



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ ΕΝΟΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΗΓΗ.**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : ΓΙΑΡΤ ΜΙΣΕΛ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΛΟΪΖΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΑΘΗΝΑ 2011**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μου ανατέθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο 2011-2012 και το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Έχοντας ολοκληρώσει τη συγγραφή, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π., κ<sup>α</sup> Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση της ερευνητικής αυτής μελέτης και την πολύτιμη καθοδήγηση της καθ όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Ευχαριστώ επίσης τον Υποψήφιο Διδάκτορα Άγγελο Σωτηρόπουλο για την πολύ σημαντική βοήθεια και καθοδήγησή του που ήταν καθοριστική τόσο για την διεξαγωγή των πειραμάτων όσο και για την συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής.

Θεωρώ επίσης υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για την άριστη συνεργασία, για το φιλικό κλίμα εντός του εργαστηρίου καθώς επίσης για τις πολύτιμες επιστημονικές τους γνώσεις.

Κλείνοντας θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την διαρκή τους υποστήριξη και αγάπη σε όλα τα φοιτητικά μου χρόνια.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	4
1.1	Εισαγωγή .....	4
1.2	Περιγραφή της κατάστασης στην διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων.....	5
1.2.1	Υπάρχουσες τεχνικές.....	5
1.3	Τρέχουσα διαχείριση στα κράτη μέλη της ΕΕ.....	9
1.4	Κοινοτικές νομικές πράξεις ρύθμισης της επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων .....	12
2.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	13
2.1	Τεχνολογίες επεξεργασίας των οικιακών βιολογικών απορριμμάτων στην πηγή .....	13
2.2	Οικιακή κομποστοποίηση.....	14
2.2.1	Εισαγωγή .....	14
2.2.2	Φάσεις Κομποστοποίησης.....	17
2.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση .....	18
2.2.4	Πλεονεκτήματα .....	21
2.2.5	Μειονεκτήματα.....	22
2.3	Μικρής κλίμακας αναερόβια χώνευση .....	23
2.3.1	Εισαγωγή .....	23
2.3.2	Φάσεις Αναερόβιας Χώνευσης.....	24
2.3.3	Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση .....	26
2.3.4	Πλεονεκτήματα .....	29
2.3.5	Μειονεκτήματα.....	29
3.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	30
3.1	Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης .....	30
3.1.1	Εισαγωγή .....	30
3.1.2	Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας LOOFEN.....	30
3.1.3	Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας COWAY .....	35
3.1.4	Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας SAMOH NK .....	40
3.1.5	Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας DUO ENTERPRISE LTD.....	42
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	44
4.1	Επιτυχημένες περιπτώσεις επεξεργασίας των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή....	44
4.1.1	Έργο LIFE03ENV/GR/205 (Comwaste).....	44

4.1.2	Λειτουργία πιλοτικού Συστήματος οικιακής Αναερόβιας χώνευσης ARTI στην Τανζανία και την Ουγκάντα .....	46
4.1.3	Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας στην Κίνα .....	48
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	51
5.1	Περιγραφή του πρότυπου συστήματος ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή που αναπτύχθηκε στην μονάδα περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. ....	51
5.1.1	Θάλαμος .....	51
5.1.2	Βάση .....	52
5.1.3	Υποδοχέας Διατροφικών Αποβλήτων .....	56
5.1.4	Συλλεκτήρας Συμπυκνωμάτων .....	57
5.1.5	Πώμα .....	60
5.1.6	Θερμικός Δίσκος.....	61
5.1.7	Διάταξη Απόσμισης .....	62
5.1.8	Χειρολαβή & Υποστηρίγματα Βάσης.....	64
5.1.9	Συναρμολογημένη Διάταξη .....	66
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	68
6.1	Μεθοδολογία πειραματικών αναλύσεων .....	68
6.1.1	Εισαγωγή .....	68
6.2	Πειραματικό πρωτόκολλο.....	71
6.2.1	Μέθοδος Προσδιορισμού Περιεχόμενης Υγρασίας (%).....	71
6.2.2	Όγκος .....	73
6.2.3	Προσδιορισμός ΡΗ-Αγωγιμότητας.....	75
6.2.4	Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)/(LOI) .....	76
6.2.5	Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) .....	78
6.2.6	Η περιεκτικότητα σε αμμωνιακά κατά Kheldahl.....	79
6.2.7	Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων και των ιχνοστοιχείων .....	81
6.2.8	Προσδιορισμός του Δείκτη Βλαστικότητας (Φυτοτοξικότητα).....	84
6.2.9	Μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης του πρότυπου συστήματος ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή .....	86
6.2.10	Μέτρηση της μεταβολής της θερμοκρασίας (°C) και της σχετικής υγρασίας (%) στο εσωτερικό του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης .....	86
7.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	88
7.1	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	88

7.1.1	Αποτελέσματα Μετρήσεων Αγωγιμότητα-pH-VSS .....	88
7.1.2	Αποτελέσματα Μετρήσεων Υγρασίας (%) .....	90
7.1.3	Αποτελέσματα Μετρήσεων Όγκου. ....	108
7.1.4	Αποτελέσματα Μετρήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης του Πρότυπου Συστήματος Οικιακής Ξήρανσης.....	110
7.1.5	Εκτίμηση της Περιβαλλοντικής βιωσιμότητας του συστήματος .....	114
7.1.6	Αποτελέσματα Καταγραφής Δεδομένων Μέτρησης Θερμοκρασίας των μηχανικών μερών του πρότυπου συστήματος με τη χρήση θερμομέτρου (IR).....	118
7.1.7	Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) και Ολικού Ανόργανου Άνθρακα (TIC).....	124
7.1.8	Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικής Οργανικής Ύλης (%OM) .....	127
7.1.9	Αποτελέσματα Μετρήσεων Μετάλλων.....	128
7.1.10	Αποτελέσματα Καταγραφής Δεδομένων Θερμοκρασίας και Υγρασίας στο Εσωτερικό της Συσκευής Ξήρανσης.....	131
7.1.11	Αποτελέσματα Μετρήσεων Φυτοτοξικότητας .....	134
7.1.12	Αποτελέσματα Μετρήσεων Αμμωνιακών .....	137
8.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 .....	139
8.1	Συμπεράσματα .....	139
9.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	141

## EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Μονάδα υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) .....	6
Εικόνα 2: Μονάδα αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων. ....	7
Εικόνα 3 : Περιγραφή της βασικής διαδικασίας αναερόβιας ζύμωσης. (Southern Energy Network., 2009) .....	8
Εικόνα 4: Οικιακός κομποστοποιητής.....	14
Εικόνα 5: Υλικά και διεργασία κομποστοποίησης (Earth911,2011) .....	15
Εικόνα 6: Οργανικά απορρίμματα έτοιμα για κομποστοποίηση. ....	16
Εικόνα 7 : Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας(5L) (Loofen.,2010) .....	31
Εικόνα 8: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας (4L) (Loofen.,2010) .....	31
Εικόνα 9: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας(10L)(Loofen.,2010) .....	31
Εικόνα 10: Loofen φίλτρο ενεργού άνθρακα, (Loofen.,2010) .....	34
Εικόνα 11: Σύστημα οικιακής ξήρανσης WM05-A (Coway.,2010).....	36
Εικόνα 12 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης WMD-01), (Coway.,2010).....	36
Εικόνα 13 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης WM06 (Coway., 2010). ....	37
Εικόνα 14: Τρόπος λειτουργίας του ξηραντήρα (Coway., 2010) .....	37
Εικόνα 15 : 1 <sup>ο</sup> σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας Samoh NK (Samoh NK.,2010) .....	40
Εικόνα 16: 2 <sup>ο</sup> σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας SamohNK (SamohNK.,2010) .....	41
Εικόνα 17 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης (DUO Enterprise Ltd., 2010) .....	42
Εικόνα 18 : Πρότυπη μονάδα κομποστοποίησης (COMWASTE.,2010) .....	44
Εικόνα 19: Οικιακά απόβλητα για κομποστοποίηση (Comwaste.,2010).....	45
Εικόνα 20 : Τελικό προϊόν, κομπόστ (Comwaste.,2010) .....	46
Εικόνα 21 : Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου .....	47
Εικόνα 22: Χρήση βιοαερίου για οικιακές συσκευές.....	48
Εικόνα 23 : Σύστημα επεξεργασίας υπό κατασκευή.....	49
Εικόνα 24 : Κατασκευή του συστήματος από ειδικούς τεχνικούς.....	50
Εικόνα 25: Θάλαμος ξήρανσης .....	52
Εικόνα 26: Βάση (Κάτω όψη) .....	53
Εικόνα 27:Βάση (Πάνω όψη) .....	54
Εικόνα 28: Θάλαμος & βάση (Κάτω όψη) .....	55
Εικόνα 29: Θάλαμος & βάση.....	55
Εικόνα 30: Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων .....	57
Εικόνα 31: Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων .....	59
Εικόνα 32 :Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων .....	59
Εικόνα 33: Πώμα του ΞΔΑ.....	61
Εικόνα 34: Θερμικός δίσκος.....	62
Εικόνα 35: Διάταξη Απόσμησης: υποδοχέας & πώμα .....	63
Εικόνα 36: Χειρολαβή υποδοχέα ΔΑ .....	65
Εικόνα 37: Υποστήριγμα βάσης ΞΔΑ .....	65
Εικόνα 38: Ξηραντής διατροφικών αποβλήτων.....	67

Εικόνα 39: Ξηραντής διατροφικών αποβλήτων (τομή).....	67
Εικόνα 40 : Το πρότυπο σύστημα οικιακής ξήρανσης. ....	69
Εικόνα 41: Εικόνα χαρακτηριστικού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε. ....	70
Εικόνα 42: Φούρνος ξήρανσης 105°C .....	72
Εικόνα 43: Το οργανικό δείγμα μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης στο πρότυπο σύστημα. ....	73
Εικόνα 44: Ογκομετρικός κύλινδρος. ....	74
Εικόνα 45: Μετατόπιση αποσταγμένου νερού .....	74
Εικόνα 46:Συσκευή ανάδευσης .....	75
Εικόνα 47:PH-μέτρο και αγωγιμόμετρο .....	76
Εικόνα 48:Μύλος άλεσης δειγμάτων .....	76
Εικόνα 49: Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών .....	77
Εικόνα 50:Κάψες πορσελάνης .....	78
Εικόνα 51: Συσκευή αυτόματου προσδιορισμού ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) της εταιρίας Shimatzu .....	79
Εικόνα 52: Συσκευή Φυγοκέντρισης .....	79
Εικόνα 53: Συσκευή Kheldahl.....	80
Εικόνα 54: (δεξιά) πριν την τιτλοδότηση, (αριστερά) μετά την τιτλοδότηση. ....	81
Εικόνα 55: Συσκευή χώνευσης.....	83
Εικόνα 56:Ατομική Απορρόφηση .....	83
Εικόνα 57 : Τρυβλίο με σπόρια .....	84
Εικόνα 58: Τρυβλία με δείγματα.....	85
Εικόνα 59: Καταγραφικό ενεργειακής κατανάλωσης .....	86
Εικόνα 60: Καταγραφικό θερμοκρασίας-υγρασίας (Lascar Electronics Data logger) .....	87
Εικόνα 61:Καταγραφικό θερμοκρασίας στο καλάθι ξήρανσης της συσκευής “DRYWASTE”. ....	87
Εικόνα 62: Η κλίμακα του PH (EPA.,2011) .....	89
Εικόνα 63: Ο καταγραφέας στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης μαζί με οργανικά απορρίμματα. .	131
Εικόνα 64:Αποικία από μύκητες σε δείγμα ξηρού διατροφικού αποβλήτου. ....	135
Εικόνα 65: Σπόροι μαρουλιού που φύτεωσαν. ....	136

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1:Σχεδιάγραμμα τυπικής εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης οργανικών απορριμμάτων. ....	24
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 : Στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης (University of Strathclyde., 2009). ...	25
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 : Εσωτερικά μέρη συστημάτων ξήρανσης της εταιρίας loofen. (Loofen.,2010) .....	33
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 : Φίλτρο ενεργού άνθρακα (Loofen.,2010) .....	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: Περιεχόμενη υγρασία σε τυχαία τρόφιμα.....	91
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 60°C. ....	92
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 70°C. ....	93
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 80°C. ....	94
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9:Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 60°C .....	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 :Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 70°C. .	95
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11:Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 80°C. ..	96
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 60°C .....	97
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 70°C. ....	98
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 80°C. ....	99
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 60°C .....	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 70°C. ....	100
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 80°C. ....	101
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: Πτώση υγρασίας στους 60°C και για τους δύο κύκλους πειραμάτων.....	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: Πτώση υγρασίας στους 70°Cκαι για τους δύο κύκλους. ....	102
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: Πτώση υγρασίας στους 80°Cκαι για τους δύο κύκλους. ....	103
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: Αρχική και τελική ξήρανση στους 60°C και για τους δύο κύκλους. ....	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: Αρχική και τελική ξήρανση στους 70°C και για τους δύο κύκλους. ....	104
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: Αρχική και τελική ξήρανση στους 80°C και για τους δύο κύκλους. ....	105
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: Μείωση της υγρασίας και για τις 3 θερμοκρασίες στον πρώτο κύκλο πειραμάτων. ..	106
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: Μείωση της υγρασίας και για τις 3 θερμοκρασίες στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων	107
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26:Μεταβολή (%) του όγκου μιγμάτων που εξετάστηκαν .....	108
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: Μεταβολή όγκου φρούτων (αριστερά) και λαχανικών (δεξιά) (%) .....	109
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: Μείωση όγκου δειγμάτων οστών και κρέατος .....	110
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) πρώτου κύκλου. ....	112
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) δεύτερου κύκλου. ....	113
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) και των δύο κύκλων.....	114
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος. ....	119
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος. ....	120
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος. ....	121
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος. ....	122
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος. ....	123
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος. ....	124
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38: Τα ιχνοστοιχεία (%) όπως προσδιορίστηκαν στα δείγματα μας .....	130



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39:Γράφημα μεταβολής της θερμοκρασίας από 73 σε 80 βαθμού κελσίου στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης χωρίς απορρίμματα.....	132
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας $\approx 80^{\circ}\text{C}$ . .....	132
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας $\approx 80^{\circ}\text{C}$ με απορρίμματα (Η συσκευή άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων). .....	133
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας $\approx 70^{\circ}\text{C}$ με απορρίμματα (Το καπάκι της συσκευής, άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων ενώ στις 14:00 έσβησε για διάστημα 20 λεπτών). .....	133
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας $\approx 60^{\circ}\text{C}$ με απορρίμματα (Η συσκευή άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων). .....	134
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44: Ο δείκτης βλαστικότητας σε 3 διαφορετικές αναλογίες. ....	137
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45: Διάγραμμα με τα αποτελέσματα των αμμωνιακών. ....	138

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 : Προδιαγραφές συστημάτων ξήρανσης (Loofen.,2010) .....	32
Πίνακας 2 : Εμπορικά συστήματα ξήρανσης μικρής κλίμακας (Loofen.,2010). .....	33
Πίνακας 3: Τεχνικές προδιαγραφές του ξηραντήρα WM05-A (Coway.,2010) .....	38
Πίνακας 4: Τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος οικιακής ξήρανσης WM03 (Coway.,2010) .....	40
Πίνακας 5: Συστήματα οικιακών εγκαταστάσεων στην Τανζανία και στην Ουγκάντα.....	48
Πίνακας 6: Τα δείγματα του πρώτου κύκλου. ....	69
Πίνακας 7: Τα δείγματα του δεύτερου κύκλου. ....	70
Πίνακας 8 : Μετρήσεις από τον πρώτο κύκλο πειραμάτων. ....	88
Πίνακας 9 : Μετρήσεις από τον δεύτερο κύκλο πειραμάτων. ....	89
Πίνακας 10: Περιεχόμενη υγρασία (%) σε διάφορα τρόφιμα.....	91
Πίνακας 11: Περιεχόμενη υγρασία στα δείγματα. ....	92
Πίνακας 12: Περιεχόμενη υγρασία στα δείγματα. ....	96
Πίνακας 13: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης του πρώτου κύκλου πειραμάτων. ....	111
Πίνακας 14: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης του δεύτερου κύκλου. ....	112
Πίνακας 15: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης και των δύο κύκλων. ....	113
Πίνακας 16: Εκπεμπόμενοι ρύποι από εργοστάσιο παραγωγής λιθάνθρακα στην Ελλάδα .....	115
Πίνακας 17: Έκλυση ρύπων μέσω της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος της συσκευής οικιακής ξήρανσης.....	116
Πίνακας 18: Ειδικές εκπομπές συμβατικών ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα των μελλοντικών μονάδων της ΔΕΗ Α.Ε. ....	117
Πίνακας 19: Εκτιμώμενοι παραγόμενοι ρύποι από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της συσκευής με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε. για τις νέες μονάδες. ....	118
Πίνακας 20: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του πρώτου κύκλου πειραμάτων.....	119
Πίνακας 21: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας. ....	120
Πίνακας 22: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του δεύτερου κύκλου πειραμάτων. ....	121
Πίνακας 23: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του επάνω μέρους της συσκευής για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του δεύτερου κύκλου πειραμάτων. ....	122
Πίνακας 24: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας των δύο κύκλων πειραμάτων. ....	123
Πίνακας 25: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του επάνω μέρους της συσκευής για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας των δύο κύκλων πειραμάτων. ....	123
Πίνακας 26: Αποτελέσματα μετρήσεων TOC (%).....	125
Πίνακας 27: Αποτελέσματα TOC (%) και TIC (%) .....	126
Πίνακας 28: Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικής Οργανικής Ύλης.....	127
Πίνακας 29: Αποτελέσματα μετρήσεων LOI (%). ....	128
Πίνακας 30 :Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (%) με βάση τις διεθνής τιμές της βιβλιογραφίας. ....	129
Πίνακας 31:Μέσες τιμές των ιχνοστοιχείων (%).....	129

Πίνακας 32: Χαρακτηριστικά κόμποστ.....	135
Πίνακας 33: Αποτελέσματα αμμωνιακών. ....	138

## ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1:Τυπική μονάδα αποτέφρωσης ΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΕΕΔΣΑ.,2011).....	10
Σχήμα 2 : Τυπική κατανομή θερμοκρασία και pHκατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης.(British Columbia Ministry of Agriculture and food., 1996).....	18
Σχήμα 3 : Τα βασικά μέρη ενός οικιακού ξηραντήρα (Coway.,2010). ....	39

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη της χρήσης πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης στην πηγή. Μελετήθηκαν παράμετροι που καθορίζουν τη διεργασία και κατά συνέπεια το τελικό προϊόν. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην υπάρχουσα κατάσταση όσο αφορά την διαχείριση αποβλήτων, τις μεθόδους που υπάρχουν καθώς και στην αντιμετώπιση του ζητήματος από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις δύο υπάρχουσες μεθόδους επεξεργασίας οικιακών αποβλήτων. Αναφέρεται για κάθε μέθοδο οι παράμετροι που την επηρεάζουν και οι φάσεις τις. Τέλος καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα ήδη υπάρχοντα συστήματα οικιακής ξήρανσης στην πηγή της διεθνούς αγοράς. Επίσης αναφέρονται οι προδιαγραφές του κάθε συστήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται όλες οι επιτυχημένες περιπτώσεις οικιακής ξήρανσης μικρής κλίμακας που έχουν πραγματοποιηθεί στον κόσμο. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εκτενή αναφορά στο πρότυπο σύστημα οικιακής ξήρανσης στο οποίο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα. Παρουσιάζονται όλα τα μέρη του συστήματος. Στο έκτο κεφάλαιο καταγράφεται η πειραματική διαδικασία. Αναφέρονται όλες οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν ξεχωριστά και η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για κάθε μια παράμετρο. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα. Για κάθε παράμετρο που προσδιορίστηκε αναφέρονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Εμφανίζονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα. Τέλος στο κεφάλαιο οκτώ καταγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## ABSTRACT

The total annual arising of bio-waste in the EU is estimated at 76.5-102 Mt food and garden, waste included in mixed municipal solid waste and up to 37 Mt from the food and drink industry. Bio-waste is a putrescible, generally wet waste. There are two major streams, green waste from parks, gardens etc. and kitchen waste. The former includes usually 50-60% water and more wood (lignocellulosis), the latter contains no wood but up to 80% water.

A promising option for the management of domestic organic household waste is to encourage the householders to separate and dry the organic waste at home in order to significantly reduce its mass and volume at source. In general, moisture content of household waste is generally very high but varies significantly. The average moisture content of household waste can range from 55% to 95%, values that are considered to be particularly high. Thus, the removal of moisture content will significantly reduce the quantity of organic waste.

The produced "final dry organic waste product" without the moisture content and with the inactivation of pathogens can be further used in different alternative and environmental friendly ways. Therefore, the "dry waste" is more likely to meet the EU environmental standards and be suitable for further use, bringing associated environmental and economic benefits.

The main objectives of this diploma thesis is to investigate the performance and the characteristics of the final product of a prototype innovative household biodegradable waste drying device which has been designed and is already operational at the Unit of Environmental Science and Technology of the NTUA. Many parameters have been taken into consideration in order to complete this investigation in a period of 8 months.

More specifically the following parameters have been investigated:

- PH
- Electric Conductivity
- Temperature and humidity variation inside the innovative organic waste drying system
- Moisture removal during the drying process
- Waste volume reduction
- Waste mass reduction
- Metals concentration
- Ammonia concentration
- TOC (total organic cargo)
- Temperature variation in all parts of the drying system

- Phytotoxicity

The results showed some very interesting aspects of the system constructed that are absolutely encouraging and will be used as a guide in order to optimize the system's performance in the near future.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## 1.1 Εισαγωγή

Η οικονομική μεγέθυνση στην ΕΕ εξακολουθεί να συνοδεύεται από αυξανόμενους όγκους αποβλήτων, με αποτέλεσμα να προκαλούνται απώλειες υλικών και ενέργειας, περιβαλλοντικές ζημιές και αρνητικές συνέπειες στην υγεία και την ποιότητα ζωής. Στρατηγικός στόχος της ΕΕ είναι να περιορισθούν αυτές οι αρνητικές συνέπειες και να μετατραπεί σε ενεργειακά αποδοτική «κοινωνία της ανακύκλωσης». Η διαχείριση των αποβλήτων διέπεται ήδη από μεγάλο όγκο κανονιστικών ρυθμίσεων, υπάρχουν όμως ακόμη δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης της διαχείρισης ορισμένων κύριων ροών αποβλήτων. Ως βιολογικά απόβλητα νοούνται τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρείων νοικοκυριών, εστιατορίων, μονάδων εστίασης και καταστημάτων λιανικής πώλησης, και παρεμφερή απόβλητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας τροφίμων. Στον ορισμό δεν περιλαμβάνονται τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα, η κοπριά, η ιλύς επεξεργασίας λυμάτων ή άλλα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα όπως οι φυσικές ίνες, το χαρτί ή το κατεργασμένο ξύλο.

Υπολογίζεται ότι στην ΕΕ παράγονται ετησίως 76,5-102 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων από τρόφιμα και κήπους που περιέχονται σε ανάμεικτα αστικά απορρίμματα και έως 37 εκατομμύρια τόνοι από τη βιομηχανία ειδών διατροφής και ποτών. Τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα είναι συνήθως υγρά απόβλητα που υφίστανται σήψη. Υπάρχουν δύο κύριες ροές τέτοιων αποβλήτων – τα πράσινα που προέρχονται από κήπους, πάρκα κ.α. και τα απόβλητα μαγειρείων. Τα πρώτα έχουν συνήθως 50-60% περιεκτικότητα σε νερό και περισσότερη ξυλώδη ουσία (λιγνοκυτταρίνη), ενώ τα δεύτερα δεν περιέχουν ξυλώδη ουσία αλλά νερό σε ποσοστό 80%.

Μεταξύ των λύσεων διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων, πέραν της πρόληψης στην πηγή τους, είναι η αποκομιδή (χωριστή ή μαζί με άλλα απόβλητα), η αναερόβια ζύμωση και η λιπασματοποίηση, η αποτέφρωση και η υγειονομική ταφή. Τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις κατά τόπους συνθήκες, όπως είναι η πυκνότητα πληθυσμού, οι υποδομές και το κλίμα, καθώς και από τις αγορές των αντίστοιχων προϊόντων (ενέργεια και προϊόντα λιπασματοποίησης).

Σήμερα, εφαρμόζονται πολύ διαφορετικές εθνικές πολιτικές διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων, οι οποίες κυμαίνονται από ελάχιστα μέτρα σε ορισμένα κράτη μέλη έως



φιλόδοξες πολιτικές σε άλλα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και σε παρεμπόδιση ή καθυστέρηση της πλήρους χρήσης προηγμένων τεχνικών διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων. Εκείνο που πρέπει να ερευνηθεί είναι κατά πόσον η ανάληψη δράσης σε εθνικό επίπεδο αρκεί για να εξασφαλισθεί ορθή διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στην ΕΕ, ή εάν χρειάζεται ανάληψη δράσης σε επίπεδο Κοινότητας.

## **1.2 Περιγραφή της κατάστασης στην διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων**

### **1.2.1 Υπάρχουσες τεχνικές**

Τα συστήματα **χωριστής αποκομιδής** λειτουργούν με επιτυχία σε πολλές χώρες, και ιδίως η αποκομιδή των πράσινων αποβλήτων. Τα απορρίμματα των μαγειριών συλλέγονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία πιο συχνά μαζί με τα ανάμεικτα αστικά απορρίμματα. Ανάμεσα στα οφέλη της χωριστής αποκομιδής είναι ότι τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα δεν καταλήγουν στην υγειονομική ταφή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμογόνος αξία των ανάμεικτων αστικών απορριμμάτων που απομένουν και να παράγεται καθαρότερο κλάσμα βιολογικών αποβλήτων, το οποίο επιτρέπει την παραγωγή καλύτερης ποιότητας προϊόντος λιπασματοποίησης και διευκολύνει την παραγωγή βιοαερίου. Η χωριστή αποκομιδή βιολογικών αποβλήτων αναμένεται ότι θα διευκολύνει επίσης και άλλες μορφές ανακύκλωσης που πιθανόν θα εμφανισθούν στην αγορά στο εγγύς μέλλον (π.χ. παραγωγή χημικών ουσιών σε βιοδιυλιστήρια) (ΠΡΑΣΙΝΗ ΒΙΒΛΟΣ.,2011).

**Η υγειονομική ταφή** (Εικόνα 1), αν και αποτελεί την χειρότερη λύση με βάση την ιεράρχηση των αποβλήτων, εξακολουθεί να είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος διάθεσης των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων στην ΕΕ. Οι χώροι υγειονομικής ταφής πρέπει να κατασκευάζονται και να λειτουργούν σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (στεγανοποιημένα φράγματα, εξοπλισμός δέσμευσης μεθανίου), ώστε να αποφεύγονται οι ζημίες στο περιβάλλον από την παραγωγή μεθανίου και λυμάτων (Οδηγία 1999/31/ΕΚ).



Εικόνα 1: Μονάδα υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

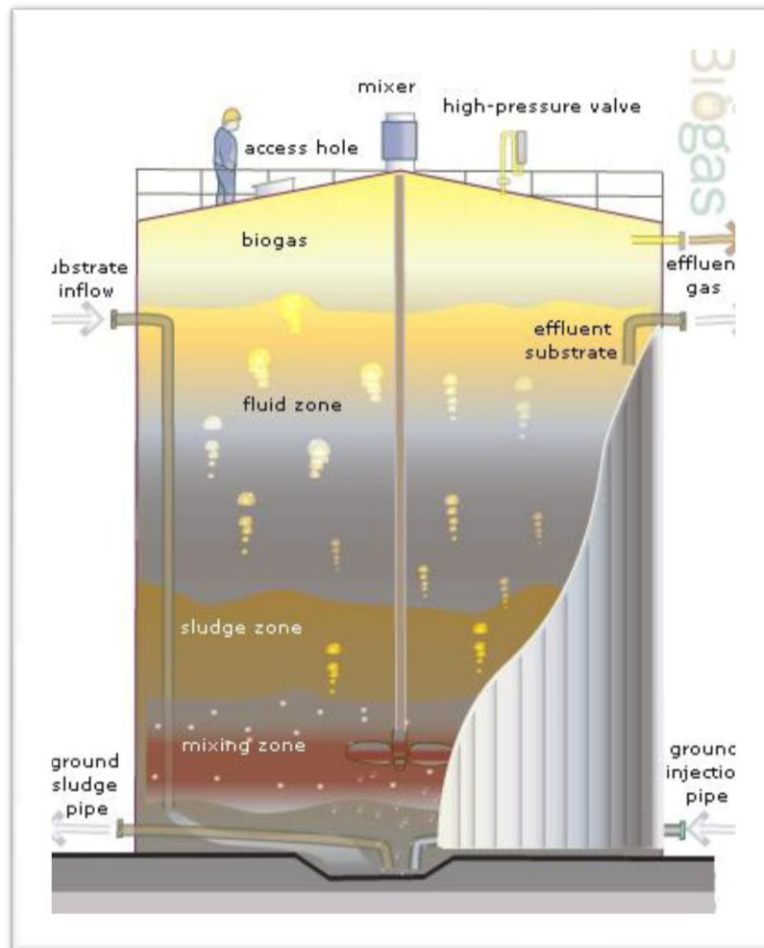
**Αποτέφρωση (Εικόνα.2):** τα βιολογικά απόβλητα συνήθως καίγονται όταν είναι αναμειγμένα με ανάμεικτα αστικά απόβλητα. Ανάλογα με την ενεργειακή απόδοση, η αποτέφρωση μπορεί να θεωρηθεί ως ενεργειακή ανάκτηση ή ως διάθεση. Επειδή η απόδοση της αποτέφρωσης είναι περιορισμένη λόγω των υγρών βιολογικών αποβλήτων, είναι σκόπιμο να αφαιρούνται αυτά από τα αστικά απόβλητα. Από την άλλη πλευρά, τα βιολογικά απόβλητα που υποβάλλονται σε αποτέφρωση θεωρούνται ως ουδέτερα ως προς τον άνθρακα «ανανεώσιμα» καύσιμα υπό την έννοια της οδηγίας για την ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Οδηγία 2001/77/ΕΚ) και της οδηγίας που προτείνεται για την προώθηση της χρήσης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας) (COM(2008)19).



Εικόνα 2: Μονάδα αποτέφρωσης στερεών αποβλήτων.

**Η βιολογική επεξεργασία** (συμπεριλαμβανομένης της λιπασματοποίησης και της αναερόβιας ζύμωσης) είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί ανακύκλωση όταν το προϊόν λιπασματοποίησης (ή το προϊόν ζύμωσης) αναμειγνύεται με το χώμα ή όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή μέσων καλλιέργειας. Στην αντίθετη περίπτωση, πρέπει να χαρακτηρίζεται προεπεξεργασία πριν την υγειονομική ταφή ή την αποτέφρωση. Επιπλέον, η αναερόβια ζύμωση (Εικόνα 3) (για την παραγωγή ενέργειας) πρέπει να εκλαμβάνεται ως ανάκτηση ενέργειας λιπασματοποίησης είναι η συνηθέστερη λύση βιολογικής επεξεργασίας (το 95% περίπου των συνήθων δραστηριοτήτων βιολογικής επεξεργασίας). Αρμόζει περισσότερο για πράσινα απόβλητα και τα ξυλώδη υλικά. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, από τις οποίες οι «κλειστές» είναι μεν οι πιο δαπανηρές αλλά απαιτούν λιγότερο χώρο και είναι ταχύτερες και αυστηρότερες από άποψη ελέγχου των εκπομπών που προέρχονται από τις αντίστοιχες διεργασίες (οσμές, βιοαερόλυματα). Η αναερόβια ζύμωση αρμόζει ειδικά για την επεξεργασία υγρών βιολογικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένου του λίπους (π.χ. απόβλητα μαγειρειών). Παράγει μείγμα αερίων (κυρίως μεθάνιο - 50 έως 75% - και διοξείδιο του άνθρακα) μέσα σε ελεγχόμενους αντιδραστήρες. Το βιοαέριο μπορεί να περιορίσει τις εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων σε αξιοσημείωτο βαθμό, εάν χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο στις μεταφορές ή εάν διοχετευθεί απευθείας στο δίκτυο διανομής αερίου. Η χρήση του ως βιοκαύσιμο μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων, με αποτέλεσμα το βιοαέριο να έχει καθαρό πλεονέκτημα έναντι άλλων μεταφορικών καυσίμων. Τα υπολείμματα της διεργασίας (τα προϊόντα ζύμωσης), μπορούν να λιπασματοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν για

παρεμφερείς σκοπούς με το προϊόν λιπασματοποίησης, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική ανάκτηση πόρων από τα απόβλητα.



Εικόνα 3 : Περιγραφή της βασικής διαδικασίας αναερόβιας ζύμωσης. (Southern Energy Network., 2009)

**Η μηχανική-βιολογική επεξεργασία** συνίσταται σε τεχνικές που συνδυάζουν τη βιολογική επεξεργασία με τη μηχανική επεξεργασία (διαλογή). Στο παρόν έγγραφο, ο όρος αφορά μόνον την προεπεξεργασία των ανάμεικτων αποβλήτων με σκοπό την παραγωγή είτε σταθερότερου προϊόντος με προορισμό την υγειονομική ταφή είτε προϊόντος με βελτιωμένες ιδιότητες καύσης. Ωστόσο, η μηχανική-βιολογική επεξεργασία στην οποία χρησιμοποιείται αναερόβια ζύμωση παράγει βιοαέριο και, επομένως, μπορεί να είναι επίσης διαδικασία ανάκτησης ενέργειας. Τα καύσιμα απόβλητα που προκύπτουν από τη διεργασία μηχανική-βιολογική επεξεργασία είναι δυνατόν να υποβληθούν σε περαιτέρω αποτέφρωση λόγω του δυναμικού τους στην ανάκτηση ενέργειας.

### 1.3 Τρέχουσα διαχείριση στα κράτη μέλη της ΕΕ.

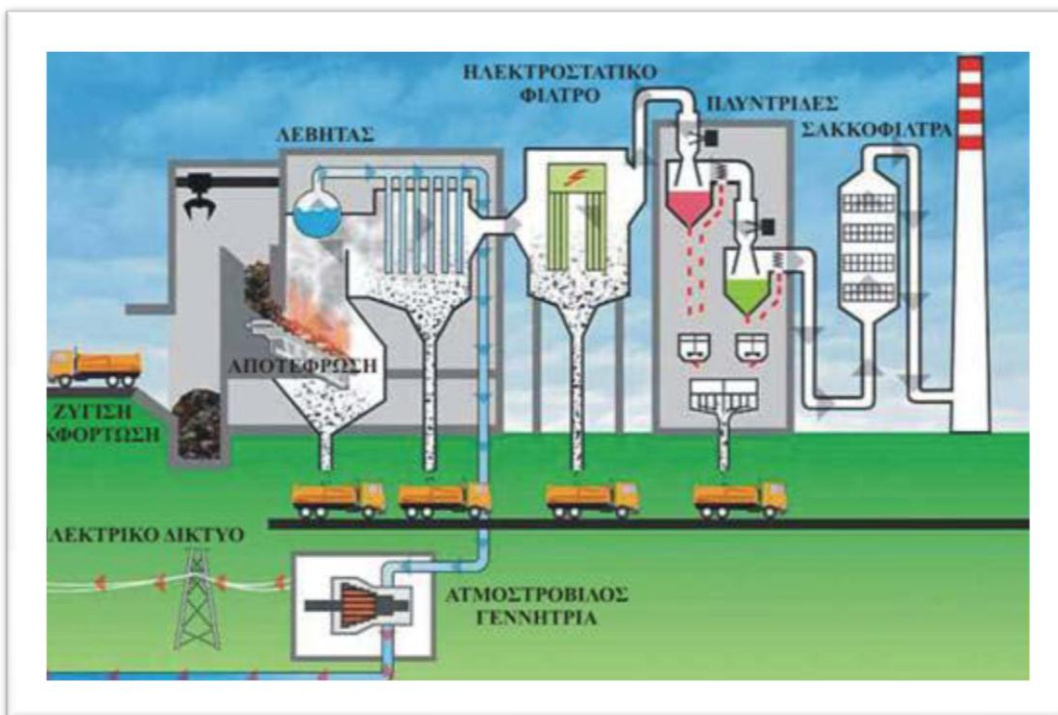
Η διαχείριση των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων και των βιολογικών αποβλήτων διαφέρει πολύ ανάμεσα στα κράτη μέλη. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος στην έκθεσή του διακρίνει τρεις κύριες προσεγγίσεις:

- Οι χώρες που στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αποτέφρωση για την αποτροπή της διάθεσης αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, η οποία συνοδεύεται από υψηλό επίπεδο ανάκτησης υλικών και συχνά από προηγμένες στρατηγικές προώθησης της βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων: DK, SE, BE (Φλάνδρα), NL, LU, FR.
- Οι χώρες με υψηλό επίπεδο ανάκτησης υλικών αλλά με σχετικά χαμηλό ποσοστό αποτέφρωσης (Γερμανία, Αυστρία, Ισπανία, Ιταλία). Ορισμένες χώρες επιτυγχάνουν τα υψηλότερα ποσοστά λιπασματοποίησης στην ΕΕ (Γερμανία, Αυστρία), ενώ άλλες αναπτύσσουν με γοργούς ρυθμούς ικανότητα λιπασματοποίησης και μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας.
- Οι χώρες που στηρίζονται στην υγειονομική ταφή, στις οποίες όμως η εκτροπή από την υγειονομική ταφή παραμένει πρόβλημα λόγω της έλλειψης χωρητικότητας: ορισμένα νέα κράτη μέλη.
- Οι υποψήφιες και οι εν δυνάμει υποψήφιες χώρες στηρίζονται και αυτές κυρίως στην υγειονομική ταφή, οπότε και σε αυτήν την περίπτωση η εκτροπή των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων από την υγειονομική ταφή θα είναι μεγάλο πρόβλημα.

**Υγειονομική ταφή:** στην ΕΕ τα βιολογικά απόβλητα συνιστούν συνήθως το 30% έως 40% (υπάρχουν όμως και ποσοστά από 18% έως 60%) των ανάμεικτων αστικών απορριμμάτων, η επεξεργασία των οποίων κατατάσσεται χαμηλά στην ιεράρχηση επεξεργασίας των αποβλήτων. Κατά μέσο όρο, το 41% των ανάμεικτων αστικών απορριμμάτων καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής, ενώ σε ορισμένα κράτη μέλη (π.χ. Πολωνία, Λετονία) το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 90%. Ωστόσο, εξαιτίας των εθνικών πολιτικών και της οδηγίας για την υγειονομική ταφή, σύμφωνα με την οποία απαιτείται εκτροπή των βιολογικών αποβλήτων από την υγειονομική ταφή, η μέση ποσότητα των σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων που καταλήγει στην υγειονομική ταφή στην ΕΕ έχει μειωθεί από 288 σε 213 kg/κεφαλή/έτος (από 55 σε 41%) από το έτος 2000.

**Η αποτέφρωση** φθάνει το 47% στη Σουηδία και το 55% στη Δανία και στις δύο χώρες, η αποτέφρωση βιολογικών αποβλήτων που δεν προέρχονται από χωριστή αποκομιδή συνήθως πραγματοποιείται με συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και με συμπύκνωση

των καυσαερίων, με αποτέλεσμα υψηλή απόδοση και υψηλή ανάκτηση καθαρής ενέργειας (Σχήμα 1). Η μηχανική-βιολογική επεξεργασία χρησιμοποιείται στην ΕΕ τα τελευταία 10 χρόνια ως προεπεξεργασία με σκοπό τη συμμόρφωση με κριτήρια αποδοχής υγειονομικής ταφής ή τη βελτίωση της θερμογόνου αξίας για την αποτέφρωση. Το 2005, υπήρχαν τουλάχιστον 80 μεγάλες μονάδες συνδυασμένης δυναμικότητας άνω των 8,5 εκατομμυρίων τόνων, περισσότερες από τις οποίες στη Γερμανία, την Ισπανία και την Ιταλία. Για τη βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων εν γένει (όχι μόνον των βιολογικών) έχουν εντοπισθεί συνολικά 6 000 μονάδες, μεταξύ των οποίων υπάρχουν 3 500 μονάδες λιπασματοποίησης και 2 500 μονάδες αναερόβιας ζύμωσης (οι περισσότερες είναι μικρές μονάδες μέσα σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις). Το 2006 λειτουργούσαν 124 μονάδες αναερόβιας ζύμωσης για την επεξεργασία βιολογικών αποβλήτων ή/και αστικών απορριμμάτων (συμπεριλαμβανομένων των μονάδων μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας με βάση την AD) συνολικής δυναμικότητας 3,9 εκατομμυρίων τόνων, μάλιστα η δυναμικότητα αυτή αναμένεται ότι θα αυξηθεί.



Σχήμα 1: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης ΣΑ με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΕΕΔΣΑ., 2011)

**Η ανακύκλωση** υποστηρίζεται από τη **χωριστή αποκομιδή** σε ορισμένα κράτη μέλη (Αυστρία, Κάτω Χώρες, Γερμανία, Σουηδία, σε ορισμένες περιοχές του Βελγίου (Φλάνδρα) της Ισπανίας (Καταλονία) και της Ιταλίας (βόρειες περιοχές), ενώ σε άλλα όπως η Τσεχική Δημοκρατία, η Δανία και η Γαλλία εφαρμόζεται κυρίως η λιπασματοποίηση των πράσινων αποβλήτων και η

αποκομιδή απορριμμάτων μαγειρείων μαζί με τα σύμμεικτα αστικά απορρίμματα. Το συνολικό δυναμικό χωριστής αποκομιδής των βιολογικών αποβλήτων υπολογίζεται σε περίπου 150kg/κεφαλή/έτος, όπου συμπεριλαμβάνονται τα απορρίμματα κουζίνας και κήπων από νοικοκυριά, τα απόβλητα πάρκων και κήπων ακινήτων του Δημοσίου, και τα απορρίμματα της βιομηχανίας τροφίμων (80 εκατ. τόνοι στην ΕΕ των 27). Στο 30% περίπου αυτού του δυναμικού (24 εκατ. τόνοι) εφαρμόζεται η χωριστή αποκομιδή και η βιολογική επεξεργασία. Η συνολική παραγωγή λιπάσματος ήταν 13,2 εκατομμύρια τόνοι το 2005. Η μεγαλύτερη παραγωγή προϊόντος λιπασματοποίησης προερχόταν από βιολογικά απόβλητα (4,8 εκατ. τόνοι) και πράσινα απόβλητα (5,7 εκατ. τόνοι), ενώ η υπόλοιπη από ιλύ καθαρισμού λυμάτων (1,4 εκατ. τόνοι) και ανάμεικτα απόβλητα (1,4 εκατ. τόνοι). Το δυναμικό παραγωγής προϊόντος λιπασματοποίησης από τα πλέον αξιοποιήσιμα απόβλητα (βιολογικά και πράσινα απόβλητα) υπολογίζεται σε 35 έως 40 εκατ. τόνους.

Το προϊόν λιπασματοποίησης χρησιμοποιείται στη γεωργία (περίπου 50%), σε εξωτερικούς χώρους (έως 20%), στην παραγωγή μέσων καλλιέργειας (μείγματα) και στην παραγωγή χύματος για φυτά (περίπου 20%), και για τη διάθεση σε καταναλωτές (έως 25%). Χώρες, οι οποίες παράγουν κατά κύριο λόγο προϊόν λιπασματοποίησης από ανάμεικτα απόβλητα και δεν διαθέτουν ανεπτυγμένες αγορές προϊόντων λιπασματοποίησης, το χρησιμοποιούν ιδίως στη γεωργία (Ισπανία, Γαλλία) ή για την κάλυψη των χώρων υγειονομικής ταφής (Φινλανδία, Ιρλανδία, Πολωνία).

Η ζήτηση αυτού του προϊόντος παρουσιάζει διακυμάνσεις στην Ευρώπη κυρίως ανάλογα με τις ανάγκες σε βελτιωτικά του εδάφους και με την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Με βάση την πολιτική της ΕΕ για το έδαφος, η Επιτροπή και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο καλούνται να αναλάβουν δράση κατά της υποβάθμισης του εδάφους, καθώς η αυξανόμενη εμπιστοσύνη του κοινού στην ασφαλή χρήση των προϊόντων λιπασματοποίησης που προέρχονται από απόβλητα, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αισθητή άνοδο της ζήτησης.

Ωστόσο, η χρήση των προϊόντων λιπασματοποίησης και ζύμωσης από απόβλητα μπορεί να λύσει σε περιορισμένο βαθμό το πρόβλημα της ποιότητας του εδάφους στην ΕΕ, διότι με μια συνήθη χρήση 10 τόνων προϊόντος λιπασματοποίησης ανά εκτάριο και ανά έτος θα ήταν δυνατόν να αναβαθμισθεί μόνον το 3,2% της γεωργικής γης, ακόμη και εάν υποβάλλονταν σε λιπασματοποίηση και γινόταν χρήση όλων των βιολογικών αποβλήτων, θα ήταν μάλιστα αναγκαία η μεγάλων αποστάσεων μεταφορά τους με τις αρνητικές συνέπειες που συνεπάγεται η μεταφορά αυτή από άποψη κόστους και ζημίας στο περιβάλλον.

