



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΙV ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΔΙΑΛΕΓΜΕΝΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΖΥΜΩΣΙΜΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία  
Του  
Γεώργιου Βερυβάκη

Επιβλέπων Καθηγητής  
Γεράσιμος Λυμπεράτος

Αθήνα, 2019

# Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
1 Θεωρητικό Μέρος .....	7
1.1 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ.....	7
1.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των αστικών στερεών αποβλήτων .....	8
1.1.2 Χημικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ .....	9
1.1.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ.....	9
1.1.4 Οικιακά στερεά απορρίμματα .....	10
1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	11
1.2.1 Προτάσεις – προοπτικές.....	16
1.2.2 Εθνική Νομοθεσία.....	17
1.2.3 Σύσταση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων.....	18
1.2.4 Το πρόγραμμα WASTE4think .....	19
1.3 Ορισμός LCA .....	21
1.4 Τί πρέπει να γνωρίζουμε πριν εφαρμόσουμε τη μέθοδο LCA.....	24
2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	25
2.1 Ανάλυση συστήματος μελέτης.....	25
2.1.1 Συλλογή .....	25
2.1.2 Μεταφορά.....	25
2.1.3 Ξήρανση/Τεμαχισμός .....	25
2.1.4 Αναερόβια χώνευση .....	25
2.1.5 Κομποστοποίηση.....	26
2.1.6 Διάθεση σε ΧΥΤΑ .....	27
2.2 Προσδιορισμός Αντικείμενου και Στόχου .....	27
2.2.1 Προσδιορισμός Στόχου .....	27
2.2.2 Λειτουργική Μονάδα .....	27
2.2.3 Οριοθέτηση Συστήματος.....	27
2.2.4 Μέθοδος εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.....	28
2.2.5 Συλλογή Βασικών Δεδομένων.....	28
2.2.6 Περιορισμοί Μελέτης.....	30
2.3 Καταγραφή δεδομένων.....	30
2.3.1 Σενάριο Αναφοράς .....	30
2.3.2 Εναλλακτικό Σενάριο .....	31
2.4 Εκτίμηση περιβαλλοντικού αποτυπώματος εναλλακτικών σεναρίων .....	37
2.5 Ανάλυση ευαισθησίας.....	39
3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	41

4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	42
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	43

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας στη σχολή των Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.. Θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή Κύριο Γεράσιμο Λυμπεράτο για τη μεγάλη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Εξίσου σημαντική βοήθεια προσέφερε και ο υποψήφιος διδάκτορας Δημήτρης Μαθιουδάκης και για αυτό το λόγο θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά. Ευχαριστώ επίσης και τα μέλη της οικογένειάς μου που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, δε θα πρέπει να ξεχάσω να ευχαριστήσω όλους τους υποψήφιους διδάκτορες και τους προπτυχιακούς φοιτητές που εκπονούσαν τη διπλωματική τους εργασία, οι οποίοι βρίσκονταν μαζί μου στο εργαστήριο Οργανικής Χημικής Τεχνολογίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα της Ελλάδας, είναι ότι όλα τα απόβλητα απορρίπτονται σε έναν κάδο και μεταφέρονται σύμμεικτα στο ΧΥΤΑ. Αυτό σε συνδυασμό με τις αυξημένες εκπομπές ρύπων, την έλλειψη αξιοποίησης των αποβλήτων και την αύξηση της συνολικής ποσότητας των αποβλήτων, αποτελεί σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση, η οποία θα μπορούσε να αποφευχθεί μέσω της ανάπτυξης ενός εναλλακτικού σχεδίου διαχείρισης βασιζόμενου στη διαλογή στην πηγή.

Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει μία προσπάθεια για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, στο δήμο Χαλανδρίου στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος Horizon2020, το WASTE4think έχει αναπτυχθεί και σταδιακά εφαρμόζεται σε πλήρη κλίμακα ως ένα εναλλακτικό σχέδιο διαχείρισης με έμφαση στη διαλογή στην πηγή των Τροφικών Υπολειμμάτων. Με τον όρο προδιαλογή στην πηγή, εννοούμε να χρησιμοποιούνται πολλοί διαφορετικοί κάδοι για την απόρριψη των αποβλήτων και όχι να είναι σύμμεικτα.

Στην παρούσα εργασία υπολογίζεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του υπάρχοντος μοντέλου διαχείρισης των αποβλήτων, δηλαδή του μοντέλου στο οποίο τα απόβλητα σύμμεικτα οδηγούνται στον ΧΥΤΑ και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης των αποβλήτων, δηλαδή του συστήματος που περιλαμβάνει και διαλογή στην πηγή. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα υπολογίζεται με τη βοήθεια του λογισμικού EASETECH, το οποίο εφαρμόζει ανάλυση κύκλου ζωής στη διαχείριση των αποβλήτων.

Αφού υπολογίστηκαν τα περιβαλλοντικά αποτυπώματα των δύο σεναρίων, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το προτεινόμενο σενάριο είναι πιο φιλικό περιβαλλοντικά από το υπάρχον σενάριο.

## ABSTRACT

One of the most important problems in Greece is that all waste is disposed of in one bin and that all waste is transferred to landfill. This problem combined with the raise of pollutants emissions, the absence of waste management and the raise of the total amount of waste production, constitutes a serious environmental burden to the country, which could be avoided by means of applying an alternative waste management plan, based on waste sorting.

During the last years, an effort has been made to face these problems. More specifically, in Halandri municipality a European program for waste sorting is being developed by the National and Technical University of Athens in cooperation with the local municipality of Halandri. This program informs and sensitizes the citizens about the environment. Waste sorting is the procedure with which waste is disposed of in many different bins. In program WASTE4think FORBI is also included, which is a product from the waste management and which has many different uses. One of these uses is the production of biogas and the use of biogas as a vehicle fuel.

In this assignment the environmental footprint of the current model of waste management is calculated, in which there is no waste sorting and the environmental footprint of the suggested model of waste management is calculated too, in which we perform waste sorting. The environmental footprint is calculated with EASETECH, which is a software that performs Life Cycle Assessment for waste management.

After computing the environmental footprints of the two scenarios, we conclude that the suggested scenario is more friendly environmentally than the scenario that is being used at this time. Therefore, we would choose to perform waste sorting in the model of waste management.

# 1 Θεωρητικό Μέρος

## 1.1 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ

Στερεά απόβλητα είναι τα στερεά υλικά, τα οποία χρησιμοποιεί ο άνθρωπος καθημερινά και από τα οποία θέλει ή υποχρεούται να απαλλαγεί. Τα υλικά αυτά προέρχονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών, των εμπορικών εγκαταστάσεων και των καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος(καφέ, εστιατόρια κ.λπ.).

Τα στερεά απόβλητα είναι μία σημαντική αιτία υποβάθμισης του αστικού και του φυσικού περιβάλλοντος με μεγάλες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η διαχείρισή τους θεωρείται ένα θέμα πολύπλοκο με οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις.

Ο χαρακτηρισμός μίας ουσίας ως απόβλητο δεν εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητές της αλλά και από: α) τις οικονομικές συνθήκες που ισχύουν (η αξία των υλικών μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά), β) Το κόστος της απόρριψης (μπορεί να αυξηθεί με την επιβολή τελών), γ) την ισχύουσα νομοθεσία (πρόστιμο για πλημμελή ή παράνομη απόρριψη) [1].

Τα απόβλητα γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα αστικά απόβλητα(απορρίμματα) και τα ειδικά απόβλητα. Τα ειδικά απόβλητα ταξινομούνται σε επικίνδυνα απόβλητα, μη επικίνδυνα απόβλητα και ιατρικά απόβλητα [2].

Επικίνδυνα απόβλητα είναι τα απόβλητα εκείνα που περιέχουν ουσίες που χαρακτηρίζονται ως τοξικές, εκρηκτικές, εύφλεκτες, καρκινογόνες, ραδιενεργές, ερεθιστικές και μεταλλαξιογόνες, καθώς και κάθε ουσία που μπορεί να προκαλέσει μολύνσεις στα νερά(επιφανειακά ή υπόγεια), τον αέρα ή το έδαφος.

Οι πλέον σημαντικές κατηγορίες επικίνδυνων αποβλήτων είναι:

- Τα βιομηχανικά απόβλητα (κυρίως από τους κλάδους της μεταλλουργίας, της διύλισης του αργού πετρελαίου και της παραγωγής χημικών προϊόντων και λιπασμάτων).
- Τα νοσοκομειακά απόβλητα
- Τα χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια
- Τα πολυχλωροδιφαινύλια και τα πολυχλωροτριφαινύλια
- Οι συσσωρευτές μολύβδου και οι ηλεκτρικές στήλες

Τα αστικά απορρίμματα αποτελούνται από πολλά διαφορετικά είδη υλικών, υπάρχει δηλαδή ανομοιογένεια. Η ορθότερη κατηγοριοποίηση των απορριμμάτων, σύμφωνα με δειγματοληψίες και αναλύσεις, περιλαμβάνει τις εξής ομάδες υλικών:

- Ζυμώσιμα, στα οποία περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας και κήπου
- Χαρτί – Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων
- Μέταλλα – Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών που συναντώνται στα απορρίμματα. Θεωρείται δόκιμο να ξεχωρίζουμε τα σιδηρούχα από τα μη σιδηρούχα μέταλλα, λόγω της μαγνητικής ιδιότητας που παρουσιάζουν τα πρώτα.
- Οι μπαταρίες, οι οποίες έχουν μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας.
- Γυαλί. Η διαχείριση των αποβλήτων γυαλιού στη χώρα μας χαρακτηρίζεται κυρίως από την έλλειψη υαλουργιών, κυρίως σε περιοχές που βρίσκονται μακριά από την Αττική.
- Πλαστικό. Στην κατηγορία αυτή ανήκει το σύνολο των πολυμερών απορριμμάτων. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών(π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET)

- Δέρμα, ξύλο, λάστιχο, ύφασμα
- Αδρανή- εδώ περιλαμβάνονται υλικά χημικά ανενεργά που καταλήγουν στα οικιακά απορρίμματα(π.χ. χώματα, πέτρες)
- Λοιπά - τα υλικά που δε μπορούν να κατανεμηθούν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες

Ακολουθεί η πυραμίδα ιεράρχησης των επιλογών για τη διαχείριση των αστικών στερεών απορριμμάτων:



Εικόνα 1:Πυραμίδα ιεράρχησης των επιλογών επεξεργασίας αποβλήτων[3]

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα, η ιεράρχηση των επιλογών επεξεργασίας των αποβλήτων είναι η παρακάτω:

1. Η πρόληψη και η ελαχιστοποίηση των στερεών αποβλήτων
2. Η επανάκτηση με ανακύκλωση χρήσιμων υλικών
3. Η ανάκτηση ενέργειας
4. Η βελτιστοποίηση της τελικής διάθεσης των αποβλήτων [3]

Το 2010 η Κύπρος είχε τη μεγαλύτερη ποσότητα παραγόμενων αστικών αποβλήτων από όλες τις χώρες της Ευρώπης, με 760 kg ανά άτομο το χρόνο, ενώ η Φιλανδία , η Σουηδία και το Βέλγιο είχαν 400-500 kg ανά άτομο το χρόνο.

