήρες

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	93,70%	95,39%	83,33%	83,54%
1	91,89%	94,50%	82,62%	82,73%
2	89,45%	92,98%	79,73%	79,51%
3	88,18%	90,79%	78,52%	76,00%
4	85,53%	87,77%	76,95%	73,54%
5	83,64%	85,30%	75,05%	69,73%
6	81,17%	84,26%	74,50%	66,49%
7	77,97%	80,58%	72,75%	63,45%
8	76,09%	77,91%	71,32%	60,22%
9	74,13%	75,46%	70,06%	58,96%

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
10		74,40%	69,75%	56,39%
11			68,99%	55,31%
14			65,45%	52,82%
18			61,98%	50,23%
21	73,36%	73,29%	60,91%	49,12%



Διάγραμμα 20. Εξέλιξη της απώλειας των πτητικών στερεών στους αντιδραστήρες

Και στις τέσσερις περιπτώσεις οι καμπύλες, έχουν πτωτική τάση.

Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% ξηρό υλικό η συμπεριφορά των πτητικών στερεών είναι ταυτόσημη. Το ποσοστό της απώλειας της οργανικής ουσίας στην αρχή της διεργασίας είναι εξαιρετικά υψηλό αγγίζοντας τις τιμές 93,7 % και 95,39% αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στη σύσταση

του υποστρώματος και στις υψηλές συνθήκες υγρασίας που ευνόησαν τη δράση των μικροοργανισμών. Τις επόμενες ημέρες ο ρυθμός των απωλειών είναι μικρότερος καθώς καθότι έχουν παραμείνει στην οργανική μάζα οι πλέον σταθερές ενώσεις που υπόκεινται δυσκολότερα στις μικροβιακές μεταβολικές διεργασίες. Στη συνέχεια ο ρυθμός σταθεροποιείται κοντά στο 73 % και 71 % καθώς η διεργασία παύει και μαζί με αυτήν και η εξέλιξη των μεταβολικών δραστηριοτήτων.

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% ξηρό υλικό η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών στερεών παρατηρείται έως την 10η ημέρα, περίοδο κατά την οποία εμφανίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες (πρώτη μεσόφιλη και θερμοφιλή φάση), ως αποτέλεσμα της έντονης μεταβολικής δραστηριότητας. Μέσα σε αυτές τις μέρες της κομποστοποίησης αποσυντίθεται το μεγαλύτερο μέρος των οργανικών ουσιών. Τις επόμενες ημέρες, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, ο ρυθμός των απωλειών είναι μικρότερος. Όταν η οργανική ύλη αρχίζει να καταναλώνεται σταδιακά, ο ρυθμός αποδόμησής της μειώνεται λόγω της έλλειψης υποστρώματος (τροφής) που αντιμετωπίζουν οι μικροοργανισμοί. Τα αρχικά ποσοστά απώλειας οργανικής ουσίας είναι χαμηλότερα από τους δύο προηγούμενους αντιδραστήρες διότι το υπόστρωμα τους περιλαμβάνει περισσότερο ξηρό και λιγότερο νωπό υλικό σε σχέση με τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου με αποτέλεσμα οι μικροοργανισμοί να έχουν λιγότερο οργανικό διαθέσιμο φορτίο να καταναλώσουν. Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% όμως συνεχίζεται και πέρα της δέκατης ημέρας η πτωτική τάση των καμπυλών γεγονός που αποδεικνύει την ομαλή εξέλιξη της διεργασίας και την αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

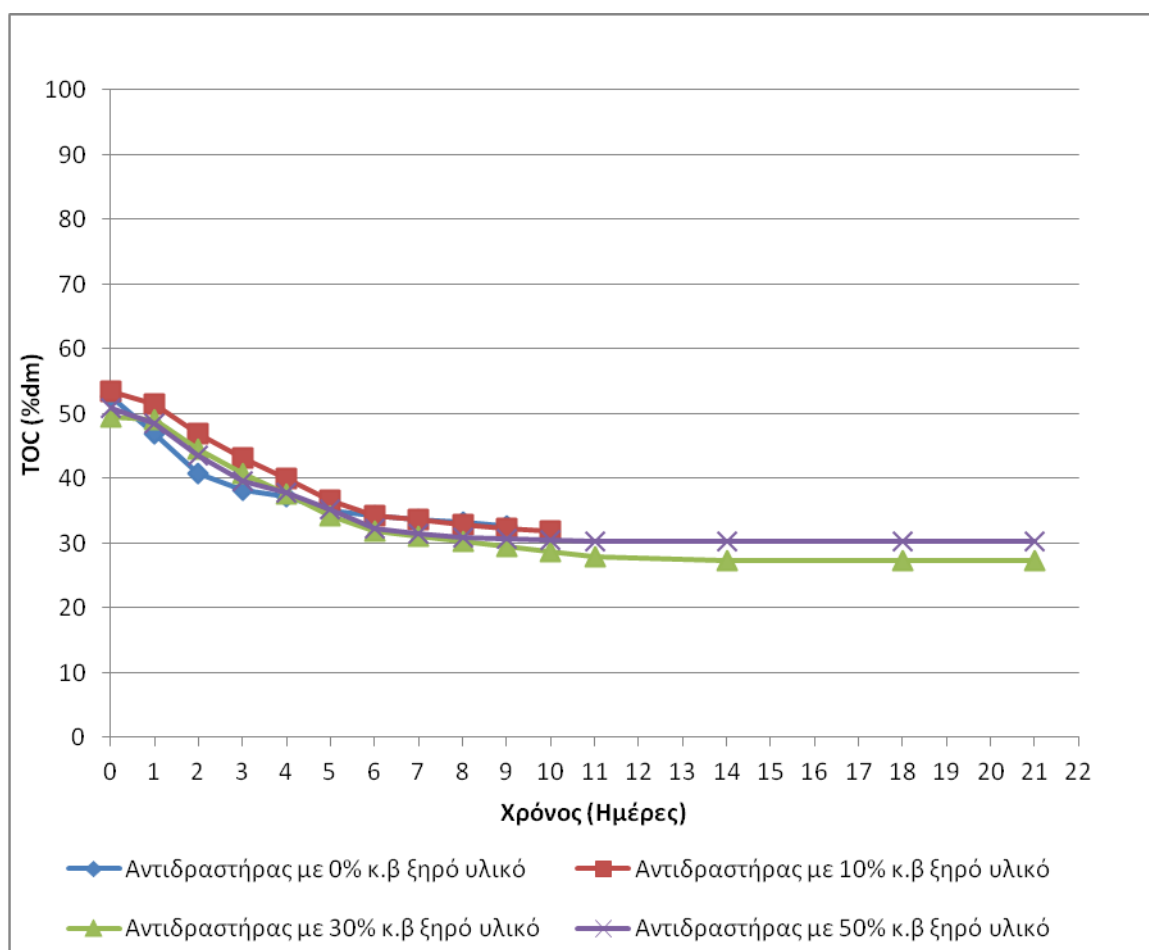
4.2.7. Προσδιορισμός Ολικού Οργανικού Άνθρακα

Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης ένα μέρος της οργανικής ύλης μετατρέπεται σε CO₂, NH₃ και νερό. Το υπόλοιπο μέρος του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε μικροβιακή μάζα. Στον παρακάτω πίνακα και σχηματικά στο διάγραμμα 22 παρουσιάζονται οι τιμές του ολικού οργανικού άνθρακα όπως μετρήθηκαν για όλους τους αντιδραστήρες.

Πίνακας 32. Ποσοστά % ολικού οργανικού άνθρακα στους τέσσερις αντιδραστήρες

ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (TOC %)				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	52,72	53,48	49,46	50,82
1	46,95	51,51	49,13	48,48
2	40,84	46,97	44,59	43,57
3	38,28	43,22	40,84	39,53

ΟΛΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (ΤΟC %)				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
4	37,14	39,99	37,61	37,71
5	35,05	36,61	34,23	35,30
6	34,16	34,28	31,90	32,21
7	33,72	33,60	31,13	31,48
8	33,19	32,88	30,35	30,82
9	32,57	32,30	29,49	30,66
10		31,84	28,71	30,49
11			27,93	30,30
14			27,35	30,24
18			27,31	30,21
21			27,26	30,18



Διάγραμμα 21. Εξέλιξη του ποσοστού % ολικού οργανικού άνθρακα στους τέσσερις αντιδραστήρες

Και οι τέσσερις αντιδραστήρες παρουσιάζουν αντίστοιχη συμπεριφορά .

Αν και με μικρή διαφορά , οι καμπύλες των αντιδραστήρων με 0% και 10%κ.β. ξηρό υλικό υποδεικνύουν μεγαλύτερα ποσοστά οργανικού άνθρακα σε σχέση με τους άλλους δύο αντιδραστήρες, γεγονός το οποίο οποίο επαληθεύεται και από την καμπύλη των πτητικών. Κατανάλωση οργανικού άνθρακα η οποία επαληθεύεται και από την καμπύλη των πτητικών. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πιθανής μη ορθής ανάπτυξης των διεργασιών. Αρχικά το ποσοστό του οργανικού άνθρακα είναι 52,72% και 53,48% . Ο προσδιορισμός σε αυτούς τους δύο αντιδραστήρες γίνεται μέχρι την δέκατη ημέρα εξαιτίας της μη αναμενόμενης εξέλιξης της διεργασίας και καταγράφεται σε τιμές 32,57% και 32,30%.

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% ξηρό υλικό οι καμπύλες όπως φαίνεται και στο διάγραμμα έχουν φθίνουσα πορεία μέχρι σχετικής σταθεροποίησης. Αρχικά το ποσοστό του οργανικού άνθρακα είναι 49,46% και 50,82%. Μέχρι την δέκατη ημέρα τα ποσοστά του ολικού άνθρακα είναι ολόένα και πιο χαμηλά καθώς τότε εμφανίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες που οδηγούν στην κατανάλωση και αφομοίωση των άμεσα διαθέσιμων και διαλυτών οργανικών ενώσεων. Στα επόμενα στάδια στα οποία εισήλθαν μόνο οι αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου , η κατανάλωση του οργανικού άνθρακα μειώνεται εξαιτίας της ελάττωσης της μεταβολικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών λόγω της έλλειψης διαλυτών ανθρακούχων ενώσεων. (Epstein, 1997). Στη δεύτερη μεσόφιλη φάση κυρίαρχη δράση είναι η διεργασία της σύνθεσης πιο σταθερών ενώσεων γνωστή ως χουμοποίηση. Με τελικές τιμές στο 27,25% και 30,16% φαίνεται πως το τελικό προϊόν δεσμεύει μικρές ποσότητες οργανικού άνθρακα

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση του συνολικού οργανικού άνθρακα στην περίπτωση της χρήσης μεγαλύτερων ποσοτήτων ξηρού υλικού ήταν μεγαλύτερη απ' ότι στους αντιδραστήρες που περιείχαν μηδενική ή ελάχιστη ποσότητα ξηρού υλικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ξηρού υλικού ως πρόσθετου επιβραδύνει και επιταχύνει την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης βελτιώνοντας τις συνθήκες αερισμού και ύγρανσης του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

