

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**Βελτίωση της Απόδοσης Λειτουργίας Σταθμού Αναερόβιας
Επεξεργασίας Αποβλήτων με Χρήση Τροφικών Αποβλήτων
και Φυσικών Ορυκτών σε Υψηλές Κλιματολογικές Συνθήκες**

Νίκη Νεοφύτου Μυριάνθους

**Επιβλέπων Καθηγητής
Αντώνης Ζορπάς**

Αύγουστος 2016

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Βελτίωση της Απόδοσης Λειτουργίας Σταθμού Αναερόβιας
Επεξεργασίας Αποβλήτων με Χρήση Τροφικών Αποβλήτων
και Φυσικών Ορυκτών σε Υψηλές Κλιματολογικές Συνθήκες**

Νίκη Νεοφύτου Μυριάνθους

**Επιβλέπων Καθηγητής
Αντώνης Ζορπάς**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Αύγουστος 2016

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια βιολογική διαδικασία η οποία πραγματοποιείται από μια ετερογενή ομάδα οργανισμών σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, όπου αποικοδομείται η οργανική ύλη σε απλούστερες ενώσεις παράγοντας βιοαέριο, από το οποίο μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η χρήση βιομάζας για σκοπούς παραγωγής ενέργειας περικλείει όλα τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αν συνδυαστεί με την χρήση τροφικών αποβλήτων ως υπόστρωμα μπορεί επιπρόσθετα να μειώσει τον όγκο των αποβλήτων που πρέπει να τύχουν διαχείρισης. Η διαχείριση τροφικών αποβλήτων αποτελεί ένα σύγχρονο πρόβλημα καθώς έχει διατυπωθεί ότι αναλογούν ετήσια 173 κιλά τροφικά απόβλητα ανά ευρωπαϊό πολίτη. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιείται πειραματική μελέτη βελτίωσης της απόδοσης υφιστάμενου σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων με χρήση τροφικών αποβλήτων και φυσικών ορυκτών. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση πειραματικής διάταξης όπου καταγράφηκε η μεταβολή στην απόδοση της αναερόβιας επεξεργασίας συγκριτικά μεταξύ δειγμάτων μάρτυρα (λυματολάσπης) από σταθμό αναερόβιας επεξεργασίας και δειγμάτων με διαφορετικές συγκεντρώσεις λυματολάσπης και τροφικού αποβλήτου. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της βελτίωσης της απόδοσης λειτουργίας της αναερόβιας χώνευσης ήταν η ποσότητα του βιοαερίου και η περιεκτικότητα του σε μεθάνιο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δείγματα που μελετήθηκαν, αξιολογήθηκαν και στη συνέχεια διενεργήθηκαν περαιτέρω δοκιμές στη βέλτιστη αναλογία τροφικού αποβλήτου και υποστρώματος με χρήση διαφορετικών συγκεντρώσεων ορυκτού ζεόλιθου.

Τα αποτελέσματα της διατριβής ήταν ενθαρρυντικά ως προς τη χρήση τροφικών αποβλήτων σε υφιστάμενο σταθμό αναερόβιας επεξεργασίας, προτείνοντας την διαλογή στη πηγή των τροφικών αποβλήτων, την εκτροπή τους από τους χώρους υγειονομικής ταφής και την αξιοποίηση τους ως δευτερογενή πόρο για σκοπούς ανάκτηση ενέργειας στα πλαίσια της στρωφής σε μια κυκλική οικονομία.

Summary

Anaerobic digestion is a biological process carried out by a heterogeneous group of organisms in anaerobic conditions, where the organic matter is degraded to simple compounds, producing biogas, from which can be produced electricity and heat. The use of biomass for energy production purposes encompasses all environmental, economic and social benefits arising from the use of renewable energy sources and if combined with the use of food waste as a substrate can additionally reduce the volume of waste that must be managed. Food waste management is an important problem as it has been allocated an annual of 173 kg food waste per European citizen. At present thesis has been performed an experimental study of improving the performance of an anaerobic digestion unit using food waste and natural minerals. The study was conducted through laboratory scale experiments which recorded the change in performance of anaerobic digestion of control samples (sludge) and mixtures of different percentages of food waste and sludge. The indicators used to evaluate the performance of the operating efficiency of the anaerobic digester was the amount of biogas produced and the methane content of biogas. The results obtained from the experiments were evaluated and then further tests were conducted at optimum food waste ratio using different mineral zeolite concentrations.

The results of the present study were encouraging towards the use of food waste in existing anaerobic treatment plant, suggesting selective collection at source of food waste, diversion from landfills and use as a secondary resource for energy recovery purposes through a transition to a circular economy.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Αντώνη Ζορπά για το ενδιαφέρον και την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Γεωργίου και τον κ. Χάρη Γεωργίου για την προθυμία, στήριξη και ευγενική παραχώρηση των εγκαταστάσεων του βιολογικού σταθμού της Cypra Ltd, όπου πραγματοποιήθηκε το πειραματικό κομμάτι της παρούσας μελέτης και της δυνατότητας χρήσης του εργαστηριακού εξοπλισμού. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Ανδρέου για την ευγενική παραχώρηση εργαστηριακού εξοπλισμού και το ενδιαφέρον που επέδειξε για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης. Ιδιαίτερος θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες τους κ. Δημήτρη Δαγκούλη και κ. Κωνσταντίνο Κουμή για το γνήσιο ενδιαφέρον, την άψογη συνεργασία και την ουσιαστική συμβολή τους στην πραγματοποίηση του πειραματικού τμήματος της παρούσας μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στο σύζυγο μου Γιώργο για την στήριξη και επιμονή του κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του μεταπτυχιακού προγράμματος, ιδιαίτερα κατά το τελευταίο έτος και την κατανόηση του για τις πολύτιμες ώρες που του στέρησα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Καταγραφή προβλήματος	2
1.2 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	2
1.3 Σκοποί και Στόχοι	5
1.4 Συνεισφορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις ενεργειακές ανάγκες στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Κύπρο	6
1.5 Τροφικά απόβλητα	7
1.5.1 Σύσταση, και πηγές δημιουργίας τροφικών αποβλήτων	8
1.5.2 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση	10
1.5.3 Δράσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά τα τροφικά απόβλητα	11
1.6 Μονάδα μελέτης αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	16
2.1 Εισαγωγή	16
2.2 Ιστορική Αναδρομή	16
2.3 Επισκόπηση Διαδικασιών Αναερόβιας Χώνευσης	18
2.3.1 Υδρόλυση	20
2.3.2 Οξεογένεση	20
2.3.3 Ακετογένεση	20
2.3.4 Μεθανογένεση	21
2.4 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αναερόβια Χώνευση	23
2.4.1 Λόγος Άνθρακα/Αζώτου (C/N)	23
2.4.2 Περιεκτικότητα σε Νερό	24
2.4.3 Θερμοκρασία	24
2.4.4 pH και Αλκαλικότητα	25
2.4.5 Ψηλή συγκέντρωση αμμωνίας	25
2.4.6 Υδρόθειο	26
2.4.7 Τοξικές Ουσίες	27
2.5 Επεξεργασία υποστρωμάτων πριν την αναερόβια χώνευση	28
2.5.1 Φυσικές μέθοδοι	29
2.5.2 Βιολογικές μέθοδοι	30
2.5.3 Χημικές μέθοδοι	31
2.6 Παράμετροι Λειτουργίας	31
2.6.1 Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής	31
2.6.2 Χρόνος Παραμονής Στερεών	32

2.6.3 Ποσοστό οργανικού φορτίου	33
2.6.4 Ανάμιξη	33
2.7 Διαχείριση στερεού χωνεμένου υπολείμματος-Κομποστοποίηση	34
2.7.1 Στάδια κομποστοποίησης	34
2.7.1.1. Μεσόφιλη φάση (25-40°C)	35
2.7.1.2. Θερμόφιλη φάση (40-75°C)	35
2.7.1.3. Δεύτερη μεσόφιλη φάση (25-40°C)	36
2.7.1.4. Ωρίμανση	36
2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής της αναερόβιας χώνευσης στην επεξεργασία αποβλήτων	37
2.9 Ζεόλιθος	38
2.9.1. Χημική δομή ζεόλιθου	38
2.9.2. Ταξινόμηση διαφορετικών δομών ζεόλιθου	39
2.9.3. Δημιουργία και γεωγραφική κατανομή ζεόλιθου	40
2.9.4. Ιδιότητες ζεόλιθου	41
2.9.5 Εφαρμογές και χρήσεις ζεόλιθου	41
2.10 Μοντελοποίηση απόδοσης αναερόβιας επεξεργασίας	43
2.11 Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων	44
2.12 Ευρωπαϊκή Ένωση και κυκλική οικονομία	55
2.13 Υφιστάμενη κατάσταση στη διαχείριση δημοτικών αποβλήτων στην Κύπρο	60
2.14 Ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων	61
2.14.1 Ποσοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων	62
2.14.2 Ποιοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων	63
2.14.3 Υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης δημοτικών αποβλήτων	68
2.15 Ποιοτικοί και ποσοτικοί στόχοι Κυπριακής Δημοκρατίας σχετικά με τη διαχείριση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των δημοτικών αποβλήτων και προτεινόμενες δράσεις	71
2.16 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	73
2.16.1. Αστικά στερεά και υγρά απόβλητα	73
2.16.2. Υπολείμματα γεωργοκτηνοτροφικών εργασιών	75
2.16.3. Οργανικά υπολείμματα βιομηχανικών εργασιών	75
2.16.4. Συγχώνευση διαφορετικών οργανικών υποστρωμάτων	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	81
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	81
3.1 Σκοπός	81
3.2 Στόχοι	81
3.3 Ερευνητικά ερωτήματα	82

3.4 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων	83
3.4.1 Εξοπλισμός ENSPAR Plus	83
3.4.2 Εξοπλισμός DragerSensor X-am 7000	85
3.4.3. Χημικές αναλύσεις σε παραμέτρους ενδιαφέροντος για υγρά λύματα	86
3.4.3.1 Βιοχημική και χημική απαίτηση σε οξυγόνο	86
3.4.3.2 pH	88
3.4.3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα	88
3.4.3.4 Ολικό άζωτο και άζωτο Kjeldal	88
3.4.3.5 Ολικός φωσφόρος	89
3.4.3.6 Ολικά στερεά, πτητικά στερεά, πτητικά λιπαρά οξέα	90
3.4.3.7 Ολικός ανόργανος και οργανικός άνθρακας	91
3.4.4 Πειραματική διαδικασία μελέτης μεταβολής απόδοσης βιοαερίου με προσθήκη αποβλήτου τροφίμων και ορυκτού ζεόλιθου	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	94
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	94
4.1 Μελέτη μειγμάτων 10%, 20% και 30% κατά όγκο τροφικών αποβλήτων	94
4.2 Μελέτη μειγμάτων 5%, 10% και 15% κατά όγκο τροφικών αποβλήτων	106
4.3 Μελέτη επίδρασης προσθήκης ορυκτού ζεόλιθου στη βέλτιστη αναλογία μείγματος τροφικού αποβλήτου.	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	124
ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ	124
5.1 Συζήτηση και συμπεράσματα	124
5.2 Εισηγήσεις	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και η διαχείριση αποβλήτων αποτελούν ολοένα και εντονότερα προβλήματα στη σύγχρονη κοινωνία ανά το παγκόσμιο. Η χρήση βιολογικών διεργασιών οι οποίες μπορούν να εφαρμοσθούν για σκοπούς αιωφόρου διαχείρισης αποβλήτων και παραγωγής ενέργειας αποτελούν ένα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης καθώς μελετώνται και χρησιμοποιούνται βιολογικές λειτουργίες οι οποίες συμβαίνουν ήδη στη φύση για μείωση του όγκου των αποβλήτων και ανάκτησης θρεπτικών υλών και ενέργειας από αυτά.

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια βιολογική διαδικασία η οποία πραγματοποιείται από μια ετερογενή ομάδα οργανισμών σε ανοξικά φυσικά περιβάλλοντα, όπου αποικοδομείται η οργανική ύλη σε απλούστερες ενώσεις παράγοντας συγχρόνως βιοαέριο το οποίο περιέχει κυρίως μεθάνιο (Pain and Hephherd, 1985). Από το βιοαέριο στη συνέχεια παράγεται ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η οργανική ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υπόστρωμα μπορεί να προκύψει από την βιομηχανία τροφίμων, την γεωργία, την κτηνοτροφία και τα αστικά λύματα. Η αναερόβια χώνευση υπερτερεί σε σχέση με άλλες τεχνολογίες λόγω του υψηλού ποσοστού ανάκτησης ενέργειας αλλά ταυτόχρονα η παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο περικλείει όλα τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αν συνδυαστεί με την χρήση τροφικών αποβλήτων ως υπόστρωμα μπορεί επιπρόσθετα να μειώσει τον όγκο των αποβλήτων που πρέπει να τύχουν διαχείρισης. Η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω των θεσμικών της οργάνων προωθεί την χρήση των βιολογικών αποβλήτων σαν δευτερογενή πόρο, στο πλαίσιο των μέτρων που προτείνονται με σκοπό τη μετάβαση σε μια πιο κυκλική οικονομία.

1.1 Καταγραφή προβλήματος

Η κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα η άνοδος της θερμοκρασίας είναι πλέον γεγονός. Τα τελευταία 150 χρόνια η άνοδος της θερμοκρασίας κατά 1°C περίπου έχει επιφέρει αλλαγές στο πρότυπο βροχόπτωσης, άνοδο στη μέση στάθμη της θάλασσας και λιώσιμο των πάγων στους πόλους της γης. Αν συνεχιστεί η άνοδος της θερμοκρασίας τότε η ανθρωπότητα θα βρεθεί αντιμέτωπη με ακραία καιρικά φαινόμενα καθώς κάποιες περιοχές της γης θα βρεθούν αντιμέτωπες με τον κίνδυνο της ερημοποίησης και κάποιες με πλημμύρες και καταιγίδες (ΕΕΑ,2008). Η παγκόσμια άνοδος της θερμοκρασίας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου κατά τον προηγούμενο αιώνα είχε αυξηθεί λόγω της εντατικοποίησης των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων που απαιτούσαν κατανάλωση ενέργειας. Κύρια πηγή ενέργειας αποτέλεσε από τον 20^ο αιώνα και έπειτα η καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Η καύση ορυκτών καυσίμων για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ικανοποίησης των αναγκών της βιομηχανίας, μεταφορών και αστικών περιοχών αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ανθρωπογενών εκλύσεων αερίων του θερμοκηπίου (ΕΕΑ, 2014a). Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις έθεσε σαν στόχο μέχρι το 2020 να μειωθούν τουλάχιστον κατά 20% οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τις εκπομπές που καταγράφηκαν το 1990, 20% της ενεργειακής κατανάλωσης να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Παράλληλα η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει χαράξει το στρατηγικό πλαίσιο βάση του οποίου πρέπει να γίνεται η διαχείριση των αποβλήτων στα κράτη μέλη και η εκτροπή των τροφικών αποβλήτων από τα σύμμεικτα απόβλητα ως στρατηγική δράση απορρέει από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/98 για τα απόβλητα και 1999/31 για την υγειονομική ταφή αποβλήτων.

1.2 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και 1979 και την ανάγκη για ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση αλλά και την συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται από την χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, η ανθρωπότητα έστρεψε τις προσπάθειές της στην εξεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Στη συνδιάσκεψη του ΟΗΕ στο Κιότο για το περιβάλλον και την βιώσιμη

ανάπτυξη τέθηκαν στόχοι ώστε να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση.

Η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ποσό ενεργειακών αναγκών μπορεί να βοηθήσει στην μείωση των αρνητικών επιπτώσεων που έχει στο περιβάλλον η χρήση ορυκτών καυσίμων για σκοπούς παραγωγής ενέργειας. Η αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όχι μόνο θα μειώσει την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου αλλά θα συνεισφέρει στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση των κρατών από τις πετρελαιοπαραγωγές χώρες (EEA, 2014b).

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον. Ετυμολογικά η βιομάζα προέρχεται από τη λέξη βίος (ζωή) και τη λέξη μάζα. Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, σύμφωνα με την Οδηγία 2001/77/ΕΚ. Αποτελεί σπουδαία πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα. Το βιοαέριο το οποίο προκύπτει από την αναερόβια χώνευση βιομάζας παράλληλα με την ανάκτηση του οργανικού υλικού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Ταυτόχρονα με την παραγωγή ενέργειας αποτελεί εναλλακτική λύση στο θέμα της ανάκτησης θρεπτικών υλικών από στερεά και υγρά απόβλητα.

Ταυτόχρονα, στο δυτικό κόσμο, η αυξημένη παραγωγή τροφίμων ζωικής και φυτικής προέλευσης απαιτεί τεράστια κατανάλωση φυσικών, χημικών και ενεργειακών πόρων. Οι εδαφικοί πόροι μετά την εκτεταμένη χρήση τους υποβαθμίζονται και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα επιμολύνονται με λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και άλλα χημικά τα οποία εκπλένονται στον υδροφόρο ορίζοντα. Δυστυχώς, το ένα τρίτο τουλάχιστον των τροφίμων που παράγονται για ανθρώπινη κατανάλωση ανά το παγκόσμιο, περίπου 1.3 δισεκατομμύρια τόνοι ετησίως, αποτελούν απώλειες στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων ή καταλήγουν στα απόβλητα (FAO, 2012). Τα τρόφιμα που καταλήγουν στα απόβλητα, όπως όλα τα απόβλητα πρέπει να τύχουν διαχείρισης. Διαδεδομένη πρακτική αποτελεί η απόθεση τους σε χώρους υγειονομικής ταφής αλλά σε μια τέτοια περίπτωση υπάρχει κίνδυνος για μόλυνση των εδαφών και των υπογείων υδάτων

δημιουργώντας κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Συγχρόνως, η χαμηλή διαθεσιμότητα και το υψηλό κόστος αγοράς γης σε περιοχές περιμετρικά των αστικών περιοχών καθιστά τη χρήση χώρων για υγειονομική ταφή αποβλήτων δαπανηρή και περιβαλλοντικά επικίνδυνη. Η καύση των αποβλήτων σαν τρόπος διαχείρισης τους, επιφυλάσσει κινδύνους για την μόλυνση του αέρα (DeLuca and DeLuca, 1997).

Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του οργανικού υλικού μέσω της ανάπτυξης μιας αειφόρας τεχνολογίας μπορεί να οδηγήσει στην αξιοποίηση των αποβλήτων τροφίμων. Τα απόβλητα τροφίμων αποτελούν σημαντική πηγή βιομάζας και είναι δυνατόν μέσω της αναερόβιας χώνευσης να παραχθεί βιοαέριο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης, εκτός από το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί εδαφοβελτιωτικό κομπόστ για εμπλουτισμό των εδαφών με θρεπτικά συστατικά (Ndegwa, and Thompson, 2001). Η χρήση των τροφικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας και κομπόστ μειώνει την σπατάλη πόρων που γίνεται όταν αυτοί χρησιμοποιούνται για παραγωγή τροφίμων μέρος τους καταλήγει στα απορρίμματα (Jeyabal and Kurpuswamy 2001).

Η ανάγκη για αξιοποίηση των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων, όπου συμπεριλαμβάνονται και τα τροφικά απόβλητα, ως δευτερογενής οικονομικός πόρος αποτυπώνεται στους στόχους της οδηγίας πλαισίου 2008/98 για τη θέσπιση ενός νομικού πλαισίου για την επεξεργασία αποβλήτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με την εφαρμογή αυτού του νομικού πλαισίου στόχος είναι η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, προσδίδοντας την απαραίτητη σημασία στην διαχείριση των αποβλήτων, την ανάκτηση και ανακύκλωση τους ώστε να μειωθεί η ανθρωπογενής πίεση στους φυσικούς πόρους και να μεγιστοποιηθεί η χρήση τους. Η προτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς τα κράτη μέλη για αλλαγή στις μεθόδους διαχείρισης των βιοαποικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων εκφράζεται μέσω συγκεκριμένων στόχων στην οδηγία 1999/31/EK η οποία υποχρεώνει τα κράτη μέλη να μειώσουν την ποσότητα βιοαποικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων τα οποία καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής σε κατά 35% μέχρι το 2016 σε σχέση με τις αντίστοιχες ποσότητες του 1995.

1.3 Σκοποί και Στόχοι

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η βελτίωση της απόδοσης ενός σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων ο οποίος βρίσκεται ήδη σε λειτουργία λαμβάνοντας υπόψη τους τρεις πυλώνες της αειφορίας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια για βελτίωση της απόδοσης του σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων μέσω της αλλαγής της σύνθεσης του υποστρώματος στην εισροή του αναερόβιου χωνευτήρα με χρήση τροφικών αποβλήτων. Ταυτόχρονα, γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν συμπεράσματα από την μεταβολή των χημικών παραμέτρων χαρακτηρισμού των αποβλήτων πριν και μετά των εμπλουτισμό του υφιστάμενου υποστρώματος με τροφικά απόβλητα. Η βελτίωση της απόδοσης του σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων εκφράζεται μέσω της αύξησης της ποσότητας και βελτίωσης της ποιότητας του παραγόμενου βιοαερίου κάτι που θα επιφέρει οικονομικά οφέλη στην επιχείρηση αλλά και θα προτείνει νέους τρόπους για την ενίσχυση της συνεισφοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου, με σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Παράλληλα, μελέτη της επίδρασης της αλλαγής στη σύσταση του υποστρώματος στην εισροή του αναερόβιου χωνευτήρα με χρήση υπολειμμάτων τροφίμων, μπορεί να δώσει εναλλακτικές λύσεις ώστε να αξιοποιηθεί κατάλληλα ένα σημαντικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων, λύνοντας τόσο το πρόβλημα διαχείρισης τους όσο και μειώνοντας τη σπατάλη οργανικής ύλης και ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τους. Η επίτευξη ενός τέτοιου στόχου θα έχει σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

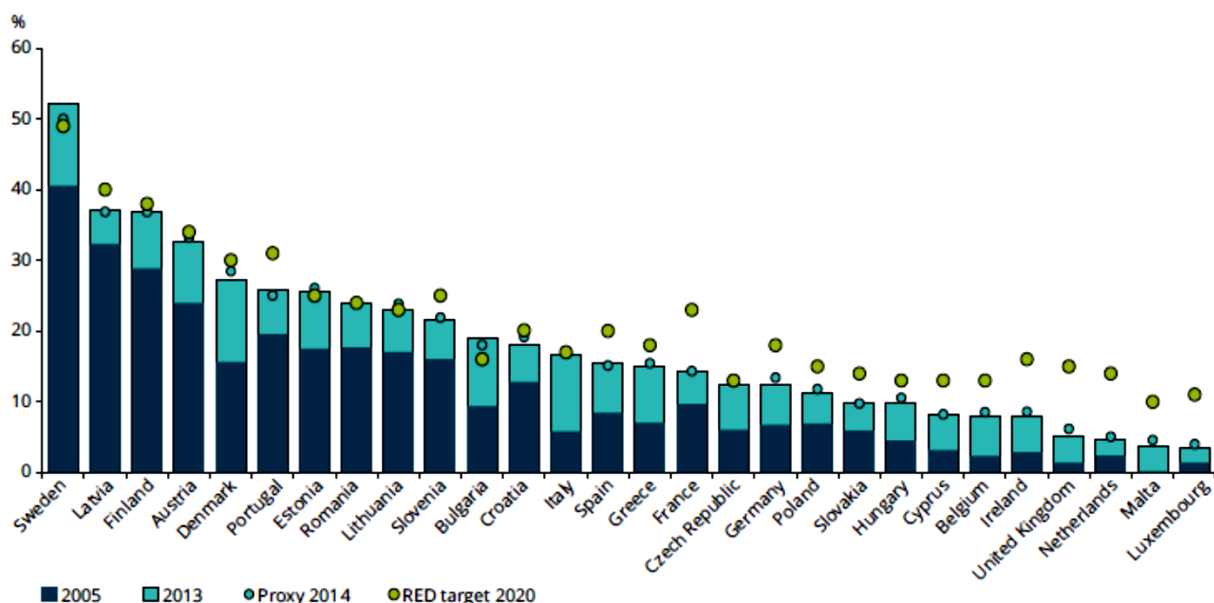
Η εκτροπή των τροφικών αποβλήτων από τα σύμμεικτα απόβλητα σε υφιστάμενες μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων μπορεί να αποτελέσει στρατηγική δράση για επίτευξη των στόχων της Κυπριακής Δημοκρατίας όπως απορρέουν από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/98 για τα απόβλητα και 1999/31 για την υγειονομική ταφή αποβλήτων.

1.4 Συνεισφορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις ενεργειακές ανάγκες στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Κύπρο

Η αύξηση της συνεισφοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αποτελεί βασική συνισταμένη για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων που έχει θέσει για το 2020. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς η χρήση τους σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας ασκεί 3 με 10 φορές λιγότερες πιέσεις στο περιβάλλον (UNEP,2015). Επιπρόσθετα, η σημαντική απεξάρτηση από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων από τρίτες χώρες αναμένεται να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας καθώς και να αυξήσει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα των ευρωπαϊκών χωρών στις οικονομικές συναλλαγές και στις εξαγωγές.

Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος σχετικά με τη συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2016), αν και οι ενεργειακοί στόχοι ανά χώρα μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαφέρουν, στο σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο διάγραμμα 1.1, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μερίδιο συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο κρατικό ενεργειακό τους ισοζύγιο κατέχουν χώρες όπως η Σουηδία, η Λετονία και η Φινλανδία. Τα μικρότερα ποσοστά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη συνολική ενεργειακή τους απαίτηση κατέχουν το Λουξεμβούργο, η Μάλτα και η Ολλανδία. Επίσης, υπάρχουν χώρες όπως η Σουηδία, Εσθονία, Ρουμανία, Λιθουανία, Βουλγαρία που έχουν προσεγγίσει τους στόχους για αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του 2020. Στην Κύπρο, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος σχετικά με τη συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2016), το 2005 η συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ήταν 3,1% ενώ το 2013 ανέβηκε στο 8,1%. Σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat (2014), κατά τη χρονιά 2014 στην Κύπρο παράχθηκε ενέργεια 111 χιλιάδων τόνων ισοδύναμου πετρελαίου, δηλαδή το 9% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της χώρας. Από αυτή την ποσότητα το μεγαλύτερο ποσοστό κοντά στο 60% προήλθε από ηλιακή θερμική ενέργεια, το 14% από αιολική ενέργεια, το 10% από βιοαέριο, το 7,8% από βιοκαύσιμα,

το 6,5% από φωτοβολταϊκά και λιγότερο από 2% από γεωθερμία. Ο στόχος της Κύπρου για το 2020 είναι το ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ανέλθει στο 13%.



Note: The dark blue bars show the RES shares in 2005. The tops of the light blue bars show the levels that the RES shares reached in 2013.

Διάγραμμα 1.1. Πραγματικό και εκτιμώμενο μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EEA,2016)

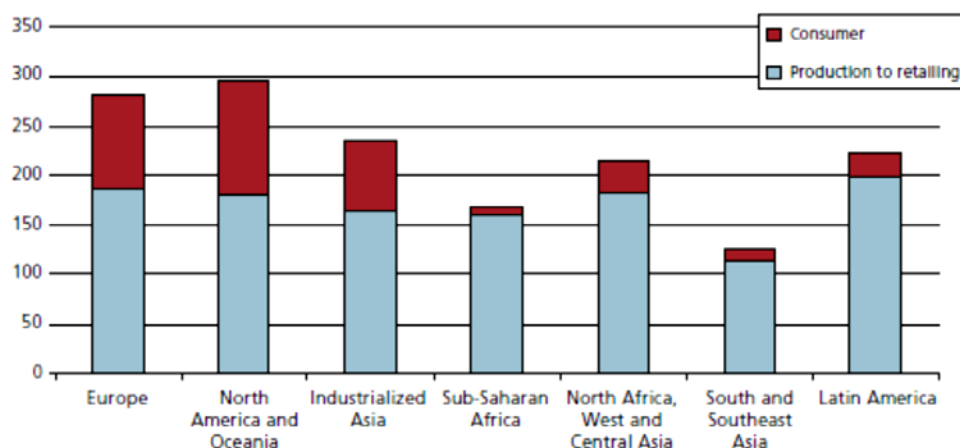
1.5 Τροφικά απόβλητα

Τα τροφικά απόβλητα συνιστούν ένα σύγχρονο πολυδιάστατο πρόβλημα με περιβαλλοντικές πτυχές καθώς συνδέεται με θέματα ενέργειας, κλιματικής αλλαγής, σπατάλη νερού και φυσικών πόρων, με οικονομικές πτυχές καθώς συνδέεται με χρήση φυσικών πόρων, κόστος παραγωγής και με κοινωνικές πτυχές καθώς σχετίζεται με θέματα υγείας και ίσης πρόσβασης σε τρόφιμα. Σε ερευνητικές μελέτες έχει διατυπωθεί ότι περίπου το 1/3 μέχρι 1/2 της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων δεν καταναλώνεται, είτε λόγω απωλειών στην αλυσίδα τροφοδοσίας είτε γιατί καταλήγει στα απόβλητα (Gustavsson et al, 2011, Bio Intelligence study, 2010). Το ποσοστό αυτό είναι τόσο μεγάλο ώστε να δημιουργείται ισχυρή πίεση για αποτροπή και μείωση των τροφικών αποβλήτων στα πλαίσια της μετάβασης σε ένα ευρωπαϊκό οικονομικό μοντέλο αποτελεσματικής και αειφόρου αξιοποίησης των φυσικών πόρων.

1.5.1 Σύσταση, και πηγές δημιουργίας τροφικών αποβλήτων

Στη μελέτη των Parfitt et.al (2010) γίνεται διαχωρισμός των συνιστωσών που αποτελούν τα τροφικά απόβλητα, δηλαδή τις απώλειες τροφίμων και τα φαγητά που καταλήγουν στα απορρίμματα. Οι απώλειες τροφίμων συμβαίνουν κατά την συγκομιδή, παραγωγή, μεταποίηση τροφίμων και όταν οι απώλειες αυτές συμβαίνουν στο τέλος της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, κατά τη μεταπώληση και στα νοικοκυριά, τότε χαρακτηρίζονται σαν απορρίμματα.

Στο Διάγραμμα 1.2, φαίνεται η παραγωγή τροφικών αποβλήτων, τόσο από απώλειες όσο και από απόρριψη στα σκουπίδια, σε κιλά ανά κάτοικο ανά έτος στην υφήλιο. Από το Διάγραμμα 1.2 γίνεται φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό τροφίμων που χάνονται εντοπίζεται στο τμήμα της παραγωγής σε όλες τις περιοχές μελέτης. Βέβαια, εντός των περιοχών μελέτης, γίνεται φανερό ότι στην Ευρώπη σπαταλούνται ετήσια 95-115kg τροφίμων ανά κάτοικο, σε αντίθεση με την υποσαχάρια Αφρική όπου το αντίστοιχο μέγεθος είναι μόλις 6-11kg (FAO, 2011).

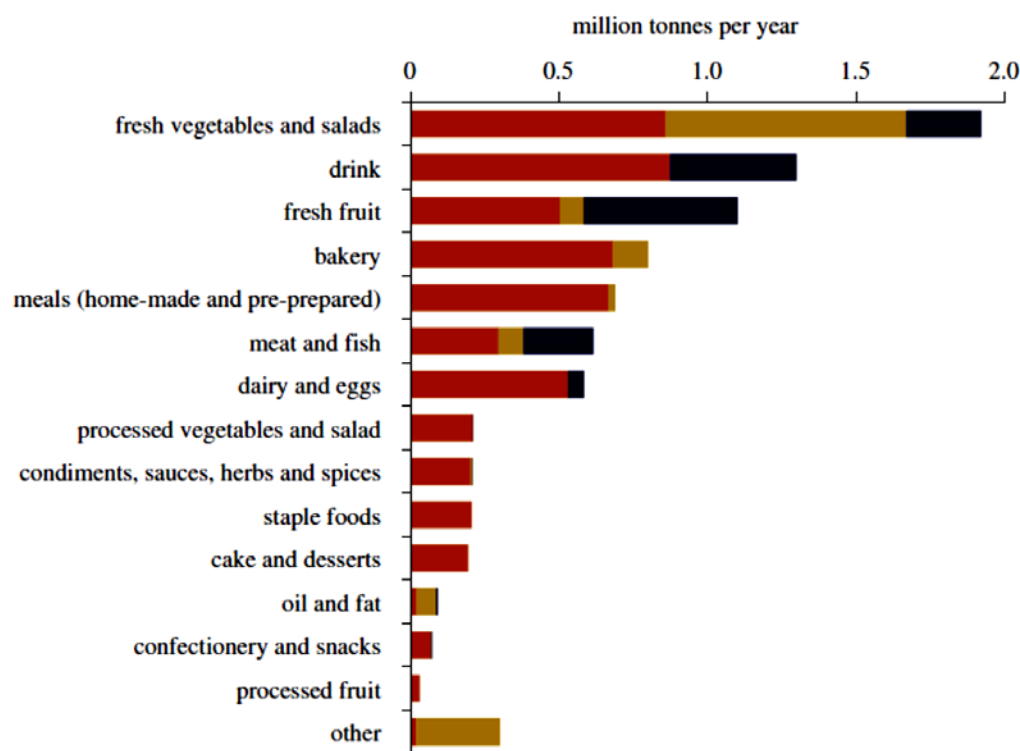


Διάγραμμα 1.2. Απώλεια και απορρίμματα τροφίμων στα στάδια παραγωγής και κατανάλωσης, ανά σε κιλά ανά κάτοικο ανά χρόνο (FAO, 2011).

Σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος σχετικά με την τροφική αλυσίδα από την παραγωγή στην κατανάλωση και στην σπατάλη (EEA, 2014c) αναλογούν 180kg τροφικών αποβλήτων ανά ευρωπαϊό πολίτη ετησίως. Οι πηγές των τροφικών αποβλήτων περιλαμβάνουν την παραγωγή, την μεταπώληση, τις υπηρεσίες σίτισης και τα νοικοκυριά. Κατά τις παραγωγικές διαδικασίες, όπου παράγεται το 39% των τροφικών αποβλήτων απορρίπτονται ποσότητες τροφίμων λόγω ελαττωματικής συσκευασίας, ατυχημάτων ή μέρος των τροφίμων αποτελούν παραπροϊόντα όπως

κόκκαλα. Κατά την μεταφορά και μεταπώληση παρατηρούνται απώλειες λόγω αλλοίωσης των τροφίμων εξαιτίας ακατάλληλων συνθηκών φύλαξης ή τήρησης υπερβολικού αποθέματος σε σχέση με τις ανάγκες του αγοραστικού κοινού, σε ποσοστό 5% επί του συνόλου των τροφικών αποβλήτων. Σε υπηρεσίες σίτισης παράγονται τροφικά απόβλητα λόγω του ότι δεν δίνονται διαφορετικές επιλογές στο μέγεθος της μερίδας ή δεν γίνεται σωστή πρόβλεψη των διατροφικών προτιμήσεων του κοινού ή δεν επιτρέπεται στους πελάτες και στους εργαζόμενους να πάρουν τα υπολείμματα των φαγητών αλλά και κατά την διαδικασία ετοιμασίας των εδεσμάτων. Το ποσοστό συνεισφοράς των υπηρεσιών σίτισης στα τροφικά απόβλητα υπολογίζεται 14%. Στα νοικοκυριά παράγεται το 42% των τροφικών αποβλήτων λόγω της αγοράς υπερβολικών ποσοτήτων, της ετοιμασίας πολύ μεγάλων μερίδων φαγητού που καταλήγουν στα σκουπίδια, των υπολειμμάτων που αναπόφευκτα προκύπτουν κατά την ετοιμασία του φαγητού όπως φλούδες φρούτων και υπολείμματα λαχανικών και της σύγχυσης που επικρατεί σχετικά με την σήμανση «ημερομηνία λήξης» και «ανάλωση κατά προτίμηση πριν από».

Η σύσταση των τροφικών αποβλήτων διαφέρει από χώρα σε χώρα ανάλογα με τα διατροφικά πρότυπα, όπως φαίνεται σε μελέτη των Parfitt et.al (2010), όπου πρόκυψε ότι το ποσοστό ιδιαίτερα των λαχανικών, φρούτων, γαλακτοκομικών και αυγών διαφέρει πολύ σε διαφορετικές χώρες, καθιστώντας την ομάδα αυτή των αποβλήτων ετερογενή. Στο Διάγραμμα 1.3, φαίνεται ότι το κυριότερο τμήμα των αποβλήτων στα νοικοκυριά του Ηνωμένου Βασιλείου αποτελείται από λαχανικά, ποτά, φρούτα και είδη αρτοποιείας.



Διάγραμμα 1.3. Σύσταση τροφικών αποβλήτων από οικιακή κατανάλωση στο Ηνωμένο Βασίλειο και περαιτέρω διαχωρισμός των τροφικών κατηγοριών στο βαθμό αποφυγής τους. Το καφέ χρώμα παριστάνει το ποσοστό που μπορούσε να αποφευχθεί, το κίτρινο αυτό που πιθανά μπορούσε να αποφευχθεί και το μαύρο αυτό που δεν μπορούσε να αποφευχθεί (WRAP, 2009).

1.5.2 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην προκαταρκτική μελέτη του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για τα τροφικά απόβλητα (2010), αναφέρεται ότι εκτός από τη σύσταση, σε κάθε χώρα διαφέρει και το ποσοστό που προκύπτει από κάθε τομέα της αλυσίδας τροφίμων. Σύμφωνα με στοιχεία της προκαταρκτικής μελέτης, στην Κύπρο το 2006 οι τόνοι τροφικών αποβλήτων από εργοστάσια παραγωγής, αλυσίδα διανομής συμπεριλαμβανομένων και των υπεραγορών και υπηρεσίες σίτισης και εστιατόρια ήταν αντίστοιχα 186 917, 7 872 και 13 549. Το ίδιο έτος οι τόνοι τροφικών αποβλήτων από τα νοικοκυριά υπολογίστηκαν σε 3832.

Οι δυσκολίες στην παρουσίαση συνολικών δεδομένων που αφορούν τα τροφικά απόβλητα στα κράτη μέλη επισημαίνονται σε πρόσφατη έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου γίνεται για πρώτη φορά προσπάθεια παρουσίασης της συνολικής εικόνας στον τομέα των τροφικών αποβλήτων, καθώς σε διάφορες μελέτες υπάρχουν αντικρουόμενοι ορισμοί σχετικά με τα τροφικά απόβλητα και με διαφορετικές τεχνικές

συλλογής δεδομένων (Fusions, 2016). Για τους σκοπούς μελέτης της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως τροφικά απόβλητα (Food Waste) ορίζονται τα τρόφιμα και τα μη εδώδιμα μέρη των τροφίμων που αφαιρούνται από την αλυσίδα εφοδιασμού (όπου στην αλυσίδα εφοδιασμού περιλαμβάνονται τα στάδια παραγωγής, επεξεργασίας, διανομής και κατανάλωσης) και μπορούν να αξιοποιηθούν ή να διατεθούν προς κομποστοποίηση, σε καλλιέργειες, αναερόβια χώνευση, παραγωγή βιοενέργειας, συμπαραγωγή, αποτέφρωση, διάθεση στο αποχετευτικό δίκτυο, χώρους υγειονομικής ταφής ή απόρριψης στη θάλασσα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης εκτιμάται ότι τα τροφικά απόβλητα στα κράτη μέλη για το 2012 ήταν 88 εκατομμύρια τόνοι, δηλαδή 173 κιλά τροφικά απόβλητα ανά ευρωπαίο πολίτη. Για το 2011 όπου είχε παραχθεί περίπου 865kg τροφίμων ανά άτομο, δηλαδή περίπου το 20% αυτής της ποσότητας σπαταλήθηκε. Η μεγαλύτερη σπατάλη αφορά των οικιακό τομέα (47 εκατομμύρια τόνοι +/- 4 εκατομμύρια τόνοι), στη συνέχεια την επεξεργασία (17 εκατομμύρια τόνοι +/- 13 εκατομμύρια τόνοι), τις υπηρεσίες σίτισης (11 εκατομμύρια τόνοι), την πρωτογενή παραγωγή (9 εκατομμύρια τόνοι) και από την χονδρική και λιανική πώληση (5 εκατομμύρια τόνοι). Τα στοιχεία αυτά αποτελούν εκτιμήσεις που προκύπτουν στοιχεία από ορισμένα κράτη μέλη τα οποία μπορούσαν να συλλέξουν και να παραδώσουν στοιχεία και πρέπει να υπάρξει περαιτέρω μελέτη καθώς είναι μικρός ο αριθμός κρατών μελών που έχουν διαθέσιμα τέτοια στοιχεία και αναμένεται ανομοιογένεια στα αποτελέσματα μεταξύ των κρατών. Η Κύπρος συγκαταλέγεται στα κράτη μέλη από τα οποία δεν έχουν συμπεριληφθεί στοιχεία στη μελέτη αυτή.

Τα υψηλά ποσοστά φαγητού που καταλήγουν στα σκουπίδια μεταφράζονται σε σπατάλη εδαφικών, υδάτινων και ενεργειακών πόρων αλλά και σε αυξημένες ανάγκες διαχείρισης αποβλήτων. Η διαχείριση του προβλήματος αυτού μπορεί να περιλαμβάνει προσπάθειες τόσο για τη μείωση τους όσο και την εναλλακτική διαχείριση τους μέσω της παραγωγής βιοαερίου.

1.5.3 Δράσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση σχετικά τα τροφικά απόβλητα

Η ανάληψη δράσεων διαχείρισης των τροφικών αποβλήτων από την Ευρωπαϊκή Ένωση, κρίνεται ως αναγκαία καθώς παρουσιάζει μεγάλο δυναμικό για την ελάττωση της σπατάλης φυσικών πόρων, εξοικονόμηση χρημάτων και μείωση περιβαλλοντικού

αντίκτυπου από την παραγωγή και διαχείριση των τροφίμων ως απόβλητα. Η αποτροπή δημιουργίας τροφικών αποβλήτων και η διαχείριση τους αποτελεί τμήμα του σχεδίου δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία που θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα και την αειφόρο ανάπτυξη. Στις δράσεις αυτές περιλαμβάνεται και η προτεινόμενη αναθεώρηση του θεσμικού πλαισίου και της οδηγίας πλαίσιο 2008/98 σχετικά με τη διαχείριση αποβλήτων όπου μεταξύ άλλων τα κράτη μέλη καλούνται να αναλάβουν δράση για τη μείωση των αποβλήτων τροφίμων σε κάθε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, να παρακολουθεί τα επίπεδα των αποβλήτων τροφίμων και να υποβάλουν τακτικές εκθέσεις προόδου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση και τα κράτη μέλη έχουν δεσμευτεί για την επίτευξη του στόχων αειφόρου ανάπτυξης, όπως αυτοί υιοθετήθηκαν το 2015, όπου περιλαμβάνεται ο στόχος μείωσης στο μισό της σπατάλης τροφίμων ανά κάτοικο σε επίπεδο λιανικής πώλησης και τελικού καταναλωτή μέχρι το 2030 και μείωσης των απωλειών τροφίμων κατά την παραγωγή, επεξεργασία και διανομή. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προκειμένου να υποστηρίξει την επίτευξη αυτού του στόχου σκοπεύει να αναπτύξει και να επεξεργαστεί ενιαία μεθοδολογία μέτρησης των τροφικών αποβλήτων, να αναπτύξει και να διευρύνει την χρήση της Ευρωπαϊκής Πλατφόρμας για τις απώλειες τροφίμων και τα τροφικά απόβλητα, να προωθήσει τη λήψη μέτρων για την αποσαφήνιση της νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τα απόβλητα, τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές, να διευκολύνει τη δωρεά τροφίμων και χρήση πρώην τροφίμων και υποπροϊόντων από την αλυσίδα τροφίμων για την παραγωγή ζωοτροφών χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια τροφίμων. Επίσης, δεσμεύεται να εξετάσει τρόπους για τη βελτίωση της χρήσης και του βαθμού κατανόησης από τους καταναλωτές της επισήμανσης «ανάλωση κατά προτίμηση πριν " στα προϊόντα που αφορούν τη σίτιση.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει να συνεργαστεί με τα κράτη μέλη και τη βιομηχανία, τους καταναλωτές και άλλες ΜΚΟ, εμπειρογνώμονες στον τομέα των τροφίμων και των εμπειρογνώμωνων πολιτικής των κρατών μελών τρόπους να μειώσει τα απόβλητα των τροφίμων, χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια των τροφίμων και επιλογές για πιθανές ενέργειες της ΕΕ συζητούν. Η συνεργασία με τους ενδιαφερόμενους φορείς θα αποτελέσει αιχμή του δόρατος στον τομέα της πρόληψης των αποβλήτων τροφίμων.

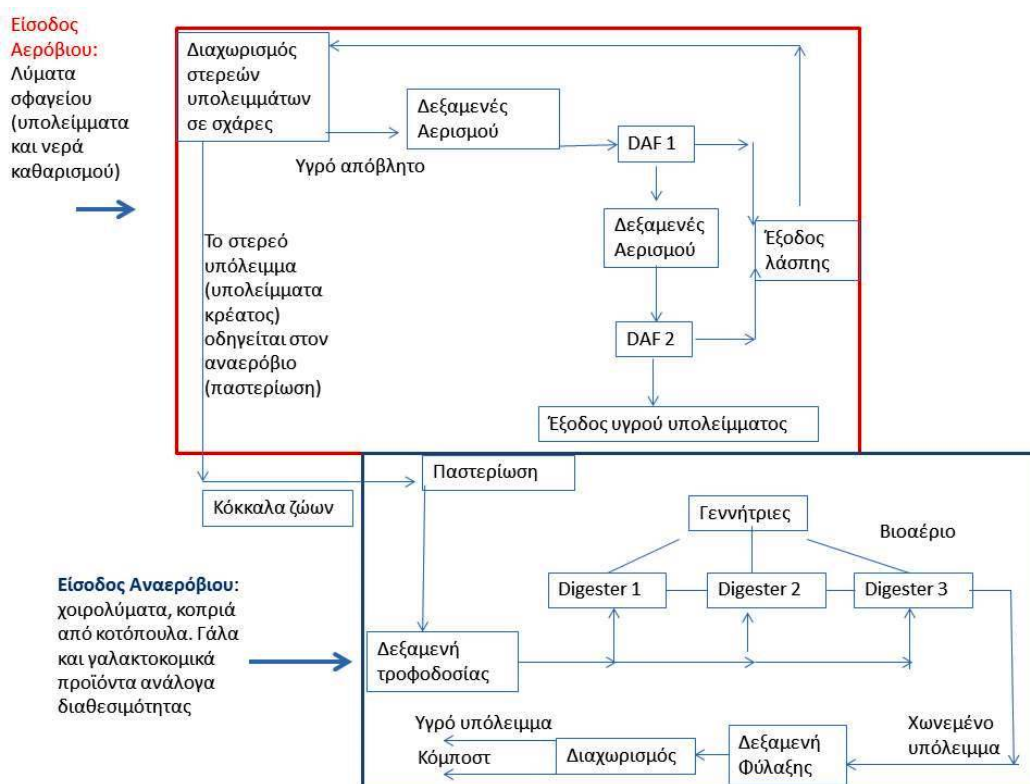
1.6 Μονάδα μελέτης αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων

Η μελέτη βελτίωσης απόδοσης βιολογικού σταθμού επεξεργασίας αποβλήτων αφορά την μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων Cypra Ltd η οποία βρίσκεται στην περιοχή Άγιοι Ηλιόφωτοι. Η μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων Cypra Ltd λειτουργεί από το 2010 με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής ενέργειας και εδαφοβελτιωτικού κομπόστ (ΑΤΛΑΝΤΙΣ, 2010). Ο σταθμός αναερόβιας επεξεργασίας μεταξύ άλλων διαχειρίζεται τα 10 500m³ οργανικά απόβλητα που προκύπτουν ετήσια από τη λειτουργία του σφαγείου το οποίο λειτουργεί σε γειτονικό χώρο.