Στην Ελλάδα, η ετήσια παραγωγή απορριμμάτων ανά άτομο είναι 500 κιλά. Τα τελευταία 10 χρόνια αυξήθηκε η παραγωγή σκουπιδιών στην Ελλάδα κατά ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 40%. Μόνο οι κάτοικοι της Αθήνας παράγουν περίπου 6500 τόνους σκουπιδιών ημερησίως (χωρίς τους χιλιάδες τόνους βιομηχανικών αποβλήτων). Στο σύνολό της η Ελλάδα παράγει ετησίως 20 εκατομμύρια τόνους αστικών απορριμμάτων. [4]

### 1.1.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των αστικών στερεών αποβλήτων

Φυσικά χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων είναι: η πυκνότητα (ή ειδικό βάρος), η υγρασία, η κοκκομετρία, η υδροαπορροφητικότητα και η υδραυλική αγωγιμότητα.

Ός πυκνότητα ορίζουμε το πηλίκο της μάζας του υλικού προς τον όγκο του. Συχνά γίνεται αναφορά στην πυκνότητα με μονάδες ειδικού βάρους (π.χ. τόνοι ανά κυβικό μέτρο). Οι τιμές του ειδικού βάρους είναι απαραίτητες για τις αντιστοιχίες βάρους και όγκου. Οι μετρήσεις βάρους είναι πιο εύκολες από τις μετρήσεις όγκου. Το ειδικό βάρος των ΑΣΑ (αστικών στερεών αποβλήτων) εξαρτάται από τη φάση στη διαδικασία διαχείρισης.



Η υγρασία είναι ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό για την καταλληλότητα των ΑΣΑ για καύση και παραγωγή ατμού ή/και ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή το νερό πρέπει να εξατμιστεί πριν εφαρμοστεί θερμική επεξεργασία. Επίσης, επηρεάζει την κομποστοποίηση και τη συμπεριφορά των ΑΣΑ σε έναν ΧΥΤΑ, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες.

Η υδραυλική αγωγιμότητα ενός υλικού (π.χ. του εδάφους ή των αποβλήτων) είναι ένα μέτρο της ταχύτητας με την οποία το νερό διαπερνάει το υλικό. Για κάθε συγκεκριμένο υλικό η υδραυλική αγωγιμότητα μετριέται στο εργαστήριο κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πιεζομετρικού ύψους. Οι μονάδες μέτρησης είναι μονάδες ταχύτητας, δηλαδή μήκος ανά μονάδα χρόνου.

Η αποτελεσματικότητα, όμως, των επεξεργασιών εκείνων που σχετίζονται με την καύση, τη συμπίεση, την κομποστοποίηση, κυρίως όμως με τη μηχανική διαλογή, και την ανάκτηση των υλικών εξαρτάται και από την κοκκομετρία των ΑΣΑ. Για το μέγεθος (ή κοκκομετρία) χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα όπως το μήκος, η μέση τιμή του μήκους, το πλάτος, ή η τετραγωνική ρίζα του μήκους επί του πλάτους.

### 1.1.2 Χημικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ

Η θερμογόνος δύναμη του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ είναι χημικό χαρακτηριστικό τους και ορίζεται ως η θερμότητα (θερμική ενέργεια) που εκλύεται όταν αυτό καίγεται πλήρως. Ένα ποσοστό της μάζας του υλικού παραμένει ως αδρανές υπόλειμμα (τέφρα).

Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (Α.Θ.Δ.) ορίζεται ως το ποσό της θερμότητας που παράγεται μέσω πλήρους καύσης σε θερμιδόμετρο (bomb calorimeter) μιας ποσότητας δείγματος σε ατμόσφαιρα οξυγόνου υποθέτοντας ότι τόσο το νερό που περιέχονταν στο δείγμα όσο και αυτό που παράχθηκε από το υδρογόνο παραμένει σε υγρή μορφή. Όταν το νερό των προϊόντων παραμένει σε μορφή ατμών τότε μιλάμε για την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (Κ.Θ.Δ.).

### 1.1.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ

Τα βιολογικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα εκείνων των μορφών επεξεργασίας οι οποίες συνεπάγονται βιοαποικοδόμηση (ή βιοδιάσπαση ή βιοσταθεροποίηση) της οργανικής ύλης των ΑΣΑ. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται στη βιοαποδομησιμότητα, στις παραγόμενες οσμές, και στην ανάπτυξη εντόμων.

Το βασικότερο βιολογικό χαρακτηριστικό των ΑΣΑ είναι ότι ένα μέρος από το οργανικό τους κλάσμα είναι βιοαποικοδομήσιμο. Αυτό σημαίνει ότι το βιοαποικοδομήσιμο μέρος αυτό μπορεί να μετατραπεί με βιολογικές διεργασίες σε αέρια και σε σχετικώς αδρανή οργανικά και ανόργανα στερεά. Η βιολογική αυτή διαδικασία μπορεί να λάβει χώρα:

- είτε σε αναερόβιες (απουσία οξυγόνου) συνθήκες, οπότε παράγονται οσμές και αναπτύσσονται έντομα.
- ή σε αερόβιες (παρουσία οξυγόνου) συνθήκες, οπότε παράγεται ένα άοσμο, σταθεροποιημένο στερεό υλικό (compost) πλούσιο σε οργανική ύλη, υδατάνθρακες και πρωτεΐνες. [5]

Με εξαίρεση τα πλαστικά, τα ελαστικά και τα δέρματα, το οργανικό κλάσμα των περισσότερων ΑΣΑ ταξινομείται ως εξής:

- Υδατοδιαλυτά συστατικά, όπως σάκχαρα, άμυλα, αμινοξέα και διάφορα οργανικά οξέα

- Ημικυτταρίνη, η οποία είναι προϊόν συμπυκνώσεως σακχάρων 5 και 6 ανθράκων
- Κυτταρίνη, η οποία είναι προϊόν συμπυκνώσεως σακχάρων 6 ανθράκων
- Λίπη, έλαια και κεριά: εστέρες αλκοολών και λιπαρών οξέων μακρών αλυσίδων
- Λιγνίνη, πολυμερές με αρωματικούς δακτυλίους και μεθοξυλομάδες(-OCH<sub>3</sub>)
- Λιγνοκυτταρίνη, η οποία είναι συνδυασμός λιγνίνης και κυτταρίνης
- Πρωτεΐνες: που είναι πολυμερή με δομική μονάδα τα αμινοξέα[6]

<b>ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ</b>	<b>ΠΡΟΙΟΝΤΑ</b>
Αερόβια Λιπασματοποίηση	Αερόβια Βιομετατροπή εξαρτάται από υγρασία, οργανικά, θρεπτικά, περιβάλλον	Κομπόστ (εδαφοβελτιωτικό)
Αναερόβια χώνευση	Αναερόβια βιοδιεργασία	Βιοαέριο, ιχνοστοιχεία αερίων, λάσπη
Αναερόβια Λιπασματοποίηση (στις χωματερές)	Αναερόβια βιοδιεργασία	Βιοαέριο, χωνευμένο απόβλητο.

Πίνακας 1:Διεργασίες μετατροπής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΣΑ[5]

Τα διάφορα οργανικά υλικά βιοαποδομούνται με διαφορετικό ρυθμό (έχουν διαφορετικό δείκτη βιοαποδομησιμότητας), ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί εμπειρικά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των τροφικών υπολειμμάτων είναι διπλάσιο του βιοαποδομήσιμου κλάσματος του χαρτονιού και τετραπλάσιο του χαρτιού εφημερίδας. [6]

Κατά τη διάρκεια των βιολογικών επεξεργασιών των αποβλήτων εμφανίζονται δύο σοβαρά προβλήματα. Το πρώτο είναι η παραγωγή οσμών, που οφείλεται στις αναερόβιες διεργασίες, που λαμβάνουν χώρα στους χώρους, όπου συσσωρεύονται τα αστικά στερεά απόβλητα (κάδους απορριμμάτων, χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων, κ.λπ.). Η υψηλή θερμοκρασία δρα ως καταλύτης και αυξάνει τη βιοαποδόμηση. Το αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη δυσάρεστων οσμών, που οφείλονται στις ενώσεις του θείου, όπως το υδρόθειο. Το δεύτερο πρόβλημα είναι η ανάπτυξη εντόμων. Η κοινή μύγα αναπτύσσεται σε 9 – 11 μέρες από τη στιγμή παραγωγής αυγών και αποτελεί το όριο που προσδιορίζει την αρχή της βιοαποδόμησης των Α.Σ.Α.[7]