4.2.8. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου

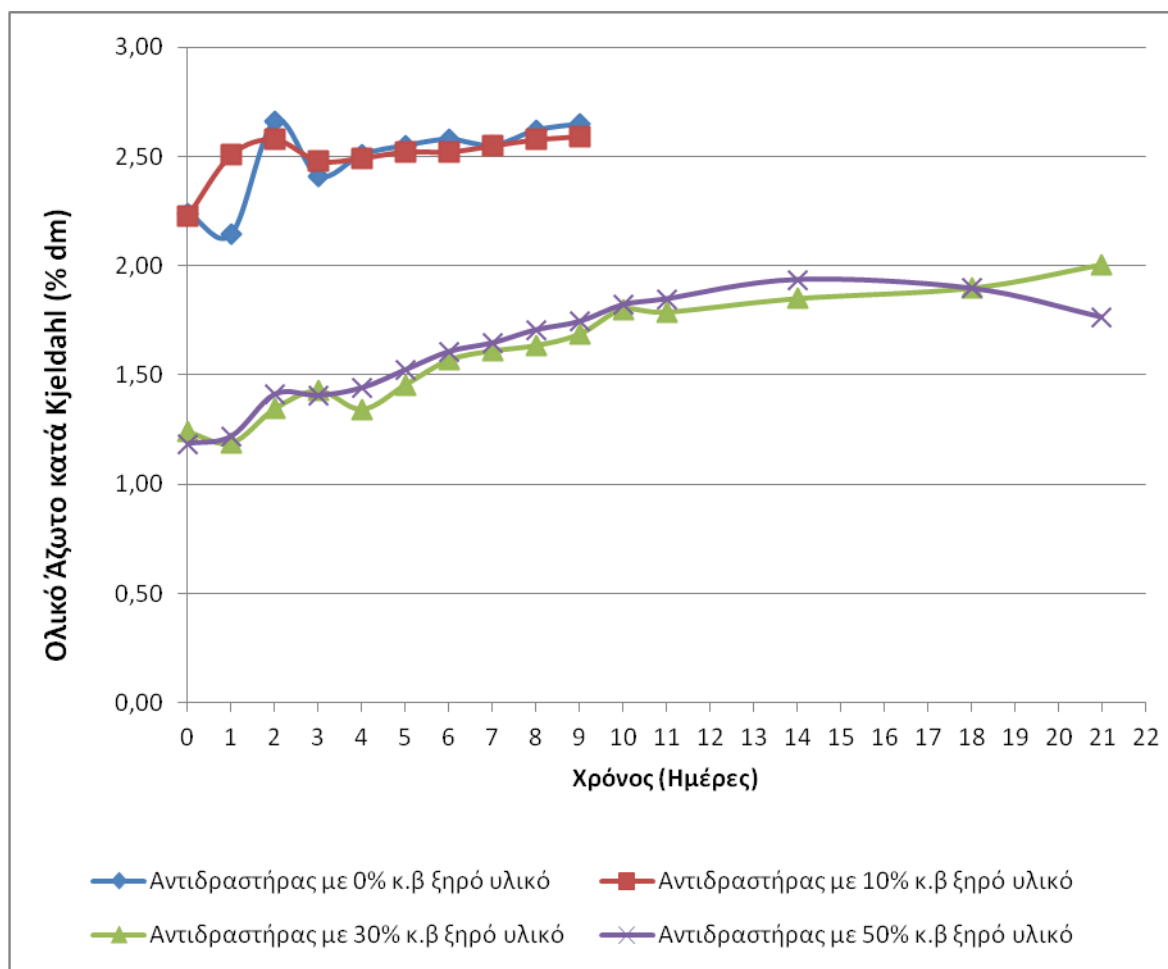
Με τον όρο ολικό άζωτο συμπεριλαμβάνουμε το σύνολο των μορφών υπό τις οποίες μπορεί αυτό να εμφανιστεί και είναι οι εξής : το οργανικό άζωτο (N-org), τα αμμωνιακά (N-NH₄⁺), τα νιτρικά (N-NO₃⁻) και τα νιτρώδη (N-NO₂⁻).

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε ολικό άζωτο

Πίνακας 33. Ποσοστό % του ολικού αζώτου

ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ (TN %)				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	2,24	2,23	1,24	1,19
1	2,14	2,51	1,19	1,22
2	2,66	2,58	1,35	1,41
3	2,41	2,48	1,43	1,41
4	2,51	2,49	1,34	1,44
5	2,55	2,52	1,46	1,52
6	2,58	2,52	1,57	1,61
7	2,55	2,55	1,61	1,65
8	2,62	2,58	1,64	1,71
9	2,65	2,59	1,69	1,74
10			1,80	1,82
11			1,79	1,85
14			1,85	1,94
18			1,90	1,90
21			2,00	1,76



Διάγραμμα 22.Εξέλιξη του ποσοστού % του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl

Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά ανάμεσα στους αντιδραστήρες με 0% και 10% και ανάμεσα σε αυτούς με 30% και 50% κ. β. ξηρό υλικό. Συγκρίνοντας τις καμπύλες του πρώτου και δεύτερου κύκλου φαίνεται η ίδια κλίση αλλά σε διαφορετικά επίπεδα τιμών. Αυτό οφείλεται στη διαφορετική σύνθεση των δειγμάτων που υπέστησαν κομποστοποίηση. Λόγω της μείωσης του οργανικού άνθρακα και της οργανικής ουσίας τις πρώτες ημέρες της διεργασίας παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας σε άζωτο στο υπόστρωμα.

Στον πρώτο κύκλο η αρχική περιεκτικότητα του ολικού αζώτου είναι 2,2% και η τελική περιεκτικότητα που μετρήθηκε την 9η ημέρα κυμάνθηκε στο 2,6%.Στον αντιδραστήρα με 0% κ. β. ξηρό υλικό παρατηρείται στην αρχή της διεργασίας μικρή μείωση της περιεκτικότητας του αζώτου στο υπόστρωμα ενδεχομένως εξαιτίας των απωλειών που εμφανίζονται κατά την αποδόμηση του οργανικού αζώτου.

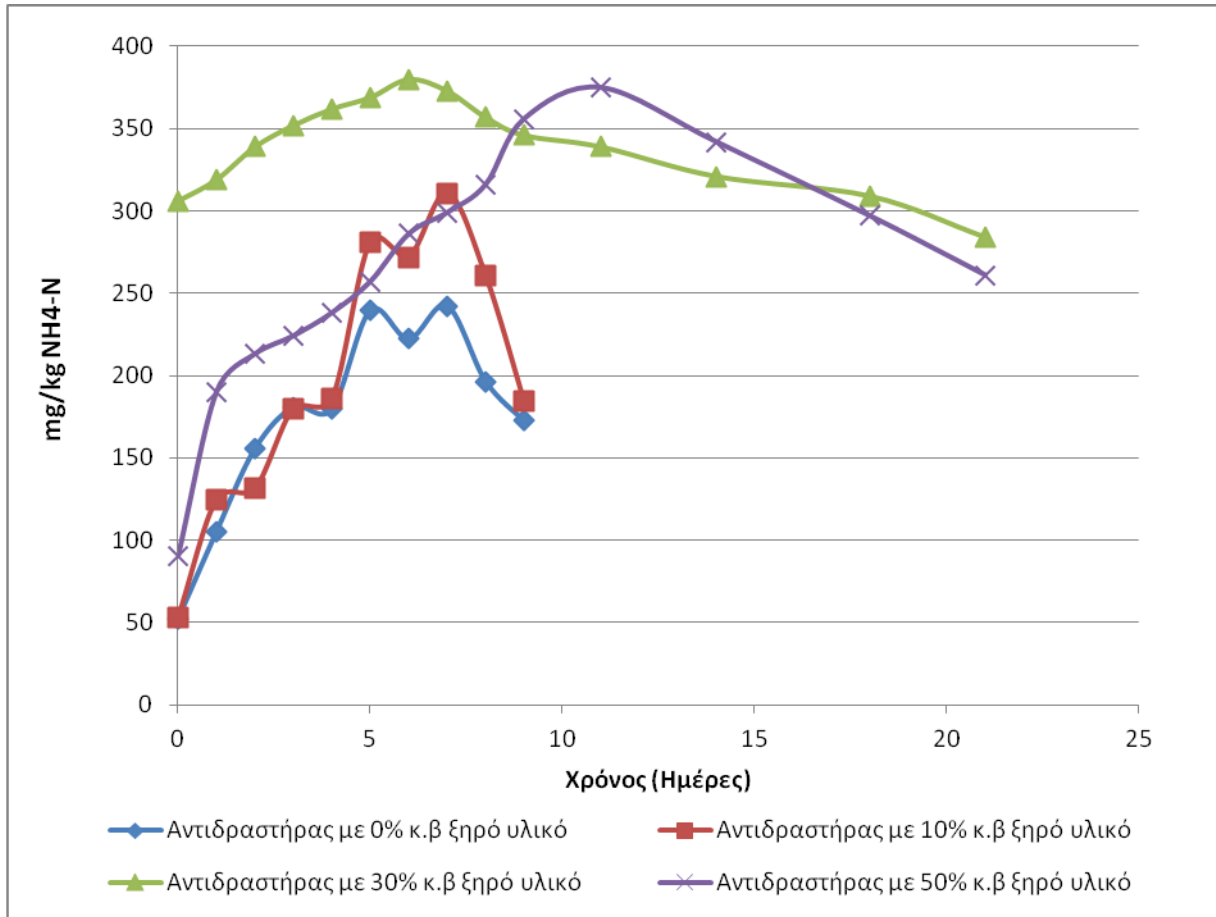
Στον δεύτερο κύκλο , οι κομποστοποιητές με 30% και 50% κ. β. ξηρό υλικό σημείωσαν αρχική περιεκτικότητα σε άζωτο 1,24 % και 1,19%, ενώ μετά το πέρας των 21 ημερών οι τιμές αυξήθηκαν σε 2,0% και 1,76% αντίστοιχα.

4.2.9. Προσδιορισμός αμμωνιακών

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης και ειδικότερα κατά τη θερμοφιλή φάση σχηματίζονται αμμωνιακά μέσω της δράσης πρωτεολυτικών βακτηρίων . Η δημιουργία τους εξαρτάται κατά κύριο λόγο απ' το αρχικό υπόστρωμα και συγκεκριμένα απ' το διαθέσιμο άζωτο των αρχικών υλικών. Κατά τη θερμοφιλή φάση αυξάνεται η συγκέντρωση των αμμωνιακών λόγω της διάσπασης του αζώτου του αρχικού υποστρώματος. Εν συνεχεία, η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώνεται τόσο λόγω του περιορισμού της άμεσα διαθέσιμης οργανικής ουσίας όσο και της μετατροπής τους σε νιτρικά.

Πίνακας 34. Ποσοστό % των αμμωνιακών στο υπόστρωμα

ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ %				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	52	53	306	90
1	105	125	319	190
2	155	131	339	213
3	181	180	352	224
4	180	186	362	238
5	240	281	369	257
6	222	272	380	286
7	242	311	373	299
8	196	261	357	316
9	172	184	346	356
11			339	375
14			321	342
18			309	297
21			284	261



Διάγραμμα 23. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης των αμμωνιακών στους τέσσερις αντιδραστήρες

Στο διάγραμμα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση των αμμωνιακών κατά τη θερμοφιλή φάση, σε όλους τους αντιδραστήρες. Μετά το πέρας της θερμοφιλής φάσης η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώνεται, καθώς ένα μέρος τους μετατρέπεται σε νιτρικά, μέσω της απονιτροποίησης και ένα μικρότερο μέρος τους διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή της αμμωνίας. Στον αντιδραστήρα που δεν προστέθηκε ξηρό υλικό, η αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών πραγματοποιείται σε πολύ μικρό επίπεδο, που προκύπτει από τη διάσπαση της οργανικής ύλης. Η διάσπαση των αζωτούχων ενώσεων κατά τη θερμοφιλή φάση δεν εξελίχτηκε ομαλά, με αποτέλεσμα η παραγωγή των αμμωνιακών να είναι πολύ μικρή, ενώ εξίσου μικρή είναι και η μετατροπή τους σε νιτρικά, μετά το πέρας της θερμοφιλής φάσης, ενδεικτικό της μη ορθής διεξαγωγής της διεργασίας.