Με βάση στοιχεία που έχουν παραχωρηθεί από το σφαγείο Cypra Ltd, το σφαγείο επεξεργάζεται 400 000 ζώα το χρόνο (χοίρους, βοοειδή και αρνιά). Τα υγρά απόβλητα του σφαγείου στα οποία περιλαμβάνονται στερεά υπολείμματα από την επεξεργασία του κρέατος, υγρά πλυσίματος των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού και αίμα οδηγούνται στην μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας και στη συνέχεια στη μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας.

Στην μονάδα λειτουργούν τρεις αναερόβιοι χωνευτήρες συνολικού όγκου 13 000m³. Συνολικά η τροφοδοσία των χωνευτήρων ανέρχεται στους 420m³ ημερησίως. Η ημερήσια σύσταση στην είσοδο του χωνευτήρα είναι η εξής: 40m³ υγρά απόβλητα του σφαγείου μετά από αερόβια επεξεργασία, 25-30 m³ κόκκαλα αφού παστεριωθούν, 15-16m³ φρέσκα κοπριά από κοτόπουλα, 6m³ ξηρή κοπριά από κοτόπουλα και η υπόλοιπη ποσότητα χοιρολύματα από γειτονικά χοιροστάσια. Συμπληρωματικά, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα η τροφοδοσία μπορεί να περιλαμβάνει 2-3m³ ληγμένο γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα την εβδομάδα. Τα λύματα αναμιγνύονται σε μια δεξαμενή τροφοδοσίας χωρητικότητας 1000m³ και στη συνέχεια οδηγούνται σε τρεις χωνευτήρες, οι δύο είναι χωρητικότητας 5000m³ και ένας χωρητικότητας 3000m³. Υπολογίζεται ότι ο χρόνος παραμονής της λυματολάσπης στο χωνευτήρα είναι 28 ημέρες. Από τους τρεις χωνευτήρες το βιοαέριο συλλέγεται και οδηγείται στις γεννήτριες για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και το χωνεμένο στερεό υπόλειμμα οδηγείται με μια δεξαμενή φύλαξης 1000 m³ όπου στη συνέχεια θα γίνει διαχωρισμός και παραγωγή κομπόστ (Διάγραμμα 1.4).

Το 2014 η παραγωγή βιοαερίου και στη συνέχεια μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια απέδωσε 16 311 398 kWh. Καλύφθηκαν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του σφαγείου που ήταν 5 105 000 kWh και το πλεόνασμα ενέργειας πωλήθηκε στην Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (Πίνακας 1.1).



Διάγραμμα 1.4 Διαγραμματική απεικόνιση αερόβιας και αναερόβιας επεξεργασίας

Πίνακας 1.1 Ετήσια (2011-2015) και μηνιαία (Γενάρης 2016-Ιούνιος 2016) παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.

CYPRA 8 GENERATORS MONTHLY PRODUCTION		
PERIOD	BIOGAS CHP METERS	ELECTRICAL POWER KWH
YEAR 2015	6.650.261	15.230.505
YEAR 2014	6.412.170	15.311.398
YEAR 2013	6.400.486	15.037.221
YEAR 2012	6.487.985	15.823.108
YEAR 2011	6.602.733	15.951.468
JAN 2016	593.104	1.402.078
FEB 2016	584.279	1.363.092
MAR 2016	549.261	1.282.856
APR 2016	481.298	1.129.501
MAY 2016	496.662	1.182.400
JUN 2016	528.397	1.259.253

Πίνακας 1.2 Μηνιαία (Ιανουάριος 2015-Ιούνιος 2016) παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας, και σύσταση βιοαερίου.

ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ(Μ3)	%CH4	%CO2	%O2	ppmH2S	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWH)
Ιαν-15	539,097	62	32	0,2	480	1295,239
Φεβ-15	486,346	60	31	0,2	480	1170,892
Μαρ-15	590,63	64	30	0,3	484	1411,882
Απρ-15	526,377	58	33	0,8	260	1241,162
Μαϊ-15	578,258	57	30	0,7	262	1298,967
Ιουν-15	546,538	56	30	0,9	355	1211,106
Ιουλ-15	582,53	56	30	0,7	315	1273,895
Αυγ-15	583,731	58	30	1,2	394	1270,403
Σεπ-15	515,576	47	30	0,5	159	1144,9
Οκτ-15	549,718	61	32	0,4	286	1232,084
Νοε-15	539,759	61	32	0,3	267	1246,305
Δεκ-15	611,701	62	35	0,3	405	1433,67
Ιαν-16	593,104	61	35	0,3	446	1402,078
Φεβ-16	584,279	61	34	0,3	409	1363,092
Μαρ-16	549,261	61	33	0,52	275	1282,856
Απρ-16	481,298	62	32	0,3	347	1129,501
Μαϊ-16	496,662	62	31	0,4	232	1182,4
Ιουν-16	528,397	63	31	0,4	329	1259,253

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η αναερόβια χώνευση είναι η διαδικασία αποσύνθεσης οργανικής ύλης από μια ομάδα μικροοργανισμών σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου (Pain and Herperd, 1985). Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα στη φύση σε διάφορα περιβάλλοντα με ανοξικές συνθήκες, όπως υπόγεια ύδατα, ιζήματα ακόμη και στο πεπτικό σύστημα των θηλαστικών. Η φυσική αυτή διαδικασία μπορεί να συνεισφέρει στο ενεργειακό ισοζύγιο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αλλά και στη μείωση του όγκου των αποβλήτων. Αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική μέθοδο παραγωγής ενέργειας καθώς μπορεί να τύχουν επεξεργασίας πολλές κατηγορίες οργανικών αποβλήτων, χωρίς τη χρήση ορυκτών καυσίμων των οποίων το οικονομικό κόστος αυξάνεται συνεχώς.

Το βιοαέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση αποτελείται από 48-65% μεθάνιο (CH_4), 36-41% διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μέχρι 17% άζωτο (N_2), <1% οξυγόνο (O_2), 32-169ppm υδρόθειο (H_2S) (Rasi et al., 2007).

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτες καταγραφές για τη χρήση της αναερόβιας χώνευσης ανάγονται στην εποχή των Σουμέριων το 3000 π.Χ. Στο βιβλίο του Μάρκο Πόλο «το βιβλίο των θαυμάτων» καταγράφεται ότι στην αρχαία Κίνα χρησιμοποιούνταν καλυμμένες δεξαμενές για να αποθηκεύονται λύματα. Επιπρόσθετα, ιστορικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι τη χρήση βιοαερίου για τη θέρμανση νερού από τους Ασσύριους κατά το 10^ο αιώνα π.Χ. και από τους Πέρσες κατά τον 16^ο αιώνα (Kennes and Veiga, 2013:321-323).

Η πρώτη διαπίστωση ότι εύφλεκτα αέρια παράγονται κατά την αποσύνθεση οργανικής ύλης έγινε κατά τον 17^ο αιώνα από τον Jan Baptista van Helmont. Κατά το 1682 ο

Robert Boyle και ο μαθητής του Denis Papin μελέτησαν το ενδεχόμενο παραγωγής εύφλεκτου αερίου από την αποσύνθεση ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων. Το 1776 ο Alessandro Volta κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε άμεση συσχέτιση του παραγόμενου αερίου και της ποσότητας της αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης (Tietjen, 1975).

Η ακριβής χημική δομή του μεθανίου έγινε το 1804 από τον John Dalton. Από το 1808 έγινε δυνατή η παραγωγή, μεθανίου από κοπριά αγελάδας σε εργαστηριακές συνθήκες από τον Humphry Davy. Κατά το 1856 ο Jules Reiset εξήγησε το φαινόμενο της αποικοδόμησης του οργανικού υλικού και την ταυτόχρονη παραγωγή μεθανίου. Οι ερευνητικές προσπάθειες συνεχιστήκαν τα επόμενα χρόνια από τον Louis Pasteur ο οποίος το 1884 επιχείρησε την παραγωγή βιοαερίου από κοπριά αλόγου. Κατά τη διενέργεια των πειραμάτων καταγράφηκε παραγωγή 100 λίτρων μεθανίου ανά κυβικό μέτρο κοπριάς, αφού αυτή είχε αναμιχθεί με νερό θερμοκρασίας 35°C σε αναερόβιες συνθήκες. Τα εντυπωσιακά αποτελέσματα της μελέτης του οδήγησαν τον Louis Pasteur να προτείνει την φωταγώγηση των δρόμων του Παρισιού αλλά και την κάλυψη αναγκών για θέρμανση με τη χρήση βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση κοπριάς.

Η κατασκευή του πρώτου αναερόβιου χωνευτήρα πιθανά να έχει πραγματοποιηθεί το 1859 για σκοπούς παραγωγής ενέργειας σε νοσοκομείο λεπρών στην Βομβάη. Κατά την ίδια χρονική περίοδο άρχισε να χρησιμοποιείται στην Γαλλία η χρήση κλειστών αεροστεγών θαλάμων για τη αναερόβια χώνευση αστικών λυμάτων (Gijzen, 2002). Υπάρχουν ιστορικά στοιχεία που δείχνουν ότι πιθανά προηγήθηκε η κατασκευή αναερόβιου χωνευτήρα στη Νέα Ζηλανδία το 1840. Το 1890 ο Donald Cameron στη Μεγάλη Βρετανία σχεδίασε ένα κλειστό αναερόβιο χωνευτήρα ο οποίος παρήγαγε μεθάνιο από τον οποίο ήταν δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Karl Imhoff κατασκεύαζε μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στη Γερμανία. Κατασκεύαζε την δικής του έμπνευσης «δεξαμενή Imhoff» με ξεχωριστά διαμερίσματα για καθίζηση και χώνευση. Μέχρι το 1930 η χρήση δεξαμενών αναερόβιας χώνευσης για επεξεργασία λυμάτων σε μεσόφιλες συνθήκες είχε διαδοθεί σε μεγάλες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες.

Μετά το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου η παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο έχασε έδαφος συγκριτικά με τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Μετά την ενεργειακή κρίση του 1973 και την αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων επανήλθε το ενδιαφέρον

για την παραγωγή ενέργειας από την αναερόβια χώνευση (Gijzen, 2002). Το ενδιαφέρον για την πρακτική εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης ενισχύθηκε από την αυξανόμενη ανάγκη για διαχείριση των αποβλήτων από αστικές και βιομηχανικές χρήσεις αλλά και την ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

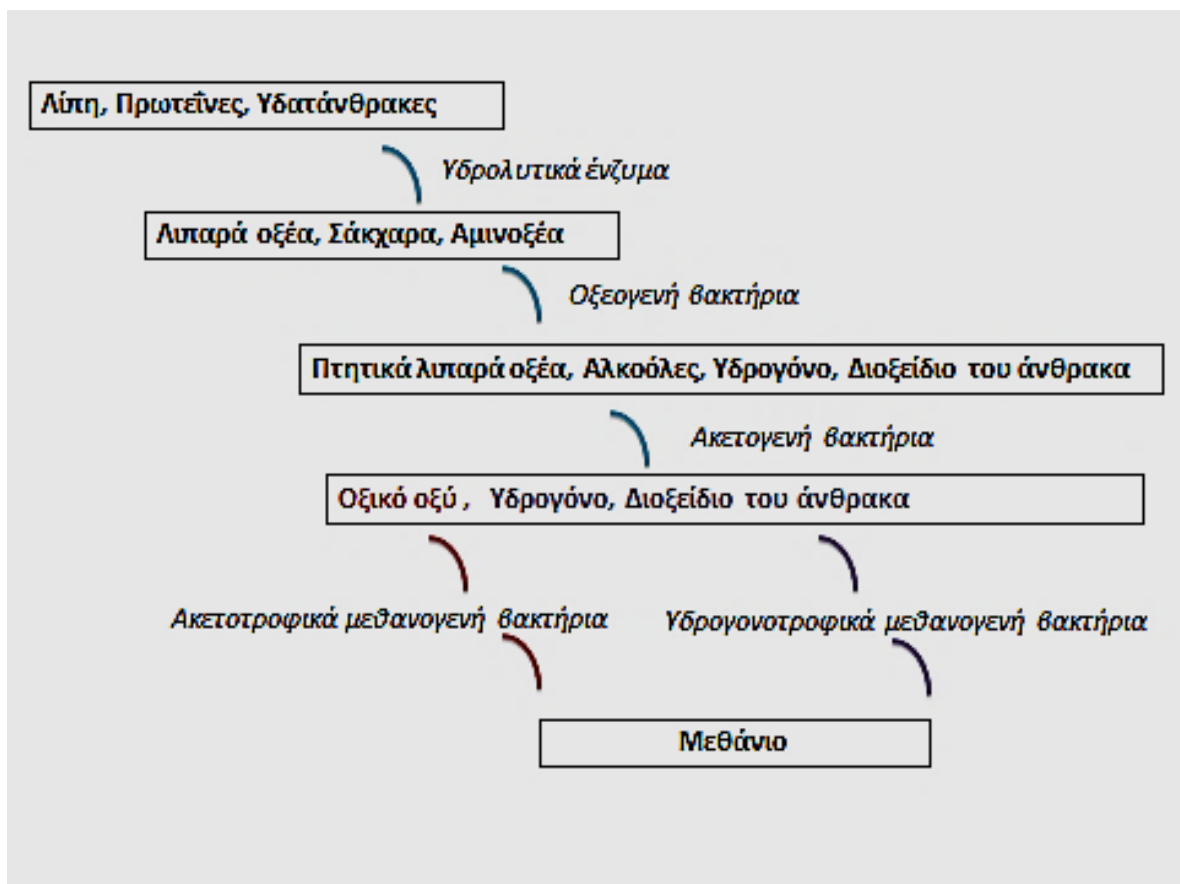
2.3 Επισκόπηση Διαδικασιών Αναερόβιας Χώνευσης

Η μικροβιολογία της αναερόβιας χώνευσης είναι περίπλοκη και σε αυτή λαμβάνουν μέρος διαφορετικά είδη μικροοργανισμών από δύο διαφορετικά φυλογενετικά Βασίλεια, των Αρχαίων και των Βακτηρίων (McCarty, 2001). Κάθε ομάδα οργανισμών διαδραματίζει ένα διακριτό επιμέρους ρόλο στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης ώστε να γίνει δυνατή η μετατροπή του οργανικού κλάσματος διαμέσου ενδιάμεσων ενώσεων σε βιοαέριο. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να διακριθεί σε τέσσερα βασικά στάδια όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.1., την υδρόλυση όπου μεγάλα οργανικά μόρια διασπώνται από ένζυμα, την οξεογένεση όπου τα κυριότερα προϊόντα είναι ο οξικός εστέρας, λιπαρά οξέα και διοξείδιο του άνθρακα, την ακετογένεση όπου διασπώνται τα λιπαρά οξέα σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα και τη μεθανογένεση όπου κυρίως το οξικό μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά την αναερόβια χώνευση λαμβάνουν χώρα τρεις διαφορετικές αντιδράσεις, ρευστοποίηση, αεριοποίηση και στερεοποίηση (Kennes, and Veiga, 2013:321-323).

Κατά την ρευστοποίηση γίνεται μεταφορά των οργανικών υλικών μέσω των εξωκυτταρικών ενζύμων των βακτηρίων και μετατροπή του αδιάλυτου οργανικού κλάσματος σε μορφές που μπορούν να τύχουν χρήσης από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Κατά την αεριοποίηση γίνεται μετατροπή του υγρού οργανικού κλάσματος που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο σε αέριο. Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα εντός των βακτηριακών τοιχωμάτων και σαν αποτέλεσμα απελευθερώνονται αέρια όπως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά την στερεοποίηση το υπόλοιπο οργανικό υλικό που δεν έχει χωνευτεί μαζί με θρεπτικά στοιχεία και μέταλλα αποδίδει το στερεό υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εδαφοβελτιωτικό (Tambone, et al. 2009).

Η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης γίνεται σε δύο στάδια τα οποία βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία μεταξύ τους. Στο πρώτο στάδιο δεν γίνεται αλλαγή στο ολικό

οργανικό φορτίου, αλλά τα πολύπλοκα οργανικά μόρια μετατρέπονται σε πιο απλά ώστε να είναι δυνατή η πρόσληψη τους από τα μεθανογενή βακτήρια. Σε αυτή το στάδιο γίνεται η μετατροπή των πτητικών οργανικών στερεών σε πτητικά οργανικά οξέα. Στο δεύτερο στάδιο τα αναερόβια βακτήρια μετατρέπουν τα πτητικά οργανικά οξέα κυρίως σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και ίχνη από άλλα αέρια. Λόγω του ότι βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία μεταξύ τους τα δύο αυτά στάδια οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο ένα στάδιο επηρεάζουν το άλλο. Η μετατροπή των πτητικών οργανικών ενώσεων σε πτητικά λιπαρά οξέα επιφέρει αλλαγή το pH. Σε περίπτωση που η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων είναι τέτοια ώστε η τιμή του pH πέσει κάτω από 6, τότε η παραγωγή βιοαερίου δεν είναι εφικτή καθώς σε αυτές τις τιμές δεν παρουσιάζουν δραστηριότητα τα μεθανογενή βακτήρια. Οπότε σε ένα χωνευτήρα σε ισορροπία ο ρυθμός μετατροπής των πολύπλοκων οργανικών ενώσεων σε πιο απλές αναμένεται να είναι ανάλογος του ρυθμού μεθανογένεσης. Η βιολογική δραστηριότητα των μεθανογενών βακτηρίων μπορεί να επηρεαστεί δυσμενώς από αλλαγές στο pH, τη συγκέντρωση υποστρώματος και τη θερμοκρασία (Stein and Malone, 1980).



Διάγραμμα 2.1. Στάδια αναερόβιας χώνευσης

2.3.1 Υδρόλυση

Πολύπλοκα οργανικά μόρια όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπη, μετατρέπονται στα αντίστοιχα απλά διαλυτά προϊόντα όπως αμινοξέα, σάκχαρα, πτητικά οργανικά οξέα, και γλυκερίνη από υδρολυτικά εξωκυτταρικά ένζυμα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.1. Το στάδιο της υδρόλυσης αποτελεί ρυθμιστικό στάδιο για την επιτυχία ή όχι της αναερόβιας χώνευσης (Henze and Harremoes, 1983, van Haandel, and Lettinga, 1994). Κατά το στάδιο αυτό παράγονται τα απλά διαλυτά μόρια τα οποία μπορούν να εισχωρήσουν στο εσωτερικό των κυττάρων ώστε να γίνουν οι επόμενες χημικές αντιδράσεις. Αν η φύση του υποστρώματος είναι τέτοια όπου δεν μπορεί να γίνει επιτυχής υδρόλυση τότε δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν τα επόμενα στάδια. Τέτοιες είναι οι περιπτώσεις όπου στο υπόστρωμα υπάρχει μεγάλο ποσοστό δυσδιάλυτων στο νερό ενώσεων (Henze and Harremoes, 1983). Η υδρόλυση είναι μια σχετικά αργή διαδικασία και μπορεί να παρεμποδιστεί από παράγοντες όπως το είδος του υποστρώματος, η τιμή του pH, το σωματιδιακό μέγεθος, παραγωγή ενζύμων, και προσρόφηση των ενζύμων στην επιφάνεια των σωματιδίων (Gujer and Zehnder, 1983).

2.3.2 Οξεογένεση

Στο επόμενο στάδιο, την οξεογένεση, οι απλές οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, αμμωνία, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Κατά την οξεογένεση παράγονται πτητικά λιπαρά οξέα όπως το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ. Ο οξεογόνος μικροβιακός πληθυσμός αποτελεί περίπου το 90% του συνολικού μικροβιακού πληθυσμού σε ένα αναερόβιο χωνευτήρα (Novaes, 1986). Ο μικροβιακός πληθυσμός που εμπλέκεται στο στάδιο της οξεογένεσης ανήκει στα γένη *Bacteriodes*, *Clostridium*, *Butyrivibrie*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* και *Lactobacillus*.

2.3.3 Ακετογένεση

Στο στάδιο της ακετογένεσης (οξικογένεσης) τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες μετατρέπονται σε οξικό οξύ, με ταυτόχρονη παραγωγή υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα από τα οξικογόνα βακτήρια. Η αντίδραση της ακετογένεσης για να είναι δυνατό να λάβει χώρα από θερμοδυναμικής άποψης πρέπει η μερική πίεση του υδρογόνου να είναι μικρότερη από 10^{-3} atm. Κάτω από υψηλή μερική πίεση υδρογόνου, οι οξικογόνοι μικροοργανισμοί παρεμποδίζονται και αδυνατούν να μετατρέψουν τα πτητικά λιπαρά οξέα, με αποτέλεσμα τη μείωση στο σχηματισμό οξικού οξέως και την

εκτροπή της διεργασίας. Η απομάκρυνση του υδρογόνου μπορεί να επιτευχθεί με τη λειτουργία των υδρογονότροφων μεθανογενών αναερόβιων βακτηρίων που καταναλώνουν υδρογόνο. Οι υδρογονότροφοι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί δρουν συνεργατικά επιτυγχάνοντας μείωση στη συγκέντρωση του υδρογόνου (Zinder, 1988).

Η σχέση μεταξύ των οξικογόνων και των μεθανογόνων βακτηρίων που δρουν σε μετέπειτα στάδιο, είναι συμβιωτική και συμβάλλει στη διατήρηση της ισορροπίας του συστήματος (Hungate, 1967). Η ισορροπία κάθε συστήματος εξαρτάται από την συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων η οποία εξαρτάται από την δράση των οξικογόνων βακτηρίων η οποία γίνεται με γρηγορότερους ρυθμούς από τα μεθανογόνα βακτήρια, την αύξηση της βιομάζας μέσα στο χωνευτήρα, την έκπλυση μικροοργανισμών και την παρουσία τοξικών ουσιών. Η αύξηση της συγκέντρωσης των πτητικών λιπαρών οξέων που μπορεί να συμβεί λόγω των πιο πάνω αιτιών μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του pH στο χωνευτήρα, αναστολή της λειτουργίας των μεθανογενών βακτηρίων και αναστολή της λειτουργίας του. Ο μικροβιακός πληθυσμός που εμπλέκεται στο στάδιο της ακετογένεσης ανήκει στα γένη *Desulfovibrio*, *Syntrophomonas* και στο είδος *Syntrophobacter Wolinii*.

2.3.4 Μεθανογένεση

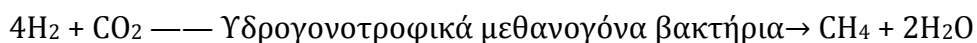
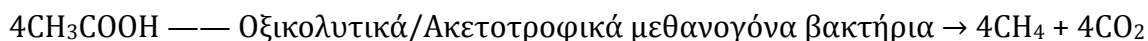
Από τα πιο πάνω φαίνεται ότι οι κύριες πρώτες ύλες για το τελικό στάδιο αυτό της μεθανογένεσης είναι το οξικό οξύ, το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα. Η μετατροπή αυτή καταλύεται από τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς οι οποίοι είναι αυστηρώς αναερόβιοι μικροοργανισμοί και κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η παραγωγή μεθανίου μετά την κατανάλωση απλών οργανικών ενώσεων.

Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί είναι από τους αρχαιότερους προκαρυωτικούς οργανισμούς και ανήκουν στα Αρχαία. Τα Αρχαιοβακτήρια διαφέρουν από τους υπόλοιπους προκαρυωτικούς οργανισμούς στην αλληλουχία των βάσεων της αλυσίδας του RNA, την παρουσία του συνένζυμου F420, τη θέση των λιπιδίων στην κυτταρική μεμβράνη και την έλλειψη πεπτιδογλυκάνης στο κυτταρικό τους τοίχωμα (Boone, et al., 1993). Λόγω της σύστασης και της δομής της κυτταρικής τους μεμβράνης, είναι ευαίσθητοι σε διάφορες τοξικές ενώσεις. Ο μικροβιακός πληθυσμός που εμπλέκεται στο στάδιο της μεθανογένεσης ανήκει στα γένη *Methanobacterium formicicum*,

Methanobacterium bryantii, *Methanobrevibacter Ruminantium*, *Methanobrevibacter arboriphilus*, *Methanospirillum hungatei* και *Methanosarcina barkeri* (McCarty, 2001).

Το μεγαλύτερο μέρος του μεθανίου που παράγεται, παράγεται από την αποκαρβοξυλίωση των οξικών ιόντων οπότε και παράγεται μεθάνιο από τη κατανάλωση του οξικού οξέος μέσω των οξικολυτικών/ακετοτροφικών μεθανογόνων βακτηρίων, είτε από υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα μέσω των υδρογονοτροφικών μεθανογόνων βακτηρίων που χρησιμοποιούν το υδρογόνο για να ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα προς μεθάνιο (Gujer and Zehnder, 1983). Υπόστρωμα για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς μπορεί να αποτελέσουν επίσης η μεθανόλη και οι μεθυλαμίνες (Zinder, 1988).

Συγκεντρωτικά, στη μεθανογένεση συμμετέχουν τρεις διαφορετικές ομάδες μεθανογόνων μικροοργανισμών. Οι ομάδες αυτές χωρίζονται α) στους οξικολυτικούς/ακετοτροφικούς μεθανογόνους, οι οποίοι καταναλώνουν το οξικό οξύ, β) στους υδρογονοτροφικούς μεθανογόνους, οι οποίοι χρησιμοποιούν το υδρογόνο για την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο και γ) στους μεθυλοτροφικούς μεθανογόνους, όπου αφαιρούν τη μεθυλομάδα (-CH₃) από απλές ενώσεις. Στους οξικολυτικούς/ακετοτροφικούς μεθανογόνους και στους μεθυλοτροφικούς μεθανογόνους ανήκουν μέλη των οικογενειών *Methansarcinaceae* και *Methanosaetaceae*. Στους υδρογονοτροφικούς μεθανογόνους ανήκουν μέλη των οικογενειών *Methanobacteriaceae*, *Methanothermaceae*, *Methanococcaceae*, *Methanocaldococcaceae*, *Methanomicrobiaceae*, *Methanocorpusculaceae* και *Methanospirillaceae* (Delirel and Scherer, 2008). Οι βιοχημικές αντιδράσεις που καταλύουν είναι οι πιο κάτω:



Τουλάχιστον τα 2/3 του μεθανίου που παράγεται κατά τη μεθανογένεση οφείλεται στους οξικολυτικούς μεθανογόνους οργανισμούς και το υπόλοιπο στους υδρογονοτροφικούς μεθανογόνους οργανισμούς. Η συνεισφορά των μεθυλοτροφικών

μεθανογόνων οργανισμών στον συνολικό όγκο του μεθανίου που παράγεται σε ένα σύστημα αναερόβιας χώνευσης είναι πολύ μικρή (Boone, et al., 1993).

2.4 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αναερόβια

Χώνευση

Η ισορροπία μεταξύ φυσικών και χημικών παραμέτρων είναι απαραίτητη ώστε να μετατραπεί το οργανικό υπόστρωμα μέσω της αναερόβιας χώνευσης σε βιοαέριο. Η παραγωγή βιοαερίου πλούσιου σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτήρια απαιτεί την ύπαρξη βέλτιστων συνθηκών ώστε να προχωρήσει η διαδικασία.

2.4.1 Λόγος Άνθρακα/Αζώτου (C/N)

Η αναλογία άνθρακα/αζώτου στο οργανικό υπόστρωμα ιδανικά πρέπει να λαμβάνει τιμές μεταξύ 20-30. Αν ο λόγος C/N είναι πολύ ψηλός τότε το άζωτο καταναλώνεται πιο γρήγορα από τον άνθρακα για να καλυφτούν οι ανάγκες των μεθανογενών βακτηρίων και δεν παραμένει διαθέσιμη ποσότητα ώστε να αντιδράσει με τον άνθρακα, οπότε και μειώνεται η παραγωγή βιοαερίου. Αντίθετα, αν ο λόγος C/N είναι πολύ χαμηλός τότε απελευθερώνεται άζωτο υπό την μορφή αμμωνίας με επακόλουθο αποτέλεσμα να ανεβαίνει η τιμή του pH στον αντιδραστήρα και να δημιουργούνται τοξικές συνθήκες για τα μεθανογενή βακτήρια. Προκειμένου να διατηρηθεί η αναλογία C/N σε ιδανικά πλαίσια τότε οργανικά υλικά με ψηλή αναλογία C/N πρέπει να αναμιχθούν με υλικά με χαμηλή αναλογία C/N (Abbasi, et al., 2012:5-6). Η αναλογία C/N διαφορετικών υποστρωμάτων φαίνεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Λόγος C/N διαφορετικών τύπων οργανικής ύλης (Abbasi, et al., 2012:5-6)

Οργανική ύλη	Λόγος C/N οργανικής ύλης
Κοπριά κοτόπουλου	10
Κοπριά αίγας	12
Κοπριά χοίρου	18
Κοπριά προβάτου	19
Κοπριά αγελάδας	24
Αστικά στερεά απόβλητα	40
Φυτικό μέρος ρυζιού (<i>Oryza straw</i>)	70

Φυτικό μέρος αραβοσίτου (maize straw)	60
Φυτικό μέρος σιταριου (maize straw)	90

2.4.2 Περιεκτικότητα σε Νερό

Η ικανοποιητική περιεκτικότητα σε νερό στο οργανικό υλικό ώστε να δημιουργηθεί η σωστή πυκνότητα στο υπόστρωμα είναι απαραίτητη ώστε να είναι δυνατή η ανάδευση του μέσα στο χωνευτήρα. Αν η το υπόστρωμα είναι αραιό τότε τα στερεά σωματίδια θα παραμείνουν στον πυθμένα του χωνευτήρα και δεν θα αποικοδομηθεί η οργανική ουσία. Αν η πυκνότητα του υποστρώματος είναι υψηλή τότε θα είναι δύσκολη η ανάδευση και πιθανά θα παρεμποδίζεται η ροή του παραγόμενου βιοαερίου στο άνω τμήμα του χωνευτήρα. Η πυκνότητα του οργανικού υλικού που συστήνεται για κάθε αντιδραστήρα διαφέρει λόγω των διαφορετικών τεχνικών χαρακτηριστικών κάθε συστήματος. Το εύρος των ολικών στερεών συστήνεται να λαμβάνει τιμές από 10-25% (Abbasi, et al., 2012:5-6)

2.4.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την βιολογική δραστηριότητα των αναερόβιων μικροοργανισμών που εμπλέκονται στην αναερόβια χώνευση. (Appels, et al., 2008). Τα μεθανογενή βακτήρια μπορούν να εκτελέσουν τις βιολογικές τους λειτουργίες σε διαφορετικά εύρη τιμών. Τα θεμόφιλα μεθανογενή βακτήρια λειτουργούν μεταξύ 50-65°C, τα μεσόφιλα μεταξύ 20-40°C και τα ψυχρόφιλα σε θερμοκρασίες <10°C. Διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία πέραν του 1°C την ημέρα πιθανά να μειώσουν την ενεργότητα των μεθανογενών βακτηρίων.

Οι αναερόβιες διεργασίες σε μεγάλης κλίμακας χωνευτήρες λαμβάνουν χώρα σε δύο θερμοκρασιακές περιοχές, τη μεσόφιλη περιοχή από τους 30 μέχρι τους 40°C και την θεμόφιλη περιοχή από τους 50 μέχρι τους 60°C. Στη θεμόφιλη περιοχή σε αντίθεση με τη μεσόφιλη, η αποικοδόμηση του οργανικού φορτίου επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τη μεσόφιλη περιοχή αλλά η διαδικασία είναι πιο ασταθής καθώς σε ψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται η συγκέντρωση αμμωνίας και των πτητικών λιπαρών οξέων συνθήκες οι οποίες δυνητικά μπορούν να παρεμποδίσουν την

ενεργότητα των μεθανογενών μικροοργανισμών. Επιπρόσθετα στη θερμόφιλη χώνευση απαιτείται η κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας.

Σε ψυχρόφιλο εύρος θερμοκρασιών μπορεί να παρατηρηθεί παραγωγή μεθανίου. Η μεθανογένεση σε αυτό το θερμοκρασιακό εύρος, παρατηρείται σε σηπτικούς λάκκους και δεξαμενές Imhoff. Η αναερόβια χώνευση δεν γίνεται με παροχή θερμότητας και η θερμοκρασία είναι ίση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, οπότε η χώνευση σε αυτή την περίπτωση γίνεται αργά και διαφέρει από εποχή σε εποχή.

2.4.4 pH και Αλκαλικότητα

Κάθε ομάδα μικροοργανισμών που συμμετέχουν στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αναπτύσσεται σε διαφορετικό εύρος τιμών της κλίμακας του pH (Appels, et al., 2008). Τα μεθανογενή βακτήρια είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις τιμές του pH και το ιδανικό εύρος τιμών είναι από 6.8 μέχρι 7.2. Τα βακτήρια που καταλύουν τις αντιδράσεις ζύμωσης μπορούν να δράσουν σε μεγαλύτερο εύρος τιμών, από 4.0 μέχρι 8.5.

Η αλκαλικότητα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του pH καθώς λειτουργεί σαν ρυθμιστικό διάλυμα, αποτρέποντας τις απότομες αλλαγές του. Η βέλτιστη βιολογική δραστηριότητα των βακτηρίων που καταλύουν την οξεογένεση επιτυγχάνεται σε pH >5.0, αλλά τα μεθανογενή βακτήρια δεν παρουσιάζουν βιολογική δραστηριότητα σε pH <6.2. Γενικά, τα μεθανογενή βακτήρια εμφανίζουν βιολογική δραστηριότητα σε τιμές pH 6,4-7,4 αλλά εμφανίζουν τη βέλτιστη τους δραστηριότητα σε τιμές pH από 6.8 μέχρι 7.2. Η ανάπτυξη των βακτηρίων που εμπλέκονται στην οξεογένεση και ακετογένεση γίνεται με γρηγορότερους ρυθμούς από ότι η ανάπτυξη των βακτηρίων που εμπλέκονται στη μεθανογένεση. Σαν επακόλουθο πιθανά να παρατηρηθεί συσσώρευση λιπαρών οξέων τα οποία επιφέρουν πτώση στην τιμή του pH σε τιμές μικρότερες του πέντε και καθιστούν απαγορευτική την πραγματοποίηση της μεθανογένεσης. Η διατήρηση της τιμής του pH μπορεί να επιτευχθεί με διατήρηση του ισοζυγίου $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ το οποίο αποτρέπει την πτώση του pH, αλλά και γενικά τις απότομες αλλαγές του pH, όπως και μέσω της χρήσης χημικών τα οποία μπορούν να ανεβάσουν την τιμή του pH όπως υδροξείδιο του ασβεστίου (Appels, et al., 2008).

2.4.5 Ψηλή συγκέντρωση αμμωνίας

Η αμμωνία στον χωνευτήρα μπορεί να προέρχεται είτε από το ίδιο το υπόστρωμα είτε παράγεται στα αρχικά στάδια της αναερόβιας χώνευσης κατά την υδρόλυση των αμινοξέων. Η υδρόλυση των αμινοξέων αποδίδει αμμωνία και οξέα όπως οξικό και βουτυρικό. Τα αυξημένα επίπεδα αμμωνίας προκαλούν την αναστολή της μικροβιακής δραστηριότητας. Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί με τους οποίους προκαλείται η αναστολή, όπως η αύξηση της τιμής του pH και η αναστολή της ενζυμικής δραστηριότητας των αναερόβιων βακτηρίων. Έχει αναφερθεί ότι η ανασταλτική δράση της αμμωνίας λαμβάνει χώρα όταν η συγκέντρωση του ολικού αμμωνιακού αζώτου είναι 1 500-3 000 mg/Lt σε pH > 7,4 και όταν η συγκέντρωση υπερβεί τα 3 000 mg/Lt η δράση της είναι ανασταλτική χωρίς να διαδραματίζει ρόλο η τιμή του pH (Calli, et al., 2005). Πιθανά η αναστολή της μεθανογόνου ικανότητας συσχετίζεται με την συγκέντρωση αμμωνίας και την επίδραση της στα κανάλια μεταφοράς ιόντων K⁺ (Sprott and Patel, 1986). Σε μελέτη των Sprott et al. (1985) μελετήθηκε η αναστολή της παραγωγής μεθανίου από το βακτήριο *Methanospirillum hungatei* κατά την έκθεση του σε ψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας. Στη μελέτη προσδιορίστηκε ότι η αναστολή της βιολογικής δράσης του *Methanospirillum hungatei* προκλήθηκε από αναστολή της μεταφοράς ιόντων K⁺ παραγωγής ATP. Η αναστολή αυτή ήταν αντιστρεπτή καθώς τα κύτταρα επανενεργοποιήθηκαν μετά από προσθήκη ιόντων Ca²⁺ και Mg²⁺.

2.4.6 Υδρόθειο

Σε αναερόβιους χωνευτήρες το υδρόθειο σχηματίζεται από τη αναγωγή του θειικού οξέος και την αποικοδόμηση θειούχων αμινοξέων. Τα αμινοξέα κυστίνη, κυστεΐνη, μεθειονίνη τα οποία αποτελούν δομικά συστατικά πολλών πρωτεϊνών, περιέχουν θείο το οποίο απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της αποικοδόμησης αυτών των αμινοξέων. Μια πρόσθετη πηγή θείου, είναι τα θειικά άλατα που απαντώνται σε λύματα από μεταλλουργικές βιομηχανίες.

Τα γένη των αναερόβιων βακτηρίων *Desulfuromonas*, *Desulfonivibrio* και *Desulfomonas* μετατρέπουν τα θειικά ιόντα ή το θείο σε υδρόθειο. Τα βακτήρια που ανάγουν θειικά ιόντα (sulfate-reducing bacteria, SRB) είναι παρόμοια με τα μεθανογόνα βακτήρια όσον αφορά τη κυτταρική μορφολογία. Τα βακτηριακά κύτταρα χρειάζονται θείο ως θρεπτικό συστατικό αλλά οι υπερβολικές συγκεντρώσεις θείου ή διαλυτού αέριου υδρόθειου είναι τοξικές. Το υδρόθειο είναι μία από τις πιο τοξικές ενώσεις κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί είναι

ευαίσθητοι στη παρουσία υδρόθειου. Από τα μεθανογόνα βακτήρια τα υδρογονοτροφικά είναι πιο ευαίσθητα από τα ακετοτροφικά στην παρουσία του υδρόθειου. Πιθανά οφείλεται στο ότι τα θειοαναγωγικά βακτήρια και τα μεθανογόνα βακτήρια ανταγωνίζονται για το υδρογόνο και το οξικό οξύ, αλλά για θερμοδυναμικούς λόγους επικρατεί η δέσμευση των δύο αυτών ουσιών από τα θειοαναγωγικά βακτήρια. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η παραγωγή H_2S το οποίο μπορεί να αναστείλει την μεταβολική δραστηριότητα των όλων αναερόβιων βακτηρίων σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 300ppm αλλά ο μηχανισμός με τον οποίο αναστέλλεται η μικροβιακή δραστηριότητα κατά την αναερόβια χώνευση δεν είναι πλήρως κατανοητός (Lawrence, and McCarty, 1964, Pfeffer, 1979).

Τα θειοαναγωγικά βακτήρια και τα μεθανογενή βακτήρια, σύμφωνα με μελέτη των Choi and Rim, (1991) εμφανίζουν ανταγωνιστική δράση όταν η αναλογία COD/SO_4 λάβει τιμές μεταξύ 1.7 και 2.7. Αύξηση αυτής της αναλογίας ωφελεί τα μεθανογενή βακτήρια ενώ μείωση αυτής της αναλογίας ωφελεί τα θειοαναγωγικά.

Πέραν των προβλημάτων που δημιουργεί κατά την αναερόβια χώνευση, το H_2S προκαλεί προβλήματα οξείδωσης και δυσοσμίας στην έξοδο του βιοαερίου από το χωνευτήρα (Rinzema and Lettinga, 1986).

2.4.7 Τοξικές Ουσίες

Η βιολογική δραστηριότητα των μεθανογενών βακτηρίων επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις τοξικών ουσιών. Η επίδραση των τοξικών ουσιών συσχετίζεται και με άλλες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, το pH αλλά και η συγκέντρωση άλλων ουσιών. Λόγω της άμεσης συνάρτησης της δράσης τους και με άλλες παραμέτρους είναι δύσκολο να προσδιοριστούν ανεκτές τιμές για τις τοξικές ουσίες. (Kida, et al., 1991).

Η παρουσία βαρέων μετάλλων μπορεί να δράσει ανασταλτικά στην αναερόβια χώνευση. Τα βαρέα μέταλλα πιθανότερα παρουσιάζονται σε βιομηχανικά λύματα (Mueller, and Steiner, 1992). Η τοξικότητα τους αυξάνεται όσο μειώνεται η συγγένεια πρόσδεσης με τη λυματολάσπη. Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων ακολουθεί την πιο κάτω σχέση: $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Cr^{6+} > Pb^{2+}$, όπου το μόλυβδος είναι ο λιγότερο τοξικός.

Αντίθετα, κάποια μέταλλα όπως το νικέλιο, κοβάλτιο και μολυβδαίνιο σε χαμηλές συγκεντρώσεις πιθανά ενεργοποιούν την μεθανογόνο δράση κάποιων βακτηρίων (Murray, and van den Berg, 1981, Shonheit, et al., 1979).

Τα ξενοβιοτικά είναι ουσίες που παράγονται από ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες δυνατό να παρουσιαστούν σε βιομηχανικά ή αστικά λύματα. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι αλκοόλες, οργανικά οξέα, εστέρες και κετόνες, παρασιτοκτόνα ενώσεις που περιέχουν αλογόνα, θείο, υδροξύλιο, και αμίνες και φαρμακευτικά σκευάσματα (Kennes and Veiga, 2013:326-327). Η επίδραση διαφορετικών φαρμακευτικών ενώσεων στη δράση των μεθανογενών βακτηρίων μελετήθηκε σε μελέτη των Fountoulakis et al. (2004). Στη μελέτη αυτή μελετήθηκε η επίδραση της καρβαμαζεπίνης, της σουλφαμεθοξαζόλης, της υδροχλωρικής προπρανολόλης, της δικλοφενάκης, της οφλοξασίνης και του κλοφιμπρικού οξέος. Από τη μελέτη αποδείχθηκε ότι ενώ κάποια σκευάσματα όπως η σουλφαμεθοξαζόλη και το κλοφιμπρικό οξύ δεν εμφανίζουν τοξικότητα, η υδροχλωρική προπρανολόλη εμφάνισε τοξικότητα (IC 50 30 mg/L).

Η υψηλή συγκέντρωση ιόντων καλίου ($K^+ > 3\text{gr/Lt}$) επίσης παρουσιάζει ανασταλτική δράση στην μεθανογένεση. Η μεθανογένεση αναστέλλεται παρουσία υψηλής συγκέντρωσης ιόντων καλίου με ταυτόχρονη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων (Chen et al., 2007).

Η συγχώνευση με άλλες κατηγορίες βιομάζας ώστε να είναι χαμηλότερη η συγκέντρωση τοξικών ενώσεων και η χρήση τεχνολογιών αφαίρεσης ή αλληλεπίδρασης μεταξύ των τοξικών ενώσεων πριν την αναερόβια χώνευση είναι προσεγγίσεις που μπορούν να αυξήσουν την απόδοση της αναερόβιας επεξεργασίας.

2.5 Επεξεργασία υποστρωμάτων πριν την αναερόβια χώνευση

Οι διαφορετικές ομάδες οργανικής ύλης που προορίζονται για αναερόβια χώνευση, ιδιαίτερα αν πρόκειται να συγχωνευθούν διαφορετικές ομάδες μαζί, είναι σημαντικό να τύχουν επεξεργασίας προηγουμένως ώστε να βελτιωθεί η απόδοση σε ποσότητα και ποιότητα. Ταυτόχρονα, ο τρόπος επεξεργασίας πρέπει να είναι οικονομικά εφικτός

ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Η επεξεργασία πριν την αναερόβια χώνευση έχει σαν κύριο στόχο την διαλυτοποίηση των διαφόρων υποστρωμάτων και την επιτάχυνση του σταδίου της υδρόλυσης, το οποίο είναι το πρώτο, αργό και περιοριστικό βήμα της όλης διαδικασίας (Eastman and Ferguson, 1981, Noike et al., 1985).

2.5.1 Φυσικές μέθοδοι

Η λειτουργία ενός αναερόβιου χωνευτήρα στον οποίο γίνεται χώνευση στερεών οργανικών αποβλήτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με το μέγεθος των σωματιδίων στο ρεύμα εισροής. Η αύξηση της ειδικής επιφάνειας και η απελευθέρωση του ενδοκυττάριου περιεχομένου της βιομάζας αυξάνει το ρυθμό αποικοδόμησης. Η κονιορτοποίηση και ανάμιξη της βιομάζας και η επιδραση της στην αναερόβια διαδικασία έχει μελετηθεί σε εργασία των Palmowski and Muller (1999), όπου δόθηκε έμφαση στη σημασία της επεξεργασίας σε περίπτωση συγχώνευσης διαφορετικών υποστρωμάτων τα οποία διαφέρουν στην ταχύτητα αποικοδόμησης τους. Στην εργασία αυτή κονιορτοποιήθηκαν και ομογενοποιήθηκαν μείγματα πατάτας, μήλου/καρότου, κρέατος, ηλιόσποροι, σανού/φύλλων με λυματολάσπη. Έγινε σύγκριση της απόδοσης της αναερόβιας χώνευσης όταν αυτά κονιορτοποιήθηκαν και ομογενοποιήθηκαν με τη λυματολάσπη, σε αντίθεση με την απόδοση των ιδίων υποστρωμάτων όταν δεν είχε προηγηθεί η ίδια διαδικασία. Η παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε κατά 24%, 22%, 17%, 15% και 10% κατά όγκο αντίστοιχα, αλλά ταυτόχρονα μειώθηκε ο χρόνος απόδοσης ίδιου όγκου βιοαερίου.

Θετικά αποτελέσματα παρουσιάζει επίσης ο διαχωρισμός του στερεού και υγρού κλάσματος των αποβλήτων. Σε μελέτη των Moller et al. (2004) εξετάστηκε η διαφορά στην παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου αν χρησιμοποιηθεί κοπριά χοίρου σε σχέση με την ίδια ποσότητα στην οποία όμως το 25% της συνολικής ποσότητας υποστρώματος ήταν το στερεό κλάσμα της κοπριάς χοίρου αφού είχε προηγηθεί η ομογενοποίηση και διαχωρισμός στερεού και υγρού κλάσματος της. Το αποτέλεσμα ήταν στη δεύτερη περίπτωση να αυξηθεί κατά 20-25% η παραγωγή μεθανίου από τον ίδιο όγκο υποστρώματος.

Μια επίσης διαδεδομένη μέθοδος επεξεργασίας είναι η θερμική επεξεργασία της βιομάζας όπου μειώνεται η περιεκτικότητα σε υγρασία και σε παθαγόνους

μικροοργανισμούς αλλά και αυξάνεται η διαθεσιμότητα για οργανική χώνευση ακόμη και σχετικά δύσκολα διασπώμενων οργανικών ενώσεων (Bougrier et al., 2007). Σε εργαστηριακή μελέτη των Edstrom et al. (2003) μελετήθηκε η μεταβολή στην παραγωγή βιοαερίου αν έχει προηγηθεί θερμική επεξεργασία. Στη μελέτη συγχωνεύθηκαν υπολείμματα τροφίμων από εστιατόρια και υπηρεσίες και υπηρεσίες τροφοδοσίας και υγρά απόβλητα σφαγείου. Έγινε σύγκριση της παραγωγής βιοαερίου από ίσες ποσότητες του μείγματος όπου στην πρώτη περίπτωση δεν έγινε θερμική επεξεργασία πριν τη χώνευση και στη δεύτερη προηγήθηκε θερμική επεξεργασία στους 70°C για μία ώρα. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μελετητές κατέγραψαν αύξηση στην παραγωγή βιοαερίου από 0,31 Lt βιοαερίου ανά γραμμάριο πτητικών στερεών σε 1,14 Lt ανά γραμμάριο πτητικών στερεών.

