



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ



POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Παραγωγή, αξιοποίηση και τεχνικοοικονομική μελέτη οικιακών ζυμώσιμων αποβλήτων προδιαλεγμένων στην πηγή

Production, Use and Techno-Economical Study of Household Fermentable Waste,
Separated In Source

ΕΛΕΝΗ ΜΕΛΑΝΙΤΟΥ / ELENI MELANITOU

A.M. / R.N. : 16129

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2018145

Αθήνα, Ιούνιος 2018

Athens, June 2018



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Παραγωγή, αξιοποίηση και τεχνικοοικονομική μελέτη οικιακών ζυμώσιμων αποβλήτων προδιαλεγμένων στην πηγή

Production, Use and Techno-Economical Study of Household Fermentable Waste,
Separated In Source

ΕΛΕΝΗ ΜΕΛΑΝΙΤΟΥ / ELENI MELANITOU

A.M. / R.N. : 16129

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Λυμπεράτος Γ.,
Καθηγ. ΕΜΠ

Δρ. Αντωνίου Β.,
Δρ. Γεωλόγος, Ε.Δ.Ι.Π. ΕΚΠΑ

Δρ. Σούκης Κ.,
Δρ. Γεωλόγος, Ε.Δ.Ι.Π. ΕΚΠΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και «δάσκαλο» κ. Γεράσιμο Λυμπεράτο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα σύγχρονο και ταυτόχρονα πολύ ενδιαφέρον θέμα, μέσω του καινοτόμου προγράμματος WASTE4THINK (HORIZON 2020) που εφαρμόζεται στο Δήμο Χαλανδρίου, καθώς επίσης για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση καθ'όλη τη διάρκεια της ενασχόλησής μου με αυτό.

Επιπλέον, ευχαριστώ πολύ τη Δρ. Κωνσταντίνα Παπαδοπούλου καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Μαθιουδάκη για τη συνεχή προθυμία, καθοδήγηση και επίβλεψη που μου προσέφεραν και την καθοριστικής σημασίας συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές της εξεταστικής επιτροπής, κα Αντωνίου Βαρβάρα και κο Σούκη Κωνσταντίνο.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου, για τη βοήθεια και τη στήριξη της με σκοπό πάντα την επιτυχή ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού μου.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών & Κρίσεων" με ειδίκευση "Στρατηγικές Αειφόρου Ανάπτυξης στην Αυτοδιοίκηση".

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα σύγχρονο και ταυτόχρονα περίπλοκο ζήτημα που προβληματίζει και για το οποίο αναζητούνται συνεχώς λύσεις, είναι η διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων και ειδικότερα των βιοαποβλήτων, τα οποία και αποτελούν ένα από τα λιγότερο αξιοποιημένα ρεύματα, παρά το γεγονός ότι θεωρείται ότι επιβαρύνουν το περιβάλλον με πολλούς τρόπους (αέρια θερμοκηπίου, τοξικότητα κ.α.). Επίσης, τα βιοαπόβλητα μπορούν, ύστερα από κατάλληλη διαχείριση, να αποτελέσουν σημαντική πηγή οικονομικών εσόδων για ένα δήμο.

Στόχευση τόσο της ΕΕ όσο και εθνική, είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων και αποδοτικών μεθόδων διαχείρισης, με έμφαση στην εφαρμογή των αρχών της αντίστροφης πυραμίδας αξιοποίησης των αποβλήτων. Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος Waste4think (HORIZON 2020) στο Δήμο Χαλανδρίου αναπτύσσεται και βελτιστοποιείται ένα εναλλακτικό σύστημα αξιοποίησης των υπολειμμάτων κουζίνας που παράγονται στα όρια του Δήμου.

Το σύστημα διαχείρισης του Δήμου αποτελείται από τη διαλογή στην πηγή και τη συλλογή των υπολειμμάτων κουζίνας, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται σε πιλοτικής κλίμακας μονάδα ξήρανσης και τεμαχισμού, η οποία είναι εγκατεστημένη στα όρια του Δήμου. Παράλληλα, σε συνεργασία με το ΕΜΠ, πραγματοποιούνται πειράματα που αποσκοπούν στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων μεθόδων αξιοποίησης του παραγόμενου από τη διεργασία ξήρανσης και τεμαχισμού προϊόντος βιομάζας, το οποίο ονομάζεται FORBI.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρουσίαση και ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος διαχείρισης, που εφαρμόζεται πιλοτικά στο Δήμο Χαλανδρίου, καθώς και η οικονομική αποτίμηση του.

ABSTRACT

A contemporary and simultaneously complicated problem that the urban societies face nowadays is the management of the Municipal Solid Waste (MSW) and more specifically of the biodegradable fraction of the MSW. The biodegradable fraction of the MSW is the least managed and utilized waste fraction. Moreover, the biodegradable waste if managed properly, could potentially become an important source of financial benefits for the local community.

It is both a European and a national strategy in Greece to develop and implement innovative and efficient methods of management based on the principles of the waste management hierarchy pyramid. Within the framework of the European project Waste4think (HORIZON 2020), an alternative kitchen waste management system is being developed and optimized in the Municipality of Halandri.

The management framework consists of the source-separated waste collection of the kitchen waste, which in turn is fed into a pilot-scale dryer/shredder, which is located within the municipality boundaries. Furthermore, in collaboration with the National Technical University of Athens, experiments are being carried out aiming to develop a holistic approach for the valorization of the produced biomass product, which is named FORBI (**f**ood **r**esidue **b**iomass).

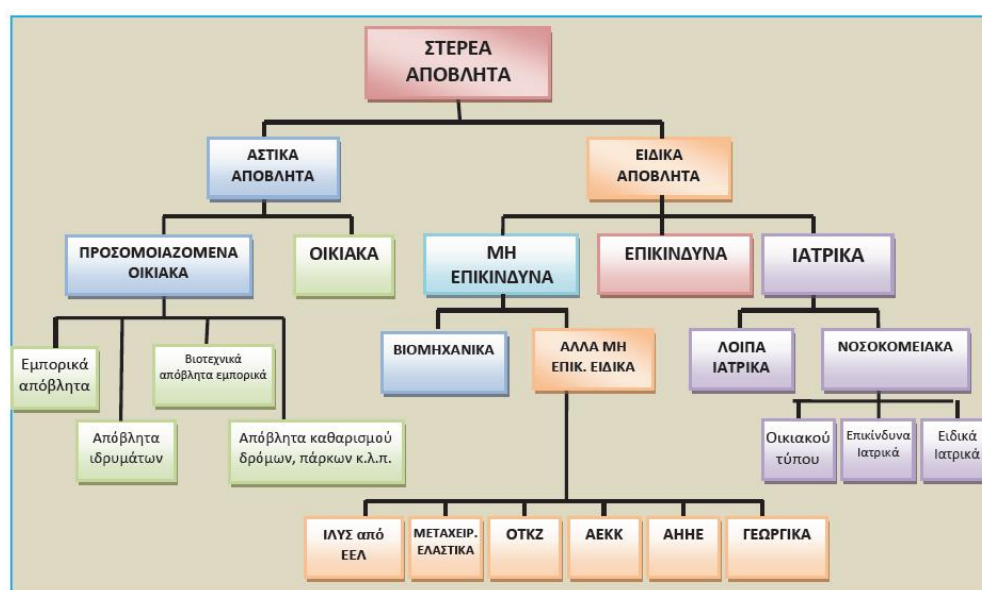
The scope of this diploma thesis is to present and analyze the characteristics of this kitchen waste management framework, which is being implemented in the Municipality of Halandri in pilot-scale. Furthermore, an economic analysis of the scheme is carried out.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
1 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	1
1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	1
1.2 Βιοαπόβλητα.....	2
1.3 Αστικά βιοαπόβλητα στην Ευρώπη και την Ελλάδα.....	3
1.4 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και Εθνικοί στόχοι6	
1.5 Κυκλική Οικονομία	9
1.6 Η περίπτωση του Δήμου Χαλανδρίου	11
1.7 Μέθοδοι διαχείρισης-επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων.....	13
1.7.1 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα	13
1.7.2 Ξήρανση	15
1.7.3 Κομποστοποίηση	30
1.7.4 Αναερόβια Χώνευση.....	31
1.7.5 Υγειονομική Ταφή.....	37
2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	39
2.1 Εισαγωγή.....	39
2.2 Συνολική περιγραφή συστήματος διαλογής στην πηγή, αποκομιδής και διαχείρισης υπολειμμάτων κουζίνας στο Δήμο Χαλανδρίου.....	40
2.3 Ποσοτική ανάλυση συστήματος διαχείρισης ΒΑΑ, Δήμου Χαλανδρίου.....	45
2.4 Τεχνικός εξοπλισμός συστήματος διαχείρισης υπολειμμάτων κουζίνας Δ. Χαλανδρίου	46
2.4.1 Διαλογή στην πηγή.....	46
2.4.2 Αποκομιδή.....	46
2.4.3 Ξήρανση - Τεμαχισμός, Περιγραφή.....	47

2.5	Εναλλακτικές Αξιοποίησης FORBI.....	50
3	ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ	52
3.1	Διαλογή στην πηγή	53
3.2	Συλλογή & Μεταφορά	54
3.3	Ξήρανση/Τεμαχισμός αποβλήτων	56
3.4	Συνολικό κόστος κύκλου ζωής προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης.....	57
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
5	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	58
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60
7	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	63

1 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Ως στερεά απόβλητα ορίζεται η ετερογενής μάζα των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), καθώς και η σχετικά πιο ομογενοποιημένη μάζα των αγροτικών, βιομηχανικών, και μεταλλευτικών στερεών αποβλήτων. Τα στερεά απόβλητα κατηγοριοποιούνται σε Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) και σε Ειδικά Απόβλητα.



Εικόνα 1-1: Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων

1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) ονομάζονται τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από τα νοικοκυριά (οικιακά στερεά απόβλητα), τις εμπορικές δραστηριότητες (εμπορικά στερεά απόβλητα), τον καθαρισμό των δρόμων και άλλων δημοσίων χώρων καθώς και τα στερεά απόβλητα τα οποία παράγονται από πάσης φύσεως επιχειρήσεις και μπορούν από τη φύση τους ή τη σύνθεση τους να εξομοιωθούν με τα οικιακά στερεά απόβλητα (Μιχαλόπουλος, 2017).

Τα αστικά στερεά απόβλητα προκύπτουν από την παραγωγή, τη μεταφορά, την επεξεργασία και την κατανάλωση αγαθών και σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούν κινδύνους στο περιβάλλον και τη δημόσια υγιεινή. Γενικότερα αποτελούν σημαντική αιτία υποβάθμισης

του αστικού και φυσικού περιβάλλοντος με τεράστιες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων αποτελεί ένα σύνθετο και κρίσιμο πρόβλημα για τις σύγχρονες κοινωνίες. Η κρισιμότητα του προβλήματος ποικίλει από χώρα σε χώρα αλλά πάντα βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα περιβαλλοντικής σημασίας. Το επίπεδο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων αποτελεί τον καθρέπτη της περιβαλλοντικής λειτουργίας και του εκσυγχρονισμού της κοινωνίας. Επιπλέον η διαχείρισή τους αποτελεί σημαντικό τμήμα του «δημόσιου χώρου», «χώρο δημόσιας ευθύνης» ενώ η ορθή - από όλες τις οπτικές γωνίες- διαχείρισή τους αποτελεί κοινωνικό και δημόσιο αγαθό (Charles, 2010).

1.2 Βιοαπόβλητα

Ειδικότερα, ένα κλάσμα των ΑΣΑ με ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι τα βιοαπόβλητα. Ο ιδιαίτερα μεγάλος όγκος υπολειμμάτων τροφών που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ καταδεικνύει την ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων ολοκληρωμένης διαχείρισης υπολειμμάτων τροφών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Τροφίμων αναφέρει ότι περίπου το ένα τρίτο της ποσότητας τροφίμων που παράγεται παγκοσμίως σε διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας είτε δεν υφίσταται καμία διαχείριση είτε καταλήγει σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ (Beffa, 2002).

Η σπατάλη αυτή επιφέρει σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ραγδαία αύξηση του παγκοσμίου πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες καθώς και η αναμενόμενη εξακολουθούμενη τάση του φαινομένου αυτού, οδηγεί αναπόφευκτα σε ανάλογη αύξηση των απαιτήσεων σε τρόφιμα παγκοσμίως, κάτι που με τη σειρά του συνδέεται με αύξηση στην κατανάλωση φυσικών πόρων (γη, νερό, ενέργεια, κλπ) (Cho, et al., 2008)(Charles et al., 2010). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι περισσότερο από το 70% της κατανάλωσης νερού παγκοσμίως προέρχεται από την γεωργία και την κτηνοτροφία. Το ίδιο ισχύει και με την χρήση της γης καθώς τεράστιες εκτάσεις γης χρησιμοποιούνται προς όφελος της παραγωγής τροφής.

Επιπλέον, η ίδια η αναποτελεσματική διαχείριση των υπολειμμάτων τροφών μπορεί να προκαλέσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Πιο συγκεκριμένα, η απόθεση υπολειμμάτων τροφών σε ΧΥΤΑ οδηγεί στην έκλυση μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα (αέρια του θερμοκηπίου) ως προϊόντα της βιολογικής αποικοδόμησης που υφίστανται. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η μισή από την συνολική ποσότητα διοξειδίου που εκλύεται στην

ατμόσφαιρα λόγω των αποβλήτων, προέρχεται από απόβλητα τροφίμων. Επιπλέον, η ποσότητα του οργανικού φορτίου που είναι αποθηκευμένη (embedded carbon) στα τρόφιμα, λόγω των προηγούμενων σταδίων του κύκλου ζωής τους (παραγωγή, διανομή κ.ο.κ) σπαταλάται μαζί με την αντίστοιχη ποσότητα τροφίμων. Επιπλέον, το σύνολο των δραστηριοτήτων που αφορούν στην παραγωγή τροφίμων συνδέονται με την έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και άρα με την κλιματική αλλαγή. Επομένως, η αποφυγή της σπατάλης αυτών των τεράστιων ποσοτήτων τροφίμων, θα μπορούσε να συμβάλει αποφασιστικά στην άμβλυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής (farmtogethernow.org, 2014).

1.3 Αστικά βιοαπόβλητα στην Ευρώπη και την Ελλάδα

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο σχεδόν τρία δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων έχουν παραχθεί κατά το έτος 2006, ποσότητα που αντιστοιχεί σε περίπου 6 τόνους ανά κάτοικο. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, κατά το έτος 2008, ο κατά μέσο όρο παραγόμενος όγκος ΑΣΑ ανά κάτοικο ετησίως κυμαίνεται μεταξύ 800 kg (παραγόμενη ποσότητα στη Δανία) και 300 kg (παραγόμενη ποσότητα στην Τσεχική Δημοκρατία) (Eurostat, 2017).

Επισημαίνεται ότι η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αντικατοπτρίζει τις διαφορές στην οικονομική ευμάρεια, στις καταναλωτικές συνήθειες καθώς και το βαθμό εφαρμογής της αρχής της πρόληψης των παραγόμενων αποβλήτων της κάθε χώρας.

Τα απόβλητα διαχωρίζονται σε διάφορες ροές και κάθε ροή έχει τα δικά της χαρακτηριστικά τα οποία δημιουργούν διαφορετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Οι κύριοι τύποι των ροών αποβλήτων που παράγονται στις Ευρωπαϊκές χώρες διαφέρουν πολύ από χώρα σε χώρα και αυτό οφείλεται κυρίως στο οικονομικό επίπεδο και στους φυσικούς πόρους της κάθε χώρας. Στον Πίνακα 1-1 παρουσιάζεται η ταξινόμηση, κατά προέλευση, των στερεών αποβλήτων της Αττικής σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος.

**Πίνακας 1-1: Ετήσια Παραγωγή Στερεών Απορριμμάτων στην Αττική
(Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, 2001)**

Προέλευση	Ποσότητες (tn/έτος)
Οικιακά	635.290
Εμπορικά	111.948
Κλαδιά, φύλλα κλπ	3.196
Ιλύς (βιολογικών καθαρισμών)	2.694
Οικοδομικά	641796
Πετρελαιοειδή	19.732
Μαρμαρόσκονη, αμμοβολές κλπ	86.260
Τέφρα αποτεφρωτήρων	35

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (δεδομένα έτους 2005) η παραγωγή απορριμμάτων στην Ελλάδα εκτιμάται ότι ανήλθε κατά μέσο όρο σε 302 kg/άτομο κατά το έτος 1995, σε 408 kg/άτομο κατά το έτος 2000 και σε 437 kg/άτομο κατά το έτος 2005.

Σημειώνεται ότι το ποσοστό των βιοαποβλήτων ανέρχεται σε ποσοστό 30-46% της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων ΑΣΑ σε ετήσια βάση σε ένα νοικοκυριό, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η συνολική παραγόμενη ποσότητα, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, των διατροφικών απορριμμάτων και των αποβλήτων από τους κήπους των νοικοκυριών, υπολογίζεται σε περίπου 118-138 Mton ετησίως.

Το συγκεκριμένο κλάσμα είναι υπεύθυνο για την παραγωγή των επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Οι χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) είναι η τρίτη μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή παραγωγής μεθανίου στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, καθώς υπολογίζεται ότι από τα ΧΥΤΑ προήλθε το 17% της συνολικής ποσότητας μεθανίου που παρήχθη το 2009 (Environmental Protection Agency, 2012).

Σύμφωνα με στοιχεία του 2001 στην Ελλάδα παράγονται περί τα 4,6 εκατομμύρια τόνοι αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως και περιλαμβάνουν κυρίως τα απόβλητα που προέρχονται από κατοικίες, καθώς και ένα μέρος των στερεών αποβλήτων που παράγονται από εμπορικές δραστηριότητες και συλλέγονται από τους ΟΤΑ (Η.Π. 50910/2727/2003). Παρατηρείται τάση σημαντικής αύξησης της παραγωγής αστικών αποβλήτων με το χρόνο, η οποία για την περίοδο

1991-1997 ανήλθε σε περίπου 4% ετησίως. Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην ανάπτυξη των μεγάλων αστικών κέντρων, την αύξηση του τουριστικού ρεύματος και κυρίως την αντίστοιχη αύξηση του ΑΕΠ που συνοδεύτηκε από άνοδο του βιοτικού επιπέδου και αύξηση της κατανάλωσης. Η μέση ημερήσια παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά κάτοικο στην Ελλάδα για το 1997 ανήλθε σε 0,97 kg/κάτοικο, ενώ για το 2001 εκτιμάται σε 1,14 kg/κάτοικο, τιμή που παραμένει κατώτερη από τον αντίστοιχο μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1,48 kg/κάτοικο/ημέρα (Η.Π. 50910/2727/2003, ΥΠΕΧΩΔΕ 2003, (ΕΕΣΔΑ, 2016).