#### 1.1.4 Οικιακά στερεά απορρίμματα

Σε επίπεδο κοινότητας τα αστικά στερεά απόβλητα χωρίζονται σε οικιακά (household), που είναι όσα μαζεύονται σε επίπεδο νοικοκυριού και κοινοτικά (municipal) που είναι όσα μαζεύονται μέσω ή για λογαριασμό της κοινότητας. Αρχικά είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί η διαφορά των κοινοτικών από τα οικιακά απόβλητα. Όταν αναφερόμαστε σε οικιακά απόβλητα, αναφερόμαστε αποκλειστικά σε απόβλητα που υπάρχουν σε σπίτια. Τα κοινοτικά είναι τα οικιακά και όσα μαζεύονται σε επίπεδο κτιρίου(σχολεία, νοσοκομεία) και μικρών επιχειρήσεων. Αυτά μπορεί να έχουν συλλεγεί είτε με τον παραδοσιακό τρόπο,

δηλαδή σύμμεικτα, (σακούλες, ογκώδη αντικείμενα, κήπου) είτε ξεχωριστά (γυαλί, χαρτί, μέταλλα ,επικίνδυνα). Με το να απορρίπτονται όλα τα απόβλητα στον ίδιο κάδο (πράσινος κάδος), χρειάζεται περισσότερη ενέργεια κατά την επεξεργασία τους σε σύγκριση με το να απορρίπτονται σε διαφορετικούς κάδους (μπλε κάδος για ανακύκλωση, κίτρινος κάδος για χαρτί, καφέ κάδος για απόβλητα φαγητού κ.α.). Ένα άλλο πλεονέκτημα του να χρησιμοποιούμε πολλούς διαφορετικούς κάδους (διαλογή στην πηγή), είναι ότι κατά την επεξεργασία τους δεν εκπέμπονται τόσσοι ρύποι όσοι στην περίπτωση που απορρίπτονται όλα τα απόβλητα στον πράσινο κάδο.

Τα οικιακά στερεά απορρίμματα παράγονται σε κατοικίες και μπορεί να περιέχουν τροφικά υπολείμματα, ζυμώσιμα, χαρτιά, χαρτόνια, πλαστικά, υφάσματα, δέρματα, ξύλα, απόβλητα κήπων, γυαλιά, μέταλλα , τέφρα, ογκώδη αντικείμενα, επικίνδυνα- τοξικά οικιακά απόβλητα, ηλεκτρικά είδη, συσκευές κ.α..

Τα οικιακά απόβλητα θεωρούνται μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα.

Γενικά δεν έχουν γίνει πολλές αναλύσεις των οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα κι αυτό σημαίνει δυσκολία επιλογής προγραμμάτων ανακύκλωσης, παρακολούθησης της ποιότητας των απορριμμάτων και γενικότερα δυσκολίες στην διαχείρισή τους.

Αξιοσημείωτο είναι ότι όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των μελών του νοικοκυριού , τόσο μεγαλύτερη είναι η κατ' άτομο παραγωγή απορριμμάτων [8].

## 1.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ετήσια παραγωγή στερεών αποβλήτων από τον οικιακό και εμπορικό τομέα ανέρχεται σε 5,002 εκατομμύρια τόνους με την κατά κεφαλήν παραγωγή να βρίσκεται χαμηλότερα από το μέσο όρο της Ε.Ε.(448 kg αντί 522 kg ετησίως).

Το 87% της ποσότητας αυτής συλλέγεται και διατίθεται συστηματικά, αν και μόνο το 56% αποτίθεται σε οργανωμένους χώρους υγειονομικής ταφής(ΧΥΤΑ), ενώ το 80% των απορριμμάτων καταλήγει αναξιοποίητο σε ΧΥΤΑ.

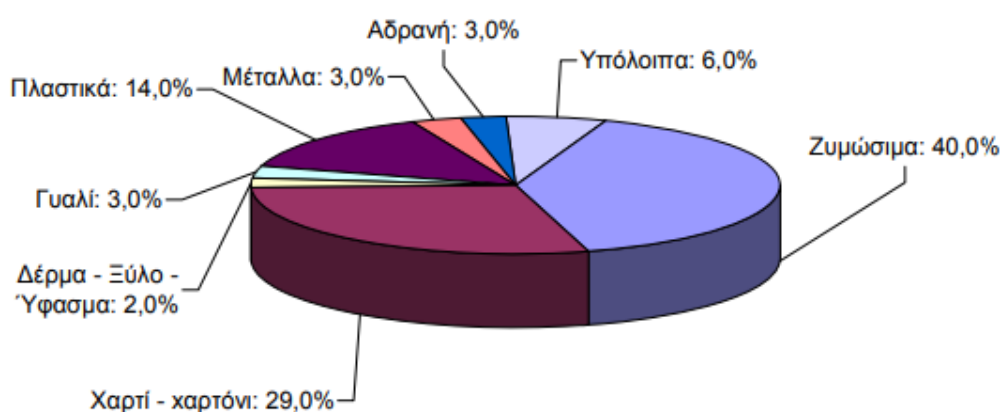
Στην Ελλάδα η βασική μέθοδος διαχείρισης των δημοτικών απορριμμάτων είναι η διάθεση σε ΧΥΤΑ καθώς και σε παράνομες χωματερές. Η ανεξέλεγκτη διάθεση των αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα έχει μεν περιοριστεί αλλά το πρόβλημα παραμένει. Σύμφωνα με το Υπουργείο Εσωτερικών, 397 παράνομες και ανεξέλεγκτες χωματερές λειτουργούσαν το 2013.

Το ποσοστό ανεξέλεγκτης απόρριψης ή ελλιπούς εφαρμογής της υγειονομικής ταφής παραμένει υψηλό, δημιουργώντας προβλήματα ρύπανσης των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, ενώ η αυτανάφλεξη των απορριμμάτων στους χώρους αυτούς οδηγεί στην έκλυση τοξικών αερίων στην ατμόσφαιρα και στη δημιουργία πυρκαγιών. Ένα επιπλέον αρνητικό χαρακτηριστικό των ΧΥΤΑ είναι ότι έχουν υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.[9]

Τα υψηλά επίπεδα τουρισμού που έχει η Ελλάδα ως χώρα προκαλούν περαιτέρω προβλήματα σε θέματα διαχείρισης αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η σύσταση και η ποσότητα των παραγόμενων απορριμμάτων μεταβάλλεται γεωγραφικά και εποχιακά. Τα ελληνικά νησιά είναι οι πιο ιδιαίτερες περιπτώσεις, καθώς οι μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις στην ετήσια παραγωγή απορριμμάτων εξαιτίας του τουρισμού έρχονται να συνδυασθούν με τα ως επί το πλείστον ασβεστολιθικά εδάφη, των οποίων η περατότητα δεν επιτρέπει τη χωροθέτηση ΧΥΤΑ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρέπει να διατίθενται μονάδες κάυσης και μηχανικής διαλογής, αλλά και να προωθείται η ανακύκλωση απορριμμάτων.[10]

Η σύνθεση των οικιακών απορριμμάτων διαφοροποιείται αισθητά από τον μέσο όρο της Ε.Ε.. Το πολύ υψηλό ποσοστό ζυμώσιμων υλικών (αποφάγια, υπολείμματα λαχανικών, φλούδες φρούτων κ.α.) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει διαλογή στην πηγή και αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών τους. Ταυτόχρονα, όμως, το υψηλό ποσοστό αυτό κάνει πιο δύσκολη την επίτευξη υψηλού ποσοστού ανάκτησης και την εφαρμογή της καύσης ως τρόπου διάθεσης των απορριμμάτων, λόγω της υψηλής υγρασίας που έχουν τα ζυμώσιμα υλικά.

Ακολουθούν διαγράμματα και πίνακες που αφορούν τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων στην Ελλάδα:



Εικόνα 2: Ποσοστιαία σύνθεση οικιακών απορριμμάτων στην Ελλάδα

Από το παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των απορριμμάτων στα νοικοκυριά είναι ζυμώσιμα απορρίμματα, ενώ το δεύτερο μεγαλύτερο είναι το χαρτί και το χαρτόνι. Αξιοσημείωτο είναι ότι το μικρότερο κλάσμα των οικιακών αποβλήτων είναι το κλάσμα που περιέχει δέρμα, ξύλο ή ύφασμα.

