

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών
οικιακών βιοαποβλήτων για την παραγωγή
αιθανόλης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δουφεξή Μαρία

ΑΘΗΝΑ 2016

Υπεύθυνη καθηγήτρια

Μ. Λοϊζίδου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με αφορμή την ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. Κ^α Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να ερευνήσω ένα σημαντικό θέμα, που απασχολεί αρκετά την κοινωνία τα τελευταία χρόνια.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Σωτηρόπουλο Άγγελο για την βοήθειά του στην πραγματοποίηση των εργαστηριακών αναλύσεων και κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την άριστη συνεργασία που είχαμε όλο το χρονικό διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την υπεύθυνη του εργαστηρίου, την Κ^α Γιέλτσα Νοβάκοβιτς για την πολύτιμη βοήθεια της σε ό,τι ζήτησα κατά τη διάρκεια των πειραματικών αναλύσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διατριβή έχει ως στόχο να παρουσιάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά οικιακών βιοαποβλήτων, προκειμένου αυτά να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αλκοόλης δεύτερης γενιάς.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται το περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο οδήγησε στην πραγματοποίηση της εν λόγω έρευνας. Ακολούθως, γίνεται αναφορά στο Ευρωπαϊκό και Διεθνές νομοθετικό πλαίσιο, που επιτρέπει τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων σε ορισμένα πλαίσια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι κύριες μέθοδοι διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων, με ιδιαίτερη έμφαση στις μεθόδους συλλογής και επεξεργασίας αυτών. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι μέθοδοι συλλογής των στερεών αποβλήτων, οι βιολογικές και θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει η βιομάζα ώστε να δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή αλκοόλης ενώ περιγράφονται οι κύριες διεργασίες παραγωγής αλκοόλης σε Διεθνές επίπεδο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της εν λόγω έρευνας η οποία αφορά στην εγκατάσταση ενός πρότυπου συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας οικιακών βιοαποβλήτων προκειμένου να μειωθεί δραστικά η μάζα και ο όγκος τους και να παραχθεί βιομάζα κατάλληλη για την παραγωγή αλκοόλης δεύτερης γενιάς.

Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής του πρότυπου συστήματος διαχείρισης και επεξεργασίας. Αρχικά, όσον αφορά τη βιομάζα παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση των σακχάρων, που συμβάλλουν στη διεργασία παραγωγής της αλκοόλης. Προσδιορίζεται η μέση τιμή των ολικών διαλυτών σακχάρων, της ελεύθερης γλυκόζης, της κυτταρίνης και του αμύλου για το έτος 2015 σε 39,05%κ.β., 2,05%κ.β., 16,43%κ.β. και 18,1%κ.β. αντίστοιχα. Στη συνέχεια, όσον αφορά το σύστημα διαχείρισης προσδιορίζεται το ποσοστό μείωσης όγκου στην τιμή 84,1%, το ποσοστό μείωσης της μάζας στην τιμή 80,4%κ.β. και η ενεργειακή κατανάλωση στην τιμή 0,94kWhr/kg.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην εν λόγω έρευνα, τα οποία υποδεικνύουν ότι το σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας των οικιακών απορριμμάτων είναι κατάλληλο για μελλοντική χρήση και ότι η βιομάζα που παράχθηκε από αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή αλκοόλης.

ABSTRACT

This thesis aims to present the qualitative characteristics of household biowaste in order to be used for the production of second generation alcohol.

The first chapter describes the environmental issue, which led to the realization of this research. Subsequently, referring to the European and international legal frameworks, which allows the biowaste management in certain contexts.

The second chapter, refers to the main methods of biowaste management with particular emphasis on their collection and treatment methods. Specifically, the methods of solid waste collection and their treatment methods such as biological and thermal treatment methods are analyzed.

The third chapter, refers to the bioethanol production from lignocellulosic biomass. Specifically, the main characteristics which the biomass should have in order to be able to be used to in alcohol production are presented. In addition the major processes of alcohol production at international level are described.

In the fourth chapter, a detailed description of the methodology used in this research is given. It involves the installation of a prototype system for managing and processing household biowaste in order to reduce drastically the mass and volume of the biomass and produce a suitable dehydrated product for the production of second generation alcohol.

The fifth and sixth chapters, include the results and the characteristics of dried biomass produced after processing in the prototype dryer system. The seasonal variation of sugars, which contribute to the alcohol production are presented initially. The average of total soluble sugars, glucose, starch and cellulose is estimated to 39,05%w/w, 2,05%w/w, 16,43%w/w and 18,1%w/w respectively for the year 2015. Subsequently, the reduction of mass and volume is estimated to 84,1% and 80,4%w/w respectively. Finally, the energy consumption of system management is specified to 0,94kWhr/kg.

Finally in the seventh chapter, it is concluded that the prototype biowaste management system examined may be successfully used in biowaste processing for alcohol production.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΟΙΚΙΑΚΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	1
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Βιολογικά Απόβλητα (ΒΑ).....	5
1.3. Νομοθετικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση Βιοαποβλήτων.....	11
1.3.1. Θεματική Στρατηγική Σχετικά με τη Μείωση και την Ανακύκλωση των Αποβλήτων 11	
1.3.2. Οδηγία 1999/31/ΕΚ.....	13
1.3.3. Οδηγία 2006/12/ΕΚ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	15
2.1. Εισαγωγή.....	15
2.2. Διαχείριση ΒΑ με Διαλογή στην Πηγή.....	16
2.2.1. Συλλογή με τη Μέθοδο Πόρτα-Πόρτα	17
2.2.1.1. Σάκοι Συλλογής.....	17
2.2.1.2. Τυποποιημένοι Κάδοι με Πώμα	19
2.2.1.3. Κοντέινερ	23
2.2.1.4. Σκουπιδοφάγοι.....	24
2.2.1.5. Συστήματα Οικιακής Ξήρανσης.....	24
2.2.2. Συλλογή με Κάδους ανά Ομάδες Κατοικιών	25
2.2.2.1. Κάδοι Συλλογής Οικιακών Βιοαποβλήτων σε Κεντρικά Σημεία.....	26
2.2.2.2. Τυποποιημένοι Κάδοι με Πώμα	27
2.2.2.3. Υπόγειοι Κάδοι	27
2.3. Τεχνικές Επεξεργασίας ΒΑ.....	29
2.3.1. Κομποστοποίηση.....	30
2.3.1.1. Περιγραφή Μεθόδου	30
2.3.1.2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διεργασία	31
2.3.1.3. Πλεονεκτήματα Διεργασίας	33
2.3.1.4. Μειονεκτήματα Διεργασίας	33
2.3.1.5. Κομποστοποίηση σε Οικιακό Επίπεδο	34
2.3.1.6. Κομποστοποίηση με Γαιοσκώληκες	36
2.3.2. Αναερόβια Χώνευση.....	38
2.3.2.1. Περιγραφή Μεθόδου	38
2.3.2.2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διεργασία	40
2.3.2.3. Πλεονεκτήματα Διεργασίας	41

2.3.2.4.	Μειονεκτήματα Διεργασίας	41
2.3.2.5.	Τεχνολογίες Αερόβιας Χώνευσης Βιολογικών Αποβλήτων.....	42
2.3.2.5.1.	Τεχνολογία Dranko	42
2.3.2.5.2.	Τεχνολογία Valogra	43
2.3.2.5.3.	Τεχνολογία Kompogas.....	44
2.4.	Τεχνικές Συνεπεξεργασίας ΒΑ με ΑΣΑ σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές Επίπεδο	45
2.4.1.	Θερμική Επεξεργασία.....	45
2.4.1.1.	Αποτέφρωση	45
2.4.1.2.	Πυρόλυση	47
2.4.1.3.	Αεριοποίηση	48
2.4.2.	Υγειονομική Ταφή	51
2.4.2.1.	Επιφανειακή Μέθοδος.....	52
2.4.2.2.	Μέθοδος Διαδοχικών Τάφρων.....	52
2.4.2.3.	Μέθοδος Πλήρωσης Κοιλοτήτων του Εδάφους	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ 2 ^{ης} ΓΕΝΙΑΣ.....		54
3.1.	Περιγραφή Μεθόδου	54
3.2.	Πλεονεκτήματα Διεργασίας	58
3.3.	Μειονεκτήματα Διεργασίας	58
3.4.	Εμπορικά Συστήματα Παραγωγής Βιοαιθανόλης.....	59
3.4.1.	Πιλοτική Μονάδα NREL.....	59
3.4.2.	Πιλοτική Μονάδα Παραγωγής Βιοαιθανόλης της Εταιρείας Etek Etanol Teknik ..	61
3.4.3.	Πιλοτική Μονάδα INEOS BIO.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ.....		66
4.1.	Μέθοδος Υλοποίησης/Οργάνωσης της Πρώτης Φάσης της Πιλοτικής Εφαρμογής.....	66
4.2.	Μεθοδολογία Συλλογής και Ανάλυσης Δειγμάτων	80
4.3.	Περιγραφή του Συστήματος Αποκεντρωμένης Ξήρανσης GAIA.....	83
4.4.	Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός της Συλλεχθήσας Βιομάζας	86
4.4.1.	Προετοιμασία Δειγμάτων.....	86
4.4.1.1.	Προσδιορισμός Υγρασίας.....	87
4.4.1.2.	Προσδιορισμός pH/ Αγωγιμότητας.....	87
4.4.1.3.	Προσδιορισμός Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)	89
4.4.1.4.	Προσδιορισμός Πτητικών Στερεών (VS)	91
4.4.1.5.	Προσδιορισμός Υδατοδιαλυτών Σακχάρων	92
4.4.1.5.1.	Προσδιορισμός Αναγωγικών Σακχάρων (TRS)	94

4.4.1.5.2. Προσδιορισμός Ελεύθερης Γλυκόζης.....	96
4.4.1.5.3. Προσδιορισμός Αμύλου	97
4.4.1.5.4. Προσδιορισμός Κυτταρίνης.....	99
4.4.1.6. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου (TN)	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	105
5.1. Καταγραφή Αποτελεσμάτων της Δεύτερης Φάσης της Εφαρμογής του Συστήματος Διαχείρισης Οικιακών Βιοαποβλήτων	105
5.2. Καταγραφή των Αποτελεσμάτων της Δράσης Επίδειξης του Συστήματος Διαχείρισης στα Επιλεγμένα Νοικοκυριά	108
5.2.1. Αποτελέσματα (%κ.β.) Υγρασίας.....	108
5.2.2. Αποτελέσματα (%κ.β.) Πτητικών Στερεών (VS).....	109
5.2.3. Αποτελέσματα pH.....	111
5.2.4. Αποτελέσματα (μS) Αγωγιμότητας.....	112
5.2.5. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)	113
5.2.6. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικού Αζώτου (TN) και Πρωτεΐνης	114
5.2.7. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικών Διαλυτών Σακχάρων	116
5.2.8. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ελεύθερης Γλυκόζης.....	118
5.2.9. Αποτελέσματα (%κ.β.) Αναγωγικών Σακχάρων (TRS)	119
5.2.10. Αποτελέσματα (%κ.β.) Αμύλου	120
5.2.11. Αποτελέσματα (%κ.β.) Κυτταρίνης.....	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του Συστήματος Αποκεντρωμένης Ξήρανσης με αυτά της Μεθόδου Οικιακής Ξήρανσης.....	123
6.1. Σύγκριση Ποσοστού (%) Μείωσης Όγκου	123
6.2. Σύγκριση Ποσοστού (%κ.β.) Μείωσης Μάζας.....	124
6.3. Σύγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης των 2 Μεθόδων.....	125
6.4. Σύγκριση των Τιμών pH της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας	126
6.5. Σύγκριση VS (%κ.β.) της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας.....	127
6.6. Σύγκριση TOC (%κ.β.) της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας.....	128
6.7. Σύγκριση Ποσοστού (%κ.β.) Ολικών Διαλυτών Σακχάρων	129
6.8. Σύγκριση Ποσοστού (% κ.β.) Ελεύθερης Γλυκόζης	130
6.9. Σύγκριση Ποσοστού (% κ.β.) Κυτταρίνης	131
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	132
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	134

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Χαρακτηριστικά βιοαποδομήσιμα υλικά [44].....	6
Εικόνα 2: Διατροφικά απόβλητα σε σάκους συλλογής κατά τη μεταφορά τους με ειδικό όχημα αποκομιδής [19].....	18
Εικόνα 3: Βιοαπόβλητα τοποθετημένα σε βιοδιασπώμενο σάκο συλλογής [19].....	18
Εικόνα 4: Βιοδιασπώμενες σακούλες από καλαμπόκι και σιτάρι [20].....	19
Εικόνα 5: Σακούλες συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων και κατάλληλοι κάδοι [20].....	19
Εικόνα 6: Χαρακτηριστικό είδος κάδου συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων [110].....	20
Εικόνα 7: Κάδοι συλλογής με διαφορετική χωρητικότητα [7].....	20
Εικόνα 8: Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κάδο εντός οικίας.....	21
Εικόνα 9: Κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με φίλτρο αερισμού και πλέγμα αποστράγγισης (δεξιά), κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με σύστημα αποστράγγισης (αριστερά) [19].....	21
Εικόνα 10: Ρόδες και άξονας σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων [19].....	22
Εικόνα 11: Ποδομοχλός στο κάτω μέρος του κάδου [19].....	22
Εικόνα 12: Κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων τοποθετημένοι στο εξωτερικό οικίας στη Στοκχόλμη με ειδικό barcode καταγραφής της οικίας (αριστερά), απορριμματοφόρο με σύστημα ζύγισης (δεξιά) [19].....	23
Εικόνα 13: Κοντέινερ συλλογής βιοαποβλήτων στο εσωτερικό οικίας [19].....	23
Εικόνα 14: Σκουπιδοφάγος κάτω από το νεροχύτη οικίας (αριστερά) και πάνω από το νεροχύτη (δεξιά) [19].....	24
Εικόνα 15: Σύστημα οικιακής ξήρανσης διατροφικών αποβλήτων [19].....	24
Εικόνα 16: Φίλτρο ενεργού άνθρακα του συστήματος ξήρανσης της εταιρίας Loofen [83].....	25
Εικόνα 17: Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κεντρικό σημείο συλλογής [101].....	26
Εικόνα 18: Κάδοι συλλογής διατροφικών αποβλήτων τοποθετημένοι με λοιπούς κάδους συλλογής (δεξιά), απορριμματοφόρο κατά τη διάρκεια συλλογής απορριμμάτων (αριστερά) [99].....	26
Εικόνα 19: Πλαστικοί κάδοι με πώμα (αριστερά), μεταλλικοί κάδοι με πώμα (δεξιά) [19].....	27
Εικόνα 20: Υπόγειοι κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων σε ομάδες [19].....	28
Εικόνα 21: Υπόγειο σύστημα κάδων συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων με κάδους (αριστερά), σακούλα (δεξιά) [19].....	28
Εικόνα 22: Κάδος οικιακής κομποστοποίησης [12].....	34
Εικόνα 23: Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς [17].....	35
Εικόνα 24: Η μέθοδος της επιφανειακής κομποστοποίησης [124].....	35
Εικόνα 25: Ξύλινος κομποστοποιητής (αριστερά) και συρμάτινος κομποστοποιητής (δεξιά) [33].....	36
Εικόνα 26: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών αποβλήτων [124].....	36
Εικόνα 27: Κομποστοποιητής με γαιοσκώληκες [124].....	37
Εικόνα 28: Οικιακής κλίμακας αναερόβια χώνευση [111].....	38
Εικόνα 29: Βήματα της διεργασίας INEOSBIO για την παραγωγή βιοαιθανόλης.....	63
Εικόνα 30: Ανακοίνωση του Δήμου Ασπροπύργου σχετικά με την έναρξη της πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος διαχείρισης στο Δήμο.....	66
Εικόνα 31: Καδάκι κουζίνας για τη χωριστή διαλογή των οικιακών βιοαποβλήτων 23L (αριστερά), 10L (δεξιά).....	78

Εικόνα 32: Κάδος απόρριψης οικιακών βιοαποβλήτων χωρητικότητας (120L) τοποθετημένος σε πολυκατοικία του Δήμου Ασπροπύργου	78
Εικόνα 33: Μέρος του εγχειριδίου απόρριψης οικιακών βιοαποβλήτων το οποίο διαμοιράστηκε στους κατοίκους των δύο Δήμων.....	79
Εικόνα 34: Κάτοικοι των δύο Δήμων οι οποίοι συμμετείχαν στην ημερίδα (training seminar) που πραγματοποιήθηκε στο Δήμο Ασπροπύργου για την πιλοτική εφαρμογή του νέου συστήματος διαχείρισης.....	79
Εικόνα 35: Σύστημα οικιακής ξήρανσης σε οικία του Δήμου Παπάγου-Χολαργού	80
Εικόνα 36: Αποκομιδή οικιακών οργανικών απορριμμάτων από το δορυφορικό όχημα του Δήμου Παπάγου-Χολαργού	80
Εικόνα 37: Πλατφόρμα ζύγισης οικιακών οργανικών βιοαποβλήτων.....	81
Εικόνα 38: Εισερχόμενο υλικό στο εσωτερικό του συστήματος GAIA (κάτω), Ξηραμένο υλικό (πάνω) στο εσωτερικό του ίδιου συστήματος.....	81
Εικόνα 39: Υλικό τοποθετημένο σε σακούλες υψηλής αντοχής έτοιμο για περαιτέρω επεξεργασία	82
Εικόνα 40: Βιοαντιδραστήρας 20L στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας του Ε.Μ.Π.	82
Εικόνα 41: Σύστημα ξήρανσης GAIA δυνατότητας επεξεργασίας 100 Kgr νωπού υλικού ημερησίως.....	83
Εικόνα 42: Φίλτρο κατακράτησης οσμών και σωματιδίων του συστήματος GAIA.....	83
Εικόνα 43: Συσκευή άλεσης	86
Εικόνα 44: Κοσκίνισμα σε μέγεθος 1mm.....	86
Εικόνα 45: Φούρνος ξήρανσης με αέρα στους 80°C.....	87
Εικόνα 46: Ζύγιση 2gr ξηρού υλικού.....	88
Εικόνα 47: Δείγματα αραιωμένα με 40ml νερού.....	88
Εικόνα 48: Συσκευή ανάδευσης.....	88
Εικόνα 49: Μέτρηση pH και αγωγιμότητας	89
Εικόνα 50: Συσκευή μέτρησης TOC.....	89
Εικόνα 51: Πορσελάνινη κάψα.....	90
Εικόνα 52: Φούρνος (Solid Sample Module SSM 5000A)	90
Εικόνα 53: Κεντρική μονάδα TOCVCSH.....	90
Εικόνα 54: Ζύγιση ξηρού υλικού σε κάψες πορσελάνης	91
Εικόνα 55: Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών	91
Εικόνα 56: Διάλυμα 100ml νερού με 2,5gr ξηρού υλικού	92
Εικόνα 57: Συλλογή υγρού στον ογκομετρικό κύλινδρο (αριστερά) και συγκράτηση στερεού εκχυλίσματος στο διηθητικό χαρτί (δεξιά)	93
Εικόνα 58: Στερεό ίζημα μετά τη διήθηση	93
Εικόνα 59: Επώαση μίγματος.....	95
Εικόνα 60: Συσκευή φωτομέτρου	96
Εικόνα 61: Τοποθέτηση δείγματος σε παγόλουτρο για 20min	98
Εικόνα 62: Εισαγωγή των δειγμάτων στο υδατόλουτρο	98
Εικόνα 63: Συσκευή φυγοκέντρισης	98
Εικόνα 64: Επώαση στους 30°C.....	99
Εικόνα 65: Συσκευή αποστείρωσης (αριστερά) και κωνικές φιάλες στο εσωτερικό της για αποστείρωση στους 121°C (δεξιά).....	100

Εικόνα 66: Αρχή της εξουδετέρωσης του δείγματος με CaCO ₃ (αριστερά) και εξουδετερωμένο δείγμα σε pH=5-5,5 (δεξιά)	100
Εικόνα 67: Διάλυμα ξηρού υλικού και θειικού οξέος σε ηρεμία.....	102
Εικόνα 68: Συσκευή χώνευσης Gerhardt	102
Εικόνα 69: Συσκευή απόσταξης Varodest	103
Εικόνα 70: Προετοιμασία δείγματος βορικού και δείκτη.....	103
Εικόνα 71: Μετά την απόσταξη και πριν την τιτλοδότηση (αριστερά) και μετά την τιτλοδότηση (δεξιά).....	104
Εικόνα 72: Το τελικό ξηρό υλικό όπως αυτό καταγράφηκε από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM)	107
Εικόνα 73: Ποιοτική σύσταση του ξηρού υλικού όσον αφορά τη σύσταση σε βαρέα μέταλλα μετά το πέρας της ξήρανσης.....	107

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Μέση ποιοτική σύσταση των παραγόμενων αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα το έτος 2003 [5].....	2
Διάγραμμα 2: Ποιοτική σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα το 2010 [59,119]	3
Διάγραμμα 3: Παραγωγή αστικών αποβλήτων για τα έτη 2003-2013 σε χώρες της ΕΕ [53].....	4
Διάγραμμα 4: Ποσότητα και επεξεργασία των παραγόμενων ΑΣΑ στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2013 [54]	5
Διάγραμμα 5: Σύνθεση απορριμμάτων για χαμηλού εισοδήματος χώρες (αριστερά) και μεσαίου εισοδήματος (δεξιά)[126]	6
Διάγραμμα 6: Ποσοστό % w/w ΒΑ στη συνολική ποσότητα ΑΣΑ [21].....	7
Διάγραμμα 7: Προβολή της διεύρυνσης των επιλογών διαχείρισης των βιοαποβλήτων σε επίπεδο ΕΕ [21]	8
Διάγραμμα 8: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τα έτη 1990 και 2011 [52]	8
Διάγραμμα 9: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2013 [45].....	9
Διάγραμμα 10: Εκπομπές μεθανίου κατηγοριοποιημένες ανά πηγή [124]	10
Διάγραμμα 11: Ποσοστό βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που υφίστανται υγειονομική ταφή τα έτη 2006,2009, 2010 [52]	10
Διάγραμμα 12: Μέθοδοι επεξεργασίας των οικιακών βιοαποβλήτων [19].....	29
Διάγραμμα 13: Διεργασία της κομποστοποίησης [46].....	30
Διάγραμμα 14: Φάσεις της διεργασίας κομποστοποίησης [116].....	31
Διάγραμμα 15: Διεργασία αναερόβιας χώνευσης [96,121]	39
Διάγραμμα 16: Στατιστικά στοιχεία των νοικοκυριών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού	71
Διάγραμμα 17: Στατιστικά στοιχεία των νοικοκυριών του Δήμου Ασπροπύργου	76
Διάγραμμα 18: Συνολικά στατιστικά στοιχεία και των 2 Δήμων	77
Διάγραμμα 19: Διακύμανση υγρασίας ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα υγρασίας για το έτος 2015	109
Διάγραμμα 20: Διακύμανση VS ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα VS τα έτη 2014 και 2015 ...	110
Διάγραμμα 21: Διακύμανση pH ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα pH τα έτη 2014 και 2015 ..	111

Διάγραμμα 22: Διακύμανση αγωγιμότητας ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα αγωγιμότητας τα έτη 2014 και 2015	113
Διάγραμμα 23: Διακύμανση TOC ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα TOC τα έτη 2014 και 2015	114
Διάγραμμα 24: Εποχιακή διακύμανση ολικού αζώτου το έτος 2015	115
Διάγραμμα 25: Εποχιακή διακύμανση πρωτεΐνης το έτος 2015	116
Διάγραμμα 26: Συγκριτικό διάγραμμα εποχικότητας ολικών διαλυτών σακχάρων τα έτη 2014-15	117
Διάγραμμα 27: Διακύμανση γλυκόζης ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα γλυκόζης τα έτη 2014 και 2015.....	118
Διάγραμμα 28: Εποχιακή διακύμανση TRS για το έτος 2015	119
Διάγραμμα 29: Διακύμανση αμύλου ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα αμύλου τα έτη 2014 και 2015.....	121
Διάγραμμα 30: Διακύμανση κυτταρίνης ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα κυτταρίνης τα έτη 2014 και 2015.....	122
Διάγραμμα 31: Σύγκριση των αποτελεσμάτων ποσοστιαίας μείωσης όγκου των 2 μεθόδων... ..	123
Διάγραμμα 32: Σύγκριση αποτελεσμάτων ποσοστιαίας μείωσης μάζας των δύο μεθόδων.....	124
Διάγραμμα 33: Σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής κατανάλωσης των 2 μεθόδων.....	125
Διάγραμμα 34: Σύγκριση αποτελεσμάτων pH	126
Διάγραμμα 35: Σύγκριση αποτελεσμάτων πτητικών στερεών (VS %κ.β.).....	127
Διάγραμμα 36: Σύγκριση αποτελεσμάτων ολικού οργανικού άνθρακα	128
Διάγραμμα 37: Σύγκριση αποτελεσμάτων ολικών διαλυτών σακχάρων	129
Διάγραμμα 38: Σύγκριση αποτελεσμάτων ελεύθερης γλυκόζης.....	130
Διάγραμμα 39: Σύγκριση αποτελεσμάτων κυτταρίνης.....	131

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Ομαδοποίηση των ΑΣΑ [8].....	2
Πίνακας 2: Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των βιοαποβλήτων [9]	12
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας ιδανικών συνθηκών για την κομποστοποίηση [10]	33
Πίνακας 4: Τυπική σύσταση βιοαερίου [60]	38
Πίνακας 5: Σύνθεση (% ξηρό βάρος) και πηγές λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας [63,115]	55
Πίνακας 6: Απόδοση επιλεγμένων μεθόδων προεπεξεργασίας [61,67,93,108,106]	57
Πίνακας 7: Κόστος παραγωγής αιθανόλης από κυτταρίνη [81]	62
Πίνακας 8: Σύγκριση των αποδόσεων αιθανόλης από βιομάζα σε Λαιθ./τον ξηρής τέφρας [70]	65
Πίνακας 9: Κατοικίες του Δήμου Παπάγου-Χολαργού που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή	67
Πίνακας 10: Σύνολο νοικοκυριών και μελών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή.....	71
Πίνακας 11: Κατοικίες του Δήμου Ασπροπύργου που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή... ..	72
Πίνακας 12: Σύνολο νοικοκυριών και μελών του Δήμου Ασπροπύργου που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή	76

Πίνακας 13: Σύνολο νοικοκυριών που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης.....	77
Πίνακας 14: Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος GAIA	84
Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος GAIA	85
Πίνακας 16: Συνολική μάζα που παραλήφθηκε και ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος GAIA.....	105
Πίνακας 17: Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος.....	106
Πίνακας 18: Αποτελέσματα εποχικότητας της υγρασίας	108
Πίνακας 19: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για τα πτητικά στερεά. Συγκριτικά αποτελέσματα των ετών 2014-2015	109
Πίνακας 20: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για το pH. Συγκριτικά αποτελέσματα των ετών 2014-2015.....	111
Πίνακας 21: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για την αγωγιμότητα. Συγκριτικά αποτελέσματα αγωγιμότητας τα 2014-2015	112
Πίνακας 22: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για TOC. Συγκριτικά αποτελέσματα TOC τα έτη 2014-2015	113
Πίνακας 23: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για ολικό άζωτο. Συγκριτικά αποτελέσματα ολικού αζώτου το έτος 2015	115
Πίνακας 24: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για τα ολικά διαλυτά σάκχαρα. Συγκριτικά αποτελέσματα ολικών διαλυτών σακχάρων τα έτη 2014-2015.....	116
Πίνακας 25: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για την γλυκόζη. Συγκριτικά αποτελέσματα γλυκόζης τα έτη 2014-2015	118
Πίνακας 26: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών το έτος 2015	119
Πίνακας 27: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για το άμυλο. Συγκριτικά αποτελέσματα τα έτη 2014-2015.	120
Πίνακας 28: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων και η τυπική απόκλιση αυτών για την κυτταρίνη. Συγκριτικά αποτελέσματα τα έτη 2014-2015.	121

ΣΧΗΜΑΤΑ

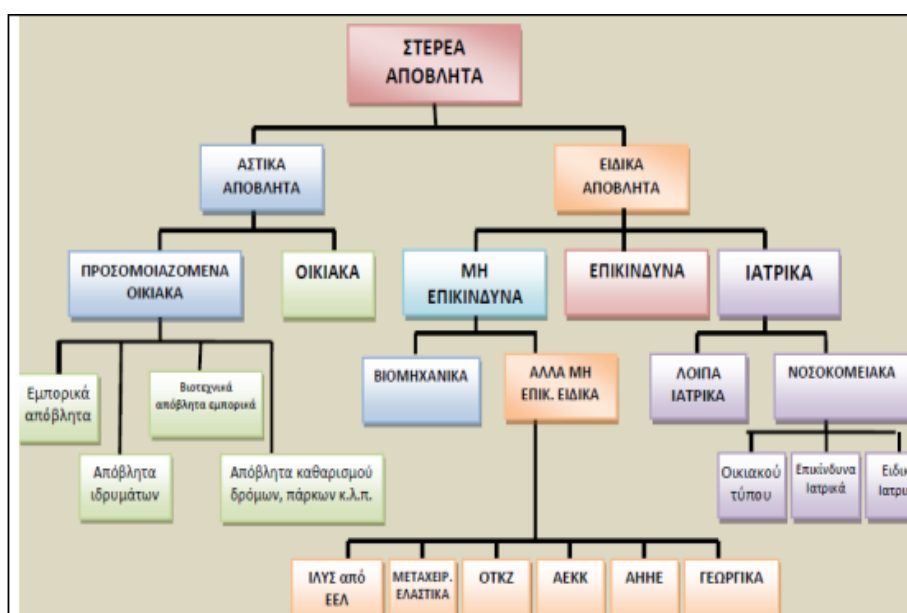
Σχήμα 1: Κατηγοριοποίηση των στερεών αποβλήτων [4]	1
Σχήμα 2: Ιεράρχηση διαχείρισης βιοαποβλήτων [24,72]	16
Σχήμα 3: Αντιδραστήρας τεχνολογίας Dranko	42
Σχήμα 4: Αντιδραστήρας τεχνολογίας Valogra	43
Σχήμα 5: Διεργασία της τεχνολογίας Komprogas [22]	44
Σχήμα 6: Μονάδα αποτέφρωσης των ΑΣΑ με φούρνο κινητής σχάρας [116].....	46
Σχήμα 7: Μονάδα αποτέφρωσης με φούρνο ρευστοποιημένης κλίνης [116]	46
Σχήμα 8: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας πυρολυτικής μονάδας [14]	48
Σχήμα 9: Διάταξη καυσίμων σε εγκατάσταση αεριοποίησης κάθετης κλίνης [14].....	49
Σχήμα 10: Εγκατάσταση οριζόντιας κλίνης [14].....	50
Σχήμα 11: Τομή ενός ΧΥΤΑ [13].....	51

Σχήμα 12: Επιφανειακή μέθοδος ταφής απορριμμάτων [16]	52
Σχήμα 13: Εναπόθεση απορριμμάτων με τη μέθοδο διαδοχικών τάφρων [13]	53
Σχήμα 14: Διεργασία παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα [100]	55
Σχήμα 15: Διεργασία ενζυμικής υδρόλυσης [40].....	56
Σχήμα 16: Διάγραμμα ροής συστήματος πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης [87]	59
Σχήμα 17: Διεργασία της πιλοτικής μονάδας NREL για τη μετατροπή της βιομάζας σε αιθανόλη [88]	60
Σχήμα 18: Σχεδιασμός αντιδραστήρα αντίστροφης ροής [81]	61
Σχήμα 19: Παραγωγή βιοαιθανόλης από ξυλώδη βιομάζα [81]	62
Σχήμα 20: Διεργασία της τεχνολογίας INEOSBIO [70]	63
Σχήμα 21: Αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος προς 3-άμινο-5-νιτρο-σαλικυλικό οξύ παρουσία γλυκόζης.	95
Σχήμα 22: Αλληλουχία ενζυμικών αντιδράσεων που οδηγούν στην ποσοτικοποίηση της γλυκόζης [42]	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΟΙΚΙΑΚΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

1.1. Εισαγωγή

Με τον όρο στερεά απόβλητα (ΣΑ) αναφέρονται τα απόβλητα τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, δεν έχουν αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους. Για το λόγο αυτό ο κάτοχος τους υποχρεούται ή προτίθεται να τα απορρίψει. Τα απόβλητα αυτά κατηγοριοποιούνται με βάση το ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 1).



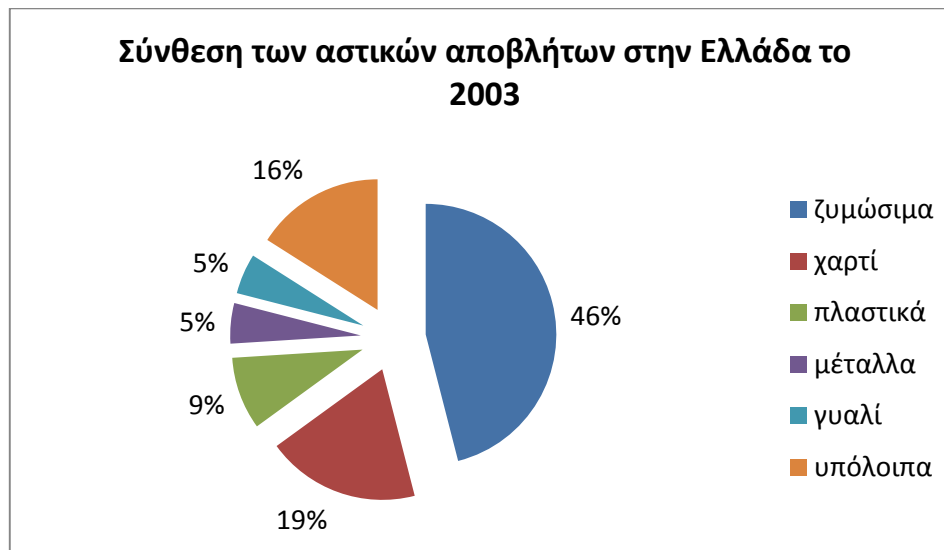
Σχήμα 1: Κατηγοριοποίηση των στερεών αποβλήτων [4]

Μια μεγάλη κατηγορία των στερεών αποβλήτων είναι τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ). Στα αστικά στερεά απόβλητα περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, τα απόβλητα εμπορικών δραστηριοτήτων, τα απόβλητα από τον καθαρισμό των δρόμων και των κοινόχρηστων χώρων καθώς και άλλα στερεά απόβλητα (από ιδρύματα, επιχειρήσεις κ.α.) τα οποία ανάλογα με τη φύση τους ή τη σύνθεσή τους μπορούν να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα [15]. Παρακάτω παρουσιάζεται μια κατάταξη των ΑΣΑ σε ομάδες (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Ομαδοποίηση των ΑΣΑ [8]

Ομάδες Υλικών	Υλικά
Ανακυκλώσιμα Υλικά	Χαρτί και Χαρτόνι
	Γυαλί
	Μέταλλα
	Πλαστικά και Συνθετικά
	Ξύλο (ένα ποσοστό)
Βιοαποδομήσιμα Υλικά	Βιολογικά Απόβλητα
	Οργανικά Απορρίμματα Κήπων
	Χαρτί και Χαρτόνι (ένα ποσοστό)
Επικίνδυνα Απόβλητα	Επικίνδυνα Οικιακά Απόβλητα
	Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού
Άλλα Υλικά	Ανάμεικτα ή λοιπά απόβλητα
	Ογκώδη Απόβλητα (στρώματα, έπιπλα, κ.α)
	Δέρμα, ξύλο, ύφασμα κλπ

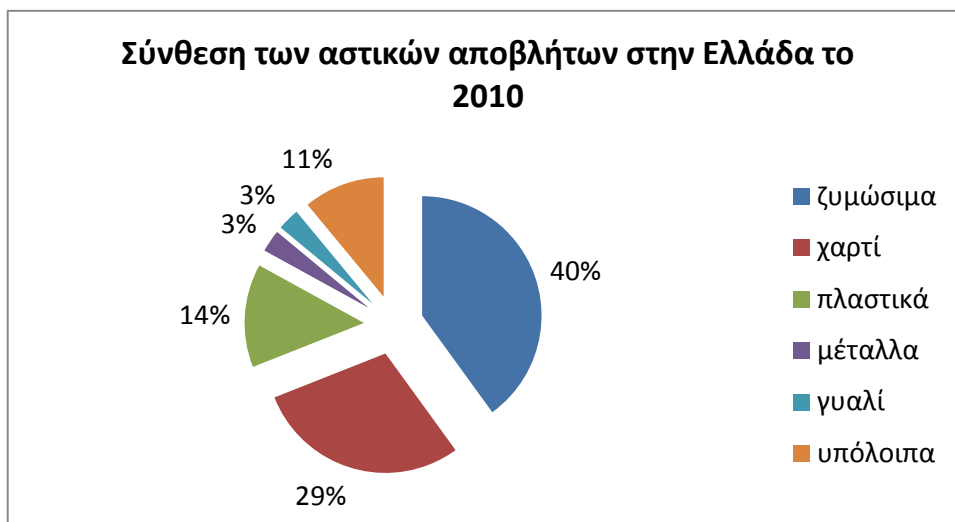
Τα ΑΣΑ έχουν διαφοροποιήσεις ως προς την ποιοτική και ποσοτική σύνθεσή τους. Αυτές οι διαφορές οφείλονται κυρίως στα γεωγραφικά στοιχεία κάθε περιοχής, την εποχή, τα καταναλωτικά πρότυπα και το βιοτικό επίπεδο [15,118]. Η μέση ποιοτική σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα σύμφωνα με τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) του 2003, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1: Μέση ποιοτική σύσταση των παραγόμενων αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα το έτος 2003 [5]

Στο διάγραμμα 1 παρατηρείται μεγαλύτερο ποσοστό σε ζυμώσιμα δηλαδή σε βιοαποδομήσιμα υλικά φυτικής και ζωικής προέλευσης όπως υπολείμματα κουζίνας και κήπου. Το γεγονός αυτό είναι αρκετά σημαντικό καθώς στα απορρίμματα αυτά μπορεί να πραγματοποιηθεί επεξεργασία με χρήση βιολογικών μεθόδων διαχείρισης, παράγοντας προϊόντα προστιθέμενης αξίας. Επίσης, προκύπτει ότι τα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως χαρτί, μέταλλα, γυαλί και πλαστικό αποτελούν το 38% των παραγόμενων ΑΣΑ.

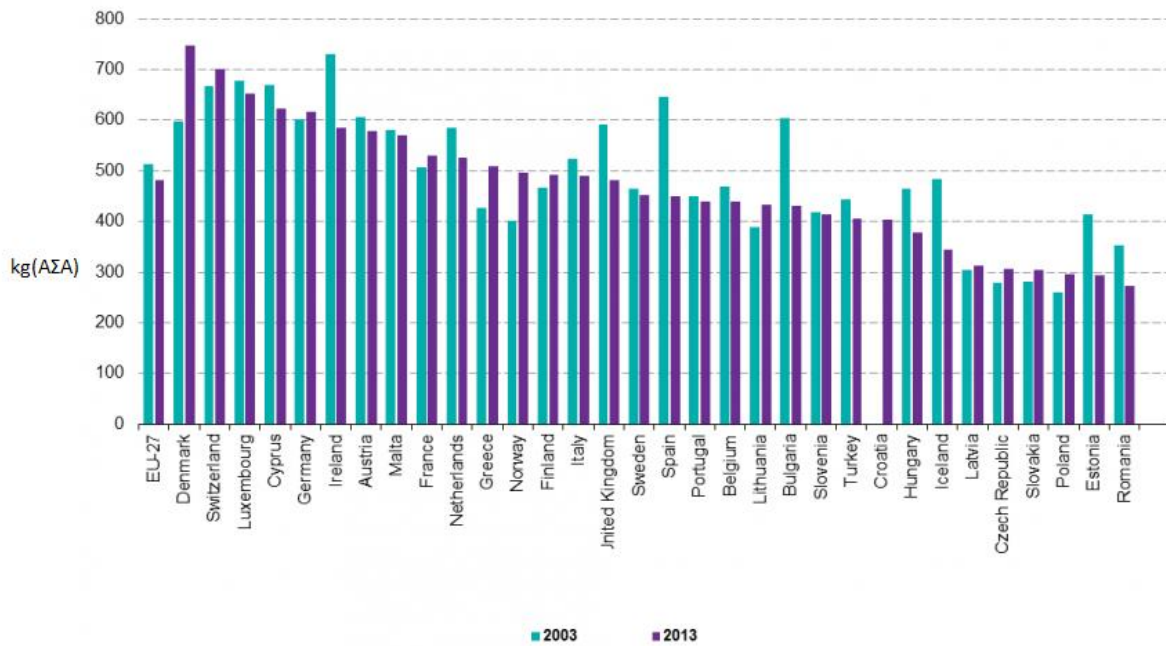
Ωστόσο, με τη πάροδο των ετών, έχει παρατηρηθεί μείωση του οργανικού κλάσματος στο σύνολο των ΑΣΑ, παράλληλα με τη σημαντική αύξηση των άλλων ρευμάτων. Αυτό φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τη μέση ποιοτική σύσταση των παραγόμενων αποβλήτων της Ελλάδας, για το έτος 2010 (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2: Ποιοτική σύσταση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα το 2010 [59,119]

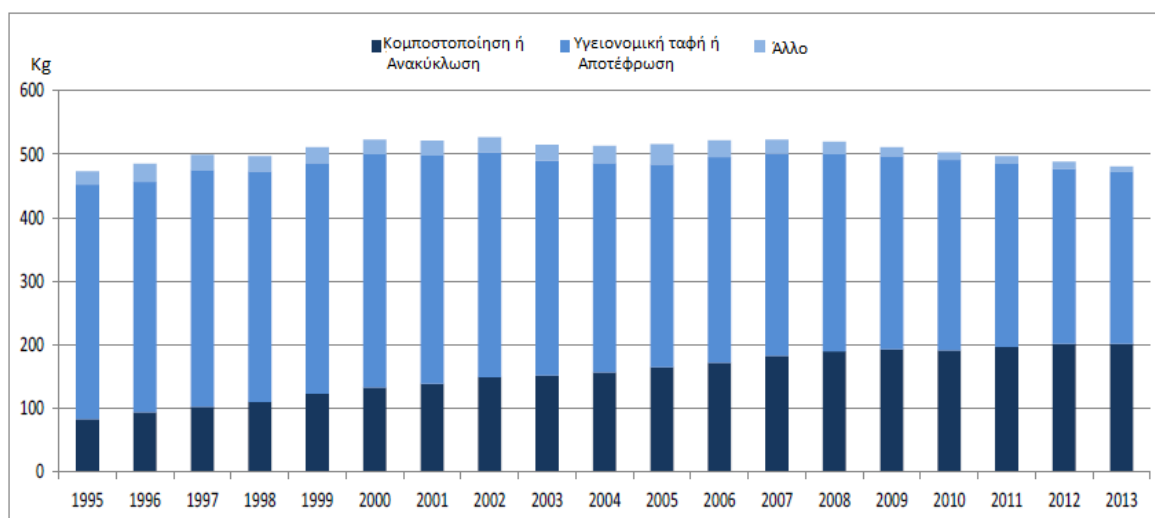
Από το διάγραμμα 2 προκύπτει ότι τα ανακυκλώσιμα υλικά, όπως το χαρτί, τα μέταλλα, το γυαλί και τα πλαστικά αποτελούν το 49% των παραγόμενων ΑΣΑ το έτος 2010 σε σχέση με το 2003. Δηλαδή, το 2010 υπάρχει μια αύξηση σε ανακυκλώσιμα και μια μείωση στο οργανικό κλάσμα σε σχέση με το 2003, που οφείλεται κυρίως στα καταναλωτικά πρότυπα και το βιοτικό επίπεδο, τα οποία μεταβάλλονται κάθε χρόνο.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η παραγωγή των αστικών στερεών αποβλήτων για τα έτη 2003-2013 σε kg ανά κάτοικο, για διάφορες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Παραγωγή αστικών αποβλήτων για τα έτη 2003-2013 σε χώρες τις ΕΕ [53]

Οι μέθοδοι διαχείρισης των ΣΑ περιλαμβάνουν τη συλλογή και τη μεταφορά των απορριμμάτων στους σταθμούς μεταφόρτωσης, την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων, την ανακύκλωση, της θερμικές μεθόδους επεξεργασίας όπως την αποτέφρωση, την αεριοποίηση, την πυρόλυση και την τεχνική του πλάσματος καθώς και τις βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας όπως αναερόβια χώνευση, κομποστοποίηση και βιολογική ξήρανση. Στην Ευρώπη το ποσό των ΣΑ που παράχθηκαν ανά άτομο το 2013 υπολογίζεται στα 481kg συγκριτικά με τα 527 kg το άτομο το 2002. Από το 2007 η παραγωγή των ΑΣΑ ανά άτομο έχει μειωθεί. Από τα 481kg ΑΣΑ που παράχθηκαν το 2013 τα 470 υφίστανται επεξεργασία. Αυτή η επεξεργασία ακολουθεί διαφορετικές μεθόδους: 31% υφίσταται υγειονομική ταφή, 28% ανακυκλώνεται, 26% αποτεφρώνεται και 15% κομποστοποιείται. Η ανακύκλωση ή κομποστοποίηση των ΑΣΑ έχει βαθμιαία αυξηθεί από 18%το 1995 σε 43% το 2013 (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Ποσότητα και επεξεργασία των παραγόμενων ΑΣΑ στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2013 [54]

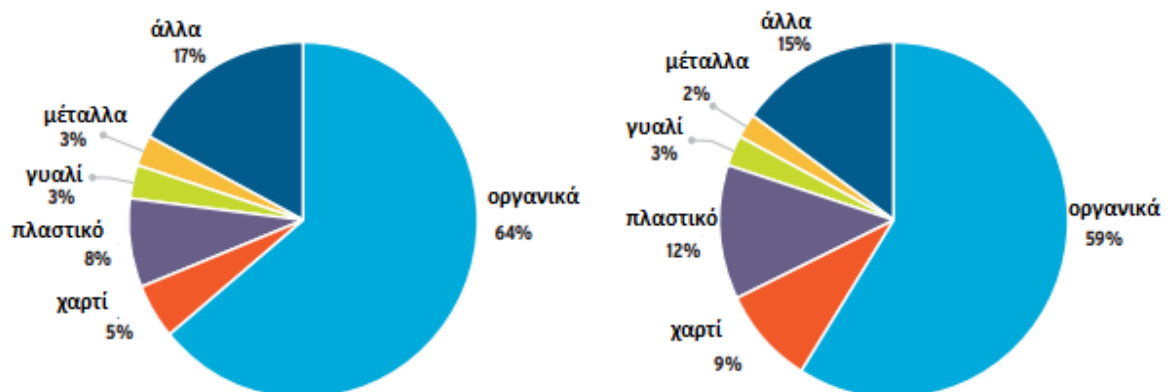
1.2. Βιολογικά Απόβλητα (ΒΑ)

Τα βιολογικά απόβλητα αποτελούν κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων και ορίζονται ως βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα (ΒΑΑ) κήπων και πάρκων, απόβλητα φαγητού και κουζίνας από οικίες, απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων, εστιατόρια, καφετέριες και καταστήματα λιανικής. Σε αυτά δεν περιλαμβάνονται τα απόβλητα δασοπονίας ή τα γεωργικά υπολείμματα, η κοπριά ή άλλα βιολογικά απόβλητα όπως υφάσματα, χαρτί ή επεξεργασμένο ξύλο. Εξαιρούνται, επίσης υποπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που ποτέ δεν καθίστανται ως απόβλητα [50]. Αποτελούνται κυρίως από απορρίμματα κουζίνας και μπορούν να αποτελέσουν έως και το 50% κ.β της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων οικιακών απορριμμάτων [124]. Υπάρχουν 2 κύρια ρεύματα, πράσινων αποβλήτων δηλαδή απορριμμάτων από κήπους και πάρκα και περιέχουν 50-60% νερό και περισσότερα λιγνοκυτταρινούχα υλικά καθώς και διατροφικά απορρίμματα που περιέχουν 80% νερό και ελάχιστα λιγνοκυτταρινούχα υλικά [126].



