

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Διερεύνηση της επίδρασης της
διεργασίας της ξήρανσης στα
φυσικοχημικά χαρακτηριστικά
των οικιακών διατροφικών
απορριμμάτων

Διπλωματική Εργασία

Μπάβα Νικολέττα

ΑΘΗΝΑ 2014

Υπεύθυνη Καθηγήτρια

Μ. Λοϊζίδου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Υπεύθυνη Καθηγήτρια Κ^α Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ σε ένα θέμα με άμεσο και μέγιστης σημασίας αντίκτυπο στην κοινωνία και την καθημερινότητα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνονται προς τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Άγγελο Σωτηρόπουλο για την πολύτιμη και συνεχή βοήθειά του κατά τη διενέργεια των εργαστηριακών αναλύσεων και τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας αλλά και για το άρτιο κλίμα συνεργασίας και επικοινωνίας που αναπτύχθηκε μεταξύ μας όλο το χρονικό διάστημα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους: Βάσω Παναρέτου, Tatjana Kosanovic, Κατερίνα Βαλτά και Κατερίνα Σούμα, για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των πειραμάτων καθώς και για το άψογο κλίμα συνεργασίας που μου προσέφεραν.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών οικιακών διατροφικών απορριμμάτων προεπεξεργασμένα με τη μέθοδο της οικιακής ξήρανσης παρουσιάζονται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Τα διατροφικά απορρίμματα, εμπεριέχουν υψηλά ποσοστά υγρασίας η οποία κυμαίνεται μεταξύ 75-95 % κ.β. (Zhang et al., 2007; NTUA, 2006). Η οικιακή ξήρανση αποτελεί μια καινοτόμο τεχνική η οποία περιλαμβάνει το διαχωρισμό και αφυδάτωση των οικιακών διατροφικών αποβλήτων στην πηγή με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της μάζας και του όγκου αυτών μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας. Το καινοτόμο σύστημα οικιακής ξήρανσης που αναπτύχθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 08 ENV/GR/000566 “DRYWASTE” λειτούργησε για χρονική περίοδο 7 μηνών στα εργαστήρια του Ε.Μ.Π. Με τη χρήση του συστήματος παρατηρήθηκε ότι, η μείωση της μάζας των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων, μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας, είναι ίση με 78,52% κ.β. Το ποσοστό κυμάνθηκε στο εύρος τιμών μεταξύ 76,08-80,2% κ.β., γεγονός που οφείλεται στη διαφορετική ποσότητα του υλικού που τοποθετούνταν σε κάθε κύκλο ξήρανσης στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης. Η μείωση του όγκου των οικιακών βιοαποβλήτων προσδιορίστηκε ίση με 58,77% ενώ το ποσοστό κυμάνθηκε στο εύρος τιμών μεταξύ 52,38-64,28%. Η μείωση της υγρασίας των οικιακών βιοαποβλήτων προσδιορίστηκε ίση με 77,13% κ.β. ενώ κυμάνθηκε στο εύρος τιμών 76,97–77,33% κ.β. Τέλος, η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής στο σύνολο των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν, προσδιορίστηκε ίση με 1,4 kWh/kg ενώ το εύρος τιμών κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 1,08-1,68 kWh/kg. Η μέθοδος της οικιακής ξήρανσης, αποδεικνύεται ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως αναπόσπαστο κομμάτι ενός σχεδίου διαχείρισης απορριμμάτων για την παραγωγή βιοαιθανόλης καθώς η εφαρμογή της διατηρεί το περιεχόμενο των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων σε σάκχαρα αυξάνοντας την απόδοση των υπαρχόντων τεχνολογιών παραγωγής βιοαιθανόλης από βιοαπόβλητα.

ABSTRACT

The results of the evaluation of the physicochemical characteristics of household food waste pretreated with the domestic food drying method are presented within the framework of this thesis. Food waste contains a large amount of water which varies between 75-95 % w/w. (Zhang et al., 2007; NTUA, 2006). Domestic waste drying is an innovative approach which involves the source separation and dehydration of household food waste in order to reduce their mass and volume at source through the efficient removal of their moisture content. The innovative waste drying system was developed in the Unit of Environmental Science and Technology of the NTUA during the implementation of the DRYWASTE project (LIFE+ 08 ENV/GR/000566) while it was tested for a period of 7 months at the NTUA laboratories. The use of the system revealed that the mass reduction of food waste reached 78,52% w/w while it varied between 76,08-80,2% w/w which was caused by the fact that different food waste mass was used as input material throughout the process. The volume decrease of household biowaste was determined equal to 58,77% while the rate fluctuated in the range between 52,38 to 64,28% w/w. The moisture reduction of household biowaste determined equal to 77,13% w/w fluctuated in the range of 76,97 to 77,33 % w/w. Finally, the energy consumption of the appliance in the laboratory trials was determined equal to 1,4 kWh/kg while it varied between 1,08-1,68 kWh/kg. The method of domestic waste drying could be used as an inextricable part of a waste management strategy for bioethanol production as its use preserves the carbohydrate content of household food waste, thus improving the efficiency of existing technologies for biowaste to bioethanol production.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Θεωρητικό Μέρος	1
1.1.	Εισαγωγή	1
1.2.	Μέθοδοι διαχείρισης οικιακών βιοαποβλήτων	7
1.2.1.	Συλλογή με τη μέθοδο «Πόρτα-Πόρτα»	7
1.2.1.1.	Κάδοι με πώμα	8
1.2.1.2.	Σάκοι συλλογής	9
1.2.1.3.	Σκουπιδοφάγοι	10
1.2.1.4.	Συστήματα οικιακής ξήρανσης οικιακών ΒΑ	11
1.2.2.	Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών	12
1.2.2.1.	Τυποποιημένοι κάδοι με πώμα	12
1.2.2.2.	Υπόγειοι κάδοι	13
1.2.2.3.	Οχήματα αποκομιδής και μεταφοράς βιοαποβλήτων	13
1.3.	Μέθοδοι επεξεργασίας οικιακών βιοαποβλήτων	15
1.3.1.	Ξήρανση	15
1.3.1.1.	Οικιακή ξήρανση	15
1.3.1.2.	Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης	15
1.3.1.3.	Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία	19
1.3.2.	Κομποστοποίηση	19
1.3.2.1.	Τεχνολογίες κομποστοποίησης	21
1.3.2.2.	Εμπορικά συστήματα οικιακής κομποστοποίησης	26
1.3.2.3.	Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες	28
1.3.2.4.	Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία	29
1.3.3.	Αναερόβια χώνευση	31
1.3.3.1.	Οι εφαρμογές της ΑΧ στην κοινωνία	31
1.3.3.2.	Περιγραφή της διεργασίας	32
1.3.3.3.	Τα στάδια της ΑΧ	33
1.3.3.4.	Συστήματα ΑΧ σε οικιακή κλίμακα	34
1.3.3.5.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ΑΧ	37
1.3.3.6.	Οι κύριες επιπτώσεις διαχείρισης υπολειμμάτων της ΑΧ	38
1.3.4.	Θερμικές μέθοδοι	39
1.3.4.1.	Αποτέφρωση	39
1.3.4.2.	Πυρόλυση	45
1.3.4.3.	Αεριοποίηση	45

2.	Πειραματικό μέρος.....	48
2.1.	Εισαγωγή.....	48
2.2.	Περιγραφή πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης	48
2.3.	Πειραματική μέθοδος	60
2.3.1.	Κύκλοι ξήρανσης	63
2.3.1.1.	Προσδιορισμός μείωσης μάζας.....	64
2.3.1.2.	Προσδιορισμός όγκου δείγματος.....	65
2.3.1.3.	Καταγραφή ενεργειακής κατανάλωσης.....	66
2.3.1.4.	Ομογενοποίηση ξηρού υπολείμματος.....	66
2.3.2.	Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων.....	67
2.3.3.	Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων στερεού δείγματος σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	68
2.3.4.	Πειραματικό πρωτόκολλο	69
2.3.4.1.	Προσδιορισμός υγρασίας (%).....	69
2.3.4.2.	Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας.....	70
2.3.4.1.	Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%) / TKN (%) / αμμωνιακών (N-NH ₄) (%) και νιτρικών (N-NO ₃) (%) κατά Kjeldahl	71
2.3.4.2.	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) (%)	76
2.3.4.3.	Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%)	78
2.3.4.4.	Προσδιορισμός Βαρέων Μετάλλων	79
2.3.4.5.	Εκχύλιση υδατοδιαλυτών σακχάρων	80
2.3.4.6.	Προσδιορισμός συγκέντρωσης γλυκόζης με τη χρήση ειδικού εμπορικού διαγνωστικού σκευάσματος (kit)	83
2.3.4.7.	Προσδιορισμός αναγωγικών σακχάρων	85
2.3.4.8.	Προσδιορισμός αμύλου	88
2.3.4.9.	Προσδιορισμός κυτταρίνης	90
3.	Αποτελέσματα-Συζήτηση	94
3.1.	1 ^{ος} κύκλος ξήρανσης (1μελής οικογένεια)	94
3.1.1.	Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος	94
3.1.2.	Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος	96
3.1.3.	Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον πρώτο κύκλο (1 ^{μηλή} οικογένεια)	99
3.1.4.	Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)	99
3.2.	2 ^{ος} κύκλος ξήρανσης (2μελής οικογένεια)	101
3.2.1.	Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος	101

3.2.2.	Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος	103
3.2.3.	Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για το δεύτερο κύκλο (2 ^{μελής} οικογένεια)	105
3.2.4.	Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)	106
3.3.	3 ^{ος} κύκλος ξήρανσης (3μελής οικογένεια)	107
3.3.1.	Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος	107
3.3.2.	Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος	108
3.3.3.	Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον τρίτο κύκλο (3 ^{μελής} οικογένεια).....	110
3.3.4.	Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)	111
3.4.	4 ^{ος} κύκλος (4μελής οικογένεια).....	112
3.4.1.	Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος	112
3.4.2.	Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος	114
3.4.3.	Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον τέταρτο κύκλο (4 ^{μελής} οικογένεια)	115
3.4.4.	Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)	117
3.5.	Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων του τελικού ξηρού υλικού	118
3.6.	Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων των τεσσάρων κύκλων ξήρανσης	121
3.7.	Προσδιορισμός μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών ίδιων νωπών δειγμάτων σε σχέση με τις ημέρες βιοαποδόμησης	124
3.7.1.	Προσδιορισμός υγρασίας σε ποσοστό (%)	124
3.7.2.	Προσδιορισμός VS σε ποσοστό (%).....	125
3.7.3.	Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας.....	126
3.7.4.	Προσδιορισμός αμύλου σε ποσοστό (%)	127
3.7.5.	Προσδιορισμός κυτταρίνης σε ποσοστό (%).....	128
3.7.6.	Προσδιορισμός αναγωγικών σακχάρων σε ποσοστό (%).....	129
3.7.7.	Προσδιορισμός γλυκόζης σε ποσοστό (%).....	131
3.8.	Σύγκριση εργαστηριακών δοκιμών με τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής στο Δήμο Παπάγου-Χολαργού	133
4.	Συμπεράσματα	138
5.	Παραπομπές-Βιβλιογραφία	140

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1.1-1. Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων	6
Διάγραμμα 1.3-1. Τυπική καμπύλη θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια διαφόρων φάσεων κομποστοποίησης	21
Διάγραμμα 3.1-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1 ^{ος} κύκλος)	95
Διάγραμμα 3.1-2. Συνολική μεταβολή μάζας 1 ^{ου} κύκλου	95
Διάγραμμα 3.1-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1 ^{ος} κύκλος)	97
Διάγραμμα 3.1-4. Συνολική μεταβολή όγκου 1 ^{ου} κύκλου	97
Διάγραμμα 3.1-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 1 ^{ου} κύκλου	99
Διάγραμμα 3.1-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 1 ^{ου} κύκλου	100
Διάγραμμα 3.2-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2 ^{ος} κύκλος)	102
Διάγραμμα 3.2-2. Συνολική μεταβολή μάζας 2 ^{ου} κύκλου	102
Διάγραμμα 3.2-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2 ^{ος} κύκλος)	103
Διάγραμμα 3.2-4. Συνολική μεταβολή όγκου 2 ^{ου} κύκλου	104
Διάγραμμα 3.2-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 2 ^{ου} κύκλου	105
Διάγραμμα 3.2-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 2 ^{ου} κύκλου	106
Διάγραμμα 3.3-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3 ^{ος} κύκλος)	107
Διάγραμμα 3.3-2. Συνολική μεταβολή μάζας 3 ^{ου} κύκλου	108
Διάγραμμα 3.3-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3 ^{ος} κύκλος)	109
Διάγραμμα 3.3-4. Συνολική μεταβολή όγκου 3 ^{ου} κύκλου	109
Διάγραμμα 3.3-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 3 ^{ου} κύκλου	110
Διάγραμμα 3.3-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 3 ^{ου} κύκλου	111
Διάγραμμα 3.4-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4 ^{ος} κύκλος)	113
Διάγραμμα 3.4-2. Συνολική μείωση μάζας 4 ^{ου} κύκλου	113
Διάγραμμα 3.4-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4 ^{ος} κύκλος)	114
Διάγραμμα 3.4-4. Συνολική μεταβολή όγκου 4 ^{ου} κύκλου	115
Διάγραμμα 3.4-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 4 ^{ου} κύκλου	116
Διάγραμμα 3.4-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 4 ^{ου} κύκλου	117
Διάγραμμα 3.5-1. Ποσοστά (%) βαρέων μετάλλων	120
Διάγραμμα 3.5-2. Ποσοστά (%) ιχνοστοιχείων	120
Διάγραμμα 3.6-1. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης μάζας για όλους τους κύκλους ..	121
Διάγραμμα 3.6-2. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης όγκου για όλους του κύκλους ..	122
Διάγραμμα 3.6-3. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης υγρασίας για όλους τους κύκλους ..	122

Διάγραμμα 3.6-4. Σύγκριση ποσοτήτων ενεργειακής κατανάλωσης (kWh/kg) για όλους τους κύκλους	123
Διάγραμμα 3.7-1. Υγρασία (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	124
Διάγραμμα 3.7-2. VS (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	125
Διάγραμμα 3.7-3. Μετρήσεις pH ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	126
Διάγραμμα 3.7-4. Μετρήσεις αγωγιμότητας ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	127
Διάγραμμα 3.7-5. Μεταβολή αμύλου (%) σε ξηρή μάζα	128
Διάγραμμα 3.7-6. Μεταβολή κυτταρίνης (%) σε ξηρή μάζα.....	129
Διάγραμμα 3.7-7. Μεταβολή αναγωγικών σακχάρων (%) σε ξηρή μάζα	130
Διάγραμμα 3.7-8. Μεταβολή αναγωγικών σακχάρων (%) δείγματος 1 ημέρας και όλων των δειγμάτων	130
Διάγραμμα 3.7-9. Μεταβολή γλυκόζης (%) σε ξηρή μάζα	131
Διάγραμμα 3.7-10. Μεταβολή αναγωγικών σακχάρων (%) δείγματος 1 ημέρας και όλων των δειγμάτων	132
Διάγραμμα 3.8-1. Σύγκριση ποσοστού μείωσης μάζας (%)	133
Διάγραμμα 3.8-2. Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωση.....	134
Διάγραμμα 3.8-3. Σύγκριση υγρασίας ξηρού υλικού (%)	135
Διάγραμμα 3.8-4. Σύγκριση τιμών pH.....	136
Διάγραμμα 3.8-5. Σύγκριση αποτελεσμάτων VS (%)	136
Διάγραμμα 3.8-6. Σύγκριση αποτελεσμάτων TOC (%)	137

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα και την ΕΕ (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)	3
Πίνακας 2. Σύσταση πρότυπου μίγματος.....	60
Πίνακας 3. Χημικές παράμετροι που μελετήθηκαν.....	67
Πίνακας 4. Πίνακας αναλύσεων επιπλέον προσδιοριζόμενων παραμέτρων	83
Πίνακας 5. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1 ^{ος} κύκλος)	94
Πίνακας 6. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1 ^{ος} κύκλος)	96
Πίνακας 7. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2 ^{ος} κύκλος)	101
Πίνακας 8. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2 ^{ος} κύκλος)	103
Πίνακας 9. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3 ^{ος} κύκλος)	107
Πίνακας 10. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3 ^{ος} κύκλος)	109
Πίνακας 11. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4 ^{ος} κύκλος)	112
Πίνακας 12. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4 ^{ος} κύκλος)	114
Πίνακας 13. Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων.....	118
Πίνακας 14. Αποτελέσματα VS (%) και TOC (%) για διαφορετικά υποστρώματα..	118
Πίνακας 15. Υγρασία (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	124
Πίνακας 16. VS (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης	125
Πίνακας 17. Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας ίδιων δειγμάτων	126
Πίνακας 18. Ποσοστό (%) αμύλου στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν ..	127
Πίνακας 19. Ποσοστό (%) κυτταρίνης στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν	128
Πίνακας 20. Ποσοστό (%) αναγωγικών σακχάρων στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν	129
Πίνακας 21. Ποσοστό (%) γλυκόζης στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν	131

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.2-1. Χαρακτηριστικό είδος κάδου συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων	8
Εικόνα 1.2-2. Κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με σύστημα αποστράγγισης	8
Εικόνα 1.2-3. Ρόδες και άξονας σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων (αριστερά), Κλειδαριά σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων (μέση), Ποδομοχλός στο κάτω μέρος του κάδου (δεξιά)	9
Εικόνα 1.2-4. Σακούλες συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων και κατάλληλοι κάδοι... 10	
Εικόνα 1.2-5. Σκουπιδοφάγος τοποθετημένος κάτω από τον νεροχύτη οικίας..... 10	
Εικόνα 1.2-6. Σύστημα οικιακής ξήρανσης διατροφικών αποβλήτων	11
Εικόνα 1.2-7. Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κεντρικό σημείο συλλογής . 12	
Εικόνα 1.2-8. Πλαστικοί κάδοι με πώμα	12
Εικόνα 1.2-9. Υπόγειοι κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων σε ομάδες	13
Εικόνα 1.3-1. Σύστημα οικιακής ξήρανσης..... 16	
Εικόνα 1.3-2. Εσωτερική απεικόνιση συστημάτων Loofen	16
Εικόνα 1.3-3. Σύστημα οικιακής ξήρανσης Coway WMO3	17
Εικόνα 1.3-4. Σύστημα οικιακής ξήρανσης της SAMOH NK	18
Εικόνα 1.3-5. Σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας DUO ENTERPRISE LTD 18	
Εικόνα 1.3-6. Σύστημα οικιακής ξήρανσης E 500 της εταιρείας Ecowell Ltd..... 19	
Εικόνα 1.3-7. Κοινά συστήματα κομποστοποίησης	22
Εικόνα 1.3-8. Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης σε σωρούς..... 23	
Εικόνα 1.3-9. Μηχανή τοποθέτησης κόμποστ σε σωρούς	23
Εικόνα 1.3-10. Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης με ρεύμα αέρα	25
Εικόνα 1.3-11. Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης σε βιοαντιδραστήρες 26	
Εικόνα 1.3-12. Κομποστοποιητές οικιακής χρήσης	26
Εικόνα 1.3-13. Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς	27
Εικόνα 1.3-14. Υλικό προς επιφανειακή οικιακή κομποστοποίηση..... 27	
Εικόνα 1.3-15. Υλικό προς υπόγεια οικιακή κομποστοποίηση..... 28	
Εικόνα 1.3-16. Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες..... 29	
Εικόνα 1.3-17. Κύριες εκπομπές αερίων κομποστοποίησης	30
Εικόνα 1.3-18. Βιοχημικά στάδια αναερόβιας χώνευσης..... 32	
Εικόνα 1.3-19. Περιγραφή βασικής διεργασίας AX..... 34	
Εικόνα 1.3-20. Σύστημα Αναερόβιας χώνευσης της εταιρείας Puxin Technology..... 35	
Εικόνα 1.3-21. Χρήση βιοαερίου για οικιακές συσκευές..... 35	
Εικόνα 1.3-22. Κύκλος ζωής AX..... 37	
Εικόνα 1.3-23. Τυπική διατομή εργοστασίου αποτέφρωσης απορριμμάτων τύπου mass-fired, με ανάκτηση ενέργειας (αριστερά), Τυπική διατομή μονάδας τύπου RDF- fired (δεξιά)..... 40	
Εικόνα 1.3-24. Οι τρεις τύποι αποτεφρωτήρων (Α) κινούμενων σχαρών, (Β) περιστρεφόμενου κλιβάνου, (Γ) ρευστοποιημένης κλίνης..... 41	
Εικόνα 1.3-25. Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου	42
Εικόνα 1.3-26. Αποτεφρωτήρας ρευστοποιημένης κλίνης..... 43	
Εικόνα 1.3-27. Τυπική μονάδα αεριοποίησης	47
Εικόνα 2.2-1. Θάλαμος ξήρανσης	49

Εικόνα 2.2-2. Βάση συσκευής οικιακής ξήρανσης (κάτω όψη)	50
Εικόνα 2.2-3. Βάση συσκευής οικιακής ξήρανσης (πάνω όψη).....	50
Εικόνα 2.2-4. Θάλαμος και βάση συσκευής.....	51
Εικόνα 2.2-5. Θάλαμος και βάση συσκευής (τομή)	51
Εικόνα 2.2-6. Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων	52
Εικόνα 2.2-7. Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων (πάνω όψη).....	54
Εικόνα 2.2-8. Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων (κάτω όψη).....	54
Εικόνα 2.2-9. Πώμα ξηραντήρα (πάνω όψη).....	55
Εικόνα 2.2-10. Θερμικός δίσκος ξηραντήρα	56
Εικόνα 2.2-11. Διάταξη απόσμησης, υποδοχέας και.....	57
Εικόνα 2.2-12. Υποστήριγμα βάσης ξηραντήρα	58
Εικόνα 2.2-13. Χειρολαβή υποδοχέα διατροφικών αποβλήτων.....	58
Εικόνα 2.2-14. Ξηραντήρας Διατροφικών Αποβλήτων.....	59
Εικόνα 2.3-1. Πρόσοψη συσκευής οικιακής ξήρανσης.....	63
Εικόνα 2.3-2. Νωπό δείγμα στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης	64
Εικόνα 2.3-3. Δείγμα μετά από 8 ώρες ξήρανσης	64
Εικόνα 2.3-4. Καλάθι συσκευής σε φάση πλήρωσης	65
Εικόνα 2.3-5. Μέτρηση ύψους νωπού και ξηρού δείγματος	65
Εικόνα 2.3-6. Συσκευή καταγραφής ενεργειακής κατανάλωσης	66
Εικόνα 2.3-7. Μύλος άλεσης	66
Εικόνα 2.3-8. Φούρνος στους 80°C	68
Εικόνα 2.3-9. Μύλος άλεσης	68
Εικόνα 2.3-10. Ξηρά δείγματα σε διαφορετικές.....	69
Εικόνα 2.3-11. Φούρνος ξήρανσης 105°C.....	69
Εικόνα 2.3-12. Συσκευή ανάδευσης	70
Εικόνα 2.3-13. Μέτρηση pH και αγωγιμότητας.....	71
Εικόνα 2.3-14. Συσκευή Gerhardt	72
Εικόνα 2.3-15. Συσκευή απόσταξης Vapodest	73
Εικόνα 2.3-16. Πριν και μετά τη τιτλοδότηση κατά τη μέθοδο	73
Εικόνα 2.3-17. Συσκευή Shimatzu (TOC).....	76
Εικόνα 2.3-18. Πορσελάνινη κάψα.....	76
Εικόνα 2.3-19. Φούρνος (Solid Sample Module SSM 5000A).....	77
Εικόνα 2.3-20. Κεντρική μονάδα TOCVCSH.....	77
Εικόνα 2.3-21. Δείγμα σε πορσελάνινη κάψα	78
Εικόνα 2.3-22. Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών στους 550°	79
Εικόνα 2.3-23. Κάψες σε ξηραντήρα με silica gel	79
Εικόνα 2.3-24. Συσκευή ατομικής απορρόφησης (AAS).....	80
Εικόνα 2.3-25. Υδατόλουτρο με ανάδευση στους 65°C.....	81
Εικόνα 2.3-26. Διάταξη διήθησης.....	81
Εικόνα 2.3-27. Εναπομείναν δείγμα στο διηθητικό χαρτί.....	82
Εικόνα 2.3-28. Εκπλυμα σε πλαστικό φάλλον	82
Εικόνα 2.3-29. Αλληλουχία ενζυμικών αντιδράσεων που οδηγούν στην ποσοτικοποίηση της γλυκόζης.....	84
Εικόνα 2.3-30. Πλάκα μικροτιτλοδότησης.....	84

Εικόνα 2.3-31. Microplate Reader	85
Εικόνα 2.3-32. Αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος προς 3-άμινο-5-νιτρο- σαλικυλοκό οξύ παρουσία γλυκόζης	86
Εικόνα 2.3-33. Βρασμός διαλύματος σε δοκιμαστικούς σωλήνες	87
Εικόνα 2.3-34. Συσκευή Vortex	87
Εικόνα 2.3-35. Φωτόμετρο (μέτρηση απορρόφησης στα 540 nm)	87
Εικόνα 2.3-36. Υδατόλουτρο στους 50°C	89
Εικόνα 2.3-37. Φυγόκεντρος αντλία	89
Εικόνα 2.3-38. Επώαση στους 30°C	90
Εικόνα 2.3-39. Συσκευή αποστείρωσης	91
Εικόνα 2.3-40. Κωνικές φιάλες σε αποστείρωση	91
Εικόνα 2.3-41. Εξουδετέρωση διαλύματος με CaCO ₃	92
Εικόνα 3.1-1. Σακούλα απορριμμάτων 23 L	98

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΧ	Αναερόβια Χώνευση
ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απορρίμματα
ΒΑΑ	Βιοαποδομήσιμα Αστικά Απορρίμματα
ΒΑ	Βιοαπόβλητα
ΒΕ	Βελτιωτικό Εδάφους
ΔΑ	Διαχείριση Απορριμμάτων
ΔΒ	Διαχείριση Βιοαποβλήτων
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΕΠΕ	Εταιρία Περιορισμένης Ευθύνης
ΕΠΠΕΡΑΑ	Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη
ΜΠΕΤ	Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας
ΞΔΑ	Ξηραντήρας Διατροφικών Απορριμμάτων
ΠΑ	Παραγωγή Απορριμμάτων
ΣΑ	Στερεά Απόβλητα
ΤΔ	Τελική Διάθεση
ΧΥΤΑ	Χώροι Υγειονομικής Ταφής

ABBREVIATIONS/ACRONYMS

NTUA	National Technical University of Athens
RDF	Refuse-Derived Fuel
SRF	Solid Recovered Fuel
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	Total Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
VS	Volatile Solids

1. Θεωρητικό Μέρος

1.1. Εισαγωγή

Η συσσώρευση απορριμμάτων παγκοσμίως χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πλέον δυσεπίλυτα προβλήματα της εποχής μας. Στην χώρα μας θεωρείται σήμερα από πολλούς το σοβαρότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η δυσκολία αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού έγκειται στην αλληλεπίδραση πολλών παραμέτρων, και συγκεκριμένα:

- Οικονομικών παραμέτρων (π.χ., σχέση κόστους διάθεσης απορριμμάτων και οφέλους από την πιθανή ανάκτηση πρώτων υλών μέσω ενός προγράμματος ανακύκλωσης),
- Ενεργειακών παραμέτρων (π.χ. σχέση απαιτήσεων σε ενέργεια για τη μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση απορριμμάτων και οφέλους από την τυχόν ενεργειακή παραγωγή μέσω των απορριμμάτων),
- Περιβαλλοντικών παραμέτρων (ρύπανση ατμοσφαιρικού, υδάτινου και χερσαίου περιβάλλοντος ανάλογα με τον τρόπο διάθεσης των απορριμμάτων, πρόκληση πυρκαγιών λόγω ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων) και
- Πολιτικό-κοινωνικών παραμέτρων (ανισομερής επιβάρυνση και όχληση του πληθυσμού από συγκεκριμένες επιλογές κατά τη διαχείριση απορριμμάτων, με τις ασθενέστερες κοινωνικές τάξεις συνήθως να μειονεκτούν, θέσεις εργασίας σχετικές με την διαχείριση απορριμμάτων, κλπ.

Ο σύγχρονος μηχανικός εμπλέκεται ολοένα και περισσότερο στον κύκλο των απορριμμάτων, τόσο έμμεσα (αφού η όποια παραγωγική διαδικασία συνεπάγεται την παραγωγή απορριμμάτων), όσο και άμεσα (π.χ. ως σχεδιαστής, κατασκευαστής, διαχειριστής ή ακόμα και προμηθευτής εγκαταστάσεων ή συσκευών που εντάσσονται στο όλο σύστημα της διαχείρισης απορριμμάτων). Σε αυτό μάλιστα έχει συντελέσει η αυξανόμενη μηχανοποίηση της διαχείρισης απορριμμάτων που επιτελείται κατά το τελευταία χρονικό διάστημα στην χώρα μας και διεθνώς. Επιβάλλεται λοιπόν ο σύγχρονος μηχανικός να έχει γνώσεις πάνω στη διαχείριση απορριμμάτων, και ειδικότερα:

- να κατανοεί τις μεθόδους επεξεργασίας και διάθεσης και
- να μπορεί να εκτιμά τη σκοπιμότητα αξιοποίησης της ενέργειας και των πρώτων υλών που περιέχονται στα απορρίμματα (Σημειώσεις στο μάθημα «Διαχείριση Απορριμμάτων», 2002).

Η κύρια περιβαλλοντική απειλή από τα βιολογικά απόβλητα είναι η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου από την αποσύνθεση αυτών σε ΧΥΤΑ, τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 3% των συνολικών εκπομπών στην ΕΕ-15 το 1995. Η οδηγία **1999/31/ΕΚ** υποχρεώνει τα κράτη μέλη της ΕΕ να μειώσουν την ποσότητα των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ στο 35% των επιπέδων του 1995 μέχρι το 2016 (για ορισμένες χώρες έως το 2020), γεγονός το οποίο αναμένεται να μειώσει την παραγωγή αερίων θερμοκηπίου σε επίπεδο ΕΕ (European Commission, 2014).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων στην Ελλάδα και την ΕΕ (ΕΠΠΕΡΑΑ,2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

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

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	Εθνική Νομοθεσία	Επισημάνσεις
Οδηγία 98/2008/ΕΚ για τα απόβλητα Οδηγία 2008/99/ΕΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου.	ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Α' 24/13-02-2012) Ποινική προστασία του περιβάλλοντος - Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων.	(Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ και την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.) Σύμφωνα με το άρθρο 41: Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστον, στο 5% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων και έως το 2020, κατ' ελάχιστον, στο 10% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων.
Οδηγία 91/156/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων.	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016Β/17.11.97), Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.	Ενσωμάτωση των γενικών κατευθύνσεων και προδιαγραφών της 75/442/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την 91/156/ΕΚ.
Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572Β/16.12.02), Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων	Θέσπιση στόχων για επεξεργασία πριν την ταφή και μείωση της ποσότητας των ΒΑΑ που οδηγείται για ταφή.
Οδηγία 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ.	ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22.12.2003), Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Σε εθνικό επίπεδο με την εν λόγω ΚΥΑ ενσωματώθηκε η 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ θέτοντας αυστηρότερες κατευθύνσεις, μέτρα, όρους και διαδικασίες για την διαχείριση στερεών αποβλήτων και εισήγαγε τους ευρωπαϊκούς στόχους και αρχές στην εθνική στρατηγική διαχείρισης.
Οδηγία 2008/1/ΕΚ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

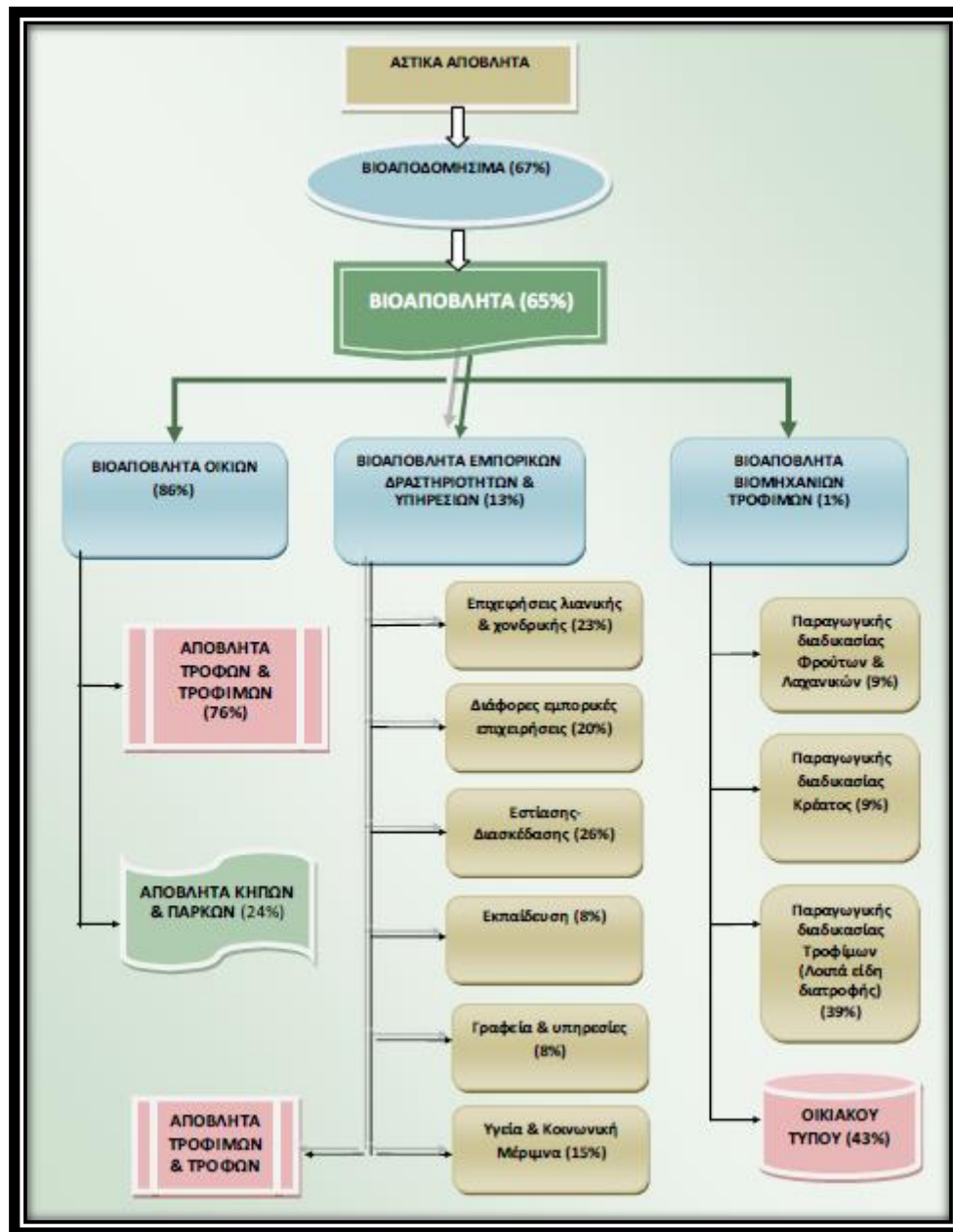
<p>Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ, για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.</p>	<p>ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05.06.06), Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η κατηγοριοποίηση των βιοαποβλήτων και τα διακριτά ρεύματα κάθε υποκατηγορίας τους απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 1.1-1. Κατηγοριοποίηση βιοαποβλήτων (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

1.2. Μέθοδοι διαχείρισης οικιακών βιοαποβλήτων

Με τον όρο «Διαχείριση βιοαποβλήτων» (ΔΒ) εννοούμε το σύνολο των ενεργειών που σχετίζονται με την παραγωγή, προσωρινή αποθήκευση, συλλογή, μεταφορά/μεταφόρτωση, επεξεργασία και τελική διάθεση (ΤΔ). Η ορθή αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνεπάγονται τα απορρίμματα επιβάλλει την αξιοποίηση στοιχείων αστικού και περιφερειακού σχεδιασμού, όπως επίσης και διδαγμάτων από τις οικονομικές και κοινωνικές επιστήμες. Σήμερα, δεν είναι πλέον αποδεκτές παραδοσιακές προσεγγίσεις, οι οποίες στο παρελθόν συχνά αγνοούσαν κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ενώ η δημόσια υγεία και τα οικονομικά παραμένουν πρωταρχικοί προβληματισμοί, άρχισε τα τελευταία χρόνια να δίδεται ιδιαίτερη έμφαση σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Επιπλέον, έχει καταστεί σαφής η σχέση μεταξύ της εξάντλησης των φυσικών πόρων και της ΤΔ των Στερεών Αποβλήτων (ΣΑ).

Στην Ευρώπη και παγκοσμίως χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές διαχείρισης των οικιακών βιοαποβλήτων οι οποίες χαρακτηρίζονται από ελάχιστες δράσεις σε ορισμένα κράτη ως διευρυμένες δράσεις οι οποίες αποσκοπούν στην αειφόρο διαχείρισή τους. Στη δεύτερη περίπτωση, κύριος στόχος είναι η δραστική μείωση της ποσότητας των βιοαποβλήτων που οδηγείται στους ΧΥΤΑ και η παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας, τα οποία δημιουργούν καινούργιες πλουτοπαραγωγικές πηγές με ανεξάντλητα αποθέματα προς εκμετάλλευση.

1.2.1. Συλλογή με τη μέθοδο «Πόρτα-Πόρτα»

Η συλλογή των οικιακών ΒΑ με αυτήν την μέθοδο «Πόρτα-Πόρτα» γίνεται συνήθως με κάδους, σάκους, δεξαμενές ή σκουπιδοφάγους οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι εντός ή εκτός της οικίας. Το μέγεθος και το είδος των αποθηκευτικών μέσων, ποικίλει κάθε φορά και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, του πληθυσμού της, καθώς και των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων ενός Δήμου. Επιπλέον, ο τύπος των κάδων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά, είναι άμεσα εξαρτώμενος από τον τύπο των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για την αποκομιδή. Στην πλειοψηφία των χωρών παγκοσμίως η κύρια μέθοδος προσωρινής αποθήκευσης και συλλογής οικιακών ΒΑ που χρησιμοποιείται σήμερα, είναι οι σακούλες και οι κάδοι.

1.2.1.1. Κάδοι με πώμα

Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο υλικό για την κατασκευή των κάδων είναι το ανακυκλούμενο πλαστικό. Το χρώμα τους ποικίλει από χώρα σε χώρα όπως επίσης και η χωρητικότητά τους. Ορισμένοι κάδοι χρησιμοποιούνται για την συλλογή των διατροφικών αποβλήτων αποκλειστικά ενώ, άλλοι χρησιμοποιούνται για την συλλογή των οικιακών βιοαποβλήτων (διατροφικών αποβλήτων με απόβλητα κήπου). Πολλοί από αυτούς φέρουν χειρολαβή για την πρακτικότερη μεταφορά και την εκκένωσή τους. Οι κάδοι με πώμα χρησιμοποιούνται αυτούσιοι ή σε συνδυασμό με βιοδιασπώμενες σακούλες. Η τοποθέτησή τους ποικίλει από περιοχή σε περιοχή με συνηθέστερη ωστόσο, την εντός οικίας τοποθέτηση σε χώρο όπου συνήθως παράγονται τα περισσότερα διατροφικά απόβλητα.



Εικόνα 1.2-1. Χαρακτηριστικό είδος κάδου συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων (somersetwaste.gov.uk, 2012)

Η αποκομιδή των οικιακών ΒΑ και σε αυτήν την περίπτωση γίνεται από τους ίδιους τους κατοίκους χειρονακτικά, τοποθετώντας τα συλλεχθέντα απορρίμματα σε μεγαλύτερους κάδους εκτός της οικίας για αποκομιδή από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

Ορισμένοι κάδοι διαθέτουν σύστημα αερισμού και σύστημα αποστράγγισης (Εικόνα 1.2-2) ώστε τα διατροφικά απορρίμματα να παραμένουν σε συνθήκες οι οποίες θα τα διατηρήσουν, έως ότου μεταφερθούν για να κομποστοποιηθούν σε κεντρική εγκατάσταση.



Εικόνα 1.2-2. Κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με σύστημα αποστράγγισης (somersetwaste.gov.uk, 2012)

Υπάρχουν και κάδοι με ειδικό σύστημα κλειδαριάς προκειμένου να μην τοποθετούνται βιοαπόβλητα πέραν του κατόχου. Αυτό το σύστημα ισχύει κυρίως σε χώρες όπου υπάρχει χρέωση των κατοίκων ανάλογα με τις ποσότητες που απορρίπτουν καθημερινά στον προσωπικό τους κάδο. Σε ορισμένες περιπτώσεις στο κάτω μέρος των κάδων υπάρχει ποδομοχλός για το εύκολο άνοιγμά του από τους χρήστες. Ακόμη, υπάρχουν κάδοι με άξονες και ρόδες για την ευκολότερη μεταφορά τους και άδειασμα από τα βιοαπόβλητα που περιέχουν και οι οποίοι τοποθετούνται εντός ή εκτός οικίας.



Εικόνα 1.2-3. Ρόδες και άξονας σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων (αριστερά), Κλειδαριά σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων (μέση), Ποδομοχλός στο κάτω μέρος του κάδου (δεξιά)
(DRYWASTE PROJECT, 2012)

1.2.1.2. Σάκοι συλλογής

Οι σάκοι αποτελούν τα συνηθέστερα μέσα προσωρινής αποθήκευσης και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την πυκνότητά τους.

- Σε υψηλής (LDPE) πυκνότητας
- Σε χαμηλής (HDPE) πυκνότητας

Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις το βασικό συνθετικό υλικό αποτελεί το πλαστικό. Ιδιαίτερη βάση δίνεται στη διαδικασία κατασκευής τους καθώς θα πρέπει να επιδεικνύουν αντοχή στο βάρος των απορριμμάτων που καλούνται να διαχειριστούν καθώς επίσης και στην καταπόνηση του υλικού από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες όπως είναι η μεταφορά, τα τρέχοντα υγρά και η κακή χρήση τους (ATHENS BIOWASTE PROJECT, 2012).

Πέραν των πλαστικών σάκων συλλογής, τα τελευταία χρόνια γίνεται χρήση βιοδιασπώμενων σάκων για τη συλλογή των διατροφικών οικιακών αποβλήτων, οι οποίοι ωστόσο παρουσιάζουν προβλήματα αντοχής στις πιέσεις που υφίστανται κατά την συλλογή και αποκομιδή των απορριμμάτων. Αυτοί, κατασκευάζονται κυρίως από καλαμπόκι ή σιτάρι. Η τοποθέτησή τους γίνεται εντός της οικίας σε ειδικό κάδο

συλλογής βιοαποβλήτων. Τις ημέρες αποκομιδής τοποθετούνται σε ειδικό κάδο εξωτερικά της οικίας, από το χρήστη προκειμένου, να συλλεχθούν από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

Η επιλογή του κατάλληλου σάκου θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να αρκεί για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών μιας οικίας σε σχέση πάντοτε με την συχνότητα αποκομιδής των βιοαποβλήτων στην κάθε περιοχή. Η αποκομιδή των οικιακών ΒΑ στην περίπτωση αυτή, πραγματοποιείται χειρονακτικά από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Δήμου ή της εκάστοτε εταιρίας η οποία έχει αναλάβει τη συλλογή των απορριμμάτων.



Εικόνα 1.2-4. Σακούλες συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων και κατάλληλοι κάδοι (Alina, 2012)

1.2.1.3. Σκουπιδοφάγοι

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσωρινής αποθήκευσης των οικιακών βιοαποβλήτων, ο οποίος χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο σε Ευρωπαϊκές χώρες του βορρά, είναι ο σκουπιδοφάγος (Εικόνα 1.2-5). Αυτός τοποθετείται συνήθως κάτω από το νεροχύτη της κουζίνας, ενώ τα οργανικά απορρίμματα που απορρίπτονται εντός αυτού, υπόκεινται σε σημαντική μείωση του όγκου τους μέσω του συστήματος τεμαχισμού που διαθέτει ο σκουπιδοφάγος.



Εικόνα 1.2-5. Σκουπιδοφάγος τοποθετημένος κάτω από τον νεροχύτη οικίας (Alina, 2012)

Σε πολλές περιπτώσεις, τοποθετούνται περισσότεροι του ενός σκουπιδοφάγοι κάτω από τον νεροχύτη της οικίας. Αυτοί διασυνδέονται μεταξύ τους ώστε να επεξεργάζονται και να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ποσότητα οργανικών μέχρις ότου γίνει η αποκομιδή τους από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

1.2.1.4. Συστήματα οικιακής ξήρανσης οικιακών ΒΑ

Ένας εναλλακτικός τρόπος προεπεξεργασίας και προσωρινής αποθήκευσης του οικιακών ΒΑ, αποτελεί το σύστημα οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων (Εικόνα 1.2-6).



Εικόνα 1.2-6. Σύστημα οικιακής ξήρανσης διατροφικών αποβλήτων (DRYWASTE PROJECT, 2012)

Η συσκευή, χρησιμοποιεί θερμό αέρα προκειμένου, να απομακρύνει την περιεχόμενη στα οργανικά, υγρασία. Ωστόσο, στο εμπόριο υπάρχουν συστήματα τα οποία ξηραίνουν το υλικό χρησιμοποιώντας τεχνολογία μικροκυμάτων. Το τελικό ξηρό υλικό μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια οικία καθώς, η έλλειψη υγρασίας στο εσωτερικό του το έχει αδρανοποιήσει από μικροβιακή άποψη ενώ, μπορεί να συλλεχθεί σε αραιότερα χρονικά διαστήματα (και όχι σε καθημερινή βάση) από τον αρμόδιο φορέα διαχείρισης. Βασικά σημεία των υπαρχόντων εμπορικών συστημάτων είναι το σύστημα θερμού αέρα που διαθέτουν και το φίλτρο κατακράτησης οσμών (ενεργού άνθρακα) το οποίο περιορίζει τις οσμές οι οποίες μπορεί να προέλθουν από την διεργασία της ξήρανσης καθώς και συστήματα τα οποία κονιορτοποιούν το υλικό για μεγαλύτερη ελάττωση του όγκου των ξηραμένων διατροφικών αποβλήτων.

1.2.2. Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών

Τα οικιακά ΒΑ δύναται, να συλλεχθούν σε κεντρικά σημεία ανά ομάδες οικιών ή σε κεντρικά σημεία συλλογής. Οι κάτοικοι τοποθετούν τα διατροφικά απορρίμματα ή απόβλητα κήπου σε κάδους ή ομάδες κάδων οι οποίοι προορίζονται για την συλλογή και προσωρινή αποθήκευση τους. Η υπηρεσία αποκομιδής είναι υπεύθυνη για την συλλογή και μεταφορά τους σε ειδικά κέντρα επεξεργασίας προκειμένου να λάβει χώρα η επιθυμητή ανάκτηση.