Η Eurostat για το έτος 2007, δίνει ένα μέσο πανελλαδικό συντελεστή 1,23 kg ΑΣΑ/κάτοικο/ημέρα

Πίνακας 1-2: Παραγωγή ΑΣΑ στην Ελλάδα (Eurostat, 2009)

Έτος	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kg/κάτοικο/έτος	493	408	417	423	428	433	438	443	448

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΕΔΣΝΑ για τα έτη 2012 και 2013 παρατηρήθηκε μείωση των ποσοτήτων ΑΣΑ, από 1.909.181,387kg (για το 2012) σε 1.789.942,658kg (για το 2013) που αντιστοιχεί σε ποσοστό μείωσης 6,24%. (Πηγή :(<http://www.edsna.gr/index.php/topika-sxedia/odigos-sint>, 2018)

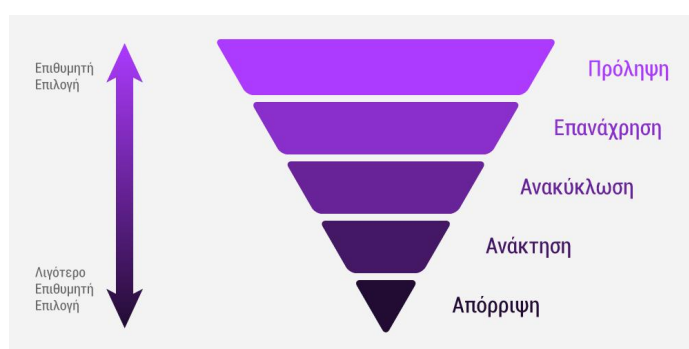
Σύμφωνα με μελέτη που εκδόθηκε από τη WWF το 40% των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα αντιστοιχεί σε βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα (WWF, 2007). Η στοχοθεσία του ΥΠΕΚΑ εξειδικεύεται ακόμα περισσότερο για το ρεύμα των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων (ΒΑΑ) και αφορά στην εκτροπή τους από την ταφή. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται ότι από τους 2.934.000 τόνους ΒΑΑ που προβλέπεται ότι θα παραχθούν στην Ελλάδα το 2020, το 60% (1.775.000 τόνοι) θα πρέπει να εκτραπούν από την ταφή μέσω δικτύων χωριστής συλλογής αποβλήτων, ενώ και το υπόλοιπο 40% (1.159.000 τόνοι) θα πρέπει να εκτρέπεται της ταφής μέσω των δικτύων των σύμμεικτων ΑΣΑ μέσω επεξεργασίας. Συμπερασματικά, το ΥΠΕΚΑ θέτει ως στόχο το 100% των ΒΑΑ να έχουν εκτραπεί από την ταφή μέχρι το 2020 (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, 2015).

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, το ΥΠΕΚΑ έχει θέσει ένα οργανόγραμμα με ορίζοντα το έτος αναφοράς 2020. Το οργανόγραμμα αυτό περιλαμβάνει μία σειρά από δέσμες μέτρων: νομοθετικά, οργανωτικά-διοικητικά, έργα υποδομών, οικονομικά μέτρα, ανάπτυξη προδιαγραφών, προτύπων και μελετών. Η ανάπτυξη λεπτομερούς οργανογράμματος για την επίτευξη των στόχων της διαχείρισης των ΑΣΑ αποδεικνύει τη σημασία που δίνουν οι ελληνικές κυβερνήσεις στην ανάπτυξη και εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης των ΑΣΑ.

1.4 Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και Εθνικοί στόχοι

Η οικονομική μεγέθυνση στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) εξακολουθεί να συνοδεύεται από αυξανόμενους όγκους αποβλήτων, με αποτέλεσμα να προκαλούνται απώλειες υλικών και ενέργειας, περιβαλλοντικές ζημιές και αρνητικές συνέπειες στην υγεία και την ποιότητα ζωής. Στρατηγικός στόχος της Ε.Ε. είναι να περιοριστούν οι αρνητικές συνέπειες και να επιτευχθεί μία ενεργειακά αποδοτική «κοινωνία ανακύκλωσης». Η διαχείριση των αποβλήτων ήδη διέπεται από μεγάλο όγκο κανονιστικών ρυθμίσεων, υπάρχουν όμως ακόμη δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης της διαχείρισης ορισμένων κύριων ροών αποβλήτων.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, η ολοκληρωμένη διαχείριση των αποβλήτων βασίζεται στην ιδέα της “ιεράρχησης διαχείρισης αποβλήτων” (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1-2: Πυραμίδα ιεράρχησης για τη διαχείριση αποβλήτων (Ellen MacArthur Foundation, 2016)

- Αρχή Πρόληψης ή/και Μείωσης των Παραγόμενων Αποβλήτων (Ελαχιστοποίηση): Βασικό ζήτημα στην πρόληψη της παραγωγής ή και στη μείωση των αποβλήτων, αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής, παρθένων πρώτων υλών και από

τα στάδια της επεξεργασίας, της μεταποίησης, της μεταφοράς και της χρήσης. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν, σε αρκετά παγιωμένη μορφή, μέθοδοι ανάλυσης του κύκλου ζωής και συνεπώς των επιπτώσεων στο περιβάλλον, για τα κάθε είδους προϊόντα, κατασκευές κλπ. Ήδη, όμως, έχουν ληφθεί αποφάσεις που υλοποιούνται είτε μέσω χρηματοδοτικών προγραμμάτων (π.χ. προγράμματα LIFE κ.α.), είτε μέσω θεσμοθέτησης τεχνικών προτύπων στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης (CEN). Σε ειδικές περιπτώσεις, η πρόληψη μπορεί να γίνεται μέσω περιορισμών ή απαγορεύσεων στη χρήση συγκεκριμένων ουσιών (π.χ. χρήση βαρέων μετάλλων), έτσι ώστε να προλαμβάνεται η δημιουργία επικίνδυνων αποβλήτων σε μεταγενέστερο στάδιο. Άλλοι τρόποι συνεισφοράς στην πρόληψη είναι τα προγράμματα οικολογικών ελέγχων με παράλληλη θέσπιση κινήτρων ή και αντικινήτρων σε οικονομικούς φορείς του δημοσίου ή του ιδιωτικού τομέα (οικολογικό σήμα) καθώς και η ενθάρρυνση των καταναλωτών να αγοράσουν προϊόντα που ρυπαίνουν λιγότερο. Τέλος, τα πλεονεκτήματα της πρόληψης και της ελαχιστοποίησης είναι η μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων καθώς και η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των παραγόμενων αποβλήτων.

- Αρχή Επαναχρησιμοποίησης Υλικών: Η επαναχρησιμοποίηση αποσκοπεί στη χρησιμοποίηση εκ νέου των αποβλήτων για τον ίδιο σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκαν. Δηλαδή με βάση και την ευθύνη του παραγωγού, ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων (με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, ανανεώσιμων πρώτων υλών ή μη επικίνδυνων υλικών), αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και η ανάκτησή τους.
- Αρχή Ανακύκλωσης και Αξιοποίησης των Υλικών: Η ανακύκλωση επιτυγχάνει τη μετατροπή των αποβλήτων εκ νέου σε προϊόντα ή υλικά ή ουσίες αξιοποιήσιμες. Η ανάκτηση των αποβλήτων αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Αυτό απαιτεί τη συμμετοχή των καταναλωτών και των τελικών χρηστών στην αλυσίδα διαχείρισης και τους καθιστά περισσότερο ευαίσθητους ως προς την ανάγκη μείωσης της παραγωγής αποβλήτων. Σημαντική, προϋπόθεση αποτελεί για την

οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

- Αρχή Ανάκτησης Ενέργειας: Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών - λόγω τεχνικών περιορισμών - θα πρέπει τα απόβλητα, με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο, να οδηγούνται σε μονάδες καύσης ή αναερόβιας χώνευσης, με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, έτσι ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δε δύναται να αξιοποιηθεί.
- Αρχή Ασφαλούς Διάθεσης: Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης, διαχείριση η οποία θεωρείται η οικονομικότερη λύση και εφαρμόζεται εκτενώς, έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση.

Τέλος σημειώνεται ότι οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να οδηγούνται (καταλήγουν) σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα. Από την ανάστροφη πυραμίδα ιεράρχησης για τη διαχείριση αποβλήτων, προκύπτει ότι η απόρριψη των αποβλήτων σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) είναι η λιγότερο προτιμητέα μέθοδος διαχείρισης. Η ιεράρχηση αυτή προκύπτει από την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων κάθε “σκαλοπατιού” της πυραμίδας βάσει του επιπέδου αξιοποίησης των αποβλήτων (μέσω της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης υλικών ή της ανάκτησης ενέργειας) και της ελαχιστοποίησης των ποσοτήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ.

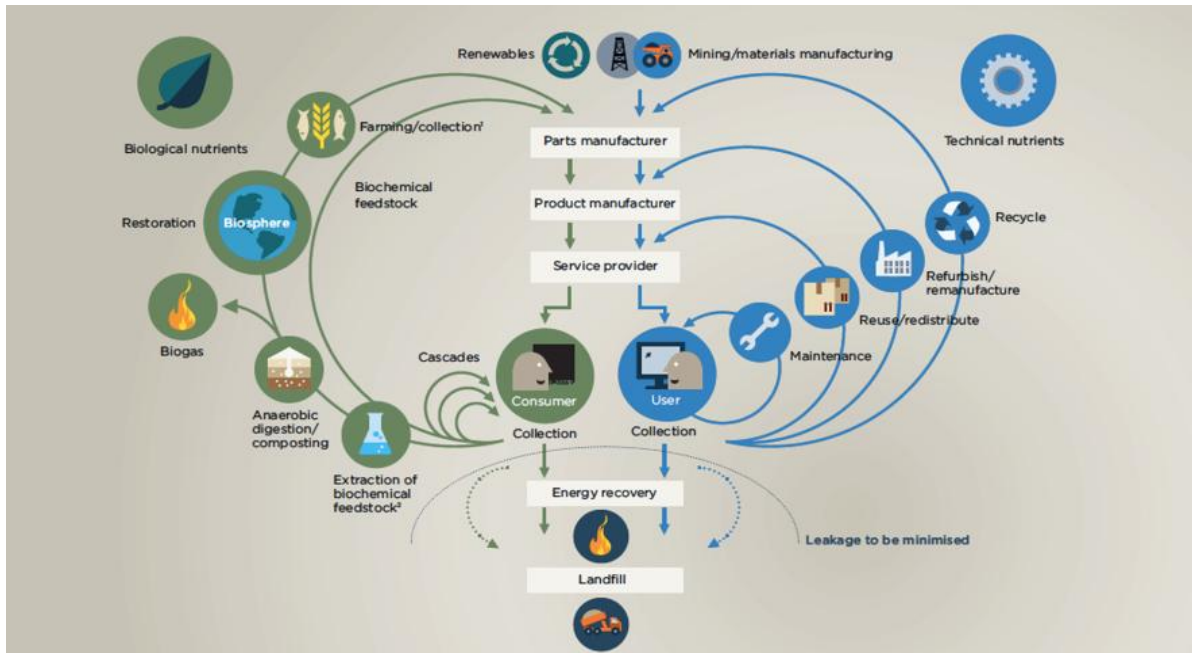
Στις αρχές της δεκαετίας του '70, η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα αναλαμβάνει σταθερή δέσμευση σχετικά με το περιβάλλον με κύριους άξονες την προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και των υδάτων, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη διαχείριση των αποβλήτων και των δραστηριοτήτων με δυσμενείς επιπτώσεις. Αρχικά η ευαισθητοποίηση στην Ε.Ε. για την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε ουσιαστικά με τη Σύνοδο Κορυφής του Παρισιού το 1974, στη συνέχεια ακολούθησαν προγράμματα δράσης της κοινότητας, ενώ από το 1975 προβλέπονται στον κοινοτικό προϋπολογισμό κονδύλια για την προστασία του περιβάλλοντος. Το έτος 1981 οι ως τότε διάσπαρτες περιβαλλοντικές υπηρεσίες συγχωνεύονται στη Γενική Διεύθυνση XI (Περιβάλλον, Πυρηνική ασφάλεια, Προστασία πολιτών) και υπό το πρίσμα των εξελίξεων υιοθετείται η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη (1^η Ιουλίου 1987) ως ανεξάρτητη πολιτική για το περιβάλλον. Την ίδια χρονιά υιοθετείται το 4^ο Πρόγραμμα Δράσης για το περιβάλλον από τα κράτη μέλη, ενώ το 1991 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ξεκίνησε το Πρόγραμμα για τη διαχείριση αποβλήτων (απόβλητα

προτεραιότητας) όπως τα απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ), τα οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής τους(ΟΤΚΖ), οι χρησιμοποιημένοι συσσωρευτές, τα ελαστικά στο τέλος του κύκλου ζωής τους, οι συσκευασίες και τα απορρίμματα συσκευασιών, τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, τα νοσοκομειακά απόβλητα και τα πολυχλωροβενζόλια.

1.5 Κυκλική Οικονομία

Η κυκλική οικονομία ως έννοια έρχεται να αντιπαρατεθεί με το σημερινό γραμμικό πρότυπο παραγωγής και κατανάλωσης προϊόντων που βασίζεται στο τρίπτυχο ‘παραλαβή πρώτων υλών, μεταποίηση, διάθεση’. Το γραμμικό αυτό πρότυπο βασίζεται στην κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων, χαμηλού κόστους και εύκολα προσβάσιμων πρώτων υλών και ενέργειας και ευθύνεται σε σημαντικό βαθμό για την κατασπατάληση των φυσικών πόρων. Η βασική ιδέα γύρω από την κυκλική οικονομία αφορά στην ανάπτυξη προϊόντων και διεργασιών, τα οποία από το σχεδιασμό τους θα είναι κατάλληλα ώστε στο τέλος του κύκλου ζωής τους να είναι δυνατή η επιδιόρθωση και ανάκτηση πρώτων υλών. Τα βασικά πλεονεκτήματα της κυκλικής οικονομίας έγκεινται στο γεγονός ότι ενισχύει τη συντήρηση του φυσικού κεφαλαίου του πλανήτη (natural capital), βελτιστοποιεί την απόδοση της χρήσης των πόρων ενώ παράλληλα μειώνει τους συστημικούς οικονομικούς κινδύνους καθώς βελτιστοποιεί τη διαχείριση των μη-ανανεώσιμων πόρων (Ellen MacArthur Foundation, 2016).

Σύμφωνα με το Ellen MacArthur Foundation το βασικό χαρακτηριστικό της Κυκλικής Οικονομίας είναι το γεγονός ότι “Τίποτα δε θεωρείται απόβλητο”. Τα προϊόντα και οι διεργασίες σχεδιάζονται με τρόπο που να προβλέπεται η αξιοποίηση των υλικών μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Σημείο κλειδί αποτελεί η ανάγκη αξιοποίησης των υλικών με την ελάχιστη δυνατή δαπάνη ενέργειας και τη μέγιστη κατά το δυνατόν διατήρηση της ποιότητας των υλικών αυτών.



Εικόνα 1-3: Σχηματική απεικόνιση της κυκλικής οικονομίας

Η υιοθέτηση μίας κυκλικής προσέγγισης στην διαχείριση της οργανικής ύλης είναι εξαιρετικά σημαντική (Masullo, 2017). Μέσω μεθόδων διαχείρισης οργανικών αποβλήτων όπως είναι η αναερόβια χώνευση, καθίσταται δυνατή η παραγωγή καύσιμης ύλης, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται το αποτύπωμα του άνθρακα μέσα από την καύση του μεθανίου και τη μετατροπή του σε διοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον, μέσω της κομποστοποίησης οργανικών υπολειμμάτων παράγεται υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό το οποίο μειώνει τις ανάγκες της καλλιεργήσιμης γης για άρδευση, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις ανάγκες χρήσης χημικών λιπασμάτων. Ταυτόχρονα, η εφαρμογή εδαφοβελτιωτικού στη γη αυξάνει τον αποθηκευμένο άνθρακα των εδαφών και βοηθά στη διεργασία της φωτοσύνθεσης. Τέλος, η αποφυγή διάθεσης οργανικών αποβλήτων σε ΧΥΤΑ μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προς την ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με τον A. Masullo, η υιοθέτηση της λογικής του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας σε διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής της οργανικής ύλης μπορεί να επιδράσει θετικά στο περιβάλλον και τα διάφορα οικοσυστήματα. Μερικά παραδείγματα φαίνονται παρακάτω:

1. Η χρήση βιομεθανίου ως καυσίμου, το οποίο προέρχεται από την αξιοποίηση ενός τόνου οργανικού αποβλήτου, μπορεί να αποτρέψει την εκπομπή στην ατμόσφαιρα έως και 155,5kg ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα.
2. Η χρήση εδαφοβελτιωτικού υλικού το οποίο προέρχεται από την κομποστοποίηση, μειώνει τη χρήση χημικών λιπασμάτων και ταυτόχρονα μπορεί να μειώσει την εκπομπή στην ατμόσφαιρα έως και 35,7kg ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα για κάθε τόνο οργανικού αποβλήτου.
3. Συνολικά -σύμφωνα με τον A. Masullo- από την ολοκληρωμένη διαχείριση ενός τόνου οργανικού αποβλήτου μπορεί να επιτευχθεί μείωση εκπομπών στην ατμόσφαιρα έως και 196,2kg ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα.

Συμπερασματικά, το υπάρχον γραμμικό μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης συνδέεται με κατασπατάληση των φυσικών πόρων. Η σταδιακή μετάβαση από την υπάρχουσα γραμμική οικονομία σε μια όσο το δυνατόν περισσότερο κυκλική οικονομία δύναται να συμβάλει στην ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από τους φυσικούς πόρους και ταυτόχρονα της παραγωγής αποβλήτων, επιφέροντας ευεργετικές συνέπειες για όλα τα οικοσυστήματα και συνολικά για το περιβάλλον.

1.6 Η περίπτωση του Δήμου Χαλανδρίου

Ο δήμος Χαλανδρίου αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους δήμους της Αττικής. Γεωγραφικά τοποθετείται στο βορειο-ανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου και καλύπτει μία έκταση 11 τετραγωνικών χιλιομέτρων περίπου, ενώ ο πληθυσμός του ξεπερνά τους 75000 κατοίκους. Ως κοινότητα χαρακτηρίζεται από έναν πολυδιάστατο χαρακτήρα, καθώς αποτελείται από περιοχές ήπιας δόμησης αποτελούμενης κατά κύριο λόγο από κατοικίες έως και το πολυσύχναστο εμπορικό και ψυχαγωγικό κέντρο στο κεντρικό του τμήμα (Δήμος Χαλανδρίου, 2018).

Το Χαλάνδρι είναι ένας δήμος με έντονες ανησυχίες και κινητικότητα απέναντι στις διάφορες κοινωνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις της σύγχρονης εποχής. Έχει στο παρελθόν συμμετάσχει σε πολλές δραστηριότητες και προγράμματα που αφορούν την προστασία του αστικού περιβάλλοντος και της ανάπτυξης. Σήμερα, ο δήμος συμμετέχει σε έναν μεγάλο αριθμό δικτύων, προγραμμάτων και διαδημοτικών συνεργασιών με μοναδικό σκοπό την ανάπτυξη

συστημάτων και μεθόδων που θα τον καταστήσουν έναν αειφόρο δήμο. Επίσης, ο δήμος έχει στο παρελθόν συμμετάσχει σε πολλά Ευρωπαϊκά χρηματοδοτούμενα ερευνητικά προγράμματα.



Εικόνα 1-4: Χάρτης του Δήμου Χαλανδρίου

Τα τελευταία χρόνια ο δήμος συμμετέχει στο πρόγραμμα Waste4think, το οποίο χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του Horizon2020. Στα πλαίσια του W4T ο δήμος επικεντρώνεται στην προώθηση της ιδέας της ολοκληρωμένης διαχείρισης στερεών αποβλήτων (Papadopoulou, et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα περιλαμβάνει την αξιοποίηση του κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων των υπολειμμάτων τροφίμων, τα οποία και συλλέγονται με τη μέθοδο της διαλογής στην πηγή. Στη συνέχεια ερευνάται η δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας στη μορφή υγρών (βιοαιθανόλη), στερεών (πέλλετς) και αερίων (μεθάνιο, υδρογόνο και υθάνιο) καυσίμων καθώς και βιο-εδαφοβελτιωτικού υψηλής ποιότητας, από ένα προϊόν βιομάζας (FORBI) το οποίο παράγεται ύστερα από ξήρανση και τεμαχισμό των συλλεγμένων υπολειμμάτων τροφίμων.