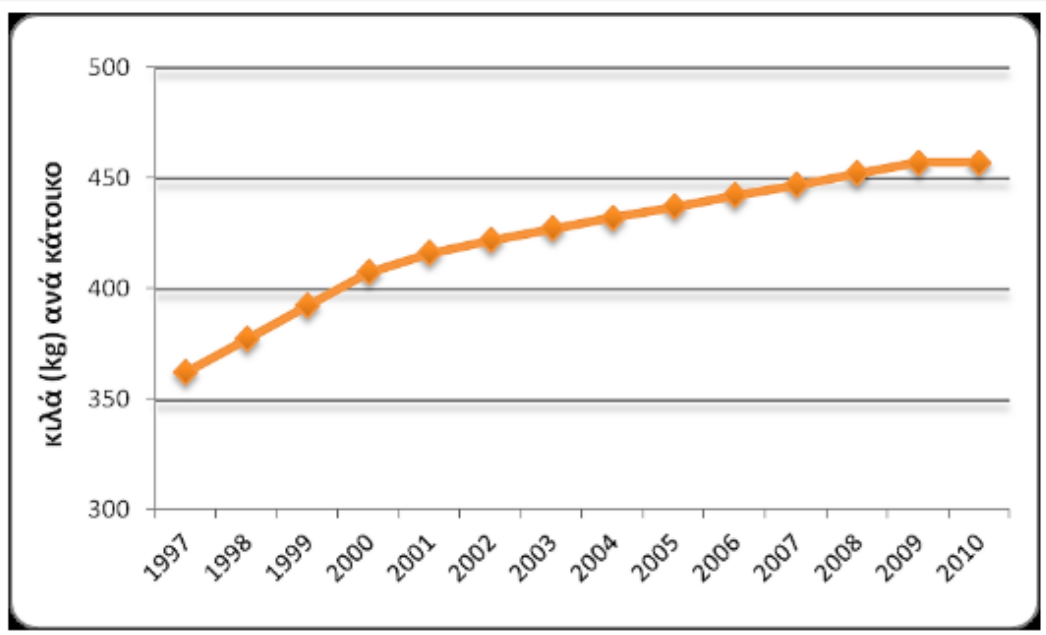
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Διάθεση στο έδαφος		Αν/ση Υλικών και Συσκευασιών		Ανάκτηση Οργανικών			ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ <sup>2</sup>
	ΧΥΤΑ	ΧΑΔΑ	ΚΔΑΥ	Πανελληνίας Εμβέλειας <sup>3</sup>	ΕΜΑΚ	ΑΛΛΑ <sup>4</sup>	ΑΣΑ	
Αν. Μακεδονία & Θράκη	128.736	88.591	3.286	31.998		5.955	258.567	5,57
Κεντρική Μακεδονία	689.372	24.139	35.748	99.327		18.487	867.072	17,28
Δυτική Μακεδονία	120.294		4.224	14.884		2.770	142.172	2,59
Ήπειρος	65.840		2.921	17.700		3.294	89.755	3,08
Θεσσαλία	318.447		17.786	38.540		7.173	381.946	6,70
Ιόνιοι Νήσοι	110.112	1.591	6.667	11.846	4.696	2.205	137.117	2,06
Δυτική Ελλάδα	209.571	25.008	9.329	35.764		6.656	286.328	6,22
Στερεά Ελλάδα	212.786	24.334	13.857	28.785		5.358	285.120	5,01
Αττική	1.920.964	2.089	121.913	201.390	30.205	37.483	2.314.044	35,03
Πελοπόννησος	12.040	67.592	12.327	30.469		5.671	128.099	5,30
Βόρειο Αιγαίο	47.723	15.183	174	10.605		1.974	75.659	1,84
Νότιο Αιγαίο	164.181	17.109	7.768	18.490		3.441	210.990	3,22
Κρήτη	304.137	38	18.791	35.143	33.238	6.541	397.888	6,11
Σύνολο χώρας	4.304.203	265.674	254.791	574.942	68.139	107.008	5.574.757	100
	4.569.877			829.733		175.147		

Πίνακας 2: Χωρική ανάλυση της παραγωγής ΑΣΑ για το 2011

Βάσει του προηγούμενου πίνακα, από όλες τις περιφέρειες της Ελλάδας, η Αττική είναι η περιφέρεια στην οποία το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων που παράγονται, διατίθεται σε ΧΥΤΑ και ένα πολύ μικρό ποσοστό αποβλήτων διατίθεται ανεξέλεγκτα(ΧΑΔΑ). Αντίθετα, στην Πελοπόννησο έχουμε το μικρότερο ποσοστό αποβλήτων που οδηγείται σε ΧΥΤΑ και στην Κρήτη το μικρότερο ποσοστό που διατίθεται ανεξέλεγκτα. Όσον αφορά την ανακύκλωση, το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων ανακυκλώνεται από την Αττική. Επιπρόσθετα, τη μεγαλύτερη ανάκτηση οργανικών από ΕΜΑΚ(δηλαδή από Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης) την παρουσιάζει η Κρήτη, ενώ τη μεγαλύτερη ανάκτηση οργανικών από άλλες πηγές την έχει η Αττική. Τέλος, οι περιφέρειες με βάση το ποσό των ΑΣΑ που παράγουν, κατά φθίνουσα σειρά, κατατάσσονται ως εξής: Αττική, Κεντρική Μακεδονία, Κρήτη, Θεσσαλία και έπειτα ακολουθούν οι υπόλοιπες περιφέρειες.

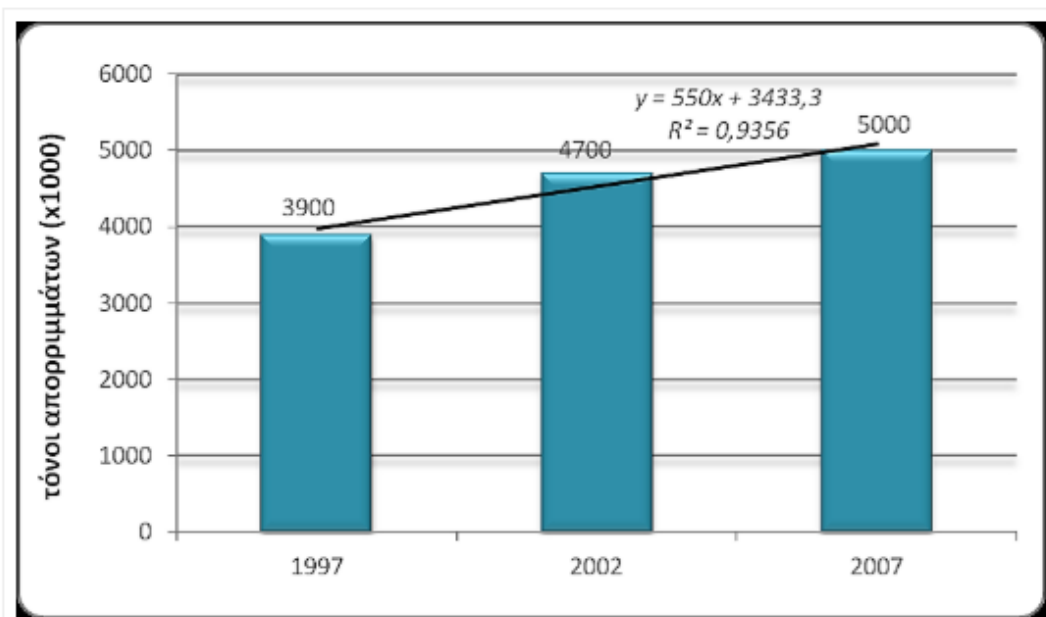


Εικόνα 3: Στάδια διαχείρισης των στερεών αποβλήτων



Εικόνα 4: Ετήσια παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων(ΑΣΑ) στην Ελλάδα

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει τη μεταβολή της παραγωγής αστικών στερεών αποβλήτων σε kg ανά κάτοικο σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε, ότι από το 1997 ως το 2000 είχαμε μία απότομη αύξηση των ΑΣΑ στην Ελλάδα(μεγάλη κλίση της ευθείας), από το 2000 ως το 2009 είχαμε αύξηση των ΑΣΑ αλλά λιγότερο απότομη(μικρή κλίση της ευθείας) και τη διετία 2009-2010 δεν παρουσιάστηκε κάποια μεταβολή στα παραγόμενα απορρίμματα ανά κάτοικο. Συμπερασματικά, η Ελλάδα παρουσίασε συνεχή αύξηση στα ΑΣΑ από το 1997 ως το 2010, γεγονός που αναδεικνύει ότι δεν υπήρξε κάποια πρόοδος ούτε κάποια προσπάθεια για βελτίωση σχετικά με την παραγωγή αποβλήτων στη χώρα.



Εικόνα 5: Συνολικά παραγόμενες ποσότητες ΑΣΑ στην Ελλάδα για τα έτη 1997,2002 και 2007

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι το 2007 στην Ελλάδα είχαμε τη μεγαλύτερη παραγωγή αστικών στερεών απορριμμάτων, ενώ το 1997 τη μικρότερη. Επίσης, την πενταετία 1997-2002 είχαμε μεγαλύτερη αύξηση ΑΣΑ απ'ότι την πενταετία 2002-2007.

Συνήθως, προκειμένου να μειωθεί ο όγκος των απορριμμάτων χρησιμοποιούμε τη διεργασία της αποτέφρωσης. Στην Ελλάδα, παρατηρείται έντονο το φαινόμενο της ανεξέλεγκτης καύσης. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται ο όγκος των απορριμμάτων και απελευθερώνονται ρύποι (HCl, SO<sub>2</sub>, HF, NO<sub>x</sub>), στερεά σωματίδια (ιπτάμενη τέφρα), διοξίνες και φουράνια στην ατμόσφαιρα.

Για την Ελλάδα, σημειώνεται ότι, σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα, η χώρα εξακολουθεί να θάβει το μεγαλύτερο μέρος των πλαστικών, νοσοκομειακών και οικιακών αποβλήτων της κι έτσι λειτουργεί αναποτελεσματικά στον τομέα της ανακύκλωσης. Επιπλέον, συστήνεται για τη χώρα να προχωρήσει σε ορθή καταγραφή των πλαστικών, οικιακών και νοσοκομειακών αποβλήτων που παράγει και διαχειρίζεται, καθώς η απόκλιση μεταξύ των ποσοτήτων που εμφανίζονται στα κέντρα διαλογής ανακυκλώσιμων υλικών (ΚΔΑΥ) και των ποσοτήτων που αναφέρονται στις εθνικές της εκθέσεις, παρουσιάζεται σημαντική [11].