## **1.4 Κοινοτικές νομικές πράξεις ρύθμισης της επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων**

Ορισμένες νομικές πράξεις της ΕΕ πραγματεύονται το θέμα της επεξεργασίας των βιολογικών αποβλήτων. Γενικές απαιτήσεις για τη διαχείριση των αποβλήτων, όσον αφορά π.χ. την προστασία του περιβάλλοντος και την ανθρώπινη υγεία κατά την επεξεργασία των αποβλήτων και για την κατά προτεραιότητα ανακύκλωση των αποβλήτων, καθορίζονται στην αναθεωρημένη οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα, η οποία περιέχει επίσης διατάξεις ειδικά για τα βιολογικά απόβλητα (νέους στόχους ανακύκλωσης για τα οικιακά απορρίμματα που μπορούν να συμπεριλαμβάνουν βιολογικά απόβλητα) και τον μηχανισμό καθορισμού κριτηρίων ποιότητας για τα προϊόντα λιπασματοποίησης. Την υγειονομική ταφή βιολογικών αποβλήτων πραγματεύεται η οδηγία για την υγειονομική ταφή, σύμφωνα με την οποία απαιτείται εκτροπή των βιοαποικοδομήσιμων αστικών απορριμμάτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Η αναθεωρημένη οδηγία σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης (οδηγία IPPC), η οποία θέτει τις κύριες αρχές αδειοδότησης και ελεγχόντων μονάδων επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων, θα καλύπτει όλες τις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων, δυναμικότητας άνω των 50 τόνων/ημέρα. Η αποτέφρωση βιολογικών αποβλήτων ρυθμίζεται από την οδηγία αποτέφρωσης των αποβλήτων, ενώ τους υγειονομικούς κανόνες για τις εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης και βιοαερίου, όπου γίνεται επεξεργασία ζωικών υποπροϊόντων, καθορίζει ο κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα. Η προτεινόμενη οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιέχει επίσης μέτρα για τον τρόπο συνυπολογισμού των βιολογικών αποβλήτων στους στόχους για την ανανεώσιμη ενέργεια.

Η νομοθεσία της ΕΕ δεν περιορίζει τις επιλογές των κρατών μελών όσον αφορά τις λύσεις επεξεργασίας των βιολογικών αποβλήτων, εφόσον τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις πλαισίου, ιδίως οι προϋποθέσεις που θέτει η οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα. Η επιλογή της λύσης επεξεργασίας πρέπει να εξηγείται και να δικαιολογείται σε εθνικά ή περιφερειακά σχέδια διαχείρισης των αποβλήτων και προγραμμάτων πρόληψης. Με τον ορισμό, ταυτόχρονα, της έννοιας «απόβλητα», ο οποίος πριν την αναθεώρηση της οδηγίας-πλαισίου δεν οριοθετούσε με σαφήνεια πότε έχουν υποβληθεί τα απόβλητα σε κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να θεωρούνται προϊόν, χαράχθηκαν πολλές και ποικίλες πολιτικές και μέθοδοι επεξεργασίας στην ΕΕ, όπως επίσης δημιουργήθηκαν και διάφορες ερμηνείες από κράτη μέλη σχετικά με το πότε επεξεργασμένα βιολογικά απόβλητα είναι δυνατόν να παύσουν να είναι απόβλητα και να είναι προϊόντα που είναι δυνατόν να διακινούνται ελεύθερα στην εσωτερική αγορά ή να εξάγονται από την ΕΕ (ΠΡΑΣΙΝΗ ΒΙΒΛΟΣ.,2011).



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

## 2.1 Τεχνολογίες επεξεργασίας των οικιακών βιολογικών απορριμμάτων στην πηγή

Η συγκέντρωση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα, η κοινωνική και τεχνολογική ανάπτυξη, καθώς και η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών οδήγησαν στη μεγάλη αύξηση της ποσότητας των στερεών αποβλήτων γεγονός που αποτελεί σήμερα, ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας. Τα αστικά απορρίμματα δημιουργούν σημαντικά προβλήματα, όσον αφορά την υγιεινή του περιβάλλοντος, και τη δημόσια υγεία. Για αυτούς τους λόγους απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων.

Ένα σημαντικό κομμάτι της συνολικής ποσότητας των αστικών απορριμμάτων, αποτελεί το βιοαποδομήσιμο κλάσμα αυτών το οποίο αποτελεί περίπου το 45% της συνολικής ποσότητας τους. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί κατά καιρούς για την διαχείριση και επεξεργασία αυτού του κλάσματος. Αυτό σήμερα μπορεί να διαχειριστεί ως ένα ξεχωριστό κλάσμα ή σαν μέρος του συνολικού κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων. Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, μπορεί να διαχωριστεί στην πηγή και να επεξεργαστεί με μία από τις υπάρχουσες μεθόδους επεξεργασίας όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση ή ως μέρος του συνολικού κλάσματος των αστικών στερεών απορριμμάτων με την μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας ή της υγειονομικής ταφής.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι οικιακής επεξεργασίας των οργανικών στερεών απορριμμάτων οι οποίες είναι πολλά υποσχόμενες και φιλοδοξούν να μειώσουν την συνολικά παραγόμενη ποσότητα αυτών στην πηγή. Σε οικιακό επίπεδο, οι σημαντικότερες μέθοδοι επεξεργασίας του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων, είναι (α) η αερόβια επεξεργασία (οικιακή κομποστοποίηση ή βιολογική ξήρανση) και (β) η μικρής κλίμακας αναερόβια χώνευση.

Στο τρέχον κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς οι προαναφερθείσες μέθοδοι.

## 2.2 Οικιακή κομποστοποίηση

### 2.2.1 Εισαγωγή

Η οικιακή κομποστοποίηση (Εικόνα 4) αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους ανακύκλωσης των οργανικών απορριμμάτων που απαρτίζουν την πλειοψηφία των σκουπιδιών για κάθε νοικοκυριό. Με την οικιακή κομποστοποίηση ένα σημαντικό ποσοστό διαχωρίζεται από τον κύριο όγκο των απορριμμάτων που έχουν σαν τελικό προορισμό τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων. Πολλοί ιδιώτες παγκοσμίως εφαρμόζουν τη μέθοδο της κομποστοποίησης επιστρέφοντας έτσι στο έδαφος όλα εκείνα τα απαραίτητα συστατικά (οργανικά και ανόργανα) που χρειάζονται για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι εκτός από την ανακύκλωση των μετάλλων, του χαρτιού, των γυαλιών και των ελαστικών, που σε κάποιο ικανοποιητικό βαθμό μπορεί να επιτευχθεί, με τη διαδικασία της ανακύκλωσης, ανακυκλώνεται ουσιαστικά και το οργανικό κλάσμα, επαναφέροντάς το με περιβαλλοντικά ορθό τρόπο στο φυσικό αποδέκτη του, το χώμα για να μπορέσει το τελευταίο διατηρώντας την κανονική δομή και γονιμότητά του να συνεχίσει να παράγει.



Εικόνα 4: Οικιακός κομποστοποιητής.

Η κομποστοποίηση είναι μια πολύπλοκη αερόβια μικροβιακή διεργασία η οποία περιλαμβάνει την αερόβια βιολογική αποσύνθεση των οργανικών συστατικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

Για να περιγραφεί ακριβώς απαιτούνται πληροφορίες από πολλές επιστήμες όπως βακτηριολογία, μυκητολογία, παθολογία φυτών, κ.α. Δεν υπάρχει γενικά αποδεκτός ορισμός για την κομποστοποίηση. Ένας από τους ευρύτερα αποδεκτούς ορισμούς είναι ότι πρόκειται για βιολογική αποσύνθεση και σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών κάτω από συνθήκες που επιτρέπουν τη ανάπτυξη των θερμοφίλων οργανισμών ως αποτέλεσμα της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας, έτσι ώστε να παραχθεί ένα προϊόν σταθερό, χωρίς παθογόνα, το οποίο μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα στο έδαφος. Τα κύρια προϊόντα του βιολογικού μεταβολισμού είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και το κόμποστ (Εικόνα 5). Η διεργασία της κομποστοποίησης μειώνει τόσο τον όγκο όσο και την μάζα των πρώτων υλών ενώ παράλληλα έχουμε την μετατροπή τους σε ένα τελικό οργανικό σταθεροποιημένο προϊόν το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βελτιωτικό εδάφους.

Κατά την κομποστοποίηση επιτυγχάνεται βιολογική μετατροπή των οργανικών αποβλήτων σε προϊόντα τα οποία βελτιώνουν την ποιότητα του εδάφους και προσφέρουν θρεπτικά συστατικά για τα φυτά.



Εικόνα 5: Υλικά και διεργασία κομποστοποίησης (Earth911,.2011)

Το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα, χούμο και ενέργεια σε μορφή θερμότητας από τη δράση των μικροοργανισμών. Τα κύρια συστατικά του οργανικού υλικού είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια, η κυτταρίνη και η λιγνίνη. Η ικανότητα των μικροοργανισμών να αφομοιώσουν το οργανικό υλικό εξαρτάται από το αν μπορούν να παράγουν τα ένζυμα που χρειάζονται κάθε φορά για την αποσύνθεση του υποστρώματος.



Εικόνα 6: Οργανικά απορρίμματα έτοιμα για κομποστοποίηση.

Η διεργασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται κυρίως από 6 ομάδες των μικροοργανισμών : (1) μύκητες,(2) ακτινομύκητες,(3) βακτήρια,(4)σκουλήκια,(5)πρωτόζωα, (6) προνύμφες.

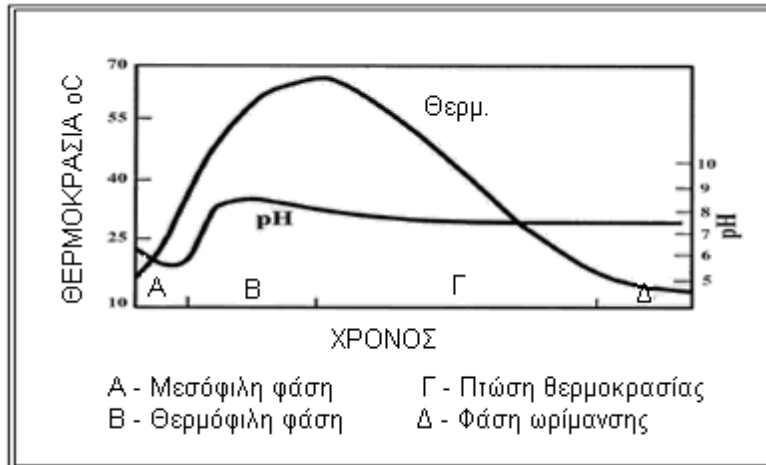
## 2.2.2 Φάσεις Κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε δυο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας θερμότητα ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητας. Το μέγεθος του σωρού μειώνεται στο στάδιο αυτό. Στο δεύτερο στάδιο έχουμε την ωρίμανση του υλικού και την παραγωγή κόμποστ. Οι μικροοργανισμοί εξαντλούν το απόθεμα των διαθέσιμων θρεπτικών του κόμποστ και επιβραδύνεται η δραστηριότητα τους. Σαν αποτέλεσμα η θερμότητα σταδιακά μειώνεται και το κόμποστ γίνεται ξηρό και εύθρυπτο ως προς την υφή του. Όταν το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται τότε το κόμποστ θεωρείται σταθεροποιημένο ή ώριμο. Οποιαδήποτε μικροβιακή αποσύνθεση συμβαίνει πλέον σε πολύ αργούς ρυθμούς.

Η οργανική ύλη μπορεί να χωριστεί ανάλογα με το πόσο εύκολα βιοαποδομείται. Η κομποστοποίηση μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις μικροβιολογικά σημαντικές φάσεις οι οποίες καθορίζονται από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται, 1. Μεσόφιλη Φάση, 2. Θερμόφιλη Φάση, 3. Φάση πτώσης της θερμοκρασίας και 4. Φάση της ωρίμανσης.

Η διεργασία της κομποστοποίησης αρχίζει με τη μικροβιολογική αποσύνθεση του οργανικού υλικού στο μεσόφιλο εύρος θερμοκρασιών. Με την έντονη αναπνευστική δραστηριότητα η θερμοκρασία αυξάνεται σε τέτοιο επίπεδο που είναι απαγορευτικό για την δραστηριότητα των μεσόφιλων οργανισμών, αλλά κατάλληλο για τους θερμόφιλους οργανισμούς, τα θερμόφιλα βακτήρια. Αυτή η αλλαγή συνδέεται και με μια μείωση της ποικιλότητας των ειδών.

Στο τρίτο στάδιο, όπου η θερμοκρασία σταδιακά πέφτει, επειδή ο διαθέσιμος οργανικός άνθρακας γίνεται περιοριστικός παράγοντας για την μικροβιακή δραστηριότητα, ο ρόλος των μεσόφιλων οργανισμών γίνεται σημαντικός ξανά αλλά εμφανίζονται και οι μύκητες, που εξαιτίας του σχηματισμού σποριών μπορούν να αντέξουν τις ακραίες θερμοκρασίες μαζί με τα χαμηλά επίπεδα της υγρασίας αλλά και εξαιτίας της ικανότητας τους να χρησιμοποιούν τη λιγνίνη. Η νέα εισβολή των βακτηρίων περιλαμβάνει και τους ακτινομύκητες, οι οποίοι προσδίδουν στο ώριμο κόμποστ τη χαρακτηριστική οσμή βρεγμένης γης.



Σχήμα 2 : Τυπική κατανομή θερμοκρασία και pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης. (British Columbia Ministry of Agriculture and food., 1996)

### 2.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κομποστοποίηση

Οι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη διαδικασία της κομποστοποίησης είναι τόσο βιολογικοί όσο και χημικοί. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- Η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων
- Η σχέση άνθρακα / αζώτου
- Το ποσοστό υγρασίας
- Το pH
- Η θερμοκρασία
- Ο αερισμός
- Η παρουσία τοξικών (π.χ. τοξικά μέταλλα)

#### ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Προκειμένου να γίνει σωστά η διεργασία της κομποστοποίησης, οι μικροοργανισμοί πρέπει να τροφοδοτηθούν με τα απαραίτητα θρεπτικά σε κατάλληλη αναλογία. Τα βασικότερα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί σε μεγάλες ποσότητες είναι κατά σειρά προτεραιότητας: 1. Ο άνθρακας (C), 2. το άζωτο (N), 3. ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Έλλειψη ή περίσσεια τους επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η βιοαποδόμηση της οργανικής ύλης. Ο άνθρακας χρησιμοποιείται ως βασική πηγή ενέργειας από τους μικροοργανισμούς αλλά και για να

συνθέσουν τις πρωτεΐνες σε συνδυασμό με το άζωτο, να σχηματίσουν τα κύτταρα και να εξασφαλίσουν την αναπαραγωγή τους. Το κάλιο και ο φώσφορος είναι βασικά συστατικά για την κυτταρική διαίρεση και το μεταβολισμό. Σε ένα σύστημα κομποστοποίησης ο άνθρακας ή το άζωτο είναι συνήθως οι περιοριστικοί παράγοντες για μια αποτελεσματική αποσύνθεση. Αν το άζωτο γίνει περιοριστικός παράγοντας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, η διαδικασία της αποσύνθεσης θα επιβραδυνθεί. Αντίθετα αν υπάρχει περίσσια αζώτου, συχνά χάνεται από το σύστημα ως αμμωνία (σε μορφή αερίου) ή άλλες αζωτούχες ενώσεις.

Οι μικροοργανισμοί επίσης χρειάζονται ιχνοστοιχεία, όπως βόριο, κοβάλτιο, σίδηρο, μαγνήσιο, μολυβδαίνιο, σελήνιο, νάτριο, ψευδάργυρο. Ενώ αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι βασικά για τη διατήρηση της ζωής τους, συγκεντρώσεις έστω λίγο μεγαλύτερες από τις ενδεικνυόμενες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς. Ακόμα και αν υπάρχουν τα απαραίτητα θρεπτικά σε επαρκείς ποσότητες, η χημική τους σύσταση μπορεί να μην τα καθιστά διαθέσιμα σε ορισμένους ή όλους τους μικροοργανισμούς. Η ικανότητα της χρησιμοποίησης των οργανικών ενώσεων εξαρτάται από τα ένζυμα του κάθε μικροοργανισμού.

### **ΣΧΕΣΗ ΑΝΘΡΑΚΑ / ΑΖΩΤΟΥ**

Για την αποτελεσματική εφαρμογή της διεργασίας της κομποστοποίησης ο λόγος C/N πρέπει να είναι περίπου 30:1 (έχουν, όμως, αναφερθεί και ιδανικές αναλογίες κοντά στο 15:1). Μεγάλες διαφοροποιήσεις ως προς το λόγο αυτό επιδρούν αρνητικά στην εξέλιξη της μεθόδου. Για παράδειγμα αν η αναλογία C/Ν είναι μεγαλύτερη από 35:1 τότε προκαλείται μια αργή αποσύνθεση που ευνοεί μεγαλύτερες απώλειες αζώτου. Σ' αυτήν την περίπτωση οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται σε διαδοχικούς βιολογικούς κύκλους, οξειδώνοντας αργά το πλεόνασμα του άνθρακα μέχρι να φέρουν το λόγο σε ευνοϊκές συνθήκες για το μεταβολισμό τους. Αν σε αντίθετη περίπτωση το αρχικό οργανικό υλικό παρουσιάζει πάρα πολύ χαμηλές τιμές C/N ευνοούνται απώλειες αζώτου λόγω πτητικότητας της αμμωνίας.

### **ΥΓΡΑΣΙΑ**

Η παρουσία του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην κομποστοποίηση. Όταν το ποσοστό υγρασίας είναι χαμηλό οδηγούμαστε σε επιβράδυνση ή αναστολή των βιολογικών διεργασιών, φαινόμενο που είναι εντονότερο στις περιπτώσεις που συνοδεύονται από πτώση της θερμοκρασίας. Η υπερβολική υγρασία μειώνει την διάχυση του οξυγόνου στη μάζα του υλικού. Η υγρασία προσροφάτε αφενός στα σωματίδια λόγω των υδροφιλικών χαρακτηριστικών τους αλλά γεμίζει λόγω τριχοειδών φαινομένων τους μικρότερους πόρους

δημιουργώντας έτσι ζώνες αναερόβιες. Μια επακόλουθη επίπτωση της μεγάλης υγρασίας είναι η δημιουργία οσμών λόγω της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών σε μεγάλο τμήμα της μάζας των απορριμμάτων. Παρόλο που οι περισσότεροι ενοχλητικές οσμές παράγονται από την αναερόβια δράση, και η ζύμωση παράγει διάφορες «γλυκές» οσμές π.χ. αλκοόλες. Για τους λόγους αυτούς, τα προς κομποστοποίηση υλικά θα πρέπει να περιέχουν το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας. Το βέλτιστο ποσοστό υγρασίας, για τη διεργασία της κομποστοποίησης, κυμαίνεται μεταξύ 45-55%.

## **pH**

Οι τιμές του pH επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες της κομποστοποίησης, αφού από τις τιμές αυτές εξαρτάται το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν. Για παράδειγμα τα βακτήρια δραστηριοποιούνται σε ουδέτερο ή αλκαλικό περιβάλλον υπό αερόβιες συνθήκες (π.χ γένη *Bacillus*) και υπό αναερόβιες (π.χ γένη *Clostridium*). Αντίθετα σε  $pH < 5,5$  η διάσπαση των κυτταρινών, ημικυτταρινών κλπ γίνεται κυρίως από μύκητες και ακτινομύκητες (π.χ γένη *Aspergillus*). Τα συνήθη υλικά που οδηγούνται στην κομποστοποίηση παρουσιάζουν γενικά χαμηλό pH ενώ για την βελτιστοποίηση της διεργασίας το pH πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 8,5. Κατά τα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης σχηματίζονται οργανικά οξέα και το υπόστρωμα γίνεται όξινο, με pH γύρω στην τιμή 5. Σ' αυτό το σημείο οι μύκητες που αντέχουν το όξινο περιβάλλον κατέχουν ένα σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση. Οι μικροοργανισμοί στη συνέχεια διασπούν τα οξέα και η τιμή του pH αυξάνεται σταδιακά προς ουδέτερο εύρος, γύρω στο 7, ή ακόμα υψηλότερα σε αλκαλικό περιβάλλον λαμβάνοντας τιμές έως 8,5. Όσο η τιμή του pH αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και ο ρόλος των βακτηρίων στην κομποστοποίηση. Ανά τιμή του pH παραμένει σε όξινα επίπεδα, αυτό σημαίνει ότι το κόμποστ δεν είναι ακόμα ώριμο.

## **ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ**

Η θερμοκρασία θεωρείται ίσως η σημαντικότερη παράμετρος για τη διεργασία της κομποστοποίησης. Η μικροβιακή δραστηριότητα προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας η οποία πολλές φορές ξεπερνά τους  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , οπότε γίνεται ανεπιθύμητη και λαμβάνονται μέτρα για την ελάττωση της (ύγρανση των υλικών, βελτίωση του αερισμού, ανάδευση του κ.λ.π). Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες αναστέλλεται η δραστηριότητα των περισσότερων μικροοργανισμών. Μία θερμοκρασία γύρω στους  $50-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  είναι επιθυμητή για ένα χρονικό διάστημα επειδή οδηγεί σε μερική αποστείρωση του υλικού. Σε αυτή την θερμοκρασιακή περιοχή καταστρέφονται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί που ενδεχομένως υπάρχουν στα υλικά. Κατά την εξέλιξη της διεργασίας η βέλτιστη θερμοκρασία κομποστοποίησης στη μεσόφιλη περιοχή κυμαίνεται ανάμεσα στους  $35-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  ενώ αν πέσει κάτω απ' τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  η αποδόμηση επιβραδύνεται.



## **ΑΕΡΙΣΜΟΣ**

Η σημασία της παρουσίας του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της διεργασίας της κομποστοποίησης είναι εύκολο να αναγνωριστεί καθώς πρόκειται για μια αερόβια διεργασία και οι μικροοργανισμοί που δρουν χρειάζονται οξυγόνο για την διάσπαση των οργανικών ουσιών. Γι' αυτό το λόγο πρέπει στο υπόστρωμα να παρέχεται οξυγόνο είτε μέσω του ανάδευσης του υλικού είτε χρησιμοποιώντας δυναμικά συστήματα αερισμού.

Ο αερισμός έχει πολλές λειτουργίες κατά την διεργασία της κομποστοποίησης

- παρέχει οξυγόνο και βοηθά τον αερόβιο μεταβολισμό
- ελέγχει την θερμοκρασία
- απομακρύνει την υγρασία και αέρια προϊόντα του μικροβιακού μεταβολισμού όπως το CO<sub>2</sub> και άλλα.

### **2.2.4 Πλεονεκτήματα**

Με την κομποστοποίηση οδηγούμαστε σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Μείωση των οχλήσεων κατά τη συλλογή και μεταφορά των οικιακών στερεών αποβλήτων
- Μικρότερη επιβάρυνση των χώρων ταφής αποβλήτων (τόσο ποσοτικά όσο και ως προς το ρυπαντικό φορτίο) λόγω της μειωμένης ποσότητας στερεών αποβλήτων που καταλήγουν στους χώρους αυτούς, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση του χρόνου λειτουργίας τους.
- Μειωμένη παραγωγή στραγγισμάτων στους χώρους ταφής αποβλήτων τα οποία επιπλέον, περιέχουν μικρότερο ρυπαντικό φορτίο.
- Μειωμένες αέριες εκπομπές από τους χώρους διάθεσης τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, πτητικές οργανικές ενώσεις κ.λπ.)
- Παραγωγή προϊόντος προστιθέμενης αξίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές – αποφυγή της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων
- Παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας λόγω του γεγονότος ότι προέρχεται από τη χρήση υλικών διαχωρισμένων στην πηγή (σε αντίθεση με το προϊόν που προέρχεται από οργανικό υλικό το οποίο διαχωρίζεται σε κεντρικές μονάδες διαχωρισμού).

### 2.2.5 Μειονεκτήματα

- Η ανάγκη ταφής τουλάχιστο ενός μέρους από το μη ζυμώσιμο κλάσμα των σκουπιδιών.
- Πιθανά προβλήματα λόγω δυσσομίας.
- Απαραίτητη η διάθεση/πώληση του προϊόντος.
- Χρονοβόρα διαδικασία.

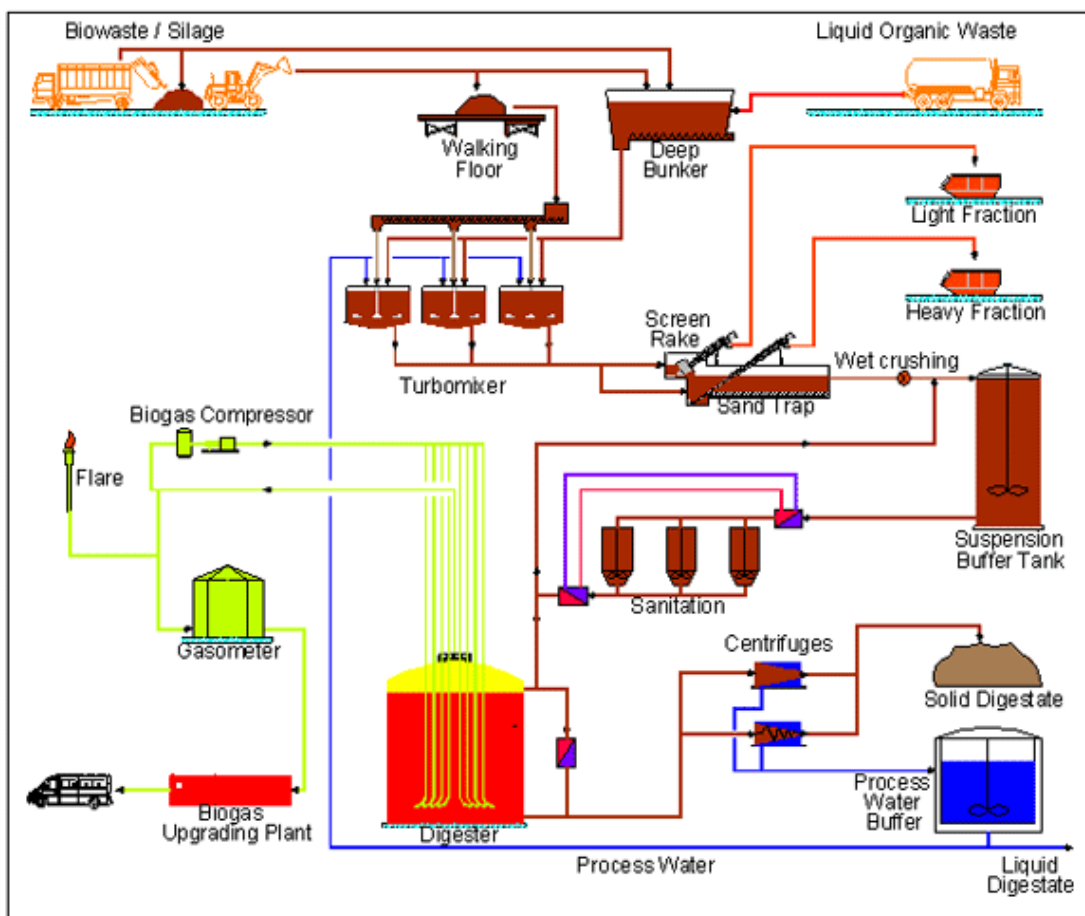
## 2.3 Μικρής κλίμακας αναερόβια χώνευση

### 2.3.1 Εισαγωγή

Ως αναερόβια χώνευση μπορεί να οριστεί η βιολογική διαδικασία κατά την οποία σε ένα σύστημα γίνεται αποσύνθεση οργανικών ουσιών από αναερόβιους μικροοργανισμούς λόγω της απουσίας οξυγόνου. Η αναερόβια αυτή διαδικασία από τους μικροοργανισμούς προκαλεί υποβάθμιση της οργανικής ύλης και παράγει κυρίως CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, νερό και σταθεροποιημένη οργανική ύλη (ζύμωσης). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μπορεί να συλλεχθεί CH<sub>4</sub> και να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. (Balkwaste., 2010).

Αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε πολλές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για την υποβάθμιση της ιλύος και τη σταθεροποίηση της, και είναι η κύρια βιολογική διεργασία που λαμβάνει χώρα σε χώρους υγειονομικής ταφής. Διεθνώς, η αναερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και δεκαετίες, κυρίως σε αγροτικές περιοχές, για την παραγωγή βιοαερίου το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο μαγειρέματος και φωτισμού. Σήμερα, αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής ενέργειας που θερμαίνει το νερό (που κυκλοφορεί σε σωλήνες νερού) σε κατάλληλες θερμοκρασίες για την ξήρανση των οργανικών υλικών, όπως η ιλύς και τα απορρίμματα της κουζίνας. Επίσης, πολλοί μικρής κλίμακας (οικιακής χρήσης) αναερόβιοι χωνευτήρες λειτουργούν στην Κίνα και την Ινδία για την επεξεργασία αποβλήτων και την παραγωγή φυσικού αερίου. Στις πρόσφατες δεκαετίες, η Ευρώπη έχει αναπτύξει μεγάλης κλίμακας κεντρικά συστήματα αστικών στερεών αποβλήτων με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ως υποπροϊόν. (EPA., 2008).

Η αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων συχνά αναφέρεται και ως βιοαεριοποίηση. Ο τελευταίος όρος υπονοεί μερική μετατροπή των στερεών αποβλήτων σε αέριο (βιοαέριο), κύριο συστατικό του οποίου είναι το καύσιμο μεθάνιο. Η παραγωγή μεθανίου κάνει την αναερόβια χώνευση μια βιολογική διεργασία μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια. Η αναερόβια χώνευση, η οποία αποτελεί μια διεργασία που λαμβάνει χώρα αυθόρμητα σε αναερόβια περιβάλλοντα, όπως οι ορυζώνες, τα έλη, οι ΧΥΤΑ και οι ΧΑΔΑ, μπορεί να λειτουργήσει κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες σε ειδικές εγκαταστάσεις, με στόχο τη μεγιστοποίηση του παραγόμενου μεθανίου καθώς και τον έλεγχο των περιβαλλοντικών προβλημάτων και οχλήσεων (π.χ. διαφυγή μεθανίου, οσμές).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Σχεδιάγραμμα τυπικής εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης οργανικών απορριμμάτων.

### 2.3.2 Φάσεις Αναερόβιας Χώνευσης

Οι βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διακριτές φάσεις (EA, 2002b, Stegmann 2005) :

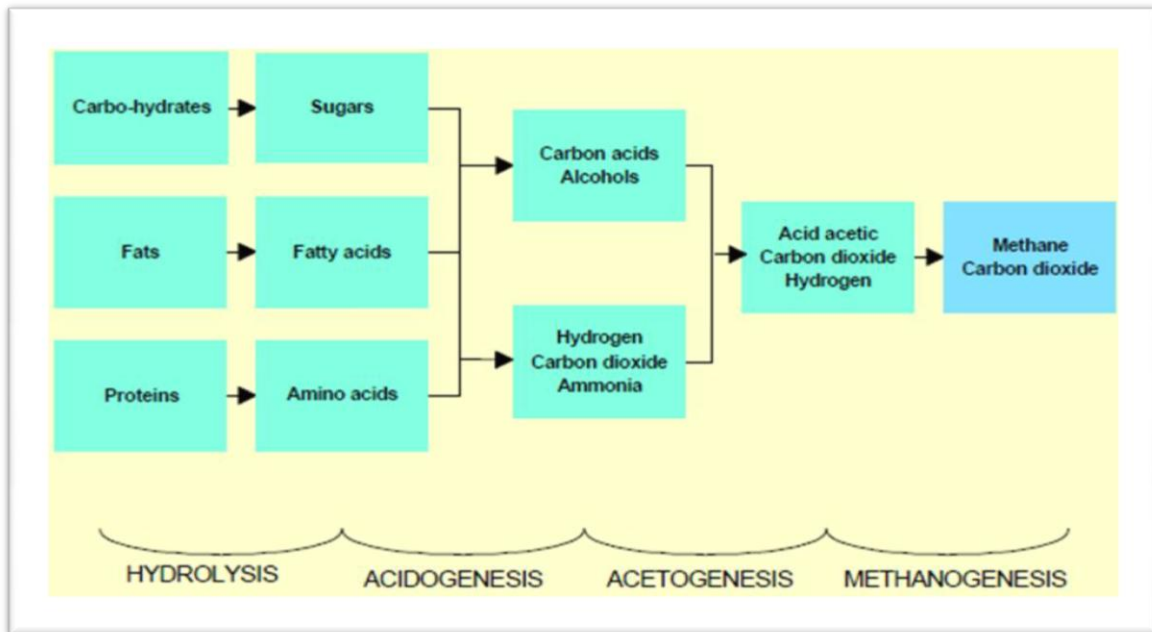
1. Υδρόλυση των πολυμερών οργανικών ενώσεων ( λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες ) με τη βοήθεια ενζύμων που εκλύονται από υδρολυτικά βακτήρια και μετατροπή τους σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους ( μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ).
2. Οξειδογένεση, δηλαδή ζύμωση των παραπάνω διαλυτών προϊόντων και μετατροπή τους σε μια ποικιλία ενδιάμεσων προϊόντων, όπως μικρού μήκους οργανικά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.
3. Ακετογένεση, δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα προϊόντα του προηγούμενου στάδιο με τη βοήθεια υποχρεωτικά οξειογενών

βακτηρίων. Στα φάση αυτή το διοξείδιο του άνθρακα είναι το κύριο συστατικό του βιοαερίου.

4. Μεθανογέννηση, κατά την οποία τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από τα μεθανογενή βακτήρια.

Όλες οι φάσεις πραγματοποιούνται μέσω του μεταβολισμού συγκεκριμένων ομάδων βακτηρίων ο οποίος οδηγεί σε παραγωγή μεθανίου. Δεν πρέπει ωστόσο, να αγνοηθεί η ταυτόχρονη δραστηριότητα άλλων ομάδων βακτηρίων οι οποίες αναπτύσσονται ανταγωνιστικά προς τα μεθανογόνα βακτήρια τα οποία ενδέχεται να αναστείλουν ή να μειώσουν το ρυθμό της επιθυμητής παραγωγής μεθανίου.

Κατά συνέπεια για την ομαλή εξέλιξη της διεργασίας της αναερόβιας χώνευση πρέπει να ληφθούν μέτρα που να διασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία της μικροβιακής κοινότητας προς όφελος της επιδιωκόμενης παράγωγης μεθανίου.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 : Στάδια της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης (University of Strathclyde., 2009).

Οι βέλτιστες συνθήκες αναερόβιας χώνευσης για τα αστικά απορρίμματα και κατ' επέκταση οικιακών είναι οι εξής :

- Η θερμοφίλη θερμοκρασία των 30-40 °C και η θερμοφίλη θερμοκρασία των 50-65°C.
- Το σχετικά μικρό μέγεθος των στερεών του μέτρια βιοαποδομήσιμου υποστρώματος (π.χ. χαρτί). Για τα ταχέως βιοαποδομήσιμα απορρίμματα (π.χ. τροφικά υπολείμματα) το μικρό μέγεθος αποτελεί μειονέκτημα καθώς οδηγεί στη παραγωγή μεγάλων οξέων, τα οποία μειώνουν το pH δημιουργώντας όξινο περιβάλλον, με αποτέλεσμα να αναστέλλεται η ανάπτυξη συγκεκριμένων βακτηρίων, τα οποία συμβάλουν στην μεθανογέννεση.
- Υγρασία ~95% για τα κλασικά συστήματα και ~80% για συστήματα με υψηλή ποσότητα περιεχόμενων στερεών.
- Αναλογία C/N 25-30 (%) αν πρόκειται για ταχεία η μέτρια βιοαποδομήσιμα υλικά (π.χ. χαρτί, τροφικά υπολείμματα), ενώ αν πρόκειται για βραδέως βιοαποδομήσιμα υλικά, η αναλογία μπορεί να είναι έως και 40.
- Η απουσία τοξικών ενώσεων στο υπόστρωμα.

### 2.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Η εξέλιξη της αναερόβιας χώνευσης στηρίζεται κυρίως στη διαδοχή και στη δραστηριότητα των μικροβιακών κοινοτήτων. Οπότε καθορίζεται από τις παραμέτρους που ευνοούν , δυσχεραίνουν ή αναστέλλουν την ανάπτυξη των εμπλεκόμενων μικροοργανισμών. Πιο συγκεκριμένα καθορίζεται από παράγοντες όπως:

- Θερμοκρασία
- Υγρασία
- Δομή υποστρώματος
- Περιεχόμενο οξυγόνο
- Θρεπτικά στοιχεία
- Οξύτητα

#### **ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ**

Δεδομένου ότι τα βακτήρια που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση δεν περιορίζονται από τις υπάρχουσες θερμοκρασίες (αναστέλλονται μόνο από χαμηλές θερμοκρασίες), τα συστήματα μπορεί να λειτουργήσουν σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χωρίς να προκύψουν σημαντικά ζητήματα αποδόσεων. Ωστόσο, σχεδιάζονται να λειτουργήσουν στις

δύο περιοχές θερμοκρασίας, όπου έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση βελτιστοποιείται. Η πρώτη περιοχή ευνοεί την ανάπτυξη των μεσόφιλων μικροοργανισμών και εκτείνεται γύρω από τους 35 °C (γενικότερα από 20°C έως 45°C), ενώ η δεύτερη ευνοεί τους θερμοφίλους και τοποθετείται γύρω στους 55°C (Karagiannidis and Perkolidis.,2009).

Καθώς οι αντιδράσεις του μικροβιακού μεταβολισμού που πραγματοποιούνται υπό αναερόβιες διεργασίες δεν παράγουν μεγάλα ποσά θερμότητας, η βιολογικά παραγόμενη θερμότητα δεν επαρκεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο βέλτιστο επίπεδο λειτουργίας του συστήματος της αναερόβιας χώνευσης, ούτε ακόμη και για τη δραστηριότητα των μεσόφιλων μικροοργανισμών. Γι αυτό κρίνεται απαραίτητη η παροχή πρόσθετης, εξωτερικής θερμότητας. Η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να προέλθει από την καύση του βιοαερίου, οπότε το σύστημα δεν επιβαρύνεται οικονομικά. Υπό συνθήκες καλής λειτουργίας του συστήματος της αναερόβιας χώνευσης, η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου είναι ικανή να ανατροφοδοτήσει το σύστημα ( να καλύψει δηλαδή της ενεργειακές του ανάγκες) αλλά και να παράγει περίσσεια αξιοποιήσιμης ενέργειας (ηλεκτρισμού ή θερμότητας).

### **ΥΓΡΑΣΙΑ**

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διεργασία που λαμβάνει χώρα στην υγρή φάση και χρησιμοποιείται σε υπόστρωμα με σχετικά χαμηλή συγκέντρωση στερεών και υγρασία που κυμαίνεται από 60 έως 95%. Για υγρά υποστρώματα (>80% υγρασία), το τελικό στάδιο της μεθανογέννεσης είναι συνήθως περιοριστικό της όλης διεργασίας. Για στερεά υποστρώματα όμως (60-80% υγρασία), όπως το οργανικό τον ΑΣΑ, η περιοριστική φάση στη συνολική διεργασία είναι η υδρόλυση των στερεών, δηλαδή το πρώτο στάδιο.

### **ΔΟΜΗ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ**

Το βέλτιστο μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από το βαθμό βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος. Αυτό σημαίνει ότι υποστρώματα με μικρή έως μέτρια βιοδιασπασιμότητας (π.χ. το χαρτί) θα πρέπει να είναι τεμαχισμένα σε ένα μικρό σχετικά μέγεθος σωματιδίων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η διαδικασία. Αντίθετα για τα ταχέως βιοαποδομήσιμα απόβλητα (π.χ. υπολείμματα φαγητών), το μικρό μέγεθος αποτελεί μειονέκτημα, αφού οδηγεί σε μεγάλη παραγωγή οξέων. Η αύξηση των οξέων μεταφράζεται σε μείωση του pH, η οποία αναστέλλει την ανάπτυξη των περισσότερων «ευαίσθητων» μεθανογόνων βακτηρίων.

Ωστόσο σε κάθε τύπο υποστρώματος, η μείωση του μεγέθους των υλικών (μέσω τεμαχισμού ή κοσκίνισματος), αποτελεί συνήθη επιλογή για τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης, αφού με την πρακτική αυτή η παραγωγή βιοαερίου αυξάνεται ενώ ο χρόνος μειώνεται.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ**

Τα βακτήρια που συμμετέχουν στις φάσεις της υδρόλυσης των πολυμερών οργανικών ενώσεων καθώς και στη φάση της οξειογένεσης είναι κατά κύριο λόγο είτε προαιρετικά αερόβια είτε αυστηρά αναερόβια. Για την ακετογένεση ευθύνονται αυστηρά αναερόβια βακτήρια. Κατά συνέπεια, μια χαμηλή, εντούτοις σταθερή περιεκτικότητα σε οξυγόνο δεν δρα ανασταλτικά για την αναερόβια χώνευση.

## **ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Για να εξελιχτεί η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης προς το αναμενόμενο αποτέλεσμα, τα υποστρώματα πρέπει να χαρακτηρίζονται από τιμές του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N) οι οποίες ευνοούν τη μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Ενδεικτικά για υποστρώματα με μέτρια έως υψηλή βιοαποδομησιμότητα, όπως τα υπολείμματα τροφών, ο βέλτιστος λόγος C/N κυμαίνεται από 25 έως 30. Για βραδέως βιοαποδομήσιμα υποστρώματα, όπως είναι η ξυλεία, ο λόγος αυτός μπορεί να ανέρχεται στο 40, καθότι σε αυτήν την περίπτωση μόνο ένα μικρό μέρος του άνθρακα είναι άμεσα διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς.

Σε γενικές γραμμές χαμηλές τιμές C/N έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεγέθυνση των εκπομπών του αζώτου με τη μορφή της αέριας αμμωνίας. Η τελευταία όμως μπορεί να αποβεί τοξική για τον μικροβιακό πληθυσμό. Από την άλλη πλευρά, οι μεγάλες αναλογίες C/N, δηλαδή τιμές μεγαλύτερες από 45, μπορεί να οδηγήσουν σε ημιτελή κατανάλωση άνθρακα, μείωση του ρυθμού της μεθανογένεσης και αύξηση των οργανικών οξέων σε τοξικές συγκεντρώσεις (π.χ. 15g/l). Οι βέλτιστες τιμές του λόγου C/N επιτυγχάνονται με την κατάλληλη μίξη συστατικών των αποβλήτων. Η επίτευξη τους απαιτεί καλό σχεδιασμό για τον τύπο και τις ποσότητες των αποβλήτων που δέχεται κάθε εγκατάσταση, για το χρόνο που δέχεται, την αποθήκευση τους και την τροφοδοσία του βιοαντιδραστήρα.

## **ΟΞΥΤΗΤΑ**

Οι τέσσερις φάσεις της αναερόβιας χώνευσης χαρακτηρίζονται από βέλτιστες τιμές οξύτητας. Η φάση της ακετογένεσης πραγματοποιείται σε pH μεταξύ 5,3-6,7 με κάτω όριο το 5, ενώ η φάση της μεθανογένεσης πραγματοποιείται σε pH μεταξύ 6,8-7,2 με κάτω όριο το 6. Επομένως ένα ικανοποιητικό εύρος για το σύνολο της διεργασίας θεωρείται το είναι το 6,6-8.



### 2.3.4 Πλεονεκτήματα

Η αναερόβια χώνευση έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Παράγεται βιοαέριο το οποίο μπορεί να καθαριστεί από της ανεπιθύμητες προσμίξεις ή να καεί ως έχει σε ειδικούς καυστήρες δίνοντας θερμική και ηλεκτρική ενέργεια μειώνοντας έτσι το αρχικό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση (Bitton, 2005).
- Απαιτεί μικρή δαπάνη ενέργειας για την επεξεργασία των αποβλήτων (Gray, 2004).
- Παράγει πολύ μικρότερες ποσότητες βιομάζας (3-20 φορές λιγότερη σε σχέση με την αερόβια διεργασία (Gerardi, 2003)
- Λόγω του μικρού συντελεστή απόδοσης βιομάζας των οξικογόνων και μεθανογόνων μικροοργανισμών, οι απαιτήσεις της διεργασίας σε θρεπτικά (Άζωτο, Φώσφορο) είναι μειωμένες συγκριτικά με τις αερόβιες διεργασίες.
- Επιτυγχάνεται υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου (Gray, 2004).
- Η διεργασία είναι κατάλληλη για ισχυρά αγροτοβιομηχανικά απόβλητα.
- Καλά προσαρμοσμένη αναερόβια λάσπη μπορεί να παραμείνει ενεργή, χωρίς τροφοδοσία, για μεγάλο χρονικό διάστημα (άνω του έτους) (Lettinga, 1995)

### 2.3.5 Μειονεκτήματα

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι:

- Μεγάλο χρονικό διάστημα εγκλιματισμού μικροβιακής καλλιέργειας και πιο αργή διεργασία από την αερόβια επεξεργασία (Gerardi, 2003).
- Ευαισθησία συστημάτων σε αυξομειώσεις της οργανικής φόρτισης.
- Μικρός ειδικός ρυθμός ανάπτυξης μεθανογόνων βακτηρίων (Bitton, 2005).
- Εξάρτηση της διεργασίας από τη θερμοκρασία και κατανάλωση ενέργειας.
- Ευαισθησία μεθανογόνων μικροοργανισμών σε ευρύ φάσμα τοξικών ενώσεων (Bitton, 2005).
- Μικρότερη ικανότητα καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία (Gray, 2004).
- Δυσσομία του συστήματος εφόσον περιέχονται θειικά στην εισροή.
- Περαιτέρω επεξεργασία των εκρών (Seghezzeoetal., 1998).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

## 3.1 Εμπορικά συστήματα οικιακής ξήρανσης

### 3.1.1 Εισαγωγή

Η ξήρανση των οργανικών στερεών αποβλήτων στην πηγή είναι μια καινοτόμος μέθοδος η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Παρόλα αυτά τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και σε διεθνές επίπεδο, δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές σε μικρής κλίμακας συστήματα τα οποία να έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την διαχείριση αυτού του κλάσματος των οικιακών απορριμμάτων. Κάποιες έρευνες έδειξαν ότι στην αγορά υπάρχουν συστήματα διαχείρισης οργανικών απορριμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή χωρίς να ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχείρισης των οικιακών στερεών αποβλήτων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη περιγραφή στα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή καθώς επίσης και οι προδιαγραφές του κάθε συστήματος.