Οι στόχοι του προγράμματος θα μπορούσαν να παρατεθούν ως εξής:

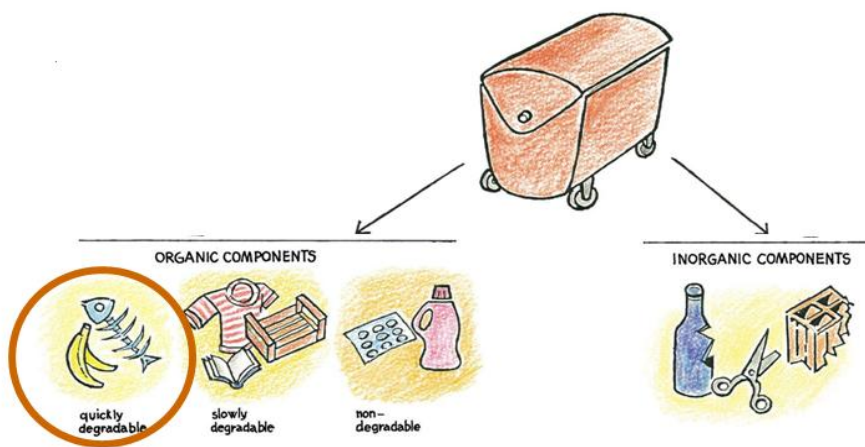
- i. Βελτιστοποίηση των μεθόδων διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (BAA), με έμφαση στα υπολείμματα τροφίμων.
- ii. Ανάπτυξη της ιδέας της διαλογής στην πηγή και για τα οργανικά απόβλητα.

- iii. Μείωση του συνολικού κόστους της διαχείρισης των αποβλήτων.
- iv. Ελαχιστοποίηση των βιοαποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ.
- v. Εφαρμογή της αρχής της κυκλικής οικονομίας .

1.7 Μέθοδοι διαχείρισης-επεξεργασίας αστικών στερεών αποβλήτων

1.7.1 Βιοαποδομήσιμα Αστικά Στερεά Απόβλητα

Η διαχείριση των ΑΣΑ είναι μία σημαντική πρόκληση στην οποία θα πρέπει να δοθούν βιώσιμες λύσεις. Στην ιεράρχηση των μεθόδων διαχείρισης που υποστηρίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), όπως αναλύθηκε και παραπάνω, προηγείται η πρόληψη παραγωγής στερεών αποβλήτων, με σκοπό τη μείωση του όγκου τους, ακολουθεί η ανακύκλωση και η ανάκτηση υλικών, κατόπιν η ανάκτηση ενέργειας, ενώ η ταφή αποτελεί τη λιγότερο επιθυμητή επιλογή χειρισμού των αποβλήτων.



Εικόνα 1-5: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ)

Τα ΑΣΑ περιλαμβάνουν σε μεγάλο ποσοστό υπολείμματα τροφίμων, δηλαδή ένα υψηλό κλάσμα ταχέως βιοαποδομήσιμων ενώσεων. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα (ΒΑΑ) σε εύλογο χρονικό διάστημα δύναται να αποδομούνται. Πιο συγκεκριμένα βιοαποδομήσιμα απόβλητα είναι τα υπολείμματα τροφίμων, τα πράσινα απόβλητα κήπων και πάρκων, τα απόβλητα χαρτιού και τα βιοαποδομήσιμα πλαστικά.



Εικόνα 1-6: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

Το κλάσμα των ταχέως βιοαποδομήσιμων ενώσεων δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυσκολία στη διαχείριση τους καθώς περιέχει υψηλό ποσοστό υγρασίας, φέρει παθογόνους μικροοργανισμούς και εκλύει δυσάρεστες οσμές. Ακόμα, είναι τα κύρια υπεύθυνα για τις εκλύσεις βιοαερίου στην ατμόσφαιρα από τους ΧΥΤΑ. Ταυτόχρονα, ωστόσο, τα βιοαπόβλητα μπορούν με κατάλληλη αξιοποίηση να αποτελέσουν σημαντική πηγή αξιοποιήσιμων πρώτων υλών είτε προς παραγωγή ενέργειας είτε προς παραγωγή υλικών υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται το πιλοτικό σύστημα αξιοποίησης των βιοαποβλήτων (και πιο συγκεκριμένα των υπολειμμάτων τροφών) που έχει αναπτυχθεί στο Δ. Χαλανδρίου, στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού προγράμματος Waste4think.

Η βασική αρχή του συστήματος αυτού είναι η χρήση της τεχνικής ξήρανσης/τεμαχισμού των υπολειμμάτων κουζίνας ως μεθόδου διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η σημαντική μείωση του όγκου των αποβλήτων καθώς και η ομογενοποίηση και σταθεροποίηση των αποβλήτων. Τα οργανικά απόβλητα που υφίστανται τη συγκεκριμένη επεξεργασία, θα μετατρέπονται τυπικά και ουσιαστικά από απόβλητα σε ένα προϊόν βιομάζας, το FORBI. Στα πλαίσια, λοιπόν της κυκλικής οικονομίας, που ολοένα κερδίζει έδαφος ο Δήμος Χαλανδρίου, θα μετατραπεί από ένα Δήμο που παράγει απόβλητα σε ένα Δήμο-παραγωγό ενός εμπορεύσιμου προϊόντος. Αυτό ακριβώς ήταν και το όραμα πίσω από την αρχική ιδέα της αξιοποίησης των υπολειμμάτων κουζίνας μέσω της προτεινόμενης μεθόδου.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μία σειρά προκλήσεων τις οποίες θα κληθεί να αντιμετωπίσει ο Δήμος Χαλανδρίου, που αποσκοπούν στη βιωσιμότητα - περιβαλλοντικά και οικονομικά - του συστήματος αυτού. Αυτή καθαυτή η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί ώστε να οδηγεί στα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα με το μικρότερο δυνατό ενεργειακό κόστος. Επίσης, αναγκαία κρίνεται η ανάπτυξη μεθόδου διαχείρισης του υγρού ρεύματος που προκύπτει από τη διεργασία αυτή. Η διαχείριση του ρεύματος αυτού θα

πρέπει επίσης να διέπεται από τις ανάγκες για προστασία του τοπικού και ευρύτερου περιβάλλοντος και τις αρχές της κυκλικής οικονομίας. Τέλος, από οικονομικής και κοινωνικής πλευράς θα πρέπει να αναλυθούν οι εναλλακτικές αξιοποίησης του FORBI, ώστε να αναπτυχθεί το βέλτιστο σενάριο αξιοποίησης του, λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες τόσο εμπορικής όσο και τοπικής -για την κάλυψη των αναγκών της τοπικής κοινωνίας- αξιοποίησής του.

1.7.2 Ξήρανση

Ο όρος ξήρανση (drying) αναφέρεται κυρίως στην αφαίρεση μικρών σχετικά ποσοτήτων υγρού (αφαίρεση υγρασίας ή πτητικών ουσιών) από τα στερεά ή ημιστερεά υλικά προκειμένου να μειωθεί το περιεχόμενο του εναπομείναντος υγρού σε μία αποδεκτή χαμηλή τιμή και τελικά να παραχθεί ένα στερεό προϊόν. Η αφαίρεση υγρασίας από αέρια αποδίδεται κυρίως με τους όρους αφύγρανση (dehumidification) και προσρόφηση (adsorption). Συνήθως η ξήρανση αποτελεί την τελική βαθμίδα μιας σειράς διεργασιών και το προϊόν μετά τη ξήρανση είναι πολλές φορές έτοιμο προς χρήση στο εμπόριο. Παράλληλα, το νερό ή οποιαδήποτε άλλα υγρά, απομακρύνονται είτε θερμικά με εξάτμιση είτε μηχανικά.

Στις διεργασίες ξήρανσης δίνεται περισσότερο έμφαση συνήθως στο αποξηραμένο τελικό προϊόν και στις περισσότερες περιπτώσεις η ξήρανση επιτυγχάνεται με αφαίρεση της υγρασίας σε θερμοκρασίες κάτω από το σημείο βρασμού. Η διεργασία της ξήρανσης μετατρέπει ένα στερεό ή ημιστερεό ή υγρό υλικό σε ένα στερεό προϊόν με εξάτμιση του υγρού μέσω μεταφοράς θερμότητας. Η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συναγωγή (ξηραντήρες), με αγωγιμότητα, με ακτινοβολία ή με θέρμανση σε φούρνο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ξήρανση δύναται να προκαλέσει επιθυμητές ή ανεπιθύμητες χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις, οδηγώντας σε αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή, και άλλες ιδιότητες του ρευστού προϊόντος

1.7.2.1 Μέθοδοι Ξήρανσης

Η διεργασία της ξήρανσης έχει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία στις οποίες, το προς απομάκρυνση συστατικό είναι συνήθως το νερό. Κάποιες από τις μεθόδους ξήρανσης χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε βιομηχανικό αλλά και σε εργαστηριακό επίπεδο.

Οι κυριότερες μέθοδοι ξήρανσης είναι:

Συμβατική μέθοδος: Πραγματοποιείται με θερμαινόμενο αέρα που διαχέεται μέσα στο φούρνο με τη βοήθεια ενός προσαρμοζόμενου ανεμιστήρα. Τα υλικά που τοποθετούνται μέσα στο

φούρνο αλλάζουν σταδιακά, ξεκινώντας από την αρχική τους θερμοκρασία και καταλήγοντας στη θερμοκρασία ξήρανσης του ξηραντήρα. Η θερμοκρασιακή διαφορά αποτελεί την κινητήρια δύναμη που οδηγεί στην εξάτμιση.

Ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying, freeze dehydration): Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται συνήθως με την εφαρμογή κενού και ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Αρχικά έχουμε τη κατάψυξη του φρέσκου υλικού και στη συνέχεια την ξήρανση σε κενό, έτσι ώστε να εξαχνωθεί ο πάγος. Η απόλυτη πίεση λειτουργίας είναι συνήθως χαμηλότερη από την πίεση του τριπλού σημείου του νερού (στο οποίο συνυπάρχουν και οι τρεις καταστάσεις στερεά, υγρή και αέρια) με συνέπεια να επιτευχθεί η εξάχνωση του πάγου.

Οσμωτική Αφυδάτωση (osmotic dehydration): Ως οσμωτική αφυδάτωση νοείται η διαδικασία αφυδάτωσης τροφίμων με εμβάπτιση σε υγρό που έχει ενεργότητα νερού μικρότερη από εκείνη του τροφίμου. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά γίνεται διάχυση μιας διαλυμένης ουσίας από το διάλυμα στο τρόφιμο με ταυτόχρονη διάχυση του νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα έως ότου επέλθει ισορροπία. Στην διεργασία αυτή συνήθως χρησιμοποιούνται διαλύματα αλάτων και σακχάρων. Η αφυδάτωση αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε φρούτα.

Μικροκύματα: Σύμφωνα με τη μέθοδο, η εξάτμιση αρχίζει να πραγματοποιείται πολύ γρήγορα δημιουργώντας μια μεγάλη κινητήρια δύναμη, η οποία ωθεί την υγρασία στην επιφάνεια του υλικού. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μια πολύ γρήγορη ξήρανση, χωρίς να χρειάζεται να υπερθερμανθεί η ατμόσφαιρα ή να υποστεί η επιφάνεια τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης.

Μέθοδος Βιολογικής Ξήρανσης: Αποτελεί τεχνική προεπεξεργασίας των ΑΣΑ με στόχο την ενεργειακή αξιοποίησή τους. Στοχεύει στη μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ και κατ' επέκταση του όγκου τους και στη διευκόλυνση του μηχανικού διαχωρισμού των άχρηστων υλικών και στην παραγωγή SRF(Solid recovered fuel), το οποίο αποτελεί υψηλής θερμογόνου αξίας κλάσμα, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο σε ενεργοβόρες βιομηχανίες. Η μέθοδος αυτή είναι αερόβια ξήρανση και είναι εναλλακτική ή συνοδευτική τεχνική της αερόβιας κομποστοποίησης. Με τη μέθοδο αυτή το νερό που βρίσκεται στα στερεά απόβλητα απομακρύνεται σε μικρό χρονικό διάστημα με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες. Οι ξηραντήρες είναι

συνήθως είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes) τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά, ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων. Το τελικό προϊόν της επεξεργασίας είναι ένα στερεό σταθεροποιημένο υλικό, το οποίο ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερογενές καύσιμο βιομάζας ή να οδηγηθεί σε υγειονομική ταφή. (Μαυρόπουλος, 2008).

Ένα σημαντικό φαινόμενο κατά την ξήρανση είναι η συρρίκνωση των υλικών όσο μειώνεται το ποσοστό υγρασίας. Υπάρχουν ωστόσο υλικά που διαφέρουν ως προς την ιδιότητα αυτή. Σκληρά, πορώδη ή μη πορώδη, στερεά δεν συστέλλονται σημαντικά κατά την ξήρανση, αλλά τα κολλοειδή και ινώδη υλικά συρρικνώνονται σημαντικά όσο προχωράει η αφαίρεση της υγρασίας από αυτά. Το φαινόμενο της συρρίκνωσης έχει τρεις σημαντικές συνέπειες: Πρώτη συνέπεια είναι η μεταβολή που παρατηρείται στην επιφάνεια του υλικού ανά μονάδα μάζας με συνέπεια να μην είναι γνωστή η επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα λαχανικά και στα τρόφιμα, όπου μεταβάλλεται η επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη στον αέρα. Η δεύτερη συνέπεια είναι η ανάπτυξη μιας σκληρής στοιβάδας, αδιαπέραστης από την ροή της υγρασίας είτε ως υγρό είτε ως ατμός. Συνεπώς η υγρασία αδυνατεί να κινηθεί εύκολα από το εσωτερικό του στερεού προς την επιφάνεια του, ελαττώνοντας σημαντικά την ξήρανση. Η τρίτη συνέπεια είναι η αλλαγή στην ολική δομή του στερεού. Στα στερεά που παρουσιάζουν τη δεύτερη και τρίτη συνέπεια της συρρίκνωσης, επιθυμητή είναι η διεξαγωγή της ξήρανσης με υγρό αέρα, δηλαδή επιδιώκεται η ελάττωση της διαφοράς υγρασίας μεταξύ του αέρα και της επιφάνειας του στερεού έτσι ώστε να ελαττωθεί ο ρυθμός ξήρανσης.

Στην αγορά υπάρχουν συστήματα επεξεργασίας οργανικών απορριμμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ως μια συνηθισμένη οικιακή συσκευή χωρίς να ανήκουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο διαχείρισης των οικιακών αποβλήτων. Στην συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή των υφιστάμενων εμπορικών συστημάτων ξήρανσης οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή.

Η ξήρανση των οικιακών οργανικών απορριμμάτων στην πηγή (Οικιακή Ξήρανση)
θεωρείται ως μια αναδυόμενη βιώσιμη επιλογή για τη διαχείριση των διατροφικών αποβλήτων, δεδομένου ότι αυτό το κλάσμα των αποβλήτων έχει μια περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 75-95% κατά βάρος (Zhang, et al., 2007). Επομένως, η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας με ξήρανση στην πηγή συμβάλλει σημαντικά στη μείωση μάζας και όγκου των αποβλήτων κουζίνας. Τα υψηλά θερμοδικώς, οργανικά υλικά (βιομάζα), διαχωριζόμενα και

αποξηραμένα στην πηγή μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα καθώς παρέχουν επιπλέον φιλικές προς το περιβάλλον δυνατότητες για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας (π.χ. πράσινη ενέργεια, βιοκαύσιμα). Επιπλέον η ξήρανση των οικιακών αποβλήτων είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διαχείριση και επεξεργασία των οικιακών οργανικών απορριμμάτων. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν ιδιαίτερες αναφορές σε συστήματα μικρής κλίμακας, τα οποία να έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την διαχείριση των οργανικών απορριμμάτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

1.7.2.2 Τύποι Ξηραντήρων

Μια μεγάλη ποικιλία εξοπλισμών ξήρανσης έχει αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια, βασισμένη κυρίως στη βιομηχανική εμπειρία. Συχνά υπάρχουν ξηραντήρες διαφορετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για παρόμοιες διεργασίες, γιατί είναι συνηθισμένο σ' ένα τομέα της βιομηχανίας να χρησιμοποιείται ένας τύπος και σ' έναν άλλο τομέα ένας άλλος τύπος, που μπορεί να είναι τελείως διαφορετικός, για τον ίδιο σκοπό. Οι κυριότεροι τύποι ξηραντήρων είναι οι εξής:

Ξηραντήρας Θαλάμου

Ξηραντήρας ασυνεχούς λειτουργίας. Αποτελείται από μονωμένο θάλαμο μεγάλου μεγέθους, για να μπορεί να χωράει μεγάλες παρτίδες ανά κύκλο. Διακρίνονται δύο τύποι ξηραντήρων θαλάμου, οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου και οι ξηραντήρες θαλάμου κενού.

Οι ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου λειτουργούν κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες ή κενό. Η θέρμανσή τους γίνεται με κυκλοφορία ενός αερίου μέσα στον ξηραντήρα, όπως προθερμασμένος αέρας ή θερμά καύσιμα αέρια. Το αέριο ξήρανσης εισέρχεται στον ξηραντήρα με την όσο το δυνατόν πιο υψηλή θερμοκρασία που η σταθερότητα του υλικού μπορεί να επιτρέψει. Η χρήση της όσο το δυνατόν πιο υψηλής θερμοκρασίας προτείνεται, επειδή η ικανότητα μεταφοράς υγρασίας του αερίου και ο ρυθμός ξήρανσης του υλικού αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το υλικό που θα ξηραθεί, τοποθετείται με οποιοδήποτε τρόπο, όπως π.χ. με άπλωμα του υλικού και υποστήριξη του πάνω σε ράφια ή κρεμασμένο από κατάλληλες κρεμάστρες ή τοποθετημένο το ένα πάνω στο άλλο σε σωρό. Οι λεπτομέρειες της

κατασκευής αντικατοπτρίζουν την ευκολία στο χειρισμό και την μετέπειτα ξήρανση του υλικού. Για παράδειγμα, οι δίσκοι (ράφια) θα πρέπει να έχουν μια απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε ο θερμός αέρας ξήρανσης να μπορεί να κυκλοφορεί ανάμεσα και πάνω από κάθε δίσκο με δεδομένη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας, αν είναι απαραίτητο, ανακλαστήρες για ομοιομορφία κατανομής του μέσα στο ξηραντήριο. Αυτός ο τύπος ξηραντήρα ειδικά χρησιμοποιείται για μικρές παρτίδες ή για ξήρανση υλικών που πρέπει να ξηρανθούν αργά και έτσι ο χρόνος ξήρανσης θα είναι μεγάλος. Ο ξηραντήρας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο εργονομικός, δηλαδή να μπορεί να λειτουργεί κάτω από συνθήκες όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ρυθμού ξήρανσης. Όταν το υλικό τοποθετείται στα ράφια, ανάλογα και με τη φύση του υλικού, η ξήρανση λαμβάνει χώρα και από τις δυο μεριές των ραφιών ή καλύτερα και ενδιάμεσα, αλλά αυτό αναφέρεται παρακάτω.



Εικόνα 1-7 ξηραντήρας θαλάμου κενού

Στους ξηραντήρες θαλάμου κενού η ξήρανση υπό κενό χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του υλικού από αυξημένες θερμοκρασίες και οξειδώσεις. Επίσης χρησιμοποιείται για λόγους ευκολίας, όπως για παράδειγμα στην ανάληψη μιας οργανικής ουσίας από εκχυλισμένο στερεό. Αν σ' αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιηθεί αέρας ως μέσο ξήρανσης, η παροχή αέρα θα δώσει ένα μίγμα αέρα-διαλύτη, που μπορεί να είναι εκρηκτικό, και ενώ ο διαλύτης σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να αναληφθεί εύκολα, σ' άλλες δεν είναι και τόσο πρακτικό. Όταν χρησιμοποιείται κενό, ένα σημαντικό μέρος του συστήματος είναι ο συμπυκνωτής, που βρίσκεται μεταξύ του ξηραντήρα και της αντλίας κενού. Ο κύριος όγκος του διαλύτη συλλέγεται

στο συμπυκνωτή. Μια ποσότητα διαλύτη χάνεται στην αντλία κενού, γιατί τα μη-συμπυκνούμενα αέρια που εξέρχονται είναι κορεσμένα με το διαλύτη. Για να υπάρχουν λίγες απώλειες σ' αυτό το σημείο, το νερό ψύξης του συμπυκνωτή θα πρέπει να είναι στη χαμηλότερη πρακτικά θερμοκρασία. Αν είναι αναγκαίο, η περίσσεια του διαλύτη στα μη-συμπυκνούμενα αέρια συλλέγεται με κατάλληλο προσροφητικό μέσο. Στη ξήρανση κενού χρησιμοποιείται έμμεση θέρμανση. Σε ξηραντήρες κενού με ράφια, οι δίσκοι του υλικού τοποθετούνται σε επίπεδα ράφια, διαμέσου των οποίων κυκλοφορεί το μέσο ξήρανσης, όπως ατμός ή θερμό νερό. Οι περιστροφικοί ξηραντήρες κενού είναι εφοδιασμένοι με διπλότοιχο σύστημα και το προς ξήρανση υλικό έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες που αποξέονται συνεχώς. Η απόξυση διατηρεί τις θερμές επιφάνειες καθαρές και το υλικό σε συνεχή ανάμιξη, έτσι οι ρυθμοί ξήρανσης είναι σαφώς υψηλότεροι απ' αυτούς που θα είχαμε αν ξηραίναμε το υλικό σε ράφια. Εφόσον η απόξυση συνήθως παράγει σκόνη που μπορεί να δημιουργήσει απόφραξη (fouling) στο συμπυκνωτή ή στην αντλία κενού, μετά τον ξηραντήρα συνήθως υπάρχει σύστημα για τη συλλογή της σκόνης. Κατά τη περίοδο σταθερού ρυθμού, το υγρό βράζει στο σημείο βρασμού, που αντιστοιχεί στο κενό που επικρατεί στον ξηραντήρα. Πολύ θερμοευαίσθητα υλικά, όπως η πενικιλίνη και ο ορός του αίματος ξηραίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (ψύξης) και απαιτούν τη διατήρηση πολύ υψηλού κενού. Αυτή η διεργασία ονομάζεται λυοφιλίωση (freeze-drying).