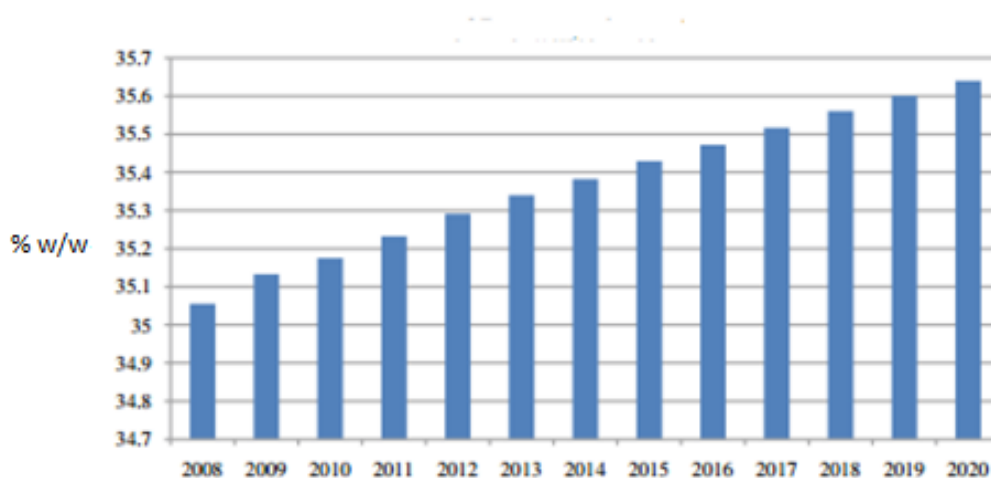
Εικόνα 1: Χαρακτηριστικά βιοαποδομήσιμα υλικά [44]

Η σύνθεση των βιολογικών αποβλήτων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως το επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης, τα πολιτιστικά πρότυπα, η γεωγραφική τοποθεσία, οι ενεργειακές πηγές και το κλίμα. Τα βιολογικά απόβλητα μπορούν να αποτελέσουν μέχρι και το 50% των οικιακών απορριμμάτων σε ετήσια βάση. Παρόλα αυτά, έχει εκτιμηθεί ότι, οι χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος χώρες έχουν υψηλότερο ποσοστό οργανικού υλικού (διατροφικά απορρίμματα, απόβλητα κήπων, ξύλο δηλαδή βιολογικά απόβλητα), που φτάνει μέχρι και το 85% του συνολικού αποβλήτου. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που δείχνει τα ποσοστά οργανικού και ανόργανου υλικού για χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος (Διάγραμμα 5).



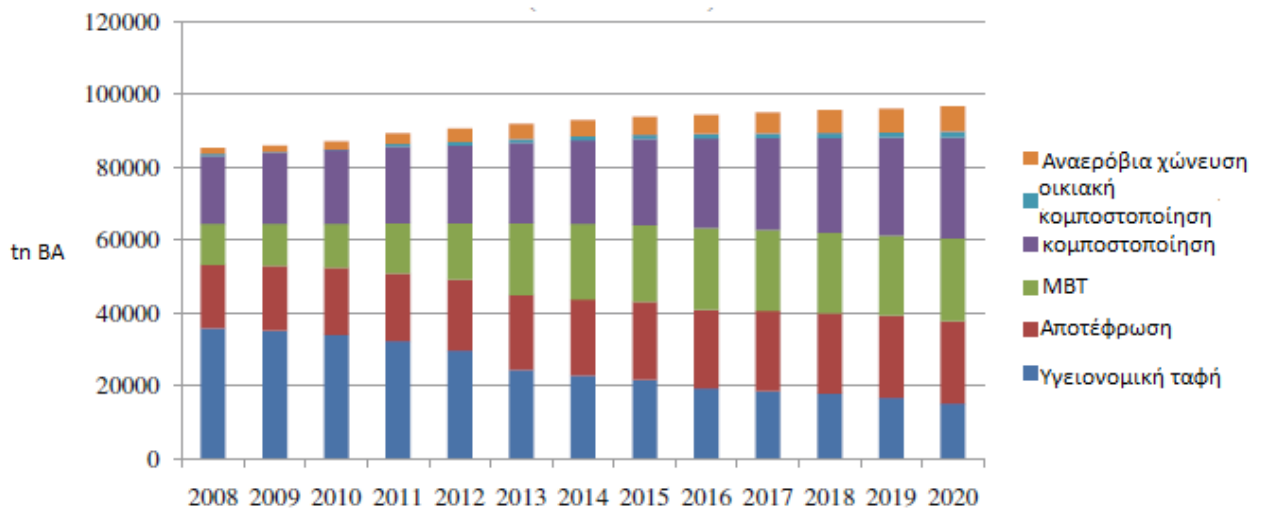
Διάγραμμα 5: Σύνθεση απορριμμάτων για χαμηλού εισοδήματος χώρες (αριστερά) και μεσαίου εισοδήματος (δεξιά)[126]

Το ποσό των βιολογικών αποβλήτων υπολογίζεται περίπου στο 1/3 των αποβλήτων που παράγονται από οικίες. Η συνολική παραγόμενη ποσότητα των βιολογικών αποβλήτων, τα οποία παράγονται στην Ευρώπη από τα νοικοκυριά, υπολογίζεται ίση με 118-138 Mt διατροφικών απορριμμάτων και αποβλήτων κήπων ετησίως από τα οποία 88Mt είναι ΑΣΑ [48]. Επιπλέον, παρατηρείται μια αύξηση του ποσοστού των βιολογικών αποβλήτων στη συνολική παραγωγή των ΑΣΑ σε επίπεδο ΕΕ, που προβλέπεται να φτάσει περίπου το 35,6% το 2020 (Διάγραμμα 6).



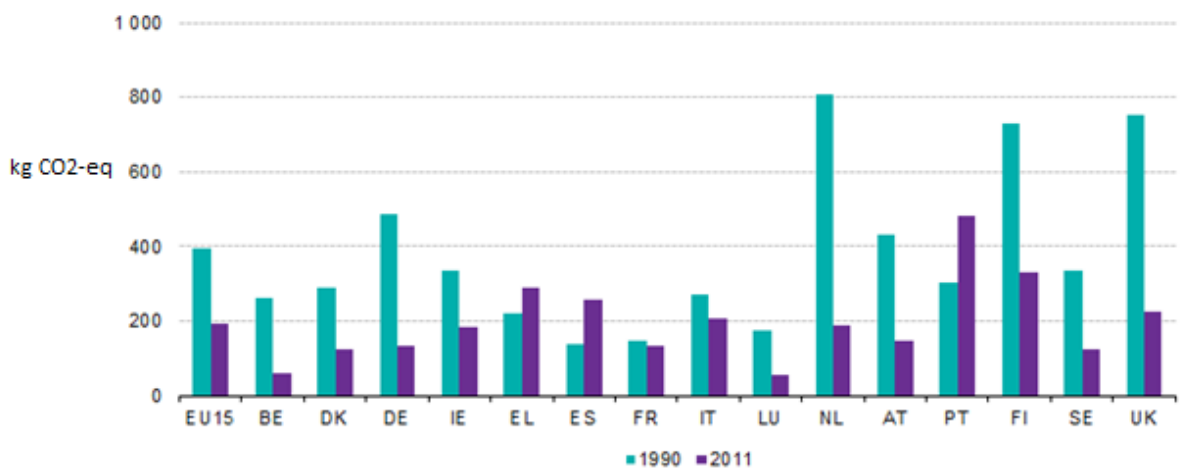
Διάγραμμα 6: Ποσοστό % w/w ΒΑ στη συνολική ποσότητα ΑΣΑ [21]

Σε μια πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη εκ μέρους της ΕΕ υπολογίστηκε ότι περίπου 86Mt διατροφικών απορριμμάτων παράχθηκαν το 2006 που ισοδυναμεί με 176kg το άτομο. Ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί περίπου σε 126Mt (40% αύξηση) μέχρι το 2020 εάν δεν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα [95]. Ετησίως, η αποσύνθεση των στερεών αποβλήτων συνεισφέρει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 5% [120]. Επομένως, χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κατάλληλη διαχείριση αυτών. Η διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων χρησιμοποιεί τις τεχνικές επεξεργασίας των ΑΣΑ (κομποστοποίηση, αποτέφρωση κλπ.). Αυτές οι μέθοδοι επεξεργασίας καθώς και η μεταβολή στη χρήση τους ανά έτος περιγράφονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 7).



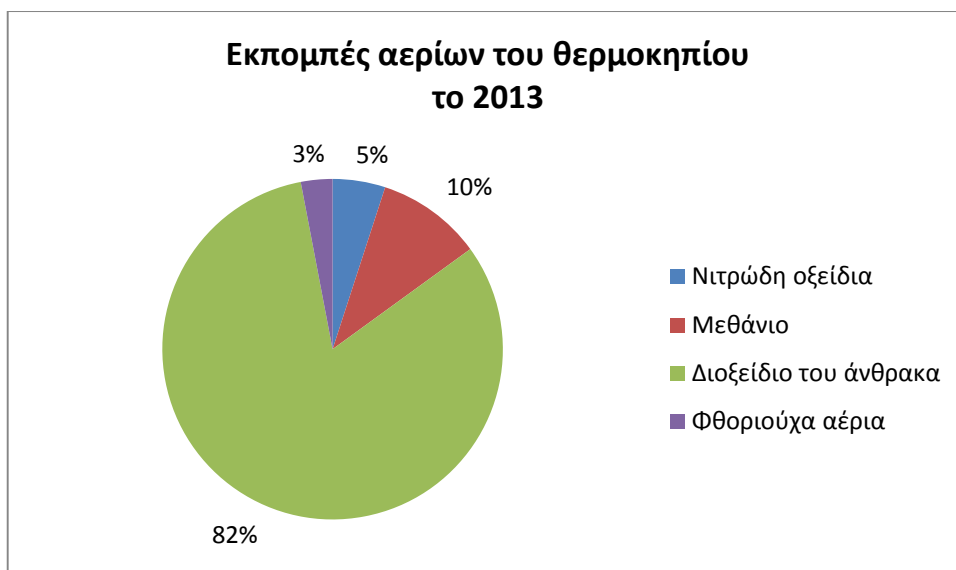
Διάγραμμα 7: Προβολή της διεύρυνσης των επιλογών διαχείρισης των βιοαποβλήτων σε επίπεδο ΕΕ [21]

Το κλάσμα των αποβλήτων αυτών είναι υπεύθυνο για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι υπεύθυνα για τα φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου για τα έτη 1990 και 2011 στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) για 15 κράτη μέλη της ΕΕ σε ισοδύναμα KgCO₂ ανά κράτος (Διάγραμμα 8).



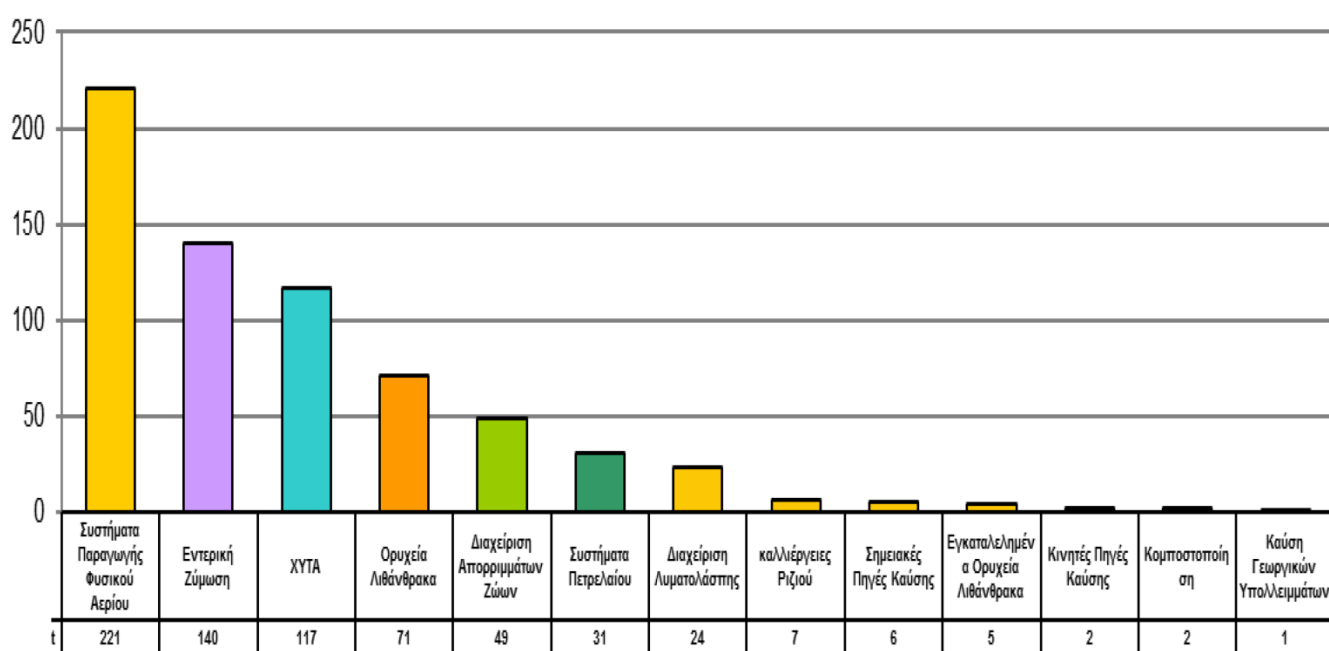
Διάγραμμα 8: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τα έτη 1990 και 2011 [52]

Η κύρια περιβαλλοντική απειλή από τα βιολογικά απόβλητα είναι η παραγωγή μεθανίου από την αποσύνθεση των αποβλήτων στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) που αντιπροσωπεύει περίπου το 10% των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ το 2013 όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 9).



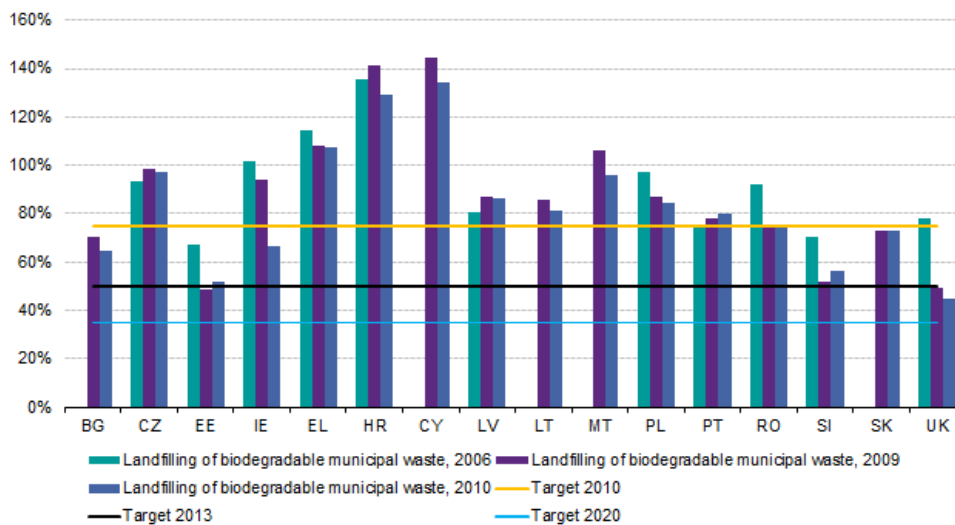
Διάγραμμα 9: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2013 [45]

Το μεθάνιο παράγεται στους ΧΥΤΑ από την αποσύνθεση των οργανικών απορριμμάτων μέσω των βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, απουσία οξυγόνου και εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας τους σε νερό. Η ποσότητα του μεθανίου, εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του περιεχόμενου νερού, στο εσωτερικό των βιοαποβλήτων και τον τύπο του ΧΥΤΑ στον οποίο αυτά ενταφιάζονται. Στην Ευρωπαϊκή ένωση, η παραγωγή μεθανίου αυξήθηκε αργά, αλλά σταθερά από 8,6Mt το 1990 σε 9,7 Mt το 2002 και στην συνέχεια μειώθηκε μέχρι την ποσότητα των 9,3 Mt το 2008 [124]. Οι χώροι υγειονομικής ταφής είναι η τρίτη μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή παραγωγής μεθανίου στις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς φαίνονται ότι παρήγαγαν το 17% της συνολικής ποσότητας μεθανίου που παράχθηκε το 2009 (Διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10: Εκπομπές μεθανίου κατηγοριοποιημένες ανά πηγή [124]

Η οδηγία περί υγειονομικής ταφής (1999-1931ΕΚ) υποχρεώνει τα κράτη μέλη να μειώσουν την ποσότητα των ΒΑΑ που διαθέτουν στους ΧΥΤΑ στο 35% από το 1995 μέχρι το 2016 (σε ορισμένες χώρες το 2020), η οποία θα μειώσει σημαντικά το πρόβλημα αυτό [50]. Παρακάτω παρουσιάζεται το ποσοστό των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που υφίστανται υγειονομική ταφή για τα έτη 2009, 2006 και 2010 σε σύγκριση με το ποσοστό που παράχθηκε το 1995 (Διάγραμμα 11).



Διάγραμμα 11: Ποσοστό βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που υφίστανται υγειονομική ταφή τα έτη 2006,2009, 2010 [52]

1.3. Νομοθετικό Πλαίσιο για τη Διαχείριση Βιοαποβλήτων

Η διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος στρατηγικών, όπως τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων, τη κλιματική αλλαγή, την ενέργεια, τη βιοποικιλότητα, τη προστασία των βιοτόπων, τη γεωργία και τη προστασία του εδάφους. Ο στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να παρουσιάσει μια προεπισκόπηση των υπαρχόντων μέτρων της ΕΕ για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των βιολογικών αποβλήτων [95].

1.3.1. Θεματική Στρατηγική Σχετικά με τη Μείωση και την Ανακύκλωση των Αποβλήτων

Η θεματική στρατηγική, που αφορά στη μείωση και την ανακύκλωση των αποβλήτων θέτει κατευθύνσεις και περιγράφει τρόπους με τους οποίους η διαχείριση των απορριμμάτων μπορεί να βελτιωθεί. Ο στόχος της στρατηγικής είναι η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της διαχείρισης των αποβλήτων στο περιβάλλον, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους από την παραγωγή ως την τελική διάθεση.

Η στρατηγική εστιάζει κυρίως στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αποβλήτων και των προϊόντων που θα γίνουν απόβλητα και δίνει έμφαση στα βιολογικά απόβλητα, τα 2/3 των οποίων πρέπει να μεταφέρονται για διάθεση χρησιμοποιώντας άλλες μεθόδους αντί για υγειονομική ταφή, όπως απαιτείται από την οδηγία 1999/31/ΕΚ [95].

Πράσινη Βίβλος για τη διαχείριση των Βιοαποβλήτων στην ΕΕ

Η πράσινη βίβλος η οποία δημοσιεύτηκε το Δεκέμβριο του 2008 και αφορά τη διαχείριση των βιοαποβλήτων, έθεσε μια διαδικασία συλλογής απόψεων σχετικά με το αν υπάρχει ανάγκη να δημιουργηθεί μια οδηγία για τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων και μόνο. Στόχος της ήταν να διερευνήσει επιλογές για την περαιτέρω ανάπτυξη των βιολογικών αποβλήτων μέσω ανασκόπησης της υπάρχουσας κατάστασης σε Ευρωπαϊκό επίπεδο [95].

Το νομοθετικό πλαίσιο που αναφέρει τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων σε Ευρωπαϊκό και Εθνικό επίπεδο παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των βιοαποβλήτων [9]

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία	Εθνική Νομοθεσία	Επισημάνσεις
Οδηγία 98/2008/ΕΚ για τα απόβλητα Οδηγία 2008/99/ΕΚ σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου.	ΝΟΜΟΣ 4042 (ΦΕΚ Α' 24/13-02-2012) Ποινική προστασία του περιβάλλοντος- Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων	(Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ και την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.) Σύμφωνα με το άρθρο 41: Έως το 2015, το ποσοστό χωριστής συλλογής των βιολογικών αποβλήτων πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστον, στο 5% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων και έως το 2020, κατ' ελάχιστον, στο 10% του συνολικού βάρους των βιολογικών αποβλήτων.
Οδηγία 91/156/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων.	ΚΥΑ 114218/1997 (ΦΕΚ 1016Β/17.11.97), Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων	Ενσωμάτωση των γενικών κατευθύνσεων και προδιαγραφών της 75/442/ΕΚ περί στερεών αποβλήτων, όπως τροποποιήθηκε από την 91/156/ΕΚ.
Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572Β/16.12.02), Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων.	Θέσπιση στόχων για επεξεργασία πριν την ταφή και μείωση της ποσότητας των ΒΑΑ που οδηγείται για ταφή.
Οδηγία 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ.	ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909Β/22.12.2003), Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Σε εθνικό επίπεδο με την εν λόγω ΚΥΑ ενσωματώθηκε η 75/442/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με την 91/156/ΕΚ θέτοντας αυστηρότερες κατευθύνσεις, μέτρα, όρους και διαδικασίες για την διαχείριση στερεών αποβλήτων και εισήγαγε τους ευρωπαϊκούς στόχους και αρχές στην εθνική στρατηγική διαχείρισης.
Οδηγία 2008/ι/ΕΚ, σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.
Κανονισμός 1774/2002/ΕΚ, για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	ΠΔ 211/2006 (ΦΕΚ 211Α/05.06.06), Συμπληρωματικά μέτρα εκτέλεσης του Κανονισμού 1774/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 3ης Οκτωβρίου 2002 για τον καθορισμό υγειονομικών κανόνων σχετικά με τα ζωικά υποπροϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο.	Ενσωμάτωση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο Το ΠΔ συμπληρώνεται και με τις εγκυκλίους όπως παρουσιάστηκαν ανωτέρω. Δίνονται προδιαγραφές για εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης και αναερόβιας χώνευσης (παρασκευής βιοαερίου), αδειοδότηση και ορθή λειτουργία. Επίσης, γίνεται και προσέγγιση για θέσπιση κριτηρίων οργανικών λιπασμάτων από υλικά αυτών των κατηγοριών.
Κανονισμός 1069/2009/ΕΚ, περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα).	-	Νέο συνεκτικό και συνολικό πλαίσιο κοινοτικών υγειονομικών κανόνων για τη συλλογή, τη μεταφορά, τον χειρισμό, τον μετασχηματισμό, τη μεταποίηση, την αποθήκευση, τη διάθεση στην αγορά, τη διανομή, τη χρήση ή την απόρριψη των ζωικών υποπροϊόντων.
Κανονισμός 142/2011/ΕΚ, για την εφαρμογή του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά	-	Θέσπιση κανόνων για τη διαχείριση ζωικών υποπροϊόντων, την επίτευξη των στόχων του Κανονισμού 1069/2009/ΕΚ και τη βιώσιμη χρήση ζωικών υλικών, αλλά και τη διατήρηση

υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο		υψηλού επιπέδου προστασίας της δημόσιας υγείας και υγείας των ζώων στην ΕΕ.
Οδηγία 2000/76/ΕΚ, για την αποτέφρωση των αποβλήτων.	ΚΥΑ 22912/1117 (ΦΕΚ 759Β/06.06.05) Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων.	Εναρμόνιση εθνικού με ευρωπαϊκό δίκαιο.
Οδηγία 2006/799/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους.	-	Με τις οδηγίες αυτές είναι σαφής η προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων υλικών ή/ και η ανακύκλωση οργανικής ύλης προερχόμενης από συγκέντρωση ή/ και επεξεργασία αποβλήτων, ως συμβολή στην ελαχιστοποίηση των προς τελική διάθεση στερεών αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο ακόμη δεν έχουν εναρμονιστεί.
Οδηγία 2007/64/ΕΚ, περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε καλλιεργητικά μέσα.	-	

1.3.2. Οδηγία 1999/31/ΕΚ

Η οδηγία 1999/31/ΕΚ η οποία ψηφίστηκε στις 26 Απριλίου 1999 γνωστή ως οδηγία υγειονομικής ταφής θέτει στόχους για τη μείωση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που πηγαίνουν στους χώρους υγειονομικής ταφής. Η οδηγία περί υγειονομικής ταφής θέτει έναν απόλυτο στόχο για την ποσότητα των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που μπορούν να οδηγηθούν στους ΧΥΤΑ, που αφορά τα έτη 2006, 2009, 2016 (για ορισμένες χώρες το 2020) συνδέοντας την επιτρεπόμενη με την παραγόμενη ποσότητα του έτους 1995. Η οδηγία υποχρεώνει όλα τα κράτη μέλη να μειώσουν το ποσό των ΒΑ που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ στο 65% μέχρι το 2016 (σε ορισμένες χώρες μέχρι το 2020), συγκριτικά με τα επίπεδα το 1995. Αυτό σημαίνει, ότι αν η παραγωγή ΒΑ διπλασιαστεί μεταξύ 1995 και 2016, μόνο το 17,5% αυτών που παράγονται το 2016 μπορεί να οδηγηθεί στους ΧΥΤΑ. Η ισχύουσα νομοθεσία δεν θέτει συγκεκριμένους στόχους σχετικά με τις μεθόδους που πρέπει να εφαρμόσουν τα κράτη μέλη ώστε να μην αποστέλλονται στους ΧΥΤΑ τα βιολογικά απόβλητα, μια κατάσταση η οποία έχει οδηγήσει τα περισσότερα κράτη-μέλη να επιλέξουν την αποτέφρωση ως εναλλακτική λύση διαχείρισης των ΒΑ [95].

1.3.3. Οδηγία 2006/12/ΕΚ

Η οδηγία 2006/12/ΕΚ που ψηφίστηκε στις 5 Απριλίου το 2006 στοχεύει στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τις βλαβερές επιδράσεις που προκαλούνται από τη συλλογή, τη μεταφορά, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διάθεση των αποβλήτων. Στις 17 Ιουνίου 2008, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, υιοθέτησε μια νομοθετική ρύθμιση με την οποία, αποδεικνύεται η κοινή θέση των κρατών μελών για ένα νέο

νομοθετικό πλαίσιο για τα απόβλητα. Με την αφορμή αυτή, το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο ανανεώθηκε και έλαβε πιο απλή και κατανοητή μορφή, ενώ ενδυναμώθηκαν τα μέτρα για τη μείωση των αποβλήτων. Το νέο νομοθετικό πλαίσιο θέτει καινούριους στόχους ανακύκλωσης στα κράτη μέλη μέχρι το 2020 και μια ξεκάθαρη στρατηγική 5 βημάτων σχετικά με τη διαχείρισή τους στην οποία η πρόληψη αποτελεί την προτιμώμενη επιλογή ακολουθούμενη από την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση. Ξεκαθαρίζει την έννοια όρων όπως ανακύκλωση, ανάκτηση και απόβλητα, επίσης διαχωρίζει την έννοια των αποβλήτων και παραπροϊόντων αυτών, ορίζει στα κράτη μέλη τη δημιουργία ολοκληρωμένων εθνικών στρατηγικών για τη διαχείριση των απορριμμάτων τους [95].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1. Εισαγωγή

Η βαθμιαία αύξηση της ποσότητας των ΒΑ που απορρίπτονται κάθε χρόνο στους ΧΥΤΑ δημιούργησε την ανάγκη αναζήτησης τεχνικών οι οποίες θα μειώσουν το ποσοστό των αποβλήτων που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα συστήματα διαχείρισης των ΒΑ που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό αποτελούνται από 4 κύρια τμήματα:

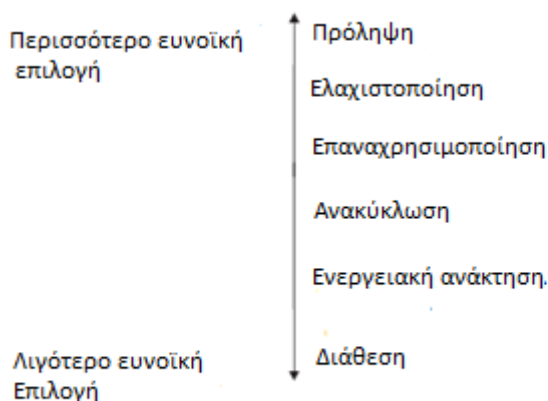
- Παραγωγή.
- Συλλογή και μεταφορά.
- Επεξεργασία.
- Τελική διάθεση.

Προηγμένα συστήματα διαχείρισης περιλαμβάνουν μεθόδους διαχείρισης, οι οποίες ελαχιστοποιούν τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτές οι μέθοδοι διαχείρισης χωρίζονται σε 4 κατηγορίες αναφορικά με την τελική διάθεση των βιοαποβλήτων:

- Ελαχιστοποίηση ή πρόληψη της παραγωγής του αποβλήτου.
- Ανακύκλωση του αποβλήτου.
- Θερμική επεξεργασία με ανάκτηση ενέργειας.
- Υγειονομική ταφή.

Η ελαχιστοποίηση είναι η κορυφαία προτεραιότητα και αποτελεί ευθύνη του παραγωγού του αποβλήτου. Αντίθετα, η ανακύκλωση αποτελεί δεύτερη προτεραιότητα και έχει ως αποτέλεσμα την ανάκτηση των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες για την παραγωγή λοιπών προϊόντων [125].

Οι επιλογές διάθεσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν σε 6 επίπεδα, από το χαμηλότερο στο υψηλότερο (Σχήμα 2) [107].



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

2.2. Διαχείριση ΒΑ με Διαλογή στην Πηγή

Με τον όρο διαλογή στην πηγή (ΔσΠ), νοείται εκείνη η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται διαχωρισμός των απορριμμάτων σε επιμέρους ροές στην πηγή της γένεσής τους και η οποία έχει ως σκοπό την ανάκτηση υλικών τα οποία δύναται να αξιοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας [10]. Συνεπώς, τα υλικά στόχοι ενός προγράμματος διαλογής στην πηγή είναι συγκεκριμένα, ενώ η απομάκρυνσή τους από το ρεύμα των σύμμεικτων απορριμμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική και αποτελεσματική μείωση της μάζας των παραγόμενων απορριμμάτων με ταυτόχρονη ανάκτηση υλικών υψηλής καθαρότητας και ομοιογένειας. Τα υλικά αυτά επανεντάσσονται στον παραγωγικό κύκλο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας ή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή λοιπών προϊόντων [19].

Κατηγορίες Συστημάτων Διαλογής Οικιακών Βιοαποβλήτων στην Πηγή (ΔσΠ)

Τα υπάρχοντα συστήματα διαλογής στην πηγή των οικιακών ΒΑ σε παγκόσμιο επίπεδο, διαμορφώνονται κάθε φορά με βάση τα παρακάτω στοιχεία:

- Τον αριθμό και το είδος των υλικών στα οποία στοχεύει το ΔσΠ (στη συγκεκριμένη περίπτωση τα οικιακά βιοαπόβλητα).
- Τον αριθμό των οικιών στις οποίες στοχεύει ένα σύστημα διαχείρισης [19].
- Το είδος των οικιών στις οποίες στοχεύει [19].
- Τις γεωγραφικές συνθήκες [17].
- Τις κλιματικές συνθήκες [19].
- Τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής [1].
- Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής [17].

Με βάση τα παραπάνω, τα συστήματα ΔσΠ των ΒΑ χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [19]:

- Συλλογή με τη μέθοδο Πόρτα - Πόρτα (Door to Door Collection).
- Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών (Curb side Collection).
- Συνδυασμός των παραπάνω σχημάτων.

Τα προαναφερθέντα κατατάσσονται ανάλογα με τον τρόπο υλοποίησής τους (αν απασχολούν ή όχι μόνιμο προσωπικό ή εάν λειτουργούν σε συνεχή βάση) στις ακόλουθες κατηγορίες [19]:

- Στα συστηματικά προγράμματα τα οποία λειτουργούν σε συνεχή βάση και απασχολούν μόνιμο προσωπικό.
- Στα περιοδικά προγράμματα τα οποία έχουν εποχική διάρκεια ή αφορούν σε εποχικές ή παροδικές ροές ή πιλοτικές δράσεις.

2.2.1. Συλλογή με τη Μέθοδο Πόρτα-Πόρτα

Η συλλογή των οικιακών ΒΑ με αυτήν τη μέθοδο γίνεται συνήθως με κάδους, σάκους, δεξαμενές ή σκουπιδοφάγους οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι εντός ή εκτός της οικίας. Το μέγεθος και το είδος των αποθηκευτικών μέσων ποικίλει κάθε φορά και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, του πληθυσμού της, καθώς και των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων ενός Δήμου. Επιπλέον, ο τύπος των κάδων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά είναι άμεσα εξαρτώμενος από τον τύπο των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για την αποκομιδή. Στην πλειοψηφία των χωρών παγκοσμίως η κύρια μέθοδος προσωρινής αποθήκευσης και συλλογής οικιακών ΒΑ που χρησιμοποιείται σήμερα είναι οι σακούλες και οι κάδοι [19].

2.2.1.1. Σάκοι Συλλογής

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

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

Το βασικό υλικό κατασκευής τους και για τις 2 κατηγορίες είναι το πλαστικό. Ιδιαίτερη προσοχή είναι σημαντικό να δίνεται στη διαδικασία κατασκευής τους, καθώς θα πρέπει να επιδεικνύουν αντοχή στις καταπονήσεις του υλικού, λόγω χάρη σε τρυπήματα από αιχμηρά αντικείμενα και στο βάρος των απορριμμάτων που πρόκειται να διαχειριστούν. Θέτοντας τους ανωτέρω στόχους ως προς την κατασκευή του υλικού θα ελαχιστοποιηθεί και η ρύπανση που μπορεί να προκληθεί [1].



Εικόνα 2: Διατροφικά απόβλητα σε σάκους συλλογής κατά τη μεταφορά τους με ειδικό όχημα αποκομιδής [19]

Πέραν των πλαστικών σάκων συλλογής, τα τελευταία χρόνια γίνεται χρήση βιοδιασπώμενων σάκων (Εικόνα 3) για τη συλλογή των διατροφικών οικιακών αποβλήτων, οι οποίοι ωστόσο παρουσιάζουν προβλήματα αντοχής στις πιέσεις που υφίστανται κατά τη συλλογή και αποκομιδή των απορριμμάτων. Αυτές, κατασκευάζονται κυρίως από καλαμπόκι ή σιτάρι [19].



Εικόνα 3: Βιοαπόβλητα τοποθετημένα σε βιοδιασπώμενο σάκο συλλογής [19]

Η τοποθέτησή τους γίνεται εντός της οικίας σε ειδικό κάδο συλλογής ΒΑ. Τις ημέρες αποκομιδής τοποθετούνται σε ειδικό κάδο εξωτερικά της οικίας, από το χρήστη προκειμένου να συλλεχθούν από τις αρμόδιες υπηρεσίες (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Βιοδιασπώμενες σακούλες από καλαμπόκι και σιτάρι [20]

Η επιλογή του κατάλληλου σάκου θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να αρκεί για την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών μιας οικίας σε σχέση πάντοτε με τη συχνότητα αποκομιδής των ΒΑ στην κάθε περιοχή (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Σακούλες συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων και κατάλληλοι κάδοι [20]

Η αποκομιδή των οικιακών ΒΑ στην περίπτωση αυτήν πραγματοποιείται χειρωνακτικά από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Δήμου ή της εκάστοτε εταιρίας, η οποία έχει αναλάβει το έργο αυτό.

2.2.1.2. Τυποποιημένοι Κάδοι με Πώμα

Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο υλικό για την κατασκευή των κάδων είναι το ανακυκλωμένο πλαστικό. Το χρώμα τους ποικίλει από χώρα σε χώρα όπως επίσης και η χωρητικότητά τους. Ορισμένοι κάδοι χρησιμοποιούνται για την συλλογή των διατροφικών αποβλήτων αποκλειστικά ενώ, άλλοι χρησιμοποιούνται για την συλλογή των οικιακών βιοαποβλήτων (διατροφικών αποβλήτων με απόβλητα κήπου). Πολλοί από αυτούς φέρουν χειρολαβή για την πρακτικότερη μεταφορά και την εκκένωσή τους. Οι κάδοι με πώμα χρησιμοποιούνται αυτούσιοι ή σε συνδυασμό με βιοδιασπώμενες σακούλες. Η τοποθέτησή

τους ποικίλει από περιοχή σε περιοχή με συνηθέστερη ωστόσο, την εντός οικίας τοποθέτηση σε χώρο όπου συνήθως παράγονται τα περισσότερα διατροφικά απόβλητα [19].



Εικόνα 6: Χαρακτηριστικό είδος κάδου συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων [110]

Το μέγεθος των κάδων ποικίλει σημαντικά και στους μικρούς κάδους κυμαίνεται από 28 έως 50lt (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Κάδοι συλλογής με διαφορετική χωρητικότητα [7]

Η αποκομιδή των οικιακών ΒΑ και σε αυτήν την περίπτωση γίνεται από τους ίδιους τους κατοίκους χειρωνακτικά (Εικόνα 8), τοποθετώντας τα συλλεχθέντα απορρίμματα σε μεγαλύτερους κάδους εκτός της οικίας για αποκομιδή από τις αρμόδιες υπηρεσίες [19].



Εικόνα 8: Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κάδο εντός οικίας

Ορισμένοι κάδοι διαθέτουν σύστημα αερισμού και σύστημα αποστράγγισης (Εικόνα 9) ώστε τα διατροφικά απορρίμματα να παραμένουν σε συνθήκες οι οποίες θα τα διατηρήσουν, έως ότου κομποστοποιηθούν σε κεντρική εγκατάσταση [19].



Εικόνα 9: Κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με φίλτρο αερισμού και πλέγμα αποστράγγισης (δεξιά), κάδος συλλογής βιοαποβλήτων με σύστημα αποστράγγισης (αριστερά) [19]

Οι συγκεκριμένοι κάδοι (Εικόνα 10) μπορούν να υπάρξουν με άξονες και ρόδες για ευκολότερη μεταφορά τους και άδειασμα από τα βιοαπόβλητα που περιέχουν και οι οποίοι τοποθετούνται εντός ή εκτός οικίας.



Εικόνα 10: Ρόδες και άξονας σε κάδο συλλογής βιοαποβλήτων [19]

Σε ορισμένες περιπτώσεις στο κάτω μέρος των κάδων υπάρχει ποδομοχλός (Εικόνα 11) για το εύκολο άνοιγμά του από τους χρήστες.



Εικόνα 11: Ποδομοχλός στο κάτω μέρος του κάδου [19]

Σε ορισμένες χώρες, όπως η Σουηδία οι κάδοι έχουν ειδικό barcode το οποίο χαρακτηρίζει μια οικία και κάθε φορά που γίνεται η αποκομιδή από τις αρμόδιες υπηρεσίες, τα απορρίμματα ζυγίζονται και καταγράφονται αυτόματα στο ηλεκτρονικό σύστημα της αρμόδιας υπηρεσίας του Δήμου. Με τον τρόπο αυτό, υπάρχει πλήρη καταγραφή των ποσοτήτων που (Εικόνα 12) συλλέγονται κάθε φορά από τις οικίες [19].



Εικόνα 12: Κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων τοποθετημένοι στο εξωτερικό οικίας στη Στοκχόλμη με ειδικό barcode καταγραφής της οικίας (αριστερά), απορριματοφόρο με σύστημα ζύγισης (δεξιά) [19]

2.2.1.3. Κοντέινερ

Τα κοντέινερ, τοποθετούνται στο υπόγειο μια οικίας, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Στο χώρο αυτό, μπορούν να υπάρξουν ένα ή περισσότερα κοντέινερ ή συνδυασμός κοντέινερ με κάδους. Μάλιστα, σε ορισμένες χώρες η ύπαρξη ειδικά διαμορφωμένων χώρων για την τοποθέτηση των απορριμμάτων εντός των οικιών, είναι υποχρεωτική βάση νόμου. Εκεί οι κάτοικοι τοποθετούν τα διατροφικά τους απορρίμματα μέχρις ότου συλληθούν από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Τα κοντέινερ είναι συνήθως κατασκευασμένα από πλαστικό ή μέταλλο και είναι μεγάλης χωρητικότητας. Η συλλογή των απορριμμάτων γίνεται από το εσωτερικό της οικίας με αναρρόφηση (με ρεύμα αέρα) απευθείας στο εσωτερικό του απορριματοφόρου. Για το λόγο αυτό, το συνεργείο αποκομιδής διαθέτει κλειδί της οικίας το οποίο χρησιμοποιεί, προκειμένου να κάνει την αποκομιδή (Εικόνα 13) [19].



Εικόνα 13: Κοντέινερ συλλογής βιοαποβλήτων στο εσωτερικό οικίας [19]

2.2.1.4. Σκουπιδοφάγοι

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσωρινής αποθήκευσης των οικιακών βιοαποβλήτων, ο οποίος χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο σε Ευρωπαϊκές χώρες του βορρά, είναι ο σκουπιδοφάγος (Εικόνα 14). Αυτός τοποθετείται συνήθως κάτω από το νεροχύτη της κουζίνας μιας οικίας ή και στο άνω μέρος σε αρκετές περιπτώσεις, ενώ τα οργανικά απορρίμματα που απορρίπτονται εντός αυτού, υπόκεινται σε σημαντική μείωση του όγκου τους μέσω του συστήματος τεμαχισμού που διαθέτει ο σκουπιδοφάγος [19].



Εικόνα 14: Σκουπιδοφάγος κάτω από το νεροχύτη οικίας (αριστερά) και πάνω από το νεροχύτη (δεξιά) [19]

2.2.1.5. Συστήματα Οικιακής Ξήρανσης

Ένας ακόμη τρόπος συλλογής προεπεξεργασίας και προσωρινής αποθήκευσης των οικιακών ΒΑ, αποτελεί το σύστημα οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Σύστημα οικιακής ξήρανσης διατροφικών αποβλήτων [19]

Η τεχνολογία δεν έχει εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα έως σήμερα ωστόσο, τα αποτελέσματα εφαρμογής της σε πιλοτική κλίμακα στον Δήμο Παπάγου - Χολαργού στην Αθήνα, κρίνονται ενθαρρυντικά καθώς, η συσκευή προκαλεί σημαντική μείωση της μάζας και του όγκου των διατροφικών αποβλήτων μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας. Η συσκευή, χρησιμοποιεί θερμό αέρα προκειμένου, να απομακρύνει την περιεχόμενη στα οργανικά, υγρασία. Ωστόσο, στο εμπόριο υπάρχουν συστήματα τα οποία ξηραίνουν το υλικό χρησιμοποιώντας τεχνολογία μικροκυμάτων.

Το τελικό ξηρό υλικό μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια οικία καθώς, η έλλειψη υγρασίας στο εσωτερικό του το έχει αδρανοποιήσει από μικροβιακή άποψη ενώ, μπορεί να συλλεχθεί σε αραιότερα χρονικά διαστήματα (και όχι σε καθημερινή βάση) από τον αρμόδιο φορέα διαχείρισης.

Βασικά σημεία των υπαρχόντων εμπορικών συστημάτων είναι το σύστημα θερμού αέρα που διαθέτουν και το φίλτρο κατακράτησης οσμών (ενεργού άνθρακα) το οποίο περιορίζει τις οσμές οι οποίες μπορεί να προέλθουν από τη διεργασία της ξήρανσης (Εικόνα 16) [19].



Εικόνα 16: Φίλτρο ενεργού άνθρακα του συστήματος ξήρανσης της εταιρίας Loofen [83]

2.2.2. Συλλογή με Κάδους ανά Ομάδες Κατοικιών

Τα οικιακά ΒΑ δύναται, να συλλεχθούν σε κεντρικά σημεία ανά ομάδες οικιών (Εικόνα 17) ή σε κεντρικά σημεία συλλογής (σε προστατευμένο χώρο ή μη). Οι κάτοικοι τοποθετούν τα διατροφικά απορρίμματα ή απόβλητα κήπου σε κάδους ή ομάδες κάδων οι οποίοι προορίζονται για τη συλλογή και προσωρινή αποθήκευσή τους. Η υπηρεσία αποκομιδής είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και μεταφορά τους σε ειδικά κέντρα επεξεργασίας προκειμένου να λάβει χώρα η επιθυμητή ανάκτηση [19].



Εικόνα 17: Τοποθέτηση διατροφικών αποβλήτων σε κεντρικό σημείο συλλογής [101]

2.2.2.1. Κάδοι Συλλογής Οικιακών Βιοαποβλήτων σε Κεντρικά Σημεία

Η συλλογή των οικιακών ΒΑ σε κεντρικά σημεία γίνεται και εδώ με τη βοήθεια κάδων ή ειδικά διαμορφωμένων δεξαμενών οι οποίες είναι τοποθετημένες υπέργεια ή υπόγεια των σημείων τοποθέτησης. Το μέγεθος ποικίλει, ωστόσο είναι σε γενικές γραμμές μεγαλύτερο του μεγέθους των κάδων συλλογής που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ΔσΠ. Αυτοί τοποθετούνται σε ανεξάρτητα σημεία συλλογής ή σε συνδυασμό με λοιπούς κάδους συλλογής υλικών (Εικόνα 18) [19].