### 3.1.2 Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας LOOFEN

Η Loofen Lee Co., Ltd ιδρύθηκε το 2003 στην Κορέα. Η εταιρία έχει αναπτύξει μερικά καινοτόμα εμπορικά συστήματα ξήρανσης για τα οικιακά οργανικά στερεά απόβλητα. Αν και τα συστήματα που έχει δημιουργήσει δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα παρόλα αυτά έχουν αποκτήσει πολλές πιστοποιήσεις σε Εθνικό κυρίως επίπεδο. Η εταιρία έχει κατασκευάσει συστήματα οικιακής ξήρανσης το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετικές δυνατότητες, ωστόσο όλα υπάγονται στην ίδια φιλοσοφία.

Ορισμένα εμπορικά μοντέλα της εταιρίας Loofen φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν:



Εικόνα 7 : Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας(5L) (Loofen.,2010)








Εικόνα 8: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας (4L) (Loofen.,2010)




Εικόνα 9: Συστήματα οικιακής ξήρανσης Loofen χωρητικότητας(10L)(Loofen.,2010)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ορισμένα συστήματα της εταιρίας μαζί με τις τεχνικές προδιαγραφές του κάθε μοντέλου:

Utility	Household Appliances				
Model No.	LF-07	LF-01	LF-02	LF-03	10Liter New
Standard Feature					
Dimension (WxLxH / mm) (exclude Filter Holder) (Main Body only)	270 x 292 x 350	270 x 275 x 350	270 x 309 x 355	360 x 250 x 438	280 x 420 x 440
Waste Basket Capacity	5L	4L	4L	7L	5L x 2 basket
Product Weight (exclude Filter & Filter Holder)	6kg	6kg	6kg	8kg	undecided
Advantageous Characteristics	Moisture Detecting Sensor			*Standard drying mode * Rapid drying mode	Same as LF-07,01,02
	Touch Sensor Button (Power On/Off & Operation)				
	Coated with antifungal substance / easy-washable Basket				
Process Type	Dehydrating : Heated Air circulation in chamber			Dehydrating Air circulation in chamber	Dehydrating Air circulation in chamber
	Deodorizing : Coated activated carbon filtration			Deodorizing Air storage in chamber	Deodorizing Activated carbon filter
Power Source	Varies to suit each country Voltage / Hz / (Phase) standard				
Power Consumption	Ventilation mode 10W/Hr -- Operation mode 90W/Hr(average 60W/Hr)			Ventilation 20W / Standard 90W / Rapidly 150W	2 Basket operation 700g input 145--150W
Option	*pearl coated red body with yellow circle *pearl coated black body with green circle	N/A	N/A	N/A	N/A

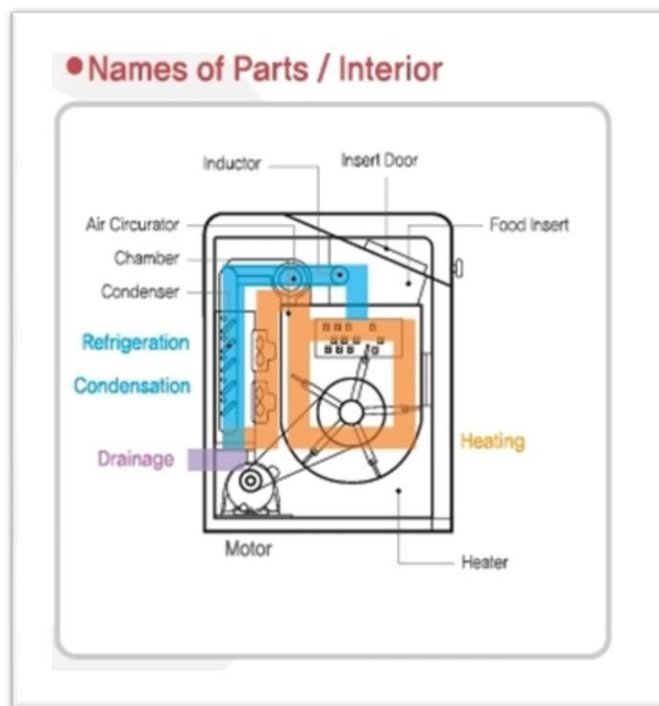
Πίνακας 1 : Προδιαγραφές συστημάτων ξήρανσης (Loofen.,2010)

Ακολουθεί πίνακας στον οποίο αναφέρονται και παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές των συστημάτων ξήρανσης που έχει κατασκευάσει η ίδια εταιρία για μεγάλες επιχειρήσεις:

Utility	Commercial Equipment
Model No.	LF-25/50/100
Standard Feature	
Dimension (WxLxH / mm) (exclude Filter Holder) (Main Body only)	LF-25: 750 x 650 x 940 LF-50: 900 x 750 x 1,050 LF-100: 1,050 x 900 x 1,050
Waste Basket Capacity	Max treat.capa : 30kg/60kg/100kg
Product Weight (exclude Filter & Filter Holder)	LF-25: 150kg LF-50: 220kg LF-100: 440kg
Advantageous Characteristics	On touch operation / Condensed water drainage after filtration / Desiccation by heated air circulation
Process Type	Air circulation in chamber and condensed water drainage
Power Source	Varies to suit each country Voltage / Hz / (Phase) standard
Power Consumption	LF-25 : 2.5KW/HR LF-50 : 4.0KW/HR LF-100 : 7.0KW/HR
Option	N/A

Πίνακας 2 : Εμπορικά συστήματα ξήρανσης μικρής κλίμακας (Loofen.,2010).

Το εσωτερικό τμήμα των συστημάτων εμφανίζεται σχηματικά στο ακόλουθο διάγραμμα:

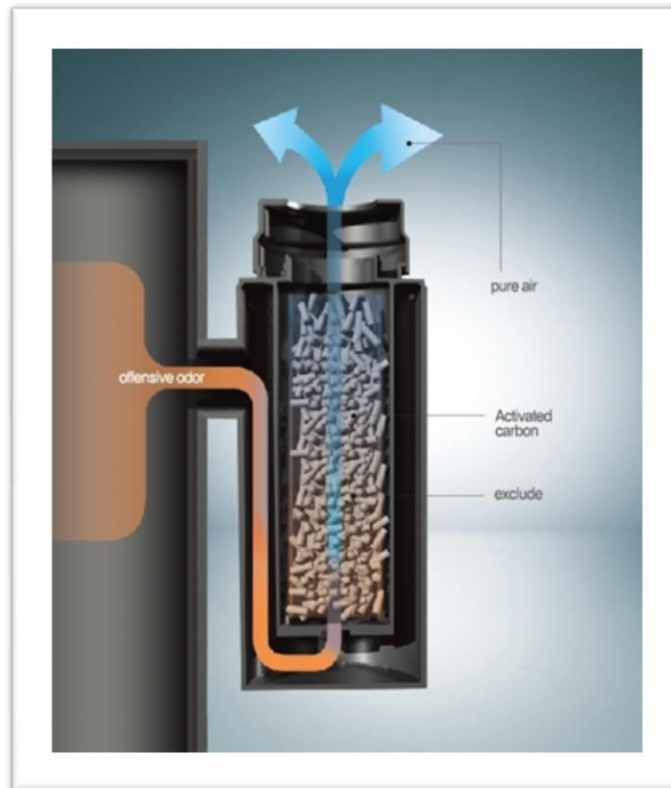


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 : Εσωτερικά μέρη συστημάτων ξήρανσης της εταιρίας loofen. (Loofen.,2010)

Από το προηγούμενο διάγραμμα 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 θερμαντικό στοιχείο. Η μπλε γραμμή αναφέρεται στην ψύξη και στην συμπύκνωση. Η πορτοκαλί στην θέρμανση του συστήματος και η μωβ είναι η τελική έξοδος του συστήματος.

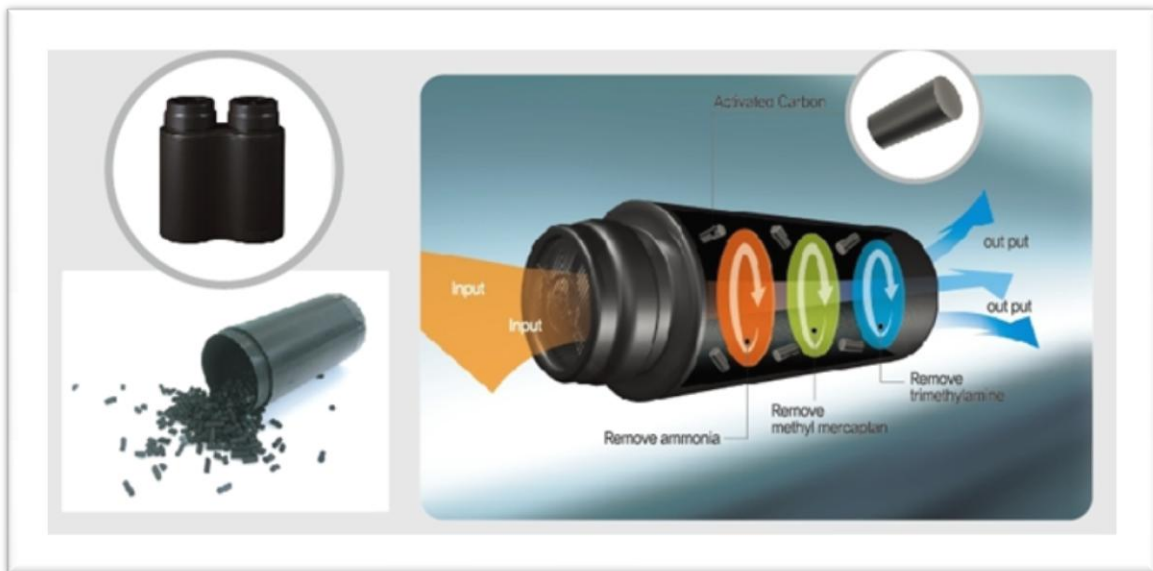
Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων οικιακής ξήρανσης είναι ότι έχουν ενσωματωμένο ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα το οποίο δεσμεύει τις δυσάρεστες οσμές που μπορεί να προκύψουν κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Το φίλτρο αυτό είναι τοποθετημένο στο πίσω μέρος της συσκευής. Ο αέρας με την υγρασία που απομακρύνεται από τα απορρίμματα, περνά μέσα από το παχύ στρώμα του ενεργού άνθρακα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία καθώς κατακρατούνται πλήθος βλαπτικών ουσιών προερχόμενες από τα απορρίμματα.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το φίλτρο ενεργού άνθρακα που χρησιμοποιείται στις συσκευές Loofen:



Εικόνα 10: Loofen φίλτρο ενεργού άνθρακα, (Loofen.,2010)

Μια διαφορετική οπτική γωνία του φίλτρου φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4 : Φίλτρο ενεργού άνθρακα (Loofen.,2010)

### 3.1.3 Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας COWAY

Η Coway ιδρύθηκε το 1989 στην Κορέα. Από τότε μέχρι σήμερα η εταιρία έχει δημιουργήσει διάφορα προϊόντα όπως συσκευές καθαρισμού του αέρα, συσκευές φιλτραρίσματος του νερού, διάφορα είδη οικιακών συσκευών κ.α. Επειδή τα προϊόντα της Coway είχαν υψηλό αρχικό κόστος οι καταναλωτές δεν ήταν εύκολο να τα αγοράσουν, για τον λόγο αυτό η εταιρία ενέκρινε ένα επιχειρηματικό σχέδιο προκειμένου να είναι τα προϊόντα της πιο προσβάσιμα στο ευρύ κοινό μειώνοντας το αρχικό τους κόστος. Με δεδομένο ότι το αρχικό κόστος μειώθηκε, οι καταναλωτές ολοένα και περισσότερο προτιμούσαν τα προϊόντα της Coway. Η εταιρία άρχισε να επεκτείνεται το 2003 στην Ιαπωνία και στην συνέχεια στην Ταϊλάνδη, τη Κίνα και την Μαλαισία. Το 2010 η Coway ίδρυσε μία θυγατρική εταιρία στις Η.Π.Α., στο Λος Άντζελες, σηματοδοτώντας έτσι την είσοδό της στην Αμερικανική αγορά.

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή αγορά η Coway έχει δημιουργήσει μια σειρά από βάσεις και σχεδιάζει σύντομα την δημιουργία θυγατρικών μονάδων. Έχει δημιουργήσει και μια σειρά από ξηραντήρες στερεών οικιακών οργανικών αποβλήτων όπως ακριβώς έχει παρουσιάσει και η εταιρία Loofen. Η συγκεκριμένη σειρά παρουσιάζει διαφορετικές δυνατότητες από την αντίστοιχη σειρά της Loofen αλλά σε γενικές γραμμές έχουν την ίδια φιλοσοφία.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα από τα εμπορικά συστήματα της Coway.



Εικόνα 11: Σύστημα οικιακής ξήρανσης WM05-A (Coway.,2010)

Ένα μοντέλο μικρότερης χωρητικότητας οικιακών οργανικών απορριμμάτων (WMD-01) φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 12 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης WMD-01), (Coway.,2010)

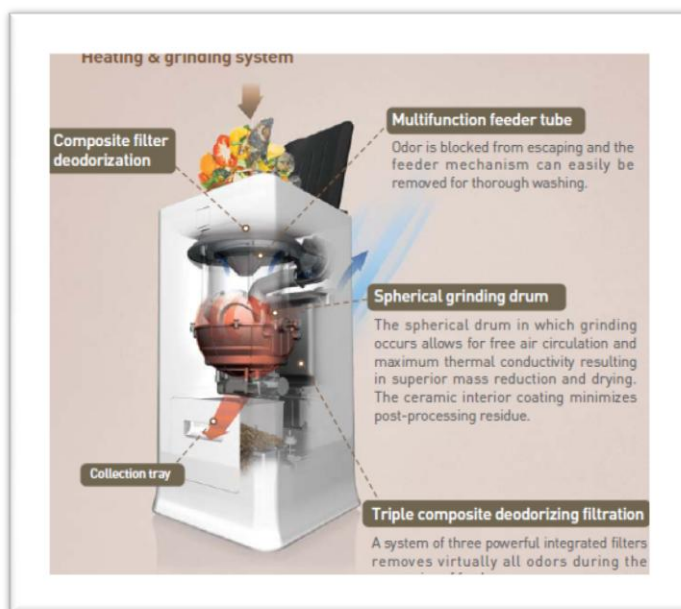
Ένα ακόμη μοντέλο μικρής χωρητικότητας (WM06), το οποίο είναι έτοιμο να κυκλοφορήσει φαίνεται στην εικόνα 13:





Εικόνα 13 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης WM06 (Coway., 2010).

Ακολουθεί η εικόνα 14 στην οποία περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής ξήρανσης.



Εικόνα 14: Τρόπος λειτουργίας του ξηραντήρα (Coway., 2010)

Στην εικόνα βλέπουμε τον πολυλειτουργικό σωλήνα τροφοδοσίας, από όπου και εισέρχονται τα στερεά οργανικά απόβλητα. Οι οσμές που πιθανότατα δημιουργούνται από τη διαδικασία της ξήρανσης δεν μπορούν να διαφύγουν στο περιβάλλον. Ο σωλήνας τροφοδοσίας μπορεί εύκολα να αφαιρεθεί προκειμένου να πλυθεί και στην συνέχεια να επανατοποθετηθεί. Το σφαιρικό τύμπανο που υπάρχει στο εσωτερικό του συστήματος επιτρέπει την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα καθώς επίσης και την ανάπτυξη μέγιστης θερμικής αγωγιμότητας με αποτέλεσμα να μειώνεται γρήγορα η μάζα των απορριμμάτων. Εσωτερικά υπάρχει μια επιστροφή από κεραμικό η οποία ελαχιστοποιεί την μετά-επεξεργασία των καταλοίπων.

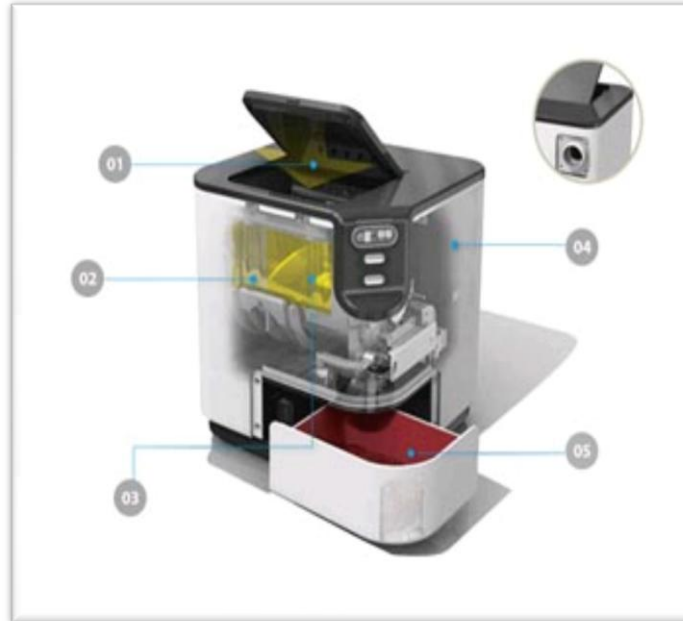
Στη συνέχεια έχουμε τον πίνακα 3 ο οποίος παρουσιάζει τις τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος WM05-A.

## Specification

Model	WM05-A
Disposal Method	Heat and Grind
Volume Reduction	90 % (Varies depending on the moisture contents of food wastes)
Capacity	1.5 kg per session (Max. 3kg)
Processing Time	Approx. 3 hrs/cycle * Varies depending on the types of food wastes
Deodorization	Composite Filter (AC + Zeolite + Oriental herb)
Power Consumption	800 W
Dimensions (W X H X D)	12.5 X 15.3 X 26.2 inch 320 X 397 X 668 mm
Net Weight	47.3 lb (21.5 kg)

Πίνακας 3: Τεχνικές προδιαγραφές του ξηραντήρα WM05-A (Coway, 2010)

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας των οικιακής κλίμακας συστήματος ξήρανσης των οργανικών απορριμμάτων (WM05-A, WM03, WM06).



Σχήμα 3 : Τα βασικά μέρη ενός οικιακού ξηραντήρα (Coway.,2010).

1. Τα οικιακά οργανικά στερεά απόβλητα μπαίνουν στη κατάλληλη θήκη.
2. Ο ανεμιστήρας προκαλεί την ξήρανσης των αποβλήτων
3. Λαμβάνει χώρα η κονιορτοποίηση και το απόβλητο θερμαίνεται
4. Οι άσχημες οσμές συγκρατούνται από το φίλτρο του ενεργού άνθρακα
5. Το κονιοποιημένο τρόφιμο αφαιρείται από τον ξηραντήρα.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος (WM03) παρατίθενται στον πίνακα 4:

## Specification

Model	WMD-03
Disposal Method	Heat and Grind
Volume Reduction	90 % (Varies depending on the moisture contents of food wastes)
Capacity	1kg per session
Processing Time	Approx. 4 hrs/cycle * Varies depending on the types of food wastes
Deodorization	Composite Filter (AC + Urethane)
Power Consumption	485 W
Dimension (W x H x D)	11.5 X 15.3 X 12 inch 293 X 389 X 307 mm
Net Weight	28.7 lb (13 kg)

Πίνακας 4: Τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος οικιακής ξήρανσης WM03 (Coway,.,2010)

### 3.1.4 Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας SAMOH NK

Η τρίτη εταιρία που ασχολείται με την κατασκευή συστημάτων ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμμάτων, είναι η 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 εικόνα 15. Το συγκεκριμένο μοντέλο ωστόσο έχει αποσυρθεί από την αγορά.



Εικόνα 15 : 1<sup>ο</sup> σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας Samoh NK (Samoh NK,.,2010)

Το δεύτερο μοντέλο που κυκλοφόρησε είναι το ακόλουθο.



Εικόνα 16: 2<sup>ο</sup> σύστημα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας SamohNK (SamohNK.,2010)

Οι προδιαγραφές του 2<sup>ου</sup> συστήματος οικιακής ξήρανσης της εταιρίας SamohNK είναι οι εξής:

- Τάση: 220V
- Κατανάλωση ισχύος: Περίπου 90W
- Βάρος: 6.6kg
- Μέθοδος Ξήρανσης: Κυκλοφορία Αέρα
- Μέγεθος: 240 χιλιοστά x 667 (697) mm x 429/240mm x 717 (747) mm x 429

### 3.1.5 Συστήματα οικιακής ξήρανσης της εταιρίας 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 17 : Σύστημα οικιακής ξήρανσης (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 κύματός της.

Επειδή η ακτινοβολία διεισδύει στο εσωτερικό των απορριμμάτων θεωρείται ότι είναι ο ποιό 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.

Τέλος το δοχείο ξήρανσης στο οποίο τοποθετούνται τα απορρίμματα έχει τρύπες στο κάτω μέρος του προκειμένου να καθίσταται η διαδικασία της ξήρανσης αποδοτικότερη.

Οι τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- Βάρος: 11 κιλά
- Όγκος εισροής: 6.5L
- Τροφοδοσία: AC 220 ~ 240V 50/60Hz
- Μέγεθος: 270 (Π) \* 450 (D) \* 380 (H)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

## **4.1 Επιτυχημένες περιπτώσεις επεξεργασίας των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή**

### **4.1.1 Έργο LIFE03ENV/GR/205 (Comwaste)**

Το συγκεκριμένο έργο υλοποιήθηκε από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σε συνεργασία με τους δήμους Κηφισίας, Αχαρνών και Νέας Χαλκηδόνας. Εγκαταστάθηκαν συνολικά 90 συστήματα οικιακής κομποστοποίησης σε 90 επιλεγμένα νοικοκυριά και συγκεκριμένα 30 σε κάθε δήμο. Επιπλέον 8 συστήματα εγκαταστάθηκαν σε 8 μέλη της επιστημονικής ομάδας του Ε.Μ.Π. ενώ 2 συστήματα λειτουργούν στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.



Εικόνα 18 : Πρότυπη μονάδα κομποστοποίησης (COMWASTE.,2010)



Το έργο διήρκεσε 3 χρόνια και περιελάμβανε την προώθηση και την εφαρμογή ενός πρότυπου συστήματος για την παραγωγή κομπόστ υψηλής ποιότητας από βιοδιασπώμενα οικιακά οργανικά απορρίμματα τα οποία διαχωρίζονταν στην πηγή. Οι ιδιοκτήτες οι οποίοι λειτούργησαν σε οικιακό επίπεδο τον κομποστοποιητή ήταν εφοδιασμένοι με το πρότυπο σύστημα, καθώς και με τις πρόσθετες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτελεσματική ανάπτυξη της διαδικασίας. Ειδικότερα, οι ιδιοκτήτες τροφοδοτούσαν το σύστημα με τα κατάλληλα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που παρήγαγαν στην κουζίνα τους, μαζί με το ορυκτό ζεόλιθο. Ο ζεόλιθος είχε ένα συγκεκριμένο μέγεθος σωματιδίων καθώς επίσης και η δόση ήταν καθορισμένη. Ο ζεόλιθος ήταν απαραίτητος προκειμένου να εξαλειφθεί η οσμή και να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. (Comwaste., 2010).



Εικόνα 19: Οικιακά απόβλητα για κομποστοποίηση (Comwaste.,2010)

Στο σύστημα προσέθεταν μικρή ποσότητα ώριμου κομπόστ προκειμένου να υποστηριχθεί η διαδικασία της κομποστοποίησης. Επίσης προσέθεταν και μια συγκεκριμένη ποσότητα από πριονίδι (έτσι ώστε να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε άνθρακα που είναι διαθέσιμο για την ανάπτυξη των βιοχημικών δράσεων κομποστοποίησης καθώς και στη βελτιστοποίηση των συνθηκών αερισμού του υλικού). Το προϊόν που λαμβάνονταν από τη διαδικασία αυτή αποθηκεύονταν προσωρινά από τα νοικοκυριά σε κατάλληλα βιοδιασπώμενες σακούλες. Οι σακούλες αυτές έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν την ποσότητα των προϊόντων λιπασματοποίησης που παράγονται στη διάρκεια τριών μηνών για κάθε νοικοκυριό. Τέλος, το

τελικό προϊόν είχε χρησιμοποιηθεί στους κήπους τους ως βελτιωτικό εδάφους με μεγάλη επιτυχία. (Comwaste., 2010).

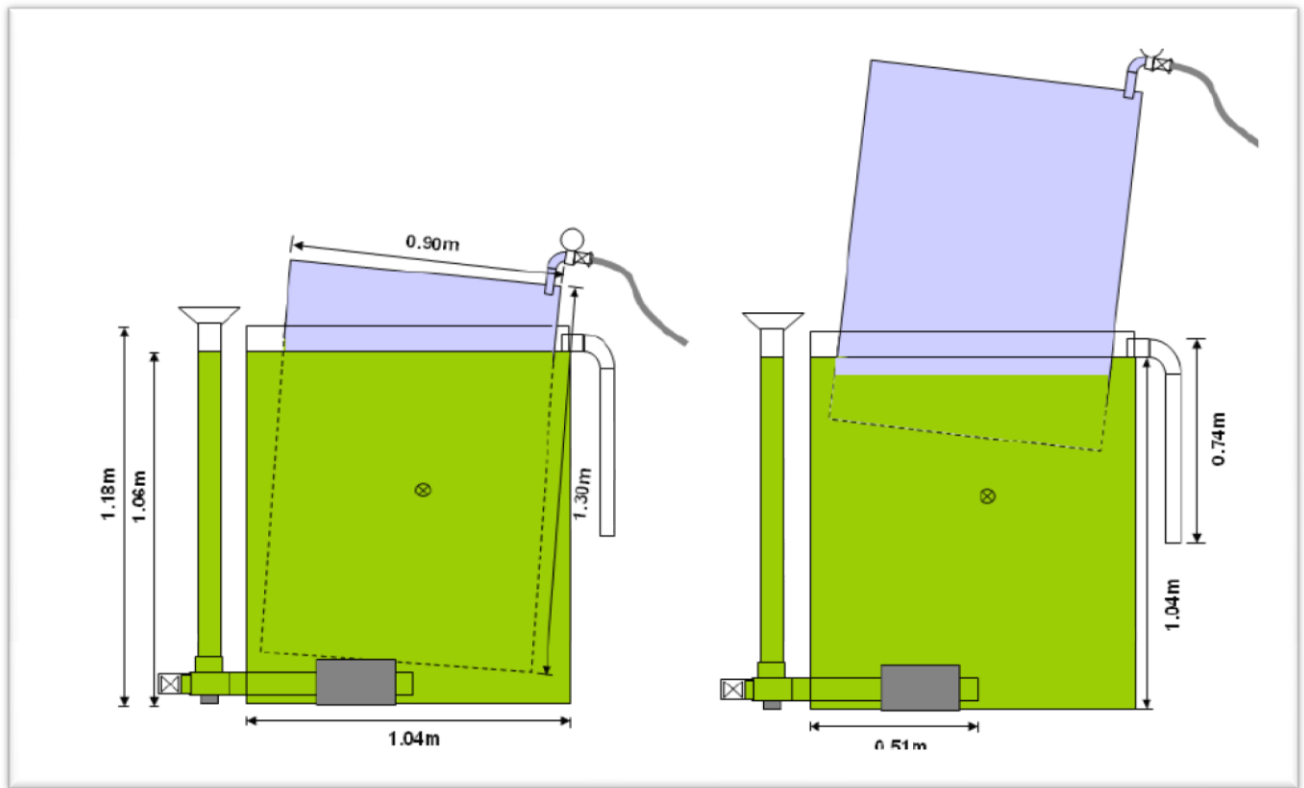


Εικόνα 20 : Τελικό προϊόν, κομπόστ (Comwaste.,2010)

#### **4.1.2 Λειτουργία πιλοτικού Συστήματος οικιακής Αναερόβιας χώνευσης ARTI στην Τανζανία και την Ουγκάντα**

Το σύστημα ARTI (Εικόνα.21) αποτελείται από δύο τυποποιημένες δεξαμενές νερού πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) και την τυποποιημένη διοχέτευση με σωλήνες υδραυλικών. Η μεγαλύτερη δεξαμενή ενεργεί ως χωνευτήρας ενώ η μικρότερη ανεστραμένη και συμπυκνόμενη μέσα στο χωνευτήρα χρησιμεύει ως ένας πλεούμενος κάτοχος αερίου, το οποίο ανεβαίνει σε ανάλογα με το παραχθέν αέριο και λειτουργεί ως χώρος αποθήκευσης του βιοαερίου. Η CBS είναι σχεδιασμένη για την επεξεργασία 1-2kg (ξηρού βάρους) απορριμμάτων κουζίνας ανά ημέρα. Το αέριο μπορεί άπευθειας να χρησιμοποιηθεί για το μαγείρεμα με μια συμβατή σόμπα αερίου ενώ τα υγρά απόβλητα που προκύπτουν από την

διεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θρεπτικό λίπασμα στον κήπο. Ο χώρος εγκατάστασης ενός CBS 1000L είναι περίπου  $2\text{m}^2$  και υψούς 2.5m (Riujī., 2009).



Εικόνα 21 : Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου

Ο ωφέλιμος όγκος του χωνευτήρα είναι περίπου 850l, και δίνεται από τη διάσταση της δεξαμενής νερού-1000l (εσωτερική ακτίνα: 51.5cm) και η θέση του επαπτόμενου σωλήνα είναι 1.04m επάνω από το επίγειο επίπεδο. Η συνολική επιφάνεια του χωνευτήρα ( $0.83\text{m}^2$ ) καλύπτεται από  $0.65\text{m}^2$  αέριο, δηλαδή 78%. Με άλλα λόγια το 22% του αερίου που παράγεται απελευθερώνεται από τη επιφάνεια του χωνευτήρα στην ατμόσφαιρα χωρίς να χρησιμοποιηθεί. Ο χρησιμοποιήσιμος όγκος αερίου του χωνευτήρα των 750L είναι 400L. Ο υδραυλικός χρόνος διατήρησης (HRT) που προτείνεται από την εταιρία ARTI-TZ, περιγράφει την αναλογία του όγκου του αντιδραστήρα ( $0.85\text{m}^3$ ) ως προς τον ρυθμό ροής των εισρεόντων λυμάτων του υποστρώματος ( $0.02\text{m}^3$  /ημέρα), είναι 42,5 ημέρες. Ο φαινομενικά μεγάλος χρόνος που περνά το υγρό τον χωνευτήρα μέσα στον αντιδραστήρα δικαιολογείται από την εμφάνιση διάφορων στρωμάτων σε διάφορα επίπεδα (Riujī.,2009).

Από όταν ξεκίνησε το ARTI-TZ την διάδοση των CBS το Νοέμβριο του 2006έως τον Νοέμβριο2008, συνολικά τριάντα ένα συστήματα οικιακής Αναερόβιας Χώνευσης ARTI έχουν εγκατασταθεί στην Τανζανία και την Ουγκάντα όπως φαίνεται στον πίνακα 5 που ακολουθεί:.

Country	Digester size	Quantity	Location	Level
Tanzania	1.0m <sup>3</sup>	10	9 in DSM, 1 in Mbeya	Household
	1.5m <sup>3</sup>	1	Kyela	Household
	2.0m <sup>3</sup>	3	DSM	Household
	3.0m <sup>3</sup>	2	Saadani (Safari Lodge), Mbagala (Kinasi Lodge)	Institutional
	2.0m <sup>3</sup>	4	2 on Mafia Island (Kinasi Lodge) 2 in DSM (army campus)	Institutional
	3.0m <sup>3</sup>	3	DSM (Azania Secondary School)	Institutional
	4.0m <sup>3</sup>	1	DSM (Bethsaida Sec. School)	Institutional
	1.0m <sup>3</sup>	1	DSM (ARTI-office)	Demonstration
	1.0m <sup>3</sup>	1	DSM (ARDHI-university)	Research
Uganda	2.5m <sup>3</sup>	2	Kitende (St.Mary's Sec. School)	Institutional
	5.0m <sup>3</sup>	1		
	1.0m <sup>3</sup>	2	Kampala (JET-office, ARTI-office)	Demonstration

Πίνακας 5: Συστήματα οικιακών εγκαταστάσεων στην Τανζανία και στην Ουγκάντα.

#### 4.1.3 Συστήματα αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας στην Κίνα

Η Κίνα είναι μια χώρα 1,3 δισεκατομμυρίων κατοίκων εκ των οποίων, το 97% υπολογίζεται ότι κατοικεί σε χωριά. Τα πιο συνηθισμένα απορρίμματα που παράγονται εκεί είναι η γλυκιά πατάτα, τα αμπέλια, τα ανθρώπινα απόβλητα, τα ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα τροφών. Σήμερα στην Κίνα λειτουργούν περισσότεροι από 5000000 οικιακοί αναερόβιοι χωνευτήρες. Αυτοί παράγουν βιοαέριο το οποίο είναι απαραίτητο για κάθε σπίτι καθώς και λιπάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται στη γεωργία.



Εικόνα 22: Χρήση βιοαερίου για οικιακές συσκευές

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.



Εικόνα 23 : Σύστημα επεξεργασίας υπό κατασκευή.

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 να συλλέγεται το υπερκείμενο νερό παρά η λάσπη. Επιπλέον, καμία μίξη του συστήματος δεν εμφανίζεται όταν αφαιρούνται τα απόβλητα αποχέτευσης. Σε μερικά συστήματα, ένας κάθετος κυλινδρικός λιμένας προστίθεται στην πλευρά του λιμένα αποβλήτων αποχέτευσης. Τα απόβλητα αποχέτευσης 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.

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.



Εικόνα 24 : Κατασκευή του συστήματος από ειδικούς τεχνικούς.

Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται από μεθάνιο σε ποσοστό 60%. Η παραγωγή βιοαερίου περιέχει στερεά υπολείμματα 0.25 έως 0.3 m<sup>3</sup> 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.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

## 5.1 Περιγραφή του πρότυπου συστήματος ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή που αναπτύχθηκε στην μονάδα περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.

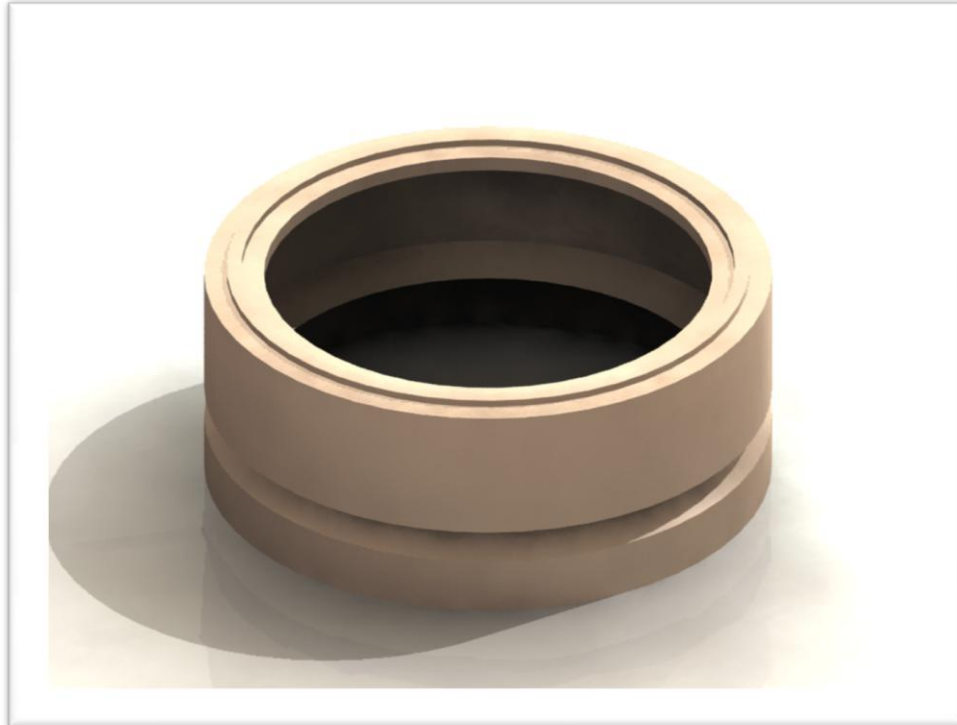
### 5.1.1 Θάλαμος

Ο θάλαμος ξήρανσης (*Chamber*) αποτελεί βασικό δομικό μέρος του ΞΔΑ (Ξηραντή Διατροφικών Αποβλήτων) καθώς γύρω από αυτό προσαρμίζονται όλα τα υπόλοιπα συνθετικά μέρη. Έχει κυλινδρικό σχήμα και στο ανώτερο τμήμα του φέρει περιμετρική διαμόρφωση για τη σταθερή συναρμογή του υποδοχέα εντός του οποίου συσσωρεύεται η μάζα των ΔΑ. Ειδικότερα, η περιμετρική διαμόρφωση αποσκοπεί στην ανάρτηση επί του σώματος του θαλάμου, του δακτυλίου στήριξης (*supporting ring*) του μεταλλικού πλέγματος που συγκροτεί τον υποδοχέα Διατροφικών Αποβλήτων.

Στο κεντρικό τμήμα της παράπλευρης επιφάνειας, φέρει περιμετρική διαμόρφωση τριγωνικής διατομής που έχει διπλό στόχο, αφενός να οδηγήσει τη ροή του εισερχόμενου στο θάλαμο 'θερμού' αέρα προς τη συσσωρευμένη μάζα των ΔΑ, αφετέρου, να εμποδίσει τη δίοδο των συμπυκνωμάτων προς τη βάση του ξηραντή όπου βρίσκονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις του θερμικού 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 θερμικής μόνωσης, στοιχείο που είναι ζητούμενο και προϋποθέτει την αποδοτική λειτουργία του ΞΔΑ, ως προς τη συγκράτηση των θερμικών φορτίων του αέρα ξήρανσης.

Στην Εικόνα 25 που ακολουθεί, παρατίθεται σε προοπτική απεικόνιση ο θάλαμος του ΞΔΑ.



Εικόνα 25: Θάλαμος ξήρανσης

### 5.1.2 Βάση

Η βάση (*Base*) αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο του ΞΔΑ καθώς επί αυτής προσαρμόζονται οι ηλεκτρομηχανολογικές διατάξεις του θερμικού καλωδίου και του ανεμιστήρα (πτερωτή και κινητήρας). Έχει άξονα συμμετρικό κυλινδρικό σχήμα και στο ανώτερο τμήμα της συνδέεται με τη διάταξη του θαλάμου. Περιμετρικά, φέρει διαμόρφωση με διατομή τεταρτοκύκλιου για τη διάχυση του 'θερμού' αέρα, από την περιοχή θέρμανσης προς το χώρο του υποδοχέα. 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 ΞΔΑ. Επίσης, στην περιοχή αυτή, έχει διανοιχτεί κυκλική οπή για τη σύνδεση σωλήνωσης μέσω της οποίας, τα συμπυκνώματα της διαδικασίας ξήρανσης θα εξέρχονται του συστήματος.

Στο κατώτερο τμήμα της, η βάση φέρει οκτώ (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 πτερωτή.

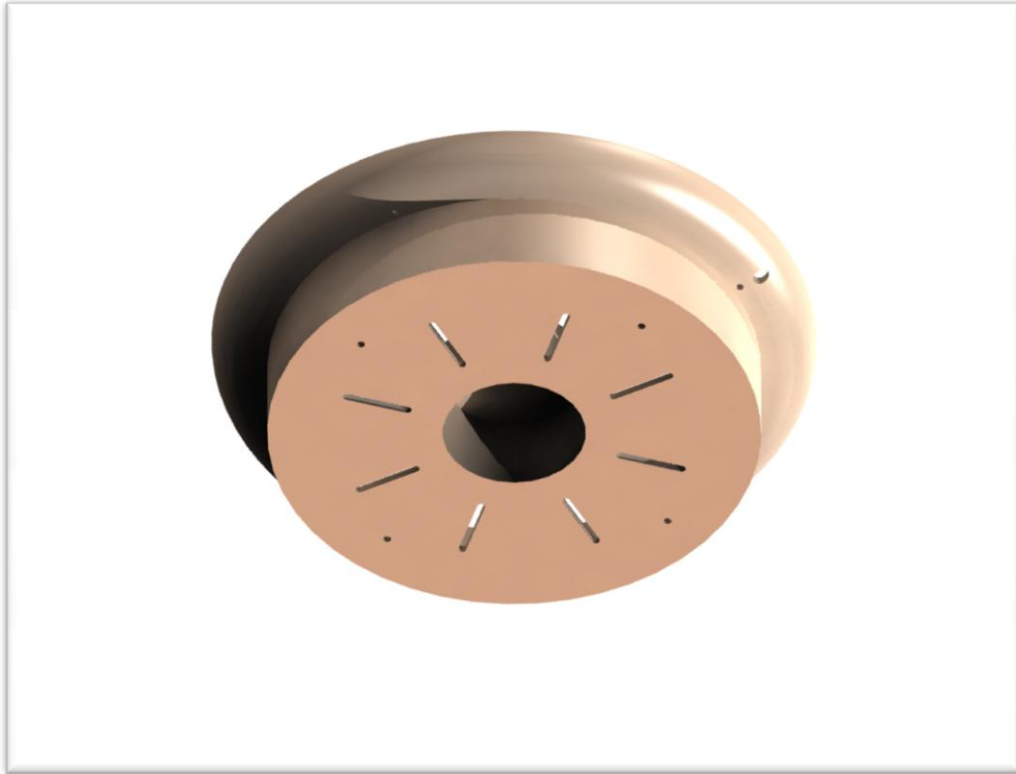
Η διάταξη της βάσης, αλλά και ολόκληρο το σύστημα, επικάθεται σε τέσσερα (4) όμοια ελαστικά υποστηρίγματα που έχουν μορφή ανεστραμμένου κόλουρου κώνου. Το ύψος των εν λόγω υποστηρίγμάτων είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπεται απρόσκοπτα η αναρρόφηση του 'νωπού' ατμοσφαιρικού αέρα από το κατώτερο τμήμα του ΞΔΑ.

Κατά τη φάση κατασκευής της βάσης, ως συνθετικό υλικό επιλέχθηκε πηλός τύπου 'Stoneware' (Spanish Clay). 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, λόγω του γεγονότος ότι, στη βάση του ΞΔΑ 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 26 και 27 που ακολουθούν, παρατίθεται σε κάτωθεν και άνωθεν προοπτική απεικόνιση η βάση του ΞΔΑ.



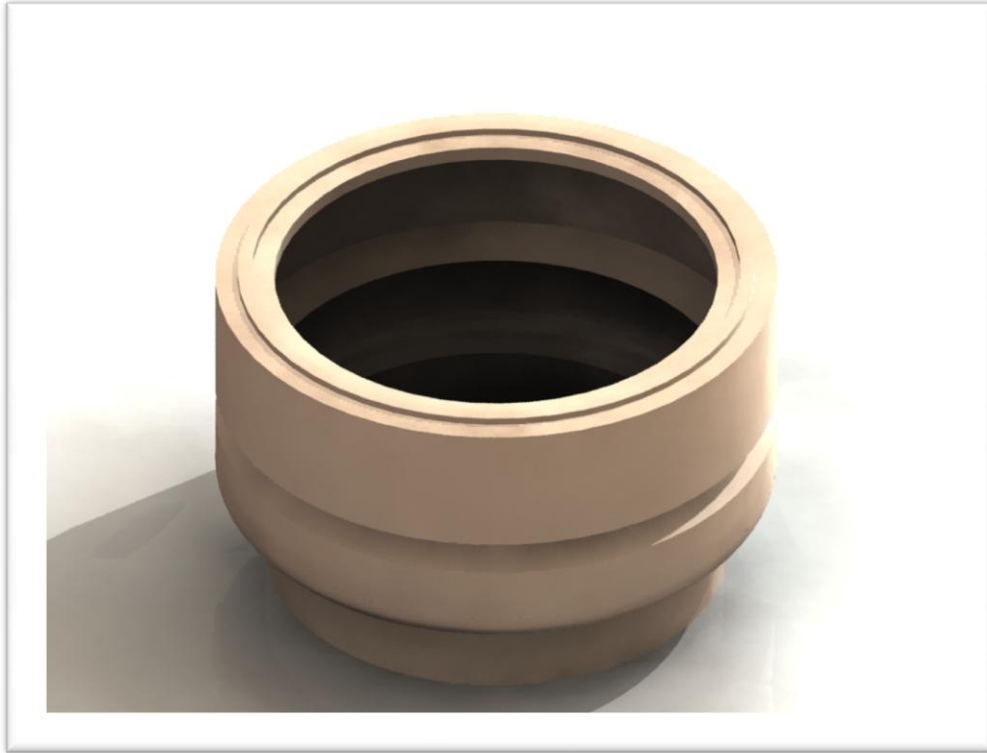
Εικόνα 26: Βάση (Κάτω όψη)



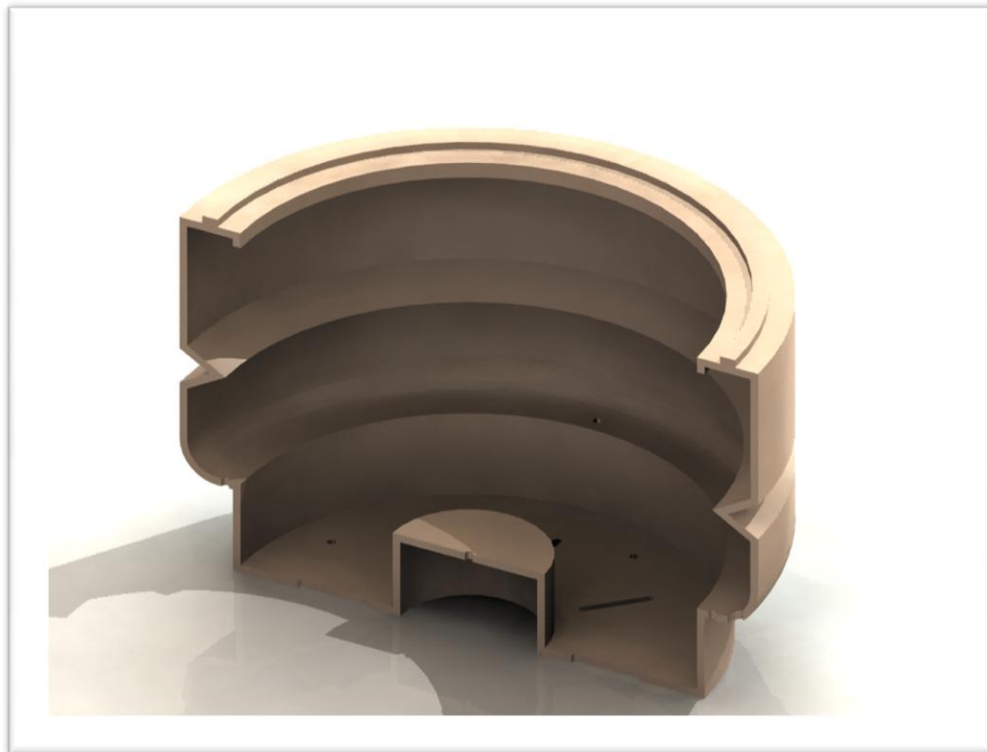
Εικόνα 27:Βάση (Πάνω όψη)

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

Η ενιαία διάταξη παρατίθεται στις Εικόνες 28 και 29 σε κάτω προοπτική όψη και τομή, αντίστοιχα.