Ξηραντήρας Σήραγγας

Οι ξηραντήρες αυτοί έχουν σχεδιαστεί για ξήρανση υπό συνεχή λειτουργία μεγάλων ποσοτήτων υλικού, που σε μικρές ποσότητες αντιμετωπίζονταν σε ατμοσφαιρικούς ξηραντήρες θαλάμου. Για παράδειγμα, για τη μετατροπή από ξήρανση θαλάμου με ράφια σε ξήρανση σήραγγας, τα ράφια φορτώνονται σε καροτσάκια και καθώς ένα καροτσάκι εισέρχεται στη σήραγγα κάποιο άλλο εξέρχεται στο αντίθετο άκρο. Ο ξηραντήρας σήραγγας, μπορεί να διαιρεθεί σε τμήματα για την εφαρμογή διαφόρων συνθηκών ξήρανσης. Το μήκος της σήραγγας εξαρτάται από το χρόνο παραμονής του υλικού στον ξηραντήρα, δηλαδή από το ρυθμό ξήρανσης και την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το υλικό στον ξηραντήρα.



Εικόνα 1-8 : Ξηραντήρας σήραγγας

Η ξήρανση σήραγγας είναι φτωχό υποκατάστατο της ξήρανσης θαλάμου με ράφια, αφού τα εργατικά είναι το ίδιο υψηλά για το φόρτωμα και ξεφόρτωμα των καροτσιών. Το κύριο πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης ενός ξηραντήρα σήραγγας είναι η αντιρροή του αέρα ξήρανσης στα ράφια. Υπάρχουν πιο πρακτικοί τρόποι για τον χειρισμό υγρών μικρομερών στερεών σε συνεχή λειτουργία, όπως ο ξηραντήρας ενδιάμεσης κυκλοφορίας με μεταφορική ταινία, ο ξηραντήρας τουρμπίνας ή ο περιστροφικός ξηραντήρας.

Ο ξηραντήρας σήραγγας είναι προτιμότερος για ξήρανση, σε συνεχή λειτουργία υλικών όπως η ξυλεία, τούβλα, κεραμικά, δέρματα και υγρές κλωστές. Είναι η καλύτερη μέθοδος για ξήρανση υπέρυθρης ακτινοβολίας και «ψησίματος» βαμμένων ή λακαρισμένων επιφανειών.

Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας

Αυτοί οι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται για τη ξήρανση κοκκωδών υλικών. Ο αέρας ξήρανσης διέρχεται μέσα από τη κλίνη και γύρω από τα σωματίδια του προς ξήρανση υλικού. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι ρυθμοί ξήρανσης ανά κιλό υλικού σε σχέση με την ξήρανση δίσκων σε παρόμοιες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα.

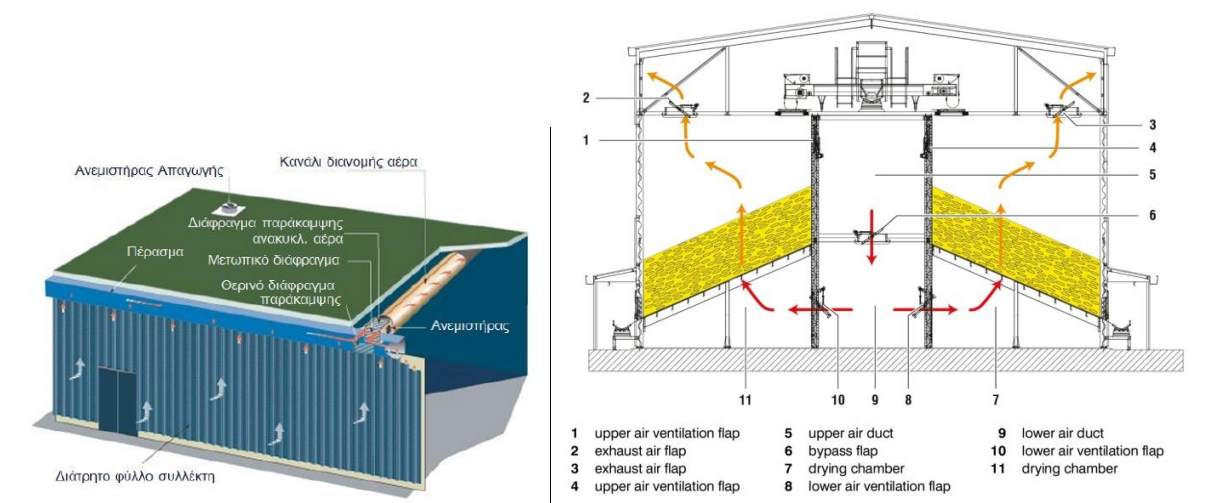
Αν το υλικό κινείται ελεύθερα, τότε ο ξηραντήρας λειτουργεί με την αρχή της κινούμενης κλίνης, δηλαδή το υλικό εισέρχεται από την κορυφή ενός πύργου και κινείται με την βαρύτητα, ενώ ο αέρας ξήρανσης περνά από μέσα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ο αέρας ξήρανσης μπορεί να κινείται και κατά πλάτος της κινούμενης κλίνης. Υλικά που μπορούν και κινούνται

ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- Κίνηση θηλυγερμάτων
- Κρύος αέρας
- Ζεστός αέρας
- Υγρός αέρας
- Αέρας με σκόνη
- Καθαρός αέρας
- Σκόνη

The diagram illustrates the internal components and airflow of a wool cleaning machine. Wool (θηλυγέρματα) enters from the top left and moves downwards through various stages. Cold air (κρύος αέρας) is introduced from the top left, while hot air (ζεστός αέρας) is added from the top right. Wet air (υγρός αέρας) is introduced from the bottom left. The machine features a large central chamber where the wool is processed, with air becoming dusty (αέρας με σκόνη) as it moves through. Clean air (καθαρός αέρας) is exhausted from the top right, and dust (σκόνη) is collected at the bottom left. The diagram uses different colors and patterns to represent the wool, air, and dust.

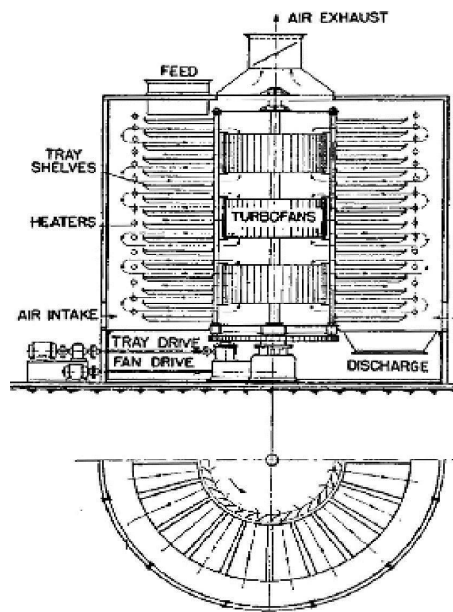
Σε άλλη περίπτωση το υλικό μπορεί να μην κινείται ελεύθερα, αλλά μπορεί να ξηρανθεί σε συνεχή λειτουργία με κατάλληλο άπλωμα του πάνω σε κινούμενη μεταφορική ταινία. Μερικά υλικά δεν μπορούν να ξηραθούν σε τέτοιο τύπο ξηραντήρα λόγω της μικρής διαπερατότητας τους. Μπορούν όμως να τροποποιηθούν σε συσσωματώματα κατάλληλου μεγέθους και σχήματος για να δημιουργήσουν στοιβάδες υψηλής διαπερατότητας.



Ξηραντήρας Τουρμπίνας

Αποτελείται από δακτυλιοειδή ράφια που είναι τοποθετημένα κάθετα το ένα πάνω στο άλλο με την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Κάθε ράφι αποτελείται από τμήματα με κενά μεταξύ τους. Ο κεντρικός άξονας φέρει ανεμιστήρες τύπου τουρμπίνας, που εισάγουν ακτινικά τον αέρα ξήρανσης στον ξηραντήρα. Θερμαντικά στοιχεία είναι τοποθετημένα γύρω από τα ράφια. Όλο το σύστημα – ράφια, ανεμιστήρες και θερμαντικά στοιχεία είναι κλεισμένο σε κυλινδρικό ή εξαγωνικό κέλυφος. Υπάρχουν πόρτες για πρόσβαση στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Το σύστημα περιστρέφεται με ταχύτητες 0.1-1 rpm. Οι ανεμιστήρες κυκλοφορούν τον αέρα με ταχύτητες από 0.8 ως 3.0 m/s. Ο φρέσκος αέρας εισέρχεται στη βάση του ξηραντήρα, κυκλοφορεί μέσα στο ξηραντήρα και εξέρχεται από την κορυφή.

Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω ράφι. Ένας σταθερός βραχίονας πατάει και φέρνει στο ίδιο επίπεδο όλο το υλικό που εισέρχεται σε κάθε τμήμα του ραφιού. Καθώς το ράφι περιστρέφεται περνάει τελικά από ένα άλλο σταθερό βραχίονα, ο οποίος αποξύνει το υλικό και το αναγκάζει μέσα από μια οπή να πέσει στο αμέσως κάτω ράφι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και το υλικό κατέρχεται διαδοχικά από ράφι σε ράφι. Τα ράφια έχουν απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε το υλικό να μην βρίσκεται σε επαφή και με τα δύο ράφια καθώς κατέρχεται μέσω του κενού. Καθώς το υλικό κατέρχεται από ράφι σε ράφι, πάντα μια φρέσκια επιφάνεια εκτίθεται στον αέρα ξήρανσης, με αποτέλεσμα ο ρυθμός ξήρανσης να είναι αυξημένος, σε σχέση με την απλή ξήρανση δίσκων και το προϊόν να είναι ομοιόμορφα ξηραμένο. Το τελικό προϊόν εξέρχεται από το κάτω ράφι πάνω σε μεταφορική ταινία και απομακρύνεται.

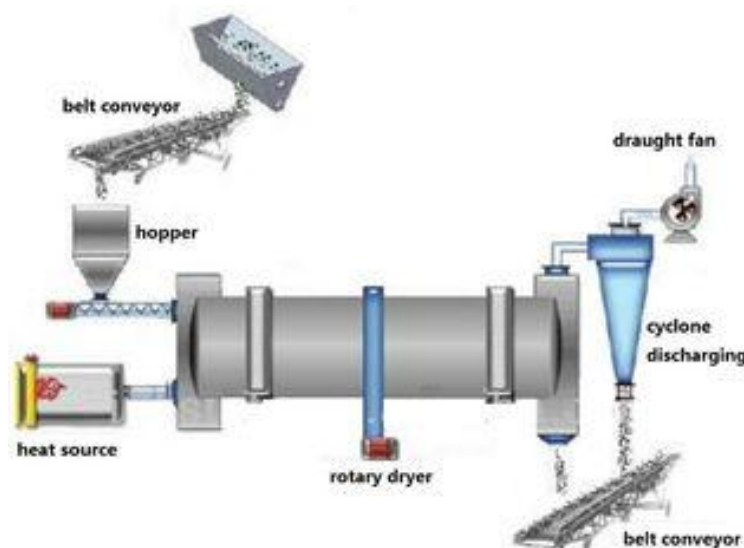


Εικόνα 1-11: Ξηραντήρας τουρμπίνας

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του ξηραντήρα είναι ότι έχει καλή δυναμικότητα ξήρανσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι καταλαμβάνει μικρό χώρο. Αυτοί οι τύποι ξηραντήρων μπορούν να ξηράνουν υλικά με μεγάλο εύρος υγρασιών.

Περιστροφικός Ξηραντήρας

Αποτελείται από περιστροφικό κυλινδρικό κέλυφος. Ο άξονας του κελύφους σχηματίζει μικρή γωνία με το οριζόντιο επίπεδο. Το προς ξήρανση υλικό τροφοδοτείται στο άνω μέρος και κινείται προς τα εμπρός καθώς το κέλυφος περιστρέφεται. Η θέρμανση μπορεί να γίνει με απ' ευθείας επαφή του στερεού με θερμό αέρα ή με θερμά καύσιμα αέρια. Επίσης μπορεί να γίνει με έμμεση επαφή μέσω θερμαινόμενων επιφανειών.



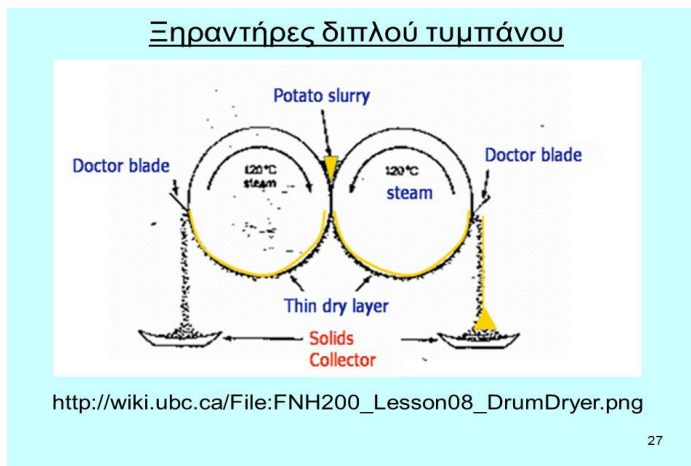
Εικόνα 1-12: Περιστροφικός Ξηραντήρας

Η μέθοδος της απ' ευθείας επαφής είναι πιο συνηθισμένη αλλά όταν η επαφή με τον θερμό αέρα ή με τα θερμά καύσιμα αέρια δεν είναι επιθυμητή χρησιμοποιείται η άλλη μέθοδος. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο θέρμανσης, οι ατμοί πρέπει να εξέρχονται από τον ξηραντήρα και αυτό γίνεται στις πλείστες περιπτώσεις με τη βοήθεια ρεύματος αέρα που περνά μέσω του ξηραντήρα. Αυτοί οι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται πιο πολύ για κοκκώδη υλικά που κινούνται ελεύθερα. Ο τύπος αυτός του ξηραντήρα διακρίνεται σε περιστροφικό ξηραντήρα με θέρμανση με απ' ευθείας επαφή και σε περιστροφικό ξηραντήρα με θέρμανση χωρίς απ' ευθείας επαφή.

Ξηραντήρας Τυμπάνων

Ο ξηραντήρας τυμπάνων αποτελείται από εσωτερικά θερμαινόμενα περιστροφικά τύμπανα. Η ξήρανση λαμβάνει χώρα στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου. Το υλικό καθώς ξηραίνεται είναι στη μορφή λεπτού στρώματος απλωμένου ομοιόμορφα και με όμοιο πάχος στην επιφάνεια του τυμπάνου. Έτσι αυτός ο τύπος ξηραντήρων είναι καταλληλότερος για πολτούς ή πάστες στερεών σε λεπτο-αιώρηση και αληθινών διαλυμάτων. Στη περίπτωση των διαλυμάτων, το τύμπανο συνδυάζει τη λειτουργία συμπυκνωτή και ξηραντήρα μαζί. Διαλύματα που μπορεί να ξηρανθούν σε τύμπανα, είναι αυτά των ένυδρων κρυστάλλων τηγμένα στο νερό κρυστάλλωσής τους. Οι ξηραντήρες τυμπάνων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μονού τυμπάνου, διπλών τυμπάνων και ζεύγους τυμπάνων. Στους ξηραντήρες διπλών τυμπάνων, τα

δυο τύμπανα περιστρέφονται το ένα ως προς το άλλο, ενώ στους ξηραντήρες ζεύγους τυμπάνων, περιστρέφονται αντίθετα.



Εικόνα 1-13: Ξηραντήρας τυμπάνων

1.7.2.3 Βιολογική Ξήρανση

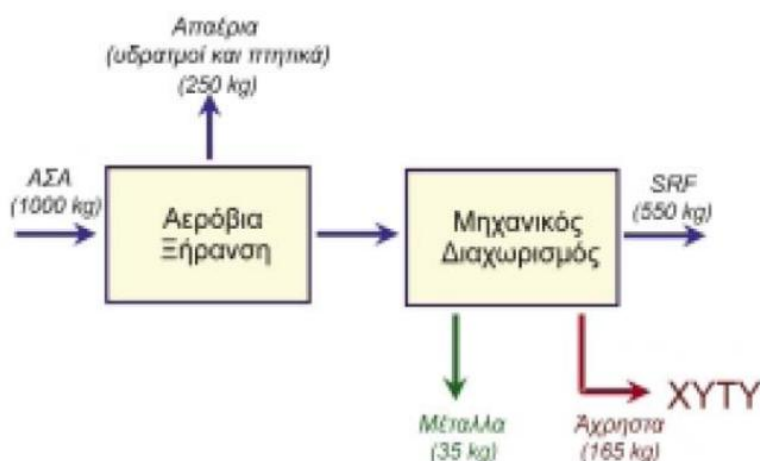
Η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης ή βιο-ξήρανση είναι μία μέθοδος παρόμοια με την αερόβια επεξεργασία σε συνδυασμό με τη μηχανική επεξεργασία. Το κύριο προϊόν είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο πλούσιο σε περιεχόμενο βιομάζας και υψηλής θερμογόνου δύναμης, το SRF (Solid Recovered Fuel) (Velis, Longhurst, Drew, Smith, & Pollard, 2009).

Κατά την βιολογική ξήρανση επιτυγχάνεται μείωση της υγρασίας των ΑΣΑ (12 - 15% κατά βάρος), διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων σιδηρούχων μετάλλων και του αλουμινίου και παραγωγή SRF (Solid Recovered Fuel), προς θερμική αξιοποίηση, με κατώτερη θερμογόνο δύναμη περίπου 15 MJ/kg.

Η υγρασία απομακρύνεται από το υλικό με την ανάπτυξη βιοθερμικής ενέργειας κατά την αερόβια αποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο βαθμός ομογενοποίησης των αποβλήτων που εισέρχονται στους ξηραντήρες.

Στη βιοξήρανση, η συναγωγή του αέρα και η μοριακή διάχυση είναι οι κύριοι μηχανισμοί που ευθύνονται για την απομάκρυνση της υγρασίας. Συγκεκριμένα, η αφαίρεση της υγρασίας ελέγχεται από τη θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ του νωπών απορριμμάτων (στερεά κατάσταση) και του αέρα που ρέει μέσα από το υλικό (αέρια κατάσταση).