2.5.2 Βιολογικές μέθοδοι

Η επεξεργασία της βιομάζας πριν την αναερόβια επεξεργασία μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μικροοργανισμών οι οποίοι έχουν την ικανότητα να υδρολύσουν μεγαλομόρια σε απλές χημικές δομές. Σε μελέτη των Del Borghi et al. (1999) μελετήθηκε η συμπεριφορά υδρολυτικών μικροοργανισμών στην διαλυτοποίηση και υγροποίηση μείγματος 50% λυματολάσπης και 50% οργανικού κλάσματος αστικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, το μείγμα έτυχε επεξεργασίας με αλκαλικό διάλυμα σε υψηλή θερμοκρασία και ακολουθήθηκε βακτηριακή υδρόλυση των μεγαλομορίων μέχρι να επιτευχθεί πλήρης διαλυτοποίηση των οργανικών ουσιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν 2 μέχρι 2,5 φορές αύξηση της παραγωγής βιοαερίου σε σχέση με το αρχικό μείγμα το οποίο δεν έτυχε τέτοιας επεξεργασίας.

Μια άλλη μέθοδος βιολογικής προετοιμασίας πριν την χρήση φυτικής προέλευσης βιομάζας, είναι η ενσίρωση. Κατά την ενσίρωση, ζυμώνονται σε αναερόβιες συνθήκες φυτά με υψηλό περιεχόμενο υγρασίας, όπως καλαμπόκι, τριφύλλι, λάχανο, ρίζες φυτών, πατάτα. Υπό αναερόβιες συνθήκες ζυμώνεται η βιομάζα και το παραγόμενο ενσίρωμα είναι πλούσιο σε απλές οργανικές ενώσεις και θρεπτικά συστατικά. Η αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου πιθανά οφείλεται στην διάσπαση των πολύπλοκων φυτικών πολυσακχαριτών σε απλά σάκχαρα πριν να εισέλθουν για χώνευση στον αναερόβιο χωνευτήρα (Egg et al., 1993).

2.5.3 Χημικές μέθοδοι

Μία συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος χημικής επεξεργασίας φυτικής βιομάζας είναι η επεξεργασία σε αλκαλικές συνθήκες ώστε να διασπαστεί το οργανικό κλάσμα σε απλούστερες ενώσεις. Η χρήση διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου ή του ασβεστίου διασπά τόσο την κυτταρίνη των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων σε απλά σάκχαρα, αλλά δίνει πρόσβαση στους αναερόβιους μικροοργανισμούς στην ενδοκυττάρια οργανική ουσία (Mouneimne et al., 2003, Fox et al., 2003). Σε μελέτη των Lehtomaki et al. (2004) μελετήθηκε η επίδραση της επεξεργασίας με αλκαλικό διάλυμα στην παραγωγή βιοαερίου από μείγμα αποτελούμενο από ζαχαρότευτλα, γρασίδι και άχυρο. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη περίπτωση διάλυμα 2 % NaOH για 24 και 72 ώρες, στη δεύτερη περίπτωση 3 % Ca(OH)₂ για 72 ώρες και στην τρίτη περίπτωση 4 % Na₂CO₃ για 72 ώρες. Η παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε κατά 9 και 17 % μετά την επεξεργασία με 2 % διάλυμα NaOH για 24 και 72 ώρες αντίστοιχα. Μετά την προσθήκη 3 % Ca(OH)₂ για 72 ώρες η παραγωγή βιοαερίου αυξήθηκε κατά 4 % και μετά την προσθήκη Na₂CO₃ για 72 h αυξήθηκε το βιοαέριο κατά 7 % σε σχέση με το υπόστρωμα που δεν έτυχε επεξεργασίας.

2.6 Παράμετροι Λειτουργίας

Η επιτυχής λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής βιοαερίου εξαρτάται από την πρόβλεψη και προγραμματισμό διαφόρων τεχνικών παραμέτρων (Appels, et al., 2008).

2.6.1 Υδραυλικός Χρόνος Παραμονής

Υδραυλικός χρόνος παραμονής ορίζεται σαν ο λόγος του όγκου του αντιδραστήρα και του ρυθμού εισροής του υγρού υποστρώματος. Ως εκ τούτου αποτελεί μέτρο του χρόνου παραμονής του υποστρώματος μέσα στον αντιδραστήρα.

Όπου: $HRT = V/Q$

Υδραυλικός χρόνος παραμονής (days) : HRT

Όγκος αντιδραστήρα (m³): V

Ρυθμός εισροής του υγρού υποστρώματος (m³/days): Q

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής επηρεάζεται από διαφορετικές παραμέτρους όπως την θερμοκρασία και τη σύνθεση του αποβλήτου. Οι τιμές που λαμβάνει ο υδραυλικός

χρόνος παραμονής κυμαίνονται από 15 μέχρι 30 ημέρες για μεσόφιλες συνθήκες και 12 μέχρι 14 ημέρες για θερμόφιλες συνθήκες. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετός ώστε να μπορέσουν οι μικροοργανισμοί να αποσυνθέσουν την οργανική ύλη. Αν ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος από αυτόν που θα έπρεπε ώστε να επιτευχθεί πλήρης διάσπαση της οργανικής ύλης, τότε στο χωνευτήρα θα παρατηρηθεί συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων αντί μεθανίου. Αλλά και αντίθετα, μεγάλος υδραυλικός χρόνος παραμονής θα οδηγήσει σε υπερφόρτωση του χωνευτήρα και αδυναμία επεξεργασίας ολόκληρης της ποσότητας του οργανικού φορτίου (Kennes and Veiga, 2013:326-327).

2.6.2 Χρόνος Παραμονής Στερεών

Ο χρόνος παραμονής στερεών ορίζεται σαν το μέτρο της ηλικίας της οργανικής λάσπης του χωνευτήρα και εκφράζεται σε ημέρες.

Όπου: $SRT = (HRT) \cdot X/X_e$

Χρόνος παραμονής στερεών-Solids retention time: SRT

Υδραυλικός χρόνος παραμονής: HRT

Συγκέντρωση μικροοργανισμών στο χωνευτήρα: X

Συγκέντρωση μικροοργανισμών στην εκροή: X_e

Σε συνθήκες πλήρους ανάμιξης εντός του συστήματος ο υδραυλικός χρόνος παραμονής συμπίπτει με το χρόνο παραμονής των στερεών, καθώς η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στην έξοδο είναι ίση με τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών μέσα στο χωνευτήρα.

Αν μειωθεί ο χρόνος παραμονής των στερεών μέσα στο χωνευτήρα τότε θα μειωθεί η απόδοση των αντιδράσεων. Αυτό θα συμβεί γιατί κάθε φορά που απορρίπτεται υπόλειμμα από τον χωνευτήρα απορρίπτεται και κλάσμα του μικροβιακού φορτίου εντός του χωνευτήρα, οπότε είναι απαραίτητο η μικροβιολογική ανάπτυξη να είναι τέτοια ώστε να αναπληρώνει την απώλεια μικροβιακού φορτίου. Αυτό είναι απαραίτητο ώστε να διατηρηθεί η σωστή λειτουργία εντός του χωνευτήρα, η προώθηση παραγωγής μεθανίου και η μείωση συσσώρευσης πτητικών λιπαρών οξέων.

Όταν ο χρόνος παραμονής στερεών είναι χαμηλός τότε ευνοείται η ανάπτυξη των βακτηρίων που καταλύουν αντιδράσεις ζύμωσης σε σχέση με την ανάπτυξη των μεθανογενών βακτηρίων.

Επιπρόσθετα, χαμηλός χρόνος παραμονής οδηγεί σε έκπλυση της βιομάζας από τον χωνευτήρα (Kennes and Veiga, 2013:326-327).

2.6.3 Ποσοστό οργανικού φορτίου

Το ποσοστό οργανικού φορτίου (κιλά υποστρώματος ανά κυβικό μέτρο χωρητικότητας χωνευτήρα ανά ημέρα) είναι η ποσότητα υποστρώματος σε δεδομένο όγκο στο χωνευτήρα σε δεδομένο χρόνο.

Όπου: $OLR=QS/V=S/HRT$

Ποσοστό οργανικού φορτίου- Organic Load Rate ($kg\cdot m^{-3}\cdot d^{-1}$): OLR

Συγκέντρωση υποστρώματος: (S)

Υδραυλικός χρόνος παραμονής: (HRT)

Το ποσοστό οργανικού φορτίου μπορεί να αυξηθεί μειώνοντας τον υδραυλικό χρόνο παραμονής είτε αυξάνοντας τη συγκέντρωση του υποστρώματος. Αυξάνοντας την πυκνότητα του υποστρώματος αυξάνεται και το ιξώδες δημιουργώντας αδυναμία για σωστή ανάμιξη εντός του χωνευτήρα (Kennes and Veiga, 2013:326-327).

2.6.4 Ανάμιξη

Η πλήρης ανάμιξη εντός του χωνευτήρα μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης καθώς επιτυγχάνεται η μέγιστη επαφή μεταξύ των μικροοργανισμών και του υποστρώματος. Επίσης η πλήρης ανάμιξη αποτρέπει την καθίζηση των μεγαλύτερων σωματιδίων στον πυθμένα του χωνευτήρα, ενώ επιτρέπει την μετακίνηση του παραγόμενου βιοαερίου στην οροφή του χωνευτήρα (Ward et al.2008) Η ανάμιξη συχνά είναι ασυνεχής. Η συχνότητα και η διάρκεια της ανάμιξης εξαρτάται από τον τύπο του χωνευτήρα και του αναδευτήρα αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος (Burton and Turner, 2003).

2.7 Διαχείριση στερεού χωνεμένου υπολείμματος- Κομποστοποίηση

Σύμφωνα με μελέτες (Ward et al., 2008) το χωνεμένο υπόλειμμα το οποίο προκύπτει από την αναερόβια χώνευση δεν είναι συνήθως κατάλληλο για απευθείας εμπλουτισμό των εδαφών. Χαρακτηρίζεται από ψηλά ποσά υγρασίας, ψηλά ποσοστά πτητικών λιπαρών οξέων τα οποία δυνατόν να επιδείξουν φυτοτοξική δράση και αν δεν έχει προηγηθεί παστερίωση ή δεν έχει πραγματοποιηθεί η αναερόβια χώνευση σε θερμόφιλες συνθήκες τότε πιθανό να υπάρχουν παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Η μετατροπή του χωνεμένου υπολείμματος της αναερόβιας χώνευσης σε κομπόστ δίνει την ευκαιρία να μετατραπεί σε εδαφοβελτιωτικό ένα προϊόν το οποίο δεν παρουσιάζει την φυτοτοξικότητα ενός μη σταθεροποιημένου οργανικού υλικού, είναι απαλλαγμένο από τυχόν παθογόνους μικροοργανισμούς και είναι πλούσιο σε θρεπτικά υλικά (Vinneras et al., 2010:171-192, Ros et al., 2006) Η απελευθέρωση ενέργειας που παρατηρείται με τη μορφή θερμότητας από το χωνεμένο υπόλειμμα της αναερόβιας χώνευσης δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να παραχθεί το σταθεροποιημένο εδαφοβελτιωτικό κομπόστ πλούσιο σε χουμικά οξέα.

2.7.1 Στάδια κομποστοποίησης

Η αποικοδόμηση του οργανικού στερεού υπολείμματος της αναερόβιας χώνευσης γίνεται μέσω της κομποστοποίησης, μιας εξώθερμης διαδικασίας η οποία πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια. Η διαδικασία της κομποστοποίησης χαρακτηρίζεται από διαδοχικές αλλαγές στη θερμοκρασία, στο pH, στην παρουσία οξυγόνου και στη διαθεσιμότητα των συστατικών. Σε συνδυασμό με την στρωμάτωση, άρα και την ετερογένεια που χαρακτηρίζει το σωρό του υλικού προς κομποστοποίηση δημιουργούνται ζώνες διαφορετικών ενδαιτημάτων. Η δημιουργία διαφορετικών ενδαιτημάτων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία διαφορετικών κοινοτήτων μικροοργανισμών οι οποίες αντικαθίστανται διαδοχικά από άλλες και οι διαφορετικές κοινότητες χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς στάδια μικροβιακής επώασης και ανάπτυξης.

Οπότε, από μικροβιολογικής άποψης παρατηρούνται τέσσερις διακριτές ζώνες σε ένα σωρό, όπου η εξωτερική ζώνη η οποία έχει την χαμηλότερη θερμοκρασία και πλούσια

παροχή σε οξυγόνο και προχωρώντας προς τη βάση η θερμοκρασία ανεβαίνει και η παροχή οξυγόνου μειώνεται (Loehr, 1974).

2.7.1.1. Μεσόφιλη φάση (25-40°C)

Στο αρχικό στάδιο της κομποστοποίησης, χημικές ενώσεις όπως υδατάνθρακες και πρωτεΐνες, αποικοδομούνται από μύκητες και βακτήρια, που αποτελούν την ομάδα των αρχικών αποικοδομητών. Στη φάση αυτή, τα βακτήρια και οι μύκητες ανταγωνίζονται για τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων που εμπλέκονται στην πρώτη φάση, είναι μεγαλύτερος από αυτό των μυκήτων (Griffin, 1985), οπότε και οι μύκητες στη συνέχεια, εκτός από τα ακτινοβακτήρια, παραμερίζονται. Η παρουσία όμως των μυκήτων σε αυτό το στάδιο μπορεί να γίνει αισθητή λόγω της ανάπτυξης μυκηλίου. Σε αυτό το στάδιο αναπτύσσονται οργανισμοί όπως σκουλήκια και πολύχαιτοι οι οποίοι μπορούν να δράσουν καταλυτικά για τη μηχανική διάσπαση της οργανικής ύλης ώστε να γίνουν προσιτοί για τους μικροοργανισμούς.

2.7.1.2. Θερμόφιλη φάση (40-75°C)

Η άνοδος της θερμοκρασίας προσδίδει συγκριτικό πλεονέκτημα στους θερμόφιλους μικροοργανισμούς ώστε να αντικαταστάσουν τους μεσόφιλους. Η αποικοδόμηση συνεχίζεται με γρήγορους ρυθμούς ώσπου ανεβαίνει η θερμοκρασία. Η παροχή οξυγόνου είναι απαραίτητη ιδιαίτερα για την ανάπτυξη των μυκήτων, αφού μη επαρκής αερισμός και ανοξικές συνθήκες οδηγούν στον αφανισμό της κοινότητάς τους. Ο ρόλος των μυκήτων είναι ιδιαίτερα σημαντικός για υποστρώματα πλούσια σε κυτταρίνη και λιγνίνη, των οποίων θεωρούνται βασικοί αποικοδομητές. Σε θερμοκρασίες μέχρι 60°C, περισσότερο από το 40% της οργανικής ύλης αποικοδομείται από βακτήρια του Γενους *Bacillus*. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες κυρίαρχη είναι η παρουσία του είδους *Bacillus stearothermophilus* καθώς και μέλη των Γενών *Thermus* και *Deinococcus* (Beffa et al. 1996). Τα θερμόφιλα γένη που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή τη φάση είναι μη σπορογόνα και μοιάζουν λειτουργικά με στελέχη των Υδρογονοβακτηρίων που απαντώνται σε γεωθερμικές περιοχές, αποκτώντας ενέργεια από την οξείδωση θείου ή υδρογόνου και συνθέτουν οργανική ύλη από τον διοξείδιο του άνθρακα. Η σταδιακή άνοδος της θερμοκρασίας πιθανά οφείλεται στην εξώθερμη δράση ενζύμων που παράγουν τα Ακτινοβακτήρια.

Η άνοδος αυτή της θερμοκρασίας βοηθά στην απαλλαγή του κομπόστ από παθογόνους μικροοργανισμούς αλλά συγχρόνως αδρανοποιούνται οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι ακόμη και αν στη συνέχεια ελαττωθεί η θερμοκρασία δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν ξανά. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν γίνεται συχνή αναστροφή του σωρού ώστε όλο το οργανικό υλικό να έρθει σε επαφή τόσο με τους μεσόφιλους όσο και με τους θερμόφιλους οργανισμούς. Επίσης στη θερμόφιλη ζώνη έχει αναφερθεί η παρουσία θειαναγωγικών ανανερόβιων βακτηρίων (Eicker, 1981). Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την παρουσία θερμόφιλων και θερμόφιλων αρχαίων αλλά δεν έχει επιβεβαιωθεί πλήρως καθώς οι οργανισμοί αυτοί δύσκολα μπορούν να ανταποκριθούν στις γρήγορες αλλαγές στην θερμοκρασία κατά την αναστροφή του σωρού κατά την κομποστοποίηση (Stackebrandt et al., 1997). Κατά το στάδιο αυτό έχει αναφερθεί η παραγωγή μεθανίου από μεθανογενή βακτήρια (Jakel et al., 2005). Σε μελέτες των Thummes et al. (2007a, b) έχει αναφερθεί η παρουσία των ειδών *Methanosarcina thermophila*, *Methanothermobacter* sp., *Methanobacterium formicicum* και *Methanoculleus thermophiles*.

2.7.1.3. Δεύτερη μεσόφιλη φάση (25-40°C)

Όταν η ενεργότητα των θερμόφιλων οργανισμών μειωθεί λόγω της εξάντλησης των θρεπτικών, η θερμοκρασία αρχίζει να μειώνεται και κάνουν την εμφάνισή τους ξανά οι μεσόφιλοι οργανισμοί. Οι μεσόφιλοι οργανισμοί σε αυτή τη φάση προέρχονται από σπόρια μεσόφιλων οργανισμών της πρώτης φάσης είτε από εξωγενή εμβολιασμό. Στη φάση αυτή ολοκληρώνεται η αποικοδόμηση αμύλου και κυτταρίνης από βακτήρια που ανήκουν στα Γένη *Cellulomonas*, *Clostridium* και *Nocardia* και μύκητες των Γενών *Aspergillus*, *Fusarium* και *Paecilomyces* (Ryckeboer et al., 2003).

2.7.1.4. Ωρίμανση

Κατά τη τελευταία φάση, αυτή της ωρίμανσης, δεν υπάρχει διαθέσιμο υπόστρωμα για περαιτέρω αποικοδόμηση οι φυσικοχημικές παράμετροι δεν τροποποιούνται ιδιαίτερα αλλά η σύνθεση της μικροβιακής κοινότητας αλλάζει. Σε αυτό το στάδιο η παρουσία των μυκήτων είναι εντονότερη σε σχέση με την παρουσία των βακτηρίων, καθώς το χαμηλό υδατικό δυναμικό και η χαμηλή διαθεσιμότητα υποστρώματος δημιουργούν μη ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη βακτηρίων. Οι κυρίαρχες χημικές δομές σε αυτό το στάδιο είναι τα χουμικά οξέα τα οποία δεν επιδέχονται περαιτέρω αποικοδόμησης.

Στο σύνολο της η κομποστοποίηση πρέπει να θεωρηθεί σαν μια διαδοχή διαφορετικών μικροβιακών κοινοτήτων. Η κάθε κοινότητα έχει τις δικές απαιτήσεις σχετικά με τη θερμοκρασία, τις πρώτες ύλες και τις αλληλεπιδράσεις με τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς της κοινότητας. Η διαδοχή των μικροοργανισμών είναι απαραίτητη ώστε να ωριμάσει πλήρως το κομπόστ. Η πειραματική προσομοίωση των διαδικασιών αυτών είναι πολύ δύσκολη καθώς σε μικρή εργαστηριακή κλίμακα δεν μπορούν να προσομοιωθούν οι διαφορετικές στρώσεις και οι διαφορετικές σχέσεις που αναπτύσσονται λόγω του μεγέθους του όγκου τους.

2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της εφαρμογής της αναερόβιας χώνευσης στην επεξεργασία αποβλήτων

Η αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνει σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη ιδιαίτερα σε σχέση με την αερόβια επεξεργασία (Lettinga, 2001, Barton et al., 2008, Lettinga, et al., 1997). Κατά την αναερόβια χώνευση προκύπτουν μικρότερες ποσότητες σταθεροποιημένης λάσπης, 3-20 φορές λιγότερη ποσότητα από αυτήν που προκύπτει από την αερόβια επεξεργασία. Στην αερόβια επεξεργασία η μισή ποσότητα περίπου του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε βιομάζα, ενώ στην αναερόβια επεξεργασία μόνο το 5% του οργανικού άνθρακα μετατρέπεται σε βιομάζα. Η διάσπαση του οργανικού υποστρώματος στην αναερόβια χώνευση κυρίως αποδίδει μεθάνιο. Έτσι, κατά τη διεργασία αυτή μειώνεται ο όγκος των αποβλήτων που πρέπει να τύχουν διαχείρισης, μειώνοντας έτσι την απόθεση αποβλήτων και την επιμόλυνση του εδάφους και των υδάτινων πόρων. Τα παραγόμενα προϊόντα στην εκροή της διαδικασίας αυτής είναι βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα. Το βιοαέριο αφού καθαριστεί από τις ανεπιθύμητες προσμίξεις μπορεί να οδηγηθεί για καύση και να αποδώσει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Το βιοαέριο μπορεί να αποδώσει ενέργεια ίση με 9000 kcal/m³ (Bitton, 2011:410-412). Το χωνεμένο στερεό υπόλειμμα αποτελεί επιπρόσθετη πηγή εσόδων καθώς είναι εξαιρετικά πλούσιο θρεπτικά συστατικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν κομποστ και να βελτιώσει την ποιότητα των εδαφών που χρησιμοποιούνται για σκοπούς γεωργίας (Tambone et al., 2009, Rehl and Muller, 2011). Έτσι, όχι μόνο λόγω των εσόδων μειώνεται το αρχικό κόστος επένδυσης για την δημιουργία της μονάδας αφού υπάρχει οικονομικό όφελος από τα προϊόντα που προκύπτουν, αλλά μειώνεται η χρήση

ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας και η αναμενόμενη απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου οπότε υπάρχουν και περιβαλλοντικά οφέλη.

Με την αναερόβια χώνευση μπορούν να τύχουν επεξεργασίας βιομηχανικά απόβλητα αλλά και ανθεκτικά μακρομόρια όπως η λιγνίνη (Bitton, 2011:410-412).

Η αναερόβια επεξεργασία είναι σχετικά αργή μέθοδος επεξεργασίας αρκετά ευαίσθητη στις αυξομειώσεις οργανικού φορτίου αλλά και στις αλλαγές στη σύνθεση του, στις αλλαγές της θερμοκρασίας, στην παρουσία τοξικών ουσιών και ενώσεων του θείου (Bitton, 2011:410-412). Επίσης, λόγω του ότι τα μεθανογόνα βακτήρια αναπτύσσονται με χαμηλότερους ρυθμούς από τα οξικογόνα βακτήρια χρειάζεται μεγάλη προσοχή ώστε να μην διαταραχθεί η ισορροπία μεταξύ των διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών που απαρτίζουν τη μικροβιακή κοινότητα (Bitton, 2011:410-412). Κατά την έναρξη της λειτουργίας μιας τέτοιας μονάδας χρειάζεται προσεκτική μελέτη στη σύνθεση και ποσότητα του πρωτογενούς υποστρώματος και στη σύνθεση της μικροβιακής κοινότητας (Rittmann, 1988).

Προκειμένου να διασφαλιστεί η αδιάλειπτη και επιτυχής επιτέλεση της αναερόβιας χώνευσης και η σταθερή παραγωγή βιοαερίου πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος και ρύθμιση όλων των παραμέτρων που μπορεί να επηρεάσουν ή και να αναστείλουν την απόδοση της διαδικασίας.

2.9 Ζεόλιθος

Ο ζεόλιθος είναι ένας κρύσταλλος ο οποίος κυρίως αποτελείται από άτομα Si, Al και O₂ ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σαν καταλύτης σε πολλές εφαρμογές, σε διυλιστήρια πετρελαίου μέχρι και εφαρμογές της πράσινης χημείας. Μέχρι στιγμής υπάρχουν 190 καταγεγραμμένα είδη ζεόλιθου και κάθε χρόνο προστίθενται νέα είδη, σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Διεθνούς Ένωσης Ζεολίθου, καθώς εκτός από φυσικής προέλευσης μπορεί να παραχθεί και βιομηχανικά.

2.9.1. Χημική δομή ζεόλιθου

Οι διαφορετικοί τύποι ζεόλιθου αποτελούνται από αργιλοπυριτικά ορυκτα τα οποία στη χημική τους δομή περιλαμβάνουν υποκαταστάτες των ομάδων IA και IIA, όπως νάτριο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο. Ο εμπειρικός χημικός τύπος της ομάδας είναι

$M_{2/n}O-Al_2O_3-ySiO_2-wH_2O$, όπου η το φορτίο του κατιόντος, το γ λαμβάνει τιμές >2 και w ο αριθμός των μορίων νερού. Όλες οι δομικές μονάδες ζεόλιθου αποτελούνται από τρισδιάστατη διάταξη τετράεδρων TO_4 ατόμων, όπου T=τετράεδρο συντονισμένο άτομο Si^{4+} Al^{3+} . Οι δομικές αυτές μονάδες τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μοιράζονται τα άτομα οξυγόνου και η επανάληψη αυτών των δομικών μονάδων δημιουργεί άπειρα πλέγματα (Meier and Olson, 1996:5). Η παρουσία θετικά φορτισμένων ατόμων δημιουργεί τοπικά ηλεκτρικά νέφη αρνητικών φορτίων στη πλεγματική δομή, όπου με τη σειρά τους έλκουν κατιόντα στα κενά της πλεγματικής δομής του ζεόλιθου. Στα κενά της πλεγματικής δομής επίσης γίνεται προσρόφηση μορίων νερού ή οργανικών μορίων (Ruthven, 1998). Η δομή του ζεόλιθου είναι δυναμική και όχι στατική. Διαφορετικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η προσρόφηση μορίων αλλά και η φύση των μορίων αυτών μεταβάλλουν την γωνία και το μήκος των δεσμών της μοριακής δομής του ζεόλιθου, τροποποιώντας τη συμμετρία του μορίου (Nakamoto and Takahashi, 1981, Debras et al., 1986, Newsam, 1986)

2.9.2. Ταξινόμηση διαφορετικών δομών ζεόλιθου

Οι ζεόλιθοι, συχνά ταξινομούνται ανάλογα με την τοποθέτηση του δομικού τους πλαισίου. Οι περισσότεροι από τους τύπους δομικού πλαισίου χαρακτηρίζονται από ένα κωδικό όπως αυτός ορίζεται από τη Διεθνή Ένωση Ζεολίθου ((Meier and Olson, 1996:5). Κάθε τύπος δομικής μονάδας μπορεί να περιγραφεί από τα δευτερεύοντα δομικά χαρακτηριστικά, την πυκνότητα της μονάδας, το σύστημα καναλιών, τη συμμετρία των κρυστάλλων και το περιεχόμενο της (αριθμός τετραεδρικών ατόμων). Η τοποθέτηση των δομικών μονάδων στη πλεγματική δομή του ζεόλιθου, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων και κοιλοτήτων, που είναι υπεύθυνα για το μοριακό κοσκίνισμα και τις αλληλεπιδράσεις των μορίων κατά την απορρόφηση τους εντός της δομής του ζεόλιθου.

Οι ζεόλιθοι ταξινομούνται ως: Ζεόλιθοι με μικρούς πόρους, δηλαδή πόρους που αποτελούνται από 6, 8 ή 9μελής δακτυλίους, με μεσαίους πόρους, δηλαδή πόρους που αποτελούνται από 10μελής δακτυλίους και με μεγάλους πόρους όπου οι πόροι αποτελούνται από 12μελής δακτυλίους. Εργαστηριακά έχουν συντεθεί ζεόλιθοι με μεγαλύτερους πόρους, όπως ο VPI-5 του οποίου οι πόροι αποτελούνται από 18μελής δακτυλίους και έχουν τη δυνατότητα να προσροφούν μέσα στο πλέγμα μεγάλα μόρια

(Davis, et al., 1988). Ο ζεόλιθος Alpo-8 αποτελείται από 14μελής δακτυλίους και ο ζεόλιθος Cloverite από 20μελής δακτυλίους (Dessau, 1990 and Estermann et al., 1991)

2.9.3. Δημιουργία και γεωγραφική κατανομή ζεόλιθου

Η ομάδα των ζεολίθων ανακαλύφθηκε και χαρακτηρίστηκε για πρώτη φορά το 1756 και το όνομα του ορυκτού αυτού προέρχεται από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις Ζέω που σημαίνει βράζω και Λίθος που σημαίνει πέτρα, εξαιτίας της ιδιάζουσας αναβράζουσας εμφάνισης του ορυκτού λόγω της αποβολής νερού, κατά την υποβολή του σε θέρμανση (Ruthven, 1998).

Οι ζεόλιθοι αρχικά εντοπίστηκαν σε κοιλότητες πετρωμάτων ηφαιστειακής προέλευσης, όπου και συναντώνται συχνά καθώς σχηματίζουν μεγάλους κρυστάλλους. Αποθέσεις ζεόλιθου συναντώνται σε αλατούχες αλκαλικές λίμνες και εδάφη, σε επικαθήσεις σε ωκεανούς και σε υδρολογικά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας (Hay, 1986). Ο ζεόλιθος παλαιότερα θεωρείτο σπάνιο ορυκτό, αν και οι πρόσφατες γεωλογικές μελέτες υποδεικνύουν ότι πρόκειται για ορυκτό το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Συγκεκριμένα έχει καταγραφεί η παρουσία του σε τεράστιες ποσότητες και σε ψηλή καθαρότητα (πάνω από 90%), στην Αμερική, Ρωσία, Ουκρανία, Γεωργία, Ιαπωνία, Κούβα και Αφρική.

Από το 1950 και μετά έχουν γίνει πάνω από 1000 καταγραφές ζεόλιθου διαφορετικών ιζηματογενών προελεύσεων σε περισσότερες από 40 χώρες. Οι μηχανισμοί δημιουργίας όπως προκύπτουν από διαφορετικές γεωλογικές μελέτες είναι πολλοί (Beck et al., 1992). Αποθέσεις ζεόλιθων έχουν δημιουργηθεί κατά τη ροή λάβας σε υδρογεωθερμικά συστήματα και την αντίδραση της με υδατικά διαλύματα, σε κλειστές αλκαλικές αλατούχες λίμνες κατά την απόθεση ηφαιστειακών ιζημάτων και κατά την αλληλεπίδραση εκβολών λιμνών γλυκού νερού ή υπογείων υδάτων σε ιζήματα ηφαιστειακής προέλευσης. Άλλοι μηχανισμοί προτείνουν τον μετασχηματισμό ηφαιστειακών αποθέσεων υπό την επίδραση αλκαλικών εδαφών αλλά και την δημιουργία ζεόλιθου από υποθαλάσσιες κατακρημνίσεις σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας.

Η γεωλογική προέλευση των διαφορετικών τύπων ζεόλιθου δεν μεταβάλλει χαρακτηριστικά όπως η διαθεσιμότητα SiO_2 και Al_2O_3 και η παρουσία μεταλλικών

ιόντων στα μόρια τους. Οι αποθέσεις ζεόλιθων σε γεωλογικά συστήματα όμως εμφανίζουν χαρακτηριστική ζώνωση η οποία οφείλεται σε αλλαγές στη χημεία του νερού, στη θερμοκρασία και την ηλικία των αποθέσεων.

2.9.4. Ιδιότητες ζεόλιθου

Οι ιδιότητες του ζεόλιθου έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές. Μελέτες του Eichhorn το 1858 έχουν αποδείξει την ικανότητα του ζεόλιθου για ανταλλαγή ιόντων και την ικανότητα του ζεόλιθου να ενυδατώνεται και αφυδατώνεται. Ο Freidel το 1896 μελέτησε την ικανότητα προσρόφησης υγρών οργανικών ουσιών στη πλεγματική δομή του ζεόλιθου και το Grandjean το 1909 την προσρόφηση αερίων εντός τη πλεγματικής δομής. Για πολλά χρόνια η χρήση των ζεόλιθων δεν εξαπλώθηκε, μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα όπου ο McBain (1932) μελέτησε και πρότεινε τη χρήση του ζεόλιθου σαν μοριακό κόσκινο και ο Barrer (1938) έθεσε τις βάσεις για τη φυσικοχημική μελέτη του ζεόλιθου. Σαν αποτέλεσμα ξεκίνησε η ανάπτυξη τεχνικών εργαστηριακής σύνθεσης του ζεόλιθου σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης τόσο ζεόλιθων με γνωστές δομικές μονάδες όσο και νέων δομικών μονάδων (Breck, 1956).

2.9.5 Εφαρμογές και χρήσεις ζεόλιθου

Ο ζεόλιθος χρησιμοποιείται ευρέως ως καταλύτης καθώς οι κοιλότητες στη δομή του χαρακτηρίζονται από εκλεκτικότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ετερογενείς καταλύτες. Η χρήση τους ως καταλύτες προτιμάται έναντι των συμβατικών καταλυτών καθώς είναι περιβαλλοντικά πιο φιλική η χρήση τους από τους συμβατικούς. Κυρίως χρησιμοποιούνται για αντιδράσεις ανταλλαγής πρωτονίων ή αντιδράσεις που καταλύονται από οξέα κατά Lewis, όπου χρησιμοποιείται η εκλεκτικότητα των κοιλοτήτων της πλεγματικής δομής σε διάφορες λειτουργικές ομάδες. Υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν στη μοριακή δομή του ζεόλιθου άλλα χημικά στοιχεία ή ομάδες εκτός του πυριτίου και του αργιλίου ώστε να κατασκευασθούν καταλύτες με εξειδικευμένες χημικές ιδιότητες. Με τη χρήση καταλυτών ζεόλιθου μεταξύ άλλων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν αντιδράσεις ισομερισμού διπλού δεσμού, αφυδάτωσης, αφυδρογόνωσης, υποκατάστασης αρωματικού δακτυλίου, εκλεκτικής υδρογόνωσης και επιλεκτικής οξειδωσης (Hölderich, 1986 and Hölderich et al., 1988).

Στη βιομηχανία απορρυπαντικών διάφοροι τύποι ζεόλιθου έχουν αντικαταστήσει τα φωσφορικά άλατα τα οποία ευθύνονται για την διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας υδάτινων οικοσυστημάτων. Η χρήση ζεόλιθου είναι φιλική προς το περιβάλλον οπότε αποτελεί ελκυστική εναλλακτική επιλογή σε απορρυπαντικά. Σε διυλιστήρια επίσης χρησιμοποιείται ζεόλιθος ως καταλύτης ώστε να αυξηθούν οι αποδόσεις αλλά και να μειωθούν οι εκπομπές θείου ώστε να επιτυγχάνονται οι περιβαλλοντικοί στόχοι (Yilmaz and Muller 2009).

Διάφοροι τύποι ζεόλιθου χρησιμοποιούνται ως καταλύτες για την αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης και της παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας. Η χρήση ζεόλιθου μπορεί να μειώσει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου από διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Η εκλεκτική καταλυτική αναγωγή είναι νέα τεχνολογία η οποία μπορεί να μετατρέψει τα οξείδια του αζώτου σε μοριακό άζωτο και νερό. Διάφοροι τύποι ζεόλιθου μελετώνται από αυτοκινητοβιομηχανίες ώστε να χρησιμοποιηθούν για την μείωση των εκπομπών μονοξειδίων του αζώτου κατά την κίνηση των οχημάτων.

Η χρήση ζεόλιθου μπορεί να αποδειχθεί βοηθητική για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων και αμμωνίας από τα υγρά απόβλητα. Η παρουσία βαρέων μετάλλων σε υγρά απόβλητα αποτελεί ένα σύγχρονο μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα καθώς υποβαθμίζεται η οικολογική ποιότητα των εδαφών και των υδάτων επηρεάζοντας τους φυτικούς οργανισμούς, τα ζώα και στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας (Townsend, 1991:359). Επίσης, η παρουσία ενώσεων αζώτου στην εκροή αποβλήτων από αστικές και βιομηχανικές χρήσεις λόγω της έκπλυσης πρόσθετων και λιπασμάτων επηρεάζει τα υδάτινα οικοσυστήματα και την τροφική αλυσίδα και οδηγεί σε φαινόμενα ευτροφισμού (Passaglia and Vezzalini, 1985). Φυσικοί ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται για την εκλεκτική δέσμευση και μείωση της αμμωνίας και βαρέων μετάλλων όπως κάδμιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος και χρώμιο (Nastro and Colella, 1983). Η προσθήκη ορυκτού ζεόλιθου κατά την αναερόβια επεξεργασία κοπριάς βοοειδών έχει αποδειχθεί σε μελέτη των Borja et al. ότι προκαλεί ανάσχεση της ανασταλτικής δράσης της αμμωνίας (1996).

Στη γεωργία, φυσικοί ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται σε εμπλουτισμό εδαφών με χαμηλό pH, για δέσμευση βαρέων μετάλλων και σαν φορείς μυκητοκτόνων και παρασιτοκτόνων (Passaglia and Vezzalini, 1985).

2.10 Μοντελοποίηση απόδοσης αναερόβιας επεξεργασίας

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα έχει καταβάλει προσπάθεια για χρήση μαθηματικών εξισώσεων και εφαρμογή αλγόριθμων ώστε να μπορέσει να μοντελοποιήσει και να προβλέψει με την χρήση υπολογιστών την παραγωγή βιοαερίου. Πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν καταγραφεί και έχουν δημιουργηθεί αρκετά μοντέλα για παραγωγή βιοαερίου από ένα υπόστρωμα. Οι προσπάθειες γίνονται πιο περίπλοκες στην περίπτωση που επιθυμούμε την πρόβλεψη για συνδυασμούς διαφορετικών υποστρωμάτων, καθώς είναι δύσκολο να προβλεφθεί η κινητική των διαφορετικών αντιδράσεων, το ισοζύγιο των θρεπτικών και οι χημικές αντιδράσεις των διαφορετικών υποστρωμάτων (Esposito et al., 2012).

Το 1996 προτάθηκε ένα μοντέλο από τους Bozinis et al. το οποίο προτείνει την πρόβλεψη του παραγόμενου βιοαερίου με χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο χωρίζει το πολύπλοκο οργανικό κλάσμα σε βασικές ομάδες, πρωτεΐνες, λίπη, υδατάνθρακες και στη συνέχεια υπολογίζει την παραγωγή βιοαερίου από αυτές τις απλές ομάδες ξεχωριστά. Οι Gavala et al. (1996) πρότειναν ένα μαθηματικό μοντέλο χώνευσης υγρών αποβλήτων από γεωργικές εργασίες. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη τα τέσσερα στάδια της αναερόβιας διαδικασίας, την υδρόλυση, οξεογένεση, ακετογένεση και μεθανογένεση. Το μοντέλο αυτό αδυνατεί να προβλέψει την συγκέντρωση μεθανίου αλλά και την ανασταλτική επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας και των πτητικών λιπαρών οξέων. Στη συνέχεια, οι Kiely et al. (1997) ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει το στάδιο της ακετογένεσης και της μεθανογένεσης ενώ λαμβάνει υπόψη την ανασταλτική δράση της αμμωνίας και μπορεί να προβλέψει τυχόν αλλαγές στο pH.

Το μοντέλο ADM1 δημιουργήθηκε από την ομάδα μαθηματικής μοντελοποίησης διαδικασιών αναερόβιας χώνευσης της IWA (International Water Association) το 2002, σε μια προσπάθεια μοντελοποίησης της αναερόβιας χώνευσης. Στον σχεδιασμό του μοντέλου ADM1 χρησιμοποιήθηκαν κινητικές παράμετροι και παρατηρήσεις σε αναερόβια χώνευση γαλακτοκομικών, κοπριάς και στερεών αποβλήτων ελαιοτριβείου. Το μοντέλο αυτό μειονεκτεί στο ότι παραβλέπονται κάποιες διαδικασίες που

εμπλέκονται στην αναερόβια διεργασία όπως παραγωγή H_2S , η παρεμπόδιση της διαδικασίας από την αμμωνία και την υψηλή συγκέντρωση πτητικών οξέων.

Τα επόμενα χρόνια, παρουσιάστηκαν αρκετές μελέτες όπου έγινε προσπάθεια για να βελτιωθεί το μοντέλο ADM1. Σε μεταγενέστερη μελέτη των Zaher et al. (2009) έγινε προσπάθεια για πρόβλεψη και βελτίωση της συγχώνευσης διαφορετικών υποστρωμάτων με χρήση του ADM1. Στην μελέτη αυτή δεν μπορεί να γίνει μόνο εισαγωγή των διαφορετικών τύπων υποστρωμάτων στο ρεύμα εισροής, αλλά πρέπει να προηγηθεί λεπτομερής υπολογισμός του συνόλου των υδατανθράκων, λιπών και πρωτεϊνών και μετέπειτα υπολογισμός της παραγωγής βιοαερίου.

Σε μελέτη των Sosnowski et al. (2008) έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η αναερόβια χώνευση λυματολάσπης και του οργανικού κλάσματος αστικών αποβλήτων. Αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο δύο σταδίων, της ακετογένεσης και της μεθανογένεσης το οποίο εξετάστηκε το ισοζύγιο του άνθρακα σε όλη τη διαδικασία. Στο μοντέλο αυτό δεν διαχωρίζονται συγκεκριμένες ομάδες μικροοργανισμών, περιλαμβάνει την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και λαμβάνει υπόψη την ανασταλτική δράση των πτητικών λιπαρών οξέων. Σε μεταγενέστερη μελέτη των Ponsa et al. (2011) προτάθηκε ένα μοντέλο διαχωρίζει το οργανικό κλάσμα σε τρεις υποκατηγορίες το γρήγορα, ενδιάμεσα και αργά βιοδιασπώμενες ουσίες. Η αξιοπιστία του μοντέλου εξετάστηκε σε πληθώρα υποστρωμάτων φυτικά και ζωικά λίπη, κυτταρίνη και πρωτεΐνες.

2.11 Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων

Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και δύσκολα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η σύγχρονη κοινωνία. Με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται στην επίσημη ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το Περιβάλλον η νομοθεσία σχετικά με τον τομέα των αποβλήτων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στις εξής ομάδες: Ευρωπαϊκή Νομοθεσία Πλαίσιο για τα Απόβλητα, Ευρωπαϊκή Νομοθεσία αναφορικά με τις Εργασίες Διαχείρισης των Αποβλήτων, Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τις Ειδικές Ροές Αποβλήτων και Ευρωπαϊκή Νομοθεσία για τον καταρτισμό ερωτηματολογίων και αναφορών. Για τους σκοπούς τους παρούσας εργασίας ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο 2008/98 για

τα απόβλητα και η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο 1999/31 περί υγειονομικής ταφής αποβλήτων.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο 2008/98 έχει ενσωματωθεί στην Κυπριακή νομοθεσία με τον περί αποβλήτων νόμο του 2011 185(I)/2011. Στόχος της οδηγίας πλαισίου 2008/98 είναι η θέσπιση ενός νομικού πλαισίου για την επεξεργασία αποβλήτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με την εφαρμογή αυτού του νομικού πλαισίου επιδιώκεται η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, προσδίδοντας την απαραίτητη σημασία στην διαχείριση των αποβλήτων, την ανάκτηση και ανακύκλωση τους ώστε να μειωθεί η ανθρωπογενής πίεση στους φυσικούς πόρους και να μεγιστοποιηθεί η χρήση τους.

Στα πλαίσια της οδηγίας Πλαίσιο 2008/98 ως απόβλητο ορίζεται κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχος του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει καθώς και τα βιολογικά απόβλητα (βιοαπόβλητα) όπου περιλαμβάνονται τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρείων από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων. Η οδηγία Πλαίσιο 2008/98 δεν περιλαμβάνει τη διαχείριση αποβλήτων που περιλαμβάνουν τα αέρια απόβλητα που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, εδάφη στον αρχικό χώρο που περιλαμβάνουν ρυπασμένη γη, η οποία δεν έχει ακόμα εκσκαφθεί, και τις κατασκευές που συνδέονται μόνιμα με αυτήν, μη ρυπασμένη γη και άλλα φυσικά υλικά, που έχουν εκσκαφθεί κατά τη διάρκεια κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, εφόσον είναι βέβαιο ότι τα υλικά αυτά θα χρησιμοποιηθούν στη φυσική τους κατάσταση για κατασκευές στον χώρο, από τον οποίο έγινε η εκσκαφή, ραδιενεργά απόβλητα, αποχαρακτηρισμένα εκρηκτικά, περιττώματα, άχυρο και άλλα φυσικά ακίνδυνα υλικά προερχόμενα από τη γεωργία ή τη δασοκομία τα οποία χρησιμοποιούνται στη γεωργία ή τη δασοκομία ή για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα με διαδικασίες ή μεθόδους που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον και δεν θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, λύματα αστικού τύπου, ζωικά υποπροϊόντα, συμπεριλαμβανομένων των μεταποιημένων προϊόντων που καλύπτονται από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 όπως έχει αντικατασταθεί από τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1069/2009, εκτός από εκείνα που προορίζονται για αποτέφρωση, υγειονομική ταφή ή χρήση σε εγκαταστάσεις βιοαερίου ή κομποστοποίησης ή/και

λιπασματοποίησης, πτώματα ζώων, τα οποία αποθνήσκουν εκτός σφαγείων, συμπεριλαμβανομένων ζώων που θανατώνονται για την εξάλειψη επιζωοτιών και διατίθενται σύμφωνα με τον κανονισμό 1069/2009, απόβλητα που προκύπτουν από εργασίες έρευνας, εξόρυξης, επεξεργασίας και αποθήκευσης ορυκτών πόρων και από τις εργασίες εκμετάλλευσης λατομείων, σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας ιζήματα που επανατοποθετούνται σε επιφανειακά ύδατα με σκοπό τη διαχείριση των υδάτων και των υδάτινων οδών ή την πρόληψη πλημμυρών ή την εκτέλεση εγχειοβελτιωτικών έργων ή τον μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες εξαιρούνται από το πεδίο εφαρμογής του παρόντος νόμου, εφόσον αποδειχθεί ότι τα ιζήματα αυτά δεν είναι επικίνδυνα.

Η οδηγία Πλαίσιο 2008/98 καθορίζει τις βασικές έννοιες και ορισμούς που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων καθώς πέραν του ότι καθιερώνονται ορισμοί όπως οι ορισμοί των αποβλήτων, των βιοαποβλήτων, των αποβλήτων ελαίων, των παραγωγών και κατόχων αποβλήτων, επίσης διευκρινίζει τις συνθήκες βάση συγκεκριμένων κριτηρίων (End-of-waste criteria) όπου τα απόβλητα παύουν να είναι απόβλητα και καθίστανται μια δευτερεύουσα πρώτη ύλη πώς γίνεται διάκριση μεταξύ αποβλήτων και παραπροϊόντων . Η οδηγία αυτή επίσης, καθορίζει ορισμένες βασικές αρχές της διαχείρισης των αποβλήτων καθώς απαιτεί τα απόβλητα να αντιμετωπίζονται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον , και ιδίως χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος για το νερό , τον αέρα , το έδαφος , τα φυτά ή τα ζώα , χωρίς να προκαλούνται ενοχλήσεις από το θόρυβο ή τις οσμές , και χωρίς να επηρεάζεται δυσμενώς το τοπίο ή οι τοποθεσίες ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Επιβεβαιώνει την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», όπου ο αρχικός παραγωγός αποβλήτων πρέπει να πληρώσει για το κόστος διαχείρισης των αποβλήτων. Εισάγει την έννοια της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού». Στην έννοια αυτή περιλαμβάνεται η υποχρέωση αποδοχής και διάθεσης από τους κατασκευαστές των επιστρεφόμενων προϊόντων που παραμένουν μετά τη χρήση. Οι παραγωγοί ή κάτοχοι αποβλήτων θα πρέπει να τα επεξεργάζονται μόνοι τους ή να εμπιστευτούν την επεξεργασία τους σε έναν επίσημα αναγνωρισμένο φορέα εκμετάλλευσης, όπου σε αυτή την περίπτωση απαιτείται άδεια και περιοδική υποβολή σε επιθεωρήσεις. Οι αρμόδιες εθνικές αρχές υποχρεούνται να καταρτίσουν σχέδια διαχείρισης αποβλήτων αλλά και προγράμματα πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων. Ειδικές προβλέψεις εφαρμόζονται για τα επικίνδυνα απόβλητα, τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια και τα βιολογικά απόβλητα.