Εικόνα 28: Θάλαμος & βάση (Κάτω όψη)



Εικόνα 29: Θάλαμος & βάση

### 5.1.3 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 ΔΑ με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτυγχάνεται επιφανειακή κάλυψη ολόκληρης της βάσης του υποδοχέα με ΔΑ. 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 ΔΑ 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 εν λόγω περιμετρική διαμόρφωση, κατά την φάση κατασκευής, αποτέλεσε ξεχωριστό εξάρτημα. Στην περίπτωση αυτή, ο δακτύλιος ανάρτησης του πλέγματος του υποδοχέα ΔΑ, επί του θαλάμου, φέρει επί της εσωτερικής διαμέτρου περιμετρικές οπές μικρής 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, συγκροτεί το διάτρητο πλέγμα με διαστάσεις διακένων τέτοιες ώστε, αφενός να επιτρέπουν την ελεύθερη διάχυση του 'θερμού' αέρα προς τα συσσωρευμένα σωματίδια ΔΑ, αφετέρου, να παρεμποδίζουν πιθανή διέλευση των σωματιδίων, δια μέσω των διακένων προς το συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ξήρανσης, ο υποδοχέας εξέρχεται του ΞΔΑ όπου και εκκενώνεται το περιεχόμενό του. Μέσω δύο διατάξεων χειρολαβής, αντί διαμετρικά τοποθετημένων στο ανωτέρω τμήμα του υποδοχέα, ο χρήστης αναρτά τη διάταξη κατά την διαδικασία απόληψης του 'ξηρού' προϊόντος. Κατόπιν, ο υποδοχέας επανατοποθετείται στο εσωτερικό του ΞΔΑ για την εκκίνηση νέου κύκλου λειτουργίας.

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

Συνολικά, η διάταξη του υποδοχέα ΔΑ φαίνεται σε προοπτική όψη στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30: Υποδοχέας διατροφικών αποβλήτων

#### 5.1.4 Συλλεκτήρας Συμπυκνωμάτων

Στο συλλεκτήρα συμπυκνωμάτων (*Plenum*) συγκεντρώνονται οι ποσότητες των υδρατμών που τυχόν υγροποιήθηκαν κατά τη διαδρομή τους στο εσωτερικό του ΞΔΑ, κυρίως λόγω της επαφής τους με τα ψυχρά τοιχώματα του θαλάμου. Οι υδρατμοί που αναμένεται να παραχθούν κατά τη διαδικασία ξήρανσης του αποβλήτου, αφορούν στην 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 ΔΑ.

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων είναι ένα αξονοσυμμετρικό στερεό μορφής 'πιάτου'. Η άνω επιφάνειά του είναι διαμορφωμένη ως υποδοχέας, προκειμένου να συγκεντρώνονται εντός αυτού οι ποσότητες των συμπυκνωμάτων που αναμένεται να παραχθούν κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Το κεντρικό του τμήμα είναι ανασηκωμένο έτσι ώστε οι ποσότητες του συμπυκνωμένου ύδατος να οδηγούνται προς την περίμετρο του 'πιάτου'. 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 ΞΔΑ στο επίπεδο συναρμογής μεταξύ θαλάμου και βάσης. Τα εν λόγω πτερύγια λειτουργούν και ως βάσεις για την επικάθηση του συλλεκτήρα επί του θερμικού δίσκου. Για το λόγο αυτό συνίσταται το υλικό κατασκευής των πτερυγίων του συλλεκτήρα να είναι ίδιο με αυτό του θερμικού δίσκου.

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, αποτελέσουν ξεχωριστό εξάρτημα, θα κατασκευαστούν από κράμα αλουμινίου του τύπου 'Aluminium 1060 Alloy'.

Ο συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων παρατίθεται στις Εικόνες 31 και 32 που ακολουθούν σε κάτωθεν και άνωθεν προοπτική απεικόνιση, αντίστοιχα.



Εικόνα 31: Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων



Εικόνα 32 :Συλλεκτήρας συμπυκνωμάτων

### 5.1.5 Πώμα

Η χειρονακτική τροφοδοσία του υποδοχέα με τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες ΔΑ, καθώς επίσης και η αφαίρεση του υποδοχέα από το εσωτερικό του ΞΔΑ, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η απόληψη του τελικού 'ξηρού' προϊόντος, επιτυγχάνεται δια μέσω του πώματος (Lid). Το πώμα τοποθετείται στο ανώτερο τμήμα του ΞΔΑ 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 ΞΔΑ, 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, διανοίγεται ευμεγέθους 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 ξήρανσης εκ των άνω, μεγιστοποιώντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

Στην Εικόνα 33 που ακολουθεί παρατίθεται σε προοπτική όψη το πώμα του ΞΔΑ.





Εικόνα 33: Πώμα του ΞΔΑ

### 5.1.6 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 επί της βάσης του ΞΔΑ μέσω τεσσάρων κοχλιών. Στο κεντρικό τμήμα φέρει ευμεγέθη 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 αέρα εισέρχεται στο χώρο θέρμανσης. Πέριξ της κυκλικής οπής, 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 επί της άνω επιφάνειας 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 στράτζα – ψαλίδι στις επιθυμητές διαστάσεις.

Συνολικά, η διάταξη του θερμικού δίσκου φαίνεται σε προοπτική όψη στην Εικόνα 34.



Εικόνα 34: Θερμικός δίσκος

### 5.1.7 Διάταξη Απόσμησης

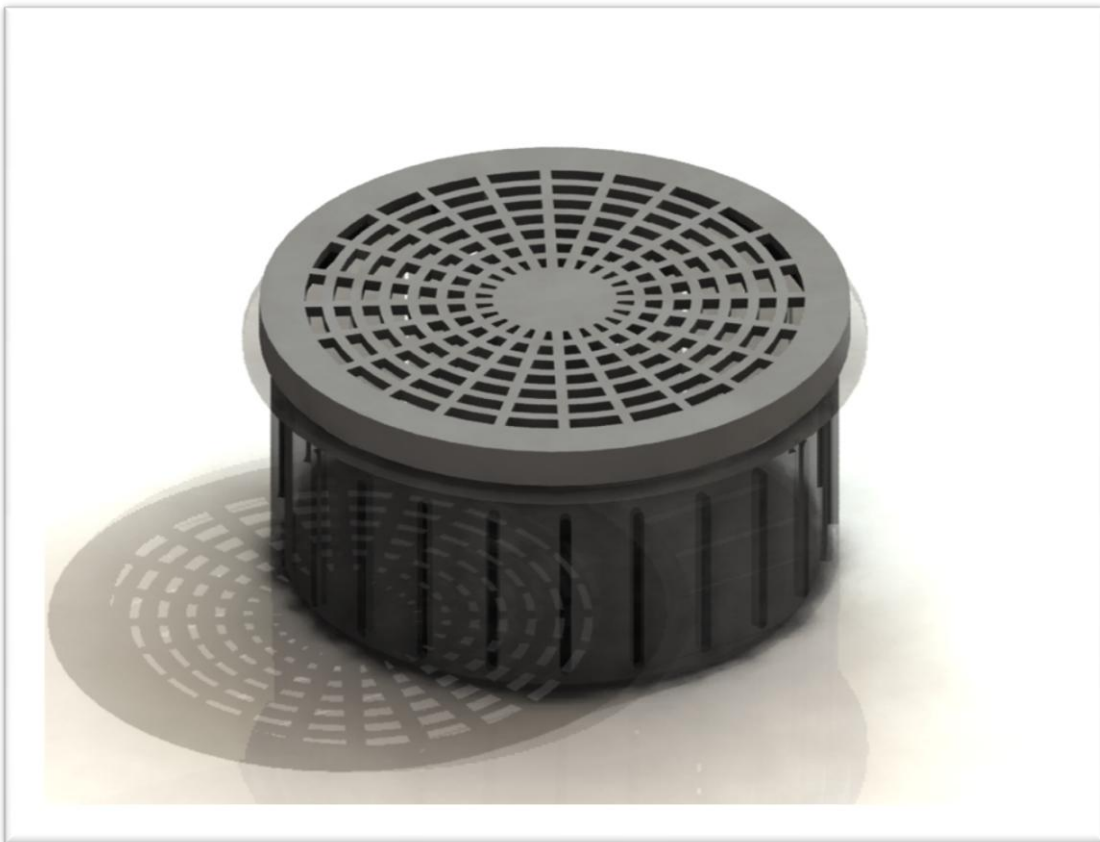
Η χρήση του φίλτρου απόσμησης αφορά στη δέσμευση των ενώσεων που αποτελούν συνθετικό στοιχείο των απαερίων της ξήρανσης και είναι υπεύθυνες για την έκλυση δυσάρεστων οσμών. Το φίλτρο απόσμησης αποτελείται από τον υποδοχέα (*Filter Cup*) του μέσου απόσμησης και το πώμα (*FilterCup*). Προσαρμόζεται στην κυκλική εσοχή του πώματος και εκτός από την απόσμηση, αποτελεί τη δίοδο εξόδου του 'θερμού' αέρα από τον ΞΔΑ 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 θα είναι από πολυπροπυλένιο (PP). Ο εν λόγω τύπος θερμοσκληρυνόμενου πλαστικού, επιλέχθηκε έναντι του πολυαιθυλενίου (PE), καθώς εμφανίζει υψηλότερη αντοχή έναντι των θερμοκρασιών που θα αναπτυχθούν κατά τη διαδικασία ξήρανσης στο εσωτερικό του θαλάμου.

Η συνολική διάταξη του φίλτρου απόσμησης (υποδοχέας και πώμα) σε συναρμογή, παρατίθεται στην Εικόνα 35.



Εικόνα 35: Διάταξη Απόσμησης: υποδοχέας & πώμα

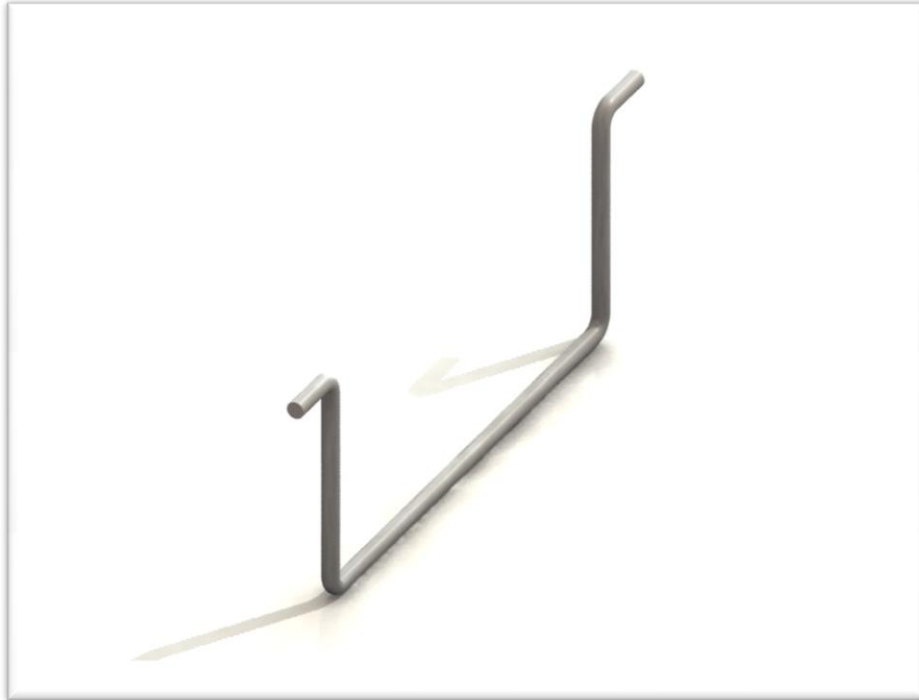
### 5.1.8 Χειρολαβή & Υποστηρίγματα Βάσης

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

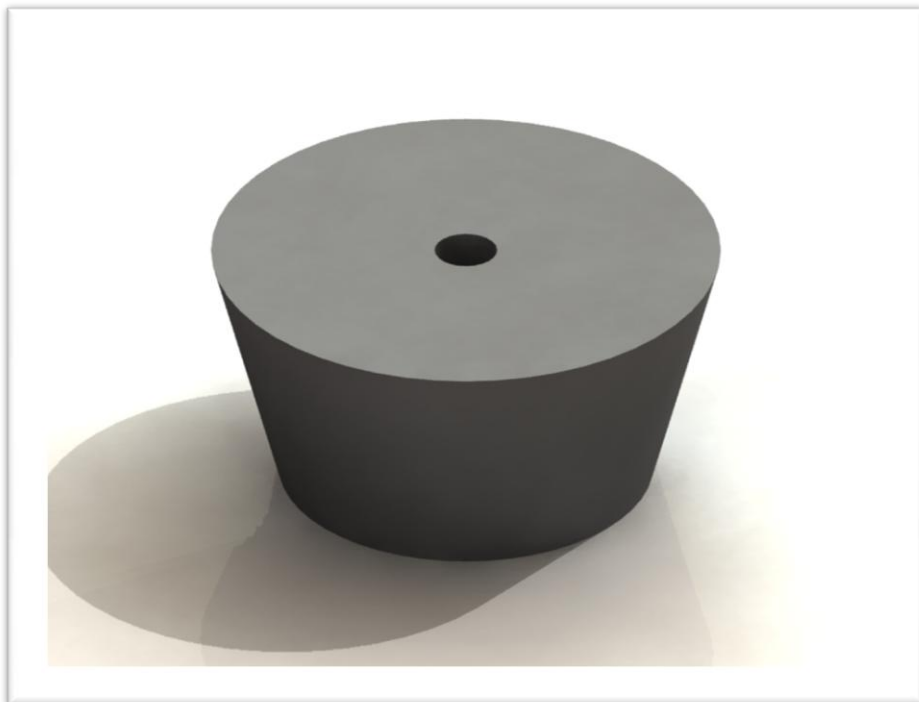
Αναφορικά με τις δύο χειρολαβές, θα συνδέονται αντιδιαμετρικά της εξωτερικής περιφέρειας του υποδοχέα ΔΑ και ειδικότερα, επί του δακτυλίου ανάρτησης του πλέγματος. Το υλικό κατασκευής προτείνεται να είναι από κράμα αλουμίνιο τύπου '*Aluminum 1060 Alloy*'.

Τα τέσσερα όμοια υποστηρίγματα θα πακτωθούν μέσω ισάριθμων κοχλιών, ή θα κολληθούν επί της εξωτερικής κατώτατης επιφάνειας της βάσης, σε θέσεις όπου να μην φράσσουν 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 ΞΔΑ, αλλά και η σωλήνωση εξόδου των συμπυκνωμάτων από το σύστημα.

Στις Εικόνες 36 και 37 που ακολουθούν παρατίθενται σε προοπτική όψη οι διατάξεις χειρολαβής και υποστηρίγματος, αντίστοιχα.



Εικόνα 36: Χειρολαβή υποδοχέα ΔΑ



Εικόνα 37: Υποστήριγμα βάσης ΞΔΑ

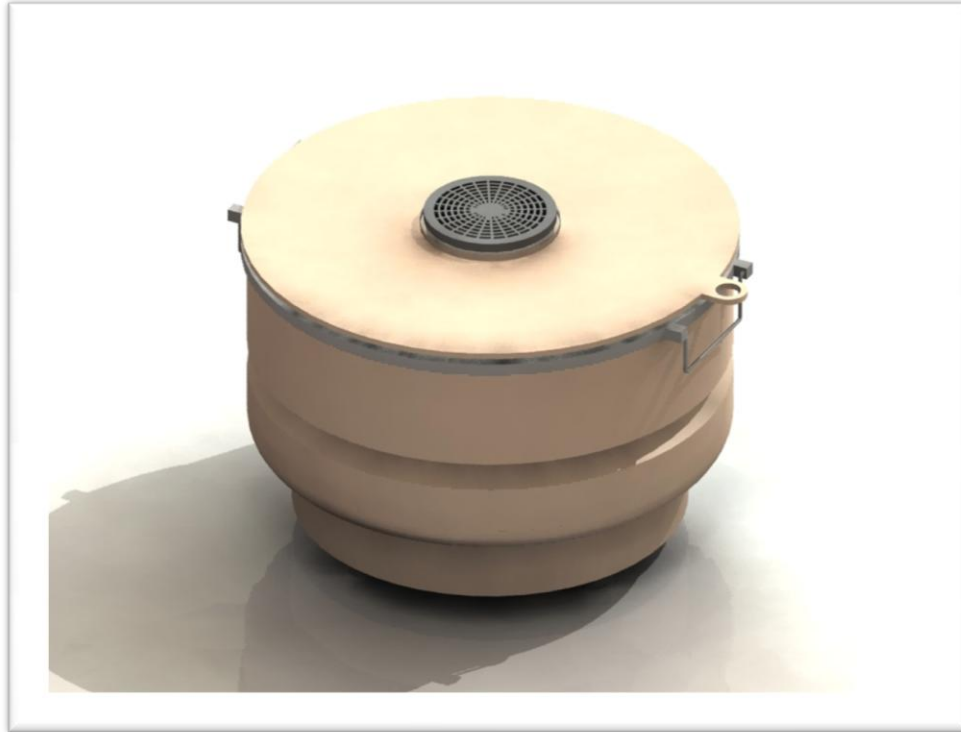
### 5.1.9 Συναρμολογημένη Διάταξη

Η συναρμολογημένη διάταξη αφορά στη σύνδεση όλων των δομικών μερών έτσι ώστε, να συγκροτηθεί ο ΞΔΑ ως σύνολο. Μέσω εποπτείας της συνολικής διάταξης καθίσταται περισσότερο ευχερής η επεξήγηση της λειτουργίας του συστήματος.

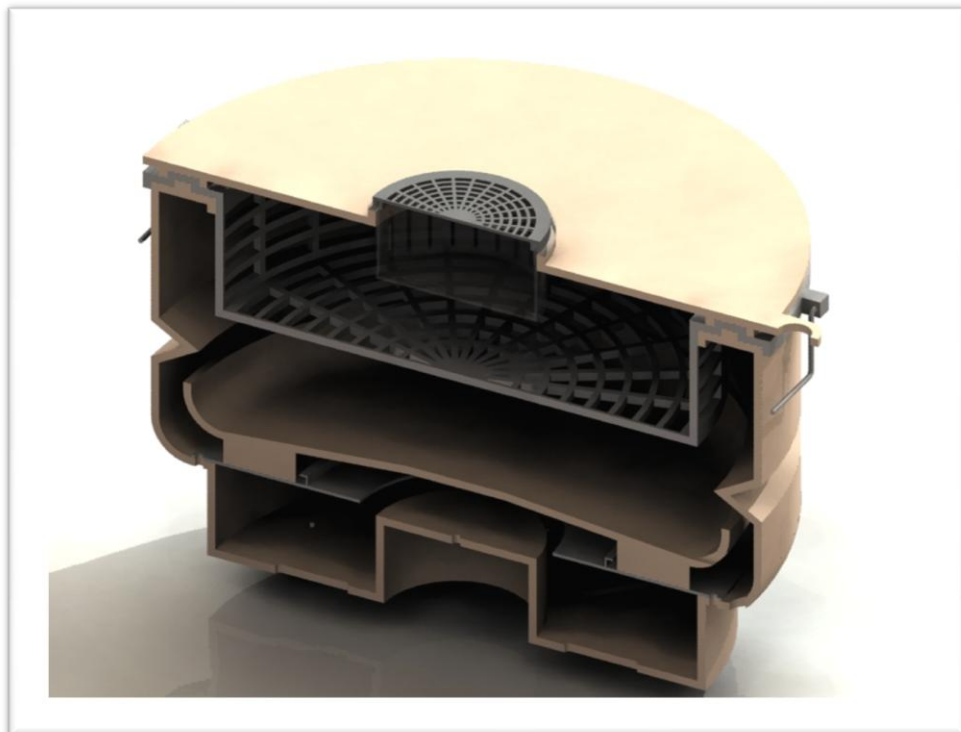
Συγκεκριμένα, ο χρήστης έχοντας εισάγει τις ημερησίως παραγόμενες ποσότητες ΔΑ της κατοικίας, στο εσωτερικό του υποδοχέα ΔΑ, τον τοποθετεί με τη βοήθεια των χειρολαβών στο θάλαμο του ΞΔΑ και κλείνει χειρονακτικά το πώμα. Κατόπιν, ενεργοποιεί ταυτόχρονα τις διατάξεις ανεμιστήρα και θερμικού καλωδίου προκειμένου να εκκινήσει τον κύκλο λειτουργίας του συστήματος. Ο νωπός ατμοσφαιρικός αέρας, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, εισέρχεται μέσω των διακένων της βάσης στο εσωτερικό του συστήματος. Εν συνεχεία, διερχόμενος από το δακτυλιοειδές διάκενο που σχηματίζεται μεταξύ του θερμικού δίσκου και της εσοχής της βάσης, εισέρχεται στο χώρο θέρμανσης. 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 πτερωτής του ανεμιστήρα, ο θερμός αέρας θα εξαναγκαστεί να οδηγηθεί ακτινικά στο διάκενο μεταξύ της περιφέρειας του υποδοχέα συμπυκνωμάτων και της εσωτερικής περιφέρειας του θαλάμου. Εν συνεχεία, θα εισέλθει στο χώρο του υποδοχέα ΔΑ και μέσω του πλέγματος θα απάγει βαθμιαία της υγρασία των ΔΑ. Η ποσότητα από ενδεχόμενη συμπύκνωση υδρατμών στα τοιχώματα του θαλάμου ή/και στον υποδοχέα ΔΑ, θα οδηγηθεί βαρυτικά στον αντίστοιχο υποδοχέα από όπου, μέσω σωλήνωσης θα εξέλθει του ΞΔΑ. 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.

Ως προς τις παραμέτρους λειτουργίας που αφορούν στη χωρητικότητα του υποδοχέα ΔΑ, στο χρόνο παραμονής του αποβλήτου εντός του ΞΔΑ, στη θερμοκρασία ξήρανσης, στην επιθυμητή υγρασία του παραγόμενου προϊόντος, στην παροχή όγκου του εισερχόμενου νωπού ατμοσφαιρικού αέρα και στην προσδιδόμενη θερμική ισχύ από το θερμικό καλώδιο, οι σχετικοί υπολογισμοί παρατίθενται στις αντίστοιχες Ενότητες. Η επικαιροποίηση των υπολογισμών και η βελτιστοποίηση του ΞΔΑ, τόσο σχεδιαστικά, όσο και κατασκευαστικά θα προκύψει κατά τη διενέργεια πειραματικών δοκιμών στο Εργαστήριο της Ομάδας Περιβαλλοντικών Επιστημών & Τεχνολογιών του ΕΜΠ.

Η συναρμολογημένη διάταξη του ΞΔΑ σε προοπτική όψη και τομή παρατίθεται στις Εικόνες 38 και 39 αντίστοιχα.



Εικόνα 38: Ξηραντής διατροφικών αποβλήτων



Εικόνα 39: Ξηραντής διατροφικών αποβλήτων (τομή)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

---

## 6.1 Μεθοδολογία πειραματικών αναλύσεων

### 6.1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε προκειμένου να μελετήσουμε τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος καθώς και τις επιδόσεις του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης. Ειδικότερα αναλύονται τα όργανα μέτρησης, οι αναλυτικές μέθοδοι για τη διεξαγωγή των πειραματικών αναλύσεων και οι μέθοδοι υπολογισμού των αποτελεσμάτων.

Ποσότητα οικιακών οργανικών απορριμμάτων τοποθετήθηκε στον θάλαμο ξήρανσης του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης (Εικόνα 40) που σχεδιάστηκε και λειτουργεί στην μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. Το σύστημα λειτούργησε σε τρεις (3) διαφορετικές θερμοκρασίες 60-70 και 80 °C και για δύο διαφορετικές ποσότητες οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Σε κάθε θερμοκρασία πραγματοποιήθηκαν 2 κύκλοι πειραματικών μετρήσεων σε κάθε έναν από τους οποίους χρησιμοποιήθηκε διαφορετική ποσότητα οργανικού δείγματος. Στον πρώτο κύκλο χρησιμοποιήθηκε ποσότητα μίγματος οργανικών οικιακών απορριμμάτων ίση με 500gr ενώ στον δεύτερο κύκλο χρησιμοποιήθηκε ποσότητα μίγματος οικιακών οργανικών απορριμμάτων ίση με 750 gr. Σε μίγμα οικιακών οργανικών απορριμμάτων συμμετείχαν σε ισόποσες μάζες τέσσερα διαφορετικά είδη υπολειμμάτων φρούτων και λαχανικών σε ισόποσες ποσότητες τα οποία ήταν τυχαία κομμένα σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα με τη χρήση ανοξειδωτού μαχαιριού προκειμένου το μίγμα να προσομοιάζει σε πραγματικές συνθήκες κοπής ενός μέσου νοικοκυριού. Σε κάθε μια από τις μελετηθείς θερμοκρασίες πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Η ελάττωση της μάζας των οργανικών απορριμμάτων μετρήθηκε με τη βοήθεια ζυγού ακριβείας ανά χρονικά διαστήματα 30 λεπτών και για χρόνο ξήρανσης 8ωρών συνολικά. Αφού ολοκληρώνονταν η διαδικασία της ξήρανσης τα δείγματα μεταφέρονταν σε φούρνο για 24 ώρες σε θερμοκρασία 105°C προκειμένου να απομακρυνθεί πλήρως η περιεχόμενη σε αυτά υγρασία. Μετά το πέρας των 24 ωρών τα δείγματα αφήνονταν για περίπου 30 λεπτά προκειμένου να έλθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια ζυγίζονταν και πάλι με ζυγό ακριβείας. Τα δείγματα προέρχονταν από απορρίμματα πραγματικού νοικοκυριού. Σε γενικές γραμμές ισχύει ότι όσο μικρότερη είναι η επιφάνεια των προς ξήρανση απορριμμάτων τόσο πιο γρήγορα ξηραίνονται σε όλες τις θερμοκρασίες. Τα ξηραμένα δείγματα λειοτριβήθηκαν και αφού έγιναν σκόνη τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα δοχεία ζέσεως προκειμένου να προσδιοριστούν περαιτέρω ποιοτικά.





Εικόνα 40 : Το πρότυπο σύστημα οικιακής ξήρανσης.

Στους πίνακες 6 και 7 που ακολουθούν παρουσιάζεται αναλυτικά η ποιοτική σύνθεση των μιγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα δείγματα που μελετήθηκαν και στους δύο κύκλους πειραμάτων. Υπενθυμίζεται ότι τα αναφερθέντα στους πίνακες οργανικά απορρίμματα συμμετείχαν στα μίγματα ισόποσα κάθε φορά.

#### 1<sup>ος</sup> ΚΥΚΛΟΣ

<b>Δείγμα</b>	<b>ΜΑΖΑ (=500gr)</b>
<b>1</b>	<b>Πορτοκάλι-Λεμόνι-Αγγούρι-Κρεμμύδι-Μήλο</b>
<b>2</b>	<b>Τούρτα-Μακαρόνια-Κρεμμύδι-Ντομάτα</b>
<b>3</b>	<b>Πορτοκάλι-Λεμόνι-Σέλινο-Ντομάτα-Μήλο</b>
<b>4</b>	<b>Πράσινα-Χόρτα-Λεμόνι-Πορτοκάλι</b>
<b>5</b>	<b>Μαρούλι-Ραδίκι-Αγκινάρα-Σπανάκι</b>
<b>6</b>	<b>Πατάτες-Λεμόνια-Μήλο-Αχλάδι</b>

Πίνακας 6: Τα δείγματα του πρώτου κύκλου.

## 2<sup>ος</sup> ΚΥΚΛΟΣ

Δείγμα	ΜΑΖΑ (=750gr)
7	Ντομάτα-Πορτοκάλι-Μήλο-Φασόλια
8	Ντομάτα-Πορτοκάλι-Μήλο-Ανανας
9	Φασολάκι-Αγγουράκια-Ντομάτα-Κρεμμύδι
10	Πιπεριά-Ντομάτα-Αγγουράκια-Πεπόνι
11	Πιπεριά-Μήλο-Πορτοκάλι-Κρεμμύδι
12	Πατάτες-Πορτοκάλι-Καρπούζι-Πατζάρια

Πίνακας 7: Τα δείγματα του δεύτερου κύκλου.



Εικόνα 41: Εικόνα χαρακτηριστικού δείγματος που χρησιμοποιήθηκε.

## 6.2 Πειραματικό πρωτόκολλο

Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε όλη την διάρκεια των πειραματικών δοκιμών είχαν σαν σκοπό τον καθορισμό της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων προκειμένου να γίνουν γνωστές οι επιδόσεις του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πέραν των πειραματικών κύκλων ξήρανσης που πραγματοποιήθηκαν, προσδιορίστηκαν οι παρακάτω εξής παράμετροι:

- Υγρασία (%)
- Όγκος
- ΡΗ-Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Πτητικά Στερεά(VSS) και LOI (Lost on Ignition)
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)
- Περιεκτικότητα σε αμμωνιακά κατά Kheldahl
- Βαρέα Μέταλλα (Cr,Cu,Mn,Fe,Ni,Cd,Pb,Zn)-Ιχνοστοιχεία (K, Na, Ca, Mg)
- Δείκτης Βλαστικότητας (ΔΒ)
- Μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής ξήρανσης
- Μέτρηση της μεταβολής της θερμοκρασίας ( $^{\circ}\text{C}$ ) και της σχετικής υγρασίας (%) στο εσωτερικό του ξηραντήρα.
- Μέτρηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στα εξωτερικά τοιχώματα της συσκευής
- Προσδιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής
- Θεωρητικός προσδιορισμός της ρύπανσης που ενδέχεται να προκαλέσει η χρήση μιας τέτοιας συσκευής μέσω της ενεργειακής της κατανάλωσης

### 6.2.1 Μέθοδος Προσδιορισμού Περιεχόμενης Υγρασίας (%)

Τα δείγματα ζυγίστηκαν αρχικά με τη χρήση ζυγού ακριβείας. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε δοχεία ζέσεως σε φούρνο ξήρανσης με ρεύμα αέρα για χρονικό διάστημα περίπου ίσο με 24 ώρες μέχρις ότου παρατηρηθεί μείωση της μάζας του δείγματος μικρότερη του 4%. (Εικόνα 42).



Εικόνα 42: Φούρνος ξήρανσης 105°C

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα (με silica gel) για τουλάχιστον 30 λεπτά προκειμένου να έρθουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος χωρίς να επαναπροσλάβουν επιπλέον υγρασία. Τα δείγματα επαναζυγίστηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η τελική τους μάζα μετά το πέρας της ξήρανσης. Θεωρήθηκε ότι η ελάττωση της μάζας του δείγματος κατά την διάρκεια της ξήρανσης ισούται με την υγρασία που απομακρύνεται από το εσωτερικό του υλικού.

Η υγρασία (%) υπολογίζεται από την διαφορά μάζας πριν και μετά την διεργασία της ξήρανσης στους 105°C. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί η ποσοστιαία υγρασία των δειγμάτων, δίνεται από τον παρακάτω τύπο (ASTM.,2004):

$$[(M_{\alpha\rho\chi} - M_{\tau\epsilon\lambda}) / M_{\alpha\rho\chi}] * 100$$

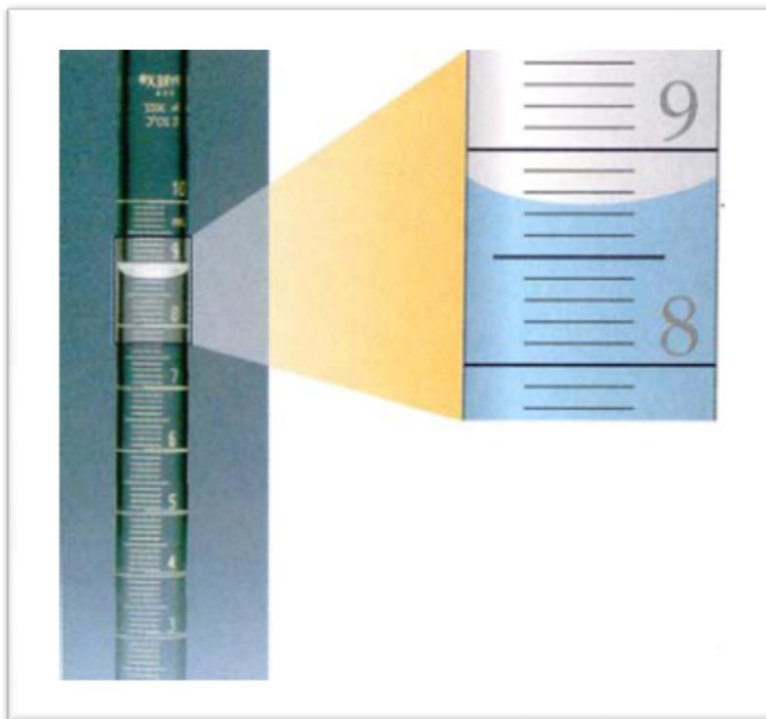


Εικόνα 43: Το οργανικό δείγμα μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης στο πρότυπο σύστημα.

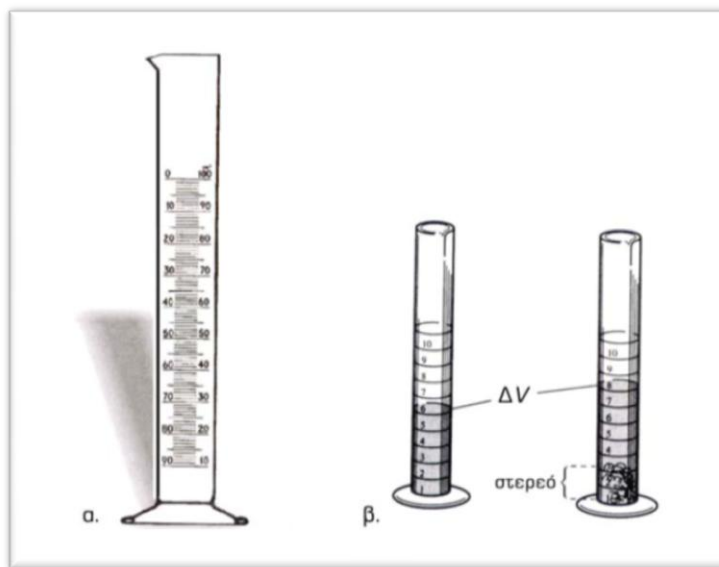
### 6.2.2 Όγκος

Ο αρχικός και τελικός όγκος των ξηραμένων στερεών αποβλήτων μετρήθηκε με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου (Εικόνα 44). Οι ογκομετρικοί κύλινδροι, είναι βαθμονομημένοι με αποσταγμένο νερό στη θερμοκρασία που αναγράφεται στη φιάλη και είναι συνήθως 20 ή 25 °C. Αν η θερμοκρασία του διαλύματος είναι διαφορετική από τη θερμοκρασία που αναγράφεται στη φιάλη, γίνεται σχετική διόρθωση του όγκου. Η διόρθωση αυτή είναι περίπου 0,02% ανά βαθμό Κελσίου για αραιά υδατικά διαλύματα.

Τα στερεά απόβλητα βυθίζονται πριν και μετά την ξήρανσή τους, και από την μετατόπιση της στήλης του αποσταγμένου νερού, στο εσωτερικό της φιάλης, προσδιορίστηκε η μεταβολή του όγκου των οργανικών απορριμμάτων στο τέλος της ξήρανσης.



Εικόνα 44: Ογκομετρικός κύλινδρος.



Εικόνα 45: Μετατόπιση αποσταγμένου νερού

Η ακρίβεια μέτρησης του όγκου είναι σχετικά μικρή (σε σχέση με τα σιφώνια, τις ογκομετρικές φιάλες και προχοϊδες), με σφάλμα περίπου 1% του μετρούμενου όγκου, ωστόσο κρίθηκε αρκετά ικανοποιητική για την τρέχουσα μελέτη.

### 6.2.3 Προσδιορισμός ΡΗ-Αγωγιμότητας

Για τη μέτρηση του ρΗ και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ζυγίζονται 5 g ξηραμένου οργανικού δείγματος και αναμειγνύονται με 50ml απιονισμένου H<sub>2</sub>O. Το προκύπτον διάλυμα, αναδεύεται με τη βοήθεια της συσκευής ανάδευσης (Εικόνα 46) για 30 min μέχρις ότου να σχηματιστεί ομογενές υδατικό διάλυμα οργανικής ουσίας.



Εικόνα 46:Συσκευή ανάδευσης

Το διάλυμα αφήνεται να ηρεμήσει για περίπου 40 λεπτά μέχρις ότου τυχόν αδιάλυτες στερεές ουσίες η οποίες εμπεριέχονται να κατακάσουν στον πάτο του δοχείου ανάδευσης. Τέλος ακολουθεί μέτρηση του ΡΗ και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με χρήση πεχαμέτρου METTLER TOLEDO MPC227 το οποίο απεικονίζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 47).



Εικόνα 47:PH-μέτρο και αγωγιμόμετρο

Η τελική τιμή του PH προσδιορίστηκε εφόσον επήλθε διόρθωση ως προς τη θερμοκρασία προκειμένου όλες οι τιμές να αναφέρονται σε θερμοκρασία 25<sup>o</sup>C.

#### 6.2.4 Προσδιορισμός πτητικών στερεών (VSS)/(LOI)

Δείγμα στο οποίο έχει προηγηθεί ξήραση στους 105<sup>o</sup>C προκειμένου να είναι εντελώς ξηρό, λιτριβείται με τη βοήθεια μύλου άλεσης δημητριακών (Εικόνα 48) και μικρή ποσότητα αυτού ζυγίζεται σε πορσελάνινες κάψες με τη χρήση ζυγού ακριβείας.



Εικόνα 48:Μύλος άλεσης δειγμάτων



Το δείγμα στην συνέχεια τοποθετείται σε φούρνο σε θερμοκρασία 550°C για 20 min (Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών

Αφού ολοκληρωθεί η καύση της ύλης, αφήνουμε τις κάψες σε ξηραντήρες (με silica gel) για χρόνο 1 ώρας τουλάχιστον προκειμένου το υλικό να έλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος ζυγίζουμε τη τελική μάζα του δείγματος με τη χρήση ζυγού ακριβείας. Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 550°C. Το επί τοις εκατό (%) ποσοστό πτητικών στερεών του δείγματος δίνεται από το λόγο της παραπάνω διαφοράς προς το αρχικό βάρος του δείγματος.

$$[(M_{\text{αρχ}} - M_{\text{τελ}}) / M_{\text{αρχ}}] * 100$$

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ύλης (LOI) ακολουθείται η ίδια διαδικασία με προηγουμένως με την μόνη διαφορά ότι τώρα το δείγμα παραμένει στο φούρνο σε θερμοκρασία 550°C για 4 ώρες.



Εικόνα 50:Κάψες πορσελάνης

### 6.2.5 Προσδιορισμός ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Με τη μέτρηση της τιμής του ολικού οργανικού άνθρακα προσδιορίζεται η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από την οξείδωση των ανθρακούχων ουσιών που περιέχονται στο δείγμα. Η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη όταν πρόκειται για απόβλητα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες ανθρακούχων ενώσεων. Για τον προσδιορισμό της επί της εκατό περιεκτικότητας (%) ολικού οργανικού άνθρακα, TOC χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TOC της εταιρίας Shimadzu (Εικόνα 51) η οποία λειτουργεί στην μονάδα περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.. Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε ήταν τα εξής:

- Ζυγίσαμε 50mgr δείγματος σε ειδική κάψα με τη χρήση ζυγού ακριβείας
- Τοποθετήσαμε το δείγμα στην συσκευή



Εικόνα 51: Συσκευή αυτόματου προσδιορισμού ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) της εταιρίας Shimadzu

Στην συνέχεια προσδιορίσαμε την τιμή της ποσότητας του ολικού οργανικού άνθρακα η οποία ισούται με την ποσότητα της ουσίας που κάηκε κατά της καύση στο εσωτερικό της συσκευής

#### **6.2.6 Η περιεκτικότητα σε αμμωνιακά κατά Kheldahl**

Αρχικά ζυγίσαμε 5gr δείγματος σε ποτήρι ζέσεως και προσθέσαμε 50ml KCl (2M). Το διάλυμα αναδεύτηκε για 1ώρα και μετά ακολούθησε φυγοκέντριση (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Συσκευή Φυγοκέντρισης

Η φυγοκέντριση διήρκησε 15 λεπτά στις 3000 στροφές. Ο σκοπός της φυγοκέντρισης ήταν να καθιζάνει το στερεό έτσι ώστε να μπορούμε να συλλέξουμε το υγρό υπόλειμμα. Αφού ολοκληρώθηκε η φυγοκέντριση κάναμε διήθηση χρησιμοποιώντας διηθητικό χαρτί (μέγεθος 240mm). Στη συνέχεια προσθέσαμε 5ml υγρού δείγματος σε φιάλη Kheldahl μαζί με 6ml MgO και 2-3 σταγόνες οσταυοί. Το διάλυμα τοποθετήθηκε στην συσκευή (εικόνα 53) μαζί με μια κωνική φιάλη η οποία περιέχει 50ml βορικού οξέος.



Εικόνα 53: Συσκευή Kheldahl.

Η διαδικασία της απόσταξης διαρκούσε περίπου 5λεπτά. Με την ολοκλήρωση της απόσταξης γίνεται τιτλοδότηση με HCl (0.1M) (εικόνα 54) αφού πρώτα έχουμε ρίξει μερικές σταγόνες από δείκτη.



Εικόνα 54: (δεξιά) πριν την τιτλοδότηση, (αριστερά) μετά την τιτλοδότηση.

Ο τύπος με τον οποίο γίνεται ο προσδιορισμός των αμμωνιακών είναι ο ακόλουθος :

$$(V \cdot 1,4 \cdot 0,1) / M \cdot 100$$

Όπου V: ml τιτλοδότησης

M : αρχικά gr δείγματος

### 6.2.7 Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων και των ιχνοστοιχείων

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

Από την άλλη ο προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων είναι σημαντικός καθώς μας δίνει μια εικόνα του πώς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω τα στερεά απόβλητα προκειμένου η διαχείρισή τους να καταστεί αειφόρα. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε

προκειμένου να προσδιοριστούν ποιοτικά αλλά και ποσοτικά τα βαρέα μέταλλα που υπάρχουν στα μελετηθείσα δείγματα, περιελάμβανε τα παρακάτω βήματα:

- Ζυγίζονται 0.5gr λειοτριβημένου δείγματος τα οποία τοποθετούνται σε ειδικές ογκομετρικές φιάλες.
- Προσθέτουμε 6ml πυκνού θειϊκού οξέος προκειμένου να προβούμε στη απαραίτητη διαδικασία εξαγωγής (extraction) των μετάλλων από το εσωτερικό μοριακό στρώμα της ύλης
- Τοποθετούμε το διάλυμα σε συσκευή χώνευσης kjeldahl η οποία λειτουργεί στους 450°C και το αφήνουμε περίπου για 6λεπτά
- Προσθέτουμε 16.7ml υπερθειϊκού χαλκού (30% K.O.)
- Αφήνουμε το διάλυμα για ακόμη 1-2λεπτά στη συσκευή χώνευσης (Εικόνα 55)
- Ακολουθεί διήθηση με διηθητικό χαρτί (0,45μm) και αραίωση σε 100ml υπερκάθαρου νερού
- Γίνεται ανάλυση για τα βαρέα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία με τη βοήθεια της συσκευής ατομικής απορρόφησης (Εικόνα 56)

Τα ιχνοστοιχεία και τα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν στην διάρκεια αυτής της διπλωματικής αναφέρονται στην συνέχεια:

#### ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ:

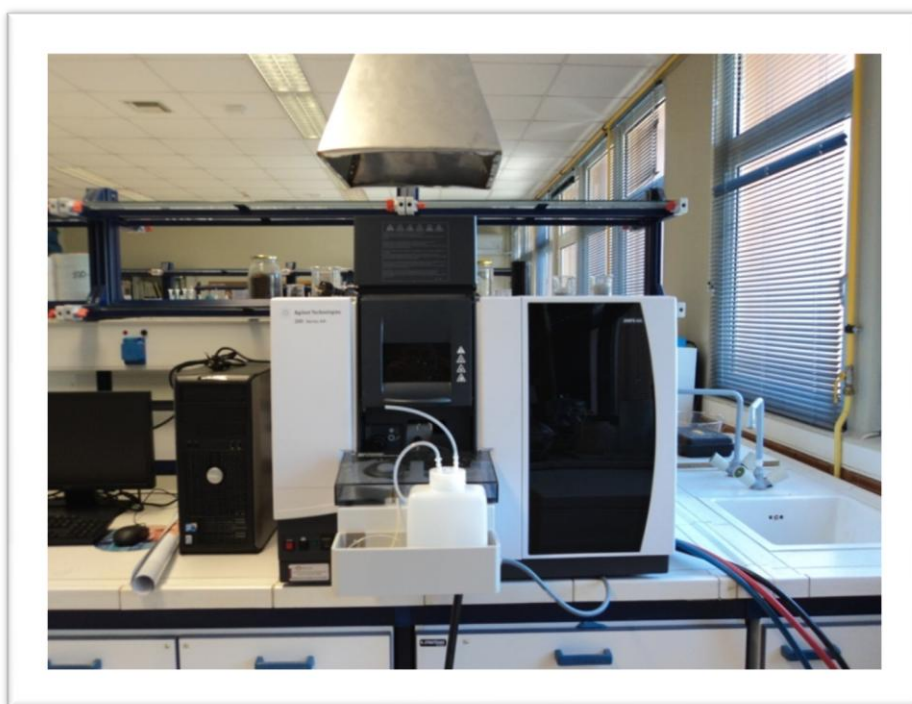
- K
- Na
- Ca
- Mg

#### ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ:

- Cr
- Cu
- Mn
- Fe
- Cd
- Pb
- Zn



Εικόνα 55: Συσκευή χώνευσης.