Εικόνα 1.2-7. Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κεντρικό σημείο συλλογής
(Residential food waste collection in the US, 2012)

1.2.2.1. Τυποποιημένοι κάδοι με πώμα

Όπως στην περίπτωση της συλλογής των οικιακών ΒΑ με τη μέθοδο «Πόρτα-Πόρτα» έτσι και εδώ χρησιμοποιούνται κυρίως πλαστικοί ή μεταλλικοί κάδοι με κατάλληλο πώμα προκειμένου, να γίνει η απόρριψη και η συλλογή των παραγόμενων οικιακών ΒΑ σε κεντρικά σημεία (Εικόνα 1.2-8). Το μέγεθός τους ποικίλει σημαντικά ενώ είναι άμεσα εξαρτώμενο από το είδος των απορριμματοφόρων συλλογής και μεταφοράς καθώς και από την παραγόμενη ποσότητα ΒΑ.



Εικόνα 1.2-8. Πλαστικοί κάδοι με πώμα
(DRYWASTE PROJECT, 2012)

1.2.2.2. Υπόγειοι κάδοι

Το σύστημα υπόγειων κάδων συλλογής, αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο συλλογής και προσωρινής αποθήκευσης οικιακών ΒΑ σε κεντρικά σημεία. Οι κάδοι αυτοί, τοποθετούνται υπόγεια και δεν βρίσκονται σε άμεση οπτική επαφή από το κοινό (Εικόνα 1.2-9), χαρίζοντας βελτιστοποιημένο αισθητικό αποτέλεσμα και λιγότερες οσμές. Οι κάδοι, τοποθετούνται ως μονάδα ή σε ομάδες κάδων ενώ υπάρχουν σε στεγασμένο χώρο ή μη προκειμένου οι πολίτες να εναποθέτουν εκεί τις επιθυμητές ροές.



Εικόνα 1.2-9. Υπόγειοι κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων σε ομάδες (DRYWASTE PROJECT, 2012)

Οι κάδοι, διαθέτουν είσοδο με μορφή ανοίγματος, το οποίο οδηγεί σε σύστημα κάδων (πλαστικών χωρίς καπάκι) ή σε ειδικά διαμορφωμένη υπόγεια σακούλα.

1.2.2.3. Οχήματα αποκομιδής και μεταφοράς βιοαποβλήτων

Τα οχήματα συλλογής και μεταφοράς των ΒΑ, αφορούν στα οχήματα εκείνα με τα οποία τα οικιακά βιοαπόβλητα συλλέγονται μηχανικά ή χειρονακτικά. Υπάρχουν πολλοί τύποι οχημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται, σε συνδυασμό με κατάλληλους κάδους στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης βιοαποβλήτων. Τα οχήματα, επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά των βιοαποβλήτων και ιδιαίτερα την πυκνότητά τους.

Στα διατροφικά απορρίμματα τα οποία έχουν υψηλή πυκνότητα (0,6 έως 0,8 kg/L), δεν χρειάζονται οχήματα με σύστημα συμπίεσης καθώς η μεταφορά τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με απλό όχημα συλλογής. Τα διατροφικά απορρίμματα είναι δυνατόν να συλλεχθούν μαζί με απόβλητα κήπου των οποίων η πυκνότητα κυμαίνεται από (0,15 έως 0,3Kg/L) (Favoino et al., 2006).

Από εμπειρίες ανθρώπων που έχουν διαχειριστεί οχήματα συλλογής-μεταφοράς διατροφικών αποβλήτων, προέκυψε ότι προκειμένου να γίνει η προμήθεια ορισμένου αριθμού οχημάτων από τον αντίστοιχο φορέα ή εταιρία αποκομιδής, προκειμένου να

λειτουργήσει ένα σύστημα αποκομιδής βιοαποβλήτων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- Να ληφθεί υπόψη το ύψος φόρτωσης των οχημάτων αποκομιδής το οποίο προτείνεται να είναι χαμηλό στην περίπτωση χειρονακτικής αποκομιδής. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάδοι με ειδικό σύστημα αυτόματης φόρτωσης στο όχημα το οποίο θα πρέπει να διαθέτει το ανάλογο σύστημα φόρτωσης.
- Το όχημα θα πρέπει να διαθέτει σύστημα εύκολης εκκένωσης του φορτίου του.
- Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, αν κάποιες αρχές θα ωφελούνταν από την χρήση οχημάτων ξεχωριστών διαμερισμάτων για την αποκομιδή βιοαποβλήτων σε συνδυασμό με λοιπά υλικά (όπως π.χ. ανακυκλώσιμα). Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η δυνατότητα του οχήματος για εκκένωση και από τα δύο υλικά στον ίδιο ή διαφορετικό χώρο.
- Θα πρέπει να γίνεται ισοκατανομή του διατροφικού φορτίου στο όχημα από το συνεργείο αποκομιδής ή από αυτόματο σύστημα στο άνω μέρος του προκειμένου, να μην ανατραπεί στην πορεία (ιδιαίτερα στην περίπτωση οχήματος δίχως πρέσα).
- Να ληφθεί υπόψη, η χωρητικότητα του οχήματος σε σχέση με την συνολική προς αποκομιδή ποσότητα.
- Να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα των οχημάτων σε σχέση με την απόσταση από το σημείο απόθεσης.
- Να ληφθεί υπόψη ότι το όχημα διαθέτει αρκετό χώρο στην περίπτωση που χρειαστεί η μεταφορά επιπλέον προσωπικού για την επιτόπια καθαριότητα, υλικών καθαρισμού, διανομή ενημερωτικών φυλλαδίων, κλπ.
- Να ληφθεί υπόψη, το γεγονός διαρροής υγρών από το όχημα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με την χρήση κατάλληλων σάκων αποκομιδής στα πλαίσια ενός συστήματος διαχείρισης.
- Προτείνεται, να μην συμπιέζονται τα διατροφικά απορρίμματα λόγω της εξόδου μεγάλης ποσότητας νερού από το εσωτερικό τους. Θα πρέπει τα οχήματα να έχουν την δυνατότητα απενεργοποίησης του συστήματος συμπίεσης που τυχόν διαθέτουν χειροκίνητα.
- Προτείνεται, τα οχήματα να διαθέτουν σύστημα ελέγχου του βάρους τους για την αποφυγή υπερφόρτωσης (WRAP,2012).

1.3. Μέθοδοι επεξεργασίας οικιακών βιοαποβλήτων

1.3.1. Ξήρανση

Ο όρος ξήρανση (drying) αναφέρεται κυρίως στην αφαίρεση μικρών σχετικά ποσοτήτων νερού από στερεά ή ημιστερεά υλικά. Η αφαίρεση υγρασίας από αέρια αποδίδεται κυρίως με τους όρους αφύγρανση (dehumidification) και προσρόφηση (adsorption). Στις διεργασίες ξήρανσης δίνεται περισσότερο έμφαση συνήθως στο αποξηραμένο τελικό προϊόν και στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξήρανση επιτυγχάνεται με αφαίρεση της υγρασίας σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού. Η διεργασία της ξήρανσης μετατρέπει ένα στερεό, ή ημιστερεό ή υγρό υλικό σε ένα στερεό προϊόν με εξάτμιση του υγρού μέσω εφαρμογής θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συναγωγή (ξηραντήρες), με αγωγιμότητα, με ακτινοβολία ή με φούρνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει επιθυμητές ή ανεπιθύμητες χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις οδηγώντας σε αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή και άλλες ιδιότητες του ρευστού προϊόντος (Mujumdar, A.S, 1997).

1.3.1.1. Οικιακή ξήρανση

Η ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή θεωρείται ως μια αναδυόμενη βιώσιμη επιλογή για τη διαχείριση των διατροφικών αποβλήτων δεδομένου ότι αυτό το κλάσμα των αποβλήτων έχει μια περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 75-95% κατά βάρος (Zhang et al, 2007). Επομένως, η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας με ξήρανση στη πηγή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση μάζας και όγκου των απόβλητων κουζίνας. Τα υψηλά θερμοδικώς, οργανικά υλικά (βιομάζα), διαχωρισμένα και ξηραμένα στην πηγή μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα καθώς παρέχουν επιπλέον φιλικές προς το περιβάλλον δυνατότητες για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας (π.χ. πράσινη ενέργεια, βιοκαύσιμα).

1.3.1.2. Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης

Η ξήρανση των οικιακών αποβλήτων είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση και επεξεργασία των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές σε συστήματα μικρής κλίμακας τα οποία να έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για τη διαχείριση των οργανικών απορριμμάτων ούτε στην Ευρωπαϊκή Ένωση ούτε σε διεθνές επίπεδο. Στην αγορά υπάρχουν συστήματα επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή χωρίς να ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχείρισης των οικιακών αποβλήτων. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη

περιγραφή στα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή.

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας LOOFEN

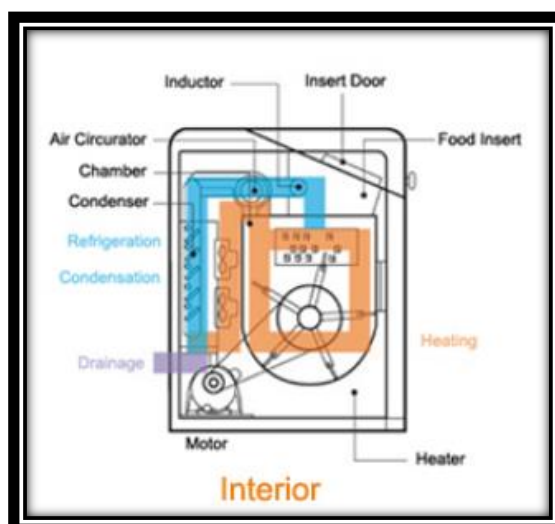
Η Loofen Lee Co., Ltd ιδρύθηκε στην Κορέα το 2003. Η εταιρεία έχει αναπτύξει μερικά καινοτόμα συστήματα οικιακής ξήρανσης για τα οικιακά οργανικά στερεά απόβλητα (Εικόνα 1.3-1). Αν και τα συστήματα αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα, έχουν αποκτήσει πολλές πιστοποιήσεις σε εθνικό κυρίως επίπεδο.



Εικόνα 1.3-1. Σύστημα οικιακής ξήρανσης (Loofen, 2010)

Η εταιρεία έχει κατασκευάσει συστήματα οικιακής ξήρανσης το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικές δυνατότητες. Όλα τα συστήματα ωστόσο χρησιμοποιούν θερμό αέρα για τη διεργασία της ξήρανσης.

Το εσωτερικό τμήμα των συστημάτων απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 1.3-2. Εσωτερική απεικόνιση συστημάτων Loofen (Loofen, 2010)

Από την Εικόνα 1.3-2 βλέπουμε ότι τα βασικά εσωτερικά τμήματα του συστήματος είναι ο απαγωγέας, ο χώρος όπου τοποθετούνται τα τρόφιμα, ο κυρίως θάλαμος, ο συμπυκνωτήρας, το μοτέρ και το θερμοαντικείμενο στοιχείο. Η μπλε γραμμή αναφέρεται στην ψύξη και στη συμπύκνωση.

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας COWAY

Η COWAY ιδρύθηκε το 1989 στην Κορέα. Η εταιρεία έχει κατασκευάσει διάφορα προϊόντα όπως συσκευές καθαρισμού του αέρα, συσκευές φιλτραρίσματος του νερού, διάφορα είδη οικιακών συσκευών κ.α. Καθώς τα προϊόντα της Coway είχαν υψηλό αρχικό κόστος, οι καταναλωτές δεν ήταν εύκολο να τα αγοράσουν και γι αυτό τον λόγο η εταιρεία ενέκρινε ένα επιχειρηματικό σχέδιο προκειμένου να είναι τα προϊόντα της προσβάσιμα στο ευρύ κοινό μειώνοντας το αρχικό τους κόστος.

Η εταιρεία άρχισε να επεκτείνεται το 2003 στην Ιαπωνία και στην συνέχεια στην Ταϊλάνδη, την Κίνα και τη Μαλαισία. Το 2010 η Coway ίδρυσε μια θυγατρική εταιρεία στις Η.Π.Α, στο Λος Άντζελες, σηματοδοτώντας έτσι την είσοδο στην αμερικανική αγορά. Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή αγορά η Coway σχεδιάζει την δημιουργία θυγατρικών μονάδων. Έχει δημιουργήσει μια σειρά από ξηραντήρες στερεών οργανικών οικιακών αποβλήτων .

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα εμπορικά συστήματα της Coway.



Εικόνα 1.3-3. Σύστημα οικιακής ξήρανσης Coway WMO3 (Coway, 2010)

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας SAMOH NK

Η Samoh NK. ιδρύθηκε στην Κορέα και έχει αναπτύξει πλήθος καινοτόμων συστημάτων διαχείρισης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Τα προϊόντα της εταιρίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα. Η εταιρία έχει δημιουργήσει 2 μοντέλα ξηραντήρων με την ονομασία «smile household» όπου το καθένα έχει τις δικές του ικανότητες και δυνατότητες.

Το πρώτο μοντέλο της εταιρίας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Το συγκεκριμένο μοντέλο ωστόσο έχει αποσυρθεί από την αγορά.



Εικόνα 1.3-4. Σύστημα οικιακής ξήρανσης της SAMOH NK
(SAMOH NK, 2010)

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας DUO ENTERPRISE LTD

Η Duo enterprise ltd. ιδρύθηκε το 1998 και από τότε έχει κατασκευάσει αλλά και εξαγάγει πλήθος αγαθών όπως: (βαμβάκι, εσώρουχα, κάλτσες, κλπ). Η εταιρία ασκεί διάφορους ελέγχους της ποιότητας των προϊόντων της. Εκτός από τα προϊόντα που έχουν ήδη αναφερθεί η συγκεκριμένη εταιρία κατασκευάζει και συστήματα διαχείρισης οργανικών στερεών αποβλήτων.

Ένα τέτοιο σύστημα εμφανίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.3-5. Σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας DUO ENTERPRISE LTD
(DUO ENTERPRISE LTD, 2010)

Η διεργασία της ξήρανσης πραγματοποιείται με διπλή ξήρανση και αποστείρωση με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Η χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας προσδίδει τεράστιο πλεονέκτημα στον συγκεκριμένο ξηραντήρα σύμφωνα πάντα με την εταιρία. Το πλεονέκτημα αναφέρετε στην εξοικονόμηση χρόνου που επιτυγχάνεται με τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας και αυτό γιατί τα στερεά απόβλητα ξεραίνονται ταυτόχρονα τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διεισδυτικότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας λόγω του μήκους κύματος της (DUO ENTERPRISE LTD, 2010). Επειδή η ακτινοβολία διεισδύει στο εσωτερικό των απορριμμάτων θεωρείται ότι είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος

ξήρανσης σε σχέση με την χρήση θερμού αέρα. Η εταιρία έχει χρησιμοποιήσει ένα πολλαπλό φίλτρο για την απομάκρυνση των οσμών το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί έως και έξι μήνες σύμφωνα με την εταιρία.

Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρείας ECOWELL Co-Ltd

Μια εξειδικευμένη εταιρία στον τομέα της Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας έχει ως αντικείμενο τα τελευταία 10 χρόνια. την έρευνα, την κατασκευή και την προμήθεια μεγάλης ποικιλίας συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων εντοιχισμένου νεροχύτη κουζίνας, επιδαπέδια συστήματα καθώς και εμπορικά συστήματα. Η Ecowell Co-Ltd καταβάλει κάθε δυνατή προσπάθεια να καθιερώσει φιλικά προς το περιβάλλον νέες τεχνολογίες και να εδραιωθεί ως μια εξειδικευμένη επιχείρηση στο τομέα του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.3-6. Σύστημα οικιακής ξήρανσης E 500 της εταιρείας Ecowell Ltd (Ecowell Ltd, 2010)

1.3.1.3. Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία

Μέχρι σήμερα δεν έχουν καταγραφεί βιβλιογραφικά επιπτώσεις της τεχνολογίας της ξήρανσης στο περιβάλλον και την υγεία. Οι μόνες επιπτώσεις συνδέονται με την ενεργειακή κατανάλωση των μεθόδων ξήρανσης η οποία προκαλεί έμμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στην υγεία.

1.3.2. Κομποστοποίηση

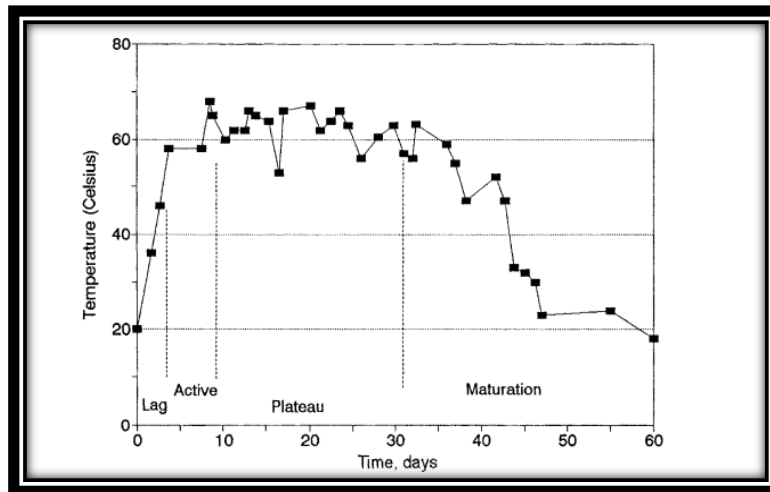
Η κομποστοποίηση αποτελεί μια φυσική διεργασία η οποία περιλαμβάνει την αερόβια βιολογική αποσύνθεση των οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης οι οργανικές ουσίες από τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα διασπώνται από μικρόβια καταλήγοντας σε ένα τελικό προϊόν που περιέχει σταθεροποιημένη ποσότητα άνθρακα, αζώτου και άλλων θρεπτικών συστατικών. (Golueke et al., 1955; Diaz et al., 1993). Η κομποστοποίηση μειώνει τόσο τον όγκο όσο και τη μάζα των υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά, ενώ τα μετατρέπει σε ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε οικιακή ή μεγαλύτερη κλίμακα. Η κομποστοποίηση μπορεί να λάβει χώρα με ταχύ ρυθμό, όταν οι συνθήκες οι οποίες

ευνοούν την ανάπτυξη των χρήσιμων για τη διεργασία μικροοργανισμών σταθεροποιηθούν. Η κομποστοποίηση είναι μια ελεγχόμενη αερόβια βιολογική αποσύνθεση των περισσότερων οργανικών υλικών, ωστόσο διαφοροποιείται από τη διεργασία της φυσικής αποσύνθεσης. Παρ'όλα αυτά, η βιοχημική διεργασία της κομποστοποίησης και της φυσικής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης είναι η ίδια.

Η διεργασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται κυρίως από 6 ομάδες μικροοργανισμών: (1) μύκητες, (2) ακτινομύκητες, (3) βακτήρια, (4) σκουλήκια, (5) πρωτόζωα, (6) προνύμφες, κλπ. Τα βακτήρια περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα από οικογένειες, γένη και είδη. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται γαιοσκώληκες που δεσμεύουν τον άνθρακα που περιέχεται στα οργανικά απορρίμματα, για την ανάπτυξη τους (παραγωγή σακχάρων και θερμότητας). Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η οξειδωσή του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που οδηγεί στην αποδόμηση της οργανικής αλυσίδας και την απελευθέρωση των ανόργανων θρεπτικών συστατικών άζωτο (N), κάλιο (K), φώσφορος (P)) που βρίσκονται δεσμευμένα σε αυτή, καθιστώντας τα διαθέσιμα στα φυτά. Το παραγόμενο compost μπορεί να έχει πολύ καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε είδους καλλιέργεια. (Rynk et al., 1992).

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια οικολογική διαδοχή/αλλαγή των μικροβιακών πληθυσμών που βρίσκονται σχεδόν πάντα στα απόβλητα. Η αλλαγή αυτή ξεκινά με τον καθορισμό των συνθηκών κομποστοποίησης. Μικρόβια γνωστά ως "κάτοικοι" ξεκινούν αμέσως να πολλαπλασιάζονται εκμεταλλευόμενα τα θρεπτικά συστατικά των αποβλήτων. Χάρη στη δραστηριότητα της ομάδας αυτής, οι συνθήκες κομποστοποίησης γίνονται ευνοϊκές για τον πολλαπλασιασμό άλλων αυτοχθόνων πληθυσμών. Σχεδιάζοντας το αποτέλεσμα της διαδοχής του συνολικού βακτηριακού περιεχομένου της μάζας οδηγούμαστε σε μια καμπύλη, η μορφή της οποίας αντικατοπτρίζει τη μικροβιακή ανάπτυξη καθώς και την άνοδο και πτώση της θερμοκρασίας σε όλα τα στάδια της διεργασίας. Κρίνοντας από την καμπύλη, η κομποστοποίηση χωρίζεται σε τρία στάδια τα οποία αναφέρονται ακολούθως:

- 1) μια αρχική περίοδο υστέρησης («λανθάνουσα φάση»),
- 2) μια περίοδο εκθετικής ανάπτυξης και εντατικοποίησης της μικροβιακής δραστηριότητας («ενεργός φάση»),
- 3) μια περίοδο «παρακμής» (πτώσης) η οποία συνεχίζεται μέχρις ότου να φτάσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος («φάση θεραπείας» ή «φάση ωρίμανσης»). Στην πράξη, η εξέλιξη των φάσεων εκδηλώνεται με μια άνοδο και την πτώση της θερμοκρασίας στη μάζα κομποστοποίησης. Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασίας που λαμβάνει χώρα κατά την κομποστοποίηση (Διάγραμμα 1.3-1.).



Διάγραμμα 1.3-1. Τυπική καμπύλη θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια διαφόρων φάσεων κομποστοποίησης (Tchobanoglous and Kreith., 2002)

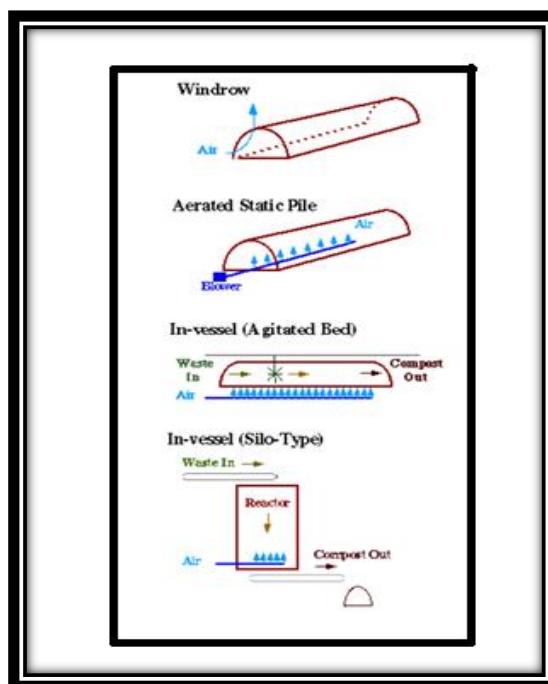
1.3.2.1. Τεχνολογίες κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο στην ισορροπία της φύσης καθώς παρέχει όλα τα θρεπτικά συστατικά και τον χούμο στο έδαφος έτσι ώστε αυτό να θεωρείται υγιές. Χούμος, ονομάζεται (Schefflen, 1956) το σύνολο της οργανικής ύλης η οποία βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και η οποία υποβάλλεται σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών. Ο χούμος δημιουργείται από τα φύλλα και τις βελόνες που πέφτουν κάθε χρόνο, τα υπολείμματα κλαδιών και ριζών καθώς και από τα απορρίμματα και υπολείμματα των ζωικών οργανισμών. Την αποσύνθεση των υπολειμμάτων αυτών αναλαμβάνουν διάφοροι μικροοργανισμοί και βακτηρίδια. Με την επιστροφή του κόμποστ στο έδαφος, το χώμα ανανεώνεται και διατηρείται για αειφόρο παραγωγή.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι και εξοπλισμοί που χρησιμοποιούνται για τη διεργασία της κομποστοποίησης ανάλογα με το είδος των υλικών και του χρόνου που απαιτούνται για την πραγματοποίηση αυτής. Η παροχή οξυγόνου είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας στη διεργασία και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο εξοπλισμός τείνει να επικεντρωθεί στην πιο αποτελεσματική μεταφορά του οξυγόνου σε όλα τα μέρη της κομποστοποίησης καθώς, χωρίς αυτό η διεργασία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. (Jorgensen.,1981).

Οι πιο κοινές τεχνολογίες κομποστοποίησης (Εικόνα 1.3-7) είναι:

- Κομποστοποίηση σε σωρούς (Windrow composting)
- Κομποστοποίηση με ρεύμα αέρα (Aerated Static Pile Composting)
- Έγκλειστη κομποστοποίηση-Κομποστοποίηση σε «δοχείο» (Enclosed, or in-vessel composting)



Εικόνα 1.3-7. Κοινά συστήματα κομποστοποίησης (Dubois, Gonzalez, 2004)

Κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς

Η κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς (Εικόνα 1.3-8) είναι η πιο συνηθισμένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι από τεχνολογικής άποψης πολύ εύχρηστη αλλά κυρίως οικονομική. Κατά τη διεργασία αυτή, τα απόβλητα τοποθετούνται σε πολύ μεγάλους σωρούς και στη συνέχεια δίνεται μεγάλη προσοχή στις λεπτομέρειες της διεργασίας έτσι ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία. Οι σωροί, συνήθως, έχουν ύψος 1-2,5 m και πλάτος 2-6 m (αυτό είναι κάτι που εξαρτάται από την εκάστοτε διεργασία). Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει αυτή η διεργασία, κυρίως έχουν να κάνουν με την μορφή και το σχήμα της σωρού, όπου επηρεάζουν αρκετές παράμετροι αυτής. Για παράδειγμα, εάν οι σωροί είναι πάρα πολύ μεγάλοι, το οξυγόνο δεν μπορεί να φτάσει στο κέντρο. Από την άλλη πλευρά, εάν είναι πάρα πολύ μικροί δεν μπορούν να φτάσουν τη βέλτιστη θερμοκρασία. Είναι γεγονός πως δεν υπάρχει τέλειο μέγεθος σωρών δεδομένου ότι αυτό σχετίζεται άμεσα με τις καιρικές συνθήκες. Η διεργασία αυτή θα μπορούσε να επιταχυνθεί εάν το λίπασμα ενεργοποιούνταν σε τακτά χρονικά διαστήματα (συνήθως κάθε τέσσερις ή πέντε ημέρες). Αναμιγνύοντας τις σωρούς περιοδικά, επιτυγχάνεται η ανάδευση και η μετατόπιση των υλικών από μέσα προς τα έξω, επιτρέποντας έτσι τη διάχυση του αέρα σε ολόκληρη τη σωρό κι επομένως την επιτάχυνση της όλης διαδικασίας.



**Εικόνα 1.3-8. Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης σε σωρούς
(Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, περιβαλλοντική οργάνωση, 2010)**

Η συχνότητα ανανέωσης του κόμποστ (Εικόνα 1.3-9) είναι κάτι που θα πρέπει να βασίζεται κυρίως σε συνθήκες θερμοκρασίας, δεδομένου ότι η θερμοκρασία είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας στη διεργασία της αποσύνθεσης. Θερμοκρασίες κάτω των 38°C ή πάνω των 60-64°C, υποδεικνύουν ότι πρέπει να γίνει αλλαγή/ανανέωση του κόμποστ προκειμένου να διαμορφωθούν κατάλληλες συνθήκες ώστε η κομποστοποίηση να λάβει χώρα. Εάν το κόμποστ (λίπασμα) είναι κάπου μεταξύ των προαναφερθέντων ορίων (όπως αυτά έχουν προσδιοριστεί από πληθώρα πειραμάτων), η αλλαγή θα μπορούσε πάλι να χρησιμοποιηθεί για να επιταχύνει την διεργασία της αποσύνθεσης. Η ολοκλήρωση της κομποστοποίησης απαιτεί δύο έως έξι μήνες ανάλογα με τη μέθοδο και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.



**Εικόνα 1.3-9. Μηχανή τοποθέτησης κόμποστ σε σωρούς
(Dubois, González, 2004)**

Κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς

Είναι η ίδια διεργασία όπως και η κομποστοποίηση σε στατικούς σωρούς με τη διαφορά ότι αέρας διαπερνάει το εσωτερικό της στατικής σωρού. Όταν η θερμοκρασία φθάσει σε υψηλά επίπεδα ένας θερμοστατικά ελεγχόμενος φυσητήρας παρέχει το οξυγόνο που απαιτείται για την αερόβια αποσύνθεση του υποστρώματος ενώ παράλληλα ελέγχει τις τιμές της θερμοκρασίας. Λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει κανένας ειδικός μηχανισμός για την ανάδευση, η κομποστοποίηση σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς, ως επί το πλείστον, χρησιμοποιείται για την κομποστοποίηση ιλύος όπου το υλικό αναμιγνύεται με ένα ξηρό πορώδες υπόστρωμα, όπως ροκανίδια, και σχηματίζει ένα λεπτό υγρό φιλμ όπου μπορεί να συμβεί η αποσύνθεση. Προκειμένου η διεργασία να είναι εφικτή, απαιτείται η ύπαρξη ειδικών επιστρωμένων επιφανειών οι οποίες επιτρέπουν τον έλεγχο και τη ολοκλήρωση της διεργασίας ακόμα και σε υγρό καιρό. Το πιο κοινό σύστημα αερισμού περιλαμβάνει τη χρήση ενός πλέγματος υπόγειων σωληνώσεων. Οι σωλήνες που παρέχουν αερισμό, κατασκευάζονται από μαλακό (εύκαμπτο) πλαστικό και συναρμολογούνται στην επιφάνεια του σωρού. Πριν την κατασκευή του στατικού σωρού, ένα λεπτό στρώμα από ροκανίδια τοποθετείται πάνω στους σωλήνες αερισμού έτσι ώστε ο αέρας να διανέμεται στα υλικά ομοιόμορφα. Η στατική σωρός στη συνέχεια κατασκευάζεται σε ύψος από 2.6-3.9 m χρησιμοποιώντας ειδικό μηχάνημα (front-end loader), μπουλντόζα. Ένα στρώμα κάλυψης κόμποστ τοποθετείται πάνω στη λάσπη προκειμένου να γίνουν λίπασμα. Τυπικά, το οξυγόνο παρέχεται από το τράβηγμα του αέρα μέσα από το σωρό με έναν ανεμιστήρα εξάτμισης. Ο αέρας που έχει περάσει μέσα από το σωρό λιπάσματος εξαερίζεται προς την ατμόσφαιρα μέσω ενός φίλτρου λιπάσματος για τον έλεγχο οσμής. (Nelson et al., 2009). Οι θερμοκρασίες στα εσωτερικά τμήματα ενός τέτοιου σωρού είναι συνήθως επαρκείς για να καταστρέψουν ένα σημαντικό αριθμό παθογόνων μικροοργανισμών και ζιζανίων. Ωστόσο, η επιφάνεια των σωρών δεν μπορεί να φθάσει τις επιθυμητές θερμοκρασίες για την καταστροφή των παθογόνων διότι στην περίπτωση «κομποστοποίησης με ρεύμα αέρα» το κόμποστ δεν ανακυκλώνεται όπως στη περίπτωση «κομποστοποίησης σε σωρούς». Μία ακόμη διαφορά των δύο ειδών κομποστοποίησης είναι ότι σε αυτή (Εικόνα 1.3-10) απαιτείται μικρότερη επιφάνεια γης σε σχέση με την κομποστοποίηση σε σωρούς.



Εικόνα 1.3-10. Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης με ρεύμα αέρα
(Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, περιβαλλοντική οργάνωση, 2010)

Κομποστοποίηση σε Βιοαντιδραστήρες

Στην κομποστοποίηση σε βιοαντιδραστήρες τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι κλειστοί βιοαντιδραστήρες στο εσωτερικό των οποίων λαμβάνει χώρα η βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία, το οξυγόνο και τα επίπεδα υγρασίας ελέγχονται πλήρως ανά πάσα στιγμή καθόλη τη διεργασία. Τα συστήματα απαιτούν διαφορετικές συνθήκες για να λειτουργήσουν, μερικά χρειάζονται ελάχιστη προ-επεξεργασία, ενώ άλλα απαιτούν εκτεταμένη προ-επεξεργασία. Παρά το γεγονός ότι η κομποστοποίηση σε βιοαντιδραστήρες είναι γενικά πιο δαπανηρή από ότι τα συμβατικά συστήματα κομποστοποίησης εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως λιγότερη εργαστηριακή επεξεργασία, μειωμένη ανάγκη για έκταση γης, μεγαλύτερη ταχύτητα στην τέλεση της διεργασίας, αποτελεσματική διαδικασία ελέγχου που παρέχει υψηλότερη ποιότητα του τελικού προϊόντος, επιτρέποντας την ευκολότερη χρήση και/ή διαβίβαση στην αντίστοιχη αγορά (Misra et al.,2003).Η κομποστοποίηση σε βιοαντιδραστήρες πραγματοποιείται με τη χρήση αντιδραστήρων οι οποίοι ταξινομούνται σε κάθετους, οριζόντιους, περιστροφικούς και μπορεί να είναι μονών ή πολλαπλών διαμερισμάτων-μονάδων. Οι αντιδραστήρες δύναται να είναι συνεχούς ή διαλείποντος έργου. Οι χρόνοι συγκράτησης εξαρτώνται από τα υλικά τροφοδοτικού αποθέματος και κυμαίνονται από μία έως τέσσερις εβδομάδες.



Εικόνα 1.3-11.Χαρακτηριστικές εικόνες κομποστοποίησης σε βιοαντιδραστήρες
(Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, περιβαλλοντική οργάνωση, 2010)

1.3.2.2. Εμπορικά συστήματα οικιακής κομποστοποίησης

Η οικιακή κομποστοποίηση έχει ήδη εφαρμοστεί σε πολλές χώρες ως μέθοδος διαχείρισης και επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων. Αυτή η μέθοδος έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό ως μέρος της διαχείρισης των απορριμμάτων τους είτε σε πιλοτικό επίπεδο είτε ως μέρος μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής διαχείρισης αποβλήτων. Η κομποστοποίηση οικιακών βιοαποβλήτων αποτελεί μια μέθοδο επεξεργασίας η οποία, προκειμένου να πραγματοποιηθεί, απαιτείται συμμετοχή του κοινού, σωστή ενημέρωσή και καθοδήγηση από τις αρμόδιες αρχές. Η διεργασία πραγματοποιείται με ποικιλία μεθόδων οι οποίες προϋποθέτουν την ύπαρξη η μη ειδικού κάδου κομποστοποίησης ο οποίος κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες μπορεί να παράγει compost υψηλής ποιότητας. Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζονται διαφορετικά συστήματα οικιακής κομποστοποίησης.



Εικόνα 1.3-12. Κομποστοποιητές οικιακής χρήσης
(Οικολογική εταιρεία ανακύκλωσης, περιβαλλοντική οργάνωση, 2010)

Η μέθοδος οικιακής κομποστοποίησης δε διαφέρει καθόλου από τη γενικευμένη μέθοδο καθώς και αυτή χωρίζεται σε 3 κατηγορίες:

- **Κομποστοποίηση σε σωρούς**

Η μέθοδος της κομποστοποίησης σε σωρούς, περιλαμβάνει την συγκέντρωση των προς κομποστοποίηση υλικών σε κατάλληλα επιλεγμένο σημείο εκτός της οικίας (σε ένα χωράφι ή σε ένα κομμάτι του κήπου). Εκεί πραγματοποιείται η διεργασία από τον ίδιο τον κάτοικο, ο οποίος αερίζει τον σωρό αναδεύοντάς τον ανά τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να παρέχει την ποσότητα αέρα που απαιτείται για την διεργασία (Εικόνα 1.3-13).



Εικόνα 1.3-13. Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς
(Οικολογική εναλλακτική πρωτοβουλία, 2009)

- **Επιφανειακή κομποστοποίηση**

Μια παραλλαγή της μεθόδου αποτελεί, η επιφανειακή κομποστοποίηση των υλικών η οποία περιλαμβάνει το άπλωμα τους σε επιφάνεια προκειμένου η φύση να αναλάβει τα υπόλοιπα. Στην περίπτωση αυτή, ο κάτοικος δεν χρειάζεται να συμμετέχει περαιτέρω πέραν του απλώματος του υλικού, καθώς η όλη διεργασία λαμβάνει χώρα φυσικά όπως συμβαίνει στην νεκρή οργανική ύλη που εναποτίθεται στο έδαφος από τα φυτά (Εικόνα 1.3-14).



Εικόνα 1.3-14. Υλικό προς επιφανειακή οικιακή κομποστοποίηση
(diaxeirisi-skoupidiwn, 2010)

- **Υπόγεια κομποστοποίηση**

Ένας άλλος τρόπος κομποστοποίησης, με λιγότερες δαπάνες και φροντίδες, είναι η χώνευση των υλικών σε λάκκους, δηλαδή υπόγεια. Το προς κομποστοποίηση υλικό εναποτίθεται στο έδαφος σε βάθος τουλάχιστον 30cm, πλάτους μισού περίπου μέτρου και μήκους όσο χρειάζεται για την εναπόθεση όλου του διαθέσιμου υλικού. Εκεί λαμβάνει χώρα η διεργασία φυσικά (διάρκεια περίπου 6 μήνες) εμπλουτίζοντας σημαντικά το έδαφος μετά το πέρας της (Εικόνα 1.3-15).



Εικόνα 1.3-15. Υλικό προς υπόγεια οικιακή κομποστοποίηση (DRYWASTE PROJECT, 2012)

1.3.2.3. Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες

Η κατηγορία αυτή, χρησιμοποιεί την αρχή της βιοαποδόμησης των οργανικών οικιακών απορριμμάτων με τη βοήθεια γαιοσκωλήκων. Οι γαιοσκώληκες είναι ζωντανό οργανισμοί που τρώνε και μετατρέπουν τα προς κομποστοποίηση υλικά σε πλούσιες αζωτούχες ενώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λίπανση των φυτών. Έχει υπολογιστεί ότι ένα ποσοστό άνω του 60% των σκουπιδιών ενός ελληνικού νοικοκυριού μπορεί να μετατραπεί σε ένα χρήσιμο λίπασμα για την θρέψη των φυτών και να μην γεμίσει το κάδο και τις χωματερές. Οι γαιοσκώληκες αναπτύσσονται σχετικά γρήγορά όταν υπάρχει αρκετή τροφή αλλά θέλουν:

- χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από 30°C) για να επιζήσουν
- υγρό περιβάλλον
- καλό αερισμό –οξυγόνο- για να ζήσουν και να παράγουν το κόμποστ. Οπότε όσο καλύτερη και συχνότερη ανάδευση υπάρχει τόσο ταχύτερα και καλύτερο προϊόν παράγεται
- όχι πολύ χαμηλό pH
- απουσία χημικών

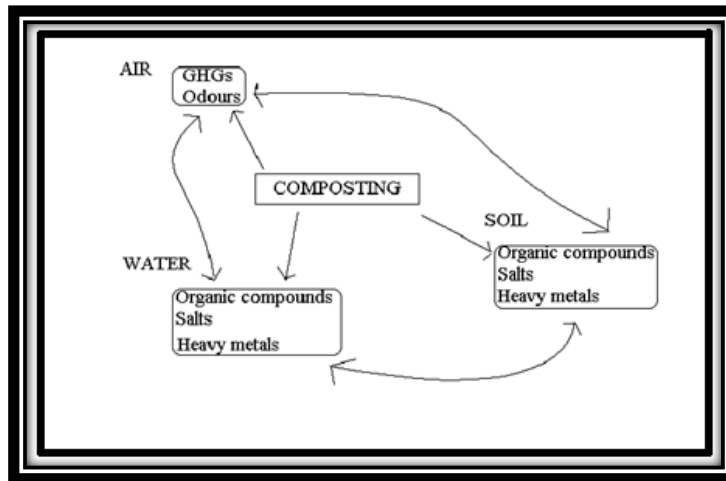
Τα υπάρχοντα συστήματα, συγκροτούνται από έναν συνήθως αντιδραστήρα στο εσωτερικό του οποίου, πραγματοποιούνται οι διεργασίες αποδόμησης του οργανικού υλικού. Κατά την έναρξη χρήσης του συστήματος, οι απαιτούμενοι πληθυσμοί των γαιοσκωλήκων τοποθετούνται επάνω σε ένα προστατευτικό υπόστρωμα. Στη συνέχεια εισέρχεται το οργανικό υλικό που εξαπλώνεται σε όλη την επιφάνεια επί του υποστρώματος. Για κάθε νέα τροφοδοσία οργανικού υλικού δημιουργείται ένα νέο υπόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό διατάσσονται επάλληλες στρώσεις σε όλο το ύψος του κομποστοποιητή. Στο τελευταίο επίπεδο, γίνεται η συγκομιδή του στερεού, ώριμου compost (Εικόνα 1.3-16).



Εικόνα 1.3-16. Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες (DRYWASTE PROJECT, 2012)

1.3.2.4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία

Το κόμποστ κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται ως υψηλής ποιότητας λίπασμα στον τομέα της γεωργίας. Η πρακτική αυτή περιορίζει τη χρήση λιπασμάτων και είναι επικίνδυνα για το έδαφος. Οι αρνητικές επιπτώσεις της κομποστοποίησης συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων (Εικόνα 1.3-17): αέρια του θερμοκηπίου (GHG), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και οσμές. Προκειμένου η διεργασία της κομποστοποίησης να είναι αποτελεσματική αυτά τα αέρια πρέπει να ελέγχονται. Οι κύριες αρνητικές συνέπειες για το έδαφος και τα ύδατα οφείλονται στην εναπόθεση αλάτων και βαρέων μετάλλων.



Εικόνα 1.3-17. Κύριες εκπομπές αερίων κομποστοποίησης (Dubois, González., 2004)

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι πτητικές οργανικές ενώσεις, CO₂, CH₄, NH₃ και H₂S (Peigne&Girardin 2004). Οι ρύποι αυτοί έχουν πολύ σημαντικό κόστος στο περιβάλλον και τείνουν να υποβαθμίσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας, προκαλώντας σοβαρές περιβαλλοντικές αλλαγές. Οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, τον εξαερισμό και τη βιολογική δραστηριότητα του κόμποστ. Τα αέρια του θερμοκηπίου (CO₂ και CH₄) παγιδεύουν τη θερμική ενέργεια που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και συνεπώς αυξάνεται η παγκόσμια θερμοκρασία της Γης (Gardner et al. 1993). Η συμβολή της κομποστοποίησης στην υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, π.χ. θερμική επεξεργασία. Εκτός από το τελευταίο, το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα κατά τη διεργασία είναι για σύντομο κύκλο όσο τα βιογενή υλικά διασπώνται. (Tsiliyannis., 1999).

Υδατική ρύπανση

Οι κύριοι ρύποι των υδάτων προκαλούνται από την έκπλυση του εδάφους κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης. Επομένως, η μόλυνση των υδάτινων συστημάτων περιλαμβάνει βαρέα μέταλλα, διάφορες οργανικές ενώσεις, π.χ. φαινόλες, PAHs, PCBs, κλπ. και τα άλατα, π.χ. NO₃NH₄⁺ (Peigne & Girardin, 2004).

Εδαφική ρύπανση

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

1.3.3. Αναερόβια χώνευση

Ως αναερόβια χώνευση ορίζεται η βιολογική διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη αποσυντίθεται με χρήση αναερόβιων μικροοργανισμών λόγω απουσίας οξυγόνου. Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί υποβαθμίζουν την οργανική ύλη παράγοντας κυρίως διοξείδιο του άνθρακα(CO_2), μεθάνιο(CH_4), νερό(H_2O) και σταθεροποιημένο οργανικό υλικό (κόμποστ). Κατά τη διεργασία το μεθάνιο CH_4 μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η αναερόβια χώνευση (ΑΧ) χρησιμοποιείται σε πολλές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για την υποβάθμιση και τη σταθεροποίηση της ιλύος και είναι η κύρια βιολογική διεργασία που λαμβάνει χώρα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η ΑΧ έχει χρησιμοποιηθεί διεθνώς για δεκαετίες, κυρίως στις αγροτικές περιοχές, για την παραγωγή βιοαερίου ως καύσιμο μαγειρέματος και φωτισμού. Στις μέρες μας η ΑΧ χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας που θερμαίνει το νερό σε κατάλληλες θερμοκρασίες για την ξήρανση οργανικής ύλης όπως η ιλύς και τα οικιακά απόβλητα. Επίσης, στην Κίνα και την Ινδία λειτουργούν πολλά μικρής κλίμακας αναερόβια χωνευτήρια για την επεξεργασία αποβλήτων και την παραγωγή φυσικού αερίου. Τις τελευταίες δεκαετίες, η Ευρώπη έχει αναπτύξει μεγάλης κλίμακας κεντρικά συστήματα για την επεξεργασία των στερεών αστικών αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3.3.1. Οι εφαρμογές της ΑΧ στην κοινωνία

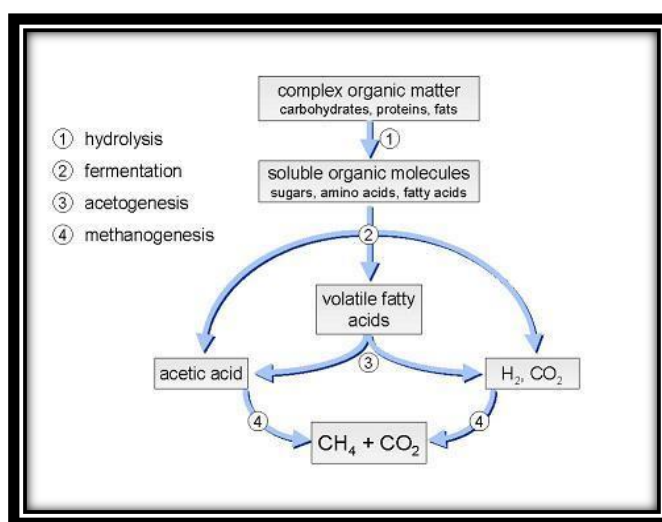
Η διεργασία της ΑΧ εφαρμόζεται σε χώρες με παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων κοπριάς ζώων ανά έτος και διαθέτει πολύ αυστηρούς κανόνες για την ποιότητα του σταθεροποιημένου τελικού προϊόντος. Μια εφαρμογή είναι η επεξεργασία της ιλύος που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία των αστικών λυμάτων η οποία είναι κοινή σε πολλές χώρες, ειδικά της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το σύστημα χρησιμοποιείται ευρέως σε χιλιάδες εγκαταστάσεις στο βιομηχανοποιημένο κόσμο και συνδέεται με τα υπάρχοντα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων. Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση και τη μείωση του τελικού ποσού της ιλύος. Μια ακόμη σημαντική χρήση της διεργασίας της ΑΧ εμφανίζεται σε βιομηχανίες τροφίμων και γεωργικών προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, ένας μεγάλος αριθμός εγκαταστάσεων ΑΧ προεπεξεργάζονται το οργανικό φορτίο των βιομηχανικών λυμάτων που προκύπτουν από ποτά, τρόφιμα, κρέας, πολτό, χαρτί κ.λπ., πριν τη διάθεση του τελικού προϊόντος. Το βιοαέριο, όπως στις περισσότερες διεργασίες ΑΧ χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας για την όλη διεργασία. Τα περιβαλλοντικά οφέλη και το υψηλό κόστος εναλλακτικών προτιμήσεων θα αυξήσει την εφαρμογή αυτής της διεργασίας στο μέλλον.