Ειδικότερα, στο άρθρο 4 της οδηγίας πλαίσιο θεσπίζεται η ιεράρχηση από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης των πιο κάτω ενεργειών στα πλαίσια της στρατηγικής για τη διαχείριση των αποβλήτων: πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση και διάθεση. Η πρόληψη περιλαμβάνει τα μέτρα τα οποία λαμβάνονται προτού μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστούν απόβλητα, μέσω των οποίων μειώνεται η ποσότητα των αποβλήτων μέσω της επαναχρησιμοποίησης ή της παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων, μειώνονται οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία αλλά και η περιεκτικότητα των υλικών και προϊόντων σε επικίνδυνες ουσίες.

Επαναχρησιμοποίηση είναι κάθε εργασία όπου προϊόντα ή συστατικά τους στοιχεία που δεν είναι απόβλητα χρησιμοποιούνται ξανά για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν.

Η ανάκτηση περιλαμβάνει τις εργασίες όπου το κύριο αποτέλεσμα είναι η χρήση των αποβλήτων στη θέση άλλων υλικών τα οποία υπό άλλες συνθήκες, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας, ή ότι απόβλητα υφίστανται προετοιμασία για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας, είτε στην εγκατάσταση είτε στο γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας. Η οδηγία πλαίσιο παραθέτει μη εξαντλητικό κατάλογο των εργασιών ανάκτησης, στον οποίο περιλαμβάνει και τις εργασίες ανάκτησης ενέργειας. Η ανακύκλωση περιλαμβάνει τις εργασίες ανάκτησης με τις οποίες τα απόβλητα μετατρέπονται εκ νέου σε προϊόντα, υλικά ή ουσίες που προορίζονται είτε να εξυπηρετήσουν και πάλι τον αρχικό τους σκοπό είτε άλλους σκοπούς. Περιλαμβάνει την επανεπεξεργασία οργανικών υλικών αλλά όχι την ανάκτηση ενέργειας και την επανεπεξεργασία σε υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή σε εργασίες επίχωσης.

Διάθεση είναι η εργασία η οποία δεν συνιστά ανάκτηση, ακόμη και στην περίπτωση που η εργασία έχει ως δευτερογενή συνέπεια την ανάκτηση ουσιών ή ενέργειας. Στις διαδικασίες διάθεσης περιλαμβάνονται η εναπόθεση εντός ή επί του εδάφους και σε ειδικά διευθετημένους χώρους υγειονομικής ταφής.

Ιδιαίτερα στο άρθρο 11 για την επίτευξη των στόχων και τη μετάβαση σε μια Ευρωπαϊκή Κοινωνία Ανακύκλωσης, με υψηλό επίπεδο αποδοτικότητας των πόρων, καθορίζονται οι πιο κάτω στόχοι α) έως το 2020, το ποσοστό για προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίηση και για ανακύκλωση πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστο, στο 50% του συνολικού βάρους των αποβλήτων υλικών, τουλάχιστον για το χαρτί, το μέταλλο, το πλαστικό και το γυαλί οικιακής προέλευσης ή άλλης, εφόσον τα προαναφερόμενα απόβλητα υλικά προσομοιάζουν με τα οικιακά απόβλητα και β) έως το 2020, το ποσοστό για προετοιμασία προς επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και άλλη ανάκτηση υλικών πρέπει να ανέλθει, κατ' ελάχιστο, στο 70% του συνολικού βάρους των μη επικινδύνων αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Στο ποσοστό αυτό περιλαμβάνεται και η χρήση των μη επικινδύνων αποβλήτων κατασκευών ή/και κατεδαφίσεων για εργασίες επίχωσης. Από τις ρυθμίσεις της παρούσας παραγράφου εξαιρούνται τα μη επικίνδυνα απόβλητα που ανήκουν στην κατηγορία «χώματα και πέτρες» του καταλόγου αποβλήτων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί τη διαμόρφωση και θέσπιση μέτρων τα οποία λαμβάνουν υπόψη την αειφόρο ανάπτυξη, την προφύλαξη του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων, την οικονομική βιωσιμότητα και την προφύλαξη της ανθρώπινης υγείας. Ιδιαίτερα στο άρθρο 13 γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην διαχείριση των αποβλήτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργείται κίνδυνος για το νερό, τον αέρα, το έδαφος, τα φυτά ή τα ζώα, να προκαλείται θόρυβος ή οσμές και χωρίς να επηρεάζεται κατά δυσμενή τρόπο το τοπίο και τοποθεσίες ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας παρουσιάζει το άρθρο 22 της οδηγίας όπου γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, ενθαρρύνεται η διαλογή στην πηγή των βιολογικών αποβλήτων με σκοπό την κομποστοποίηση ή/και λιπασματοποίηση και τη χώνευση (ζύμωση) των βιοαποβλήτων. Επίσης, προτείνει την επεξεργασία των βιολογικών αποβλήτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας και να προωθείται η χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών υλικών τα οποία παράγονται από βιολογικά απόβλητα. Η οδηγία πλαίσιο σχετικά με τα απόβλητα ενθαρρύνει τα κράτη μέλη να συλλέγουν χωριστά και να ανακυκλώνουν τα βιολογικά απόβλητα ενώ παράλληλα τους επιτρέπει να τα συνυπολογίζουν για την επίτευξη του δεσμευτικού στόχου ανακύκλωσης των αστικών αποβλήτων. Στο άρθρο

10 επισημαίνεται η υποχρέωση του παραγωγού ή κατόχου ή φορέα διαχείρισης αποβλήτων να τα υποβάλει σε εργασίες ανάκτησης σύμφωνα με την ιεράρχηση των ενεργειών που παρατίθεται στο άρθρο 4 λαμβάνοντας τις προφυλάξεις που υπαγορεύονται στο άρθρο 13. Λαμβάνοντας τα υπόψη τα πιο πάνω οι εργασίες ανάκτησης των αποβλήτων προηγούνται της τελικής διάθεσης. Οι εργασίες ανάκτησης των αποβλήτων πρέπει να διεξάγονται σύμφωνα με τους όρους και περιορισμούς της κείμενης νομοθεσίας. Εντός του πλαισίου αυτού επιβάλλεται η χωριστή συλλογή των αποβλήτων ή η αποτροπή της ανάμιξης διαφορετικών κατηγοριών αποβλήτων ή υλικών με διαφορετικές ιδιότητες. Για σκοπούς ανάκτησης παρατίθεται στο παράρτημα ΙΙ της οδηγίας 2008/98 μη εξαντλητικός κατάλογος των προτεινόμενων εργασιών. Μεταξύ άλλων προτείνεται η χρήση των αποβλήτων ως καύσιμο ή ως άλλο μέσο παραγωγής ενέργειας, η επεξεργασία τους σε χερσαίο χώρο ώστε να προκύπτει όφελος για τη γεωργία ή οικολογικές βελτιώσεις, την ανακύκλωση/ανάκτηση οργανικών ουσιών που δεν χρησιμοποιούνται ως διαλύτες μέσω διεργασιών κομποστοποίησης και άλλων διαδικασιών βιολογικού μετασχηματισμού.

Στο άρθρο 28 επισημαίνεται η υποχρέωση των κρατών μελών να καταρτίσουν ένα ή περισσότερα σχέδια διαχείρισης αποβλήτων. Στα σχέδια αυτά πρέπει να περιλαμβάνονται μέτρα για την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανακύκλωση ανάκτηση και διάθεση των αποβλήτων αλλά και αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο το σχέδιο θα υποστηρίξει την υλοποίηση των στόχων της οδηγίας 2008/98. Τα σχέδια αυτά πρέπει να περιλαμβάνουν τον τύπο, την ποσότητα και την πηγή των παραγόμενων αποβλήτων, τα απόβλητα που είναι πιθανόν να αποσταλούν από ή προς την εθνική επικράτεια και αξιολόγηση της μελλοντικής εξέλιξης των ροών αποβλήτων. Σε αυτά τα σχέδια πρέπει να υπάρχουν στοιχεία όπως καταγραφή και αξιολόγηση των υφιστάμενων προγραμμάτων συλλογής αποβλήτων και εγκαταστάσεων διάθεσης και ανάκτησης, οι γενικές πολιτικές διαχείρισης αποβλήτων, οι οργανωτικές πτυχές, η αξιολόγηση της χρησιμότητας και της καταλληλότητας της χρησιμοποίησης οικονομικών και άλλων μέσων, την ενημέρωση του κοινού και την αποκατάσταση μολυσμένων τοποθεσιών. Τα σχέδια διαχείρισης αποβλήτων πρέπει να είναι σύμφωνα προς τις απαιτήσεις σχεδιασμού περί αποβλήτων που ορίζονται στο άρθρο 14 της οδηγίας 94/62/EK και τη στρατηγική για την υλοποίηση της μείωσης των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων τα οποία προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής, που αναφέρεται στο άρθρο 5 της οδηγίας 1999/31/EK.

Στην ανακοίνωση της επιτροπής στο συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σχετικά με τα επόμενα στάδια όσον αφορά την διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση επαναλαμβάνεται η ενθάρρυνση προς τα κράτη μέλη όπως απορρέει από την οδηγία πλαίσιο 2008/98 ώστε να γίνεται χωριστή συλλογή και ανακύκλωση των βιολογικών αποβλήτων και ο συνυπολογισμός τους για την επίτευξη του δεσμευτικού στόχου ανακύκλωσης αστικών αποβλήτων. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από τη βελτίωση της διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων είναι η μείωση της εκπομπής αερίων που επιδεινώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η παραγωγή προϊόντων λιπασματοποίησης και βιοαερίου υψηλής ποιότητας ώστε να επιπτευχθεί η ποιοτική αναβάθμιση των εδαφών και η βελτίωση της ενεργειακής αυτάρκειας.

Στην πιο πάνω ανακοίνωση γίνεται αναφορά στην οδηγία 1999/31/EK η οποία υποχρεώνει τα κράτη μέλη να μειώσουν την ποσότητα βιοαποικοδομήσιμων αστικών αποβλήτων τα οποία καταλήγουν στους χώρους υγειονομικής ταφής σε κατά 35% μέχρι το 2016 σε σχέση με τις αντίστοιχες ποσότητες του 1995. Σε μια ομάδα κρατών, μεταξύ των οποίων και η Κύπρος, όπου η υγειονομική ταφή παρουσίαζε ευρύτατη εφαρμογή παρατάθηκε η περίοδος επίτευξης του στόχου κατά τέσσερα χρόνια. Στόχος της πιο πάνω οδηγίας είναι εκτροπή των κρατών μελών από την πιο οικονομικά συμφέρουσα επιλογή και η διαφύλαξη του περιβάλλοντος. Η σχετικά ανακοίνωση προτείνει δράσεις που κρίνονται αναγκαίες ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων. Ιδιαίτερα, σχετικά με την οδηγία 199/31/EK η οποία μεταφέρθηκε στο Κυπριακό δίκαιο ως οι περί Στερεών και Επικινδύνων Αποβλήτων (Χώροι Υγειονομικής Ταφής) Κανονισμοί ΚΔΠ.618/2007 και ΚΔΠ. 147/2014, τίθεται ξεκάθαρος στόχος για τον όγκο των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων τα οποία καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής, όπου έπρεπε να μειωθούν μέχρι το 2010 στο 75%, μέχρι το 2013 στο 50% και μέχρι το 2016 στο 35% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων που είχαν παραχθεί το 1995 ή τον τελευταίο προ του 1995 χρόνο για τον οποίο υπάρχουν διαθέσιμα τυποποιημένα στοιχεία της Eurostat.

Στην ανακοίνωση της επιτροπής στο συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σχετικά με τα επόμενα στάδια όσον αφορά την διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση επαναλαμβάνεται ότι η διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων πρέπει βελτιωθεί και προτείνονται μέτρα προς αυτή την κατεύθυνση τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και σε επίπεδο κρατών μελών. Αρχικά τα κράτη μέλη πρέπει να καταρτίσουν σχέδια δράσης για τη διαχείριση αποβλήτων όπου ουσιαστικό ρόλο θα διαδραματίζουν οι δράσεις πρόληψης δημιουργίας βιολογικών αποβλήτων. Επίσης πρέπει να επιδιωχθεί η χωριστή διαλογή αποβλήτων και η αξιοποίηση των βιολογικών αποβλήτων. Η λιπασματοποίηση και η αναερόβια χώνευση προσφέρουν πολλά υποσχόμενα οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα. Οι διαδικασίες αυτές προϋποθέτουν την εισαγωγή καλής ποιότητας υλικών, όπου η ποιότητα μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χωριστή διαλογής των αποβλήτων. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε χώρες όπως η Αυστρία, η Γερμανία, το Λουξεμβούργο, η Σουηδία, το Βέλγιο, οι Κάτω Χώρες, η Καταλονία και ορισμένες περιφέρειες της Ιταλίας όπου καθιερώθηκαν ιδιαίτερα επιτυχημένα συστήματα χωριστής συλλογής προσαρμοσμένα στις κατά τόπους συνθήκες με τρόπο που να διευκολύνει τη χρήση των εν λόγω συστημάτων για το κοινό ώστε να επιτυγχάνεται η ανακύκλωση και η αναερόβια χώνευση υψηλής ποιότητας. Επίσης προτείνεται η χρήση προϊόντων λιπασματοποίησης από βιολογικά απόβλητα και η διάδοση της χρήσης τους έναντι της χρήσης ανόργανων λιπασμάτων. Συστήνεται η απομάκρυνση των βιολογικών αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής με στόχο την πλήρη κατάργηση της διοχέτευσης τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αντίθετα, τα βιολογικά απόβλητα προτείνεται να χρησιμοποιούνται για σκοπούς παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή καυσίμων για τον τομέα των μεταφορών σχετικά χαμηλού κόστους, περιορίζοντας τη χρήση ορυκτών καυσίμων και διασφαλίζοντας την ασφάλεια του εφοδιασμού.

Η πρόταση για την τροποποίηση της οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την τροποποίηση της οδηγίας 2008/98.ΕΚ τα απόβλητα που συντάχθηκε το Δεκέμβριο του 2015, κρίθηκε αναγκαία καθώς έχει διαπιστωθεί ότι η ευρωπαϊκή οικονομία σήμερα χάνει σημαντικές ποσότητες δευτερογενών πρώτων υλών που καταλήγουν σε ροές αποβλήτων. Συγκεκριμένα το 2013 η συνολική παραγωγή αποβλήτων στην ΕΕ ανήλθε σε περίπου 2,5 δισεκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων 1,6 δισεκατομμύρια τόνοι δεν επαναχρησιμοποιήθηκαν ούτε ανακυκλώθηκαν και χάθηκαν για την ευρωπαϊκή οικονομία. Σύμφωνα με εκτιμήσεις θα μπορούσαν να

ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν 600 εκατομμύρια τόνοι επιπλέον. Στα κράτη μέλη περίπου το 43 % των αστικών αποβλήτων που παράχθηκε το 2013 ανακυκλώθηκε, ενώ το υπόλοιπο κατέληξε σε χώρους υγειονομικής ταφής σε ποσοστό 31 % ή αποτεφρώθηκε σε ποσοστό 26 %. Όχι μόνο τα κράτη μέλη χάνουν σημαντικές ευκαιρίες για βελτίωση της αποδοτικής χρήσης των πόρων και δημιουργία μιας περισσότερο κυκλικής οικονομίας, αλλά και όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, ενώ το 2011, έξι κράτη μέλη διέθεσαν σε χώρους υγειονομικής ταφής ποσοστό μικρότερο από 3 % των αστικών αποβλήτων τους, σε 18 κράτη μέλη το ποσοστό αυτό υπερέβη το 50 %, ενώ σε ορισμένα υπερέβη το 90 %. Η άνιση αυτή κατάσταση προκειμένου να αντιμετωπιστεί προτάθηκε η τροποποίηση της οδηγίας 2008/98 τον Δεκέμβριο του 2015 σαν μέρος των προσπαθειών για επίτευξη κυκλικής οικονομίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μετατρέποντας τα απόβλητα σε πόρο.

Σύμφωνα με τις προτάσεις για τροποποίηση της νομοθεσίας για τα απόβλητα, μεταξύ άλλων, εναρμονίζονται οι ορισμοί που περιλαμβάνονται στις πιο πάνω οδηγίες. Συγκεκριμένα στο άρθρο 3 παρεμβάλλεται το σημείο 1(α) όπου δίνεται ο ορισμός των αστικών αποβλήτων όπου σε αυτά περιλαμβάνονται τα ανάμεικτα απόβλητα και τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά από τα νοικοκυριά, μεταξύ άλλων τα εξής: χαρτί και χαρτόνι, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, βιολογικά απόβλητα, ξύλο, προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας, απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, απόβλητα ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών, τα ογκώδη απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων λευκών συσκευών, στρωμάτων και επίπλων, τα απόβλητα κήπων, συμπεριλαμβανομένων φύλλων και αποκομμάτων χόρτου. Στην κατηγορία αυτή παραμένουν τα ανάμεικτα απόβλητα και τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά από άλλες πηγές και είναι παρόμοια ως προς τη φύση, τη σύνθεση και την ποσότητά τους με τα οικιακά απόβλητα και τα απόβλητα από τον καθαρισμό αγορών και τα απόβλητα από υπηρεσίες οδοκαθαρισμού, οργανικά λιπάσματα από αστικά απόβλητα, το περιεχόμενο των κάδων απορριμμάτων και απόβλητα από συντήρηση πάρκων και κήπων. Στα αστικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται απόβλητα από δίκτυα αποχέτευσης και επεξεργασίας αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της λύσης καθαρισμού λυμάτων και των απόβλητων από κατασκευές και κατεδαφίσεις.

Στην κατηγορία των βιολογικών αποβλήτων περιλαμβάνονται τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρειών από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων, καθώς και άλλα απόβλητα με παρόμοιες ιδιότητες βιοαποδόμησης που είναι συγκρίσιμα ως προς τη φύση, τη σύνθεση και την ποσότητα.

Ιδιαίτερης σημασίας, είναι η προσθήκη στο άρθρο 4 για την υποχρέωση των κρατών μελών να χρησιμοποιούν επαρκή οικονομικά μέσα με σκοπό την παροχή κινήτρων για την εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων. Τα κράτη μέλη οφείλουν να υποβάλλουν έκθεση στην Επιτροπή σχετικά με τα ειδικά μέσα που θεσπίζονται ανά πέντε έτη.

Επίσης, στο άρθρο 8 προτείνεται να διασφαλίζεται ότι στα προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού καθορίζονται με σαφή τρόπο οι ρόλοι και οι υποχρεώσεις των παραγωγών προϊόντων που διαθέτουν αγαθά στην αγορά της Ένωσης, των οργανώσεων που εφαρμόζουν τη διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού εξ ονόματός του, των δημόσιων ή ιδιωτικών επιχειρήσεων διαχείρισης αποβλήτων, των τοπικών αρχών και, κατά περίπτωση, των αναγνωρισμένων φορέων προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση. Ακόμη, πρέπει να καθοριστούν μετρήσιμοι στόχοι διαχείρισης των αποβλήτων, σύμφωνα με την ιεράρχηση των αποβλήτων και να θεσπιστεί σύστημα υποβολής εκθέσεων για τη συγκέντρωση στοιχείων σχετικά με τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά της Ένωσης από τους παραγωγούς στο πλαίσιο της διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού. Εφόσον τα προϊόντα αυτά μετατραπούν σε απόβλητα, το σύστημα υποβολής εκθέσεων θα διασφαλίζει τη συγκέντρωση στοιχείων σχετικά με τη συλλογή και την επεξεργασία των εν λόγω αποβλήτων προσδιορίζοντας, κατά περίπτωση, τις ροές υλικών των αποβλήτων. Τα κράτη μέλη πρέπει να λαμβάνουν επίσης μέτρα για την παροχή κινήτρων στους κατόχους αποβλήτων ώστε να συμμετέχουν στα υφιστάμενα συστήματα χωριστής συλλογής, ιδίως μέσω οικονομικών κινήτρων ή κανονιστικών διατάξεων, κατά περίπτωση.

Στο άρθρο 9, προτείνεται μεταξύ άλλων μέτρων για την πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων, να ληφθούν μέτρα για τη μείωση της δημιουργίας αποβλήτων τροφίμων κατά την πρωτογενή παραγωγή, την επεξεργασία και τη μεταποίηση, το λιανικό

εμπόριο και άλλες μορφές διανομής τροφίμων, σε εστιατόρια και υπηρεσίες εστίασης καθώς και στα νοικοκυριά.

Στο άρθρο 11, προτείνεται να τεθεί στόχος μέχρι το 2025, η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων να φτάσει τουλάχιστον σε ποσοστό 60 % κατά βάρος και ως το 2030, η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων να αυξηθεί τουλάχιστον σε ποσοστό 65 % κατά βάρος.

Ακόμη, τα κράτη μέλη πρέπει να θεσπίσουν αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου ποιότητας και ιχνηλασιμότητας των αστικών αποβλήτων.

Ιδιαίτερης σημασίας για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζει η πρόταση για αντικατάσταση του άρθρου 22 με το εξής κείμενο: «Τα κράτη μέλη διασφαλίζουν τη χωριστή συλλογή των βιολογικών αποβλήτων όπου αυτό είναι τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά εφικτό και σκόπιμο, προκειμένου να διασφαλιστούν τα συναφή πρότυπα ποιότητας σχετικά με τη λιπασματοποίηση και να επιτευχθούν οι στόχοι που ορίζονται στο άρθρο 11 παράγραφος 2 στοιχεία α), γ) και δ) και παράγραφος 3. Λαμβάνουν κατάλληλα μέτρα, ανάλογα με την περίπτωση και σύμφωνα με τα άρθρα 4 και 13, προκειμένου να ενθαρρύνουν τα ακόλουθα: α) την ανακύκλωση, συμπεριλαμβανομένης της λιπασματοποίησης, και τη ζύμωση βιολογικών αποβλήτων β) την επεξεργασία των βιολογικών αποβλήτων κατά τρόπο ώστε να διασφαλίζεται υψηλό επίπεδο περιβαλλοντικής προστασίας γ) τη χρήση περιβαλλοντικώς ασφαλών υλικών παραγόμενων από βιολογικά απόβλητα».

Στο άρθρο 28 που αναφέρεται στα σχέδια διαχείρισης αποβλήτων, τονίζεται ότι πρέπει σε αυτά να περιλαμβάνονται τα υφιστάμενα προγράμματα συλλογής αποβλήτων και εγκαταστάσεις διάθεσης και ανάκτησης, συμπεριλαμβανομένων τυχόν ειδικών ρυθμίσεων για τα απόβλητα ορυκτέλαια, τα επικίνδυνα απόβλητα, τα απόβλητα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες πρώτων υλών με μεγάλη σημασία για την οικονομία της Ένωσης και των οποίων η προμήθεια συνοδεύεται από υψηλό κίνδυνο ή κατηγορίες αποβλήτων που ρυθμίζονται από συγκεκριμένες ενωσιακές νομοθετικές πράξεις. Το άρθρο 37 τροποποιείται κατάλληλα ώστε να απλουστευθεί ο μηχανισμός υποβολής εκθέσεων προόδου από τα κράτη μέλη.

2.12 Ευρωπαϊκή Ένωση και κυκλική οικονομία

Τα τελευταία χρόνια επικρατεί η τάση για αύξηση της αποδοτικότητας των πόρων, καθώς η αύξηση αυτή μπορεί να αποφέρει σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Η μετατροπή των αποβλήτων σε πόρο αποτελεί ουσιώδες στοιχείο για την αύξηση της αποδοτικότητας των πόρων και το κλείσιμο του κύκλου σε μια κυκλική οικονομία. Η ανάγκη για αποδοτικότερη αξιοποίηση των πόρων και παραμονή των προϊόντων και των υλικών περισσότερο στην οικονομία έχει τονιστεί στην ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των περιφερειών σχετικά με το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία (2015). Η μετάβαση σε μια πιο κυκλική οικονομία μπορεί να συμβάλει στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων, αποτρέποντας την αστάθεια τιμών, δημιουργίας νέων επιχειρηματικών ευκαιριών και αποδοτικότερων τρόπων παραγωγής και κατανάλωσης και νέων θέσεων εργασίας.

Για την υλοποίηση της κυκλικής οικονομίας, ωστόσο, θα χρειαστεί μακροπρόθεσμη συμμετοχή σε όλα τα επίπεδα: από τα κράτη μέλη, τις περιφέρειες και τους δήμους μέχρι τις μεμονωμένες επιχειρήσεις και τους πολίτες. Τα κράτη μέλη καλούνται να επιτελέσουν τον ρόλο τους σε αυτή τη δράση της ΕΕ, συμπληρώνοντας και ενσωματώνοντάς τη σε δράσεις στο εθνικό επίπεδο. Θα χρειαστεί επίσης να αναπτυχθεί η κυκλική οικονομία σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε δελτίο τύπου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του Δεκεμβρίου του 2015 εγκρίθηκε δέσμη μέτρων ώστε να βοηθηθεί η μετάβαση της Ευρωπαϊκής οικονομίας σε μια κυκλική οικονομία ώστε να ενισχυθεί η ανταγωνιστικότητα και η οικονομική ανάπτυξη. Αποφασίστηκε χρηματοδότηση ύψους άνω των 650 εκατ. ευρώ στο πλαίσιο του προγράμματος «Ορίζοντας 2020» και 5,5 δισ. ευρώ από τα διαρθρωτικά ταμεία. Θα ληφθούν δράσεις για τη μείωση των απορριμμάτων τροφίμων οι οποίες περιλαμβάνουν μια κοινή μεθοδολογία μέτρησης, βελτιωμένη επισήμανση της ημερομηνίας, και εργαλεία για την επίτευξη του στόχου βιώσιμης ανάπτυξης για μείωση των απορριμμάτων τροφίμων κατά το ήμισυ ως το 2030. Ανάπτυξη προτύπων ποιότητας για δευτερογενείς πρώτες ύλες, προκειμένου να αυξηθεί η εμπιστοσύνη των επιχειρήσεων στην ενιαία αγορά και μέτρα στο πρόγραμμα εργασίας για τον οικολογικό σχεδιασμό 2015-2017 για την προώθηση της

επισκευασιμότητας, της ανθεκτικότητας και της ανακυκλωσιμότητας των προϊόντων, πέραν της ενεργειακής απόδοσης. Αποφασίστηκε αναθεώρηση του κανονισμού για τα λιπάσματα, προκειμένου να διευκολυνθεί η αναγνώριση των οργανικών και παραγόμενων από απόβλητα λιπασμάτων στην ενιαία αγορά και να υποστηριχθεί ο ρόλος των βιολογικών θρεπτικών συστατικών. Αποφασίστηκε στρατηγική για τις πλαστικές ύλες στην κυκλική οικονομία, για την αντιμετώπιση ζητημάτων όσον αφορά την ανακυκλωσιμότητα, τη βιοαποδομησιμότητα, την παρουσία επικίνδυνων ουσιών στα πλαστικά, καθώς και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης για σημαντική μείωση των θαλάσσιων απορριμμάτων. Ανακοινώθηκε σειρά δράσεων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, στις οποίες περιλαμβάνεται νομοθετική πρόταση σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση του νερού. Η αναθεωρημένη νομοθετική πρόταση σχετικά με τα απόβλητα θέτει σαφείς στόχους για τη μείωση των αποβλήτων και καθιερώνει μια φιλόδοξη και αξιόπιστη μακροπρόθεσμη διαδικασία για τη διαχείριση των αποβλήτων και την ανακύκλωση. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική υλοποίησή τους, στη νέα πρόταση οι στόχοι σχετικά με τη μείωση των αποβλήτων συνοδεύονται από συγκεκριμένα μέτρα για την αντιμετώπιση των εμποδίων επί τόπου, καθώς και των διαφορετικών καταστάσεων στα κράτη μέλη.

Τονίστηκαν τα βασικά στοιχεία της αναθεωρημένης πρότασης για τα απόβλητα περιλαμβάνονται τα εξής: κοινός στόχος για την ανακύκλωση του 65% των αστικών αποβλήτων έως το 2030, κοινός ενωσιακός στόχος για την ανακύκλωση του 75% των απορριμμάτων συσκευασίας έως το 2030 και δεσμευτικός στόχος σχετικά με την υγειονομική ταφή για τη μείωση της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων στο 10% κατά το μέγιστο όλων των αποβλήτων ως το 2030. Επίσης, περιλαμβάνει απαγόρευση της υγειονομικής ταφής των χωριστά συλλεγόμενων αποβλήτων, προώθηση οικονομικών μέσων για την αποθάρρυνση της υγειονομικής ταφής, απλοποίηση και βελτίωση των ορισμών και εναρμόνιση των μεθόδων υπολογισμού των ποσοστών ανακύκλωσης σε ολόκληρη την ΕΕ. Συγκεκριμένα μέτρα για την προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και την ενίσχυση της βιομηχανικής συμβίωσης και μετατροπή ενός υποπροϊόντος μιας βιομηχανίας σε πρώτη ύλη μιας άλλης βιομηχανίας, οικονομικά κίνητρα για τους παραγωγούς προκειμένου να διαθέτουν πιο πράσινα προϊόντα στην αγορά και να στηρίζουν τα προγράμματα ανάκτησης και ανακύκλωσης (π.χ. για συσκευασίες, μπαταρίες, ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, οχήματα).

Οι προτεινόμενες δράσεις όπως αυτές ανακοινώθηκαν στο σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία το Δεκέμβριο του 2015 υποστηρίζουν την κυκλική οικονομία σε κάθε βήμα της αλυσίδας, από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση, την επισκευή και την ανακατασκευή, τη διαχείριση αποβλήτων και τις δευτερογενείς πρώτες ύλες που επανεισάγονται στην οικονομία. Η κυκλική οικονομία ξεκινά από την παραγωγή του προϊόντος. Κατά τη σχεδίαση του πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως οι δυνατότητες επισκευής, αναβάθμισης, ανακύκλωσης και βελτίωσης της ανθεκτικότητας των προϊόντων στο πλαίσιο του οικολογικού σχεδιασμού. Σχετικά με τις μεθόδους παραγωγής, προωθείται η αποδοτικότερη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποστηρίζει τη προώθηση καινοτόμων βιομηχανικών διαδικασιών μέσω του προγράμματος χρηματοδότησης έρευνας και καινοτομίας «Ορίζοντας 2020» και μέσω των ταμείων πολιτικής συνοχής.

Κατά τη φάση της κατανάλωσης, οι επιλογές των καταναλωτών μπορούν να υποστηρίξουν την κυκλική οικονομία κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί ή να μειωθεί η παραγωγή οικιακών αποβλήτων. Μεταξύ άλλων μελετάται η εφαρμογή του «περιβαλλοντικού αποτυπώματος προϊόντος», μιας μεθοδολογίας μέτρησης των περιβαλλοντικών επιδόσεων από τη χρήση του προϊόντος αυτού. Επιπρόσθετα, τα κράτη μέλη ενθαρρύνονται να παρέχουν κίνητρα και να χρησιμοποιούν οικονομικά εργαλεία, όπως η φορολόγηση, προκειμένου να διασφαλίσουν ότι οι τιμές των προϊόντων εκφράζουν καλύτερα το αντίστοιχο περιβαλλοντικό κόστος ώστε να προτρέπει το καταναλωτικό κοινό να προβαίνει στις ανάλογες καταναλωτικές επιλογές. Η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος μπορεί να παραταθεί μέσω της επαναχρησιμοποίησης και της επισκευής, ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη. Η διάρκεια ζωής μπορεί να αυξηθεί μέσω του οικολογικού σχεδιασμού, της βελτίωσης της ανθεκτικότητας, της ευκολίας διαθεσιμότητας ανταλλακτικών και πληροφοριών επισκευής.

Σε επόμενο στάδιο η διαχείριση των αποβλήτων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κυκλική οικονομία. Αναγνωρίζοντας τη μεγάλη σημασία της διαχείρισης αποβλήτων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθετεί στο σχέδιο δράσης, αναθεωρημένες νομοθετικές προτάσεις σχετικά την οδηγία πλαίσιο 2008/98 για τα απόβλητα, οι οποίες περιλαμβάνουν ιδιαίτερα – μακροπρόθεσμους στόχους για την ανακύκλωση αστικών απορριμμάτων και απορριμμάτων συσκευασίας και για τη μείωση της υγειονομικής

ταφής, διατάξεις που προωθούν την ευρύτερη χρήση οικονομικών εργαλείων, γενικές απαιτήσεις για τα συστήματα διευρυμένης ευθύνης των παραγωγών και απλούστευση και εναρμόνιση των ορισμών και των μεθόδων υπολογισμού. Αυτό κρίνεται απαραίτητο καθώς στο σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης τονίζεται καθώς παρατηρείται μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ των κρατών μελών στη διαχείριση αποβλήτων. Τονίζεται ότι μόνο το 40 % περίπου των αποβλήτων που παράγουν τα νοικοκυριά στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανακυκλώνεται, αλλά αυτή η μέση τιμή κρύβει μεγάλη ανομοιογένεια καθώς μεταξύ κρατών μελών αφού το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 80 % σε κάποια κράτη και σε μόλις 5 % σε κάποια άλλα.

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προτροπή για μετατροπή των αποβλήτων σε πόρους, ώστε να ενισχυθεί η αγορά δευτερογενών πρώτων υλών και της επαναχρησιμοποίησης νερού, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια του ανεφοδιασμού. Στο σχέδιο δράσης επισημαίνεται ότι οι δευτερογενείς πρώτες ύλες αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των υλικών που χρησιμοποιούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με εξαίρεση το χάλυβα και το χαρτί.

Οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ποσότητα και την ποιότητα αυτών των υλικών, και συνεπώς οι δράσεις για τη βελτίωση αυτών των πρακτικών είναι κρίσιμης σημασίας. Πρέπει να αναπτυχθούν πρότυπα ποιότητας ώστε να ενισχυθεί η εμπιστοσύνη στις δευτερογενείς πρώτες ύλες και να καθοριστεί νομικά πότε και με βάση ποια κριτήρια μια δευτερογενής πρώτη ύλη θεωρείται ως τέτοια και παύει να θεωρείται απόβλητο. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τις ανακυκλωμένες θρεπτικές ουσίες οι οποίες αποτελούν μια χωριστή και σημαντική κατηγορία δευτερογενών πρώτων υλών, για τις οποίες επιβάλλεται να αναπτυχθούν πρότυπα ποιότητας. Τέτοιες ουσίες απαντούν στα οργανικά απόβλητα και μπορούν να επιστρέψουν στο έδαφος με τη μορφή λιπασμάτων. Η βιώσιμη χρήση τους στη γεωργία μειώνει την ανάγκη για χρήση λιπασμάτων ορυκτής βάσης, η παραγωγή των οποίων έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και εξαρτάται από την εισαγωγή πετρωμάτων φωσφορικών αλάτων τα οποία αποτελούν περιορισμένο πόρο. Ωστόσο, η κυκλοφορία των λιπασμάτων αυτών προϋποθέτει αναθεώρηση του κανονισμού της ΕΕ για τα λιπάσματα και θέσπιση νέων μέτρων για τη διευκόλυνση της αναγνώρισης των βιολογικών λιπασμάτων και των λιπασμάτων με βάση τα απόβλητα σε επίπεδο ΕΕ, ώστε να τονωθεί η βιώσιμη ανάπτυξη μιας πανευρωπαϊκής αγοράς. Ακόμη

προωθούνται μέτρα για την αύξηση της αποδοτικότερης χρήσης του νερού και της προώθησης της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Η παρακολούθηση των χημικών ουσιών και η διαχείριση τη επικινδυνότητας τους αποτελεί σημείο σύνδεσης των νομοθεσιών σχετικά με τα απόβλητα, τα προϊόντα και τις χημικές ουσίες και θα αξιολογηθεί στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας προκειμένου να αποφασιστεί η στρατηγική σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντιμετώπιση της παρουσίας των επικίνδυνων χημικών ουσιών ώστε να περιοριστεί η περιττή επιβάρυνση για τις επιχειρήσεις ανακύκλωσης και να διευκολυνθεί η ιχνηλασιμότητα και η διαχείριση επικινδυνότητας των χημικών ουσιών κατά τη διαδικασία ανακύκλωσης. Προκειμένου να διευκολυνθεί η διασυνοριακή κυκλοφορία των δευτερογενών πρώτων υλών η Ευρωπαϊκή Ένωση θα αναπτύξει το σύστημα πληροφοριών για τις πρώτες ύλες και θα υποστηρίξει την έρευνα σε ολόκληρη την ΕΕ για τις ροές των πρώτων υλών.

Έχουν προσδιοριστεί τομείς προτεραιότητας οι οποίοι εμφανίζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω ιδιαιτεροτήτων που προκύπτουν από το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα ή την εξάρτηση από τρίτες χώρες. Σε αυτούς τους τομείς περιλαμβάνονται οι πλαστικές ύλες όπου θα καταρτιστεί η οποία θα καλύπτει ζητήματα όπως η ανακυκλωσιμότητα, η βιοαποδομησιμότητα, η παρουσία επικίνδυνων ουσιών και τα θαλάσσια απορρίμματα. Περιλαμβάνεται επίσης η σπατάλη τροφίμων όπου θα κοινή ευρωπαϊκή μεθοδολογία καταγραφής του προβλήματος μέσω συγκεκριμένων δεικτών, τη διευκόλυνση της δωρεάς τους και της χρήσης σε ζωοτροφές αλλά και της βελτίωσης της χρήσης της σήμανσης της ημερομηνίας ορίου ανάλωσης. Οι πρώτες ύλες κρίσιμης σημασίας έχουν συμπεριληφθεί επίσης στους τομείς προτεραιότητας καθώς πέραν της οικονομικής τους σημασίας, η εξόρυξη του έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον και είναι ευάλωτες σε διακοπές εφοδιασμού. Για το λόγο αυτό θα ληφθεί σειρά μέτρων ώστε να βελτιωθεί η ανάκτηση κρίσιμων πρώτων υλών και βέλτιστων πρακτικών. Περαιτέρω, θα ληφθούν μέτρα για την ανάκτηση πόρων και τη κατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων από κατασκευές οικοδομών και κατεδαφίσεις κτιρίων ώστε να βελτιωθεί η περιβαλλοντική επίδοση των κτιρίων. Στους τομείς προτεραιότητας συμπεριλαμβάνονται και η βιομάζα και τα προϊόντα βιολογικής προέλευσης καθώς σε μια κυκλική οικονομία ενθαρρύνεται η διαδοχική χρήση πόρων, με πολλαπλούς κύκλους επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης. Στα πλαίσια αυτά θα προωθηθεί η

αναθεώρηση της υφιστάμενης νομοθεσίας ώστε να προωθηθεί η ανακύκλωση των ξύλινων συσκευασιών και η χωριστή συλλογή συλλογή βιολογικών αποβλήτων. Ιδιαίτερα η Ευρωπαϊκή Ένωση προτίθεται να στηρίξει καινοτόμες εφαρμογές επεξεργασίας βιομάζας και βιολογικών αποβλήτων για διαφορετικές τελικές χρήσεις.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προτίθεται να αναπτύξει ένα πλαίσιο παρακολούθησης για την πρόοδο της μετάβασης σε κυκλική οικονομία, σχεδιασμένο έτσι ώστε να μετρά αποτελεσματικά την πρόοδο με βάση αξιόπιστα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων και δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τη Eurostat σχετικά με την αποδοτική χρήση των πόρων και των πρώτων υλών.

2.13 Υφιστάμενη κατάσταση στη διαχείριση δημοτικών αποβλήτων στην Κύπρο

Στην κατηγορία των δημοτικών αποβλήτων, θεωρείται ότι περιλαμβάνονται τα απόβλητα που διαχειρίζονται οι υπηρεσίες αποκομιδής των δήμων, τα συλλογικά συστήματα συσκευασιών, ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού για όσα απόβλητα ανήκουν στον οικιακό τομέα και των μπαταριών οικιακού τύπου και αριθμός αδειοδοτημένων εταιρειών ανακύκλωσης/ανάκτησης για τα χωριστά συλλεγόμενα ρεύματα αποβλήτων.

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων που εκπονήθηκε από το τμήμα Περιβάλλοντος του υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος σαν Δημοτικά Απόβλητα ορίζονται τα οικιακά απόβλητα και παρομοίου τύπου απόβλητα από εμπορικές δραστηριότητες, βιομηχανίες και ιδρύματα, περιλαμβανομένων και μερών χωριστά συλλεγόμενων και συμπεριλαμβανομένων άλλων κατηγοριών δημοτικών στερεών αποβλήτων όπως ογκώδη, απόβλητα κήπων και πάρκων, απόβλητα αγορών, απόβλητα από τον καθαρισμό δρόμων (2015). Περαιτέρω διαχωρισμός γίνεται στην κατηγορία των Οικιακών Αποβλήτων όπου περιλαμβάνονται τα απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες ή άλλου τύπου οικοδομές στις οποίες υπάρχουν διευκολύνσεις για διαμονή, παραμονή και διατροφή, περιλαμβανομένων των χωριστά διαλεχθέντων στην πηγή αποβλήτων, εξαιρουμένων όμως των αποβλήτων που απορρίπτονται στα αποχετευτικά συστήματα. Ως παρομοίου τύπου απόβλητα ορίζονται τα απόβλητα που προέρχονται από άλλη προέλευση πέραν των κατοικιών και

τα οποία προσομοιάζουν (λόγω φύσης, σύνθεσης και ποσότητας) με τα οικιακά απόβλητα, εξαιρουμένων όμως των αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία βιομηχανιών και συναφών δραστηριοτήτων. Σύμφωνα με την οδηγία Πλαίσιο 2008/98 σαν βιολογικά απόβλητα νοούνται τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απορρίμματα τροφών και μαγειρειών από σπίτια, εστιατόρια, εγκαταστάσεις ομαδικής εστίασης και χώρους πωλήσεων λιανικής και τα συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις μεταποίησης τροφίμων.

Ως απόβλητα συσκευασίας νοείται κάθε συσκευασία ή υλικό συσκευασίας το οποίο ορίζεται ως απόβλητο εξαιρουμένων των καταλοίπων παραγωγής. Ως συσκευασία ή ως υλικό συσκευασίας θεωρείται κάθε προϊόν το οποίο πληροί τους ορισμούς που δίνονται στους περί Συσκευασιών και Αποβλήτων Συσκευασιών Νόμους 2002 έως 2012 για την συσκευασία και τα απόβλητα συσκευασίας.

Σαν Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) οικιακής προέλευσης, νοούνται τα ΑΗΗΕ που προέρχονται από νοικοκυριά και από εμπορικές, βιομηχανικές, ιδρυματικές και άλλες πηγές, η φύση και η ποσότητα των οποίων είναι παρόμοιες με εκείνες των ΑΗΕΕ που προέρχονται από νοικοκυριά και τα ΑΗΗΕ που ενδέχεται να χρησιμοποιούνται τόσο από ιδιωτικά νοικοκυριά όσο και από χρήστες πλην των ιδιωτικών νοικοκυριών, τα οποία θεωρούνται ΑΗΗΕ οικιακής προέλευσης και ως Ηλεκτρικές στήλες ή συσσωρευτές οικιακής προέλευσης νοούνται οι φορητές Ηλεκτρικές στήλες ή συσσωρευτές, οι οποίες σύμφωνα με την σχετική νομοθεσία είναι κάθε ηλεκτρική στήλη, στοιχεία κουμπιά, συστοιχία ή συσσωρευτής που είναι σφραγισμένη και χειρομεταφερόμενη και δεν είναι ηλεκτρική στήλη ή συσσωρευτής βιομηχανίας ούτε ηλεκτρική στήλη ή συσσωρευτής αυτοκινήτων

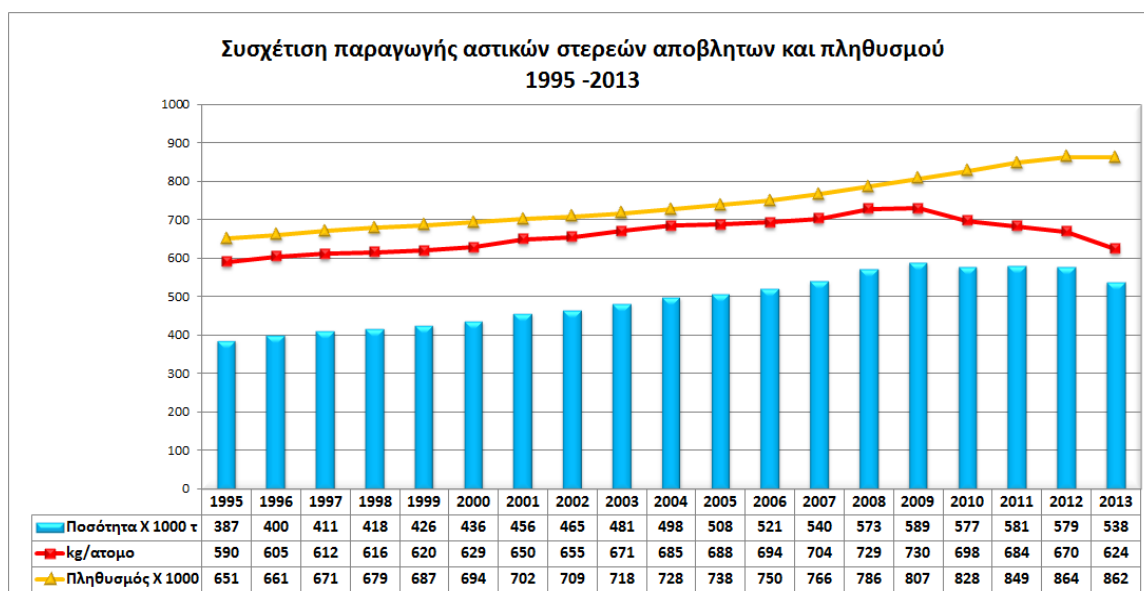
2.14 Ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων που εκπονήθηκε από το τμήμα Περιβάλλοντος του υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος τα δημοτικά απόβλητα, τα απόβλητα συσκευασιών και τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών (μπαταρίες) προέρχονται από Νοικοκυριά/οικίες/κατοικίες, άλλου τύπου οικοδομές

στις οποίες υπάρχουν διευκολύνσεις για διαμονή, παραμονή και διατροφή π.χ ιδρύματα, νοσοκομεία, στέγες ενηλίκων, εκπαιδευτήρια, εμπορικές δραστηριότητες και βιομηχανίες νοουμένου ότι αυτά προσομοιάζουν λόγω φύσης, σύνθεσης και ποσότητας, με τα οικιακά απόβλητα, εξαιρουμένων όμως των αποβλήτων που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία βιομηχανιών και συναφών δραστηριοτήτων (2015).