Εικόνα 56:Ατομική Απορρόφηση

### 6.2.8 Προσδιορισμός του Δείκτη Βλαστικότητας (Φυτοτοξικότητα)

Η μέθοδος που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της φυτοτοξικότητας είναι η ακόλουθη:

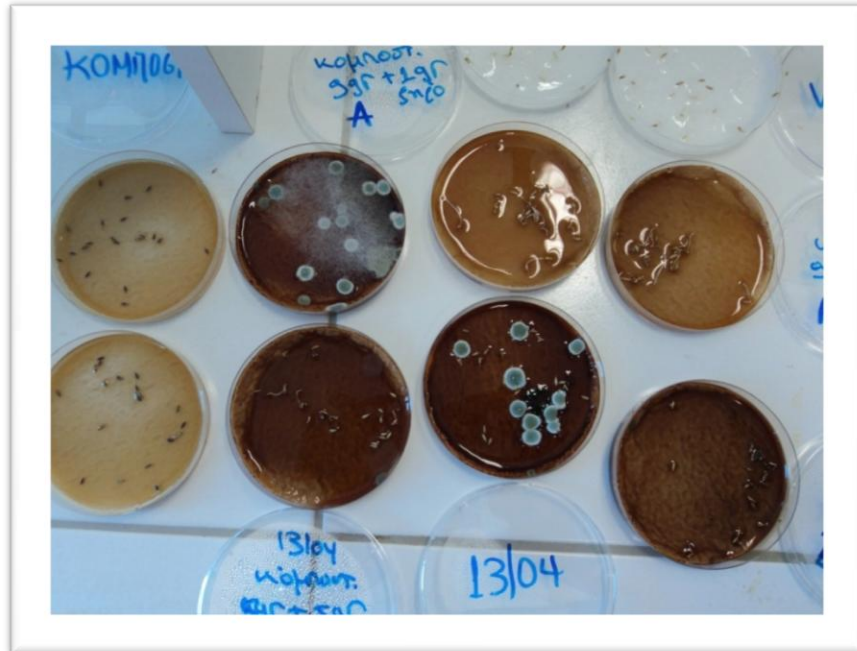
Ζυγίζονται 5gr δείγματος και προστίθενται 100mL απιονισμένου H<sub>2</sub>O. Το διάλυμα αναδεύεται για 30min. Ακολουθεί φυγοκέντριση στα 3000rpm για 10min. Με την ολοκλήρωση της φυγοκέντρισης κάνουμε διήθηση. Σε δύο τρυβλία (Petridish) τοποθετείται διηθητικό χαρτί (Whatman 1) και 20 σπόροι (σε κάθε τρυβλίο) σε διάταξη ώστε να ισαπέχουν μεταξύ τους (Εικόνα 57).



Εικόνα 57 : Τρυβλίο με σπόρια

Προστίθενται 10mL απιονισμένο H<sub>2</sub>O και 10mL extract αντίστοιχα. Για τον μάρτυρα χρησιμοποιούνται μόνο 20 ml απιονισμένο H<sub>2</sub>O. Στη συνέχεια τοποθετούνται στο ψυγείο (20 ± 5 °C) όπου επικρατεί σκοτάδι για 5 μέρες. Με το πέρας των πέντε ημερών γίνεται καταμέτρηση αριθμού σπόρων όπου έχουν βλαστήσει καθώς επίσης και καταμέτρηση μήκους βλαστών.





Εικόνα 58: Τρυβλία με δείγματα

Υπολογισμοί:

Ο δείκτης βλαστικότητα (Δ.Β.) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη φυτρωτική ικανότητα

και το μήκος του βλαστού σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

όπου:

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

**G:** [αριθμός των βλαστών του δείγματος που φύτεψαν / αριθμός των βλαστών του μάρτυρα]\*

100 → όπου δηλώνει τη φυτρωτική ικανότητα του δείγματος

**L:** [μέσος όρος μήκους βλαστού στο δείγμα / μέσο όρο μήκους βλαστού στον μάρτυρα] \* 100

Για το δείκτη βλαστικότητα ισχύει:

**0 < Δ.Β. < 25** → πολύ φυτοτοξικό

**26 < Δ.Β. < 65** → φυτοτοξικό

**66 < Δ.Β. < 100** → μη φυτοτοξικό

**Δ.Β. > 101** → φυτοδιέγερση – φυτοθρεπτικό

### 6.2.9 Μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης του πρότυπου συστήματος ξήρανσης των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή

Σε όλη την διάρκεια των πειραμάτων, μετρήθηκε η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος με την χρήση καταγραφικού ενεργειακής κατανάλωσης (Εικόνα 59) το οποίο τοποθετήθηκε μεταξύ της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και της πρίζας της συσκευής. Με αυτό τον τρόπο μπορέσαμε να συλλέξουμε πληροφορίες για την ενεργειακή κατανάλωση του ξηραντήρα μας. Το καταγραφικό ενεργειακής κατανάλωσης φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 59: Καταγραφικό ενεργειακής κατανάλωσης

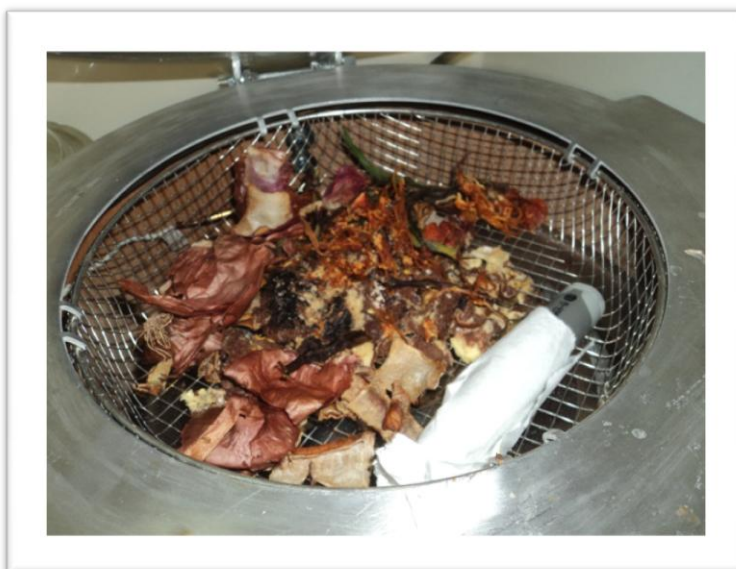
### 6.2.10 Μέτρηση της μεταβολής της θερμοκρασίας (°C) και της σχετικής υγρασίας (%) στο εσωτερικό του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας και υγρασίας του πρότυπου συστήματος, χρησιμοποιήσαμε ψηφιακό καταγραφικό θερμοκρασίας (Datalogger) (Εικόνα 60) το οποίο τοποθετήθηκε στο καλάθι ξήρανσης μαζί με τα οικιακά οργανικά απορρίμματα.



Εικόνα 60: Καταγραφικό θερμοκρασίας-υγρασίας (Lascar Electronics Data logger)

Οι μετρήσεις που λάμβάναμε ήταν συνεχόμενες (ανά 5 λεπτά) και για χρονικό διάστημα ισοδύναμο του συνολικού χρόνου ξήρανσης. Η ύπαρξη του καταγραφικού μέσου στο εσωτερικό της συσκευής μας επέτρεψε να παρακολουθήσουμε τη μεταβολή των παραμέτρων αυτών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης γεγονός το οποίο μας βοήθησε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την διεργασία της ξήρανσης όπως αυτή συμβαίνει στο πρότυπο σύστημα οικιακής ξήρανσης.



Εικόνα 61:Καταγραφικό θερμοκρασίας στο καλάθι ξήρανσης της συσκευής “DRYWASTE”.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## 7.1 Αποτελέσματα μετρήσεων

Ακολουθεί η καταγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Στην συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι που μελετήθηκαν μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα και για τους δύο κύκλους πειραματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

### 7.1.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων Αγωγιμότητα-pH-VSS

Οι τιμές των παραμέτρων PH και VSS όπως αυτές προέκυψαν στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν και για όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν, παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Στον πίνακα 8 καταγράφονται οι τιμές της αγωγιμότητας, του pH και των VSS για όλα τα δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στον πρώτο κύκλο πειραμάτων όπου χρησιμοποιήσαμε ποσότητα οικιακών οργανικών απορριμμάτων ίση με 500 gr και για συνολικό χρόνο ξήρανσης ίσο με 8 ώρες.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (mS)	pH	VSS
1	2,94	5,00	2,48
2	2,84	4,04	1,03
3	7,08	4,13	3,46
4	11,2	5,14	3,12
5	7,77	6,02	3,41
6	6,34	5,90	3,49
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b>	6,36	5,03	2,83

Πίνακας 8 : Μετρήσεις από τον πρώτο κύκλο πειραμάτων.

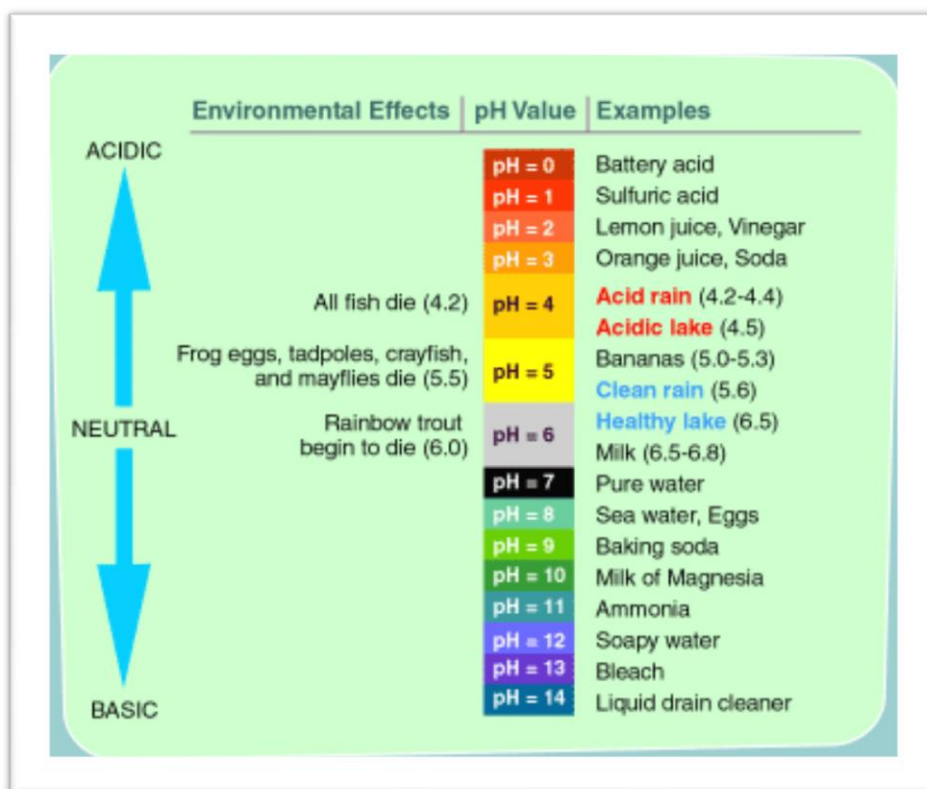
Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται οι τιμές της αγωγιμότητας, του pH και των VSS για όλα τα δείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων όπου

χρησιμοποιήσαμε ποσότητα οικιακών οργανικών απορριμμάτων ίση με 750 gr και για συνολικό χρόνο ξήρανσης ίσο με 8 ώρες.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (mS)	pH	VSS
7	1,81	4,31	3,77
8	1,61	4,47	3,23
9	6,71	4,82	3,31
10	5,12	4,47	3,21
11	1,78	4,59	3,53
12	2,97	5,21	3,78
<b>ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ</b>	3,33	4,64	3,47

Πίνακας 9 : Μετρήσεις από τον δεύτερο κύκλο πειραμάτων.

Το pH αναφέρεται στην οξύτητα ή αλκαλικότητα του υλικού το οποίο ξηράναμε με τη βοήθεια του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης. Από τις τιμές του πίνακα παρατηρούμε ότι όλα τα δείγματα μας βρίσκονται στην όξινη περιοχή. Στον πρώτο κύκλο το PH κυμαίνεται από 4-6 και στο δεύτερο κύκλο από 4,3-5,2 (Εικόνα 62).



Εικόνα 62: Η κλίμακα του PH (EPA.,2011)

Το γεγονός αυτό μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα δείγματα μας χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό. Τα αποτελέσματα PH μας οδήγησαν στο να πραγματοποιήσουμε περαιτέρω πειράματα προκειμένου να αποδείξουμε ότι η χρήση του υλικού που προκύπτει από την ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό (λίπασμα) από τον χρήστη προκειμένου να μην καταλήγει σε ΧΥΤΑ. Τα πτητικά στερεά (VSS) είναι το ποσοστό των ξηρών στερεών που χάνονται με ανάφλεξη στους 550°C και αποτελούν μια παράμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της οργανικής ύλης. Αυτά αποτελούν τις ποιοί άμεσα προσλήψιμες ενώσεις από τους μικροοργανισμούς που εμπεριέχονται στο υπόστρωμα. Η παρουσία τους βοηθάει στην αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας καθώς αποτελούν άμεση πηγή προς κατανάλωση. Στον πίνακα βλέπουμε ότι όλες οι τιμές των VSS κυμαίνονται ανάμεσα στο 3-4.

### 7.1.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων Υγρασίας (%)

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της περιεχόμενης υγρασίας οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένα δείγματα τροφίμων. Τα τρόφιμα ήταν κομμένα τυχαία με ανοξείδωτο μαχαίρι όπως ακριβώς και σε ένα μέσο νοικοκυριό. Το μέγεθος των τροφίμων δεν επηρέασε την αρχική και τελική περιεχόμενη υγρασία αυτών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η υγρασία οικιακών οργανικών απορριμμάτων τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποια προεπεξεργασία.

<b>Δείγμα</b>	<b>Υγρασία (%)</b>
Καφές	60,12
Ψωμί	21,10
Ρύζι <sup>12</sup>	14,12
Ρεβίθι	64,24
Μπανάνα <sup>1</sup>	91,24
Νεκταρίνι	82,12
Πεπόνι	91,22
Ελιά	65,12
Σύκο	35,43
Μαρούλι	84,82
Βατόμουρο	86,43
Μανταρίνι <sup>1</sup>	78,62
Λεμόνι <sup>1</sup>	83,86
Ντομάτα <sup>1</sup>	94,01

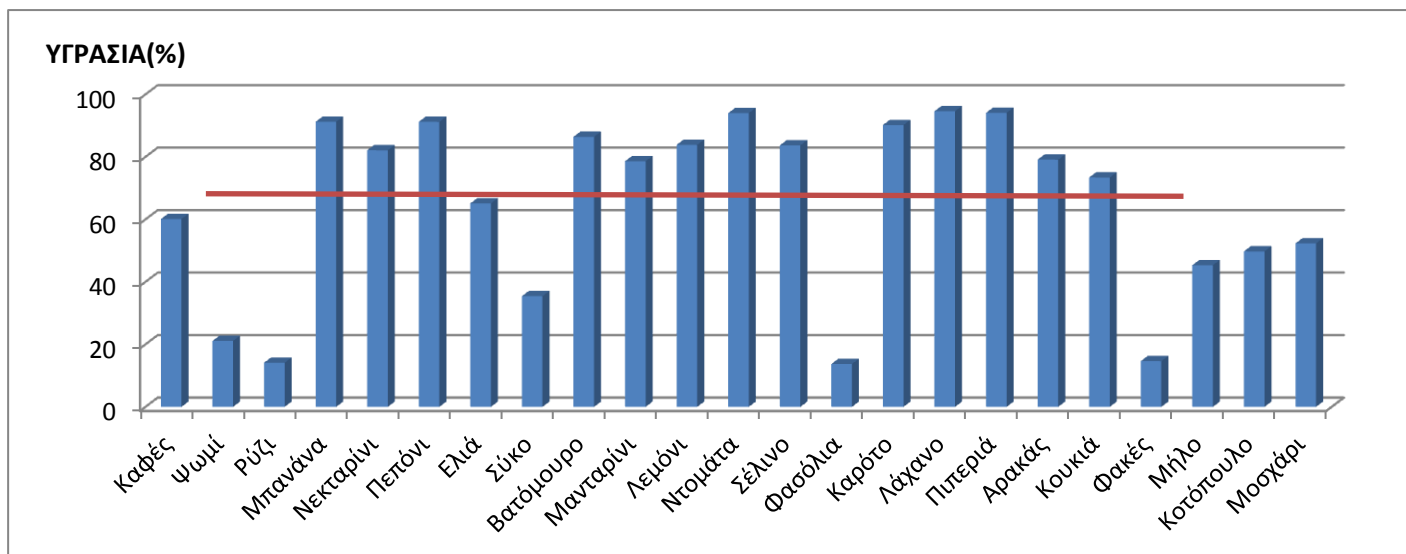
Σέλινο <sup>1</sup>	83,68
Φασόλια <sup>2</sup>	13,71
Καρότο <sup>2</sup>	90,20
Λάχανο <sup>1</sup>	94,62
Πιπεριά <sup>1</sup>	94,12
Αρακάς <sup>2</sup>	79,12
Κουκιά <sup>1</sup>	73,41
Φακές <sup>2</sup>	14,62
Μήλο	45,34
Κοτόπουλο <sup>2</sup>	49,75
Μοσχάρι <sup>2</sup>	52,31
Κόκκαλα <sup>2</sup> (ψαριού, κοτόπουλου, μοσχαριού)	8,21

Πίνακας 10: Περιεχόμενη υγρασία (%) σε διάφορα τρόφιμα.

<sup>1</sup>: Οι μετρήσεις αναφέρονται σε απομεινάρια τροφίμων

<sup>2</sup>: Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε νωπά τρόφιμα

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η περιεχόμενη υγρασία στην πλειοψηφία των τροφίμων που καταναλώνονται σε ένα νοικοκυριό, είναι αρκετά υψηλή κάτι που φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: Περιεχόμενη υγρασία σε τυχαία τρόφιμα

Η περιεχόμενη υγρασία της πλειοψηφίας των μελετηθέντων δειγμάτων κυμαίνεται μεταξύ 60% και 94%. Το γεγονός αυτό δίνει ιδιαίτερη αξία στην συσκευή ξήρανσης οργανικών απορριμμάτων η οποία χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μιας και

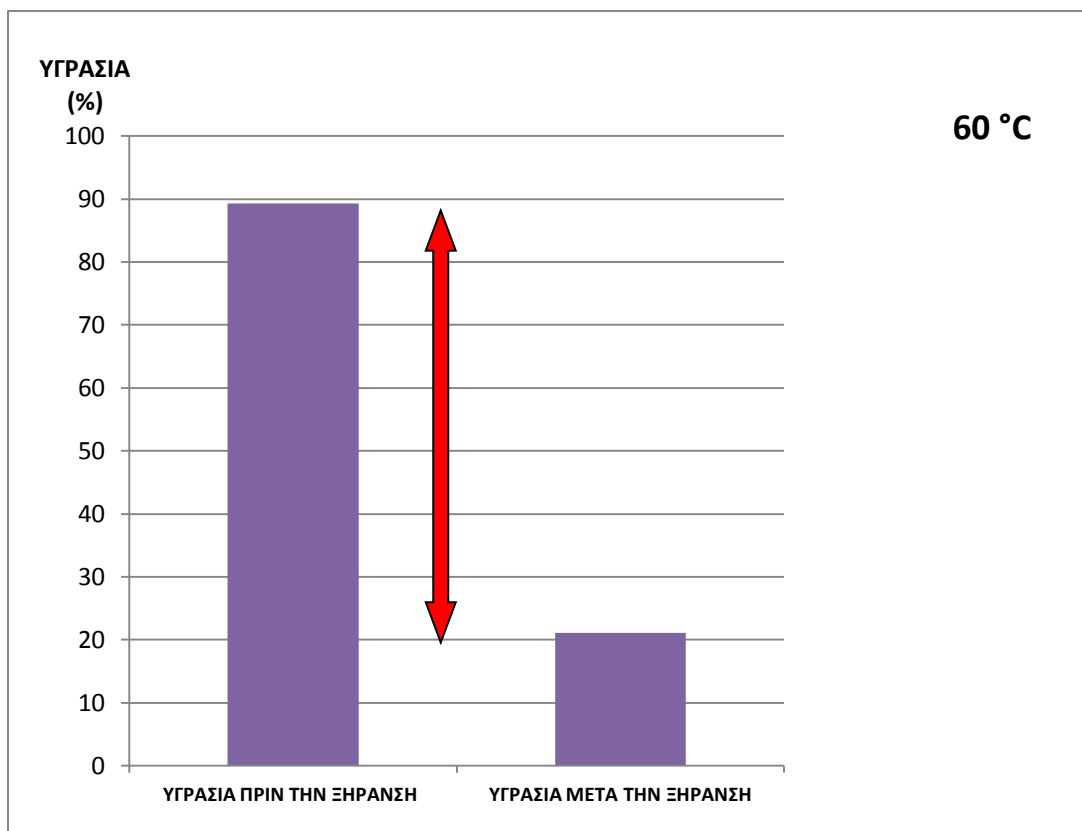
επιτυγχάνει μείωση της περιεχόμενης υγρασίας έως και 70% της αρχικής αναλόγως το μέγεθος, την φύση του υλικού και την θερμοκρασία στην οποία γίνεται η ξήρανση.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αρχική και η τελική υγρασία των δειγμάτων τα οποία έχουν υποστεί ξήρανση για 8 ώρες σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (60, 70 και 80 °C ) και μάζα ίση με 500gr.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΑΡΧΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΤΕΛΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
60	89,30	21,20
70	83,70	9,30
80	83,3	5,00

Πίνακας 11: Περιεχόμενη υγρασία στα δείγματα.

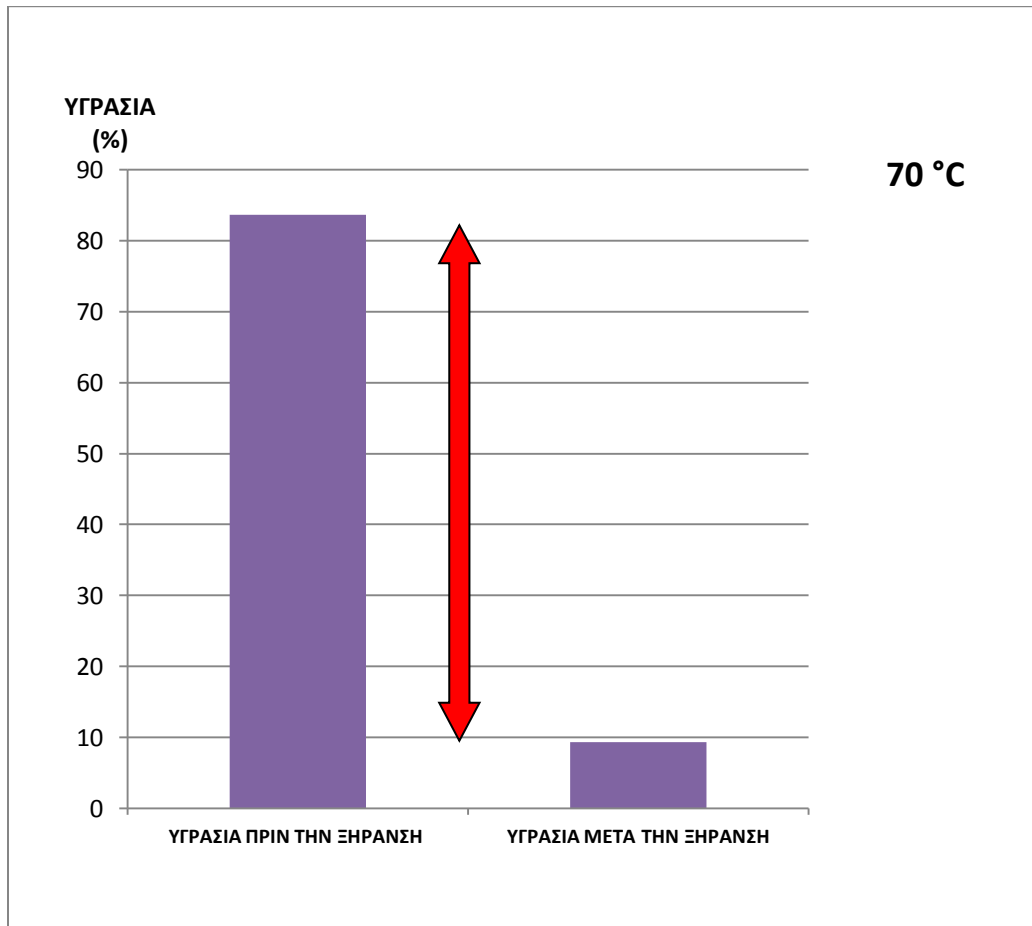
Στο διάγραμμα.6 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 60°C και για ποσότητα 500 gr οργανικής ύλης.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 60°C.

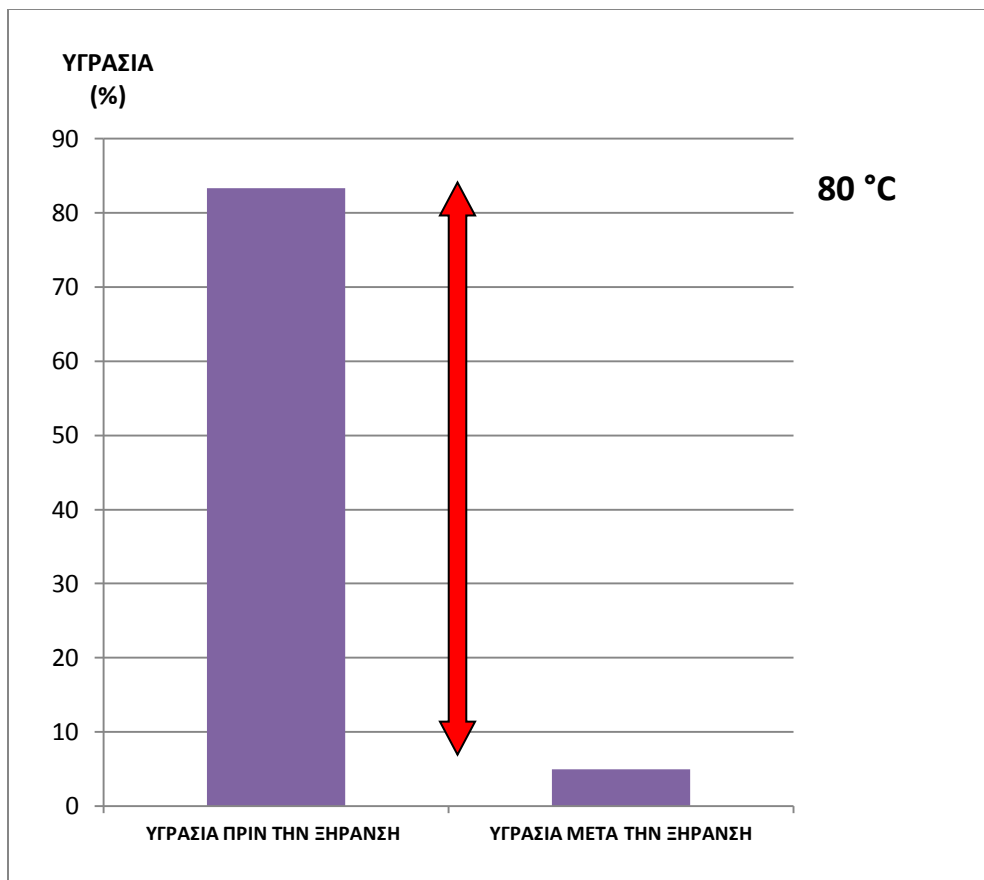


Στην συνέχεια (διάγραμμα 7), παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 70°C και για ποσότητα 500g οργανικής ύλης



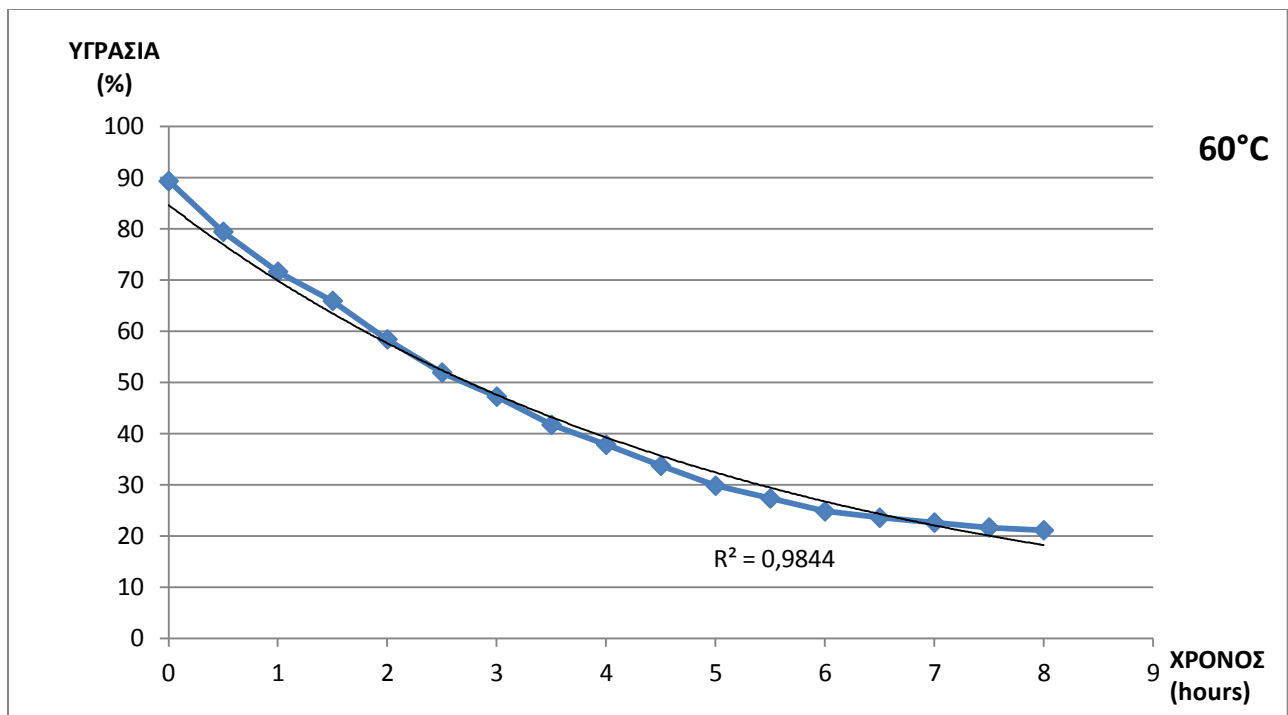
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 70°C.

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 80°C και για ποσότητα 500 gr οργανικής ύλης

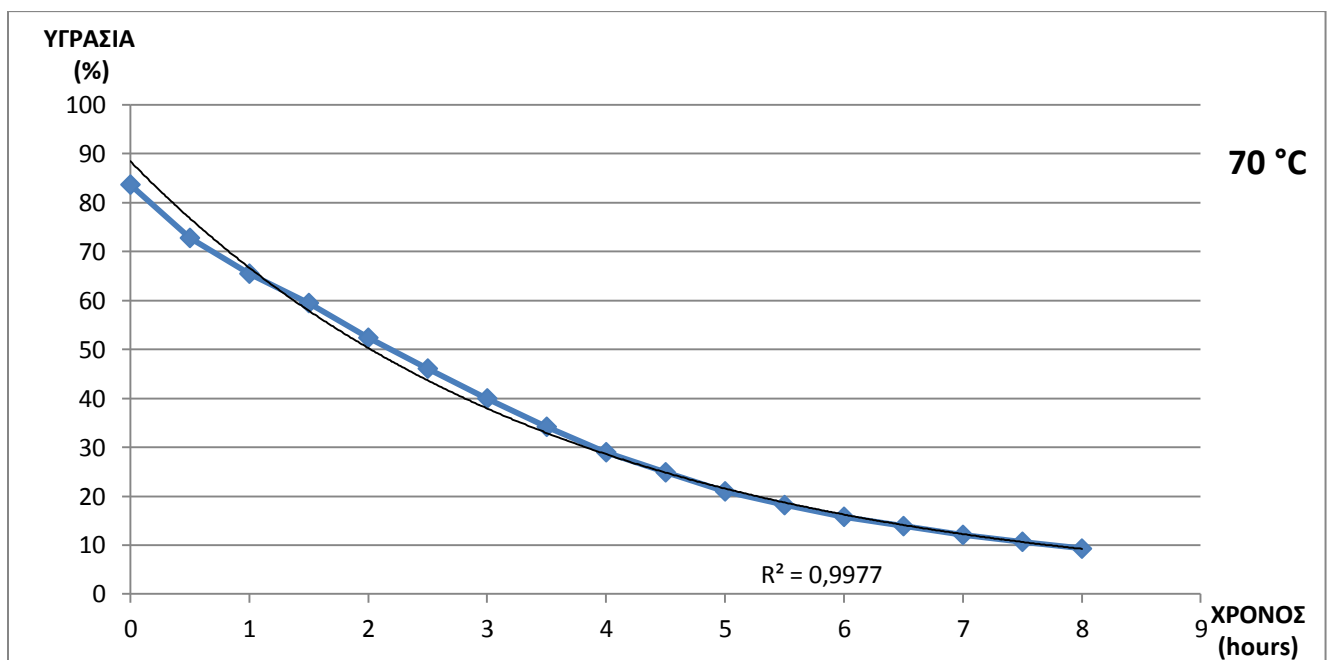


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 80°C.

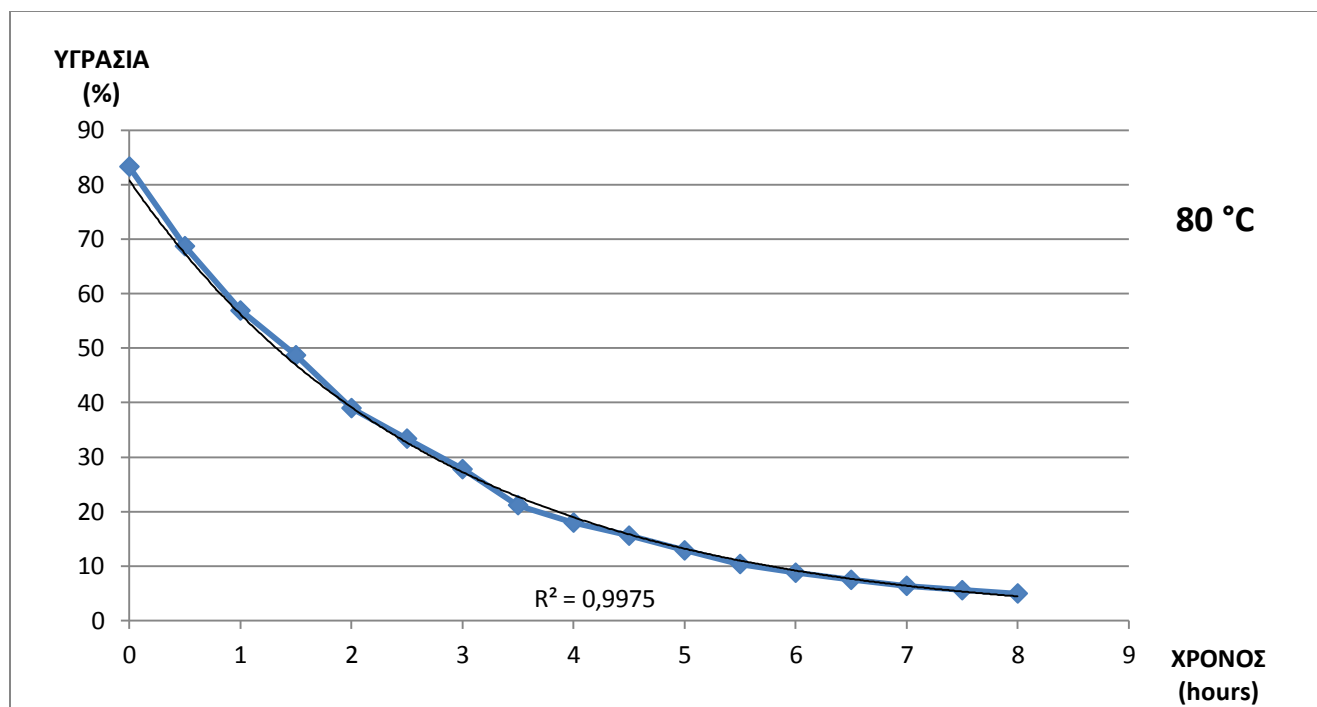
Στη συνέχεια ακολουθούν 3 διαγράμματα (διαγράμματα 9,10 και 11) με την σταδιακή μείωση της υγρασίας όπως αυτή προσδιορίστηκε κατά τη διάρκεια της ξήρανσης στις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες που μελετήθηκαν (60-70-80°C).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 60°C



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10 : Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 70°C.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11:Διάγραμμα μείωσης της υγρασίας των δειγμάτων σε θερμοκρασία ξήρανσης 80°C.

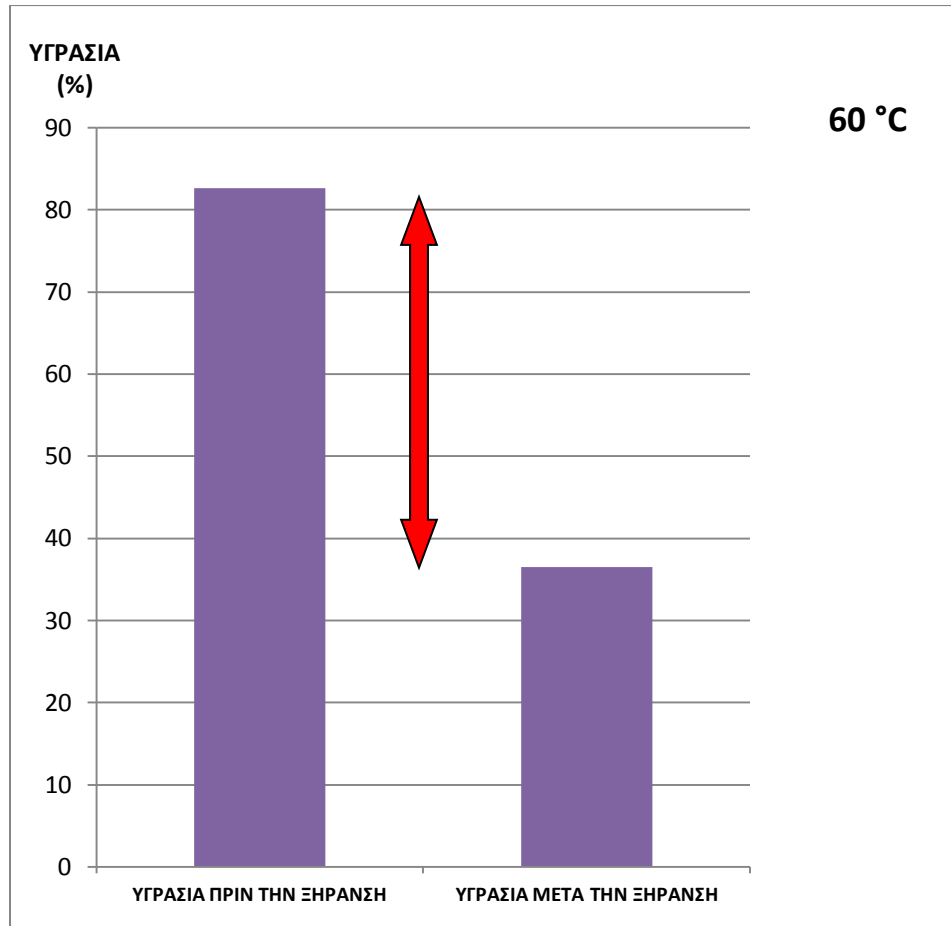
Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε την μείωση της υγρασίας των οργανικών απορριμμάτων με την πάροδο της ξήρανσης. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σύνδεση ανάμεσα στην πτώση υγρασίας και στην θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η ξήρανση. Συγκεκριμένα στους 80°C έχουμε την μεγαλύτερη μείωση στην υγρασίας καθώς η τελική υγρασία στα δείγματα που μελετήθηκαν είναι μικρότερη ενώ αυτή επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Η ταχύτητα του αέρα η οποία παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στην διεργασία της ξήρανσης δεν προσδιορίστηκε καθώς η κίνηση ήταν τυρβώδης στο εσωτερικό της συσκευής σε όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης.

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας πίνακας (πίνακας 12) με την αρχική και την τελική υγρασία των δειγμάτων τα οποία έχουν υποστεί ξήρανση για 8 ώρες σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (60, 70, 80 °C ) αλλά με αρχική μάζα νωπού υλικού ίση με 750gr.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΑΡΧΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΤΕΛΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)
60	82,67	36,50
70	84,06	11,73
80	92,53	18,65

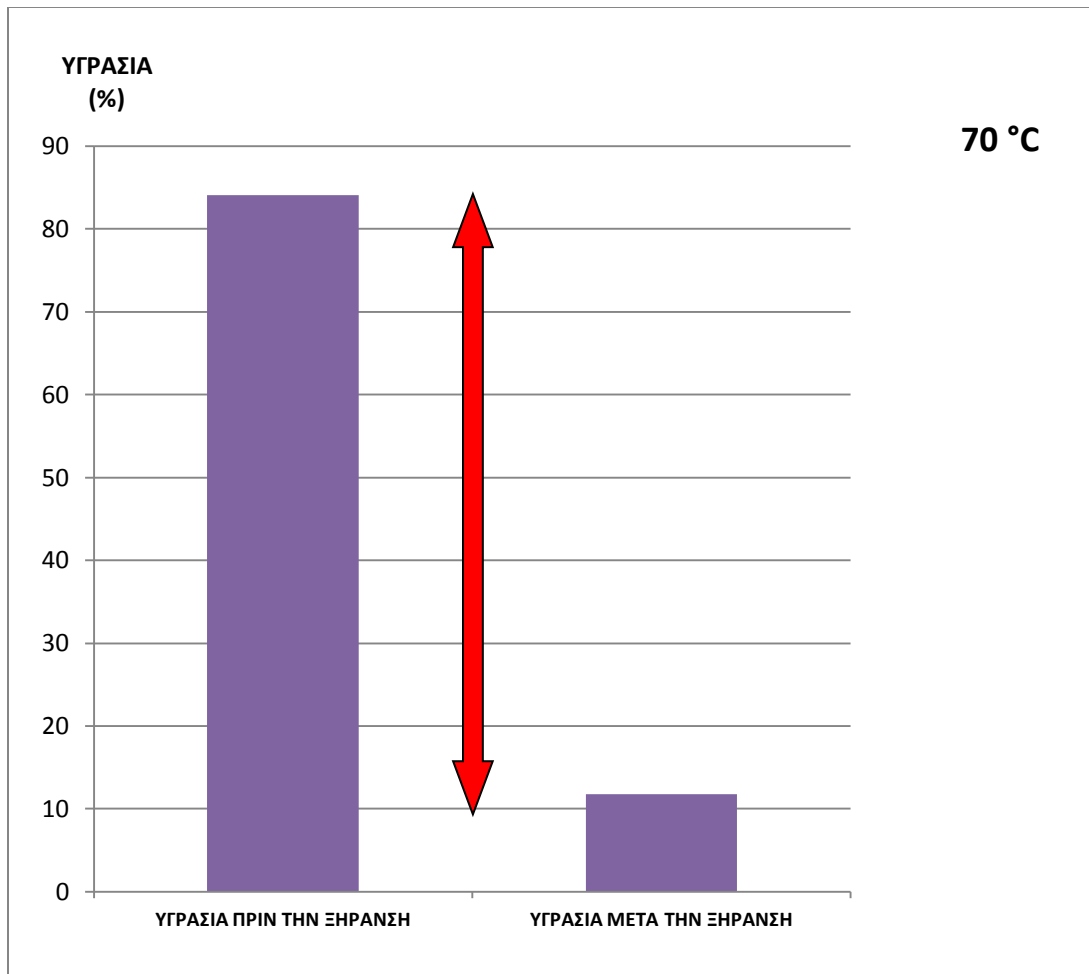
Πίνακας 12: Περιεχόμενη υγρασία στα δείγματα.