Εικόνα 18: Κάδοι συλλογής διατροφικών αποβλήτων τοποθετημένοι με λοιπούς κάδους συλλογής (δεξιά), απορριματοφόρο κατά τη διάρκεια συλλογής απορριμμάτων (αριστερά) [99]

2.2.2.2. Τυποποιημένοι Κάδοι με Πώμα

Όπως στην περίπτωση της συλλογής των οικιακών βιοαποβλήτων στην πηγή έτσι και εδώ χρησιμοποιούνται κυρίως πλαστικοί ή μεταλλικοί κάδοι με κατάλληλο πώμα προκειμένου, να γίνει η απόρριψη και η συλλογή των παραγόμενων οικιακών ΒΑ σε κεντρικά σημεία (Εικόνα 19). Το μέγεθός τους ποικίλει σημαντικά ενώ είναι άμεσα εξαρτώμενο από το είδος των απορριμματοφόρων συλλογής και μεταφοράς καθώς και από την παραγόμενη ποσότητα βιοαποβλήτων [19].



Εικόνα 19: Πλαστικοί κάδοι με πώμα (αριστερά), μεταλλικοί κάδοι με πώμα (δεξιά) [19]

Οι κάδοι τοποθετούνται υπέργεια ενώ, η αποκομιδή των απορριμμάτων γίνεται χειρωνακτικά ή με μηχανικό σύστημα του απορριμματοφόρου (στην περίπτωση που το μέγεθος τους είναι μεγάλο και δεν μπορεί να γίνει χειρωνακτικά) [19].

2.2.2.3. Υπόγειοι Κάδοι

Το σύστημα υπόγειων κάδων συλλογής, αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο συλλογής και προσωρινής αποθήκευσης οικιακών ΒΑ σε κεντρικά σημεία. Οι κάδοι αυτοί, τοποθετούνται υπόγεια και δεν βρίσκονται σε άμεση οπτική επαφή από το κοινό (Εικόνα 20), χαρίζοντας βελτιστοποιημένο αισθητικό αποτέλεσμα και λιγότερες οσμές. Οι κάδοι, τοποθετούνται ως μονάδα ή σε ομάδες κάδων ενώ υπάρχουν σε στεγασμένο χώρο ή μη προκειμένου οι πολίτες να εναποθέτουν εκεί τις επιθυμητές ροές [19].



Εικόνα 20: Υπόγειοι κάδοι συλλογής βιοαποβλήτων σε ομάδες [19]

Οι κάδοι διαθέτουν είσοδο με μορφή ανοίγματος, το οποίο οδηγεί σε σύστημα κάδων (πλαστικών χωρίς καπάκι) ή σε ειδικά διαμορφωμένη υπόγεια σακούλα (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Υπόγειο σύστημα κάδων συλλογής οικιακών βιοαποβλήτων με κάδους (αριστερά), σακούλα (δεξιά) [19]

2.3. Τεχνικές Επεξεργασίας ΒΑ

Τα οικιακά ΒΑ δύναται να επεξεργαστούν με ποικιλία μεθόδων τόσο σε οικιακό όσο και σε αποκεντρωμένο και κεντρικό επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι επεξεργασίας, ενώ οι ήδη υπάρχουσες μέθοδοι έχουν βελτιστοποιηθεί σημαντικά, δίδοντας καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά, το ποσοστό ανάκτησης και το τελικό παραγόμενο υλικό. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης των υπαρχόντων μεθόδων προκειμένου, αυτές να τελειοποιηθούν.

Χώρες όπως η Σουηδία, χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία του συγκεκριμένου κλάσματος, για παραγωγή βιοαερίου. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται η μέθοδος της υγειονομικής ταφής των ΒΑ ως μέρος του κλάσματος των ΑΣΑ, ενώ στην Αγγλία τα οικιακά ΒΑ επεξεργάζονται με τη μέθοδο της θερμικής επεξεργασίας και την κομποστοποίηση για την παραγωγή ενέργειας και compost αντίστοιχα. Σε χώρες, όπως ο Καναδάς, χρησιμοποιούνται μέθοδοι παραγωγής αιθανόλης από βιοαπόβλητα προκειμένου το παραγόμενο προϊόν να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την κίνηση οχημάτων ως υποκατάστατο της βενζίνης. Οι συνηθέστερες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα για την επεξεργασία των οικιακών ΒΑ παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 12) [19].



Διάγραμμα 12: Μέθοδοι επεξεργασίας των οικιακών βιοαποβλήτων [19]

2.3.1. Κομποστοποίηση

2.3.1.1. Περιγραφή Μεθόδου

Η κομποστοποίηση ορίζεται ως η αερόβια αποδόμηση και σταθεροποίηση ενός οργανικού υποστρώματος κάτω από θερμοφίλες και αερόβιες συνθήκες [65]. Βασίζεται στη δράση μικροοργανισμών οι οποίοι διασπούν το οργανικό υλικό και αποτελεί εξώθερμη αερόβια αντίδραση προς παραγωγή θερμότητας, CO₂, H₂O, μεταλλικών αλάτων και ενός σταθεροποιημένου και απαλλαγμένου από μικροοργανισμούς οργανικού υλικού [6,71]. Η κομποστοποίηση είναι μια περιβαλλοντικά φιλική και βιώσιμη εναλλακτική λύση για τη διαχείριση των οργανικών στερεών αποβλήτων, με στόχο την παραγωγή ενός προϊόντος (κόμποστ), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στον αγροτικό τομέα [49].



Διάγραμμα 13: Διεργασία της κομποστοποίησης [46]

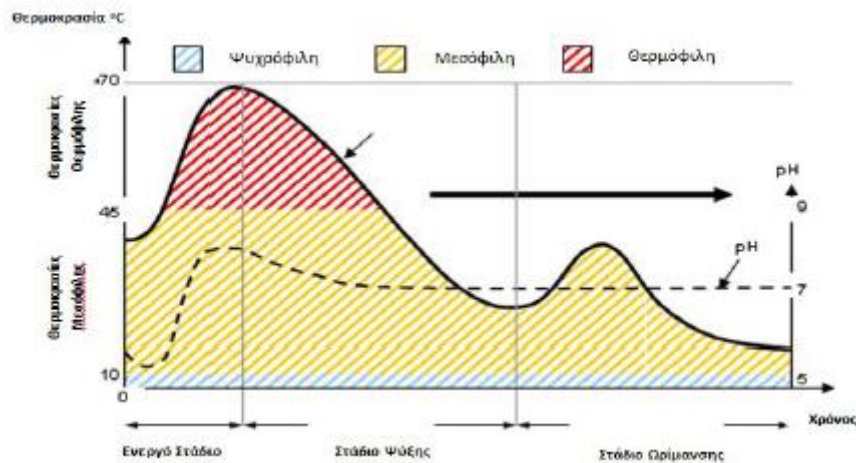
Όπως παρατηρείται και στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 13), στα αρχικά στάδια, οι μικροοργανισμοί διασπούν το οργανικό υλικό με γρήγορους ρυθμούς, καθώς αυτό διατίθεται σε μεγάλες ποσότητες. Στη συνέχεια, όμως, εκκρίνουν τα κατάλληλα ένζυμα με σκοπό να διασπαστούν οι εναπομείνουσες δύσκολα αποδομήσιμες ενώσεις. Κατά τη διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται μείωση του όγκου και της μάζας των πρώτων υλών, ενώ παράγονται διοξείδιο του άνθρακα, νερό, ανόργανες μορφές αζώτου και θερμότητα [117].

Η διεργασία της κομποστοποίησης διακρίνεται σε τέσσερις φάσεις [30]:

- Η αρχική μεσόφιλη ή λανθάνουσα φάση (10-42°C) κατά την οποία η θερμοκρασία αυξάνει ραγδαία.
- Η θερμοφίλη (45-70°C), η οποία χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες υψηλές θερμοκρασίες.
- Η ενδιάμεση μεσόφιλη (65-50°C) κατά την οποία η θερμοκρασία μειώνεται.

- Η φάση ωρίμανσης (50-23°C) κατά την οποία η οργανική ουσία και η βιολογικά παραγόμενη θερμότητα σταθεροποιούνται.

Οι φάσεις αυτές περιγράφονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 14).



Διάγραμμα 14: Φάσεις της διεργασίας κομποστοποίησης [116]

2.3.1.2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διεργασία

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη διεργασία της κομποστοποίησης είναι οι πρώτες ύλες (το προς κομποστοποίηση οργανικό κλάσμα), η θερμοκρασία, η υγρασία, ο λόγος C/N, το pH και η παρουσία οξυγόνου. Οι παράγοντες αυτοί περιγράφονται παρακάτω.

Πρώτες ύλες

Η σύσταση των πρώτων υλών πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, ώστε ο ρυθμός αποσύνθεσης τους να μην παρεμποδίζεται για να διατηρείται σταθερός. Βασικές απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε θρεπτικά συστατικά αποτελούν τα εξής στοιχεία: ο άνθρακας (C), το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Τα συστατικά αυτά είναι αναγκαίο να υπάρχουν στις κατάλληλες ποσότητες, ώστε να μην επιβραδύνεται η διεργασία. Επίσης, η επιβίωση του μικροβιακού κύματος εξαρτάται και από την ύπαρξη ιχνοστοιχείων, όπως: το βόριο, το κοβάλτιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το σελήνιο, το μολυβδαίνιο, το νάτριο και ο ψευδάργυρος, τα οποία δεν θα πρέπει να υπάρχουν σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από τις ενδεικνυόμενες γιατί είναι τοξικά.

Τέλος, εκτός από τη σύσταση και το μέγεθος των κόκκων του υλικού παίζει καθοριστικό ρόλο στη δράση των μικροοργανισμών. Αυτό συμβαίνει διότι, όταν το υλικό αποτελείται από σωματίδια μικρού μεγέθους της τάξης λίγων χιλιοστών ή 5 εκατοστών αποτελεί πιο ομοιογενές υπόστρωμα για τη δράση των μικροοργανισμών [10].

Υγρασία

Η υγρασία επηρεάζει τη μικροβιακή δραστηριότητα ενώ μπορεί να επηρεάσει τη θερμοκρασία και το ρυθμό αποικοδόμησης. Επιπλέον, είναι ικανή να επηρεάσει τη σύνθεση του μικροβιακού πληθυσμού του κόμποστ [47]. Η υγρασία είναι πολύ σημαντική για τη μικροβιακή δραστηριότητα. Μικρά ποσοστά υγρασίας (30-35%) αναστέλλουν τη μικροβιακή δραστηριότητα ενώ μεγάλα ποσοστά (>60%) μπορεί να θανατώσουν τους μικροοργανισμούς καθώς οι πόροι αέρος που βρίσκονται μέσα στο υλικό γεμίζουν περισσότερο με νερό παρά με αέρα οδηγώντας σε αναερόβιες συνθήκες [34,112]. Επομένως, έχει βρεθεί ότι το εύρος της υγρασίας στο οποίο πρέπει να λειτουργεί η διεργασία της κομποστοποίησης πρέπει να είναι 46%-60% [34].

Θερμοκρασία

Οι αλλαγές στη θερμοκρασία επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη μικροβιακή κοινότητα του κόμποστ. Η σχέση χρόνου-θερμοκρασίας επηρεάζει το ρυθμό αποικοδόμησης της οργανικής ουσίας, ο οποίος είναι πολύ σημαντικός για την παραγωγή ενός σταθερού και ώριμου προϊόντος [47]. Η πλήρης αποδόμηση στην κομποστοποίηση επιτυγχάνεται στο θερμοκρασιακό εύρος 32-60°C. Θερμοκρασίες πάνω από τους 32°C επιβραδύνουν σημαντικά τη διεργασία καθώς επιδρούν αρνητικά στο μεταβολισμό των μικροοργανισμών ενώ θερμοκρασίες πάνω από τους 60°C μπορεί να θανατώσουν ορισμένους μικροοργανισμούς. Κατά την εξέλιξη της διεργασίας η βέλτιστη θερμοκρασία στη μεσόφιλη περιοχή κυμαίνεται ανάμεσα στους 35-45°C, ενώ αν πέσει κάτω από τους 20°C η αποδόμηση επιβραδύνεται [11].

Λόγος C/N

Στη διεργασία της κομποστοποίησης η ιδανική τιμή του λόγου κυμαίνεται σε εύρος 25:1 και 35:1. Εάν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 20:1, οι μικροοργανισμοί θα χρησιμοποιήσουν όλο το διαθέσιμο άζωτο (N) για τις μεταβολικές ανάγκες. Αντίθετα, για τιμές του λόγου μικρότερες του 20:1, υπάρχει περίσσεια αζώτου το οποίο μπορεί να διαφεύγει στην ατμόσφαιρα υπό μορφή αμμωνίας και να προκαλέσει προβλήματα δυσάρεστων οσμών. Σε τιμές που ξεπερνούν το 50:1, η κομποστοποίηση επιβραδύνεται εξαιτίας της ταχύτερης κυτταρικής ανάπτυξης και παράλληλης εξάντλησης του διαθέσιμου N [47].

pH

Η οξύτητα και η αλκαλικότητα των οργανικών ουσιών επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα βακτήρια προτιμούν ένα εύρος pH 6-7,5 ενώ οι μύκητες 5,5-8. Επομένως, στην κομποστοποίηση η βέλτιστη τιμή pH κυμαίνεται σε εύρος 6,5-8. Όταν το pH του κόμποστ ξεπερνά το 7,5, είναι πολύ πιθανή η απώλεια πτητικής αμμωνίας [103].

Παρουσία οξυγόνου

Οι απαιτήσεις των μικροοργανισμών σε αέρα εξαρτώνται από την δομή, τον τύπο του αποβλήτου (θρεπτικά), τη θερμοκρασία, το στάδιο της κομποστοποίησης (υψηλότερες απαιτήσεις στα πρώιμα στάδια) και τις συνθήκες του σταδίου (υγρασία κ.α.) [51]. Μια συγκέντρωση οξυγόνου της τάξης 10-15% είναι επαρκής κατά τη διάρκεια της

κομποστοποίησης. Μεγαλύτερες τιμές μπορεί να μειώσουν τη θερμοκρασία ή να επιφέρουν εξάτμιση η οποία οδηγεί σε επιβράδυνση της αποδόμησης. Επομένως, πολύ υψηλά ποσοστά οξυγόνου είναι απαραίτητο να αποφεύγονται [11].

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικός πίνακας ιδανικών συνθηκών για την κομποστοποίηση [10]

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

2.3.1.3. Πλεονεκτήματα Διεργασίας

Τα βασικά πλεονεκτήματα της διεργασίας της κομποστοποίησης φαίνονται παρακάτω:

- Παραγωγή προϊόντος (κόμποστ) ή προϊόντων που διατίθενται στην αγορά.
- Χαμηλότερο κόστος επένδυσης από ότι τα συστήματα καύσης.
- Χαμηλού επιπέδου περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Αποικοδόμηση οργανικών ουσιών.
- Καλύτερης ποιότητας απορρίμματα για ταφή στο ΧΥΤΑ.
- Μεγαλύτερος χρόνος ζωής του ΧΥΤΑ [3,47].

2.3.1.4. Μειονεκτήματα Διεργασίας

Τα μειονεκτήματα που αφορούν τη διεργασία της κομποστοποίησης είναι τα ακόλουθα:

- Αργός ρυθμός διεργασίας.
- Μεγαλύτερες απαιτήσεις έκτασης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες διαχείρισης αποβλήτων.
- Απαραίτητη η προώθηση του προϊόντος στην αγορά.
- Δυσάρεστες οσμές και εκπομπές αερίων μπορούν να υπάρξουν κατά την κομποστοποίηση. Επομένως, απαιτείται καλός σχεδιασμός των εγκαταστάσεων και αποτελεσματική διαχείριση [3,47].

2.3.1.5. Κομποστοποίηση σε Οικιακό Επίπεδο

Η οικιακή κομποστοποίηση μειώνει σε ποσοστό 60-70% τα οργανικά απόβλητα των οικιών (υπολείμματα τροφών, απόβλητα κήπου κ.α.). Η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση ειδικών κάδων στις κατοικίες, στους οποίους τοποθετούνται τα οργανικά απόβλητα και μετατρέπονται σε καλής ποιότητας κόμποστ [12].



Εικόνα 22: Κάδος οικιακής κομποστοποίησης [12]

Οι οικιακή κομποστοποίηση περιλαμβάνει διαθέσιμες τεχνικές, που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης των υλικών, το είδος του προς κομποστοποίηση οργανικού υλικού, το είδος της βασικής μονάδας αποδομητών και το χώρο στον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι διεργασίες αερόβιας αποδόμησης. Οι τεχνικές αυτές αναφέρονται ονομαστικά και περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

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

Κομποστοποίηση σε Σωρούς

Κατά τη μέθοδο αυτή, το υλικό που προορίζεται προς κομποστοποίηση συγκεντρώνεται σε σωρούς εκτός της οικίας, με ελάχιστες διαστάσεις του ενός κυβικού μέτρου, ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη δυνατή μάζα υλικού και να αναπτυχθεί στο εσωτερικό του η απαραίτητη θερμοκρασία των 60-65°C. Η διεργασία πραγματοποιείται από τον ίδιο τον κάτοικο ο οποίος, πραγματοποιεί τακτική ανάδευση του υλικού για να υπάρξει επαρκής αερισμός και διαβροχή ώστε το προς κομποστοποίηση μίγμα να διατηρεί την κατάλληλη υγρασία.

Η μέθοδος ενδείκνυται κυρίως για αγροτικές περιοχές που έχουν μεγάλες αυλές και πολλά υπολείμματα κήπου. Παρόλα αυτά, έχει το μειονέκτημα ότι ο σωρός των οικιακών αποβλήτων μπορεί να προσελκύσει τρωκτικά και έντομα. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται κάλυψη του σωρού με φύλλα πλαστικού [17].



Εικόνα 23: Υλικό προς οικιακή κομποστοποίηση σε σωρούς [17]

Επιφανειακή Κομποστοποίηση

Στη μέθοδο αυτή το προς κομποστοποίηση υλικό συγκεντρώνεται εκτός οικίας και δεν απαιτείται ιδιαίτερη συμμετοχή των κατοίκων. Το υλικό απλώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και πραγματοποιείται η διεργασία που συμβαίνει και στη φύση, κατά την οποία το έδαφος καλύπτεται από τα φύλλα των φυτών και τη νεκρή βλάστηση, η οποία σταδιακά χωνεύεται και μετατρέπεται σε οργανική ουσία [17].



Εικόνα 24: Η μέθοδος της επιφανειακής κομποστοποίησης [124]

Κομποστοποίηση σε Κουτιά

Σε αυτή τη μέθοδο τα οργανικά απορρίμματα τοποθετούνται σε μια ιδιόχειρη κατασκευή, συνήθως ξύλινη ή πλαστική ή από σύρμα πάνω στο έδαφος. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι δε κοστίζει ακριβά και συνίσταται κυρίως για υπολείμματα κήπων, αλλά παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι ο σωρός του υλικού αποδομείται αργά, με αποτέλεσμα να προσελκύει τρωκτικά και γενικά μικρά ζώα [124].



Εικόνα 25: Ξύλινος κομποστοποιητής (αριστερά) και συρμάτινος κομποστοποιητής (δεξιά) [33]

Υπόγεια Κομποστοποίηση

Σε αυτή τη μέθοδο το προς κομποστοποίηση υλικό θάβεται στο έδαφος σε βάθος 30cm και στη συνέχεια σκεπάζεται με εδαφικό υλικό. Απαιτούνται περίπου 6 μήνες, ώστε το υλικό να ενσωματωθεί στο έδαφος και να είναι δυνατή η φύτευση σε αυτό το σημείο. Η διεργασία πραγματοποιείται σε κήπους ή αγροτικές εκτάσεις, ενώ η συμμετοχή των κατοίκων περιορίζεται στον ενταφιασμό των προς κομποστοποίηση υλικών. Η υπόγεια κομποστοποίηση συνιστάται για τη γρήγορη βελτίωση των φτωχών εδαφών και την κομποστοποίηση υλικών που απελευθερώνουν δυσάρεστες οσμές [124].



Εικόνα 26: Υπόγεια κομποστοποίηση οικιακών αποβλήτων [124]

2.3.1.6. Κομποστοποίηση με Γαιοσκώληκες

Η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες, αποτελεί μια φυσική διεργασία, όπου τα οργανικά απόβλητα (φύλλα, κλαδέματα, λαχανικά κ.α.) με τη βοήθεια γαιοσκωλήκων μετατρέπονται σε ένα πλούσιο οργανικό μίγμα που λειτουργεί τόσο ως εδαφοβελτιωτικό όσο και ως οργανικό λίπασμα [18]. Στην πραγματικότητα, η κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δραστηριότητας μικροοργανισμών και γαιοσκωλήκων, παρόλο που οι γαιοσκώληκες είναι οι κύριοι οδηγοί της διεργασίας, καθώς οι γαιοσκώληκες δρουν διασπώντας το οργανικό στρώμα, κάνοντας με αυτό τον τρόπο πιο

εύκολη τη διαδικασία της αποσύνθεσης [79,109]. Η διεργασία αυτής της τεχνικής χωρίζεται σε 2 φάσεις και περιγράφεται ακολούθως:

- Αρχικά, οι γαιοσκώληκες χρησιμοποιούν ως τροφή το οργανικό υλικό και το αποδομούν, τροποποιώντας τις φυσικοχημικές ιδιότητες και το είδος των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο σύστημα.
- Στη συνέχεια, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν το υλικό που απέμεινε και υπέστη προεπεξεργασία από τους γαιοσκώληκες [41].

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διεργασίας βρίσκεται στη μεσόφιλη περιοχή, γεγονός που δεν διασφαλίζει την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, παρόλο που μερικές μελέτες έχουν δείξει ότι το τελικό προϊόν είναι υγιεινό [79,109].

Τα συστήματα κομποστοποίησης με γαιοσκώληκες συγκροτούνται από έναν αντιδραστήρα, μέσα στον οποίο πραγματοποιούνται οι διεργασίες αποδόμησης του οργανικού υλικού. Η τροφοδοσία του υλικού είναι συνεχής και επιτυγχάνεται με αποσπώμενο κυκλικό και ασφαλισμένο καπάκι, που καλύπτει ολόκληρη την άνω βάση του θαλάμου (Εικόνα 27).



Εικόνα 27: Κομποστοποιητής με γαιοσκώληκες [124]

Στο σύστημα αυτό πρώτα εισάγονται οι γαιοσκώληκες, οι οποίοι τοποθετούνται σε ένα προστατευτικό υπόστρωμα που αποτελείται από μικρά κομμάτια χαρτιού και ξηρά φύλλα δέντρων. Στη συνέχεια, εισάγεται το οργανικό υλικό, που εξαπλώνεται σε όλη τη κυκλική επιφάνεια του υποστρώματος. Για κάθε νέα τροφοδοσία οργανικού υλικού δημιουργείται ένα νέο υπόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό διατάσσονται επάλληλες στρώσεις καθ' ύψος του κομποστοποιητή. Στο τελευταίο επίπεδο, λαμβάνεται το στράγγισμα, ενώ στο αμέσως πιο πάνω επίπεδο γίνεται η συγκομιδή του στερεού, ώριμου κόμποστ.

Η μέθοδος είναι χρονοβόρα αφού απαιτούνται αρκετοί μήνες για να αυξηθεί επαρκώς ο αριθμός των γαιοσκωλήκων, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει τις οσμές σε σχέση με τους συμβατικούς αντιδραστήρες [124].

2.3.2. Αναερόβια Χώνευση

2.3.2.1. Περιγραφή Μεθόδου

Η αναερόβια χώνευση όπως και η κομποστοποίηση πραγματοποιεί αποσύνθεση του οργανικού υλικού μέσω βιολογικών διεργασιών με τη διαφορά ότι πραγματοποιείται απουσία αέρα και με τη βοήθεια βακτηρίων. Η αναερόβια χώνευση παράγει εκπομπές αερίων, όπως το μεθάνιο (CH_4) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) (Πίνακας 4) [32,37,78,94,97]. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας, δημιουργείται η ανάγκη συλλογής του μεθανίου με σκοπό να πραγματοποιηθεί ανάκτηση ενέργειας [92].

Πίνακας 4: Τυπική σύσταση βιοαερίου [60]

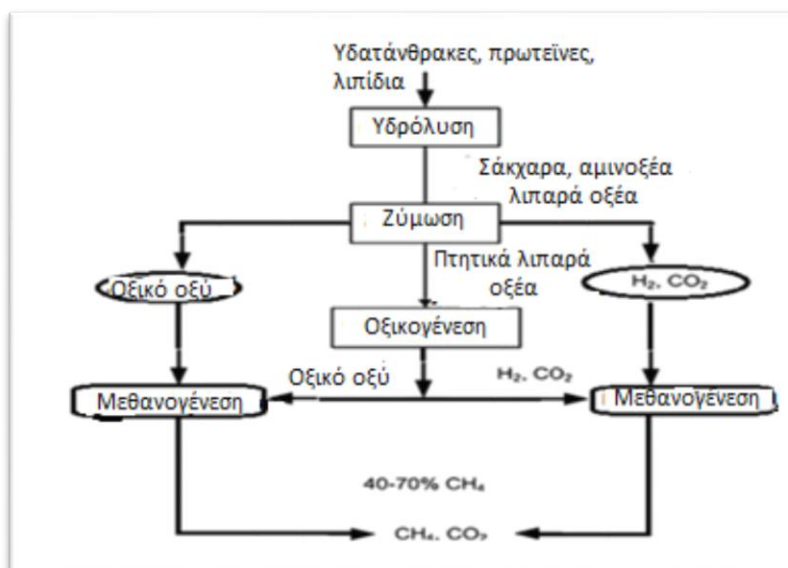
	Τυπική σύσταση βιοαερίου
Μεθάνιο (CH_4)	50-70%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	25-50%
Υδρογόνο (H_2)	5-10%
Νιτρικά (N_2)	1-2%
Υδρόθειο (H_2S)	Ίχνη

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια από τις παλαιότερες τεχνολογίες επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, υπάρχουν γεωργικοί αντιδραστήρες μικρής κλίμακας για την παραγωγή βιοαερίου. Ειδικότερα στην Κίνα και την Ινδία λειτουργούν για την επεξεργασία των αποβλήτων και για την παραγωγή φυσικού αερίου. Τα οργανικά απορρίμματα μπορούν να μετατραπούν μέσω της αναερόβιας χώνευσης σε βιοαέριο του οποίου κύριο συστατικό είναι το μεθάνιο. Σήμερα το ενδιαφέρον για το βιοαέριο ως ανανεώσιμη ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διάδοση εγκαταστάσεων βιοαερίου [86].



Εικόνα 28: Οικιακής κλίμακας αναερόβια χώνευση [111]

Παρακάτω περιγράφεται η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (Διάγραμμα 15) και αναλύεται κάθε στάδιο, που περιλαμβάνει:



Διάγραμμα 15: Διεργασία αναερόβιας χώνευσης [96,121]

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ολόκληρη η διεργασία χωρίζεται σε 4 στάδια:

- Ενζυμική υδρόλυση: Σε αυτό το βήμα πραγματοποιείται αντίδραση κατά την οποία τα πολύπλοκα οργανικά πολυμερή μετατρέπονται σε απλούστερα διαλυτά μόρια με τη βοήθεια εξωκυττάρων ενζύμων. Συγκεκριμένα, τα λιπίδια, οι υδατάνθρακες και οι πρωτεΐνες υδρολύονται σε αμινοξέα, λιπαρά οξέα και σάκχαρα.
- Ζύμωση: Οι αναγωγικές ενώσεις μετατρέπονται σε πτητικά λιπαρά οξέα και άλλα προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και οξικό οξύ με τη βοήθεια ζυμωτικών βακτηρίων.
- Οξικογένεση: Οξικογενή βακτήρια μετατρέπουν τα οργανικά οξέα σε οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μεθανίου.
- Μεθανογένεση: Το τελικό βήμα είναι η μεθανογένεση όπου μεθανογενή βακτήρια καταναλώνουν οξικό, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο για να παράξουν μεθάνιο.

2.3.2.2. Παράγοντες που Επηρεάζουν τη Διεργασία

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα εφόσον αυτή επηρεάζει άμεσα τη βακτηριακή δραστηριότητα. Επομένως, οποιαδήποτε παρέκκλιση από την κανονική θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να έχει ως συνέπεια τη μη ικανοποιητική απόδοση του χωνευτή. Υπάρχουν 2 σημαντικές ζώνες στην αναερόβια χώνευση. Επομένως, έχει καθιερωθεί ότι υπάρχουν 2 τύποι μικροοργανισμών οι μεσόφιλοι και οι θερμόφιλοι που είναι υπεύθυνοι για τη χώνευση στα 2 θερμοκρασιακά εύρη. Η ελάχιστη μεσόφιλη θερμοκρασία κυμαίνεται περίπου στους 35°C και η ελάχιστη θερμόφιλη γύρω στους 55°C. Εκτός από αυτό το εύρος θερμοκρασιών υπάρχει ένα άλλο θερμοκρασιακό εύρος που είναι η ψυχρόφιλη περιοχή (20°C) [64,75,77].

pH

Το pH ενός ιλύωδους διαλύματος αλλάζει στα διάφορα στάδια της χώνευσης. Στο αρχικό στάδιο σχηματισμού οξέος στη διεργασία της ζύμωσης το pH είναι γύρω στο 6. Στις 2-3 βδομάδες το pH αυξάνεται καθώς το πτητικό οξύ χωνεύεται και παράγεται μεθάνιο. Προκειμένου να διατηρηθεί μια σταθερή παροχή αερίου είναι απαραίτητο να διατηρηθεί ένα κατάλληλο εύρος pH στο χωνευτήρα. Ο χωνευτήρας συνήθως ρυθμίζεται όταν το pH διατηρηθεί σε ένα εύρος τιμών μεταξύ 6,5-7,5. Σε αυτή την τιμή οι μικροοργανισμοί είναι πολύ δραστήριοι και η χώνευση πολύ αποδοτική. Εάν το pH είναι κάτω από 6,5 ή πάνω από 7,5 οι συνθήκες αυτές είναι επιβλαβείς για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς [91, 92,114,129].

Αναλογία C/N

Εκτός από τον άνθρακα και η ποσότητα του αζώτου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την παραγωγή βιοαερίου. Όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί απαιτούν άζωτο για να σχηματίσουν τις πρωτεΐνες των κυττάρων τους από βιολογική άποψη. Ο άνθρακας και το άζωτο αποτελούν τροφή για τα αναερόβια βακτήρια. Ο άνθρακας χρησιμοποιείται για ενέργεια και το άζωτο για την κατασκευή της δομής των κυττάρων. Για την αναερόβια βακτηριακή ανάπτυξη σε ένα σύστημα αναερόβιας χώνευσης έχει καθιερωθεί ένα εύρος αναλογίας C/N 20/1-30/1 με βέλτιστη αναλογία 25/1 [123]. Μια υψηλή αναλογία θα είχε ως αποτέλεσμα υψηλή συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων στο χωνευτήρα με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής μεθανίου. Αντίθετα, χαμηλή αναλογία θα είχε ως συνέπεια την αύξηση του συνολικού αμμωνιακού αζώτου με αποτέλεσμα τη μείωση της μεθανογόνου δραστηριότητας καθώς θα ανέβει αρκετά η τιμή του pH πάνω από 7,5 που είναι τοξικό για τα μεθανογόνα βακτήρια.

2.3.2.3. Πλεονεκτήματα Διεργασίας

Η αναερόβια χώνευση παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα

- Παράγεται βιοαέριο το οποίο μπορεί να καθαριστεί από τις ανεπιθύμητες προσμείξεις ή να καεί ως έχει σε ειδικούς καυστήρες δίνοντας θερμική και ηλεκτρική ενέργεια μειώνοντας έτσι το αρχικό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση [29].
- Απαιτεί μικρή δαπάνη ενέργειας για την επεξεργασία των αποβλήτων [58].
- Παράγει πολύ μικρές ποσότητες βιομάζας (3-20 φορές λιγότερη σε σχέση με την αερόβια διεργασία) [56].
- Λόγω του χαμηλού 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 [58].
- Μια καλά προσαρμοσμένη αναερόβια λάσπη μπορεί να παραμείνει ενεργή, χωρίς τροφοδοσία, για μεγάλο χρονικό διάστημα (άνω του έτους) [80].

2.3.2.4. Μειονεκτήματα Διεργασίας

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι:

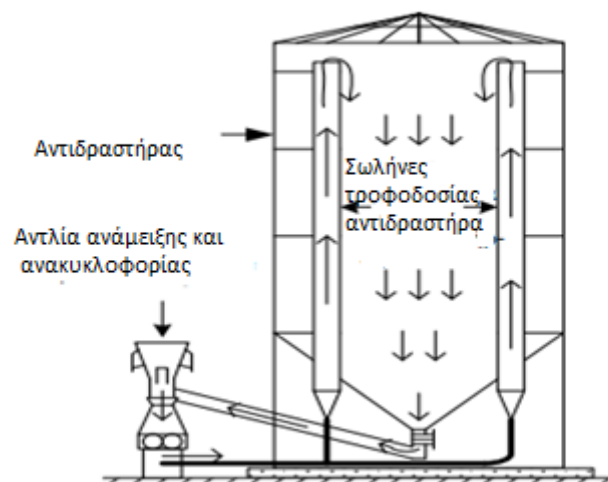
- Μεγάλο χρονικό διάστημα εγκλιματισμού της μικροβιακής καλλιέργειας και πιο αργή διεργασία από την αερόβια επεξεργασία [56].
- Μικρός ειδικός ρυθμός ανάπτυξης των μεθανογόνων βακτηρίων [29].
- Εξάρτηση της διεργασίας από τη θερμοκρασία και κατανάλωση ενέργειας.
- Ευαισθησία μεθανογόνων μικροοργανισμών σε ευρύ φάσμα τοξικών ενώσεων [29].
- Μικρότερη ικανότητα καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία [58].
- Δυσσομία του συστήματος εφόσον περιέχονται θειικά στην εισροή.
- Περαιτέρω επεξεργασία των εκροών [105].

2.3.2.5. Τεχνολογίες Αερόβιας Χώνευσης Βιολογικών Αποβλήτων

Υπάρχει ένα πλήθος τεχνολογιών αναερόβιας χώνευσης σε μεγάλη κλίμακα οι οποίες χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο οι βασικότερες από τις οποίες αναγράφονται ακολούθως.

2.3.2.5.1. Τεχνολογία Dranko

Αποτελεί σύστημα αναερόβιας χώνευσης ενός σταδίου με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά [77]. Η τροφοδοσία βρίσκεται στην κορυφή του αντιδραστήρα και κινείται προς τα κάτω όπου ένας κοχλίας απομακρύνει το υπόλειμμα. Ένα κλάσμα της υλούς μεταφέρεται στην αντλία ανάμειξης, όπου αναμιγνύεται με την νέα τροφοδοσία και με ατμό, ο οποίος συμβάλλει στην προσαρμογή της τροφοδοσίας στη θερμοκρασία λειτουργίας. Το υπόλοιπο αφυδατώνεται και παράγει νερό και ένα στερεό υλικό τύπου compost. Το στερεό υλικό περιέχει ενεργά βακτήρια, λίγη αμμωνία και μη χωνεμένα στερεά οπότε πρέπει να σταθεροποιείται αερόβια για να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στον αγροτικό τομέα [37].

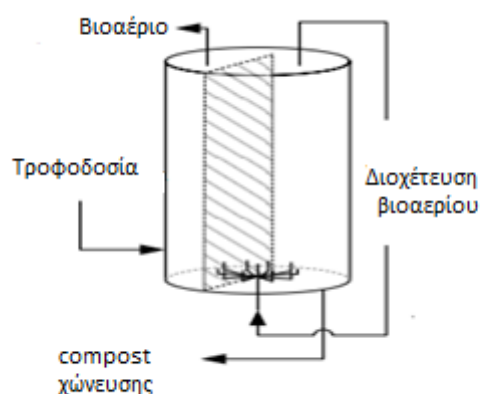


Σχήμα 3: Αντιδραστήρας τεχνολογίας Dranko

Στον αντιδραστήρα δεν υπάρχει ανάδευση, πέραν από αυτής που προκαλείται από την κίνηση των αποβλήτων προς τα κάτω και την κίνηση των φυσαλίδων των βιογενών αερίων που παράγονται προς τα πάνω [37].

2.3.2.5.2. Τεχνολογία Valogra

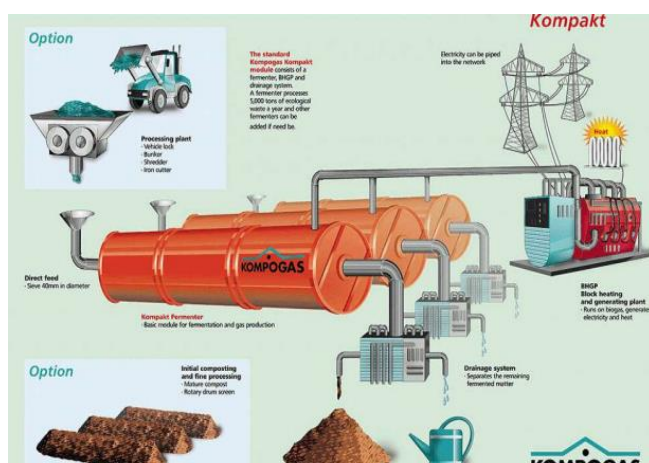
Η τεχνολογία επεξεργάζεται το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων σε υψηλή περιεκτικότητα στερεών 25-30%. Χρησιμοποιείται ατμός για τη θέρμανση, ενώ το νερό που προκύπτει από τη διεργασία χρησιμοποιείται για την αραίωση της τροφοδοσίας στο βαθμό που απαιτείται [38]. Ο αντιδραστήρας είναι ένας συνεχής και ενός σταδίου αντιδραστήρας εμβολικής ροής. Οι αντιδραστήρες εμβολικής ροής περιλαμβάνουν μόνο φυσική ανάμειξη αλλά ο χωνευτήρας Valorga χρησιμοποιεί το βιοαέριο για ανάμειξη υπό πίεση. Το υλικό μπαίνει από τον πυθμένα από τη μια πλευρά του εσωτερικού τοιχώματος, και πρέπει να ρέει γύρω από τον τοίχο για να μπορέσει να εξέλθει [82]. Ο χρόνος παραμονής είναι της τάξης των 3 εβδομάδων. Το βιοαέριο που παράγεται, εξέρχεται από την κορυφή και με ανακυκλοφορία εγχέεται στη βάση του αντιδραστήρα ενισχύοντας την ανάμειξη μέσω των φυσαλίδων. Το χωνεμένο υπόλειμμα απομακρύνεται από τον πυθμένα, αφυδατώνεται και παράγεται compost [38].



Σχήμα 4: Αντιδραστήρας τεχνολογίας Valorga

2.3.2.5.3. Τεχνολογία Komprogas

Σε αντίθεση με τους άλλους 2 δημοφιλείς ενός σταδίου ξηρούς χωνευτήρες, το σύστημα Komprogas χρησιμοποιεί έναν οριζόντιο χωνευτήρα εμβολικής ροής με εσωτερικούς έλικες, οι οποίοι συμβάλλουν στην εξαέρωση και την ομογενοποίηση του αποβλήτου [82,89]. Το σύστημα είναι προκατασκευασμένο σε 2 μεγέθη: 16.500 ή 27.600 τόνοι ετησίως. Μεγαλύτερες δυναμικότητες επιτυγχάνονται μέσω της παράλληλης σύνδεσης των μονάδων. Η συγκέντρωση της υγρασίας θα πρέπει να διατηρείται σε ποσοστό 72-77%, προκειμένου στο σύστημα να υπάρχει κατάλληλη ροή, επομένως ένα μέρος από το νερό που προκύπτει από τη διεργασία αναμειγνύεται με το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ [22]. Το σύστημα λειτουργεί σε χρόνο παραμονής 15-20 μέρες υπό θερμοφίλες συνθήκες [89].



Σχήμα 5: Διεργασία της τεχνολογίας Komprogas [22]

2.4. Τεχνικές Συνεπεξεργασίας ΒΑ με ΑΣΑ σε Ευρωπαϊκό και Διεθνές Επίπεδο

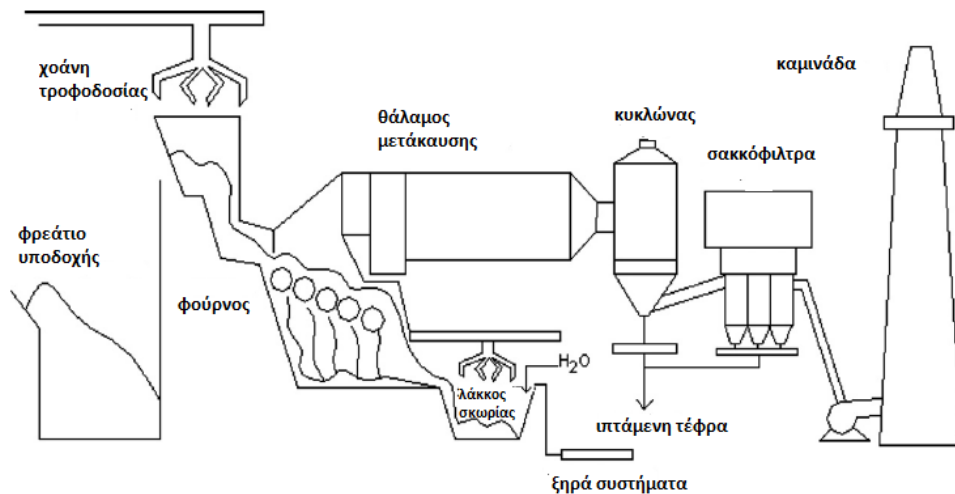
2.4.1. Θερμική Επεξεργασία

2.4.1.1. Αποτέφρωση

Η αποτέφρωση αποτελεί μέθοδο διάθεσης η οποία περιλαμβάνει την καύση του αποβλήτου παρουσία οξυγόνου [72]. Στο τέλος αυτής τα απόβλητα μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό στην ατμώδη φάση και τέφρα [36]. Εκτός από ανόργανες ενώσεις τα υπολείμματα αποτέφρωσης περιέχουν οργανικές ενώσεις που απορρέουν από μη ολοκληρωμένη καύση και σχηματιζόμενες ενώσεις άνθρακα κατά τη διάρκεια της αποτέφρωσης. Επιπλέον, η αποτέφρωση έχει ως αποτέλεσμα τις εκπομπές CO₂ [43]. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ανάκτησης ενέργειας η οποία είναι χρήσιμη για θέρμανση ή για παροχή ηλεκτρισμού. Η μέθοδος αυτή έχει πλεονεκτήματα όπως μείωση του όγκου του αποβλήτου, καθιστά αυτό ακίνδυνο, μειώνει το κόστος μεταφοράς και μειώνει την παραγωγή μεθανίου. Ο βασικός στόχος της αποτέφρωσης είναι να μειώσει των όγκο των αποβλήτων και επομένως να παρέχει εξοικονόμηση στο κόστος μεταφοράς και στις απαιτήσεις υγειονομικής ταφής. Επίσης, καταστρέφει τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων εξαλείφοντας την πιθανότητα αερίων υγειονομικής ταφής. Στην διεργασία της αποτέφρωσης τα αστικά απόβλητα καίγονται και επομένως μειώνονται μέχρι 90% του όγκου τους και 70% του βάρους τους [36].

Έχουν εγκατασταθεί μονάδες αποτέφρωσης στην Ισπανία οι οποίες και θα περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω. Η δυναμικότητα αυτών των μονάδων ποικίλει από 28000tη ΑΣΑ το χρόνο στη μικρότερη μονάδα σε 506000tη το χρόνο στη μεγαλύτερη. Η διεργασία αποτέφρωσης ΑΣΑ ξεκινά με την άφιξη του αποβλήτων στο φρεάτιο υποδοχής, από όπου ανυψώνεται από γερανογέφυρα και στη συνέχεια τα απόβλητα εισάγονται σε φούρνο όπου αποτεφρώνονται. Οι αποτεφρωτήρες σχεδιάζονται για να διασφαλίσουν ένα χαμηλό επίπεδο άκαυστων σωματιδίων, με χαμηλές εκπομπές CO και περιεχομένων οργανικής ένωσης στις αναθυμιάσεις (<100mg CO/Nm³, και <20mg οργανικά/Nm³) αντίστοιχα εκφράζοντας την οργανική ένωση ως ολικό άνθρακα [71].

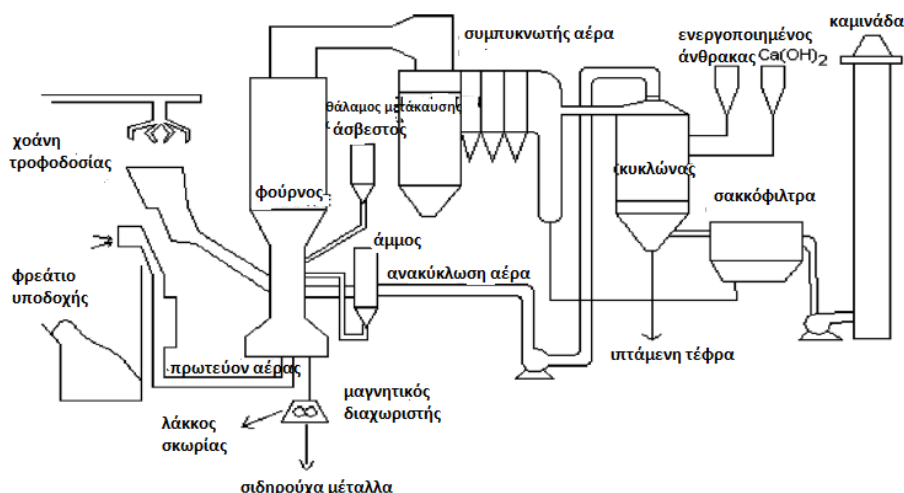
Υπάρχουν 2 τύποι φούρνων που χρησιμοποιούνται στη διεργασία αποτέφρωσης, φούρνοι κινητής σχάρας (MGF) (Σχήμα 6) και οι φούρνοι ρευστοποιημένης κλίνης (FBF) (Σχήμα 7). Η θερμοκρασία καύσης ποικίλει ανάμεσα σε 900 και 1050°C.