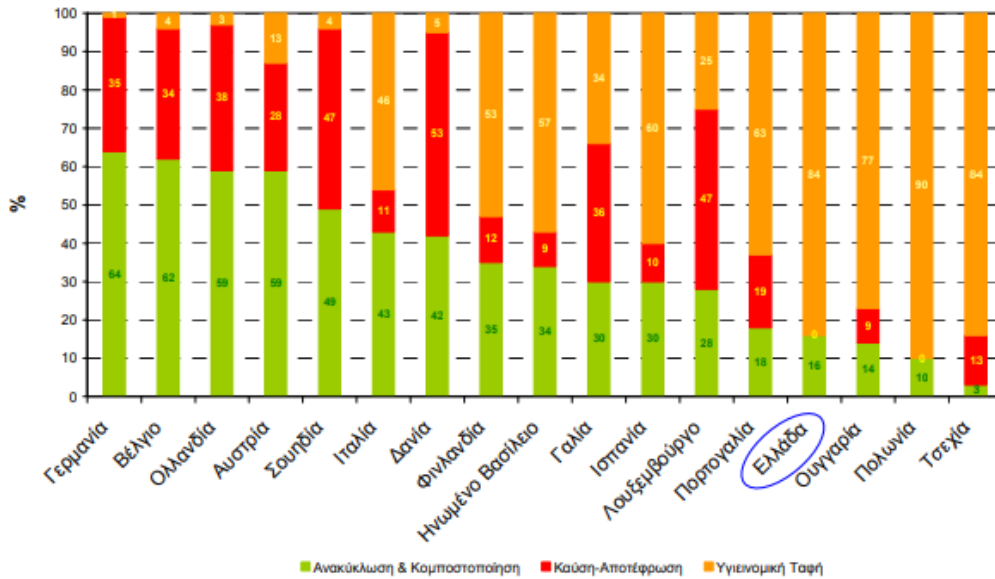
Οι παράνομοι πλέον ΧΑΔΑ (Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων) που δυστυχώς λειτουργούν ακόμα στην Ελλάδα αποτελούν σοβαρό πλήγμα για το περιβάλλον, διότι προκαλούν ρύπανση υπόγειων και επιφανειακών νερών, ρύπανση εδάφους, ανεξέλεγκτη συγκέντρωση τρωκτικών και πτηνών, καθώς και μετάδοση ασθενειών (αρουραίοι, μύγες, κουνούπια, κατσαρίδες), κίνδυνο εκρήξεων και πυρκαγιών, όταν τα αέρια που εκλύονται (μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, κ.λπ.) βρεθούν σε κατάλληλη συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα, οσμές, ρύπανση λόγω σκόνης, καθώς και αισθητική ρύπανση.

Δεν υπάρχει μία πετυχημένη συνταγή που να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις τοπικές κοινωνίες. Μπορεί, όμως, να επιτευχθεί περιβαλλοντικά καλύτερη διαχείριση με συνδυασμό διαφόρων μεθόδων, ανάλογα με τα ιδιαίτερα γεωγραφικά, δημογραφικά, χωροταξικά και κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά κάθε χώρας, όπως έχει αποδείξει η εμπειρία Ευρωπαϊκών χωρών (Σουηδία, Δανία, Γαλλία κ.α.) [12].

Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας απορριμμάτων που εφαρμόζονται στην Ελλάδα είναι: η μηχανική – βιολογική επεξεργασία, η θερμική επεξεργασία (καύση - αποτέφρωση) και η εδαφική εναπόθεση(ΧΥΤΑ).

Η πιο φθηνή μέθοδος μετά την υγειονομική ταφή είναι η μηχανική – βιολογική επεξεργασία με κόστος 50€ ανά τόνο. Το κόστος της καύσης – αποτέφρωσης είναι 100 € ανά τόνο.

Ένα μεγάλο μέρος των παραγόμενων αστικών απορριμμάτων διατίθεται για υγειονομική ταφή, η δε ολοκληρωμένη διαχείριση (πρόληψη – επαναχρησιμοποίηση – ανακύκλωση) αποβλήτων βρίσκεται στα πρώτα στάδια αλλά σε πολλές περιοχές της χώρας έχουν πραγματοποιηθεί σχετικές δράσεις και υπάρχει σημαντική πρόοδος τα τελευταία χρόνια. Έτσι, ενώ το 2005 ανακυκλώθηκε ή/και κομποστοποιήθηκε μόλις το 8,2% της συνολικής ποσότητας παραγόμενων αποβλήτων, το 2006 το ποσοστό αυτό ανήλθε στο 13% και το 2007 ανήλθε στο 16%.



Εικόνα 6: Κατανομή κύριων μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων στην Ελλάδα και σε χώρες της Ε.Ε.

Από το παραπάνω διάγραμμα καταλαβαίνουμε ότι η Ελλάδα είναι μία από τις χώρες της Ε.Ε. που εμφανίζουν πολύ μικρά ποσοστά ανακύκλωσης και κομποστοποίησης και καύσης-αποτέφρωσης, ενώ παρουσιάζει και πολύ μεγάλο ποσοστό υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Οι χώρες που ξεχωρίζουν όσον αφορά την ανακύκλωση και την κομποστοποίηση είναι η Γερμανία, το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Αυστρία και οι χώρες που παρουσιάζουν μηδενική καύση και αποτέφρωση των αποβλήτων είναι η Ελλάδα και η Πολωνία. Τέλος, η Τσεχία ανακυκλώνει και κομποστοποιεί ελάχιστα από το σύνολο των απορριμμάτων που παράγει.

Στην Ελλάδα λειτουργούν 1125 παράνομες χωματερές. Επίσης, η Ελλάδα δεσμεύτηκε να προχωρήσει στο κλείσιμο ή αναδιαμόρφωση 1038 χωματερών ενώ το δικαστήριο παρακολουθεί την πρόοδο που πραγματοποιείται στη χώρα. Το 2007, 774 χώροι διάθεσης ήταν υπό ανακατασκευή. Το 2008 η Ελλάδα καταδικάστηκε από το ευρωπαϊκό δικαστήριο για μη συμμόρφωση με την Οδηγία για τη διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων και πρέπει να πληρώσει πρόστιμο η χώρα.[13]

Σήμερα στο Συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης συμμετέχουν 1070 υπόχρεες εταιρείες, οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο μερίδιο της ελληνικής αγοράς. Παρά την πρόοδο αυτή, υπάρχει ακόμα ένα σημαντικό έλλειμμα σε υποδομές επεξεργασίας και διάθεσης στερεών αποβλήτων. Το ποσοστό ανακύκλωσης παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Έτσι, σήμερα στην Ελλάδα δαπανώνται μεγάλα ποσά για τη συλλογή και τη μεταφορά των αποβλήτων και πολύ μικρότερα για την επεξεργασία και διάθεσή τους.[6]

### 1.2.1 Προτάσεις – προοπτικές

Οι στόχοι μιας στρατηγικής για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων πρέπει να αποσκοπούν κυρίως στη μεγιστοποίηση της ανακύκλωσης και στην ασφαλή τους διάθεση. Παράλληλα, προτείνεται να προωθούνται δράσεις περισσότερο μακροπρόθεσμου χαρακτήρα για τη μείωση της συνολικής παραγόμενης ποσότητας των στερεών αποβλήτων. Οι εντεινόμενες προσπάθειες για την οργάνωση συστημάτων συλλογής στην πηγή και εγκατάστασης ολοκληρωμένων μονάδων μηχανικού διαχωρισμού αναμένεται να οδηγήσουν



σε σημαντική βελτίωση των σχετικών δεικτών. Παράλληλα, αντικειμενικός στόχος είναι η σταδιακή μείωση της αύξησης των παραγόμενων αποβλήτων ανά κάτοικο ανά χρόνο [6].

Η πρώτη κίνηση της Ελλάδας πρέπει να είναι ο συντονισμός της πολιτικής της στη διαχείριση των ΑΣΑ με την πολιτική των αυστηρών προτύπων της Ε.Ε.. Έτσι, απαραίτητο είναι να κλείσουν και να αποκατασταθούν όλοι οι ΧΑΔΑ που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο, να γίνει εναρμόνιση των ΣΔΑ(Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων) της Ελλάδας με τις ιεραρχημένες επιλογές για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων της Οδηγίας 2008/99/ΕΚ και να αποτραπεί το μεγαλύτερο ποσοστό των απορριμμάτων από τους ΧΥΤΑ με διαλογή στην πηγή και με αξιοποίηση των ειδικών ρευμάτων.[14]

### 1.2.2 Εθνική Νομοθεσία

Κάθε άτομο που παράγει απόβλητα έχει και κάποιες υποχρεώσεις. Οι υποχρεώσεις αυτές είναι:

- Να διαθέτει τα απόβλητα σε φορείς που έχουν άδεια ή σε συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης που έχουν εγκριθεί, ή να φροντίζει το ίδιο το άτομο για την επεξεργασία και τελική τους διάθεση
- Να καταθέσει σχέδιο διαχείρισης των αποβλήτων και ετήσια έκθεση παραγωγού αποβλήτων
- Να καταγράφει τα επικίνδυνα απόβλητα ανά τρεις μήνες
- Να καταθέτει την ετήσια δήλωση ΕΡΤΡ

Το ΕΡΤΡ είναι το ευρωπαϊκό μητρώο ρύπων και σε αυτό καταγράφουν οι μονάδες τους ρύπους (αέριους, υγρούς και στερεούς) όταν ξεπερνάνε τα όρια κατωφλίου.

Άδεια διάθεσης, αξιοποίησης, προσωρινής αποθήκευσης μεταφόρτωσης στερεών μη επικίνδυνων αποβλήτων:

- ❖ Πρέπει να εγκριθούν οι περιβαλλοντικοί όροι
- ❖ Αναλύεται η οργάνωση και η λειτουργία της εγκατάστασης
- ❖ Εκδίδεται άδεια από τη Νομαρχία που ισχύει για 5 χρόνια
- ❖ Εκδίδεται θετικό πόρισμα πριν τη λειτουργία της εγκατάστασης
- ❖ Δεν είναι υποχρεωμένες οι εγκαταστάσεις που αξιοποιούν από μόνες τους τα απόβλητα να ζητούν άδεια
- ❖ Ετήσια έκθεση κάθε Φεβρουάριο

Άδεια συλλογής και μεταφοράς

- ❖ Δεν είναι υποχρεωτική η έγκριση των περιβαλλοντικών όρων
- ❖ Αναλύεται η οργάνωση και η λειτουργία του δικτύου συλλογής και μεταφοράς
- ❖ Οι εγκαταστάσεις είναι υποχρεωμένες για σύναψη ασφαλιστήριου συμβολαίου 500 χιλιάδες ευρώ και για τη διασυνοριακή μεταφορά η τιμή είναι 1 εκατομμύριο ευρώ
- ❖ Οι εγκαταστάσεις λαμβάνουν άδεια από το ΥΠΕΧΩΔΕ ή από την Περιφέρεια

Όλες οι εγκαταστάσεις διαχείρισης καταγράφουν κάθε παράδοση ή παραλαβή αποβλήτων στο Έντυπο Αναγνώρισης, στο οποίο περιλαμβάνονται:

- ❖ Τα στοιχεία του παραγωγού, του συλλέκτη και του αποδέκτη
- ❖ Η κατηγορία και η ποσότητα του αποβλήτου
- ❖ Η αξιοποίηση και η διάθεση που θα ακολουθήσει[15]

### 1.2.3 Σύσταση Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Τα αστικά στερεά απορρίμματα αποτελούνται από αντικείμενα της καθημερινότητας, όπως υλικά συσκευασίας προϊόντων, κλιπς από γυαλί, έπιπλα, υφάσματα, μπουκάλια, απορρίμματα τροφίμων, εφημερίδες, συσκευές, μιογιά και μπαταρίες [4].