Τέλος, η επεξεργασία στην πηγή που διαχωρίζει το οργανικό κλάσμα από τα στερεά οικιακά απόβλητα είναι μία από τις εφαρμογές που εμφανίζουν υψηλό δυναμικό σε όλο τον κόσμο σήμερα. Στις μέρες μας εμφανίζονται πολλές τέτοιες εγκαταστάσεις

που λειτουργούν με συνολική χωρητικότητα σχεδόν πέντε εκατομμύρια τόνους και περισσότερο. Η κύρια προσπάθεια αυτής της εφαρμογής είναι η μείωση της ροής των οργανικών αποβλήτων σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας όπως η αποτέφρωση ή η υγειονομική ταφή που θεωρούνται ως δύο από τις μεθόδους με τη μεγάλη αρνητική επίδραση στο περιβάλλον.

1.3.3.2. Περιγραφή της διεργασίας

Η αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται από ένα σύνολο μικροοργανισμών που λειτουργούν μαζί. Τα τέσσερα βήματα της διεργασίας είναι: υδρόλυση, οξυδογένεση, ακετογένεση και μεθανογένεση (Εικόνα 1.3-18) :



Εικόνα 1.3-18. Βιοχημικά στάδια αναερόβιας χώνευσης (University of Iowa., 2009)

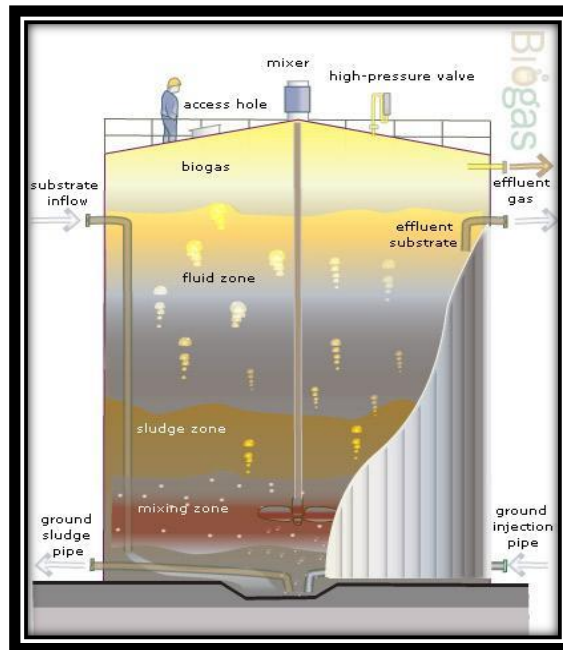
- 1) Μεγάλα πρωτεϊνικά μακρομόρια, λίπη και πολυμερή υδατανθράκων (όπως κυτταρίνη και άμυλο) διασπώνται με υδρόλυση σε αμινοξέα, λιπαρά οξέα και σάκχαρα.
- 2) Τα προϊόντα από την προηγούμενη διεργασία υπόκεινται σε ζύμωση έτσι ώστε να σχηματίσουν 3,4,5-άνθρακα λιπαρά οξέα, όπως το γαλακτικό, βουτυρικό, προπιονικό και βαλερικό οξύ.
- 3) Τα βακτήρια καταναλώνουν αυτά τα προϊόντα ζύμωσης και παράγουν οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο.
- 4) Τέλος, οι μεθανογόνοι οργανισμοί καταναλώνουν το οξύ, το υδρογόνο και κάποια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου.

Προκειμένου να λάβει χώρα η μεθανογένεση πρέπει να σταθεροποιηθούν οι αναερόβιες συνθήκες. Οι αντιδραστήρες που χρησιμοποιούνται για τη διεργασία πρέπει να είναι καλά σφραγισμένοι, κάτι που θα επιτρέψει τη συλλογή βιοαερίου για τη μετατροπή του σε ενέργεια και θα μειώσει τις εκπομπές μεθανίου κατά τη διάρκεια

της διεργασίας της AX. Εκτός από μεθάνιο (CH₄) και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) παράγονται και άλλοι ρύποι λιγότερο επιβλαβείς όπως υδρόθειο (H₂S) και αμμωνία (NH₃) σε πολύ μικρότερες ποσότητες (<1 % κατ' όγκο). Η παραγωγή αυτών των αερίων στο βιοαέριο εξαρτάται από το περιεχόμενο του θείου και του αζώτου στην πρώτη ύλη. Μια πολύ σημαντική παράμετρος για την αναερόβια χώνευση είναι οι διατροφικές ανάγκες των βακτηρίων τα οποία χρειάζονται την κατάλληλη τροφή προκειμένου να υποβαθμίσουν τα υποστρώματα των βιοαποβλήτων. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι ο άνθρακας και το άζωτο ωστόσο, αυτά θα πρέπει να παρέχονται στην κατάλληλη ποσότητα. Σε αντίθετη περίπτωση, η αμμωνία φτάνει στο επίπεδο που θα μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η κατάλληλη αναλογία άνθρακα/αζώτου (C/N) εξαρτάται από τη χώνευση των πηγών άνθρακα και αζώτου, επομένως, η κατάλληλη (C/N) για τα βιολογικά απόβλητα μπορεί να είναι διαφορετική για άλλες πρώτες ύλες όπως η κοπριά ή η ιλύς των λυμάτων.

1.3.3.3. Τα στάδια της AX

Η συνολική διεργασία AX (Εικόνα 1.3-19) μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα στάδια: προεπεξεργασία, χώνευση απορριμμάτων, ανάκτηση φυσικού αερίου και επεξεργασία των υπολειμμάτων. Τα περισσότερα συστήματα χώνευσης απαιτούν προεπεξεργασία των αποβλήτων έτσι ώστε να λαμβάνεται ομοιογενής πρώτη ύλη. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει το διαχωρισμό των υλικών που υπόκεινται σε χώνευση από αυτά που δεν υπόκεινται και τον τεμαχισμό των προς χώνευση υλικών. Ο διαχωρισμός εξασφαλίζει την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ή ανακυκλώσιμων υλικών όπως γυαλί, μέταλλα, πέτρες κλπ.. Εάν δεν μπορεί να επιτευχθεί διαχωρισμός στην πηγή, μπορεί να πραγματοποιηθεί μηχανική διαλογή ακόμη και αν το τελικό προϊόν δεν έχει την ίδια ποιότητα που θα είχε εάν γινόταν διαλογή στην πηγή. Τα απόβλητα τεμαχίζονται, πριν τροφοδοτηθούν στο χωνευτήρα. Μέσα σε αυτόν, η παροχή αραιώνεται έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή περιεκτικότητα σε στερεά και παραμένει εκεί για συγκεκριμένο χρόνο διατήρησης.



Εικόνα 1.3-19. Περιγραφή βασικής διεργασίας AX (Southern energy network., 2009)

Για την αραίωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα διαφόρων ειδών νερού όπως το καθαρό νερό, η ιλύς καθαρισμού λυμάτων ή το επανακυκλοφορούν υγρό από την έξοδο του χωνευτήρα. Προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δοχείου χώνευσης απαιτείται η τοποθέτηση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το τελικό παραγόμενο προϊόν (βιοαέριο) είναι επεξεργασμένο έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή ποιότητα αερίου αγωγού. Οι χωνευτήρες κυμαίνονται από απλούς, με άδεια κυλινδρικά μεταλλικά δοχεία χωρίς κινούμενα μέρη έως τους πλήρως αυτοματοποιημένους για ολοκληρωμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι απλούστεροι χωνευτήρες είναι εύκολο να διατηρηθούν αλλά απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και είναι λιγότερο αποτελεσματικοί. Οι πιο σύνθετοι, από την άλλη πλευρά, έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν ανεπαίσθητες αλλαγές στις συνθήκες όπως μπορεί να συμβεί με μικρές αλλαγές στην ταχύτητα τροφοδοσίας πρώτης ύλης, τη συγκέντρωση και την ποιότητα.

1.3.3.4. Συστήματα AX σε οικιακή κλίμακα

Η αναερόβια χώνευση οικιακών ΒΑ, μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οικιακό επίπεδο ωστόσο η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ακόμα σημαντικά προβλήματα ως προς την ορθή υλοποίησή της. Η πολυπλοκότητα της διεργασίας είναι αυτή η οποία την καθιστά ακόμα μη διαδεδομένη ανά τον κόσμο εκτός από την Κίνα στην οποία η μέθοδος εφαρμόζεται εδώ και αρκετά χρόνια. Μέχρι στιγμής έχουν αναπτυχθεί αρκετά οικιακά συστήματα τα οποία όμως παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα όσον αφορά την λειτουργικότητά τους. Τα συστήματα αυτά προορίζονται για την θέρμανση μιας οικίας, μέχρι και την καθολική ηλεκτροδότησή της. Μερικά από αυτά τα συστήματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας της εταιρείας Shenzhen Puxin Technology Co. Ltd

Το κυρίως σύστημα αποτελείται από ένα 2m³ φορητό χωνευτήρα, ένα δοχείο για αποθήκευση φυσικού αερίου, μια αντλία αερίου, ένα ηλιακό φορτιστή και από ένα πιεσόμετρο. Ο φορητός χωνευτήρας αποτελείται κυρίως από μια άνω δεξαμενή και μία κάτω δεξαμενή (Εικόνα 1.3-20).



Εικόνα 1.3-20. Σύστημα Αναερόβιας χώνευσης της εταιρείας Puxin Technology (Puxin Technology Co. Ltd, 2001)

Το συνολικό βάρος του συστήματος είναι 90 κιλά ενώ εναποτίθεται στο έδαφος. Είναι κατάλληλο για χρήση αποβλήτων τροφίμων, γρασίδι, φύλλα και άχυρα ως υλικό ζύμωσης. Επιπλέον, έχει υψηλό ποσοστό της παραγωγής φυσικού αερίου: η παραγωγή φυσικού αερίου μπορεί να φθάσει 1,6-2 m³/ ημέρα.

Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας στην Κίνα

Σήμερα στην Κίνα λειτουργούν περισσότεροι από 5.000.000 οικιακοί αναερόβιοι χωνευτήρες. Αυτοί, παράγουν βιοαέριο το οποίο είναι απαραίτητο για κάθε σπίτι καθώς και λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται στη γεωργία.



Εικόνα 1.3-21. Χρήση βιοαερίου για οικιακές συσκευές (Anaerobic digestion in rural China, 2009)

Τα απόβλητα που χρησιμοποιούνται για την αναερόβια χώνευση διαφέρουν μεταξύ των περιφερειών ανάλογα με τον τύπο της γεωργικής παραγωγής. Αυτά θα μπορούσαν να είναι τα ανθρώπινα και τα ζωικά απόβλητα, καθώς και γεωργικών υποπροϊόντων, όπως στελέχη δημητριακών (κυρίως ρύζι), γλυκιά πατάτα και τα ζιζάνια.

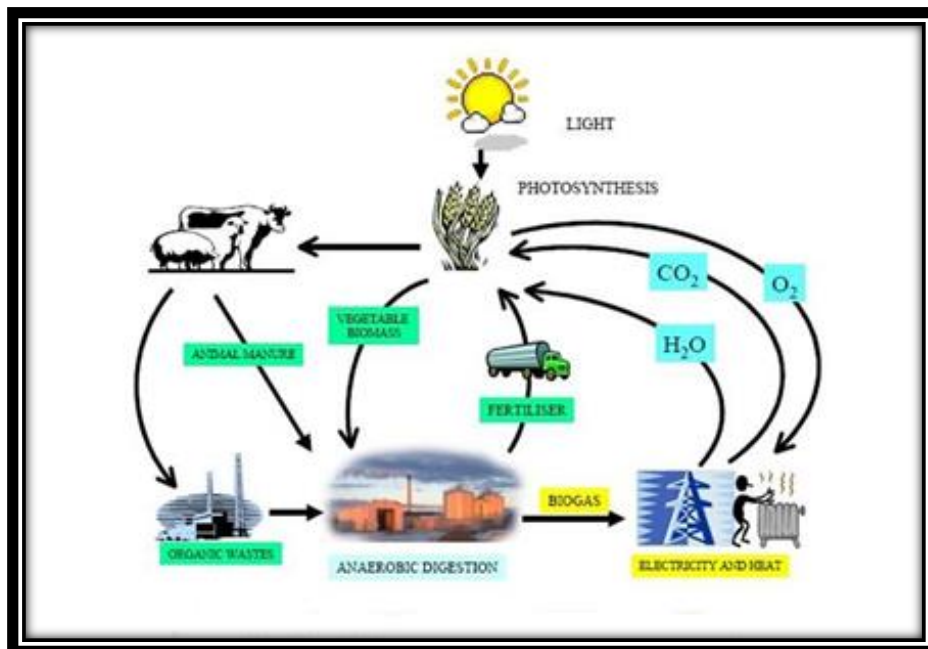
Σήμερα αυτοί οι αντιδραστήρες έχουν αναπτυχθεί. Ο θάλαμος εκροής και ο αντιδραστήρας αποβλήτων συνδέονται. Σύνδεση υπάρχει και ανάμεσα στις τουαλέτες με τα χοιροστάσια τα οποία συνδέονται άμεσα με τον εισρέοντα λιμένα κάτι που δεν υπήρχε παλαιότερα. Τα απόβλητα αποχέτευσης αφαιρούνται από τον αντιδραστήρα από την κορυφή της υδάτινης στήλης. Κατά συνέπεια συλλέγεται το υπερκείμενο νερό παρά η λάσπη. Επιπλέον, καμία μίξη του συστήματος δεν εμφανίζεται όταν αφαιρούνται τα υγρά απόβλητα. Σε μερικά συστήματα, ένας κάθετος κυλινδρικός λιμένας προστίθεται στην πλευρά του λιμένα αποβλήτων αποχέτευσης. Τα υγρά απόβλητα αφαιρούνται με τράβηγμα του λιμένα. Η συγκεκριμένη ράβδος είναι ένας ξύλινος άξονας με έναν δίσκο μετάλλου στο κατώτατο σημείο. Σε συνδυασμό με την απλοποίηση της αφαίρεσης των αποβλήτων είναι δυνατή η τοποθέτηση ενός κουβά κάτω από τον λιμένα αποβλήτων έτσι ώστε η αφαίρεση των αποβλήτων να προκαλεί ανάμειξη μέσα στον αντιδραστήρα (US EPA, 2008). Στο τυποποιημένο σχέδιο του αντιδραστήρα, ο όγκος του διαθέσιμου χώρου επάνω από τον αντιδραστήρα είναι καθορισμένος, αν και ο όγκος αυξάνεται ελαφρώς με την αυξανόμενη πίεση δεδομένου ότι το υγρό επίπεδο λιμένων αποβλήτων αποχέτευσης κινείται πάνω-κάτω με τις αλλαγές πίεσης. Εάν σε κάποιες περιπτώσεις τα απόβλητα αποχέτευσης δεν αφαιρούνται από το σύστημα τότε ο όγκος στον αντιδραστήρα και ο όγκος του διαθέσιμου χώρου μειώνονται. Κατά συνέπεια, η πίεση του αερίου που παραδίδεται στο σπίτι μεταβάλλεται (Henderson., 2010). Η κατασκευή αυτών των αντιδραστήρων γίνεται από πεπειραμένους Κινέζους τεχνικούς που εκπαιδεύονται σε κρατικό επίπεδο για την δημιουργία αυτού του τύπου των οικιακών εγκαταστάσεων.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται από μεθάνιο σε ποσοστό 60%. Η παραγωγή βιοαερίου περιέχει στερεά υπολείμματα 0.25 έως 0.3 m³ βιοαερίου/kg κάτι που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και ποικίλλει κατά τη διάρκεια του έτους ακόμη και της ημέρας. Η πίεση του αερίου από τα συστήματα κυμαίνεται από 0 έως 80 εκατοστόμετρα νερού, και κάθε σύστημα έχει έναν μετρητή πίεσης. Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα και την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία καλύπτει σχεδόν το 60% των ενεργειακών αναγκών των κατοικιών. τα τελικά προϊόντα της διεργασίας, χρησιμοποιούνται ως λίπασμα ή ως συμπλήρωμα σίτισης για τους χοίρους, τα σκουλήκια, κ.λπ.

1.3.3.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ΑΧ

Η αναερόβια χώνευση των οργανικών αποβλήτων παρέχει άμεσα και έμμεσα θετικά περιβαλλοντικά οφέλη (Εικόνα 1.3-22):

- Αύξηση της ανακύκλωσης και εξοικονόμησης πόρων.
- Εξυγίανση των αποβλήτων και της κοπριάς και το σπάσιμο της αλυσίδας μετάδοσης των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την εκτόπιση των ορυκτών καυσίμων από τις εκπομπές CO₂.
- Λιγότερη ρύπανση του αέρα από τις εκπομπές μεθανίου και αμμωνίας και μικρότερη διαρροή των θρεπτικών αλάτων στο έδαφος και στα επιφανειακά ύδατα.



Εικόνα 1.3-22. Κύκλος ζωής ΑΧ
(University of Iowa.,2009)

Η αναερόβια χώνευση έχει περιορισμένη επίπτωση στο περιβάλλον η οποία σχετίζεται με την παραγωγή βιοαερίου:

- Κίνδυνος οσμών: επιλύεται μέσω της καύσης εύοσμων συστατικών ή με άλλες τεχνικές επεξεργασίας οσμής.
- Κίνδυνος έκρηξης: επιλύεται με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού.

1.3.3.6. Οι κύριες επιπτώσεις διαχείρισης υπολειμμάτων της ΑΧ

Χημική Ρύπανση

Οι χημικές πτυχές της διαχείρισης ποιότητας του κόμποστ σχετίζονται με την παρουσία:

- Βαρέων μετάλλων και άλλων ανόργανων προσμείξεων
- Οργανικών ρύπων
- Μακροστοιχείων

Συνήθως, τα βαρέα μέταλλα στην ΑΧ προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Τα οικιακά λύματα περιέχουν μέταλλα από τα απόβλητα της διεργασίας και τη διάβρωση των σωλήνων νερού. Γεωργικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν οργανικούς ρύπους, όπως υπολείμματα φυτοφαρμάκων, αντιβιοτικά και άλλα φάρμακα. Βιομηχανικά και οικιακά οργανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν αρωματικούς, αλειφατικούς και αλογονικούς υδρογονάνθρακες, καθώς και πληθώρα φυτοφαρμάκων (Al Seadi., 2003).

Βιολογική ρύπανση

Ανάλογα με την προέλευσή τους, γεγονός που διαφέρει από τη μια περιοχή στην άλλη και από καιρό σε καιρό, διάφορα οργανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν επικίνδυνα συστατικά τα οποία να οδηγούν στη μετάδοση μολυσματικών νόσων κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας.

Περιβαλλοντική ρύπανση

Το προϊόν της ΑΧ θα πρέπει να είναι καθαρό, διαφορετικά, θα μπορούσε να προκαλέσει ακόμη μεγαλύτερη ρύπανση στο περιβάλλον, να αυξήσει το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων της ΑΧ ακόμα και να επηρεάσει τη λειτουργική σταθερότητα της μονάδας αυτής. Οι πιο συχνές φυσικές ακαθαρσίες είναι:

- πλαστικό και καουτσούκ
- μέταλλο
- γυαλί και κεραμικά
- άμμος και πέτρες

1.3.4. Θερμικές μέθοδοι

Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των οικιακών απορριμμάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος του μεικτού κλάσματος των αποβλήτων σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας. Έτσι, εκτός από τις μεθόδους οικιακής επεξεργασίας που έχουν ήδη καταγραφεί, (κομποστοποίηση και Α.Χ.) υπάρχουν και άλλες επιπρόσθετες μέθοδοι που ονομάζονται θερμικές.

Η θερμική επεξεργασία είναι ο όρος που περιγράφει όλες τις τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων, που χρησιμοποιούνται για την καύση ή τη θέρμανση διαφόρων ειδών αποβλήτων. Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες οι οποίες διαφέρουν ανάλογα:

- Την ειδική επεξεργασία για κάθε απόβλητο
- Την ποσότητα οξυγόνου
- Τις θερμοκρασίες επεξεργασίας

Οι θερμικές μέθοδοι για τη διαχείριση των αποβλήτων στοχεύουν στη μείωση του όγκου των αποβλήτων, τη μετατροπή των αποβλήτων σε μη επιβλαβή υλικά και την αξιοποίηση της λανθάνουσας ενέργειας ως θερμότητα, ατμό, ηλεκτρική ενέργεια ή το καύσιμο υλικό. Περιλαμβάνουν όλες τις διαδικασίες για τη μετατροπή του περιεχομένου των αποβλήτων σε υγρό, αέριο και στερεό προϊόν με ταυτόχρονη ή επακόλουθη απελευθέρωση της θερμικής ενέργειας. (Moustakas, 2010).

Τα οικιακά ΒΑ μπορούν να επεξεργαστούν με μια εκ των υφιστάμενων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας ως μέρος της συνολικής ποσότητας των ΑΣΑ. Τα οικιακά ΒΑ συλλέγονται μαζί με τα υπόλοιπα οικιακά απορρίμματα και μεταφέρονται σε κεντρικές εγκαταστάσεις για την παραγωγή ενέργειας.

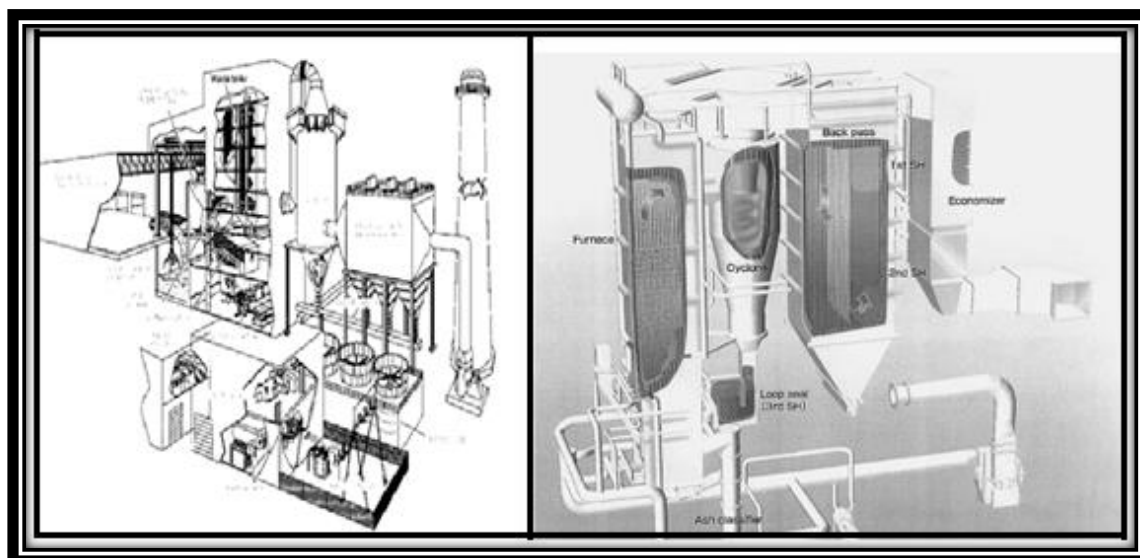
1.3.4.1. Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση (καύση) των υλικών, με βάση τον άνθρακα, σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο και σε θερμοκρασίες τυπικά υψηλότερες από 850°C, παράγει ένα απόβλητο αέριο το οποίο αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O). Επιπλέον όμως παρατηρούνται εκπομπές κι άλλων αερίων όπως οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου, κλπ. Κατά τη διεργασία αυτή το ανόργανο περιεχόμενο των αποβλήτων μετατρέπεται σε τέφρα. Κατά την πλήρη καύση παρατηρείται περίσσεια οξυγόνου και κατά συνέπεια ο στοιχειομετρικός συντελεστής οξυγόνου στην αντίδραση καύσης είναι υψηλότερος από την τιμή 1. Στη θεωρία, εάν ο συντελεστής είναι ίσος με 1, δεν παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και η μέση θερμοκρασία του αερίου είναι 1200°C.

Οι συμβατικές μονάδες αποτέφρωσης χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Οι μονάδες στις οποίες απαιτείται ελάχιστη προεπεξεργασία των αποβλήτων (mass-

fired) και οι μονάδες που λειτουργούν με πολύ συγκεκριμένα κλάσματα αποβλήτων που προκύπτουν από επεξεργασμένα ΑΣΑ, όπως είναι το Refuse-Derived Fuel (RDF) και το Solid Recovered Fuel (SRF).

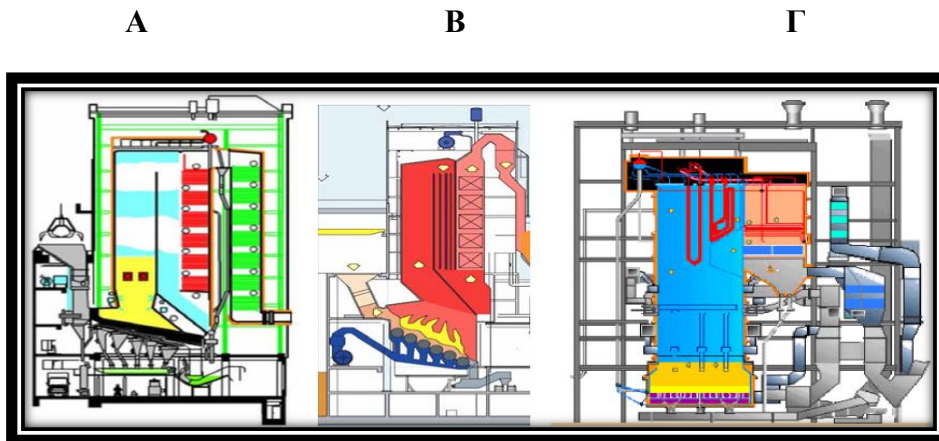
Οι μονάδες του πρώτου τύπου (Εικόνα 1.3-23, αριστερά) αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων μονάδων ανά τον κόσμο με κύριο πλεονέκτημα την εισαγωγή των απορριμμάτων στη μονάδα καύσης χωρίς καμία προεπεξεργασία. Το ενεργειακό περιεχόμενο των απορριμμάτων ωστόσο, καθώς δεν υπάρχει προεπεξεργασία τους, εξαρτάται από το κλίμα, τη συγκεκριμένη περίοδο και τη σύστασή τους. Οι μονάδες του δεύτερου τύπου (Εικόνα 1.3-23, δεξιά) χρησιμοποιούν μίγμα συγκεκριμένων κλασμάτων των ΑΣΑ, το οποίο προέρχεται από επεξεργασία των απορριμμάτων σε μονάδες μηχανικής διαλογής και περιλαμβάνει υλικά, όπως οργανικά, χαρτί, υφάσματα, δέρμα, ελαστικά κλπ. Οι μονάδες αυτές, (RDF/SRF) προϋποθέτουν τη μονάδα παραγωγής RDF/SRF (Μουστάκας, 2011).



Εικόνα 1.3-23. Τυπική διατομή εργοστασίου αποτέφρωσης απορριμμάτων τύπου mass-fired, με ανάκτηση ενέργειας (αριστερά), Τυπική διατομή μονάδας τύπου RDF-fired (δεξιά)
(Global environment center foundation, 2009)

Υπάρχουν 3 είδη αποτεφρωτήρων. Οι συνηθέστεροι από αυτούς διακρίνονται στην Εικόνα 1.3-24 και είναι:

- Κινούμενων σχαρών
- Περιστρεφόμενου κλιβάνου
- Ρευστοποιημένης κλίνης



Εικόνα 1.3-24. Οι τρεις τύποι αποτεφρωτήρων (Α) κινούμενων σχαρών, (Β) περιστρεφόμενου κλιβάνου, (Γ) ρευστοποιημένης κλίνης (Thermal methods of municipal waste treatment, 2009).

Πιο αναλυτικά:

- **Αποτεφρωτήρας κινούμενων σχαρών**

Ο αποτεφρωτήρας αυτός αποτελείται από έναν κλιβάνο και μια σειρά κινούμενων σχαρών. Οι σχάρες, είναι στερεωμένες στα τοιχώματα της εστίας καύσης, επάνω σε φέροντα μηχανισμό και εκτελούν τις εξής λειτουργίες:

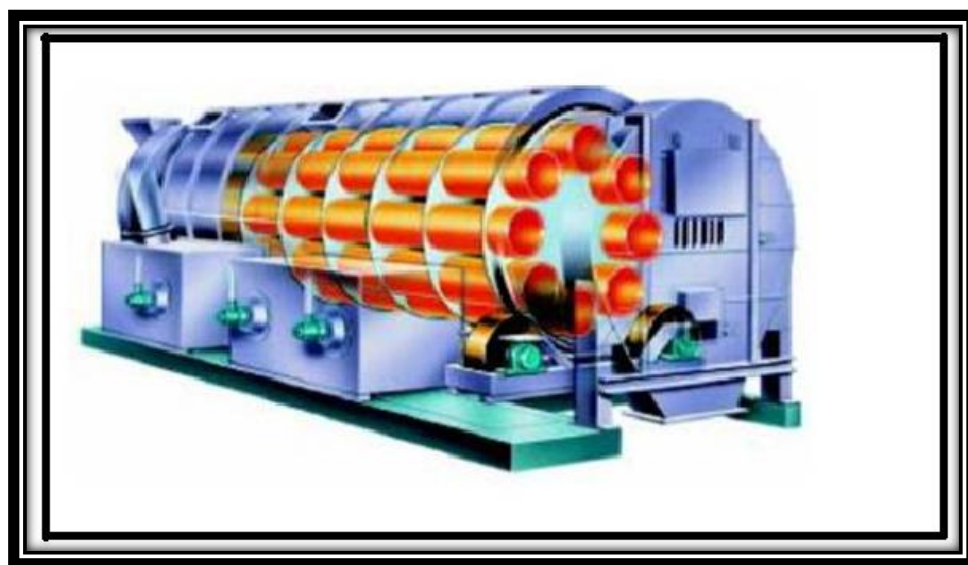
- ❖ μεταφορά των στερεών αποβλήτων
- ❖ επίτευξη ομοιόμορφης παροχής αέρα
- ❖ αναμόχλευση των υλικών στη ζώνη κύριας καύσης
- ❖ μεταφορά της παραγόμενης τέφρας

Η θερμοκρασία λειτουργίας του κλιβάνου είναι από 750°C έως 1000°C. Το απαιτούμενο για την καύση οξυγόνο κυκλοφορεί ομοιόμορφα με τη χρήση φυσητήρων και ανεμιστήρων κάτω και πάνω από τις σχάρες. Οι κινούμενες σχάρες έχουν σχεδιαστεί για την αύξηση της ροής του αέρα στο εσωτερικό τη μάζας των αποβλήτων προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο πλήρης καύση. Η μεγάλη περίσσεια (της τάξης του 100%) του αέρα που απαιτείται για την ικανοποιητική αποδοτική καύση των αποβλήτων σε αυτές τις καμίνους έχει δύο κύρια μειονεκτήματα: την απώλεια ενέργειας και την ανάγκη για ύπαρξη λέβητα μεγαλύτερου όγκου. (Bontoux., 1999). Πλέον όμως ωστόσο, το πρώτο μειονέκτημα αντιμετωπίζεται με επιτυχία εφόσον οι σύγχρονοι αποτεφρωτήρες είναι εξοπλισμένοι με ειδικούς λέβητες για την παραγωγή ατμού. Έτσι, γίνεται πραγματοποιείται αξιοποίηση της παραγόμενης θερμότητας και ανακτάται ενέργεια, αφού ο παραγόμενος ατμός χρησιμοποιείται είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος είτε ως πηγή θέρμανσης.

Οι σχάρες πρέπει να επικαλύπτονται με υλικό υψηλής αντοχής σε μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε θερμικές και χημικές επιδράσεις. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίδεται στην ανθεκτικότητά τους έναντι στο θείο και το χλώριο, τα οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούν έντονες διαβρωτικές συνθήκες.

- **Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου**

Ο αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου για τη μαζική αποτέφρωση των αποβλήτων (Εικόνα 1.3-25) δεν είναι τόσο δημοφιλής για τη μαζική αποτέφρωση των αποβλήτων στην Ευρώπη, αλλά ωστόσο χρησιμοποιείται συνήθως για την αποτέφρωση των επικίνδυνων αποβλήτων. Τα απόβλητα περιστρέφονται σε έναν κυλινδρικό κλίβανο προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ανάμιξή τους και να επιτευχθεί έτσι ομοιόμορφη καύση. (Bontoux., 1999).

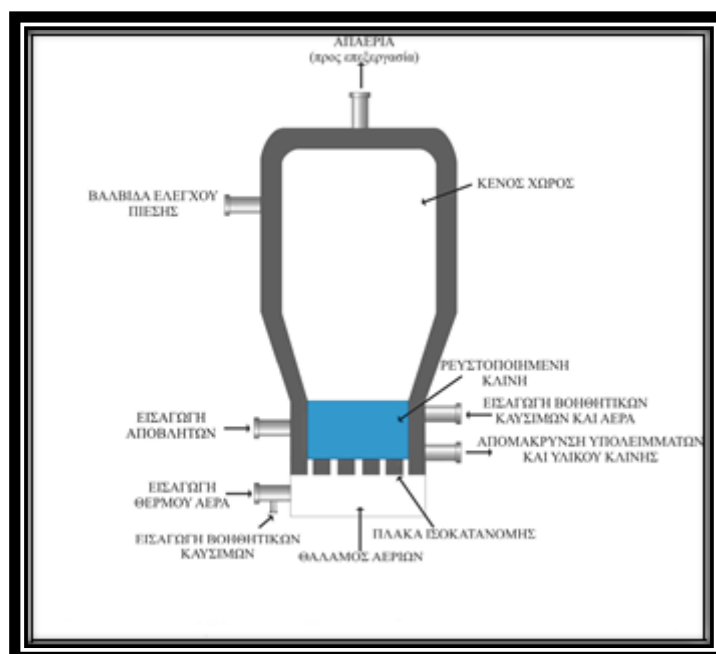


Εικόνα 1.3-25. Αποτεφρωτήρας περιστρεφόμενου κλιβάνου
(Thermal methods of municipal waste treatment, 2009)

Ο κλίβανος αποτελείται από το σύστημα υποδοχής, το δοσομετρικό σύστημα, τον περιστροφικό κύλινδρο, το σύστημα παροχής αέρα, τον επιπλέον καυστήρα, το θάλαμο μετάκαυσης και το σύστημα απομάκρυνσης της σκόνης και της τέφρας. Το απόβλητο εισέρχεται στον κλίβανο όπου αναδεύεται και υφίσταται θερμική επεξεργασία. Ο κλίβανος πρέπει να είναι επενδυμένος με πυρίμαχα υλικά, ενώ απαιτείται συνεχής και σταθερή παροχή αποβλήτων. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον κλίβανο κυμαίνεται από 800-1400°C και η αποτελεσματική καύση επιτυγχάνεται με κατάλληλο συνδυασμό της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής των αποβλήτων. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερος χρόνος παραμονής απαιτείται και αντιστρόφως. Λόγω του γεγονότος ότι ο χρόνος παραμονής των παραγόμενων αερίων στον κλίβανο είναι μικρός, για να επιτευχθεί πλήρης καύση τους, τοποθετείται θάλαμος μετάκαυσης. Τα υπολείμματα του κλιβάνου οδηγούνται μέσω χοάνης στο σύστημα ψύξης (Γιδαράκος, 2006).

• **Αποτεφρωτήρας Ρευστοποιημένης κλίνης**

Σε ένα στρώμα άμμου (κλίνη) εισάγεται το προς επεξεργασία ρεύμα αποβλήτων. Κάτω από το στρώμα αυτό διοχετεύεται αέρας με παροχή τέτοια, ώστε να επιτυγχάνεται αιώρηση ολόκληρης της κλίνης και θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία ανάφλεξης των υφιστάμενων ρύπων. Λαμβάνει χώρα εξάτμιση και καταστροφή των οργανικών ρύπων λόγω του παρεχόμενου O₂, των έντονων συνθηκών ανάμιξης και της αυξημένης θερμοκρασίας (Εικόνα 1.3-26).



Εικόνα 1.3-26. Αποτεφρωτήρας ρευστοποιημένης κλίνης (LaGrega et al., 2001)

Με τον συγκεκριμένου τύπου αποτεφρωτήρα, αποφεύγεται η ύπαρξη τοπικών θερμοκρασιακών διαφορών με αποτέλεσμα, να μειώνεται η εκπομπή αέριων ρύπων που δημιουργούνται λόγω της ατελούς καύσης, η οποία προκαλείται από τις τοπικές διαφορές θερμοκρασίας. Επιπλέον, δύναται να αξιοποιηθούν ενεργειακά καύσιμα πλούσια σε τέφρα και υγρασία. Τέλος, αυξάνεται ο βαθμός μετατροπής του καυσίμου ενώ, γίνεται πιο αποδοτική αξιοποίηση του αέρα με αποτέλεσμα οι απαιτήσεις σε περίσσεια αέρα είναι μικρότερες (55% έναντι του συνηθέστερου 100%) (Yassin et al., 2009).

1.3.4.1.1. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Διοξίνες και φουράνια

Ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα αφορά στις διοξίνες και τα φουράνια που εκπέμπονται από τις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι έχει αποδειχθεί πως αυτές οι χημικές ουσίες προκαλούν καρκίνο σε πολλά θηλαστικά, όταν απορροφώνται σε μεγάλες ποσότητες από τους οργανισμούς (Bontoux, 1999).

Βαρέα μέταλλα και τα άλατά

Τα βαρέα μέταλλα δεν γίνεται να καταστραφούν, ακόμη και μετά από την καύση, κι έτσι καταλήγουν ως κατάλοιπα. Προκειμένου να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, υπάρχουν δύο επιλογές. Η πρώτη και προτιμότερη επιλογή, είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αφαίρεσή τους από τα απόβλητα πριν από την αποτέφρωση. Επειδή το πεδίο εφαρμογής για την πρώτη επιλογή είναι περιορισμένο, η δεύτερη επιλογή είναι η μείωση της βιοδιαθεσιμότητάς τους (Bontoux, 1999).

Εκπομπές CO₂ και η υπερθέρμανση του πλανήτη

Η αποτέφρωση των αποβλήτων παράγει μεγάλες ποσότητες CO₂. Αυτό το αέριο κατέχει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά η συμβολή της αποτέφρωσης σε αυτό το φαινόμενο είναι κάτι που θα συζητηθεί στο μέλλον. Είναι σίγουρο πάντως ότι οι εκπομπές αυτές θα πρέπει να ελέγχονται στο μέλλον, ώστε να μην προκαλούν δυσάρεστα και επιβλαβή φαινόμενα, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη.

NO_x, SO_x, άλλες εκπομπές και έλεγχος των εκπομπών

Έχει παρατηρηθεί, κατά τη διάρκεια όλων αυτών των ετών όπου η τεχνολογία δραστηριοποιείται στον τομέα της επεξεργασίας των αποβλήτων, ότι οι συνθήκες καύσης επηρεάζουν το είδος των εκπομπών κατά τη διάρκεια αυτής της διεργασίας. Για παράδειγμα, καύση σε υψηλή θερμοκρασία (>1400°C) αυξάνει την εκπομπή θερμικών νιτρικών (NO_x) από το ατμοσφαιρικό άζωτο (Bontoux, 1999). Η παρουσία του χλωρίου ή του θείου στα απόβλητα θα προκαλέσει την εκπομπή υδροχλωρίου (HCl) και θεικών (SO_x). Τα NO_x, SO_x και το HCl συμβάλλουν στη δημιουργία της όξινης βροχής (Bontoux., 1999).

1.3.4.2. Πυρόλυση

Πυρόλυση είναι η μέθοδος κατά την οποία λαμβάνει χώρα φυσική και χημική αποσύνθεση των θερμικά ασταθών οργανικών ουσιών που βρίσκονται στα απόβλητα υπό την επίδραση θερμότητας, 400-800°C, απουσία αέρα ή O₂. Σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση, πρόκειται για μια διεργασία ισχυρά ενδόθερμη για τη διεξαγωγή της οποίας απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Στην πραγματικότητα βέβαια, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν συνθήκες περιβάλλοντος πλήρους απουσίας O₂, επομένως, πραγματικά πυρολυτικά συστήματα λειτουργούν με ποσότητες O₂ μικρότερες των στοιχειομετρικών.

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



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



Στη συνέχεια, συμβαίνουν και άλλες αντιδράσεις οργανικών ρύπων. Στην περίπτωση ύπαρξης O₂ σχηματίζεται CO και CO₂ ή είναι πιθανή η αλληλεπίδραση με H₂O. Το παραγόμενο κωκ μπορεί να εξαερωθεί σε O₂ και CO₂.

Τα τελικά προϊόντα μπορεί να είναι υγρά, στερεά ή αέρια. Οι αναλογίες τους εξαρτώνται από τη φύση των αποβλήτων, τις συνθήκες θέρμανσης, τη θερμοκρασία και το χρόνο επεξεργασίας. Η δε χρήση τους είναι κυρίως για την παραγωγή ενέργειας.

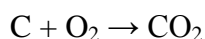
1.3.4.3. Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια χημική-θερμική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει αρκετά στάδια. Αρχικά, το ανθρακούχο υλικό ξηραίνεται προκειμένου να εξατμιστεί η υγρασία. Ανάλογα με τη διαδικασία, στη συνέχεια, λαμβάνει χώρα η πυρόλυση σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον χαμηλής περιεκτικότητας σε αέρα και σε θερμοκρασία κοντά στους 450°C. Τέλος, η αεριοποίηση εμφανίζεται, σε δευτερεύοντα θάλαμο σε θερμοκρασιακό εύρος 700-1000°C. Σε αυτές τις θερμοκρασίες γίνεται ατελής καύση των στερεών αποβλήτων. Το αέριο που παράγεται είναι πλούσιο σε H₂, CH₄, H₂O, N₂, CO, CO₂ και μικρές ποσότητες υψηλών H/C. Σκοπός της μεθόδου, είναι η μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂. Το μίγμα CO και H₂ είναι γνωστό σαν αέριο

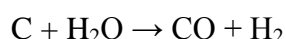
σύνθεσης (synthesis gas ή syngas). Το καύσιμο αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμικούς κινητήρες για την παραγωγή ενέργειας, σε μία τουρμπίνα ατμού ή ένα λέβητα, ή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή μεθανόλης, υδρογόνου ή μεθυλικού οξέος.

Οι κύριες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης είναι:

- (1) Οξείδωση (εξώθερμη)

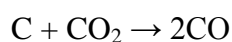


- (2) Αντίδραση εξάτμισης νερού (ενδόθερμη)

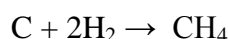


- (3) $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ (εξώθερμη)

- (4) Αντίδραση Boudouard (ενδόθερμη)

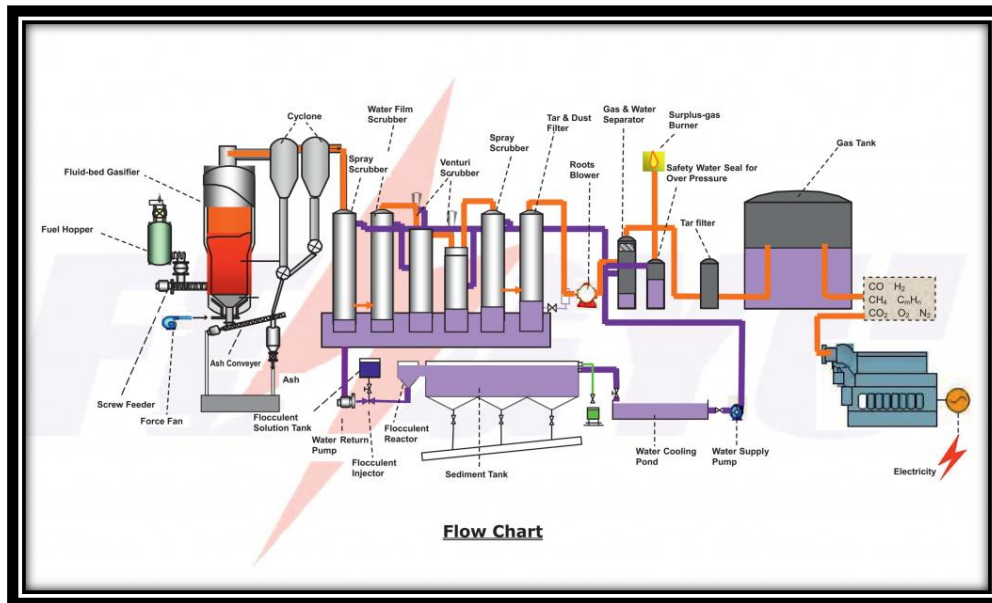


- (5) Αντίδραση σχηματισμού CH_4 (εξώθερμη)



Η αεριοποίηση θεωρείται, ευρέως, ως μια ενεργειακά αποδοτική τεχνική για τη μείωση του όγκου των στερεών αποβλήτων και για την ανάκτηση ενέργειας. Η τεχνολογία της αεριοποίησης χρησιμοποιείται, για περισσότερο από έναν αιώνα, για την παραγωγή αερίου σύνθεσης ως μια πιο βιώσιμη και καθαρή λύση έναντι της καύσης. Η αεριοποίηση είναι πιο διαδεδομένη και ανεπτυγμένη από την πυρόλυση για διάφορους λόγους. Αρχικά, ως αποδοτικότερη διεργασία παράγει ένα ενιαίο αέριο προϊόν. Ακόμη, η αεριοποίηση δεν αντιμετωπίζει προβλήματα μεταφοράς θερμότητας όπως η πυρόλυση. Ωστόσο, πολλές εγκαταστάσεις αεριοποίησης έχουν κλείσει εξαιτίας της μεταβλητότητας της σύστασης των αποβλήτων. Νεότερες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί, προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα μέσα από εκτενή επεξεργασία των αποβλήτων ως πρώτη ύλη .