2.14.1 Ποσοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων

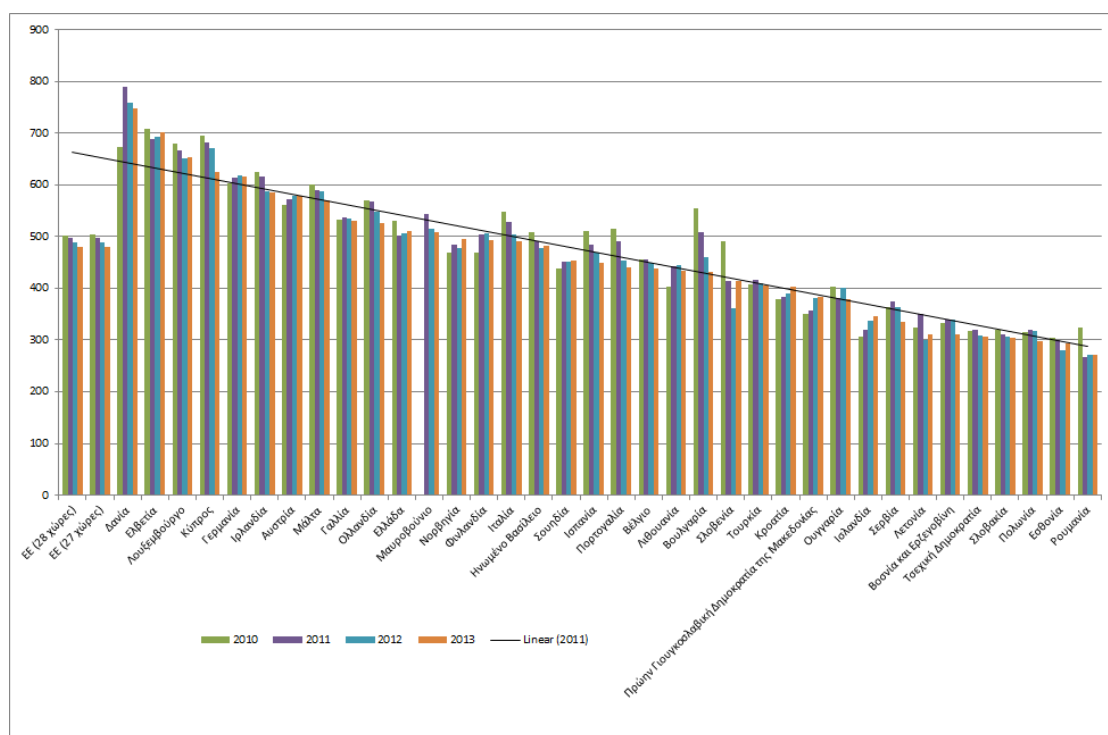
Στο διάγραμμα 2.2 αναπαρίσταται η συσχέτιση παραγωγής στερεών αστικών αποβλήτων και πληθυσμού από το 1995 μέχρι το 2013. Είναι εμφανές ότι μέχρι και το 2009 η παραγωγή των δημοτικών αποβλήτων παρουσίαζε σταθερά ανοδική πορεία ενώ από το 2010 και μετά εμφανίζονται πτωτικές τάσεις, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην οικονομική κρίση. Λαμβάνοντας υπόψη τον πληθυσμό σε σχέση με την παραχθείσα ποσότητα δημοτικών αποβλήτων φαίνεται ότι η αυξημένη παραγωγή αποβλήτων σχετίζεται σχεδόν γραμμικά με τον πληθυσμό, ενώ από το 2010 και μετά παρόλο που ο πληθυσμός αυξάνεται σταθερά, η παραγωγή αποβλήτων παρουσιάζει μια μικρή πτωτική τάση.



Διάγραμμα 2.2. Παραγωγή δημοτικών αποβλήτων στην Κύπρο σε σχέση με πληθυσμό από το 1995 μέχρι το 2013 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία της Eurostat (2014) σχετικά με την κατά κεφαλή παραγωγή δημοτικών αποβλήτων στην Ευρώπη από το 2010 μέχρι το 2013, στην

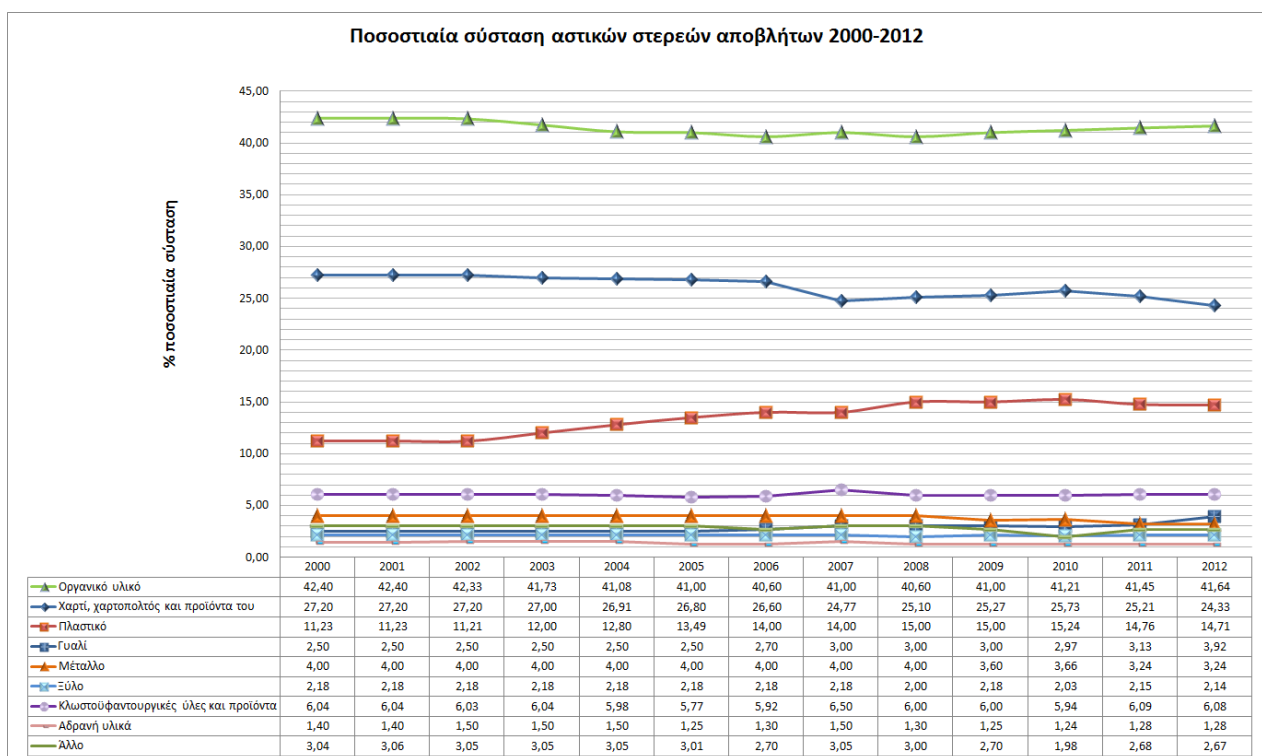
Κύπρος έχει παρατηρηθεί πτώση στην τιμή του δείκτη αυτού. Το 2012 η Κύπρος κατείχε την 3η θέση στην Ευρώπη, μετά την Ελβετία και την Δανία και την 2η θέση μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ, σε αντίθεση με το 2010 που η Κύπρος κατείχε την 1η θέση ανάμεσα στα κράτη μέλη της ΕΕ. Για το 2013, η Κύπρος βρίσκεται στην 3η θέση στην ΕΕ και 4η στην Ευρώπη, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.3.



Διάγραμμα 2.3. Κατά κεφαλή παραγωγή δημοτικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

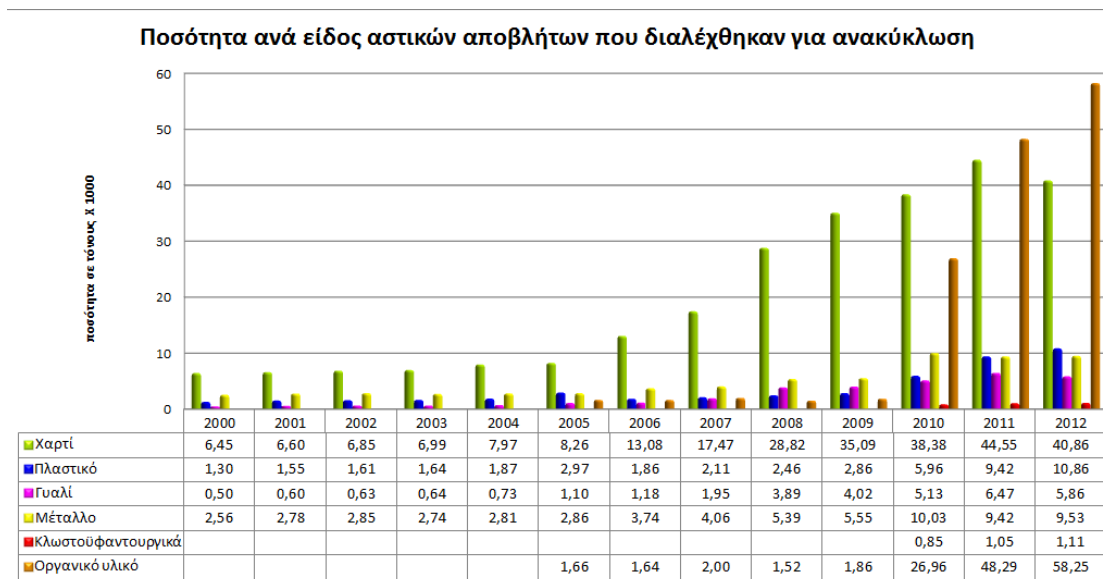
2.14.2 Ποιοτικά δεδομένα δημοτικών αποβλήτων

Στο διάγραμμα 2.4 παρουσιάζεται η ποσοστιαία σύσταση αστικών στερεών αποβλήτων μεταξύ των ετών 2000 και 2012. Σχετικά με το πλαστικό και το γυαλί φαίνεται αύξηση στην ποσοστιαία τους σύσταση μέσα στην πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με το χαρτί, το χαρτοπολύτο και τα προϊόντα του όπου φαίνεται μείωση στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Σχετικά με τη σύσταση του οργανικού υλικού φαίνεται ότι διαχρονικά αποτελεί το μεγαλύτερο κλάσμα των αστικών αποβλήτων με ποσοστά που ξεπερνούν το 40%.



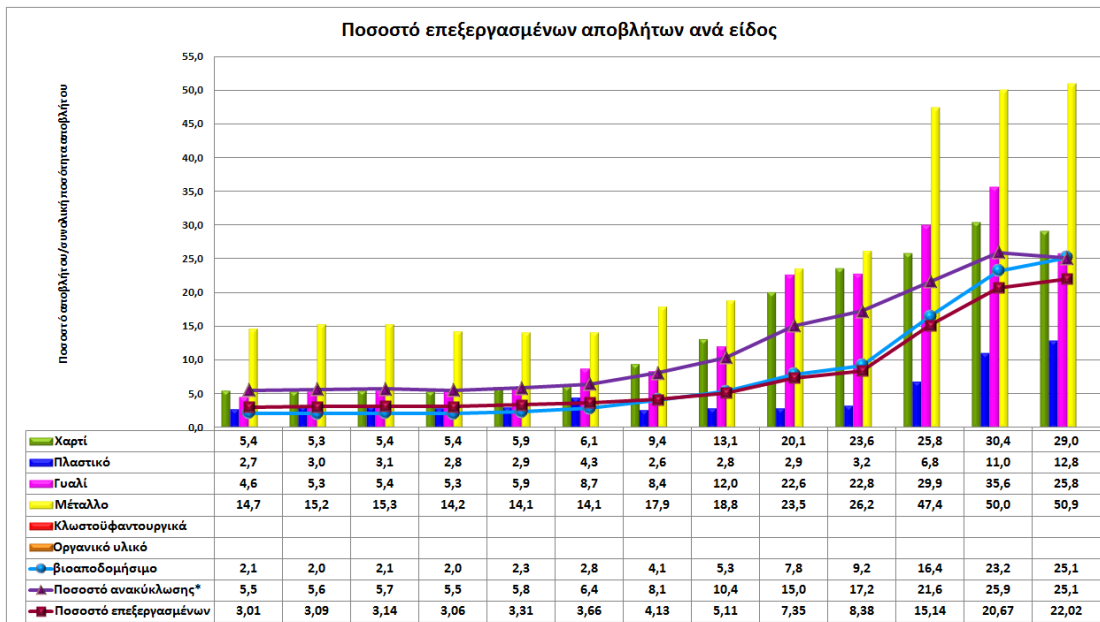
Διάγραμμα 2.4. Ποσοστιαία σύσταση αστικών στερεών αποβλήτων για τα έτη 2000-2012 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

Στο διάγραμμα 2.5 παρουσιάζεται η σύσταση των δημοτικών αποβλήτων στα ρεύματα: χαρτί, πλαστικό, γυαλί, μέταλλα. Επιπλέον για τα έτη 2010 - 2012 παρουσιάζεται και η επεξεργασία οργανικών αποβλήτων, όπου έχει συμπεριληφθεί και το ξύλο. Η επεξεργασία των οργανικών προέρχεται (α) από τις μονάδες κομποστοποίησης στις οποίες καταλήγουν, μέσω των τοπικών αρχών, κάποιες ποσότητες κλαδεμάτων από κήπους, δρόμους, πάρκα κλπ και (β) από την ΟΕΔΑ Λάρνακας και Αμμοχώστου στην οποία μετά την μηχανική διαλογή το υπόλοιπο υλικό σταθεροποιείται και χρησιμοποιείται ως επικαλυπτικό υλικό στον ΧΥΤΥ που συμπληρώνει τη μονάδα. η χωριστή διαχείριση ρουχισμού (κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα) περιλαμβάνει το ρουχισμό που συλλέγεται μέσω τοποθέτησης ειδικών κάδων σε διάφορα σημεία των Δήμων και Κοινοτήτων για διευκόλυνση του κοινού και δεν περιλαμβάνει ρουχισμό που διατίθεται κατευθείαν από τον κάτοχό του σε ιδρύματα, εκκλησίες κλπ. Από τα ανακυκλώσιμα απόβλητα, το χαρτί κυριαρχεί από τα υπόλοιπα ρεύματα αποβλήτων με δεύτερο το μέταλλο και τρίτο το πλαστικό, τα τελευταία χρόνια.



Διάγραμμα 2.5. Ποσότητες αστικών στερεών αποβλήτων, κατά είδος, που προωθήθηκαν για επεξεργασία μεταξύ των ετών 2000-2012 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

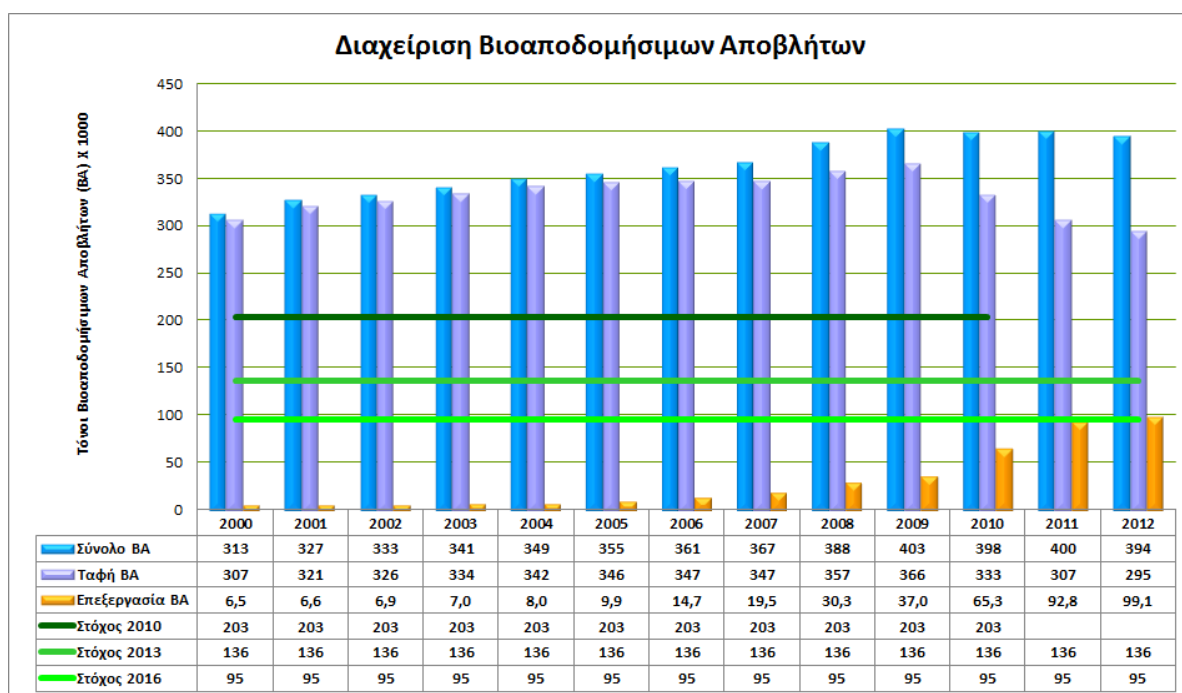
Στο διάγραμμα 2.6 αναπαρίσταται το ποσοστό επίτευξης επεξεργασίας ανά είδος ρεύματος αποβλήτων, στο σύνολο των ανακυκλώσιμων (όπου ανακυκλώσιμα θεωρούνται τα χαρτί, πλαστικό, μέταλλο και γυαλί) και στο σύνολο των βιοαποδομήσιμων (όπου βιοαποδομήσιμα θεωρούνται τα οργανικά, ξύλο και χαρτί) για τη χρονική περίοδο 2000-2012. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζουν υλικά όπως το μέταλλο με ποσοστό 50%, το χαρτί με ποσοστό 30%, και το γυαλί με ποσοστό 25%. Προβληματισμό προκαλεί η διαχείριση του πλαστικού αφού μόνο το 11% ανακυκλώνεται. Συνολικά, το ποσοστό διαλεχθέντων υλικών προς ανακύκλωση χαρτιού, πλαστικού, μετάλλου και γυαλιού έχει φθάσει το 2011 περίπου στο 26% ενώ το 2012 έπεσε στο 25%. Σύμφωνα με την Οδηγία πλαίσιο για τα απόβλητα το ποσοστό αυτό θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% μέχρι το 2020. Αντίστοιχα το ποσοστό επεξεργασίας των βιοαποδομήσιμων ανέρχεται στο 25% περίπου, ενώ το ποσοστό των συνολικά επεξεργασμένων δημοτικών αποβλήτων ξεπερνά το 20%.



+αφορά μόνο χαρτί, πλαστικό μέταλλο, γυαλί

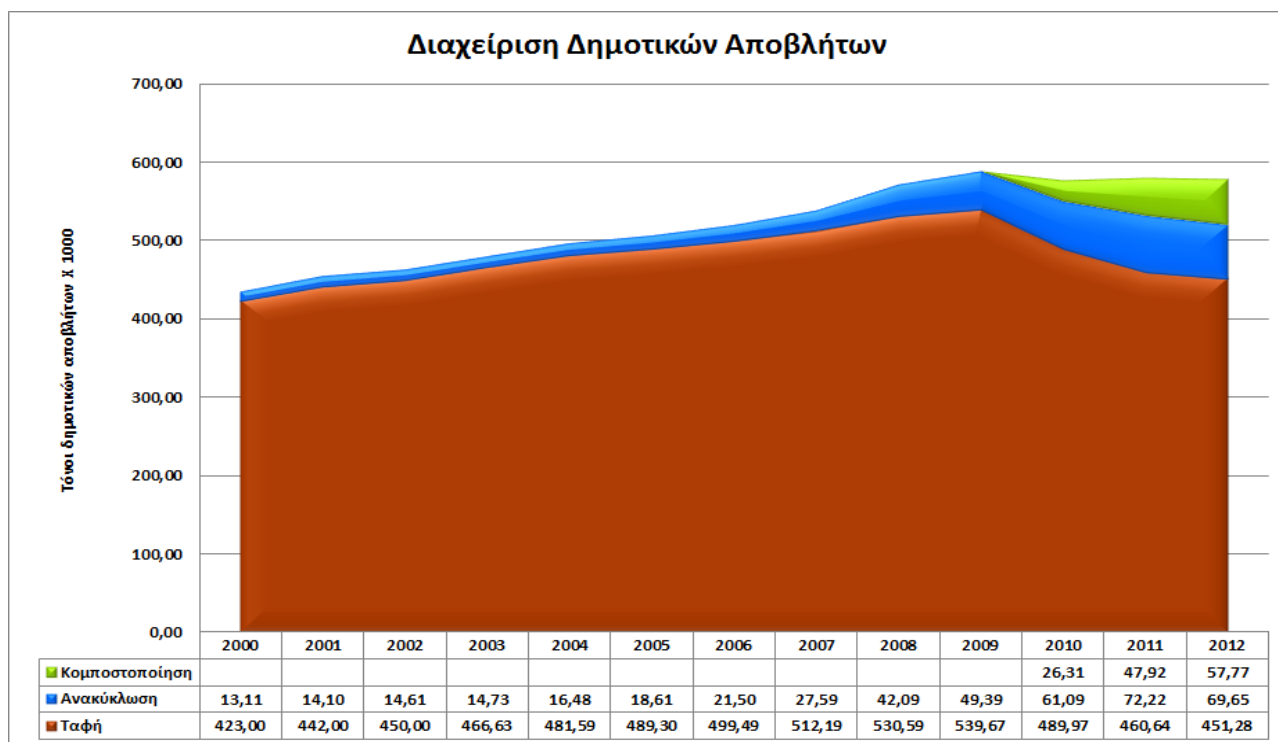
Διάγραμμα 2.6. Ποσοστό επεξεργασίας αποβλήτων κατά είδος σε σχέση με την συνολική ποσότητα έκαστου είδους μεταξύ των ετών 2000-2012 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

Στο διάγραμμα 2.7 παρουσιάζεται η πορεία στη διαχείριση του βιοαποδομήσιμου υλικού κατά τη χρονική περίοδο 2000 – 2012. Οι στόχοι 2010, 2013 και 2016 αναφέρονται στους στόχους που θέτει η ευρωπαϊκή Οδηγία 1999/31/ΕΚ για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και η οποία έχει υιοθετηθεί με τους περί Στερεών και Επικινδύνων Αποβλήτων (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων) Κανονισμούς του 2003 (Κ.Δ.Π. 562/2003). Σύμφωνα με τους στόχους αυτούς, η Κύπρος θα έπρεπε να επιτρέψει τη υγειονομική ταφή μόνο του 75% των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγήθηκαν στην ταφή το 1995, από το 2010 και μετά, μόνο του 50% από το 2013 και μετά και μόνο του 35% από το 2016 και μετά. Τα ποσοστά αυτά μεταφράζονται σε περίπου 203.000, 136.00 και 95.000 τόνους βιοαποδομήσιμων αποβλήτων αντίστοιχα. Από το διάγραμμα 2.7 γίνεται φανερό ότι η Κύπρος δεν έχει καταφέρει να επιτύχει τον στόχο για το 2010 και το 2013. καθώς δεν έχουν τροχοδρομηθεί οποιεσδήποτε αλλαγές σε συστήματα συλλογής που να αυξάνουν την εκτροπή από την ταφή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων.



Διάγραμμα 2.7. Διαχείριση βιοαποδομήσιμου αποβλήτου μεταξύ των ετών 2001-2011 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

Το διάγραμμα 2.8 παρουσιάζει τη συνολική εικόνα της Κύπρου από το 2000 μέχρι το 2012 στον τομέα της διαχείρισης των δημοτικών στερεών αποβλήτων. Είναι εμφανές ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό των δημοτικών αποβλήτων τυγχάνουν διαχείρισης με βάση τη ιεράρχηση της διαχείρισης των αποβλήτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό καταλήγει στην ταφή, επιλογή που κατατάσσεται στις χειρότερες ευρωπαϊκά. Παρόλο παρουσιάζεται αρκετή πρόοδος στον τομέα της ανακύκλωσης και της διαχείρισης του οργανικού τη τελευταία πενταετία, ωστόσο, πάρα πολλά ακόμη παραμένουν να γίνουν προκειμένου να αντιστραφούν τα δεδομένα και να επιτευχθεί η μετατροπή των αποβλήτων σε δευτερογενή πόρο.



Διάγραμμα 2.8. Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων μεταξύ των ετών 2001-2011 (Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων, 2015)

2.14.3 Υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης δημοτικών αποβλήτων

Η συλλογή και μεταφορά των μεικτών οικιακών αποβλήτων πραγματοποιείται από τις Τοπικές Αρχές με σκυβαλοφόρα οχήματα, οι οποίες συλλέγουν τα δημοτικά απόβλητα που παράγονται στα διοικητικά τους όρια, καθορίζοντας, ανάλογα με την Τοπική Αρχή και σχετική φορολόγηση των πολιτών για την συλλογή και διαχείριση των αποβλήτων αυτών. Στην Κύπρο υφίστανται δύο κεντρικοί σταθμοί μεταφόρτωσης απορριμμάτων στις επαρχίες Λάρνακας (Σκαρίνου) και Πάφου (Πόλις Χρυσοχούς). Οι σταθμοί μεταφόρτωσης απορριμμάτων (ΣΜΑ) έχουν κατασκευαστεί για την εξυπηρέτηση της ανάγκης μεταφόρτωσης των απορριμμάτων που θα συλλέγονται από όλους τους Δήμους και Κοινότητες ώστε να μειώνονται οι αποστάσεις για τα απορριμματοφόρα σε περίπτωση απευθείας μετάβασης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης απορριμμάτων.

Το ρεύμα αποβλήτων που αφορά συσκευασίες από χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλο, συλλέγεται ξεχωριστά από την εταιρεία Green Dot Cyprus Ltd και αποτελεί προς το παρόν το μόνο αδειοδοτημένο συλλογικό σύστημα διαχείρισης αποβλήτων συσκευασιών στην Κύπρο. Το Σύστημα έχει εγκριθεί από την Αρμόδια Περιβαλλοντική Αρχή τον Αύγουστο του 2006, με απώτερο σκοπό την εκπλήρωση των υποχρεώσεων

των παραγωγών συσκευασιών, όπως αυτές προκύπτουν από τις πρόνοιες του περί Συσκευασιών και Αποβλήτων Συσκευασιών Νόμου 2002 έως 2012. Στη συνέχεια τα ανακυκλώσιμα απόβλητα παραλαμβάνονται από μονάδες διαλογής/διαχωρισμού διαφόρων κατηγοριών αποβλήτων οι οποίες παραλαμβάνουν, διαλέγουν και διαχωρίζουν τα διάφορα ανακυκλώσιμα ρεύματα αποβλήτων που περιλαμβάνονται στα δημοτικά στερεά απόβλητα (χαρτί, πλαστικό, μέταλλο, γυαλί και ρουχισμός). Αφού επιβεβαιωθεί ότι δεν υπάρχουν προσμίξεις, γίνεται τεμαχισμός, αποθήκευση και εξαγωγή για περαιτέρω επεξεργασία.

Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα συλλέγονται από το Συλλογικό Σύστημα WEEE Electrocyclosis το οποίο αποτελεί το μόνο αδειοδοτημένο συλλογικό σύστημα στην Κύπρο για την εκπλήρωση της ευθύνης του παραγωγού ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών αποβλήτων, σύμφωνα με τις πρόνοιες των περί Αποβλήτων (Απόβλητα Ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού Εξοπλισμού) Κανονισμών του 2015. Οι μπαταρίες συλλέγονται από την ΑΦΗΣ Κύπρος Ltd που είναι το μόνο εγκριμένο συλλογικό Σύστημα Διαχείρισης Φορητών Ηλεκτρικών Στηλών για την εκπλήρωση της ευθύνης του παραγωγού ηλεκτρικών στηλών και συσσωρευτών με μέλη εισαγωγείς μπαταριών σύμφωνα με τις πρόνοιες των περί Αποβλήτων (Ηλεκτρικές Στήλες και Συσσωρευτές) Κανονισμών 2009 και 2012.

Στην Κύπρο λειτουργούν 14 μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας οι οποίες παραλαμβάνουν κυρίως ζωικά απόβλητα αλλά με την εγκατάσταση νέων υποδομών δηλ. τη χρήση παστεριωτή για τα τρόφιμα, μπορούν να παραλαμβάνουν και να επεξεργάζονται τα οργανικά απόβλητα κουζίνας. Στην Κύπρο 2 μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας με παστεριωτή από τις 14. Για την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων με κομποστοποίηση υφίστανται στην Κύπρο 2 μονάδες κομποστοποίησης. Στην Κυπριακή δημοκρατία λειτουργεί μια μονάδα για την ανάκτηση ενέργειας (τσιμεντοποιείο), στην οποία αποτεφρώνονται συγκεκριμένα απόβλητα τσιμεντοποιείας για ανάκτησης ενέργειας. Η ανάκτηση ενέργειας πραγματοποιείται με θερμική επεξεργασία των αποβλήτων σε συγκεκριμένο ποσοστό παράλληλα με την καύση των συγκαταβατικών καυσίμων.

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων που εκπονήθηκε από το τμήμα Περιβάλλοντος του υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος η τελική διάθεση των αποβλήτων γίνεται μέχρι σήμερα κυρίως σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων καθώς η απόρριψη των δημοτικών στερών αποβλήτων αποτελούσε την πιο διαδομένη μέθοδο για διαχείριση των αποβλήτων στην Κύπρο. Υπήρχαν 115 ανεξέλεγκτοι χώροι απόρριψης αποβλήτων (ΧΑΔΑ) σε όλη την επικράτεια της ελεύθερης Κύπρου και οι οποίοι ιεραρχήθηκαν σύμφωνα με την επικινδυνότητα τους προς το περιβάλλον. και δεν τηρούσαν τις πρόνοιες που αναφέρονταν στην Οδηγία 1999/31/ΕΚ για τους χώρους υγειονομικής ταφής και υπήρχε άμεση ανάγκη για κλείσιμο και αποκατάσταση τους. Από το 2011 το 80% των δημοτικών στέρεων αποβλήτων διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Το 2005 είχε κατασκευαστεί στην Πάφο ένας χώρος υγειονομικής ταφής αποβλήτων και για την ολοκληρωμένη και ελεγχόμενη τελική διάθεση των αποβλήτων, από το 2009 έχει λειτουργήσει η Ολοκληρωμένη μονάδα μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων, στην περιοχή Κόσιη, παράλληλα με το χώρο υγειονομικής ταφής, η οποία εξυπηρετεί τις επαρχίες Λάρνακας και Αμμοχώστου. Με την έναρξη εργασιών της μονάδας και του χώρου υγειονομικής ταφής όλοι οι χώροι ανεξέλεγκτης απόρριψης αποβλήτων των επαρχιών Αμμοχώστου και Λάρνακας έκλεισαν. Στην μονάδα της Κόσιης πραγματοποιείται διαχείριση των μεικτών δημοτικών στερεών αποβλήτων. Τα απόβλητα με μηχανική επεξεργασία με χρήση ιμάντων διαχωρίζονται σε ανακυκλώσιμα (δηλ. χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλο) και άλλα μη οργανικά κλάσματα και τα υπόλοιπα σταθεροποιούνται βιολογικά για χρήση ως σταθεροποιητικό υλικό στο χώρο τελικής διάθεσης/υγειονομικής ταφής των αποβλήτων που υπάρχει παράλληλα στην μονάδα αυτή. Οι υπόλοιποι χώροι ανεξέλεγκτης απόρριψης στις επαρχίες Λευκωσίας και Λεμεσού έχουν κλείσει εκτός από τους δύο μεγαλύτερους, τον Κοτσιάτη στην επαρχία Λευκωσίας και το Βατί, στην επαρχία Λεμεσού οι οποίοι έπρεπε να είχαν ήδη κλείσει και αποκατασταθεί από το 2009, σύμφωνα με την Οδηγία 1999/31/ΕΚ, για την υγειονομική ταφή αποβλήτων.

2.15 Ποιοτικοί και ποσοτικοί στόχοι Κυπριακής Δημοκρατίας σχετικά με τη διαχείριση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των δημοτικών αποβλήτων και προτεινόμενες δράσεις

Σύμφωνα με τους στόχους που προκύπτουν από την οδηγία Οδηγία 1999/31/ΕΚ, τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής πρέπει να μειωθούν στο 35% της συνολικής κατά βάρος ποσότητας αποβλήτων της κατηγορίας που είχαν παραχθεί το 1995, και το οποίο αντιστοιχεί σε 95.000 τόνους για την περίπτωση της Κύπρου μέχρι το 2016, με δυνατότητα παράτασης μέχρι το 2020. Σε αυτό το κλάσμα περιλαμβάνεται το οργανικό κλάσμα και το κλάσμα χαρτιού και η ποσότητα τους που καταλήγει σε ταφή δεν πρέπει να ξεπερνά τους 95.000 τόνους, στόχος ο οποίος μέχρι σήμερα δεν έχει επιτευχθεί. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων που εκπονήθηκε από το τμήμα Περιβάλλοντος του υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος οι προτεινόμενες δράσεις περιλαμβάνουν εκπόνηση σχεδίου διαχείρισης βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, ολοκλήρωση των έργων για κατασκευή και λειτουργία των πράσινων σημείων, εκπαίδευση τοπικών αρχών και παραγωγών αποβλήτων οργανικού για προώθηση χωριστής συλλογής, εθελοντικές συμφωνίες με ιδιωτικό τομέα για ενημέρωση και εφαρμογή προγραμμάτων προώθησης χωριστής διαλογής του οργανικού, τεχνοοικονομική ενίσχυση τοπικής αρχής για προώθηση συστημάτων χωριστής συλλογής του οργανικού κλάσματος, προώθηση πιλοτικών προγραμμάτων οικιακής κομποστοποίησης. Επίσης, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού, εφαρμογή προγραμμάτων χωριστής συλλογής οργανικού τμήματος αποβλήτων στο δημόσιο και ευρύτερο δημόσιο τομέα, προώθηση προγραμμάτων και εθελοντικών συμφωνιών χωριστής συλλογής οργανικών από σημεία μεγάλης παραγωγής όπως χώρους μαζικής εστίασης και βιομηχανίες τροφίμων, δημιουργία ΟΕΔΑ Λεμεσού και μέγιστη αξιοποίηση της δυναμικότητας της ΟΕΔΑ Λάρνακας-Αμμοχώστου. Επίσης, δημιουργία μονάδας διαχείρισης των ποσοτήτων από τον ΧΑΔΑ Κοτσιάτη που δεν θα διατεθούν στον ΟΕΔΑ Κόσιης, και που θα συμπεριλαμβάνει επεξεργασία και ενταφιασμό σε ΧΥΤ, όπως απαιτείται από την Οδηγία 1999/31/ΕΚ και αναβάθμιση του ΧΥΤΑ Πάφου με την εγκατάσταση μονάδας επεξεργασίας όπως απαιτείται από την Οδηγία 1999/31/ΕΚ.

Η μέση σύσταση στα έτη 2001-2012 οργανικού αποβλήτου κυμαίνεται σε ποσοστό 41% περίπου, στο σύνολο των δημοτικών αποβλήτων. Επιπλέον, με βάση το άρθρο 6(α) της Οδηγίας 1999/31/EK « Τα κράτη μέλη λαμβάνουν μέτρα ώστε σε χώρους υγειονομικής ταφής πραγματοποιείται ταφή μόνον αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία ...», οποιοδήποτε μικτό καταλήγει στους ΧΥΤΑ Πάφου και Λευκωσίας θα πρέπει να τυγχάνει επεξεργασίας ενώ με βάση το άρθρο 22 του περί Αποβλήτων Νόμου «Ο Υπουργός λαμβάνει μέτρα ... για την ενθάρρυνση (α) της χωριστής συλλογής οργανικών αποβλήτων ενόψει της λιπασματοποίησης και της ζύμωσης των βιοαποβλήτων ...». Ως εκ τούτου, θα πρέπει να προωθηθεί η επεξεργασία των μικτών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ ενώ παράλληλα θα πρέπει να ενθαρρυνθεί η χωριστή συλλογή των οργανικών αποβλήτων.

Προς επίτευξη αυτού του στόχου εντός του 2016/2017 αναμενεται να εκπονηθεί σχέδιο διαχείρισης βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων από το Τμήμα Περιβάλλοντος το οποίο θα περιλαμβάνει, σχέδιο μείωσης οργανικών αποβλήτων (υπολειμμάτων κουζίνας) και χαρτιού, μελέτη έρευνας αγοράς για το κόμποστ/χωνεύματα για να εκτιμηθεί η δυνατότητα απορρόφησης του, δυνατότητα διενέργειας προγραμμάτων παροχής περίσσειας φαγητού σε ιδρύματα ή κοινωνικές επιχειρήσεις, αξιολόγηση των στόχων που τεθήκαν στο παρόν σχέδιο, τη δυνατότητα αύξησης της χωριστής συλλογής χαρτιού και μελέτη κόστους-οφέλους προκειμένου να αναγνωριστούν οι πραγματικές ωφέλειες από τη χωριστή συλλογή και επεξεργασία βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων. Επίσης θα προωθηθεί η εκπόνηση πιλοτικών προγραμμάτων για προώθηση και ενίσχυση της οικιακής κομποστοποίησης καθώς και χωριστής συλλογής υπολειμμάτων κουζίνας και κήπων εντός του 2016 τα οποία θα είναι πενταετή, θα υλοποιηθούν σε τουλάχιστον σε τρεις τύπου περιοχές: αστικού, αγροτικού και τουριστικού χαρακτήρα για συλλογή δεδομένων και σύγκριση αποτελεσμάτων, θα είναι στοχευμένο κυρίως σε χώρους μαζικής παραγωγής όπως ξενοδοχεία, εστιατόρια, στρατόπεδα, νοσοκομεία και θα αφορά δράσεις προώθησης οικιακής κομποστοποίησης ή/και χωριστής συλλογής οργανικών αποβλήτων (υπολειμμάτων κουζίνας, κήπων και πάρκων) και προώθησή τους προς κομποστοποίηση ή/και αναερόβια επεξεργασία. Επίσης θα περιλαμβάνει τουλάχιστον παροχή εξοπλισμού, ενημέρωση/ευαισθητοποίηση, εκπαίδευση εμπλεκόμενων, καταγραφή αποτελεσμάτων, διάχυση αποτελεσμάτων. Σκοπός της

δράσης είναι η επίτευξη του κρατικού στόχου για χωριστή συλλογή 20% του οργανικού υλικού από τα οικιακά απόβλητα μέχρι το 2021.

Σήμερα ένα μεγάλο ποσοστό των αποβλήτων προωθείται για ταφή, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πόροι. Η χρήση των αποβλήτων ως πόρων συμβάλει σημαντικά στην αειφορική διαχείριση των φυσικών πόρων και στην αποδοτικότερη χρήση των πόρων γενικότερα ενισχύοντας την οικονομία με δευτερογενείς πρώτες ύλες ή/και καύσιμη ύλη για παραγωγή ενέργειας. Έχει τεθεί ως ποσοτικός στόχος η προώθηση της διαχείρισης των αποβλήτων ως πόρων μπορεί να γίνει μέσα από την ενίσχυση της χωριστής συλλογής προκειμένου να προκύπτουν υλικά με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ή/και υψηλής ανακυκλώσιμης αξίας, καθώς και μέσα από την προώθηση παραγωγής καύσιμου υλικού από απόβλητα. Για επίτευξη του στόχου αναμένεται η δημιουργία σχεδίων χορηγιών για δημιουργία νέων ή αναβάθμισης υφιστάμενων εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων και εκσυγχρονισμό των συστημάτων συλλογής προκειμένου να προωθηθεί η χωριστή συλλογή στον οικιακό τομέα,

2.16 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Κατά την αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιομάζα προερχόμενη από διαφορετικές πηγές. Κάθε τύπος βιομάζας δυνητικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υποστρώμα σε αναερόβιο χωνευτήρα αλλά συνήθως προτιμώνται υποστρώματα τα οποία έχουν ψηλό περιεχόμενο σε νερό. Για σκοπούς αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιείται βιομάζα προερχόμενη από αστικές, βιομηχανικές και γεωργοκτηνοτροφικές εργασίες. Κατά την επιλογή υποστρώματος λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως το οργανικό περιεχόμενο και η σύσταση του, η απουσία παθογόνων μικροοργανισμών, η παρουσία τοξικών ουσιών, σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου και η σύσταση του χωνεμένου υπολείμματος (Pomares et al., 1999).

Τα διάφορα απόβλητα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν υποστρώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους.

2.16.1. Αστικά στερεά και υγρά απόβλητα

Η ομάδα των αστικών στερεών αποβλήτων καθώς ποικίλει στη σύσταση της, μπορεί να δώσει διαφορετικά ποσοστά μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο. Η σύσταση των

αστικών στερεών αποβλήτων διαφέρει ανάλογα με τη διαλογή που γίνεται στην πηγή, την περίοδο του έτους αλλά και την περιοχή από την οποία συλλέγονται. Η λάσπη των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελεί υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης με υψηλή απόδοση μεθανίου.

Πίνακας 2.2. Απόδοση μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση διαφορετικών υποστρωμάτων (Ward, AJ., et al, 2008).

Υπόστρωμα	Απόδοση μεθανίου (m³/kg πτητικών στερεών)
Κρέας μαγειρεμένο	0,482
Ρύζι βρασμένο	0,356
Λάχανο	0,294
Κουνουπίδι (φύλλα)	0,190
Κουνουπίδι (στέλεχος)	0,331
Φλοιός πατάτας	0,267
Μείγμα υπολειμμάτων τροφίμων	0,277
Απόβλητα κηπουρικής (Γρασίδι)	0,209
Απόβλητα κηπουρικής (Φυλλα)	0,123
Απόβλητα κηπουρικής (Μείγμα)	0,143
Χαρτί (γραφείου)	0,369
Χαρτί (εφημερίδα)	0,100
Αστικά στερεά απόβλητα και κοπριά βοοειδών	0,03
Αστικά στερεά απόβλητα και χωνεμένη ιλύς	0,29
Πρωτοβάθμια ιλύς (υγρά αστικά απόβλητα)	0,590
Κοπριά χοίρων	0,356
Κοπριά αγελάδων	0,148

Λόγω της ετερογένειας της ομάδας όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2. δεν μπορεί να προσδιοριστεί η απόδοση της συνολικά σε μεθάνιο ανά μονάδα βάρους υποστρώματος ή ανά μονάδα πτητικών στερεών, αλλά μπορεί να γίνει υπολογισμός για κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά.

2.16.2. Υπολείμματα γεωργοκτηνοτροφικών εργασιών

Τα υπολείμματα γεωργικών εργασιών, ιδιαίτερα καλλιέργειών φρούτων και λαχανικών αλλά και οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών όπως αραβόσιτος, σιτάρι και παντζάρι μπορούν να αποδώσουν σημαντικές ποσότητες βιοαερίου.

Είναι προτιμότερες οι φυτικές καλλιέργειες με υψηλό ποσοστό εύκολα διασπώμενων υδατανθράκων και χαμηλό ποσοστό κυτταρίνης και λιγνίνης που δεν διασπώνται εύκολα. Μειονέκτημα στη χρήση αυτών των υποστρωμάτων αποτελεί η εποχικότητα τους καθώς είναι δύσκολη η συνεχής διαθεσιμότητα και παροχή τους σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης (Appels et al., 2011).

Η χρήση κοπριάς που προέρχεται από κτηνοτροφικές εργασίας αποτελεί επίσης διαδεδομένο υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης (Monnet, F., 2003). Η διαδεδομένη χρήση της κοπριάς οφείλεται στο υψηλό ποσοστό οργανικού φορτίου που την χαρακτηρίζει, ενώ παράλληλα η χρήση της για παραγωγή βιοαερίου επιλύει τα προβλήματα αποθήκευσης και διαχείρισης της από τις κτηνοτροφικές μονάδες αλλά και της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου κατά την παραμονή της σε ανοικτούς χώρους. Η κοπριά ζώων περιέχει μεγάλο ποσοστό αμμωνίας, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα καθώς μπορεί να παρεμποδίσει το στάδιο της μεθανογένεσης αλλά υπάρχει και η πιθανότητα το χωνεμένο υπόλειμμα που θα προκύψει (κομπόστ) να έχει μεγάλες ποσότητες αζώτου ώστε να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη ήδη πλούσια σε άζωτο. Η χρήση κοπριάς σαν υπόστρωμα, καθώς είναι πλούσια σε άζωτο συστήνεται να γίνεται σε συνδυασμό με υποστρώματα φτωχά σε άζωτο.

2.16.3. Οργανικά υπολείμματα βιομηχανικών εργασιών

Τα οργανικά βιομηχανικά απόβλητα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα στερεών και υγρών οργανικών αποβλήτων από βιομηχανικές εργασίες, όπως εργοστάσια παρασκευής φαγητών και ποτών όπως γαλακτοκομεία, τυροκομεία, επεξεργασίας ψαριών και θαλασσινών και σφαγεία. (Monnet, 2003).

Η βιομηχανία παραγωγής τροφίμων παράγει τεράστιες ποσότητες οργανικών αποβλήτων, τα οποία αν και είναι ετερογενή στην εκατοστιαία σύσταση τους σε

υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε οργανικό περιεχόμενο διασπώνται σχετικά εύκολα από πληθώρα μικροοργανισμών (Rosales, 2005). Τα απόβλητα αυτής της κατηγορίας πέραν της υψηλής περιεκτικότητας σε οργανικό φορτίο, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές BOD, COD και αζώτου (Kroyer, 1995).

Στη βιομηχανία επεξεργασίας ψαριών και θαλασσινών υπολογίζεται ότι παράγονται 60-70 γραμμάρια αποβλήτων (κόκκαλα, δέρμα, κεφάλι) ανά 100 γραμμάρια μεικτού βάρους. Είναι φανερό ότι η επεξεργασία ψαριών και θαλασσινών έχει περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Δεν υπάρχουν σημαντικές καταγεγραμμένες εφαρμογές για αναερόβια επεξεργασία τέτοιων αποβλήτων αν και έχουν ψηλό οργανικό περιεχόμενο, πιθανά γιατί η πιθανή περιεκτικότητά τους σε βαρέα μέταλλα θα παρεμποδίσει την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης (Albuzio, et al., 2011).

Η βιομηχανία επεξεργασίας και μεταποίησης φρούτων και λαχανικών (χυμοί, ζελέ, μαρμελάδες, έτοιμες σαλάτες) παράγει εκτός από στερεά οργανικά υπολείμματα, λαχανικά και φρούτα τα οποία απορρίπτονται κατά την παραγωγική διαδικασία, αλλά και νερά πλυσίματος στα οποία επίσης παρατηρείται οργανικό φορτίο (Lastella, et al., 2002). Η κατηγορία αυτή αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα καθώς έχει πολύ ψηλό ποσοστό οργανικών στερεών, υψηλό λόγο C/N και ψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Δυστυχώς, στην ομάδα αυτή τα απόβλητα έχουν χαμηλό pH και σε συνδυασμό με την ψηλή παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων λόγω της χημικής τους σύστασης, δημιουργούνται όξινες συνθήκες στο χωνευτήρα και εμποδίζεται η ικανότητα μεθανογένεσης (Jiang et al., 2012). Επίσης, τα απόβλητα σφαγείων παράγουν οργανικά στερεά απόβλητα όπως δέρμα, αίμα, κόκκαλα αλλά και νερά από τις διαδικασίες καθαρισμού ψηλά σε οργανικό φορτίο. Τα απόβλητα αυτά είναι πλούσια σε πρωτεΐνες και λίπη.