Η σύσταση των αστικών στερεών απορριμμάτων μεταβάλλεται πολύ από δήμο σε δήμο και εξαρτάται από το χρόνο. Σε δήμους, οι οποίοι διαθέτουν ένα καλά ανεπτυγμένο σύστημα ανακύκλωσης των αποβλήτων, το ρεύμα των αποβλήτων αποτελείται κυρίως από απόβλητα που δε μπορούν να επεξεργαστούν όπως πλαστικό φιλμ και μη ανακυκλώσιμα υλικά συσκευασίας. Στην αρχή του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η πλειονότητα των οικιακών αποβλήτων(53%) στο Ηνωμένο Βασίλειο, αποτελούνταν από τέφρα άνθρακα από ανοιχτές φωτιές. Σε αναπτυγμένες περιοχές όπου δεν γίνεται ανακύκλωση, τα οικιακά απόβλητα περιέχουν κυρίως απόβλητα φαγητού, απόβλητα από την αγορά, απόβλητα από τον κήπο, πλαστικούς περιέκτες και υλικά συσκευασίας, καθώς και άλλα ανάμικτα στερεά απόβλητα από εμπορικές, πανεπιστημιακές και βιομηχανικές πηγές. Οι περισσότεροι ορισμοί των αστικών στερεών απορριμμάτων δεν περιλαμβάνουν βιομηχανικά απόβλητα, αγροτικά απόβλητα, ιατρικά απόβλητα, ραδιενεργά απόβλητα και λάσπη λυμάτων. Ο όρος υπολειμματικά απόβλητα(residual waste) αναφέρεται στα απορρίμματα από τα νοικοκυριά τα οποία περιέχουν υλικά τα οποία δεν έχουν διαχωριστεί ή σταλθεί για επεξεργασία. Ακολουθεί μία τυπική κατηγοριοποίηση των ΑΣΑ:

- Βιοαποδομήσιμα απόβλητα: απόβλητα φαγητού και κουζίνας, πράσινα απόβλητα, χαρτί(το περισσότερο μπορεί να ανακυκλωθεί)
- Ανακυκλώσιμα υλικά: χαρτί, χαρτόνια, γυαλί, μπουκάλια, βάζα, κουτιά από κασίτερο, κουτιά από αλουμίνιο, αλουμινόχαρτο, μέταλλα, συγκεκριμένα πλαστικά, υφάσματα, πανιά, λάστιχα, μπαταρίες κ.λ.π.
- Αδρανή απόβλητα: απόβλητα από την κατασκευή ή την κατεδάφιση κάποιου κτιρίου, χρώμα, πέτρες και συντρίμια.
- Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα: ηλεκτρικές συσκευές, λάμπες, πλυντήρια, τηλεοράσεις, υπολογιστές, οθόνες, κινητά τηλέφωνα, ξυπνητήρια, ρολόγια κ.λ.π.
- Σύνθετα απόβλητα: υφάσματα, χαρτόνια τέτρα πακ, πλαστικά όπως παιχνίδια
- Επικίνδυνα απόβλητα, που περιλαμβάνουν χρώματα, χημικά, λάστιχα, μπαταρίες, λάμπες, ηλεκτρικές συσκευές, λάμπες φθορισμού, κουτιά από αεροζόλ σπρέι και λίπασμα
- Τοξικά απόβλητα: φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα και μυκητοκτόνα
- Βιοϊατρικά απόβλητα, ληγμένα φάρμακα κ.λ.π.[16]

Όσο οι χώρες αναπτύσσονται και γίνονται πιο αστικοποιημένες, η σύσταση των αποβλήτων αλλάζει – αξιοσημείωτο σε αυτήν την αλλαγή είναι η αύξηση σε χαρτί, χαρτί συσκευασίας, πλαστικά, συσκευασίες πολλαπλών υλικών και «προϊόντα καταναλωτών». Ωστόσο, πολλοί ερευνητές, πολιτικοί, προγραμματιστές και δημοτικές αρχές στην Ινδία είναι πολύ επιφυλακτικοί για τη θερμική επεξεργασία των αποβλήτων στην Ινδία, λόγω της χαμηλής θρεπτικής αξίας και του υψηλού περιεχομένου υγρασίας. [17]

Η σύσταση των αποβλήτων επηρεάζεται από την κουλτούρα, την οικονομική ανάπτυξη, το κλίμα και από πηγές ενέργειας. Η σύσταση των αποβλήτων, επίσης, δίνει πληροφορίες για το πόσο συχνά τα απόβλητα συλλέγονται και για το πώς απορρίπτονται.

Ακολουθεί ένας πίνακας με τη σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα:

Υλικό	%περιεκτικότητα κατά βάρος
Αποδομήσιμα	47%
Χαρτί	20%
Πλαστικό	8,5%
Μέταλλα	4,5%
Γυαλί	4,5%
Άλλα	15,5%

Πίνακας 3: Σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα[15]

## ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΚΟΥΖΙΝΑΣ

Τα υπολείμματα κουζίνας είναι απορρίμματα που παράγονται από τις καθημερινές δραστηριότητές μας στο σπίτι και μπορούν να αυξηθούν ανεξέλεγκτα εάν δεν αναλάβουμε δράση για ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και τελική απόρριψή τους. Μπορεί να περιλαμβάνουν από αποκόμματα χλοοτάπητα μέχρι μπαταρίες.

Ένα από τα προβλήματα με τα υπολείμματα κουζίνας είναι ότι δεν είναι όλα απόβλητα. Ως οικογένειες μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά το ποσό των υλικών τα οποία απορρίπτονται, με το να σκεφτόμαστε πριν πετάξουμε κάποιο σκουπίδι στον κάδο. Πολλές πολιτείες έχουν προγράμματα ανακύκλωσης, τα οποία δέχονται χαρτί, γυαλί, μπουκάλια, δοχεία και διάφορα άλλα αντικείμενα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Με την κομποστοποίηση των αποβλήτων που προέρχονται από τα νοικοκυριά, πετυχαίνουμε μείωση του όγκου τους και συμβάλλουμε στο να έχουμε ένα υγιές περιβάλλον μέσω της ανάκτησης θρεπτικών συστατικών.

Όμως, υπάρχουν κι άλλα είδη αποβλήτων νοικοκυριών όπως οι ανενεργές μπαταρίες, που είναι επικίνδυνα. Αυτά τα αντικείμενα πρέπει να απορριφθούν σε ειδικούς χώρους και όχι μαζί με τα άλλα σκουπίδια.

Είναι αξιοσημείωτο το πόσα σκουπίδια παράγει μία οικογένεια σε ένα σπίτι σήμερα. [18]

### 1.2.4 Το πρόγραμμα WASTE4think

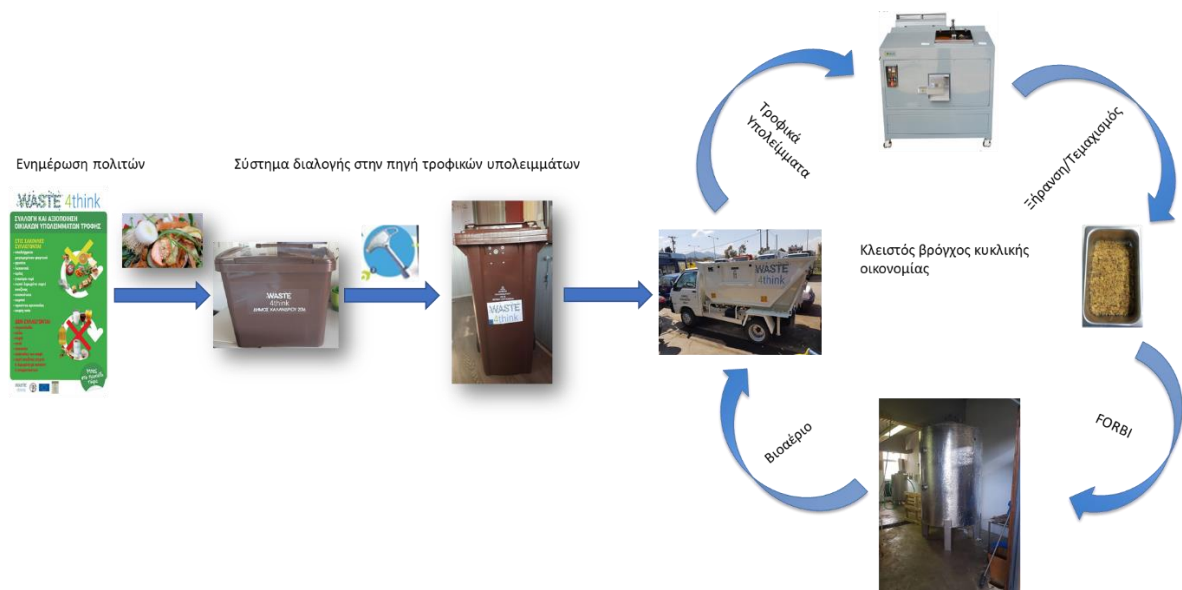
Το πρόγραμμα WASTE4THINK είναι ένα πιλοτικό πρόγραμμα αξιοποίησης οικιακών υπολειμμάτων τροφής και είναι μια πρωτοβουλία που υλοποιείται στο ευρωπαϊκό πλαίσιο του HORIZON 2020.[18] Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα αποτελεσματικό και φιλικό προς τον πολίτη, σύστημα προδιαλογής στην πηγή.[19] Εφαρμόζεται από την τοπική αρχή του Χαλανδρίου σε συνεργασία με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.[19],[20] Ο λόγος που επιθυμούσαν οι κάτοικοι στο Χαλάνδρι να ακολουθήσουν ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι η μεγαλύτερη και αποδοτικότερη ανακύκλωση, καθώς και η ορθότερη διαχείριση των απορριμμάτων.[19]