Στους αντιδραστήρες με μηδενική ή πολύ μικρή ποσότητα ξηρού υλικού παρατηρείται χαμηλός λόγος C/N, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο. Για το λόγο αυτό η διάσπαση του οργανικού αζώτου είναι εντονότερη με αποτέλεσμα την άμεση αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών (Μαλαμής 2011) όπως καταγράφεται και στο γράφημα λαμβάνοντας τις τιμές 242 και

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

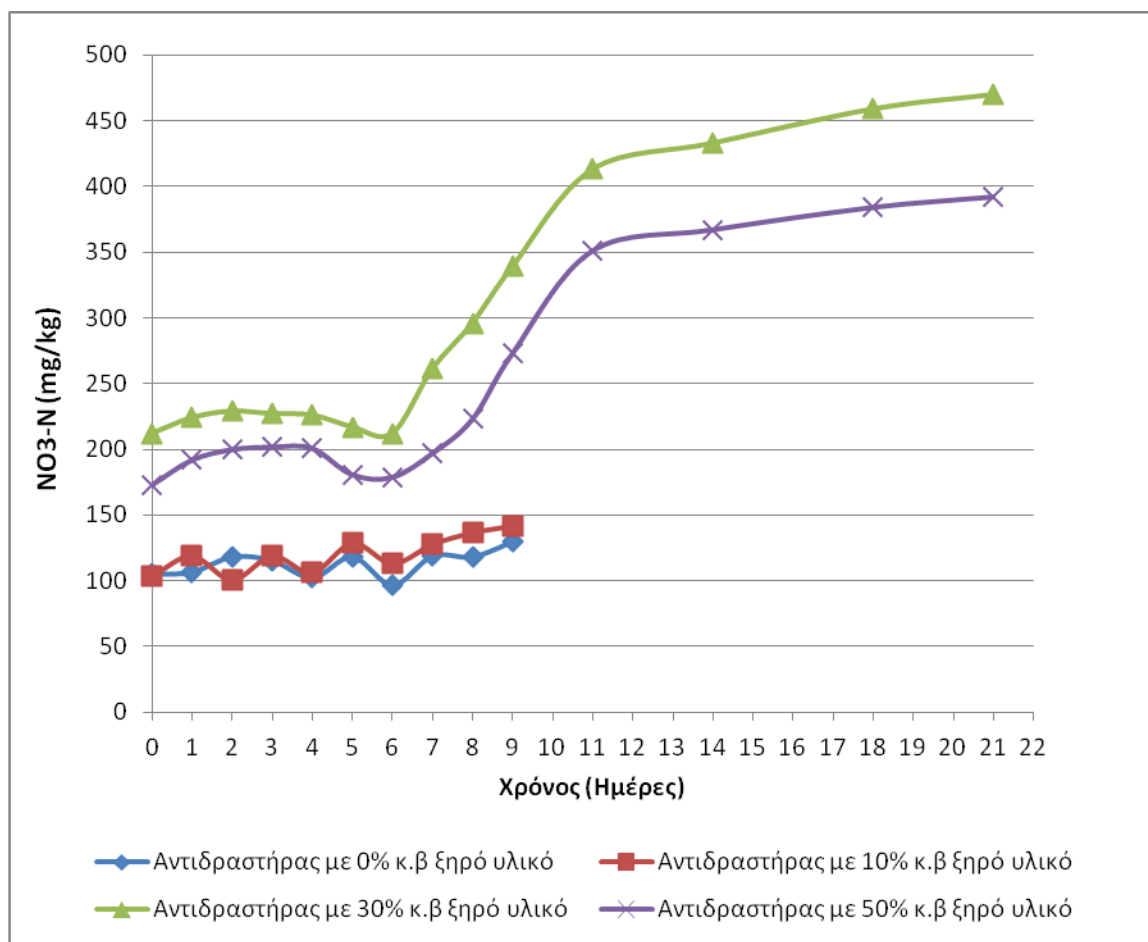
311 mg/kg. Στους άλλους δύο αντιδραστήρες όμως η αναλογία C/N είναι μεγαλύτερη και γι' αυτό η καμπύλη σχηματισμού των αμμωνιακών παρουσιάζει μικρότερη κλίση. Έπειτα, , όπως έχει προαναφερθεί, η συγκέντρωση των αμμωνιακών μειώνεται τόσο εξαιτίας του περιορισμού της άμεσα διαθέσιμης οργανικής ουσίας και της μετατροπής τους σε νιτρικά.

4.2.10. Προσδιορισμός νιτρικών

Τα νιτρικά αυξάνονται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης μετά τη θερμοφιλή φάση λόγω της αποδόμησης των αμμωνιακών που είχαν δημιουργηθεί. Ο ρυθμός με τον οποίο μειώνονται τα αμμωνιακά δεν είναι ανάλογος αυτού τη αύξησης των νιτρικών. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι μέρος του αζώτου χάνεται υπό τη μορφή αμμωνίας στην ατμόσφαιρα .

Πίνακας 35. Ποσοστό % των νιτρικών στο υπόστρωμα

ΝΙΤΡΙΚΑ (mg/kg)				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	105	104	212	173
1	106	119	224	192
2	118	101	229	200
3	116	119	227	202
4	102	106	226	201
5	118	129	217	181
6	97	113	212	179
7	119	128	261	197
8	118	137	296	223
9	130	142	339	273
11			413	351
14			433	367
18			459	384
21			470	392



Διάγραμμα 24. Συγκριτική απεικόνιση της εξέλιξης των νιτρικών στους τέσσερις αντιδραστήρες

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, για θερμοκρασίες κοντά στους 40°C η διεργασία της νιτροποίησης προχωρά αργά διότι η υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών και κατ επέκταση του pH εμποδίζουν την ανάπτυξη νιτροβακτηρίων τα οποία είναι υπεύθυνα για τη νιτροποίηση. Αυτό διαπιστώνεται ξεκάθαρα από το διάγραμμα για τους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β. ξηρό υλικό μέχρι την 7^η ημέρα. Όσο εξελίσσεται όμως η διεργασία της κομποστοποίησης, όπου η θερμοκρασία και το pH μειώνονται και η δράση των βακτηρίων που ευθύνονται για την παραγωγή αμμωνιακών περιορίζεται, παρατηρείται εντονότερη νιτροποίηση.

Οι συχνές αναδεύσεις του υποστρώματος και ο επαρκής αερισμός αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη της νιτροποίησης και την αύξηση των νιτρικών, ειδικά προς το τέλος της κομποστοποίησης. Η συνεχής αύξηση των νιτρικών και η απουσία διεργασιών απονιτροποίησης αποτελούν ένδειξη επικράτησης αερόβιων συνθηκών στο σύστημα.

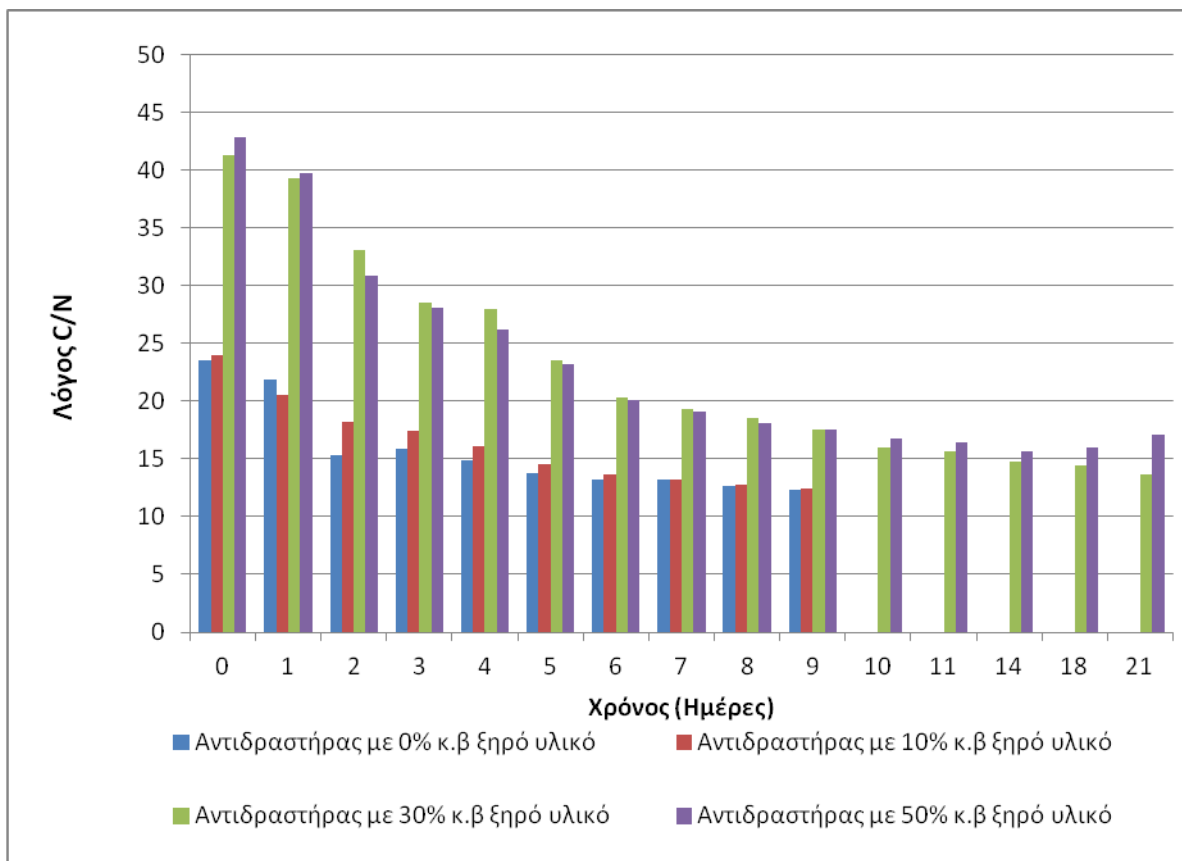
4.2.11. Προσδιορισμός λόγου C/N

Ο άνθρακας και το άζωτο είναι τα πιο βασικά στοιχεία που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την αποδόμηση της οργανικής ύλης. Ο άνθρακας προσφέρει την πηγή ενέργειας, ενώ το άζωτο είναι βασικό συστατικό των πρωτεϊνών. Όσον αφορά το άζωτο, έχει αποδειχθεί ότι οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επιβιώσουν χωρίς αυτό, καθώς αποτελεί σημαντικό συστατικό του πρωτοπλάσματος, δηλαδή ουσιώδη παράμετρο που καθορίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα (Woodard & Curran, 2006). Η επίτευξη ενός ικανοποιητικού λόγου άνθρακα προς αζώτου στο αρχικό υπόστρωμα συνίσταται κυρίως στην εμπειρία.

Πίνακας 36. Τιμές C/N τους τέσσερις αντιδραστήρες

C/N				
Ημέρα	Αντιδραστήρας με 0% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β ξηρό υλικό
0	23,52	24,01	41,25	42,87
1	21,91	20,54	39,23	39,75
2	15,35	18,22	33,10	30,86
3	15,89	17,43	28,57	28,11
4	14,81	16,04	27,98	26,18
5	13,75	14,52	23,51	23,17
6	13,25	13,60	20,32	20,05
7	13,23	13,18	19,33	19,12
8	12,67	12,76	18,56	18,06
9	12,30	12,47	17,48	17,58
10			15,94	16,74
11			15,62	16,39
14			14,79	15,62
18			14,40	15,93
21			13,61	17,10

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η εξέλιξη του λόγου C/N κατά τη διάρκεια της διεργασίας.



Διάγραμμα 25. Συγκριτική απεικόνιση του λόγου C/N των τεσσάρων αντιδραστήρων κατά την εξέλιξη της διεργασίας

Το ιδανικό μίγμα πρώτης ύλης θα πρέπει να έχει ένα αρχικό C: N αναλογία περίπου 30:1 και να μειώνεται σε λιγότερο από 20:1 όσο προχωρεί η διαδικασία της κομποστοποίησης. Με βάση την διεθνή βιβλιογραφία το ώριμο κόμποστ από οικιακά οργανικά απόβλητα πρέπει να έχει λόγο C/N από 10-20 για να θεωρηθεί καλής ποιότητας. Εντός του εύρους των τιμών αυτών, βρίσκεται ο λόγος στο παραγόμενο τελικό προϊόν και των τεσσάρων αντιδραστήρων αναδεικνύοντας τη βέλτιστη ποιότητά του ως προς αυτήν την παράμετρο.