Σχήμα 6: Μονάδα αποτέφρωσης των ΑΣΑ με φούρνο κινητής σχάρας [116]

Σε αυτούς τους φούρνους η σχάρα αποτελείται από διάφορα τμήματα που περιλαμβάνουν 4-6 κυλίνδρους διαφορετικής γεωμετρίας (4-8m σε πλάτος και 1,5-2 σε διάμετρο). Αυτά τα τμήματα λειτουργούν σε γωνία 18-20°. Αν και δεν υπάρχει φυσικός διαχωρισμός στο εσωτερικό των κλιβάνων το σύστημα της σχάρας είναι χωρισμένο σε 3 ζώνες: ξήρανσης, καύσης και πύρωσης.

Τα απόβλητα εισάγονται στη ζώνη ξήρανσης μέσω ενός υδραυλικού συστήματος τροφοδοσίας. Η καύση ξεκινά στο τέλος της ζώνης ξήρανσης. Μετά, την τελική καύση η τέφρα και η σκωρία (αδρανή υλικά) εκφορτώνονται στο λάκκο σκωρίας. Το σύστημα αποσκωρίωσης βρίσκεται σε ένα υδατόλουτρο κάτω από τη σχάρα του κυλίνδρου και οι σκωρίες συλλέγονται στο υδατόλουτρο στο τέλος της σχάρας, μετά τον τελευταίο κύλινδρο.



Σχήμα 7: Μονάδα αποτέφρωσης με φούρνο ρευστοποιημένης κλίνης [116]

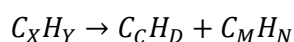
Στους φούρνους ρευστοποιημένης κλίνης, που συνήθως είναι κλίνες με άμμο, η καύση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συστήματος έγχυσης πρωτογενούς αέρα χάρη στο οποίο

η κίνηση της άμμου περιβάλλεται εντελώς από το καύσιμο δηλαδή το κλάσμα των ΑΣΑ. Την ίδια στιγμή η άσβεστος προστίθεται στην κλίνη προκειμένου να εξουδετερώσει τις όξινες αναθυμιάσεις. Δευτερεύουσα έγχυση αέρα βρίσκεται στον μετα-καύσης θάλαμο. Οι αναθυμιάσεις καύσης διεξάγονται μέσω ενός λέβητα για την παραγωγή ατμού, η ιπτάμενη τέφρα που συλλέγεται στον αντιδραστήρα και στο φίλτρο σακούλας υποβάλλεται σε μια διαδικασία αδρανοποίησης μέσω στερεοποίησης με τσιμέντο προτού κατατεθεί σε ελεγχόμενη χωματερή. Το κλάσμα λεπτών τεμαχίων αποτελείται από άμμο η οποία ανακυκλώνεται στον κλίβανο. Το χονδροειδές κλάσμα αποστέλλεται σε μαγνητικό διαχωριστή για την ανάκτηση του κλάσματος με μεταλλικό μαγνητικό διαχωρισμό. Το μη μεταλλικό κλάσμα αποτελεί τη σκωρία [116].

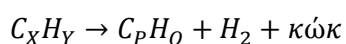
2.4.1.2. Πυρόλυση

Σε αυτή τη διεργασία γίνεται αποσύνθεση του οργανικού αποβλήτου λόγω έκθεσης αυτού σε υψηλές θερμοκρασίες (400-800°C) και απουσία οξυγόνου [26]. Σε αντίθεση με την καύση και την αεριοποίηση, πρόκειται για μια διεργασία ισχυρά ενδόθερμη για τη διεξαγωγή της οποίας απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας.

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

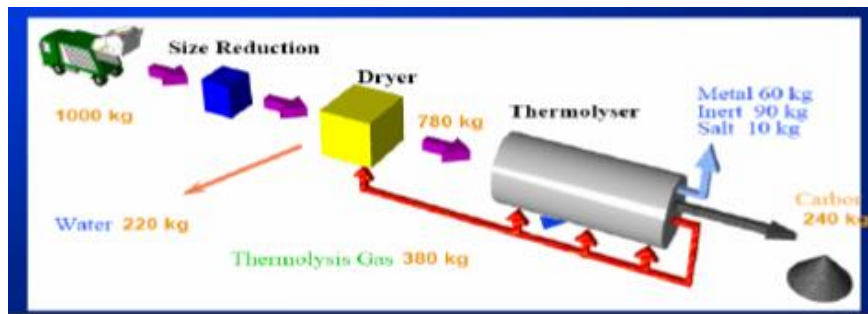


Επίσης, στα αρχικά στάδια της πυρόλυσης συμβαίνουν αντιδράσεις συμπύκνωσης, αφυδρογόνωσης και αντιδράσεις σχηματισμού δακτυλίων, που οδηγούν στο σχηματισμό ενός στερεού ανθρακούχου υπολείμματος από οργανικές ενώσεις χαμηλής πτητικότητας:



Στη συνέχεια, συμβαίνουν και άλλες αντιδράσεις οργανικών ενώσεων. Στην περίπτωση ύπαρξης O_2 σχηματίζεται CO και CO_2 ή είναι πιθανή η αλληλεπίδραση με H_2O . Το παραγόμενο κώκ μπορεί να εξαερωθεί σε O_2 και CO_2 [14].

Τα τελικά προϊόντα μπορεί να είναι υγρά, στερεά ή αέρια. Οι αναλογίες τους εξαρτώνται από τη φύση των αποβλήτων, τις συνθήκες θέρμανσης, τη θερμοκρασία και το χρόνο επεξεργασίας. Η δε χρήση τους είναι κυρίως για την παραγωγή ενέργειας [27,28]. Ένα ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας απεικονίζεται ακολούθως (Σχήμα 8).



Σχήμα 8: Ενδεικτικό ισοζύγιο μάζας πυρολυτικής μονάδας [14]

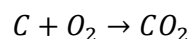
Η μέθοδος εμφανίζει πολλές παραλλαγές, μία εκ των οποίων είναι η θερμόλυση. Κατά τη διαδικασία της θερμόλυσης, το οργανικό κλάσμα εισάγεται στο θάλαμο θερμικής επεξεργασίας (σε θερμοκρασία περίπου 500°C) μαζί με μικρή ποσότητα ασβέστη. Στο τελευταίο μέρος του θαλάμου συσσωρεύεται το στερεό υπόλειμμα, το οποίο δρα σαν φίλτρο ενεργού C για τη δέσμευση ρύπων, όπως τα βαρέα μέταλλα, κλπ. Το HF και το HCl που ενδεχομένως παράγονται, εξουδετερώνονται από τον ασβέστη. Τα παραγόμενα άλατα δεσμεύονται από το στερεό υπόλειμμα, το οποίο, στη συνέχεια, οδηγείται σε λουτρό νερού, σε συνθήκες απουσίας αέρα για να αποφευχθούν αντιδράσεις οξείδωσης. Τα δεσμευμένα άλατα ασβεστίου διαλύονται στο H₂O, ενώ με ειδική επεξεργασία μπορούν να απομακρυνθούν τυχόν προσμίξεις μετάλλων και ογκώδη υπολείμματα. Επίσης, τα παραγόμενα αέρια βρίσκονται σε θερμοκρασία 300°C και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποκαταστήσουν μερικώς την εξωτερική πηγή θερμότητας που απαιτείται [14].

2.4.1.3. Αεριοποίηση

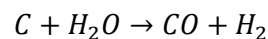
Η αεριοποίηση είναι μέθοδος ατελούς καύσης που πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες άνω των 700°C. Στη διάρκεια της διεργασίας αυτής παράγονται εύφλεκτα και μη εύφλεκτα αέρια όπως H₂, CH₄, H₂O, N₂, CO, CO₂ και μικρές ποσότητες υψηλών H/C. Σκοπός της μεθόδου είναι η μέγιστη απελευθέρωση CO και H₂. Το μείγμα CO και H₂ είναι γνωστό σαν αέριο σύνθεσης. Αποτελεί θεωρητικά το επόμενο στάδιο της πυρόλυσης. Στο στάδιο αυτό το υπολειμματικό κωκ οξειδώνεται σε θερμοκρασίες (>800°C). Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιείται ατμός, CO₂, O₂ ή αέρας.

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

- Οξείδωση (εξώθερμη)

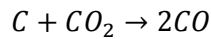


- Αντίδραση εξάτμισης νερού (ενδόθερμη)

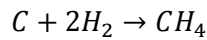


- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ (Εξώθερμη)

- Αντίδραση Boudouard (ενδόθερμη)



- Αντίδραση σχηματισμού CH₄ (εξώθερμη)

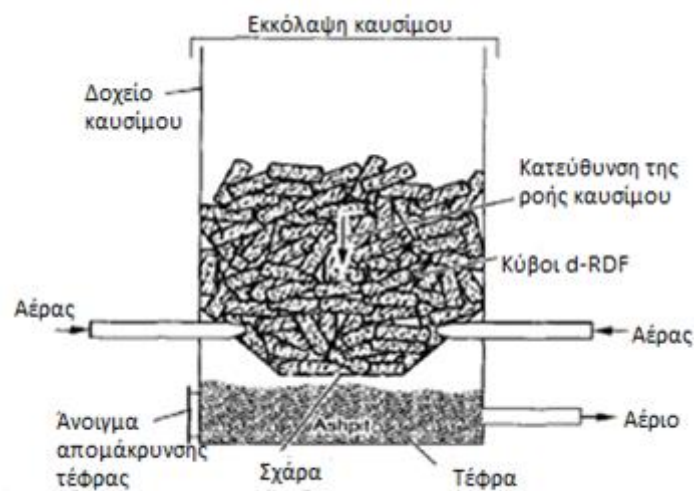


Η θερμότητα για τη διατήρηση της διεργασίας προέρχεται από τις εξώθερμες αντιδράσεις, ενώ τα καύσιμα προϊόντα παράγονται κυρίως μέσω των ενδόθερμων αντιδράσεων.

Είναι πιθανό να λάβουν χώρα και άλλες αντιδράσεις κατά τις οποίες σε χαμηλές θερμοκρασίες με την προσθήκη H₂O σχηματίζεται CO₂ και σε υψηλότερες CO [2,57,76,85].

Οι βασικοί τύποι μονάδων αεριοποίησης, οι οποίες είναι πιο διαδεδομένες ως προς τη χρήση τους, είναι οι μονάδες κάθετης και οριζόντιας σταθερής κλίνης.

Οι εγκαταστάσεις κάθετης σταθερής κλίνης παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, όπως απλότητα και χαμηλό κόστος επένδυσης, αλλά επηρεάζονται άμεσα από τις διακυμάνσεις στη σύσταση των εισερχομένων αποβλήτων (θα πρέπει να παρουσιάζουν ομοιογένεια, π.χ. το RDF σε συμπυκνωμένη μορφή - pellets). Το αέριο προϊόν της εγκατάστασης είναι χαμηλής θερμογόνου δύναμης, παράγονται μικρές ποσότητες υγρών και σημαντικές στερεών προϊόντων [25].



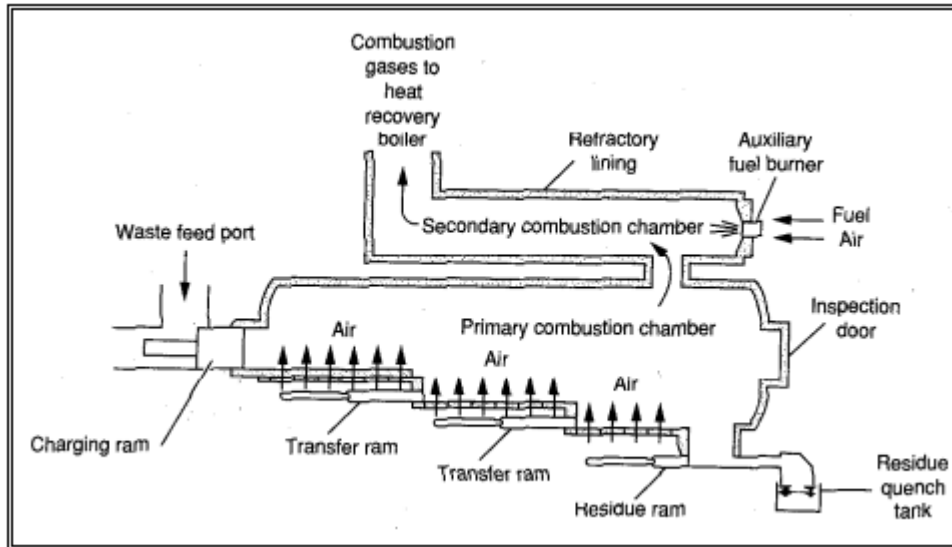
Σχήμα 9: Διάταξη καυσίμων σε εγκατάσταση αεριοποίησης κάθετης κλίνης [14]

Οι εγκαταστάσεις σταθερής οριζόντιας κλίνης αποτελούνται από 2 μέρη:

- 1) Τον κύριο θάλαμο αεριοποίησης
- 2) Τον θάλαμο καύσης

Στον πρώτο θάλαμο καύσης επιτελείται η διεργασία της αεριοποίησης και το αέριο που παράγεται καίγεται πλήρως στο δεύτερο θάλαμο με περίσσεια αέρα σε θερμοκρασία 650 – 900°C. Τα καυσαέρια οδηγούνται για ανάκτηση θερμότητας με παραγωγή ατμού ή θερμού

H₂O. Η χαμηλή ταχύτητα και τύρβη στον πρώτο θάλαμο ελαχιστοποιούν την είσοδο σωματιδίων στο αέριο ρεύμα και οδηγούν σε χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων σε σχέση με τους συμβατικούς θαλάμους καύσης. Τέτοιες μονάδες είναι εμπορικά διαθέσιμες από διάφορους κατασκευαστές σε τυποποιημένα μεγέθη δυναμικότητας 200 – 1.700 kg/h.



Σχήμα 10: Εγκατάσταση οριζόντιας κλίνης [14]

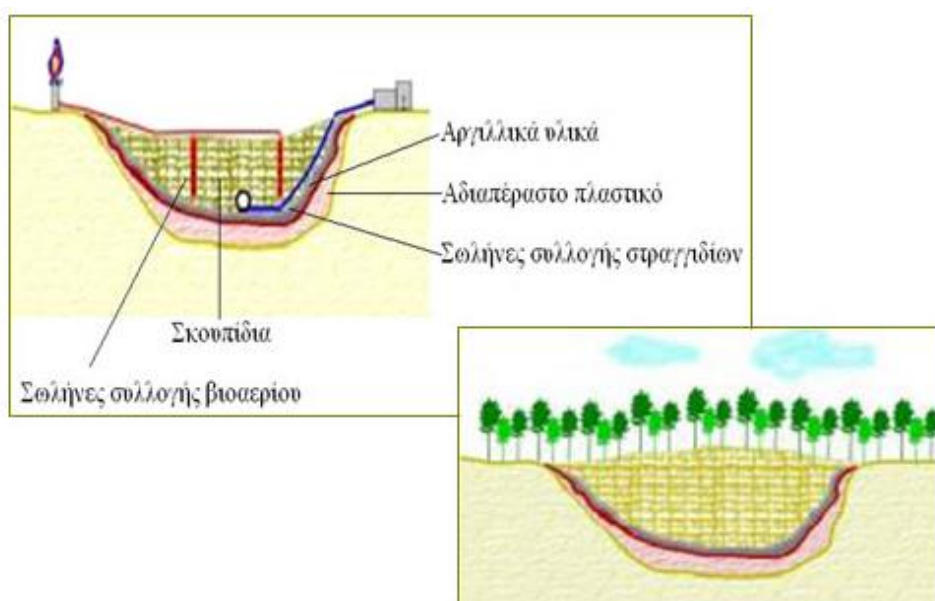
2.4.2. Υγειονομική Ταφή

Με τη μέθοδο της υγειονομικής ταφής τα απορρίμματα συλλέγονται με τις υπόλοιπες ροές και οδηγούνται σε χώρους όπου απορρίπτονται με ελεγχόμενο τρόπο. Τα προϊόντα που παράγονται σε ένα ΧΥΤΑ είναι το βιοαέριο του οποίου η σύνθεση ποικίλει και εξαρτάται από τη σύνθεση του υποστρώματος. Επιπλέον, παράγονται στραγγίσματα τα οποία θα πρέπει να αποφεύγεται η απορροή τους στον υδροφόρο ορίζοντα.

Σε ένα ΧΥΤΑ θα πρέπει να υπάρχουν τα εξής: τα όριά του, συμπληρωματική περιοχή για χρήση γύρω από το χώρο, έργα ελέγχου των επιφανειακών υδάτων, δρόμοι και έργα υποδομής γύρω από την εγκατάσταση, σχεδιασμός του τρόπου επικάλυψης των απορριμμάτων, σύστημα συλλογής των στραγγισμάτων και σύστημα ελέγχου του διαφυγόντος βιοαερίου. Σε ορισμένους ΧΥΤΑ, γίνεται εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου για την παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας. Το βιοαέριο συλλέγεται μέσω σωληνώσεων συλλογής και μεταφοράς βιοαερίου, που υπάρχουν στο εσωτερικό του εδάφους. [31].

Κατά το σχεδιασμό ενός ΧΥΤΑ (Σχήμα 11), θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι [90]:

- Η γεωλογία της περιοχής
- Η υδρολογία της περιοχής
- Η τοπογραφία
- Η αποστράγγιση
- Οι εγκαταστάσεις μεταφοράς



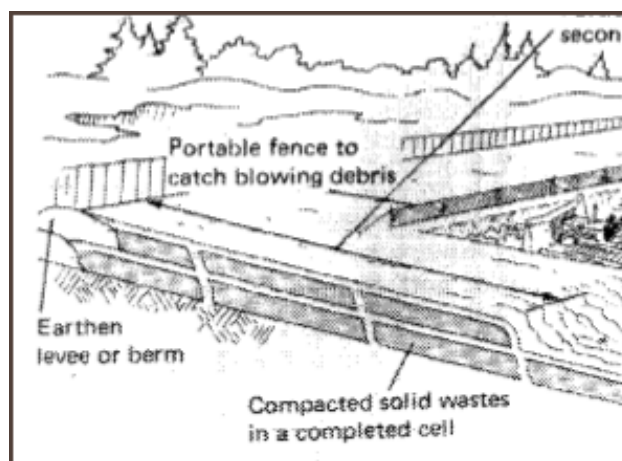
Σχήμα 11: Τομή ενός ΧΥΤΑ [13]

Βασικό στοιχείο σχεδιασμού ενός χώρου υγειονομικής ταφής αποτελεί ο προσδιορισμός της μεθόδου που θα ακολουθηθεί για τη διάστρωση των απορριμμάτων. Δεν υπάρχει μέθοδος κατάλληλη για όλους τους χώρους. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά από τη μορφολογία του εδάφους και το είδος των απορριμμάτων που θα διατεθούν.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι: η επιφανειακή μέθοδος, η μέθοδος των διαδοχικών τάφρων και η μέθοδος πλήρωσης λάκκων [19].

2.4.2.1. Επιφανειακή Μέθοδος

Η επιφανειακή μέθοδος χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει δυσκολία διάνοιξης του εδάφους για την εναπόθεση των απορριμμάτων (Σχήμα 12).



Σχήμα 12: Επιφανειακή μέθοδος ταφής απορριμμάτων [16]

Στη μέθοδο αυτή σχηματίζονται λόφοι απορριμμάτων ύψους 50-80cm, ενώ κάθε στρώση συμπιέζεται, ώστε το πάχος κάθε συμπιεσμένης στρώσης, να φτάσει τα 2,5-3 μέτρα ύψος [19].

2.4.2.2. Μέθοδος Διαδοχικών Τάφρων

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην περίπτωση όπου υπάρχει αφθονία υλικού επικάλυψης σε ικανοποιητικό βάθος άνω του υδροφόρου ορίζοντα, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος φυγής στραγγισμάτων. Τα απορρίμματα, εναποτίθενται σε βάθος 1-2 m και πλάτος 5-8 m. Στη συνέχεια, αποτίθενται σε τάφρο, διαστρώνονται σε στρώσεις 50-80cm και συμπιέζονται με τη βοήθεια ειδικών οχημάτων. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος, ενώ το μήκος των σωρών κάθε φορά εξαρτάται από το μέγεθος του ΧΥΤΑ (Σχήμα 13) [19].



Σχήμα 13: Εναπόθεση απορριμμάτων με τη μέθοδο διαδοχικών τάφρων [13]

2.4.2.3. Μέθοδος Πλήρωσης Κοιλοτήτων του Εδάφους

Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου υπάρχουν φυσικές ή τεχνητές κοιλοότητες (χαράδρες, ρεματιές, ορυχεία, λατομεία). Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διάστρωση και συμπίεση των απορριμμάτων στις διάφορες κοιλοότητες εξαρτώνται από τη γεωμετρία του χώρου, τα χαρακτηριστικά του υλικού επικάλυψης, την υδρολογία και γεωλογία της περιοχής και τη δυνατότητα πρόσβασης.

Σε απότομες πλαγιές όπου ο πυθμένας είναι επίπεδος, η πρώτη στρώση μπορεί να τοποθετηθεί με τη μέθοδο των διαδοχικών τάφρων. Όταν συμπληρωθεί η πρώτη στρώση, η πλήρωση συνεχίζεται ξεκινώντας από τα σημεία που βρίσκονται προς την κορυφή της χαράδρας και καταλήγοντας στο στόμιο. Τα απορρίμματα αποτίθενται στον πυθμένα της χαράδρας και συμπιέζονται προς τις πλευρές της εξασφαλίζοντας έτσι υψηλή συμπίεση [19].

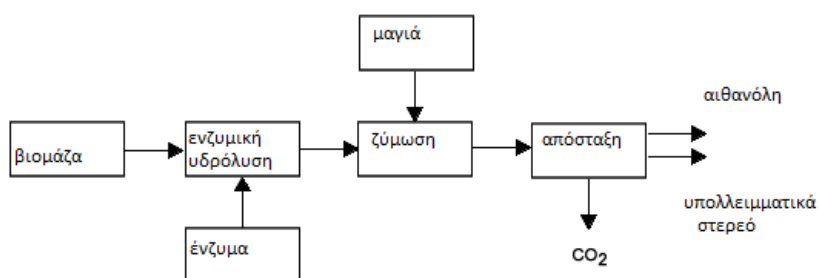
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ 2^{ης} ΓΕΝΙΑΣ

3.1. Περιγραφή Μεθόδου

Τις τελευταίες δεκαετίες, η υπερβολική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων έχει οδηγήσει στην αυξημένη ζήτηση για εναλλακτικές πηγές καυσίμου [127]. Αυτές οι εναλλακτικές πηγές συνήθως στηρίζονται στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιθανόλη. Η αιθανόλη παράγεται κυρίως από σάκχαρα για χρήση ως καύσιμο [62]. Η λιγνοκυτταρινούχος αιθανόλη είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογικές επιλογές που είναι διαθέσιμες για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στο τομέα των μεταφορών [84].

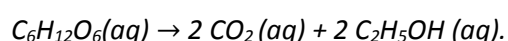
Η αιθανόλη παράγεται από σάκχαρα μέσω των διεργασιών της σακχαροποίησης, της ζύμωσης και της απόσταξης. Επομένως, η πρώτη ύλη θα πρέπει να έχει επαρκή ποσότητα σακχάρων ή υλικά που να μπορούν να μετατραπούν σε σάκχαρα κατάλληλα για τη παραγωγή αιθανόλης. Αναφέρεται ως βιοαιθανόλη καθώς παράγεται μέσω βιολογικής διεργασίας [104]. Η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από ξύλο, άχυρο και οικιακά απόβλητα με αλκοολική ζύμωση των σακχάρων τα οποία παράγονται από υδρόλυση της βιομάζας [39]. Η τιμή της βιομάζας για την παραγωγή αιθανόλης καθορίζεται από την ευκολία μετατροπής των σακχάρων που λαμβάνει χώρα. Αυτό κάνει πρώτες ύλες με υψηλό ποσοστό αμύλου και σακχάρων εύκολα μετατρέψιμες ενώ λιγνοκυτταρινούχα υλικά απαιτούν περισσότερη προεπεξεργασία [104]. Η πρώτη ύλη για τη παραγωγή βιοαιθανόλης θα πρέπει να περιέχει υψηλά ποσοστά σακχάρων και συγκεκριμένα γλυκόζης είτε ελεύθερης είτε να περιέχει σάκχαρα που να μπορούν να μετατραπούν σε γλυκόζη όπως άμυλο, κυτταρίνη ή ημικυτταρίνη για τη παραγωγή αιθανόλης [102]. Η παραγωγή βιοαιθανόλης μπορεί να γίνει από διάφορες πηγές οι οποίες ταξινομούνται σε πρωτογενείς πηγές που παράγονται είτε από καλλιέργειες είτε από κάποιο βασικό προϊόν για παράδειγμα τη ζάχαρη από ζαχαροκάλαμο, δευτερογενείς πηγές όπως υπολείμματα από τις διεργασίες παραγωγής για παράδειγμα υπολείμματα ζαχαροκάλαμου, φλοιοί ρυζιού, άχυρο και τριτογενείς πηγές όπως υπολείμματα που παράγονται κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος κάποιας εφαρμογής για παράδειγμα το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων ή η ιλύς καθαρισμού λυμάτων [55].

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης η βιομάζα αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς (βακτήρια ή ένζυμα) [51]. Η βασική διεργασία παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα περιγράφεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 14: Διεργασία παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα [100]

και η βασική αντίδραση είναι αυτή της αλκοολικής ζύμωσης:



Η παρούσα έρευνα μελετά την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα. Η λιγνοκυτταρίνη, το κύριο συστατικό των τοιχωμάτων των φυτικών κυττάρων, αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη (40-60% του συνολικού ξηρού βάρους), ημικυτταρίνη (20-40%), και λιγνίνη (10-25%). Η κυτταρίνη αποτελείται από μεγάλες αλυσίδες των μονομερών της β-γλυκόζης που συγκεντρώνονται σε δέσμες μικροϊνιδίων. Οι ημικυτταρίνες συνδέονται με τα μικροϊνίδια με δεσμούς υδρογόνου και οι λιγνίνες είναι φαινολικές ενώσεις που σχηματίζονται από τον πολυμερισμό τριών τύπων μονομερών (πάρα-κουμαρυλικές, κωνοφερυλικές και σιναπυλικές αλκοόλες). Η λιγνίνη προσθέτει θλιπτική αντοχή και ακαμψία στο κυτταρικό τοίχωμα [98]. Παρακάτω παρουσιάζεται η σύσταση ορισμένων πρώτων υλών σε ημικυτταρίνη, κυτταρίνη και λιγνίνη (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Σύθεση (% ξηρό βάρος) και πηγές λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας [63,115]

Πρώτη ύλη	Ημικυτταρίνη	Κυτταρίνη	Λιγνίνη	Άλλα (π.χ.τέφρα)
Αγροτικά υπολείμματα	25-50	37-50	5-15	12-16
Ξύλα από μη κωνοφόρα δέντρα	25-40	45-47	20-25	0,8
Ξύλα από κωνοφόρα δέντρα	25-29	40-45	30-60	0,5
Πράσινα	35-50	25-40	-	2-5
Απορρίμματα χαρτιού από χημικούς πολτούς	12-20	50-70	6-10	2
Εφημερίδες	25-40	40-55	12	4-5

Η λιγνοκυτταρινούχος βιομάζα έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη παραγωγή αιθανόλης από πρώτης γενιάς πρώτες ύλες. Το καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο της λιγνοκυτταρινούχου αιθανόλης έχει φανεί σημαντικά χαμηλότερο στη περίπτωση της παραγόμενης από πρώτες ύλες ζαχαροκάλαμου και αμύλου αιθανόλης [66]. Επιπλέον, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου είναι κατά 50-85% χαμηλότερες για τη λιγνοκυτταρινούχο αιθανόλη σε σχέση με της εκπομπές από τη βενζίνη παρέχοντας 25-40% μείωση [66,69].

Η διαδικασία παραγωγής αιθανόλης από βιομάζα αποτελείται από 2 στάδια:

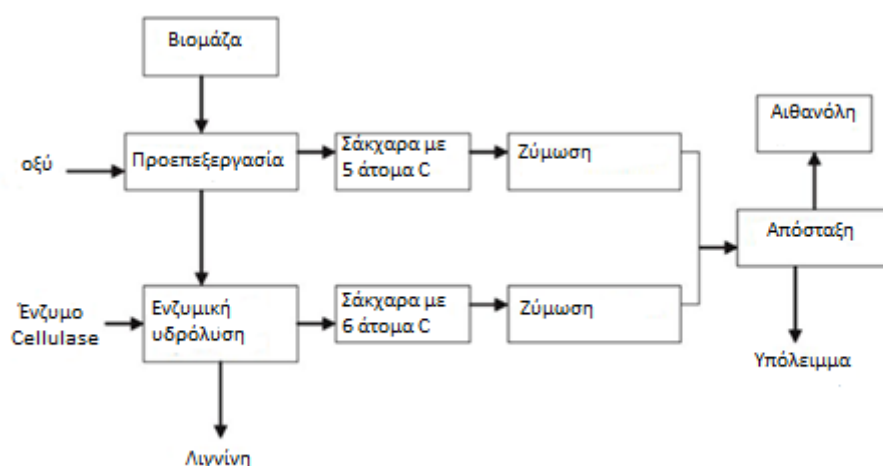
- Την υδρόλυση των υδατανθράκων σε απλά σάκχαρα γλυκόζη και ξυλόζη.
- Τη ζύμωση των σακχάρων σε αλκοόλη

Για παράδειγμα σε μια φυτική ουσία οι υδατάνθρακες που υδρολύονται μπορεί να είναι η κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, γλυκόζη, άμυλο και λιγνίνη. Οι υδατάνθρακες κατά τη διάρκεια της υδρόλυσης μετατρέπονται σε γλυκόζη η οποία υφίσταται ζύμωση για την παραγωγή αιθανόλης και η αποδοτικότητα της μετατροπής εξαρτάται κυρίως από τη χημική και μηχανική προεπεξεργασία της κυτταρίνης [39].

Η διαδικασία παραγωγής χωρίζεται σε 4 στάδια:

- Φυσική ή χημική προεπεξεργασία των φυτικών ινών για την απομάκρυνση της κυτταρίνης και τη μείωση της κρυσταλλικότητάς τους.
- Υδρόλυση του κυτταρινικού πολυμερούς, με ένζυμα ή οξέα, σε απλά σάκχαρα (γλυκόζη).
- Μικροβιακή ζύμωση των απλών σακχάρων σε αιθανόλη.
- Απόσταξη για να παραχθεί 99,5% καθαρή αιθανόλη.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διεργασία παραγωγής αιθανόλης μέσα από τις διεργασίες όξινης και ενζυμικής υδρόλυσης σε σάκχαρα C₅, C₆, τη ζύμωση και την απόσταξη αυτών:



Σχήμα 15: Διεργασία ενζυμικής υδρόλυσης [40]

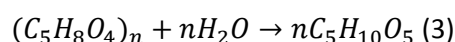
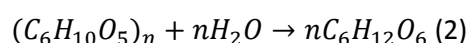
Σύμφωνα με τη διεργασία ενζυμικής υδρόλυσης (Σχήμα 15) κατά την προεπεξεργασία της βιομάζας πραγματοποιείται απολιγνινοποίηση έτσι ώστε να γίνει η κυτταρίνη περισσότερο προσιτή στο βήμα της υδρόλυσης, χρησιμοποιώντας φυσική, χημική και βιολογική επεξεργασία [113]. Οι περισσότερο κοινές μέθοδοι προεπεξεργασίας είναι η εκτόνωση ατμού και η διάλυση οξέος κατά την προ-υδρόλυση που ακολουθούνται από ενζυμική υδρόλυση [67]. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι προεπεξεργασίας της βιομάζας, η απόδοση των οποίων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Απόδοση επιλεγμένων μεθόδων προεπεξεργασίας [61,67,93,108,106]

Διαδικασία προεπεξεργασίας	Απόδοση των ζυμώσιμων σακχάρων	Απόβλητα	Κόστος
Μηχανική	Χαμηλή	Χαμηλή ποσότητα	Χαμηλό
Εκτόνωση ατμού	Υψηλή	Υψηλή ποσότητα	Υψηλό
Εκτόνωση ινών αμμωνίας	Μέτρια	Πολύ χαμηλή ποσότητα	Υψηλό
Ανθρακικό οξύ	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή ποσότητα	Χαμηλό
Αραιό οξύ	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή ποσότητα	Μέτριο
Συμπυκνωμένο οξύ	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή ποσότητα	Υψηλό
Αλκαλική εκχύλιση	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή ποσότητα	Χαμηλό
Υγρή οξειδωση	Υψηλή	Υψηλή	Χαμηλό
Πολτοποίηση οργανικού υλικού	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλό

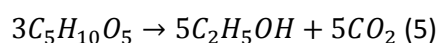
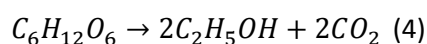
Κατά την ενζυμική υδρόλυση η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη που απελευθερώνονται από τη βιομάζα μετατρέπονται σε γλυκόζη, η οποία καταλύεται από τα ένζυμα κυτταρινάσες [35,128].

Η μετατροπή της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης μπορεί να εκφραστεί από την αντίδραση της γλυκάνης (για τη γλυκόζη C₆) και της ξυλάνης (για την ξυλόζη C₅) με νερό:



Η μέγιστη θεωρητική απόδοση της γλυκόζης και της πεντόζης είναι 1,136kg και 1,111kg ανά κιλό γλυκάνης και ξυλάνης αντίστοιχα [23,73]. Αμέσως μετά την προεπεξεργασία και την παραγωγή της γλυκόζης και της ξυλόζης ακολουθεί η διεργασία της ζύμωσης. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας αυτής η γλυκόζη και η ξυλόζη μετατρέπονται σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα με τη βοήθεια μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ζυμομύκητες ή μύκητες.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη ζύμωση από ξυλόζη και γλυκόζη αντίστοιχα είναι οι ακόλουθες [122]:



Το τελευταίο μέρος της διεργασίας παραγωγής αιθανόλης μετά τη ζύμωση αφορά την απόσταξη. Σε αυτή τη διεργασία απομακρύνεται ως απόσταγμα αιθανόλη και ως υπόλειμμα λιγνίνη, νερό και κυτταρίνη με ημικυτταρίνη που δεν έχουν μετατραπεί. Αυτό το αδιάλυτο κλάσμα αφυδατώνεται με ένα φίλτρο πίεσης και αποστέλλεται σε μια ρευστοποιημένη κλίνη του συστήματος καυστήρα για ατμό και ηλεκτρισμό. Αυτό το σύστημα μειώνει το κόστος διάθεσης των στερεών απορριμμάτων και δημιουργεί επιπλέον έσοδα από της πωλήσεις του πλεονάσματος ηλεκτρικής ενέργειας [68,74].

3.2. Πλεονεκτήματα Διεργασίας

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της διεργασίας παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα είναι τα ακόλουθα [19]:

- Παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (καύσιμη ύλη που υποκαθιστά μέρος των ορυκτών καυσίμων).
- Παραγωγή αλκοόλης η καύση της οποίας επιβαρύνει λιγότερο σε σχέση με τη βενζίνη.
- Μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου μέσω της χρήσης αλκοόλης και μείωσης των βιοαποβλήτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ
- Μετατροπή οργανικών αποβλήτων σε αιθανόλη υψηλής ποιότητας (96% καθαρότητα τουλάχιστον).
- Υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου

3.3. Μειονεκτήματα Διεργασίας

Τα βασικότερα μειονεκτήματα είναι [19]:

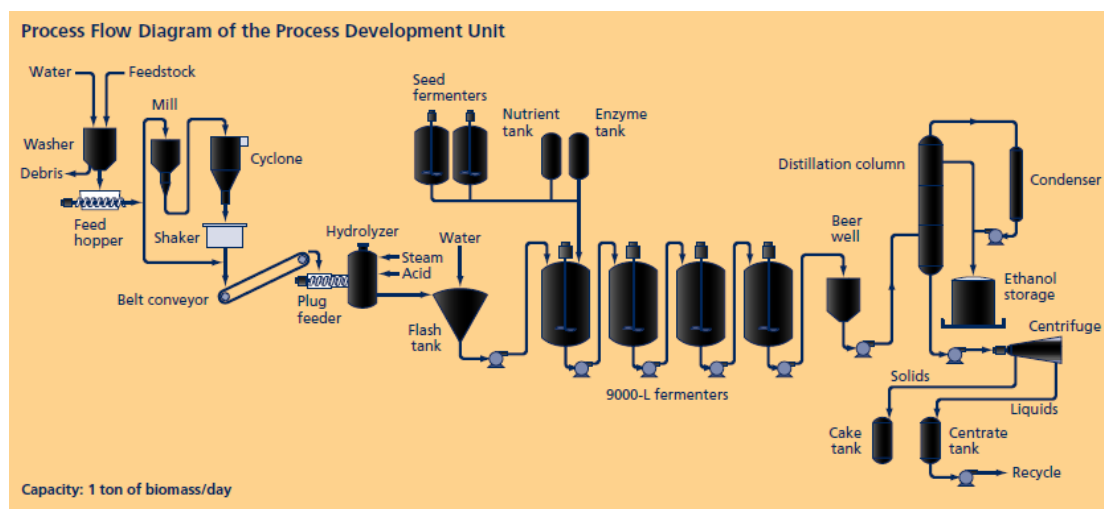
- Υψηλό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης.
- Δυσκολία στη διεργασία όσον αφορά το συνεχές αυτής.
- Δυσκολίες στη λειτουργία των μονάδων λόγω πολυπλοκότητας της διεργασίας.
- Μικρή απόδοση με χρήση των έως τώρα τεχνολογιών.
- Μειωμένη καθαρότητα του τελικώς παραγόμενου υλικού.

3.4. Εμπορικά Συστήματα Παραγωγής Βιοαιθανόλης

3.4.1. Πιλοτική Μονάδα NREL

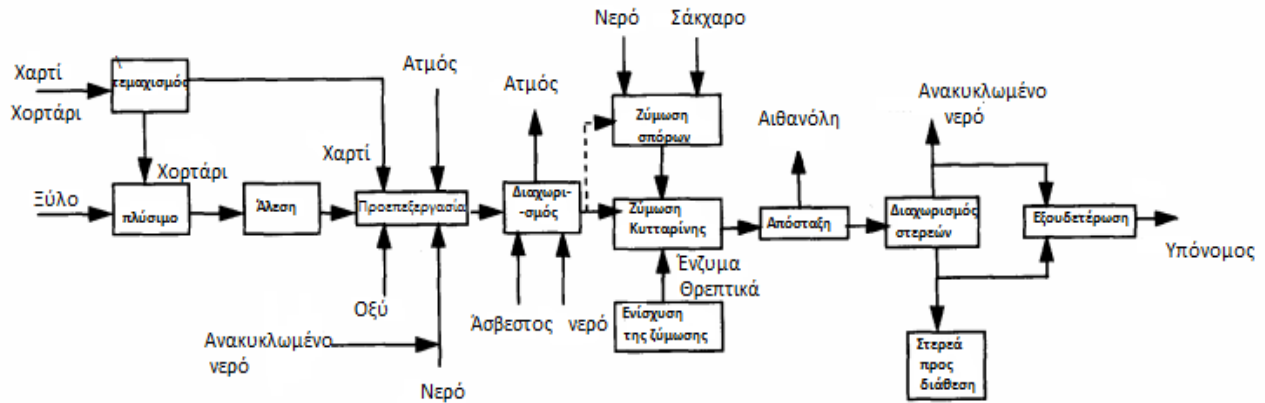
Το εθνικό εργαστήριο ανανεώσιμης ενέργειας στην πόλη Γκόλντεν στο Κολοράντο με χρηματοδότηση από το Αμερικάνικο Υπουργείο Ενέργειας του εθνικού προγράμματος βιοκαυσίμων κατασκεύασε μια πιλοτική μονάδα ζύμωσης για την παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχο βιομάζα. Η πιλοτική μονάδα βιοαιθανόλης του ενός τόνου τη μέρα είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής αιθανόλης από πηγές λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας. Τα λειτουργικά εξαρτήματα της μονάδας περιλαμβάνουν:

- Πλύσιμο πρώτων υλών και άλεση
- Θερμοχημική προεπεξεργασία
- Ενζυμική υδρόλυση
- Ζύμωση
- Ανάπτυξη σπόρων μικροοργανισμών και δεξαμενές αποθήκευσης
- Ανταλλαγή ιόντων και χρωματογραφικοί διαχωρισμοί
- Απόσταξη
- Διαχωρισμός στερεού-υγρού



Σχήμα 16: Διάγραμμα ροής συστήματος πιλοτικής μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης [87]

Ο εξοπλισμός ενζυμικής υδρόλυσης περιλαμβάνει 4 ζυμωτήρες των 9000L, 2 των 1450L και 2 των 160L. Άλλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αερόβια ή αναερόβια ζύμωση με διαχωρισμό ή συνδυασμένη υδρόλυση. Ο εξοπλισμός της απόσταξης περιλαμβάνει μια στήλη απορρόφησης 10m [87].



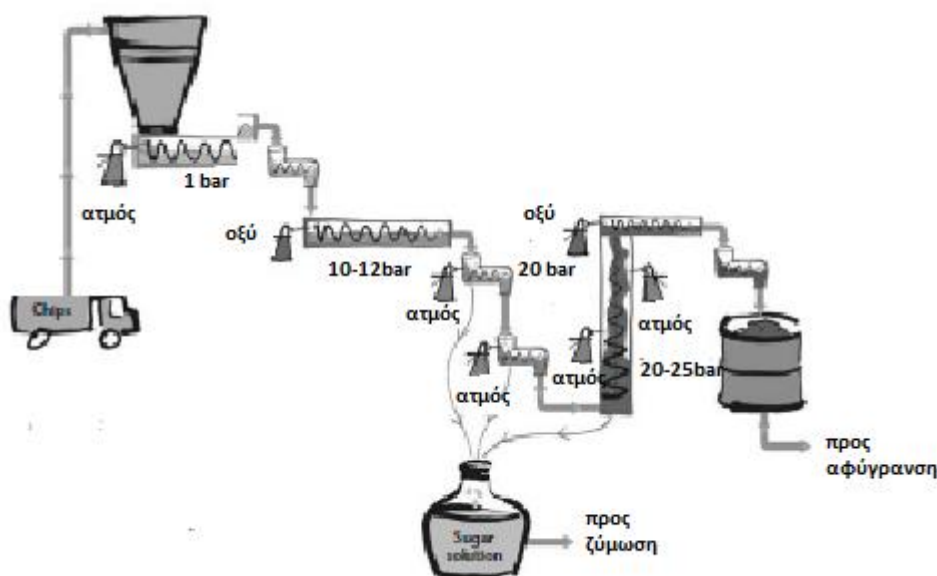
Σχήμα 17: Διεργασία της πιλοτικής μονάδας NREL για τη μετατροπή της βιομάζας σε αιθανόλη [88]

Η διεργασία μετατροπής της βιομάζας σε αιθανόλη (Σχήμα 17) αρχικά περιλαμβάνει πλύσιμο των πρώτων υλών ώστε να απομακρυνθούν ακαθαρσίες και επικίνδυνοι ρύποι. Στη συνέχεια, οι πλυμένες πρώτες ύλες πηγαίνουν για άλεση σε σφυρόμυλο σε διάμετρο σωματιδίων 1-2mm και έπειτα μεταφέρονται στην περιοχή προεπεξεργασίας. Η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων ελαχιστοποιεί ενδεχόμενους περιορισμούς μεταφοράς μάζας και θερμότητας κατά τη διάρκεια της προεπεξεργασίας και της ζύμωσης. Τα απόβλητα κήπου αποτελούνται από μεγάλα στελέχη που δυσκολεύουν τη διεργασία οπότε είναι απαραίτητη η μείωση μεγέθους, επομένως, τεμαχίζονται και στέλνονται για πλύσιμο. Τα απόβλητα χαρτιού τεμαχίζονται και πηγαίνουν απευθείας για προεπεξεργασία καθώς οι επικίνδυνες προσμείξεις έχουν απομακρυνθεί από τη μονάδα ανακύκλωσης αποβλήτων χαρτιού. Ακολουθεί το βήμα της προεπεξεργασίας στο οποίο το ημικυτταρινικό κλάσμα της πρώτης ύλης υδρολύεται σε διαλυτά σάκχαρα (π.χ. ξυλόζη). Αυτό το βήμα αυξάνει τη δυνατότητα του ενζύμου κυτταρινάση να μετατρέψει το κύριο κλάσμα της πρώτης ύλης (κυτταρίνη) σε διαλυτή γλυκόζη. Αμέσως μετά, πραγματοποιείται ενζυμική υδρόλυση της κυτταρίνης σε σάκχαρα (γλυκόζη και ξυλόζη) που μπορούν να μετατραπούν σε αιθανόλη κατά τη ζύμωση. Στην προεπεξεργασία η πρώτη ύλη αναμειγνύεται με θειικό οξύ και νερό (περίπου 1% οξύ στο προκύπτον διάλυμα), έπειτα αυξάνει το ιλυώδες διάλυμα (20-25% w/w στερεά) στη θερμοκρασία της αντίδρασης (160-200°C) με ατμό. Το μίγμα παραμένει στη θερμοκρασία αντίδρασης για ένα προκαθορισμένο χρόνο (2-20min) και στη συνέχεια μεταβιβάζεται σε δοχείο διαχωρισμού όπου παραμένει σε ατμοσφαιρική πίεση. Εξαιτίας, της πτώσης πίεσης το κλάσμα ατμού συμπυκνώνεται και πτητικές ενώσεις που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της θέρμανσης εξατμίζονται και απομακρύνονται καθώς το δοχείο διαχωρισμού υπερθερμαίνεται. Η άσβεστος προστίθεται για να προσαρμόσει το pH στην τιμή 4,5. Στο βήμα της ζύμωσης το προ-επεξεργασμένο υλικό μεταφέρεται από το δοχείο διαχωρισμού σε ζυμωτήρες των 9m³ όπου η ξυλόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη ή το προ-επεξεργασμένο υλικό μπορεί να συνδυαστεί με το ένζυμο κυτταρινάση, θρεπτικά και εμβολιασμό από τους ζυμωτήρες σπόρων. Το ένζυμο κυτταρινάση μετατρέπει τη κυτταρίνη σε γλυκόζη, η οποία μετατρέπεται σε αιθανόλη. Εναλλακτικά, μέρος του προ-επεξεργασμένου υλικού μπορεί να σταλεί σε ζυμωτήρες σπόρων και υδρολυόμενο με κυτταρινάση να παράγει γλυκόζη για εμβολιακή ανάπτυξη. Μετά τη ζύμωση ακολουθεί η απόσταξη. Από την κορυφή της αποστακτικής στήλης απομακρύνεται αιθανόλη ενώ από τον πυθμένα στερεά τα οποία

μεταφέρονται σε ένα διαχωριστή στερεών όπου ένα μέρος των στερεών απομακρύνεται προς εξουδετέρωση χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένο νερό ώστε να γίνει προσαρμογή στο pH και έπειτα τα στερεά να διατεθούν στον υπόνομο και το υπόλοιπο μέρος των στερεών απομακρύνεται από το διαχωριστή προς διάθεση [88].