Υπάρχει μία ποικιλία αντιδραστών αεριοποίησης όμως οι πιο διαδεδομένοι είναι οι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης και οι αντιδραστήρες σταθερής κλίνης. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα για κάθε διαμόρφωση. Η ελλιπής οξείδωση, λόγω του σχεδιασμού του αντιδραστήρα, μπορεί να μολύνει το αέριο προϊόν και αυτό θα οδηγήσει σε υψηλότερα ποσοστά εκπομπών νιτρικών και θειικών (NO_x και SO_x). Στην Εικόνα 1.3-27 παρουσιάζεται μια τυπική μονάδα αεριοποίησης.
:



Εικόνα 1.3-27. Τυπική μονάδα αεριοποίησης
(Dos Energy, 2009)

2. Πειραματικό μέρος

2.1. Εισαγωγή

Προκειμένου να μελετηθεί η διεργασία της ξήρανσης στη πηγή χρησιμοποιήθηκε το σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE το οποίο αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος LIFE+ 08 ENV/GR/000566 με το ακρωνύμιο DRYWASTE. Πρόκειται για μια καινοτόμο τεχνολογία στο τομέα της προεπεξεργασίας των οικιακών ΒΑ η οποία δεν έχει καταγραφεί ξανά στο παρελθόν ενώ, έχει ήδη λειτουργήσει πιλοτικά σε 25 οικίες του Δήμου Παπάγου-Χολαργού με μεγάλη επιτυχία. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε συσκευή οικιακής ξήρανσης, η οποία αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος DRYWASTE. Στη συσκευή προσαρμόστηκε περιμετρικά στρώμα πετροβάμβακα πάχους 3 cm προκειμένου να μειωθούν οι θερμικές απώλειες από το εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης. Η συσκευή λειτούργησε στις εγκαταστάσεις της Μ.Π.Ε.Τ. για χρονικό διάστημα 4 μηνών. Στις επόμενες παραγράφους, ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των δομικών μερών του συστήματος οικιακής ξήρανσης.

2.2. Περιγραφή πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης

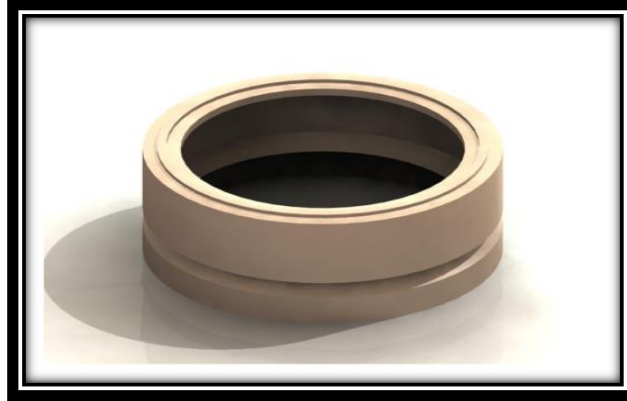
Θάλαμος

Ο θάλαμος ξήρανσης (Chamber) αποτελεί βασικό δομικό μέρος του ΞΔΑ (Ξηραντήρα Διατροφικών Αποβλήτων) καθώς γύρω από αυτόν προσαρμόζονται όλα τα υπόλοιπα συνθετικά μέρη. Έχει κυλινδρικό σχήμα και στο ανώτερο τμήμα του φέρει περιμετρική διαμόρφωση για τη σταθερή συναρμογή του υποδοχέα εντός του οποίου συσσωρεύεται η μάζα των διατροφικών αποβλήτων. Στο κεντρικό τμήμα της παράπλευρης επιφάνειας, φέρει περιμετρική διαμόρφωση τριγωνικής διατομής που έχει διττό στόχο, αφενός να οδηγήσει τη ροή του εισερχόμενου στο θάλαμο ‘θερμού’ αέρα προς τη συσσωρευμένη μάζα των ΔΑ, αφετέρου, να εμποδίσει τη διόδο των συμπυκνωμάτων προς τη βάση του ξηραντήρα όπου βρίσκονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις του κεραμικού καλωδίου και του ανεμιστήρα.

Μέσω της διαμόρφωσης αυτής, τα συμπυκνώματα που παράγονται κατά την επαφή των ‘θερμών’ υδρατμών με τα ‘ψυχρά’ τοιχώματα του θαλάμου, οδηγούνται βαρυτικά προς το συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων. Κατά τη φάση κατασκευής του θαλάμου, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε 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.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρατίθεται ο θάλαμος του ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων.



Εικόνα 2.2-1. Θάλαμος ξήρανσης

Βάση

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

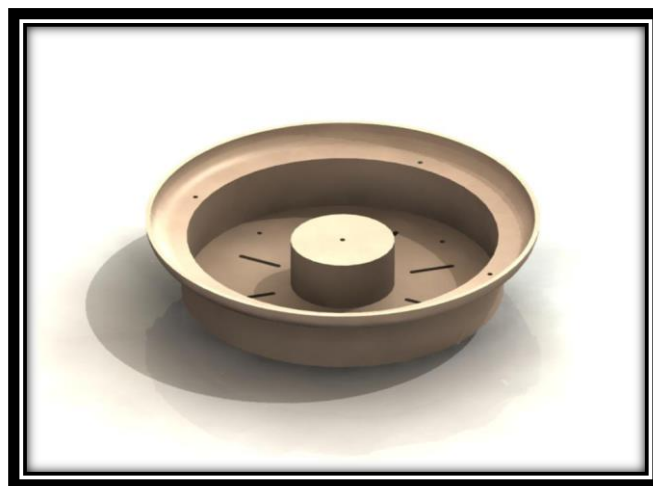
Στο κατώτερο τμήμα της, η βάση φέρει οκτώ (8) όμοιες διαμήκειες οπές για την αναρρόφηση του 'νωπού' ατμοσφαιρικού αέρα. Στο κεντρικό της τμήμα έχει ειδική κυλινδρική εσοχή, στο εσωτερικό της οποίας θα τοποθετηθεί ο κινητήρας του ανεμιστήρα. Η εσοχή αυτή, στην ανώτερη επιφάνειά της φέρει κυκλική οπή μικρής διαμέτρου για τη διέλευση του άξονα που θα μεταφέρει την περιστροφική κίνηση του ρότορα, από τον κινητήρα στην περωτή.

Η διάταξη της βάσης, αλλά και ολόκληρο το σύστημα, στηρίζεται σε τέσσερα (4) όμοια ελαστικά υποστηρίγματα που έχουν μορφή ανεστραμμένου κώνου. Το ύψος των υποστηριγμάτων είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπεται η αναρρόφηση του 'νωπού' ατμοσφαιρικού αέρα από το κατώτερο τμήμα του ξηραντήρα. Κατά τη φάση

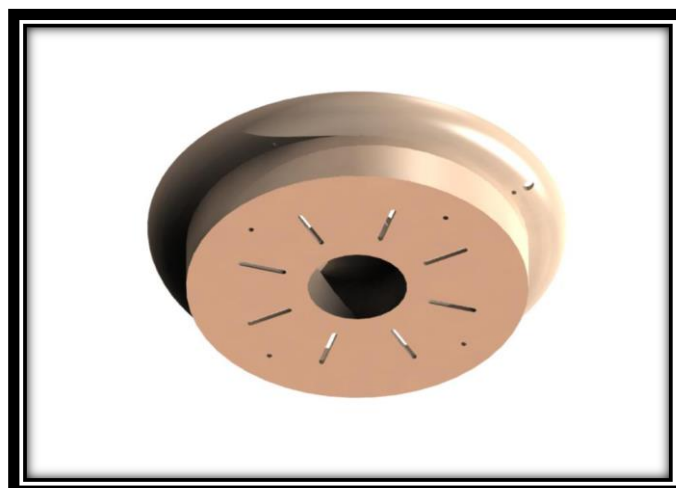
κατασκευής της βάσης, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε πηλός τύπου ‘Stoneware’ (Spanish Clay).

Η σκοπιμότητα της επιλογής του υλικού αυτού οφείλεται στην ευχέρεια, της κατά το δυνατόν πιστότερης κατασκευής του δομικού μέρους, σύμφωνα με το σχέδιο. Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι, στη βάση του ξηραντήρα προσαρμόζεται το σύνολο των ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων της διάταξης, 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.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρατίθεται η κάτω και η πάνω όψη της βάσης του ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων.

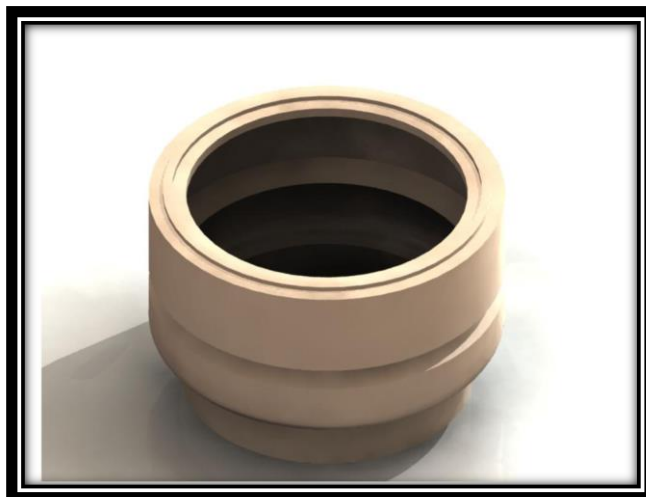


Εικόνα 2.2-2. Βάση συσκευής οικιακής ξήρανσης (κάτω όψη)

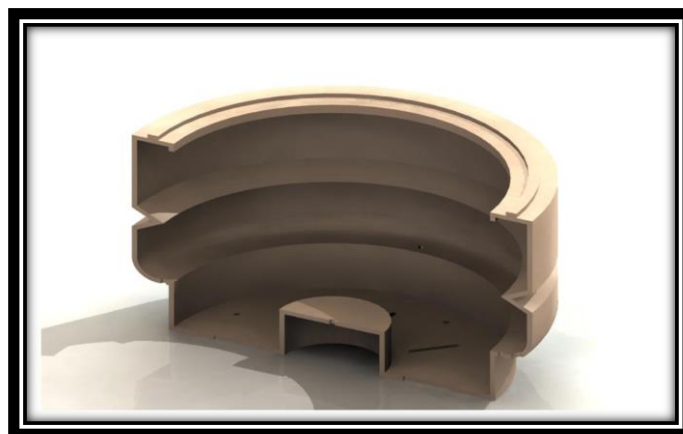


Εικόνα 2.2-3. Βάση συσκευής οικιακής ξήρανσης (πάνω όψη)

Κατά τη φάση κατασκευής, υλοποιήθηκε ενιαία η διάταξη θαλάμου και βάσης, για λόγους που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας καλουπιών όπως παρατίθεται και στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.2-4. Θάλαμος και βάση συσκευής



Εικόνα 2.2-5. Θάλαμος και βάση συσκευής (τομή)

Υποδοχέας Διατροφικών Αποβλήτων

Οι ποσότητες νωπής μάζας των Διατροφικών Αποβλήτων, αφού συγκεντρωθούν από το χρήστη, διατάσσονται στο εσωτερικό του υποδοχέα (Collector) προκειμένου να ξεραθούν. Κατά τη διαδικασία τροφοδοσίας, είναι επιθυμητή η διάταξη των διατροφικών αποβλήτων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται επιφανειακή κάλυψη ολόκληρης της βάσης του υποδοχέα με διατροφικά απόβλητα. Έτσι, η ελεύθερη επιφάνεια της σωρού θα είναι μεγαλύτερη, στοιχείο που συνεπάγεται μεγαλύτερη 'έκθεση' στο ρεύμα 'θερμού' αέρα και κατ' επέκταση αποδοτικότερη ξήρανση. Για το σκοπό αυτό ο υποδοχέας των διατροφικών αποβλήτων σχεδιάζεται ως ένας κύλινδρος με μεγάλη διάμετρο βάσης και αναλογικά μικρό ύψος.

Ο κυλινδρικός υποδοχέας στο ανώτερο τμήμα του φέρει περιμετρική διαμόρφωση για τη σταθερή συναρμογή αυτού, αφενός με το θάλαμο (κάτω επιφάνεια), αφετέρου, με το πώμα (άνω επιφάνεια). Η περιμετρική διαμόρφωση, κατά την φάση κατασκευής, αποτέλεσε ξεχωριστό εξάρτημα. Στην περίπτωση αυτή, ο δακτύλιος ανάρτησης του πλέγματος του υποδοχέα διατροφικών αποβλήτων, φέρει μία μικρή οπή επί της εσωτερικής διαμέτρου για τη σύνδεση μέσω κρίκων, του μεταλλικού πλέγματος. Η εξωτερική περίμετρος παραμένει ίδια για τη σύνδεση των χειρολαβών μέσω των οποίων, το πλέγμα εισέρχεται και εξέρχεται του θαλάμου.

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 συμπυκνωμάτων. 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 'Aluminum 1060 Alloy'. Ο συγκεκριμένος τύπος αλουμινίου, εκτός από την ανοξειδωτή φύση του, χαρακτηρίζεται από υψηλή δυνατότητα μορφοποίησης και σχετικά χαμηλό κόστος.



Εικόνα 2.2-6. Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων

Συλλεκτήρας Συμπυκνωμάτων

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

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων είναι ένα αξονοσυμμετρικό στερεό μορφής ‘πίατου’. Η πάνω επιφάνειά του είναι διαμορφωμένη ως υποδοχέας, προκειμένου να συγκεντρώνονται εντός αυτού οι ποσότητες των συμπυκνωμάτων που αναμένεται να παραχθούν κατά τη διεργασία ξήρανσης. Το κεντρικό του τμήμα είναι ανασηκωμένο έτσι ώστε οι ποσότητες του συμπυκνωμένου ύδατος να οδηγούνται προς την περίμετρο του ‘πίατου’. Στην περιοχή αυτή ο συλλεκτήρας φέρει κυκλική οπή μικρής διαμέτρου στην οποία θα προσαρμοστεί σωλήνωση για την έξοδο των συσσωρευμένων συμπυκνωμάτων από τον χρήστη.

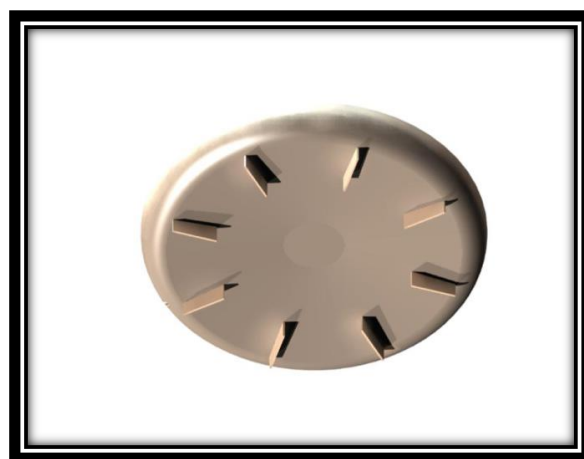
Η κάτω επιφάνεια του συλλεκτήρα, είναι διαμορφωμένη με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ευνοεί τη διάχυση του ‘θερμού’ αέρα, από την πτερωτή του ανεμιστήρα, προς το χώρο ξήρανσης. Συγκεκριμένα, φέρει πτερύγια ‘οδηγούς’ τα οποία κατευθύνουν τη ροή του αέρα προς το δακτυλιοειδές διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ του συλλεκτήρα και της εσωτερικής επιφάνειας του ξηραντή στο επίπεδο συναρμογής μεταξύ θαλάμου και βάσης.

Κατά τη φάση κατασκευής του συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε πηλός τύπου ‘Stoneware’ (SpanishClay). Η σκοπιμότητα της επιλογής του εν λόγω υλικού οφείλεται στην ευχέρεια της κατά το δυνατόν πιστότερης κατασκευής του δομικού μέρους, σύμφωνα με το σχέδιο. Για την περίπτωση όπου, τα πτερύγια ‘οδηγοί’ του εισερχόμενου αέρα και στήριξης του συλλεκτήρα επί του θερμικού δίσκου, αποτελούν ξεχωριστό εξάρτημα, θα κατασκευαστούν από κράμα αλουμινίου του τύπου ‘Aluminum 1060 Alloy’.

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων παρατίθεται στις εικόνες 2.2-7 και 2.2-8 :



Εικόνα 2.2-7. Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων (πάνω όψη)



Εικόνα 2.2-8. Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων (κάτω όψη)

Πώμα

Η χειρονακτική τροφοδοσία του υποδοχέα με τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες διατροφικών αποβλήτων, καθώς επίσης και η αφαίρεση του υποδοχέα από το εσωτερικό του ξηραντήρα, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η λήψη του τελικού ξηρού προϊόντος, επιτυγχάνεται δια μέσω του πώματος (Lid). Το πώμα τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα του ξηραντήρα και έχει κυκλικό σχήμα. Περιμετρικά φέρει διαμόρφωση (κάτω επιφάνεια) μέσω της οποίας διασφαλίζεται η σταθερή συναρμογή με τον υποδοχέα, κατά τη φάση λειτουργίας του συστήματος. 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. Η αφαίρεση του πώματος γίνεται χειρονακτικά μέσω ειδικής διαμόρφωσης σε ακραίο τμήμα αυτού. 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). Η σκοπιμότητα της επιλογής του εν λόγω υλικού οφείλεται στην ευχέρεια της κατά το δυνατόν πιστότερης κατασκευής του δομικού μέρους, σύμφωνα με το σχέδιο. Επιπλέον, η επιλογή αυτή διασφαλίζει τη θερμική μόνωση του χώρου ξήρανση, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

Στην Εικόνα 2.2-9 που ακολουθεί παρατίθεται η πάνω όψη του πώματος του ξηραντήρα.



Εικόνα 2.2-9. Πώμα ξηραντήρα (πάνω όψη)

Θερμικός Δίσκος

Ο θερμικός δίσκος (Thermal Plate) αποτελείται από μια μεταλλική πλάκα κυκλικού σχήματος επί της οποίας προσαρμόζεται το θερμικό καλώδιο. Η λειτουργικότητά του, εκτός από τη στήριξη του καλωδίου αφορά και στην διατήρηση των θερμικών φορτίων στην περιοχή θέρμανσης του εισερχόμενου ‘νωπού’ αέρα αλλά και στο χώρο αναρρόφησης του αέρα από τα διάκενα της βάσης. Ο θερμικός δίσκος προσαρμόζεται στη βάση του ξηραντήρα μέσω τεσσάρων κοχλιών. Στο κεντρικό τμήμα φέρει κυκλική οπή μέσω της οποίας διασφαλίζεται η απρόσκοπτη περιστροφή της πτερωτής του ανεμιστήρα.

Μεταξύ της κυκλικής οπής του θερμικού δίσκου και της ανώτερης επιφάνειας της κυλινδρικής εσοχής της βάσης, υπάρχει δακτυλιοειδές διάκενο μέσω του οποίου, ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στο χώρο θέρμανσης. Κοντά στην κυκλική οπή, υπάρχει διαμόρφωση για την προσαρμογή του θερμικού καλωδίου. Η διαμόρφωση αυτή αποτελεί το όριο κάλυψης της επιφάνειας του δίσκου με το θερμικό καλώδιο. Το καλώδιο θα τοποθετηθεί στην πάνω επιφάνεια του δίσκου την οποία και θα καλύψει έχοντας σπειροειδή διάταξη.

Κατά τη φάση κατασκευής του θερμικού δίσκου, επιλέχθηκε κράμα αλουμινίου του τύπου ‘Aluminum 1060 Alloy’ που παρέχει εύκολη κατεργασιμότητα και κοπή με ψαλίδι στις επιθυμητές διαστάσεις.



Εικόνα 2.2-10. Θερμικός δίσκος ξηραντήρα

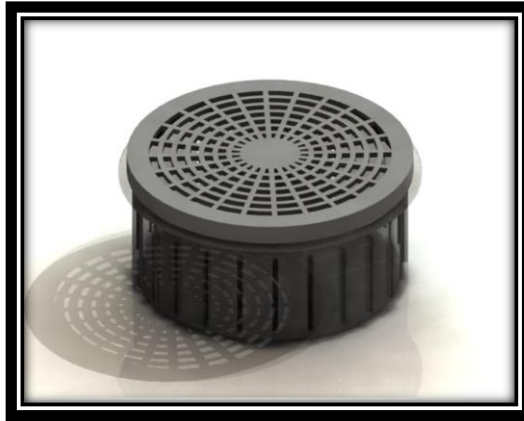
Διάταξη Απόσμησης

Η χρήση του φίλτρου απόσμησης αφορά τη δέσμευση των ενώσεων που αποτελούν συνθετικό στοιχείο των απαερίων της ξήρανσης και είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών. Το φίλτρο απόσμησης αποτελείται από τον υποδοχέα του μέσου απόσμησης και το πώμα. Προσαρμόζεται στην κυκλική εσοχή του πώματος και εκτός από την απόσμηση, αποτελεί τη δίοδο εξόδου του θερμού αέρα από τον ξηραντήρα προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Ο υποδοχέας του μέσου απόσμησης είναι κυλινδρικός και φέρει διαμήκη διάκενα επί της παράπλευρης επιφάνειάς του. Οι διαστάσεις των διακένων είναι τέτοιες έτσι ώστε, αφενός να επιτρέπεται η διέλευση του 'θερμού αέρα προς το εσωτερικό του φίλτρου, αφετέρου, να συγκρατούνται τα 'pellets' του μέσου απόσμησης (ενεργός άνθρακας). Η σταθερή συναρμογή μεταξύ υποδοχέα και πώματος φίλτρου επιτυγχάνεται από ειδικές διαμορφώσεις που φέρουν τα δύο μέρη, περιμετρικά των ακμών συναρμογής. Το πώμα του φίλτρου, επίσης κυκλικό, φέρει διάκενα για την έξοδο του 'θερμού' αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον.

Η συνολική διάταξη του φίλτρου απόσμησης (υποδοχέας και πώμα), κατά τη φάση κατασκευής είναι από πολυπροπυλένιο (PP). Ο τύπος θερμοσκληρυνόμενου πλαστικού επιλέχθηκε έναντι του πολυαιθυλενίου (PE), καθώς εμφανίζει υψηλότερη αντοχή έναντι των θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διεργασία ξήρανσης στο εσωτερικό του θαλάμου.

Η συνολική διάταξη του φίλτρου απόσμησης (υποδοχέας και πώμα) σε συναρμογή, παρατίθεται στην Εικόνα 2.2-11.



Εικόνα 2.2-11. Διάταξη απόσμησης, υποδοχέας και πώμα

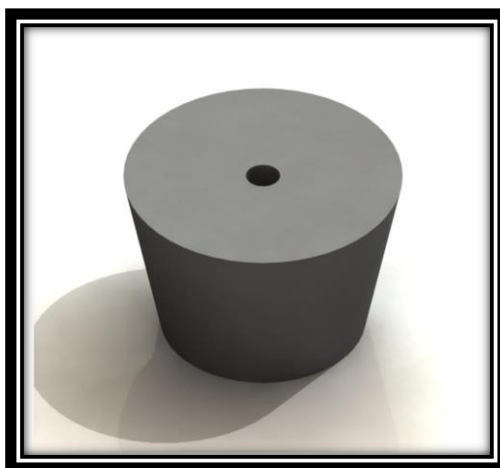
Χειρολαβή και Υποστηρίγματα Βάσης

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

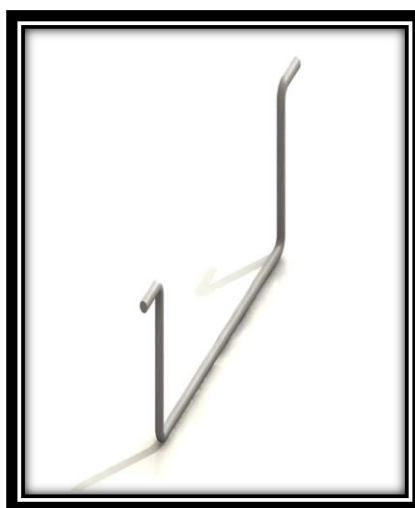
Αναφορικά με τις δύο χειρολαβές, θα συνδέονται αντιδιαμετρικά της εξωτερικής περιφέρειας του υποδοχέα και ειδικότερα, επί του δακτυλίου ανάρτησης του πλέγματος. Το υλικό κατασκευής προτείνεται να είναι από κράμα αλουμίνιο τύπου ‘Aluminum 1060 Alloy’.

Τα τέσσερα όμοια υποστηρίγματα θα πακτωθούν μέσω ισάριθμων κοχλιών, ή θα κολληθούν επί της εξωτερικής κατώτατης επιφάνειας της βάσης, σε θέσεις όπου να μην φράσουν τα διάκενα αναρρόφησης του αέρα. Κατά τη φάση κατασκευής, επιλέγεται να είναι από πολυακρυλικό ελαστομερές του τύπου ‘EPDM’. Από το ίδιο υλικό θα είναι και όλοι οι ελαστικοί σύνδεσμοι που θα χρησιμοποιηθούν για την ασφαλή και σταθερή συναρμογή μεταξύ δύο ή περισσότερων δομικών μερών του ξηραντήρα, αλλά και η σωλήνωση εξόδου των συμπυκνωμάτων από το σύστημα.

Στις Εικόνες 2.2-12 και 2.2-13 που ακολουθούν παρατίθενται σε προοπτική όψη οι διατάξεις χειρολαβής και υποστηρίγματος, αντίστοιχα.



Εικόνα 2.2-12. Υποστήριγμα βάσης ξηραντήρα



Εικόνα 2.2-13. Χειρολαβή υποδοχέα διατροφικών αποβλήτων

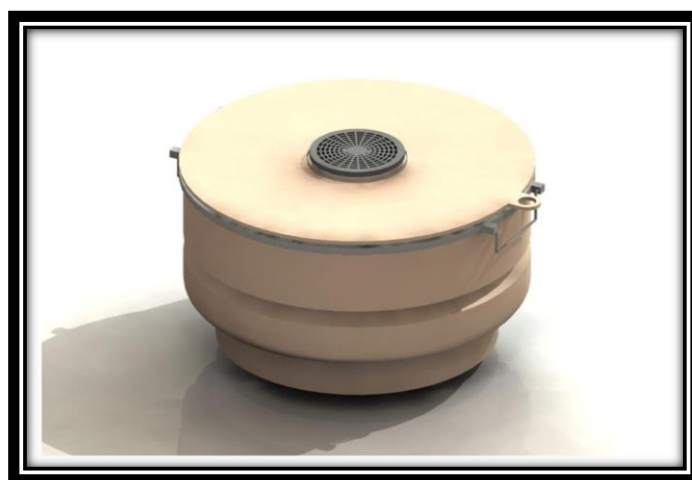
Συναρμολογούμενη Διάταξη

Η συναρμολογούμενη διάταξη αφορά τη σύνδεση όλων των δομικών μερών έτσι ώστε, να συγκροτηθεί ο ξηραντήρας ως σύνολο.

Συγκεκριμένα, ο χρήστης έχοντας εισάγει τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες διατροφικών αποβλήτων της κατοικίας, στο εσωτερικό του υποδοχέα, τον τοποθετεί με τη βοήθεια των χειρολαβών στο θάλαμο του ξηραντήρα και κλείνει χειρονακτικά το πάμα. Κατόπιν, ενεργοποιεί ταυτόχρονα τις διατάξεις ανεμιστήρα και θερμικού καλωδίου προκειμένου να εκκινήσει τον κύκλο λειτουργίας του συστήματος. Ο νωπός ατμοσφαιρικός αέρας, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εισέρχεται μέσω των διακένων της βάσης στο εσωτερικό του συστήματος. Στη συνέχεια, διερχόμενος από το διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ του θερμικού δίσκου και της εσοχής της βάσης, εισέρχεται στο χώρο ξήρανσης. Ο χώρος αυτός βρίσκεται μεταξύ του θερμικού δίσκου (κάτω όριο), του υποδοχέα συμπυκνωμάτων (άνω όριο) και του ανώτερου τμήματος της βάσης (παράπλευρο-περιμετρικό όριο). Κατόπιν, μέσω της

φυγοκεντρικής περωτής του ανεμιστήρα, ο θερμός αέρας θα εξαναγκαστεί να οδηγηθεί ακτινικά στο διάκενο μεταξύ της περιφέρειας του υποδοχέα συμπυκνωμάτων και της εσωτερικής περιφέρειας του θαλάμου. Στη συνέχεια, θα εισέλθει στο χώρο του υποδοχέα και μέσω του πλέγματος θα απάγει βαθμιαία την υγρασία των διατροφικών αποβλήτων. Η ποσότητα από ενδεχόμενη συμπύκνωση υδρατμών στα τοιχώματα του θαλάμου ή/και στον υποδοχέα, θα οδηγηθεί βαρυτικά στον αντίστοιχο υποδοχέα από όπου. Ο θερμός και νωπός αέρας ξήρανσης, εξερχόμενος του συστήματος θα διέρχεται από το εσωτερικό φίλτρου απόσμησης ενεργού άνθρακα, προκειμένου να δεσμευτούν οι χημικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών (DRYWASTE PROJECT, 2010).

Η συναρμολογούμενη διάταξη του ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων παρατίθεται στην Εικόνα 2.2-14.





Εικόνα 2.2-14. Ξηραντήρας Διατροφικών Αποβλήτων

2.3. Πειραματική μέθοδος

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πειραματική μελέτη, διαμορφώθηκε κατάλληλο μίγμα διατροφικών απορριμμάτων σταθερής σύστασης το οποίο προέκυψε από παρατηρήσεις των διατροφικών συνηθειών 25 οικιών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού σε συνδυασμό με στοιχεία από τη WRAP στη διάρκεια πιλοτικής εφαρμογής η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος DRYWASTE. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σύσταση του πρότυπου μίγματος που χρησιμοποιήθηκε.







Πίνακας 2. Σύσταση πρότυπου μίγματος

	1μελής	2μελής	3μελής	4μελής	Φωτογραφία
Πατάτα (g)	124	249	372	498	
Κρεμμύδι (g)	22	43	66	86	
Μαρούλι (g)	12	23	36	46	
Πιπεριά (g)	3	8	9	16	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πράσινα σαλάτας (g)	7	12	21	24	
Πράσο (g)	3	8	9	16	
Λάχανο (g)	14	27	42	54	
Ντομάτα (g)	10	20	30	40	
Πορτοκάλι (g)	20	40	60	80	
Μπανάνα (g)	47	93	141	186	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μήλο (g)	39	79	117	158	
Λεμόνι (g)	7	14	21	28	
Μακαρόνια (g)	55	110	160	220	
Ψωμί (g)	13	25	39	50	
Κρέας (χοιρινό) (g)	27	54	81	108	
Τυρί (g)	7	16	21	37	

Σύνολο (g)	410	821	1230	1642
------------	-----	-----	------	------

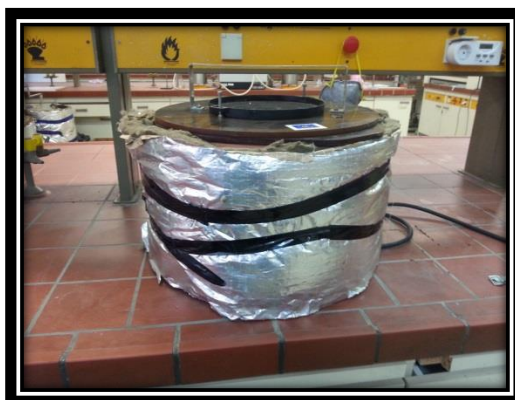


Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία διενέργειας των εργαστηριακών δοκιμών προκειμένου να μελετηθούν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος καθώς και οι επιδόσεις του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης. Ειδικότερα αναγράφονται τα όργανα μέτρησης, οι αναλυτικές μέθοδοι για τη διεξαγωγή των πειραματικών αναλύσεων και οι μέθοδοι υπολογισμού των αποτελεσμάτων.

2.3.1. Κύκλοι ξήρανσης

Προκειμένου να διερευνηθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά προϊόντος προεπεξεργασμένο με το σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE, πραγματοποιήθηκαν 4 κύκλοι ξήρανσης. Σε κάθε κύκλο πραγματοποιήθηκε πλήρης ξήρανση του αρχικού υποστρώματος που χρησιμοποιήθηκε. Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν ήταν: υπόστρωμα 1^{μελούς} οικογένειας, 2^{μελούς} οικογένειας, 3^{μελούς} οικογένειας, 4^{μελούς} οικογένειας. Η ποσότητα των παραγόμενων απορριμμάτων σε ημερήσια βάση, προσδιορίστηκε με βάση τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής για το έτος 2012.

Οι εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με χρήση του συστήματος οικιακής ξήρανσης DRYWASTE.



Εικόνα 2.3-1. Πρόσοψη συσκευής οικιακής ξήρανσης

2.3.1.1. Προσδιορισμός μείωσης μάζας

Η λειτουργία της συσκευής οικιακής ξήρανσης, οριζόταν καθημερινά σε 8 ώρες. Προκειμένου να λάβουν χώρα οι εργαστηριακές δοκιμές, η μάζα του αρχικού (νωπού) υποστρώματος εντός του καλάθιού απόρριψης, προσδιοριζόταν πριν την έναρξη της ξήρανσης (Εικόνα 2.3-2).



Εικόνα 2.3-2. Νωπό δείγμα στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης

Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν καταγραφή της μάζας του υλικού ανά 1 ώρα μέχρι να τερματιστεί η λειτουργία της συσκευής σε χρονικό διάστημα 8 ωρών (Εικόνα 2.3-3).



Εικόνα 2.3-3. Δείγμα μετά από 8 ώρες ξήρανσης

Την επόμενη ημέρα, τοποθετούνταν νέα ποσότητα νωπού υλικού (ίδιας σύστασης και μάζας) στο ήδη υπάρχον στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Η διαδικασία αυτή συνεχιζόταν έως ότου το καλάθι στο εσωτερικό του ξηραντήρα υποστεί πλήρωση (Εικόνα 2.3-4). Η διεργασία της ξήρανσης συνεχιζόταν με συνεχή μείωση της μάζας του δείγματος και λάμβανε τέλος κατά τη σχετική σταθεροποίηση της ξηρή μάζας.



Εικόνα 2.3-4. Καλάθι συσκευής σε φάση πλήρωσης

2.3.1.2. Προσδιορισμός όγκου δείγματος

Στη διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μείωσης του όγκου του υλικού το οποίο τοποθετούνταν στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης. Το καλάθι απόρριψης του υλικού είναι ένας κύλινδρος του οποίου ο συνολικός όγκος προσδιορίστηκε ίσος με 8,5 L.

Πριν την έναρξη της ξήρανσης καταγράφονταν το ύψος του νωπού υλικού ως προς τη βάση του καλάθιου και στο τέλος αυτής μετρούνταν το αντίστοιχο ύψος του ξηρού πλέον υλικού (Εικόνα 2.3-5).



Εικόνα 2.3-5. Μέτρηση ύψους νωπού και ξηρού δείγματος

Έχοντας καταγράψει τα εκάστοτε ύψη για κάθε οκτάωρο και χρησιμοποιώντας τον τύπο για τον όγκο κυλίνδρου:

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

όπου:

R= 13,5 cm

h= το μετρούμενο ύψος κάθε φορά

υπολογίζουμε τη μείωση του όγκου του δείγματος σε κάθε οκτάωρο.

2.3.1.3. Καταγραφή ενεργειακής κατανάλωσης

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ενεργειακής κατανάλωσης με τη βοήθεια ειδικής συσκευής η οποία ήταν συνδεδεμένη με την πρίζα της συσκευής και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 2.3-6). Στο τέλος κάθε οκταώρου πραγματοποιούνταν καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε κύκλο ξήρανσης.



Εικόνα 2.3-6. Συσκευή καταγραφής ενεργειακής κατανάλωσης

2.3.1.4. Ομογενοποίηση ξηρού υπολείμματος

Στο τέλος κάθε κύκλου, πραγματοποιούνταν συλλογή του ξηρού υλικού και στη συνέχεια το δείγμα ομογενοποιούνταν σε ειδικό μύλο άλεσης (Εικόνα 2.3-7) προκειμένου η κοκκομετρία του δείγματος να είναι ικανοποιητική για την πραγματοποίηση των φυσικοχημικών αναλύσεων.



Εικόνα 2.3-7. Μύλος άλεσης

Οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν αναφέρονται στις επόμενες υποενότητες.

2.3.2. Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων

Οι φυσικοχημικές αναλύσεις χαρακτηρισμού του τελικού ξηρού υλικού, παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3. Χημικές παράμετροι που μελετήθηκαν

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
		Διάλυμα $C_7H_6O_3 / H_2SO_4$ Στερεό $Na_2S_2O_3 \cdot 5 H_2O$
	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm	Στερεό K_2SO_4 - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ - TiO_2
TN	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Ζυγός ακριβείας	Διάλυμα NaOH Διάλυμα H_3BO_3 Διάλυμα H_2SO_4 Δείκτης
		Στερεό K_2SO_4 - $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ - TiO_2
TKN	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldatherm Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Ζυγός ακριβείας	Διάλυμα NaOH Διάλυμα H_3BO_3 Διάλυμα H_2SO_4 Δείκτης
		Διάλυμα KCl
NH_4-N	Συσκευή απόσταξης Gerhard Vapodest Συσκευή ανάδευσης	Διάλυμα MgOH Διάλυμα H_3BO_4 Διάλυμα H_2SO_4
VS	Φούρνος ξήρασης Ξηραντήρας με silica gel Ζυγός ακριβείας	
TOC	Συσκευή TOC Shimatzu	
pH	Πεχάμετρο	
Αγωγιμότητα	Αγωγιμόμετρο	
Βαρέα μέταλλα/Ιχνοστοιχεία	Συσκευή χώνευσης Gerhard Kjeldahl Συσκευή ατομικής απορρόφησης (AAS)	Διάλυμα H_2SO_4 Διάλυμα $CuSO_4$ (30%)

2.3.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων στερεού δείγματος σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Πλέον των εργαστηριακών δοκιμών της συσκευής οικιακής ξήρανσης DRYWASTE, πραγματοποιήθηκε μελέτη των χημικών χαρακτηριστικών του αρχικού υποστρώματος σε σχέση με το χρόνο. Συγκεκριμένα παρασκευάστηκαν οχτώ (8) δείγματα διατροφικών απορριμμάτων, ίδιας σύστασης, και αποθηκεύτηκαν σε ειδικές σακούλες (αεροστεγώς κλειστές) οι οποίες τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου. Η σύσταση των δειγμάτων ήταν η ίδια με αυτή του πρότυπου νωπού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των 4 κύκλων ξήρανσης.

Οι σακούλες ανοίγονταν μια προς μία ανά δύο ημέρες. Τα δείγματα ζυγίζονταν και τοποθετούνταν στη συσκευή οικιακής ξήρανσης για δύο 8ωρα συνεχούς ξήρανσης. Στη συνέχεια τα εισάγαμε σε φούρνο στους 80°C για 24 ώρες (Εικόνα 2.3-8), όπου ξηραίνονταν εντελώς.



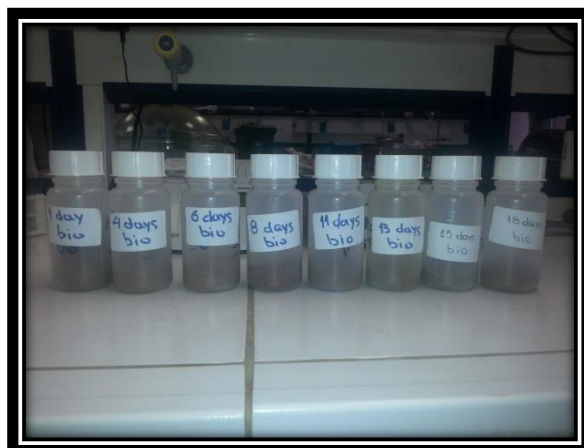
Εικόνα 2.3-8. Φούρνος στους 80°C

Έπειτα, πραγματοποιούνταν άλεση του ξηρού πλέον δείγματος σε μύλο του εργαστηρίου, ειδικό για επίτευξη μικρής κοκκομετρίας (Εικόνα 2.3-9) προκειμένου να πραγματοποιηθούν χημικές αναλύσεις των χαρακτηριστικών του υλικού.



Εικόνα 2.3-9. Μύλος άλεσης

Τα ξηρά και αλεσμένα δείγματα αποθηκεύονταν σε πλαστικά μπουκάλια προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό χημικών παραμέτρων (Εικόνα 2.3-10).



Εικόνα 2.3-10. Ξηρά δείγματα σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Στις υποενότητες που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χημικών παραμέτρων που μελετήθηκαν.

2.3.4. Πειραματικό πρωτόκολλο

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει αναλυτική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας όπως αυτή εξελίχθηκε στην Μ.Π.Ε.Τ. κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

2.3.4.1. Προσδιορισμός υγρασίας (%)

Τα δείγματα ζυγίστηκαν αρχικά με χρήση ζυγού ακριβείας (5 g από το κάθε ένα δείγμα). Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε δοχεία ζέσεως σε φούρνο ξήρανσης στους 105°C (Εικόνα 2.3-11) για χρονικό διάστημα ίσο με 16 ώρες .



Εικόνα 2.3-11. Φούρνος ξήρανσης 105°C

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

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

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

όπου:

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

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

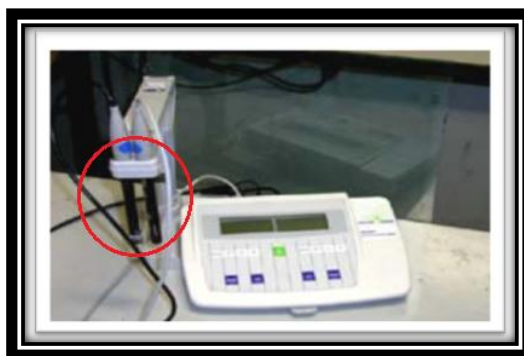
2.3.4.2. Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας

Για την μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας ζυγίζονταν 2 g ξηραμένου υλικού που είχε γίνει σκόνη (διαμέτρου 1mm) και αναμιγνύονταν με 40 ml απιονισμένο H₂O νερό. Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν ανάδευση του διαλύματος με χρήση κατάλληλης συσκευής ανάδευσης (εικόνα 2.3-12) για 30 λεπτά μέχρις ότου να ομογενοποιηθεί πλήρως. Το διάλυμα αφέθηκε για 1 ώρα περίπου να ηρεμήσει ώστε οι αδιάλυτες στερεές ουσίες να κατακάτσουν στον πάτο του δοχείου.



Εικόνα 2.3-12. Συσκευή ανάδευσης

Τέλος, ακολουθεί μέτρηση του pH και της αγωγιμότητας με χρήση πεχάμετρου METTLER TOLEDO MPC227 το οποίο απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί :



Εικόνα 2.3-13. Μέτρηση pH και αγωγιμότητας

2.3.4.1. Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%) / TKN (%) / αμμωνιακών (N-NH₄) (%) και νιτρικών (N-NO₃) (%) κατά Kjeldahl

Προσδιορισμός ολικού αζώτου (TN) (%)

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

- **Χώνευση**

Στην αρχή παρασκευάστηκε ο καταλύτης με ανάμειξη 200g θειικού καλίου (K₂SO₄), 6g θειικού χαλκού (CuSO₄·5H₂O) και 6g οξειδίου του τιτανίου (Ti₂O). Στη συνέχεια, παρασκευάστηκαν τα δείγματα έτσι ώστε να τοποθετηθούν στη συσκευή Gerhardt η οποία έχει χωρητικότητα 8 φιαλών (Εικόνα 2.3-14).



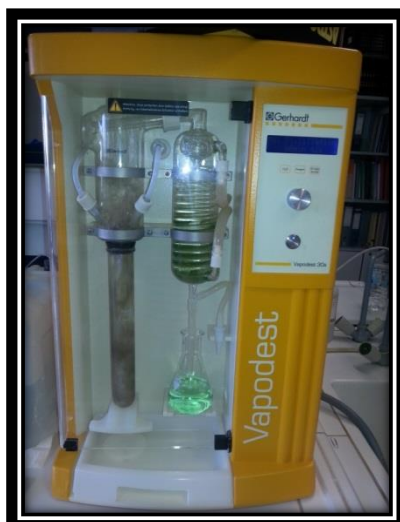
Εικόνα 2.3-14. Συσκευή Gerhardt

Στις δύο (2) φιάλες προστέθηκαν τα τυφλά δείγματα (20 ml θειικό οξύ (H_2SO_4) + 20 ml σαλικυλικό οξύ ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$)) ενώ στις υπόλοιπες έξι (6) προστέθηκαν 0,5 g από το κάθε δείγμα (3 επαναλήψεις για το κάθε ένα) μαζί με την ίδια ποσότητα θειικού και σαλικυλικού οξέος. Οι φιάλες παρέμειναν στη συσκευή χώνευσης για 24 ώρες (επώαση). Την επόμενη ημέρα προστέθηκαν σε κάθε φιάλη 2,5 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ κι έπειτα από 45 λεπτά προστέθηκαν 5,5 g καταλύτη. Στη συνέχεια, οι φιάλες παρέμειναν στη συσκευή για 2 ώρες στους 400°C προκειμένου να ολοκληρωθεί η διεργασία της χώνευσης.

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

- **Απόσταξη**

Στη συνέχεια, αφού η οι φιάλες έλθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, τοποθετούνται στη συσκευή απόσταξης Varodest (Εικόνα 2.3-15) όπου και πραγματοποιείται απόσταξη σε κάθε ένα δείγμα.



Εικόνα 2.3-15. Συσκευή απόσταξης Vapodest

- **Τιτλοδότηση**

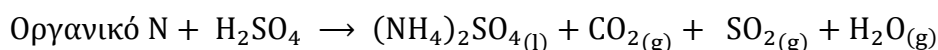
Τέλος, προστέθηκαν 25 ml βορικού οξέος (H_3BO_4) καθώς και 3-4 σταγόνες δείκτη στο αποσταγμένο διάλυμα και πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με χρήση θειικού οξέος (H_2SO_4) 0,1N. Μέσω της τιτλοδότησης καθορίζεται η ποσότητα της περιεχόμενης αμμωνίας, και ως εκ τούτου η ποσότητα του περιεχόμενου αζώτου. Η ογκομέτρηση συνεχίζεται μέχρις ότου να μεταβληθεί το χρώμα του αποστάγματος από πράσινο σε βιολετί (Εικόνα 2.3-16).



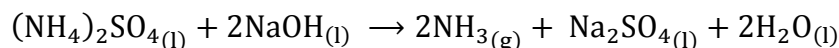
Εικόνα 2.3-16. Πριν και μετά τη τιτλοδότηση κατά τη μέθοδο προσδιορισμού του αζώτου των δειγμάτων

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

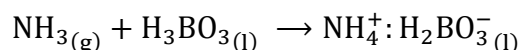
Κατά τη χώνευση



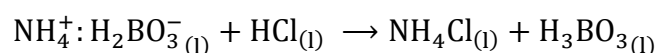
Κατά την απόσταξη



Κατά την συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



Η περιεκτικότητα του δείγματος σε ολικό άζωτο σε mg/g υπολογίζεται από παρακάτω τύπο:

$$\text{TN (\%)} = \frac{(\text{V}_\Delta - \text{V}_\text{T}) \times \text{c}(\text{H}^+) \times \text{M}_\text{N}}{\text{m}} \times \frac{100 + \% \text{Y}_{\text{E.B.}}}{100}$$

Όπου,

V_Δ : ο όγκος (mL) του θεικού οξέος που χρησιμοποιείται για την τιτλοδότηση του δείγματος,

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

$\text{C}(\text{H}^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θεικό οξύ ίση με 0,05,

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

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

$\% \text{Y}_{\text{E.B.}}$: η υγρασία δείγματος (%) σε ξηρή βάση.