2.16.4. Συγχώνευση διαφορετικών οργανικών υποστρωμάτων

Η συγχώνευση διαφορετικών υποστρωμάτων μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή μεθανίου κατά την αναερόβια επεξεργασία (Khalid et al., 2011), όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.3. Σε διάφορες μελέτες (Rintala and Ahring 1994, Sosnowski et al. 2003) έχει εξετασθεί η ικανότητα παραγωγής βιοαερίου όχι μόνο από διαφορετικούς τύπους οργανικών υποστρωμάτων μόνο ενός είδους κάθε φορά, αλλά και η συνεργιστική τους δράση στην παραγωγή βιοαερίου σε διαφορετικούς συνδυασμούς τους. Στις μελέτες

αυτές έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να βελτιωθεί αν στην εισροή συνδυαστούν απόβλητα από διαφορετικές πηγές, καθώς επιλύονται προβλήματα που παρατηρούνται κατά την επεξεργασία συγκεκριμένων ομάδων αποβλήτων. Για παράδειγμα, τα απόβλητα από αγροτικές εργασίες κατά την αναερόβια χώνευση εμφανίζουν προβλήματα όπως το χαμηλό pH το οποίο οφείλεται στην ίδια τη φύση του αποβλήτου και τη συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων τα οποία εμποδίζουν τη μεθανογένεση. Η συγχώνευση με κοπριές ζώων, οι οποίες έχουν πιο ψηλή τιμή pH δίνει τη δυνατότητα να ολοκληρωθεί η αναερόβια χώνευση (Banks and Humphreys, 1998). Αντίθετα, η αναερόβια χώνευση κοπριάς ζώων σαν μοναδικό υπόστρωμα, παρουσιάζει δυσκολίες λόγω της ψηλής συγκέντρωσης αμμωνίας. Η κοπριά ζώων μπορεί να λειτουργήσει σαν ένα από τα υποστρώματα που μπορούν να συνδυαστούν καθώς έχει ψηλό pH, αλκαλικότητα που δρα σαν ρυθμιστικό διάλυμα ώστε να αποτρέψει απότομες αλλαγές του και πληθώρα θρεπτικών συστατικών ώστε να βοηθά στην επιτυχή ολοκλήρωση της μεθανογένεσης (Molnar et al., 1998, Wilkie et al., 1986).

Η αναλογία C:N διαφέρει στα διαφορετικά υποστρώματα, οπότε η προσθήκη ενός υποστρώματος χαμηλού σε αναλογία C:N με ένα υπόστρωμα ψηλό σε αναλογία C:N μπορεί να ρυθμίσει την αναλογία κοντά στην προσδοκώμενη αναλογία ώστε να ενισχυθεί η παραγωγή βιοαερίου (Hawkes, 1980).

Πίνακας 2.3. Ρυθμός παραγωγής βιοαερίου και μεθανίου κατά την συγχώνευση διαφορετικών υποστρωμάτων (Khalid et al., 2011).

Υπόστρωμα	Συν- υπόστρωμα	Ρυθμός παραγωγής βιοαερίου (lt/ημέρα)	Παραγωγή μεθανίου (lt/kg πτητικών στερεών)	Παρατηρήσεις
Περιττώματα φυτοφάγων ζώων	Απόβλητα ελαιοτριβείου	1.10	179	Κατά τη συγχώνευση παραχθήκε 337% περισσότερο βιοαέριο από ότι κατά την επεξεργασία μόνο

				περιττωμάτων φυτοφάγων ζώων
Υπολείμματα φρούτων και λαχανικών	Υγρά απόβλητα σφαγείου	2.53	611	Η προσθήκη υγρών αποβλήτων σφαγείου αύξησε κατά 51,5% την παραγωγή βιοαερίου
Αστικά στερεά απόβλητα	Λίπος	13.6	350	Αύξηση κατά 72% της παραγωγής βιοαερίου και 46% της παραγωγής μεθανίου

Επιπλέον η συγχώνευση διαφορετικών υποστρωμάτων έχει σαν αποτέλεσμα την αραίωση τοξικών ουσιών που ενδεχομένως υπάρχουν σε ένα υπόστρωμα, τη ρύθμιση των επιπέδων υγρασίας και pH στο μείγμα, την αύξηση του βιοαποικοδομήσιμου περιεχομένου και την μεγαλύτερη απόδοση της αποικοδόμησης της οργανικής ύλης λόγω της αύξησης του εύρους των βακτηριακών στελεχών που μπορούν να εργαστούν (Gomez et al, 2006). Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την σταθεροποίηση και βελτιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου και ενέργειας (Tchobanoglous et al. 1993).

Στην αναερόβια χώνευση η πρώτη ύλη είναι βιομάζα η οποία περιέχει υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη. Η θεωρητική τιμή παραγωγής βιοαερίου διαφορετικών υποστρωμάτων, όπως γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων, βιομηχανίας κρέατος, γάλακτος, υπολείμματα τροφίμων, ενεργειακές καλλιέργειες, προκύπτει από τη διαφορετική σύσταση στα πιο πάνω μεγαλομόρια, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη.

Τα λίπη αποδίδουν μεγαλύτερη ποσότητα βιοαερίου σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα συγκριτικά με τους υδατάνθρακες και τις πρωτεΐνες που αποδίδουν μικρότερη ποσότητα βιοαερίου σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερα πλούσια σε λίπη είναι τα υπολείμματα τροφίμων, τα υγρά απόβλητα σφαγείων και γαλακτοβιομηχανιών (Li et

al., 2002). Τα λίπη χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό ατόμων άνθρακα και υδρογόνου οπότε και θεωρητικά αναμένεται μεγάλη παραγωγή βιοαερίου αλλά σε περίπτωση υψηλού ρυθμού χώνευσης τους από τους οξεογόνους μικροοργανισμούς, να συσσωρευθούν λιπαρά οξέα και να παρεμποδιστεί η λειτουργία των μεθανογενών βακτηρίων (Neves et al., 2009). Ιδιαίτερα πλούσια σε υδατάνθρακες είναι τα οργανικά απόβλητα από γεωργικές εργασίες, υπολείμματα τροφίμων και τα στερεά απόβλητα από νοικοκυριά και υπεραγορές. Και σε αυτή την περίπτωση αν η ανάπτυξη των οξεογόνων μικροοργανισμών γίνεται με γρήγορους ρυθμούς και κατά συνέπεια η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων ανέβει ψηλά τότε θα παρεμποδιστεί η μεθανογόνος φάση (Siegert and Banks, 2005). Πλούσια σε πρωτεΐνες είναι οι κοπριές των ζώων και χαρακτηρίζονται από χαμηλό λόγο C/N, οπότε είναι σημαντικό να συγχωνευθούν με υποστρώματα ψηλά σε υδατάνθρακες (Callaghan et al., 2002). Επιπρόσθετα, τα υψηλά ποσοστά αζώτου επιφέρουν συσσώρευση αμμωνίας και κατά συνέπεια αναστέλουν την αναερόβια διαδικασία (Nielsen and Angelidaki, 2008). Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να εμπλουτισθεί η βιομάζα του αναερόβιου χωνευτήρα με υλικά πλούσια σε άνθρακα, όπως κυτταρίνη. Τα απόβλητα των χαρτοβιομηχανιών είναι πλούσια σε κυτταρίνη και ο λόγος C/N είναι ιδιαίτερα ψηλός καθώς λαμβάνει τιμές από 173/1 μέχρι 1000/1 (Zhang et al., 2008). Η προσθήκη τέτοιου οργανικού υλικού σε αναερόβιους χωνευτήρες που περιέχουν πρωτεϊνούχα οργανικά υλικά παρέχει ισορροπία C/N, εμπλουτίζει τη βιομάζα σε θρεπτικά στοιχεία και μειώνει τον κίνδυνο συσσώρευσης αμμωνίας (Hills and Roberts, 1981, Hashimoto, 1986). Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρείται όταν συγχωνευθούν κοπριές ζώων και υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών (Lehtomaki et al., 2007). Σε μελέτη των Monou et al., (2008) αποδείχθηκε ότι οι δυσκολίες που παρατηρούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων εργοστασίων επεξεργασίας παρασκευασμάτων πατάτας, τα οποία διαθέτουν ψηλά ποσοστά λίπους μπορούν να ξεπεραστούν αν αυτά συνδυαστούν με χοιρολύματα. Αυτό πιθανά οφείλεται στο ότι ο συνδυασμός ενός υποστρώματος όπως τα χοιρολύματα που διαθέτουν ψηλό pH με ένα υπόστρωμα όπως τα υγρά απόβλητα επεξεργασίας πατάτας τα οποία διαθέτουν ψηλή συγκέντρωση λιπαρών οξέων και κατά συνέπεια χαμηλό pH, μπορεί να αλληλοαναιρευθεί και να αυξηθεί η παραγωγή μεθανίου σε σχέση με τη χώνευση μόνο υγρών αποβλήτων επεξεργασίας πατάτας.

Μελέτες έχουν διεξαχθεί ώστε να διερευνηθούν οι ιδανικές σχέσεις και βέλτιστες αναλογίες μεταξύ διαφορετικών υποστρωμάτων, όπως για παράδειγμα η μελέτη των Li

et al. (2009) όπου μελετήθηκαν οι βέλτιστες αναλογίες που πρέπει να αναμιχθούν τα φυτικά μέρη (κοτσάνια) του αραβόσιτου και η κοπριά βοοειδών. Σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικές αναλογίες Πτητικών Στερεών (VS) κοπριάς βοοειδών/ Πτητικών Στερεών (VS) κοτσάνια αραβόσιτου, 1/1, 1/2, 1/3, 1/4. Τα αποτελέσματα από την μελέτη των διαφορετικών αναλογιών κατέδειξαν την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου όταν η πιο πάνω αναλογία ήταν 1/3.

Σε άλλη μελέτη, (Wu et al., 2010) καταδείχθηκε η αύξηση του όγκου του παραγόμενου βιοαερίου από κοπριά χοίρων όταν σε αυτή προστέθηκαν υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών πλούσιων σε άνθρακα, όπως κοτσάνια αραβόσιτου, άχυρο, βρώμη. Σε αυτή τη μελέτη οι αναμίξεις των γεωργικών υπολειμμάτων με την κοπριά χοίρων, έγιναν κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αναλογία C/N να λάβει τιμές από 16/1, 20/1 και 25/1. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου σε όγκο παρατηρήθηκε στην αναλογία 25/1.

Από ότι φαίνεται πιο πάνω, η ρύθμιση του λόγου C/N και του pH είναι η κύρια αιτία όπου κατά την ανάμιξη διαφορετικών υποστρωμάτων εμφανίζεται συνεργιστική δράση και αυξάνεται η ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει πριν την ανάμιξη διαφορετικών υποστρωμάτων στον αντιδραστήρα να προηγηθεί βιβλιογραφική και πειραματική μελέτη ώστε να επιβεβαιωθούν οι θετικές επιπτώσεις στην ποσότητα και ποιότητα στην παραγωγή βιοαερίου αλλά και να εξευρεθεί η βέλτιστη αναλογία.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποσκοπεί στην βελτίωση της απόδοσης βιολογικού σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων οποίος βρίσκεται σε λειτουργία. Η βελτίωση της απόδοσης της λειτουργίας του βιολογικού σταθμού εκφράζεται μέσω της καταγραφής δύο παραμέτρων, της αύξησης της ποσότητας και της αύξησης της βελτίωσης της ποιότητας του βιοαερίου.

3.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η βελτίωση της απόδοσης αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων μέσω πειραματικής διάταξης και εξαγωγή συμπερασμάτων από τις τιμές που λαμβάνουν χημικές παράμετροι ενδιαφέροντος για λύματα. Για επίτευξη του σκοπού αυτού έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές αλλαγής της σύστασης του υποστρώματος της αναερόβιας χώνευσης με χρήση τροφικών αποβλήτων και ορυκτού ζεόλιθου και καταγραφή των αντίστοιχων αποτελεσμάτων.

3.2 Στόχοι

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια για αύξηση της παραγωγής και βελτίωσης της ποιότητας βιοαερίου μέσω της αλλαγής της σύνθεσης του υποστρώματος στην εισροή του αναερόβιου χωνευτήρα. Γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν συμπεράσματα από την μεταβολή των χημικών παραμέτρων χαρακτηρισμού των αποβλήτων πριν και μετά των εμπλουτισμό του υφιστάμενου υποστρώματος με μείγμα τροφικού αποβλήτου. Η βελτίωση της απόδοσης της αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων εκφράζεται μέσω της αύξησης της ποσότητας και βελτίωσης της ποιότητας του παραγόμενου βιοαερίου κάτι που θα επιφέρει οικονομικά οφέλη, θα προτείνει νέους τρόπους για την ενίσχυση της συνεισφοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο

ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου και διαχείρισης των τροφικών αποβλήτων τα οποία αποτελούν κλάσμα των βιοαποικοδομήσιμων δημοτικών αποβλήτων.

Η μελέτη επίδρασης της αλλαγής της σύστασης του υποστρώματος στην εισροή του αναερόβιου χωνευτήρα με χρήση υπολειμμάτων τροφίμων, μπορεί να οδηγήσει στην αξιοποίηση ενός σημαντικού κλάσματος των αστικών αποβλήτων, συνεισφέροντας στο πρόβλημα διαχείρισης τους και μειώνοντας τη σπατάλη οργανικής ύλης και ενέργειας που χρησιμοποιηθήκαν για την παρασκευή τους.

Ακόμη, διερευνάται η τυχόν θετική επίδραση στην ποσότητα και στην ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου με τη χρήση ζεόλιθου σε διαφορετικές ποσότητες στο υπόστρωμα της αναερόβιας χώνευσης.

Από τα πιο πάνω γίνεται φανερό ότι η επίτευξη αυτού του στόχου παρέχει οφέλη και στους τρεις πυλώνες της αειφορίας.

3.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Βασικά ερευνητικά ερωτήματα που πραγματεύεται η μεταπτυχιακή διατριβή είναι:

Υπάρχει δυνατότητα να επιτευχθεί βελτίωση της απόδοσης σε ποσότητα και ποιότητα βιοαερίου μέσω της αλλαγής της σύστασης του υποστρώματος

Υπάρχει δυνατότητα να επιτευχθεί βελτίωση της απόδοσης σε ποσότητα και ποιότητα βιοαερίου μέσω της αλλαγής της σύστασης του υποστρώματος όπως προκύπτει από την προσθήκη αποβλήτων τροφίμων σε βιολογικό σταθμό αναερόβιας επεξεργασίας.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα είναι θετικά η προσθήκη ζεόλιθου μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την απόδοση της αναερόβιας επεξεργασίας στη βέλτιστη αναλογία υποστρώματος και τροφικού αποβλήτου?

Μπορεί να προταθεί η εκτροπή των τροφικών αποβλήτων από τα σύμμεικτα απόβλητα σε υφιστάμενες μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων ως στρατηγική δράση για επίτευξη των στόχων που απορρέουν από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/98 για τα απόβλητα και 1999/31 για την υγειονομική ταφή αποβλήτων?

3.4 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας προήλθαν από τις εξής πηγές:

- A) Συλλογή βιοαερίου και καθημερινή καταγραφή της ποσότητας του με τη χρήση πειραματικών συνθηκών με τη βοήθεια του εξοπλισμού ENSPAR Plus
- B) Καταγραφή της σύστασης του βιοαερίου με τη χρήση του εξοπλισμού DragenSensor X-am 7000.
- Γ) Χημικές αναλύσεις σε παραμέτρους ενδιαφέροντος για υγρά λύματα

3.4.1 Εξοπλισμός ENSPAR Plus

Η χρήση αυτού του εξοπλισμού δίνει τη δυνατότητα να ελεγχθεί η δυνατότητα συγχώνευσης διαφορετικών υποστρωμάτων. Ο εξοπλισμός αυτός δίνει την ευκαιρία να διαπιστωθεί σε μικρότερη κλίμακα αν η ανάμιξη διαφορετικών υποστρωμάτων θα προσδώσει πλεονέκτημα ή θα αναστείλει την αναερόβια χώνευση σε ένα χωνευτήρα ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο η ομαλή του λειτουργία σε περίπτωση που διαταραχθεί η ισορροπία της μικροβιακής κοινότητας. Είναι δυνατή η άμεση μέτρηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου και η άμεση σύγκριση της με την παραγόμενη ποσότητα από δείγμα του χωνευτήρα το οποίο λειτουργεί σαν δείγμα μάρτυρας. Στη συνέχεια με τη χρήση επιπρόσθετου εξοπλισμού αφού συλλεχθεί το παραγόμενο αέριο μπορεί να γίνει ανάλυση της σύστασης του παραγόμενου βιοαερίου. Ο εξοπλισμός μπορεί να αναπαράξει μεσόφιλες και θερμόφιλες συνθήκες, μέχρι 55°C (εικόνα 3.1). Η χρήση του εξοπλισμού μπορεί να γίνει μόνο κάτω από εργαστηριακές συνθήκες μόνο καθώς υπάρχει κίνδυνος έκρηξης λόγω του βιοαερίου.

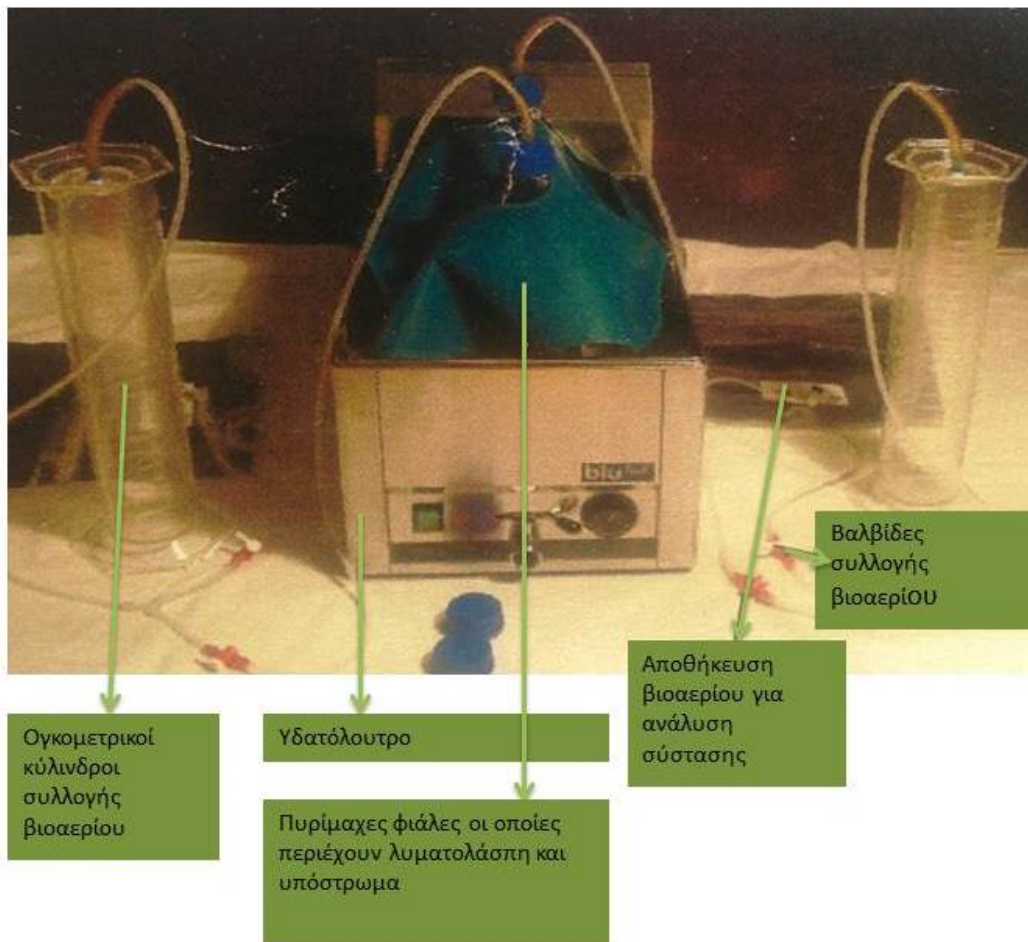
Η πειραματική διάταξη αποτελείται:

Από ένα υδατόλουτρο του οποίου η θερμοκρασία ρυθμίζεται με ένα θερμοστάτη όπου υπάρχει η δυνατότητα ψηφιακής ένδειξης της θερμοκρασίας.

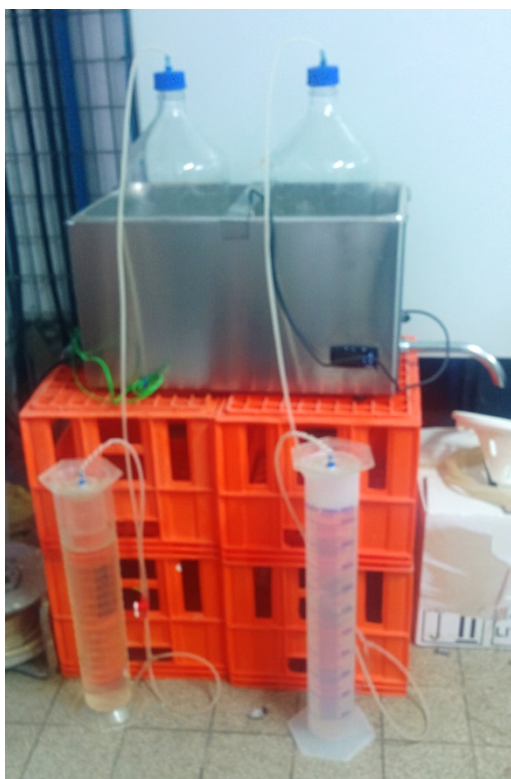
Δύο γυάλινες μπουκάλες χωρητικότητας 5Lt

Δύο ογκομετρικούς κύλινδρους χωρητικότητας 1Lt

Δύο ογκομετρικούς κύλινδρους χωρητικότητας 2Lt



(α)



(β)

Εικόνα 3.1 (α,β) Εξοπλισμός ENSPAR Plus

Η λυματολάσπη αποθηκεύεται στις φιάλες χωρητικότητας 5 λίτρων, οι οποίες τοποθετούνται σε μια υπερυψωμένη σχάρα μέσα στο υδατόλουτρο. Το στόμιο των φιαλών είναι κλειστό και από αυτό εξέρχεται πλαστικό λαστιχένιο σωληνάκι, από το οποίο στη συνέχεια γίνεται η συλλογή του βιοαερίου με τη βοήθεια των ογκομετρικών κύλινδρων. Ο ογκομετρικός κύλινδρος χωρητικότητας 2lt είναι γεμάτος με απιονισμένο νερό στο οποίο έχει προστεθεί διάλυμα HCl μέχρι το pH=2. Ο ογκομετρικός κύλινδρος του 1lt τοποθετείται αντιστραμμένος εντός του ογκομετρικού κυλίνδρου χωρητικότητας 2lt. Το λαστιχένιο σωληνάκι από την γυάλινη φιάλη χωρητικότητας 5lt καταλήγει στον ογκομετρικό κύλινδρο χωρητικότητας 1lt. Κατά τη διάρκεια συλλογής του βιοαερίου ο ογκομετρικός κύλινδρος χωρητικότητας 1lt ανυψώνεται και η καταγραφή της διαφοράς στάθμης δείχνει τον όγκο του βιοαερίου που έχει παραχθεί.

3.4.2 Εξοπλισμός DragerSensor X-am 7000

Το όργανο μέτρησης σύστασης αερίων DragerSensor X-am 7000 δίνει τη δυνατότητα άμεσης καταγραφής της σύστασης του βιοαερίου (εικόνα 3.2). Υπάρχουν διαθέσιμοι ανιχνευτές για πέραν των 25 διαφορετικών αέριων ενώσεων οι οποίοι μπορούν να αναγνωριστούν και να χρησιμοποιηθούν με το συγκεκριμένο όργανο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της παρουσίας αλλά και της ποσότητας εύφλεκτων και τοξικών αέριων ενώσεων..

Το μοντέλο DragerSensor X-am 7000 που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη διαθέτει ανιχνευτές για μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο και υδρόθειο. Το όργανο αυτό, χρησιμοποιείται για συνεχή έλεγχο της σύστασης και κατά συνέπεια της ποιότητας του βιοαερίου στους αναερόβιους χωνευτήρες του βιολογικού σταθμού επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στην μελέτη αυτή το βιοαέριο του οποίου η συλλογή γινόταν στον αντεστραμμένο ογκομετρικό κύλινδρο 1lt μελετήθηκε ως προς την περιεκτικότητα του σε μεθάνιο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο με τη χρήση του οργάνου αυτού.



Εικόνα 3.2. Το όργανο μέτρησης σύστασης βιοαερίου DrägerSensor X-am 7000

3.4.3. Χημικές αναλύσεις σε παραμέτρους ενδιαφέροντος για υγρά λύματα

Στα δείγματα της λυματολάσπης και λυματολάσπης με τροφικό απόβλητο διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στην έναρξη και στη λήξη των πειραμάτων ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση των διαφορετικών χημικών παραμέτρων στην ποσότητα και ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου.

3.4.3.1 Βιοχημική και χημική απαίτηση σε οξυγόνο

Όλες οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις αλλά και οι ανόργανες που μπορούν να οξειδωθούν με την πρόσληψη μοριακού οξυγόνου, καταναλώνουν διαλυμένο οξυγόνο το οποίο στερούν από τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα αστικά λύματα, τα λύματα από εργοστάσια παραγωγής τροφίμων αλλά και τα λύματα από γεωργοκτηνοτροφικές εργασίες περιέχουν ενώσεις οι οποίες για την αποικοδόμησή τους απαιτούν μοριακό οξυγόνο. Η απόθεση τους σε υδάτινους αποδέκτες χωρίς να προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να οδηγήσει σε χημική και κατ' επέκταση οικολογική υποβάθμιση των υδροφορέων. Σε συστήματα οικολογικού ενδιαφέροντος έχει καθιερωθεί η μέτρηση του χημικά αλλά και βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου.

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση μιας ουσίας σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό μπορεί να υπολογιστεί στοιχειομετρικά αν η χημική σύσταση της

είναι γνωστή. Στην περίπτωση του υπολογισμού του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε περιβαλλοντικά δείγματα δεν γίνεται θεωρητικός στοιχειομετρικός υπολογισμός αλλά πειραματικός υπολογισμός του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση 1 λίτρου δείγματος με τη χρήση ενός ισχυρού οξειδωτικού μέσου όπως εξασθενούς χρωμίου με ταυτόχρονη θέρμανση του δείγματος στους 150°C για δύο ώρες. Η διαφορά στην ποσότητα του οξειδωτικού παράγοντα στην αρχή και στο τέλος της δοκιμής θεωρείται ότι χρησιμοποιήθηκε για την πλήρη οξείδωση του δείγματος και χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του COD, το οποίο εκφράζεται σαν mg απαιτούμενο οξυγόνο ανά λίτρο δείγματος.

Σε περίπτωση που η οξείδωση των οργανικών ενώσεων πραγματοποιηθεί από μικροοργανισμούς τότε η ποσότητα του απαιτούμενου οξυγόνου αναφέρεται ως βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD. Το μοριακό οξυγόνο σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται από ετερότροφους μικροοργανισμούς οι οποίοι χρησιμοποιούν οργανική ύλη σαν πηγή ενέργειας ή αυτότροφους μικροοργανισμούς, όπως νιτροποιητικά βακτήρια. Στα δείγματα από δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου μπορεί να υπάρχει ικανός αριθμός νιτροποιητικών μικροοργανισμών και άρα κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου ικανή να επηρεάσει τις μετρήσεις του BOD, συνιστάται η προσθήκη χημικών ουσιών που αναστέλλουν τη νιτροποίηση.

Ένα πείραμα το οποίο θα υπολόγιζε την ολική ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση του δείγματος από μικροοργανισμούς θα απαιτούσε μεγάλο χρόνο και θα ήταν ασύμφορο χρονικά. Η πρακτική που υιοθετήθηκε ήταν η μέτρηση του BOD να αναφέρεται ως το αποτέλεσμα μιας καθορισμένης περιόδου 5 ημερών. Για το λόγο αυτό αναφέρεται ως BOD₅. Η τιμή του BOD₅ αναφέρεται στην ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται κατά τις πέντε πρώτες ημέρες της βιοαποικοδόμησης, αν και η συνολική ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται είναι μεγαλύτερη. Κατά τη διενέργεια μιας δοκιμής BOD₅, ένα μίγμα πληθυσμού μικροοργανισμών οξειδώνει τις οργανικές και ανόργανες ενώσεις σε απουσία φωτός στους 20°C για 5 ημέρες. Από τη διαφορά στη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας ημέρας, προκύπτει η τιμή του BOD₅.

Οι δείκτες του COD και BOD₅ χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για το χαρακτηρισμό υγρών αποβλήτων και υψηλές τιμές σε υγρά απόβλητα υποδηλώνουν την ύπαρξη υψηλού

ποσοστού οργανικού φορτίου και απαγορεύεται η απόρριψη τους χωρίς να προηγηθεί κατάλληλη επεξεργασία. Η απόρριψη υγρών αποβλήτων με ψηλές τιμές COD και BOD5 σε ποταμούς και λίμνες έχει επιβλαβείς συνέπειες στους υδρόβιους οργανισμούς.

Οι οργανικές ενώσεις που εντοπίζονται σε υγρά απόβλητα δεν διασπώνται όλες με την ίδια ευκολία. Τα απλά σάκχαρα διασπώνται εύκολα σε αντίθεση με πολύπλοκους πολυσακχαρίτες όπως την κυτταρίνη οι οποίοι διασπώνται αργά (Ibanez, et al., 2007:180-182).

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας το BOD5 υπολογίστηκε με τα μέθοδο APHA 5210:2005 και το COD με τη μέθοδο 5220:2005

3.4.3.2 pH

Η τιμή του pH ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου και λαμβάνει τιμές από 0 μέχρι 14 (Ibanez, et al., 2007:16)

3.4.3.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος εκφράζει την ικανότητα του διαλύματος να άγει ηλεκτρικό φορτίο. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζεται σε μονάδες milliSiemens/m (mS/m) (Ibanez, et al., 2007:186).

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας υπολογίστηκε με τη μέθοδο APHA 2510.

3.4.3.4 Ολικό άζωτο και άζωτο Kjeldal

Το άζωτο είναι ένα ηλεκτροαρνητικό άτομο με πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, το οποίο στη φύση μπορεί να υπάρχει υπό τη μορφή μοριακού αέριου αζώτου αλλά και στο μόριο της αμμωνίας, των νιτρικών και νιτρικών ιόντων. Βρίσκεται στη δομή των αμινοξέων, του DNA και οργανικών πολυμερών. Στο φυσικό περιβάλλον η ατμόσφαιρα αποτελεί μια τεράστια αποθήκη αέριου αζώτου και η κίνηση του στο υπόλοιπο οικοσύστημα γίνεται με τη μορφή ανόργανων ιόντων. Τα ανόργανα ιόντα αμμωνίας, νιτρικών και νιτρικών εντοπίζονται και αλληλομετατρέπονται στις διάφορες τους μορφές με τη μορφή αλάτων σε διαλυμένη μορφή εντός διαφόρων υδατικών διαλυμάτων. Οι ζωντανοί και οι νεκροί οργανισμοί λειτουργούν αν και σε

μικρή κλίμακα σαν αποθηκευτικές δεξαμενές αζώτου. Ο βιοχημικός κύκλος του αζώτου είναι ισχυρά εξαρτώμενος από την δράση των μικροοργανισμών. Οι διάφορες μετατροπές του αζώτου στις διαφορετικές μορφές επιτυγχάνουν την κίνηση του από την ατμόσφαιρα στα χερσαία και υδάτινα οικοσυστήματα. Στο βιοχημικό κύκλο του αζώτου περιλαμβάνονται αντιδράσεις δέσμευσης, αμμωνιοποίησης, νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Η αυξημένη παρουσία ενώσεων αζώτου λόγω της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων και η έκπλυση τους σε ποταμούς και λίμνες έχει συνδεθεί με τα φαινόμενα ευτροφισμού.

Σαν ολικό άζωτο αναφέρεται το άθροισμα του αζώτου σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα, του αζώτου σε οργανικές ενώσεις και της αμμωνίας. Σαν ολικό ανόργανο άζωτο ορίζεται το άθροισμα του αμμωνιακού αζώτου και του αζώτου που βρίσκεται σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα. Με τη μέθοδο προσδιορισμού ολικού αζώτου κατά Kjeldahl μετράται το άθροισμα του αμμωνιακού αζώτου και του αζώτου που βρίσκεται δεσμευμένο σε αζωτούχες οργανικές ενώσεις δηλαδή πρωτεΐνες, πεπτίδια, νουκλεϊκά οξέα. Δηλαδή, ως ολικό άζωτο κατά Kjeldahl ορίζεται το άθροισμα της ελεύθερης αμμωνίας και του οργανικού αζώτου. Με τη μέθοδο αυτή δεν προσδιορίζονται τα νιτρικά και τα νιτρώδη ιόντα, η υδραζίνη και τα νιτρίλια. Τα υγρά απόβλητα που εισρέουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων αλλά και χοιρολυμάτων περιέχουν κυρίως οργανικό άζωτο και αμμωνιακό άζωτο (Ibanez, et al., 2007:152-155).

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας υπολογίστηκε με τη μέθοδο APHA 4500C:2005 το ολικό άζωτο και το άζωτο Kjeldal.

3.4.3.5 Ολικός φωσφόρος

Ο φωσφόρος βρίσκεται σε αφθονία σε όλα τα βιολογικά συστήματα. Αποτελεί βασικό μόριο στη δομή του DNA, στα λιπίδια των κυτταρικών μεμβρανών και αποτελεί αναντικατάστατο στοιχείο στη δομή της ενεργειακής μονάδας ATP. Η υδρόλυση του ATP σε ADP αποτελεί τη βάση για τις αντιδράσεις μεταφοράς ενέργειας στα βιολογικά συστήματα. Παρόλα αυτά, ο φωσφόρος δεν είναι άφθονος στη βιόσφαιρα καθώς η διαθεσιμότητα του περιορίζεται λόγω της ιδιότητας του να καθιζάνει στην παρουσία ιόντων μετάλλων σε ουδέτερο ως αλκαλικό pH. Σε θαλάσσιες αποθέσεις και σε νεκρή οργανική ύλη έχει καταγραφεί παρουσία φωσφόρου, όπως και σε ορισμένα πετρώματα.

Οι περισσότεροι μετασχηματισμοί φωσφόρου από ανόργανες σε οργανικές ενώσεις γίνονται με τη μεσολάβηση μικροοργανισμών. Ορισμένοι χημειολιθότροφοι μικροοργανισμοί αλλά και φυτά μπορούν να προσλάβουν ανόργανες φωσφορικές ενώσεις και να τον ενσωματώσουν σε οργανικές ενώσεις. Οι ετερότροφοι φυτοφάγοι ζωικοί οργανισμοί προσλαμβάνουν τον φώσφορο από τα φυτά. Ορισμένοι μύκητες μέσω ετερότροφων συμβιωτικών σχέσεων που ονομάζονται μυκόριζες δίνουν φωσφόρο στα φυτά με αντάλλαγμα τη λήψη σακχάρων από τα φυτά στους μύκητες. Κατά την αποσύνθεση ζωικών και φυτικών ιστών ο φωσφόρος επανέρχεται στο έδαφος και στο νερό.

Η αυξημένη παρουσία ενώσεων φωσφόρου όπως και αζώτου λόγω της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων και η έκπλυση τους σε ποταμούς και λίμνες έχει συνδεθεί με τα φαινόμενα ευτροφισμού. Τα υγρά απόβλητα ιδιαίτερα από βιομηχανίες ή αστικά λύματα στα υπάρχον υπολείμματα απορρυπαντικών χαρακτηρίζονται από ψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου και η παρακολούθηση της ποσότητας φωσφόρου σε αυτά κρίνεται αναγκαία (Ibanez, et al., 2007:157-158).

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας υπολογίστηκε με τη μέθοδο EPA 6010C ο ολικός φωσφόρος.

3.4.3.6 Ολικά στερεά, πτητικά στερεά, πτητικά λιπαρά οξέα

Τα λύματα περιέχουν μεγάλη ποικιλία αιωρούμενων στερεών υλικών. Τα ολικά στερεά (Total Solids-TS) είναι αυτά που παραμένουν μετά την θέρμανση ενός υδατικού διαλύματος σε θερμοκρασία 103°-105°C μέχρι πλήρους ξήρανσης. Το κλάσμα που παραμένει μετά τη διήθηση σε μέσο με πόρους 1nm ορίζεται ως ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solid-TSS) ενώ αυτό που περνά μέσα από το φίλτρο ορίζεται ως ολικά διαλυτά στερεά (Total Dissolved Solids-TDS). Περαιτέρω καύση των ολικών στερεών σε 500°C διαχωρίζει το ανόργανο κλάσμα από τα πτητικά οργανικά στερεά. Το κλάσμα που παραμένει μετά την καύση στους 500°C αποτελεί το ανόργανο μη πτητικό κλάσμα των ολικών στερεών και υπολογίζεται από τον υπολογισμό του βάρους του δείγματος πριν και μετά την καύση. Η διαφορά των δύο τιμών προσδιορίζει τα κλάσμα των ολικών πτητικών στερεών (Total Volatile Solids-TVS). Τα πτητικά λιπαρά οξέα,

όπως το οξικό, το βουτυρικό, το προπιονικό και το γαλακτικό είναι οργανικά οξέα με αλυσίδα μέχρι 6 άτομα άνθρακα (Ibanez, et al., 2007:183-184).

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας υπολογίστηκαν με τη μέθοδο APHA 2540B τα ολικά στερεά καθώς και το πτητικό τους κλάσμα και με μέθοδο APHA 5560C τα πτητικά λιπαρά οξέα.

3.4.3.7 Ολικός ανόργανος και οργανικός άνθρακας

Ο άνθρακας εντοπίζεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή του διοξειδίου του άνθρακα. Σε υδατικά διαλύματα διαλύεται και βρίσκεται σε ισορροπία στις μορφές του ανθρακικού οξέως, της ανθρακικής και διττανθρακικής ρίζας. Μπορεί να δεσμευτεί σε ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου και να σχηματίσει αποθέσεις όπως συμβαίνει σε κοραλλιογενείς υφάλους. Στα βιολογικά συστήματα ο άνθρακας εμπλέκεται στην αναπνοή και στη φωτοσύνθεση. Κατά την αναπνοή ο άνθρακας που βρίσκεται στη δομή των υδατανθράκων μαζί με την ταυτόχρονη χρήση οξυγόνου οδηγεί στην παραγωγή ενέργειας με ταυτόχρονη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Κατά τη φωτοσύνθεση γίνεται πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα και με ταυτόχρονη χρήση νερού παράγονται υδατάνθρακες και οξυγόνο. Δηλαδή, τα προϊόντα της αναπνοής χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες στη φωτοσύνθεση. Κατά τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται ενέργεια από τον ήλιο και αποθηκεύεται στους δεσμούς άνθρακα των υδατανθράκων και κατά την αναπνοή απελευθερώνεται αυτή η ενέργεια. Οι ζωικοί οργανισμοί κατά την θρέψη τους με φυτικούς ιστούς λαμβάνουν τον δεσμευμένο άνθρακα και την ενέργεια. Η νεκρή οργανική ύλη αποτελεί πλούσια πηγή άνθρακα και είτε κατά την αποσύνθεση της θα διαφύγει σαν διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είτε θα αποθηκευτεί σε ορυκτά καύσιμα.

Στα υγρά απόβλητα η παρουσία του άνθρακα είναι τόσο σε ανόργανη μορφή, δεσμευμένος σε ανθρακικά ή διττανθρακικά ιόντα όσο και σε οργανική μορφή και αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή μεθανίου στην αναερόβια χώνευση (Ibanez, et al., 2007:132).

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας υπολογίστηκαν με τη μέθοδο APHA 5310 ο ολικός άνθρακας καθώς και το οργανικό και ανόργανο κλάσμα του.

3.4.4 Πειραματική διαδικασία μελέτης μεταβολής απόδοσης βιοαερίου με προσθήκη αποβλήτου τροφίμων και ορυκτού ζεόλιθου

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, διερευνήθηκε η επίδραση στην ποσότητα και στην ποιότητα του βιοαερίου από την τροποποίηση της σύστασης του υποστρώματος με την προσθήκη τροφικών αποβλήτων και ορυκτού ζεόλιθου.

Αρχικά διερευνήθηκε η επίδραση προσθήκης τροφικών αποβλήτων στο υπόστρωμα σε μεγάλο εύρος ποσοστιαίων τιμών. Αφού εντοπίστηκε η βέλτιστη αναλογία έγιναν περαιτέρω πειράματα στο εύρος τιμών της βέλτιστης αναλογίας τροποποίησης του υποστρώματος προκειμένου να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα.

Η επώαση των δειγμάτων σε κάθε περίπτωση έγινε με τη χρήση του εξοπλισμού ENSPAR Plus ($39^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) και η καταγραφή της ποιότητας του βιοαερίου έγινε με τη χρήση του εξοπλισμού DragerSensor X-am 7000. Στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικής διαδικασίας διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στα δείγματα λυμάτων ώστε να διαπιστωθεί η τυχόν επίδραση των διαφορετικών χημικών παραμέτρων στην ποσότητα και την ποιότητα του βιοαερίου.

Στη συνέχεια αφού επιβεβαιώθηκε η βέλτιστη αναλογία υποστρώματος και τροφικού αποβλήτου, σε αυτή την αναλογία έγιναν δοκιμές προσθήκης διαφορετικών ποσοτήτων ορυκτού ζεόλιθου προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του στην ποσότητα και ποιότητα του βιοαερίου. Τα δείγματα που μελέτήθηκαν επωάστηκαν στις φιάλες του εξοπλισμού ENSPAR Plus ($39^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) και η καταγραφή της ποιότητας του βιοαερίου με τη χρήση του εξοπλισμού DragerSensor X-am 7000. Στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικής διαδικασίας διενεργήθηκαν χημικές αναλύσεις στα δείγματα λυμάτων ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση των διαφορετικών χημικών παραμέτρων.

Η επώαση των υπό μελέτη υποστρωμάτων διήρκησε 28 ημέρες, χρονικό διάστημα ίσο με τον χρόνο υδραυλικής παραμονής εντός του αντιδραστήρα. Οι φιάλες ανακινούνταν τρεις φορές την ημέρα για δύο λεπτά.

Το μείγμα τροφικού αποβλήτου που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ίσα μέρη υπολειμμάτων τροφίμων από τις πιο κάτω τρεις ομάδες:

Ομάδα Α: υπολείμματα ζυμαρικών, ρυζιού, ψωμί

Ομάδα Β: υπολείμματα κρέατος (χοιρινό, κοτόπουλο), εκτός από κόκκαλα

Ομάδα Γ: υπολείμματα λαχανικών και φρούτων (συμπεριλαμβάνονται οι φλούδες και τμήματα της σάρκας του φρούτου)

Τα υπολείμματα τροφίμων από τις τρεις αυτές ομάδες αναμιχθήκαν με φύλλα χαρτιού κουζίνας, ώστε να επιτευχθεί προσομοίωση της σύστασης των οικιακών τροφικών αποβλήτων. Το μείγμα που προέκυψε από την ανάμιξη των πιο πάνω ομάδων τροφών ομογενοποιήθηκε με τη βοήθεια οικιακού μπλέντερ ώστε να επιτευχθεί η ομοιογενής σύσταση του, πριν αναμιχθεί σε συγκεκριμένες αναλογίες με το υφιστάμενο υπόστρωμα αναερόβιας επεξεργασίας.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα από την τροποποίηση της υφιστάμενης σύστασης του υποστρώματος αναερόβιας χώνευσης με προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων τροφικού αποβλήτου. Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα από την τροποποίηση του υποστρώματος με την προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων τροφικών αποβλήτων που επιλέχθηκαν τυχαία προκειμένου να διαπιστωθεί το βέλτιστο εύρος τιμών προσθήκης τροφικού αποβλήτου στο υφιστάμενο υπόστρωμα, στη δεύτερη ομάδα επαναλαμβάνεται το πείραμα στο εύρος τιμών που παρατηρήθηκε η βέλτιστη αναλογία υφιστάμενου υποστρώματος και τροφικού αποβλήτου προκειμένου να επιβεβαιωθούν και μελετηθούν περαιτέρω τα αρχικά αποτελέσματα και στην τρίτη ομάδα παρατίθενται τα αποτελέσματα από την προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων ζεόλιθου στη βέλτιστη αναλογία υφιστάμενου υποστρώματος και τροφικών αποβλήτων.

4.1 Μελέτη μειγμάτων 10%, 20% και 30% κατά όγκο τροφικών αποβλήτων

Ετοιμάστηκαν δείγματα μάρτυρα (λυματολάσπης) 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού αποβλήτου και επώαστηκαν για 28 ημέρες σε θερμοκρασία $39^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ στον εξοπλισμό ENSPAR Plus. Τα δείγματα αυτά εξετάστηκαν τόσο στην έναρξη όσο και στη λήξη του πειράματος σε χημικές παραμέτρους που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, όπως φαίνονται στον πίνακα 4.1.

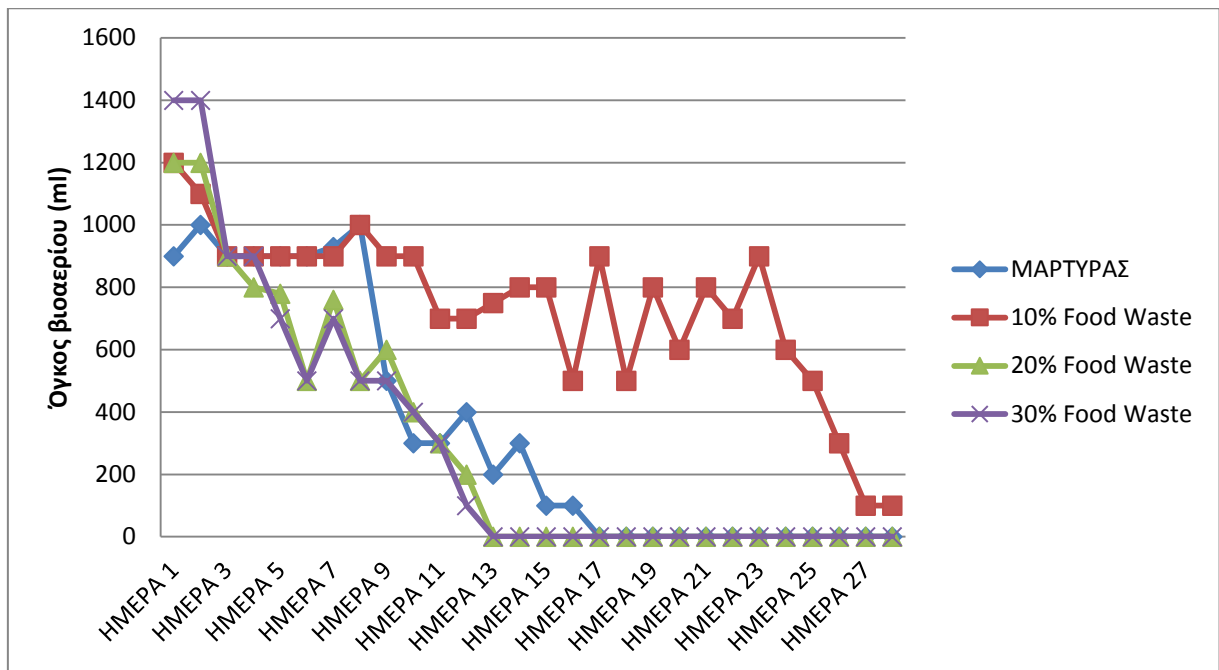
Πίνακας 4.1. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων από το τροφικό απόβλητο, το μάρτυρα και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης.

ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	Τροφικό απόβλητο	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	20 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	30 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
pH	5,18	7,75	7,07	6,98	6,56
conductivity (mS/cm)	847	30,12	29,2	29,44	24,04
BOD5 (mg/Lt)	6135	1930	9950	9360	7460
COD (mg/Lt)	197107	11857	22052	32323	37458
TKN (g/Lt)	14	4,3	5,65	5,97	8,18
Total Phosphorous (mg/Lt)	946	298	445	576	675
Total Solids (%)	58,65	1,77	2,9	5,2	11,84
% percentage Volatile Solids)	54,31	1,01	2	4,73	9,65
TOC (mg/Lt)	73915	4446	8270	12121	14047
VFA (mg/Lt)	1883	1059	4393	8158	11767
ΛΗΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ					
pH		8,09	8,27	7,27	6,38
conductivity (mS/cm)		33,08	47,76	54,06	58,86
BOD5 (mg/Lt)		1930	4510	7190	13417
COD (mg/Lt)		54050	34730	49450	80500
TKN (g/Lt)		4,22	5,58	7,02	7,98
Total Phosphorous (mg/Lt)		421	340	675	579
Total Solids (%)		1,74	2,04	4,12	5,44
% percentage Volatile Solids)		0,79	0,86	3,13	4,51
TOC (mg/Lt)		21369	13324	18543	30188
VFA (mg/Lt)		1387	2483	24439	28775
Total biogas produced (ml)		9630	20650	8140	8300

Τα αποτελέσματα των καθημερινών καταγραφών της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου παρατίθενται στον πίνακα 4.2 και στο διάγραμμα 4.1

Πίνακας 4.2. Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

ΗΜΕΡΑ	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα μάρτυρα (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 10% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 20% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 30% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)
ΗΜΕΡΑ 1	900	1200	1200	1400
ΗΜΕΡΑ 2	1000	1100	1200	1400
ΗΜΕΡΑ 3	900	900	900	900
ΗΜΕΡΑ 4	900	900	800	900
ΗΜΕΡΑ 5	900	900	780	700
ΗΜΕΡΑ 6	900	900	500	500
ΗΜΕΡΑ 7	930	900	760	700
ΗΜΕΡΑ 8	1000	1000	500	500
ΗΜΕΡΑ 9	500	900	600	500
ΗΜΕΡΑ 10	300	900	400	400
ΗΜΕΡΑ 11	300	700	300	300
ΗΜΕΡΑ 12	400	700	200	100
ΗΜΕΡΑ 13	200	750	0	0
ΗΜΕΡΑ 14	300	800	0	0
ΗΜΕΡΑ 15	100	800	0	0
ΗΜΕΡΑ 16	100	500	0	0
ΗΜΕΡΑ 17	0	900	0	0
ΗΜΕΡΑ 18	0	500	0	0
ΗΜΕΡΑ 19	0	800	0	0
ΗΜΕΡΑ 20	0	600	0	0
ΗΜΕΡΑ 21	0	800	0	0
ΗΜΕΡΑ 22	0	700	0	0
ΗΜΕΡΑ 23	0	900	0	0
ΗΜΕΡΑ 24	0	600	0	0
ΗΜΕΡΑ 25	0	500	0	0
ΗΜΕΡΑ 26	0	300	0	0
ΗΜΕΡΑ 27	0	100	0	0
ΗΜΕΡΑ 28	0	100	0	0
Ολική ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (ml)	9630	20650	8140	8300

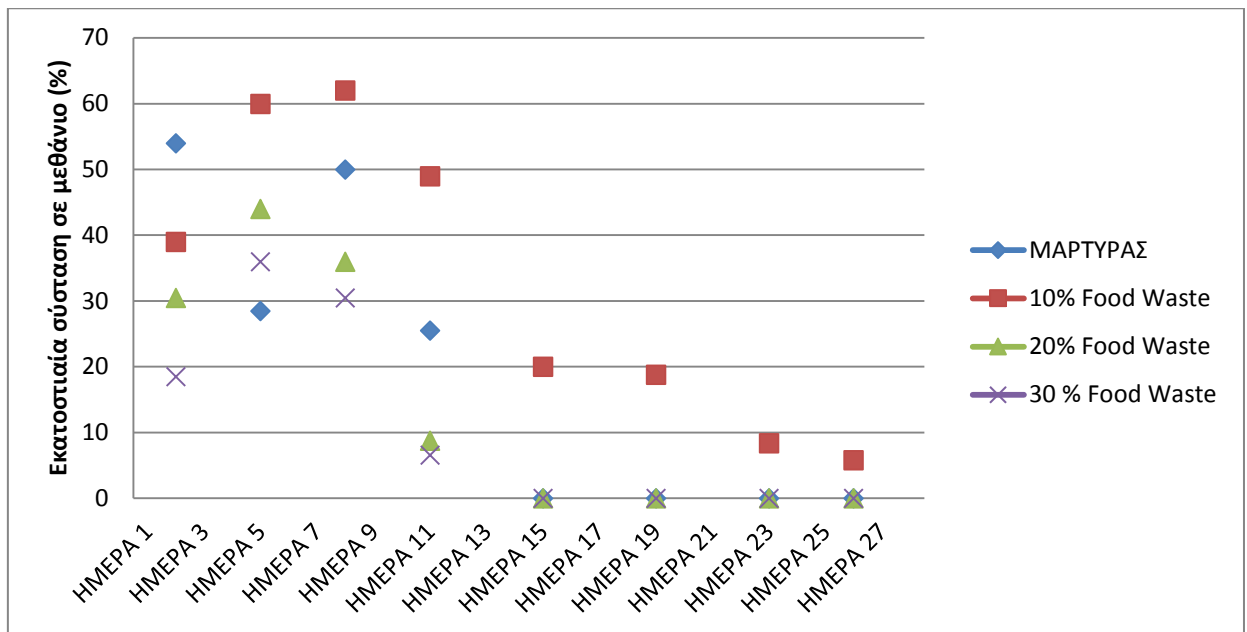


Διάγραμμα 4.1 Γραφική απεικόνιση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

Στον πίνακα 4.3. και στο διάγραμμα 4.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε μεθάνιο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

Πίνακας 4.3 Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε μεθάνιο.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	54	39	30,5	18,5
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	28,5	60	44	36
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	50	62	36	30,5
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	25,5	49	8,8	6,6
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	20	0	0
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	18,8	0	0
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	8,4	0	0
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	5,8	0	0
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28				

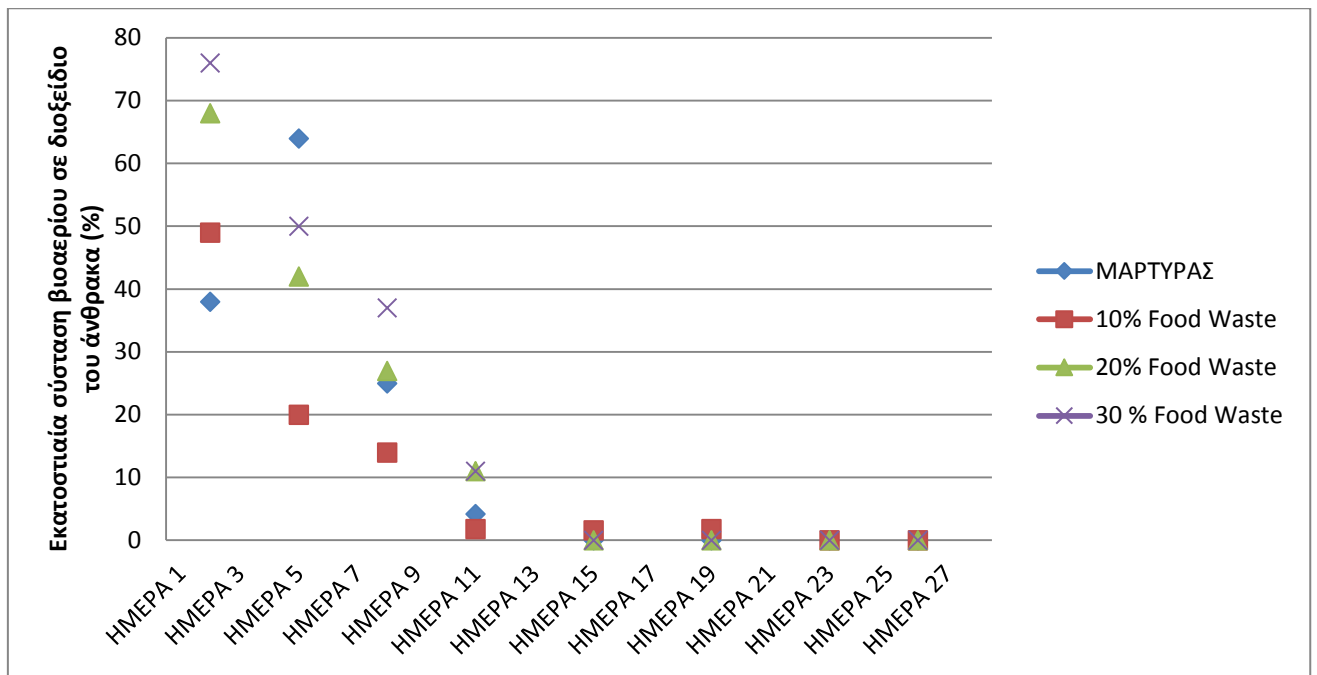


Διάγραμμα 4.2 Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε μεθάνιο.

Στον πίνακα 4.4 και στο διάγραμμα 4.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000.

Πίνακας 4.4 Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε διοξείδιο του άνθρακα

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	20 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	30 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	38	49	68	76
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	64	20	42	50
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	25	14	27	37
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	4,2	1,8	11	11
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	1,6	0	0
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	1,8	0	0
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28				

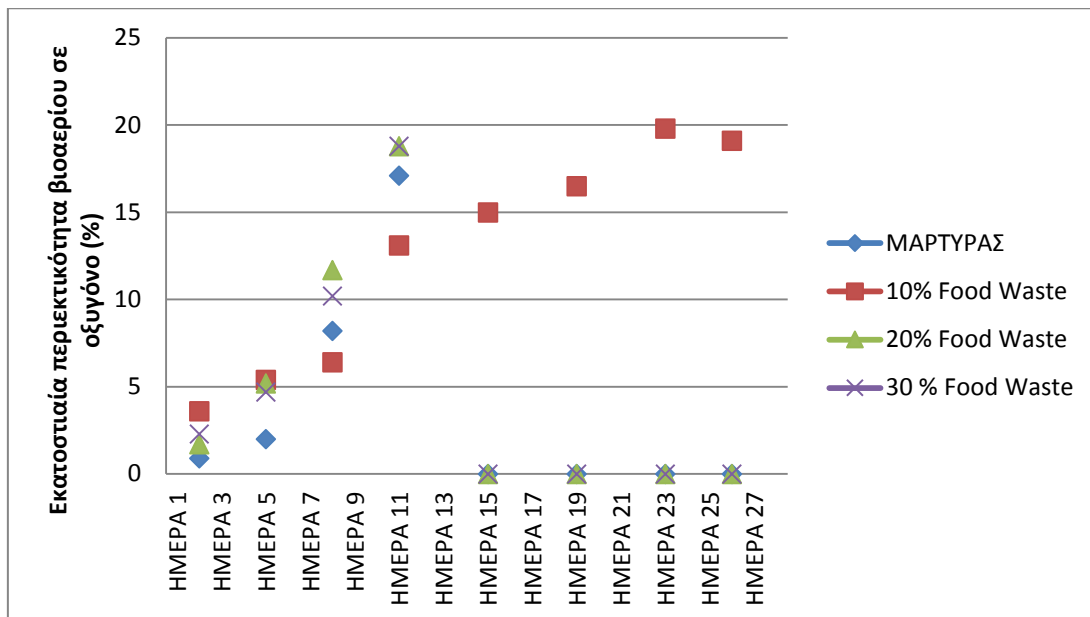


Διάγραμμα 4.3. Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε διοξείδιο του άνθρακα.

Στον πίνακα 4.5 και στο διάγραμμα 4.4 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε οξυγόνο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

Πίνακας 4.5. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10 %, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε οξυγόνο.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	20 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	30 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	0,9	3,6	1,7	2,3
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	2	5,4	5,2	4,7
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	8,2	6,4	11,7	10,2
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	17,1	13,1	18,8	18,8
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	15	0	0
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	16,5	0	0
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	19,8	0	0
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	19,1	0	0
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28				



Διάγραμμα 4.4 Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε οξυγόνο.

Στον πίνακα 4.6 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε υδρόθειο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

Πίνακας 4.6 Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου σε υδρόθειο στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%, 20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	20 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	30 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	464	>500	>500	>500
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	>500	>500	>500	>500
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	>500	336	>500	>500
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	90	22	>500	>500
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	4	0	0
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	4	0	0
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28				

Στον πίνακα 4.7 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων pH στα τέσσερα δείγματα.

Πίνακας 4.7. Τιμές pH στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 10%,20% και 30% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	20 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	30 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1	7,8	7	6,9	6,6
ΗΜΕΡΑ 2	7,7	7	6,9	6,5
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	7,8	7	6,9	6,5
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	7,6	7,5	6,8	6,3
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	7,4	7,8	6,9	6,2
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	7,2	7,6	6,8	6,2
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	7	7,5	6,4	6
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	7	7,4	6,2	6
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	7	7,5	6,2	6
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28	7,5	7,9	6,5	6,2

4.2 Μελέτη μειγμάτων 5%, 10% και 15% κατά όγκο τροφικών αποβλήτων

Στη συνέχεια, αφού διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη αναλογία ήταν 10% κατά όγκο συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου σε λυματολάσπη, διενεργήθηκαν περαιτέρω δοκιμές στο εύρος τιμών που παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα. Ετοιμάστηκαν δείγματα μάρτυρα, 5%, 10% και 15% κ.ο. τροφικού αποβλήτου και επώαστηκαν για 28 ημέρες σε θερμοκρασία $39^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ στον εξοπλισμό ENSPAR Plus. Τα δείγματα αυτά εξετάστηκαν τόσο στην έναρξη όσο και στη λήξη του πειράματος σε χημικές παραμέτρους που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, όπως φαίνονται στον πίνακα 4.8.

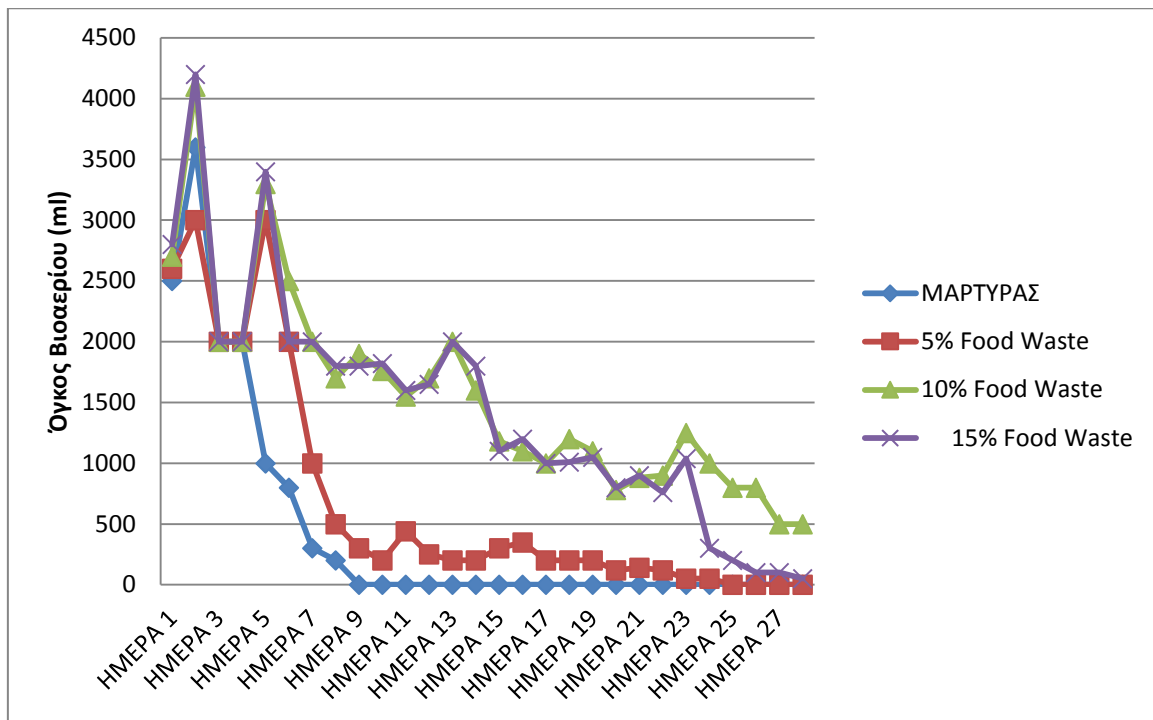
Πίνακας 4.8. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων από το τροφικό απόβλητο, το μάρτυρα και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης.

ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	Τροφικό απόβλητο	Μάρτυρας	5 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
pH	4,09	7,94	6,95	6,7	6,71
conductivity (mS/cm)	1237	33,4	39,55	37,48	39,63
BOD5 (mg/Lt)	22530	2620	5680	5080	5425
COD (mg/Lt)	158060	23762	38952	39820	43724
TKN (g/Lt)	13,68	4,21	4,99	5,1	5,07
Free N as NH4 (g/Lt)	0,89	3,69	3,06	3,11	3,16
Total Phosphorous (mg/Lt)	1023	642	682	782	866
Total Solids (%)	31,7	1,8	3,92	5,25	5,35
% percentage Volatile Solids)	25,6	0,91	2,65	3,76	4,14
TOC (mg/Lt)	59273	8911	14607	14933	16397
Total Carbon (mg/Lt)	62233	11101	14757	15843	16757
VFA (mg/Lt)	3655	1025	4336	9618	10303
C/N	---	2,636817102	2,957314629	3,106470588	3,305128205
ΛΗΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	---	---	---	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
pH	---	---	---	7,8	7,7
conductivity (mS/cm)	---	---	---	30,6	30,6
BOD5 (mg/Lt)	---	---	---	>700	>800
COD (mg/Lt)	---	---	---	>200	>200
TKN (g/Lt)	---	---	---	4,6	4,5
Total Phosphorous (mg/Lt)	---	---	---	143	132
TSS (mg/Lt)	---	---	---	5760	4480
VSS (mg/Lt)	---	---	---	1000	4000
TOC (mg/Lt)	---	---	---	2322	3000
VSS (mg/Lt)	---	---	---	1000	4000
	---	---	---		
Total biogas produced (ml)	---	12400	19420	43800	40480

Τα αποτελέσματα των καθημερινών καταγραφών της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου παρατίθενται στον πίνακα 4.9 και στο διάγραμμα 4.5

Πίνακας 4.9. Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

ΗΜΕΡΑ	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα μάρτυρα (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 5% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 10% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα 15% τροφικό απόβλητου κ.ο. (ml)
ΗΜΕΡΑ 1	2500	2600	2700	2800
ΗΜΕΡΑ 2	3600	3000	4100	4200
ΗΜΕΡΑ 3	2000	2000	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 4	2000	2000	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 5	1000	3000	3300	3400
ΗΜΕΡΑ 6	800	2000	2500	2000
ΗΜΕΡΑ 7	300	1000	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 8	200	500	1700	1800
ΗΜΕΡΑ 9	0	300	1900	1800
ΗΜΕΡΑ 10	0	200	1760	1820
ΗΜΕΡΑ 11	0	440	1550	1600
ΗΜΕΡΑ 12	0	250	1700	1650
ΗΜΕΡΑ 13	0	200	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 14	0	200	1600	1800
ΗΜΕΡΑ 15	0	300	1180	1100
ΗΜΕΡΑ 16	0	350	1100	1200
ΗΜΕΡΑ 17	0	200	1000	1000
ΗΜΕΡΑ 18	0	200	1200	1010
ΗΜΕΡΑ 19	0	200	1100	1050
ΗΜΕΡΑ 20	0	120	780	800
ΗΜΕΡΑ 21	0	140	880	900
ΗΜΕΡΑ 22	0	120	900	760
ΗΜΕΡΑ 23	0	50	1250	1040
ΗΜΕΡΑ 24	0	50	1000	300
ΗΜΕΡΑ 25	0	0	800	200
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	800	100
ΗΜΕΡΑ 27	0	0	500	100
ΗΜΕΡΑ 28	0	0	500	50
Ολική ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (ml)	12 400	19 420	43 800	40 480

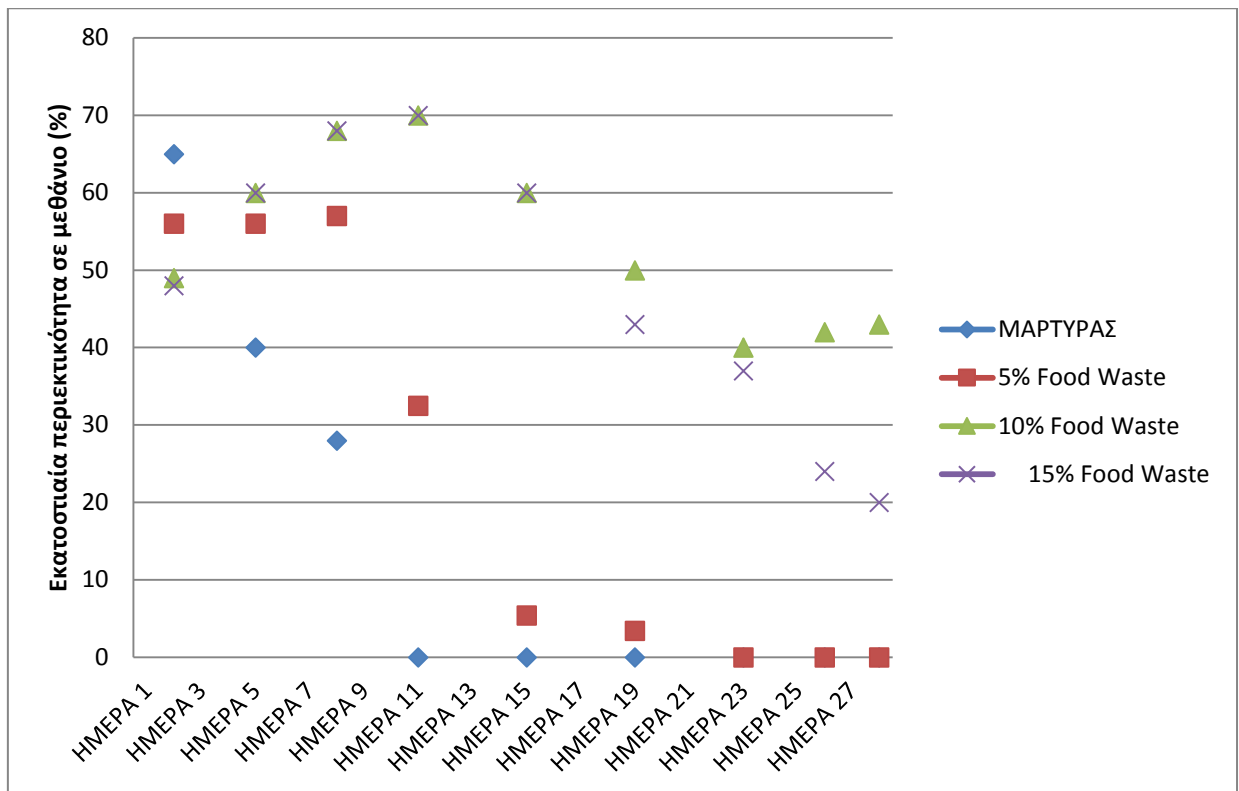


Διάγραμμα 4.5. Γραφική απεικόνιση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

Στον πίνακα 4.10. και στο διάγραμμα 4.6 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε μεθάνιο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000.

Πίνακας 4.10. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε μεθάνιο.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	5 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	65	56	49	48
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	40	56	60	60
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	28	57	68	68
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	0	32,5	70	70
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	5,4	60	60
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	3,4	50	43
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	40	37
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	42	24
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28	0	0	43	20

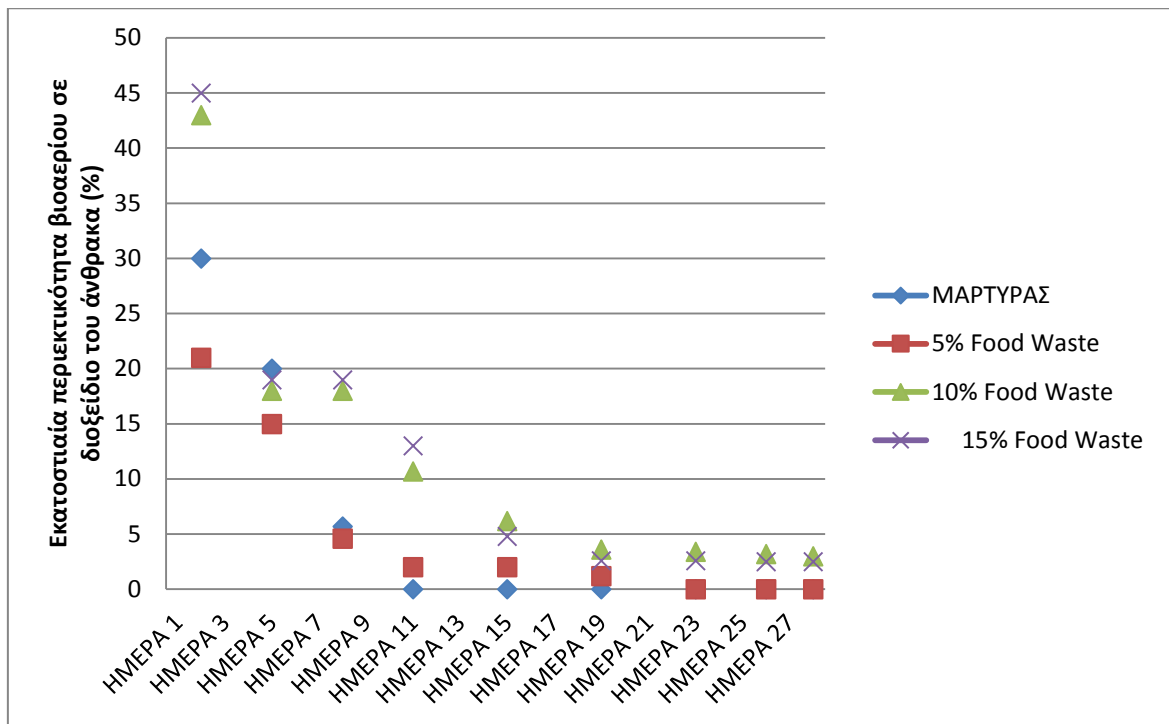


Διάγραμμα 4.6 Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε μεθάνιο.

Στον πίνακα 4.11. και στο διάγραμμα 4.7 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

Πίνακας 4.11. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε διοξείδιο του άνθρακα

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	5% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	30	21	43	45
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	20	15	18	19
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	5,7	4,6	18	19
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	0	2	10,7	13
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	2	6,2	4,8
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	1,2	3,6	2,6
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	3,4	2,6
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	3,2	2,5
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28	0	0	3	2,5

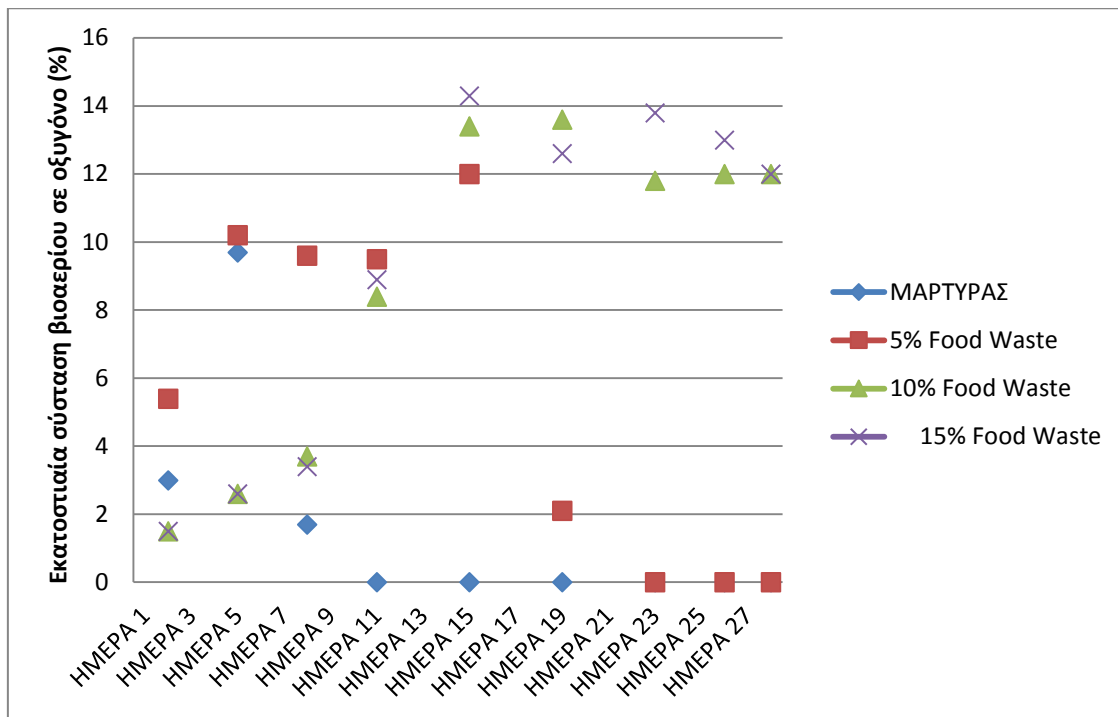


Διάγραμμα 4.7. Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε διοξείδιο του άνθρακα.

Στον πίνακα 4.12 και στο διάγραμμα 4.8 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε οξυγόνο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

Πίνακας 4.12. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε οξυγόνο.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	5% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	3	5,4	1,5	1,5
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	9,7	10,2	2,6	2,6
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	1,7	9,6	3,7	3,4
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	0	9,5	8,4	8,9
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	0	12	13,4	14,3
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	0	2,1	13,6	12,6
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	11,8	13,8
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	12	13
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28	0	0	12	12



Διάγραμμα 4.8. Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης σε οξυγόνο.

Στον πίνακα 4.13. παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε υδρόθειο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

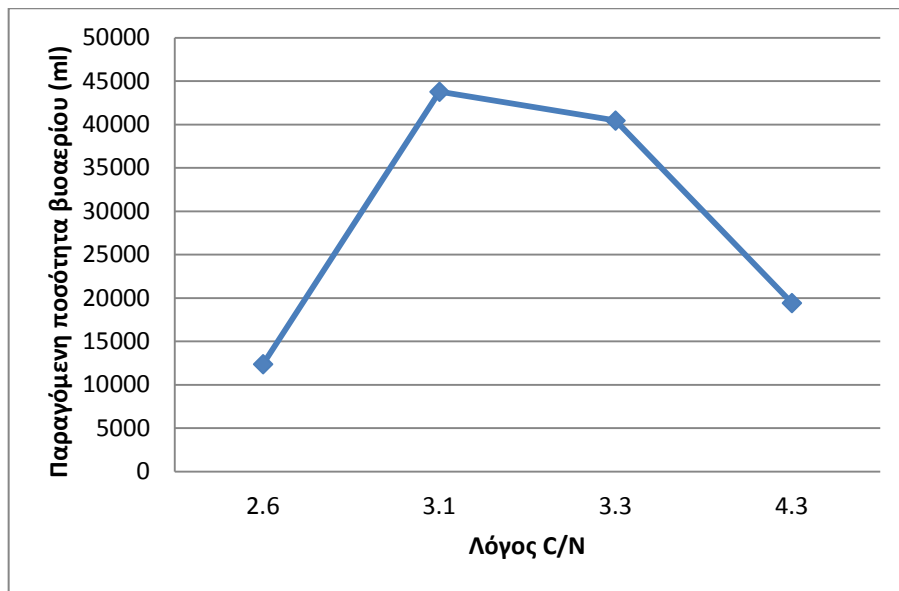
Πίνακας 4.13. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου σε υδρόθειο στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	5% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	
ΗΜΕΡΑ 1					
ΗΜΕΡΑ 2	127	202		>500	>500
ΗΜΕΡΑ 3					
ΗΜΕΡΑ 4					
ΗΜΕΡΑ 5	20	30		>500	>500
ΗΜΕΡΑ 6					
ΗΜΕΡΑ 7					
ΗΜΕΡΑ 8	15	16		234	264
ΗΜΕΡΑ 9					
ΗΜΕΡΑ 10					
ΗΜΕΡΑ 11	0	1		19	5
ΗΜΕΡΑ 12					
ΗΜΕΡΑ 13					
ΗΜΕΡΑ 14					
ΗΜΕΡΑ 15	0	12		15	10
ΗΜΕΡΑ 16					
ΗΜΕΡΑ 17					
ΗΜΕΡΑ 18					
ΗΜΕΡΑ 19	0	1,2		11,8	13,8
ΗΜΕΡΑ 20					
ΗΜΕΡΑ 21					
ΗΜΕΡΑ 22					
ΗΜΕΡΑ 23	0	0		2	2
ΗΜΕΡΑ 24					
ΗΜΕΡΑ 25					
ΗΜΕΡΑ 26	0	0		1,8	1,8
ΗΜΕΡΑ 27					
ΗΜΕΡΑ 28	0	0		1,8	1,7

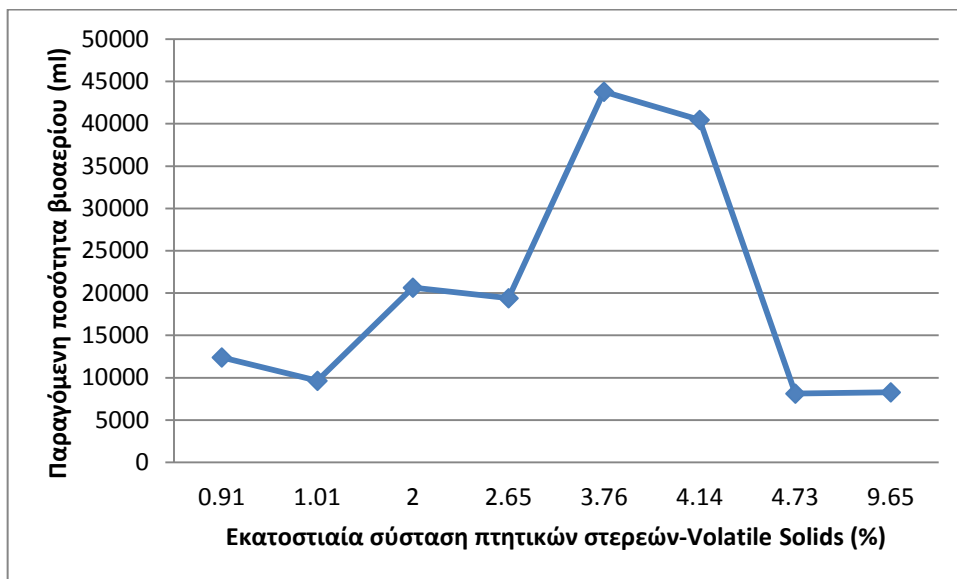
Στον πίνακα 4.14. παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων pH στα τέσσερα δείγματα.

Πίνακας 4.14. Τιμές pH στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 5%,10% και 15% κ.ο. τροφικού απόβλητου και λυματολάσπης.

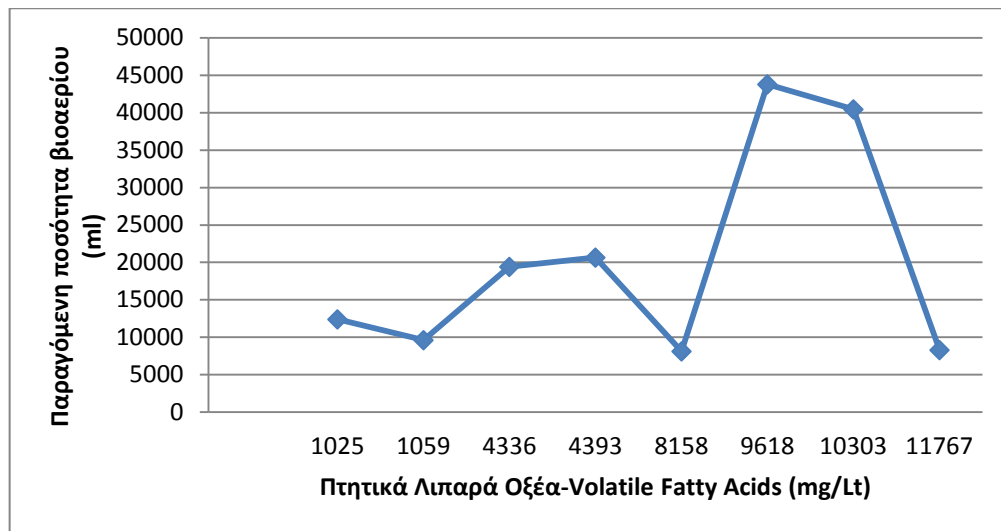
ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	5% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	10% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)	15% Τροφικό απόβλητο (κ.ο.)
ΗΜΕΡΑ 1	7,94	6,95	6,7	6,71
ΗΜΕΡΑ 2	7,9	7	6,8	6,8
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	7,8	7	6,7	6,7
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	7,7	6,8	6,7	6,8
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	7,5	7	7	7
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13				
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	7,6	7,2	7,1	7,2
ΗΜΕΡΑ 16				
ΗΜΕΡΑ 17				
ΗΜΕΡΑ 18				
ΗΜΕΡΑ 19	7,5	7,5	7	7,1
ΗΜΕΡΑ 20				
ΗΜΕΡΑ 21				
ΗΜΕΡΑ 22				
ΗΜΕΡΑ 23	7,4	7,4	7	7
ΗΜΕΡΑ 24				
ΗΜΕΡΑ 25				
ΗΜΕΡΑ 26	7,4	7,4	7,7	7,5
ΗΜΕΡΑ 27				
ΗΜΕΡΑ 28	7,5	7,3	7,8	7,7



Διάγραμμα 4.9. Γραφική απεικόνιση της συσχέτισης παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου (εκφρασμένης σε ml) και του λόγου συγκέντρωσης C/N, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του πειράματος μάρτυρα, 5%, 10%, 15% τροφικό απόβλητο κ.όγκο.



Διάγραμμα 4.10. Γραφική απεικόνιση της συσχέτισης παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου (εκφρασμένης σε ml) και του εκατοστιαίου ποσοστού πτητικών στερεών (volatile solids) όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των πειραμάτων των υποενοτήτων 4.1 και 4.2.



Διάγραμμα 4.11. Γραφική απεικόνιση της συσχέτισης παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου (εκφρασμένης σε ml) και της χημικής παραμέτρου πτητικά λιπαρά οξέα (volatile fatty acids) όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των πειραμάτων των υποενοτήτων 4.1 και 4.2.

4.3 Μελέτη επίδρασης προσθήκης ορυκτού ζεόλιθου στη βέλτιστη αναλογία μείγματος τροφικού αποβλήτου.

Στη συνέχεια, αφού επιβεβαιώθηκε αναφορικά με το σταθμό μελέτης ότι η βέλτιστη αναλογία ήταν 10% κατά όγκο συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου σε λυματολάσπη, διενεργήθηκαν περαιτέρω δοκιμές προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση στην παραγωγή βιοαερίου προσθήκης ορυκτού ζεόλιθου. Ετοιμάστηκαν ένα δείγμα μάρτυρα (10% κ.ο. τροφικό απόβλητο σε λυματολάσπη) και τρία δείγματα 10% κ.ο. τροφικού αποβλήτου με λυματολάσπη, τα οποία περιείχαν διαδοχικά 2,5%, 5% και 10% ορυκτό ζεόλιθο. Τα δείγματα επώαστηκαν για 28 ημέρες σε θερμοκρασία $39^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ στον εξοπλισμό ENSPAR Plus. Τα δείγματα αυτά εξετάστηκαν τόσο στην έναρξη όσο και στη λήξη του πειράματος σε χημικές παραμέτρους που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, όπως φαίνονται στον πίνακα 4.15.

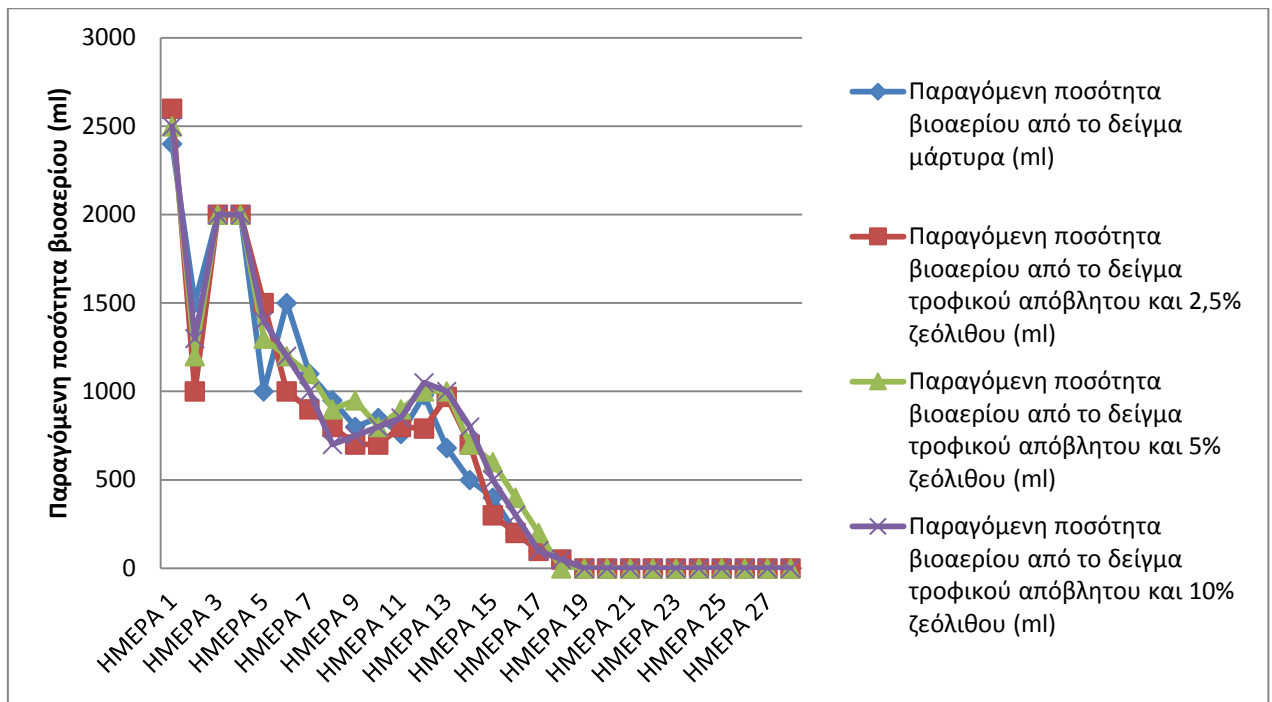
Πίνακας 4.15. Χημικές αναλύσεις δειγμάτων από το μάρτυρα και των μειγμάτων 5% και 10% ορυκτού ζεόλιθου

ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	Δείγμα 10% κ.ο. τροφικό απόβλητο-Μάρτυρας		
pH	7,6		
conductivity (mS/cm)	21,8		
BOD ₅ (g/Lt)	35,3		
COD (g/Lt)	106		
Άζωτο Νιτρικών NO ₃ -N (mg/Lt)	45		
Άζωτο νιτρωδών NO ₂ -N (mg/Lt)	<0,003		
Αμμωνιακό άζωτο NO ₃ -N (mg/Lt)	435,5		
Άζωτο κατά Kjeldahl(mg/Lt)	6473		
Total Phosphorous (mg/Lt)	2750		
Total Suspended Solids (%)	9,62		
Total Suspended Solids(mg/Lt)	96200		
% percentage Volatile Solids	0,2		
Volatile Solids(mg/Lt)	2000		
TOC (mg/Lt)	16000		
ΛΗΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	---	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.) και 5% ορυκτός ζεόλιθος	10 % Τροφικό απόβλητο (κ.ο.) και 10% ορυκτός ζεόλιθος
pH	---	8,27	8,3
conductivity (mS/cm)	---	22.10	28,50
BOD ₅ (mg/Lt)	---	4900	19133
COD (mg/Lt)	---	14700	57400
TKN (g/Lt)	---	3923	4287
Total Phosphorous (mg/Lt)	---	59	76
TSS (mg/Lt)	---	14351	13162
VSS (mg/Lt)	---	1000	2000
TOC (mg/Lt)	---	2956	2955

Τα αποτελέσματα των καθημερινών καταγραφών της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου παρατίθενται στον πίνακα 4.16 και στο διάγραμμα 4.12

Πίνακας 4.16. Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 2,5%, 5% και 10% κ.ο. ζεόλιθου. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

ΗΜΕΡΑ	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα μάρτυρα (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το μείγμα τροφικού απόβλητου λυματολάσσης και 2,5% ζεόλιθου (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα τροφικού απόβλητου λυματολάσσης και 5% ζεόλιθου (ml)	Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από το δείγμα τροφικού απόβλητου λυματολάσσης και 10% ζεόλιθου (ml)
ΗΜΕΡΑ 1	2400	2600	2500	2500
ΗΜΕΡΑ 2	1500	1000	1200	1300
ΗΜΕΡΑ 3	2000	2000	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 4	2000	2000	2000	2000
ΗΜΕΡΑ 5	1000	1500	1300	1400
ΗΜΕΡΑ 6	1500	1000	1200	1200
ΗΜΕΡΑ 7	1100	900	1100	1000
ΗΜΕΡΑ 8	950	800	900	700
ΗΜΕΡΑ 9	800	700	950	750
ΗΜΕΡΑ 10	850	700	800	800
ΗΜΕΡΑ 11	760	800	900	850
ΗΜΕΡΑ 12	980	790	1000	1050
ΗΜΕΡΑ 13	680	970	1000	1000
ΗΜΕΡΑ 14	500	700	700	800
ΗΜΕΡΑ 15	400	300	600	500
ΗΜΕΡΑ 16	200	200	400	300
ΗΜΕΡΑ 17	100	100	200	100
ΗΜΕΡΑ 18	50	50	0	50
ΗΜΕΡΑ 19	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 20	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 21	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 22	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 23	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 24	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 25	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 26	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 27	0	0	0	0
ΗΜΕΡΑ 28	0	0	0	0
Ολική ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου (ml)	17770	17110	18750	18300

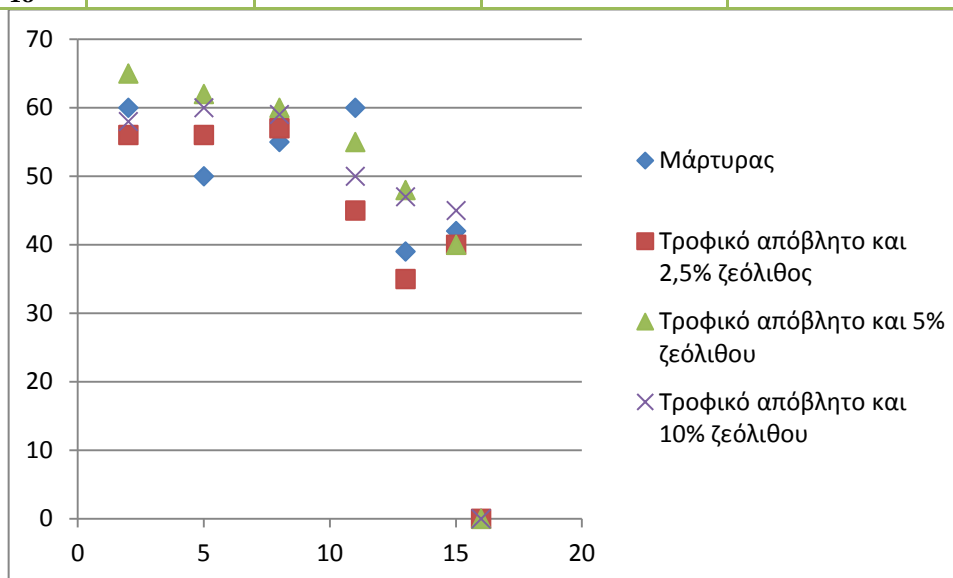


Διάγραμμα 4.12. Γραφική απεικόνιση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 2,5%, 5% και 10% κ.ο. ζεόλιθου. Οι ποσότητες είναι εκφρασμένες σε ml.