3.4.2. Πιλοτική Μονάδα Παραγωγής Βιοαιθανόλης της Εταιρείας Etek Etanol Teknik

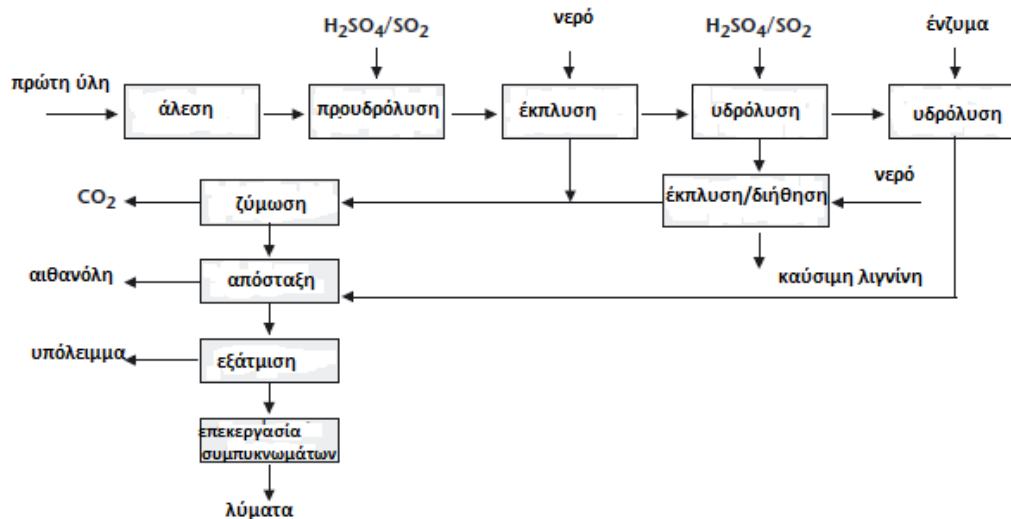
Η πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα κατασκευάστηκε την άνοιξη του 2004 στη Σουηδία από την εταιρεία Etek Etanol Teknik. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης υπολείμματα του ξύλου των κωνοφόρων δέντρων. Η τοποθεσία της μονάδας βρίσκεται στο Όρνσκολντσβικ στο βόρειο τμήμα της Σουηδίας. Η μονάδα έχει δυναμικότητα σε είσοδο πρώτης ύλης περίπου 2tn ξηρής ουσίας/ημέρα. Επομένως, η αναμενόμενη απόδοση παραγωγής αιθανόλης θα είναι 400-500 L/ημέρα. Η μονάδα είναι σχεδιασμένη για να πραγματοποιεί όξινη υδρόλυση σε 2 βήματα και ένα τρίτο βήμα την ενζυμική υδρόλυση [81].



Σχήμα 18: Σχεδιασμός αντιδραστήρα αντίστροφης ροής [81]

Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει έναν αντιδραστήρα αντίστροφης ροής ο οποίος έχει την ικανότητα να αυξάνει την απόδοση και να μειώνει το ποσοστό των παραπροϊόντων. Ως καταλύτης για τη διεργασία της υδρόλυσης χρησιμοποιείται θειικό οξύ ή διοξείδιο του θείου. Η πιλοτική μονάδα θα είναι μια ολοκληρωμένη βιομηχανική μονάδα στην οποία πραγματοποιούνται οι διεργασίες της υδρόλυσης, της απομάκρυνσης νερού, της ζύμωσης, της απόσταξης καθώς και της ανακύκλωσης των ρευμάτων της διεργασίας.

Η διεργασία που ακολουθείται από τη μονάδα για την παραγωγή αιθανόλης περιγράφεται παρακάτω (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Παραγωγή βιοαιθανόλης από ξυλώδη βιομάζα [81]

Η λιγνίνη που απομένει από τη διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Είναι κατάλληλη για στροβίλους αερίου και ως πρόσθετο αποτέφρωσης επειδή έχει χαμηλό αλκαλικό περιεχόμενο και υψηλή τιμή σε ενέργεια 6,2MWh/odt. Η παραγωγή αιθανόλης υπολογίζεται σε 75.000.000 L/(χρόνο) ενώ το κόστος επένδυσης για τη μονάδα παραγωγής υπολογίζεται σε 145 εκατομμύρια ευρώ.

Πίνακας 7: Κόστος παραγωγής αιθανόλης από куτταρίνη [81]

	Ευρώ/Λιθανόλης
Πρώτη ύλη	16,32
Ενέργεια	11,78
Χημικά	2,72
Πίστωση παραπροϊόντων	-10,88
Κόστος παραγωγής	4,53
Λειτουργικό	12,69

κόστος	
Συνολικό κόστος	37,16

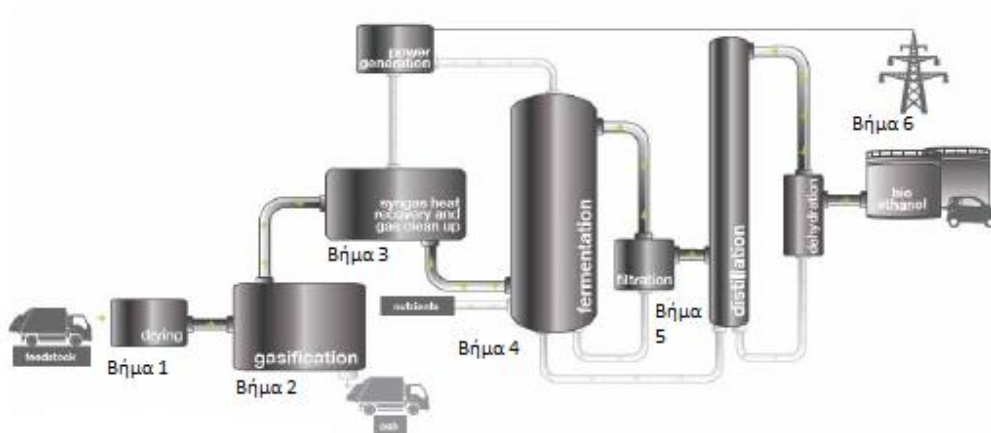
3.4.3. Πιλοτική Μονάδα INEOS BIO

Η τεχνολογία INEOSBIO παράγει βιοαιθανόλη και ανανεώσιμη ενέργεια από ένα μεγάλο εύρος βιομάζας, που συμπεριλαμβάνει και τα οικιακά απόβλητα. Το σύστημα παραγωγής περιλαμβάνει αεριοποίηση, ζύμωση και απόσταξη με ανανεώσιμη παραγωγή ενέργειας. Η διεργασία που πραγματοποιείται με σκοπό την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι ενεργειακά αποδοτική και περιβαλλοντικά ασφαλής. Ολόκληρη η διεργασία είναι απλή και σχεδιασμένη με σκοπό να δίνει το ελάχιστο ενεργειακό κόστος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθεί η τεχνολογία για την παραγωγή βιοαιθανόλης (Εικόνα 29), καθώς και το διάγραμμα ροής της διεργασίας (Σχήμα 20):

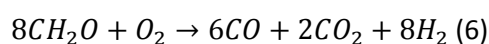


Εικόνα 29: Βήματα της διεργασίας INEOSBIO για την παραγωγή βιοαιθανόλης

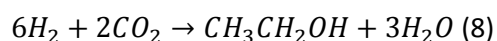
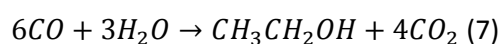


Σχήμα 20: Διεργασία της τεχνολογίας INEOSBIO [70]

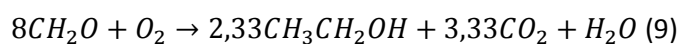
Η τεχνολογία επεξεργασίας INEOSBIO χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη οργανικά απόβλητα από τις οικίες, το εμπόριο και τη βιομηχανία. Η ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας χαμηλό ποσό θερμότητας από τη διεργασία της αεριοποίησης ή μέσω βιολογικής ξήρανσης ή συνδυασμού και των 2. Το βήμα 2 της αεριοποίησης παρέχει στη διεργασία ευελιξία της πρώτης ύλης. Σε αντίθεση, με τις συμβατικές τεχνολογίες της βιοαιθανόλης 1^{ης} γενιάς, οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη αλλά όχι λιγνίνη, η INEOSBIO μετατρέπει και τη λιγνίνη, η οποία αποτελεί περίπου το 25% κατά βάρος της βιομάζας και μέχρι 50% σε ενεργειακό περιεχόμενο. Η δυνατότητα χρήσης της λιγνίνης για την παραγωγή βιοαιθανόλης διαμέσου της αεριοποίησης παρέχει σημαντικά οφέλη όπως: υψηλότερες αποδόσεις του βιοκαυσίμου από κάθε τόνο βιομάζας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, αποδοτική χρήση βιομάζας χαμηλότερου κόστους όπως απόβλητα και διαχωρισμός της παραγωγής βιοκαυσίμου από παραγωγή τροφίμου και χρήση γης. Μέσω της αεριοποίησης μετατρέπεται η ξηραμένη βιομάζα σε αέριο σύνθεσης, που περιλαμβάνει μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το μονοξείδιο του άνθρακα και το υδρογόνο περιέχουν σημαντική χημική ενέργεια και αποτελούν τα δομικά στοιχεία για τη παραγωγή βιοαιθανόλης. Παρόλο που υπάρχουν διάφορες αντιδράσεις που συμβαίνουν στον αεριοποιητή, η συνολική αντίδραση αεριοποίησης της βιομάζας μπορεί να προσεγγιστεί από την αντίδραση οξειδωσης του υδατάνθρακα (κυτταρίνη):



Στο βήμα 3 της διεργασίας το ζεστό αέριο σύνθεσης ψύχεται και καθαρίζεται πριν εισαχθεί στο ζυμωτήρα. Στο βήμα 4 ακολουθεί η ζύμωση. Ο ζυμωτήρας λειτουργεί υπό ανάδευση, ούτως ώστε να έρθει σε επαφή το υγρό με το αέριο. Η διεργασία της ζύμωσης πραγματοποιείται για λίγα λεπτά σε χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις και υψηλή απόδοση και εκλεκτικότητα. Αυτή η υψηλή απόδοση σε συνδυασμό με τις μεταβολές στη σύνθεση του αερίου, σημαίνει λιγότερα βήματα διεργασίας, υψηλή ενεργειακή απόδοση, χαμηλό κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης και ελκυστικές αποδόσεις των επενδύσεων. Η βιοαιθανόλη συντίθεται σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Ο συνδυασμός των εξισώσεων 6-8 δίνει την ακόλουθη συνολική εξίσωση:



Από την εξίσωση (9) η μέγιστη θεωρητική απόδοση της αιθανόλης από βιομάζα είναι περίπου 510 λίτρα ανά τόνο ξηρής ελεύθερης τέφρας του υλικού. Αυτή η απόδοση θεωρείται η υψηλότερη σε σχέση με άλλες διεργασίες κυτταρινούχου ζύμωσης. Μια αιτία αυτής της απόδοσης μπορεί να οφείλεται στην ικανότητα της μονάδας να παράγει βιοαιθανόλη από τη λιγνίνη, την πεντόζη, την πρωτεΐνη και άλλων κλασμάτων υδρογονάνθρακα της βιομάζας, που άλλες διεργασίες δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν.

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζονται οι θεωρητικές και οι αποδόσεις που μετρήθηκαν για την παραγωγή βιοαιθανόλης από ορισμένες τεχνολογίες:

Πίνακας 8. Σύγκριση των αποδόσεων αιθανόλης από βιομάζα σε Λιθ./τον ξηρής τέφρας [70]

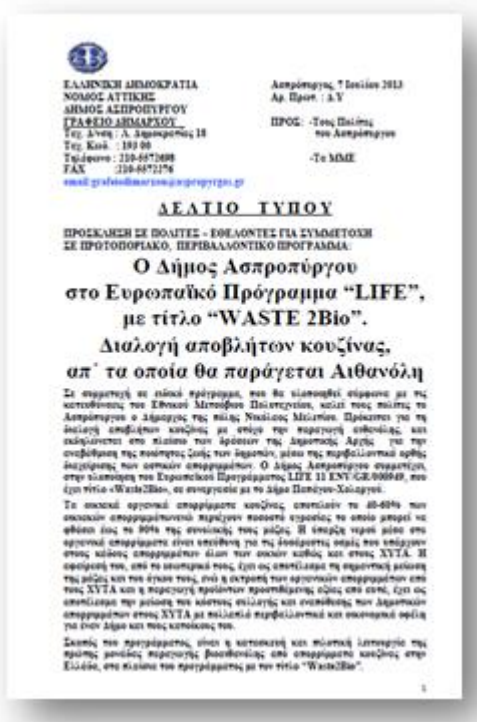
	Μετρούμενη απόδοση	Θεωρητική απόδοση
Τεχνολογία INEOS BIO	280-380	510-550
Όξινη υδρόλ. και ζύμωση	210-250	300
Ενζυμ. υδρόλυση και ζύμωση	230-260	320

Στο βήμα 5 το υγρό του ζυμωτήρα εκχυλίζεται, διηθείται ώστε να απομακρύνει τα βακτήρια και τα θρεπτικά, αποστάζεται και καθαρίζεται με μοριακό κόσκινο σε άνυδρη βιοαιθανόλη. Ο παραγόμενος ατμός από τη διεργασία της αεριοποίησης, χρησιμοποιείται με σκοπό να παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για την απόσταξη. Το νερό από τη στήλη απόσταξης ανακυκλώνεται στο ζυμωτήρα. Τέλος, στο βήμα 6 παράγεται ανανεώσιμη ενέργεια μέσω της ανάκτησης θερμότητας από το αέριο σύνθεσης και της καύσης του αερίου αερισμού από το στάδιο ζύμωσης της διεργασίας. Και στις 2 περιπτώσεις ο ατμός υψηλής πίεσης που ανυψώνεται χρησιμοποιείται για να μετατρέψει ένα στρόβιλο ατμού σε ηλεκτρική ενέργεια [70].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

4.1. Μέθοδος Υλοποίησης/Οργάνωσης της Πρώτης Φάσης της Πιλοτικής Εφαρμογής

Η εν λόγω έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου Waste2bio, το οποίο συγχρηματοδοτείται από την ΕΕ. Η συμμετοχή των κατοίκων των δύο Δήμων στην έρευνα ήταν εθελοντική. Πρόκειται για τη δεύτερη φάση της πιλοτικής εφαρμογής του έργου Waste2bio, η οποία υλοποιήθηκε στους Δήμους Ασπροπύργου και Παπάγου-Χολαργού. Ανακοινώσεις, από την πλευρά των Δήμων αναρτήθηκαν στο διαδίκτυο και το τοπικό τύπο για την ενημέρωση των πολιτών αναφορικά με την έναρξη της πιλοτικής λειτουργίας του καινοτόμου συστήματος διαχείρισης οικιακών βιοαποβλήτων στο Δήμο τους σε προηγούμενη φάση του έργου στην οποία συμμετείχαν συνολικά 82 οικίες στους δύο Δήμους (Εικόνα 30). Δηλώσεις συμμετοχής υποβλήθηκαν στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος Καθαριότητας και Πρασίνου των δύο Δήμων.



Εικόνα 30: Ανακοίνωση του Δήμου Ασπροπύργου σχετικά με την έναρξη της πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος διαχείρισης στο Δήμο

Συνολικά 200 νοικοκυριά συμμετείχαν στη δεύτερη φάση προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εν λόγω έρευνα από τα οποία 100 ανήκαν στον Δήμο Ασπροπύργου και 100 στο Δήμο Παπάγου-Χολαργού.

Τα ονόματα των κατοίκων δεν αναφέρονται στην παρούσα έρευνα για λόγους προστασίας προσωπικών δεδομένων ωστόσο αναφέρονται τα βασικά στατιστικά στοιχεία των νοικοκυριών τα οποία σχετίζονται με την εν λόγω έρευνα. Οι οικίες του Δήμου Παπάγου-

Χολαργού μαζί με τον αριθμό των μελών τους παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Κατοικίες του Δήμου Παπάγου-Χολαργού που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή

ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΔΗΜΟΥ ΠΑΠΑΓΟΥ-ΧΟΛΑΡΓΟΥ	
A/A	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΛΩΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ
Οικία 1	3
Οικία 2	3
Οικία 3	2
Οικία 4	4
Οικία 5	4
Οικία 6	2
Οικία 7	3
Οικία 8	3
Οικία 9	3
Οικία 10	2
Οικία 11	3
Οικία 12	2
Οικία 13	2
Οικία 14	4
Οικία 15	3
Οικία 16	1
Οικία 17	2
Οικία 18	2
Οικία 19	2
Οικία 20	5
Οικία 21	2

Οικία 22	2
Οικία 23	1
Οικία 24	3
Οικία 25	3
Οικία 26	1
Οικία 27	2
Οικία 28	2
Οικία 29	2
Οικία 30	3
Οικία 31	5
Οικία 32	3
Οικία 33	4
Οικία 34	3
Οικία 35	3
Οικία 36	2
Οικία 37	3
Οικία 38	1
Οικία 39	1
Οικία 40	3
Οικία 41	2
Οικία 42	4
Οικία 43	2
Οικία 44	3
Οικία 45	2
Οικία 46	4
Οικία 47	2

Οικία 48	2
Οικία 49	3
Οικία 50	3
Οικία 51	2
Οικία 52	3
Οικία 53	2
Οικία 54	2
Οικία 55	4
Οικία 56	3
Οικία 57	3
Οικία 58	2
Οικία 59	3
Οικία 60	2
Οικία 61	3
Οικία 62	2
Οικία 63	3
Οικία 64	4
Οικία 65	3
Οικία 66	4
Οικία 67	2
Οικία 68	3
Οικία 69	2
Οικία 70	3
Οικία 71	2
Οικία 72	4
Οικία 73	2

Οικία 74	2
Οικία 75	3
Οικία 76	4
Οικία 77	2
Οικία 78	3
Οικία 79	4
Οικία 80	2
Οικία 81	2
Οικία 82	3
Οικία 83	4
Οικία 84	4
Οικία 85	3
Οικία 86	5
Οικία 87	2
Οικία 88	3
Οικία 89	1
Οικία 90	4
Οικία 91	2
Οικία 92	3
Οικία 93	5
Οικία 94	2
Οικία 95	2
Οικία 96	1
Οικία 97	2
Οικία 98	2
Οικία 99	2

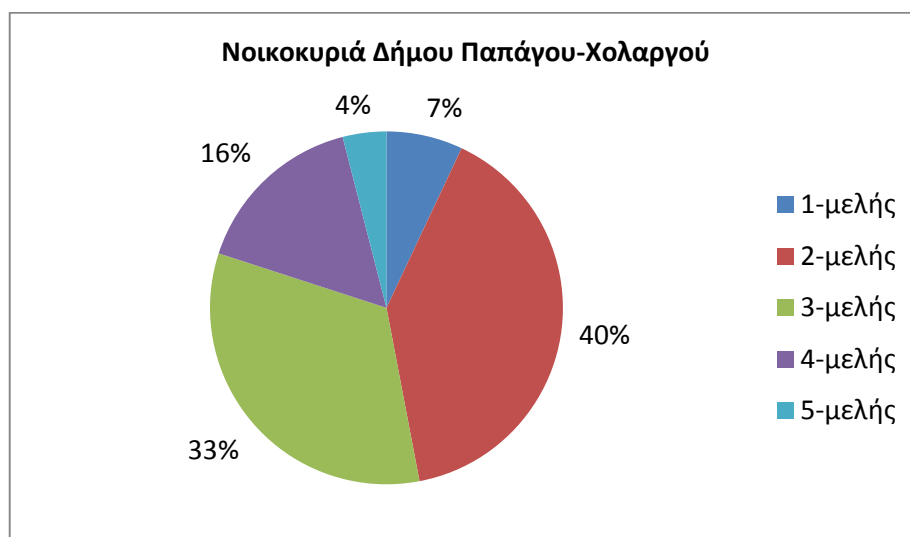
Οικία 100	4
-----------	---

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ο μέσος όρος των μελών της οικογένειας (Πίνακας 10).

Πίνακας 10: Σύνολο νοικοκυριών και μελών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή

Αριθμός οικογενειών	Νοικοκυριά	Μέλη	(%) Ποσοστό
1-μελής	7	7	7
2-μελής	40	80	40
3-μελής	33	99	33
4-μελής	16	64	16
5-μελής	4	20	4
ΣΥΝΟΛΟ	100	270	100

Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται διαγραμματικά ακολούθως (Διάγραμμα 16).



Διάγραμμα 16: Στατιστικά στοιχεία των νοικοκυριών του Δήμου Παπάγου-Χολαργού

Η μέση τιμή των αριθμών των μελών του δήμου Παπάγου-Χολαργού που συμμετείχαν στην έρευνα αντιστοιχεί σε ποσοστό 2,7% μέλη/οικία.

Με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζονται παρακάτω οι οικίες και ο συνολικός αριθμός των μελών για τον Δήμο Ασπροπύργου (Πίνακας 11).

Πίνακας 11: Κατοικίες του Δήμου Ασπροπύργου που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή

ΚΑΤΟΙΚΟΙ ΔΗΜΟΥ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ	
Α/Α	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΛΩΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΣ
Οικία 1	3
Οικία 2	5
Οικία 3	2
Οικία 4	3
Οικία 5	4
Οικία 6	4
Οικία 7	3
Οικία 8	5
Οικία 9	3
Οικία 10	3
Οικία 11	3
Οικία 12	4
Οικία 13	4
Οικία 14	6
Οικία 15	3
Οικία 16	4
Οικία 17	4
Οικία 18	4
Οικία 19	4
Οικία 20	3
Οικία 21	2
Οικία 22	3
Οικία 23	4
Οικία 24	1

Οικία 25	4
Οικία 26	4
Οικία 27	3
Οικία 28	4
Οικία 29	2
Οικία 30	4
Οικία 31	4
Οικία 32	4
Οικία 33	4
Οικία 34	4
Οικία 35	2
Οικία 36	4
Οικία 37	4
Οικία 38	5
Οικία 39	5
Οικία 40	3
Οικία 41	4
Οικία 42	4
Οικία 43	2
Οικία 44	4
Οικία 45	4
Οικία 46	2
Οικία 47	4
Οικία 48	4
Οικία 49	3
Οικία 50	3

Οικία 51	4
Οικία 52	4
Οικία 53	4
Οικία 54	6
Οικία 55	3
Οικία 56	3
Οικία 57	2
Οικία 58	2
Οικία 59	4
Οικία 60	4
Οικία 61	4
Οικία 62	4
Οικία 63	4
Οικία 64	4
Οικία 65	4
Οικία 66	4
Οικία 67	4
Οικία 68	4
Οικία 69	1
Οικία 70	4
Οικία 71	3
Οικία 72	4
Οικία 73	4
Οικία 74	2
Οικία 75	3
Οικία 76	5

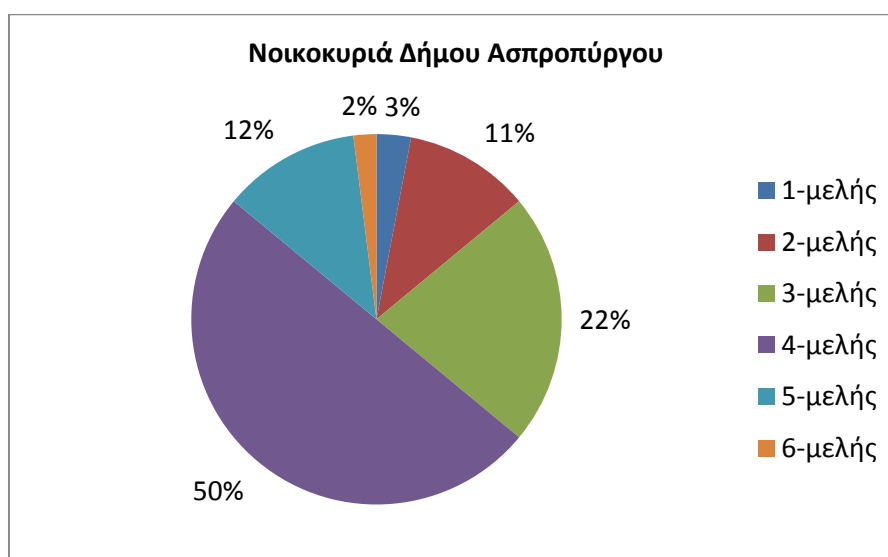
Οικία 77	5
Οικία 78	4
Οικία 79	4
Οικία 80	5
Οικία 81	2
Οικία 82	3
Οικία 83	5
Οικία 84	5
Οικία 85	4
Οικία 86	4
Οικία 87	1
Οικία 88	3
Οικία 89	5
Οικία 90	5
Οικία 91	5
Οικία 92	3
Οικία 93	4
Οικία 94	2
Οικία 95	3
Οικία 96	4
Οικία 97	4
Οικία 98	3
Οικία 99	4
Οικία 100	4

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ο μέσος όρος των μελών της οικογένειας (Πίνακας 12).

Πίνακας 12: Σύνολο νοικοκυριών και μελών του Δήμου Ασπροπύργου που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή

Αριθμός οικογενειών	Νοικοκυριά	Μέλη	(%) Ποσοστό
1-μελής	3	3	3
2-μελής	11	22	11
3-μελής	22	66	22
4-μελής	50	200	50
5-μελής	12	60	12
6-μελής	2	12	2
ΣΥΝΟΛΟ	100	363	100

Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται διαγραμματικά ακολούθως (Διάγραμμα 17).



Διάγραμμα 17: Στατιστικά στοιχεία των νοικοκυριών του Δήμου Ασπροπύργου

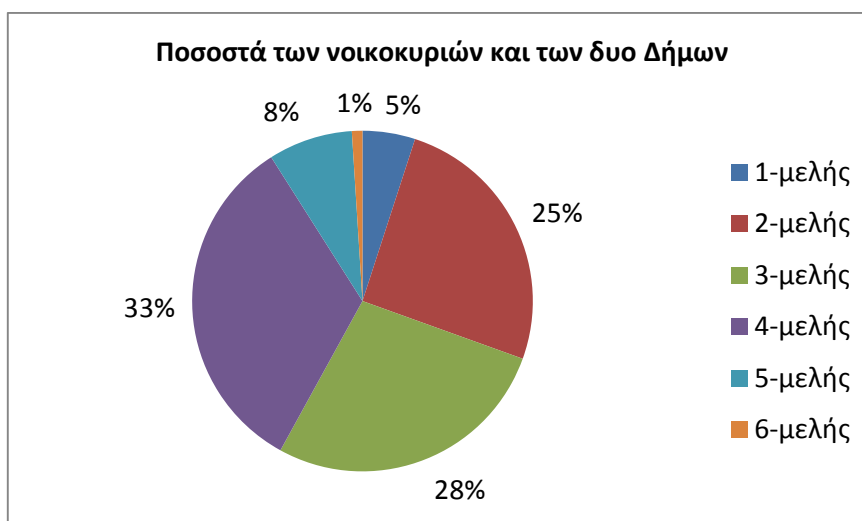
Η μέση τιμή των αριθμών των μελών του δήμου Ασπροπύργου που συμμετείχαν στην έρευνα αντιστοιχεί σε ποσοστό 3,6 μέλη/οικία.

Τα συνολικά στατιστικά στοιχεία και για τους δυο Δήμους δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Σύνολο νοικοκυριών που συμμετέχουν στην πιλοτική εφαρμογή του συστήματος διαχείρισης

Αριθμός οικογενειών	Νοικοκυριά	(%) Ποσοστό
1-μελής	10	5
2-μελής	51	25,5
3-μελής	55	27,5
4-μελής	66	33
5-μελής	16	8
6-μελής	2	1
ΣΥΝΟΛΟ	200	100

Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 18).



Διάγραμμα 18: Συνολικά στατιστικά στοιχεία και των 2 Δήμων

Η δεύτερη φάση της πιλοτικής εφαρμογής του καινοτόμου συστήματος διαχείρισης διήρκεσε 11 μήνες (Απρίλιο 2015 έως Φεβρουάριο 2016).

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η δράση επίδειξης του καινοτόμου συστήματος διαχείρισης των οικιακών βιοαποβλήτων και να προσδιοριστούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εισερχόμενου οργανικού υλικού ώστε αυτό να μπορεί χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς έλαβαν χώρα οι παρακάτω δράσεις:

- 1) Διαμοιράστηκαν κάδοι κουζίνας 23 λίτρων στους κατοίκους του Δήμου Ασπροπύργου και 10 λίτρων στους κατοίκους του Δήμου Παπάγου-Χολαργού προκειμένου να απορρίπτονται εντός αυτών τα οικιακά βιοαπόβλητα. Οι κάδοι που χρησιμοποιήθηκαν αποτέλεσαν επιλογή των Δημοτικών αρχών των εν λόγω Δήμων για τους κατοίκους τους. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μικροί κάδοι που διαμοιράστηκαν στους δημότες των δύο Δήμων.



Εικόνα 31: Καδάκι κουζίνας για τη χωριστή διαλογή των οικιακών βιοαποβλήτων 23L (αριστερά), 10L (δεξιά)

- 2) Τοποθετήθηκε κάδος χωρητικότητας 120L σε εξωτερικό χώρο των συμμετεχόντων νοικοκυριών προκειμένου οι κάτοικοι να απορρίπτουν τα συλλεχθέντα, στους μικρούς κάδους, οργανικά απορρίμματα σε δεύτερο χρόνο.



Εικόνα 32: Κάδος απόρριψης οικιακών βιοαποβλήτων χωρητικότητας (120L) τοποθετημένος σε πολυκατοικία του Δήμου Ασπροπύργου

- 3) Διαμοιράστηκε εγχειρίδιο απόρριψης υλικών στο εσωτερικό των μικρών κάδων στους συμμετέχοντες κατοίκους προκειμένου οι κάτοικοι να γνωρίζουν τι θα πρέπει να απορρίπτουν και τι δεν θα πρέπει να απορρίπτουν εντός του κάδου.



Εικόνα 33: Μέρος του εγχειριδίου απόρριψης οικιακών βιοαποβλήτων το οποίο διαμοιράστηκε στους κατοίκους των δύο Δήμων

- 4) Πραγματοποιήθηκε ενημερωτικό σεμινάριο (ημερίδα) στο Δήμο Ασπροπύργου για τους Δημότες των δύο Δήμων ενώ έγινε εκπαίδευση των συμμετεχόντων με οδηγίες σχετικά με τι θα πρέπει να απορρίπτουν στους ειδικούς κάδους συλλογής.



Εικόνα 34: Κάτοικοι των δύο Δήμων οι οποίοι συμμετείχαν στην ημερίδα (training seminar) που πραγματοποιήθηκε στο Δήμο Ασπροπύργου για την πιλοτική εφαρμογή του νέου συστήματος διαχείρισης

- 5) Στην περίπτωση του Δήμου Πατάγου-Χολαργού, διαμοιράστηκαν σε 20 οικίες, συστήματα οικιακής ξήρανσης, τα οποία παρέμειναν στις 20 οικίες για χρονικό διάστημα 1 μήνα και εν συνεχεία, τοποθετούνταν στις επόμενες 20 οικίες, μέχρις ότου τοποθετηθούν σε σύνολο 100 οικιών. Ο αριθμός δειγμάτων που λήφθηκε από κάθε μια οικία ήταν 3.



Εικόνα 35: Σύστημα οικιακής ξήρανσης σε οικία του Δήμου Παπάγου-Χολαργού

4.2. Μεθοδολογία Συλλογής και Ανάλυσης Δειγμάτων

Τα συλλεχθέντα δείγματα τοποθετούνταν από τους κατοίκους των εν λόγω περιοχών σε κεντρικό κάδο συλλογής. Οι Δήμοι μετέφεραν τα δείγματα στις εγκαταστάσεις του Ε.Μ.Π με χρήση μικρού δορυφορικού οχήματος ύστερα από ειδική άδεια η οποία είχε χορηγηθεί από τις αρμόδιες υπηρεσίες του ιδρύματος (Εικόνα 36).



Εικόνα 36: Αποκομιδή οικιακών οργανικών απορριμμάτων από το δορυφορικό όχημα του Δήμου Παπάγου-Χολαργού

Αυτά στη συνέχεια οδηγούνται στα εργαστήρια της μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. όπου και ζυγίζονται προκειμένου να καταγραφεί η μάζα του εισερχόμενου υλικού με χρήση πλατφόρμας ζύγισης η οποία λειτουργεί στη μονάδα (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Πλατφόρμα ζύγισης οικιακών οργανικών βιοαποβλήτων

Στη συνέχεια τα δείγματα (πλην των προξηραμένων με το σύστημα οικιακής ξήρανσης DRYWASTE) τοποθετούνταν στο εσωτερικό του εμπορικού συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA όπου ξηραίνονταν και μετατρέπονταν σε σκόνη διαμέτρου $\approx 1-5$ mm.



Εικόνα 38: Εισερχόμενο υλικό στο εσωτερικό του συστήματος GAIA (κάτω), Ξηραμένο υλικό (πάνω) στο εσωτερικό του ίδιου συστήματος

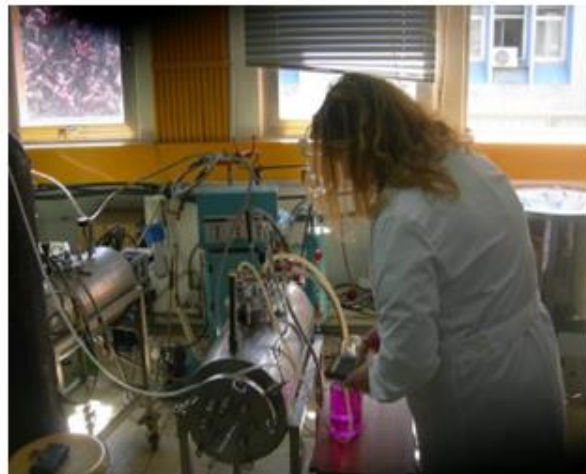
Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος GAIA καταγράφηκε με χρήση μετρητή ενεργειακής κατανάλωσης ο οποίος έχει τοποθετηθεί μεταξύ του συστήματος και της παροχής ρεύματος.

Το ξηρό υλικό αποθηκεύονταν σε κοινές σακούλες απορριμμάτων υψηλής αντοχής για περαιτέρω επεξεργασία.



Εικόνα 39: Υλικό τοποθετημένο σε σακούλες υψηλής αντοχής έτοιμο για περαιτέρω επεξεργασία

Ποσότητα υλικού οδηγούνται στο καινοτόμο σύστημα βιομετατροπής Waste2bio, προκειμένου να υποστεί ζύμωση για παραγωγή αλκοόλης δεύτερης γενιάς. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας δεν αναφέρονται τα αποτελέσματα αυτών των ζυμώσεων.



Εικόνα 40: Βιοαντιδραστήρας 20L στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας του Ε.Μ.Π.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στο σύνολο των οικιών που συμμετείχαν στην δράση, υπήρξαν ημέρες στις οποίες τα δείγματα δεν παρελήφθησαν από την αρμόδια υπηρεσία του Δήμου, καθώς πραγματοποιούνταν απεργίες στις υπηρεσίες καθαριότητας των Δήμων ή δεν ήταν εφικτή η αποκομιδή των απορριμμάτων από τα επιλεγμένα νοικοκυριά.

4.3. Περιγραφή του Συστήματος Αποκεντρωμένης Ξήρανσης GAIA

Το ξηραντήριο GAIA είναι σύστημα μείωσης της μάζας και όγκου διαφόρων τύπων βιομάζας. Αποτελεί αυτόματο σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης που στηρίζεται στη θέρμανση και τη μηχανική ανάδευση.

Συγκεκριμένα το υλικό τοποθετείται εντός θαλάμου ο οποίος θερμαίνεται από ειδικές αντιστάσεις και μέσα στον οποίο το υλικό περιστρέφεται συνεχόμενα μέχρις ότου να του αφαιρεθεί πλήρως η περιεχόμενη υγρασία. Από τη στιγμή που τα ποσοστά υγρασίας στα οικιακά βιοαπόβλητα είναι υψηλά (φτάνει σε πολλές περιπτώσεις το 95%), η μείωση του όγκου και της μάζας επιτυγχάνεται με την αφαίρεση του νερού μέσω της ξήρανσης, αφήνοντας ως προϊόν ξερή άοσμη και αποστειρωμένη βιομάζα η οποία μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα δίχως να βιοαποδομηθεί λόγω της μειωμένης μικροβιακής δραστηριότητας εντός του υλικού.



Εικόνα 41: Σύστημα ξήρανσης GAIA δυνατότητας επεξεργασίας 100 Kgr νωπού υλικού ημερησίως

Τα ξηραντήρια GAIA διαφοροποιούνται από άλλες τεχνολογίες ξήρανσης λόγω του συστήματος closed loop. Οι υδρατμοί που παράγονται από την θέρμανση αφού περάσουν από σύστημα δυο φίλτρων οδηγούνται προς υγροποίηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχουν εκπομπές και οσμές παρά μόνο νερό το οποίο και απομακρύνεται στο αποχετευτικό σύστημα.



Εικόνα 42: Φίλτρο κατακράτησης οσμών και σωματιδίων του συστήματος GAIA

Το σύστημα τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια ενώ η θέρμανση είναι δυνατόν να προέρχεται από φυσικό αέριο, πετρέλαιο, ηλεκτρικό ρεύμα ή ακόμα και από ατμό. Οι χρόνοι κατεργασίας όπως επίσης και το κόστος χρήσης ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τύπο των απορριμμάτων και την περιεκτικότητα αυτών σε υγρασία. Οι συνήθεις χρόνοι κατεργασίας κυμαίνονται από 7 έως 9 ώρες, και η κατανάλωση από 0,28 έως 0,9 kW/kg.

Κατά τη διάρκεια της δικής μας μελέτης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GC-100 το οποίο έχει τα παρακάτω λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 14).

Πίνακας 14: Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος GAIA

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

Επιπλέον λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος αναφέρονται ακολούθως:

- 1) Ο χρόνος λειτουργίας του ξηραντήρα ισούται με το άθροισμα του χρόνου ξήρανσης ή του χρόνου που έχει αντιληφθεί ο αρμόδιος αισθητήρας και του χρόνου που απαιτείται για τον τερματισμό της λειτουργίας.
- 2) Ο χρόνος λειτουργίας ποικίλει ανάλογα με το είδος των διαφορετικών ειδών διατροφικών αποβλήτων και με τη θερμοκρασία στην οποία επιτελείται η ξήρανση.
- 3) Ο χρόνος λειτουργίας αυξάνεται αν:
 - Η αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία είναι υψηλή.
 - Τα διατροφικά απόβλητα που εισέρχονται είναι κολλώδη.
 - Η θερμοκρασία λειτουργίας του ξηραντήρα ρυθμίζεται χαμηλότερα της προτεινόμενης.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης (Πίνακας 15).

Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος GAIA

Μοντέλο	GC-100
Χωρητικότητα	50kg/κύκλο, 2κύκλοι/ημέρα
Διαστάσεις:	
-Μήκος	1400mm
-Βάθος	950mm
-Ύψος	1291mm
Κινητήρας	0,4kW, 150:1, 380V, 50Hz
Ανεμιστήρας	
-Πίεση	Max. 700mmAq
-Ροή	Max. 1m ³ /min
-Κινητήρας	0,2kW
Κύλινδρος λαδιού	6 kW
Συμπυκνωτής	0,112kw
Πετρέλαιο θέρμανσης	24L
Απαιτούμενη ισχύς	6,7kW
Ρεύμα	10,2 Amp
Βάρος	600kg

4.4. Φυσικοχημικός Χαρακτηρισμός της Συλλεχθήσας Βιομάζας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι χαρακτηρισμού του τελικού ξηρού υλικού, το οποίο εξήλθε από το σύστημα ξήρανσης GAIA.

4.4.1. Προετοιμασία Δειγμάτων

Αρχικά, το ξηραμένο οργανικό δείγμα ομογενοποιούταν πριν από την έναρξη των αναλύσεων. Αυτό πραγματοποιούνταν με το πέρασμα των δειγμάτων σε κατάλληλο blender ώστε να διασπαστούν τα μεγάλα κομμάτια (Εικόνα 43).



Εικόνα 43: Συσκευή άλεσης

Στη συνέχεια γίνονταν κοσκίνισμα του δείγματος σε κόσκινο με μέγεθος πόρων 1 mm. (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Κοσκίνισμα σε μέγεθος 1mm

Μετά την ομογενοποίηση, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των ακόλουθων φυσικοχημικών παραμέτρων του υλικού: pH, αγωγιμότητα, υγρασία, πτητικά στερεά (VS), ολικός οργανικός άνθρακας (TOC), ολικό άζωτο (TN), κυτταρίνη, άμυλο, αναγωγικά σάκχαρα (TRS), ελεύθερη γλυκόζη και ολικά διαλυτά σάκχαρα. Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίστηκαν αυτές οι παράμετροι αναγράφονται ακολούθως.

4.4.1.1. Προσδιορισμός Υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας πραγματοποιήθηκε σε φούρνο με ρεύμα αέρα που λειτουργεί στους 80°C. Η διαδικασία για τον προσδιορισμό της υγρασίας ακολουθεί την παρακάτω μεθοδολογία.

Τα δείγματα ζυγίστηκαν αρχικά με χρήση ζυγού ακριβείας (περίπου 5gr από το κάθε δείγμα). Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε δοχεία ζέσεως και εισήχθησαν σε φούρνο ξήρανσης με αέρα στους 80°C για χρονικό διάστημα περίπου 16 ώρες (Εικόνα 45).



Εικόνα 45: Φούρνος ξήρανσης με αέρα στους 80°C

Μετά από 16hr απομακρύνθηκαν από το φούρνο και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα για περίπου 20min μέχρι να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά το πέρας των 20min πραγματοποιήθηκε ζύγιση των δειγμάτων και από τη διαφορά μάζας υπολογίζεται η υγρασία.

Η % υγρασία υπολογίστηκε από τη διαφορά μάζας πριν και μετά την ξήρανση στους 80°C:

$$\% \text{ κ.β υγρασία} = ((m_i - m_f) / m_i) * 100 \quad (1)$$

Όπου m_i =αρχική μάζα του υλικού και m_f =τελική μάζα του υλικού.

4.4.1.2. Προσδιορισμός pH/ Αγωγιμότητας

Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των οξωνίων (H_3O^+) κατά τη διάλυση μιας ουσίας στο νερό σύμφωνα με τη σχέση:

$$pH = -\log([H_3O^+]) \quad (2)$$

Το pH των στερεών αποβλήτων αποτελεί μια από της βασικότερες μετρήσεις χαρακτηρισμού τους. Επειδή, το pH μετράει την συγκέντρωση των υδρογονοκατιόντων σε ένα διάλυμα (όπως παρουσιάζεται και στην εξίσωση 2) θα πρέπει να μετράται σε υδατικό διάλυμα, που προκύπτει μετά την επαφή του υδατικού διαλύματος με το στερεό απόβλητο.

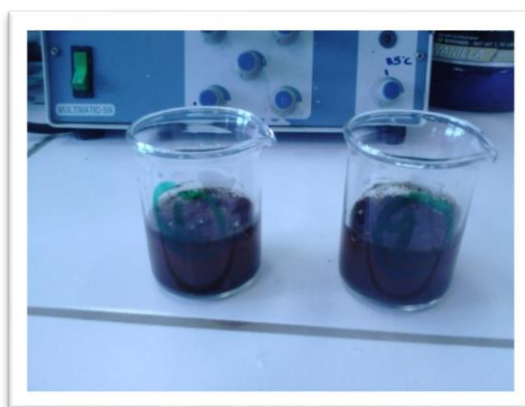
Η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό του pH αλλά και της αγωγιμότητας ακολουθεί την παρακάτω μεθοδολογία:

Αρχικά ζυγίστηκαν 2gr ξηραμένου υλικού το οποίο είχε υποστεί άλεση προκειμένου να γίνει σκόνη (διαμέτρου 1mm) και τοποθετήθηκαν σε δοχεία ζέσεως (Εικόνα 46).



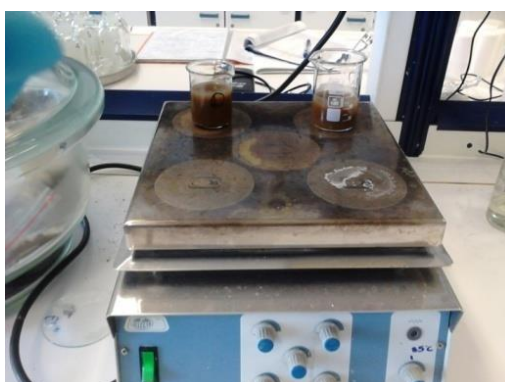
Εικόνα 46: Ζύγιση 2gr ξηρού υλικού

Στη συνέχεια, με τον ογκομετρικό κύλινδρο των 80ml προστέθηκαν στα 2gr του υλικού 40ml απιονισμένο νερό ώστε να γίνει αραιώση (Εικόνα 47).



Εικόνα 47: Δείγματα αραιωμένα με 40ml νερού

Επιπλέον, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στη συσκευή ανάδευσης, υπό ανάδευση για 30min περίπου στις ίδιες στροφές (Εικόνα 48).