Προσδιορισμός TKN (%)

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

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε TKN (%) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

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

όπου,

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

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

$C(\text{H}^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θεικό οξύ ίση με 0,05,

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

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

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

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

Για τον προσδιορισμό των αμμωνιακών προστέθηκαν 5 g δείγματος με 50 ml KCl σε κωνικές φιάλες και τις τοποθετήθηκαν στη συσκευή ανάδευσης για 1 ώρα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν σε ειδικές φιάλες, 5 ml από το διάλυμα μαζί με 6 ml οξείδιο του μαγνησίου (MgOH) και 2-3 σταγόνες από τον δείκτη octane. Έπειτα, ακολούθησε η διεργασία της απόσταξης σε κάθε φιάλη χωριστά και τέλος, αφού προστέθηκαν 25 ml βορικού οξέος (H_3BO_4) καθώς και 3-4 σταγόνες δείκτη στο αποσταγμένο διάλυμα, πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με χρήση διαλύματος θεικού οξέος (H_2SO_4) 0,1N.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε αμμωνιακά ($\text{NH}_4\text{-N}$) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$(\text{NH}_4 - \text{N})(\%) = \frac{V_{\Delta} \times c(\text{H}^+) \times M_N}{m} \times \frac{100 + \%Y_{\text{E.B.}}}{100}$$

όπου,

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

$C(\text{H}^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θεικό οξύ ίση με 0,05,

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

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

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

Προσδιορισμός νιτρικών N-NO₃ (%)

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

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

2.3.4.2. Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) (%)

Για τον προσδιορισμό της επί της εκατό περιεκτικότητας (%) ολικού οργανικού άνθρακα TOC χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TOC της εταιρείας Shimadzu η οποία λειτουργεί στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας (ΜΠΕΤ) του Ε.Μ.Π. (Εικόνα 2.3-17). Η ποσότητα ολικού οργανικού άνθρακα είναι ίση με την αρχική ποσότητα του δείγματος εφόσον αφαιρέσουμε τη τελική τέφρα του.



Εικόνα 2.3-17. Συσκευή Shimadzu (TOC)

Δείγμα στο οποίο είχε προηγηθεί ξήρανση στους 105°C υπέστη λειοτρίβηση με grinder και στη συνέχεια ζυγίστηκαν με ακρίβεια 40mg τα οποία χωρίστηκαν ισόποσα στις ειδικές κάψες από πορσελάνη (Εικόνα 2.3-18).



Εικόνα 2.3-18. Πορσελάνινη κάψα

Στη συνέχεια οι κάψες τοποθετήθηκαν στον ειδικό φούρνο (Solid Sample Module SSM 5000A) όπου το δείγμα θερμαίνεται στους 900°C (Εικόνα 2.3-19).



Εικόνα 2.3-19. Φούρνος (Solid Sample Module SSM 5000A)

Στη θερμοκρασία αυτή έγινε καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγήθηκαν στην κεντρική μονάδα TOCVCSH. (Εικόνα 2.3-20).



Εικόνα 2.3-20. Κεντρική μονάδα TOCVCSH

Στη μονάδα αυτή υπολογίστηκε 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:

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

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

M_1 : η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mg)

M_2 : η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mg)

2.3.4.3. Προσδιορισμός πτητικών στερεών VS (%)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του περιεχόμενου οργανικού φορτίου ενός στερεού δείγματος μέσω της καύσης του σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται κλίβανος σε θερμοκρασία λειτουργίας 550⁰C, με χρόνο παραμονής των στερεών τις 4 ώρες. Η εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού φορτίου γίνεται με τον υπολογισμό της απώλειας βάρους, πριν και μετά την εισαγωγή του δείγματος στον κλίβανο. Κατά την καύση πραγματοποιείται οξείδωση των οργανικών ουσιών γι' αυτό και η απώλεια βάρους που υπολογίζεται αποτελεί στην ουσία μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα στερεά, παρόλο που κατά την καύση απομακρύνονται μερικές φορές και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά του δείγματος. Η διαφορά βάρους αντιπροσωπεύει κατά βάση το πόσο του οργανικού φορτίου που απομακρύνθηκε από το στερεό.

Δείγμα στο οποίο είχε προηγηθεί ξήρανση στους 105⁰C προκειμένου να είναι εντελώς ξηρό, αλέστηκε με τη βοήθεια μύλου άλεσης. Στη συνέχεια μικρή ποσότητα αυτού (1g) ζυγίστηκε σε πορσελάνινες κάψες με τη χρήση ζυγού ακριβείας (Εικόνα 2.3-21).



Εικόνα 2.3-21. Δείγμα σε πορσελάνινη κάψα

Το δείγμα στην συνέχεια τοποθετήθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασία 550⁰C για 4 ώρες. Αφού ολοκληρώθηκε η καύση της ύλης, οι κάψες τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα (με silica gel) για χρόνο 1 ώρας τουλάχιστον προκειμένου το υλικό να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Εικόνα 2.3-22). Τέλος, η τελική μάζα του δείγματος ζυγίστηκε με τη χρήση ζυγού ακριβείας.



Εικόνα 2.3-22. Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών στους 550°



Εικόνα 2.3-23. Κάψες σε ξηραντήρα με silica gel

Ο υπολογισμός των πτητικών VS (%) γίνεται μέσω της σχέσης:

$$VS (\%) = \frac{(m_2 - m_3) \times 100}{m_2 - m_1}$$

Όπου,

m_1 : η μάζα (g) της κάψας,

m_2 : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου δείγματος πριν την εισαγωγή της στον κλίβανο,

m_3 : η μάζα (g) της κάψας και του περιεχόμενου υπολείμματος μετά την έξοδο της από τον κλίβανο και τον ξηραντήρα.

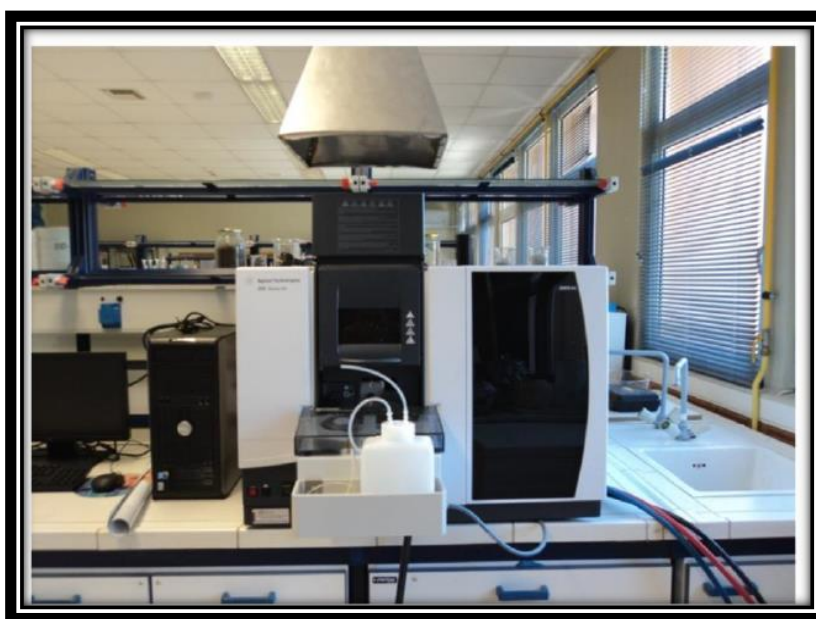
2.3.4.4. Προσδιορισμός Βαρέων Μετάλλων

Από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επεξεργασία των αποβλήτων, είναι η παρουσία βαρών μετάλλων. Κι αυτό επειδή θεωρούνται από τους πιο επικίνδυνους ρύπους του περιβάλλοντος, αφού τόσο τα

βαρέα μέταλλα όσο και οι ενώσεις τους δεν αποδομούνται, αλλά συσσωρεύονται και παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Από την άλλη ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων είναι σημαντικός καθώς μας δίνει μια εικόνα του πως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω τα στερεά απόβλητα προκειμένου η διαχείριση τους να καταστεί αειφόρα.

Στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας ζυγίστηκαν 0,5g λειοτριβημένου δείγματος τα οποία τοποθετήθηκαν σε ειδικές ογκομετρικές φιάλες. Στη συνέχεια προστέθηκαν 6ml πυκνού θεικού οξέος προκειμένου να επιτευχθεί η διεξαγωγή των μετάλλων από το εσωτερικό μοριακό στρώμα της ύλης. Το διάλυμα τοποθετήθηκε σε συσκευή χώνευσης Gerhardt στους 450° C και παρέμεινε εκεί για 6 λεπτά. Έπειτα, έγινε προσθήκη 16,7ml υπερθειικού χαλκού (30% κ.ό) και ακολούθησε διήθηση με διηθητικό χαρτί (0,45μm) και αραιώση σε 100ml υπερκάθαρου νερού. Τέλος, η διαδικασία έλαβε τέλος με την ανάλυση του διαλύματος στη συσκευή ατομικής απορρόφησης (Εικόνα 2.3-24).



Εικόνα 2.3-24. Συσκευή ατομικής απορρόφησης (AAS)

2.3.4.5. Εκχύλιση υδατοδιαλυτών σακχάρων

Για την εκχύλιση υδατοδιαλυτών σακχάρων χρησιμοποιήθηκαν 2 κωνικές φιάλες των 100 ml (1 δείγμα + 1 τυφλό) στις οποίες προστέθηκαν 2 g από το κάθε δείγμα και 80 ml νερό. Οι κωνικές φιάλες τοποθετήθηκαν για 1 ώρα σε υδατόλουτρο με ανάδευση του οποίου η θερμοκρασία ήταν ρυθμισμένη στους 65°C (Εικόνα 2.3-25).



Εικόνα 2.3-25. Υδατόλουτρο με ανάδευση στους 65°C

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν δύο διηθητικά φίλτρα στο φούρνο (105°C) για 30 λεπτά. Έπειτα, αφού παρέμειναν στον ξηραντήρα με silica gel για 10 λεπτά περίπου, ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας και καταγράφηκε το βάρος τους. Με τα προζυγισμένα ξηρά φίλτρα προχωρήσαμε σε διαδικασία διήθησης (Εικόνα 2.3-26).



Εικόνα 2.3-26. Διάταξη διήθησης

Το διηθητικό χαρτί τοποθετήθηκε σε πορσελάνινη χωάνη η απόληξη της οποίας συνδέθηκε σε πλαστικό ογκομετρικό κύλινδρο. Το περιεχόμενο των κωνικών φιαλών (δείγμα+νερό) αφήθηκε σε πορσελάνινη χωάνη (Εικόνα 2.3-27) και ακολούθησε έκπλυση του διαλύματος με 80 ml νερό. Τέλος, το έκπλυμα συλλέχθηκε από τον ογκομετρικό κύλινδρο.



Εικόνα 2.3-27. Εναπομείναν δείγμα στο διηθητικό χαρτί

Στη συνέχεια ακολούθησε δεύτερη έκπλυση του εναπομείναντος υλικού στο διηθητικό χαρτί με άλλα 80 ml νερού και συλλογή ξανά του εκχυλίσματος από τον ογκομετρικό κύλινδρο. Τόσο τα εκπλύματα όσο και τα εκχυλίσματα αποθηκεύτηκαν σε πλαστικά φάλκονς (Εικόνα 2.3-28).



Εικόνα 2.3-28. Έκπλυμα σε πλαστικό φάλκον

Το διηθητικό χαρτί, με το εναπομείναν ξηρό υλικό, τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και στη συνέχεια αποθηκεύτηκε σε ξηραντήρα με silica gel.

Για τον υπολογισμό του ποσοστού (%) απώλειας βάρους λόγω εκχύλισης χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$(\%) \text{ soluble} = \left(\frac{m_{\text{δειγμ.αρχική}} - m_{\text{δειγμ.τελική}}}{m_{\text{δειγμ.αρχική}}} \right) \cdot 100$$

όπου:

$m_{\text{δειγμ.αρχική}}$ = η αρχική μάζα του δείγματος

$m_{\text{δειγμ.τελική}}$ = η τελική μάζα του δείγματος μετά την ξήρανση

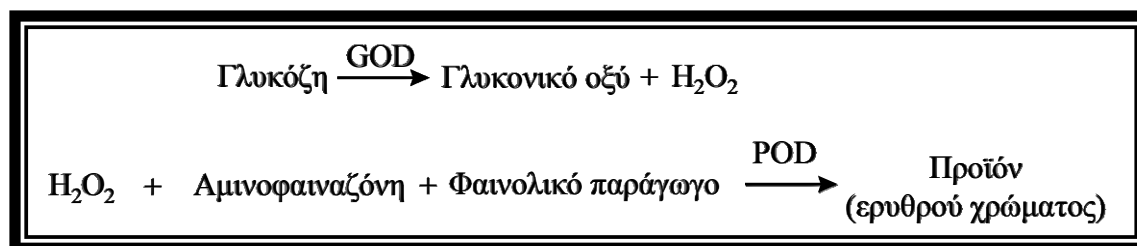
Στις επόμενες υποενότητες θα γίνει αναλυτική περιγραφή των χημικών αναλύσεων που βασίστηκαν στη χρήση του εναπομείναντος υλικού στο διηθητικό χαρτί αλλά και των εκχυλισμάτων-εκπλυμάτων. Παρακάτω, παρατίθενται στον πίνακα οι μέθοδοι σε συνοπτική μορφή (απαιτούμενος εξοπλισμός, αντιδραστήρια).

Πίνακας 4. Πίνακας αναλύσεων επιπλέον προσδιοριζόμενων παραμέτρων

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΠΑΤΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ
		Διάλυμα KOH
	Συσκευή vortex	Διάλυμα Buffer (Sodium Acetate)
Άμυλο	Υδατόλουτρο Φυγόκεντρος αντλία	A-αμυλάση AMG αμυλάση
	Παγόλουτρο Microplate reader	εμπορικό διαγνωστικό σκεύασμα kit
Γλυκόζη	Microplate reader	εμπορικό διαγνωστικό σκεύασμα kit
	Διάταξη βρασμού Συσκευή vortex	Διάλυμα DNS (δινιτριλοσαλκυλικό οξύ)
Αναγωγικά σάκχαρα	Φωτόμετρο απορρόφησης	
	Συσκευή αποστείρωσης Συσκευή επώασης Cold room	Διάλυμα H ₂ SO ₄ Διάλυμα CaCO ₃
Κυτταρίνη	Microplate reader	εμπορικό διαγνωστικό σκεύασμα kit

2.3.4.6. Προσδιορισμός συγκέντρωσης γλυκόζης με τη χρήση ειδικού εμπορικού διαγνωστικού σκεύασματος (kit)

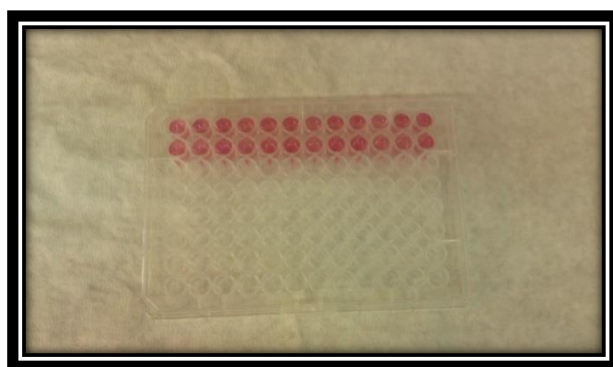
Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στη μετατροπή της γλυκόζης σε ένα προϊόν ερυθρού χρώματος το οποίο είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής δράσης των ενζύμων οξειδάση και υπεροξειδάση της γλυκόζης. Αρχικά η γλυκόζη με τη δράση της οξειδάσης της γλυκόζης μετατρέπεται σε γλυκονικό οξύ με την ταυτόχρονη παραγωγή υπεροξειδίου του υδρογόνου. Ακολούθως το υπεροξείδιο του υδρογόνου παρουσία αμινοφαιναζόνης και κάποιου φαινολικού παραγώγου με τη δράση της υπεροξειδάσης μετατρέπεται σε κάποιο προϊόν ερυθρού χρώματος το οποίο παρουσιάζει μέγιστη απορρόφηση στα 510 nm. (GOD: γλυκόζη οξειδάση, POD: υπεροξειδάση).



Εικόνα 2.3-29. Αλληλουχία ενζυμικών αντιδράσεων που οδηγούν στην ποσοτικοποίηση της γλυκόζης (Waste2bio project, 2014)

Το εμπορικό διαγνωστικό σκεύασμα είναι προϊόν της εταιρείας Βιοτεχνολογικές Εφαρμογές ΕΠΕ (παράγει in vitro διαγνωστικά αντιδραστήρια κλινικής χημείας τα οποία κυκλοφορούν με το εμπορικό σήμα "biosis") και σύμφωνα με τις οδηγίες το διάλυμα εργασίας παρασκευάζεται μεταφέροντας ποσοτικά ένα φιαλίδιο ενζύμων σε ένα φιαλίδιο ρυθμιστικού διαλύματος (το προκύπτον διάλυμα είναι σταθερό 45 ημέρες στους 4°C). Μετά την ανασύσταση η περιεκτικότητα του διαλύματος εργασίας είναι: ρυθμιστικό διάλυμα 200 mM, pH 8.0, οξειδάση της γλυκόζης 18 IU/mL, υπεροξειδάση 10 U/mL, αμινοφαιζόνη 0.25 mM, παράγωγο φαινόλης 10 mM, συμπαράγοντες.

Για τον προσδιορισμό της γλυκόζης, πραγματοποιήθηκε αραιώση 1:5 και 1:10 στα εκχυλίσματα ενώ τα εκπλύματα παρέμειναν αναρραίωτα. Στη συνέχεια, στην πλάκα μικροτιτλοδότησης (Εικόνα 2.2-30) τοποθετήθηκαν 10 μL του προς προσδιορισμό δείγματος και 240 μL του ειδικού εμπορικού διαγνωστικού σκευάσματος kit. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της γλυκόζης έγινε με τη βοήθεια microplate reader (SpectraMax 250, Molecular Devices) (Εικόνα 2.3-31). Ακολούθησε επώαση στους 37°C για 15 min και μέτρηση σε μήκος κύματος 510 nm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν.



Εικόνα 2.3-30. Πλάκα μικροτιτλοδότησης



Εικόνα 2.3-31. Microplate Reader

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης της γλυκόζης. Πιο συγκεκριμένα:

$$C_{\text{γλυκόζης}} \text{ (mg/ml)} = [(0,9096 \cdot \text{ABSmean} - 0,0317) \cdot D]$$

όπου :

ABSmean: ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος στο microplate reader)

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα παραμένει αναραϊώτο, D=5 όταν η αραίωση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραίωση είναι 1:10).

2.3.4.7. Προσδιορισμός αναγωγικών σακχάρων

Η μέτρηση αναγωγικών υδατανθράκων πραγματοποιείται με τη φωτομετρική μέθοδο του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος (DNS ή 2-υδρόξυ-3,5-δινιτροβενζοϊκό οξύ) (Miller, 1959).

Οι υδατάνθρακες κατηγοριοποιούνται γενικά σε τρεις κατηγορίες: μονοσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες.

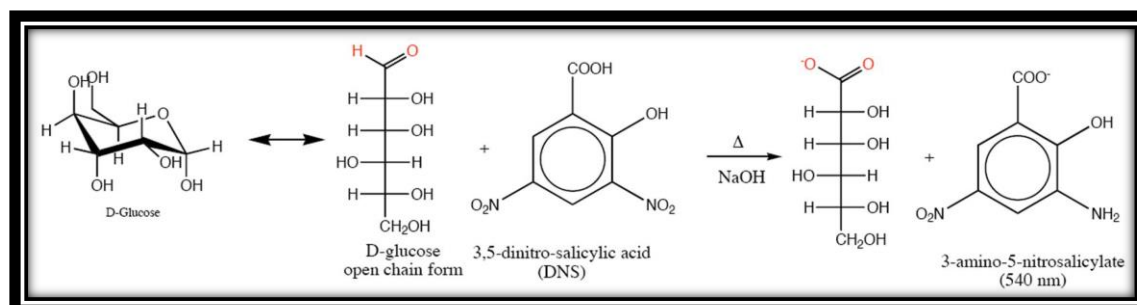
(α) Μονοσακχαρίτες: είναι οι υδατάνθρακες που δεν μπορούν να υδρολυθούν περαιτέρω προκειμένου να δώσουν απλούστερη μονάδα πολυ-υδρόξυ αλδεϋδης ή κετόνης. Επιπλέον οι μονοσακχαρίτες κατηγοριοποιούνται με βάση τον αριθμό των ανθράκων και τη δραστική ομάδα του μορίου τους. Μονοσακχαρίτης με 3 άτομα άνθρακα ονομάζεται τριόζη, με τέσσερα τετρόζη, με πέντε πεντόζη, με έξι εξόζη κλπ. Επίσης αν ο μονοσακχαρίτης περιέχει αλδεϋδομάδα στο μόριό του ανήκει στην κατηγορία των αλδοζών ενώ αν περιέχει κετονομάδα στην κατηγορία των κετοζών. Περίπου 20 μονοσακχαρίτες υπάρχουν στην φύση και οι πλέον κοινοί περιέχουν 5 (πεντόζες) ή 6 (εξόζες) άτομα άνθρακα: γλυκόζη, φρουκτόζη, ριβόζη, αραβονόζη, ξυλόζη κλπ.

(β) Ολιγοσακχαρίτες: είναι οι υδατάνθρακες που κατά την υδρόλυσή τους μπορούν να αποδώσουν 2 έως 10 μονάδες μονοσακχαριτών. Ανάλογα με τον αριθμό των μονοσακχαριτών που αποδίδουν κατά την υδρόλυση διακρίνονται σε δι-σακχαρίτες, τρι-σακχαρίτες, τετρα-σακχαρίτες κλπ. Παραδείγματα δι-σακχαριτών είναι η σακχαρόζη η οποία υδρολυόμενη δίνει ένα ισομοριακό μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης και η μαλτόζη η οποία υδρολυόμενη δίνει 2 μόρια γλυκόζης.

(γ) Πολυσακχαρίτες: είναι οι υδατάνθρακες που κατά την υδρόλυσή τους παράγουν μεγάλο αριθμό μονοσακχαριτών. Παραδείγματα πολυσακχαριτών είναι το άμυλο, η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη, το γλυκογόνο κλπ.

Επιπλέον οι υδατάνθρακες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως αναγωγικοί ή μη-αναγωγικοί. Αναγωγικοί υδατάνθρακες είναι αυτοί που μπορούν να λειτουργήσουν ως αναγωγικοί παράγοντες γεγονός που οφείλεται στην παρουσία ελεύθερης αλδεϋδομάδας ή κετονομάδας στο μόριό τους. Στην εικόνα 2.3-32 παρουσιάζονται οι δομές χαρακτηριστικών αναγωγικών υδατανθράκων.

Την συγκεκριμένη ιδιότητα χρησιμοποιεί η μέθοδος DNS για την ποσοτικοποίηση των σακχάρων σε κάποιο διάλυμα. Η αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος (κίτρινο χρώμα) οδηγεί στη δημιουργία ενός προϊόντος του 3-άμινο-5-νιτροσαλικυλικού οξέος (πορτοκαλί-κίτρινο) το οποίο εμφανίζει μέγιστο απορρόφησης σε μήκος κύματος 540 nm.



Εικόνα 2.3-32. Αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος προς 3-άμινο-5-νιτροσαλικυλικό οξύ παρουσία γλυκόζης
(Waste2bio project, 2014)

Για τον προσδιορισμό αναγωγικών σακχάρων χρησιμοποιήθηκαν ξανά τα αναραίωτα εκπλύματα και τα αραιωμένα εκχυλίσματα. Σε δοκιμαστικούς σωλήνες προσθέσαμε 250 μL του εκάστοτε διαλύματος (εκχύλισμα ή έκπλυμα), 250 μL DNS (δινιτροσαλικυλικό οξύ) και μαζί με το τυφλό δείγμα (250 μL νερό και 250 μL DNS) τα τοποθετήσαμε όλα μαζί σε ειδική διάταξη βρασμού για 5 λεπτά (Εικόνα 2.3-33).



Εικόνα 2.3-33. Βρασμός διαλύματος σε δοκιμαστικούς σωλήνες

Μετά το πέρας του βρασμού, προστέθηκαν 2 ml νερό σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα και αφού πραγματοποιήθηκε καλή ανάδευση σε συσκευή Vortex (Εικόνα 2.3-34), το περιεχόμενο των σωλήνων τοποθετήθηκε σε ειδικό φωτόμετρο (Εικόνα 2.3-35) προκειμένου να προσμετρηθεί η απορρόφηση των σακχάρων στα 540 nm.



Εικόνα 2.3-34. Συσκευή Vortex



Εικόνα 2.3-35. Φωτόμετρο (μέτρηση απορρόφησης στα 540 nm)

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης αναγωγικών σακχάρων. Πιο συγκεκριμένα:

$$C_{\text{σακχάρων}} \text{ (mg)} = [(1,8135 \cdot \text{ABSmean} - 0,0221) \cdot D]$$

όπου :

ABSmean: ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος στο ειδικό φωτόμετρο)

D: η αραιώση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα παραμένει αναραιώτο, D=5 όταν η αραιώση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραιώση είναι 1:10).

2.3.4.8. Προσδιορισμός αμύλου

Για να γίνει προσδιορισμός του αμύλου στο δείγμα πρέπει πρώτα να αφαιρεθεί από αυτό όλη η ποσότητα ελεύθερης γλυκόζης.

Απομάκρυνση ελεύθερης γλυκόζης

Για την απομάκρυνση ελεύθερης γλυκόζης ζυγίστηκαν δύο δείγματα (δύο επαναλήψεις για κάθε δείγμα) των 100 mg και τοποθετήθηκαν σε γυάλινα φιαλίδια. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 5 ml αιθανόλης (80%) στο κάθε ένα, ακολούθησε ανάδευση στη συσκευή vortex κι έπειτα τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 85°C για 5 λεπτά. Μετά την παραμονή τους στο υδατόλουτρο, τα δείγματα επανατοποθετήθηκαν στη συσκευή vortex για καλή ανάδευση. Στη συνέχεια, τα δείγματα μεταγγίστηκαν σε πλαστικά φάλκον προσθέτοντας 5 ml αιθανόλης και τα τοποθετήθηκαν στη φυγοκέντριση για 10 λεπτά στις 3000 στροφές. Μετά τη φυγόκεντρο, αφαιρέθηκε το υπερκείμενο υγρό, προστέθηκαν ξανά 10 ml αιθανόλης, ακολούθησε ξανά ανάδευση σε vortex και εισαγωγή των δειγμάτων στη φυγόκεντρο για ακόμα 10 λεπτά. Η ελεύθερη γλυκόζη απομακρύνθηκε μετά την τελευταία αφαίρεση του υπερκείμενου υγρού.

Προσδιορισμός αμύλου

Σε αυτήν τη φάση της πειραματικής διαδικασίας, το δείγμα μεταγγίστηκε από το πλαστικό φάλκον σε γυάλινο φιαλίδιο με τη χρήση 0,2 ml αιθανόλης. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 2 ml υδροξειδίου του καλίου (KOH) 2M και μαζί με το τυφλό δείγμα (100 mg νερό+0,2 ml αιθανόλης + 2 ml KOH) τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο με ανάδευση για 20 λεπτά. Έπειτα, προστέθηκαν και στα 3 φιαλίδια 8 ml Buffer (Sodium Acetate), 0,1 ml A-αμυλάση και 0,1 ml AMG αμυλάση και εισήχθησαν σε υδατόλουτρο στους 50°C για 30 λεπτά. (Εικόνα 2.3-36).



Εικόνα 2.3-36. Υδατόλουτρο στους 50°C

Μετά το υδατόλουτρο, παρέμειναν σε παγόλουτρο για 5 λεπτά και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε φυγοκέντριση στις 3000 στροφές για 10 λεπτά (Εικόνα 2.3-37).



Εικόνα 2.3-37. Φυγόκεντρος αντλία

Μετά το τέλος της φυγοκέντρισης συλλέχθηκαν 6 ml από το υπερκείμενο τα οποία τοποθετήθηκαν σε πλαστικά φιαλίδια και στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία μέτρησης της γλυκόζης στο υπερκείμενο. Δηλαδή, στην πλάκα μικροτιλοδότησης τοποθετήθηκαν 10 μ L του προς προσδιορισμό δείγματος (αραιωμένο 9:1) και 240 μ L του ειδικού εμπορικού διαγνωστικού σκευάσματος kit. Ακολούθησε επώαση στους 37°C για 15 min και μέτρηση σε μήκος κύματος 510 nm στο microplate reader. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν εις τριπλούν.

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης της γλυκόζης και στη συνέχεια, με τη βοήθεια επιπρόσθετων καμπύλων προσδιορίζονται οι ποσότητες κυτταρίνης-ημικυτταρίνης στο διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα:

$$C_{\text{γλυκόζης}} \text{ (mg/ml)} = [(0,9096 \cdot \text{ABSmean} - 0,0317) \cdot D]$$

$$C_{\text{γλυκόζης(blank)}} \text{ (mg/ml)} = [(0,9096 \cdot \text{ABSmean(blank)} - 0,0317) \cdot D]$$

$$\text{Total}_{\text{glucose}} \text{ (mg)} = [C_{\text{γλυκόζης}} \text{ (mg/ml)} - C_{\text{γλυκόζης(blank)}} \text{ (mg/ml)}] \cdot \text{Volume(ml)}$$

Η ποσότητα, λοιπόν, αμύλου στο ξηρό δείγμα υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\text{starch/100 g dry} = \text{Total}_{\text{glucose}} \text{ (mg)} \cdot 0,9 \cdot 100 / \text{Initial Dry Solid}$$

όπου :

ABSmean: ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος στο microplate reader)

ABSmean(blank): ο μέσος όρος απορρόφησης του τυφλού δείγματος (μετρούμενος στο microplate reader)

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα παραμένει αναραίωτο, D=5 όταν η αραίωση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραίωση είναι 1:10)

Volume = 10,40 ml (προκαθορισμένη τιμή)

Initial Dry Solid = η μάζα του δείγματος

$0,9 = 162/180 = \text{Mr glucose}/\text{Mr starch}$

2.3.4.9. Προσδιορισμός κυτταρίνης

Για τον προσδιορισμό κυτταρίνης χρησιμοποιήθηκαν 300 mg από το εναπομείναν υλικό στο διηθητικό χαρτί. Αυτή η ποσότητα υλικού τοποθετήθηκε σε κωνικές φιάλες των 100 ml μαζί με 3 ml H₂SO₄ (72%). Οι κωνικές φιάλες τοποθετήθηκαν στη συσκευή επώασης στους 30°C για 1 ώρα (Εικόνα 2.3-38).



Εικόνα 2.3-38. Επώαση στους 30°C

Μετά το τέλος της επώασης, προστέθηκαν 84 ml νερό στην κάθε κωνική και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στη συσκευή αποστείρωσης στους 121°C για 1 ώρα (Εικόνα 2.3-39).

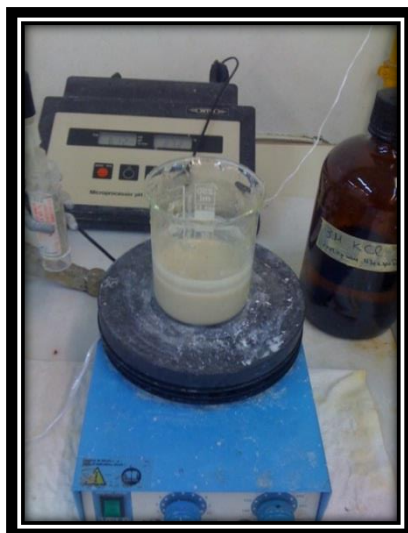


Εικόνα 2.3-39. Συσκευή αποστείρωσης



Εικόνα 2.3-40. Κωνικές φιάλες σε αποστείρωση

Μετά την αποστείρωση, οι κωνικές εισήχθησαν στο cold room για χρονικό διάστημα μιάμισης ώρας περίπου έτσι ώστε να παγώσουν. Έπειτα, ακολούθησε η εξουδετέρωση του διαλύματος, που εμπεριέχεται σε κάθε κωνική, με χρήση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) σε ειδικό αναδευτήρα. Η ποσότητα CaCO_3 που προστέθηκε ήταν τόση ώστε το pH του διαλύματος να φτάσει κοντά την τιμή 5 (Εικόνα 2.3-41).



Εικόνα 2.3-41. Εξουδετέρωση διαλύματος με CaCO_3

Στο τέλος της ανάδευσης, το διάλυμα αφέθηκε να ηρεμήσει και μετά από 10 λεπτά συλλέχθηκαν 6 ml, σε μικρά φιαλίδια, από το υπερκείμενο που είχε σχηματιστεί. Τα φιαλίδια αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη για 24 ώρες. Την επόμενη ημέρα, ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία προσδιορισμού συγκέντρωσης της γλυκόζης, αυτή τη φορά όμως στο υπερκείμενο διάλυμα. Πραγματοποιήθηκε αραιώση 1:5 και 1:10 στα υπερκείμενα και στη συνέχεια, στην πλάκα μικροτιτλοδότησης τοποθετήθηκαν 10 μL του προς προσδιορισμό δείγματος και 240 μL του ειδικού εμπορικού διαγνωστικού σκευάσματος kit. Ακολούθησε επώαση στους 37°C για 15 min και μέτρηση σε μήκος κύματος 510 nm με τη βοήθεια microplate reader (SpectraMax 250, Molecular Devices).

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης της γλυκόζης και στη συνέχεια, με τη βοήθεια επιπρόσθετων καμπύλων προσδιορίζονται οι ποσότητες κυτταρίνης-ημικυτταρίνης στο διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα:

$$C_{\text{γλυκόζης}} (\text{mg/ml}) = [(0,9096 \cdot \text{ABSmean} - 0,0317) \cdot D]$$

$$\text{Total}_{\text{glucose}} (\text{mg}) = C_{\text{γλυκόζης}} (\text{mg/ml}) \cdot \text{Final Volume (ml)}$$

$$\text{g glucose/100 g solid} = \text{Total}_{\text{glucose}} (\text{mg}) \cdot 100 / \text{Initial Solid Weight}$$

$$\text{g glucose/100 g dry} = [(\text{g/100 g solid}) \cdot (100 - \% \text{soluble}) / 100] / 0,897$$

Στη συνέχεια αφαιρείται από την ποσότητα της υπολογιζόμενης γλυκόζης η ποσότητα της γλυκόζης του αμύλου :

$$\text{net g glucose/100 g dry} = (\text{g glucose/100 g dry}) - (\text{g glucose/100 g dry})_{\text{starch}}$$

Η ποσότητα, λοιπόν, κυτταρίνης-ημικυτταρίνης, στην ξηρή ποσότητα του δείγματος, υπολογίζεται αντίστοιχα από τη σχέση:

$$\text{g cellulose/100 g dry} = \text{net g glucose/100 g dry} \cdot 0,9$$

όπου :

ABS_{mean}: ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος στο microplate reader)

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα παραμένει αναραίωτο, D=5 όταν η αραίωση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραίωση είναι 1:10)

Final Volume = 86,73 ml (προκαθορισμένη τιμή)

Initial Solid Weight = μάζα του δείγματος

(%) Soluble = το ποσοστό (%) υδατοδιαλυτών

$$0,9 = 162/180 = \text{Mr glucose/Mr starch}$$

0,897 = συντελεστής διόρθωσης γλυκόζης

3. Αποτελέσματα-Συζήτηση

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών όπως αυτά προέκυψαν σε όλη τη διάρκεια των πειραματικών αναλύσεων.

3.1. 1^{ος} κύκλος ξήρανσης (1μελής οικογένεια)

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και αποτελέσματα του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης ο οποίος αφορά σε προεπεξεργασία ποσότητας διατροφικών απορριμμάτων 1^{μελοῦς} οικογένειας. Η ποσότητα που απορρίπτονταν σε ημερήσια βάση ήταν 410 gr νωπού υλικού το οποίο ξηραίνονταν για 8 ώρες ημερησίως.

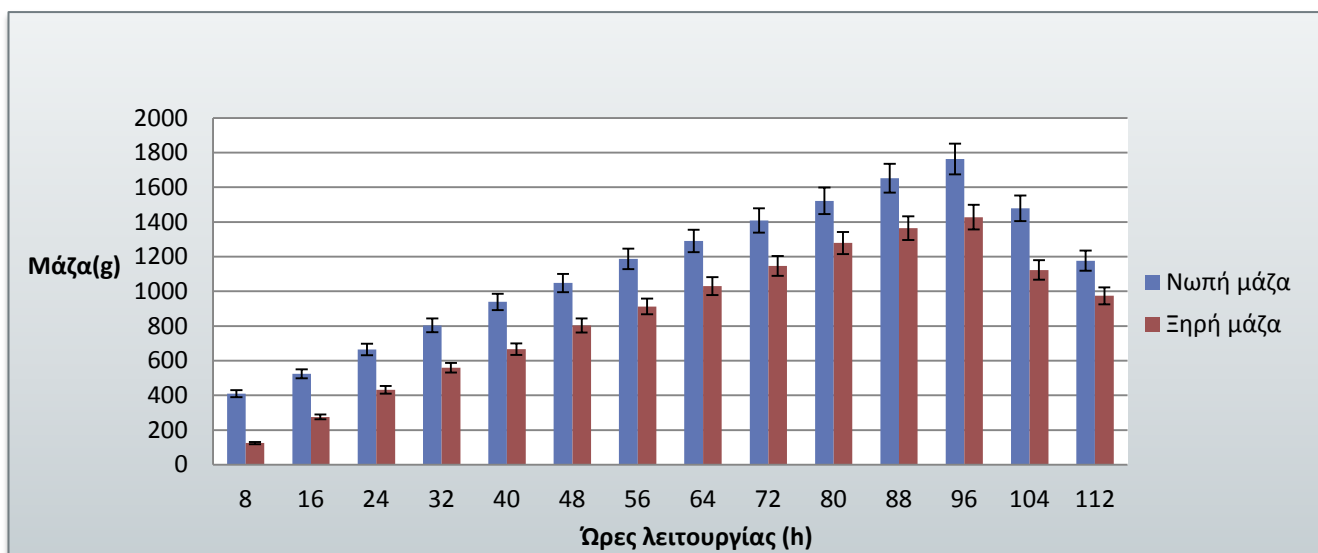
3.1.1. Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται: η ποσότητα της νωπής μάζας που τοποθετούνταν ανά ημέρα στο εσωτερικό της συσκευής, η ποσότητα της ξηρής μάζας που παρέμενε στο εσωτερικό της συσκευής μετά το πέρας των 8 ωρών λειτουργίας και τα αποτελέσματα μείωσης της μάζας του οργανικού υλικού το οποίο επεξεργάστηκε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου με τη χρήση του συστήματος οικιακής ξήρανσης DRYWASTE.

Πίνακας 5. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1^{ος} κύκλος)

Ξήρανση σε ώρες (h)	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας (g)
8	410	125	285
16	524	276	248
24	664	432	232
32	804	560	244
40	939	666	273
48	1048	803	245
56	1187	913	274
64	1290	1031	259
72	1409	1146	263
80	1522	1279	243
88	1652	1364	288
96	1763	1428	335
104	1479	1123	356
112	1177	974	203

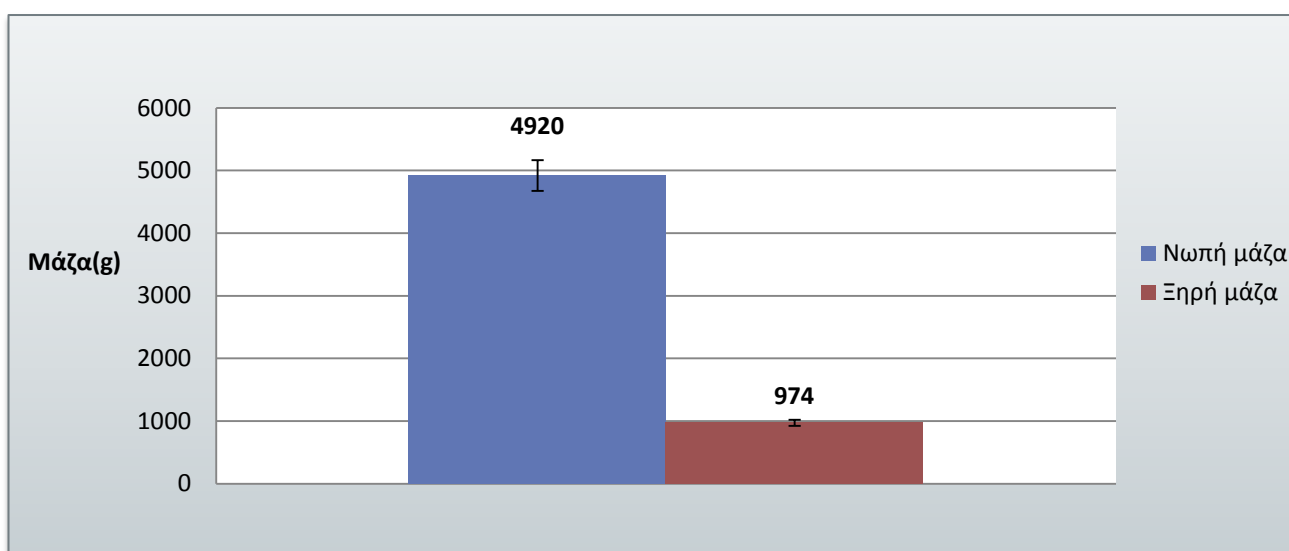
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 3.1-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1^{ος} κύκλος)

Στο παραπάνω ραβδόγραμμα, παρατηρείται ότι η μάζα του νωπού υλικού αυξάνεται μέχρι και το 12^ο οκτώωρο. Αυτό συμβαίνει διότι εκείνη τη χρονική στιγμή το καλάθι στον εσωτερικό χώρο του ξηραντήρα τοποθετούνταν υλικό προκειμένου να επεξεργαστεί με τη χρήση της συσκευής οικιακή ξήρανσης. Σε εκείνο το σημείο, η συσκευή έφτασε σε πλήρωση και δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω προσθήκη νωπού υλικού. Η διεργασία της ξήρανσης έλαβε τέλος όταν επιτεύχθηκε σχετική σταθεροποίηση του ξηρού υλικού στο 14^ο οκτώωρο.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.



Διάγραμμα 3.1-2. Συνολική μεταβολή μάζας 1^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης μάζας του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ ποσοστό μείωσης μάζας} = \frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \cdot 100 = 80,2 \%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης μάζας είναι υψηλό γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας της οικιακής ξήρανσης με χρήση του συστήματος DRYWASTE. Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι δεν υφίσταται παγκοσμίως μέθοδος προεπεξεργασίας οικιακών διατροφικών απορριμμάτων η οποία να επιτυγχάνει δραστική μείωση της μάζας των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων στη πηγή, καθώς η οικιακή κομποστοποίηση αφορά στη διαλογή και κομποστοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων στη πηγή για τη παραγωγή κόμποστ χωρίς να προϋποθέτει μείωση της μάζας των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων στην πηγή, ενώ η οικιακή αναερόβια χώνευση αφορά στη διαλογή των οικιακών διατροφικών απορριμμάτων στη πηγή για τη παραγωγή βιοαερίου χωρίς ωστόσο και αυτή να αφορά στη μείωση της μάζας τους.

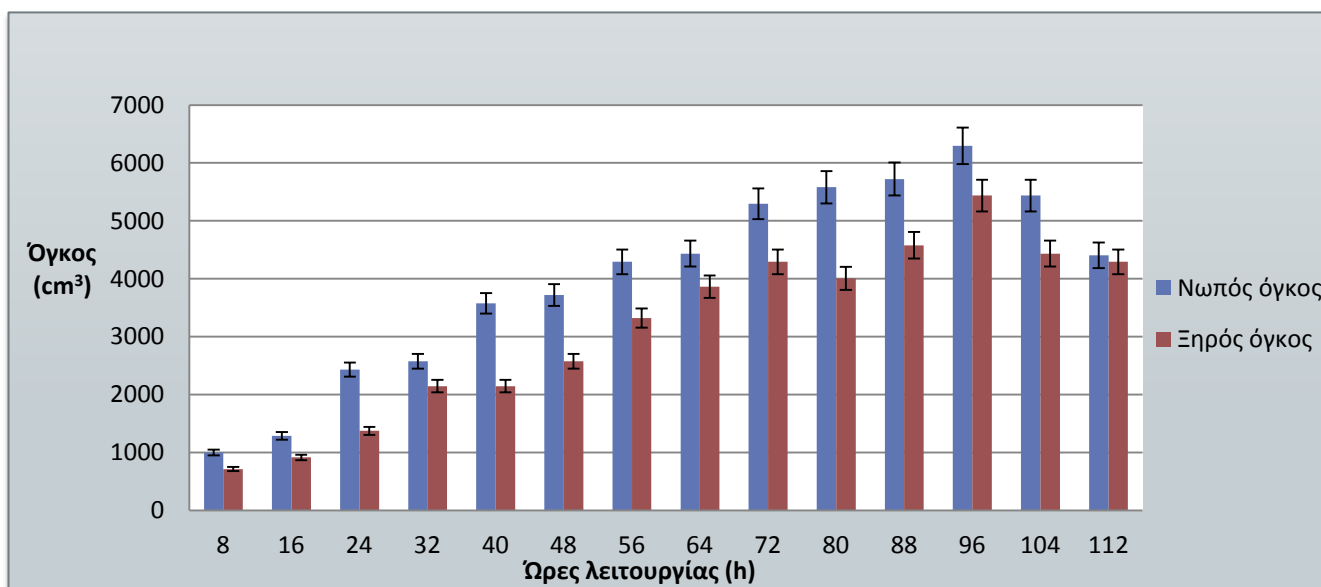
3.1.2. Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μείωσης του όγκου των διατροφικών απορριμμάτων όπως αυτά προέκυψαν σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.