Στόχος του προγράμματος είναι η ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας, τα οποία και αποτελούν παγκοσμίως το λιγότερο αξιοποιημένο κλάσμα ΑΣΑ αν και η ελλιπής διαχείρισή τους οδηγεί σε ιδιαίτερα υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Παράλληλα, με το πρόγραμμα Waste4think εφαρμόζεται μία στρατηγική ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης, αποσκοπώντας στην μεγιστοποίηση της συμμετοχής των πολιτών τόσο στα προγράμματα προδιαλογής στην πηγή, όσο και σε άλλες δράσεις που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και την κυκλική οικονομία.

#### 1.2.4.1 Ένα παράδειγμα κυκλικής οικονομίας στο Δήμο Χαλανδρίου

Στα πλαίσια του προγράμματος WASTE4think έχει αναπτυχθεί σε πιλοτική κλίμακα -και πρόκειται σταδιακά να εφαρμοστεί σε πλήρη κλίμακα- ένα σύστημα διαλογής στην πηγή, συλλογής και αξιοποίησης των οικιακών ζυμώσιμων αποβλήτων. Το συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης των τροφικών υπολειμμάτων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξοικονομεί χρήματα και ενέργεια. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετώνται τα περιβαλλοντικά οφέλη από την εφαρμογή, σε πλήρη κλίμακα του συγκεκριμένου συστήματος διαχείρισης.

Τα οικιακά ζυμώσιμα απορρίμματα συλλέγονται από 240 νοικοκυριά. Στους εθελοντές-συμμετέχοντες έχουν μοιραστεί φορητοί οικιακοί κάδοι των 30 λίτρων ενώ σε κοντινό σημείο έχουν τοποθετηθεί ειδικοί κλειδωνόμενοι κάδοι των 120 λίτρων. Οι κάτοικοι με αυτό τον τρόπο διαθέτουν μόνο υπολείμματα τροφών κουζίνας, όπως υπολείμματα μαγειρεμένου φαγητού, φρούτα, λαχανικά, χρησιμοποιημένα χαρτιά κουζίνας (κυτταρίνη) κ.α. Η αποκομιδή από τους κάδους των 120 λίτρων γίνεται από ειδικό απορριμματοφόρο, το οποίο σύντομα θα κινείται με βιοαέριο παραγόμενο από τα συλλεγόμενα απόβλητα (Εικόνα 4).



Εικόνα 7: Σύστημα διαχείρισης οικιακών ζυμώσιμων αποβλήτων

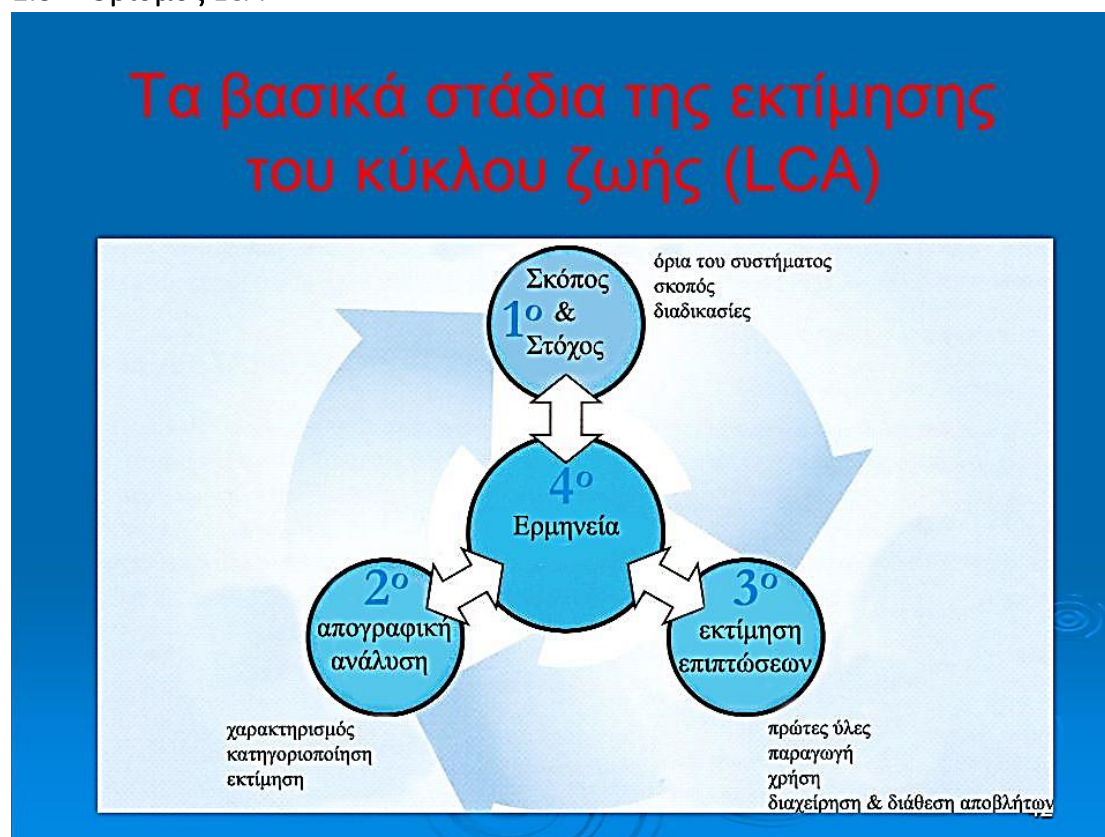
Το συλλεγόμενο υλικό στη συνέχεια οδηγείται για ξήρανση και τεμαχισμό σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Το υλικό επεξεργάζεται θερμικά (92-98°C) και μηχανικά (τεμαχισμός) με σκοπό τη δημιουργία ενός καινοτόμου προϊόντος που ονομάζουμε FORBI (Food Residue Biomass product).

Το σύστημα ξήρανσης μειώνει τον όγκο των ζυμώσιμων απορριμμάτων σε ποσοστό που φτάνει μέχρι και το 90%. Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης είναι η μείωση του τελικού όγκου και βάρους του υλικού, η αφαίρεση μεγάλου ποσοστού οσμών, η παράταση του δυνατού χρόνου αποθήκευσης χωρίς να επέρχεται αλλοίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του προϊόντος, καθώς και η επίτευξη ομοιογένειας.

Σε συνεργασία με το Ε.Μ.Π. μελετώνται εναλλακτικές τεχνολογίες αξιοποίησης του FORBI. Από τις εναλλακτικές αυτές ήδη εφαρμόστηκε σε πιλοτική κλίμακα (α) η παραγωγή βιοαερίου, το οποίο στο άμεσο μέλλον θα χρησιμοποιείται ως καύσιμο των απορριμματοφόρων, (β) συγκομποστοποίηση του FORBI με κλαδέματα επιτυγχάνοντας την επίσπευση της παραγωγής ποιοτικού κομπόστ σε λιγότερο από 2 μήνες, και (γ) η παραγωγή πέλλετ για θέρμανση.

Βάσει αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί τα οφέλη από τη μετάβαση στο συγκεκριμένο μοντέλο διαχείρισης των οικιακών ζυμώσιμων αποβλήτων θα είναι σημαντικά τόσο από περιβαλλοντική όσο και από οικονομική σκοπιά. Το κόστος διαχείρισης θα μειωθεί έως και 40% ενώ οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν δραστικά από την εκτροπή των αποβλήτων αυτών από τους Χώρους Υγειονομικής Ταφής αλλά και την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιοαέριο.

### 1.3 Ορισμός LCA



Εικόνα 8: Τα βασικά στάδια της εκτίμησης κύκλου ζωής

Η συντομογραφία LCA προέρχεται από την έκφραση Life Cycle Assessment δηλαδή Ανάλυση Κύκλου Ζωής. Με τον όρο Ανάλυση Κύκλου Ζωής εννοούμε τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που συσχετίζεται με όλα τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων (διανομή, χρήση, συντήρηση, απόρριψη, ανακύκλωση κ.α.). Η μέθοδος αυτή συνδυάζει την ειδική ενέργεια, με εισροές υλικών και με περιβαλλοντικούς ρύπους, υπολογίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα με βάση τις εισροές και τις εκροές και ερμηνεύει τα αποτελέσματα προκειμένου να ληφθεί μία πιο ενημερωμένη απόφαση.

Ο όρος κύκλος ζωής(life cycle) αναφέρεται στην ιδέα ότι μία σφαιρική και δίκαιη εκτίμηση προϋποθέτει τον υπολογισμό των καθαρών πρώτων υλών, την κατασκευή, τη διανομή, τη χρήση και την τελική διάθεση συμπεριλαμβανομένων όλων των σταδίων που σχετίζονται με τη μεταφορά τα οποία είναι απαραίτητα ή προκύπτουν από την ύπαρξη του προϊόντος.