Στο διάγραμμα 12 παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 60°C και για ποσότητα 750 gr οργανικής ύλης



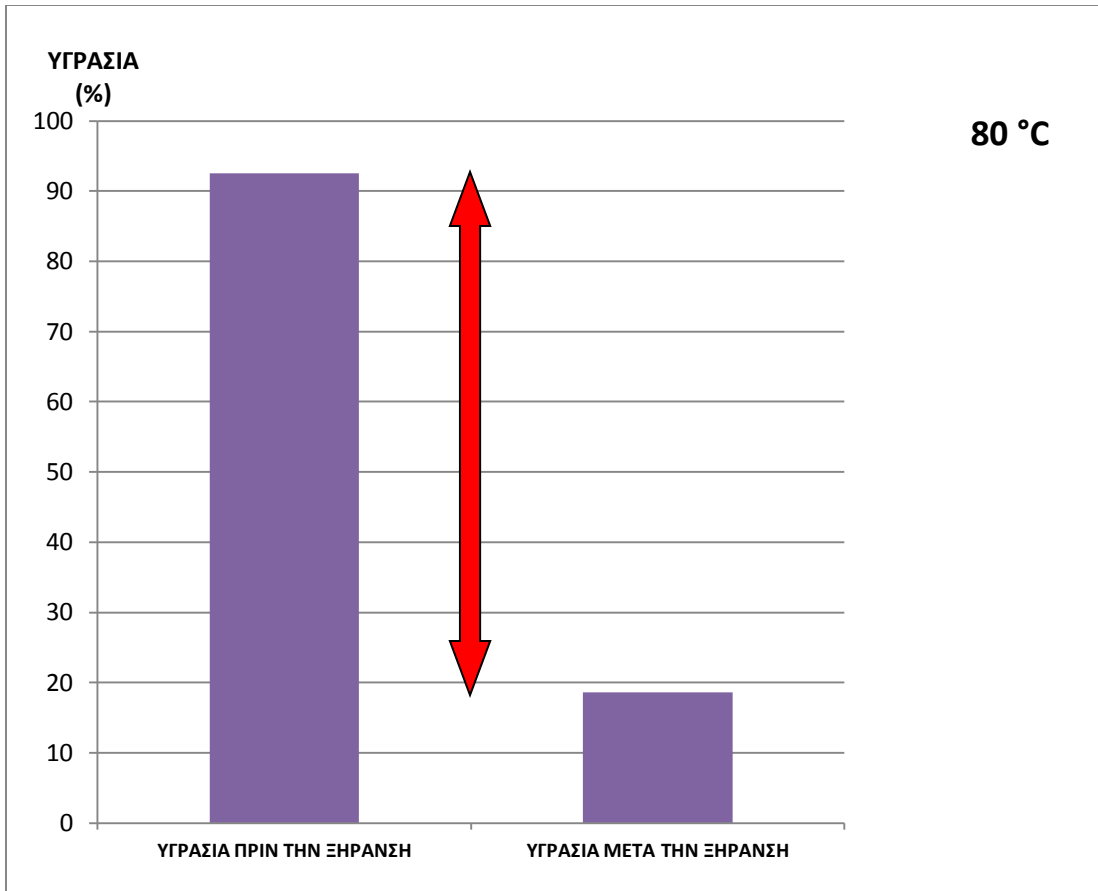
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 60°C

Στο διάγραμμα 13 παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 70°C και για μάζα οργανικής ύλης ίση με 750 gr.



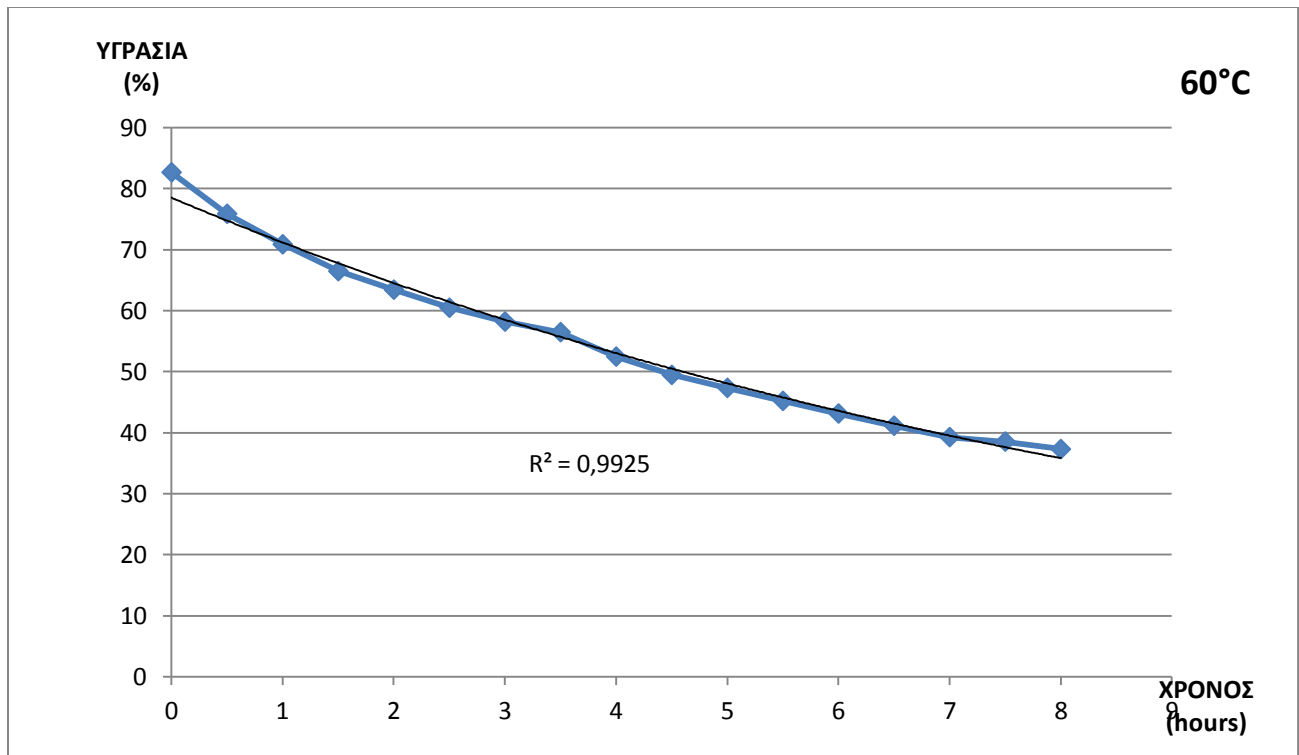
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 70°C.

Στο διάγραμμα 14 παρουσιάζεται η αρχική και τελική υγρασία πριν και μετά το πέρας της ξήρανσης για θερμοκρασία ξήρανσης 80°C και για ποσότητα 750 gr οργανικής ύλης

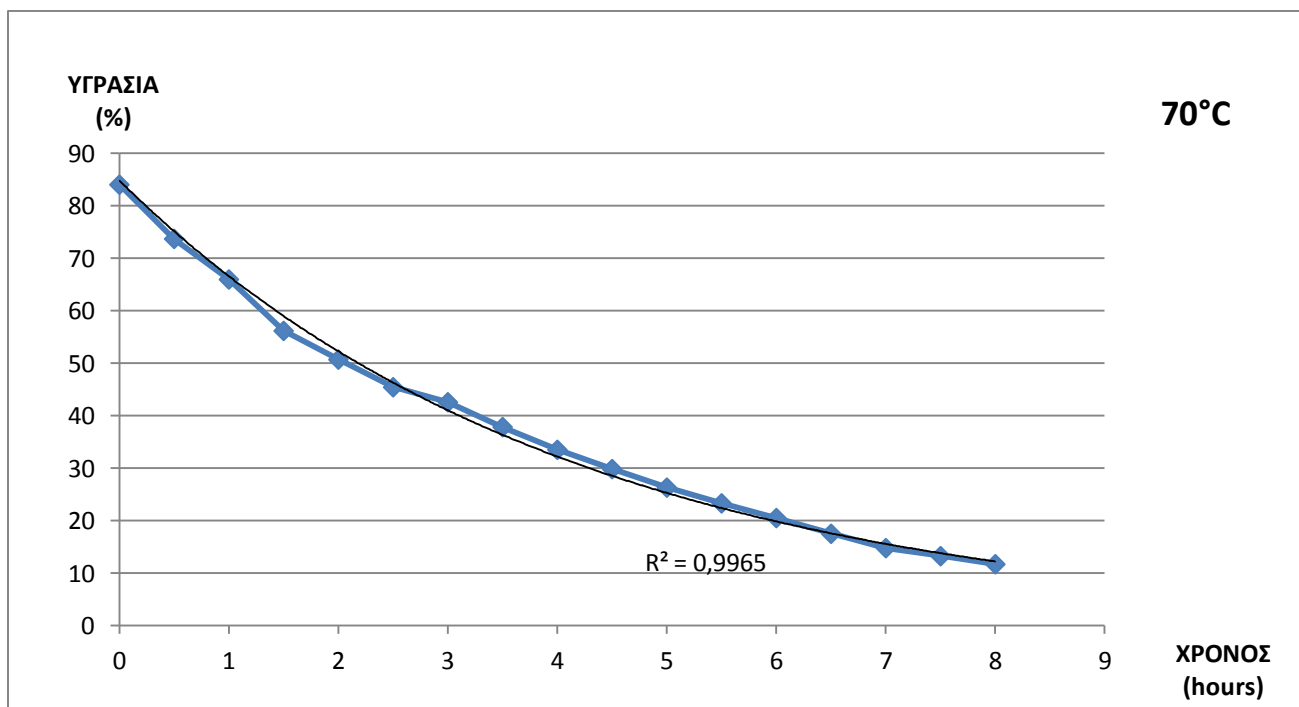


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14: Μεταβολή της υγρασίας του δείγματος με θερμοκρασία 80°C.

Ακολουθούν τα διαγράμματα (διαγράμματα 15,16 και 17) σταδιακής μείωσης της υγρασίας του δεύτερου κύκλου.

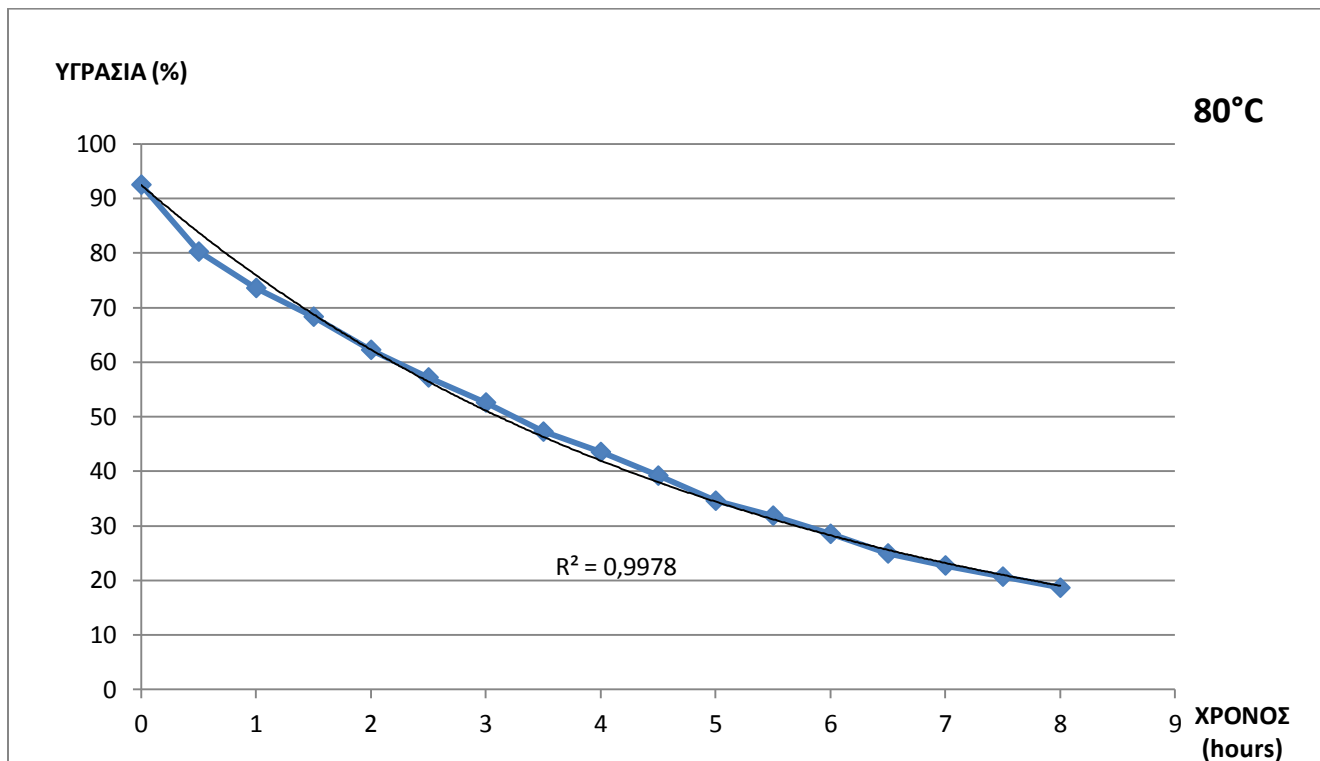


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 60°C



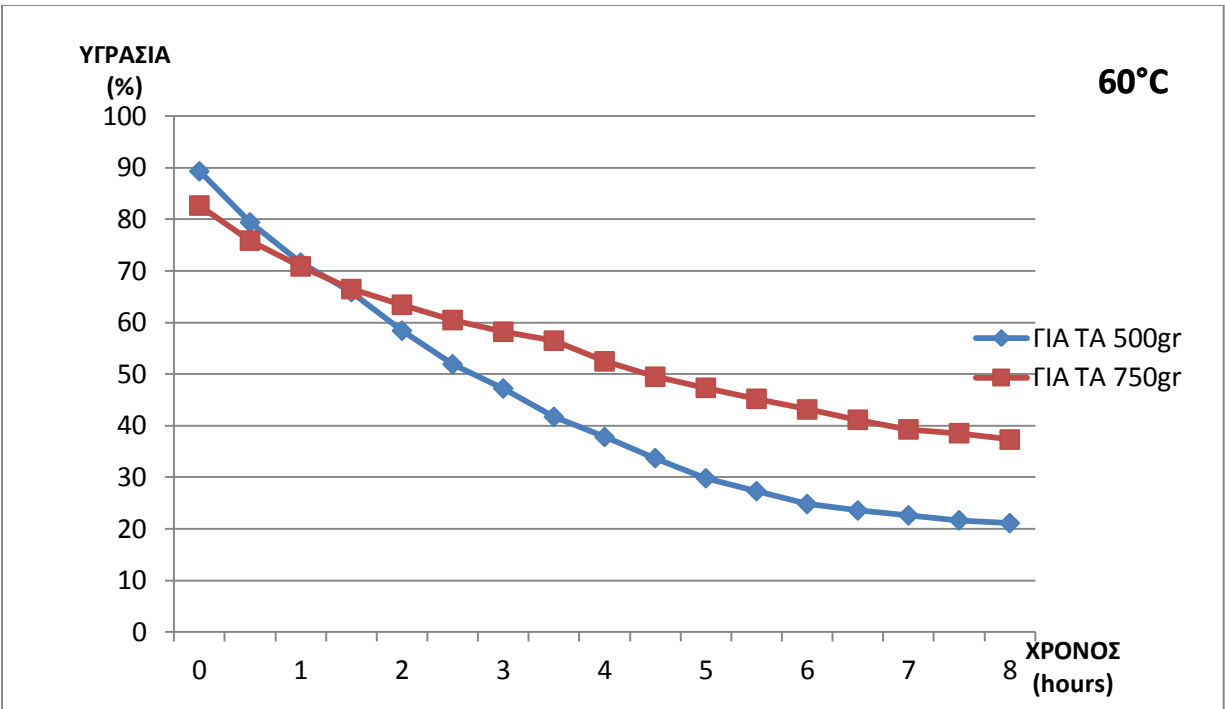
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 16: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 70°C.



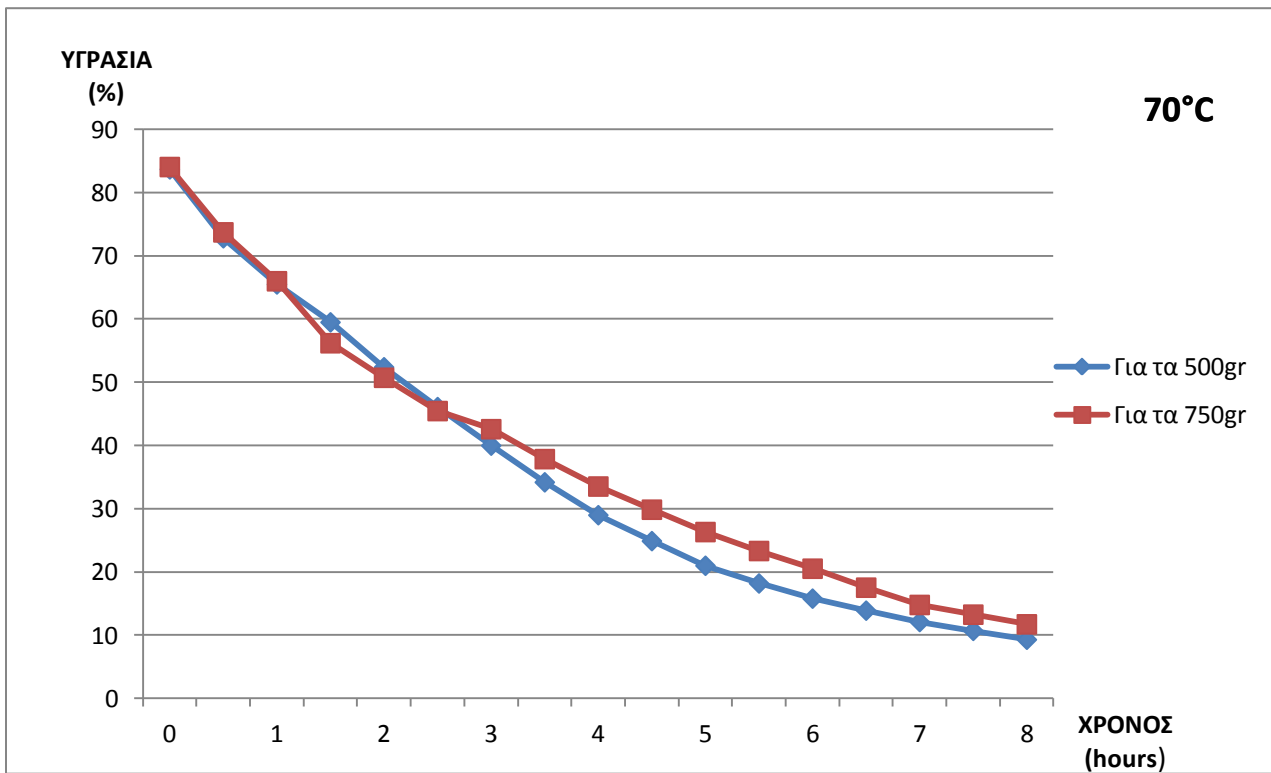


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 17: Σταδιακή μείωση της υγρασίας σε θερμοκρασία 80°C.

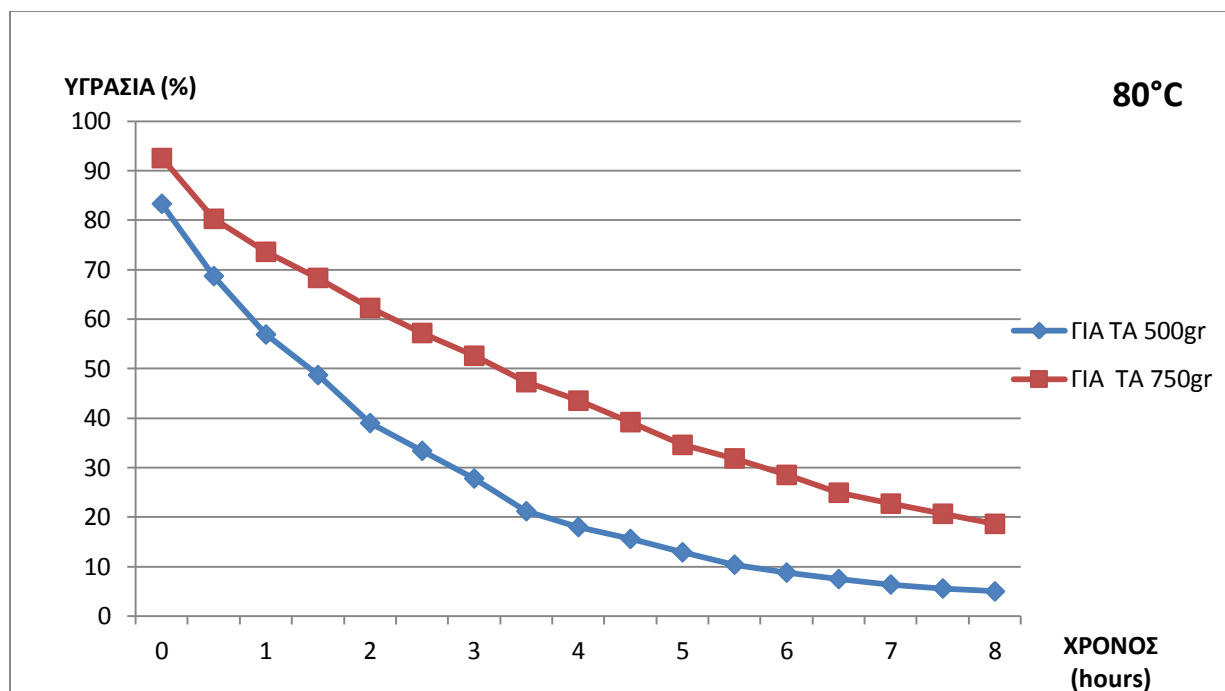
Στα συνδυαστικά γραφήματα 18,19 και 20 παρουσιάζεται η πτώση της υγρασίας όπως αυτή παρατηρήθηκε για την ίδια θερμοκρασία αλλά για τις δύο διαφορετικές νωπές μάζες που μελετήθηκαν.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 18: Πτώση υγρασίας στους 60°C και για τους δύο κύκλους πειραμάτων.



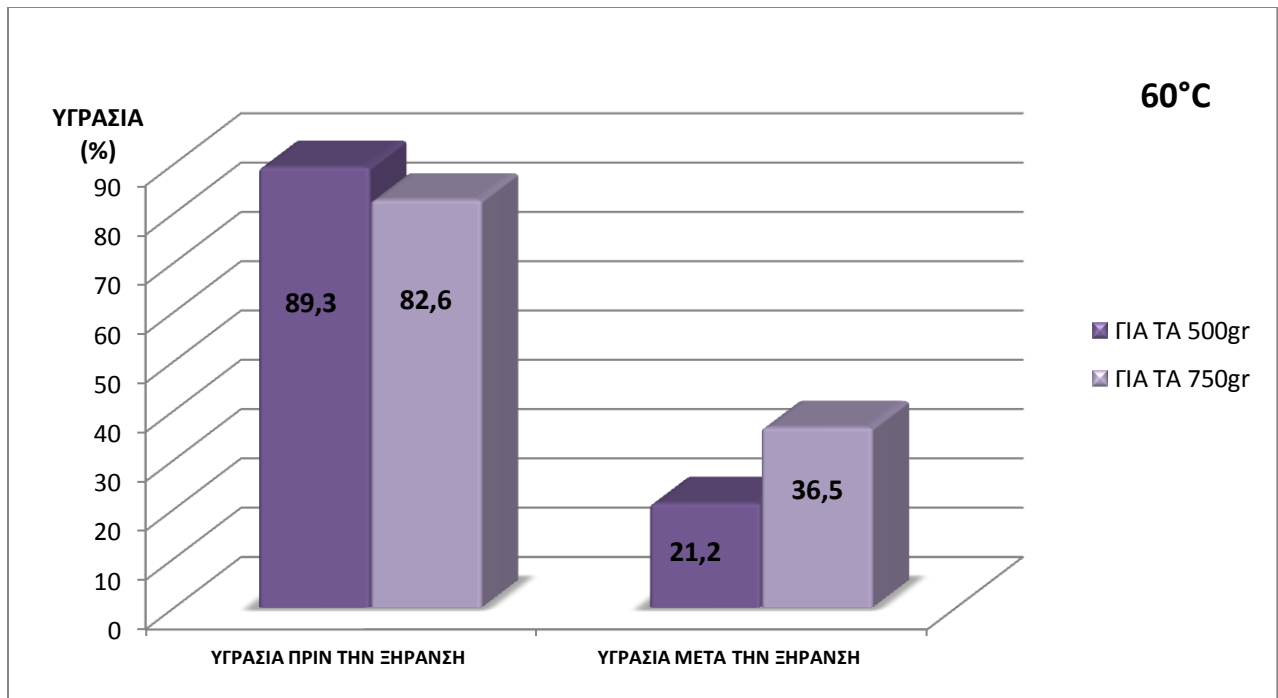
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 19: Πτώση υγρασίας στους 70°C και για τους δύο κύκλους.



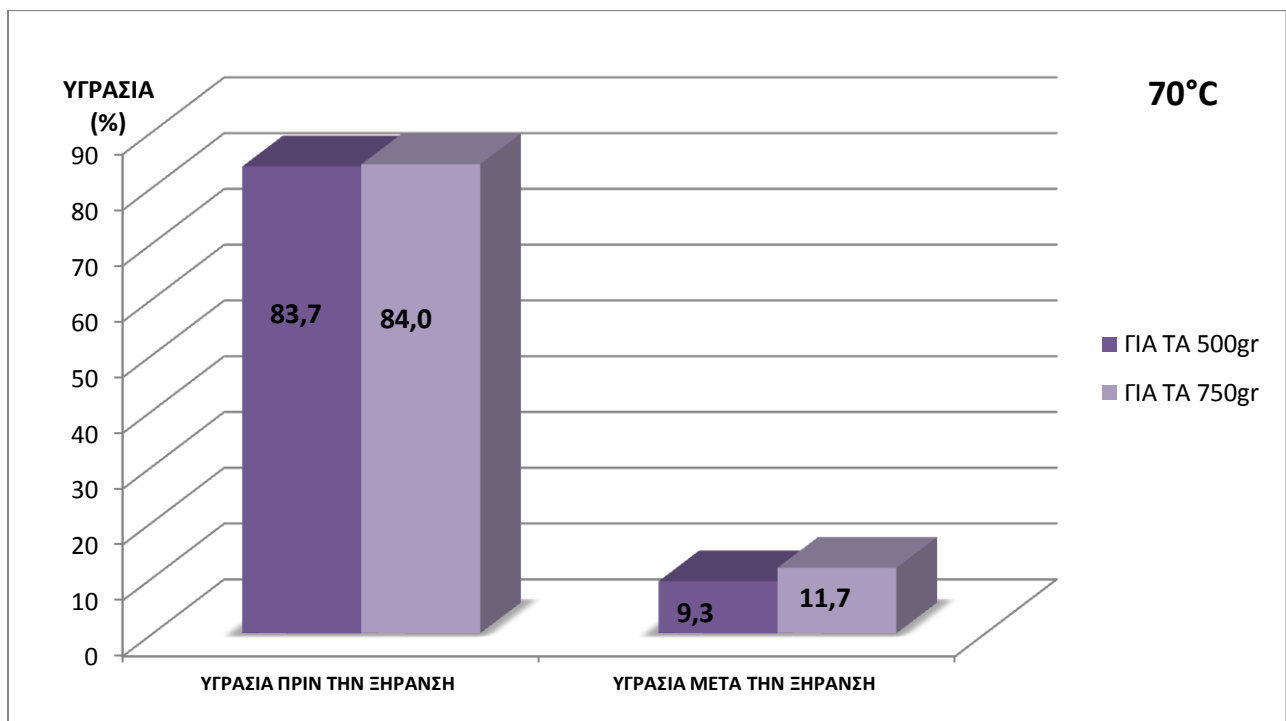
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 20: Πτώση υγρασίας στους 80°C και για τους δύο κύκλους.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι όσο μικρότερη είναι η μάζα των οικιακών οργανικών απορριμμάτων τα οποία τοποθετήσαμε στην συσκευή ξήρανσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της υγρασίας για τον ίδιο χρόνο ξήρανσης και στις 3 θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η καμπύλη πτώσης της υγρασίας είναι πιο απότομη στην περίπτωση που η νωπή μάζα μας ήταν 500gr σε σχέση με τα 750 gr. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι ο αέρας στο εσωτερικό της συσκευής δεν μπορούσε να κυκλοφορήσει το ίδιο αποδοτικά στην περίπτωση των 750 gr με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η διεργασία της ξήρανσης της νωπής μάζας στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης.

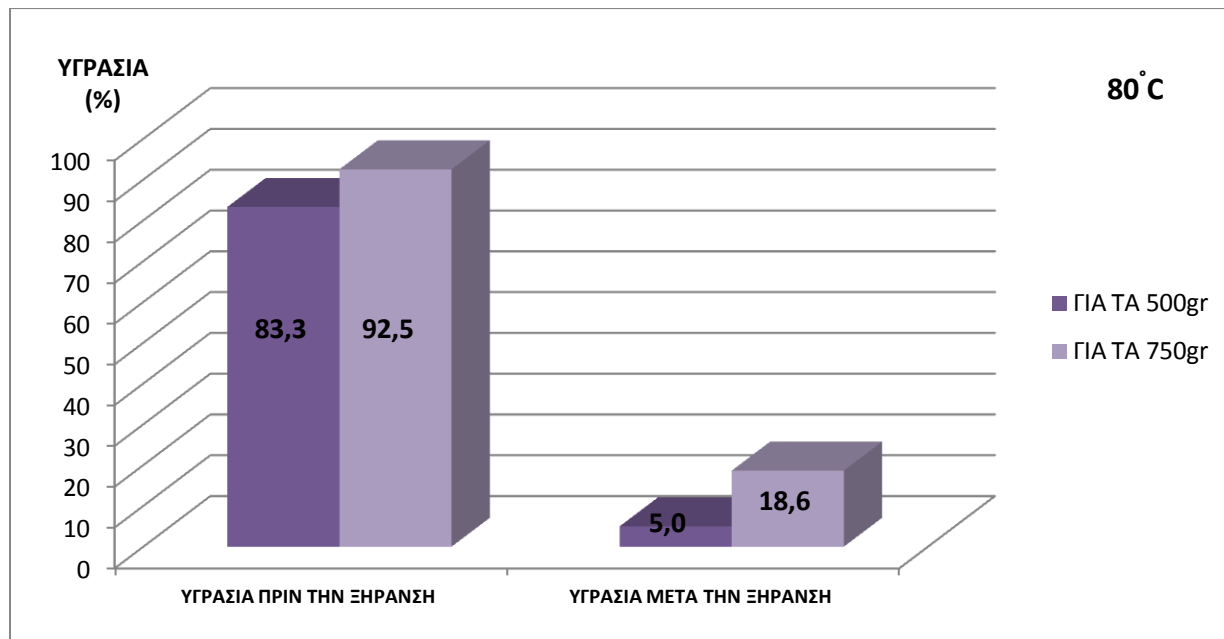
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι αρχικές και οι τελικές υγρασίες των δειγμάτων που μελετήθηκαν για τις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης που μελετήθηκαν (60, 70 και 80 °C) και για τους δύο κύκλους πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 21: Αρχική και τελική ξήρανση στους 60°C και για τους δύο κύκλους.



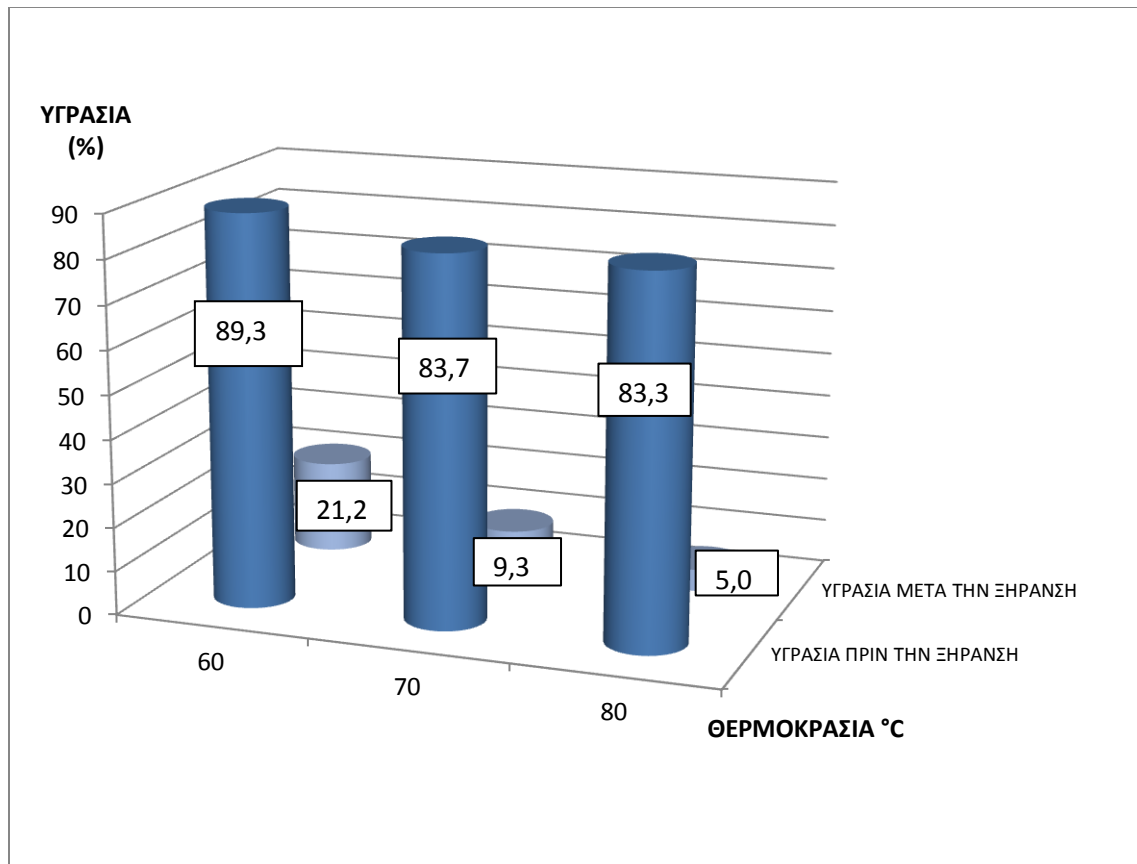
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 22: Αρχική και τελική ξήρανση στους 70°C και για τους δύο κύκλους.



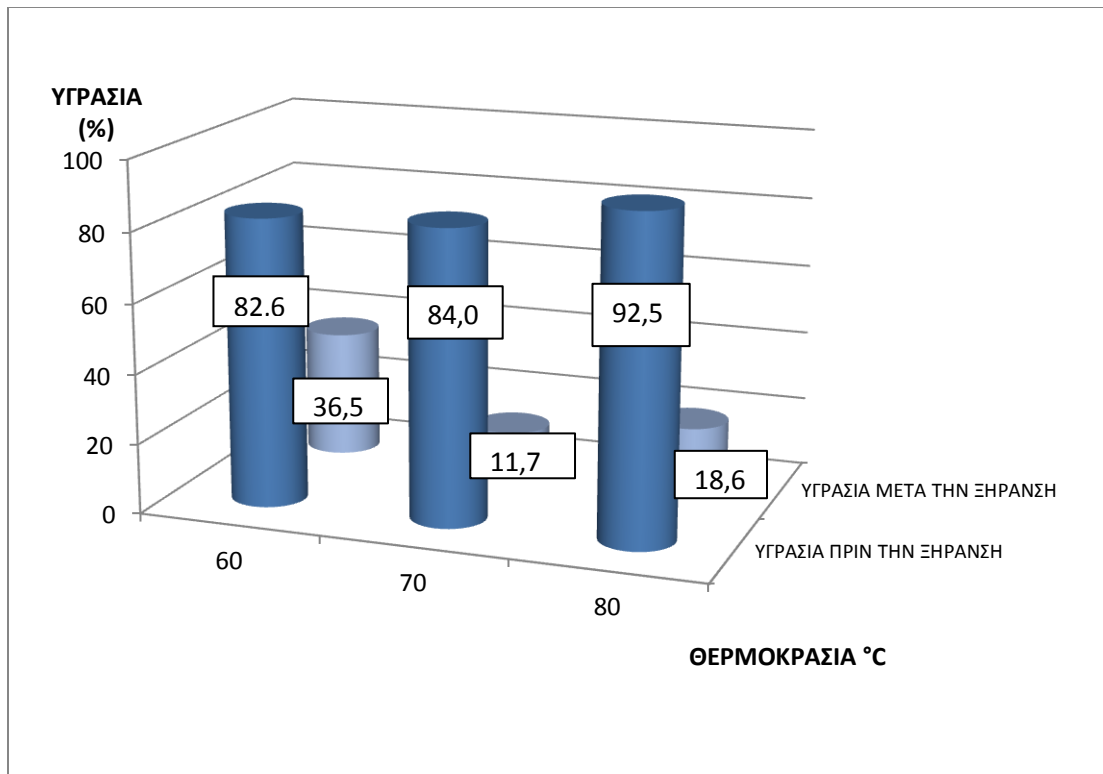
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 23: Αρχική και τελική ξήρανση στους 80°C και για τους δύο κύκλους.

Από τα τρία προηγούμενα ραβδογράμματα (ραβδογράμματα 21,22 και 23 ) προκύπτει ότι η τελική υγρασία του υλικού μετά το πέρας της διεργασίας της ξήρανσης στην πηγή είναι μικρότερη στην περίπτωση που η αρχική νωπή μάζα που τοποθετήθηκε στο εσωτερικό ήταν 500 γραμμάρια σχέση με τα 750 γραμμάρια όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης. Μάλιστα η μικρότερη τελική υγρασία παρατηρήθηκε στους 80°C.

Αυτό φαίνεται στα συγκεντρωτικά ραβδογράμματα 24 και 25 που ακολουθούν:



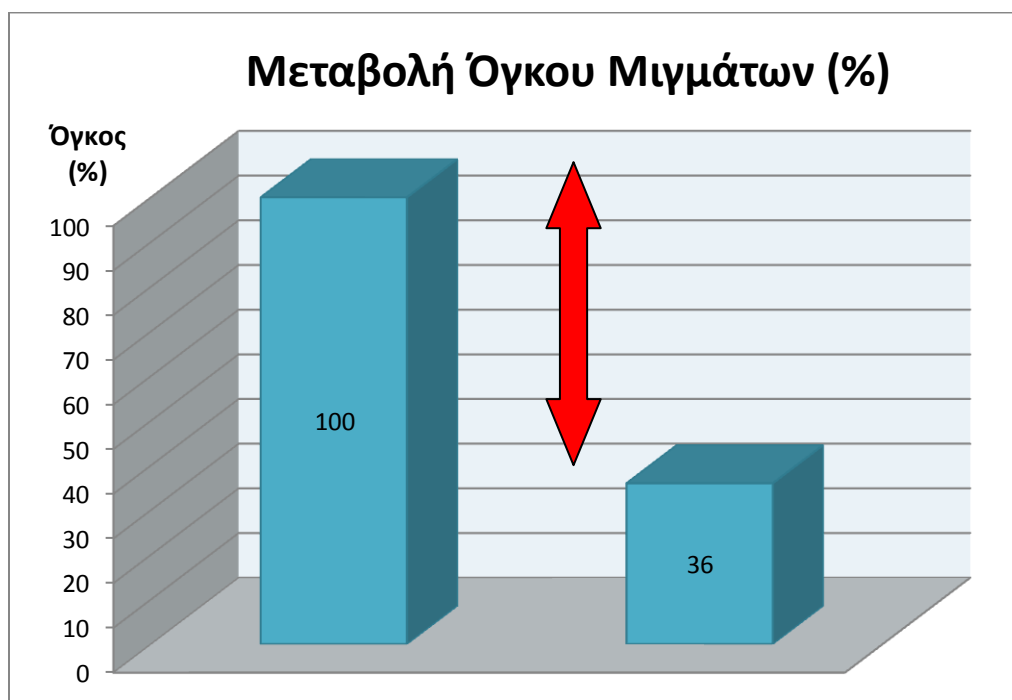
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 24: Μείωση της υγρασίας και για τις 3 θερμοκρασίες στον πρώτο κύκλο πειραμάτων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 25: Μείωση της υγρασίας και για τις 3 θερμοκρασίες στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων

### 7.1.3 Αποτελέσματα Μετρήσεων Όγκου.

Μια άλλη βασική παράμετρος που προσδιορίστηκε στην διάρκεια των διενεργηθέντων πειραμάτων, είναι η ελάττωση του όγκου των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Η ελάττωση του όγκου φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί και το οποίο παριστάνει τον μέσο όρο ελάττωσης του όγκου για όλα τα μίγματα που εξετάστηκαν.



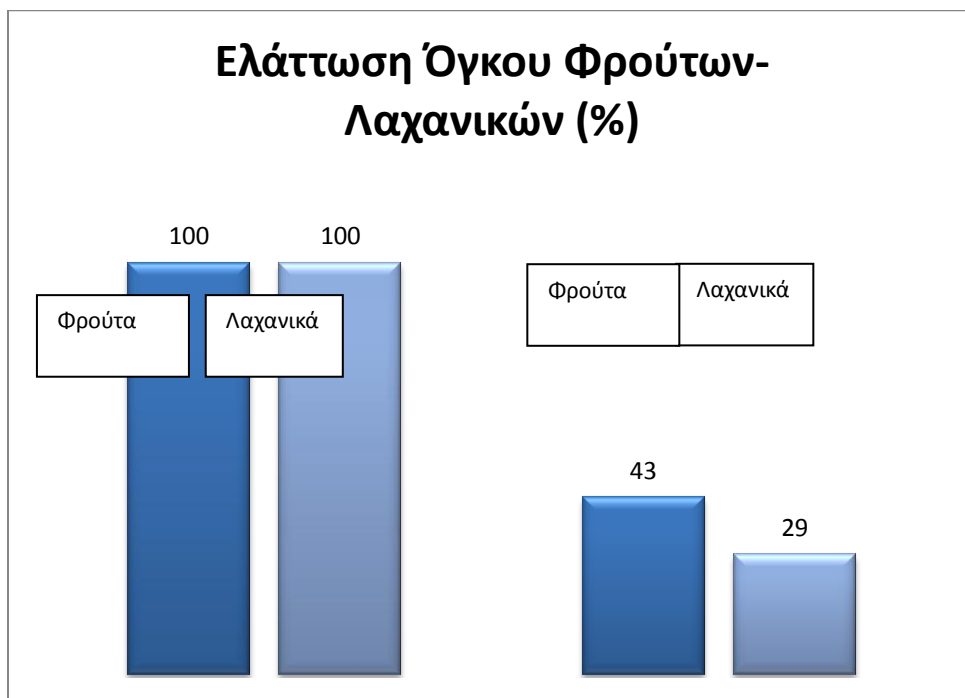
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 26:Μεταβολή (%) του όγκου μιγμάτων που εξετάστηκαν

Η ελάττωση του όγκου για τα χρησιμοποιηθέντα μίγματα όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι της τάξης του 64% ποσοστό το οποίο ήταν και αυτό με τη σειρά του σταθερό σε όλες τις θερμοκρασίες ξήρανσης δεδομένου το ότι η διεργασία της ξήρανσης έχει ολοκληρωθεί σε όλες τις περιπτώσεις (η ελάττωση της μάζας των οργανικών απορριμμάτων είναι μικρότερη του 4%).

Επιπλέον βρέθηκε από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ότι η μείωση του ολικού όγκου είναι μεγαλύτερη στα λαχανικά σε σχέση με τα φρούτα. Αυτό το γεγονός εξηγείται από το γεγονός ότι η υγρασία αφαιρείται ευκολότερα και γρηγορότερα από τα λαχανικά σε σχέση με τα φρούτα ενώ η εναπομείνουσα επιφάνεια μετά το πέρας της διεργασίας της ξήρανσης είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τα φρούτα. Ο μέσος όρος ελάττωσης του όγκου για τα



χρησιμοποιηθέντα υπολείμματα λαχανικών είναι της τάξης του 65% ενώ ο μέσος όρος ελάττωσης του όγκου των χρησιμοποιηθέντων φρούτων είναι της τάξης του 58%. Τα αποτελέσματα αυτά αποτυπώνονται στο γράφημα που ακολουθεί:

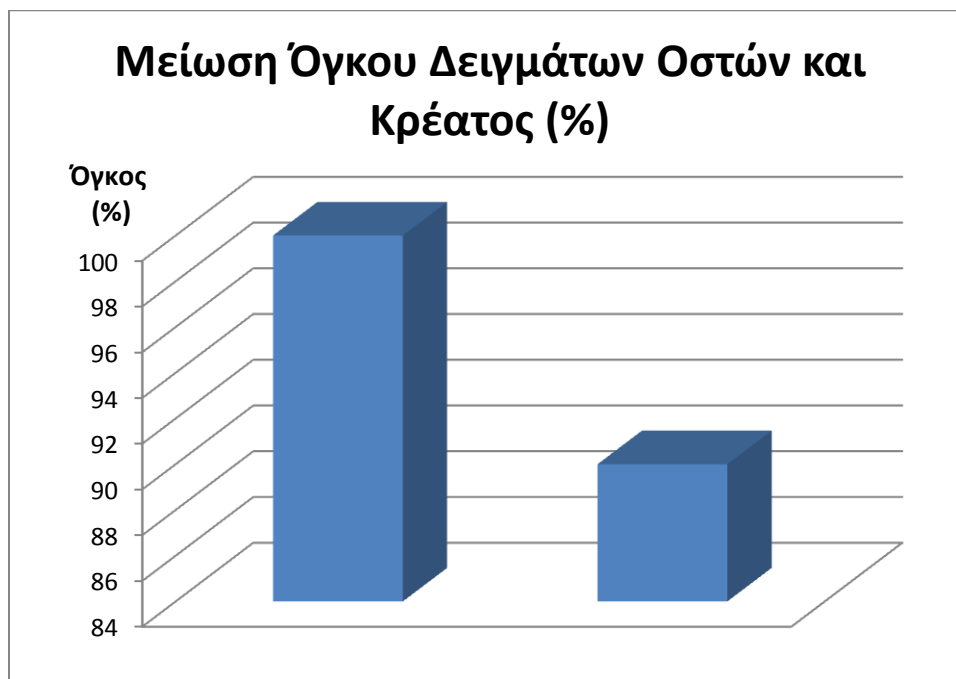


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 27: Μεταβολή όγκου φρούτων (αριστερά) και λαχανικών (δεξιά) (%)

Συνεπώς εκτιμάται ότι η συσκευή ξήρανσης μπορεί να προκαλέσει μείωση του όγκου των οικιακών οργανικών απορριμμάτων έως 57% στην περίπτωση που τα οργανικά μας απορρίμματα είναι μόνο φρούτα και έως 71% στην περίπτωση που τα οργανικά μας απορρίμματα είναι μόνο λαχανικά.