Στους κομποστοποιητές με 0% και 10% κ. β. ξηρό υλικό η αρχική τιμή του λόγου C/N είναι πολύ κοντινές (23,52 και 24,01) ενώ στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ. β. ξηρό υλικό η αρχική τιμή του λόγου C/N είναι 41,25 και 42,87 αντίστοιχα. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στη διαφορετική σύσταση του υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε αντιδραστήρα. Όσο η διεργασία εξελίσσεται ο λόγος σταδιακά μειώνεται. Αυτό υποδεικνύει πως η διαθέσιμη οργανική ύλη ελαττώνεται. Μετά την 9^η ημέρα ο λόγος φαίνεται να σταθεροποιείται στους αντιδραστήρες του δεύτερου κύκλου καθώς σταθεροποιείται και η απώλεια της οργανικής ουσίας. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τις καμπύλες του ολικού οργανικού άνθρακα αλλά και της απώλειας των πτητικών. Οι τελικές τιμές μετά τις 21 ημέρες της διεργασίας για τον δεύτερο κύκλο (13,61 και

17,10 αντίστοιχα) είναι εντός των ορίων της ΕΕ αναδεικνύοντας το κόμποστ που παρήχθη σε καλής ποιότητας .

Οι μετρήσεις στα δείγματα του πρώτου κύκλου σταμάτησαν την 9^η ημέρα καθώς ο προσδιορισμός άλλων παραμέτρων είχε υποδείξει πως η διεργασία δεν εξελίσσεται ομαλά. Οι τελικές τιμές στους κομποστοποιητές με 0% και 10% κ. β. ξηρό υλικό που μετρήθηκαν κατά την 9^η ημέρα κατά την οποία ορίστηκε το πρόωρο τέλος της διεργασίας, αποκαλύπτουν λόγο C/N ίσο με 12,30 και 12,47, αντίστοιχα.

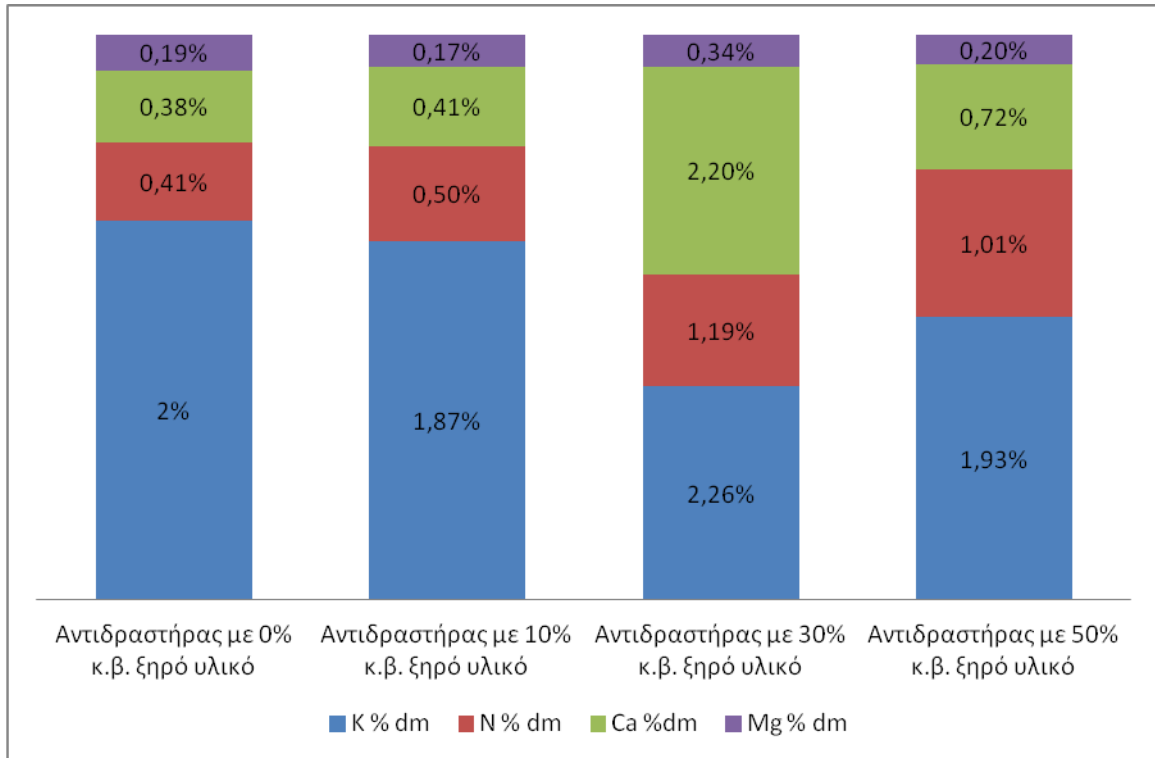
4.2.12. Προσδιορισμός μακροστοιχείων

Τα μακροστοιχεία αποτελούν σημαντικό παράγοντα ελέγχου της θρεπτικής αξίας του τελικού προϊόντος . Τα μακροστοιχεία που απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τα φυτά είναι το άζωτο , ο φώσφορος και το κάλιο. Εξίσου σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών είναι και το ασβέστιο και το μαγνήσιο , τα οποία όμως απαιτούνται σε μικρότερες ποσότητες. Η περιεκτικότητα του κόμποστ σε μακροστοιχεία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ποιότητά του. Εάν το κόμποστ χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο ή φωσφόρο μπορεί να εμπλουτιστεί με ποσότητες χημικών λιπασμάτων. Εάν όμως η περιεκτικότητα του κόμποστ σε μακροστοιχεία είναι αυξημένη μπορεί να επιβαρύνει το υδάτινο οικοσύστημα. Για το λόγο αυτό είναι επιθυμητή η τήρηση κάποιων ορίων .

Μελετήθηκε η περιεκτικότητα των προϊόντων που προέκυψαν από τους 4 αντιδραστήρες και τα αποτελέσματα τους φαίνονται στον πίνακα 37.

Πίνακας 37. Ποσοστό % του ώριμου κόμποστ σε μακροστοιχεία για τους τέσσερις αντιδραστήρες

	K % dm	N % dm	Ca %dm	Mg % dm
Αντιδραστήρας με 0% κ.β. ξηρό υλικό	2,00	0,41	0,38	0,19
Αντιδραστήρας με 10% κ.β. ξηρό υλικό	1,87	0,50	0,41	0,17
Αντιδραστήρας με 30%κ.β. ξηρό υλικό	2,26	1,19	2,20	0,34
Αντιδραστήρας με 50% κ.β. ξηρό υλικό	1,93	1,01	0,72	0,20



Διάγραμμα 26. Συγκριτική απεικόνιση του ποσοστού % των διαφόρων μακροστοιχείων στο κόμποστ που παράχθη

Κάλιο

Η σημαντικότητα καλίου του στα φυτά έγκειται περισσότερο στη σύνθεση αμινοξέων και πρωτεϊνών καθώς και στη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Στα κόμποστ που παράχθηκαν από όλους τους αντιδραστήρες οι τιμές του περιεχόμενου καλίου κυμαίνονται μεταξύ 1,87-2,26 % dm. Η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται στον αντιδραστήρα με 30% ξηρό υλικό. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία τα επιθυμητά όρια κυμαίνονται μεταξύ 0,12 και 1,80 % dm (Hargreaves et al. 2008). Σε όλους τους αντιδραστήρες το προϊόν εμφανίζεται εμπλουτισμένο σε κάλιο λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των τροφών που αποτελούν τον αρχικό υπόστρωμα, με κύριες πηγές τα λαχανικά και τα φρούτα.

Άζωτο

Η διαθεσιμότητα του αζώτου από το κόμποστ στα φυτά δεν είναι άμεση όπως γίνεται στην περίπτωση των ανόργανων χημικών λιπασμάτων γεγονός που καθιστά το κόμποστ ως επιθυμητό καθώς η απελευθέρωση αζώτου επιτυγχάνεται με βραδύτερο ρυθμό (Μαλαμής 2011). Στα κόμποστ που παράχθηκαν από όλους τους αντιδραστήρες οι τιμές του περιεχόμενου αζώτου κυμαίνονται μεταξύ 0,41-1,19 % dm. Η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται στον αντιδραστήρα με 30% ξηρό υλικό. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία τα επιθυμητά όρια κυμαίνονται μεταξύ 0,50 και 3,50 % dm. Το

προϊόν που παρελήφθη από τους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ. β. ξηρό υλικό δεν έχει ολοκληρώσει τη διεργασία της κομποστοποίησης ομαλά επομένως ήταν αναμενόμενο πως δεν θα μπορούσε να αποτελέσει λίπασμα με ιδιαίτερη θρεπτική συμπεριφορά. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στις χαμηλές περιεκτικότητες του σε άζωτο. Αντιθέτως στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ. β. ξηρό υλικό, τιμές του αζώτου κρίνονται ικανοποιητικές.

Ασβέστιο

Το ασβέστιο είναι απαραίτητο συστατικό της κυτταρικής μεμβράνης και η παρουσία του κρίνεται σημαντική στο σχηματισμό νέων κυττάρων. Η περιεκτικότητα ασβεστίου στο παραγόμενο κόμποστ κατά τη λειτουργία του συστήματος κομποστοποίησης σε όλους τους αντιδραστήρες εμφανίζει τιμές μεταξύ 0,38-2,20 % dm. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία τα επιθυμητά όρια κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 14,0 % dm. Επομένως και στους 4 αντιδραστήρες η περιεκτικότητα του ασβεστίου θεωρείται εντός των ορίων. Η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται στον αντιδραστήρα με 30% ξηρό υλικό

Μαγνήσιο

Η λειτουργία της φωτοσύνθεσης καθώς και η δραστηριότητα βασικών ενζύμων υπεύθυνα για το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών εξαρτώνται από την παρουσία του μαγνησίου. Το περιεχόμενο μαγνήσιο του κόμποστ που προέκυψε από όλους τους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές 0,3- 3,0% dm. Η μεγαλύτερη τιμή σημειώνεται στον αντιδραστήρα με 30% ξηρό υλικό..

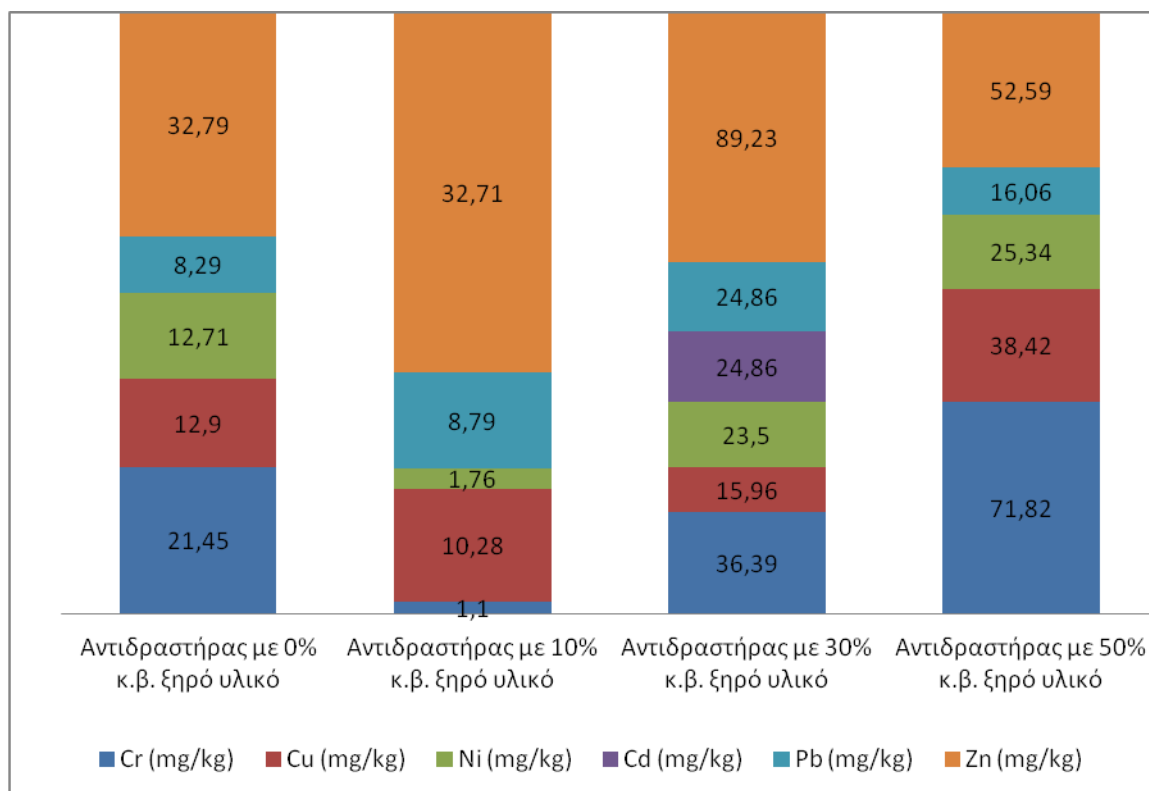
4.2.13. Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων

Πίνακας 38. Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο ώριμο κόμποστ κάθε αντιδραστήρα

	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Αντιδραστήρας με 0% κ.β. ξηρό υλικό	21,45	12,90	12,71	κ.ο.α	8,29	32,79
Αντιδραστήρας με 10% κ.β. ξηρό υλικό	1,10	10,28	1,76	κ.ο.α	8,79	32,71
Αντιδραστήρας με 30%κ.β. ξηρό υλικό	36,39	15,963	23,50	0,323	24,86	89,23
Αντιδραστήρας με 50% κ.β. ξηρό υλικό	71,82	38,42	25,34	κ.ο.α	16,06	52,59

*κ.ο.α = κάτω από το όριο ανίχνευσης

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων



Διάγραμμα 27. Συγκριτική απεικόνιση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο κόμποστ που παρήχθη

Καθώς τα βαρέα μέταλλα ενδέχεται να επηρεάσουν την ανάπτυξη των φυτών , τα χαρακτηριστικά του εδάφους αλλά και την ανθρώπινη υγεία , η συγκέντρωση τους θεωρείται βασική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του κόμποστ. Τα προϊόντα που παρήχθησαν μετά τη διεργασία της κομποστοποίησης μελετήθηκαν ως προς τη συγκέντρωσή τους σε Χρώμιο (Cr), Χαλκό (Cu), Μαγγάνιο (Mn), Νικέλιο (Ni), Κάδμιο (Cd), Μόλυβδο (Pb) και Ψευδάργυρο (Zn) . Η Ευρώπη καθορίζει τα επιτρεπτά όρια την Έκθεση ευρωπαϊκής (Hans Saveyn & Peter Eder 2014). Το Ecolabel είναι επίσης ένα εθελοντικό σχήμα πιστοποίησης φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων και υπηρεσιών που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. και καθορίζει τα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων. Για τα βελτιωτικά εδάφους οι απαιτήσεις για την παροχή του Ecolabel ρυθμίζονται με την απόφαση 2006/799/Ε.Κ . Στοιχεία επίσης για τον χαρακτηρισμό της ποιότητας του κόμποστ δίνονται επίσης και στον οδηγό της Wrap (« Guidelines for the Specification of Quality Compost for use in Growing Media», Ιούνιος 2011).

Χρώμιο

Η περιεκτικότητα του Χρωμίου στο παραγόμενο κόμποστ μετά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης στους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές μεταξύ 1,1-71,82 mg/kg. Παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση των τιμών ανάμεσα στις τέσσερις εξεταζόμενες περιπτώσεις. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα νομοθεσία το ανώτερο επιτρεπτό όριο είναι τα 100 mg/kg. Όλοι οι αντιδραστήρες λοιπόν παρήγαν προϊόν με ανεκτή περιεκτικότητα σε χρώμιο.

Χαλκός

Το εύρος της περιεκτικότητας του Χαλκού στο παραγόμενο κόμποστ μετά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης στους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές μεταξύ 10,28-38,42 mg/kg και εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (100 mg/kg).

Νικέλιο

Το εύρος της περιεκτικότητας του Νικελίου στο παραγόμενο κόμποστ μετά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης στους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές μεταξύ 1,76-25,34 mg/kg και εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (50 mg/kg).

Κάδμιο

Το περιεκτικότητα των προϊόντων σε Κάδμιο είναι μη ανιχνεύσιμη εκτός από την περίπτωση του αντιδραστήρα με 30% κ.β ξηρό υλικό όπου είναι 0,324 mg/kg. Εμπίπτει όμως και αυτή εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (1,5 mg/kg).

Μόλυβδος

Η περιεκτικότητα του Μολύβδου στο παραγόμενο κόμποστ μετά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης στους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές μεταξύ 8,29-24,86 mg/kg. Σύμφωνα με την προαναφερθείσα νομοθεσία το ανώτερο επιτρεπτό όριο είναι τα 120 mg/kg. Όλοι οι αντιδραστήρες λοιπόν παρήγαν προϊόν με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε Μόλυβδο.

Ψευδάργυρος

Το εύρος της περιεκτικότητας του Ψευδαργύρου στο παραγόμενο κόμποστ μετά τη διεξαγωγή της κομποστοποίησης στους αντιδραστήρες παρουσιάζει τιμές μεταξύ 32,71-89,23 mg/kg και εμπίπτει εντός των ορίων της ευρωπαϊκής νομοθεσίας (400 mg/kg).

4.2.14. Φυτοτοξικότητα

Για το προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας χρησιμοποιείται ο Δείκτης βλαστικότητας . Ανάλογα με το είδος των καρπών που χρησιμοποιείται στη διεξαγωγή των πειραμάτων διαφέρουν τα κατώτερα όρια του επιτρεπτού όρου Δ.Β. Ο Δ.Β είναι ικανός να ποσοτικοποιήσει την φυτοτοξικότητα αλλά όχι να προσδιορίσει την αιτία εμφάνισης της. Για τα πειράματα επιλέχθηκαν σπόροι μαρουλιού (*Lactuca sativa*). Η επιλογή τους βασίστηκε στην ευρεία αναφορά της μεθόδου στη βιβλιογραφία στο μικρό μέγεθος των καρπών, καθώς επίσης και στην ταχύτατη ανάπτυξη τους .

Για το δείκτη βλαστικότητας με σπόρους μαρουλιού ισχύει:

0 < Δ.Β.< 25 πολύ φυτοτοξικό

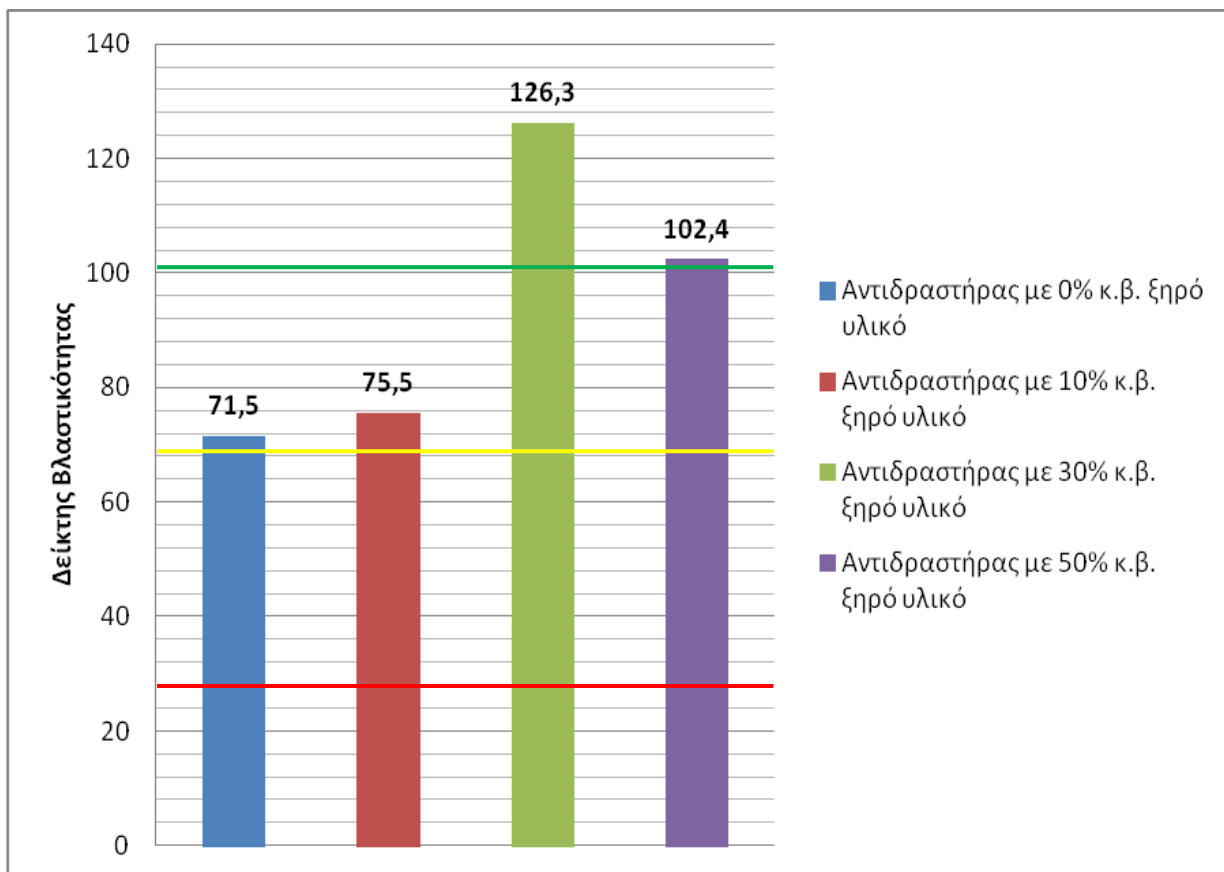
26 < Δ.Β.< 65 φυτοτοξικό

66 < Δ.Β.< 100 μή φυτοτοξικό

Δ.Β.> 101 φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό

Πίνακας 39. Δείκτης βλαστικότητας και χαρακτηρισμός κόμποστ

	Δείκτης Βλαστικότητας	Χαρακτηρισμός
Αντιδραστήρας με 0% κ.β. ξηρό υλικό	71,5	Μη φυτοτοξικό
Αντιδραστήρας με 10% κ.β. ξηρό υλικό	75,5	Μη φυτοτοξικό
Αντιδραστήρας με 30% κ.β. ξηρό υλικό	126,3	Φυτοθρεπτικό
Αντιδραστήρας με 50% κ.β. ξηρό υλικό	102,4	Φυτοθρεπτικό



Διάγραμμα 28.Ο δείκτης βλαστικότητας των τεσσάρων αντιδραστήρων

Κόκκινη γραμμή: 25 όριο πολύ φυτοτοξικού

Κίτρινη γραμμή: 65 όριο φυτοτοξικού

Πράσινη γραμμή: 100 όριο μη φυτοτοξικού

Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία τα πιθανά αίτια τα οποία σχετίζονται με την φυτοτοξικότητα του κόμποστ αφορούν κατά κύριο λόγο στην παρουσία αμμωνίας, αλάτων, βαρέων μετάλλων και/ή οργανικών οξέων. Η μη ανάπτυξη συγκεκριμένων βλαστών με τη χρήση του κόμποστ δεν συνεπάγεται τον χαρακτηρισμό του ως φυτοτοξικό, αλλά επισημαίνει το γεγονός ότι η βλαστικότητα δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του κόμποστ αλλά και από τον τύπο του βλαστού που χρησιμοποιείται. Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ. β. ξηρό υλικό ο Δ.Β είναι 71,5 και 75,5 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές κατατάσσουν το προϊόν στην κατηγορία μη φυτοτοξικό. Το προϊόν που παρελήφθη από τους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό δεν έχει ολοκληρώσει τη διεργασία της κομποστοποίησης ομαλά επομένως ήταν αναμενόμενο πως δεν θα μπορούσε να αποτελέσει λίπασμα με θρεπτική συμπεριφορά .