Εικόνα 48: Συσκευή ανάδευσης

Τέλος, μετά από 30min η ανάδευση σταμάτησε και τα δείγματα αφέθηκαν σε ηρεμία για άλλα 30min ώστε οι αδιάλυτες στερεές ουσίες να κατακαθίσουν στον πάτο του δοχείου και ακολούθησε μέτρηση pH και αγωγιμότητας στο αιώρημα με χρήση του πεχάμετρου METTLER TOLEDO MPC227 που φαίνεται στην εικόνα (Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Μέτρηση pH και αγωγιμότητας

Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε το ηλεκτρόδιο του pH και του αγωγιμόμετρου στο υγρό μίγμα προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μέτρηση.

4.4.1.3. Προσδιορισμός Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)

Για τον προσδιορισμό της επί της εκατό κατά βάρος περιεκτικότητας ολικού οργανικού άνθρακα TOC χρησιμοποιήθηκε η συσκευή TOC της εταιρείας Shimadzu (Εικόνα 50).



Εικόνα 50: Συσκευή μέτρησης TOC

Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού TOC ξεκίνησε αρχικά με ζύγιση 40mg δείγματος, το οποίο είχε υποστεί λειοτρίβηση σε μέγεθος 1mm και ξήρανση στους 80°C. Τα 40mg που ζυγίστηκαν, τοποθετήθηκαν σε κάψες πορσελάνης (Εικόνα 51).



Εικόνα 51: Πορσελάνινη κάψα

Στη συνέχεια, οι κάψες τοποθετήθηκαν στον ειδικό φούρνο του οργάνου όπου το δείγμα θερμάνθηκε στους 900°C (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Φούρνος (Solid Sample Module SSM 5000A)

Στη θερμοκρασία αυτή έγινε καύση του οργανικού άνθρακα και τα καυσαέρια αυτής οδηγήθηκαν στην κεντρική μονάδα TOCVCSH (Εικόνα 53).



Εικόνα 53: Κεντρική μονάδα TOCVCSH

Στη μονάδα αυτή υπολογίστηκε η μάζα του οργανικού άνθρακα (mgr) από το CO₂ που παράχθηκε κατά την καύση. Το (%) ποσοστό του οργανικού άνθρακα δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\text{TOC (\%)} = \left(\frac{\frac{m_1 + m_2}{M_1 + M_2}}{2} \right) * 100 \quad (3)$$

Όπου:

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

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

M_1 : η αρχική μάζα του πρώτου δείγματος (mgr)

M_2 : η αρχική μάζα του δεύτερου δείγματος (mgr)

4.4.1.4. Προσδιορισμός Πτητικών Στερεών (VS)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου οργανικού φορτίου ενός στερεού δείγματος μέσω της καύσης του σε υψηλή θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιείται αναλύεται παρακάτω ως εξής:

Αρχικά, ρυθμίστηκε ο φούρνος στους 250°C. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν 2gr ξηρού δείγματος, το οποίο βγήκε από το φούρνο των 80°C και τοποθετήθηκαν σε 2 κάψες πορσελάνης, οι οποίες είχαν ζυγιστεί αρχικά χωρίς το δείγμα (Εικόνα 54).



Εικόνα 54: Ζύγιση ξηρού υλικού σε κάψες πορσελάνης

Αμέσως μετά και αφού ο φούρνος είχε πιάσει τη θερμοκρασία των 250°C οι 2 κάψες εισήχθησαν στο φούρνο για 4hr και ο φούρνος ρυθμίστηκε στους 550°C (Εικόνα 55).



Εικόνα 55: Φούρνος μέτρησης πτητικών στερεών

Αμέσως μετά το πέρας των 4hr παρελήφθησαν οι κάψες από το φούρνο και εισήχθησαν στο ξηραντήρα για 40min έτσι ώστε να πιάσουν θερμοκρασία δωματίου. Τέλος, οι 2 κάψες ζυγίστηκαν ξανά μαζί με το υλικό και καταγράφηκε η τελική μάζα.

Η εκτίμηση του περιεχόμενου οργανικού φορτίου έγινε με τον υπολογισμό της απώλειας βάρους πριν και μετά την εισαγωγή του δείγματος στο φούρνο. Κατά την καύση πραγματοποιείται οξειδωση των οργανικών ουσιών για αυτό και η απώλεια βάρους που υπολογίζεται αποτελεί στην ουσία μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα στερεά, παρόλο που κατά την καύση απομακρύνονται μερικές φορές και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά του δείγματος.

Ο υπολογισμός των πτητικών στερεών προκύπτει με βάση την αρχική και την τελική μάζα του ξηρού δείγματος και υπολογίζεται για όλα τα δείγματα όπως ακριβώς και με την υγρασία με βάση τη σχέση:

$$\%κ.β VS = ((m_i - m_f) / m_i) * 100 \quad (4)$$

όπου m_i =αρχική μάζα ξηρού δείγματος m_f =τελική μάζα μετά από 4hr στους 550°C

4.4.1.5. Προσδιορισμός Υδατοδιαλυτών Σακχάρων

Ο προσδιορισμός των υδατοδιαλυτών σακχάρων ακολούθησε την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν 2 κωνικές φιάλες των 100ml στις οποίες προστέθηκαν 2,5gr ξηρού υλικού και 100ml απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια, οι 2 κωνικές σκεπάστηκαν με αλουμινόχαρτο (έτσι ώστε να μη χαθούν υδρατμοί λόγω εξάτμισης) και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 50°C για 60min με ανάδευση κάθε 8min για να διαλυθούν όλα σχεδόν τα σάκχαρα (Εικόνα 56).



Εικόνα 56: Διάλυμα 100ml νερού με 2,5gr ξηρού υλικού

Μετά το πέρας των 60min πραγματοποιήθηκε το βήμα της διήθησης υπό κενό. Αρχικά, ζυγίστηκε ένα ξηραμένο διηθητικό χαρτί και μια ύαλος για κάθε δείγμα αντίστοιχα και καταγράφηκε η τιμή τους και στη συνέχεια συνδέθηκε το σύστημα κενού. Σημειώνεται ότι, στο σύστημα κενού στην κωνική φιάλη όπου τοποθετήθηκε το χωνί διήθησης εισήχθη ένας κομμένος ογκομετρικός κύλινδρος για να συλλέξει το διήθημα και το έκλυμα πάνω στα οποία θα πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός αναγωγικών σακχάρων και ελεύθερης γλυκόζης. Επίσης, κατά τη διήθηση το ξηρό υλικό θα έπρεπε να πέφτει προς το κέντρο ώστε να απομακρυνθεί πιο εύκολα το ξηρό υλικό στο οποίο θα γινόταν ο προσδιορισμός της

κυτταρίνης, της ημικυτταρίνης και του αμύλου. Αφού πέρασε το διάλυμα από το διηθητικό χαρτί καταγράφηκε ο όγκος και συλλέχθηκε το διήθημα. Έπειτα, προστέθηκαν στην κωνική επιπλέον 100ml απιονισμένου νερού και πραγματοποιήθηκε ξέπλυμα, οπότε συλλέχθηκε το έκπλυμα του οποίου επίσης καταγράφηκε ο όγκος αφού πέρασε από το διηθητικό χαρτί (Εικόνα 57).



Εικόνα 57: Συλλογή υγρού στον ογκομετρικό κύλινδρο (αριστερά) και συγκράτηση στερεού εκχυλίσματος στο διηθητικό χαρτί (δεξιά)

Αφού ολοκληρώθηκε η διήθηση πραγματοποιήθηκε φωτομέτρηση των διηθημάτων και των εκπλυμάτων ώστε να προσδιοριστούν αναγωγικά σάκχαρα και ελεύθερη γλυκόζη. Τα 2 ιζήματα τοποθετήθηκαν στις υάλους ωρολογίου και εισήχθησαν στο φούρνο στους 80°C για 20hr περίπου για να απομακρυνθεί η υγρασία και στη συνέχεια να υπολογιστεί η συγκέντρωση αμύλου και κυτταρίνης (Εικόνα 58).



Εικόνα 58: Στερεό ιζήμα μετά τη διήθηση

Μετά το πέρας των 20hr αφαιρέθηκαν από το φούρνο, τοποθετήθηκαν για 20min περίπου στον ξηραντήρα ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου και στη συνέχεια ζυγίστηκαν οπότε από τη καινούρια μάζα υπολογίστηκε η συγκέντρωση των ολικών διαλυτών σακχάρων δηλαδή το ποσοστό απώλειας βάρους λόγω εκχύλισης. Για τον υπολογισμό του ποσοστού (%) απώλειας βάρους λόγω εκχύλισης χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση.

$$(\%) \text{ διαλυτά} = ((m_{\text{δειγμ. αρχική}} - m_{\text{δειγμ. τελική}}) / m_{\text{δειγμ. αρχική}}) * 100 \quad (5)$$

Όπου:

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

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

Το ξηρό υλικό στη συνέχεια καθώς και το διήθημα με το έκπλυμα χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό κυτταρίνης, ημικυτταρίνης, αναγωγικών σακχάρων (TRS), ελεύθερης γλυκόζης και αμύλου. Οι μέθοδοι ανάλυσης αυτών των παραμέτρων περιγράφονται παρακάτω.

4.4.1.5.1. Προσδιορισμός Αναγωγικών Σακχάρων (TRS)

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

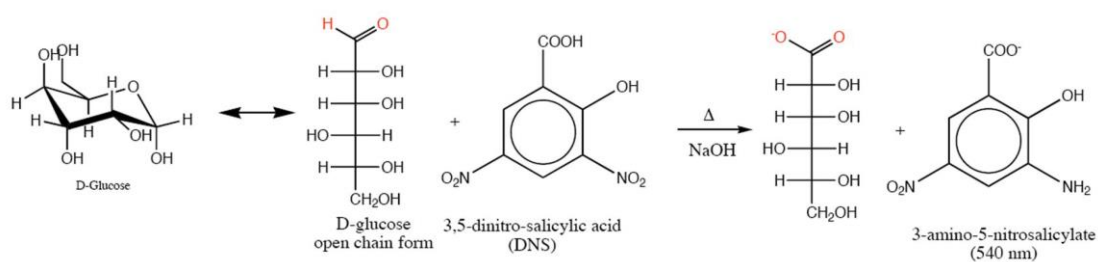
Οι υδατάνθρακες ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες, που αναλύονται παρακάτω:

- 1) Μονοσακχαρίτες: Είναι οι υδατάνθρακες που δεν μπορούν να υδρολυθούν περαιτέρω προκειμένου να δώσουν μια απλούστερη μονάδα πολύ-υδρόξυ αλδεΐδης ή κετόνης. Οι μονοσακχαρίτες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων άνθρακα και τη δραστική ομάδα του μορίου τους σε τριόζες (με 3 άτομα άνθρακα), τετρόζες (με 4 άτομα άνθρακα), πεντόζες (με 5 άτομα άνθρακα), εξόζες (με 6 άτομα άνθρακα) κλπ. Επίσης, αν ο μονοσακχαρίτης έχει αλδεϋδομάδα στο μόριο ανήκει στην κατηγορία των αλδοζών και αν έχει κετονομάδα ανήκει στην ομάδα των κετοζών. Περίπου 20 μονοσακχαρίτες υπάρχουν στην φύση και οι πλέον κοινοί περιέχουν 5 (πεντόζες) ή 6 (εξόζες) άτομα άνθρακα: γλυκόζη, φρουκτόζη, ριβόζη, αραβινόζη, ξυλόζη κλπ.
- 2) Ολιγοσακχαρίτες: είναι οι υδατάνθρακες που κατά την υδρόλυσή τους μπορούν να αποδώσουν 2 έως 10 μονάδες μονοσακχαριτών. Ανάλογα με τον αριθμό των μονοσακχαριτών που αποδίδουν κατά την υδρόλυση διακρίνονται σε δι-σακχαρίτες, τρι-σακχαρίτες, τετρα-σακχαρίτες κλπ. Παραδείγματα δι-σακχαριτών είναι η σακχαρόζη η οποία υδρολυόμενη δίνει ένα ισομοριακό μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης και η μαλτόζη η οποία υδρολυόμενη δίνει 2 μόρια γλυκόζης.
- 3) Πολυσακχαρίτες: είναι οι υδατάνθρακες που κατά την υδρόλυσή τους παράγουν μεγάλο αριθμό μονοσακχαριτών. Παραδείγματα πολυσακχαριτών είναι το άμυλο, η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη, το γλυκογόνο κλπ.

Επιπλέον οι υδατάνθρακες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως αναγωγικοί ή μη-αναγωγικοί. Αναγωγικοί υδατάνθρακες είναι αυτοί που μπορούν να λειτουργήσουν ως αναγωγικοί παράγοντες γεγονός που οφείλεται στην παρουσία ελεύθερης αλδεϋδομάδας ή κετονομάδας στο μόριό τους.

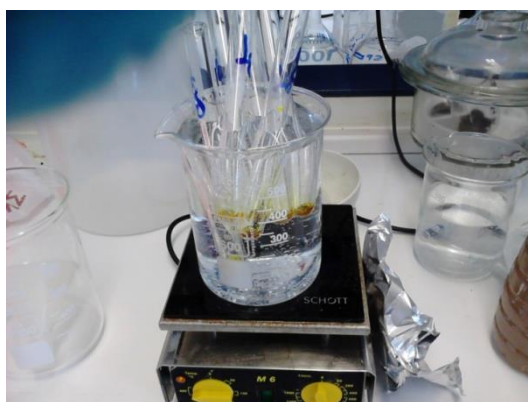
Την συγκεκριμένη ιδιότητα χρησιμοποιεί η μέθοδος DNS για την ποσοτικοποίηση των σακχάρων σε κάποιο διάλυμα. Η αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος (κίτρινο χρώμα) οδηγεί στη δημιουργία ενός προϊόντος του 3-άμινο-5-νιτρο-σαλικυλικού οξέος

(πορτοκαλί-κίτρινο) το οποίο εμφανίζει μέγιστο απορρόφησης σε μήκος κύματος 540 nm (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Αναγωγή του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος προς 3-άμινο-5-νιτρο-σαλικυλοκό οξύ παρουσία γλυκόζης.

Κατά τον προσδιορισμό των αναγωγικών σακχάρων χρησιμοποιήθηκαν τα εκπλύματα και τα διηθήματα που ελήφθησαν από την εκχύλιση. Τα εκπλύματα χρησιμοποιήθηκαν αναραιώτα ενώ τα εκχυλίσματα αραιώθηκαν με αραιώση 1:5 (800ml νερού και 200ml εκχυλίσματος). Σε δοκιμαστικούς σωλήνες προστέθηκαν 250μL του εκάστοτε διαλύματος (διήθημα ή έκπλυμα) και 250μL DNS. Οι δοκιμαστικοί τοποθετήθηκαν για βρασμό για 15min ώστε να γίνει επώαση και να καταστραφούν τυχόν μικροοργανισμοί που αναπτύχθηκαν και κατανάλωσαν ορισμένη ποσότητα σακχάρων (Εικόνα 59).



Εικόνα 59: Επώαση μίγματος

Αμέσως μετά τη θέρμανση οι δοκιμαστικοί αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο και στη συνέχεια προστέθηκαν σε αυτούς 2ml νερού. Τέλος, πραγματοποιήθηκε φωτομέτρηση σε μήκος κύματος 540nm και καταγράφηκαν οι απορροφήσεις από τις οποίες μέσω της καμπύλης αναφοράς υπολογίστηκε η συγκέντρωση αναγωγικών σακχάρων (Εικόνα 60).



Εικόνα 60: Συσκευή φωτομέτρου

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Το διήθημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αναραίωτο αν τυχόν κατά τη θέρμανση και προσθήκη στη συνέχεια των 2ml νερού το χρώμα ήταν πολύ ανοιχτό κίτρινο. Αυτό σημαίνει ότι, το δείγμα είχε ελάχιστα αναγωγικά και λόγω αραίωσης μειώθηκαν σχεδόν σε μηδενική τιμή. Επίσης, στην περίπτωση που το δείγμα είχε υψηλή συγκέντρωση αναγωγικών οπότε η απορρόφηση προκύπτει μεγαλύτερη της μονάδας, δηλαδή εκτός ορίων της καμπύλης αναφοράς, μπορεί να γίνει αραίωση 1:10.

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

$$C_{\text{σακχάρων}} \text{ (mg)} = 1,6058 * \text{ABS}_{\text{mean}} * D \text{ (6)}$$

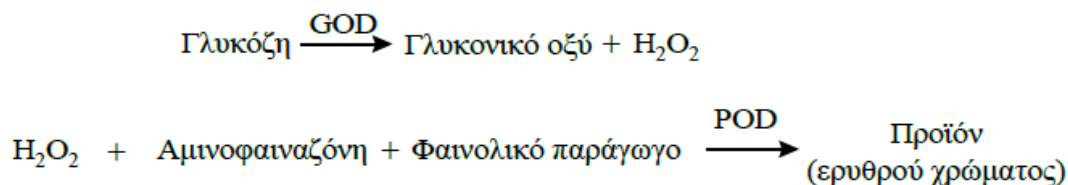
Όπου:

ABS_{mean} : ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος σε ειδικό φωτόμετρο).

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

4.4.1.5.2. Προσδιορισμός Ελεύθερης Γλυκόζης

Η μέθοδος προσδιορισμού της γλυκόζης βασίζεται στη μετατροπή της γλυκόζης σε ένα προϊόν ερυθρού χρώματος, που είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής δράσης των ενζύμων οξειδάση και υπεροξειδάση της γλυκόζης. Αρχικά, η γλυκόζη με τη δράση της οξειδάσης μετατρέπεται σε γλυκονικό οξύ με ταυτόχρονη παραγωγή υπεροξειδίου του υδρογόνου. Στη συνέχεια, το υπεροξείδιο του υδρογόνου παρουσία αμινοφαιναζόνης και κάποιου φαινολικού παραγώγου με τη δράση της υπεροξειδάσης μετατρέπεται σε κάποιο προϊόν ερυθρού χρώματος το οποίο παρουσιάζει μέγιστη απορρόφηση στα 510nm. Οι 2 αντιδράσεις που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω (GOD=οξειδάση, POD=υπεροξειδάση).



Σχήμα 22: Αλληλουχία ενζυμικών αντιδράσεων που οδηγούν στην ποσοτικοποίηση της γλυκόζης [42]

Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιείται για την παραπάνω μέθοδο περιγράφεται ακολούθως.

Χρησιμοποιήθηκε και πάλι το διήθημα και το έκπλυμα με αραιώση διηθήματος 1:5 (ή 1:10 ανάλογα αν η απορρόφηση που μετρήθηκε στο φωτόμετρο είναι εκτός ορίων της καμπύλης αναφοράς). Στη περίπτωση αυτή όμως αναμίχθηκαν 2ml διαλύματος σακχάρου, το οποίο θα αντιδράσει με τη γλυκόζη που υπάρχει στο δείγμα, με 0,1ml δείγματος διηθήματος και εκπλύματος. Στη συνέχεια, το μίγμα θερμάνθηκε για 15min στο υδατόλουτρο στους 37°C και αμέσως μετά υπέστη φωτομέτρηση στα 510nm.

Σημειώνεται ότι η παρουσία γλυκόζης στο δείγμα φαίνεται στον χρωματισμό του σακχάρου κατά την προσθήκη δείγματος από άχρωμο σε ελαφρύ ροζ. Αν δε χρωματιζόταν αυτό θα σήμαινε ή ότι το δείγμα δεν περιείχε γλυκόζη ή ότι η γλυκόζη έχει καταναλωθεί από μικροοργανισμούς αν τυχόν το διήθημα έχει μείνει αρκετή ώρα εκτός κατάψυξης.

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

$$C_{\text{glucose}} \text{ (mg)} = (0,9909 * \text{ABS}_{\text{mean}} - 0,0466) * D \text{ (7)}$$

Όπου:

ABS_{mean} : ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος σε ειδικό φωτόμετρο).

D: Η αραιώση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα δεν έχει αραιωθεί, D=5 όταν η αραιώση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραιώση είναι 1:10)

4.4.1.5.3. Προσδιορισμός Αμύλου

Ο προσδιορισμός του αμύλου ακολουθεί την παρακάτω μεθοδολογία.

Αρχικά ελήφθησαν 100mg εκχυλισμένου ξηρού υλικού και τοποθετήθηκαν σε γυάλινα φιαλίδια. Μέσα σε αυτά προστέθηκαν 0,2ml αιθανόλης ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) υπό ανάδευση. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 2ml υδροξειδίου καλίου (KOH) 2M (χωρίς ανάδευση γιατί μπορεί να σχηματιστεί γαλάκτωμα). Το μίγμα τοποθετήθηκε σε παγόλουτρο για 20min (Εικόνα 61).



Εικόνα 61: Τοποθέτηση δείγματος σε παγόλουτρο για 20min

Έπειτα, προστέθηκαν στα φιαλίδια 8ml buffer (sodium acetate) με pH=3,8 ώστε να πέσει το pH, καθώς είναι υψηλό λόγω της παρουσίας KOH. Στη συνέχεια, προστέθηκαν τα ένζυμα, 0,1ml αμυλάση και 0,1ml αμυλογλυκοζιδάση (AMG) και εισήχθησαν σε υδατόλουτρο στους 50°C για 30min με ανάδευση κάθε 10min ώστε να διαλυθεί το άμυλο (Εικόνα 62).



Εικόνα 62: Εισαγωγή των δειγμάτων στο υδατόλουτρο

Αμέσως μετά τα 30min έγινε μεταφορά του υγρού από τα γυάλινα φιαλίδια σε falcontube και πραγματοποιήθηκε φυγοκέντρηση για 15min ώστε να κατακαθίσουν τα στερεά. (Εικόνα 63).



Εικόνα 63: Συσσκευή φυγοκέντρησης

Τέλος, συλλέχθηκε 1,5ml από το υπερκείμενο, αραιώθηκε με 1:5 αραιώση και μετρήθηκε στο φωτόμετρο σε μήκος κύματος 510nm η γλυκόζη. Από τη γλυκόζη που μετρήθηκε προκύπτει η συγκέντρωση του αμύλου.

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης γλυκόζης και στη συνέχεια υπολογίζεται η συγκέντρωση του αμύλου.

$$C_{\text{glucose}} (\text{mg}) = (0,9909 \cdot \text{ABS}_{\text{mean}} - 0,0466) \cdot D \quad (8)$$

$$\text{Starch}/100\text{grdry} = \text{total}_{\text{glucose}} (\text{mg}) \cdot 0,9 \cdot 100 / \text{initial dry solid} \quad (9)$$

Όπου:

ABS_{mean} : ο μέσος όρος απορρόφησης (μετρούμενος σε ειδικό φωτόμετρο).

D: Η αραιώση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα δεν υφίσταται αραιώση, D=5 όταν η αραιώση είναι 1:5 και D=10 όταν η αραιώση είναι 1:10)

Initial dry solid: αρχική μάζα δείγματος

0,9: $M_{\text{r}_{\text{glucose}}}/M_{\text{r}_{\text{starch}}}$

4.4.1.5.4. Προσδιορισμός Κυτταρίνης

Για τον προσδιορισμό της κυτταρίνης χρησιμοποιήθηκαν 300mg από το ξηραμένο υλικό που προήλθε από την εκχύλιση. Αυτή η ποσότητα του υλικού τοποθετήθηκε σε κωνικές φιάλες των 100ml μαζί με 3ml H_2SO_4 (72%v/v). Οι κωνικές φιάλες τοποθετήθηκαν στη συσκευή επώασης στους 30°C για 1hr (Εικόνα 64).



Εικόνα 64: Επώαση στους 30°C

Μετά το τέλος της επώασης προστέθηκαν στην κάθε κωνική 84ml νερό και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στη συσκευή αποστείρωσης στους 121°C για 1hr (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Συσκευή αποστείρωσης (αριστερά) και κωνικές φιάλες στο εσωτερικό της για αποστείρωση στους 121°C (δεξιά)

Μετά την αποστείρωση οι κωνικές φιάλες εισήχθησαν σε κατάψυξη για περίπου μισή ώρα μέχρι να κρυώσουν. Έπειτα, ακολούθησε εξουδετέρωση του διαλύματος που περιέχεται σε κάθε κωνική με χρήση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) υπό ανάδευση σε ποσότητα τέτοια ώστε το pH του διαλύματος να φτάσει στο 5 ή 5,5 (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Αρχή της εξουδετέρωσης του δείγματος με CaCO_3 (αριστερά) και εξουδετερωμένο δείγμα σε pH=5-5,5 (δεξιά)

Στο τέλος της ανάδευσης το διάλυμα αφέθηκε να ηρεμήσει και στη συνέχεια, συλλέχθηκε σε μικρά φιαλίδια 1,5ml από το υπερκείμενο υγρό που είχε σχηματιστεί. Στο υπερκείμενο που συλλέχθηκε εφαρμόστηκε η μέθοδος προσδιορισμού της ελεύθερης γλυκόζης. Η γλυκόζη που προέκυψε από την απορρόφηση, που μετρήθηκε, μετατράπηκε σε κυτταρίνη μέσω κατάλληλων σχέσεων, που αναφέρονται παρακάτω.

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται σε συγκεκριμένες καμπύλες προσδιορισμού συγκέντρωσης γλυκόζης και στη συνέχεια, με τη βοήθεια επιπρόσθετων καμπυλών προσδιορίζονται οι συγκεντρώσεις κυτταρίνης στο διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα.

$$C_{\text{glucose}} (\text{mg/ml}) = (0,9909 \cdot \text{ABS}_{\text{mean}} - 0,0466) \cdot D \quad (10)$$

$$\text{Total}_{\text{glucose}} (\text{mg}) = C_{\text{glucose}} (\text{mg/ml}) \cdot \text{final volume (ml)} \quad (11)$$

$$\text{gr}_{\text{glucose}} / 100 \text{grsolid} = \text{Total}_{\text{glucose}} (\text{mg}) / \text{initial solid weight} \quad (12)$$

$$\text{gr glucose} / 100 \text{grdry} = [\text{gr} / 100 \text{grsolid}] \cdot (100 - \% \text{διαλυτά}) / 100 / 0,897 \quad (13)$$

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

$$\text{Net gluc}/100\text{grdry} = (\text{total gluc} - \text{starch gluc}) / 100 \text{ g dry (14)}$$

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

$$\text{Gr cellulose}/100\text{gr dry} = \text{Net gluc}/100\text{gr dry} * 0,9 \text{ (15)}$$

όπου:

Final volume = 86,73ml (προκαθορισμένη τιμή)

Initial solid weight = αρχική μάζα του δείγματος

$$0,9 = 162/180 = \text{MB}_{\text{γλυκόζης}} / \text{MB}_{\text{αμύλου}}$$

0,897 = συντελεστής διόρθωσης της γλυκόζης

4.4.1.6. Προσδιορισμός Ολικού Αζώτου (TN)

Η μέθοδος προσδιορισμού του ολικού αζώτου χωρίζεται σε 3 μέρη: την χώνευση, την απόσταξη και την τιτλοδότηση. Η συγκεκριμένη μέθοδος που εφαρμόστηκε βασίζεται στην τροποποιημένη κατά Kjeldahl μέθοδο προσδιορισμού αζώτου η οποία περιγράφεται συνοπτικά ως εξής: Αρχικά, πραγματοποιείται μετατροπή του οργανικού αζώτου και ελεύθερου αμμωνίου σε άλας θειικού αμμωνίου (χώνευση) παρουσία θειικού οξέος και καταλυτών (διοξειδίου του τιτανίου). Τα νιτρικά και νιτρώδη ανάγονται σε αμμωνιακά με τη χρήση σαλικυλικού οξέος και θειοθειικού νατρίου.

Χώνευση

Αρχικά, κατά τη χώνευση, ελήφθησαν 0,50gr ξηρού δείγματος και τοποθετήθηκαν σε μια φιάλη χώνευσης των 400ml (φιάλη Gerhardt). Στη συνέχεια, προστέθηκαν 20ml H₂SO₄ με 25g/l σαλικυλικό οξύ, έγινε ανάδευση και αφέθηκε το μίγμα για 1 μέρα σε ηρεμία ώστε να πραγματοποιηθεί η χώνευση (Εικόνα 67).



Εικόνα 67: Διάλυμα ξηρού υλικού και θειικού οξέος σε ηρεμία

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η συσκευή έχει οκτώ θέσεις για τα δείγματα, η μια από τις οποίες θα αποτελεί το τυφλό δείγμα. Επομένως, αυτή η θέση συμπληρώθηκε μόνο με τα 20ml θειικού και σαλικυλικού οξέος χωρίς προσθήκη των 0,5gr δείγματος.

Την επόμενη μέρα εισήχθησαν στη φιάλη 2,5gr θειοθειικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως καταλύτης. Αφού τοποθετήθηκε ο καταλύτης και έγινε ανάδευση το μίγμα εισήχθη στον χωνευτήρα στον οποίο άνοιξε πρώτα το νερό ώστε να απορροφηθούν οι ατμοί που βγαίνουν από το δείγμα κατά τη θέρμανση και οφείλονται κυρίως στη παρουσία H_2SO_4 . Ρυθμίστηκε ο χωνευτήρας στο PROGRAM 5 για μισή ώρα και ψύξη 15min και στη συνέχεια προστέθηκαν 5,5gr μίγματος καταλυτών. Μετά την προσθήκη του μίγματος έγινε ανάδευση και τοποθετήθηκε το δείγμα για χώνευση στους 400°C για 2,5hr και 10min ψύξη (Εικόνα 68).



Εικόνα 68: Συσκευή χώνευσης Gerhardt

Απόσταξη

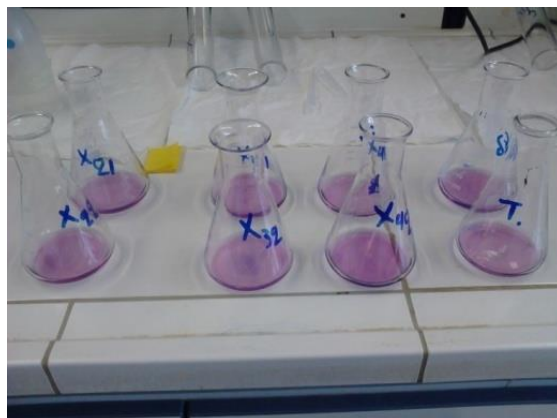
Στη συνέχεια, αφού οι φιάλες ήρθαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος τοποθετήθηκαν στη συσκευή απόσταξης όπου και πραγματοποιήθηκε απόσταξη σε κάθε δείγμα (Εικόνα 69).



Εικόνα 69: Συσκευή απόσταξης VaroDest

Τιτλοδότηση

Κατά την τιτλοδότηση προστέθηκαν 25ml βορικού οξέος (H_3BO_4) καθώς και 2-3 σταγόνες δείκτη mixed indicator σε οκτώ κωνικές φιάλες (Εικόνα 70).



Εικόνα 70: Προετοιμασία δείγματος βορικού και δείκτη

Στις φιάλες αυτές αρχικά πραγματοποιήθηκε απόσταξη με $NaOH$ 10mol/l. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε τιτλοδότηση με πυκνό θειικό οξύ 0,1M ώστε να εξουδετερωθεί το $NaOH$ που αποστάχθηκε (Εικόνα 71).



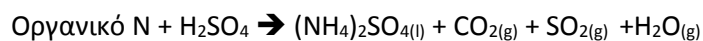
Εικόνα 71: Μετά την απόσταξη και πριν την τιτλοδότηση (αριστερά) και μετά την τιτλοδότηση (δεξιά)

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

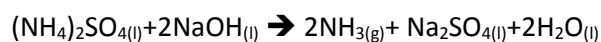
Τα τυφλά δείγματα τιτλοδοτούνται με αραιό H_2SO_4 0,01M.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε κάθε στάδιο παρατίθενται αναλυτικά παρακάτω:

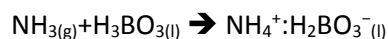
Κατά τη χώνευση



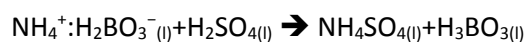
Κατά την απόσταξη



Κατά τη συλλογή του αποστάγματος



Κατά την τιτλοδότηση



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

$$\text{TN (\%)} = \frac{(V_{\Delta} - V_T) * c(\text{H}^+) * M_N}{m} * \frac{100 + \%Y_{\Xi B}}{100} \quad (16)$$

Όπου:

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

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

$C(\text{H}^+)$: η συγκέντρωση (mol/L) των H^+ σε θειικό οξύ ίση με 0,1

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

m : η μάζα (gr) του ξηραμένου στερεού δείγματος

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Καταγραφή Αποτελεσμάτων της Δεύτερης Φάσης της Εφαρμογής του Συστήματος Διαχείρισης Οικιακών Βιοαποβλήτων

Ο οπτικός διαχωρισμός πραγματοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό καθαρότητας του υλικού που λαμβάνονταν κάθε φορά από τα νοικοκυριά. Τα ποσοστά προέκυψαν ως ποσά της συνολικής μάζας του νωπού υλικού που λήφθηκε προς τη συνολική μάζα των υλικών που βρέθηκαν στα διατροφικά απορρίμματα των νοικοκυριών, σε όλη τη διάρκεια συμμετοχής τους στην δράση.

Η καθαρότητα της ληφθείσας βιομάζας προκύπτει από το σύνολο των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από την ομάδα εργασίας και προσδιορίστηκε ίση με 99,9% ενώ προσδιορίστηκε με βάση την παρακάτω σχέση για κάθε εξεταζόμενο δείγμα:

$$\% \text{καθαρότητα προϊόντος} = ((\text{Συνολική μάζα ξηρού υλικού}) - (\text{Συνολική μάζα προσμίξεων})) / (\text{Συνολική μάζα ξηρού υλικού}) \quad (17)$$

Η συνολική μάζα η οποία λήφθηκε σε όλη τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής καθώς και η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA ανά μονάδα μάζας, καταγράφεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 16: Συνολική μάζα που παραλήφθηκε και ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος GAIA

Παράμετρος	Τιμή	Μονάδα Μέτρησης
Μάζα νωπού ανά άτομο/μήνα	4,2	Kgr
Μάζα 363 ατόμων/μήνα	1.524,8	Kgr
Μάζα 363 ατόμων για (11 μήνες)	16.770,8	Kgr
Μάζα ξηρού 363 ατόμων (11 μήνες)	3.353,36	Kgr
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση συστήματος GAIA	0,94	KWh/Kg

Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος σε όλη τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής προσδιορίστηκε ίση με 0,94 KWh/Kg νωπής μάζας ενώ κυμάνθηκε στο εύρος τιμών 0,93-0,95KWh/Kg.

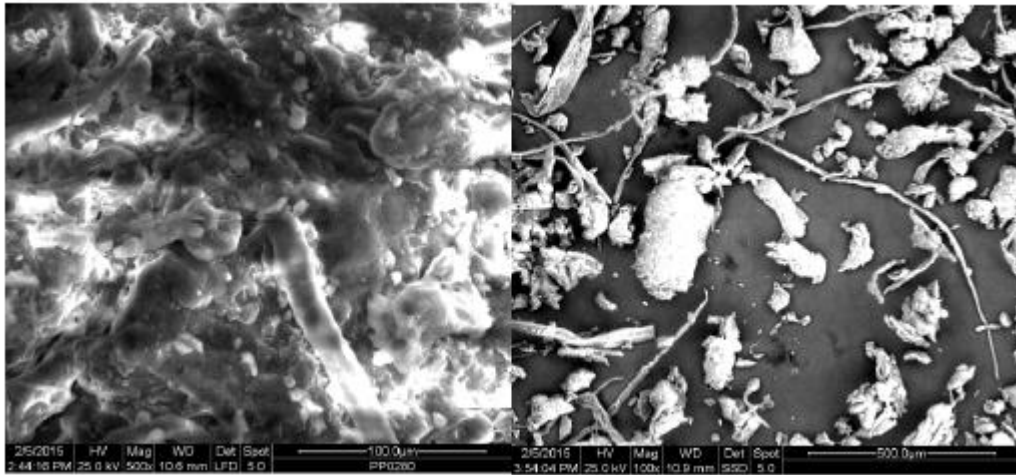
Από τη διεργασία της ξήρανσης ελήφθησαν δεδομένα μάζας, όγκου και κατ' επέκταση πυκνότητας τόσο για το εισερχόμενο όσο και για το ξηραμένο υλικό. Ο παρακάτω πίνακας

αναφέρει το συνολικό όγκο του νωπού δείγματος της βιομάζας που συγκεντρώθηκε ανά φόρτιση του ξηραντήρα, το συνολικό όγκο του ξηρού υλικού που λήφθηκε μετά τη διεργασία της ξήρανσης κι εν τέλει υπολογίστηκε η ποσοστιαία μείωση του όγκου ανά κύκλο ξήρανσης.

Πίνακας 17: Καταγραφή μεταβολής όγκου δείγματος

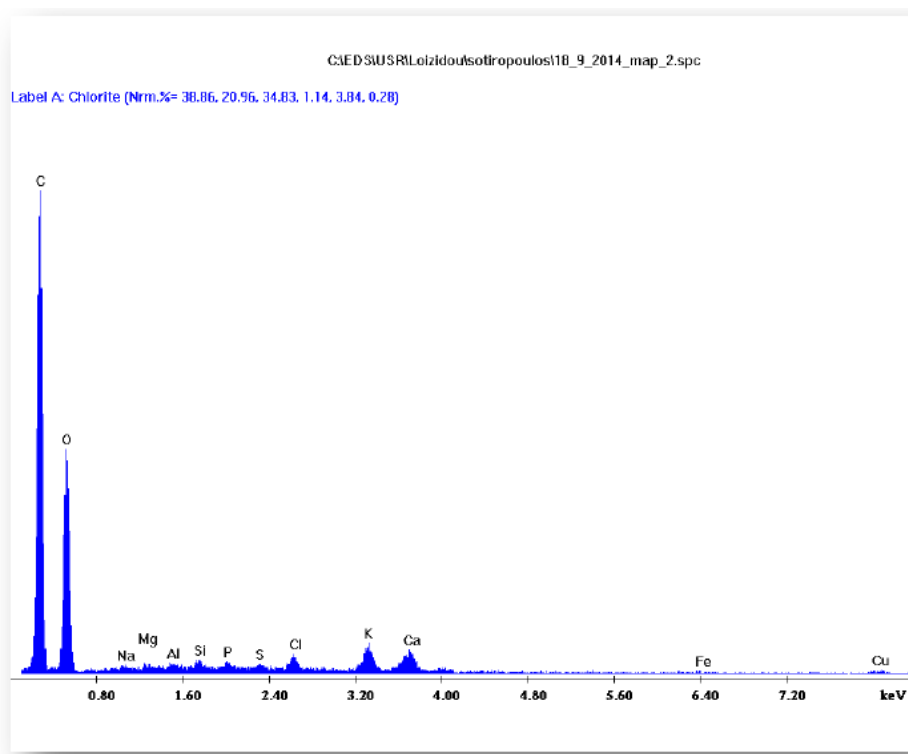
Δείγμα	Συνολικός όγκος νωπού(L)	Συνολικός όγκος ξηρού(L)	Ποσοστιαία μείωση όγκου (%)
1	126,4	25,47	79,85
2	94,9	16,55	82,56
3	77,6	14,31	81,55
4	124,04	24,75	80,05
5	95,63	17,41	81,8
6	128,6	17,07	86,73
7	137,63	18,37	86,65
8	153,44	19,33	87,39
9	132,7	18,34	86,18
10	181,77	23,31	87,17
11	133,7	19,87	85,14
M.O	126,04	19,52	84,10

Η μέση τιμή του ποσοστού μείωσης του όγκου της νωπής βιομάζας ανήλθε σε 84,10% σε όλη τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής, ενώ η τιμή αυτή κυμάνθηκε στο εύρος τιμών 79,85-87,39%. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του εισερχόμενου υποστρώματος το μέγεθος και η ποιότητα των οποίων δύναται να επηρεάσει την απόδοση της διεργασίας της ξήρανσης. Επιπλέον το γεγονός ότι εισέρχονταν στο σύστημα διαφορετικοί όγκοι κάθε φορά συνετέλεσαν στο γεγονός αυτό. Η μείωση της μάζας του συστήματος ανήλθε στο 80,4%κ.β. σε όλη τη διάρκεια της πιλοτικής εφαρμογής ενώ το εύρος τιμών στο οποίο κυμάνθηκε ήταν μικρότερο του 2%. Η μορφή του υλικού καταγράφηκε με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 72).



Εικόνα 72: Το τελικό ξηρό υλικό όπως αυτό καταγράφηκε από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM)

Ποιοτικά, η σύσταση του υλικού όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα που αυτό περιέχει, καταγράφηκε από το ίδιο όργανο και παρουσιάζεται ακολούθως.



Εικόνα 73: Ποιοτική σύσταση του ξηρού υλικού όσον αφορά τη σύσταση σε βαρέα μέταλλα μετά το πέρας της ξήρανσης.

5.2. Καταγραφή των Αποτελεσμάτων της Δράσης Επίδειξης του Συστήματος Διαχείρισης στα Επιλεγμένα Νοικοκυριά

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας. Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων με αναλύσεις εποχικότητας που πραγματοποιήθηκαν στην πρώτη φάση της πιλοτικής εφαρμογής.

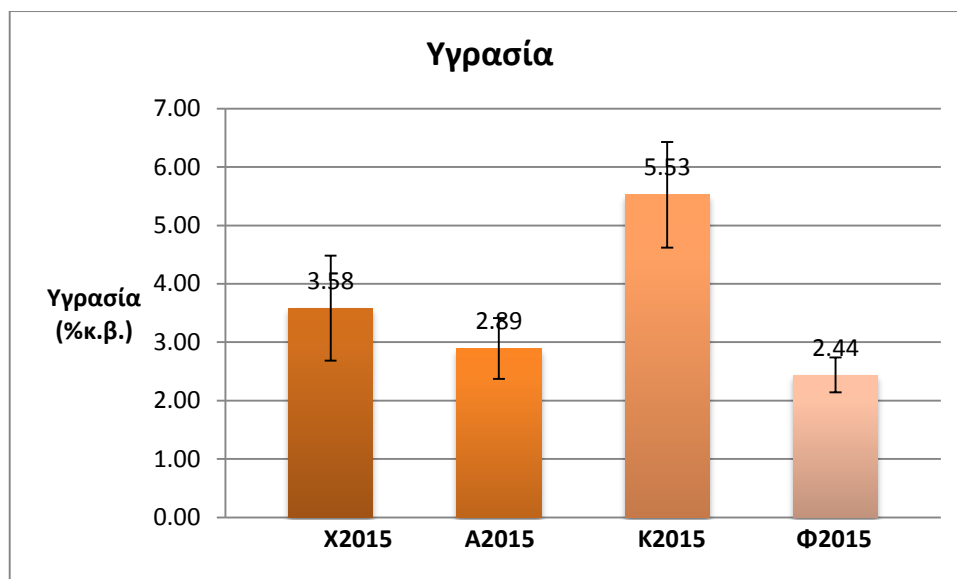
5.2.1. Αποτελέσματα (%κ.β.) Υγρασίας

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της υγρασίας των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 18).

Πίνακας 18: Αποτελέσματα εποχικότητας της υγρασίας

Εποχές	Υγρασία (%κ.β.)
Χειμώνας	3,58±0,89
Άνοιξη	2,89±0,52
Καλοκαίρι	5,53±0,90
Φθινόπωρο	2,44±0,29

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση της υγρασίας για το έτος 2015 (Διάγραμμα 19).



Διάγραμμα 19: Διακύμανση υγρασίας ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα υγρασίας για το έτος 2015

Η μέση τιμή της υγρασίας για το έτος 2015 όπως προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα αντιστοιχεί σε 3,61%κ.β.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, η σταθμισμένη μέση τιμή υγρασίας των δειγμάτων που ελήφθησαν την άνοιξη, προσδιορίστηκε ίση με 2,89%κ.β. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η σταθμισμένη μέση τιμή της υγρασίας βρέθηκε ίση με 5,53%κ.β. Αντίστοιχα, για το φθινόπωρο έχουμε 2,44%κ.β. ενώ, για τον χειμώνα προέκυψε η μέση τιμή 3,58%κ.β. Τα υψηλά ποσοστά υγρασίας που παρατηρήθηκαν τους καλοκαιρινούς μήνες, πιθανότατα οφείλονται στο γεγονός ότι το αρχικό υπόστρωμα, στη διάρκεια του καλοκαιριού, παρουσίαζε υψηλότερα ποσοστά αρχικής υγρασίας σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές, λόγω των διατροφικών συνηθειών των κατοίκων (υψηλά ποσοστά φρούτων και λαχανικών). Συνεπώς, το σύστημα καθώς λειτουργεί για χρονική περίοδο 8 ωρών ημερησίως, δεν απομάκρυνε εξολοκλήρου την υγρασία από το εσωτερικό των βιοαποβλήτων σε αυτή τη περίοδο.

5.2.2. Αποτελέσματα (%κ.β.) Πτητικών Στερεών (VS)

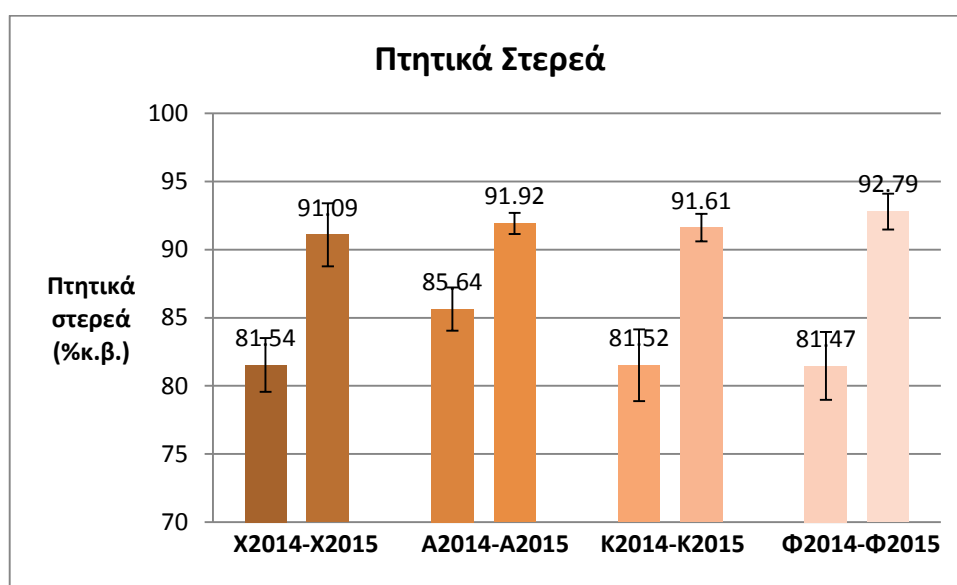
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων VS των απορριμμάτων που λήφθηκαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών για τα έτη 2014 και 2015, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 19).