Ο μηχανική παροχή του αέρα είναι κρίσιμης σημασίας για τη βιοξήρανση. Αποτελεί το μέσο ροής της ενέργειας και μάζας και επιτρέπει πέρα από την αφαίρεση της υγρασίας, την απαραίτητη κατανομή της ενέργειας καθώς και τη διάχυση του οξυγόνου, ώστε να ικανοποιηθούν οι στοιχειομετρικές απαιτήσεις για την αποδόμηση. Αποτελεί τη κύρια μεταβλητή για τον έλεγχο της διεργασίας, τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και σε μεγάλες μονάδες. Συνεπώς καθορίζει τη θερμοκρασία, και μπορεί ακόμα και να επηρεάσει και το σημείο δρόσου και την κινητική της βιολογικής αποδόμησης του υποστρώματος. Ο υψηλός ρυθμός παροχής αέρα είναι απαραίτητος προκειμένου να παραχθεί υψηλής θερμογόνου δύναμης SRF, καθώς έτσι διατηρείται το βιογενές περιεχόμενο.



Σχήμα 1-1: Διάγραμμα Ροής Τυπικής Μονάδας Βιολογικής Επεξεργασίας

Η απαραίτητη ενέργεια για την ξήρανση παρέχεται από την βιολογική αερόβια αποδόμηση του υλικού, σε αντίθεση με τις συμβατικές ξηράνσεις που απαιτούν εξωτερικές πηγές θερμότητας. Με την εξώθερμη αυτή βιοχημική μετατροπή το υλικό έρχεται σε θερμοφιλικές θερμοκρασίες. Για το ποιο είναι το ιδανικό εύρος θερμοκρασιών για τη διεργασία της βιοξήρανσης, δηλαδή εκεί που θα επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, οι απόψεις στην βιβλιογραφία ποικίλουν. Η πλειοψηφία από τις δημοσιεύσεις αναφέρουν όμως πως συγκριτικά, οι αποδοτικότερες συνθήκες την αφαίρεση της υγρασίας επιτυγχάνεται με υψηλές παροχές αέρα που προκαλούν χαμηλότερες θερμοκρασίες στο υπόστρωμα με βέλτιστη θερμοκρασία γύρω στους 45°C, ενώ ο μεγαλύτερος ρυθμός βιολογικής αποδόμησης είναι στους 60°C (Skourides, Theophilou, Loizides, Hood, & Smith, 2006).

Ο ρυθμός της βιολογικής αποδόμησης γενικά δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτόν της κομποστοποίησης εφόσον η τελευταία λαμβάνει χώρα με πολύ μικρότερο περιεχόμενο υγρασίας (Adani, Baido, Calcaterra, & Genevini, 2002).

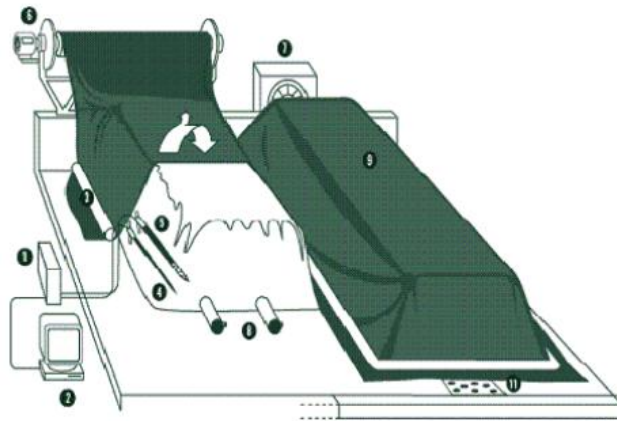
Το περιεχόμενο της υγρασίας είναι η πιο σημαντική μεταβλητή για την αξιολόγηση της επίδοσης της διαδικασίας της βιοξήρανσης και μετράται συνήθως με σταθμικές μεθόδους και εκφράζεται ως ποσοστό νερού σε υγρή βάση. Στη βιοξήρανση μπορεί να μειωθεί η υγρασία από 35-55% μέχρι 10-20% σε υγρή βάση. Παράγεται και νερό από την μεταβολική δραστηριότητα (0,5-0,6g νερού/g υποστρώματος που βιοαποδομείται). Η ποσότητα που απομακρύνεται όμως είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται για αυτό και το υλικό ξηραίνεται.

- **Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς:** Μέθοδος χαμηλού κόστους και η οποία εφαρμόζεται σε μικρή κλίμακας εγκαταστάσεις ή σε απόβλητα που έχουν υποστεί σε κάποιο βαθμό διαλογή. Συνήθως αυτά τα συστήματα ενσωματώνονται με στους ΧΥΤΑ και δεν απαιτούν σημαντική κτιριακή υποδομή. Σε αυτά τα συστήματα, κατόπιν της πρωτογενούς μηχανικής επεξεργασίας, με φορτωτή τοποθετούνται σε σειράδια και καλύπτονται από μια ειδική μεμβράνη, η οποία δεν επιτρέπει την είσοδο όμβριων στον σωρό. Ο αέρας παρέχεται από κατάλληλα συστήματα φυσητήρων και με κατάλληλο σύστημα διάτρητων σωλήνων εξασφαλίζεται η διασπορά του σε όλη την μάζα των απορριμμάτων.

Οι αγωγοί μπορούν να τοποθετηθούν με δύο τρόπους: είτε με χρήση διάτρητου δαπέδου (in floor pipes) είτε με την τοποθέτηση πλέγματος αγωγών πάνω στην επιφάνεια τοποθέτησης του σωρού (on floor pipes). Το σταθεροποιημένο υλικό μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης, μπορεί να οδηγείται προς δεματοποίηση και κατόπιν στο ΧΥΤΑ, ή προς μηχανική διαλογή για την ανάκτηση υλικών και την παραγωγή SRF όπως περιγράφηκε και προηγούμενα.

Η εγκατάσταση τεμαχιστή και σωρών βρίσκεται σε ανοικτό, μη στεγασμένο χώρο, διαμορφωμένο ως «πλατεία». Εάν είναι επιθυμητός εξοπλισμός μηχανικής διαλογής, τότε αυτός θα είναι στεγασμένος (π.χ. σε μεταλλικό κτίριο με βιομηχανικό δάπεδο).

1. Σύστημα ελέγχου
2. Η/Υ
3. Συγκρότηση μεμβράνης
4. Σένσορας θερμοκρασίας
5. Σένσορας O₂/θερμοκρασίας
6. Σύστημα τοποθέτησης
7. Σταθμός παραγωγής αέρα
8. Αγωγοί προσαγωγής αέρα τύπου "on floor"
9. Μεμβράνη
10. Αποχέτευση στραγγισμάτων
11. Κυκλίου υπερυψωτού τύπου "in floor"



Εικόνα 1-14: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς

Βιολογική Ξήρανση (Αερόβια Επεξεργασία): Η ξήρανση πραγματοποιείται σε ξηραντήρες που είναι συνήθως, είτε κλειστές δεξαμενές εντός βιομηχανικών κτιρίων, είτε κουτιά ορθογώνιου σχήματος (bio-boxes) τα οποία είναι αεροστεγώς κλειστά ώστε να αποφεύγονται οι εκπομπές οσμών και άλλων αερίων.



Εικόνα 1-15: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά

Η βιολογική ξήρανση σε βιομηχανικό κτίριο, εντός διαμερισμάτων (boxes) λαμβάνει χώρα σε κλειστά μεταλλικά ή τσιμεντένια κουτιά (διαμερίσματα) που η χωρητικότητά τους συνήθως είναι όσο απαιτείται για το υλικό μιας ημέρας και βρίσκονται είτε σε πλήρως στεγασμένο χώρο, είτε σε πλατεία κάτω από στέγαστρο, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις της αδειοδοτούσας περιβαλλοντικής αρχής.

Η παροχή του αέρα πραγματοποιείται από το ειδικό δάπεδο και ρυθμίζεται από τη μέτρηση της θερμοκρασία και της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα. Στα συστήματα αυτά οι βιολογικές διεργασίες επιταχύνονται και οι οσμές απουσιάζουν. Ο χρόνος παραμονής είναι από 5 έως 10 μέρες.

1.7.3 Κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση (composting) είναι η βιολογική αποικοδόμηση και σταθεροποίηση οργανικών υποστρωμάτων, κάτω από συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη θερμοφίλικών θερμοκρασιών ως αποτέλεσμα της βιολογικά παραγόμενης θερμότητας, προς παραγωγή κομπόστ (compost), ενός τελικού προϊόντος σταθερού και απαλλαγμένου από παθογόνους μικροοργανισμούς και σπόρους φυτών, κατάλληλου για χρήση ως εδαφοβελτιωτικού (Haug, 1992).

Πρώτες ύλες για την παραγωγή κομπόστ (compost) είναι κυρίως γεωργικά απόβλητα, απόβλητα του βιομηχανικού τομέα γεωργικών ειδών, καθώς και οργανικά υπολείμματα ζυμώσιμων αποβλήτων. Η κομποστοποίηση είναι μια μορφή σταθεροποίησης των αποβλήτων, μια διαδικασία όμως που απαιτεί ελεγχόμενες συνθήκες αερισμού και υγρασίας για την επίτευξη θερμοφίλικών θερμοκρασιών.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της κομποστοποίησης και της διάθεσης του κομπόστ στο έδαφος, όπως περιγράφονται από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος είναι τα εξής (Environmental Protection Agency, 2015):

- Ο εμπλουτισμός του εδάφους
- Η βελτίωση της δυνατότητας συγκράτησης της υγρασίας από το έδαφος
- Η καταστολή των ασθενειών των φυτών και η αντιμετώπιση των παρασίτων
- Η μείωση της ανάγκης σε χημικά λιπάσματα
- Η παραγωγή ευεργετικών βακτηρίων και μυκήτων που διασπούν την οργανική ύλη προς παραγωγή χουμικών ενώσεων πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά

- Η μείωση της παραγωγής μεθανίου από τα ΧΥΤΑ με αποτέλεσμα τη βελτίωση του αποτυπώματος άνθρακα.

1.7.4 Αναερόβια Χώνευση

Αναερόβια χώνευση καλείται η βιολογική επεξεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη μετατρέπεται σε μίγμα μεθανίου (CH_4) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), βιοαέριο, με τη συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών απουσία οξυγόνου.

Συνολική αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης είναι:

Οργανική ύλη + νερό $\rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S} + \text{νέα κύτταρα} + \text{θερμότητα}$

Το βιοαέριο που παράγεται, μείγμα CH_4 και CO_2 έχει ενδεικτική σύσταση 30-35% σε CH_4 και 65-70% σε CO_2 . Όταν η περιεκτικότητα μεθανίου είναι χαμηλή, περίπου 5-15 %, τότε το μείγμα είναι εκρηκτικό.

Στην αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη είναι οι εξής:

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα τροφίμων (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες: Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, σε πολλές χώρες έχει εξεταστεί και εισαχθεί μια άλλη κατηγορία πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης, οι αποκλειστικές καλλιέργειες, οι οποίες καλλιεργούνται και φροντίζονται αποκλειστικά για την παραγωγή βιοαερίου, και τελικά ενέργειας.

Η αναερόβια επεξεργασία ως μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα:

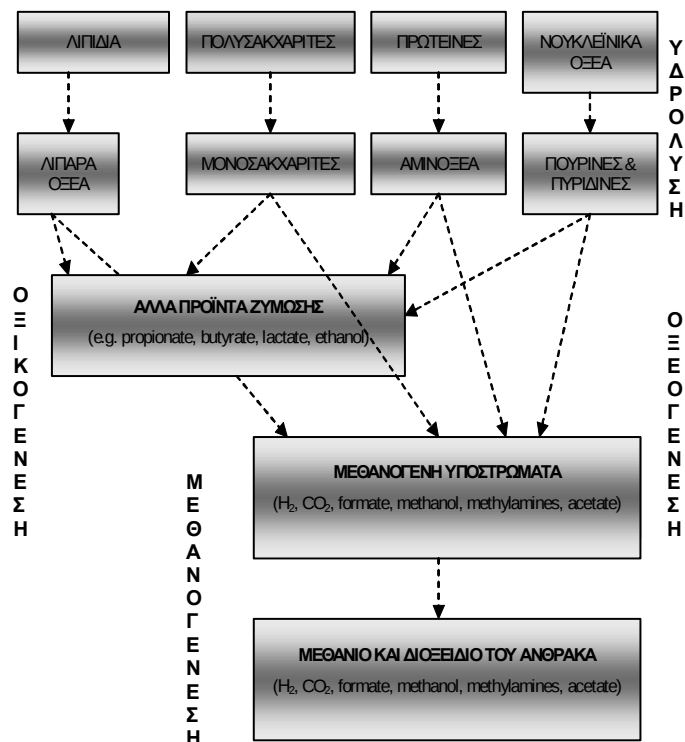
- Δεν υπάρχει περιορισμός στη συγκέντρωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα να επεξεργαζόμαστε υγρά βιομηχανικά απόβλητα υψηλών οργανικών φορτίων, υλικά που δεν βιοαποδομούνται με αερόβιες διεργασίες

(όπως κυτταρίνη) και προκαλούν προβλήματα (όπως λιπαρές ουσίες).

- Εμφανίζει μικρές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο και φώσφορο).
- Οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, σε αντίθεση με τους αερόβιους, μπορούν να διατηρούνται χωρίς τροφή για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να σημειώνεται καμία σημαντική μείωση στην ενεργότητά τους.
- Δεν απαιτείται μεγάλο ποσό ενέργειας, η οποία μάλιστα καταναλώνεται κυρίως για θέρμανση, για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.
- Δεν εμφανίζονται προβλήματα όχλησης στην περιοχή εφαρμογής από οσμές, έντομα ή θόρυβο, διότι αποφεύγεται η επαφή του αέρα με τα απόβλητα οπότε η επεξεργασία πραγματοποιείται σε τελείως κλειστά δοχεία.

Τα βασικά στάδια της διεργασίας αναερόβιας χώνευσης είναι:

- (1) Υδρόλυση: Κατά το στάδιο αυτό, ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες, το άμυλο και κάποια απλά σάκχαρα υδρολύονται από αερόβια βακτήρια. Η υδρόλυση των υδρογονανθράκων ολοκληρώνεται εντός κάποιων ωρών, ενώ εκείνη των πρωτεϊνών και των λιπιδίων εντός λίγων ημερών. Το διαλυμένο οξυγόνο καταναλώνεται από τα βακτήρια.
- (2) Οξεογένεση: Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Πιο συγκεκριμένα, οι ολιγοσακχαρίτες, οι μονοσακχαρίτες, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό οξύ (CH_3COOH) (50%), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και υδρογόνο (H_2) (20%) καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA's) και αλκοόλες (30%).
- (3) Μεθανογένεση: Μεθανογενή βακτήρια διασπούν τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης. Παράγεται αέριο μεθάνιο (CH_4), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και μεταλλικά άλατα. Εξαιτίας της αναγωγικής ατμόσφαιρας μέσα στον αντιδραστήρα και της παραγωγής αμμωνίας από την αναερόβια διάσπαση των πρωτεϊνών, η τιμή του pH στο σύστημα συνεχώς αυξάνεται, με τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 7,5 - 8,5. Περίπου το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από το οξικό οξύ. Το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα.



Εικόνα 1-16: Διάγραμμα Ροής Μετατροπής Βιομάζας σε Βιοαέριο
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ., 2013 *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

Οι κρίσιμες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την αποδοτικότητα της αναερόβιας είναι οι εξής:

- **Θερμοκρασία:** Η αναερόβια χώνευση είναι είτε μεσοφιλική (περίπου 33- 37°C), είτε θερμοφιλική (περίπου 55-60°C). Γενικά προτιμώνται θερμοκρασίες 25 – 30°C γιατί δημιουργούν καλύτερους βιολογικούς ρυθμούς και πιο σταθερές συνθήκες. Στις πιο χαμηλές θερμοκρασίες ο ρυθμός της αντίδρασης πέφτει, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής στερεών και μεγαλύτεροι όγκοι αντιδραστήρα.
- Χημική σύσταση της τροφοδοσίας
- Θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορος)
- Τοξικές ουσίες- παρεμποδιστές
- Τύπος του αντιδραστήρα
- Ο χρόνος παραμονής στερεών (solids retention time, SRT) στον αναερόβιο αντιδραστήρα, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία διεξαγωγής της αναερόβιας χώνευσης είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας τέτοιου είδους μονάδας. Γενικά, για τα συμβατικά συστήματα αναερόβιας χώνευσης απαιτείται SRT της τάξης των

20 ημερών για θερμοκρασία 30°C. Οι χρόνοι είναι πολύ μεγαλύτεροι για χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Με την ολοκλήρωση της αναερόβιας χώνευσης, εκτός από βιοαέριο, παράγεται και αναερόβια ιλύς. Η παραγόμενη ιλύς υπόκειται σε επεξεργασία κατά την οποία αφαιρείται η υγρασία, η οποία φιλτράρεται και οδηγείται στον αναερόβιο χωνευτήρα με επανακυκλοφορία, ενώ η αφυδατωμένη ιλύς υφίσταται αερόβια επεξεργασία, συνήθως σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς, με σκοπό το σχηματισμό εδαφοβελτιωτικού (κομπόστ). Το παραγόμενο κομπόστ ελέγχεται για τυχόν ανεπιθύμητες προσμίξεις, όπως κομμάτια γυαλιού, μετάλλου ή πλαστικού, ανάλογα με τα όρια που έχουν θεσπιστεί σε κάθε χώρα.

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης σε μία τυπική μονάδα ακολουθεί τα κάτωθι βασικά στάδια:

- 1) Διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος από τα ανεπιθύμητα υλικά, όπως τα μέταλλα, τα πλαστικά, το γυαλί και άλλα ανόργανα υλικά
- 2) Αιώρηση των οργανικών σε νερό και τροφοδότηση στο βιοαντιδραστήρα (ανάλογα με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία)
- 3) Αναερόβια χώνευση (χρόνος παραμονής 2-3 εβδομάδες)
- 4) Διήθηση ή φυγοκέντριση αναερόβιας ιλύος (αφυδάτωση)
- 5) Αερόβια σταθεροποίηση αναερόβιας ιλύος

Σε ένα αποτελεσματικό αναερόβιο σύστημα εξασφαλίζονται οι παρακάτω συνθήκες:

- ✓ μεγάλος χρόνος παραμονής της βιομάζας
- ✓ καλή επαφή βιομάζας και υποστρώματος
- ✓ υψηλά ποσοστά αντίδρασης
- ✓ επικράτηση ευνοικών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλους τους μικροοργανισμούς κατά τη διάρκεια διαφορετικών συνθηκών λειτουργίας

Το βιοαέριο που παράγεται δύναται να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία για παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας. Επισημαίνεται ότι μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης συνήθως ιδιοκαταναλώνει ένα ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας.

Ταχύρρυθμα Συστήματα (High-Rate systems)

Οι ταχύρρυθμοι αναερόβιοι χωνευτήρες στοχεύουν στην επίτευξη κατανάλωσης υψηλού ποσοστού υποστρώματος. Στο εσωτερικό του χωνευτήρα εφαρμόζεται πλήρης ανάδευση και θέρμανση και συνεπώς ο χρόνος παραμονής είναι σημαντικά μικρότερος. Σε αυτή την κατηγορία χωνευτήρων προβλέπεται συλλογή και αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου και λειτουργία σε θερμοκρασίες της θερμοφιλικής περιοχής.

Οι ταχύρρυθμοι αναερόβιοι αντιδραστήρες στοχεύουν στην ταχεία κατανάλωση του υποστρώματος. Είναι εξοπλισμένοι με κατάλληλα συστήματα για την διαχείριση των βιοστερεών. Διακρίνονται σε δυο τύπους:

- (α) στα *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας* (suspended growth high-rate anaerobic reaction systems) και
- (β) στα *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας* (growth high-rate anaerobic reaction systems).