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό ο Δ.Β είναι 126,3 και 102,4 αντίστοιχα. Στους αντιδραστήρες αυτού του κύκλου η διεργασία είχε ομαλή εξέλιξη , γεγονός που αντανακλάται και στους δείκτες βλαστικότητας τους. Οι τιμές που προσδιορίστηκαν κατατάσσουν το κόμποστ στη κατηγορία του φυτοθρεπτικού- φυτοδιεγερτικού . Κόμποστ με τέτοιο Δ.Β δύναται να ωθήσουν την ανάπτυξη του φυτού στο οποίο θα προστεθούν .

Σε όλες τις περιπτώσεις το προϊόν που παρήχθη είχε ως πρώτη ύλη οικιακά διατροφικά απορρίμματα τα οποία κατά κύριο λόγο είναι απαλλαγμένα από επιβαρυντικές ουσίες που θα μπορούσαν να του προσδώσουν τοξική συμπεριφορά. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύει τον ισχυρισμό της σπουδαιότητας της διαλογής στη πηγή των αποβλήτων και την επίτευξη επομένως καθαρού οργανικού κλάσματος απαλλαγμένο από προσμίξεις.

4.2.15. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών ώριμου προϊόντος

Πίνακας 40. φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του ώριμου κόμποστ

Παράμετρος	Αντιδραστήρας με 0% κ.β. ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 10% κ.β. ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 30% κ.β. ξηρό υλικό	Αντιδραστήρας με 50% κ.β. ξηρό υλικό
Υγρασία %	62,33	55,17	37,23	35,12
Αγωγιμότητα (mS/cm)	3,36	3,26	5,87	4,64
pH	4,97	6,61	8,95	8,38
Πτητικά Στερεά %	73,07	71,13	60,66	48,45
TOC %	31,76	31,06	27,15	30,16
N-TKN %	2,76	2,63	1,93	1,95
NH ₄ ⁺ (mg/kg)	165	176	272	241
NO ₃ ⁻ (mg/kg)	141	156	479	402
C/N	11,51	11,79	13,21	15,49

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Πίνακας 41. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών παραμέτρων που καθορίζουν την ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος

Παράμετρος	Επιθυμητές Τιμές	0%	10%	30%	50%
Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (%)	>20%	73,07	71,13	60,66	48,45
Ωριμότητα / Σταθερότητα **	<10 mg CO ₂ /g οργανικής ύλης/μέρα	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Φυτοτοξικότητα**	βλάστηση 80% του τυφλό δείγμα	71,5	75,5	126,3	102,4
Υγρασία** (%)	<50 % w/w	62,33	55,17	37,23	35,12
Φαινόμενη πυκνότητα**	<550 g/l (φρέσκου υλικού)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
weed seeds and propagules **	Μηδενική ανά λίτρο κόμποστ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Κοκκομετρία **	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
pH**	pH<9	4,97	6,61	8,95	8,38
Ηλεκτρική αγωγιμότητα** (mS/cm)	<1500 μS/cm	3,36	3,26	5,87	4,64
Παρουσία σαλμονέλας	Μηδενική σε δείγμα 50 g	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Παρουσία E-coli **	<1000 cfu/g (φρέσκου δείγματος)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Προσμίξεις (γυαλί , μέταλλο , πλαστικό)**	<0,2% μέταλλο , < 0,05% πλαστικό , < 0,1% γυαλί	0	0	0	0
σχέση C/N	<20/1	11,51	11,79	13,21	15,49
Pb	<120 mg/Kg (ξηρού βάρους)	8,30	8,80	24,87	16,07
Cd	<1,5 mg/Kg (ξηρού βάρους)	κ.ο.α	κ.ο.α	0,323	κ.ο.α
Cr	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)	21,45	1,11 3	36,4	71,82
Cu	<100 mg/Kg (ξηρού βάρους)	12,91	10,28	15,96	38,42
Ni	<50 mg/Kg (ξηρού βάρους)	12,72	1,77	23,50	25,34
Hg	<1 mg/Kg (ξηρού βάρους)	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ	Δ.Μ
Zn	<400 mg/Kg (ξηρού βάρους)	32,79	32,72	89,23	52,60

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

4. Παρουσίαση & Συζήτηση Αποτελεσμάτων

*Η πηγή Wrap << Guidelines for the Specification of Quality Compost for use in Growing Media>> , Ιούνιος 2011 , θέτει όριο στο Pb<200mg/Kg και Cu<200mg/Kg

**Οι τιμές με δύο αστερίσκους έχουν ληφθεί από τη πηγή Wrap, 2011 ενώ οι υπόλοιπες από την Έκθεση ευρωπαϊκής επιτροπής των Hans Saveyn & Peter Eder , 2014

(Πηγή: Wrap, 2011, Hans Saveyn & Peter Eder , 2014, Τσαμούτσογλου,2008)

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σκοπό τη διερεύνηση της αξιοποίησης ξηραμένων στη πηγή οικιακών διατροφικών απορριμμάτων προς παραγωγή κόμποστ. Ύστερα από συστηματική μελέτη και παρατήρηση τόσο της διεργασίας όσο και των συστημάτων ξήρανσης και κομποστοποίησης προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα και προτάσεις βελτιώσεις.

- Το πρόβλημα της διαχείρισης των απορριμμάτων αποτελεί φλέγον ζήτημα στις σύγχρονες κοινωνίες για αυτό και έχει θεσπιστεί μια σειρά νόμων και οδηγιών που σκοπό έχουν να θέσουν όρια και στόχους στην προσπάθεια επίλυσης αυτού του προβλήματος. Η Ελλάδα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες δείχνει να έχει μείνει πίσω στην υιοθέτηση των μεθόδων και πρακτικών που ορίζει η Ευρώπη με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά από την επιβολή προστίμων.
- Η εργασία αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο είναι αυτό της ξήρανσης των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων και το δεύτερο της κομποστοποίηση τους με πρόσθετο το ξηρό υλικό που παρήχθη στο πρώτο στάδιο.
- Για τη δημιουργία του προς ξήρανση μίγματος χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες απορρίμματα από λαϊκές αγορές και οικίες. Συγκεκριμένα, το υλικό το οποίο οδηγήθηκε προς ξήρανση είχε την ακόλουθη σύσταση: πράσινα λαχανικά , πατάτα , ντομάτα, κρεμμύδι, πιπεριά , ρεβίθια , φασόλια , ψωμί , μπανάνα , τυρί , μήλο , πορτοκάλι, λεμόνι, κρέας και ψάρι. Σχετικά με το μέγεθος του νοικοκυριού, μία μονομελής οικογένεια παράγει 411 γραμμάρια διατροφικών απορριμμάτων την ημέρα.
- Για την επίτευξη της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE το οποίο αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 08 ENV/GR/000566 με την ονομασία DRYWASTE. Καταγράφεται η μεταβολή μάζας , η μεταβολή ύψους του δείγματος και η ενεργειακή κατανάλωση.
- Για τη μελέτη της διεργασίας της κομποστοποίησης, διεξήχθησαν δύο κύκλοι πειραμάτων με δύο αντιδραστήρες σε καθέναν από αυτούς. Στον πρώτο κύκλο οι αντιδραστήρες περιείχαν ξηρό υλικό σε αναλογία 0% και 10% κ.β. ενώ στον δεύτερο κύκλο αναλογία 30% και 50%κ.β. Επίσης σε όλους τους αντιδραστήρες προσετέθη το ορυκτό περλίτης καθώς και πράσινα απόβλητα για

αύξηση του πορώδους και την επίτευξη καλύτερων συνθηκών υγρασίας και αερισμού του υποστρώματος .

- Οι κομποστοποιητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι πιλοτικοί. Αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 03 ENV/GR/000205 με την ονομασία COMWASTE. Το σύστημα αποτελείται από βιοαντιδραστήρα κλειστού τύπου ασυνεχούς τροφοδοσίας με μέγιστη δυναμικότητα επεξεργασίας 17 κιλών βιοαποδομήσιμων οικιακών απορριμμάτων.
- Η ζητούμενη ποσότητα ξηρού υλικού που υπολογίστηκε ότι απαιτούνταν και για αυτούς δύο κύκλους πειραμάτων ήταν ίση με 14,18 kg. και προέκυψε από την ξήρανση 63,28 kg νωπών διατροφικών απορριμμάτων. Διαπιστώνεται ένα ποσοστό μείωσης της μάζας του υλικού κατά 77,59 %.. Αντίστοιχα, το ποσοστό της μείωσης του όγκου των ξηραμένων διατροφικών απορριμμάτων υπολογίστηκε στο 58,91%. Η ενεργειακή κατανάλωση σύμφωνα με εργαστηριακές δοκιμές είναι 1,3 KWh για την ξήρανση ενός κιλού νωπών διατροφικών απορριμμάτων. Για τη συλλογή των 14,18 kg ξηρού υλικού μέσω της ξήρανσης 63,28 kg νωπών βιοαποβλήτων καταναλώθηκαν συνολικά 82,26 KWh.
- Η αρχική τροφοδοσία , οποία είναι και στις τέσσερις περιπτώσεις κομποστοποιητών 15,750 κιλά . Αφαιρείται η μάζα που εξάγεται καθημερινά για την ανάλυση δειγμάτων και έτσι προκύπτει η μάζα που θα έπρεπε θεωρητικά να περιλαμβάνεται μέσα στον αντιδραστήρα. Παρατηρείται όμως πως η πραγματική μάζα κόμποστ που λαμβάνεται μετά το πέρας της διεργασίας διαφέρει από την θεωρητική . Η διαφορά αυτή οφείλεται σε απώλειες πχ. υγρασίας . Στον αντιδραστήρα με 0% και 10 % ξηρό υλικό κατά βάρος τροφοδοσίας η λήψη δείγματος σταμάτησε την 10η ημέρα καθώς διαπιστώθηκε πως η διεργασία δεν εξελίσσεται.
- Ο πρώτος κύκλος διεξήχθη κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος-Ιούλιος 2013), ενώ ο δεύτερος κύκλος κατά την χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος 2013- Ιανουάριος 2014). Επομένως οι υψηλές θερμοκρασίες που κατεγράφησαν κατά το δεύτερο κύκλο οφείλονται στην εξέλιξη της διεργασίας και την ανάπτυξη συνθηκών που αντιστοιχούν στη θεرمόφιλη φάση.
- Η προσθήκη ξηρού υλικού ως πρόσθετο κομποστοποίησης λειτούργησε ευνοϊκά στην εξέλιξη της διεργασίας όπου είχε χρησιμοποιηθεί με αναλογία 30% και 50% κ.β. ξηρού υλικού . Η αναλογία όμως 10% δεν ήταν αρκετή για να εξελιχθεί ομαλά η διεργασία της κομποστοποίησης.

- Η θερμότητα που παράγεται κατά την αποικοδόμηση των οργανικών συστατικών από τους μικροοργανισμούς εγκλωβίζεται στη μάζα του σωρού και ανεβάζει τη θερμοκρασία του (1ο στάδιο – μεσόφιλη φάση). Αρχικά η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι παράγουν περισσότερη θερμότητα και αυξάνουν και άλλο τη θερμοκρασία, (2ο στάδιο- θερμόφιλη φάση) σε έναν αλληλοενισχυόμενο κύκλο. Όταν όμως η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 45-50 °C, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αρχίζει να ελαττώνεται και πάνω από τους 75 °C πρακτικά μηδενίζεται. Έτσι για να πετύχουμε το μέγιστο ρυθμό βιοαποδόμησης των οργανικών υλικών, πρέπει να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία σε ευνοϊκά για τους μικροοργανισμούς επίπεδα. Η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες για κάποιο χρονικό διάστημα καταστρέφει πιθανούς παθογόνους οργανισμούς για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Θερμοκρασία γύρω στους 55°C για τρεις ημέρες θεωρείται ιδανική για καταστροφή των παθογόνων. Η διεργασία ολοκληρώνεται στην τρίτη φάση η οποία αποτελεί μια δεύτερη μεσόφιλη ή φάση ωρίμανσης και η οποία συμβάλει στην σταθεροποίηση του τελικού προϊόντος (κόμποστ) .