Πίνακας 19: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για τα πτητικά στερεά. Συγκριτικά αποτελέσματα των ετών 2014-2015

Εποχές	VS (%κ.β.)(2015)	VS (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	91,09±2,32	81,54±1,98

Άνοιξη	91,92±0,77	85,64±1,58
Καλοκαίρι	92,79±1,30	81,52±2,5
φθινόπωρο	91,61±1,00	81,47±2,63

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση των τιμών αυτών (Διάγραμμα 20).



Διάγραμμα 20: Διακύμανση VS ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα VS τα έτη 2014 και 2015

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέση τιμή πτητικών στερεών για τα έτη 2015 και 2014 είναι 91,90%κ.β. και 82,54%κ.β. αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι, η περιεκτικότητα σε οργανικά στερεά το έτος 2015 ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με το έτος 2012. Επίσης, παρατηρείται ότι, και για τα 2 έτη την άνοιξη η συγκέντρωση των πτητικών στερεών ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες εποχές (85,64 και 91,92%κ.β. την άνοιξη του 2014 και 2015 αντίστοιχα). Τέλος, είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι, το 2014 παρατηρείται σημαντική εποχιακή διακύμανση στη συγκέντρωση των πτητικών στερεών σε αντίθεση με το 2015 που η συγκέντρωση διατηρείται πιο κοντά στο 91%κ.β.

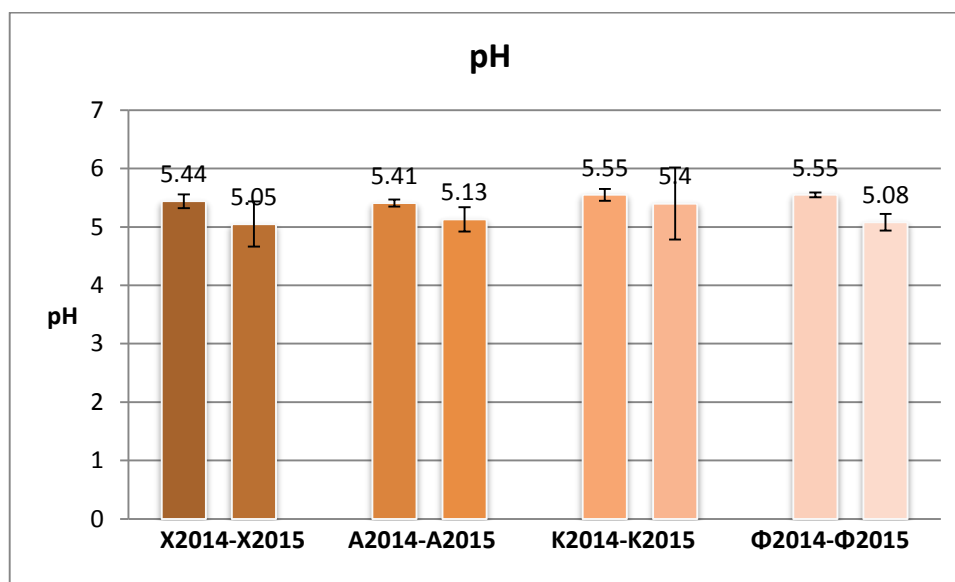
5.2.3. Αποτελέσματα pH

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 20).

Πίνακας 20: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για το pH. Συγκριτικά αποτελέσματα των ετών 2014-2015

Εποχές	pH (2015)	pH (2014)
Χειμώνας	5,05±0,38	5,44±0,12
Άνοιξη	5,13±0,21	5,41±0,06
Καλοκαίρι	5,08±0,14	5,55±0,04
Φθινόπωρο	5,40±0,61	5,55±0,1

Στο διάγραμμα, που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προσδιορισμού pH του τελικού ξηρού υλικού ανά εποχή για τα έτη 2014 και 2015. (Διάγραμμα 21).



Διάγραμμα 21: Διακύμανση pH ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα pH τα έτη 2014 και 2015

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέση τιμή pH για τα έτη 2015 και 2014 είναι 5,16 και 5,48 αντίστοιχα. Είναι φανερό ότι και στα 2 έτη το pH κυμαίνεται στην όξινη περιοχή, με τη διαφορά ότι το 2014 η τιμή του είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το 2015.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται υψηλότερη τιμή pH το φθινόπωρο και το καλοκαίρι του 2014 (pH=5,55), σε αντίθεση με το 2015 όπου υψηλότερη τιμή παρουσιάζεται το φθινόπωρο και την άνοιξη σε τιμές 5,4 και 5,13 αντίστοιχα. Επίσης, φαίνεται ότι και τις 2 χρονιές η τιμή pH κυμαίνεται στην τιμή 5 με τη διαφορά ότι το 2014 το pH είναι υψηλότερο και για τις 4 εποχές σε σχέση με τις τιμές του 2015. Το γεγονός ότι το pH το έτος 2015 είναι πιο χαμηλό σε σχέση με το 2014, σημαίνει ότι το υλικό είναι πιο όξινο το 2015 και κατά συνέπεια, απορρίφθηκαν περισσότερο όξινες τροφές.

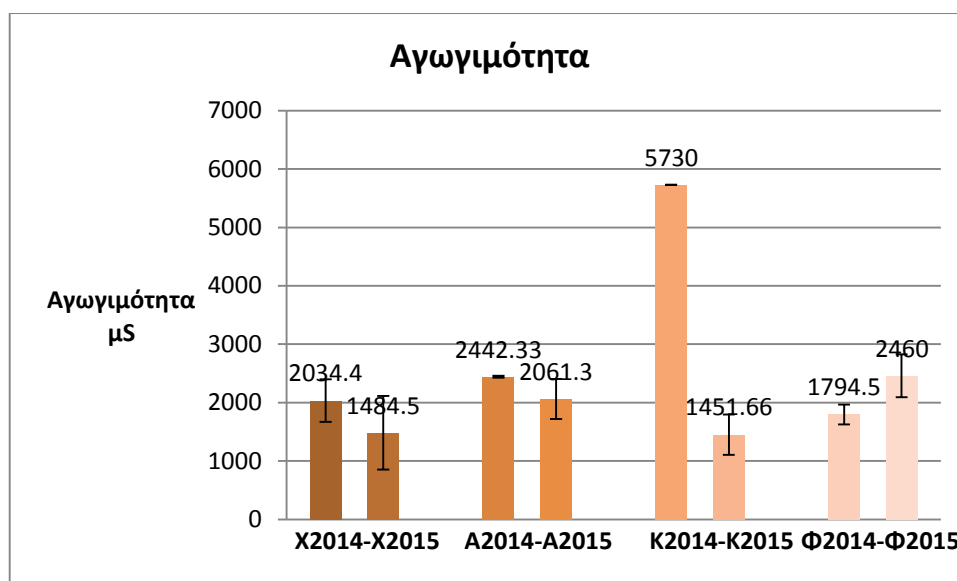
5.2.4. Αποτελέσματα (μS) Αγωγιμότητας

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αγωγιμότητας των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 21).

Πίνακας 21: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για την αγωγιμότητα. Συγκριτικά αποτελέσματα αγωγιμότητας τα 2014-2015

Εποχές	Αγωγιμότητα (μS) (2015)	Αγωγιμότητα (μS) (2014)
Χειμώνας	1484,50±630,65	2034,40±364,00
Άνοιξη	2061,30±343,90	2442,33±16,88
Καλοκαίρι	1451,66±346,81	5730±0,20
Φθινόπωρο	2460±367,69	1794,50±169,79

Τα αποτελέσματα αυτά απεικονίζονται και αξιολογούνται στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 22).



Διάγραμμα 22: Διακύμανση αγωγιμότητας ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα αγωγιμότητας τα έτη 2014 και 2015

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

Η μέση τιμή της αγωγιμότητας για τα έτη 2015 και 2014 όπως προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα είναι 1864,36μS και 3000,31μS αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι, το 2014 η τιμή της αγωγιμότητας είναι μεγαλύτερη που σημαίνει ότι είναι αυξημένη η απόρριψη τροφών με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα το υλικό που αναλύθηκε το 2014 παρουσίασε υψηλότερη αγωγιμότητα το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι και χαμηλότερη το φθινόπωρο σε σχέση με το 2015. Επίσης, παρατηρείται ότι υψηλότερη αγωγιμότητα εμφανίζει το υλικό την άνοιξη και το φθινόπωρο το 2015 και την άνοιξη με το καλοκαίρι το 2014. Γενικά, και για τα 2 έτη την άνοιξη το υλικό εμφανίζει πιο πολλά άλατα. Τέλος, παρατηρείται ότι, το καλοκαίρι του 2014 η τιμή είναι υπερβολικά υψηλή σε σχέση με τις υπόλοιπες κάτι που μπορεί να οφείλεται και σε σφάλμα του αγωγιμομέτρου.

5.2.5. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC)

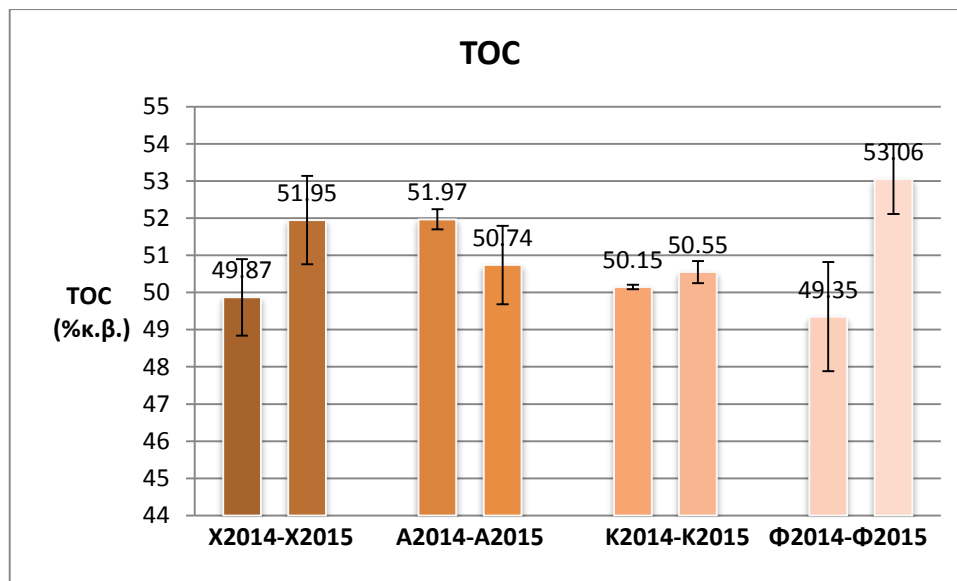
Τα αποτελέσματα από την ανάλυση ολικού οργανικού άνθρακα φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 22).

Πίνακας 22: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για TOC. Συγκριτικά αποτελέσματα TOC τα έτη 2014-2015

Εποχές	TOC (%κ.β.) (2015)	TOC (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	51,95±1,19	49,87±1,03

Άνοιξη	50,74±1,05	51,97±0,27
Καλοκαίρι	50,55±0,29	50,15±0,06
Φθινόπωρο	53,06±0,94	49,35±1,47

Το συγκριτικό διάγραμμα ολικού οργανικού άνθρακα και για τα 2 έτη, μαζί με τις τυπικές αποκλίσεις των τιμών τους φαίνεται παρακάτω (Διάγραμμα 23).



Διάγραμμα 23: Διακύμανση TOC ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα TOC τα έτη 2014 και 2015

Η μέση τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα που προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα για τα έτη 2015 και 2014 είναι 51,57%κ.β. και 50,33%κ.β. αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι, το 2015 τα δείγματα που μετρήθηκαν αποτελούνταν από διατροφικά απόβλητα με υψηλότερα ποσοστά οργανικού άνθρακα σε σχέση με το 2014, γεγονός που εξηγεί και την υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά οργανικά το 2015.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται σημαντική αύξηση του ολικού οργανικού άνθρακα το χειμώνα, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 2015. Επίσης, το φθινόπωρο του 2015 απορρίπτονται διατροφικά απορρίμματα με περισσότερα οργανικά σε σχέση με το καλοκαίρι και το χειμώνα. Αντίθετα, το 2014 μόνο την άνοιξη φαίνεται να απορρίπτονται αρκετά οργανικά.

5.2.6. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικού Αζώτου (TN) και Πρωτεΐνης

Η συγκέντρωση της πρωτεΐνης που υπάρχει στα διατροφικά απορρίμματα υπολογίζεται από τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου με βάση την ακόλουθη σχέση.

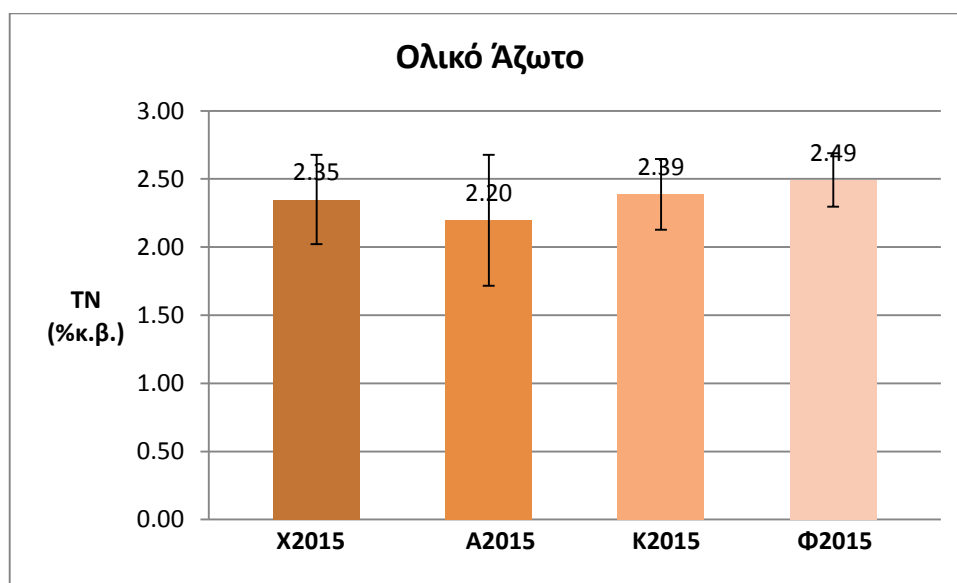
$$\text{Πρωτεΐνη} = 6,25 * \text{TN} (\% \kappa. \beta.) (18)$$

τα αποτελέσματα των αναλύσεων πρωτεΐνης και ολικού αζώτου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 23).

Πίνακας 23: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για ολικό άζωτο. Συγκριτικά αποτελέσματα ολικού αζώτου το έτος 2015

Εποχές	TN (%κ.β.) (2015)	Πρωτεΐνη (%κ.β.)
Χειμώνας	2,35±0,32	14,68±2,06
Άνοιξη	2,20±0,48	13,75±3,01
Καλοκαίρι	2,39±0,26	14,95±1,62
Φθινόπωρο	2,49±0,19	15,60±1,26

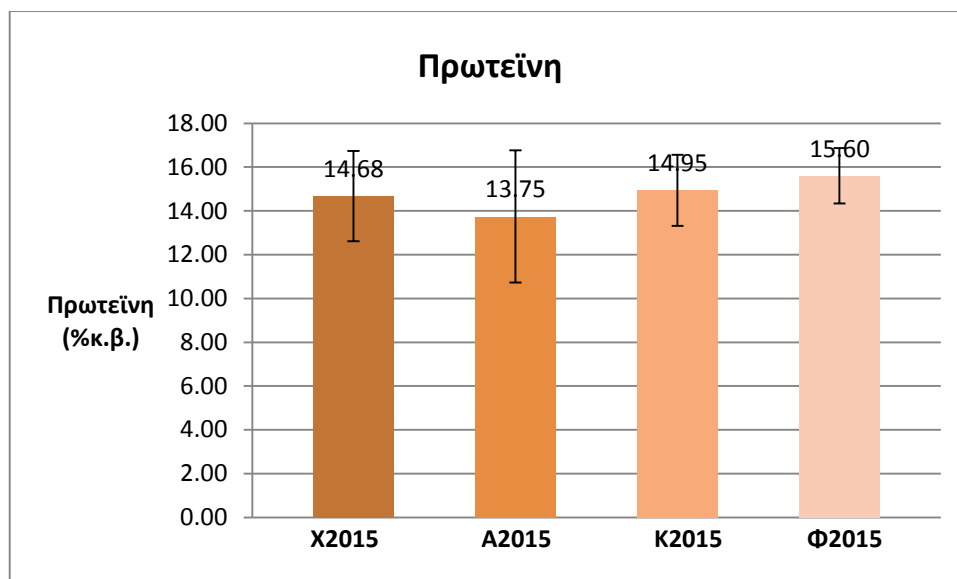
Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα (Διαγράμματα 24-25).



Διάγραμμα 24: Εποχιακή διακύμανση ολικού αζώτου το έτος 2015

Η ετήσιες συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και πρωτεΐνης για το έτος 2015 αντιστοιχούν σε τιμές 2,36%κ.β. και 14,75%κ.β. αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα το εύρος τιμών ολικού αζώτου κυμαίνεται σε συγκεντρώσεις 2,20 έως 2,49%κ.β. Η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί σε 2,20 %κ.β. την άνοιξη και η μέγιστη σε 2,49%κ.β. το φθινόπωρο. Η υψηλή τιμή, που παρουσιάζεται το φθινόπωρο, σημαίνει ότι την εποχή αυτή απορρίφθηκαν περισσότερο, κρέας και γενικά τροφές που είχαν υψηλά ποσοστά πρωτεΐνης. Λόγω της υψηλής τιμής του ολικού αζώτου δικαιολογείται και η τιμή της πρωτεΐνης σύμφωνα με τη σχέση 18.



Διάγραμμα 25: Εποχιακή διακύμανση πρωτεΐνης το έτος 2015

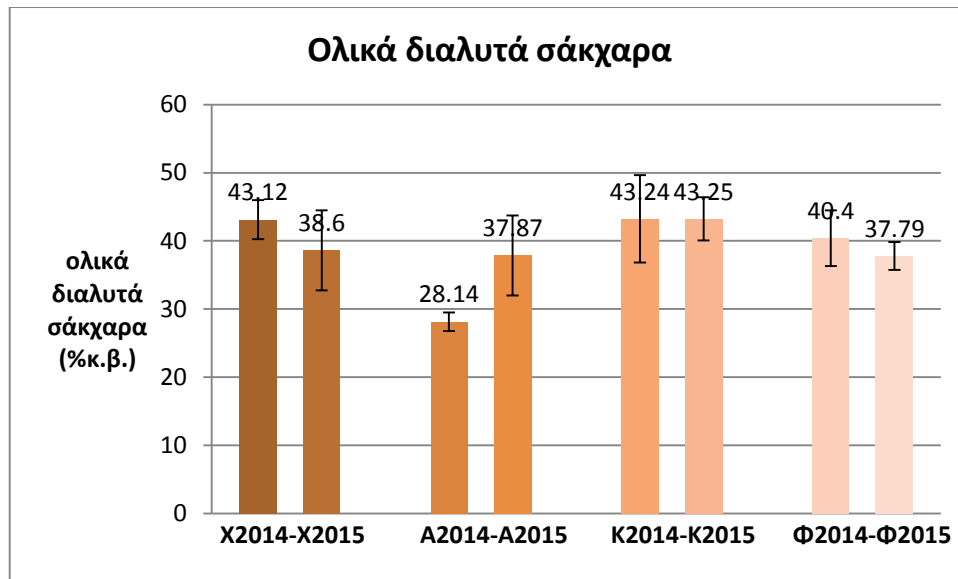
5.2.7. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ολικών Διαλυτών Σακχάρων

Τα ολικά διαλυτά σάκχαρα είναι εκείνοι οι υδατάνθρακες οι οποίοι διαλύονται εύκολα στο νερό όπως η γλυκόζη, χωρίς να χρειαστούν κάποια προεπεξεργασία για παράδειγμα με κάποιο οξύ, έτσι ώστε να διασπαστούν σε απλούστερους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων υδατοδιαλυτών σακχάρων των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 24).

Πίνακας 24: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για τα ολικά διαλυτά σάκχαρα. Συγκριτικά αποτελέσματα ολικών διαλυτών σακχάρων τα έτη 2014-2015

Εποχές	Ολικά διαλυτά (%κ.β.) (2015)	Ολικά διαλυτά (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	38,60±5,86	43,12±2,88
Άνοιξη	37,87±5,86	28,14±1,37
Καλοκαίρι	43,24±3,16	43,24±6,4
Φθινόπωρο	37,79±2,05	40,40±4,07

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 26).



Διάγραμμα 26: Συγκριτικό διάγραμμα εποχικότητας ολικών διαλυτών σακχάρων τα έτη 2014-15

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει η μέση τιμή των ολικών διαλυτών σακχάρων για τα έτη 2015 και 2014, η οποία είναι 39,38%κ.β. και 38,73%κ.β. αντίστοιχα. Από τη μέση τιμή των ολικών διαλυτών σακχάρων για τα 2 έτη εξάγεται το συμπέρασμα ότι, αυξήθηκε η απόρριψη διατροφικών αποβλήτων πλούσιων σε διαλυτά σάκχαρα το 2015 σε σχέση με το 2014.

Από το διάγραμμα 27 γίνεται αντιληπτό ότι παρουσιάζεται μια μείωση στις τιμές των ολικών διαλυτών σακχάρων το χειμώνα και το φθινόπωρο του 2015 σε σχέση με το 2014. Πιο συγκεκριμένα, το 2015 προσδιορίστηκε η συγκέντρωση ολικών σακχάρων το χειμώνα 38,6%κ.β. και το φθινόπωρο 37,79 %κ.β. πολύ μικρότερη από τη συγκέντρωση το 2014 που αντιστοιχεί σε 43,12%κ.β. το χειμώνα και 40,4%κ.β. το φθινόπωρο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι, κάθε χρόνο αλλάζουν οι διατροφικές συνήθειες κάθε οικίας. Αυτό σημαίνει ότι το 2014 απορρίφθηκαν περισσότερα ολικά διαλυτά σάκχαρα και πιο συγκεκριμένα γλυκόζη σε σχέση με το 2015. Επίσης, οι διατροφικές συνήθειες άλλαξαν την άνοιξη καθώς παρατηρήθηκε αύξηση το 2015 που σημαίνει ότι απορρίφθηκαν περισσότερα σάκχαρα ενώ το καλοκαίρι η τιμή των ολικών διαλυτών σακχάρων διατηρήθηκε σταθερή.

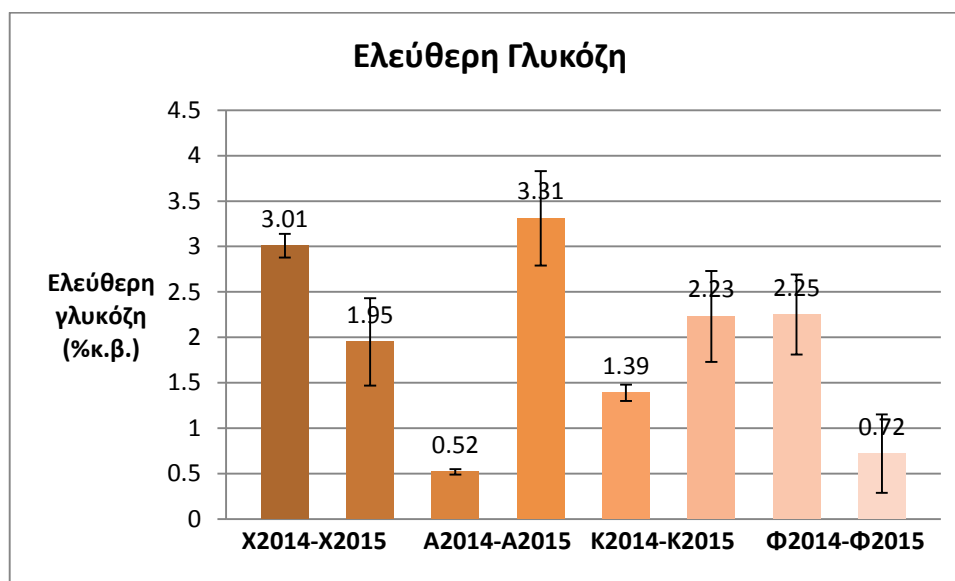
5.2.8. Αποτελέσματα (%κ.β.) Ελεύθερης Γλυκόζης

Τα αποτελέσματα ανάλυσης της γλυκόζης για το 2015 συγκριτικά με αναλύσεις που βρέθηκαν το 2014 παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 25).

Πίνακας 25: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για την γλυκόζη. Συγκριτικά αποτελέσματα γλυκόζης τα έτη 2014-2015

Εποχές	Γλυκόζη (%κ.β.) (2015)	Γλυκόζη (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	1,95±0,48	3,01±0,13
Άνοιξη	3,31±0,52	0,52±0,03
Καλοκαίρι	2,23±0,5	1,39±0,09
Φθινόπωρο	0,72±0,43	2,25±0,44

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 27).



Διάγραμμα 27: Διακύμανση γλυκόζης ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα γλυκόζης τα έτη 2014 και 2015

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέση τιμή της γλυκόζης για όλες τις εποχές το 2015 αντιστοιχεί σε 2,05%κ.β ενώ το 2014 σε 1,79%κ.β. Επομένως, παρατηρείται αύξηση στην τιμή της γλυκόζης το έτος 2015, γεγονός που δικαιολογείται από τη μέση τιμή των ολικών διαλυτών σακχάρων που ήταν υψηλότερη σε σχέση με το 2014.

Από το διάγραμμα 28 παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης γλυκόζης το χειμώνα και το φθινόπωρο του 2015 και μια αύξηση αυτής την άνοιξη και το καλοκαίρι. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή το χειμώνα μειώνεται από 3,01%κ.β. το 2014 σε 1,95%κ.β. το 2015 και το φθινόπωρο από 2,25%κ.β. σε 0,72 %κ.β. Αντίστοιχα, παρατηρείται αύξηση την άνοιξη από 0,52%κ.β. σε

3,31%κ.β. και το καλοκαίρι από 1,39%κ.β. σε 2,22%κ.β. Αυτή η μεταβολή στην εποχικότητα εξηγείται καθώς την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2015 θα απορρίπτονταν πιο τακτικά τρόφιμα που περιέχουν γλυκόζη όπως φρούτα, παγωτά κλπ. ενώ το χειμώνα και το φθινόπωρο η απόρριψη αυτών θα ήταν πιο περιορισμένη.

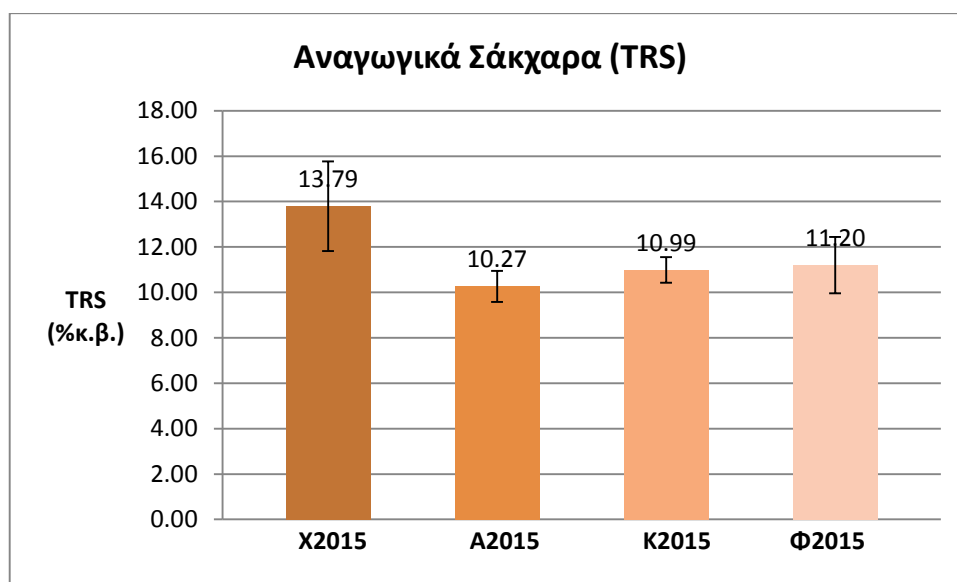
5.2.9. Αποτελέσματα (%κ.β.) Αναγωγικών Σακχάρων (TRS)

Τα αναγωγικά σάκχαρα είναι κατηγορία των διαλυτών σακχάρων και περιλαμβάνουν την σακχαρόζη, τη γλυκόζη, την φρουκτόζη, την ξυλόζη κ.α. Τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης των αναγωγικών σακχάρων, που προέκυψαν μετά την ανάλυση του υλικού και ύστερα από υπολογισμούς φαίνονται στον παρακάτω πίνακα για το έτος 2015 (Πίνακας 26).

Πίνακας 26: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών το έτος 2015

Εποχές	TRS (%κ.β.) (2015)
Χειμώνας	13,79±1,97
Άνοιξη	10,27±0,68
Καλοκαίρι	10,99±0,56
Φθινόπωρο	11,2±1,24

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται ακολούθως (Διάγραμμα 28):



Διάγραμμα 28: Εποχιακή διακύμανση TRS για το έτος 2015

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το εύρος τιμών της συγκέντρωσης αναγωγικών σακχάρων κυμαίνεται από 10,27%κ.β. την άνοιξη έως 13,79%κ.β. το χειμώνα. Παρατηρείται ότι, το χειμώνα, το καλοκαίρι (10,99%κ.β.) και το φθινόπωρο (11,2%κ.β.) απορρίπτονταν πιο τακτικά τροφές που περιέχουν αναγωγικά σάκχαρα ενώ την άνοιξη ήταν λιγότερο τακτική η

απόρριψή τους. Με βάση τον πίνακα συμπεραίνεται ότι ο μέσος όρος της συγκέντρωσης αναγωγικών σακχάρων για το έτος 2015 υπολογίστηκε στο 11,55%κ.β. Η συγκέντρωση αυτή είναι πολύ μικρότερη από την ετήσια συγκέντρωση που προέκυψε το 2014, η οποία αντιστοιχεί στην τιμή 14,11%κ.β. (περίπου 20% μείωση σε σχέση με το 2014). Αυτό σημαίνει ότι απορρίφθηκαν ελάχιστα τροφές με υψηλά ποσοστά αναγωγικών σακχάρων το 2015 σε σχέση με το 2014.

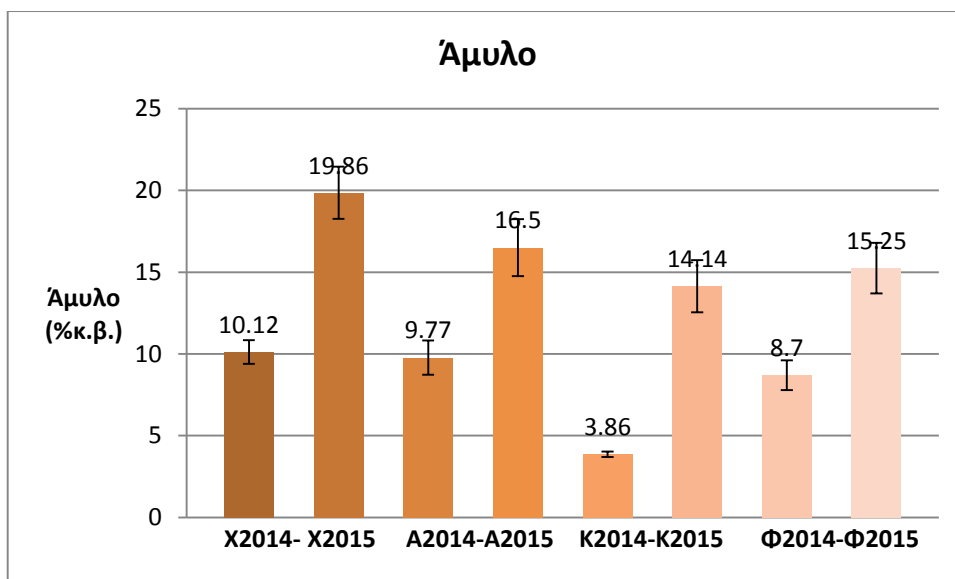
5.2.10. Αποτελέσματα (%κ.β.) Αμύλου

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αμύλου των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 27).

Πίνακας 27: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και η τυπική απόκλιση αυτών για το άμυλο. Συγκριτικά αποτελέσματα τα έτη 2014-2015.

Εποχές	Άμυλο (%κ.β.) (2015)	Άμυλο (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	19,86±1,60	10,12±0,72
Άνοιξη	16,50±1,75	9,77±1,05
Καλοκαίρι	14,14±1,59	3,86±0,16
Φθινόπωρο	15,25±1,54	8,7±0,91

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα, που παρουσιάζει την εποχιακή διακύμανση του αμύλου για το έτος 2015 συγκριτικά με το έτος 2014 (Διάγραμμα 29).



Διάγραμμα 29: Διακύμανση αμύλου ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα αμύλου τα έτη 2014 και 2015

Η μέση τιμή του αμύλου για όλες τις εποχές του έτους 2015 όπως προκύπτει από τα παραπάνω αποτελέσματα αντιστοιχεί σε 16,43%κ.β. Σε σύγκριση με το 2014, το 2015 παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης του αμύλου που σημαίνει ότι το 2015 απορρίφθηκαν από τις οικίες περισσότερες αμυλούχες τροφές για όλες τις εποχές του έτους. Παρά τη μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του αμύλου που παρατηρήθηκε το 2015, φαίνεται ότι και τις 2 χρονιές το χειμώνα επικρατεί υψηλότερη συγκέντρωση αμύλου σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Αυτό σημαίνει ότι, το χειμώνα ήταν πιο έντονη η απόρριψη αμυλούχων τροφών ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι κάτοικοι των οικιών επικεντρώθηκαν περισσότερο στην απόρριψη φρούτων και λαχανικών παρά στην απόρριψη αμυλούχων τροφών.

5.2.11. Αποτελέσματα (%κ.β.) Κυτταρίνης

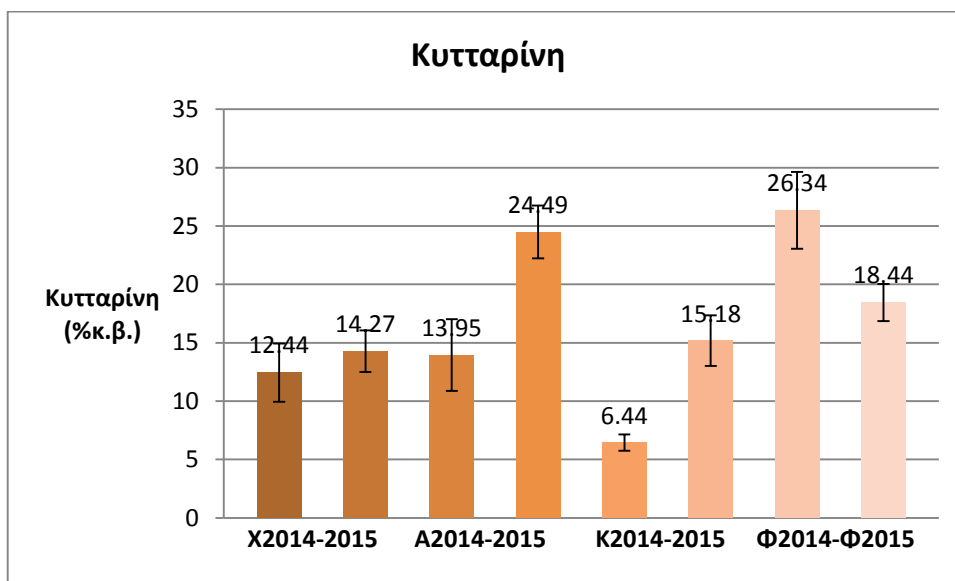
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κυτταρίνης των απορριμμάτων που ελήφθησαν από τις οικίες καθώς επίσης και η εποχιακή διακύμανση αυτών, καταγράφονται σε μορφή μέσων τιμών στο πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 28).

Πίνακας 28: Μέσος όρος των αποτελεσμάτων και η τυπική απόκλιση αυτών για την κυτταρίνη. Συγκριτικά αποτελέσματα τα έτη 2014-2015.

Εποχές	Κυτταρίνη (%κ.β.) (2015)	Κυτταρίνη (%κ.β.) (2014)
Χειμώνας	14,27±1,78	12,44±2,50
Άνοιξη	24,49±2,26	13,95±3,06

Καλοκαίρι	15,18±2,17	6,44±0,70
Φθινόπωρο	18,44±1,59	26,34±3,30

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα όπου παρουσιάζεται η εποχιακή διακύμανση για τα έτη 2014 και 2015 (Διάγραμμα 30).



Διάγραμμα 30: Διακύμανση κυτταρίνης ανά εποχή. Συγκριτικό διάγραμμα κυτταρίνης τα έτη 2014 και 2015

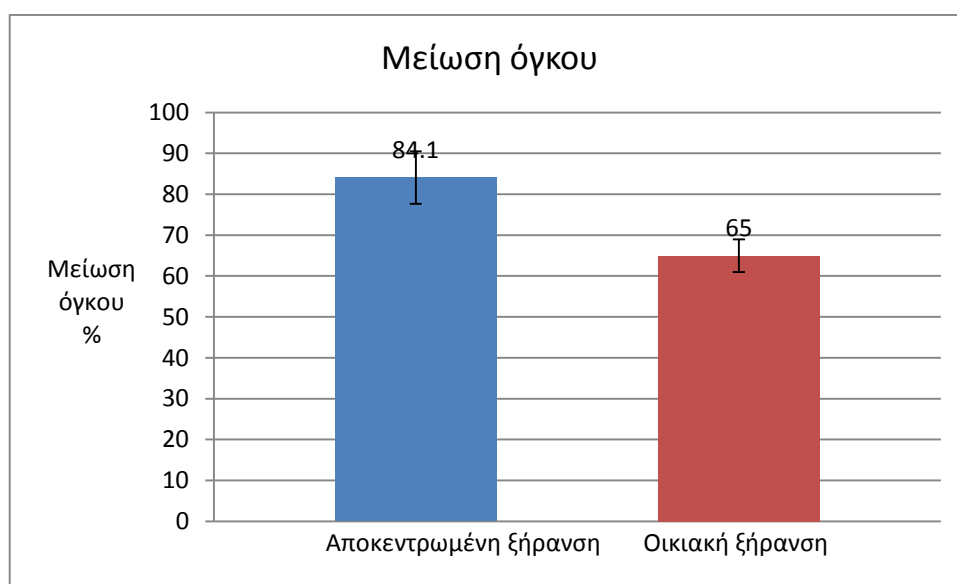
Η μέση τιμή της κυτταρίνης για όλες τις εποχές του έτους 2015 αντιστοιχεί σε 18,1%κ.β. Όπως και στην περίπτωση του αμύλου, παρατηρείται αύξηση στην τιμή της κυτταρίνης σε σχέση με τις εποχιακές τιμές του 2014. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση κυρίως το καλοκαίρι, που η τιμή μεταβάλλεται από 6,44%κ.β. το 2014 σε 15,18%κ.β. το 2015. Αυτή η αύξηση μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το καλοκαίρι του 2015 απορρίφθηκαν περισσότερα πράσινα απόβλητα σε σχέση με το καλοκαίρι του 2014. Επίσης, φαίνεται ότι την άνοιξη του 2015 η κυτταρίνη είναι υψηλότερη από το φθινόπωρο, που σημαίνει ότι το 2015 η σύσταση των αποβλήτων κήπου (φύλλα, κλαριά δέντρων κλπ.), τα οποία είναι πλούσια σε κυτταρίνη ήταν πολύ μεγαλύτερη την άνοιξη. Αντίθετα, το 2014 φαίνεται ότι τα βιοαπόβλητα κήπου ήταν περισσότερα το φθινόπωρο για αυτό και η τιμή της κυτταρίνης του φθινοπώρου είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την άνοιξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων του Συστήματος Αποκεντρωμένης Ξήρανσης με αυτά της Μεθόδου Οικιακής Ξήρανσης.

Στις επόμενες παραγράφους πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής ξήρανσης του συστήματος GAIA (αποκεντρωμένη ξήρανση) σε προεπιλεγμένα βιοαπόβλητα από τις οικίες των Δήμων Παπάγου-Χολαργού και Ασπροπύργου με αυτά που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου της οικιακής ξήρανσης.

6.1. Σύγκριση Ποσοστού (%) Μείωσης Όγκου

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται το ποσοστό μείωσης όγκου όπως αυτό προέκυψε από την πειραματική διαδικασία της αποκεντρωμένης ξήρανσης οικιακών βιοαποβλήτων σε σχέση με τα αποτελέσματα της οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων.

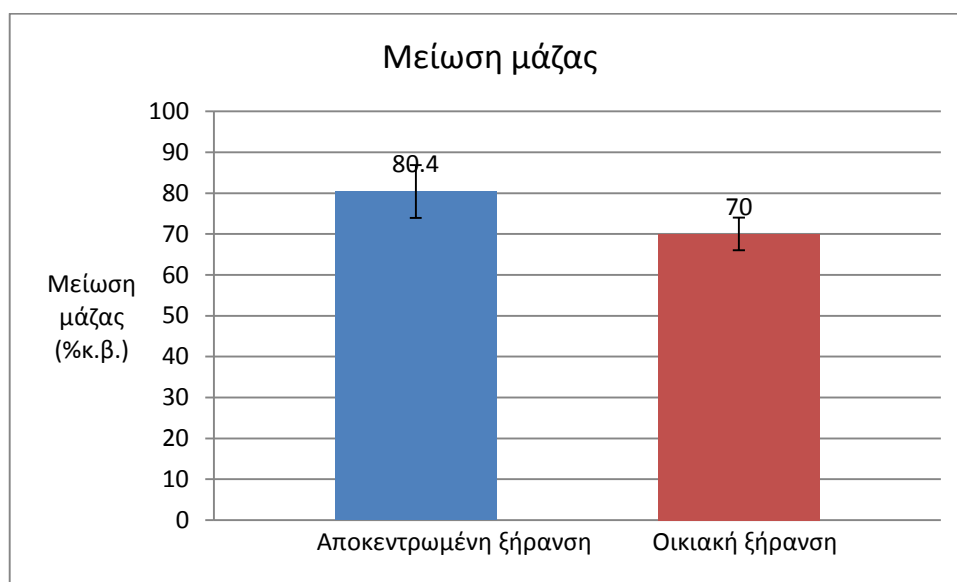


Διάγραμμα 31: Σύγκριση των αποτελεσμάτων ποσοστιαίας μείωσης όγκου των 2 μεθόδων

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%) μείωσης όγκου στην περίπτωση της αποκεντρωμένης ξήρανσης είναι μεγαλύτερο κατά 19,1% από αυτό της οικιακής ξήρανσης του συστήματος DRYWASTE. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη λειτουργία της αποκεντρωμένης ξήρανσης, παρά το ότι δεν πραγματοποιείται ορθότερη προεπεξεργασία του υλικού (κοπή σε μικρότερα κομμάτια), επιτυγχάνεται ξήρανση στον βέλτιστο βαθμό εξαιτίας του γεγονότος ότι το υλικό στο εσωτερικό του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης κονιορτοποιείται άμεσα σε αντίθεση με το υλικό της οικιακής ξήρανσης.

6.2. Σύγκριση Ποσοστού (%κ.β.) Μείωσης Μάζας

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται το ποσοστό μείωσης μάζας όπως αυτό προέκυψε από την πειραματική διαδικασία της αποκεντρωμένης ξήρανσης οικιακών βιοαποβλήτων σε σχέση με τα αποτελέσματα της οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων.

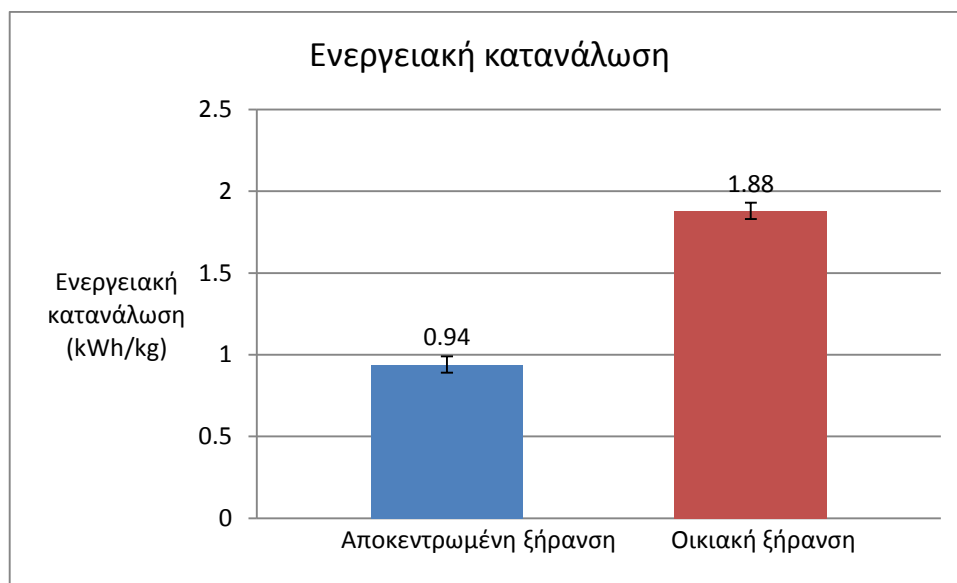


Διάγραμμα 32: Σύγκριση αποτελεσμάτων ποσοστιαίας μείωσης μάζας των δύο μεθόδων

Παρατηρείται ότι το ποσοστό (%κ.β) μείωσης μάζας στην περίπτωση της αποκεντρωμένης ξήρανσης είναι μεγαλύτερο από αυτό της οικιακής ξήρανσης του συστήματος DRYWASTE. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη λειτουργία της αποκεντρωμένης ξήρανσης, παρά το ότι δεν πραγματοποιείται ορθότερη προεπεξεργασία του υλικού (κοπή σε μικρότερα κομμάτια), επιτυγχάνεται ξήρανση στον βέλτιστο βαθμό εξαιτίας του γεγονότος ότι το υλικό στο εσωτερικό του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης κονιορτοποιείται άμεσα σε αντίθεση με το υλικό της οικιακής ξήρανσης. Έτσι η υγρασία αφαιρείται αποδοτικότερα από το εσωτερικό του υλικού.