Σε αυτήν την περίπτωση όπως ακριβώς και στη περίπτωση της μείωσης της μάζας, το ποσοστό ελάττωσης του όγκου δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία ξήρανσης. Επιπλέον ο χρόνος στον οποίο επιτυγχάνεται ο τελικός όγκος του ξηρού υπολοίπου έχει άμεση σχέση με το αρχικό πάχος και μέγεθος του αρχικού υποβάθρου καθώς η απομάκρυνση της υγρασίας επιτυγχάνεται ευκολότερα σε λεπτά και μικρά σε μέγεθος υλικά με αποτέλεσμα να επέρχεται μεγαλύτερη συρρίκνωση του τελικού προϊόντος.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση του όγκου για τα κρέατα και τα κόκκαλα είναι αμελητέα σε σχέση με τα υπόλοιπα απορρίμματα. Συγκεκριμένα είναι της τάξης του 10% στο σύνολο των δειγμάτων οστών και κρέατος που μελετήθηκαν



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 28: Μείωση όγκου δειγμάτων οστών και κρέατος

#### 7.1.4 Αποτελέσματα Μετρήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης του Πρότυπου Συστήματος Οικιακής Ξήρασης

Σε όλη τη διάρκεια των δοκιμών, μετρούνταν σε συνεχή βάση η ενεργειακή κατανάλωση του πρότυπου συστήματος με τη χρήση συσκευής μέτρησης ενεργειακής κατανάλωσης.

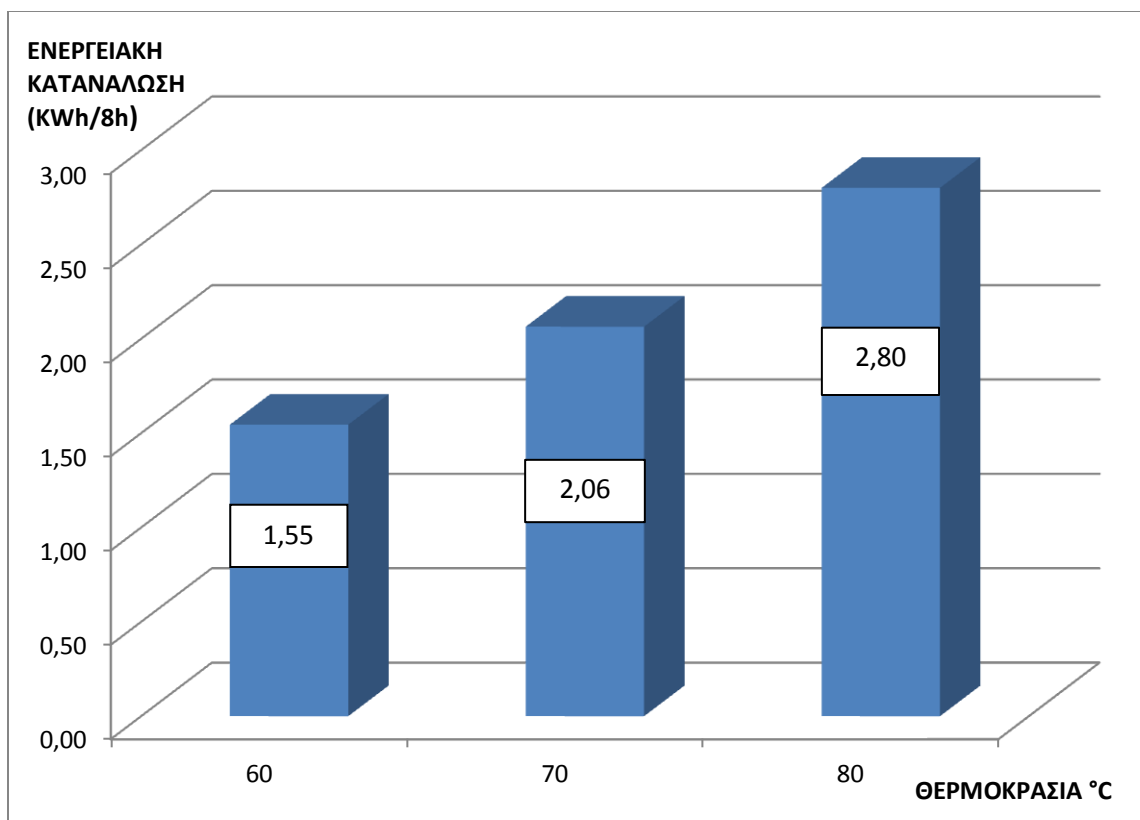
Η συσκευή λειτούργησε σε θερμοκρασίες 60-70-80°C. Πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις μέτρησης της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής για κάθε θερμοκρασία. Η μέση τιμή των μετρήσεων που αφορά τον πρώτο κύκλο (για νωπή μάζα 500 gr) όπως αυτή προσδιορίστηκε στις προαναφερθείσες θερμοκρασίες αναφέρεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/8h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/24h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/Μήνα(για 8ώρη λειτουργία)	Μηνιαίο Κόστος Λειτουργίας Συσκευής (ευρώ/μήνα)
<b>60</b>	1,55	4,65	46,5	3,2
<b>70</b>	2,06	6,18	61,8	4,3
<b>80</b>	2,80	8,40	84,0	5,8

Πίνακας 13: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης του πρώτου κύκλου πειραμάτων.

Για τον προσδιορισμό του κόστους λειτουργίας της συσκευής σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε τιμή KWhs σταθερή και ίση με την τρέχουσα τιμή που ισχύει για ένα μέσο νοικοκυριό η οποία θεωρήθηκε σταθερή και ίση με 0,071 ευρώ/KWh και για τετραμηνιαία κατανάλωση ρεύματος από 1001-1200 KWh.

Στο διάγραμμα 29 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής όπως αυτή προσδιορίστηκε στον πρώτο κύκλο πειραμάτων για τις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης που μελετήθηκαν.

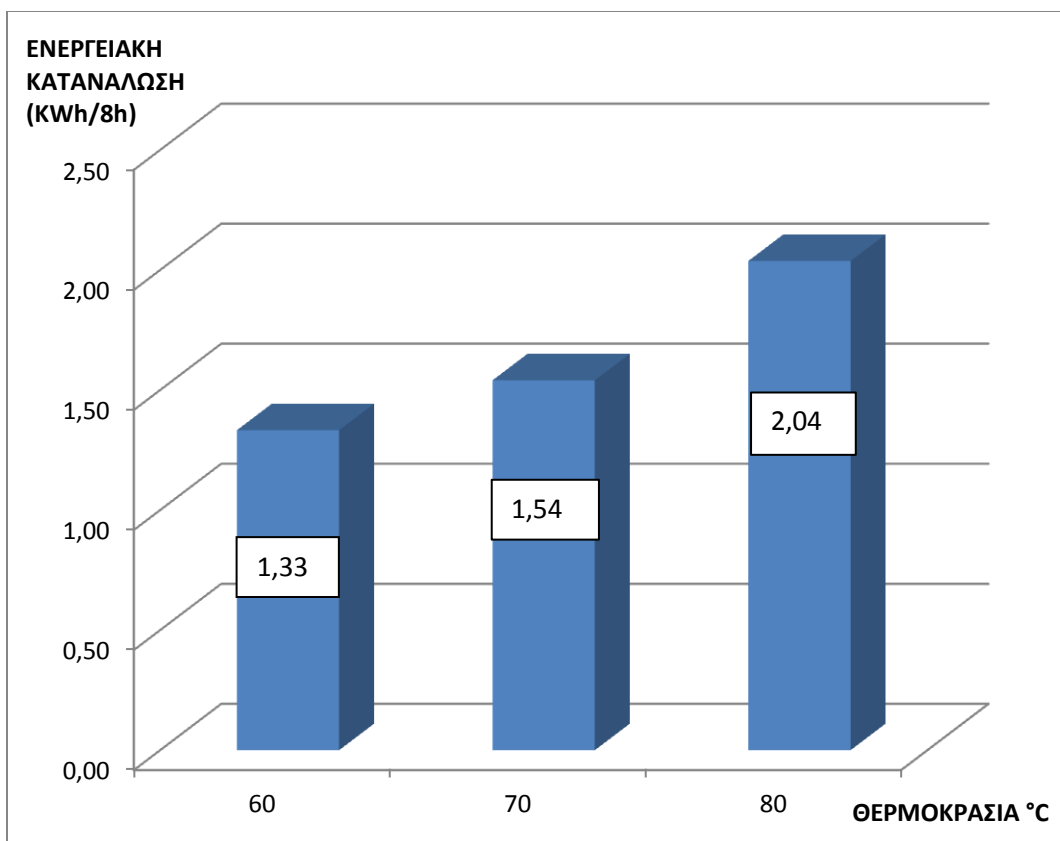


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 29: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) πρώτου κύκλου.

Ακολουθεί ο αντίστοιχος πίνακας (πίνακας 14) και το αντίστοιχο διάγραμμα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούν τον δεύτερο κύκλο πειραμάτων.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/8h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/24h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/Μήνα	Μηνιαίο Κόστος Λειτουργίας Συσκευής (ευρώ/μήνα)
60	1,33	3,99	39,9	2,79
70	1,54	4,62	46,2	3,23
80	2,04	6,12	61,2	4,28

Πίνακας 14: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης του δεύτερου κύκλου.

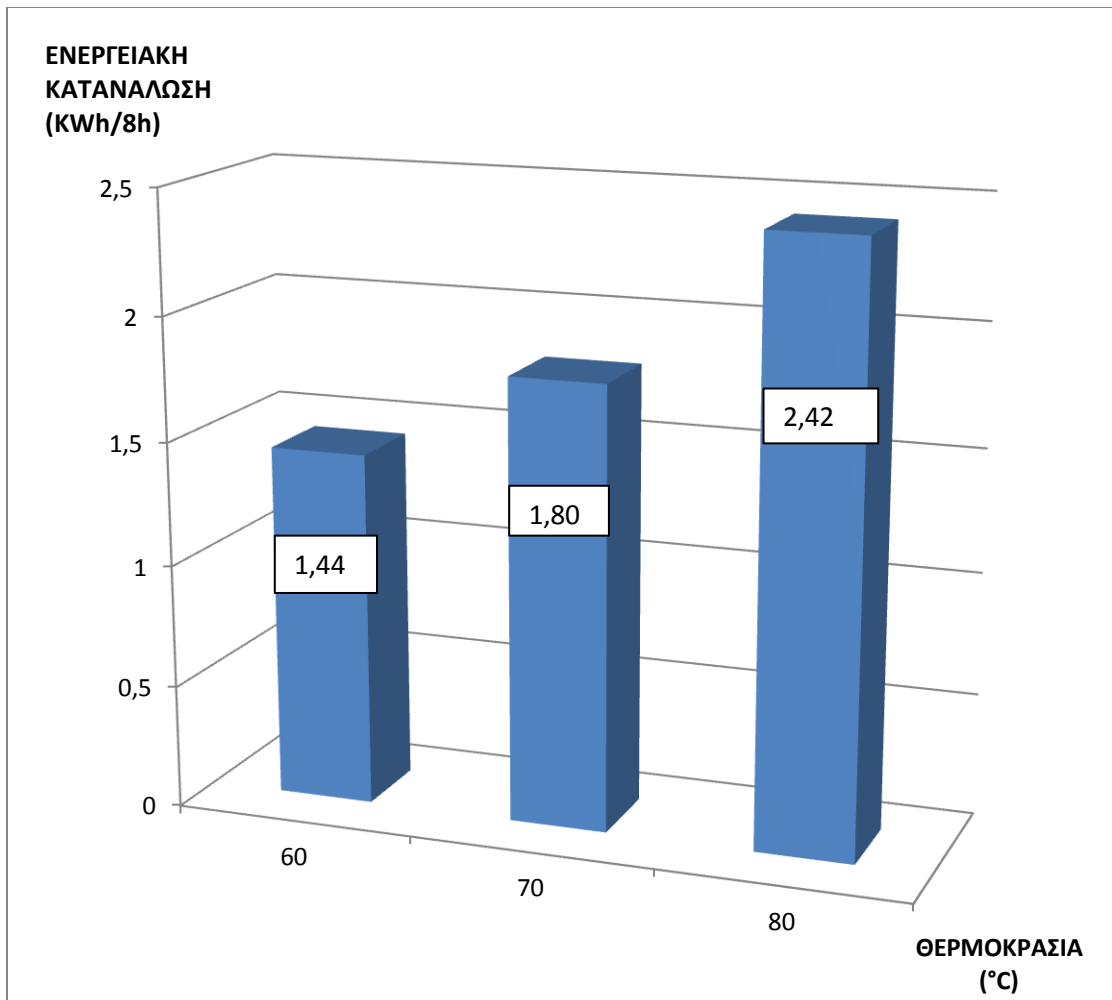


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 30: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) δεύτερου κύκλου.

Από τα δεδομένα των δυο πινάκων γίνεται κατανοητό ότι η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής μειώνεται όσο μειώνεται η θερμοκρασία ξήρανσης. Επιπλέον όσες περισσότερες ώρες βρίσκεται σε λειτουργία, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της συσκευής. Η μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση εμφανίζεται και στους δύο κύκλους στους 80°C.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ °C	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/8h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/24h	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ KWh/Μήνα	Μηνιαίο Κόστος Λειτουργίας Συσκευής (ευρώ/μήνα)
60	1,44	4,32	43,2	3,0
70	1,80	5,40	54,0	3,7
80	2,42	7,26	72,6	5,0

Πίνακας 15: Αποτελέσματα μετρήσεων ενεργειακής κατανάλωσης και των δύο κύκλων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 31: Ενεργειακή κατανάλωση (KWh/8h) και των δύο κύκλων.

### 7.1.5 Εκτίμηση της Περιβαλλοντικής βιωσιμότητας του συστήματος

Σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής προκειμένου να γίνει μια πρώτη εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα έχει η λειτουργία της σε ένα μέσο Ελληνικό νοικοκυριό με βάση τους παραγόμενους ρύπους από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται οι εκπομπές αερίων από ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο λιθάνθρακα στην Ελλάδα

<b>Εκπομπές ρύπων από την ηλεκτροπαραγωγή με λιθάνθρακα</b>		
<b>Εκπομπές ρύπων</b>	<b>Τόνοι ανά έτος (t/y)</b>	<b>Γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (g/kWh)</b>
Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	3.226.750	834
Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO <sub>2</sub> )	3.610	0,93
Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	6.480	1,67
Εκπομπές σωματιδίων (TSP) <i>εκ των οποίων</i>	540	0,14
- Εκπομπές μικροσωματιδίων PM <sub>10</sub>	380	0,10
- Εκπομπές μικροσωματιδίων PM <sub>2,5</sub>	270	0,07
<b>Αέριες εκπομπές τοξικών μετάλλων</b>	<b>Κιλά ανά έτος (Kg/y)</b>	<b>Μιλιγραμμάρια ανά κιλοβατώρα (mg/kWh)</b>
Εκπομπές υδραργύρου	10,5	0,0027
Εκπομπές καδμίου	7,75	0,0020
Εκπομπές αρσενικού	205	0,0530

Πίνακας 16: Εκπεμπόμενοι ρύποι από εργοστάσιο παραγωγής λιθάνθρακα στην Ελλάδα

Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα και από τα δεδομένα της ενεργειακής κατανάλωσης της συσκευής, προσδιορίστηκαν οι εκπομπές ρύπων και αερίων τοξικών μετάλλων οι οποίες εκτιμάται ότι μπορούν να προέλθουν από την χρήση της συσκευής στην Ελλάδα μέσω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την ξήρανση, σε ένα μέσο νοικοκυριό με τετραμηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος 1001-1200 kWh και με πάροχο ενέργειας ο οποίος χρησιμοποιεί λιθάνθρακα για την ηλεκτροπαραγωγή. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

---

**Εκπομπές ρύπων από την ηλεκτροπαραγωγή με λιθάνθρακα**

---

Εκπομπές ρύπων	Γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (g/kWh)	Γραμμάρια ανά κιλοβατώρα (g/kWh) (οφειλόμενα στην συσκευή ξήρανσης) σε όλες τις μελετηθείς θερμοκρασίες
<b>Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)</b>	834	60-10808 70-13510 80-22668
<b>Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>)</b>	0,93	60 -120,52 70 -150,60 80 -202,54
<b>Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>)</b>	1,67	60 -216,43 70 -270,54 80 -363,72
<b>Αέριες εκπομπές τοξικών μετάλλων</b>	<b>Μιλιγραμμάρια ανά κιλοβατώρα (mg/kWh)</b>	
<b>Εκπομπές υδραργύρου</b>	0,0027	60 -0,349 70 -0,437 80 -0,588
<b>Εκπομπές καδμίου</b>	0,0020	60-0,259 70 -0,324 80-0,435
<b>Εκπομπές αρσενικού</b>	0,0530	60 -6,868 70 -8,586 80 -11,54

---

Πίνακας 17: Έκλυση ρύπων μέσω της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος της συσκευής οικιακής ξήρανσης



-όπου οι τιμές 129,6 162 217,8 αναφέρονται σε ενεργειακή κατανάλωση που αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 60,70,80 βαθμών αντίστοιχα

Σύμφωνα με στοιχεία της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, οι ειδικές εκπομπές συμβατικών ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα από νέες λιθανθρακικές μονάδες και νέες λιγνιτικές σε σύγκριση με υφιστάμενες λιγνιτικές ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας (KWh) θα είναι:

	<b>Υφιστάμενη λιγνιτική</b>	<b>Νέα λιγνιτική με υπερσύγχρονη τεχνολογία</b>	<b>Νέα ανθρακική με υπερσύγχρονη τεχνολογία</b>
<b>Οξείδια του αζώτου NOx (g/KWh)</b>	2,3	0,7	0,6
<b>Διοξείδιο του θείου SO<sub>2</sub> (g/KWh)</b>	2,8	0,5	0,4
<b>Σωματίδια PM (g/KWh)</b>	1,0	0,1	0,06
<b>Διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> (g/KWh)</b>	1390	950	750

Πίνακας 18: Ειδικές εκπομπές συμβατικών ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα των μελλοντικών μονάδων της ΔΕΗ Α.Ε.

	<b>Υφιστάμενη λιγνιτική</b>	<b>Νέα λιγνιτική</b>	<b>Νέα ανθρακική</b>
<b>Οξείδια του αζώτου NOx (g/KWh)</b>	60-298,0 70-372,6 80-500,9	60-90,72 70-113,4 80-152,4	60-77,76 70-97,2 80-130,6
<b>Διοξείδιο του θειού SO<sub>2</sub> (g/KWh)</b>	60-362,8 70-453,6 80-609,8	60-64,8 70-81 80-108,9	60-51,84 70-64,8 80-87,12
<b>Σωματίδια PM (g/KWh)</b>	60-129,6 70-162 80-217,8	60-12,69 70-16,2 80-21,87	60-7,77 70-9,72 80-13,06
<b>Διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> (g/KWh)</b>	60-18014 70-22518 80-30274	60-12312 70-15390 80-20691	60-97200 70-121500 80-163350

Πίνακας 19: Εκτιμώμενοι παραγόμενοι ρύποι από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της συσκευής με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε. για τις νέες μονάδες.

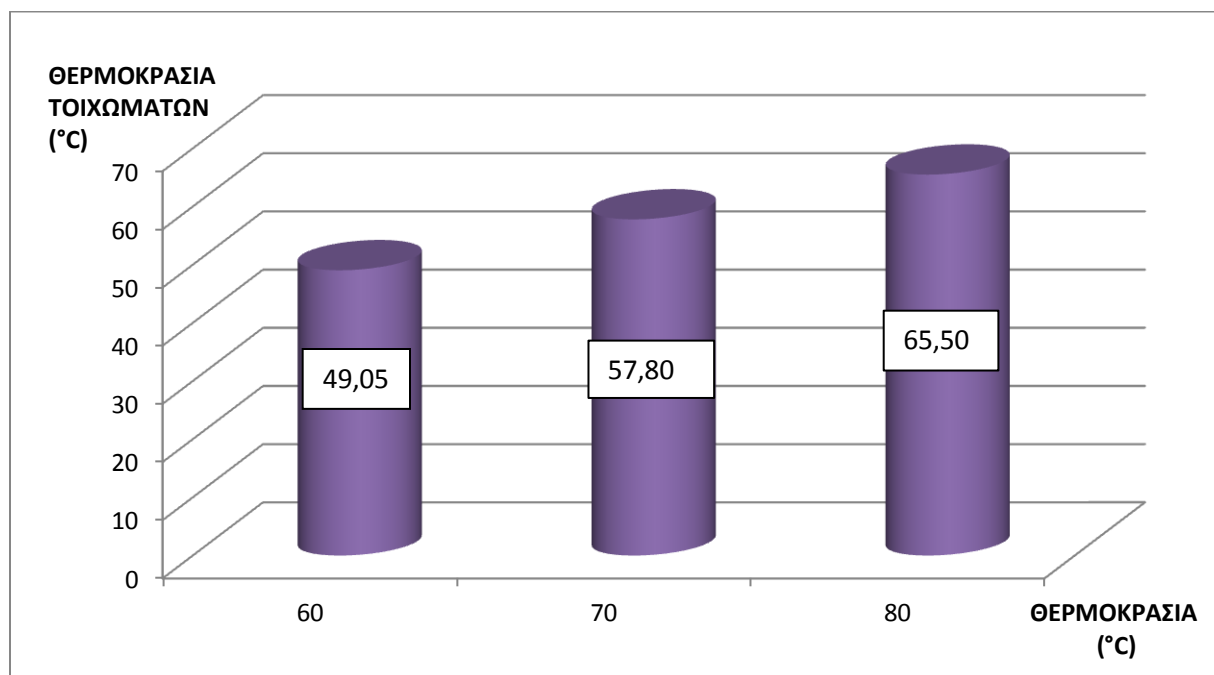
### 7.1.6 Αποτελέσματα Καταγραφής Δεδομένων Μέτρησης Θερμοκρασίας των μηχανικών μερών του πρότυπου συστήματος με τη χρήση θερμομέτρου (IR)

Στον πίνακα 20 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των ενδείξεων του θερμομέτρου υπερύθρων (IR) όπως αυτές ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των πειραματικών αναλύσεων για το εξωτερικό τοίχωμα της συσκευής ξήρανσης καθώς επίσης και για το καπάκι της συσκευής. Οι παρακάτω τιμές αναφέρονται στον πρώτο κύκλο πειραμάτων για μάζα υλικού ξήρανσης ίση με 500 gr.

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία Εξωτερικού Τοιχώματος (°C)
60	49,05
70	57,8
80	65,5

Πίνακας 20: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του πρώτου κύκλου πειραμάτων.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται και διαγραμματικά στο ραβδόγραμμα 32 που ακολουθεί:



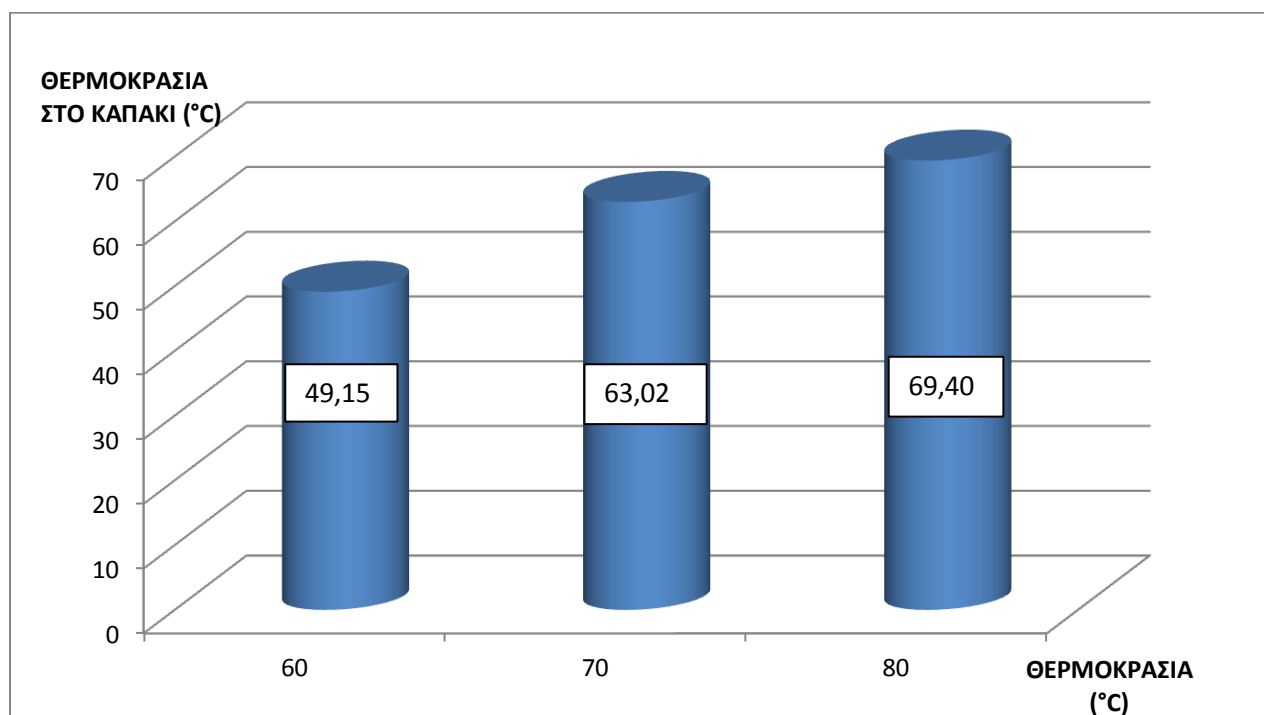
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 32: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος.

Στον πίνακα 21 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες όπως αυτές μετρήθηκαν με τη βοήθεια του θερμομέτρου (IR) στο επάνω μέρος της συσκευής ξήρανσης (καπάκι)

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία στο καπάκι (°C)
60	49,15
70	63,02
80	69,40

Πίνακας 21: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

Όμοια τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται και διαγραμματικά στο ραβδόγραμμα 33 που ακολουθεί:



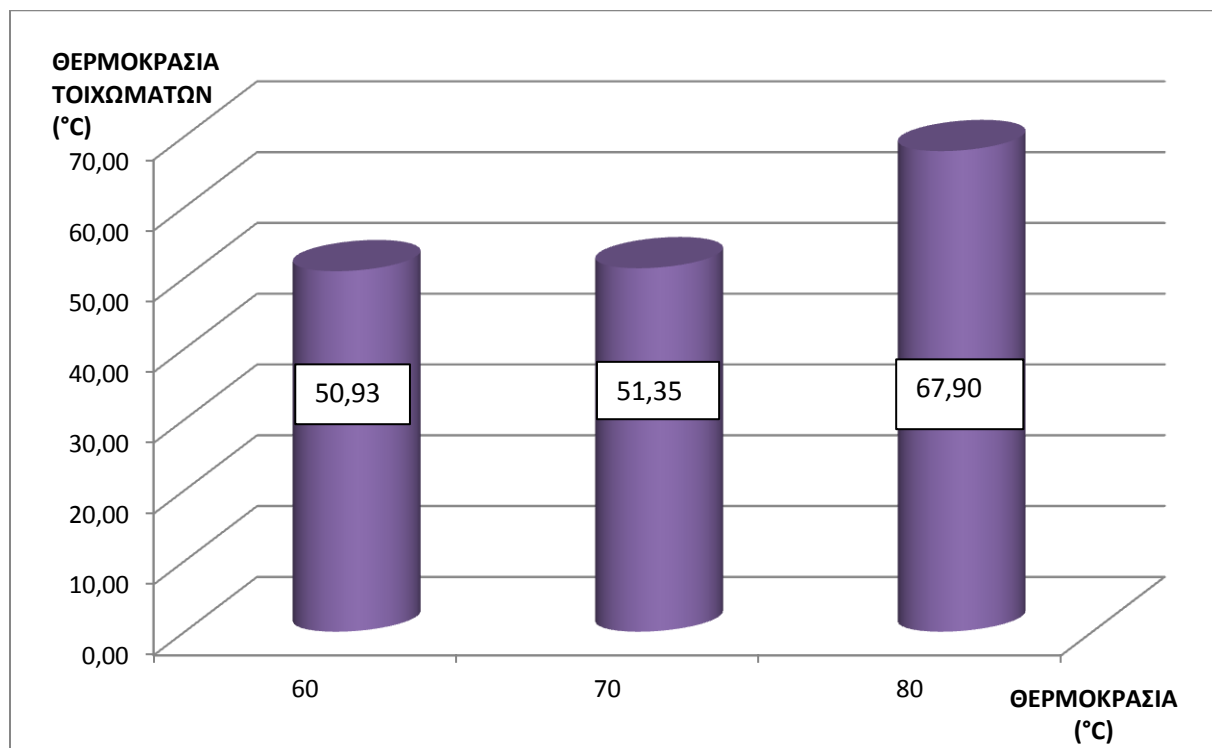
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 33: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος.

Ακολουθούν οι τιμές του δεύτερου κύκλου πειραμάτων για νωπή μάζα 750gr για το εξωτερικό τοίχωμα της συσκευής ξήρανσης.

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία Εξωτερικού Τοιχώματος (°C)
60	50,93
70	51,35
80	67,90

Πίνακας 22: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του δεύτερου κύκλου πειραμάτων.

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα συνοψίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



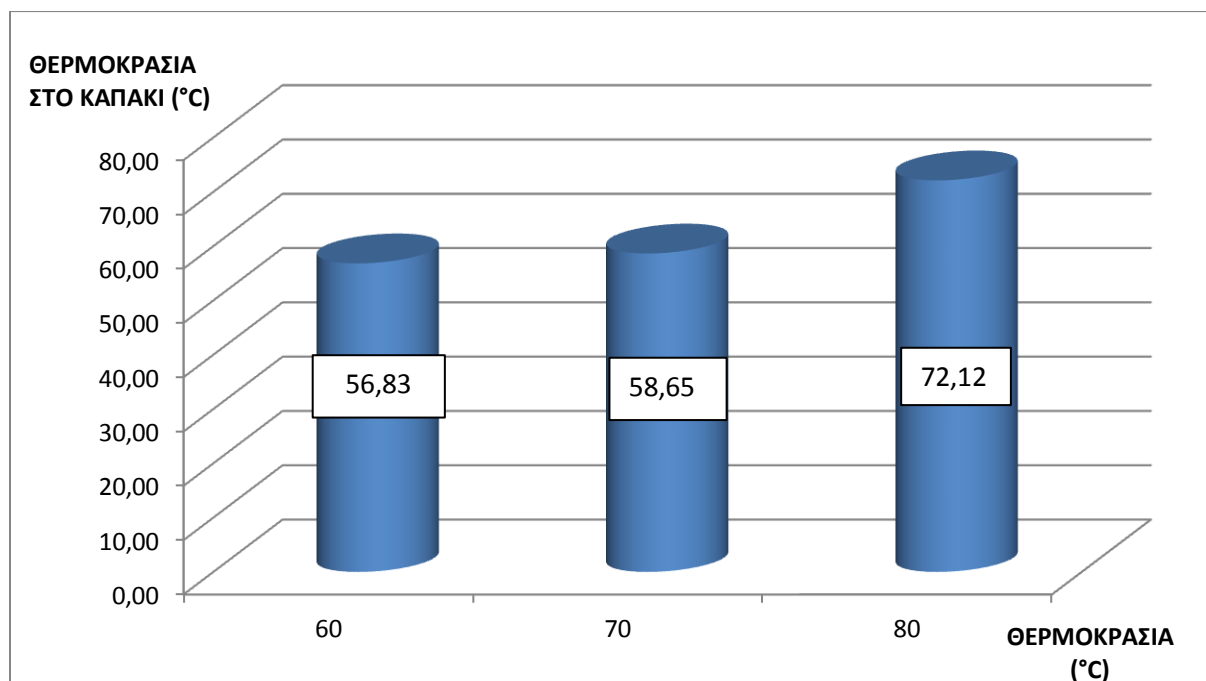
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 34: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες όπως αυτές μετρήθηκαν με τη βοήθεια του θερμομέτρου (IR) στο επάνω μέρος της συσκευής ξήρανσης (καπάκι)

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία στο καπάκι (°C)
60	56,83
70	58,65
80	72,12

Πίνακας 23: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του επάνω μέρους της συσκευής για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας του δεύτερου κύκλου πειραμάτων.

Όμοια τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα συνοψίζονται στο διάγραμμα 35 που ακολουθεί



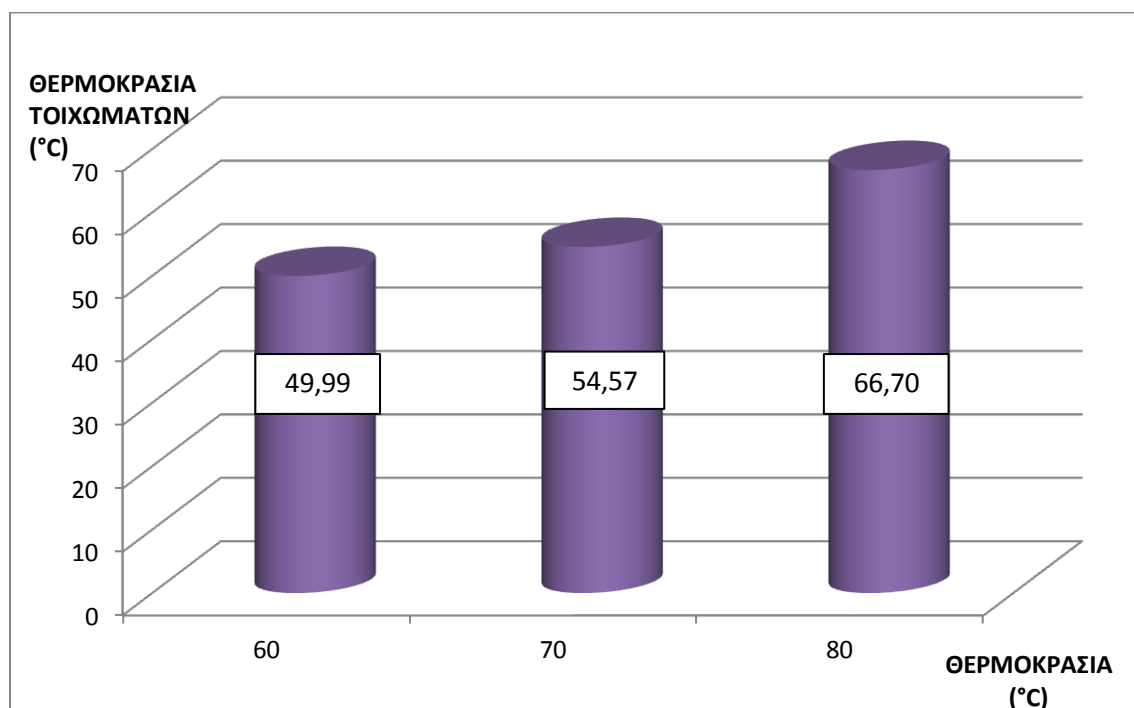
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 35: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος.

Από τα γραφήματα και των δύο κύκλων παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν τόσο στα τοιχώματα του ξηραντήρα όσο και στο πώμα του δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλές. Η αίσθηση που δίνονταν μέσω της αφής ήταν ενός θερμού αντικείμενου το οποίο όμως δεν προκαλεί οποιαδήποτε βλάβη ή έγκαυμα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνδυαστικοί πίνακες για τους δύο κύκλους όπου παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εξωτερικού τοιχώματος και οι θερμοκρασίες στο καπάκι μαζί με τα αντίστοιχα διαγράμματα τους.

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία Εξωτερικού Τοιχώματος (°C)
60	49,99
70	54,57
80	66,70

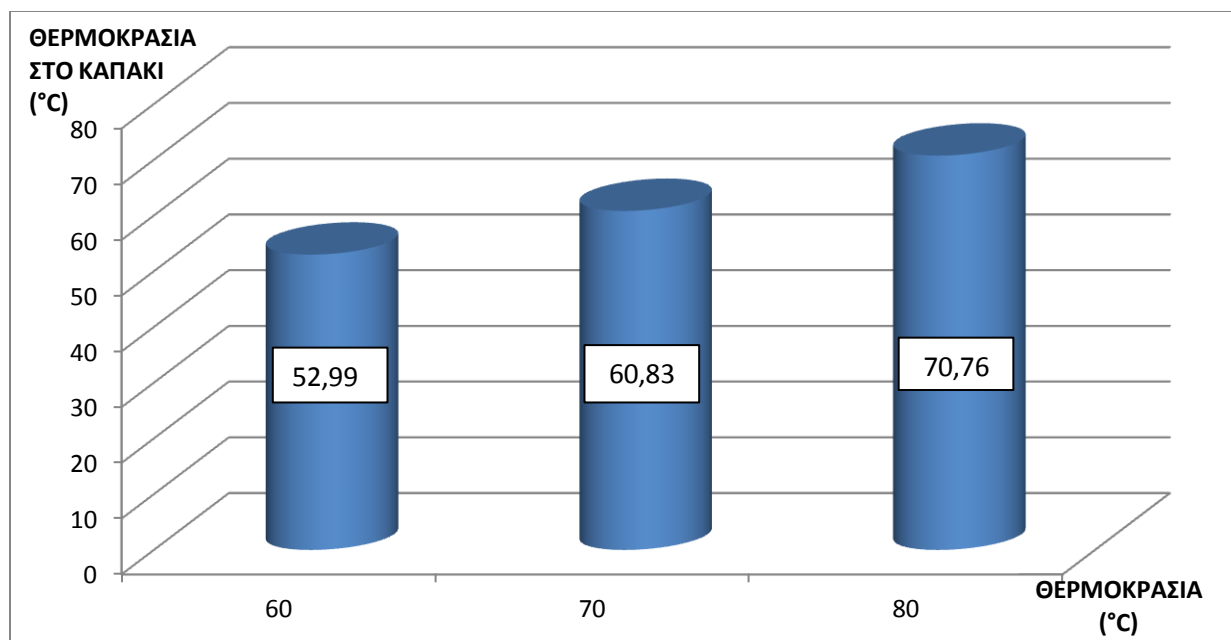
Πίνακας 24: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας των δύο κύκλων πειραμάτων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 36: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού τοιχώματος.

Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	Θερμοκρασία στο καπάκι (°C)
60	52,99
70	60,83
80	70,76

Πίνακας 25: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του επάνω μέρους της συσκευής για όλες τις θερμοκρασίες λειτουργίας των δύο κύκλων πειραμάτων.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 37: Μέσες τιμές θερμοκρασίας του πώματος.

### 7.1.7 Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) και Ολικού Ανόργανου Άνθρακα (TIC).

Στον πίνακα 22 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα μετρήσεων του ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) σε τυχαία τρόφιμα όπως αυτές μετρήθηκαν με την βοήθεια της συσκευής TOC που λειτουργεί στην μονάδα περιβαλλοντικής επιστήμης και τεχνολογίας του Ε.Μ.Π.

ΔΕΙΓΜΑ	TOC (%)	TIC (%)
Καφές	44,12	0
Ψωμί	44,16	0
Ρύζι	44,11	0
Ρεβίθι	42,08	0
Μπανάνα <sup>1</sup>	47,12	0
Νεκταρίνι	43,21	0
Πεπόνι	44,65	0
Ελιά	46,32	0



<b>Σύκο</b>	42,11	0
<b>Μαρούλι</b>	34,22	0
<b>Βατόμουρο</b>	43,98	0
<b>Μανταρίνι<sup>1</sup></b>	46,12	0
<b>Λεμόνι<sup>1</sup></b>	45,32	0
<b>Ντομάτα<sup>1</sup></b>	42,21	0
<b>Σέλινο<sup>1</sup></b>	37,88	0
<b>Φασόλια<sup>2</sup></b>	40,01	0
<b>Καρότο<sup>2</sup></b>	41,62	0
<b>Λάχανο<sup>1</sup></b>	42,32	0
<b>Πιπεριά<sup>1</sup></b>	44,22	0
<b>Αρακάς<sup>2</sup></b>	41,17	0
<b>Κουκιά<sup>1</sup></b>	33,14	0
<b>Φακές<sup>2</sup></b>	43,56	0
<b>Μήλο</b>	43,22	0
<b>Κοτόπουλο</b>	41,53	0
<b>Μοσχάρι</b>	40,62	0

Πίνακας 26: Αποτελέσματα μετρήσεων TOC (%)

Ο μέσος όρος που προέκυψε για όλα τα τρόφιμα ήταν της τάξης του 42.9% γεγονός που μας βοηθά να καταλάβουμε ότι τα δείγματα περιείχαν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη. Ο ολικός ανόργανος άνθρακας όπως ήταν αναμενόμενο ήταν μηδενικός καθώς πρόκειται για καθαρά οργανικές ενώσεις.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ολικού οργανικού άνθρακα καθώς και του ανόργανου από τα δείγματα και των δύο κύκλων που χρησιμοποιήθηκαν στην πρότυπη συσκευή ξήρανσης (πίνακας 27).

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>ΤΟC (%)</b>	<b>ΤΙC (%)</b>
<b>1</b>	44,15	0
<b>2</b>	54,26	0
<b>3</b>	44,71	0
<b>4</b>	41,41	0
<b>5</b>	45,30	0
<b>6</b>	42,68	0
<b>7</b>	48,23	0
<b>8</b>	46,06	0
<b>9</b>	48,34	0
<b>10</b>	44,44	0
<b>11</b>	46,45	0
<b>12</b>	30,65	0

Πίνακας 27: Αποτελέσματα ΤΟC (%) και ΤΙC (%) .

Ο μέσος όρος που προέκυψε για όλα τα δείγματα ήταν της τάξης του 44,72% γεγονός που μας βοηθά να καταλάβουμε ότι τα δείγματα περιείχαν υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη σε αντίθεση με τον ολικό ανόργανο άνθρακα ο οποίος ήταν μηδενικός καθώς τα δείγματα αποτελούνταν από καθαρά οργανικές ενώσεις.

### 7.1.8 Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικής Οργανικής Ύλης (%OM)

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα μετρήσεων της ολικής οργανικής ύλης (OM) σε διάφορα τρόφιμα.

<b>Δείγμα</b>	<b>% OM</b>
Μπανάνα <sup>1</sup>	79,76
Μανταρίνι <sup>1</sup>	78,93
Καφές	74,88
Κουκιά <sup>2</sup>	59,12
Λεμόνι <sup>1</sup>	77,24
Σέλινο <sup>2</sup>	60,14
Φασόλια <sup>2</sup>	68,40
Φακές <sup>2</sup>	71,93
Ψωμί	77,83
Καρότο <sup>2</sup>	68,98
Ντομάτα <sup>2</sup>	71,34
Ρύζι	76,07
Αρακάς <sup>2</sup>	72,53
Πατάτα <sup>1</sup>	72,53
Λάχανο <sup>2</sup>	68,98
Πιπεριά <sup>2</sup>	73,12
Ροκανίδι	71,67

Πίνακας 28: Αποτελέσματα Μετρήσεων Ολικής Οργανικής Ύλης

<sup>1</sup>: η ανάλυση έγινε σε φλούδες από το τρόφιμο.

<sup>2</sup>: η ανάλυση έγινε σε τρόφιμα που δεν ήταν μαγειρεμένα.

Τα αποτελέσματα από τα δείγματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα 25.

<b>ΔΕΙΓΜΑ</b>	<b>LOI (%)</b>
1	3,67
2	6,83
3	6,83
4	3,30
5	3,28
6	7,15
7	3,78
8	3,77
9	3,46
10	3,54
11	3,53
12	5,37

Πίνακας 29: Αποτελέσματα μετρήσεων LOI (%).

Ο μέσος όρος των δειγμάτων ήταν της τάξης 4,54% .

### 7.1.9 Αποτελέσματα Μετρήσεων Μετάλλων

#### ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα στοιχεία K, Na, Ca και Mg είναι απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών όταν είναι παρόντα σε μικρές ποσότητες (ιχνοστοιχεία). Τα ιόντα νατρίου, βρίσκονται στο έδαφος κυρίως σε μικρές ποσότητες υπό μορφή NaCl. Όταν η συγκέντρωση των αλάτων αυξηθεί τότε το άλας του χλωριούχου νατρίου, συσσωρεύεται επιφανειακά επηρεάζοντας δυσμενώς την ανάπτυξη των φυτών.