Ο πρώτος κύκλος πειραμάτων δεν ανέπτυξε τις αναμενόμενες απαιτούμενες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να διακοπεί στις 10 ημέρες. Υπήρξαν πολύ έντονες οσμές που υποδηλώνουν την ανάπτυξη αναερόβιας δραστηριότητας και η μορφή του παραγόμενου προϊόντος δεν θύμιζε χούμους. Το προϊόν αφέθηκε 1 μήνα προς ωρίμανση αλλά δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κόμποστ. Το θερμοκρασιακό προφίλ του δεύτερου κύκλου με περιεκτικότητα σε ξηρό υλικό 30% και 50% ήταν τυπικό της διεργασίας της κομποστοποίησης. Πέρασε από τη μεσόφιλη στη θερμόφιλη φάση και έπειτα στη δεύτερη μεσόφιλη φάση (φάση ψύξης). Μετά το πέρας των 21 ημερών το υλικό απέκτησε την όψη , την υφή και την οσμή χύματος.

- Στην περίπτωση κατά την οποία η οργανική ουσία εμφανίζει υψηλή περιεχόμενη υγρασία κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι τεχνικές μείωσης των επιπέδων υγρασίας περιλαμβάνουν (α) τη συνεχή ανάδευση του υποστρώματος προκειμένου να επιτευχθεί διάχυση του οξυγόνου σε όλα τα τμήματα της οργανικής μάζας και (β) την ανάμιξη του υποστρώματος με οργανική ουσία η οποία χαρακτηρίζεται είτε από χαμηλά επίπεδα υγρασίας είτε από υψηλό πορώδες. Για τη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη και λόγω της υψηλής περιεχόμενης υγρασίας του υποστρώματος, η καθημερινή και ανά τακτά διαστήματα ανάδευση υιοθετήθηκε ως η προτιμότερη τεχνική για τη μείωση των επιπέδων υγρασίας. Ωστόσο στην περίπτωση των κομποστοποιητών που περιείχαν 0% και 10% κ.β. ξηρό υλικό δεν ήταν επαρκής για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αερισμού που προέκυψαν.

Σημειώνεται ότι η ιδανική περιεχόμενη υγρασία στο τελικό προϊόν (κόμποστ) κυμαίνεται στο εύρος τιμών μεταξύ 40% και 50% διότι με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται περιορισμένη δράση των

μικροοργανισμών, γεγονός που είναι επιθυμητό για την ασφαλή εναπόθεση του κόμποστ στο έδαφος. Επισημαίνεται ότι η περιεχόμενη υγρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 25% καθότι τότε δεν είναι δυνατή η ενσωμάτωσή του στο έδαφος. Οι πειραματικές τιμές που καταγράφηκαν στο πέρας της διεργασίας κυμαίνονται από 37,32% έως 67,3%, με τη μικρότερη τιμή να συνδέεται με τον αντιδραστήρα με 50% πρόσθετο ξηρό υλικό και τη μεγαλύτερη με τον αντιδραστήρα στον οποίο δεν προστέθηκε ξηρό υλικό. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της υγρασίας του ώριμου προϊόντος ήταν ενδεικτικά της επιτυχούς ή μη εξέλιξης της διεργασίας της κομποστοποίησης. Οι αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό σημείωσαν πολύ υψηλά επίπεδα υγρασίας τόσο στο αρχικό υπόστρωμα όσο και στο τελικό προϊόν. Η υψηλή υγρασία του αρχικού υποστρώματος οφείλεται στη σύσταση του μίγματος που αποτελούταν από πρώτες ύλες με υψηλά ποσοστά κυτταρινούχων τροφών και μηδενική ή ελάχιστη ποσότητα ξηρού υλικού. Μετά το πέρας του σταδίου της ωρίμανσης, το προϊόν είχε έντονα δυσάρεστη οσμή και μεγάλη παρουσία συσσωματωμάτων που υποδηλώνει την ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών. Αντιθέτως οι αντιδραστήρες με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό επέδειξαν ποσοστά υγρασίας στο ώριμο κόμποστ ικανοποιητικά και οριακά κοντά στα επιθυμητά όρια της βιβλιογραφίας. Συγκρίνοντας αυτούς τους δύο αντιδραστήρες μεταξύ τους προκύπτει πως η αναλογία 30% κ.β ξηρό υλικό προσδίδει καλύτερα επίπεδα υγρασίας.

- Οι αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό όμως δεν κατόρθωσαν να εισέλθουν στη θερμοφιλή φάση και επομένως η παραγωγή των αμμωνιακών υπήρξε περιορισμένη. Αυτό δικαιολογεί την ανικανότητα του συστήματος να αυξήσει τις τιμές του pH σε βασικά επίπεδα. Έπειτα καθώς η μικροβιακή δραστηριότητα διακόπτεται μετά την 9η ημέρα και το δείγμα τείνει προς σταθεροποίηση. Στον αντιδραστήρα με 30% κ.β. ξηρό υλικό η τελική τιμή του pH είναι 8,95 ενώ στον αντιδραστήρα με 50% κ.β. ξηρό υλικό η τελική τιμή του pH είναι 8,38. Ο τρόπος εξέλιξης του pH στους δύο αυτούς αντιδραστήρες προσεγγίζει ικανοποιητικά τα βιβλιογραφικά.. Παρόλο που η διεργασία μπορεί να λάβει χώρα σε ένα μεγάλο εύρος τιμών pH, είναι επιθυμητό η τιμή του να βρίσκεται μεταξύ 6,0 και 8,5

- Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% κ.β ξηρό υλικό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται σταθερά στα επίπεδα των 2-3 mS/cm. Αν και η τιμή αυτή φαίνεται ικανοποιητική αν εξεταστεί μεμονωμένα από τις υπόλοιπες παραμέτρους, παρόλα αυτά το τελικό προϊόν των αντιδραστήρων αυτών δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κόμποστ καθώς το θερμοκρασιακό προφίλ που παρουσίασε δεν ήταν ενδεικτικό της διεργασίας της κομποστοποίησης. Οι τιμές τη ηλεκτρικής αγωγιμότητας των προϊόντων των αντιδραστήρων με 30% και 50% κ.β ξηρό υλικό είναι 5,15 και 4,52 mS/cm το

οποίο είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία για αγωγιμότητα κόμποστ από αστικά στερεά απορρίμματα (εύρος 3,69 έως 7,49 mS/cm)

- Μια πολύ βασική παράμετρο της διεργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός της απώλειας των πτητικών στερεών. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιήθηκε ως μια ένδειξη της περιεχόμενης οργανικής ύλης των στερεών. Στους αντιδραστήρες με 0% και 10% ξηρό υλικό η συμπεριφορά των πτητικών στερεών είναι ταυτόσημη. Το ποσοστό της απώλειας της οργανικής ουσίας στην αρχή της διεργασίας είναι εξαιρετικά υψηλό αγγίζοντας τις τιμές 93,7 % και 95,39% αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται στη σύσταση του υποστρώματος. Στους αντιδραστήρες με 30% και 50% ξηρό υλικό η μεγαλύτερη μείωση των πτητικών στερεών παρατηρείται έως την 10η ημέρα, περίοδο κατά την οποία εμφανίζονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες (πρώτη μεσόφιλη και θερμόφιλη φάση), Τα αρχικά ποσοστά απώλειας οργανικής ουσίας είναι χαμηλότερα από τους δύο προηγούμενους αντιδραστήρες διότι το υπόστρωμα τους περιλαμβάνει περισσότερο ξηρό και λιγότερο νωπό υλικό σε σχέση με τους αντιδραστήρες του πρώτου κύκλου με αποτέλεσμα οι μικροοργανισμοί να καταναλώνουν με πιο αργό ρυθμό το οργανικό διαθέσιμο φορτίο.

Αν και με μικρή διαφορά, οι καμπύλες των αντιδραστήρων με 0% και 10% κ.β. ξηρό υλικό υποδεικνύουν μεγαλύτερα ποσοστά οργανικής ύλης σε σχέση με τους άλλους δύο αντιδραστήρες. Αξίζει να σημειωθεί λοιπόν ότι η μείωση του συνολικού οργανικού άνθρακα στην περίπτωση της χρήσης μεγαλύτερων ποσοτήτων ξηρού υλικού ήταν σαφέστατα μεγαλύτερη απ' ότι στους αντιδραστήρες που περιείχαν μηδενική ή ελάχιστη ποσότητα ξηρού υλικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ξηρού υλικού ως πρόσθετου βοηθά και επιταχύνει την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης βελτιώνοντας τις συνθήκες αερισμού και ύγρανσης του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

- Η μείωση του συνολικού οργανικού άνθρακα στην περίπτωση της χρήσης μεγαλύτερων ποσοτήτων ξηρού υλικού ήταν μεγαλύτερη απ' ότι στους αντιδραστήρες που περιείχαν μηδενική ή ελάχιστη ποσότητα ξηρού υλικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση ξηρού υλικού ως πρόσθετου επιβοηθεί και επιταχύνει την βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης βελτιώνοντας τις συνθήκες αερισμού και ύγρανσης του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.

- Οι συχνές αναδεύσεις του υποστρώματος και ο επαρκής αερισμός αποτελούν απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη της νιτροποίησης και την αύξηση των νιτρικών, ειδικά προς το τέλος της κομποστοποίησης. Η συνεχής αύξηση των νιτρικών και η απουσία διεργασιών απονιτροποίησης αποτελούν ένδειξη επικράτησης αερόβιων συνθηκών στο σύστημα.

- Η προσθήκη πρόσθετου περλίτη στο υπόστρωμα φαίνεται να βελτιώνει τις φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος αυξάνοντας το πορώδες του και επιτρέποντας τον καλύτερο αερισμό και την ύγρανση του υποστρώματος, χωρίς να λαμβάνει μέρος στις βιοξειδωτικές διεργασίες.
- Οι τιμές του δείκτη βλαστικότητας χαρακτηρίζουν το κόμποστ ως μη φυτοτοξικό στον πρώτο κύκλο και φυτοθεραπευτικό στον δεύτερο. Σε όλες τις περιπτώσεις το προϊόν που παρήχθη είχε ως πρώτη ύλη οικιακά διατροφικά απορρίμματα τα οποία κατά κύριο λόγο είναι απαλλαγμένα από επιβαρυντικές ουσίες που θα μπορούσαν να του προσδώσουν τοξική συμπεριφορά. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύει τον ισχυρισμό της σπουδαιότητας της διαλογής στη πηγή των αποβλήτων και την επίτευξη επομένως καθαρού οργανικού κλάσματος απαλλαγμένο από προσμίξεις.
- Για την εξακρίβωση της ωριμότητας και της σταθερότητας του προϊόντος στηριχθήκαμε σε εμπειρικές μεθόδους προσδιορισμού όπως το ότι η διεργασία της κομποστοποίησης ολοκληρώνεται στις 21 ημέρες και έπειτα αφήνεται να ωριμάσει για 30 ακόμη ημέρες.
- Δεν πραγματοποιήθηκαν μικροβιακές αναλύσεις .
- Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα και σε όλες τις περιπτώσεις εντός των ορίων που θεσπίζει η Έκθεση της ευρωπαϊκής επιτροπής << End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate)>> διότι το παραγόμενο προϊόν προέκυψε από προσεκτικά προδιαλεγμένο στη πηγή υλικό τροφοδοσίας .Επομένως το τελικό προϊόν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κόμποστ.
- Το παραγόμενο κόμποστ είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά (Ca ,N , Mg , K) τα οποία είναι χρήσιμα και απαραίτητα για την ποιότητα του ως εδαφοβελτιωτικό και ως λίπασμα.

Το κόμποστ του αντιδραστήρα με 30% κ.β. ξηρό υλικό εμφανίζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για όλα τα εξεταζόμενα μακροστοιχεία. Επομένως αφού η μόνη διαφορά του από τους υπόλοιπους αντιδραστήρες έγκειται στη διαφορετική αναλογία ξηρού και νωπού συνθετικού δείγματος που χρησιμοποιείται , μπορεί να θεωρηθεί ως το περισσότερο θρεπτικό για την ανάπτυξη των φυτών.

- Δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες προσμίξεις (πλαστικό, γυαλί , μέταλλο) διότι χρησιμοποιήθηκε προσεκτικά προδιαλεγμένο στην πηγή υλικό τροφοδοσία.
- Βελτιώσεις στο σύστημα των κομποστοποιητών .

ο Ύστερα από σύγκριση της αποτελεσματικότητας ανάδευσης του συστήματος με λεπτούς και του συστήματος με παχύτερους αναδευτήρες συμπεραίνεται πως οι παχιοί είναι αποτελεσματικότεροι καθώς προσφέρουν καλύτερη ανάδευση. Μειονεκτούν όμως στο ότι

συναντούν μεγαλύτερη αντίσταση από τη μάζα του υλικού και έτσι απαιτείται μεγάλη δύναμη για την χειροκίνητη περιστροφή του άξονα. Μία ενδεχόμενη πρόταση για τη βελτίωση του συστήματος ανάδευσης του πρότυπου οικιακού κομποστοποιητή μπορεί να είναι η τοποθέτηση κινητήρα που θα προσφέρει μηχανική ανάδευση.

ο Τοποθέτηση σταθερού θερμόμετρου που θα καταγράφει συνεχώς την εξέλιξη του ύψους της θερμοκρασίας .

ο Τοποθέτηση μιας μικρής πόρτας στο χώρο τροφοδοσίας ώστε να είναι ευκολότερη η εξαγωγή του ώριμου κόμποστ που συσσωρεύεται στον κύριο χώρο του κάδου.

ο Λείανση των αιχμηρών επιφανειών καθώς αποτελούν κίνδυνο για ατυχήματα κατά την τροφοδοσία του υλικού.

• Κάνοντας μια συνολική αποτίμηση της μελέτης του συνδυασμού των τεχνολογιών της οικιακής ξήρανσης και ακολούθως της κομποστοποίησης των μιγμάτων ξηρών-νωπών διατροφικών απορριμμάτων, προκύπτει ότι η εφαρμογή μιας τέτοιας συνδυασμένης μεθοδολογίας συγκλίνει με τις επιταγές της σύγχρονης πολιτικής της ΕΕ αναφορικά με την αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων, εφόσον επιτυγχάνεται επαναχρησιμοποίηση των βιοαποβλήτων που κατά κύριο λόγο το μεγαλύτερο ποσοστό τους σε εθνικό επίπεδο διαχειρίζεται με τρόπο μη βιώσιμο (ταφή). Η μέθοδος της ξήρανσης και της κομποστοποίησης προσφέρει τη δυνατότητα αποκεντρωμένης επεξεργασίας του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων και προσφέρει μια εναλλακτική τεχνική για τους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης με πολλαπλά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη:

- μείωση ποσοτήτων που οδηγούνται σε ταφή,
- μείωση δημοτικών τελών,
- μείωση δρομολογίων οχημάτων συλλογής,
- παραγωγή αξιοποιήσιμου υλικού με μειωμένου όγκο και υγρασία και αδρανοποιημένο μικροβιακό φορτίο
- αποφυγή και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω της αναερόβιας αποσύνθεσης των βιοαποβλήτων
- καθαρό προδιαλεγμένο υλικό για παραγωγή υψηλής ποιότητας κόμποστ
- νέες θέσεις εργασίας
- προστασία περιβάλλοντος σε επίπεδο αέρα, υδάτων και εδάφους

6. Βιβλιογραφία

Ελληνικές αναφορές

Athens Biowaste (2011), <<Ολοκληρωμένη διαχείριση βιοαποβλήτων στην Ελλάδα, Η περίπτωση της Αττικής >>, Αθήνα 2011. Διαθέσιμο στο: www.biowaste.gr

Greenpeace (2000) «Διοξίνες στις χωματερές». Διαθέσιμο: www.greenpeace.org/greece/Global/greece/report/2006/10/31741.doc

Βαρελά Π. Ευαγγελία (2011) <<Αξιολόγηση τεχνολογιών μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων>> Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2011

Βλοντάκης Σ. Γιώργος (2007): <<Η παραγωγή κομπόστ του Εργοστασίου Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης της Δ.Ε.ΔΙ.Σ.Α. Χανίων>>, Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Μυτιλήνη 2007. Διαθέσιμη στο: <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=10105>

Γιαδαράκος, Ε (2006), <<Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση-Επεξεργασία-Διάθεση>>, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη 2006

Ecocity (2014), <<Θανατηφόρες διοξίνες από τις χωματερές στο πιάτο μας>>. Διαθέσιμο σε: www.ecocity.gr

ΕΕΔΣΑ 2014, Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, «Ορισμοί Αστικών Στερεών αποβλήτων», Διαθέσιμο σε <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=6>

Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) Διαθέσιμο στο : [http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/EU.katalogos\(EKA\).pdf](http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/EU.katalogos(EKA).pdf)

ΙΤΑ (2007) , Ινστιτούτο Τοπικής Αυτοδιοίκησης, <<Εκτίμηση των Γενικευμένων Επιπτώσεων και Κόστους Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων>>, Αθήνα 2007. Διαθέσιμο στο: www.ita.org.gr/library/Downloads/docs/Final.pdf

Κασσέρης, kasseris.wordpress.com (2010) <<ΡΟΔΟΣ: Στερεά Απόβλητα: Πιο πιεστικά δεν γίνεται>>. Διαθέσιμο στο: <http://kasseris.wordpress.com/2010/07/29>

Κουτσομηνάς Κων/νος, (2011), <<Βιολογική ξήρανση απορριμμάτων >>, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010

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

http://www.minenv.gr/anakyklosi/law/00/ky50910_2727_03.fek.b_1909_22_12_03.pdf

Λαζαρίδη Κ., Κουλουμπής Π., Σκουλάξινου Σ., Κανακόπουλος Δ. και Λώλος Γ., <<Προδιαγραφές ποιότητας και διάθεση κόμποστ: Η ελληνική και διεθνής εμπειρία>> Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Λοιζίδου Μαρία (2006), <<Στερεά απόβλητα>>, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006

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

Μανιαδάκης, Λαζαρίδη, Μανιός (2004), <<Integrated Waste Management Through Producers and Consumers Education: Composting of Vegetable Crop Residues for Reuse in Cultivation >>, Available at: www.teicrete.gr/wml/wp.../Manios-CV.doc

Μαργαρίτης Μάρκος (2013), <<Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου>>, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2013

Μάστακα (2007), <<Μικροβιακή διαδοχή κατά την κομποστοποίηση ιλύος από τον βιολογικό καθαρισμό Ηρακλείου με τη μέθοδο των αναστρεφόμενων σωρών>>, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Μεταπτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

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

Νόμος 4042/2012-Ποινική προστασία του περιβάλλοντος –Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων –Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98/ΕΚ-Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Διαθέσιμο στο:

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=7Z1up05Xrto%3d&tabid=777&language=el-GR>

Οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, Επίσημη Εφημερίδα αριθμ. L 182 της 16.7.1999. Διαθέσιμο στο

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031:EL:NOT>

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

Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης , Διαθέσιμο σε: www.ecorec.gr

Σινάνης, (2003) « Εργαστηριακές ασκήσεις Εδαφολογίας», Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου

ΤΕΕ (2006), Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος , Διαχείριση στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα/ Η περίπτωση της Αττικής

Τζαναβάρα Χαρά (2009), << Πρόστιμο μαμούθ της τάξης των 7,5 εκατ. € /ημέρα >> Εφημερίδα Ελευθεροτυπία. Διαθέσιμο σε: <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=94436>

Τσαμούτσογλου Χριστίνα (2008) , «Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων και βαρέων μετάλλων στο κομποστοποιημένο υλικό του εργοστάσιου μηχανικής ανακύκλωσης και κομποστοποίησης του Ν. Χανίων», Πτυχιακή εργασία , Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Χανιά 2008

ΥΠΕΚΑα (2012) , Υπουργείο περιβάλλοντος και ανάπτυξης , Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων διαλογή στη πηγή και συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων. Διαθέσιμο σε: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=s4cpXe0Welc%3d&tabid=367&language=el-GR>

ΥΠΕΚΑβ (2014) , Υπουργείο περιβάλλοντος και ανάπτυξης: Αναθεώρηση Εθνικού σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων

Ξενόγλωσσες αναφορές

Berner, A., (2004). Einfluss der Kompostanwendung auf die Pflanzenernährung und das Pflanzenwachstum. in: G. J. Fuchs, M. Bieri and M. Chardonnens (Eds.), Auswirkungen von Komposten und von Gärgut auf die Umwelt, die Bodenfruchtbarkeit, sowie die Pflanzengesundheit. Zusammenfassende Übersicht der aktuellen Literatur, Forschungsinstitut für biologischen, Landbau

Climatoribus 2009, Simulation and nonlinear control of anaerobic digestion>>, Band 96, Forschungs und Entwicklungsinstitut für Industrie und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft , Stuttgart

Commission (2010) , Communication from the commission to the council and the european parliament .on future steps in bio-waste management in the european union

D.M. Sullivan, R.O. Miller (2001), <<Compost quality attributes, measurements, and variability>>, Published by CRC Press LLC , USA 2001

Dahlem ,(1988) ,<< Flux to the Seafloor>>, Group Report

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

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

Euromnia , 2007 ,ARC Catalan Waste Agency

Gajalakshmi, S. and Abbasi, S. A., (2008)<< Solid waste management by composting>>: State of the art, Critical Reviews in Environmental Science and Technology 38(5) 311-400.

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>

Hargreaves, J. C., Adl, M. S. and Warman, P. R., (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture, Agriculture Ecosystems and Environment 123(1-3) 1-14.

Haug, R.T. (1993) The Practical Book of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton.

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

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

Liang, C., Das, K. C. and McClendon, R. W., (2003), << The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend>>, Bioresource Technology 86(2) 131-137.

Margesin, R., Cimadom, J. and Schinner, F., (2006),<< Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures, International Biodeterioration and Biodegradation>>, 57(2) 88-92.

Peigné, J. and Girardin, P., (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices, Water, Air, and Soil Pollut. 153(1-4) 45-68.

Polaprasert C. (1996),<<Organic waste recycling, technology and management>> Published by John wiley and Sons , England 1996

Prahl, F. G., J. R. Ertel, M. A. Goni, M. A. Sparrow, and B. Eversmeyer. , Ιούλιος (1994) , "Terrestrial Organic-Carbon Contributions to Sediments on the Washington Margin>>, Published by: Springer Heidelberg New York ,New York

Raquel Barrena , (2014) <<Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability>> , Available at:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X14000609>

Saacutenchez-Monedero MiguelA. , Stentiford Edward I , Urpilainen Sari T ,(May 2005) , <<Bioaerosol generation at large-scale green waste composting plant>>, Journal of the air & waste management association, Vol 5, Issue 5, P612

Strom, PF. (1985). «Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid waste composting, Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC291766/>

Woodard & Curran Inc. (2006) Methods for treating wastewaters from industry, Solid waste treatment and disposal. In: Industrial Waste Treatment Handbook. 2nd edition. USA.

Wrap , (2011), << Guidelines for the Specification of Quality Compost for use in Growing Media>> Available at: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/AG_Hort_Guideline_Spec_Docs_8.pdf

Zeikus J.G. (1980), <<chemical and fuel production by anaerobic bacteria>>, Annual review of Microbiology 34

Zucconi, F. M., Pera, A., Forte, M. and De Bertoldi, M., (1981). Evaluating toxicity of immature compost, Biocycle 22 54–57.

Ιστοσελίδες

Anaerobic Digestion Process by waste to Energy, Research and Technology Agency

Biomass Energy, Αεριοποίηση

Recycling at home (2013) , Available at: <http://www.recyclingathome.eu>

ΚΑΠΕ , Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειακής Αξιοποίησης του βιοαερίου : Τάσεις και προοπτικές