6.3. Σύγκριση Ενεργειακής Κατανάλωσης των 2 Μεθόδων

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ενεργειακή κατανάλωση των δύο συστημάτων όπως αυτή προέκυψε από την πειραματική διαδικασία της αποκεντρωμένης ξήρανης οικιακών βιοαποβλήτων σε σχέση με τα αποτελέσματα της οικιακής ξήρανης βιοαποβλήτων.

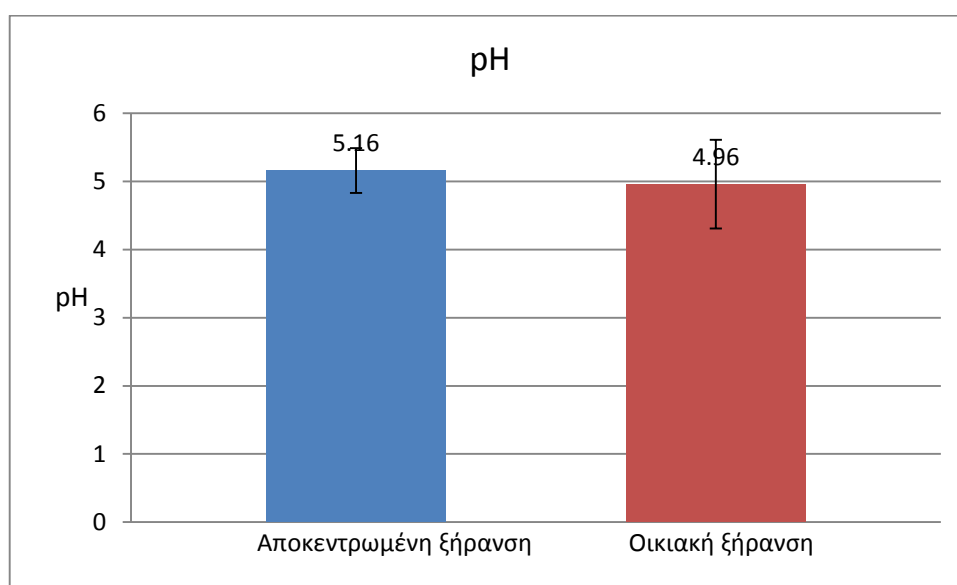


Διάγραμμα 33: Σύγκριση των αποτελεσμάτων ενεργειακής κατανάλωσης των 2 μεθόδων

Παρατηρείται ότι η ενεργειακή κατανάλωση είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της οικιακής ξήρανης (διπλάσια σε ποσοστό).

6.4. Σύγκριση των Τιμών pH της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων pH όπως αυτός προέκυψε από την πειραματική διαδικασία της αποκεντρωμένης ξήρανσης οικιακών βιοαποβλήτων σε σχέση με τα αποτελέσματα της οικιακής ξήρανσης βιοαποβλήτων.

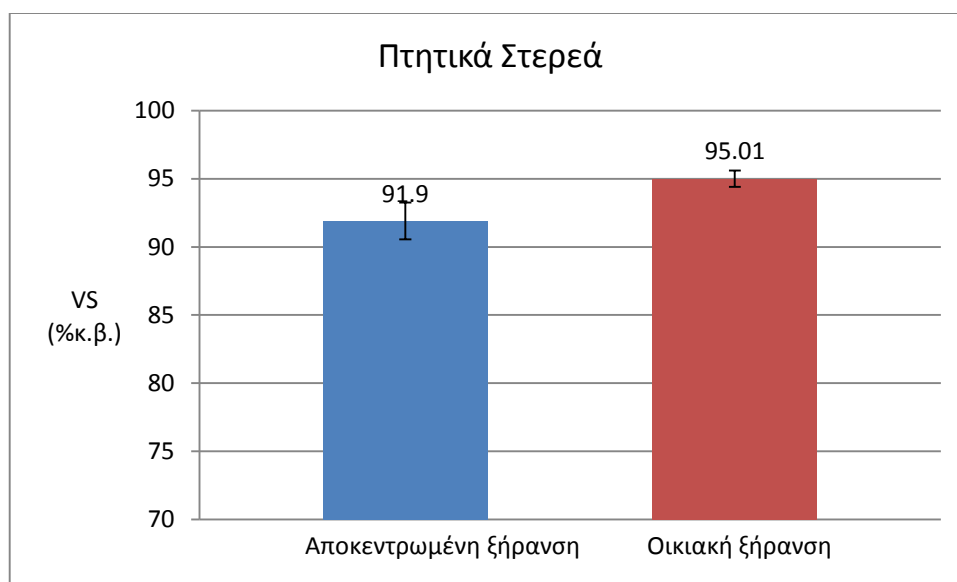


Διάγραμμα 34: Σύγκριση αποτελεσμάτων pH

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι οι τιμές pH και για τα 2 συστήματα ξήρανσης ήταν πολύ κοντά και κυμαινόταν στην όξινη περιοχή, γεγονός που μπορεί να σημαίνει ότι το υλικό που εισερχόταν στη συσκευή οικιακής ξήρανσης ήταν παρόμοιας σύστασης με το υλικό της αποκεντρωμένης ξήρανσης.

6.5. Σύγκριση VS (%κ.β.) της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων VS (% κ.β.) των κύκλων οικιακής ξήρασης που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα οικιακής ξήρασης εργαστηριακά και ο Μ.Ο. VS (% κ.β.) μετά την ξήραση με το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρασης.

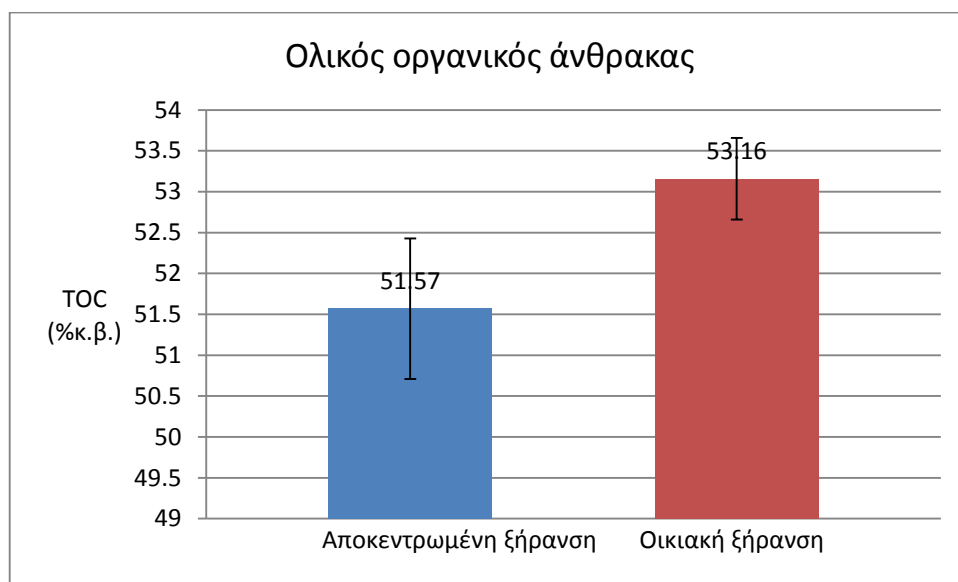


Διάγραμμα 35: Σύγκριση αποτελεσμάτων πτητικών στερεών (VS %κ.β.)

Στην περίπτωση της αποκεντρωμένης ξήρασης, φανερώνεται ότι τα αποτελέσματα των πτητικών στερεών που προσδιορίστηκαν είναι πολύ κοντά στα αποτελέσματα της οικιακής ξήρασης αλλά σε μικρότερη τιμή. Η μειωμένη τιμή που παρατηρείται στην αποκεντρωμένη ξήραση οφείλεται στη διαφορετικότητα της διεργασίας ως προς τη θερμοκρασία ξήρασης.

6.6. Σύγκριση TOC (%κ.β.) της Παραγόμενης Ξηρής Βιομάζας

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων TOC (%κ.β.) των κύκλων οικιακής ξήρανσης που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα οικιακής ξήρανσης εργαστηριακά και ο Μ.Ο. TOC (%κ.β.) με την ξήρανση με το σύστημα GAIA.

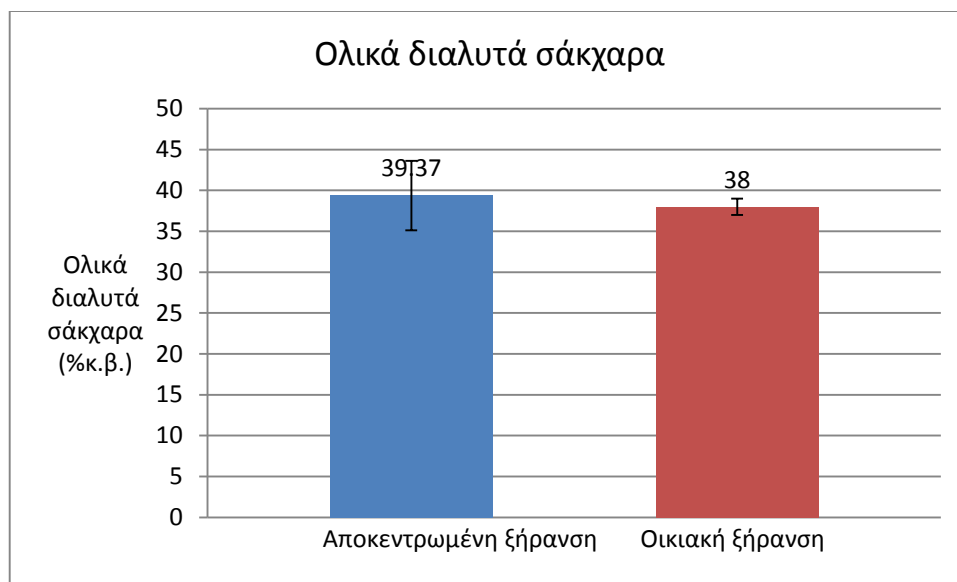


Διάγραμμα 36: Σύγκριση αποτελεσμάτων ολικού οργανικού άνθρακα

Σε αυτή την περίπτωση, φανερώνεται ότι λόγω της διαφορετικότητας της διεργασίας ως προς τη θερμοκρασία ξήρανσης κυρίως, παρατηρείται μειωμένη περιεκτικότητα σε ολικό οργανικό άνθρακα ωστόσο αυτό δεν μπορεί να αξιολογηθεί απολύτως καθώς αυτό δύναται να επηρεάζεται από τη πολυμορφικότητα του υλικού.

6.7. Σύγκριση Ποσοστού (%κ.β.) Ολικών Διαλυτών Σακχάρων

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων των ολικών διαλυτών σακχάρων (% κ.β.) των κύκλων οικιακής ξήρανσης που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα οικιακής ξήρανσης εργαστηριακά και ο Μ.Ο. μετά την ξήρανση με το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης.

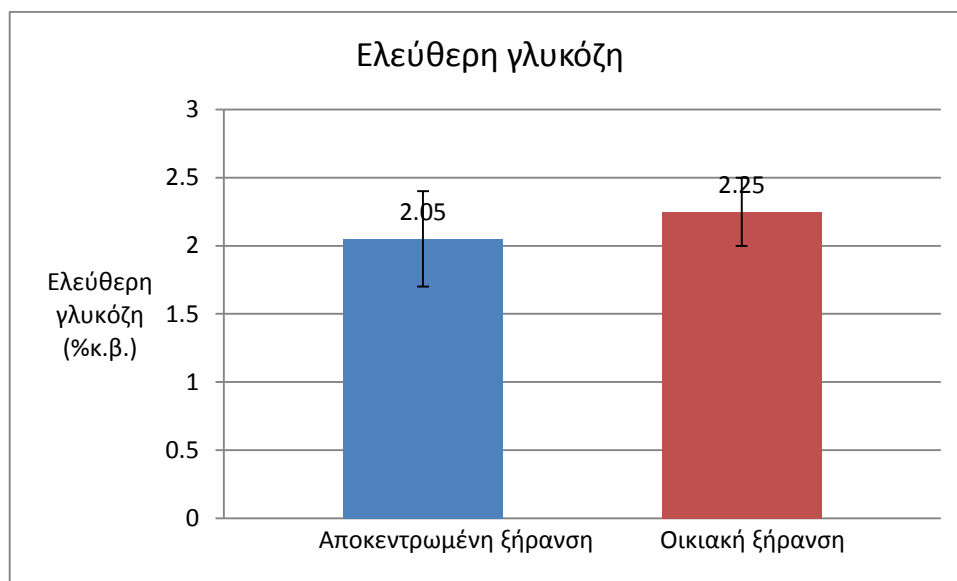


Διάγραμμα 37: Σύγκριση αποτελεσμάτων ολικών διαλυτών σακχάρων

Από το παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι η επίδραση των δύο μεθόδων είναι η ίδια στην περίπτωση των ολικών διαλυτών σακχάρων γεγονός το οποίο επιτρέπει την εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η μικροβιακή δραστηριότητα δεν επηρεάζει το ποσοστό αυτό στις δύο μεθόδους σημαντικά.

6.8. Σύγκριση Ποσοστού (% κ.β.) Ελεύθερης Γλυκόζης

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων της ελεύθερης γλυκόζης (% κ.β.) των κύκλων οικιακής ξήρασης που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα οικιακής ξήρασης εργαστηριακά και ο Μ.Ο. μετά την ξήραση με το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρασης.

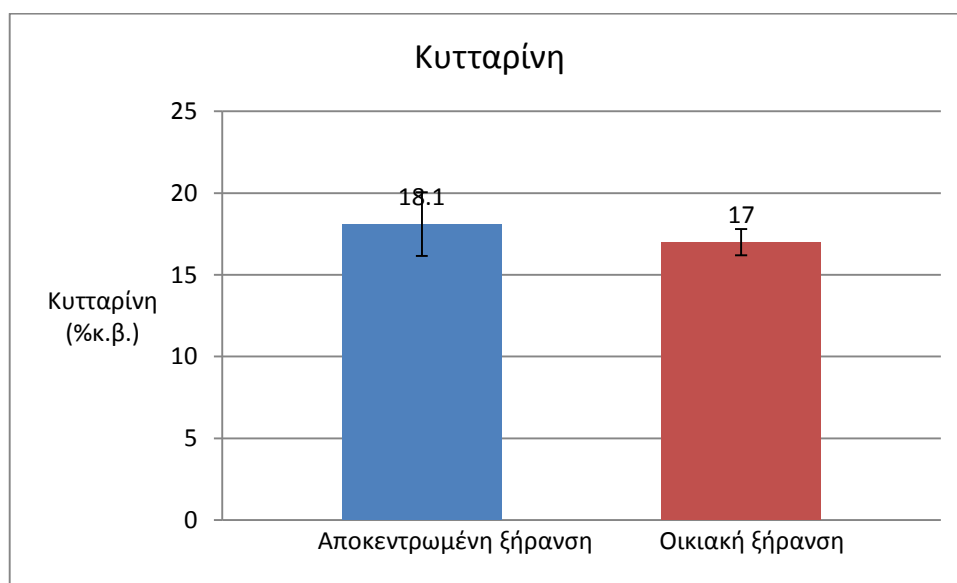


Διάγραμμα 38: Σύγκριση αποτελεσμάτων ελεύθερης γλυκόζης

Σε αυτή τη περίπτωση φαίνεται ότι τα ποσοστά συγκλίνουν συνεπώς οι δύο μέθοδοι δεν διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά τη διατήρηση της ελεύθερης γλυκόζης.

6.9. Σύγκριση Ποσοστού (% κ.β.) Κυτταρίνης

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο Μ.Ο. των μετρήσεων κυτταρίνης (% κ.β.) των κύκλων οικιακής ξήρανσης που πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα οικιακής ξήρανσης εργαστηριακά και ο Μ.Ο. μετά την ξήρανση με το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης.



Διάγραμμα 39: Σύγκριση αποτελεσμάτων κυτταρίνης

Σε αυτή τη περίπτωση φαίνεται ότι τα ποσοστά συγκλίνουν ωστόσο η κυτταρίνη δεν επηρεάζεται από τη διεργασία της ξήρανσης αυτή καθαυτή αλλά από την ύπαρξη κυταρρινούχων υλικών στο αρχικό υπόστρωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεράσματα από τη σύγκριση των συστημάτων οικιακής και αποκεντρωμένης ξήρανσης

Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα τα οποία αφορούν στις επιδόσεις του συστήματος διαχείρισης αποκεντρωμένης ξήρανσης οικιακών ΒΑ.

Τα προδιαλεγμένα υλικά εμφανίζουν υψηλή καθαρότητα, η τιμή της οποίας φτάνει το 99,9% με αποτέλεσμα να διευκολύνεται η οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία τους και κατ' επέκταση τα προϊόντα που ανακτώνται να έχουν υψηλότερη ποιότητα και μεγαλύτερη αξία.

Η μείωση του όγκου των οικιακών βιοαποβλήτων, μέσω της αφαίρεσης της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας μέσω του συστήματος ξήρανσης GAIA, προσδιορίστηκε ίση με 84,10%κ.β. Αυτή είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της οικιακής ξήρανσης λόγω του γεγονότος ότι το υλικό στην πρώτη περίπτωση κονιορτοποιείται μειώνοντας περαιτέρω τον όγκο.

Η μείωση της μάζας προσδιορίστηκε ίση με 80,4%κ.β. στην περίπτωση της αποκεντρωμένης ξήρανσης, η οποία και σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της μεθόδου οικιακής ξήρανσης. Συνεπώς, η συμβολή του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης στη μείωση της μάζας και του όγκου είναι σημαντική.

Επίσης, η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης προσδιορίστηκε σε πολύ μικρότερη τιμή (0,94kWh/kg) σε σχέση με το σύστημα οικιακής ξήρανσης. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης είναι ενεργειακά ωφέλιμο.

Τέλος, από αναλύσεις που έγιναν σε δείγματα που ξηράθηκαν στο σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης προσδιορίστηκαν λιγότερα πτητικά στερεά (91,90%κ.β.) και χαμηλότερος ολικός οργανικός άνθρακας (51,57%κ.β.) γεγονός που οφείλεται στην θερμοκρασία που λειτούργησε το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης, η οποία ήταν μεγαλύτερη από του συστήματος οικιακής. Αντίθετα, το pH διατηρήθηκε κοντά στην τιμή 5 και για τις 2 μεθόδους ξήρανσης. Το ίδιο συνέβη και με τα ολικά διαλυτά σάκχαρα, τη γλυκόζη και τη κυτταρίνη, που διατηρήθηκαν σε κοντινές τιμές χωρίς καμία σημαντική απόκλιση καθώς λόγω της υψηλής θερμοκρασίας δεν εμφανίστηκε ο κίνδυνος ανάπτυξης μικροοργανισμών, που θα επηρέαζαν τη συγκέντρωσή τους.

Συμπεράσματα από τα χαρακτηριστικά του τελικού ξηρού υλικού

Το pH του τελικού ξηρού υλικού το 2015 κυμάνθηκε σε εύρος 5,05-5,4 στην όξινη περιοχή και με αμελητέα απόκλιση από την τιμή 5. Παρατηρήθηκε μια μικρή απόκλιση από την εποχικότητα του 2014, όπου το pH ήταν ελάχιστα μεγαλύτερο σε εύρος 5,41-5,55. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι το έτος 2015 απορρίφθηκαν περισσότερες όξινες τροφές σε σχέση με το 2014.

Η κατά μέσο όρο περιεκτικότητα του υλικού σε πτητικά στερεά (91,90%κ.β.) για το έτος 2015 ήταν μεγαλύτερη από την κατά μέσο όρο περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά το 2014 (82,54%κ.β.). Συνεπώς, το 2015 τα πτητικά οργανικά ήταν περισσότερα, γεγονός που

επηρεάζει και τη συγκέντρωση του ολικού οργανικού άνθρακα, που ήταν επίσης μεγαλύτερη το έτος 2015 (51,57%κ.β.).

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του ξηρού υλικού, που σχετίζονται με την παραγωγή λιγνοκυτταρινούχου αιθανόλης (γλυκόζη, άμυλο και κυτταρίνη), παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην εποχικότητα το έτος 2015 σε σχέση με την εποχικότητα του 2014. Συγκεκριμένα, την άνοιξη του 2015 αυξήθηκε το ποσοστό γλυκόζης από 0,52%κ.β. που ήταν το 2014 σε 3,31%κ.β. ενώ μειώθηκε το φθινόπωρο από 2,25 %κ.β. το 2014 σε 0,72 %κ.β το 2015. Η διαφορά αυτή οφείλεται στις διατροφικές συνήθειες των κατοίκων, οι οποίοι απέριψαν περισσότερες τροφές πλούσιες σε γλυκόζη την άνοιξη σε σχέση με το φθινόπωρο.

Επίσης, αρκετά σημαντική είναι και η διακύμανση στην εποχικότητα του αμύλου το 2015. Συγκεκριμένα όλες τις εποχές παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση στη συγκέντρωση του αμύλου από μια κατά μέσο όρο περιεκτικότητα 8,11%κ.β. το 2014 σε 16,43%κ.β το 2015. Η αύξηση της ποσότητας του αμύλου οφείλεται στην αύξηση της απόρριψης τροφών που είναι πλούσιες σε άμυλο σε όλη τη διάρκεια του έτους 2015.

Επιπλέον, όσον αφορά την κυτταρίνη παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά στην εποχικότητα το 2015 κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι όπου η κυτταρίνη προσδιορίστηκε από 13,95% κ.β. την άνοιξη του 2014 και 6,44%κ.β. το καλοκαίρι του 2014 σε 24,49%κ.β. την άνοιξη του 2015 και 15,19%κ.β. το καλοκαίρι του 2015. Η αύξηση στην ποσότητα της κυτταρίνης και για τις 2 εποχές οφείλεται στο γεγονός ότι, απορρίφθηκαν περισσότερα πράσινα απόβλητα, τα οποία είναι πλούσια σε κυτταρίνη, το 2015 σε σχέση με το 2014. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το φθινόπωρο του 2014 τα ποσοστά κυτταρίνης ήταν μεγαλύτερα από της άνοιξης ενώ μειώθηκαν το 2015. Η μεταβολή αυτή δικαιολογείται καθώς το 2015 θα ήταν λιγότερα τα απόβλητα κήπου.

Τέλος, από τις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των σακχάρων που προσδιορίστηκαν το έτος 2015 (ολικά διαλυτά: 39,37%κ.β., ελεύθερη γλυκόζη: 2,05%κ.β., άμυλο: 16,43%κ.β. και κυτταρίνη 18,10%κ.β.) εξάγεται το συμπέρασμα ότι το τελικό ξηρό υλικό είναι κατάλληλο για την παραγωγή λιγνοκυτταρινούχου αιθανόλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- [1].Athens Biowaste. (2011). *Ολοκληρωμένη Διαχείριση Βιοαποβλήτων στην Ελλάδα. Η περίπτωση της Αθήνας*, Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από www.biowaste.gr
- [2].Γιδαράκος, Ε. (2006). *Επικίνδυνα Απόβλητα, Διαχείριση-Επεξεργασία-Διάθεση*, Εκδόσεις Ζυγός”, Θεσσαλονίκη.
- [3].Γιδαράκος Ε. (2007). *Διαλέξεις του μαθήματος Διαχείριση και Επεξεργασία Αστικών Απορριμμάτων*. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [4].ΕΔΣΝΑ. (2015). *Τοπικό σχέδιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων του δήμου Σπάτων-Αρτέμιδος*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.edсна.gr>
- [5].ΕΕΔΣΑ. (2015). *Σύσταση αστικών στερεών*. (2015). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=95>
- [6].ΕΕΔΣΑ. (2015). *Τεχνικές διαχείρισης αστικών αποβλήτων*. (2015). Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=96>
- [7].Ελληνική Εταιρία Περιβαλλοντικών Συστημάτων. (2012). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από http://www.helesi.com/greek/index_gr.html
- [8].ΕΠΕΜ Α.Ε. (2010). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Σ.Μ.Π.Ε) του επικαιροποιημένου ΠΕΣΔΑ Περιφέρειας Πελοποννήσου*
- [9].ΕΠΠΕΡΑΑ. (2012). *Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων διαλογής στην πηγή και συστημάτων διαχείρισης βιοαποβλήτων*
- [10].Ευθυμίου, Α. (2012) *Μικροβιακή ποικιλομορφία κατά τη συγκομποστοποίηση υπολειμμάτων εκκοκκισμού θάμβακος και υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- [11].Ζορπός Α. (1999). *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Κομποστοποίηση της Ιλύος με Χρήση Ζεόλιθων*. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [12].ΚΕΔΕ. (2013). *Ορθολογική Διαχείριση Οργανικών Υλικών Αστικών Στερεών Αποβλήτων και Παγκόσμια Εμπειρία*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από http://www.kedke.gr/wp-content/uploads/2013/09/Presentation_Biowaste-%CE%A4ΕΛΙΚΟ-19.09.2013.pdf
- [13].ΚΕΕ .(2012). *Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher8_4.html
- [14].Μουστάκας. Κ. (2011). *Αεριοποίηση / υαλοποίηση αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

[15]. Παναγιωτακόπουλος Δ.Χ. (2002). *Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζυγός

[16]. ΠΕΣΔΑΚ (Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Απορριμμάτων Κρήτης). (2010). *Έρευνα και μελέτη για την αναθεώρηση του περιφερειακού σχεδιασμού διαχείρισης στερεών απόβλητων (ΠΕΣΔΑ) Περιφέρειας Κρήτης*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

[17]. ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής). (2012). *Οδηγός εφαρμογής προγραμμάτων Διαλογή στη Πηγή & συστημάτων διαχείρισης των βιοαποβλήτων*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.ypeka.gr/>

[18]. Viorgan. (2015). *Κομποστοποίηση με γαιοσκώληκες*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://www.viorgan.gr/kompostopoiisi-me-gaioskolikes/>

[19]. Waste2bio project. (2015). *Τεχνική Έκθεση Καταγραφής των Τεχνικών Διαχείρισης και Επεξεργασίας των Βιοαποβλήτων*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από www.waste2bio.eu

ΔΙΕΘΝΗΣ

[20]. Alina.co.uk. (2012). *ALINA*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://www.alina.co.uk/>

[21]. Arcadis. (2010). *Assessment of the Options to Improve the Management of Bio-waste in the European Union-final report*. Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/ia_biowastefinalreport.pdf

[22]. Axpo Kompogas AG. *Axpo Kompogas AG*. (2012). Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://www.axpo-kompogas.ch/>

[23]. Baeyens J., Kang Q., Appels L., Dewil R., Lv Y., and Tan. T. (2015). Challenges and Opportunities in Improving the Production of Bio-ethanol, *Progress in Energy and Combustion Science, Vol.47*, σσ. 60–88.

[24]. Batayneh M., Marie I., Asi I. (2007). Use of Selected Waste Materials in Concrete Mixes. *Waste Manage Vol.27*, σσ. 1870–6.

[25]. Bebar L., Stehlik P., Havlen L. & Oral J. (2005). Analysis of Using Gasification and Incineration for Thermal Processing of Wastes, *Applied Thermal Engineering, Vol.25*, σσ. 1045-1055.

[26]. Beneroso D., Bermúdez J.M., Arenillas A., Menéndez J.A. (2014) Integrated Microwave Drying, Pyrolysis and Gasification for Valorisation of Organic Wastes to Syngas, *Fuel, Vol.132*, σσ. 20-26.

[27]. Bhaskar T., Uddin A., Murai K., Kaneko J., Hamano K., Kusaba T., Muto A., Sakata Y. (2003). Comparison of Thermal Degradation Products from Real Municipal Waste Plastic and Model Mixed Plastics, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol.70*, σσ. 579-587.

[28]. Bilitewski B. (2006). Pyrolysis, Gasification and Plasma Technologies, Proceedings Venice 2006: Biomass and Waste to Energy Symposium, Organized by International Waste Working Group (IWWG) and Environmental Sanitary Engineering Center (ESEC).

- [29].Bitton Gabriel, John Wiley & Sons. (2005). *Wastewater microbiology, Third edition*.
- [30].Bonito G., Isikhuemhen O., Vilgalys R. (2010). Identification of Fungi Associated with Municipal Compost using DNA-based Techniques. *Bioresource Technology Vol.101*, σσ. 1021-1027.
- [31].Botlin D., Keller E. (1995). «Environment Science».
- [32].Chen Y., Cheng J., Creamer K.S. (2008). Inhibition of Anaerobic Digestion Process: a review. *Bioresour Technol, Vol.99* (10) σσ. 4044–64.
- [33].Comwaste PROJECT. *Comwaste Project*. (2010). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.uest.gr/comwaste/>
- [34].Cooperband L. (2002). The Art and Science of Composting. *A resource for farmers and compost producers. University of Wisconsin-Madison*
- [35].Cui X. H., Zhao X. B., Zeng J., Loh S. K., Choo Y. M., and Liu D. H. (2014). Robust enzymatic hydrolysis of formiline-pretreated oil palm empty fruit bunches (EFB) for efficient conversion of polysaccharide to sugars and ethanol, *Bioresource Technology, Vol.166*, σσ. 584–591.
- [36].Daskalopoulos E., Badr O., Probert S.D. (1997). Economic and Environmental Evaluations of Waste Treatment and Disposal Technologies for Municipal Solid Waste. *Applied Energy Vol.50* (4), σσ. 209–255.
- [37].De Baere L. (2000). Anaerobic Digestion of Solid Waste: state-of-the-art. *Water SciTechnol Vol.41* (3), σσ. 283–9
- [38].De Lacos H.F., Desbois S., and Saint-Joly C. (1997). Anaerobic digestion of Municipal Solid Organic Waste: Valorga full-scale plant in Tilburg, the Netherlands. *Water Science &Technology, Vol.36* (6-7), σσ. 457-462.
- [39].Demirbas A. (2006). Progress and Recent Trends in Biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science, Vol.33*, σσ. 1-18.
- [40].Demirbas M.F., Balat M. & Balat H. (2011). Biowastes-to-Biofuels. *Energy Conversion and Management, Vol.52, Issue 4*, σσ. 1815-1828.
- [41].Domínguez J., Aira M., Gómez-Brandón M. (2010) Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes', In: Insam H., Franke-Whittle I., Goberna M. (eds.) *Microbes at Work: From Wastes to Resources. Berlin Heidelberg: Springer*, σσ. 93-114.
- [42].Dumitriu L. Irina, Gurzu Bogdan, Cojocaru Elena, Statineanu M. Simona and Enea Maria. (2011). Method GOD/PAP for Quantitative Determination of Glucose Concentration in Human Serum *Revista Romana de Medicina de Laborator, Vol. 19*, σσ. 85-99
- [43].Ecke H., Svensson M. (2008). 'Mobility of Organic Carbon from Incineration Residues'. *Waste manage Vol.28*, σσ. 1301-9.

- [44].Environment Community and Local Government in the Ireland. (2006). *Biodegradable Waste*. Ανάκτηση Οκτώβριος 2015, από <http://www.environ.ie/en/Publications/Environment/Waste/WasteManagement/FileDownload,1442.en.pdf>
- [45].EPA. (2014). *Overview of Greenhouse Gases*. Ανάκτηση Ιανουάριος 2016, από <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/usinventoryreport.html>
- [46].Epstein E. (1996). *The Science of composting*. By CRC Press
- [47].Epstein E. (1997). *The science of composting*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- [48].European Commission Communication COM (2010). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/com_biowaste.pdf
- [49].European Commission. (2009). *Green Paper on the Management of Bio-waste in the European Union 2008*. In: *Official Journal of the European Communities*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008-DC0811:EN:NOT>
- [50].European Commission. (2012). Ανάκτηση Ιούνιος 2015, από <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm>
- [51].European biomass industry association. (2006). *Bioethanol in the world*. Ανάκτηση Οκτώβριος 2015, από <http://www.eubia.org/index.php/about-biomass/biofuels-for-transport/bioethanol>
- [52].Eurostat. (2014). *Greenhouse Gas Emissions from Waste Disposal*. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://ec.europa.eu/eurostat/help/new-eurostat-website>
- [53].Eurostat. (2015). *‘Municipal Waste Statistics’*. (2015). Ανάκτηση Αύγουστος 2015, από http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics
- [54].Eurostat News Release. (2015). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6757479/8-26032015-AP-EN.pdf/a2982b86-9d56-401c-8443-ec5b08e543cc>
- [55].Fischer G. and Schrattenholzer L. (2001). *Global Bioenergy Potentials through 2050*, *Biomass & Bioenergy*, Vol.20, no. 3, σσ. 151–159.
- [56].Gerardi H., Michael, John Wiley & Sons. (2003). *Microbiology of Anaerobic Digesters*.
- [57].Girods P., Dufour A., Rogaume Y., Rogaume C. & Zoulalian A. (2009). *Comparison of Gasification and Pyrolysis of Thermal Pre-treated Wood Board Waste*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol.85, σσ. 171–183.
- [58].Gray F.N. (2004). *Biology of Wastewater Treatment*, Second Edition, *Imperial College Press*.

- [59].Greek Association of Communities and Municipalities in the Attica Region (ACMAR). (2009). Project: Composition and Physicochemical Properties of MSW of Attica 2006-2008. *Presentation in Environmental Protection Committee of the Greek Parliament*, January 29, Athens, Greece.
- [60].GTZ (Editor). (2009), Biogas Sanitation for Blackwater or Brownwater, or Excreta Treatment and Reuse in Developing Countries. *Eschborn: German Agency for Technical Cooperation (GTZ) GmbH and Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA)*.
- [61].Gurgel L. V. A., Pimenta M. T. B., and Curvelo A. A. S. (2014). Enhancing liquid hot water (LHW) pretreatment of sugarcane bagasse by high pressure carbon dioxide (HP-CO₂), *Industrial Crops and Products*, Vol. 57, σσ. 141–149.
- [62].Hahn-Hagerdal B., Galbe M., Gorva-Grauslund M. F., Liden G. and Zacchi G. (2006). Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today, *Trends Biotechnol*, Vol.24, σσ. 549-556.
- [63].Harel A. (2009). Noritech Seaweed Biotechnologies Ltd, Algae World Conference. Rotterdam, The Netherlands
- [64].Hartmann H., Ahring BK. (2006). Strategies for the Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: *an overview*. *Water SciTechnol*, Vol.53(8) σσ. 7–22.
- [65].Haug R. (1993). *The Practical Handbook of the Compost Engineering*. *Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA*.
- [66].Hayes D.J. (2008). An examination of biorefining processes, catalysts and challenges, *Catalysis Today*.
- [67].Hendriks A. T. S. M. and Zeeman G. (2009). Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass, *Bioresource Technology*, Vol.100, no. 1, σσ. 10–18.
- [68].Humbird D., Davis R., Tao L., et al. (2011). Process design and economics for biochemical conversion of lignocellulosic biomass to ethanol, Tech. Rep. NREL/TP-5100-47764, *National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colo, USA*.
- [69].IEA. (2004). *International Energy Agency. Biofuels for Transport: An international perspective* Ανάκτηση Οκτώβριος 2015, από www.iea.org.
- [70].INEOS BIO Process technology. (2012). Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από http://www.ineos.com/globalassets/ineos-group/businesses/ineos-bio/technology/ineos-us-bio-process-description-brochure_april-2012.pdf
- [71].IPPC Integrated Pollution Prevention and Control. (1999). Directive European Commission. Institute for Prospective Technological Studies (Ed.) Directorate-General Joint Research Centre. Reference Document on Best Available Techniques in non-ferrous Metals Industries.
- [72].Kan A. (2009). General characteristics of waste management: *a review*. *Energy Educ Sci Technol Part A Vol.23* σσ. 55-69.

- [73].Kang Q., Huybrechts J., van der Bruggen B., Baeyens J., Tan T. W. and Dewil R. (2014). Hydrophilic membranes to replace molecular sieves in dewatering the bio-ethanol/water azeotropic mixture, *Separation and Purification Technology*, Vol.136, σσ. 144–149.
- [74].Kazi F. K., Fortman J. A., Anex R. P. et al. (2010). Techno-economic Comparison of Process Technologies for Biochemical Ethanol Production from Corn stover, *Fuel*, Vol.89, supplement 1, σσ. S20–S28
- [75].Kim M, Ahn YH. (2002). Speece RE. Comparative Process Stability and Efficiency of Anaerobic Digestion, Mesophilic vs. Thermophilic. *Water Res* Vol.36(17) σσ. 4369–85.
- [76].Klein A (2002). Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes, *MS Thesis, Columbia University*.
- [77].Kuo WC, Lu HY. (2004). A Complete Resource Recovery of Thermophilic Anaerobic Digestion. *In: Proceedings of 10th congress on anaerobic digestion*, Vol.4, σσ. 1663–5.
- [78].Kwietniewska E, Tys J. (2014). Process Characteristics, Inhibition Factors and Methane Yields of Anaerobic Digestion Process, with Particular Focus on Microalgal Biomass Fermentation. *Renew Sustain Energy Rev* Vol.34, σσ. 491–500.
- [79].Lazcano C., Gómez-Brandón M., Domínguez, J. (2008). Comparison of the Effectiveness of Composting and Vermicomposting for the Biological Stabilization of Cattle Manure. *Chemosphere* Vol.72, σσ. 1013-1019
- [80].Lettinga G. (1995). Anaerobic Digestion and Wastewater Treatment Systems, *Antonie van Leeuwenhoek* Vol.67, σσ. 3-28.
- [81].Lindstedt J. (2003). 'Alcohol Production from Lignocellulosic Feedstock'. *In FVS Fachtagung, 228-237. Network Regenerative Kraftstoffe (Refuel Net) Stuttgart, Germany*.
- [82].Lissens G., Vandevivere L. De Baere E.M. Biey and W. Verstraete. (2001). Solid Waste Digestors: Process Performance and Practice for Municipal Solid Waste Digestion. *Water Science and Technology*, Vol.44(8) σσ. 91-102.
- [83].Loofen. (2012). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.loofenireland.com/>
- [84].Lynd L. R.(1996). Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: Technology, economics, the environment and policy *Annu. Rev. Energy. Environ.* Vol.21, σσ. 403-465.
- [85].Moustakas, K. & Loizidou. (2010). Solid Waste Management through the application of Thermal Methods, *Waste Management*, Er Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-7619-84-8, INTECH.
- [86].Mueller C. (2007). Anaerobic Digestion of Biodegradable Solid Waste in Low and Middle Income Countries. Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), *Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC)*.
- [87].National Renewable Energy Laboratory in the USA. (2015). *The DOE Bioethanol Pilot Plant*. Ανάκτηση Αύγουστος 2015, από

<http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28397.pdf>

[88].Nguyen Q. A., Dickow J. H., Duff B. W., Farmer J.D., Glassner D.A., Ibsen K. N., Ruth M. F., Schell D.J., Thompson I. B. and Tucker M.P. (1996). NREL/DOE ethanol pilot-plant: current status and capabilities, *Bioresource technology*, Vol.58, σσ. 189-196.

[89].Nichols C.E. (2004). Overview of Anaerobic Digestion Technologies in Europe. *BioCycle*, Vol.45(1), σσ. 47-53

[90].Ontario's Ministry of the Environment (MOE), Envision. (2010). Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από http://www.ene.gov.on.ca/envision/gp/3651e_e1.htm.

[91].Palatsi J., Laureni M., Andrés MV., Flotats X., Nielsen HB., Angelidaki I. (2009). Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acid son anaerobic thermophilic biogas reactors. *Bioresour Technol* Vol.100, σσ. 4588–96.

[92].Pereira MA., Cavaleiro AJ., Mota M., Alves MM. (2003). Accumulation of long chain fatty acids on to anaerobics ludge under steady state and shock loading conditions: effect on acetogenic and methanogenic activity. *Water Sci Technol* Vol.48 σσ. 33–40.

[93].Phan D. T. and Tan C. S. (2014). Innovative pretreatment of sugarcane bagasse using supercritical CO₂ followed by alkaline hydrogen peroxide, *Bioresource Technology*, Vol.167, σσ. 192–197

[94].Poliatico M. (2007). Anaerobic Digestion: a decision support software. *Cork Institute of technology department of Civil, Structural and Environmental Engineering*.

[95].Preparatory Study on Food Waste Across EU 27 (2010) Technical Report-2010-054 European Commission ISBN: 978-92-79-22138-5; DOI: 10.2779/85947

.

[96]. Rai GD. (2011). Non-conventional energy sources. *Khanna Publishers*.

[97].Rapport J., Zhang R., Jenkins BM., Williams RB. (2008). Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. *Available at: California Environmental Protection Agency*.

[98].Raven P. H., Evert R. F., and Eichhorn S. E. (1999). *Biology of Plants*, Freeman and Company/Worth Publishers, New York, NY, USA, 6th edition.

[99].Recycling Business Assistance Center. (2012). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://portal.ncdenr.org/web/deao/rbac>.

[100].Renewable Fuels Association. (RFA). (2007). *Ethanol Industry Outlook: Building new Horizons*. Washington, DC: Author. Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/RFA_Outlook_2007.pdf

[101].Residential Food Waste Collection in The U.S. (2012). *BioCycle West Coast Portland, OR* Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από http://www.biocyclewestcoast.com/2012/Presentations/Wednesday/Yepsen_s.pdf

- [102].Rowell R. M. (1990). Opportunities for Lignocellulosic Materials and Composites. In: *Emerging technologies for materials and chemicals from biomass:Proceedings of symposium. Washington, DC: American Chemical Society, 1992, Chap. 2. ACS symposium series 476.*
- [103].Rynk R. (1992). On-Farm Composting Handbook. *Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca , NY.*
- [104].Schnepf R. (2006). Agriculture-Based Renewable Energy Production. In: V. I. Welborne, ed. 2006. Biofuels in the Energy Supply System. *New York: Nova Science Publishers, Inc., 4-5.*
- [105].Seghezze L., Zeeman G., van Liel B.J., Hamelers M.V.H., Lettinga G. (1998). A review: The Anaerobic Treatment of Sewage in UASB and EGSB Reactors, *Bioresource Technology Vol.65*, σσ. 175-190.
- [106].Sharma S., Kumar R., Gaur R., et al. (2014). Pilot Scale Study on Steam Explosion and Mass Balance for Higher Sugar Recovery from Rice Straw, *Bioresource Technology, Vol.175*, σσ. 350–357.
- [107].Siddique R, Khatib J, Kaur I. (2008). Use of Recycled Plastic in Concrete: a review. *Waste Manage Vol.28*, σσ. 1835–52.
- [108].Singh J., Suhag M., and Dhaka A. (2015). Augmented Digestion of Lignocellulose by Steam Explosion, Acid and Alkaline Pretreatment Methods: a review, *Carbohydrate Polymers, Vol. 117*, σσ. 624–631.
- [109].Singh R.P., Singh P., Araujo A.S.F., Ibrahim M.H., Sulaiman O. (2011). Management of Urban Solid Waste: Vermicomposting as a Sustainable Option. *Resources Conservation and Recycling Vol.55*, σσ. 719-729.
- [110].Somersetwaste.gov.uk. (2012). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.somersetwaste.gov.uk/collections/food/>
- [111].SSWM (Sustainable Sanitation and Water Management). (2012). Ανάκτηση Δεκέμβριος 2015, από <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewatertreatment/hardware/solid-waste/co-composting-small-scale>
- [112].Stentiford E. I. (1995). Composting Control: Principles and Practice. In *The Science of Composting''* (Eds: de Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B., Papi T.). *Blackie Academic and Professional. Glasgow. Scotland. Vol.1*, σσ. 49-59
- [113].Sun Y. and Cheng J. (2002). Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Ethanol Production: a review, *Bioresource Technology, Vol.83, no. 1*, σσ. 1–11.
- [114].Sutaryo S, Ward AJ, Møller HB. (2012). Thermophilic Anaerobic Co-digestion of Separated Solids from Acidified Dairy Cow Manure. *Bioresour Technol Vol.114*, σσ. 195–200.
- [115].Swart J. A. A., Jiang J., and P. Ho. (2008). Risk Perceptions and GM Crops: the Case of China, *Tailoring Biotechnologies: The Socialization of Science and Technology, Vol.3, no. 3*, σσ. 11–28.

- [116].Tayibi Hanan, Pena Carmen , Lopez A Felix. and Lopez-Delgado Aurora. (2007). Management of MSW in Spain and recovery of packaging steel scrap, *Waste management, Vol. 27*, σσ. 1655-1665.
- [117].Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1993). Integrated Solid Waste Management. *New York, USA.: McGraw-Hill Publications.*
- [118].Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S .(1993). Integrated solid waste management: engineering principles and management *issues, Singapore: Mc Grew-Hill*
- [119].Theochari Ch, Aravossis K, Varelidis P, et al. (2006).Solid Waste Management in Greece-The Attica case, *Technical Chamber of Greece, Athens, Final Report.*
- [120].UNEP. (2010). *Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework, Osaka/Shiga.* Ανάκτηση Δεκέμβριος 2016 από, <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/Waste&ClimateChange/Waste&ClimateChange.pdf>.
- [121].Verma S. (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. *Columbia University.*
- [122].Vessia Ø. (2005). Biofuels from Lignocellulosic Material. *Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.*
- [123].Wang X., Yang G, Feng Y, Ren G, Han X. (2012). Optimizing Feeding Composition and Carbon-Nitrogen Ratios for Improved Methane Yield during Anaerobic Co- digestion of Dairy, Chicken Manure and Wheat Straw. *Bioresour Technol Vol.120*, σσ. 78–83.
- [124].Waste2bio project. (2015). Ανάκτηση Νοέμβριος 2015, από <http://www.waste2bio.eu/>
- [125].Wilson DC, Araba AO, Chinwah K, Cheeseman CR. (2009). Building Recycling Rates through the Informal Sector. *Waste Manage Vol.29* σσ. 629–35.
- [126].World Bank. (2012). *World Bank's annual World Development Report.* Ανάκτηση Ιούλιος 2015, από <http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/0,,contentMDK:20227703~pagePK:478093~piPK:477627~theSitePK:477624,00.html>
- [127].Zaldivar J., Nielsen H. and Olsson L. (2001). Fuel Ethanol Production from Lignocelluloses: A Challenge for Metabolic Engineering and Process Integration *Appl. Microbiol. Biotechnol, Vol.56*, σσ.17-34.
- [128].Zhang Y. J., Li Q., Su M. J., et al. (2015). A Green and Efficient Technology for the Degradation of Cellulosic Materials: Structure Changes and Enhanced Enzymatic Hydrolysis of Natural Cellulose Pretreated by Synergistic Interaction of Mechanical Activation and Metal Salt, *Bioresource Technology, Vol. 177*, σσ.176–181.
- [129].Zonta Z, Alves MM, Flotats X, Palatsi J. (2013). Modeling Inhibitory Effects of Long Chain Fatty Acids in the Anaerobic Digestion Process, *Water Res Vol.47* σσ. 1369–80.