Πίνακας 6. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1^{ος} κύκλος)

	Αρχικός ύψος (cm)	Τελικό ύψος (cm)	Αρχικός όγκος (cm ³)	Τελικός όγκος (cm ³)
8 ώρες	1,75	1,25	1001,46	715,33
16 ώρες	2,25	1,6	1287,59	915,62
24 ώρες	4,25	2,4	2432,12	1373,43
32 ώρες	4,5	3,75	2575,19	2145,98
40 ώρες	6,25	3,75	3576,65	2145,98
48 ώρες	6,5	4,5	3719,72	2575,19
56 ώρες	7,5	5,8	4291,98	3319,13
64 ώρες	7,75	6,75	4435,05	3862,78
72 ώρες	9,25	7,5	5293,45	4291,98
80 ώρες	9,75	7	5579,58	4005,85
88 ώρες	10	8	5722,65	4578,12
96 ώρες	11	9,5	6294,91	5436,51
104 ώρες	9,5	7,75	5436,517	4435,05
112 ώρες	7,7	7,5	4406,44	4291,98

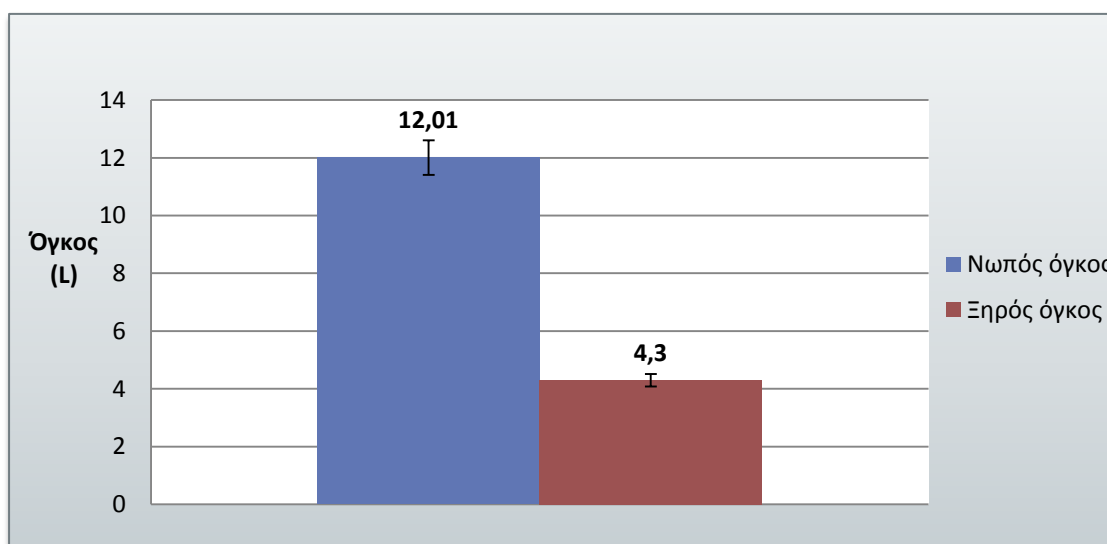
Και το αντίστοιχο ραβδόγραμμα :



Διάγραμμα 3.1-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (1^{ος} κύκλος)

Οι μπλε στήλες απεικονίζουν τον όγκο του νωπού δείγματος και οι κόκκινες τον όγκο του ξηρού. Παρατηρείται ότι ο όγκος του δείγματος μειώνεται σταθερά σε κάθε οκτώωρο. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν και το αναμενόμενο εφόσον η διεργασία της ξήρανσης αφαιρεί από το δείγμα την περιεχόμενη σε αυτό υγρασία. Συνεπώς, ο όγκος του δείγματος, όπως και η μάζα του, συνεχώς μειώνεται.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των πειραματικών μετρήσεων και ο συνολικός όγκος ξηρού υλικού που παρέμεινε στο εσωτερικό του ξηραντήρα.



Διάγραμμα 3.1-4. Συνολική μεταβολή όγκου 1^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης όγκου του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ποσοστό μείωσης όγκου} = \frac{\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού}}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \cdot 100 = 64,28\%$$

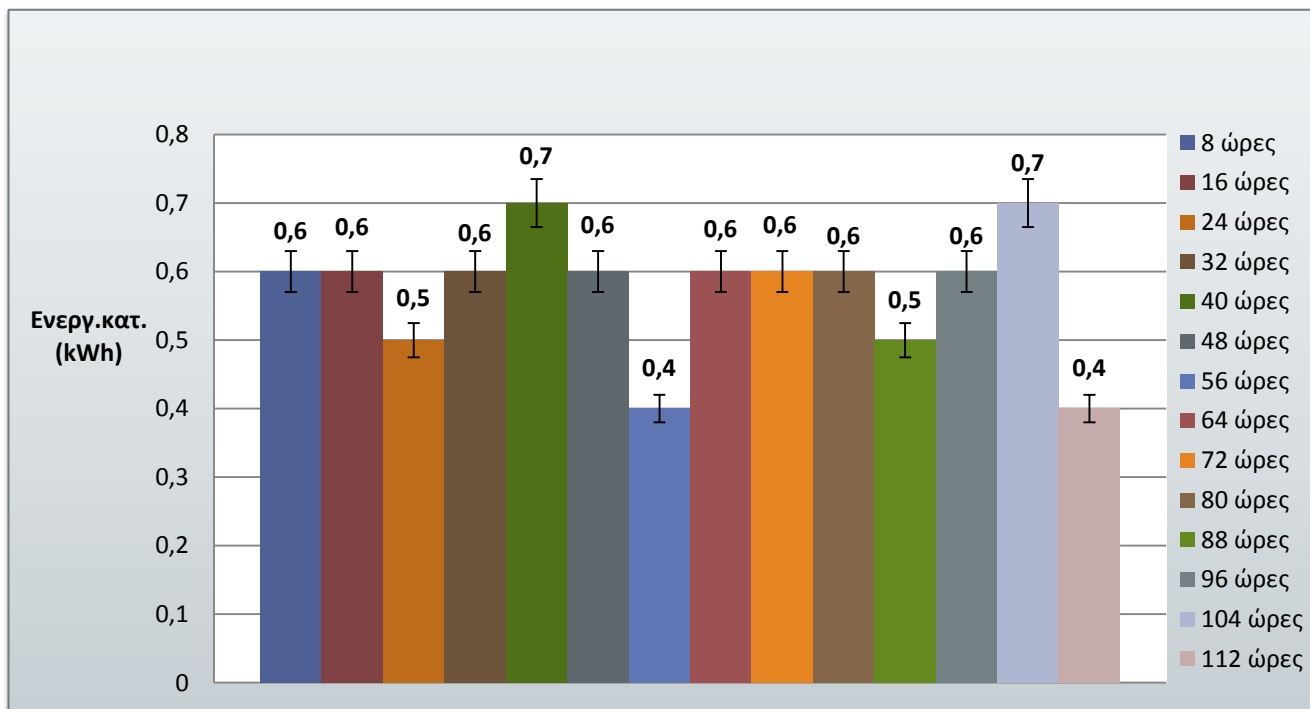
Θεωρώντας ότι μια μέση Ελληνική οικογένεια χρησιμοποιεί σακούλα απορριμμάτων χωρητικότητας 23 L (Εικόνα 3.1-1), προκειμένου να συλλέξει τα απορρίμματά της, υποθέτοντας ότι το παραγόμενο ξηρό υλικό είναι όγκου 4,3 L, η σακούλα χρειάζεται 70 ημέρες για να γεμίσει προκειμένου να συλλεχθεί καθώς το ξηρό υλικό είναι άοσμο και δεν αποσυντίθεται με το πέρασμα του χρόνου. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται πολλαπλά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη για έναν Δήμο και τους δημότες του.



Εικόνα 3.1-1. Σακούλα απορριμμάτων 23 L

3.1.3. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον πρώτο κύκλο (1^{μελή} οικογένεια)

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής σε όλη τη διάρκεια του 1^{ου} κύκλου των εργαστηριακών αναλύσεων.



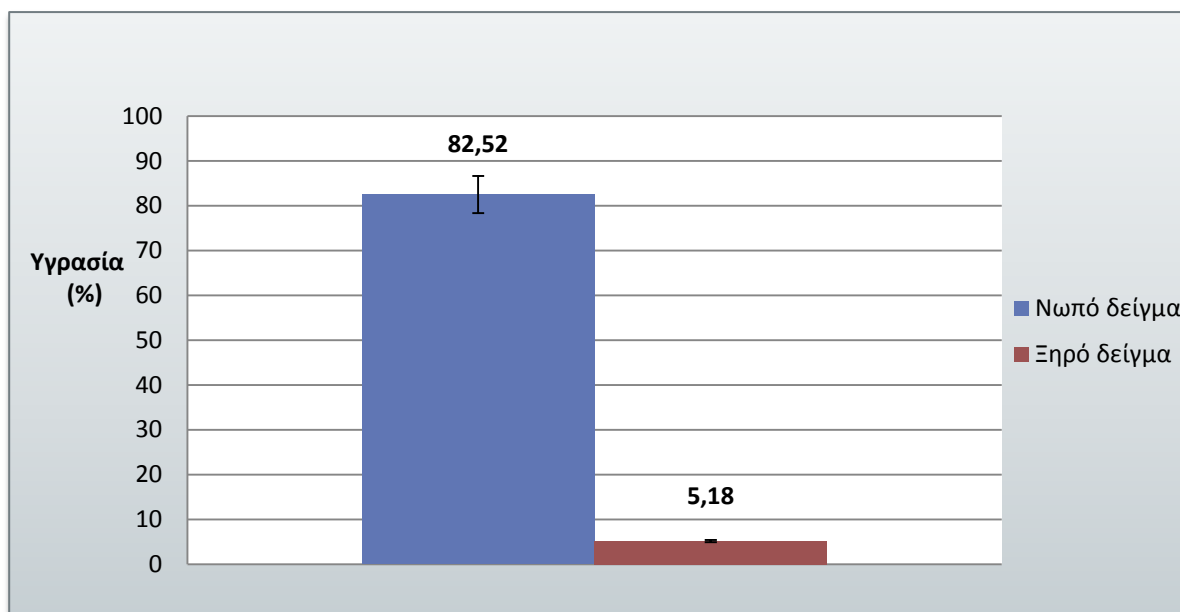
Διάγραμμα 3.1-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 1^{ου} κύκλου

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος DRYWASTE σε όλη τη διάρκεια του 1^{ου} κύκλου των εργαστηριακών δοκιμών, βρέθηκε ίση με 8kWh. Η συνολική μάζα δείγματος που καταναλώθηκε είναι ίση με 4920 g. Επομένως, είναι ίση με:

$$\text{Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση}_{1\text{ου κύκλου}} = 1,62 \text{ kWh/kg}$$

3.1.4. Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)

Η μέση τιμή της υγρασίας του νωπού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε υπολογίστηκε ίση με 82,52 % ενώ η υγρασία του ξηρού δείγματος στο τέλος της διεργασίας ίση με 5,18 %. Η διαφορά των δύο τιμών απεικονίζεται στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 3.1-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 1^{ου} κύκλου

Επομένως :

$$\% \text{ποσοστό μείωσης υγρασίας} = \text{Συνολική υγρασία}_{\text{νωπού}} - \text{Συνολική υγρασία}_{\text{ξηρού}} = 77,3\%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης της υγρασίας είναι αρκετά ικανοποιητικό αν σκεφτεί κανείς ότι μέσω της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήσαμε αφαιρέσαμε σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα της περιεχόμενης υγρασίας γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης.

3.2. 2^{ος} κύκλος ξήρανσης (2μελής οικογένεια)

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και αποτελέσματα του 2^{ου} κύκλου ξήρανσης ο οποίος αφορά σε προεπεξεργασία ποσότητας διατροφικών απορριμμάτων 2^{μελούς} οικογένειας. Η ποσότητα που απορρίπτονταν σε ημερήσια βάση ήταν 821 g νωπού υλικού το οποίο ξηραίνονταν για 8 ώρες ημερησίως.

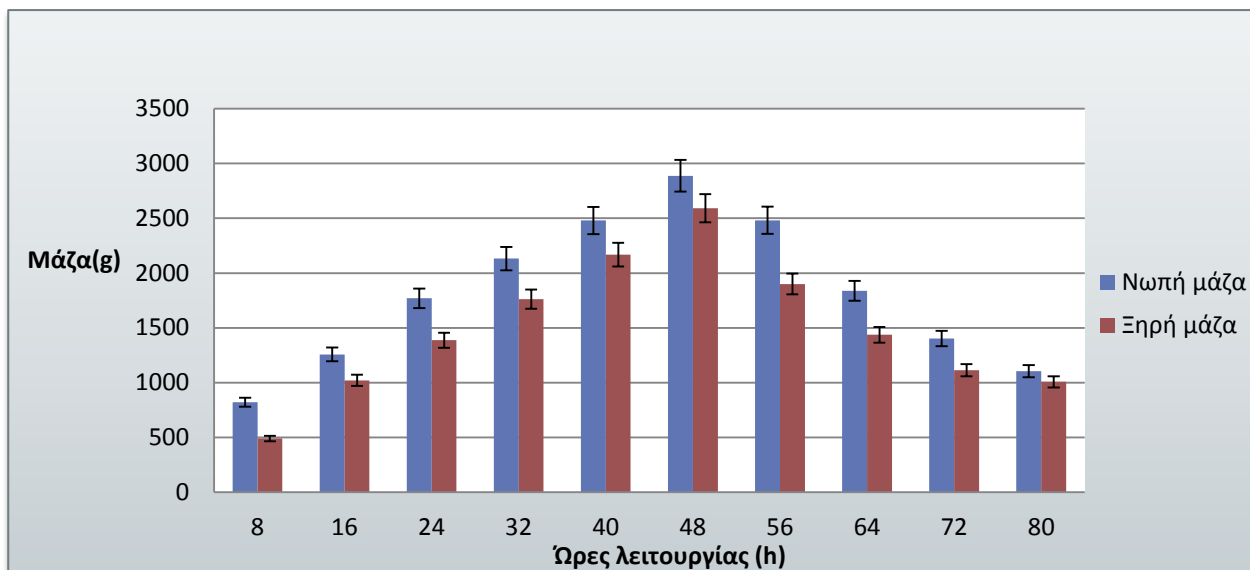
3.2.1. Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται: η ποσότητα της νωπής μάζας που τοποθετούνταν ανά ημέρα στο εσωτερικό της συσκευής, η ποσότητα της ξηρής μάζας που παρέμενε στο εσωτερικό της συσκευής μετά το πέρας των 8 ωρών λειτουργίας και τα αποτελέσματα μείωσης της μάζας του οργανικού υλικού το οποίο επεξεργάστηκε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου με τη χρήση του συστήματος οικιακής ξήρανσης DRYWASTE.

Πίνακας 7. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2^{ος} κύκλος)

Ξήρανση σε ώρες (h)	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας (g)
8	821	490	331
16	1258	1021	237
24	1770	1387	383
32	2133	1761	372
40	2480	2167	313
48	2888	2592	296
56	2481	1900	581
64	1838	1437	401
72	1403	1113	290
80	1105	1007	98

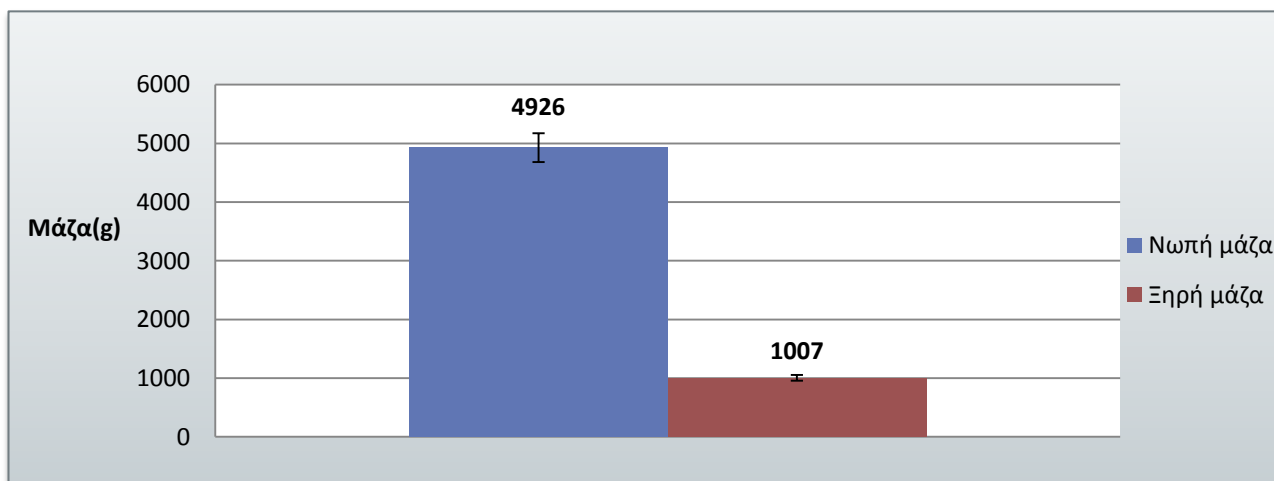
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 2^{ου} κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 3.2-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2^{ος} κύκλος)

Στο παραπάνω ραβδόγραμμα, παρατηρείται ότι η μάζα του νωπού υλικού αυξάνεται μέχρι και το 6^ο οκτάωρο. Αυτό συμβαίνει διότι εκείνη τη χρονική στιγμή το καλάθι στον εσωτερικό χώρο του ξηραντήρα τοποθετούνταν υλικό προκειμένου να επεξεργαστεί με τη χρήση της συσκευής οικιακή ξήρανση. Σε εκείνο το σημείο, η συσκευή έφτασε σε πλήρωση και δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω προσθήκη νωπού υλικού. Η διεργασία της ξήρανσης έλαβε τέλος όταν επιτεύχθηκε σχετική σταθεροποίηση του ξηρού υλικού στο 10^ο οκτάωρο.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.



Διάγραμμα 3.2-2. Συνολική μεταβολή μάζας 2^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης μάζας του 2^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ ποσοστό μείωσης μάζας} = \frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \cdot 100 = 79,55 \%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης μάζας είναι υψηλό γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης.

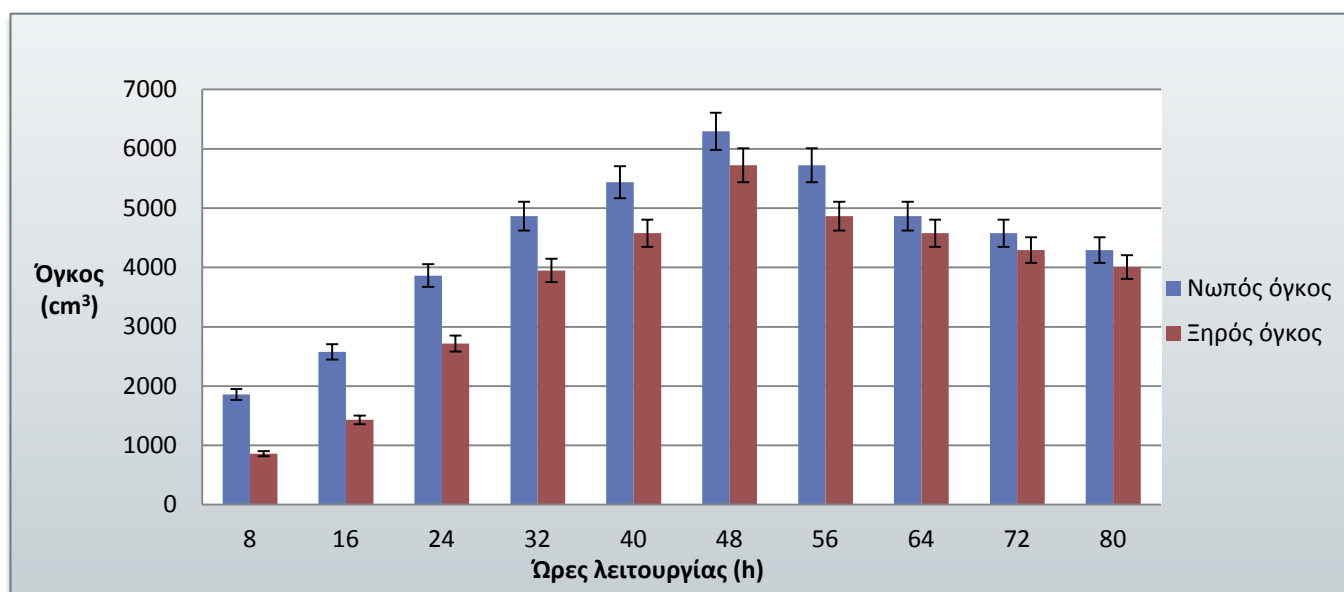
3.2.2. Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μείωσης του όγκου των διατροφικών απορριμμάτων όπως αυτά προέκυψαν σε όλη τη διάρκεια του δεύτερου κύκλου.

Πίνακας 8. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2^{ος} κύκλος)

	Αρχικός ύψος (cm)	Τελικό ύψος (cm)	Αρχικός όγκος (cm ³)	Τελικός όγκος (cm ³)
8 ώρες	3,25	1,5	1859,86	858,39
16 ώρες	4,5	2,5	2575,19	1430,66
24 ώρες	6,75	4,75	3862,78	2718,25
32 ώρες	8,5	6,9	4864,25	3948,62
40 ώρες	9,5	8	5436,51	4578,12
48 ώρες	11	10	6294,91	5722,65
56 ώρες	10	8,5	5722,65	4864,25
64 ώρες	8,5	8	4864,25	4578,12
72 ώρες	8	7,5	4578,12	4291,98
80 ώρες	7,5	7	4291,98	4005,85

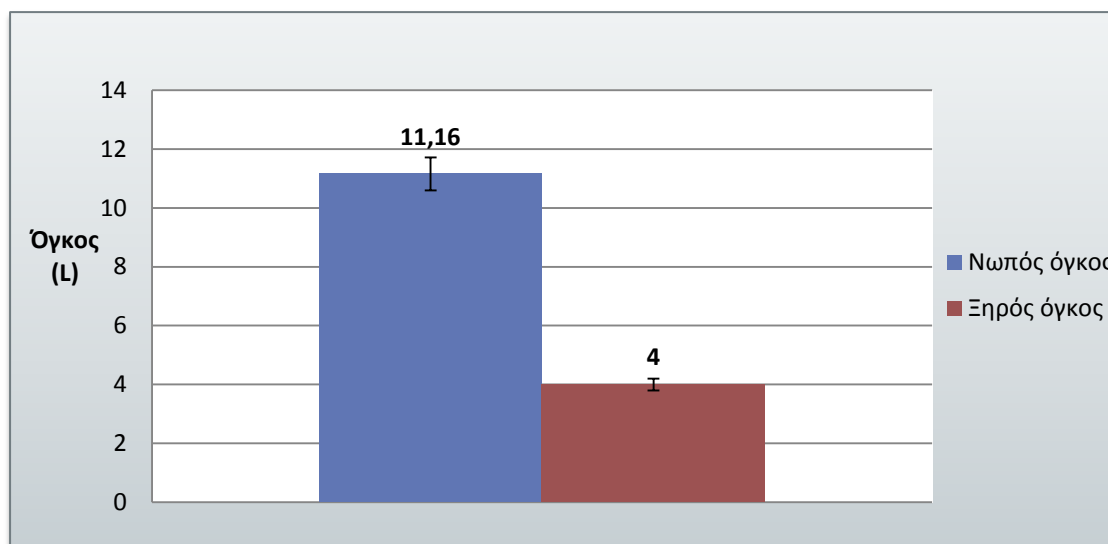
Και το αντίστοιχο ραβδόγραμμα:



Διάγραμμα 3.2-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (2^{ος} κύκλος)

Παρατηρείται ότι ο όγκος του δείγματος μειώνεται σταθερά σε κάθε οκτάωρο. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν και το αναμενόμενο εφόσον η διεργασία της ξήρανσης αφαιρεί από το δείγμα την περιεχόμενη σε αυτό υγρασία. Συνεπώς, ο όγκος του δείγματος, όπως και η μάζα του, συνεχώς μειώνεται.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των πειραματικών μετρήσεων και ο συνολικός όγκος ξηρού υλικού που παρέμεινε στο εσωτερικό του ξηραντήρα.



Διάγραμμα 3.2-4. Συνολική μεταβολή όγκου 2^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης όγκου του 2^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

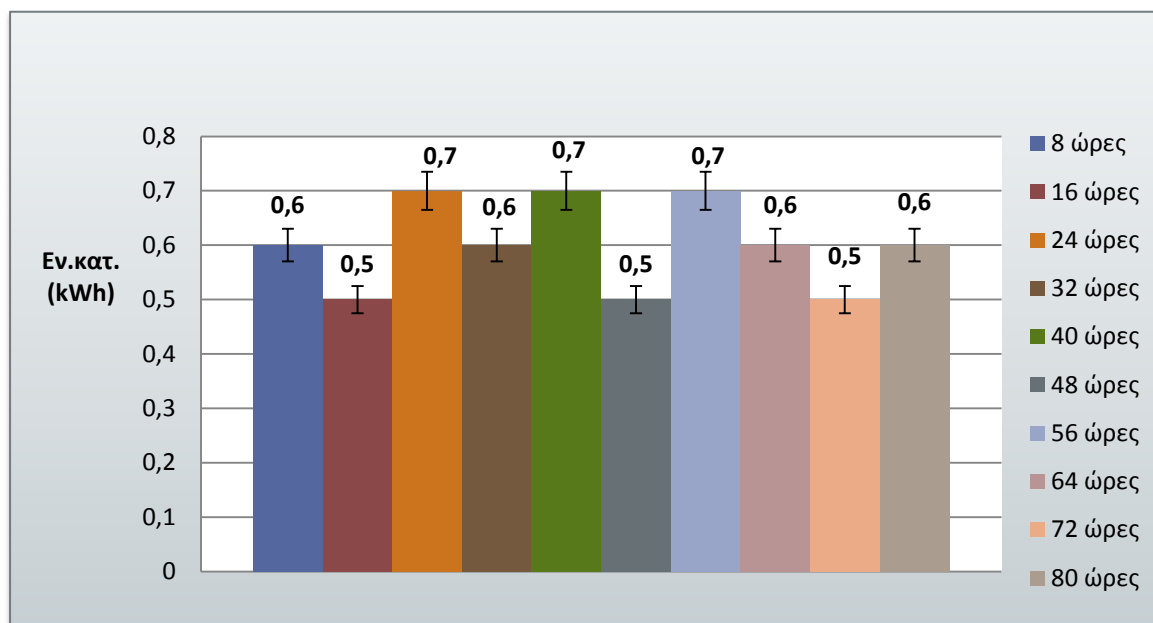
$$\% \text{ποσοστό μείωσης όγκου} = \frac{\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού}}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \cdot 100 = 64,1\%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης όγκου είναι αρκετά υψηλό γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης.

Θεωρώντας ότι μια μέση Ελληνική οικογένεια χρησιμοποιεί σακούλα απορριμμάτων χωρητικότητας 23 L, προκειμένου να συλλέξει τα απορρίμματά της, υποθέτοντας ότι το παραγόμενο ξηρό υλικό είναι όγκου 4 L, η σακούλα χρειάζεται 60 ημέρες για να γεμίσει προκειμένου να συλλεχθεί καθώς το ξηρό υλικό είναι άοσμο και δεν αποσυντίθεται.

3.2.3. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για το δεύτερο κύκλο (2^{μελής} οικογένεια)

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής σε όλη τη διάρκεια του 2^{ου} κύκλου των εργαστηριακών αναλύσεων.



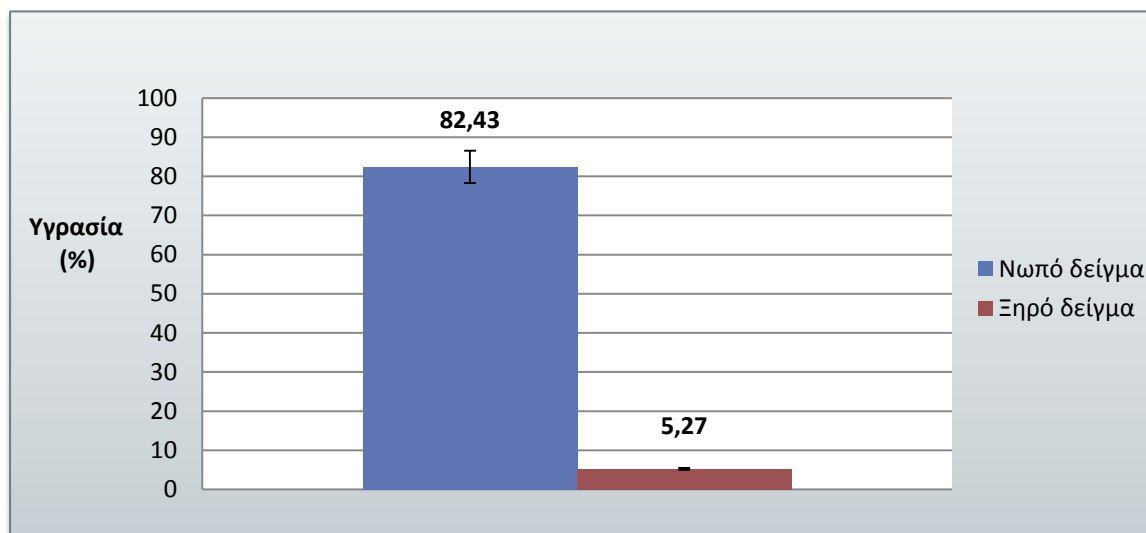
Διάγραμμα 3.2-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 2^{ου} κύκλου

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του 2^{ου} κύκλου είναι ίση με 6 kWh/kg. Η συνολική μάζα δείγματος που καταναλώθηκε είναι ίση με 4926 g. Επομένως,

$$\text{Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση}_{2\text{ου κύκλου}} = 1,21 \text{ kWh/kg}$$

3.2.4. Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)

Η υγρασία νωπού δείγματος υπολογίστηκε ίση με 82,43 % ενώ η υγρασία του ξηρού δείγματος στο τέλος της διεργασίας ίση με 5,27 %. Η διαφορά των δύο τιμών απεικονίζεται στο ραβδόγραμμα παρακάτω.



Διάγραμμα 3.2-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 2^{ου} κύκλου

Επομένως :

$$\% \text{ποσοστό μείωσης υγρασίας} = \text{Συνολική υγρασία}_{\text{νωπού}} - \text{Συνολική υγρασία}_{\text{ξηρού}} = 77,1\%$$

3.3. 3^{ος} κύκλος ξήρανσης (3μελής οικογένεια)

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και αποτελέσματα του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης ο οποίος αφορά σε προεπεξεργασία ποσότητας διατροφικών απορριμμάτων 3^{μελούς} οικογένειας. Η ποσότητα που απορρίπτονταν σε ημερήσια βάση ήταν 1230 g νωπού υλικού το οποίο ξηραίνονταν για 8 ώρες ημερησίως.

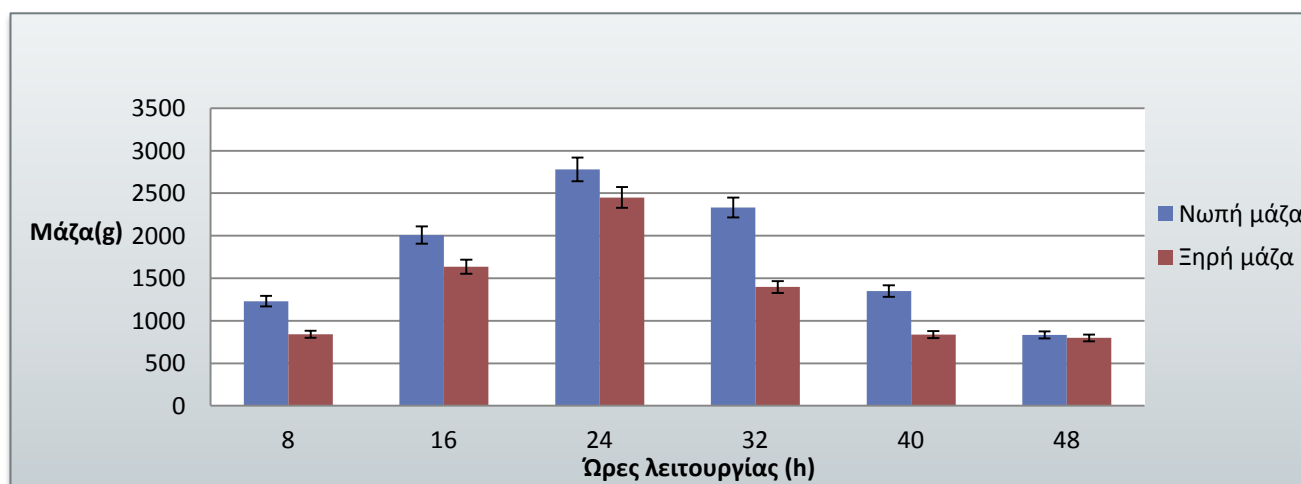
3.3.1. Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος

Στον 3^ο κύκλο ξήρανσης το καλάθι στο εσωτερικό του ξηραντήρα γέμιζε μετά από 3 οκτώωρα. Η διεργασία της ξήρανσης συνεχίστηκε με συνεχή μείωση της μάζας του δείγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 9 αλλά και στο αντίστοιχο Διάγραμμα :

Πίνακας 9. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3^{ος} κύκλος)

Ξήρανση σε ώρες (h)	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας (g)
8	1230	841	389
16	2009	1635	374
24	2782	2451	331
32	2332	1398	934
40	1351	838	513
48	833	798	35

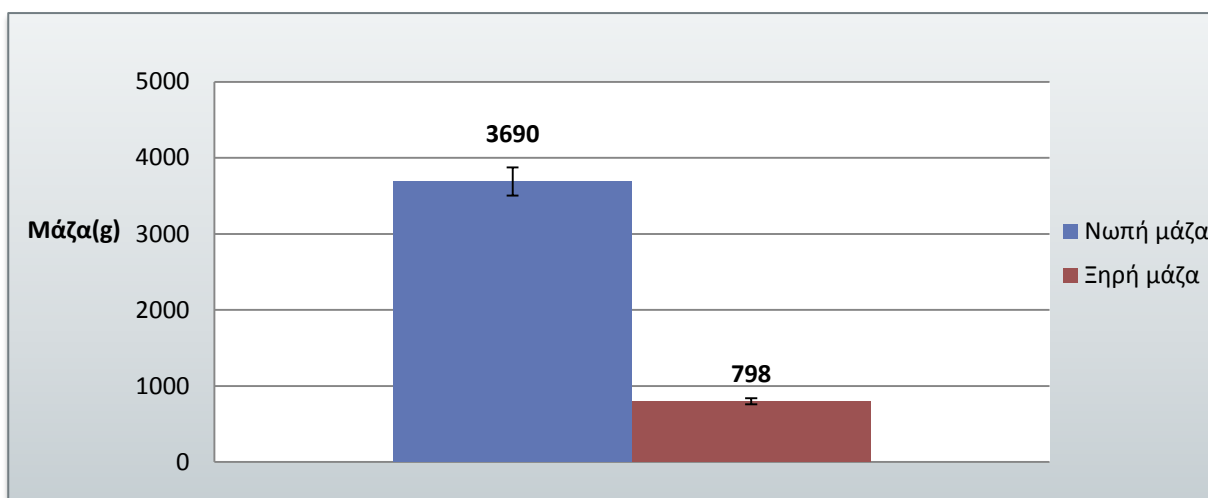
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 3^{ου} κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 3.3-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3^{ος} κύκλος)

Στο παραπάνω ραβδόγραμμα, παρατηρείται ότι η μάζα του νωπού υλικού αυξάνεται μέχρι και το 3^ο οκτάωρο. Αυτό συμβαίνει διότι εκείνη τη χρονική στιγμή το καλάθι στον εσωτερικό χώρο του ξηραντήρα τοποθετούνταν υλικό προκειμένου να επεξεργαστεί με τη χρήση της συσκευής οικιακή ξήρανσης. Σε εκείνο το σημείο, η συσκευή έφτασε σε πλήρωση και δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω προσθήκη νωπού υλικού. Η διεργασία της ξήρανσης έλαβε τέλος όταν επιτεύχθηκε σχετική σταθεροποίηση του ξηρού υλικού στο 6^ο οκτάωρο.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.



Διάγραμμα 3.3-2. Συνολική μεταβολή μάζας 3^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης μάζας του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ ποσοστό μείωσης μάζας} = \frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \cdot 100 = 78,37 \%$$

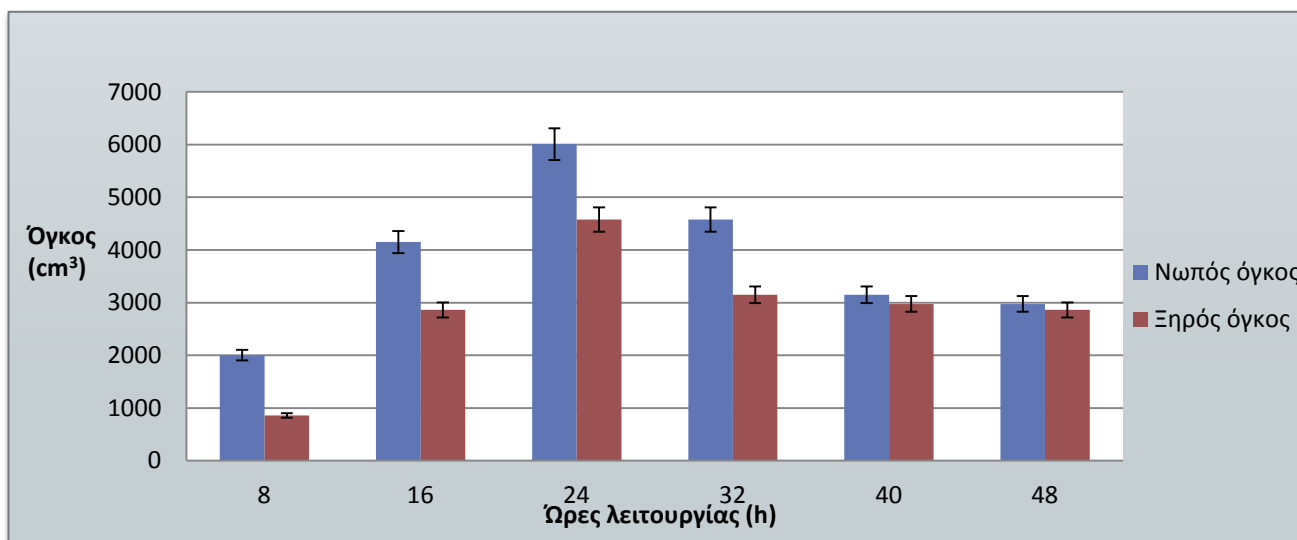
3.3.2. Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μείωσης του όγκου των διατροφικών απορριμμάτων όπως αυτά προέκυψαν σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.

Πίνακας 10. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3^{ος} κύκλος)

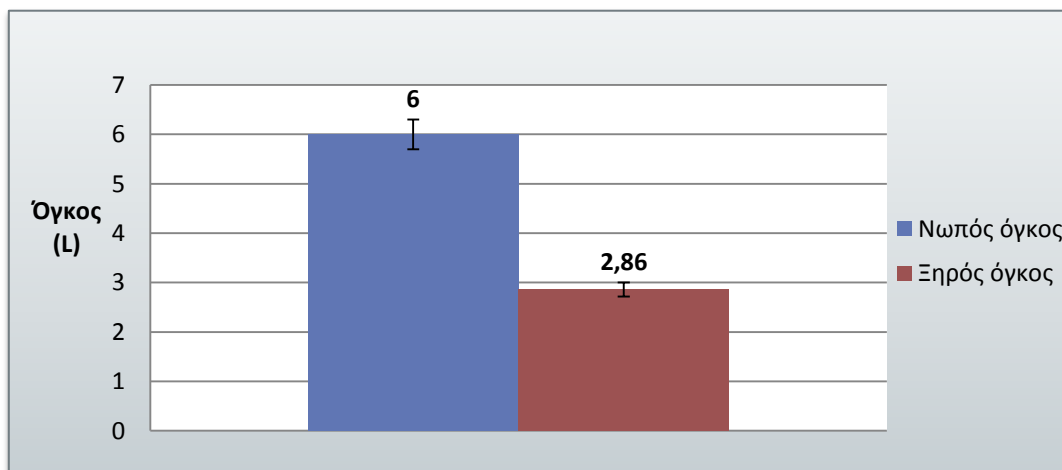
	Αρχικός ύψος (cm)	Τελικό ύψος (cm)	Αρχικός όγκος (cm ³)	Τελικός όγκος (cm ³)
8 ώρες	3,5	1,5	2002,92	858,39
16 ώρες	7,25	5	4148,92	2861,32
24 ώρες	10,5	8	6008,78	4578,12
32 ώρες	8	5,5	4578,12	3147,45
40 ώρες	5,5	5,2	3147,45	2975,77
48 ώρες	5,2	5	2975,77	2861,32

Και το αντίστοιχο ραβδόγραμμα:



Διάγραμμα 3.3-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (3^{ος} κύκλος)

Στο ραβδόγραμμα παρακάτω παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των πειραματικών μετρήσεων και ο συνολικός όγκος ξηρού υλικού που παρέμεινε στο εσωτερικό του ξηραντήρα.



Διάγραμμα 3.3-4. Συνολική μεταβολή όγκου 3^{ου} κύκλου

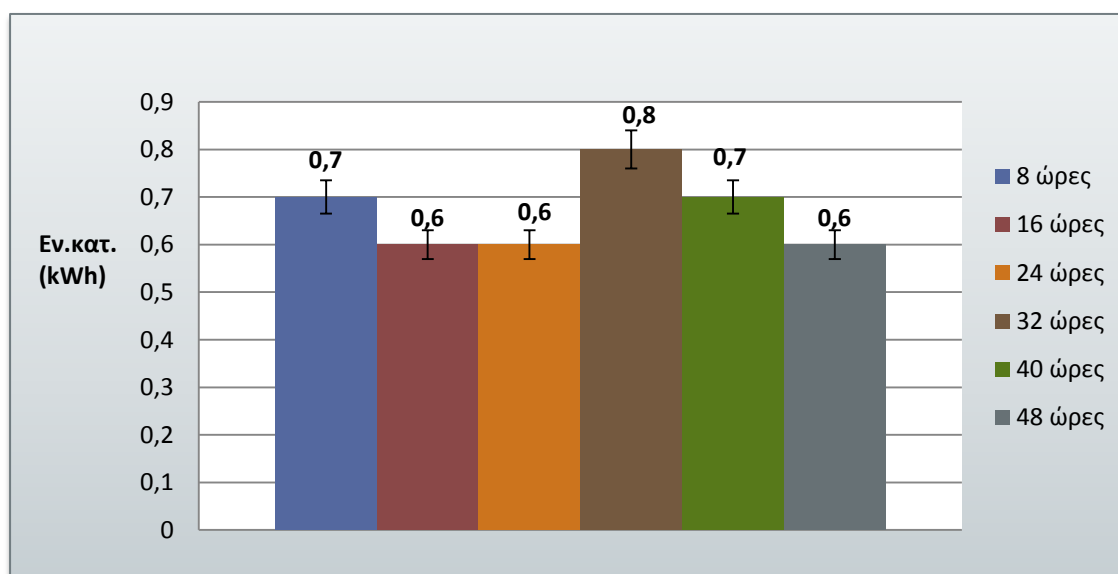
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης όγκου του 3^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ποσοστό μείωσης όγκου} = \frac{\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού}}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \cdot 100 = 52,38\%$$

Θεωρώντας ότι μια μέση Ελληνική οικογένεια χρησιμοποιεί σακούλα απορριμμάτων χωρητικότητας 23 L, προκειμένου να συλλέξει τα απορρίμματά της, υποθέτοντας ότι το παραγόμενο ξηρό υλικό είναι όγκου 2,8 L η σακούλα χρειάζεται 48 ημέρες για να γεμίσει προκειμένου να συλλεχθεί καθώς το ξηρό υλικό είναι άοσμο και δεν αποσυντίθεται.

3.3.3. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον τρίτο κύκλο (3^{μελής} οικογένεια)

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής σε όλη τη διάρκεια του 3^{ου} κύκλου των εργαστηριακών αναλύσεων:



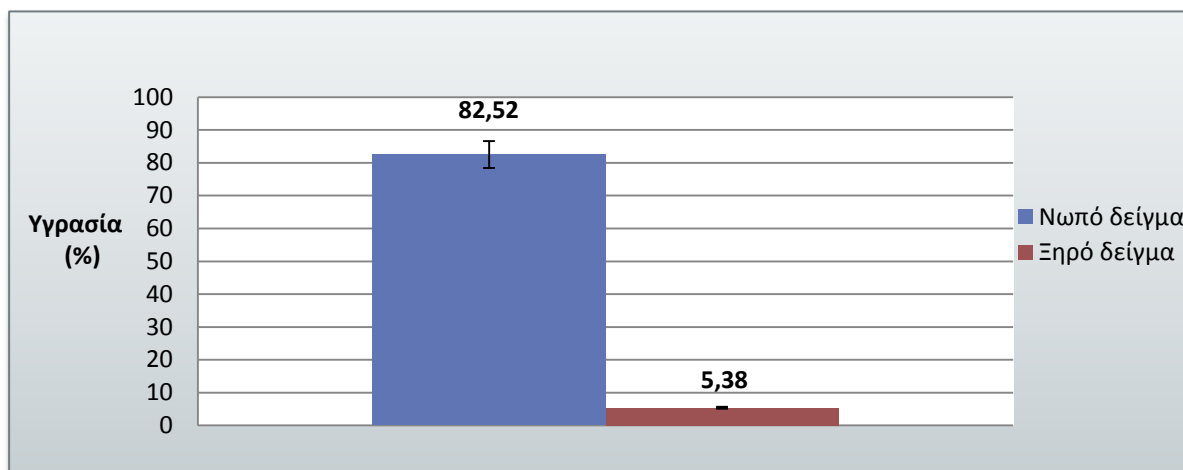
Διάγραμμα 3.3-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 3^{ου} κύκλου

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του 3^{ου} κύκλου είναι ίση με 4 kWh/kg. Η συνολική μάζα δείγματος που καταναλώθηκε είναι ίση με 3690 g. Επομένως,

$$\text{Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση}_{3\text{ου κύκλου}} = 1,08 \text{ kWh/kg}$$

3.3.4. Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)

Η μέση τιμή της υγρασίας του νωπού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε υπολογίστηκε ίση με 82,52 % ενώ η υγρασία του ξηρού δείγματος στο τέλος της διεργασίας ίση με 5,38 %. Η διαφορά των δύο τιμών απεικονίζεται στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 3.3-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 3^{ου} κύκλου

Επομένως :

$$\% \text{ποσοστό μείωσης υγρασίας} = \text{Συνολική υγρασία}_{\text{νωπού}} - \text{Συνολική υγρασία}_{\text{ξηρού}} = 76,9\%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης της υγρασίας είναι αρκετά ικανοποιητικό αν σκεφτεί κανείς ότι μέσω της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήσαμε αφαιρέσαμε σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα της περιεχόμενης υγρασίας γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης.

3.4. 4^{ος} κύκλος (4μελής οικογένεια)

Στην υποενότητα αυτή παρατίθενται οι υπολογισμοί και αποτελέσματα του 1^{ου} κύκλου ξήρανσης ο οποίος αφορά σε προεπεξεργασία ποσότητας διατροφικών απορριμμάτων 4^{μελούς} οικογένειας. Η ποσότητα που απορρίπτονταν σε ημερήσια βάση ήταν 1642 g νωπού υλικού το οποίο ξηραίνονταν για 8 ώρες ημερησίως.