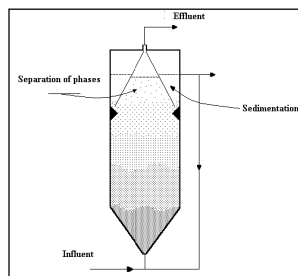
Αντιπροσωπευτικοί αντιδραστήρες του τύπου *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας* (suspended growth high-rate anaerobic reaction systems) είναι:

- Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) αντιδραστήρας
- Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Αντιπροσωπευτικοί αντιδραστήρες του τύπου *ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα ανάπτυξης προσκολλημένης βιομάζας* (growth high-rate anaerobic reaction systems) είναι:

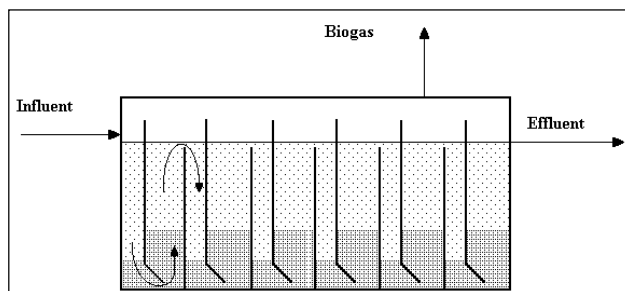
- τα Ανοδικής και Καθοδικής Ροής Αναερόβια Φίλτρα (Upflow and Downflow Anaerobic Filters) και
- οι Αναερόβιοι Αντιδραστήρες Ρευστοποιημένης Κλίνης (Fluidized Bed Anaerobic Bioreactors).

Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB): Κυλινδρικά δοχεία στο εσωτερικό των οποίων τα απόβλητα κινούνται προς τα πάνω δια μέσου ενός καλύμματος (blanket) λάσπης. Στο πάνω τμήμα του αντιδραστήρα τοποθετείται συλλέκτης βιοαερίου σχήματος χοάνης. Το υγρό υπερχειλίζει πάνω από την χοάνη και η περιοχή μεταξύ χοάνης και κορυφής στον αντιδραστήρα χρησιμοποιείται ως ζώνη καθίζησης εξασφαλίζοντας την καθίζηση και την παραμονή των στερεών στον αντιδραστήρα.

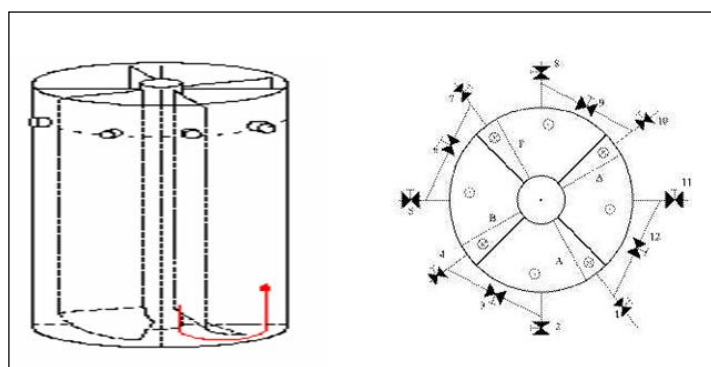


Σχήμα 1-2: UASB Αναερόβιος Χωνευτήρας
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ.,2013 *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

The Anaerobic Baffled Reactor (ABR): Εναλλασόμενο σύστημα ανάπτυξης αιωρούμενης βιομάζας και μεγάλων χρόνων παραμονής της βιομάζας. Το απόβλητο αναγκάζεται να κινείται μέσω διαδοχικών διαμερισμάτων ανοδικής και καθοδικής ροής αντίστοιχα.



Σχήμα 1-3: ABR Αναερόβιος Χωνευτήρας
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ.,2013 *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)



Σχήμα 1-4: PABR (Periodic Anaerobic Baffled Reactor) Αναερόβιος Χωνευτήρας
(Πηγή: Λυμπεράτος Γ.,2013 *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων*)

1.7.5 Υγειονομική Ταφή

Η υγειονομική ταφή, αν και είναι η χειρότερη λύση με βάση την ιεράρχηση των αποβλήτων, αποτελεί ακόμη τον βασικό τρόπο διαχείρισης των βιολογικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι χώροι υγειονομικής ταφής (XYTA) πρέπει να κατασκευάζονται και να λειτουργούν σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία για την υγειονομική ταφή αποβλήτων, ώστε να αποφεύγονται οι ζημιές στο περιβάλλον από την παραγωγή μεθανίου και λυμάτων.

Τα κριτήρια καταλληλότητας για την χωροθέτηση Χ.Υ.Τ.Α. βασίζονται σε περιβαλλοντικά, κοινωνικά, χωροταξικά και οικονομικά του τόπου. Η υγειονομική ταφή χαρακτηρίζεται και σαν ελεγχόμενη διάθεση (sanitary landfill of controlled tipping).

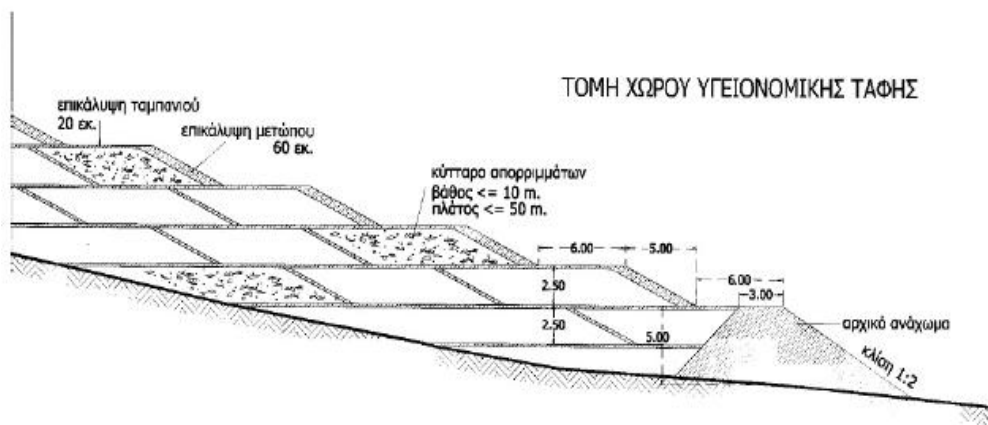
Κατ' αρχήν διαστρώνονται τα απορρίμματα και συμπιέζονται σε διαδοχικές επάλληλες στρώσεις, πάχους 2.50m περίπου, που καλύπτονται κάθε φορά με στρώμα χώματος πάχους 0.30m. Το λοξό μέτωπο της εργασίας καλύπτεται επίσης στο τέλος κάθε ημέρας εργασίας με χώμα πάχους 0.15m. Ο χώρος ταφής αποτελείται τελικά από επάλληλες αποθέσεις απορριμμάτων, με ενδιάμεσες στρώσεις χώματος, οριζόντιες και λοξές. Οι αποθέσεις αυτές παθαίνουν με το χρόνο σημαντική ομοιόμορφη καθίζηση και συμπίεση (π.χ. μέχρι 60% του αρχικού πάχους σε 5 χρόνια). Για το σχηματισμό των στρώσεων η εκφόρτωση γίνεται, είτε στο πάνω μέρος και ακολουθεί διάστρωση και συμπίεση, είτε στο κάτω μέρος και τα απορρίμματα συμπιέζονται στο λοξό πρηνές. Κοντά στο χώρο εργασίας πρέπει να τοποθετούνται κινητοί φράχτες προς την κατεύθυνση που πνέουν οι άνεμοι, για να συγκρατούν τα παρασυρόμενα ελαφρά απορρίμματα (κυρίως πλαστικά). Οι θέσεις ταφής πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 500m από κατοικίες.

Η μέθοδος της υγειονομικής ταφής, εφόσον εφαρμόζεται σωστά είναι υγειονομικά ασφαλής και αποδεκτή αισθητικά. Μπορεί μάλιστα να συμβάλει στην ανάδειξη του τοπίου, όταν μετά την εξάντληση του χώρου, φυτευτεί η περιοχή με πράσινο και αξιοποιηθεί.

Τα κριτήρια επιλογής XYTA είναι:

- Γεωτεχνικά κριτήρια επιλογής: Διαπερατότητα, Ευστάθεια εδάφους
- Γεωλογικά – υδρογεωλογικά κριτήρια επιλογής: Επιφανειακή απορροή, Σπουδαιότητα υπογείων νερών

- Τοπογραφικά κριτήρια επιλογής: Μέγιστη κλίση 15-20%
- Χωροταξικά κριτήρια επιλογής: Χρήσεις γης
- Περιβαλλοντικά κριτήρια
- Λειτουργικά κριτήρια



Σχήμα 1-5: Τομή ΧΥΤΑ

2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη διαχείριση των στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει μια πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση, ανάλυση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από την τελική διάθεση τους καθώς και μείωση των τυχόν επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από τη διάθεση τους. Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα στερεά απορρίμματα ευθύνονται σε μεγάλο ποσοστό για την ρύπανση, με συνέπειες που μπορούν να είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, ωστόσο είναι επίσης γνωστό ότι με την κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να επανακτηθούν χρήσιμες πρώτες ύλες.

Για τον λόγο αυτό, οι περιβαλλοντικές στρατηγικές και πολιτικές που εφαρμόζονται σήμερα στην διαχείριση αποβλήτων, τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, δίνουν νέες κατευθύνσεις και θέτουν καινούργιες αρχές, κυρίως μέσω της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης υλικών και ενέργειας, με απώτερο σκοπό τη μείωση του συνολικού όγκου των αποβλήτων και την ασφαλέστερη διάθεση αυτών.

Η ορθολογική διαχείριση των βιοαποβλήτων, τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο κλάσμα των ΑΣΑ, προκαλούν προβλήματα στους χώρους υγειονομικής ταφής (κυρίως λόγω της δημιουργίας αερίων) και συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι κάτι παραπάνω από επιβεβλημένη. Επιπλέον στις μέρες μας με την συνεχόμενη εξέλιξη των διαθέσιμων τεχνολογιών και τη θέσπιση ισχυρού νομοθετικού πλαισίου, η διαχείριση των βιοαποβλήτων είναι αναγκαία.

Στο Δήμο Χαλανδρίου στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος Waste4think (HORIZON 2020) έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί ένα πιλοτικό σύστημα διαλογής στην πηγή και αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων, και πιο συγκεκριμένα του κλάσματος των υπολειμμάτων κουζίνας (kitchen waste).

2.2 Συνολική περιγραφή συστήματος διαλογής στην πηγή, αποκομιδής και διαχείρισης υπολειμμάτων κουζίνας στο Δήμο Χαλανδρίου.

Τα υπολείμματα τροφών στο δήμο Χαλανδρίου, συλλέγονται χωριστά από περίπου 250 νοικοκυριά του δήμου, δύο φορές την εβδομάδα. Οι συμμετέχοντες (εθελοντική συμμετοχή) στο πρόγραμμα έχουν εξοπλισθεί με μικρούς-κινητούς κάδους 30 λίτρων, καθώς και με ειδικές βιοδιασπώμενες σακούλες.

[illegible]

Εικόνα 2-1: Έντυπο – Αίτηση συμμετοχής στο πρόγραμμα

Στο σχεδιασμό που έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια της πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος, οι κάδοι αυτοί τοποθετούνται στην κουζίνα του κάθε νοικοκυριού και μέσα σε αυτούς τοποθετούνται οι βιοδιασπώμενες σακούλες. Οι κάτοικοι πετάνε ξεχωριστά μέσα σε αυτόν τον κάδο τα υπολείμματα τροφών τους.



Εικόνα 2-2: Εξοπλισμός κατοίκων για εφαρμογή συστήματος διαλογής στην πηγή υπολειμμάτων κουζίνας

Οι κάτοικοι στη συνέχεια εναποθέτουν τις γεμάτες με υπολείμματα τροφών σακούλες σε μεγαλύτερους κάδους (120 λίτρων), που είναι τοποθετημένοι στο πεζοδρόμιο του οικοδομικού τους τετραγώνου, σε απόσταση που τους εξυπηρετεί και στη συνέχεια ο δήμος έχει προγραμματίσει την αποκομιδή τους δύο φορές την εβδομάδα, με ειδικό όχημα. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι τελευταίοι αυτοί κάδοι κλειδώνονται με ειδικό κλειδί που έχει διατεθεί μόνο στους συμμετέχοντες στο πρόγραμμα.

Οι κάδοι συλλογής των υπολειμμάτων τροφών είναι εξοπλισμένοι όλοι με ένα μοναδικό μικρο-επεξεργαστή, ο οποίος αποθηκεύει της εξής πληροφορίες:

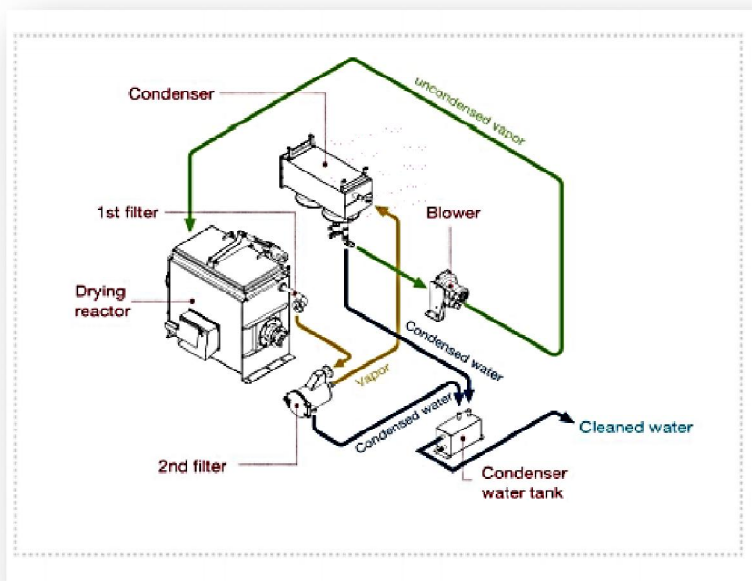
- i. Τον A/A κάθε κάδου.
- ii. Το βάρος του κάδου ανά πάσα στιγμή
- iii. Τις συντεταγμένες του οχήματος αποκομιδής.

Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η ακριβής καταγραφή των δεδομένων του συστήματος συλλογής υπολειμμάτων τροφών (ποσότητες, συχνότητες αποκομιδής κοκ), σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 2-3: Κάδος 120 λίτρων, Σύστημα αναγνώρισης κάδου, Συλλεγμένα Βιοαπόβλητα, Όχημα συλλογής βιοαποβλήτων, Μονάδα επεξεργασίας/ξήρανσης του Δήμου

Στη συνέχεια τα διαλεγμένα υπολείμματα κουζίνας οδηγούνται στην τοπική μονάδα επεξεργασίας του δήμου Χαλανδρίου, όπου και υπόκεινται σε διαδικασία ξήρανσης και τεμαχισμού. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε ένα ξηραντήρα τύπου GAIA GC-300, και με αυτό τον τρόπο παράγεται ένα πολύτιμο προϊόν βιομάζας το οποίο ονομάζεται FORBi (**F**ood **R**esidue **B**iomass product).



Εικόνα 2-4: Ξηραντήρας/Τεμαχιστήρας

Η διαδικασία ξήρανσης και τεμαχισμού διαρκεί 9 ώρες στους 95°C και ακολουθείται από δύο ώρες ψύξης, με μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση τα 23.8 kW. Η διαδικασία ξήρανσης μειώνει τον όγκο και τη μάζα των αποβλήτων έως και 80%. Η διαδικασία αυτή επομένως, επιτρέπει τη σημαντική μείωση του όγκου και της μάζας του υλικού, την επίτευξη ομοιογένειας καθώς και την αφαίρεση των ανεπιθύμητων οσμών.



Εικόνα 2-5: Α. Βιοαποδομήσιμα Β. Προϊόν βιομάζας FORBI

Το FORBI, στη συνέχεια (και όπως αποδεικνύουν τα πειράματα που έχουν γίνει και εξακολουθούν να γίνονται στο ΕΜΠ), θεωρείται υλικό κατάλληλο για παραγωγή αερίων, υγρών και στερεών βιοκαυσίμων (μεθάνιο, υδρογόνο, υθάνιο, βιοαιθανόλη, πέλλετς). Ως εκ τούτου με αυτό το σύστημα και όταν εφαρμοστεί σε πλήρη κλίμακα οι κάτοικοι του Δήμου θα μπορούν να διαχειρίζονται τα υπολείμματα τροφών τους, με έναν τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον, βιώσιμο, συμφέροντα οικονομικά για τον δήμο και τους ίδιους και στη λογική της κυκλικής οικονομίας, καθώς το βιοκαύσιμο που θα παράγεται θα τροφοδοτεί στο άμεσο μέλλον τα οχήματα αποκομιδής βιοαποβλήτων, δημιουργώντας έναν κλειστό βρόγχο, χαρακτηριστικό της κυκλικής οικονομίας.



Εικόνα 2-6: Σύστημα συλλογής και διαχείρισης ΒΑΑ στο Χαλάνδρι

2.3 Ποσοτική ανάλυση συστήματος διαχείρισης ΒΑΑ, Δήμου Χαλανδρίου

Ο Δήμος Χαλανδρίου τοποθετείται γεωγραφικά στο βορειοανατολικό τμήμα της περιφέρειας Αττικής. Ο πληθυσμός του σύμφωνα με τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής του 2011 ανέρχεται στις 75.000 περίπου, που αντιστοιχεί σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Δήμου σε 44.000 νοικοκυριά περίπου. Συνολικά, η ποσότητα ΑΣΑ που παράγεται ετησίως στο Δήμο ανέρχεται στους 39.000 τόνους, ενώ από αυτά τα βιοαποδομήσιμα είναι λίγο λιγότερα από τα μισά (43%), δηλαδή περίπου 17.000 τόνους. Η ποσότητα των υπολειμμάτων κουζίνας που παράγονται στο Δήμο Χαλανδρίου αντιστοιχεί σε 5.500 τόνους ανά έτος. Αναλυτικά τα στοιχεία για το Δήμο Χαλανδρίου αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 2-1: Γενικά στοιχεία ανάλυσης συστήματος διαχείρισης αποβλήτων (Δήμος Χαλανδρίου)

Περιοχή Μελέτης	Δήμος Χαλανδρίου	
Χώρα	Greece	
Διοικητική Περιφέρεια	Attica	
Εμβαδό Δήμου	10.805	χλμ ²
Πληθυσμός	74192	
Πλήθος Νοικοκυριών	44000	
Πλήθος Επιχειρήσεων	7600	
Πληθυσμιακή Πυκνότητα	6866.5	κάτοικοι/χλμ ²
Πληροφορίες για Αστικά Στερεά Απόβλητα		
Συνολική Ποσότητα Αστικών Στερεών Αποβλήτων	38881	τόνοι
Βιοαποικοδομήσιμα Στερεά Απόβλητα	16719	τόνοι/έτος
Υπολείμματα κουζίνας/κάτοικο/ημέρα	0.2	κιλά
Υπολείμματα κουζίνας/κάτοικο/έτος	73	κιλά
Υπολείμματα κουζίνας/έτος	5416.02	τόνοι
Υπολείμματα κουζίνας/νοικοκυριό/έτος	0.12	τόνοι
Μέση απόσταση μεταξύ σημείων συλλογής	200	μέτρα
Πλήθος σημείων συλλογής	500	

2.4 Τεχνικός εξοπλισμός συστήματος διαχείρισης υπολειμμάτων κουζίνας Δ. Χαλανδρίου

2.4.1 Διαλογή στην πηγή

Για τη διαλογή στην πηγή χρησιμοποιούνται δύο είδη εξοπλισμού:

- i. Βιοαποικοδομήσιμες σακούλες, κόστους 14 λεπτών/σακούλα.
- ii. Πλαστικοί οικιακοί κάδοι, 30L, κόστους 27,3 ευρώ/κάδο.