Στον πίνακα 4.17 και στο διάγραμμα 4.13 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων περιεκτικότητας σε μεθάνιο στο παραγόμενο βιοαέριο από τα τέσσερα δείγματα, με χρήση της συσκευής DragerSensor X-am 7000.

Πίνακας 4.17. Εκατοστιαία περιεκτικότητα βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 2,5%, 5% και 10% ορυκτού ζεόλιθου σε μεθάνιο.

ΗΜΕΡΑ	Μάρτυρας	Τροφικό απόβλητο και 2,5% ζεόλιθος	Τροφικό απόβλητο και 5% ζεόλιθου	Τροφικό απόβλητο και 10% ζεόλιθου
ΗΜΕΡΑ 1				
ΗΜΕΡΑ 2	60	56	65	58
ΗΜΕΡΑ 3				
ΗΜΕΡΑ 4				
ΗΜΕΡΑ 5	50	56	62	60
ΗΜΕΡΑ 6				
ΗΜΕΡΑ 7				
ΗΜΕΡΑ 8	55	57	60	59
ΗΜΕΡΑ 9				
ΗΜΕΡΑ 10				
ΗΜΕΡΑ 11	60	45	55	50
ΗΜΕΡΑ 12				
ΗΜΕΡΑ 13	39	35	48	47
ΗΜΕΡΑ 14				
ΗΜΕΡΑ 15	42	40	40	45
ΗΜΕΡΑ 18	0	0	0	0



Διάγραμμα 4.13 Γραφική απεικόνιση της εκατοστιαίας περιεκτικότητας βιοαερίου στα δείγματα του μάρτυρα, και των μειγμάτων 2,5%, 5% και 10% ορυκτού ζεόλιθου σε μεθάνιο.

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση-Συμπεράσματα-Εισηγήσεις

Με την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή γίνεται εκτίμηση, μέσω πειραματικών δοκιμών, της δυνατότητας βελτίωσης της απόδοσης αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων. Πραγματοποιήθηκε μελέτη της αλλαγής της ποσότητας και σύστασης του παραγόμενου βιοαερίου μέσω της τροποποίησης της σύστασης του υποστρώματος αφού σε αυτό προστεθούν τροφικά απόβλητα και στη συνέχεια γίνει εμπλουτισμός στη βέλτιστη συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου και λυματολάσμπης με ορυκτό ζεόλιθο. Τα αποτελέσματα της μελέτης εξετάζεται αν μπορούν να υποστηρίξουν την εκτροπή των τροφικών αποβλήτων από τα σύμμεικτα απόβλητα σε υφιστάμενες μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων ως στρατηγική δράση για επίτευξη των στόχων που απορρέουν από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/98 για τα απόβλητα και 1999/31 για την υγειονομική ταφή αποβλήτων.

5.1 Συζήτηση και συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα από τον πρώτο και δεύτερο κύκλο πειραμάτων, όπου τροποποιήθηκε η εκατοστιαία σύσταση του υποστρώματος, κατέδειξαν ότι η αλλαγή στη σύνθεση του υποστρώματος μπορεί να αυξήσει την παραγωγή βιοαερίου σε ποσότητα και τη συγκέντρωση του μεθανίου. Συγκεκριμένα, από τον πρώτο κύκλο πειραμάτων με 10%-20%-30% κ.ο. συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου φάνηκε ότι αλλαγή στη σύσταση του υποστρώματος, όπου το 10% του συνόλου συνίσταται από μείγμα τροφικού αποβλήτου διπλασιάζει την παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου (διάγραμμα 4.1.) και παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα μεθανίου (διάγραμμα 4.2.) καθ' όλη τη διάρκεια του

πειράματος. Η αύξηση αυτή δεν παρατηρείται τις περιπτώσεις όπου η σύσταση του υποστρώματος τροποποιείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να το 20% και 30% κ.ο. να συνίσταται από μείγμα τροφικού αποβλήτου.

Στο δεύτερο κύκλο των πειραμάτων όπου μελετήθηκε περαιτέρω η αλλαγή στη σύσταση κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελείται το υπόστρωμα από 5%-10%-15% κ.ο. τροφικό απόβλητο παρατηρείται σταδιακή αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου μεταξύ των τιμών 5% και 10% κ.ο. Ιδιαίτερα σε συγκέντρωση 10% κ.ο. τροφικό απόβλητο η ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου αυξάνεται κατά 3,5 φορές συγκριτικά με το μάρτυρα, ενώ η αντίστοιχη αύξηση σε συγκέντρωση 15% κ.ο. είναι 3,25 φορές. Η μεγαλύτερη αύξηση στην ποσότητα βιοαερίου στην περίπτωση που το υπόστρωμα αποτελείται από 10% κ.ο. τροφικό απόβλητο οφείλεται στην παραγωγή βιοαερίου και μετά την 23^η ημέρα του πειράματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.5. Κατά τη διάρκεια του πειράματος η παραγωγή μεθανίου ήταν μεγαλύτερη σε όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν από την αντίστοιχη παραγωγή μεθανίου από το δείγμα του μάρτυρα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.6.

Συνολικά, από τα αποτελέσματα των πειραμάτων των υποενοτήτων 4.1 και 4.2, όταν η αλλαγή στη σύσταση του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 5% ως 15% κ.ο. συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου τότε καταγράφεται αύξηση στην ποσότητα βιοαερίου και μεθανίου, ενώ περαιτέρω αύξηση στη συγκέντρωση τροφικού αποβλήτου δεν φαίνεται να επιδρά θετικά ή αρνητικά στους πιο πάνω δείκτες.

Περαιτέρω διερεύνηση επίδρασης των χημικών παραμέτρων % πτητικά στερεά και πτητικά λιπαρά οξέα, στην παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 4.10, και 4.11, δείχνει ότι οι τιμές των πιο πάνω παραμέτρων συσχετίζονται με την παραγωγή βιοαερίου. Από το διάγραμμα 4.10 φαίνεται ότι η αύξηση της συγκέντρωσης πτητικών ενώσεων οδηγεί σε αύξηση της ποσότητας του βιοαερίου που παράγεται. Σύγκριση με τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στο διάγραμμα 4.11 όπου απεικονίζεται η παραγωγή βιοαερίου σε συνάρτηση με την συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της συγκέντρωσης τους οδηγεί αρχικά σε αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου, ενώ περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης τους οδηγεί σε μείωση της παραγωγής βιοαερίου. Τα αποτελέσματα μπορούν να ερμηνευθούν αν ληφθούν υπόψη οι

καταγραφές στις τιμές του pH (Πίνακες 4.7, 4.14) και ιδιαίτερα οι καταγραφές του pH στα δείγματα 20% και 30% κ.ο. τροφικού αποβλήτου (Πίνακας 4.7). Βιβλιογραφικά έχει αποδειχθεί ότι αύξηση των πτητικών λιπαρών οξέων οδηγεί σε μείωση του pH (Veeken et al., 2000). Τα πτητικά λιπαρά οξέα δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης και χρησιμοποιούνται από τα μεθανογενή βακτήρια για την παραγωγή μεθανίου, αποτρέποντας τη συσσώρευση των πτητικών λιπαρών οξέων. Συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων διαταράσσει το ισοζύγιο των υποστρωμάτων και της μικροβιακής κοινότητας με αποτέλεσμα την αναστολή της μεθανογένεσης. Επιπρόσθετα, συσσώρευση λιπαρών οξέων μειώνει την τιμή του pH με αποτέλεσμα να αναστέλλεται τόσο η υδρόλυση όσο και η οξεογένεση (Siegert and Banks, 2005). Συγχρόνως, η μείωση του pH στο περιεχόμενο του αντιδραστήρα συνεπεία της συσσώρευσης λιπαρών οξέων, οδηγεί σε αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων αμμωνίας, τα οποία προκύπτουν από την διάσπαση των πρωτεϊνών, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αναστολή της μεθανογένεσης (Eckenfelder 2000, Dennis et al., 2016). Στα δείγματα 20% και 30% κ.ο. τροφικό απόβλητο μετρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Στους πιο πάνω λόγους μπορεί να αποδοθεί η μείωση στην ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου όπως αυτή καταγράφεται στα διαγράμματα 4.10 και 4.11 όταν οι τιμές %πτητικών στερεών και λιπαρών οξέων αυξηθούν πέραν των τιμών 4,5% και 10 500(mg/Lt) αντίστοιχα.

Οι πειραματικές δοκιμές στη βέλτιστη αναλογία τροφικού αποβλήτου και υφιστάμενου υποστρώματος όπως διενεργήθηκαν στην υποενότητα 4.3 με προσθήκη ζεόλιθου για σκοπούς δέσμευσης της αμμωνίας, έδειξαν ότι σε αυτή την αναλογία (10% κ.ο.) δεν παρατηρείται σημαντική περαιτέρω βελτίωση της παραγωγής βιοαερίου.

Στο διάγραμμα 4.9 απεικονίζεται η επίδραση του λόγου C/N στην παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, όπου αύξηση του λόγου από 2,6 σε 3,1 λόγω αλλαγής της σύστασης του υποστρώματος, οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου, ενώ περαιτέρω αύξηση οδηγεί σε μείωση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου. Η αναλογία άνθρακα και αζώτου αποτελεί περιοριστικό παράγοντα κατά την αναερόβια χώνευση. Οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν τον άνθρακα σαν πηγή ενέργειας και το άζωτο για την αύξηση τους (Igoni et al., 2008). Αν το ποσοστό αζώτου είναι χαμηλό τότε μικροβιακός πληθυσμός αυξάνεται αργά και απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος για την αποικοδόμηση του υποστρώματος. Αν το ποσοστό του αζώτου είναι υψηλό τότε συσσωρεύεται αμμωνία σε αέρια μορφή και εμποδίζεται η ανάπτυξη των

βακτηρίων (Fontenot et al. 2007). Επίσης, σε αναερόβιες συνθήκες η ταχύτητα μετατροπής του άνθρακα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα μετατροπής του αζώτου, και σε κάθε υπόστρωμα αυτό μπορεί να διαφέρει οπότε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία πρέπει να γίνεται ξεχωριστή μελέτη για κάθε περίπτωση (Dennis et al., 2016).

Η συγχώνευση διαφορετικών υποστρωμάτων προσελκύει ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς η ανάμιξη υποστρωμάτων από διαφορετικές πηγές σε διαφορετικές αναλογίες βελτιώνει την απόδοση παραγωγής βιοαερίου. Αυτό οφείλεται στην ενίσχυση του ισοζυγίου των θρεπτικών στοιχείων, αραίωση τοξικών ουσιών, συνεργιστικά φαινόμενα μεταξύ των βακτηρίων και σταθεροποίηση της διαδικασίας μεθανογένεσης (Ferrer et al., 2011). Η αναερόβια χώνευση χοιρολυμάτων και τροφικών αποβλήτων έχει προταθεί σε μελέτη των Zhang et al., ως ευνοϊκός συνδυασμός υποστρωμάτων με σημαντικό δυναμικό παραγωγής βιοαερίου καθώς η ψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό περιεχόμενο των τροφικών αποβλήτων, η παρουσία μεταλλικών ιχνοστοιχείων στα χοιρολύματα και η ψηλή περιεκτικότητα τους σε άζωτο μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης (2011). Τα πειραματικά αποτελέσματα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, είναι ενθαρρυντικά καθώς υποστηρίζουν την αύξηση της ποσότητας βιοαερίου και της περιεκτικότητας σε μεθάνιο κατά τον εμπλουτισμό του υποστρώματος του αναερόβιου χωνευτήρα με τροφικά απόβλητα, συνεισφέροντας έτσι στην αύξηση του ποσοστού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο στη χώρα μας.

Τα πειραματικά αποτελέσματα υποστηρίζουν ότι η εκτροπή του κλάσματος τροφικών αποβλήτων από τα δημοτικά απόβλητα προς διαδικασίες αναερόβιας χώνευσης μπορεί να αποτελέσει μέρος των στρατηγικών δράσεων προς επίτευξη των στόχων των στόχων που απορρέουν από τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2008/98 για τα απόβλητα και 1999/31 για την υγειονομική ταφή αποβλήτων. Ιδιαίτερα, η διαχείριση των τροφικών αποβλήτων για σκοπούς ανάκτησης ενέργειας μπορεί να ενταχθεί στο πλαίσιο της ιεράρχησης των δράσεων που προβλέπονται στο άρθρο 4 της Οδηγίας πλαίσιο 2008/98, αφού σε συνδυασμό με την πρόληψη δημιουργίας τροφικών αποβλήτων, τα τροφικά απόβλητα που αναπόφευκτα θα προκύπτουν, μπορούν να τύχουν τέτοιας διαχείρισης ώστε να ανακτηθεί ενέργεια από αυτά. Η διαχείριση των τροφικών αποβλήτων ως δευτερογενής οικονομικός πόρος είναι σύμφωνη με την ενθάρρυνση βάση του άρθρου 22 της οδηγίας πλαίσιο 2008/98 όπου ενθαρρύνεται η

διαλογή στη πηγή των βιολογικών αποβλήτων και η αναερόβια χώνευση τους και αποτελεί προτεινόμενη δράση για μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία ώστε να επιτευχθεί προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων και να διασφαλιστεί η ενεργειακή αυτάρκεια. Ταυτόχρονα, η δράση αυτή, μπορεί να ενταχθεί στο πλαίσιο δράσεων για μείωση των βιοαποικοδομήσιμων ατικών αποβλήτων που προορίζονται για χώρους υγειονομικής ταφής, στόχος ο οποίος δεν έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα.

5.2 Εισηγήσεις

Τα πειραματικά αποτελέσματα της παρούσας πειραματικής μεταπτυχιακής διατριβής, είναι ενθαρρυντικά για την χρήση των τροφικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου.

Σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω μελέτη τυχόν επίδρασης στη μεθανογένεση προσθήκης ορυκτού ζεόλιθου σε διαφορετικές συγκεντρώσεις, στα δείγματα 20% και 30% κ.ο. τροφικού αποβλήτου, στα οποία τα προκαταρκτικά αποτελέσματα δεν ήταν θετικά, προκειμένου να διερευνηθεί εκτενέστερα αν η δέσμευση αμμωνίας άρει τα ανασταλτικά αποτελέσματα από τις υψηλές τιμές Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) που μετρήθηκαν ή επιβεβαιώνεται περαιτέρω το συμπέρασμα ότι η αναστολή της μεθανογένεσης οφείλεται σε συνέργεια παραγόντων (συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων, χαμηλό pH και ψηλή συγκέντρωση αμμωνίας).

Προκειμένου να μελετηθεί σε βάθος η βέλτιστη αναλογία τροφικών αποβλήτων που προέκυψε από την παρούσα μελέτη, προτείνεται περαιτέρω πειραματική μελέτη και με χρήση τροφικών αποβλήτων άλλης αναλογίας ομάδων τροφίμων από αυτές που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη ή και με τροφικά απόβλητα που θα συλλεχτούν τυχαία από εστιατόρια και ξενοδοχειακές μονάδες. Οι δοκιμές αυτές μπορούν να ενταχθούν στα πλαίσια πιλοτικών προγραμμάτων χωριστής διαλογής αστικών αποβλήτων και προώθησης τους για αναερόβια χώνευση όπως αυτά προβλέπονται στο στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης δημοτικών αποβλήτων του τμήματος Περιβάλλοντος με σκοπό την επίτευξη του κρατικού στόχου για χωριστή συλλογή 20% του οργανικού υλικού από τα οικιακά απόβλητα μέχρι το 2021 (2015).

Βιβλιογραφία

Abbasi, T., Tauseef, S. M., Abbasi, S. A. (2012) Biogas Energy. *SpringerBriefs in Environmental Science*,2,5-6.

Albuzio,A., Durigon, V., Provenzano, M.R. (2011) Anaerobic Digestion of Trout by-products. *Waste and Biomass Valorization*,2, 127–131.

Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Van Impe, J., Dewil, R. (2011) Anaerobic Digestion in Global Bio-Energy Production: Potential and Research Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,15, 4295–4301.

Appels,L., Baeyens, J., Degreve, J., Dewil, R. (2008) Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*,34, 755–781.

Banks, C.J. and Humphreys P.N. (1998) The Anaerobic Treatment of a Ligno-cellulosic Substrate Offering Little Natural pH Buffering Capacity. *Water Sci Technol*,38,29–35.

Barrer, R.M. (1938) The sorption of polar and non-polar gases by zeolites, *Proc. R. Soc. A*,167, 392–420

Barton, JR., Issaias, I., Stentiford, EI. (2008) Carbon-making the Right Choice for Waste Management in Developing Countries. *Waste Manage*, 28,69–76.

Batstone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I.; Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H., Vavilin, V.A. (2002)The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Sci Technol*, 45(10),65-73.

Beck, J.S., Vartuli, C., Roth, W.J., Leonowicz, C.T. Kresge, K.D. Schmitt, C.T., Chu, W., Olson, D.H., Sheppard, E.W., McCullen, S.B., Higgins, J.B., Schlenker, J.L. (1992) A new family of mesoporous molecular-sieves prepared with liquid-crystal templates. *J. Am. Chem. Soc.*, 114, 10834–10843

Beffa, T., Blanc, M., Lyon, P.F., Vogt, G., Marchiani, M., Fischer, J.L., Aragno, M. (1996) Isolation of Thermus Strains From Hot Composts (60 to 80 degrees C). *Appl Environ Microbiol* 62, 1723–1727.

Bio Intelligence Service (2010) Preparatory study on food waste across EU 27

Bitton, G. (2011) Wastewater Microbiology, Fourth Edition, Wiley-Blackwell, 410-412

Bitton, G. (2011) Wastewater Microbiology, Fourth Edition, Wiley-Blackwell, 421-425

Boone, D. R., Whitman, W. B., Rouviere, P. (1993) Diversity and Taxonomy of Methanogens. *Methanogenesis*, 35–80.

Borja, R., Sánchez, E., Durán, M.M. (1996) Effect of the clay mineral zeolite on ammonia inhibition of anaerobic thermophilic reactors treating cattle manure. *Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, 31, 479-500.

Bougrier, C., Delgenes, J.P., Carrere, H. (2007) Impacts of Thermal Pre-treatments on the Semi-continuous Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge. *Biochem Eng J*, 34, 20–27.

Boziris, N.A., Alexiou, I.E., Pistikopoulos, E.N. (1996) A Mathematical Model for the Optimal Design and Operation of an Anaerobic Co-digestion Plant. *Water Sci Technol*, 34, 383–391.

Breck, D.W., Eversole, W.G., Milton, R.M., Reed, T.B., Thomas, T.L. (1956) Crystalline zeolites 1. The properties of a new synthetic zeolite, type-A, *J. Am. Chem. Soc.* 78, 5963–5971

Burton, C.H., Turner, C. (2003) *Manure Management Treatment Strategies for Sustainable Agriculture, 2nd edn*. Silsoe:Silsoe Research Institute.

Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayany, K., Forster, C.F. (2002) Continuous Co-digestion of Cattle Slurry With fruit and Vegetable Wastes and Chicken Manure. *Biomass Bioenergy*,22,71-77.

Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B., Yenigun, O. (2005) Effects of High Free Ammonia Concentration on the Performances of Anaerobic Bioreactors. *Process Biochemistry*,40, 1285-1292.

Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008) Inhibition of Anaerobic Digestion Process: a review. *Bioresour Technol.*, 99(10),4044-64.

Choi, E., Rim, J. M. (1991) Competition and Inhibition of Sulfate Reducers and Methane Producers in Anaerobic Treatment. *Water Science & Technology*, 23, (7),1259-64.

Cypra Ltd, ευγενική παραχώρηση αριθμητικών δεδομένων από τους κ.Γιώργο και Χάρη Γεωργίου.

Davis, M.E., Saldarriaga, C., Montes, C., Garces, J., Crowder, C. (1988) A molecular sieve with 18-membered rings. *Nature*.331, 698-699

Debras, G., Gourgue, A., Nagy, J.B., de Clippelier, G. (1986) Physico-chemical characterization of pentasil type materials. IV. Thermal and steam stability, dealumination and aluminum exchange. *Zeolites* 6, 241-248

Del Borghi, A., Converti, A., Palazzi, E., Del Borghi, M. (1999) Hydrolysis and Thermophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Bioproc Biosyst Eng*,20,553-560.

DeLuca, T.H., DeLuca, D.K. (1997) Composting for Feedlot Manure Management and Soil Quality. *J. Prod. Agric.*,10 (2), 235-241.

Demirel, B., Scherer, P.(2008) The roles of Acetotrophic and Hydrogenotrophic Methanogens During Anaerobic Conversion of Biomass to Methane: a Review. *Rev Environ Sci Biotechnol*,7,173-190.

Dennis Y. C., Leung, Jing Wang (2016) An overview on biogas generation from anaerobic digestion of food waste *International Journal of Green Energy*, 13, 119-131.

Dessau, R.M., Schlenker, J.L., Higgins, J.B. (1990) Framework topology of AIPO4-8: The first 14-ring molecular sieve. *Zeolites* 10, 522-524

Dräger sensor. http://www.ribbon-enviro.co.uk/includes/files/products/72_1_Drager%20Xam7000-Datasheet.pdf
[Πρόσβαση:10.7.16].

Eastman, J.A., Ferguson, J.F. (1981) Solubilization of Particulate Organic Carbon During the Acid Phase of Anaerobic Digestion. *J Water Pollut Control Fed*, 53, 352-366.

Eckenfelder, W. W. (2000) Water, Pollution. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc.

Edstrom, M., Nordberg, A., Thyselius, L. (2003) Anaerobic Treatment of Animal by Products from Slaughterhouses at Laboratory and Pilot Scale. *Appl Biochem Biotechnol*, 109, 127-138.

Egg, R.P., Coble, C.G., Engler, C.R., Lewis, D.H. (1993) Feedstock Storage, Handling and Processing. *Biomass Bioenergy*, 5, 71-94.

Eichhorn, H. (1858) über die Einwirkung verdünnter Salzlösungen auf Silicate. *Pogg. Ann. Phys. Chem.* 105, 126

Eicker, A. (1981) The Occurrence and Nature of Sulphur Crystals in Phase I Mushroom Compost. *Mushroom Sci.*, 11, 27-34.

Esposito, G., Frunzo, L., Giordano, A., Liotta, F., Panico, A., Pirozzi, F. (2012) Anaerobic Co-Digestion of Organic Wastes. *Rev Environ Sci Biotechnol*, 11, 325-341.

Estermann, M., Mccusker, L.B., Baerlocher, C., Merrouche, A., Kessler, H. (1991) A synthetic gallophosphate molecular-sieve with a 20-tetrahedral-atom pore opening. *Nature*, 352, 320-323

EU Waste Legislation. (2016). <http://ec.europa.eu/environment/waste/legislation/>
[Πρόσβαση:2.8.16]

European Commission. (2010) Preparatory Study in Food Waste Across EU 27 Final Report. http://ec.europa.eu/environment/eusds/pdf/bio_foodwaste_report.pdf. [Πρόσβαση:12.5.2016].

European Environment Agency. (2008) Climate Change. <http://www.eea.europa.eu/themes/climate/intro> [Πρόσβαση:12.5.2016].

European Environment Agency. (2014a) Total Greenhouse Gas (GHG) Emission Trends and Projections. [Http:// www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gasemission-trends-5/assessment-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gasemission-trends-5/assessment-1). [Πρόσβαση:12.5.2016].

European Environment Agency. (2014b) Renewable energy in gross inland energy consumption. [http:// www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/renewable-primary-energy-consumption-3/assessment](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/renewable-primary-energy-consumption-3/assessment)[Πρόσβαση:25.5.2016]

European Environment Agency. (2014c) From Production to Waste:the Food System. <http://www.eea.europa.eu/signals/signals-2014/articles/from-production-to-waste-food-system>. [Πρόσβαση:12.5.2016].

European Environment Agency. (2016) Renewable Energy in Europe 2016,Recent Growth and Knock-off Effects. [http:// www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2016](http://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2016). [Πρόσβαση:12.5.2016].

European Union (2016) EU actions against food waste http://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu_actions/index_en.htm [Πρόσβαση:25.8.16].

European Union (2016) FUSIONS Reducing food waste through social innovation. <http://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf> [Πρόσβαση:25.8.16].

European Union. (2001) Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. <http://eur-lex.europa.eu/legal->

European Union. (2002) Regulation 1774/2002 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R1774:20070724:EN:PDF> [Πρόσβαση: 2.8.16].

European Union. (2009) Decision 406/2009/EC on the Effort of Member States to Reduce their Greenhouse Gas Emissions to Meet the Community's Greenhouse Gas Emission Reduction Commitments up to 2020. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0136:0148:EN:PDF> [Πρόσβαση: 2.6.16]

Eurostat (2014) Municipal Waste Generation <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc240&plugin=1> [Πρόσβαση: 11.8.16]

Eurostat. (2014) Primary Production of Renewable Energy by Type. <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00081&language=en> [Πρόσβαση: 12.5.2016]

Eurostat. (2014) Share of Renewable Energy in Gross Final Energy Consumption. http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_31&plugin=1 [Πρόσβαση: 12.5.2016].

FAO. (2011) Global Food Losses and Food Waste-Extent, Causes and Prevention. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf> [Πρόσβαση: 2.6.2016]

FAO. (2012) Towards the Future we Want: End Hunger and Make the Transition to Sustainable Agricultural and Food Systems. <http://www.fao.org/docrep/015/an894e/an894e00.pdf> [Πρόσβαση: 2.6.2016]

Ferrer, I., Garfi, M., Uggetti, E. (2011) Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass and Bioenergy*, 35, 1668–74

- Fontenot, Q., Bonvillain, C., Kilgen, M., Boopathy, R. (2007) Effects of temperature, salinity, and carbon: nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater. *Bioresource Technology*, 98,1700–1703
- Fountoulakis, M., Drillia, P., Stamatelatou, K., Lyberatos, G. (2004) Toxic Effect of Pharmaceuticals on Methanogenesis. *Water Sci Technol.*,50(5),335-340
- Fox, M.H., Noike, T., Ohki, T. (2003) Alkaline Subcritical-water Treatment and Alkaline Heat Treatment for the Increase in Biodegradability of Newsprint Waste. *Water Sci Technol.*,48(4),77–84.
- Friedel, G. (1896) Sur un nouveau silicate artificiel. *Bull. Soc. Franc. Mineral. Crystallogr.* 19, 5–14
- Gavala, H.N., Skiadas, I.V., Bozinis, N.A., Lyberatos, G. (1996) Anaerobic Codigestion of Agricultural Industries' Wastewaters. *Water Sci Technol.*,34,67–75
- Gomez, X., Cuetos, M.J., Cara, J., (2006) Anaerobic Co-digestion of Primary Sludge and the Fruit and Vegetable Fraction of the Municipal Solid Wastes – Conditions for Mixing and Evaluation of the Organic LoadingRate. *Renewable Energy*,31,2017–2024
- Grandjean, F. (1909) An optic study of absorption of heavy vapours by certain zeolites, *C. r.* 149, 866–868
- Griffin, D.M. (1985) A Comparison of the Roles of Bacteria and Fungi. *Bacteria in nature*,1,221–255
- Gujer, W., Zehnder, A. J. B. (1983) Conversion Processes in Anaerobic Digestion. *Water Sci. Technol.*,15,127–167
- Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R. & Meybeck A. (2011) Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention, Rome: Food and Agriculture Organisation of the United Nations

- Hashimoto, A.G.,(1986) Ammonia Inhibition of Methanogenesis from Cattle Wastes. *Agric Wastes*,17,241–261
- Hawkes, D.L. (1980) Factors Affecting Net Energy Production from Mesophilic Anaerobic Digestion. *Anaerobic Digestion*,Stratford:Wheatley BI, Hughes DE, 131–150
- Hay, R.L. (1986) Geologic occurrence of zeolites and some associated minerals. *Stud. Surf. Sci. Catal.* 28, 35–40
- Henze, M., Harremoes, P. (1983) Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors—a Literature Review. *Water Sci. Technol.*,15,1–101
- Hills, DJ, Roberts, DW, (1981) Anaerobic Digestion of Dairy Manure and Field Crops Residues. *Agric Wastes* ,3,179–189
- Hölderich, W.F. (1986) New horizons in catalysis using modified and unmodified pentasil zeolites. *Pure Appl. Chem.* 58, 1383–1388
- Hölderich, W.F., Hesse, M.,Naumann, F. (1988) Zeolites – Catalysts for organic syntheses. *Angew. Chem. Int. Edit.* 27, 226–246
- Hungate, R. E. (1967) Hydrogen as an intermediate in a rumen fermentation. *Arch.Microbial.*,59,158–164
- Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 132
- Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 152-155
- Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 157-158
- Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) *Environmental Chemistry*. Springer:USA, 16

Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 180-182

Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 183-184

Ibanez, J.G., Hernandez- Esparza, M., Doria-Serano, C., Fregoso-Infante., A., Mohan Singh, M. (2007) Environmental Chemistry. Springer:USA, 186

Igoni, A. H., Ayotamuno, M.J., Eze, C.L., Ogaji, O.T., Probert. S. D. (2008) Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy*, 85, 430–38

IZA Structure Commission, <http://www.iza-structure.org/>. [Πρόσβαση:1.7.16]

Jackel, U., Thummes, K., Kampfer, P. (2005) Thermophilic Methane Production and Oxidation in Compost. *FEMS Microbiol Ecol.*, 52,175–184

Jeyabal, A., Kuppaswamy, G. (2001) Recycling of Organic Wastes for the Production of Vermicomposts and its Response in Rice-Legume Cropping System and Soil Fertility. *Eur J Agron.*,15,153-170

Jiang, Y., Heaven, S., Banks, C.J. (2012) Strategies for Stable Anaerobic Digestion of Vegetable Waste. *Renewable Energy*,44, 206–214

Kennes, C., Veiga, M.C. (2013) Chapter 14 Biogas *Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy* ,WILEY, 326-327

Kennes, C., Veiga, M.C. (2013c) *Air Pollution Prevention and Control: Bioreactors and Bioenergy, First Edition*. 321-323, John Wiley & Sons, Ltd.

Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., Dawson, L. (2011) The Anaerobic Digestion of Solid Organic Waste. *Waste Management*,31,1737–1744

- Kida, K., Ikkal, Y., Sonoda, Y., M. Kawase, Nomura, T.(1991) Influence of Mineral Nutrients on High Performance During Anaerobic Treatment of Wastewater from a Beer Brewery. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 72(1),54-7
- Kiely, G., Tayfur, G., Dolan, C., Tanji, K. (1997) Physical and Mathematical Modelling of Anaerobic Digestion of Organic Wastes. *Water Res*,31,534-540
- Kroyer,G. Th.(1995) Impact of Food Processing on the Environment – an Overview. *LWT – Food Science and Technology*,28(6),547-552
- Lastella, G., Testa, C., Cornacchia, G., Notornicola, M., Voltasio, F., Sharma,V.K. (2002) Anaerobic Digestion of Semi-Solid Organic Waste: Biogas Production and its Purification. *Energy Conversion and Management*,43, 63-75
- Lawrence, A.W., McCarty, P.L. (1964) Effects of Sulphide on Anaerobic Treatment. *Proceedings of the 19th Purdue Industrial Waste Conference. Purdue Univ., Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Science*
- Lehtomaki, A., Huttunen, S., Rintala, J.A. (2007) Laboratory Investigation on Co-Digestion of Energy Crops and Crop Residues with Cow Manure for Methane Production: Effect of Crop to Manure Ratio. *Resour Conserv Recycl*,51,591-609
- Lehtomaki, A., Viinikainen, T.A., Ronkainen, O.M., Alen, R., Rintala, J.A. (2004) Effect of Pretreatments on Methane Production Potential of Energy Crops and Crop Residues. *Proceedings of the 10th world IWA congress on anerobic digestion*. London:IWA Publishing, 1016-1021
- Lettinga, G., (2001) Digestion and Degradation,Air for Life. *Water Sci Technol*,44,157-176
- Lettinga,G., Field, J., van Lier, J., Zeeman, G., Hulshoff Pol, L.W .(1997) Advanced Anaerobic Wastewater Treatment in the Near Future . *Water Sci. Technol.*,35(10):5-12.

Li, X., Li, L., Zheng, M., Fu, G., Lar, J.S. (2009) Anaerobic Codigestion of Cattle Manure with Corn Stover Pretreated by Sodium Hydroxide for Efficient Biogas Production. *Energy Fuel*, 23,4635–4639.

Li, Y.Y., Sasaki, H., Yamashita, K., Seki, K., Kamigochi, I. (2002) High-rate Methane Fermentation of Lipid-rich Food Wastes by a High-Solids Co-Digestion Process. *Water Sci Technol* 45,143–150.

Loehr, R.C. (1974) *Agricultural Waste Management*. USA:Academic Press.

McBain, J.W. (1932) *The Sorption of Gases and Vapors by Solids*. Routledge: London

McCarty, P.L. (2001) The Development of Anaerobic Treatment and its Future. *Water Science and Technology*,44 (8), 149–156.

Meier, W.M., Olson, D.H. (1996) *Atlas of Zeolite Structure Types, 4th edition*. Elsevier:London

Molnar, L. and Bartha, I. High Solids Anaerobic Fermentation for Biogas and Compost Production. *Biomass*,16,173–82.

Monnet, F. (2003) An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes. *Remade, Scotland Final Report*, 5–42
<http://www.remade.org.uk/media/9102/an%20introduction%20to%20anaerobic%20digestion%20nov%202003.pdf> [Πρόσβαση:1.6.2016].

Monou, M., Pafitis, N., Kythreotou, N., Smith, S.R., Mantzavinos, D., Kassinos, D. (2008) Anaerobic Co-digestion of Potato Processing Wastewater with Pig Slurry and Abattoir Wastewater. *J Chem Technol Biotechnol.*, 83,1658–1663.

Mouneimne, A.H., Carrere, H., Bernet, N., Delgenes, J.P. (2003) Effect of Saponification on the Anaerobic Digestion of Solid Fatty Residues. *Bioresour Technol*,90,89–94.

- Mueller, R.F., Steiner, A. (1992) Inhibition of Anaerobic Digestion Caused by Heavy Metals. *Water Sci. Technol.*, 26, 835–846.
- Murray, W.D., van den Berg, L. (1981). Effects of Nickel, Cobalt, and Molybdenum on Performance of Methanogenic Fixed-Film Reactors. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42, 502–505.
- Moller, H.B., Hartmann, H., Ahring, B.K. (2004) Manure Separation as a Pre-treatment Method to Increase Gas Production in Biogas Plants. *Ramiran. In: 11th international conference of the FAO ESCORENA network on recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture.*
- Nakamoto, H., Takahashi, H. (1981) Crystal symmetry change of ZSM-5 by various treatments. *Chem. Lett.*, 1013–1016.
- Nastro, A., Colella, C. (1983) Column ion-exchange data for ammonium removal from water by phillipsite tuff. *Ing. Chim. Ital.* 19, 41–45
- Ndegwa, P.M., Thompson, S.A., (2001) Integrating Composting and Vermicomposting in the Treatment and Bioconversion of Biosolids. *Bioresource Technol.*, 76, 107–112.
- Neves, L., Oliveira, R., Alves, M.M. (2009) Co-Digestion of Cow Manure, Food Waste and Intermittent Input of Fat. *Bioresour Technol*, 100, 1957–1962.
- Newsam, J.M., (1986) The structural chemistry of zeolites as viewed by powder neutron-diffraction. *Physica B/C* 136, 213–217
- Nielsen, H.B., Angelidaki, I. (2008) Strategies for Optimizing Recovery of the Biogas Process Following Ammonia Inhibition. *Bioresour Technol*, 99, 7995–8001.
- Noike, T., Endo, G., Chang, J.E., Yaguchi, J.I., Matsumoto, J.I. (1985) Characteristics of Carbohydrate Degradation and the Rate-limiting Step in Anaerobic Digestion. *Biotechnol Bioeng* 27, 1482–1489.

Novaes, R. F. V. (1986) Microbiology of Anaerobic Digestion. *Water Sci. Technol.* 18(12),1-14.

Pain, B.F., Hephherd, R.Q. (1985) Anaerobic Digestion of Livestock Wastes. *Anaerobic digestion of farm waste, NIRD technical bulletins*. Reading:National Institute for Research in Dairying,9-14.

Palmowski, L., Müller, J. (1999) Influence of the Size Reduction of Organic Waste on Their Anaerobic Digestion. *Water Science and Technology*, 41(3), 155-162.

Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. (2010) Food Waste Within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050. *Phil. Trans. R. Soc. B*,365,3065-3081. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/365/1554/3065.full.pdf>. [Πρόσβαση 10.5.2016].

Pfeffer, J.T. (1979) Anaerobic Digestion Processes. *Proceedings of the 1st Int. Symposium on Anaerobic Digestion*. London: Applied Science Publishers.

Pomares, C., Dil Bailleul, P.J., Rivesto, J. (1999) Alimentar Mejor los Cerdos Para Proteger el Medio Ambiente. *Anaporc*, 193,87-102.

Ponsa, S., Gea, T., Sanchez, A. (2011) Anaerobic Co-digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste with Several Pure Organic Co-substrates. *Biosyst Eng*,108,352-360.

Rasi, S., Veijanen, A., Rintala, J. (2007) Trace Compounds of Biogas from Different Biogas Production Plants. *Energy*,32,1375-1380.

Rehl, T., Muller, J. (2011) Life Cycle Assessment of Biogas Digestate Processing Technologies. *Resour Conserv Recycl*,56,92-104.

Rintala, J., Ahring, B.K., (1994) A Two-Stage Thermophilic Anaerobic Process for the Treatment of Source Sorted Household Solid Waste. *Biotechnol Lett*,16,1097-1102.

- Rinzema A., Lettinga G., (1986) Anaerobic Treatment of Sulfate-Containing Wastewater. *Biotreatment Systems*,3,65-109.
- Rittmann, B.E. (2008) Opportunities for Renewable Bioenergy Using Microorganisms . *Biotechnol. Bioeng.*,100,203 – 212 .
- Robert, M., Stein,C., Malone ,D., (1980) Anaerobic Digestion of Biological Sludges. *Environmental Technology Letters*,1(12), 571-588.
- Ros, M., Klammer, S., Knapp, B., Aichberger, K, Insam, H. (2006) Long Term Effects of Compost Amendment of Soil on Functional and Structural Diversity and Microbial Activity. *Soil Use Manag* 22,209–218.
- Rosales, E., Rodriguez, S., Couto, Sanroman, M. A. (2005) Reutilisation of Food Processing Wastes for Production of Relevant Metabolites: Application to Laccase Production. *Journal of Food Engineering*, 66, 419–23.
- Ruthven, D.M. (1998) Zeolites as selective sorbents. *Chem. Eng. Prog.*, 84, 42–50.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H., Swings, J. (2003) A Survey of Bacteria and Fungi Occurring During Composting and Self-heating Processes. *Ann Microbiol* 53,349–410.
- Schönheit,P., Moll,J., Thauer,R.K. (1979) Nickel, Cobalt and Molybdenum Requirement for Growth of *Methanobacteriumthermoautotrophicum*. *Arch.Microbiol.* 123, 105–107.
- Siegert, I., Banks, C. (2005) The Effect of Volatile Fatty Acid Additions on the Anaerobic Digestion of Cellulose and Glucose in Batch Reactors. *Process Biochem*,40:3412–3418.
- Siegert, I., Banks, C.(2005) The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. *Process Biochemistry* 40(11):3412–18
- Sosnowski, P., Klepacz-Smolka, A., Kaczorek, K., Ledakowicz, S. (2008) Kinetic Investigations of Methane Co-Fermentation of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. *Bioresour Technol*,99,5731–5737.

Sosnowski, P., Wieczorek, A., Ledakowicz, S. (2003) Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. *Adv Environ Res*,7,609–616.

Sprott, G.D., Patel, G.B. (1986) Ammonia Toxicity in Pure Cultures of Methanogenic Bacteria. *Syst Appl Microbiol*,7,358–363.

Sprott, G.D., Shaw, K.M., Jarrell, K.F. (1985) Methanogenesis and the K⁺ Transport System are Activated by Divalent Cations in Ammonia-Treated Cells of *Methanospirillum hungatei*. *J Biol Chem*, 260,9244–9250.

Stackebrandt, E., Rainey, F.A., Ward-Rainey, N.L. (1997) Proposal for a New Hierarchic Classification System, Actinobacteria Classis nov. *Int J Syst Bacteriol*,47,479–491.

Tambone, F., Genevini, P., D'Imporzano, G., Adani, F. (2009) Assessing Amendment Properties of Digestate by Studying the Organic Matter Composition and the Degree of Biological Stability During the Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of MSW. *Bioresour Technol*,100,3140–3142.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993) *Integrated Solid Waste Management*. New York:McGraw-Hill Inc.

Thummes, K., Kampfer, P., Jackel, U., (2007a) Temporal Change of Composition and Potential Activity of the Thermophilic Archaeal Community During the Composting of Organic Material. *Syst Appl Microbiol*,30,418–429.

Thummes, K., Schafer, J., Kampfer, P., Jackel, U. (2007b) Thermophilic Methanogenic Archaea in Compost Material: Occurrence, Persistence and Possible Mechanisms for their Distribution to Other Environments. *Syst Appl Microbiol*,30,634–643.

Titjen, C. (1975) From Biodung to Biogas-a Historical Review of the European Experience. *Ann Arbor Science*,207–260.

Townsend, R.P. (1991) *Introduction to Zeolite Science and Practice*. Elsevier: Amsterdam, 359.

UNEP. (2015) Green Energy Choices: the Benefits, Risks and Trade-offs of Low-carbon Technologies for Electricity Production-Summary for Policy Makers. <http://www.unep.org/resourcepanel/KnowledgeResources/AssessmentAreasReports/EnvironmentalImpacts/tabid/133331/Default.aspx>. [Πρόσβαση: 2.6.16].

United Nations (1997) *The Kyoto Protocol to the Framework Convention on Climate Change*.

http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/background/items/1351.php > [Πρόσβαση: 10.6.2016].

United Nations (2015) Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> [Πρόσβαση: 25.8.16].

Van Haandel, A. C., Lettinga, G. (1994) *Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate*. John Wiley & Sons: England.

Veeken, A., et al. (2000) Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste. *Environmental Engineering* 1076–81.

Vinneras, B., Agostini, F., Jonsson, H. (2010) Sanitation by Composting. *Microbes at work. From wastes to resources*. Heidelberg: Springer, 171–192.

Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., Jones, D.V. (2008) Optimisation of the Anaerobic Digestion of Agricultural Resources. *Bioresour Technol*, 99, 7928–7940.

Wilkie A, Goto M, Bordeaux FM and Smith PH, Enhancement of anaerobic methanogenesis from Napier Grass by addition of micronutrients. *Biomass* 11:135–46 (1986).

WRAP. (2009) Household Food and Drink Waste in the UK. http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Household_food_and_drink_waste_in_the_UK_-_report.pdf. [Πρόσβαση:2.6.2016].

Wu, X., Yao, W., Zhu, J., Miller, C. (2010) Biogas and CH₄ Productivity by Co-Digesting Swine Manure with Three Crop Residues as an External Carbon Source. *Bioresour Technol*,101,4042–4047.

Yilmaz, B., Muller, U. (2009) Catalytic Applications of Zeolites in Chemical Industry. *Top Catal* 52, 888–895

Zaher, U., Li, R., Jeppsson, U., Steyer, J., Chen, S. (2009) GISCOD: General Integrated Solid Waste Co-Digestion Model. *Water Res*,43, 2717–2727.

Zhang, L., Lee, Y. W., Jahng, D. (2011) Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, 102, 5048–5059

Zhang, P., Zeng, G., Zhang, G., Li, Y., Zhang, B., Fan, M. (2008) Anaerobic Co-digestion of Biosolids and Organic Fraction of Municipal Solid Waste by Sequencing Batch Process. *Fuel Process Technol*,89,485–488.

Zinder, S. H. (1988) Conversion of Acetic Acid to Methane by Thermophiles. *Anaerobic Digestion Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion, Bologna, Italy*,1–12.

ΑΤΛΑΝΤΙΣ. (2010) Μελέτη Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την Κατασκευή και Λειτουργία Μονάδων Αναερόβιας και Αερόβιας Επεξεργασίας Αποβλήτων.

[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/41EDCBA724D748BBC2257909003556F4/\\$file/70-2010.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/41EDCBA724D748BBC2257909003556F4/$file/70-2010.pdf). [Πρόσβαση:10.3.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση (2015) Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των περιφερειών σχετικά με το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία.

Ευρωπαϊκή Ένωση (2015) Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των περιφερειών
Το κλείσιμο του κύκλου – Ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία.

Ευρωπαϊκή Ένωση (2015) Ανακοίνωση της επιτροπής στο συμβούλιο και στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο σχετικά με τα επόμενα στάδια όσον αφορά την διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση .

Ευρωπαϊκή Ένωση (2015) Οδηγία του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου για την τροποποίηση της οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα.

Ευρωπαϊκή Ένωση. (1994) Οδηγία 94/62 για τις συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασίας. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1994L0062:20090420:EL:PDF>
[Πρόσβαση:2.8.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση. (1999) Οδηγία 1999/31 περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=URISERV%3A121208>
[Πρόσβαση:2.8.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2008) Οδηγία 2008/98 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> [Πρόσβαση:2.8.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2009) Κανονισμός 1069/2009 περί υγειονομικών κανόνων για ζωικά υποπροϊόντα και παράγωγα προϊόντα που δεν προορίζονται για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1774/2002 (κανονισμός για τα ζωικά υποπροϊόντα). <http://eur->

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:300:0001:0033:EL:PDF
[Πρόσβαση:2.8.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2009) Οδηγία 2009/28/EK σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Δεσμευτικοί εθνικοί στόχοι αποβλέπουν σε συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 20% στην ενεργειακή κατανάλωση σε επίπεδο ΕΕ. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0028>.
[Πρόσβαση:10.4.16].

Ευρωπαϊκή Ένωση. (2009) Οδηγία 2009/29/EK για τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/EK με στόχο τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0029>.
[Πρόσβαση:10.4.16].

Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Δελτίο Τύπου (2015) «Κλείσιμο του κύκλου»: η Επιτροπή εγκρίνει νέα, φιλόδοξη δέσμη μέτρων για την κυκλική οικονομία, με στόχο την τόνωση της ανταγωνιστικότητας, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_el.htm
[Πρόσβαση:2.8.16].

Κυπριακή Δημοκρατία (2007) Κ.Δ.Π. 618/2007, Οι περί στερεών και επικίνδυνων αποβλήτων (Χώροι Υγειονομικής Ταφής) (Τροποποιητικοί) κανονισμοί του 2007.

Κυπριακή Δημοκρατία (2009) Οι περί Αποβλήτων (Ηλεκτρικές Στήλες και Συσσωρευτές) Κανονισμοί 2009 και 2012.

Κυπριακή Δημοκρατία (2012) Οι περί Συσκευασιών και Αποβλήτων Συσκευασιών Νόμοι 2002 έως 2012 για την συσκευασία και τα απόβλητα συσκευασίας. http://www.cylaw.org/nomoi/indexes/2002_1_32.html [Πρόσβαση:2.8.16].

Κυπριακή Δημοκρατία (2014) Κ.Δ.Π. 417/2014 Οι περί αποβλήτων (Χώροι υγειονομικής ταφής) (Τροποποιητικοί) κανονισμοί του 2014

Κυπριακή Δημοκρατία (2015) Οι περί Αποβλήτων (Απόβλητα Ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού Εξοπλισμού) Κανονισμοί του 2015

Κυπριακή Δημοκρατία. (2011) Ο περί Αποβλήτων Νόμος του 2011 (Ν. 185(I)/2011).http://www.cylaw.org/nomoi/indexes/2011_1_185.html
[Πρόσβαση:2.8.16].

Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Τμήμα Περιβάλλοντος
(2015) Σχέδιο Διαχείρισης Δημοτικών Αποβλήτων.