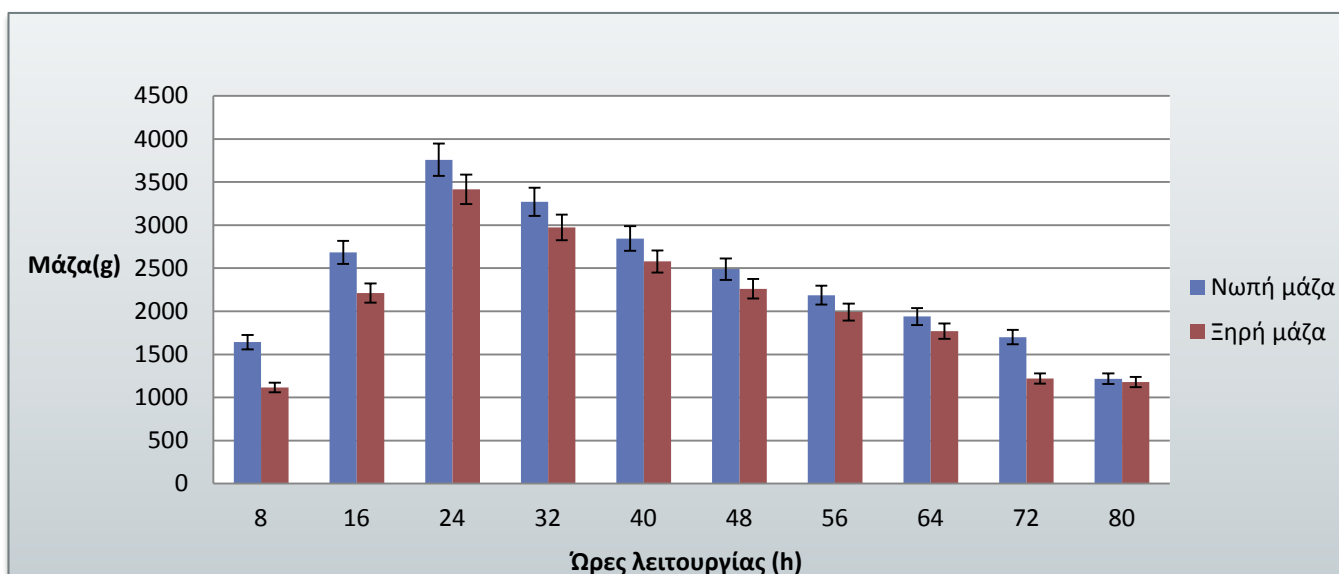
3.4.1. Προσδιορισμός μεταβολής μάζας δείγματος

Στον 4^ο κύκλο ξήρανσης το καλάθι στο εσωτερικό του ξηραντήρα γέμιζε μετά από 3 οκτώωρα. Η διεργασία της ξήρανσης συνεχίστηκε με συνεχή μείωση της μάζας του δείγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 10 αλλά και στο αντίστοιχο Διάγραμμα :

Πίνακας 11. Καταγραφή μεταβολής μάζας δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4^{ος} κύκλος)

Ξήρανση σε ώρες (h)	Μάζα νωπού (g)	Μάζα ξηρού (g)	Μείωση μάζας (g)
8	1642	1117	525
16	2685	2213	472
24	3758	3415	343
32	3271	2972	299
40	2845	2578	267
48	2490	2261	229
56	2187	1991	196
64	1939	1770	169
72	1701	1220	481
80	1218	1178	40

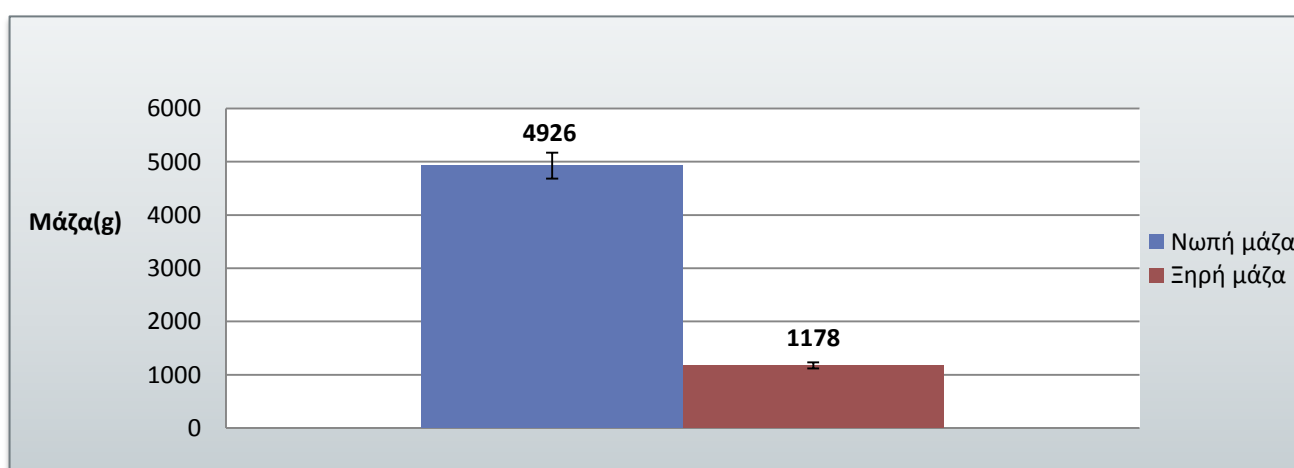
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μάζας του δείγματος κατά τη διάρκεια του 4^{ου} κύκλου ξήρανσης ανά 8 ώρες.



Διάγραμμα 3.4-1. Μεταβολή μάζας συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4^{ος} κύκλος)

Παρατηρείται ότι στα πρώτα τρία οκτάωρα η μάζα νωπού και ξηρού υλικού αυξάνεται ενώ στη συνέχεια μειώνεται. Αυτό συμβαίνει διότι στο 3^ο οκτάωρο το καλάθι γέμισε και από το 4^ο οκτάωρο και μετά δεν προστέθηκε άλλη ποσότητα νωπού υλικού. Συνεπώς, η διεργασία της ξήρανσης συνεχίστηκε με συνεχή μείωση της μάζας του δείγματος και τερματίστηκε όταν επιτεύχθηκε σχετική σταθεροποίηση της ξηρή μάζας.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νωπού υλικού που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης σε όλη τη διάρκεια του πρώτου κύκλου.



Διάγραμμα 3.4-2. Συνολική μείωση μάζας 4^{ου} κύκλου

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης μάζας του 4^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ ποσοστό μείωσης μάζας} = \frac{\text{Συνολική νωπή μάζα} - \text{Συνολική ξηρή μάζα}}{\text{Συνολική νωπή μάζα}} \cdot 100 = 76,08 \%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης μάζας είναι υψηλό γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας της οικιακής ξήρανσης με χρήση του συστήματος DRYWASTE.

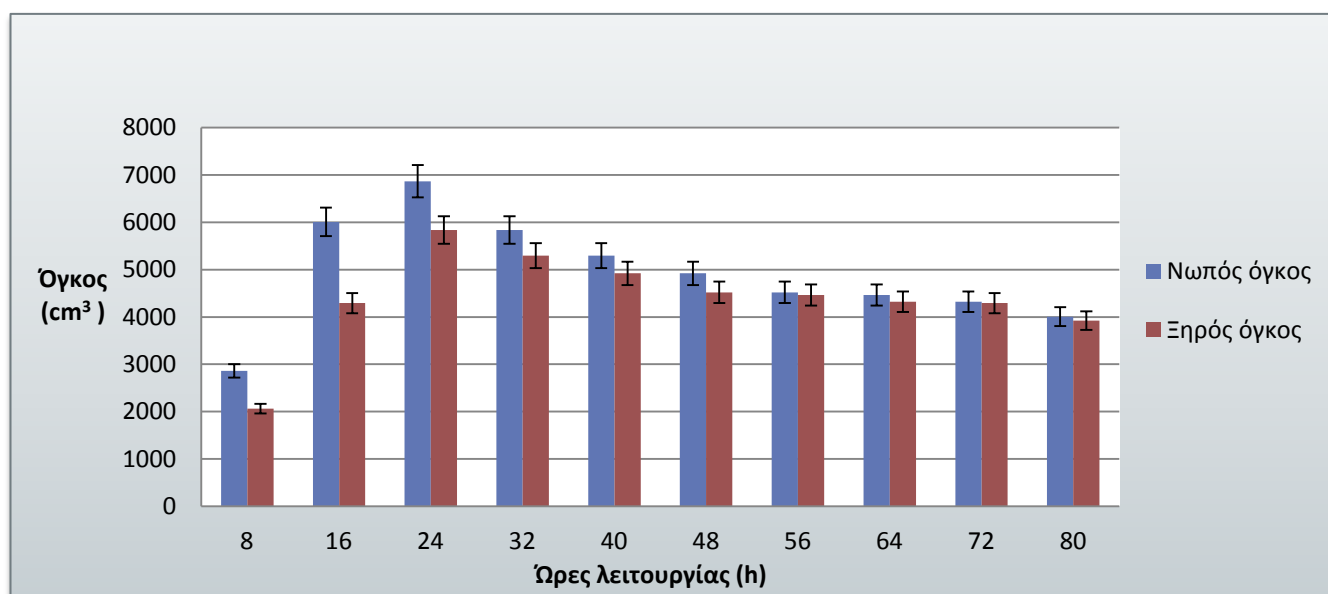
3.4.2. Προσδιορισμός μεταβολής όγκου δείγματος

Για τον 4^ο κύκλο παρατίθεται παρακάτω ο Πίνακας 12 στον οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ύψους καθώς και οι σχετικοί υπολογισμοί για τη μείωση του όγκου.

Πίνακας 12. Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4^{ος} κύκλος)

	Αρχικός ύψος (cm)	Τελικό ύψος (cm)	Αρχικός όγκος(cm ³)	Τελικός όγκος (cm ³)
8 ώρες	5	3,6	2861,32	2060,15
16 ώρες	10,5	7,5	6008,78	4291,98
24 ώρες	12	10,2	6867,18	5837,1
32 ώρες	10,2	9,25	5837,1	5293,45
40 ώρες	9,25	8,6	5293,45	4921,48
48 ώρες	8,6	7,9	4921,48	4520,89
56 ώρες	7,9	7,8	4520,89	4463,66
64 ώρες	7,8	7,55	4463,66	4320,6
72 ώρες	7,55	7,5	4320,6	4291,98
80 ώρες	7	6,85	4005,85	3920,01

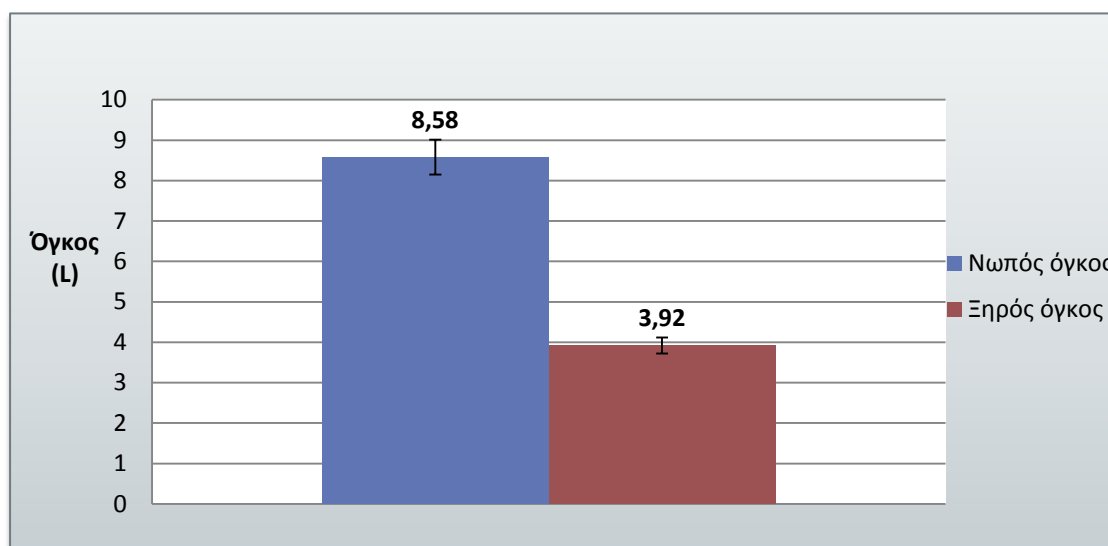
Και το αντίστοιχο ραβδόγραμμα :



Διάγραμμα 3.4-3. Μεταβολή όγκου συναρτήσει των ωρών λειτουργίας της συσκευής (4^{ος} κύκλος)

Παρατηρείται ότι ο όγκος του δείγματος μειώνεται σταθερά σε κάθε οκτάωρο. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν και το αναμενόμενο εφόσον η διεργασία της ξήρανσης αφαιρεί από το δείγμα την περιεχόμενη σε αυτό υγρασία. Συνεπώς, ο όγκος του δείγματος, όπως και η μάζα του, συνεχώς μειώνεται.

Στο ραβδόγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ο συνολικός όγκος νωπού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση των πειραματικών μετρήσεων και ο συνολικός όγκος ξηρού υλικού που παρέμεινε στο εσωτερικό του ξηραντήρα.



Διάγραμμα 3.4-4. Συνολική μεταβολή όγκου 4^{ου} κύκλου

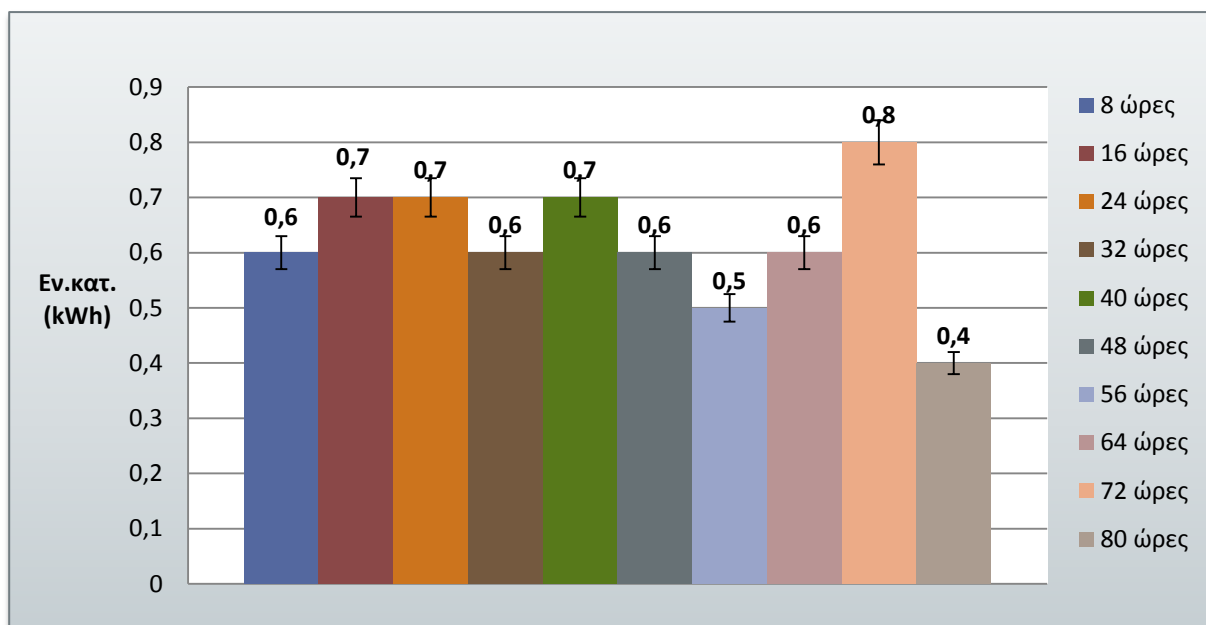
Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι το ποσοστό μείωσης όγκου του 4^{ου} κύκλου ξήρανσης υπολογίζεται:

$$\% \text{ποσοστό μείωσης όγκου} = \frac{\text{Συνολικός όγκος νωπού} - \text{Συνολικός όγκος ξηρού}}{\text{Συνολικός όγκος νωπού}} \cdot 100 = 54,33\%$$

Θεωρώντας ότι μια μέση Ελληνική οικογένεια χρησιμοποιεί σακούλα απορριμμάτων χωρητικότητας 23 L, προκειμένου να συλλέξει τα απορρίμματά της, υποθέτοντας ότι το παραγόμενο ξηρό υλικό είναι όγκου 3,9 L η σακούλα χρειάζεται 60 ημέρες για να γεμίσει προκειμένου να συλλεχθεί καθώς το ξηρό υλικό είναι άοσμο και δεν αποσυντίθεται.

3.4.3. Αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης για τον τέταρτο κύκλο (4^{μελής} οικογένεια)

Στο γράφημα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η καταγραφή της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής σε όλη τη διάρκεια του 4^{ου} κύκλου των εργαστηριακών αναλύσεων:



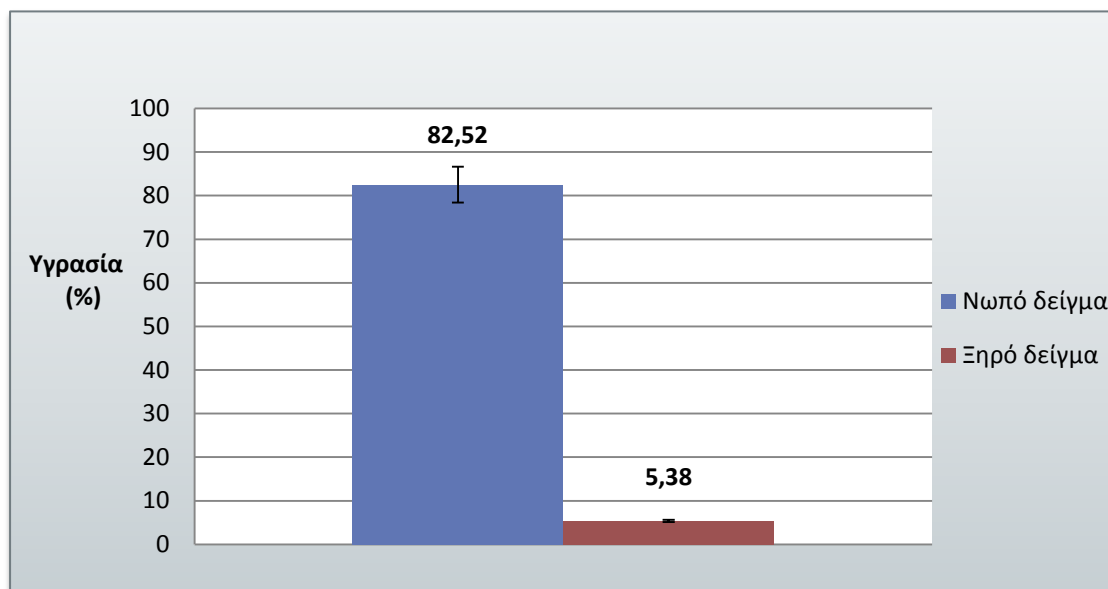
Διάγραμμα 3.4-5. Μεταβολή ενεργειακής κατανάλωσης 4^{ου} κύκλου

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση του 4^{ου} κύκλου είναι ίση με 6,1 kWh/kg. Η συνολική μάζα δείγματος που καταναλώθηκε είναι ίση με 3690 g. Επομένως,

$$\text{Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση}_{4\text{ου κύκλου}} = 1,68 \text{ kWh/kg}$$

3.4.4. Προσδιορισμός μεταβολής υγρασίας σε ποσοστό (%)

Η υγρασία νωπού δείγματος υπολογίστηκε ίση με 82,52 % ενώ η υγρασία του ξηρού δείγματος στο τέλος της διεργασίας ίση με 5,38 %. Η διαφορά των δύο τιμών απεικονίζεται στο ραβδόγραμμα παρακάτω.



Διάγραμμα 3.4-6. Μεταβολή υγρασίας (%) 4^{ου} κύκλου

Επομένως :

$$\% \text{ποσοστό μείωσης υγρασίας} = \text{Συνολική υγρασία}_{\text{νωπού}} - \text{Συνολική υγρασία}_{\text{ξηρού}} = 77,1\%$$

Παρατηρείται ότι το ποσοστό μείωσης της υγρασίας είναι αρκετά ικανοποιητικό αν σκεφτεί κανείς ότι μέσω της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήσαμε αφαιρέσαμε σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα της περιεχόμενης υγρασίας γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα της διεργασίας ξήρανσης.

3.5. Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων του τελικού ξηρού υλικού

Στον παρακάτω Πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών μεγεθών όπως αυτά προσδιορίστηκαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε Μ.Ο. των τιμών και των τεσσάρων κύκλων ξήρανσης.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα φυσικοχημικών αναλύσεων

Αποτελέσματα	
TN (%)	1,23
TKN (%)	1,16
NH ₄ -N (%)	0,07
N-NO ₃ (%)	0,07
TOC (%)	53,16
VS (%)	95,01
pH	4,96
Αγωγιμότητα (mS)	2,21
Πρωτεΐνη (%)	7,72

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές TOC (%) και VS (%) σε σύγκριση με τις τιμές γνωστών υποστρωμάτων:

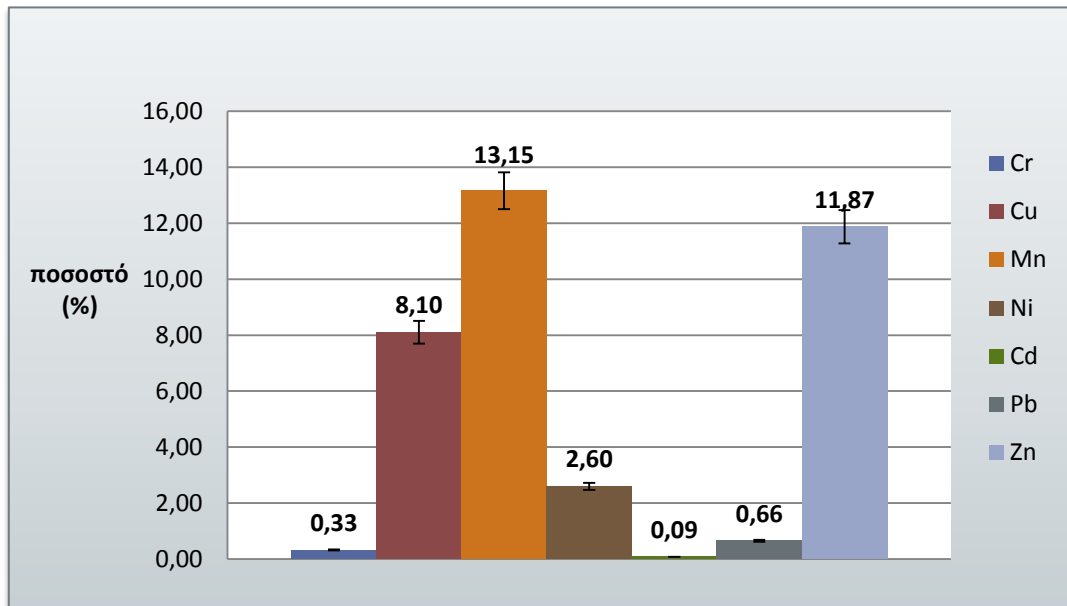
Πίνακας 14. Αποτελέσματα VS (%) και TOC (%) για διαφορετικά υποστρώματα

Συστατικό	VS (%)	TOC (%)
Υπολείμματα φαγητού	95,9%	49,2%
Υπολείμματα φαγητού	91,7%	47,1%
Υπολείμματα κήπου	73,8%	36,2%
Υπολείμματα κήπου	73,9%	36,5%
Μικτό χαρτί	94,8%	44,1%
Μικτό χαρτί	92,5%	43,4%
Μικτό χαρτί + υπολείμματα κήπου	89,7%	42,5%
Μικτό χαρτί + υπολείμματα φαγητού	92,7%	43,7%

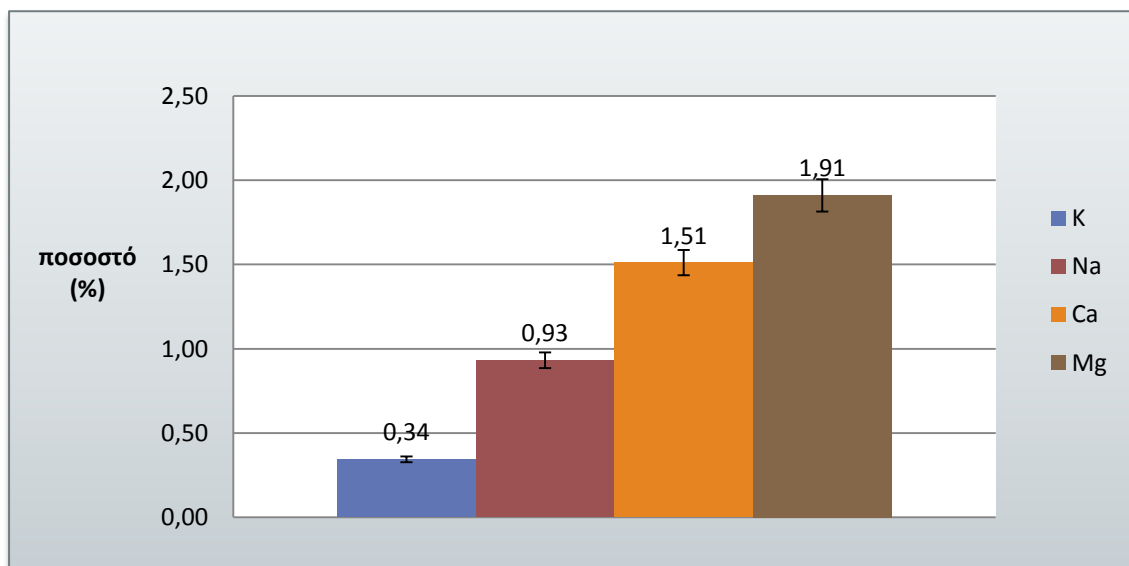
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Υπολ. Κήπου και υπολ. φαγητού	78,8%	39,3%
Μικτό χαρτί + υ.κ. + υ.φ.	89,3%	42,4%
Μίγμα αστικών στερεών αποβλήτων	87,7%	42,8%
Κόμποστ από αστικά στερεά απόβλητα	71,8%	37%
Υπολείμματα κήπου	79,8%	39,2%
Γρασίδι	81,7%	40,6%
Φύλλα	63,3%	30,1%
Κλαδιά	81,7%	40,4%
Χαρτί γραφείου	86,9%	39,2%
Ξηρό Μίγμα	95,01 %	53,16 %

Στα ραβδογράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων για βαρέα μέταλλα και ιχνοστοιχεία:



Διάγραμμα 3.5-1. Ποσοστά (%) βαρέων μετάλλων.

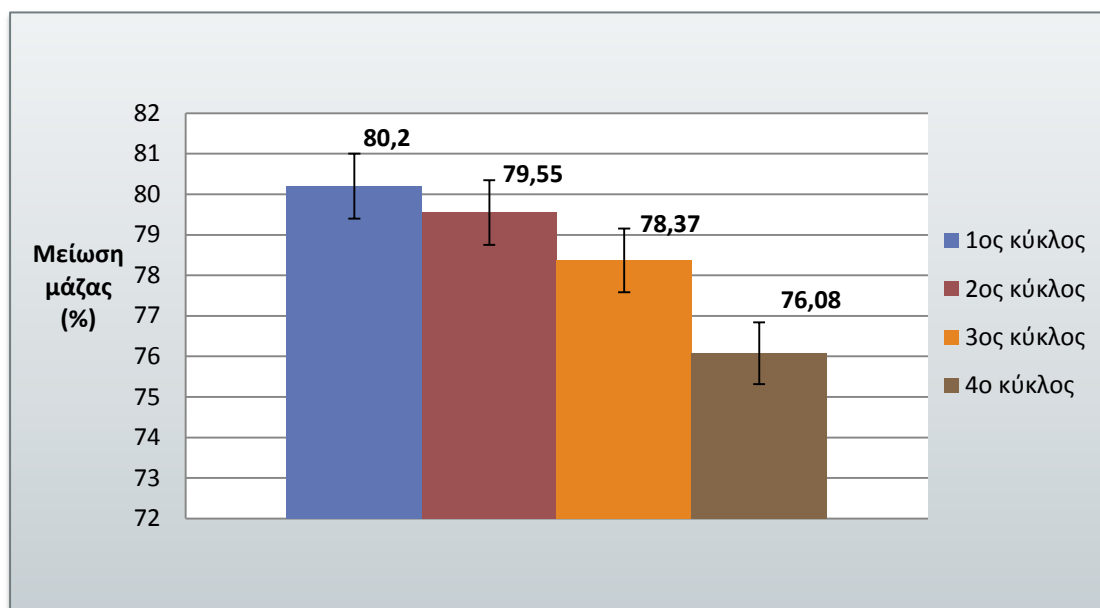


Διάγραμμα 3.5-2. Ποσοστά (%) ιχνοστοιχείων

3.6. Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων των τεσσάρων κύκλων ξήρανσης

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιείται συγκριτική μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων των τεσσάρων κύκλων ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα,

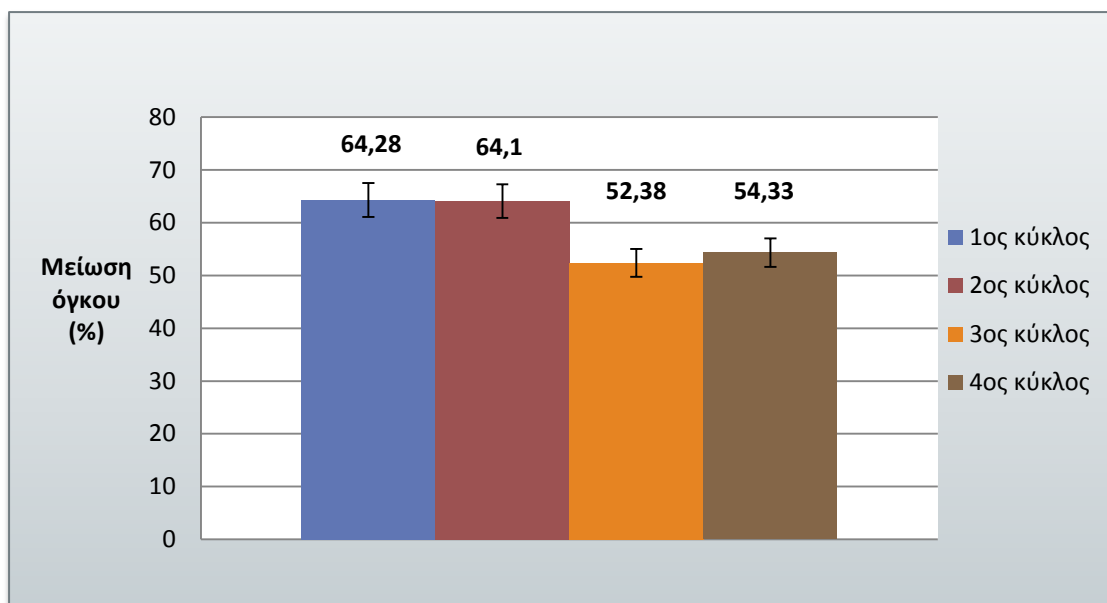
- Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζονται τα ποσοστά (%) μείωσης μάζας δείγματος των τεσσάρων κύκλων.



Διάγραμμα 3.6-1. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης μάζας για όλους τους κύκλους

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) μείωσης της μάζας εμφανίζει μέγιστη τιμή (80,2%) στον 1^ο κύκλο ξήρανσης και ελάχιστη (76,08%) στον 4^ο κύκλο ξήρανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε κάθε κύκλο ξήρανσης η ποσότητα νωπού υλικού αυξανόταν με αποτέλεσμα στον 1^ο κύκλο να έχουμε μάζα νωπού 421 g και στον 4^ο 1640 g. Επομένως, σε μεγαλύτερη ποσότητα νωπών διατροφικών απορριμμάτων η διεργασία της ξήρανσης δεν αποφέρει τα ίδια αποτελέσματα εφόσον το ρεύμα αέρα δε διαπερνά και δεν αφαιρεί την περιεχόμενη υγρασία με την ίδια ευκολία όπως στα δείγματα μικρότερης ποσότητας.

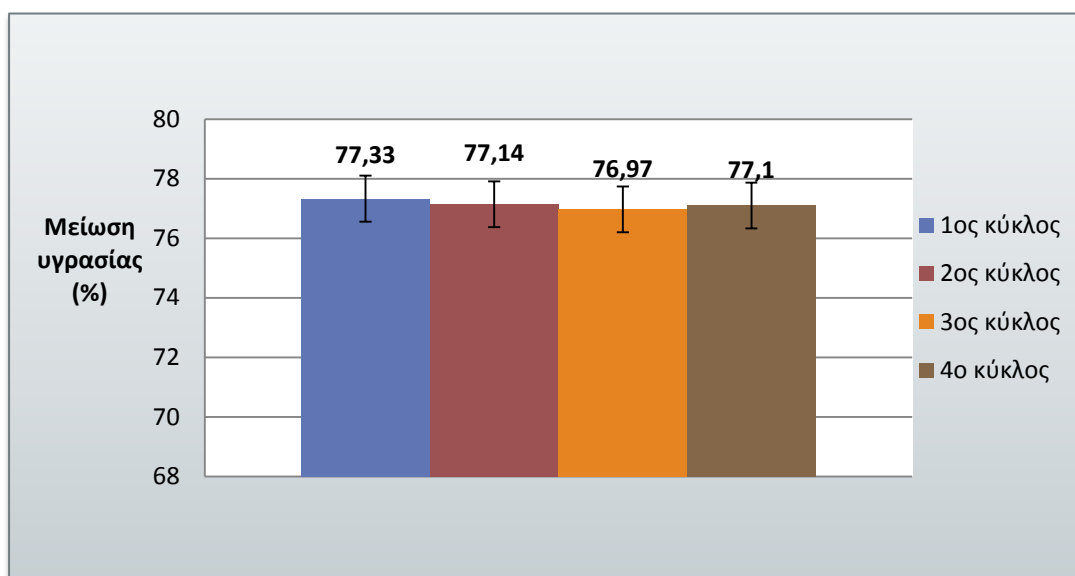
- Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζονται τα ποσοστά (%) μείωσης όγκου δείγματος των τεσσάρων κύκλων.



Διάγραμμα 3.6-2. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης όγκου για όλους του κύκλους

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) μείωσης του όγκου εμφανίζει πτωτική τάση από τον 1^ο στον 4^ο κύκλο ξήρανσης μικρότερη από αυτήν του ποσοστού (%) μείωσης της μάζας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διεργασία της ξήρανσης η μείωση του όγκου επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη δυσκολία από τη μείωση της μάζας.

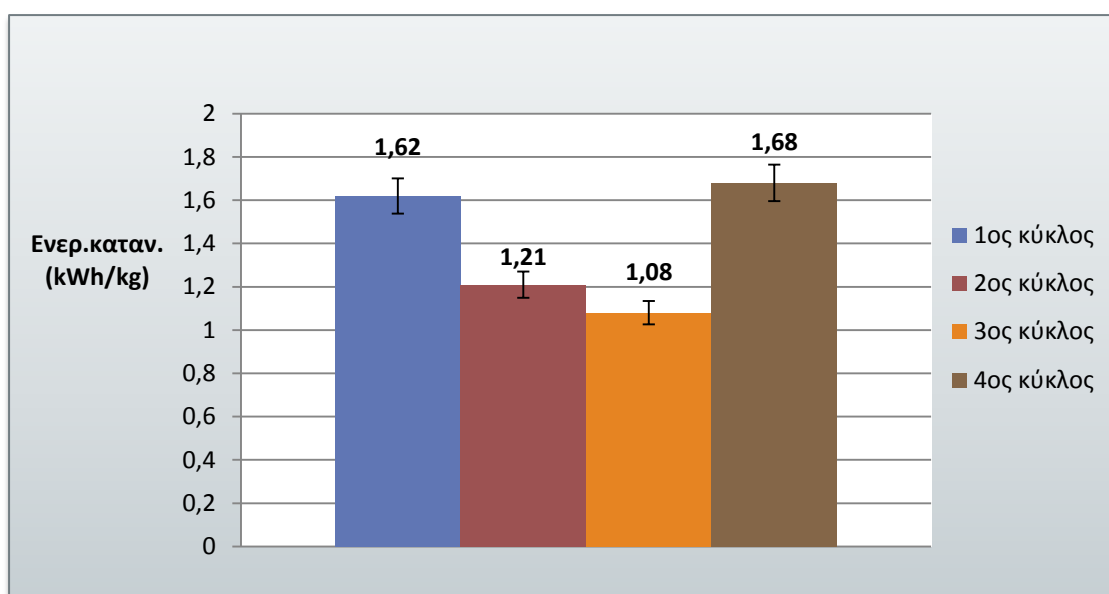
- Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζονται τα ποσοστά (%) μείωσης υγρασίας δείγματος των τεσσάρων κύκλων.



Διάγραμμα 3.6-3. Σύγκριση ποσοστιαίας μείωσης υγρασίας για όλους τους κύκλους

Παρατηρείται ότι τα ποσοστά (%) μείωσης υγρασίας των τεσσάρων κύκλων εμφανίζουν πολύ μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι :

1. Τα νοπά δείγματα και των 4 κύκλων αποτελούνται από τα ίδια υλικά (τρόφιμα) με κάποιες διαφορές στις ποσότητες (εκεί οφείλονται και οι αποκλίσεις),
 2. Η διεργασία της ξήρανσης λάμβανε τέλος όταν η μάζα του ξηρού υλικού παρουσίαζε μείωση του 4% σε χρονικό διάστημα μίας ώρας.
- Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζονται οι ποσότητες ενεργειακής κατανάλωσης (kWh/kg) των τεσσάρων κύκλων.



Διάγραμμα 3.6-4. Σύγκριση ποσοτήτων ενεργειακής κατανάλωσης (kWh/kg) για όλους τους κύκλους

3.7. Προσδιορισμός μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών ίδιων νωπών δειγμάτων σε σχέση με τις ημέρες βιοαποδόμησης

Στην παρούσα ενότητα θα γίνει παράθεση των πειραματικών αποτελεσμάτων για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των όμοιων νωπών δειγμάτων.

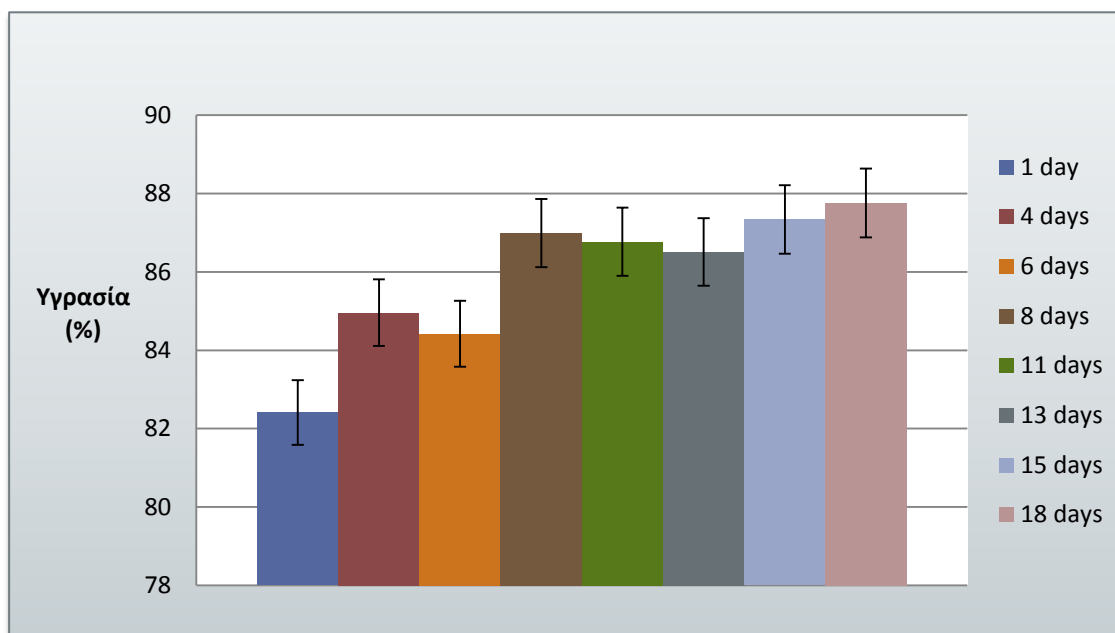
3.7.1. Προσδιορισμός υγρασίας σε ποσοστό (%)

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε για τα 8 όμοια νωπά δείγματα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 15. Υγρασία (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Δείγμα	Υγρασία (%)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	82,41
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	84,96
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	84,42
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	86,99
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	86,76
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	86,5
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	87,33
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	87,75

Καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-1. Υγρασία (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) υγρασίας των 8 δειγμάτων είναι το ίδιο με μικρές αποκλίσεις. Το γεγονός ότι ορισμένες ενδιάμεσες μετρήσεις εμφανίζουν μικρή αύξηση (τάξης 1^{ου} δεκαδικού) δεν αποτελεί σημαντικό στοιχείο στο συμπέρασμά μας.

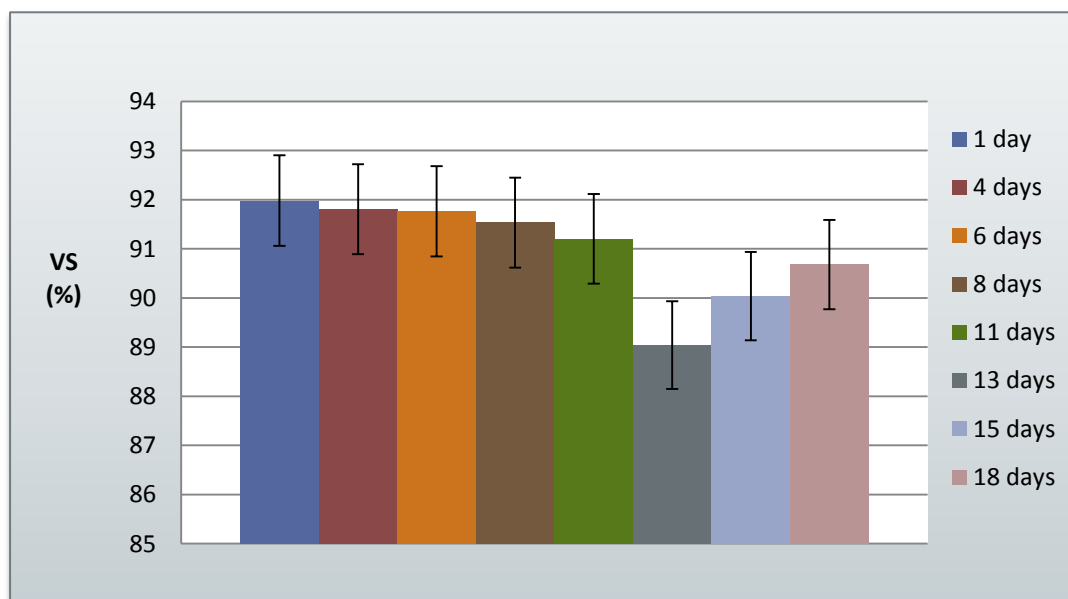
3.7.2. Προσδιορισμός VS σε ποσοστό (%)

Ο προσδιορισμός των VS σε ποσοστό (%) έγινε για τα 8 όμοια νωπά δείγματα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 16. VS (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Δείγμα	VS %
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	91,98
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	91,8
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	91,76
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	91,53
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	91,2
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	89,04
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	90,03
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	90,67

Και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-2. VS (%) ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

Παρατηρείται ότι τα πτητικά μειώνονται όσο αυξάνονται οι ημέρες βιοαποδόμησης. Αυτό συμβαίνει διότι όσο περισσότερο χρονικό διάστημα παρέμεινε το νωπό δείγμα σε συνθήκες δωματίου τόσο μεγαλύτερο ποσοστό οργανικού φορτίου βιοαποδομήθηκε με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί μικρή μείωση των πτητικών. Το γεγονός ότι ορισμένες ενδιάμεσες μετρήσεις εμφανίζουν μικρή αύξηση (τάξης 1^{ου} δεκαδικού) δεν αποτελεί σημαντικό στοιχείο στο συμπέρασμά μας.