2.4.2 Αποκομιδή

Για τη συλλογή και μεταφορά των υπολειμμάτων κουζίνας, χρησιμοποιείται ο εξής εξοπλισμός:

- i. Πλαστικοί κάδοι πεζοδρομίου, 120L, κόστους 65,2 ευρώ/κάδο
- ii. Δύο οχήματα συλλογής και μεταφοράς απορριμμάτων με τα εξής χαρακτηριστικά:

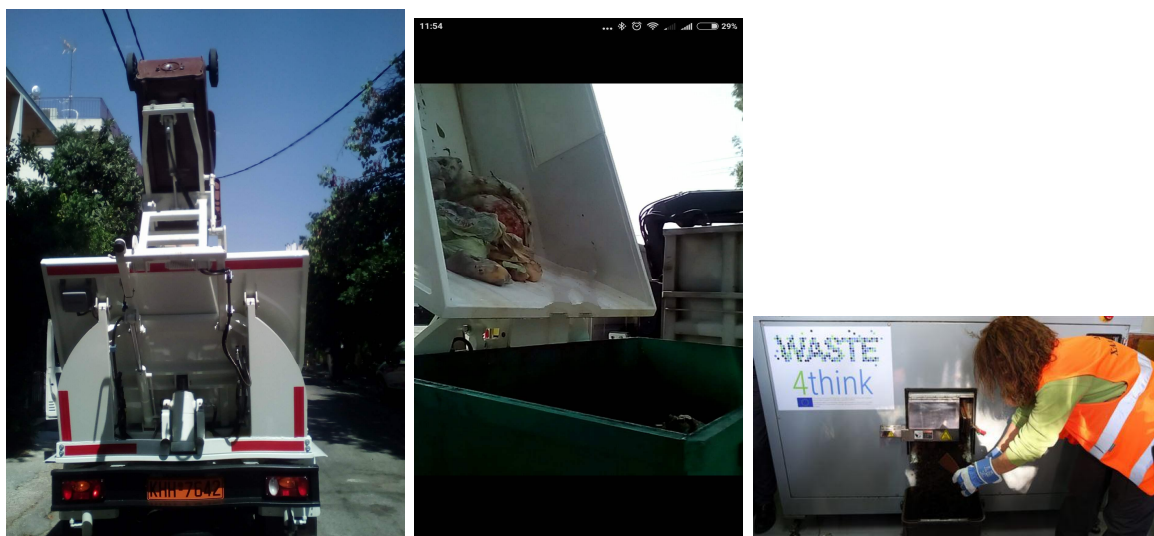
A/A	Μάρκα-Μοντέλο	Τύπος οχήματος	Καθαρό μεταφερόμενο βάρος (tn)	Καύσιμο	Τιμή Αγοράς (ΕΥΡΩ)
1	ISUZU N2R	BA Φορτηγό	2	Αμόλυβδη-Καταλυτικό	105.000
2	PIAGGIO PORTER MAXXI	Ανατρεπόμενο	1,6	Πετρέλαιο-Καταλυτικό	42.000

Πίνακας 2-2: Γενικά στοιχεία οχημάτων περισυλλογής (Δήμος Χαλανδρίου)

2.4.3 Ξήρανση - Τεμαχισμός, Περιγραφή

Για τη διαδικασία ξήρανσης/τεμαχισμού των υπολειμμάτων κουζίνας χρησιμοποιείται ξηραντήρας/τεμαχιστής μάρκας GAIA, μοντέλου GC-200, του οποίου η δυναμικότητα αντιστοιχεί σε 200kg ανά ημέρα σε δύο κύκλους λειτουργίας διάρκειας 11 ωρών ο κάθε κύκλος. Το κόστος αγοράς του ξηραντήρα/τεμαχιστή ανήλθε στα 60.000 ευρώ. Η διαδικασία ξήρανσης/τεμαχισμού πραγματοποιείται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, εντός του Δήμου Χαλανδρίου.

Τα βιοαπόβλητα, μετά την αποκομιδή τους οδηγούνται στις εγκαταστάσεις του Δήμου, αποθηκεύονται προσωρινά σε τροχήλατο κλειστό μεταλλικό δοχείο αποθήκευσης. Η εναπόθεσή τους στο δοχείο αποθήκευσης πραγματοποιείται με ανατροπή της κιβωτάμαξας του απορριμματοφόρου. Στη συνέχεια, το δοχείο αποθήκευσης κινείται πάνω σε ράγες σταθερής τροχιάς και πλησιάζει τον ξηραντήρα, όπου και πραγματοποιείται χειροκίνητα η μεταφορά 110 περίπου κιλών υπολειμμάτων κουζίνας προς το δοχείο ξήρανσης.



Εικόνα 2-7: Συλλογή Βιοαποβλήτων, Εναπόθεση στο δοχείο αποθήκευσης, Άδειασμα ξηραντήρα

Ο ξηραντήρας αποτελείται από δύο χώρους: τον εσωτερικό στον οποίο τοποθετείται το υλικό και πραγματοποιείται η διαδικασία ξήρανσης και στον εξωτερικό ο οποίος είναι πληρωμένος με ειδικό λάδι το οποίο και θερμαίνεται μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων μέχρι τη θερμοκρασία των 170°C. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η θέρμανση του υλικού προς ξήρανση στους 90°C. Παράλληλα με την ξήρανση πραγματοποιείται και τεμαχισμός των υπολειμμάτων τροφίμων μέσω ειδικών τaráκτρων που βρίσκονται στο εσωτερικό του ξηραντήρα και περιστρέφονται καθ' όλη τη διάρκεια της ξήρανσης.



Εικόνα 2-8: Ξηραντήρας Δήμου Χαλανδρίου, Πίνακας ελέγχου του Ξηραντήρα

Η διεργασία διαρκεί 9 ώρες και ακολουθείται από δύο ώρες ψύξης (Cooling) του εξοπλισμού, επομένως κάθε κύκλος ξήρανσης διαρκεί 11 ώρες. Στο παρελθόν, στο πλαίσιο των πειραμάτων, είχε επιχειρηθεί η αύξηση της λειτουργίας ξήρανσης κατά 3 ώρες (ξήρανση 12 ώρες και ψύξη 2 ώρες), με σκοπό την ακόμα μεγαλύτερη μείωση της υγρασίας. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν δύο φαινόμενα που λειτούργησαν ανασταλτικά ως προς την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου:

- i. Παρατηρήθηκε τεφροποίηση του υλικού, με αποτέλεσμα να μη θεωρείται κατάλληλο για περαιτέρω αξιοποίηση, όπως αυτή ερευνάται.
- ii. Παρατηρήθηκε, επίσης, η πραγματοποίηση του φαινομένου της καραμελοποίησης των σακχάρων του υλικού. Τα σάκχαρα αποτελούν συστατικά απαραίτητα για την περαιτέρω αξιοποίηση του.

Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε οριστικά η διάρκεια της λειτουργίας του ξηραντήρα να τεθεί στις 9 ώρες ξήρανση και 2 ώρες ψύξη.

Μία σημαντική παράμετρος της λειτουργίας του ξηραντήρα αποτελεί η κατανάλωση ενέργειας ανά κύκλο λειτουργίας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία της λειτουργίας του ξηραντήρα, σε μέσους όρους, για το έτος 2017:

Μέση ημερήσια ποσότητα τροφοδοσίας προς τον αντιδραστήρα	130 kg
Μέση ημερήσια ποσότητα παραγόμενου FORBI	30 kg
Μέση ημερήσια απομάκρυνση υγρασίας	100 kg ή (77%)
Μέση κατανάλωση ενέργειας ανά κύκλο λειτουργίας	102.01 kWh

Πίνακας 2-3: Στοιχεία λειτουργίας ξηραντήρα για το έτος 2017 (Δήμος Χαλανδρίου)

2.5 Εναλλακτικές Αξιοποίησης FORBI

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος Waste4think, πραγματοποιείται στη σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου σειρά πειραμάτων που αποσκοπούν στην ανάπτυξη και βελτιστοποίηση πιθανών εναλλακτικών του FORBI.

Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλακτικές που μελετώνται είναι οι εξής:

i. Παραγωγή αερίων βιοκαυσίμων:

Η παραγωγή αερίων βιοκαυσίμων αφορά στη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης προς παραγωγή υδρογόνου, μεθανίου ή μίγματος των δύο που ονομάζεται υθάνιο. Τα αποτελέσματα έως τώρα έχουν δείξει ότι το FORBI είναι κατάλληλο υπόστρωμα για την παραγωγή αερίων βιοκαυσίμων. Ως εκ τούτου, θα στηθεί πιλοτική μονάδα παραγωγής υθανίου από την οποία το παραγόμενο υθάνιο θα συλλέγεται και θα τροφοδοτεί το απορριμματοφόρο του Δήμου που χρησιμοποιείται για την αποκομιδή των υπολειμμάτων κουζίνας. Ως εκ τούτου, στο Δήμο Χαλανδρίου πρόκειται στο άμεσο μέλλον να εφαρμοστεί ένα υπόδειγμα Κυκλικής Οικονομίας.

Οι μέγιστες αποδόσεις παραγωγικότητας αερίων βιοκαυσίμων που έχουν έως τώρα επιτευχθεί στα πειράματα που έχουν τρέξει στο Ε.Μ.Π είναι οι ακόλουθες:

- Υδρογόνο: 22 λίτρα βιοαερίου ανά κιλό FORBI
- Μεθάνιο: 477 λίτρα βιοαερίου ανά κιλό FORBI
- Υθάνιο: 14,3 λίτρα υθανίου, ως κύριο ρεύμα προϊόντος που συνοδεύεται από 431 λίτρα μεθανίου ως παραπροϊόν, ανά κιλό FORBI

ii. Παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων:

Στερεά βιοκαύσιμα εννοούνται τα βιοπέλλετς που παράγονται μέσω της διεργασίας πελλετοποίησης του FORBI. Τα πέλλετς αποτελούν μία οικονομικά προσεγγίσιμη εναλλακτική αξιοποίηση του FORBI. Μάλιστα, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η παραγωγή τους από το συγκεκριμένο υλικό οδηγεί σε υψηλή θερμογόνο δύναμη, η οποία και είναι από τις βασικές παραμέτρους αξιολόγησης του πέλλετ.

iii. Παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων:

Η δυνατότητα παραγωγής βιοαιθανόλης από το FORBI μελετάται.

iv. Παραγωγή βιολογικού εδαφοβελτιωτικού (κομποστ):

Η κομποστοποίηση είναι μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδος αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων. Η συγκεκριμένη διεργασία οδηγεί στην παραγωγή υψηλής ποιότητας βιολογικού εδαφοβελτιωτικού. Έχει μελετηθεί η δυνατότητα κομποστοποίησης είτε αυτόνομα του FORBI είτε σε συνδυασμό με άλλα ρεύματα όπως κλαδέματα.

Γενικά, σκοπός της ερευνητικής ομάδας του ΕΜΠ αποτελεί η ανάπτυξη ενός βέλτιστου συστήματος αξιοποίησης του FORBI, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη από οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής άποψης διαχείριση των υπολειμμάτων τροφίμων του Δήμου. Μάλιστα, το εύρος δυνατοτήτων και οι εξαιρετικές προοπτικές αξιοποίησης του FORBI ανοίγουν έναν νέο δρόμο στην αξιοποίηση του μόνου ρεύματος αποβλήτων (βιοαπόβλητα) το οποίο μέχρι τώρα παραμένει αναξιοποίητο.

Το όραμα του Waste4think καθώς και του Δήμου Χαλανδρίου είναι να μετατραπεί από έναν δήμο-παραγωγό βιοαποβλήτων σε ένα δήμο-παραγωγό προϊόντος βιομάζας και των άλλων χρήσιμων παραπροϊόντων.

3 ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΗΜΟΥ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ

Η πραγματοποίηση μίας πλήρους τεχνικοοικονομικής αποτίμησης του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας για το Δήμο Χαλανδρίου, βασίστηκε στη μέθοδο Κόστους Κύκλου Ζωής (LCC-Life Cycle Costing) (Martinez-Sanchez, Kromann, & Astrup, 2015; Martinez-sanchez, Tonini, Møller, & Astrup, 2016; Reich, 2005). Βάσει της σχετικής βιβλιογραφίας επιλέχθηκε στο μοντέλο κοστολόγησης να χρησιμοποιηθεί η “μέθοδος κόστους μονάδας” (Unit Cost Method). Κατά τη συγκεκριμένη μεθοδολογία το σύστημα διαχείρισης διαιρείται σε διακριτές δραστηριότητες όπως η διαλογή στην πηγή, συλλογή και μεταφορά, διαχείριση και τελική διάθεση. Στη συνέχεια, σε κάθε δραστηριότητα αντιστοιχούνται τα αντίστοιχα κόστη μονάδας (π.χ. κατανάλωση καυσίμων, μηχανολογικός εξοπλισμός, κόστος προσωπικού, συντήρηση κλπ). Σε κάθε αντικείμενο που αντιστοιχείται στις διάφορες δραστηριότητες (για παράδειγμα κατανάλωση καυσίμου για τη συλλογή των απορριμμάτων) καθορίζονται δύο χαρακτηριστικές παράμετροι: μία φυσική και μία οικονομική. Οι φυσικές παράμετροι περιγράφουν την ποσότητα του αντικειμένου που απαιτείται για τη συλλογή/διαχείριση ή τελική διάθεση ενός τόνου αποβλήτου (για παράδειγμα 1 λίτρο βενζίνης για τη συλλογή 1 τόνου αποβλήτων), ενώ οι οικονομικές παράμετροι περιγράφουν το κόστος μονάδας του συγκεκριμένου αντικειμένου (για παράδειγμα 1.5 €/ λίτρο βενζίνης). Τέλος, το κόστος μονάδας για κάθε αντικείμενο υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις δύο αυτές παραμέτρους. Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του αναλυόμενου συστήματος διαχείρισης υπολογίζεται τελικά ως το άθροισμα όλων των μονάδων κόστους των δραστηριοτήτων που συμπεριλαμβάνονται στο σενάριο. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται στις επόμενες ενότητες για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής καθενός από τα στάδια του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης για το Δήμο Χαλανδρίου.

3.1 Διαλογή στην πηγή

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι φυσικές και οικονομικές παράμετροι για τον καθορισμό του κόστους κύκλου ζωής, για το στάδιο της διαλογής στην πηγή:

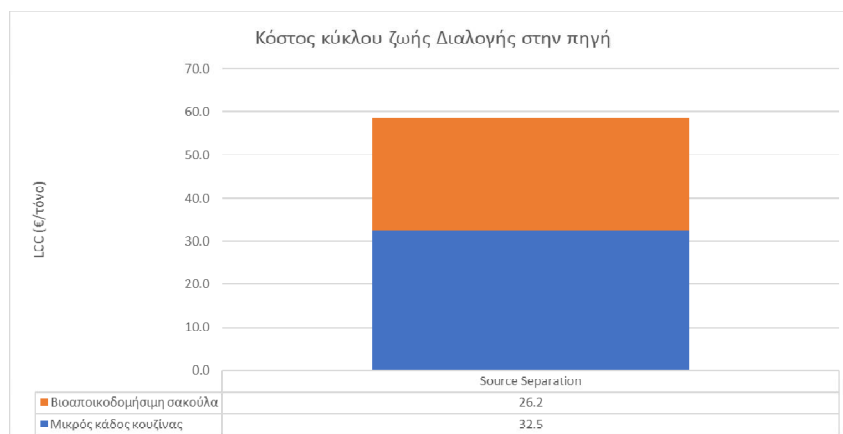
Πίνακας 3-1: Φυσικές και Οικονομικές Παράμετροι για στάδιο Διαλογής στη Πηγή

Αντικείμενο	Ετήσιος Ρυθμός Χρήσης	Μονάδες Μέτρησης
Μικροί κάδοι κουζίνας	0.12	τόνοι/έτος
Βιοαποικοδομήσιμες σακούλες	702076	σακούλες/έτος
Φυσικές Παράμετροι		
BT (σακούλες/τόνο αποβλήτων)	185	
Vb (όγκος σακούλας)	0.03	μ3
DW (πυκνότητα υπολειμμάτων κουζίνας)	0.3	τόνοι/μ3
OR (μέσο ποσοστό πληρότητας σακούλας)	0.6	
Όγκος μικρών κάδων κουζίνας	0.03	μ3
Ορίζοντας ζωής μικρών κάδων κουζίνας	7	χρόνια
Ποσοστό διαλογής στην πηγή για τα υπολείμματα κουζίνας	0.7	
Οικονομικές Παράμετροι		
Κόστος αγοράς ανά σακούλα (πλήν ΦΠΑ)	0.114	€
Κόστος αγοράς μικρού κάδου κουζίνας (πλήν ΦΠΑ)	22	€
ΦΠΑ	0.24	
Κόστος αγοράς ανά σακούλα	0.14136	
Κόστος αγοράς μικρού κάδου κουζίνας	27.28	

Πίνακας 3-2: Κόστος Κύκλου Ζωής για Διαλογή στην πηγή

Αντικείμενο	Ετήσιος Ρυθμός Χρήσης (τόνοι/έτος)	Ορίζοντας ζωής (έτη)	Κόστος (€/αντικείμενο)	Κόστος Κύκλου Ζωής (€/τόνο)
Μικρός κάδος κουζίνας	0.120	7	27.28	32.5
	Ετήσιος Ρυθμός Χρήσης (τόνοι/έτος)		Κόστος (€/αντικείμενο)	Κόστος Κύκλου Ζωής (€/τόνο)
Βιοαποικοδομήσιμη σακούλα	185		0.14	26.2
Κόστος κύκλου ζωής διαλογής στην πηγή				58.7

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται το κόστος κύκλου ζωής για τη διαλογή στην πηγή:



Διάγραμμα 1: Κόστος Κύκλου ζωής για Διαλογή στην πηγή

3.2 Συλλογή & Μεταφορά

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι φυσικές και οικονομικές παράμετροι για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής για το στάδιο της συλλογής και μεταφοράς αποβλήτων:

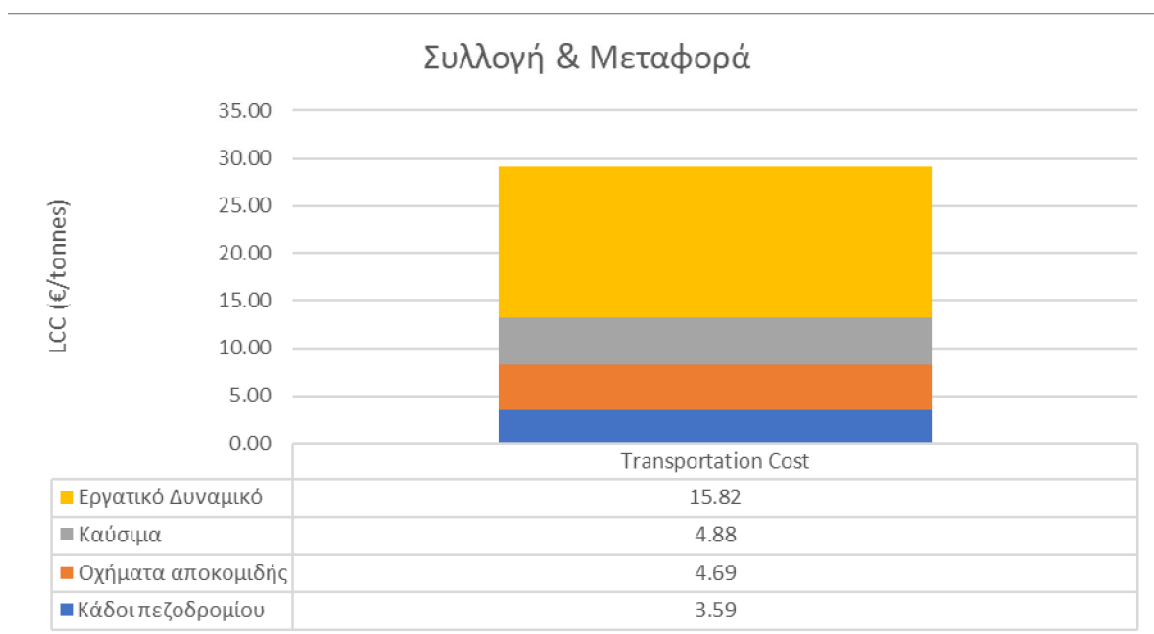
Πίνακας 3-3: Φυσικές και Οικονομικές παράμετροι για στάδιο Συλλογής & Μεταφοράς αποβλήτων