Τα ιόντα μαγνησίου, συνήθως απορροφώνται εύκολα από τα φυτά. Η πιο συνήθης μορφή του στο έδαφος είναι ο δολομίτη ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). Η ιοντοεναλλάξιμη μορφή του μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$  αποτελεί το 5% του ολικού φορτίου και είναι αυτή που έχει άμεση σχέση με τη θρέψη των φυτών.

Τα ιόντα ασβεστίου βρίσκονται στο έδαφος υπό μορφή  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Το  $\text{CaCO}_3$  που θεωρείται η κύρια πηγή ιόντων  $\text{Ca}^{2+}$  είναι ένα δυσδιάλυτο ορυκτό (διαλυτότητα από 10-15 mgCa/l). Παρουσία όμως  $\text{CO}_2$ , η διαλυτότητα του αυξάνεται σημαντικά. Κυρίως τα ιόντα ασβεστίου έχουν άμεση σχέση με τη ρύθμιση του pH του εδάφους. Υψηλές, όμως, συγκεντρώσεις έχουν αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση του pH και την καταστροφή του φυτού.

Στον πίνακα 30 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές της βιβλιογραφίας για το ποσοστό των ιχνοστοιχείων σε οικιακά οργανικά απορρίμματα.

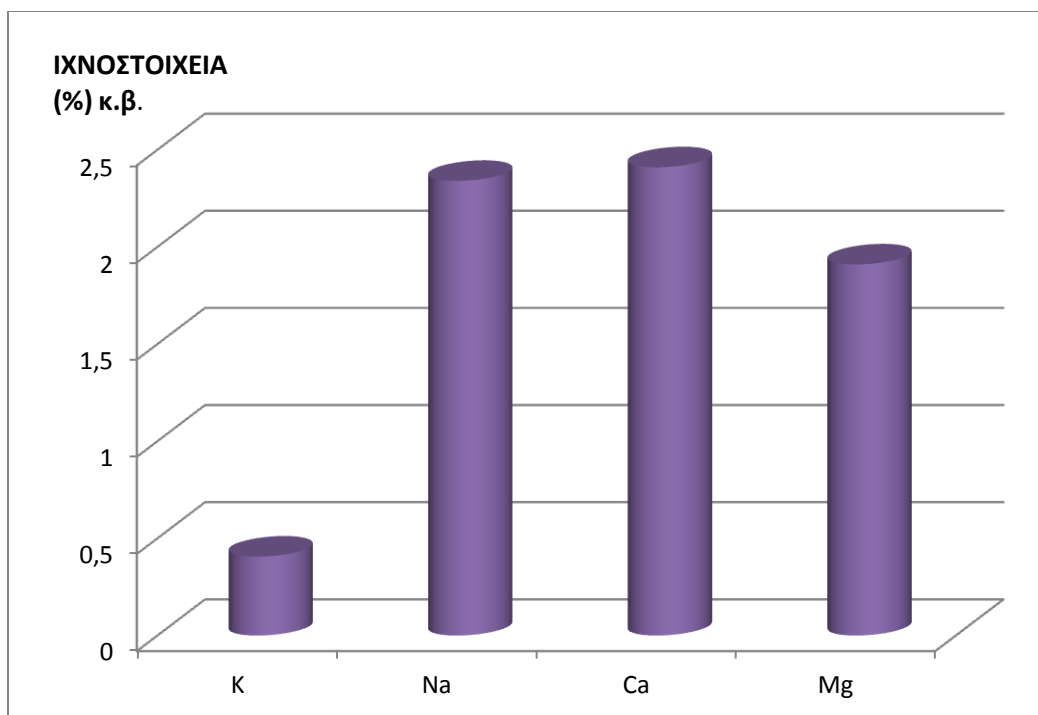
Ιχνοστοιχείο	<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
Τιμές βιβλιογραφίας	0,4 – 1,7	0,01 – 1,51	2,3 – 3,6	0,3 – 4,3
	0,42 – 1,83		1,09 – 7,15	0,18 – 1,8

Πίνακας 30 :Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων (%) με βάση τις διεθνείς τιμές της βιβλιογραφίας.

Στον επόμενο πίνακα 31, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μετρήσεων των ιχνοστοιχείων όπως αυτές μετρήθηκαν στα δείγματα μας.

ΔΕΙΓΜΑ	<i>K</i> (%)κ.β	<i>Na</i> (%)κ.β	<i>Ca</i> (%)κ.β	<i>Mg</i> (%)κ.β
1	0,400	0,439	0,387	0,333
2	0,404	0,513	0,075	0,285
3	0,410	0,444	0,240	0,335
4	0,413	0,450	0,391	0,356
5	-----	8,004	-----	-----
6	-----	2,184	0,294	2,239
7	-----	0,913	6,610	1,640
8	-----	0,745	6,658	1,514
9	-----	6,143	2,236	5,216
10	-----	4,673	3,158	5,524
11	-----	2,184	3,830	1,747
12	-----	1,444	1,589	1,910

Πίνακας 31:Μέσες τιμές των ιχνοστοιχείων (%)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 38: Τα ιχνοστοιχεία (%) όπως προσδιορίστηκαν στα δείγματα μας.

## ΒΑΡΕΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα επίπεδα συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα δείγματα μας είναι κρίσιμης σημασίας για την τελική ποιότητα του προϊόντος. Δεδομένου ότι κατά την ξήρανση λαμβάνει χώρα απώλεια μάζας, οι αρχικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων αυξάνονται μετά το πέρας της διεργασίας. Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από την προσθήκη του δείγματος στο έδαφος με μεγάλη περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, είναι δύο, η τοξική επίδραση τους στην ανάπτυξη των φυτών και η μεταφορά των βαρέων μετάλλων στον άνθρωπο και στα ζώα που καταναλώνουν την παραγωγή των φυτών που αναπτύχθηκαν σε αυτά τα εδάφη, δεδομένου ότι τα βαρέα μέταλλα απορροφούνται από τα φυτά και συγκεντρώνονται στους φυτικούς ιστούς.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων με τη χρήση πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης προέρχονταν από οικιακά απορρίμματα των οποίων η διαλογή έγινε στην πηγή. Η σημαντικότητα της διαλογής στην πηγή στην διεργασία της ξήρανσης έγκειται στο γεγονός ότι η προς ξήρανση πρώτη ύλη έχει σαφώς λιγότερες προσμίξεις από ακαθαρσίες, και η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα.

Πραγματοποιήθηκε μία σειρά μετρήσεων συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων σε όλα τα δείγματα μας και τα αποτελέσματα ήταν μηδενικά. Σε κανένα δείγμα δεν ανιχνεύτηκαν βαρέα μέταλλα.

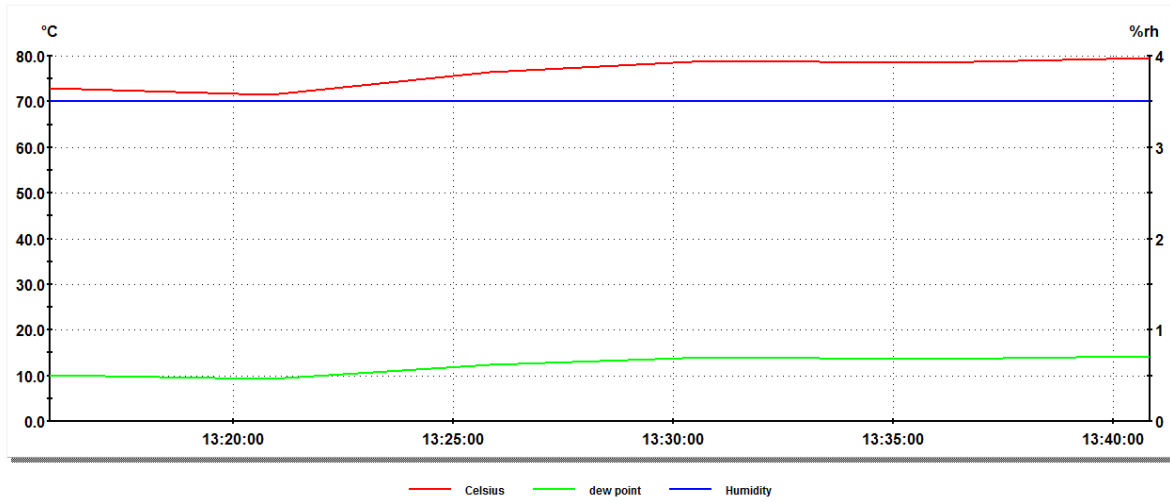
#### **7.1.10 Αποτελέσματα Καταγραφής Δεδομένων Θερμοκρασίας και Υγρασίας στο Εσωτερικό της Συσκευής Ξήρανσης**

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας που κατέγραψε ο καταγραφέας ο οποίος βρισκόταν στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης (εικόνα 63) για δεδομένες τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας της συσκευής.

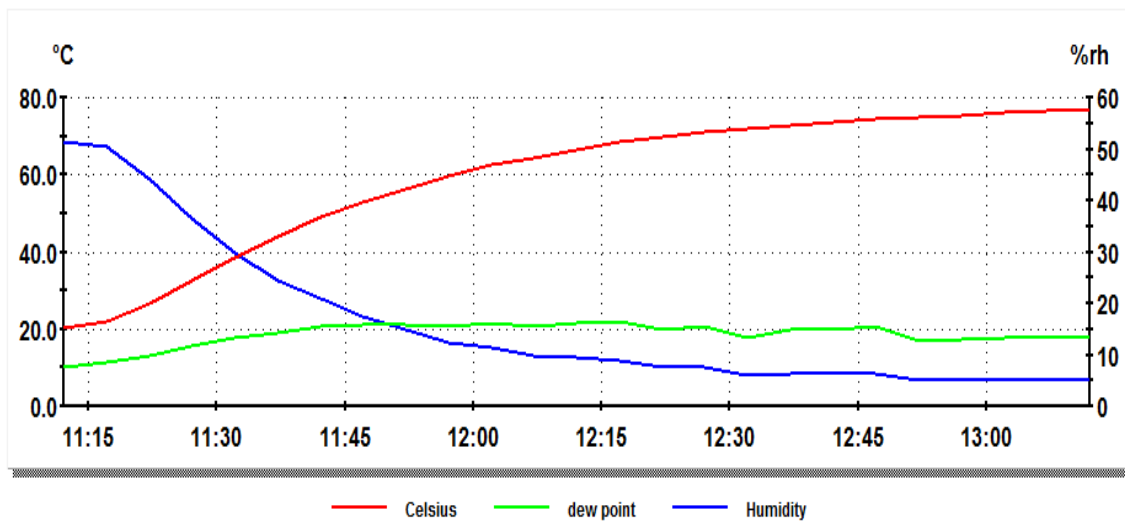


Εικόνα 63: Ο καταγραφέας στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης μαζί με οργανικά απορρίμματα.

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι:

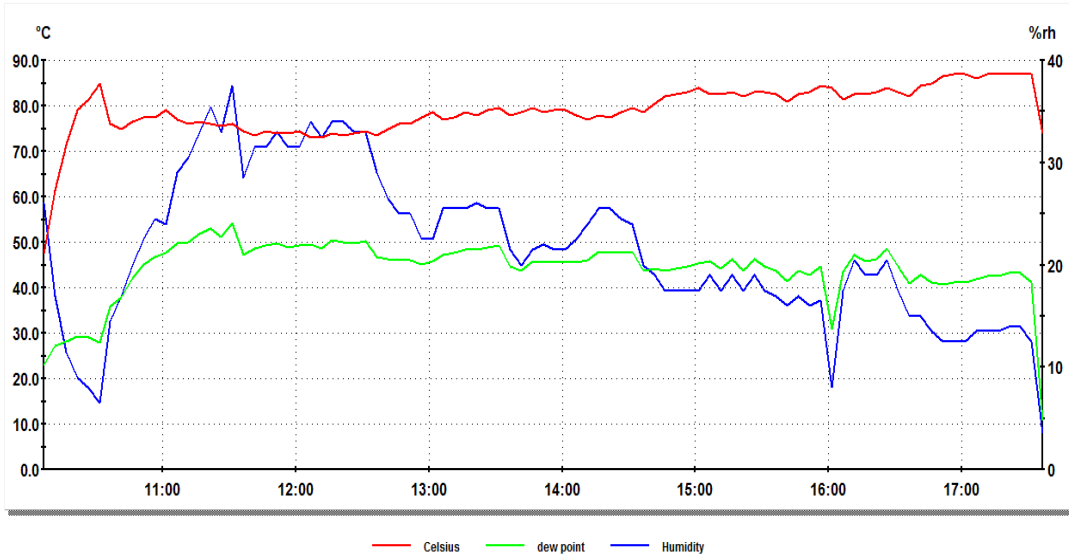


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 39:Γράφημα μεταβολής της θερμοκρασίας από 73 σε 80 βαθμού κελσίου στο εσωτερικό της συσκευής ξήρανσης χωρίς απορρίμματα.

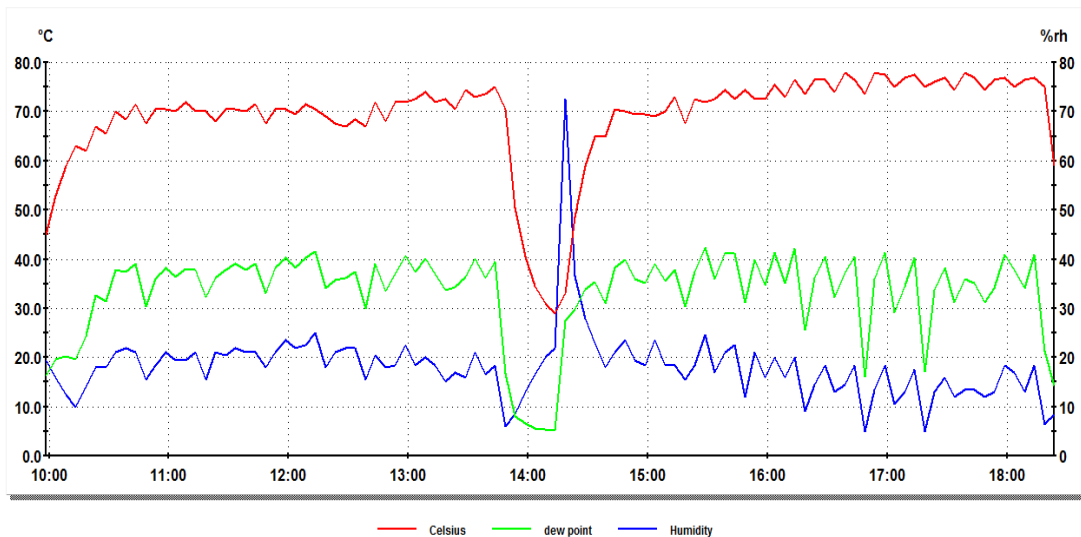


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 40: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  .

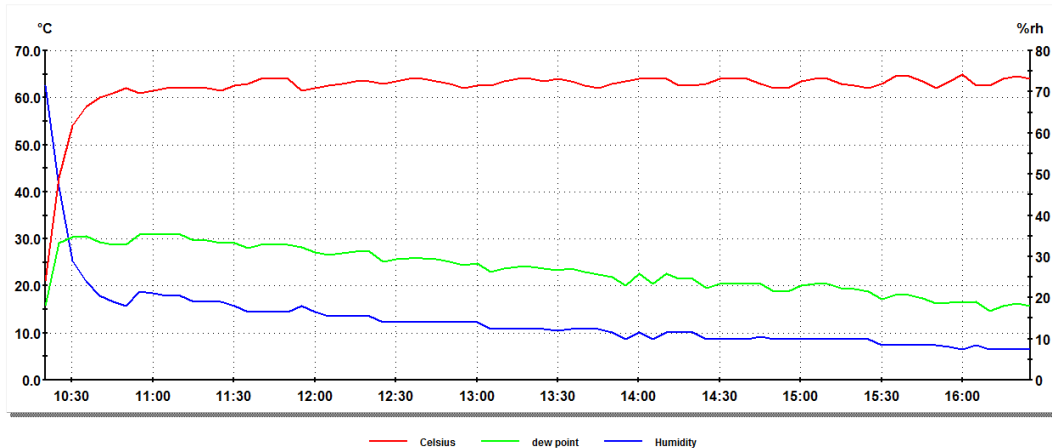




ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 41: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  με απορρίμματα (Η συσκευή άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 42: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας  $\approx 70^{\circ}\text{C}$  με απορρίμματα (Το καπάκι της συσκευής, άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων ενώ στις 14:00 έσβησε για διάστημα 20 λεπτών).



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 43: Μεταβολή θερμοκρασίας ξηραντήρα διατροφικών αποβλήτων, για θερμοκρασία λειτουργίας  $\approx 60^{\circ}\text{C}$  με απορρίμματα (Η συσκευή άνοιγε κάθε 30 λεπτά για μέτρηση της μάζας των απορριμμάτων).

Από τα προηγούμενα διαγράμματα, φαίνεται ότι η συσκευή διατήρησε την θερμοκρασία στην οποία είχε ρυθμιστεί με μικρές διακυμάνσεις, ενώ οι απώλειες θερμότητας κάθε φορά που ανοίγονταν για να ληφθεί μέτρηση ήταν πολύ μικρές, γεγονός που οφείλεται στην φύση του κεραμικού και στην υψηλή θερμοχωρητικότητά του.

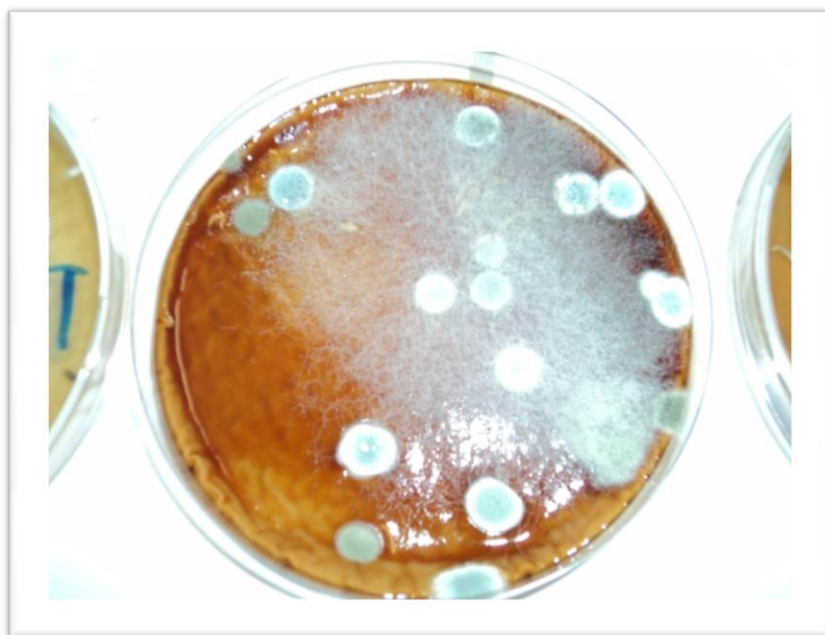
Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής να είναι μειωμένη σε όλες τις θερμοκρασίες υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

### 7.1.11 Αποτελέσματα Μετρήσεων Φυτοτοξικότητας

Με τον όρο φυτοτοξικότητα εννοείται η παρουσία τοξινών που είναι επιβλαβείς για την ισόρροπη και ανεμπόδιστη ανάπτυξη των φυτών. Ο προσδιορισμός της φυτοτοξικότητας στο τελικό προϊόν δείχνει εάν αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό αυτούσιο χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Οι φυτοτοξίνες είναι δυνατόν να προκαλέσουν την καταστροφή των ριζικών συστημάτων των φυτών, όταν ξηρά οργανικά απορρίμματα εισέλθουν στο έδαφος.

Η φυτοτοξικότητα μπορεί να προκύψει από την παρουσία βαρέων μετάλλων, από ανόργανα στοιχεία, διαλυτά άλατα και οργανικές ενώσεις. Η φυτοτοξικότητα που προκαλείται από οργανικές ενώσεις μπορεί να αντιμετωπιστεί τοποθετώντας οργανικά απορρίμματα των οποίων οι τιμές PH προσομοιάζουν με αυτές του γόνιμου εδάφους.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τα δείγματα που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να μελετήσουμε την όλη λειτουργία της πρότυπης συσκευής ξήρανσης. Οι μετρήσεις του ΔΒ σε καθαρά δείγματα χωρίς την προσθήκη κόμποστ είχαν σαν αποτέλεσμα μηδενικό δείκτη ( $\Delta B=0$ ), δηλαδή δεν παρατηρήθηκε οποιαδήποτε ανάπτυξη του βλαστού. Το γεγονός αυτό απέδειξε ότι τα δείγματα μας ήταν πολύ φυτοτοξικά και ακατάλληλα για να βλαστήσει κάποιο φυτό. Μάλιστα σε μερικά δείγματα παρατηρήθηκε η ανάπτυξη αποικιών από μύκητες όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα 64.



Εικόνα 64:Αποικία από μύκητες σε δείγμα ξηρού διατροφικού αποβλήτου.

Με σκοπό την περαιτέρω διερεύνηση του δείκτη βλαστικότητας αναμίξαμε δείγμα με κόμποστ (το οποίο ήταν κακής ποιότητας) σε αναλογία 5/5 οπύ και πάλι δεν παρατηρήθηκε οποιαδήποτε ανάπτυξη των σπόρων. Τέλος πραγματοποιήσαμε το πείραμα σε αναλογία 1/9 και μετά επαναλάβαμε το τεστ φυτοτοξικότητας. Ακολουθεί ένας πίνακας 28 στον οποίο παρουσιάζονται οι ιδιότητες του κόμποστ που χρησιμοποιήθηκε.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	PH	VSS	LOI	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (mS)	ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ
ΚΟΜΠΟΣΤ	8,46	0,90	2,40	3,01	10,08

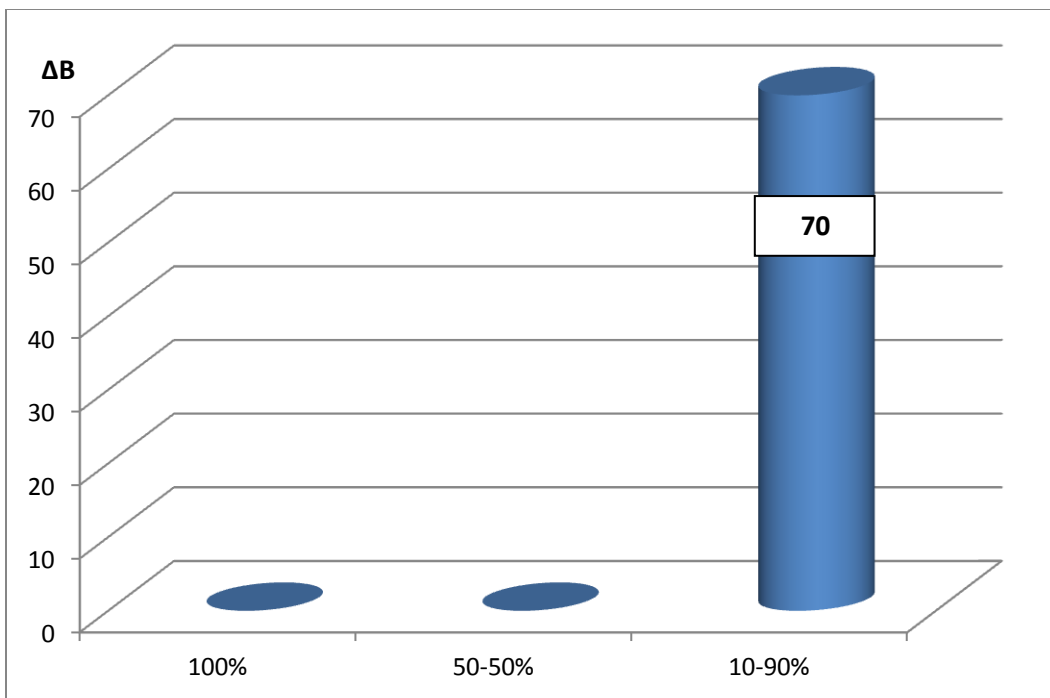
Πίνακας 32: Χαρακτηριστικά κόμποστ

Μετά την ανάμειξη του δείγματος μαζί με το κόμποστ παρατηρήθηκε ότι οι σπόροι μαρουλιού που χρησιμοποιήθηκαν άρχισαν να φυτρώνουν (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Σπόροι μαρουλιού που φύτευαν.

Ο ΔΒ προσδιοριστικό ίσο με 70 πράγμα που σημαίνει ότι συνέβηκαν βιολογικές διεργασίες οι οποίες προκάλεσαν την βελτίωση του κακής ποιότητας κόμποστ κάνοντας το απλά φυτοτοξικό (με τιμή φυτοτοξικότητας πολύ κοντά στο φυτοθεραπευτικό ΔΒ=100. Προκειμένου να βρεθεί εάν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό το δείγμα μας ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω μετρήσεις με διαφορετικές αναλογίες.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 44: Ο δείκτης βλαστικότητας σε 3 διαφορετικές αναλογίες.

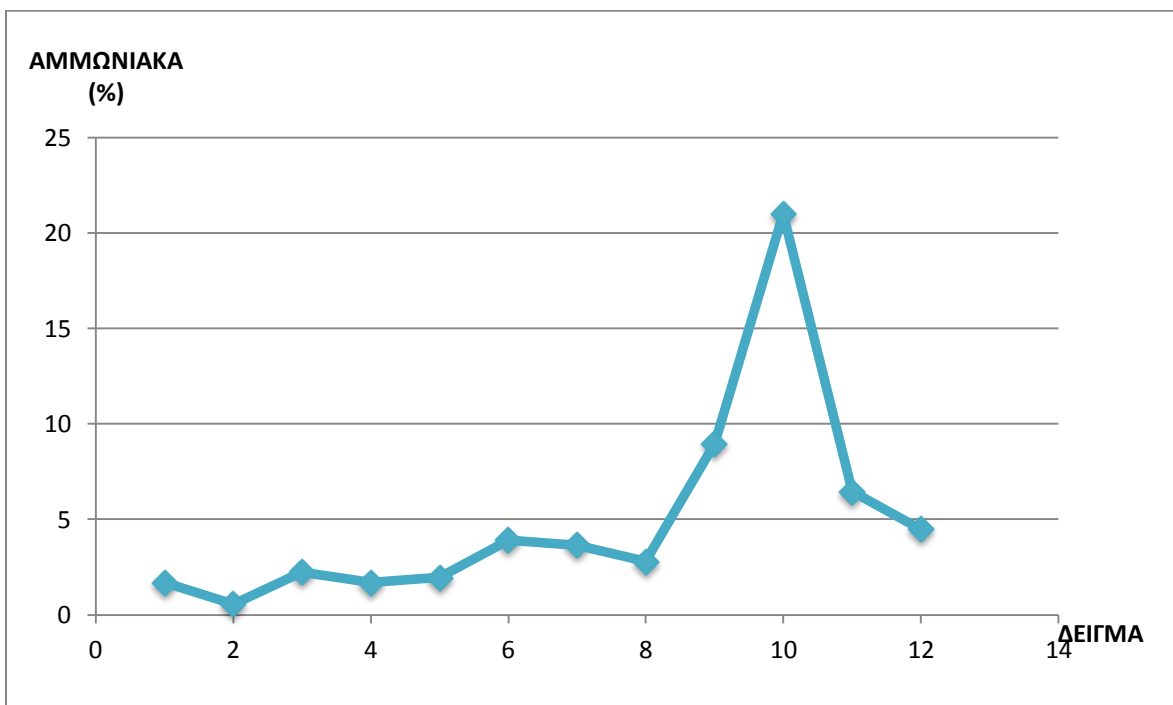
### 7.1.12 Αποτελέσματα Μετρήσεων Αμμωνιακών

Τα αμμωνιακά συναντώνται τόσο στα απόβλητα όσο και στα προϊόντα επεξεργασίας τους. Παράγονται κυρίως από τη διάσπαση των οργανικών ενώσεων του αζώτου και κατά την αναγωγή των νιτρικών υπό αναερόβιες συνθήκες. Τα αμμωνιακά συχνά αποτελούν συστατικό για λίπανση, ωστόσο σε υδάτινους αποδέκτες, ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, είναι τοξικά στην υδρόβια ζωή.

Στον πίνακα 33 που ακολουθεί εμφανίζονται τα αποτελέσματα των αμμωνιακών από τα δείγματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν και στην συνέχεια το αντίστοιχο διάγραμμα.

ΔΕΙΓΜΑ	ΑΜΜΩΝΙΑΚΑ(%κ.β.)
1	1,68
2	0,56
3	2,24
4	1,68
5	1,96
6	3,92
7	3,64
8	2,80
9	8,96
10	21,00
11	6,44
12	4,48

Πίνακας 33: Αποτελέσματα αμμωνιακών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 45: Διάγραμμα με τα αποτελέσματα των αμμωνιακών.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

---

## 8.1 Συμπεράσματα

Από την συζήτηση των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τη διεργασία της ξήρανσης που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πρότυπου συστήματος οικιακής ξήρανσης στην πηγή καθώς και για το τελικό προϊόν που παράχθηκε.

Το τελικό προϊόν που παράχθηκε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό χωρίς να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία μιας και το pH του προσδιορίστηκε βρέθηκε στην όξινη περιοχή ενώ στα πείραμα φυτοτοξικότητας που πραγματοποιήθηκαν τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το τελικό ξηρό υπόλοιπο ήταν πολύ φυτοτοξικό. Με ανάμειξη του ωστόσο με κόμποστ (κακής ποιότητας) σε αναλογία 1/9 ο δείκτης βλαστικότητας προσδιορίστηκε ίσος με 70 πράγμα που σημαίνει ότι συνέβησαν βιολογικές διεργασίες οι οποίες προκάλεσαν την βελτίωση των ιδιοτήτων του κόμποστ. (με τιμή φυτοτοξικότητας πολύ κοντά στο φυτοθρεπτικό  $\Delta B=100$ .)

Η ποσότητα των ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκε στο τελικό προϊόν είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία προκειμένου το δείγμα μας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά από κατάλληλη επεξεργασία ως εδαφοβελτιωτικό. Επίσης στο τελικό προϊόν δεν εντοπίστηκαν βαρέα μέταλλα.

Η συσκευή διατήρησε την θερμοκρασία στην οποία είχε ρυθμιστεί με μικρές διακυμάνσεις, ενώ οι απώλειες θερμότητας κάθε φορά που ανοίγονταν για να ληφθεί μέτρηση ήταν πολύ μικρές γεγονός που δείχνει ότι η επιλογή του κεραμικού υλικού για την κατασκευή του κυρίως μέρους της συσκευής ήταν σωστή.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν τόσο στα τοιχώματα του ξηραντήρα όσο και στο πώμα του δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλές γεγονός που διευκολύνει τη χρήση του πρότυπου συστήματος ξήρανσης από τα νοικοκυριά μιας και δεν υπάρχει ο κίνδυνος εγκαύματος.

Η ενεργειακή κατανάλωση της συσκευής μειωνόταν όσο μειωνόταν η θερμοκρασία ξήρανσης. Ωστόσο η διεργασία της ξήρανσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι λιγότερο αποδοτική σε σχέση με τις υψηλές θερμοκρασίες. Το μεγαλύτερο μηνιαίο κόστος παρατηρήθηκε στους 80°C και στους δύο κύκλους.

Η απόδοση της συσκευής ξήρανσης κρίνεται πολύ καλή καθώς η ποσότητα υγρασίας που έπρεπε να αφαιρεθεί ήταν μεγάλη ενώ υπήρχε σημαντική ανομοιογένεια στο μίγμα ως προς το μέγεθος και την φύση των χρησιμοποιηθέντων διατροφικών αποβλήτων γεγονός το οποίο προσομοιάζει τις συνθήκες απόρριψης ενός πραγματικού νοικοκυριού. Σημειώθηκε μείωση της υγρασίας έως και 70% της αρχικής γεγονός που μας δείχνει ότι η συσκευή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον στα πλαίσια ενός ευρύτερου σχήματος διαχείρισης απορριμμάτων από έναν Δήμο.

Η συσκευή ξήρανσης μπορεί επιπλέον να προκαλέσει σημαντική μείωση του όγκου των οικιακών οργανικών απορριμμάτων έως 57% στην περίπτωση που τα οργανικά μας απορρίμματα είναι μόνο φρούτα και έως 71% στην περίπτωση που τα οργανικά μας απορρίμματα είναι μόνο λαχανικά.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- ASTM Standards, 2004, << Standard Test Method for Laboratory Determination of water ( Moisture) content of soil and rock by mass>>, test method D 2216-9-8
- Beyea, J., J. Cook, D. Hall, R. Socolow and R. Williams., 1992 '*Toward Ecological Guidelines for Large-Scale Biomass Energy Development*': Report of a Workshop for Engineers, Ecologists and Policy Makers. National Audubon Society, New York, New York, USA and Princeton University, Princeton, New Jersey, USA.
- Beyea, J., W.A. Hoffman and J.H. Cook., 1994 '*Vertebrate Species Diversity in Large-Scale Energy Crops and Associated Policy Issues*'. Annual Report for Subcontract No. 1BX-SL237C with Martin Marietta Energy Systems. National Audubon Society, New York, USA
- Bidlingmaier, W., 1996. 'Odour Emissions from Composting Plants', in M. de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (Eds.), *The Science of Composting*, European Commission International Symposium. Blackie Academic & Professional, Glasgow
- B. Bilitewski and R. Stegmann (eds) *Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallbeseitigung*'. *Beihefte zu Mull und Abfall Hellweg* (2000) '*Time- and Site-Dependent Life-Cycle Assessment of Thermal Waste Treatment Processes*', Dissertation submitted to the Swiss Federal Institute Of Technology. Botlin, D., Keller E., 1995, Environment Science.
- Bitton Gabriel, *Waste water microbiology*, Third Edition, John Wiley&Sons., 2005.
- Bontoux Laurent.,1999 A Report Prepared by IPTS for the Committee for Environment, Public Health and Consumer Protection of the European Parliament '*The Incineration of Waste in Europe:Issues and Perspectives*'
- British Columbia Ministry of Agriculture and Food << The Composting process>>, order No. 382 500-2.
- Buekens Alfons.,2005 Conference "The Future of Residual Waste Management in Europe" 2005, '*Energy Recovery from Residual Waste by Means of Anaerobic Digestion Technologies*'

- Chen, g. and mujumdar, a. s., (2002), Application of electrical fields in dewatering and drying. *'Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing'*
- Chen, g., lai, k. c. k. and lo, i. m. c., (2003), 'Behavior of electroosmotic dewatering of biological sludge with salinity'. *Separation Science and Technology*
- Christopoulos Panagiotis G., Master's Thesis., 2005, Lund University International Master Program in Environmental Sciences 'Waste treatment in Greece after the passage of EU Landfill Directive. Landfill Bioreactor Cell treatment as sustainable solution'
- Danish EPA, 2004, 'Waste statistics 2001',
- Demetrakakes, (1996), Wringing success. *'Food Processing'*,
- Diaz, L. F., G. M. Savage, and C. G. Golueke (1982) "Final Processing," Chap. 11 in *Resource Recovery from Municipal Solid Wastes*, CRC Press, Boca Raton, FL
- 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.
- Diaz, L. F., et al. (1977)' *Public Health Aspects of Composting Combined Refuse and Sludge and of the Leachates Therefrom*, University of California, Berkeley, CA.
- Dipl.-Biol. S.Hams and Dr.-Ing.G.Becker, 1999. "State of the Art of Source Separation, Collection and Treatment of Organic Waste in Germany", (INFA), Germany.
- Dubanowitz J. Alexander.,2000,' Design of a Materials Recovery Facility (MRF) For Processing the Recyclable Materials of New York City's Municipal Solid Waste'
- Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation School of Engineering and Applied Science Columbia University
- El-Fadel, M., Findikakis, A.N., Leckie, J.O., 1997. 'Environmental Impacts of Solid Landfilling'. *Journal of Environmental Management*

- El-shafey, e. i., gameiro, m. l. f., correia, p. f. m. and de carvalho, j. m. r. (2004), 'Dewatering brewers spent grain using a membrane filter press: a pilot plant study' *Separation Science and Technology*.
- EPA., 2008 'Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste'
- EPA.,1995 'Decision Maker's guide to Solid Waste Management', Second Edition European Commission, (2006). '*Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*'
- Forrest, P., Heaven, S. and Sandels, C. ,(1990) '*Sorting at Source, Separation of Domestic Refuse*'. Save Waste and Prosper, Leeds, UK.
- Fred Lee G., PhD, PE, BCEE, F.ASCE and Anne Jones-Lee, PhD.,2010 updated 'Flawed Technology of Subtitle D Landfilling of Municipal Solid Waste'
- Fricke K., W. Muller, M. Turk and R. Wallmann (1997) 'Stand der Technik der mechanisch biologischem Restabfallbehandlung, in BWKA rbeitsgruppe 'Restabfallbehandlung',
- Flaga A., 2003 Sludge Drying, Institute of Heat Engineering and Air Protection, Cracow University of Technology
- Gardner, N., B. Manley and J. Pearson. (1993). 'Gas Emission from Landfills and their Contributions to Global Warming'. *Applied Energy*,
- Gerardi, H. Michael, Microbiology of Anaerobic Digesters, John Wiley&Sons, 2008.
- Gidarakos E. (2006).'*Hazardous Waste, Management, Treatment, Disposal*', Zigos Editions, Thessaloniki
- Golueke, C.G., and P. H. McGauhey (1955) "Reclamation of Municipal Refuse by Composting," *Technical Bulletin 9, Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley*

- Gray, F.N., *Biology of Waste water Treatment*, Second Edition Imperial College Press.,2004
- He Xin-Tao, Traina SJ, Logan TJ (1992) 'Chemical properties of municipal solid waste composts'. *J Environ Qual*
- ISRI (1998) *Guidelines for Nonferrous Scrap, Ferrous Scrap, Glass Cullet, Paper Stock, Plastic Scrap*, ISRI Scrap Specifications Circular 1998, Institute of Scrap Recycling Industries, ([www.isri.org/specs/](http://www.isri.org/specs/)).
- ISRI (2003) *Technical Report 2002-03*, Information Science Research Institute, University of Nevada, Las Vegas
- *Jørgensen, S.E., Johnses, I., 1981, 'Principles of environmental science and technology'*.
- leung, w. w. f. (1998), 'Torque requirement for high solids centrifugal sludge dewatering'. *Filtration and Separation*
- Lettinga, G., *Anaerobic digestion and waste water treatment systems*, Antonie van Leeuwenhoek 67, 3-28, 1995
- Lohri Christian Riuji., 2009. Bachelor Thesis. 'Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar El Salam. M, Tanzania', Institute of Natural Resource Sciences
- Ludwig, C., S. Hellulg, S. Stuike, 2003, 'Municipal Solid Waste Management',
- Kassim S.M., Ali M., (2006): 'Solid waste collection by the private sector: Households ' perspective Findings from a study in Dares Salaam city, Tanzania' Habitat International
- Krebs Georg - Peter Commerford - Bandula Welungoda - Andritz AG ,Andritz Pty Ltd ,Andritz-Ruthner, Inc.,2007 'Energy-Efficient Sludge Drying'
- Maarten Dubois, Ana Maria Martin González ,Maria Knadel., 2004 *Environmental Studies*, Aarhus University 'Municipal solid waste treatment in the EU'

- Martensson Ellen., 2007 . *Master degree thesis 'Biogas as vehicle fuel in the Stockholm region – scenario 2020'*, Stockholm, *Chemical Engineering and Technology department KTH, the Royal Institute of Technology*
- Merrill, L. (1998) "Collecting for the Millennium," *MSW Management*
- Misra R.V., Roy R.N., and Hiraoka H., 2003. 'On-farm composting methods' FAO Corporate Document Repository.
- Moustakas Konstantinos and Maria Loizidou *National Technical University of Athens ,(2010)' Solid Waste Management through the Application of Thermal Methods*
- Moustakas Konstantinos, Papadopoulos A, D Fatta, K.J.Haralambous, Loizidou Maria, 2003, National Technical University of Athens 'Design and Construction of a Plasma Gasification/Vitrification Unit for Waste Treatment'
- Monnet Fabien.,2003 'An introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes' Final Report
- Morocomp.,2010, Design and Application of an Innovative Composting Unit for the Effective Treatment of Sludge and other Biodegradable Organic Waste in Morocco., LIFE TCY05/MA000141. project Del.4, 'Review of best practices and success stories of composting of sludge and other BOW in the EU and internationally'
- Nelson L.Nemerow, Franklin J, Agardy, Patrick Sullivan, Josheph A. Salvato,. 2009 'Environmental Health and Safety for Municipal Infrastructure, Land Use and Planning, and Industry, Sixth Edition.
- orsat, v., raghavan, g. s. v. and norris, e. r. (1996), 'Food processing waste dewatering by electro-osmosis' *Canadian Agricultural Engineering*
- orsat, v., raghavan, g. s. v., sotocinal, s., lightfoot, d. g. And gopalakrishnan, s. (1999), 'Roller press for electro-osmotic dewatering of biomaterials'. *Drying Technology*
- Peigne, J., Girardin, P., 2004. 'Environmental impacts of farm-scale composting practices. Water, Air, and Soil Pollution'
- Pfeffer, J.T. (1992) *Solid Waste Management Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- Schwarzbauer, J., Heim, S., Brinker, S., Littke, R., 2002. 'Occurrence and alternation of organic contaminants in seepage and leakage water from a waste deposit landfill'. *Water Research*
- Seghezzi, L., Zeeman, G., Van Liel. B.J., Hamelers, M.V.H., Lettinga, G., Review: The Anaerobic Treatment of Sewage in UASB and EGSB Reactors, *Bio resource Technology* 65, 175-190.,1998.
- Shefali Verma.,2002 Master Thesis Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University,'Anaerobic Digestion of Biodegradable Organisms in MSW'
- Snyman, h. g., forssman, p., kafaar, a. and smollen, m., (2000), 'The feasibility of electro-osmotic belt filter dewatering technology at pilot scale'. *Water Science and Technology*,
- Tchobanoglous George, Frank Kreith. 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'
- Tom L. Richard., 1993 Cornell Department of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University, 'Municipal Solid Waste Composting' Biological Processing
- Tsilyannis, C.A., 1999. Report: 'comparison of environmental impacts from solid waste treatment and disposal facilities'. *Waste management & Research*
- U.S. EPA. (1999). Protocol for Developing Sediment TMDLs. EPA 841-B-99-004. Office of Water (4503F), United States Environmental Protection Agency, Washington D.C. 132 pp.
- US. EPA, (2003). "Landfills as Bioreactors: Research at the Outer Loop Landfill, Louisville, Kentucky. First Interim Report." US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Oh.

- U.S. EPA. (2003a) Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 2001 Update, EPA530-R-03-011, October 2003.
- U.S. EPA. (2003b) Beyond RCRA – Waste and materials Management in the Year 2020, EPA530-R-02-009, April 2003.
- US EPA (2006) Ground water & drinking water. Available at: [www.epa.gov/safewater/dwh/c-ioc/nitrates.html](http://www.epa.gov/safewater/dwh/c-ioc/nitrates.html)
- US EPA (2008). Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste,
- Vandevivere, P., L. De Baere, and W. Verstraete, 'Types of anaerobic digesters for solid wastes, in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes', J. Mata-Alvarez, Editor. 2002, IWA Publishing: Barcelona.
- Ventour, L., 2008. 'The food we waste. A study on the amount, types and nature of the food we throw away in UK households'. Waste & Resources Action Programme, Banbury, the United Kingdom.
- Wastesum.,2010, Management and Valorisation of Solid Domestic Waste for the Small Urban Communities in Morocco, LIFE06 TCY/MA/000254. project Del.3 'Domestic solid waste management practices in EU and Internationally Best practices and success stories'
- Weber, k. and stahl, w. (2002), 'Improvement of filtration kinetics by pressure filtration'. *Separation and Purification Technology*
- Williams, P. T. and Besler, S., 'The Pyrolysis of Municipal Solid Waste', *Journal of the Institute of Energy*,
- Williams, P. T. and Williams, E. A., 'The Pyrolysis of Municipal Solid Waste in a Fluidised Bed Reactor', Biomass for Energy and the Environment, Pergamon Press, 1996.
- William F. Brinton.,2000 'Compost Standards and guidelines' Report to NYSAR by Woods End Research Laboratory, Inc.

- Williams, P. T. and Williams, E. A., 'Recycling Plastic Waste by Pyrolysis',
- Zanziguer, H., 1999, Geosynthesis international, vol 6 no.4, 'Efficiency of geosynthetic protection layers for geomembrans liners'.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟΥ

- ACM Waste Management. 2010, Waste minimization [Online] Available from: [http://www.acmplc.com/waste\\_minimisation.asp](http://www.acmplc.com/waste_minimisation.asp)
- Anonymous, GTZ- The Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 2010 [Online] Available from: <http://www.gtz.de>
- Anonymous, 1998, CEPIS - Council of European Professional Information Societies. 2009 'Landfill principles'[Online] Available from: <http://www.ccepis.ops-oms.org>
- Balkwaste, 2010. Project Deliverables [Online] Available from: <http://www.balkwaste.eu/project/deliverables.html>
- Caribbean Youth Environment Network.,2010, Solid waste management [Online] Available from: <http://www.cyen.org/innovaeditor/assets/Solid%20waste%20management.pdf>
- City and County of Swansea.,2010, Environment [Online] Available from: <http://www.swansea.gov.uk/index.cfm?articleid=1424>
- Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste [Online] Available from: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0031>
- Composting Council of Canada., 2010, Standard [Online] Available from: <http://www.compost.org/standard.html>
- Council of European Professional Information Societies (CEPIS)., 2010 [Online] Available from: <http://www.cepis.org/>



- Coway., 2010 [Online] Available from: <http://www.coway.com/>
- Defra., 2009, department on the environment, food and rural affairs, 'Waste Strategy Annual Progress Report 2008/09.' [Online] Available from: <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/strategy/index.htm>