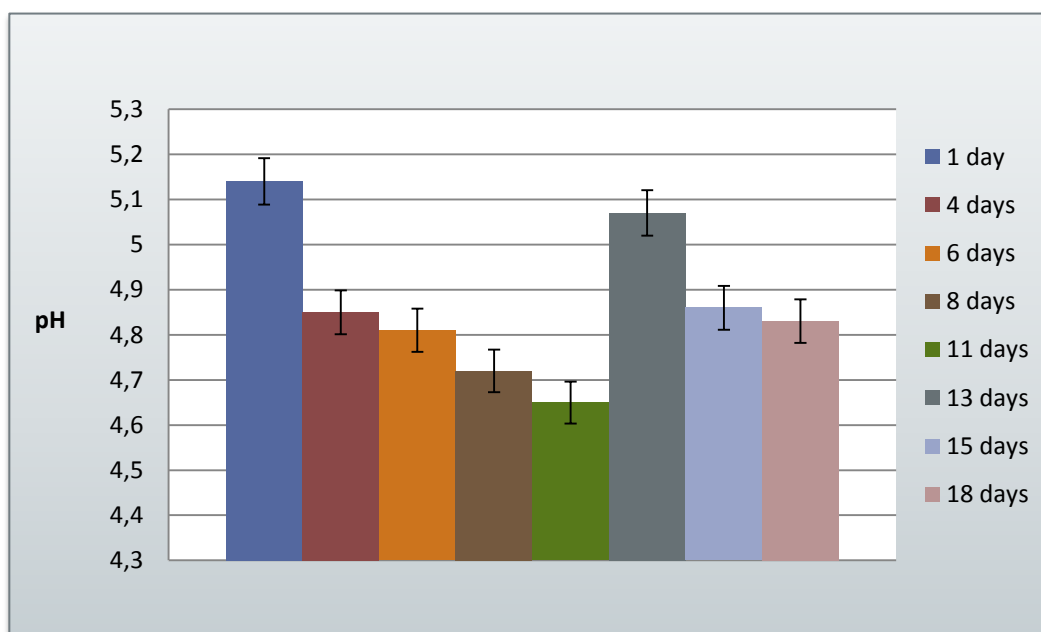
3.7.3. Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας

Ο προσδιορισμός pH και αγωγιμότητας έγινε για τα 8 ίδια νωπά δείγματα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα παρακάτω:

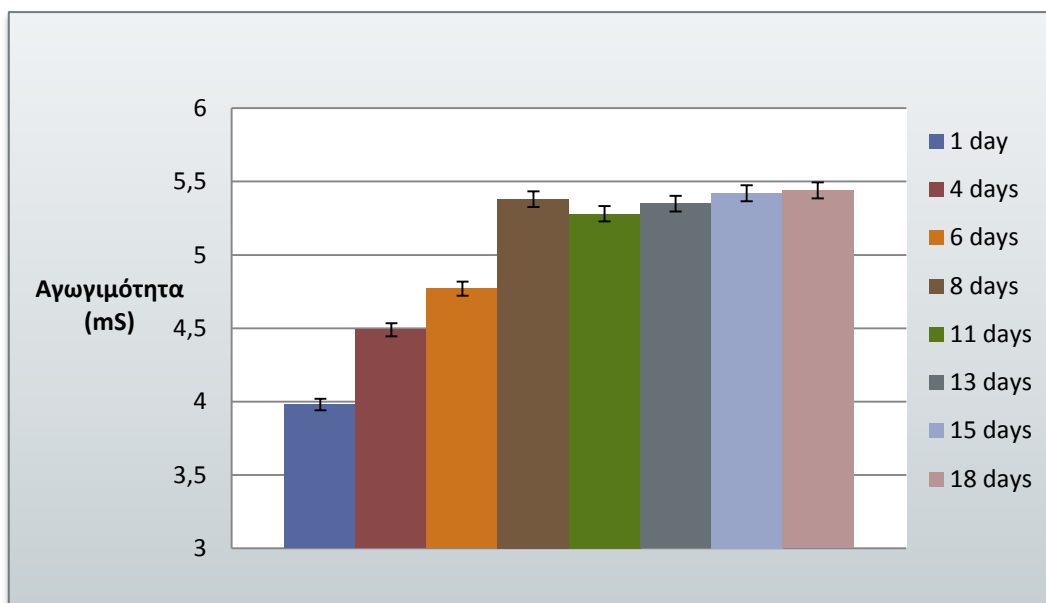
Πίνακας 17. Προσδιορισμός pH/αγωγιμότητας ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές μέρες βιοαποδόμησης

Δείγμα	pH	Αγωγιμότητα (mS)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	5,14	3,98
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	4,85	4,49
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	4,81	4,77
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	4,72	5,38
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	4,65	5,28
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	5,07	5,35
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	4,86	5,42
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	4,83	5,44

Και τα αντίστοιχα ραβδογράμματα:



Διάγραμμα 3.7-3. Μετρήσεις pH ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης



Διάγραμμα 3.7-4. Μετρήσεις αγωγιμότητας ίδιων δειγμάτων σε διαφορετικές ημέρες βιοαποδόμησης

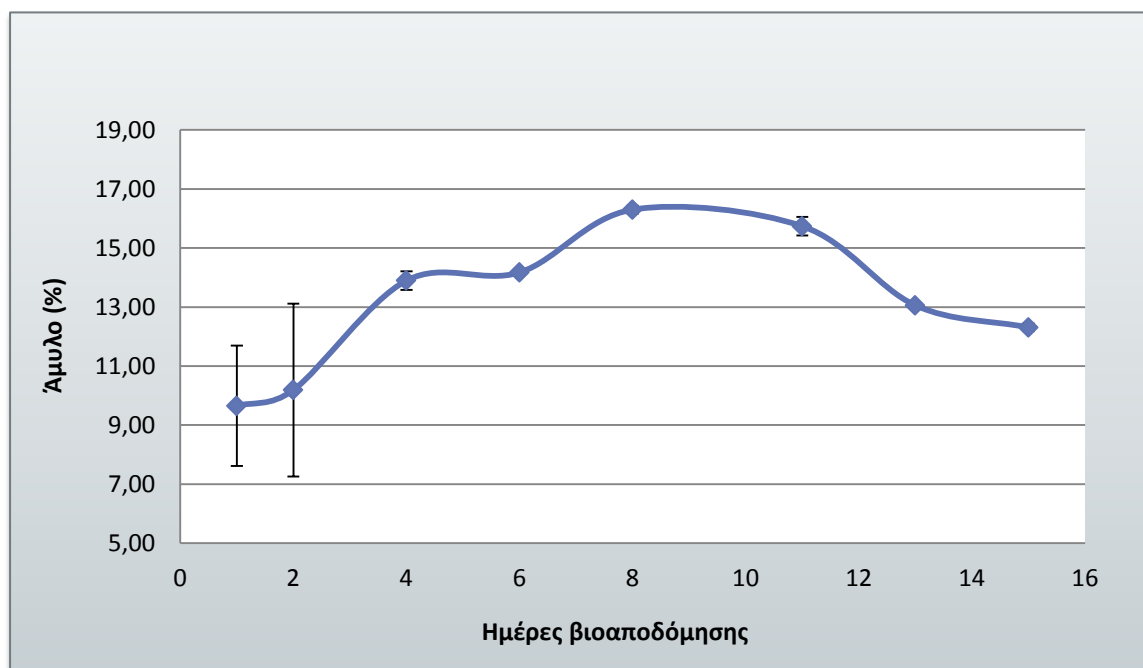
3.7.4. Προσδιορισμός αμύλου σε ποσοστό (%)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα του προσδιοριζόμενου αμύλου σε ξηρή μάζα για τα 8 ίδια δείγματα που μελετήθηκαν:

Πίνακας 18. Ποσοστό (%) αμύλου στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν

Ημέρες βιοαποδόμησης	Άμυλο (%)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	9,65
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	10,19
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	13,9
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	14,17
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	16,33
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	15,74
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	13,06
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	12,31

Και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-5. Μεταβολή αμύλου (%) σε ξηρή μάζα

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μέση τιμή του προσδιοριζόμενου αμύλου σε ποσοστό (%), είναι ίση με 13,17%. Το εύρος τιμών κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 9,65-16,33%.

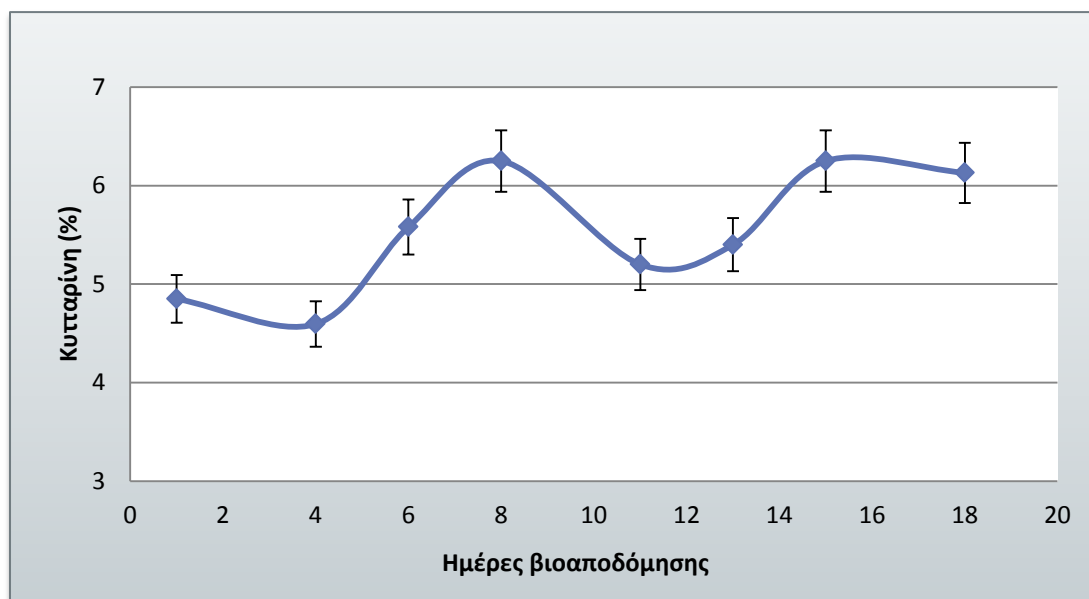
3.7.5. Προσδιορισμός κυτταρίνης σε ποσοστό (%)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσδιοριζόμενης κυτταρίνης σε ξηρή μάζα για τα 8 ίδια δείγματα που μελετήθηκαν:

Πίνακας 19. Ποσοστό (%) κυτταρίνης στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν

Δείγμα	Κυτταρίνη (%)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	4,85
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	4,6
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	5,58
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	6,25
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	5,41
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	4,47
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	6,25
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	6,13

Και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-6. Μεταβολή κυτταρίνης (%) σε ξηρή μάζα

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μέση τιμή της προσδιοριζόμενης κυτταρίνης σε ποσοστό (%), είναι ίση με 5,53%. Το εύρος τιμών κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 4,6-6,2%.

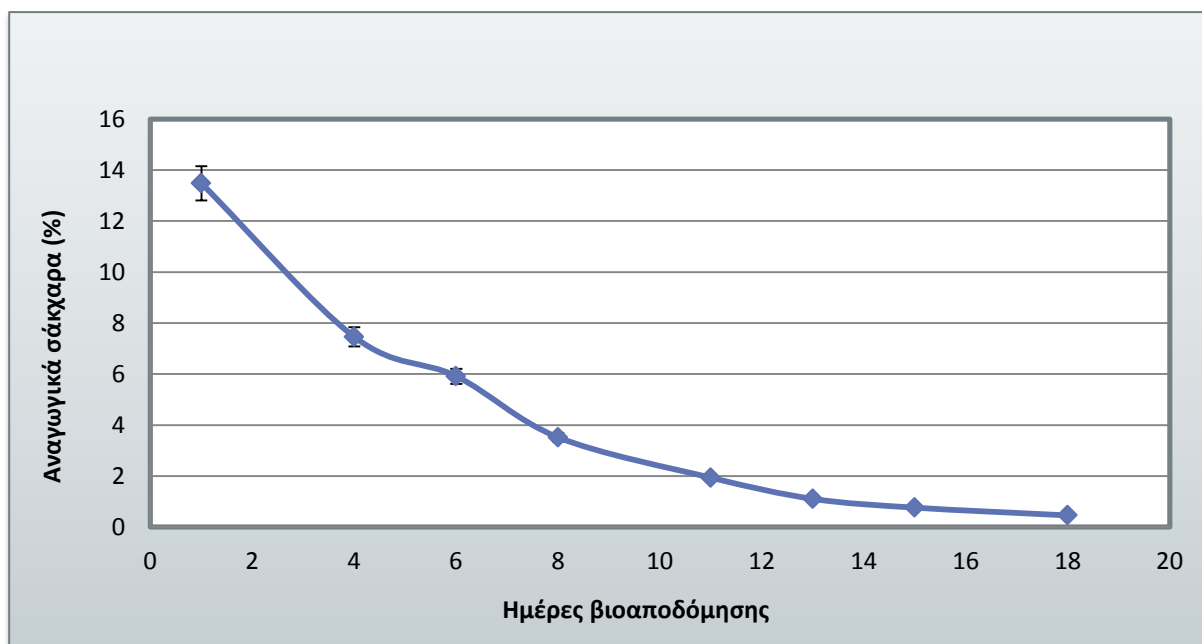
3.7.6. Προσδιορισμός αναγωγικών σακχάρων σε ποσοστό (%)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσδιοριζόμενων αναγωγικών σακχάρων σε ξηρή μάζα για τα 8 ίδια δείγματα που μελετήθηκαν:

Πίνακας 20. Ποσοστό (%) αναγωγικών σακχάρων στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν

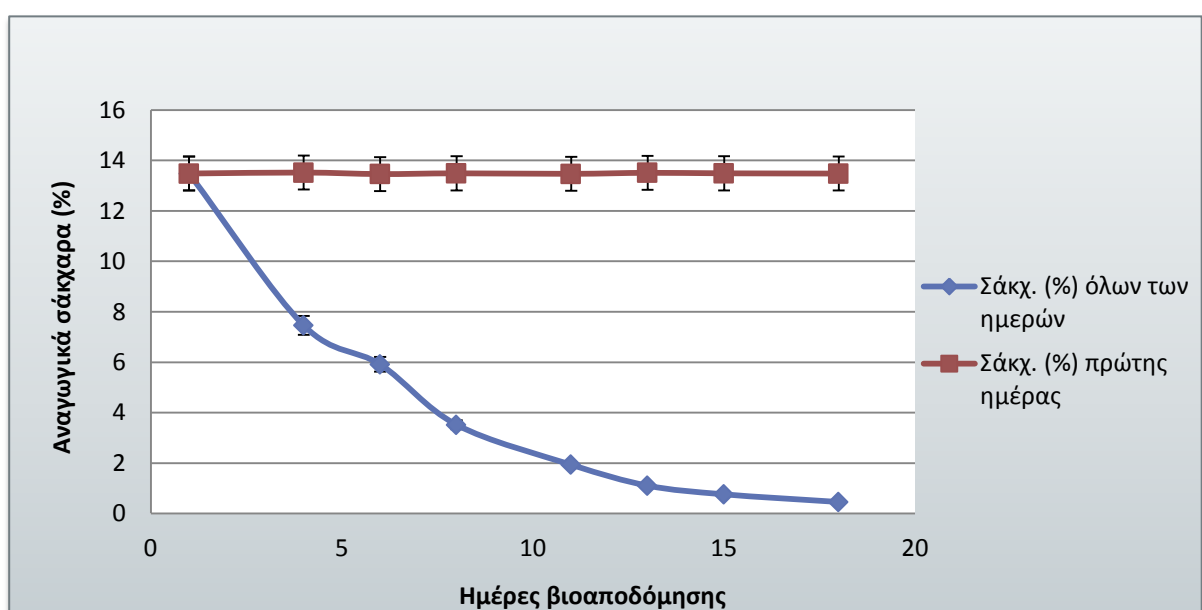
Δείγμα	Σάκχαρα (%)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	13,48
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	7,45
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	5,91
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	3,51
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	1,93
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	1,10
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	0,76
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	0,45

Και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-7. Μεταβολή αναγωγικών σακχάρων (%) σε ξηρή μάζα

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) των αναγωγικών σακχάρων μειώνεται όσο αυξάνονται οι μέρες βιοαποδόμησης της νωπής μάζας. Αυτό συμβαίνει διότι όσο περισσότερο χρονικό διάστημα παρέμεινε το νωπό δείγμα σε θερμοκρασία δωματίου, τόσο πιο μεγάλη ήταν η απώλεια σακχάρων λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας που αναπτύσσονταν. Η ποσότητα των αναγωγικών σακχάρων έπεσε στο μισό τις πρώτες 4 ημέρες. Η χρήση της συσκευής οικιακής ξήρανσης την πρώτη ημέρα απόρριψής τους, διατηρεί τα σάκχαρα που περιέχονται στα βιοαπόβλητα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Διάγραμμα 3.7-8. Μεταβολή αναγωγικών σακχάρων (%) δείγματος 1 ημέρας και όλων των δειγμάτων

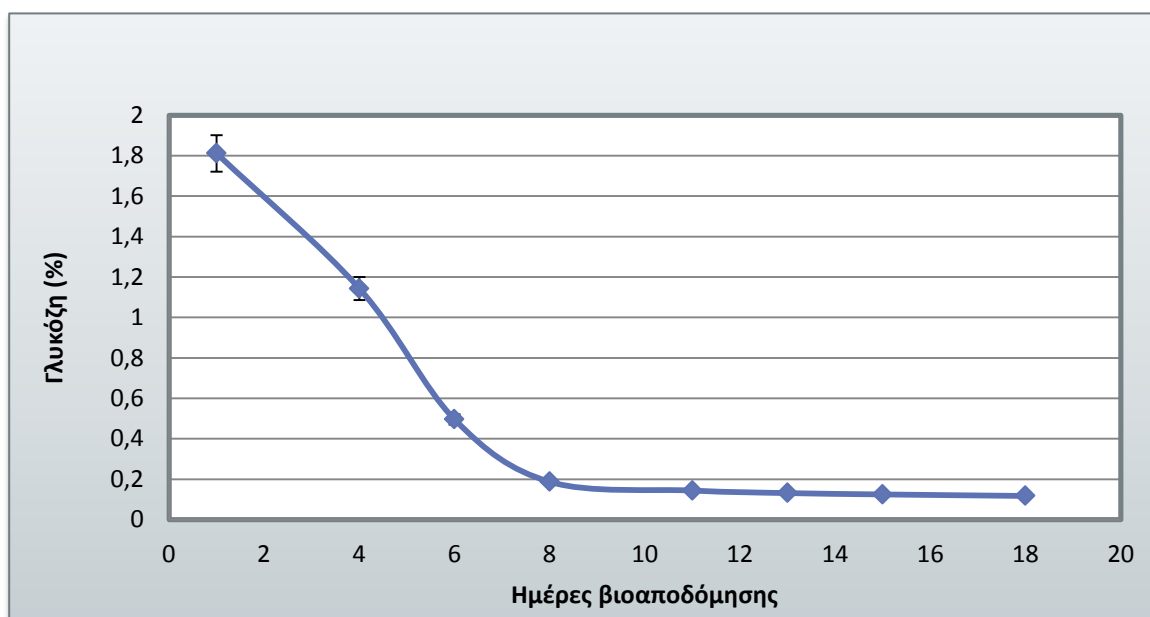
3.7.7. Προσδιορισμός γλυκόζης σε ποσοστό (%)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσδιοριζόμενης γλυκόζης σε ξηρή μάζα για τα 8 ίδια δείγματα που μελετήθηκαν:

Πίνακας 21. Ποσοστό (%) γλυκόζης στο σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν

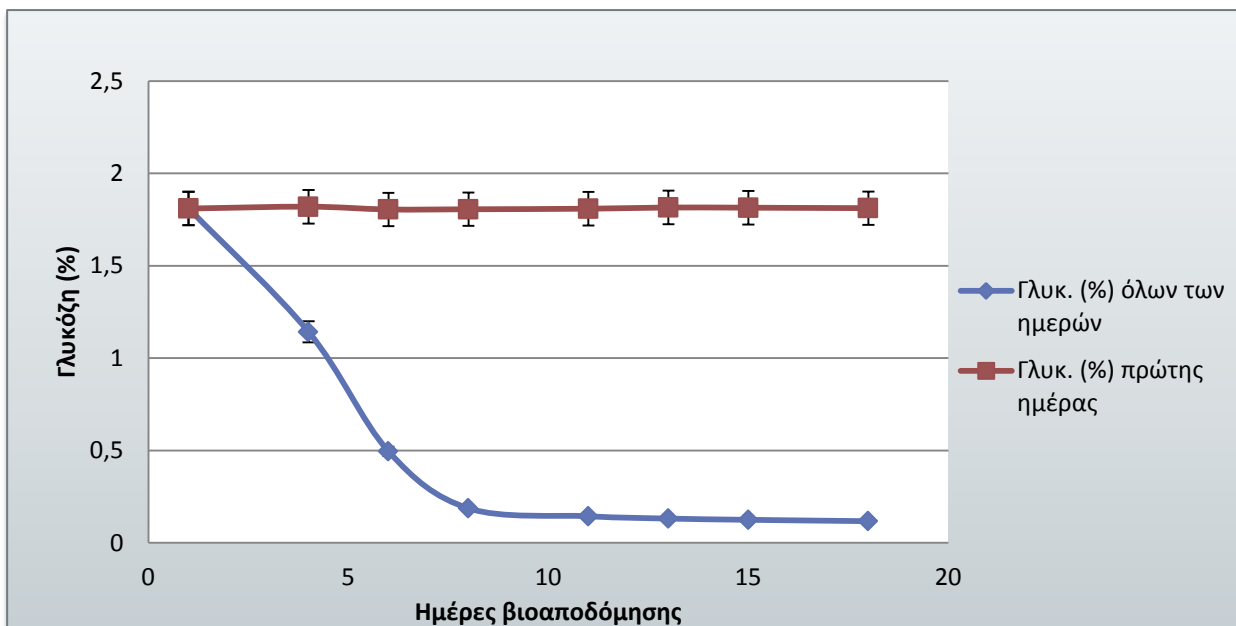
Ημέρες βιοαποδόμησης	Γλυκόζη (%)
Παρασκευή 17/5 (1 ημέρας)	1,81
Δευτέρα 20/5 (4 ημερών)	1,14
Τετάρτη 22/5 (6 ημερών)	0,5
Παρασκευή 24/5 (8 ημερών)	0,18
Δευτέρα 27/5 (11 ημερών)	0,14
Τετάρτη 29/5 (13 ημερών)	0,13
Παρασκευή 31/5 (15 ημερών)	0,12
Δευτέρα 3/6 (18 ημερών)	0,11

Και το αντίστοιχο διάγραμμα:



Διάγραμμα 3.7-9. Μεταβολή γλυκόζης (%) σε ξηρή μάζα

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) της γλυκόζης μειώνεται όσο αυξάνονται οι μέρες βιοαποδόμησης της νωπής μάζας. Αυτό συμβαίνει διότι όσο περισσότερο χρονικό διάστημα παρέμεινε το νωπό δείγμα σε θερμοκρασία δωματίου, τόσο πιο μεγάλη ήταν η απώλεια γλυκόζης λόγω της μικροβιακής δραστηριότητας που αναπτύσσονταν. Η χρήση της συσκευής οικιακής ξήρανσης την πρώτη ημέρα απόρριψής τους, διατηρεί τη γλυκόζη που περιέχονται στα βιοαπόβλητα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



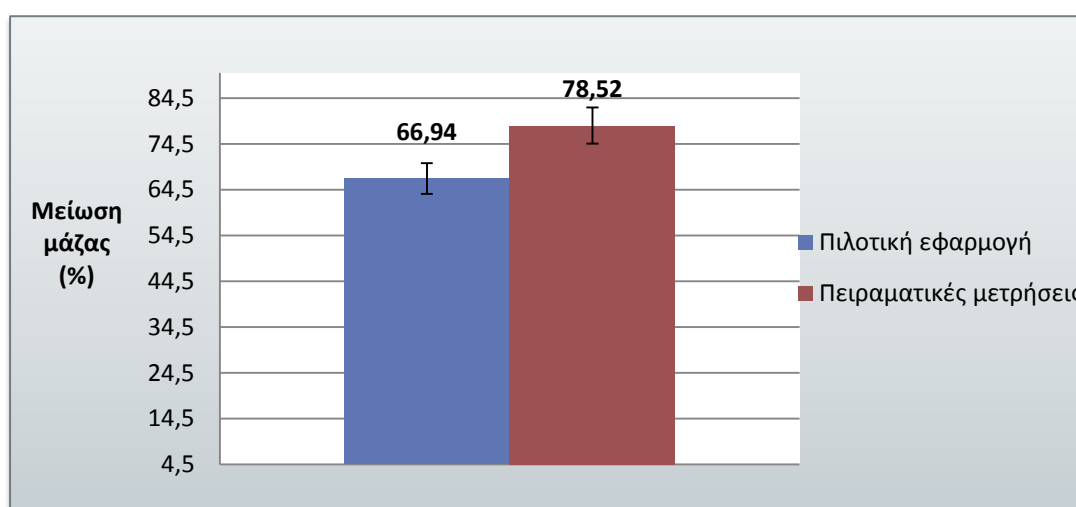
Διάγραμμα 3.7-10. Μεταβολή γλυκόζης (%) δείγματος 1 ημέρας και όλων των δειγμάτων

3.8. Σύγκριση εργαστηριακών δοκιμών με τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής στο Δήμο Παπάγου-Χολαργού

Στις επόμενες παραγράφους πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος οικιακής ξήρανσης DRYWASTE στο Δήμο Παπάγου-Χολαργού με αυτά των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις του Ε.Μ.Π.

- **Ποσοστό (%) μείωσης μάζας**

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται το ποσοστό μείωσης μάζας όπως αυτό προέκυψε από την πειραματική διαδικασία (Μ.Ο.τιμών τεσσάρων κύκλων) και τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής.

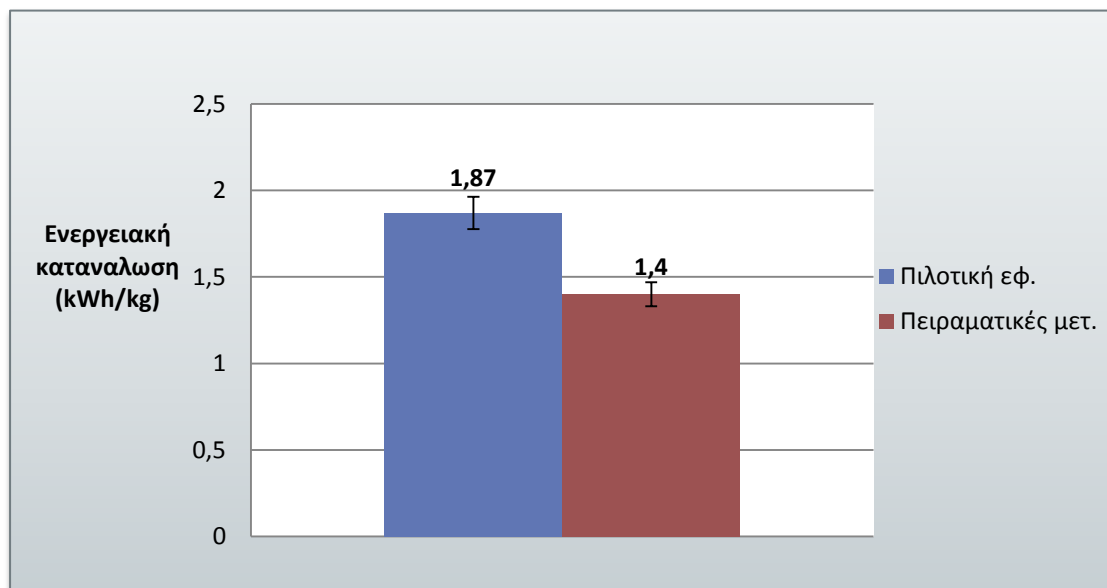


Διάγραμμα 3.8-1. Σύγκριση ποσοστού μείωσης μάζας (%)

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) μείωσης μάζας της πειραματικής διαδικασίας είναι μεγαλύτερο κατά **11,5 %** από αυτό της πιλοτικής εφαρμογής. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη χρήση του συστήματος οικιακής ξήρανσης από του δημότες του Δήμου Παπάγου-Χολαργού, δεν πραγματοποιούνταν σωστή προεπεξεργασία του υλικού (κοπή σε μικρότερα κομμάτια) πριν αυτό τοποθετηθεί στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης.

- Ενεργειακή κατανάλωση

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται η συνολική ενεργειακή κατανάλωση (kWh/kg) όπως αυτή προέκυψε από την πειραματική διαδικασία (Μ.Ο. τιμών τεσσάρων κύκλων) και τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής.

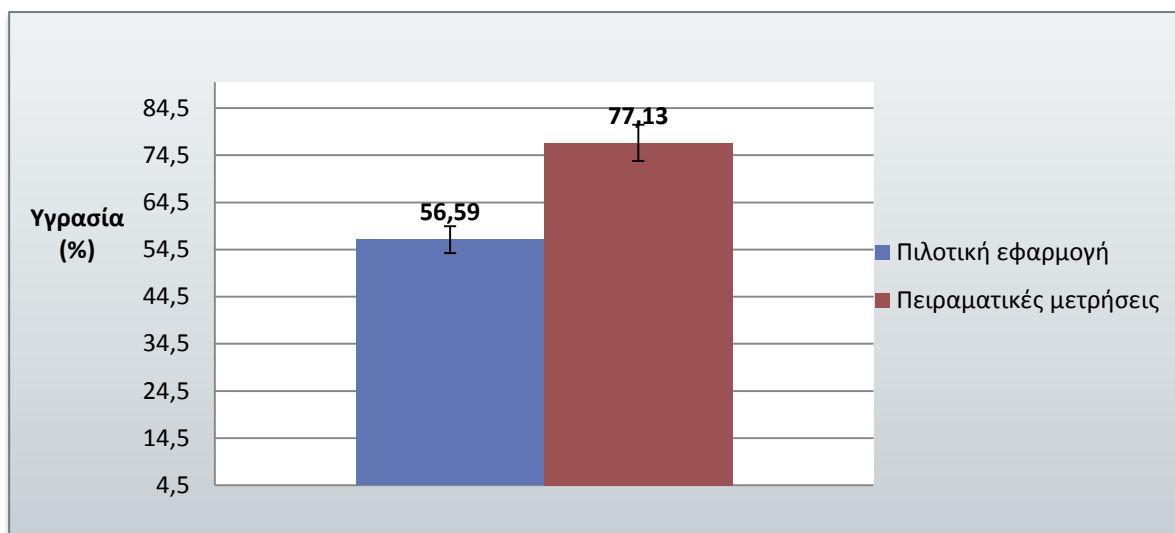


Διάγραμμα 3.8-2. Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης (kWh/kg)

Παρατηρείται ότι η ενεργειακή κατανάλωση μειώθηκε κατά **25%**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το χρησιμοποιούμενο σύστημα ξήρανσης (ξηραντήρας) διέθετε ειδική μόνωση (κάλυμμα πετροβάμβακα) και παρέμενε καθόλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας σε κλειστό χώρο (εργαστήριο Μ.Π.Ε.Τ.). Σε αντίθεση με το σύστημα της πειραματικής διαδικασίας, ο ξηραντήρας της πιλοτικής εφαρμογής δεν διέθετε μόνωση και παρέμενε σε εξωτερικό προστατευμένο χώρο με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες θερμότητας και έτσι να καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια προκειμένου να επιτευχθεί αφαίρεση της υγρασίας από το νωπό δείγμα.

• **Ποσοστό (%) υγρασίας ξηρού υλικού**

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται το ποσοστό (%) μείωσης υγρασίας όπως αυτό προέκυψε από την πειραματική διαδικασία (Μ.Ο.τιμών τεσσάρων κύκλων) και τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής.

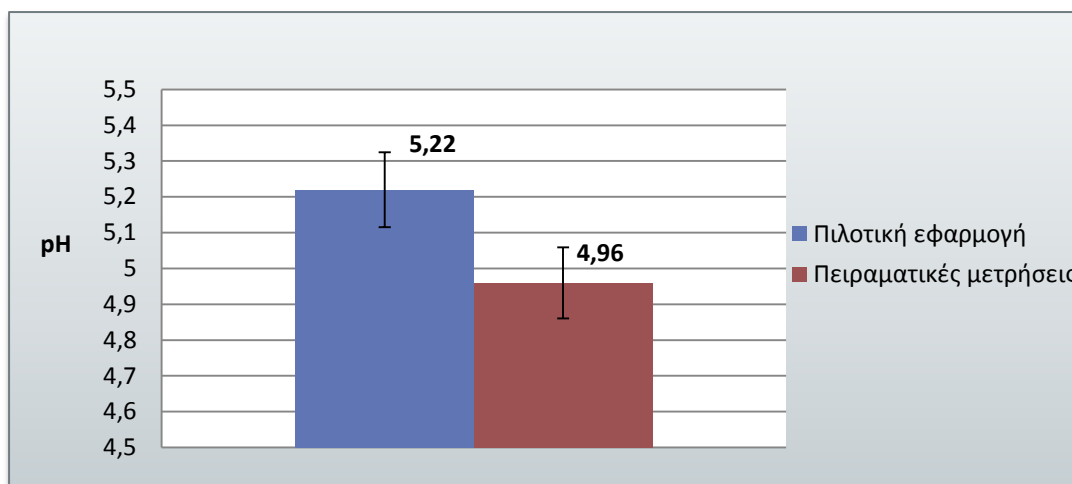


Διάγραμμα 3.8-3. Σύγκριση υγρασίας ξηρού υλικού (%)

Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη χρήση του συστήματος οικιακής ξήρανσης από του δημότες του Δήμου Παπάγου-Χολαργού, δεν πραγματοποιούνταν σωστή προεπεξεργασία του υλικού (κοπή σε μικρότερα κομμάτια) με αποτέλεσμα το ρεύμα αέρα να μην αφαιρεί αποτελεσματικά αρκετή ποσότητα υγρασίας όπως στην πειραματική διαδικασία. Επίσης, σύνηθες φαινόμενο της πιλοτικής εφαρμογής ήταν η αφαίρεση του υλικού από το ξηραντήρα πριν την ολοκλήρωση της ξήρανσης με αποτέλεσμα να μην αφαιρείται αρκετή ποσότητα υγρασίας. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη διαφορά της ποσοστιαίας μείωσης της υγρασίας είναι η απουσία συστήματος μόνωσης στην πιλοτική εφαρμογή γεγονός που προκαλούσε την ύπαρξη θερμικών απωλειών και έτσι την αδυναμία ολοκληρωτικής αφαίρεσης της υγρασίας.

- **Προσδιορισμός pH**

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων pH των τεσσάρων κύκλων και η τιμή pH της πιλοτικής εφαρμογής.

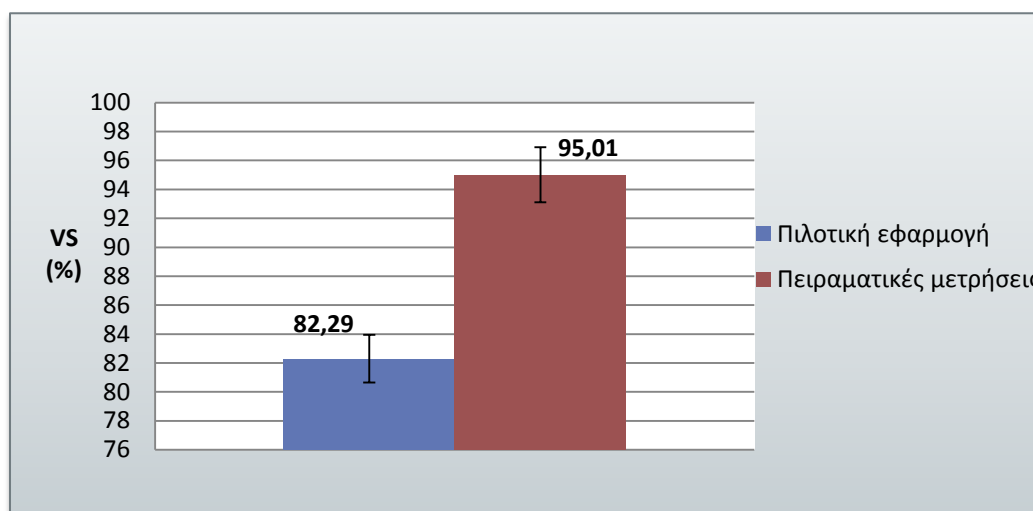


Διάγραμμα 3.8-4. Σύγκριση τιμών pH

Οι διαφορετικές τιμές pH, οφείλονται στην διαφορετικότητα του υλικού που εισέρχονταν στο εσωτερικό της συσκευής οικιακής ξήρανσης στη διάρκεια τη πιλοτικής εφαρμογής σε σχέση με τις εργαστηριακές δοκιμές.

- **Προσδιορισμός VS (%)**

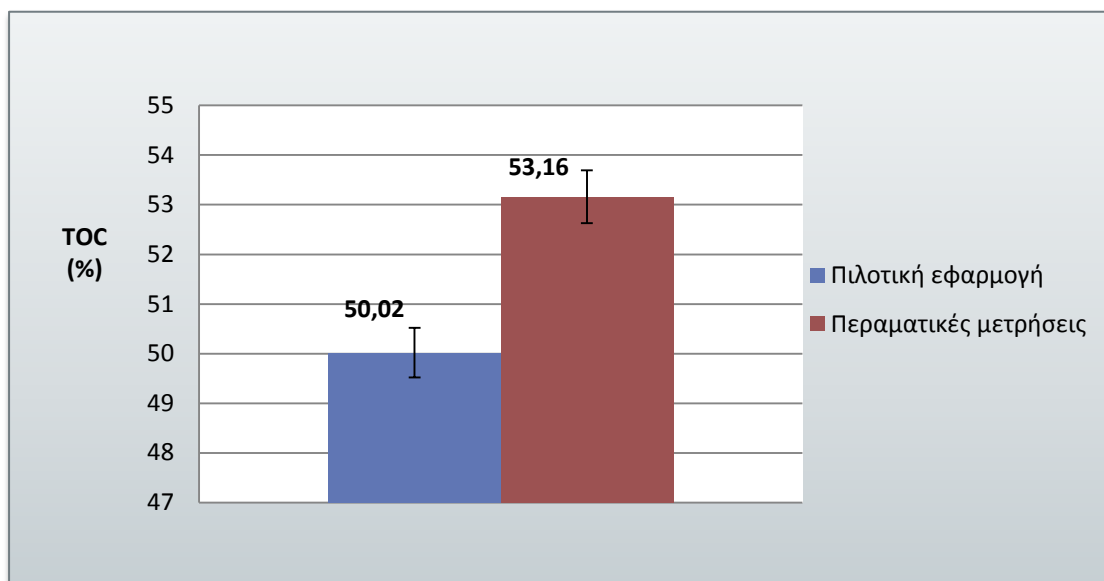
Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων VS (%) των τεσσάρων κύκλων και η τιμή VS (%) της πιλοτικής εφαρμογής.



Διάγραμμα 3.8-5. Σύγκριση αποτελεσμάτων VS (%)

- **Προσδιορισμός TOC (%)**

Στο παρακάτω ραβδόγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων TOC (%) των τεσσάρων κύκλων και η τιμή TOC (%) της πιλοτικής εφαρμογής.



Διάγραμμα 3.8-6. Σύγκριση αποτελεσμάτων TOC (%)

4. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις επιδόσεις και δυνατότητες του συστήματος οικιακής ξήρανσης DRYWASTE. Τα δεδομένα αυτά θα οδηγήσουν στη βελτιστοποίηση του συστήματος όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του καθώς και τις επιδόσεις του.

Συγκεκριμένα:

Η μείωση της μάζας των οικιακών βιοαποβλήτων, μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας, προσδιορίστηκε ίση με 78,52% κ.β. Η μείωση της μάζας, φανερώνει τη σημαντική συμβολή του συστήματος οικιακής ξήρανσης «DRYWASTE» για το σκοπό αυτό. Το ποσοστό κυμάνθηκε στο εύρος τιμών μεταξύ 76,08-80,2% γεγονός που οφείλεται στη διαφορετική ποσότητα του υλικού που εναποτίθεται σε κάθε κύκλο ξήρανσης. Τα ποσοστά μείωσης της μάζας προσδιορίστηκαν μικρότερα σε σχέση με αυτά της πιλοτικής εφαρμογής (66,94%), γεγονός που οφείλεται, σε μη σωστή προεπεξεργασία των διατροφικών απορριμμάτων πριν την είσοδό τους στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης (μη σωστή κοπή τους προκειμένου να μειωθεί η επιφάνεια ξήρανσης) καθώς επίσης και στη διαφορετικότητα των υλικών που εισέρχονταν στο εσωτερικό του θαλάμου. Επίσης, η διαφορά των τιμών οφείλεται και στην ύπαρξη μόνωσης στην πειραματική διαδικασία γεγονός που εμπόδιζε την ύπαρξη θερμικών απωλειών.

Η μείωση του όγκου των οικιακών βιοαποβλήτων προσδιορίστηκε ίση με 58,77 % κ.β. Το ποσοστό κυμάνθηκε στο εύρος τιμών μεταξύ 52,38-64,28 % γεγονός που οφείλεται στη διαφορετική ποσότητα του υλικού που εναποτίθεται σε κάθε κύκλο ξήρανσης.

Η μείωση της υγρασίας των οικιακών βιοαποβλήτων προσδιορίστηκε ίση με 77,13 % ενώ κυμάνθηκε στο εύρος τιμών 76,97–77,33% κ.β, γεγονός που αποδεικνύει την αποδοτικότητα του συστήματος στην απομάκρυνση της υγρασίας από το εσωτερικό των οικιακών βιοαποβλήτων. Η υγρασία του τελικού ξηρού υλικού στη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής, προσδιορίστηκε ίση με 56,59% γεγονός που οφείλεται σε μη σωστή προεπεξεργασία των διατροφικών απορριμμάτων πριν την είσοδό τους στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης.

Η μέση τιμή ενεργειακής κατανάλωσης των τεσσάρων κύκλων μετρήθηκε ίση με 1,4 kWh/kg. Η ενεργειακή κατανάλωση κυμάνθηκε στο εύρος τιμών 1,08-1,68 kWh/kg. Στη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής μετρήθηκε ίση με 1,87 kWh/kg. Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής οικιακής ξήρανσης στη διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών, οφείλεται στο γεγονός ότι το χρησιμοποιούμενο σύστημα ξήρανσης (ξηραντήρας) διέθετε ειδική μόνωση (κάλυμμα πετροβάμβακα) και παρέμενε καθόλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας σε κλειστό χώρο (εργαστήριο Μ.Π.Ε.Τ.).

Η μέση τιμή του προσδιοριζόμενου αμύλου (%) μετρήθηκε ίση με 13,17%. Οι υπολογιζόμενες τιμές κυμάνθηκαν στο εύρος τιμών 9,65-16,33%. Αντίστοιχα, η υπολογιζόμενη μέση τιμή για την κυτταρίνη βρέθηκε ίση με 5,53% η οποία κυμάνθηκε σε εύρος τιμών 4,5-6,2%. Παρατηρήθηκε ότι τα ποσοστά (%) του αμύλου και της κυτταρίνης δεν εμφανίζουν κάποια αυξητική ή πτωτική τάση με το πέρασμα των ημερών γεγονός που αποδεικνύει ότι δεν επηρεάζονται από το μικροβιακό πληθυσμό που αναπτύσσεται στο κάθε δείγμα.

Αντίθετα, τα ποσοστά (%) των αναγωγικών σακχάρων και της γλυκόζης εμφανίζουν πτωτική τάση όσο αυξάνονται οι μέρες βιοαποδόμησης της νωπής μάζας. Συγκεκριμένα το ποσοστό αναγωγικών σακχάρων και γλυκόζης μειώνεται στο μισό τις πρώτες 4 ημέρες βιοαποδόμησης. Αυτό συμβαίνει διότι όσο περισσότερο χρονικό διάστημα παρέμεινε το νωπό δείγμα σε θερμοκρασία δωματίου, τόσο πιο μεγάλη ήταν η μικροβιακή δραστηριότητα που αναπτύσσονταν. Επομένως, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η ποσότητα αναγωγικών σακχάρων και γλυκόζης που καταναλώνονταν με το πέρασμα των ημερών. Η μέση τιμή των αναγωγικών σακχάρων μετρήθηκε ίση με 4,33%. Οι υπολογιζόμενες τιμές κυμάνθηκαν στο εύρος 0,45-13,48%. Αντίστοιχα, η υπολογιζόμενη μέση τιμή για τη γλυκόζη βρέθηκε ίση με 0,52% σε εύρος τιμών 0,11-1,81%.

Η μέση τιμή (%) TOC μετρήθηκε ίση με 53,168% και το ποσοστό (%) VS ίση με 95,01%.

5. Παραπομπές-Βιβλιογραφία

Διεθνής

Alina.co.uk., (2012). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.alina.co.uk/>

Anaerobic Digestion in Rural China (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.cityfarmer.org/biogasPaul.html>

Bontoux Laurent., (1999). «The Incineration of Waste in Europe: Issues and Perspectives».

Coway, (2012). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό χώρο: <http://www.coway.com/>

Diaz, L. F., G.M. Savage, L. L. Eggerth, and C. G. Golueke (1993) «Composting and Recycling Municipal Solid Waste», Lewis Publishers, Inc., Ann Arbor, MI.

DRYWASTE PROJECT, (2012). «Development and demonstration of an innovative household dryer for the treatment of organic waste».

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

Maarten Dubois, Ana Maria Martin González, (2004). Environmental Studies, Aarhus University «Municipal solid waste treatment in the EU».

Duo Enterprise Ltd, (2010). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://duoent.en.ec21.com/>

Ecowell Ltd., (2010). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://ecowell.en.alibaba.com/>

Favoino E., Ricci M., (2006). «The Economics of Different Separate Collection Schemes for Biowaste», 2006. ECN/ORBIT e.V. - First Baltic Biowaste Conference 2006 Pres. Nr. 07.

Global Environment Center Foundation, (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.gec.jp/>

Henderson S.M., (1974). «Progress in developing the thin layer drying equation»

LaGrega., M.D., Buckingham, P.L. & Evans D.C., (2001). “Hazardous Waste Management”, McGraw-Hill

Loofen., (2012), [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.loofenireland.com/>

Misra, R. (2003). «On-farm composting methods. Land and Water Discussion Paper 2», Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

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

Mujumdar, AS (1997), Application of electrical fields in dewatering and drying. «Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing».

National Technical University of Athens (NTUA), (2006). «Methodology and results for the evaluation of the household composting process and the quality of the compost that was produced during the pilot application of the program» – COMWASTE LIFE EU project Deliverable F2, Athens, Greece.

Nelson L. (2009) «Environmental Health and Safety for Municipal Infrastructure, Land Use and Planning, and Industry», Sixth Edition.

Peigne, J., Girardin, P., (2004). «Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air, and Soil Pollution»

Puxin Technology Co. Ltd., (2001). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://puxinkj.oinsite1.cn/d269997656.htm>

Residential Food Waste Collection in The U.S., (2012). «BioCycle West Coast Portland, OR», [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.biocyclewestcoast.com/2012/Presentations/Wednesday/Yepsens.pdf>

Ruihong Zhang., (2009). « Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production», Int J Agric & Biol Eng. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.ijabe.org>

Rynk, (1992). «On-Farm Composting Handbook. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service» Ithaca, New York, USA.

SAMOH NK, (2010). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://samohnk.en.ec21.com/>

Somersetwaste.gov.uk. ,(2012). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.somersetwaste.gov.uk/collections/food/>

Southern Energy Network, (2009). Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://climateaction.net/taxonomy/term/>

Tchobanoglous G, Kreith F., (2002). «Handbook of Solid Waste Management' Second Edition», McGraw-Hill

Teodorita Al Seadi, 2003 University of Southern Denmark (SDU), Bioenergy Department «Good Practice in Quality Management of AD Residues».

Thermal methods of municipal waste treatment (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: www.capenhurst.com

Tsiliyannis, C.A., (1999). «Comparison of environmental impacts from solid waste treatment and disposal facilities».

United Nations Environment Programme. Division of Technology, Industry and Economics., 2010. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: http://www.unep.or.jp/Ietc/ESTdir/Pub/MSW/SP/sp4/SP4_3.asp

University of Iowa., (2010). Anaerobic Digestion. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://wiki.uiowa.edu/display/greenergy/Anaerobic+Digestion>

US EPA, (2008). «Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste».

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

WRAP., (2012). “Evaluation of the WRAP Separate Food Waste Collection Trials”, Final Report . [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Evaluation_of_the_WRAP_FW_Collection_Trials_Update_June_2009.pdf

Yassin, L., (2009). «Techno-economic performance of energy-from-waste fluidized bed combustion and gasification processes in the UK context»,

Zhang, R., El-Mashad, H.M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Gamble, P., (2007). «Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion». Bioresour. Technol. 98, (4), 929-935.

Zheng1 Yi, Zhongli Pan, Ruihong Zhang., (2009). «Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production», Int J Agric & Biol Eng. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.ijabe.org>

Ελληνική

Βιώσιμη Διαχείριση Σκουπιδιών (2010). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://diaxeirisi-skoupidiwn.blogspot.gr/>

Γιδαράκος, Ε., (2006). «Επικίνδυνα Απόβλητα, Διαχείριση - Επεξεργασία-Διάθεση, Εκδόσεις Ζυγός», Θεσσαλονίκη.

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

Μουστάκας Κ., (2011). «Αεριοποίηση / υαλοποίηση αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος», Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Οικολογική Εταιρεία Ανακύκλωσης, Περιβαλλοντική οργάνωση (2010). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://ecorec.gr/>

Οικολογική εναλλακτική πρωτοβουλία, (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://sikam.wordpress.com/>

Σημειώσεις στο μάθημα «Διαχείριση Απορριμμάτων», (2002). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο μετάδοσης θερμότητας και περιβαλλοντικής μηχανικής. Επιμέλεια: Νικόλαος Μουσιόπουλος, Αβραάμ Καραγιαννίδης. [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm_intro.pdf

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

Dos Energy, Τεχνολογία Αεριοποίησης (2009). [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο διαδικτυακό χώρο: <http://www.dosenergy.gr>