Αντικείμενο	Ετήσιος Ρυθμός Χρήσης	Μονάδα μέτρησης
Κάδοι πεζοδρομίου	3.63	(τόνοι/έτος)
Οχήματα αποκομιδής	2238.4	(τόνοι/έτος)
Φυσικές Παράμετροι		
AWGhh (Μέση ετήσια ποσότητα αποβλήτων ανά νοικοκυριό)	0.12	τόνοι/νοικοκυριό/έτος
Dw (πυκνότητα αποβλήτων)	0.03	τόνοι/μ3
Vc (όγκος κάδων πεζοδρομίου)	360	λίτρα
CF (ετήσια συχνότητα αποκομιδής)	104	φορές/έτος
nhhs (πλήθος νοικοκυριών που μοιράζονται έναν κάδο πεζοδρομίου)	29.5	νοικοκυριά ανά κάδο πεζοδρομίου
nhhscr (number of households sharing a collection point)	29.5	νοικοκυριά ανά σημείο συλλογής
nccr (number of containers in the collection point)	1	
Ετήσιος ρυθμός χρήσης κάδου πεζοδρομίου	3.6	τόνοι/έτος
Alt (μέση φόρτιση οχήματος αποκομιδής)	2	τόνοι/κύκλο αποκομιδής
Att (ώρες χρήσης οχήματος αποκομιδής ανά έτος)	3000	ώρες/έτος
Tr (διάρκεια κύκλου αποκομιδής = TL+TD+TH+TU)	2.68	ώρες/έτος
TD (χρόνος οδήγησης ανά κύκλο αποκομιδής = (NS-1)*Ddr/Vdr)	33.77	λεπτά
NS (πλήθος στάσεων ανά κύκλο αποκομιδής= ALT / AWGhh/CF*nhhsc)	57	
Ddr (απόσταση μεταξύ στάσεων)	0.2	χλμ
Vdr (ταχύτητα οδήγησης)	20	χλμ/ώρα
Tst (διάρκεια στάσης για αποκομιδή)	2	λεπτά
TL (καθαρή διάρκεια αποκομιδής απορριμμάτων ανά κύκλο αποκομιδής)	114.6	λεπτά
TH (διάρκεια πορείας προς το σταθμό εκφόρτωσης απορριμμάτων)	7.5	λεπτά
TU (διάρκεια εκφόρτωσης)	5	λεπτά
Dha (απόσταση προς το σταθμό εκφόρτωσης απορριμμάτων)	2.5	χλμ
Vha (ταχύτητα οδήγησης προς το σταθμό εκφόρτωσης)	20	χλμ/ώρα
LTcollection(απαιτούμενο εργατικό δυναμικό ανά τόνο αποβλήτου)	2.68	εργάτες
Ετήσιος ρυθμός χρήσης οχημάτων αποκομιδής (usage rate truck= Att*Alt/Tr)	2238.4	τόνοι/έτος

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζεται το κόστος κύκλου ζωής για το στάδιο της Συλλογής & Μεταφοράς των αποβλήτων:

Πίνακας 3-4: Κόστος κύκλου ζωής για Συλλογή & Μεταφορά αποβλήτων

Αντικείμενο	Μονάδα μέτρησης	Ποσότητα	Κόστος		Κόστος Κύκλου Ζωής (€/τόνο)
Κάδοι πεζοδρομίου	τόνοι/έτος	3.63	€/κάδο	65.19	3.59
Οχήματα αποκομιδής	έτη	5.00			
	τόνοι/έτος	2238.36	€/όχημα	105000	4.69
Καύσιμα	έτη	10.00			
	λίτρα/τόνο	3.25	€/λίτρο	1.5	4.88
Εργατικό Δυναμικό	Ανθρωποώρες/τόνο	2.68	€/ανθρωποώρα	5.9	15.82
Κόστος κύκλου ζωής Συλλογής & Μεταφοράς					28.97



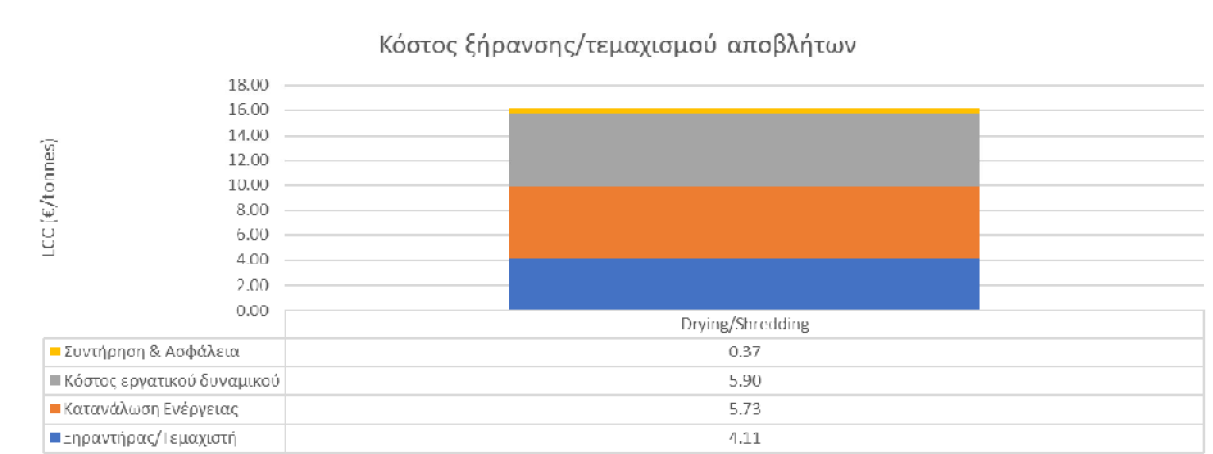
Διάγραμμα 2: Κόστος κύκλου ζωής για Συλλογή & Μεταφορά αποβλήτων

3.3 Ξήρανση/Τεμαχισμός αποβλήτων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι φυσικές και οικονομικές παράμετροι για τον υπολογισμό του κόστους κύκλου ζωής καθώς και το κόστος κύκλου ζωής για το στάδιο της ξήρανσης/τεμαχισμού αποβλήτων:

Πίνακας 3-5: Κόστος κύκλου ζωής για στάδιο ξήρανσης/τεμαχισμού αποβλήτων

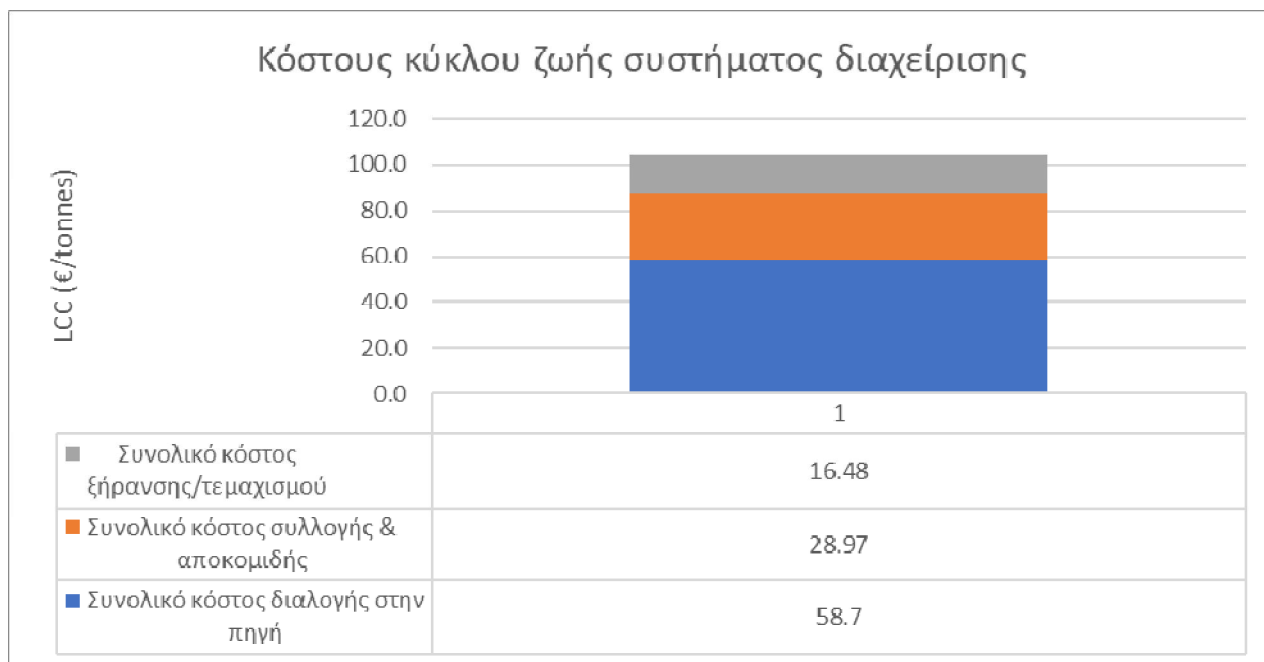
Αντικείμενο	Μονάδα μέτρησης	Ποσότητα	Κόστος		Κόστος Κύκλου Ζωής (€/τόνο)
Ξηραντήρας/Τεμαχιστή	τόνοι/έτος	730.00	€	60000	4.11
	έτη	20.00			
Κατανάλωση Ενέργειας	kWh/τόνο	25.00	€/kWh	0.22926	5.73
Κόστος εργατικού δυναμικού	ανθρωποώρες/τόνο	1.00	€/ανθρωποώρα	5.9	5.90
Ασφάλεια			% Κόστους Επένδυσης	0.07	0.29
Συντήρηση			%Κόστους Επένδυσης	0.014	0.08
Συντήρηση & Ασφάλεια					0.37
Συνολικό κόστος ξήρανσης/τεμαχισμού					16.48



Διάγραμμα 3: Κόστος κύκλου ζωής για στάδιο ξήρανσης/τεμαχισμού αποβλήτων

3.4 Συνολικό κόστος κύκλου ζωής προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται το συνολικό κόστος κύκλου ζωής του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης καθώς και η διάρθρωση του στα διάφορα στάδια.



Διάγραμμα 4: Κόστος κύκλου ζωής προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης για τα υπολείμματα κουζίνας στο Δήμο Χαλανδρίου

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς, το συνολικό κόστος διαχείρισης ανά τόνο υπολειμματος κουζίνας - βάσει του προτεινόμενου σχεδίου διαχείρισης - ανέρχεται στα 104€. Με το υπάρχον σύστημα διαχείρισης, όπου το σύνολο των οργανικών αποβλήτων καταλήγει στο ΧΥΤΑ- μέσω του πράσινου κάδου, το κόστος διαχείρισης ανέρχεται στα 170 €/τόνο αποβλήτου. Συνεπώς, σε ενδεχόμενη εφαρμογή του πιλοτικού συστήματος διαχείρισης, στο σύνολο του Δήμου Χαλανδρίου, και με την παραδοχή ότι θα επιτυγχάνεται εκτροπή από το ΧΥΤΑ υπολειμμάτων κουζίνας σε ποσοστό 80%, τότε θα επιτυγχάνεται ετήσια μείωση των δαπανών για τη διαχείριση των αποβλήτων του Δήμου, της τάξης των 290.000€. Σε αυτούς του υπολογισμούς δεν υπολογίζεται η πιθανή εμπορική αξιοποίηση του παραγόμενου προϊόντος βιομάζας, του FORBI.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εναλλακτική αξιοποίηση των υπολειμμάτων κουζίνας, η οποία εφαρμόζεται πιλοτικά στο Δήμο Χαλανδρίου στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Waste4think, προσφέρει τη δυνατότητα επαναπροσδιορισμού της υπάρχουσας αντίληψης, σχετικά με τη διαχείριση των ΑΣΑ. Η ιδέα της τοπικής διαχείρισης των οργανικών, είναι εξαιρετικά σημαντική και καινοτόμα, διότι αποφεύγονται τα μεγάλα κόστη μεταφοράς σε κεντρικές αλλά και απομακρυσμένες μονάδες διαχείρισης. Επίσης, το προϊόν βιομάζας που προκύπτει από τη διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού των υπολειμμάτων κουζίνας (FORBI), προσφέρει την ευελιξία εναλλακτικής αξιοποίησης για την παραγωγή ενέργειας καθώς και την παραγωγή υλικών με υψηλή προστιθέμενη αξία.

Το όραμα πίσω από την ιδέα της συγκεκριμένης εναλλακτικής αξιοποίησης, είναι η μετατροπή του Δήμου Χαλανδρίου, αλλά και οποιουδήποτε Δήμου επέλεγε την εφαρμογή αυτού του συγκεκριμένου υποδείγματος διαχείρισης, από παραγωγό οργανικών αποβλήτων σε παραγωγό προϊόντος βιομάζας.

Η οικονομοτεχνική αποτίμηση του προτεινόμενου σχεδίου διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας του Δήμου Χαλανδρίου, ανέδειξε τη σημασία - από οικονομικής απόψης - που έχει η κατά το δυνατόν εκτροπή από το ΧΥΤΑ των παραγόμενων αποβλήτων του Δήμου. Η εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα του σχεδίου, μπορεί να μειώσει το κόστος διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας από 170 €/τόνο στα 104 €/τόνο, κάτι που θα οδηγήσει σε συνολική μείωση δαπανών της τάξης των 300.000€ ετησίως. Σε αυτήν την εκτίμηση δεν περιλαμβάνεται η πιθανότητα εμπορικής αξιοποίησης του FORBI, καθώς και των προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας που μπορούν να προκύψουν από αυτό, ανάλογα με το σενάριο που θα επιλεγεί και θα εφαρμοστεί (π.χ υποκατάσταση καυσίμων με υθάνιο παραγόμενο από FORBI, με το οποίο θα τροφοδοτούνται τα οχήματα αποκομιδής απορριμμάτων).

5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε το πιλοτικό σύστημα διαχείρισης υπολειμμάτων κουζίνας που εφαρμόζεται στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Waste4think στο Δήμο Χαλανδρίου.

Πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση των χαρακτηριστικών του συστήματος καθώς επίσης και τεχνικοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος στην πιλοτική του μορφή. Ερευνητικές εργασίες στο μέλλον θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στα εξής:

1. Οικονομοτεχνική ανάλυση του συστήματος διαχείρισης στην πλήρη έκταση και εφαρμογή του, συμπεριλαμβάνοντας την εμπορική ή άλλη αξιοποίηση του FORBI.
2. Ανάλυση κύκλου ζωής του συστήματος διαχείρισης για την κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ωφελημάτων του.
3. Βάσει των παραπάνω βελτιστοποίηση του συστήματος τόσο στο τεχνικό/επιστημονικό όσο και στο διαχειριστικό/οικονομικό του κομμάτι.
4. Ανάπτυξη μεθόδων διαχείρισης ή/και συνδιαχείρισης και άλλων ρευμάτων αστικών οργανικών και γενικότερα στερεών απορριμμάτων.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., & Genevini, P. (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 173-179.
- al, Θ. e. (2006).
- Beffa, T. (2002). The composting biotechnology: A microbial aerobic solid substrate fermentation complex process. *The composting process and management*, 1-37.
- Charles. (2010, February). Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-819.
- Cho, K., Lee, S., Math , R., Islam, S., Kambiranda, D., Kim, J., . . . Lee, Y. (2008). Culture-independent analysis of microbial succession during composting of swine slurry and mushroom cultural wastes. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1874-1883.
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *Circular Economy Overview*. Circular Economy.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *Urban Biocycles*. London: Ellen MacArthur Foundation.
- Environmental Protection Agency. (2012). *methane*. EPA.
- Environmental Protection Agency. (2015). *Composting at Home*. USEPA.
- Eurostat. (2009). *Eurostat*.
- Eurostat. (2017). *Waste management indicators*. EU.
- farmtogethernow.org. (2014). *Food waste causes, effects and solutions*.
- Haug, R. (1992). *The practical handbook of compost engineering*. CRC Press.
- <http://www.edsna.gr/index.php/topika-sxedia/odigos-sint>. (2018). *Ποσοστό Ανακύκλωσης Δήμων Αττικής 2012-2013.xlsx*.

- Masullo, A. (2017). Organic wastes management in a circular economy approach: Rebuilding the link between urban and rural areas. *Ecol. Eng.*, 101, 84-90.
- Papadopoulou, K., Alonso Vicario, A., Niakas, S., Melanitou, E., Lytras, C., Kornaros, M., . . . Lyberatos, G. (2017). Life Cycle thinking, the key for a Circular Economy: the Municipality of Halandri case. *15th International Conference on Environmental Science and Technology*. Rhodes: CEST 2017.
- Skourides, I., Theophilou, C., Loizides, C., Hood, P., & Smith, S. (2006). Optimisation of advanced technology for production of consistent auxiliary fuels from biodegradable municipal waste for industrial purposes. *Sustainable Waste and Resource Management*.
- Velis, C., Longhurst, P., Drew, G., Smith, R., & Pollard, S. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology*, 2747-2761.
- WWF. (2007). *Διαχείριση Απορριμμάτων στην Ελλάδα*. Αθήνα.
- Zhang, R., H.M., E.-M., K., H., F., W., G., L., C., C., & Gamble, P. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 929-935.
- Δήμος Χαλανδρίου. (2018, Απρίλιος). *Δήμος Χαλανδρίου - Επίσημος Διαδικτυακός Τόπος*. Ανάκτηση από <http://www.halandri.gr/>
- ΕΕΣΔΑ. (2016).
- Μαυρόπουλος, Α. (2008). *Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων*. ΕΣΔΑΚ.
- Μιχαλόπουλος, Ι. (2017). *Ολοκληρωμένη αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων προς παραγωγή βιοαερίου σε πιλοτικής κλίμακας Περιοδικό Αναερόβιο Χωνευτήρα με Ανακλαστήρες (PABR) και παραγωγή εδαφοβελτιωτικού*. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (2001). *Στερεά Απορρίμματα στην Αττική*. Αθήνα.
- ΥΠΕΚΑ. (2016(b)).

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής. (2015). *Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων*. Αθήνα.

7 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Κατηγοριοποίηση Στερεών Αποβλήτων	1
Εικόνα 1-2: Πυραμίδα ιεράρχησης για τη διαχείριση αποβλήτων (Ellen MacArthur Foundation, 2016)	6
Εικόνα 1-3: Σχηματική απεικόνιση της κυκλικής οικονομίας	10
Εικόνα 1-4: Χάρτης του Δήμου Χαλανδρίου	12
Εικόνα 1-5: Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	13
Εικόνα 1-6: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα	14
Εικόνα 1-7 Ξηραντήρας θαλάμου κενού	19
Εικόνα 1-8 : Ξηραντήρας σήραγγας	21
Εικόνα 1-9: Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας.....	22
Εικόνα 1-10: Ξηραντήρας Ενδιάμεσης Κυκλοφορίας	22
Εικόνα 1-11: Ξηραντήρας τουρμπίνας.....	24
Εικόνα 1-12: Περιστροφικός Ξηραντήρας.....	25
Εικόνα 1-13: Ξηραντήρας τυμπάνων.....	26
Εικόνα 1-14: Βιολογική Ξήρανση σε Καλυμμένους Σωρούς	29
Εικόνα 1-15: Βιολογική Ξήρανση σε Κουτιά	29
Εικόνα 1-16: Διάγραμμα Ροής Μετατροπής Βιομάζας σε Βιοαέριο (Πηγή: Λυμπεράτος Γ.,2013 <i>Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων</i>).....	33
Εικόνα 2-1: Έντυπο – Αίτηση συμμετοχής στο πρόγραμμα.....	40
Εικόνα 2-2: Εξοπλισμός κατοίκων για εφαρμογή συστήματος διαλογής στην πηγή υπολειμμάτων κουζίνας.....	41
Εικόνα 2-3: Κάδος 120 λίτρων, Σύστημα αναγνώρισης κάδου, Συλλεγμένα Βιοαπόβλητα, Όχημα συλλογής βιοαποβλήτων, Μονάδα επεξεργασίας/ξήρανσης του Δήμου	42
Εικόνα 2-4: Ξηραντήρας/Τεμαχιστήρας	43
Εικόνα 2-5: Α. Βιοαποδομήσιμα Β. Προϊόν βιομάζας FORBI.....	44

Εικόνα 2-6: Σύστημα συλλογής και διαχείρισης ΒΑΑ στο Χαλάνδρι	45
Εικόνα 2-7: Συλλογή Βιοαποβλήτων, Εναπόθεση στο δοχείο αποθήκευσης, Άδειασμα ξηραντήρα.....	48
Εικόνα 2-8: Ξηραντήρας Δήμου Χαλανδρίου, Πίνακας ελέγχου του Ξηραντήρα	48