Υπάρχουν δύο είδη LCA. Το πρώτο είδος προσδιορίζει τα φορτία που συσχετίζονται με την παραγωγή και τη χρήση του προϊόντος ή με μία συγκεκριμένη διεργασία ή υπηρεσία σε ένα σημείο στο χρόνο(τυπικά στο κοντινό παρελθόν). Το άλλο είδος LCA προσδιορίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας απόφασης ή μιας προτεινόμενης αλλαγής στο σύστημα που μελετάται, γεγονός που σημαίνει πως οι συνέπειες της απόφασης για την αγορά και την οικονομία πρέπει επίσης να προσδιοριστούν.

Η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελείται από τέσσερα στάδια: προσδιορισμός στόχου, προσδιορισμός των ροών από και προς το σύστημα, υπολογισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Παρακάτω αναλύονται τα στάδια αυτά:

### **Προσδιορισμός στόχου**

Αρχικό στάδιο σε μία ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) είναι ο σαφής καθορισμός του στόχου και του περιεχομένου της μελέτης, καθώς και το πώς και σε ποιον θα ανακοινωθούν τα αποτελέσματα. Παρακάτω αναφέρονται οι λεπτομέρειες που έχει το στάδιο αυτό:

1. Ο προσδιορισμός της λειτουργικής μονάδας, δηλαδή προσδιορίζεται το τι ακριβώς θα μελετηθεί και ποσοτικοποιείται η υπηρεσία που παρέχεται από το σύστημα, έτσι ώστε να υπάρχει μία αναφορά με την οποία μπορούν να συσχετιστούν οι εισροές και οι εκροές του συστήματος. Επίσης, η λειτουργική μονάδα μπορεί να συγκριθεί με άλλα υπάρχοντα συστήματα, αγαθά ή υπηρεσίες.
2. Η διασαφήνιση των ορίων του συστήματος.
3. Η αναφορά σε υποθέσεις που έχουν γίνει, αλλά και σε περιορισμούς
4. Η επεξήγηση των τρόπων διανομής. Η διανομή των αποβλήτων μειώνει το περιβαλλοντικό φορτίο της διεργασίας όταν ορισμένα προϊόντα ανήκουν στην ίδια διεργασία.
5. Η αναφορά στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διεργασίας, όπως η ανθρώπινη τοξικότητα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ο ευτροφισμός κ.α.

### **Προσδιορισμός εισροών και εκροών του συστήματος**

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται εισροές νερού, ενέργειας και πρώτων υλών ,αλλά και απελευθερώσεις στη γη, τον αέρα και το νερό. Κατασκευάζεται ένα μοντέλο ροών του τεχνικού συστήματος με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για τις εισροές και τις εκροές. Το προηγούμενο μοντέλο απεικονίζεται με ένα διάγραμμα ροής που περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που πρόκειται να εκτιμηθούν και δίνει μία σαφή εικόνα για τα όρια του τεχνικού συστήματος.

## **Εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος**

Τον προσδιορισμό των εισροών και εκροών του συστήματος ακολουθεί η εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Αυτό το στάδιο της μεθόδου LCA αποσκοπεί στην εκτίμηση της σοβαρότητας των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διεργασίας. Πιθανές επιπτώσεις μπορεί να είναι κλιματική αλλαγή, καταστροφή του όζοντος της στρατόσφαιρας, σχηματισμός τροποσφαιρικού όζοντος, ευτροφισμός, η οξύνιση κ.α.. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει :

1. Επιλογή των κατηγοριών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δείκτες για κάθε κατηγορία και μοντέλα χαρακτηρισμού.
2. Το στάδιο της ταξινόμησης, στο οποίο οι παράμετροι του συστήματος ταξινομούνται και αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες περιβαλλοντικών συνεπειών.
3. Υπολογισμό των επιπτώσεων.

## **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων**

Πρόκειται για μία συστηματική μέθοδο ταυτοποίησης, ποσοτικοποίησης, ελέγχου και αξιολόγησης πληροφοριών σχετικά με τα αποτελέσματα του σταδίου υπολογισμού των εισροών και εκροών του συστήματος και/ή τα αποτελέσματα από το στάδιο εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Τα βήματα που ακολουθούνται σε αυτό το στάδιο είναι τα εξής:

1. Αναγνώριση των σημαντικών και αξιοσημείωτων αποτελεσμάτων του σταδίου προσδιορισμού των εισροών και εκροών και του σταδίου υπολογισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
2. Αξιολόγηση της μελέτης, αναφορικά με το αν είναι ολοκληρωμένη και με ελέγχους της ευαισθησίας και της συνοχής.
3. Καταγραφή συμπερασμάτων, περιορισμών και προτάσεων.[21]

Γενικά, η ανάλυση κύκλου ζωής είναι ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων όσο και για τη βιομηχανία.

## **ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΦΑΓΗΤΟΥ**

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής σε απορρίμματα φαγητού είναι ένα πολύπλοκο θέμα, καθώς περιλαμβάνει και τεχνικές και βιολογικές διεργασίες. Ένα χαρακτηριστικό των αποβλήτων φαγητού, το οποίο είναι διαφορετικό από άλλα κλάσματα αποβλήτων, είναι ότι υποβάλλονται σε βιολογικές διεργασίες κατά τη διαχείριση των αποβλήτων. Οι διεργασίες αυτές μπορεί να προκαλέσουν εκπομπές με αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες και να επηρεάσουν τις πιθανότητες για ανάκτηση θρεπτικών συστατικών και ενέργειας μέσα από διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας. Επειδή οι βιολογικές αυτές διεργασίες εξαρτώνται πολύ από παράγοντες όπως το κλίμα, η βροχόπτωση και από την εδαφική κατανομή, η ρύθμιση των τοπικών συνθηκών και του χρονικού πλαισίου των αποβλήτων φαγητού έχουν μεγαλύτερη σημασία απ'ότι για άλλα κλάσματα αποβλήτων. Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής στα απόβλητα φαγητού περιλαμβάνει συνήθως δασοκομία, γεωργία, υγειονομικές ταφές και εκπομπές σε εξωτερικά συστήματα λυμάτων νερού και για αυτό το λόγο κάποιος που θα εφάρμοζε αυτήν την ανάλυση θα είχε πολλές διαφορετικές επιλογές για το πώς θα οριοθετήσει το σύστημα. Το να συμπεριλάβει κάποιος όλες τις εκπομπές και τις χρήσεις των πηγών που συνδέονται σε διαφορετικές εναλλακτικές διαχείρισης των αποβλήτων είναι

αρκετά δύσκολο. Έτσι, ο αναλυτής θα αποκλείσει κάποιες, θα συμπεριλάβει άλλες, θα κάνει απλοποιήσεις και περικοπές, που εξαρτώνται από τα όρια του συστήματος που τέθηκαν. [22]

#### 1.4 Τί πρέπει να γνωρίζουμε πριν εφαρμόσουμε τη μέθοδο LCA

Μία ανάλυση κύκλου ζωής είναι τόσο έγκυρη όσο και τα δεδομένα της. Είναι λοιπόν ιδιαίτερα σημαντικό τα δεδομένα να είναι σαφή και να ισχύουν. Επίσης, όταν συγκρίνονται δύο διαφορετικές αναλύσεις κύκλου ζωής, πρέπει να υπάρχουν ισοδύναμα δεδομένα για τις δύο αναλύσεις. Ένα προϊόν δηλαδή για το οποίο υπάρχουν πολλά δεδομένα δε μπορεί να συγκριθεί με ένα άλλο για το οποίο έχουμε ελλιπή δεδομένα.

Πριν αρχίσει η μέθοδος LCA, πρέπει να έχουν καταγραφεί τα δεδομένα για τη διεργασία που θα μελετηθεί. Ειδικότερα, πρέπει να υπολογιστεί η ποσότητα των αποβλήτων που θα επεξεργαστούν και η σύστασή τους(π.χ. ένα απόβλητο αποτελείται από 30% φρούτα και λαχανικά και 70% χαρτόνι). Επίσης, πρέπει να γνωρίζουμε πληροφορίες για τη διαλογή στην πηγή, καθώς κάποια απόβλητα απορρίπτονται στον μπλε κάδο(ανακύκλωση), κάποια στον καφέ(τα απόβλητα φαγητού), κάποια στον κίτρινο(χαρτιά) και κάποια στον πράσινο(τα πράσινα απόβλητα).

Άλλα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά πριν εφαρμόσουμε τη μέθοδο LCA είναι κάποιες πληροφορίες σχετικά με κάποιες διεργασίες. Για παράδειγμα, πρέπει για την αναερόβια χώνευση να γνωρίζουμε την απόδοσή της, για την ξήρανση το ποσοστό υγρασίας που θα απομακρυνθεί από το προϊόν, για την κομποστοποίηση τα ποσοστά αποδόμησης του άνθρακα, του αζώτου και του θείου, για τη μεταφορά των αποβλήτων, την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος μεταφοράς κ.α..



## 2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 Ανάλυση συστήματος μελέτης

Το προτεινόμενο σύστημα διαχείρισης των υπολειμμάτων κουζίνας για το Δήμο Χαλανδρίου αποτελείται από τα εξής στάδια:

#### 2.1.1 Συλλογή

Η συλλογή των αποβλήτων αποτελεί ένα στάδιο της διαχείρισης των αποβλήτων. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της συγκεκριμένης διεργασίας είναι ανάλογο της κατανάλωσης και του είδους καυσίμου του απορριμματοφόρου που θα συλλέξει τα απόβλητα.

#### 2.1.2 Μεταφορά

Η μεταφορά των απορριμμάτων αφορά στη διαδρομή από το τέλος της συλλογής μέχρι το σημείο επεξεργασίας ή τελικής διάθεσης. Το δυναμικό για εκπομπές ρύπων κατά τη μεταφορά των αποβλήτων ποικίλλει. Όσο πιο επικίνδυνα είναι τα απόβλητα και όσο μεγαλύτερος όγκος μεταφέρεται, τόσο πιο καταστροφικές θα είναι οι συνέπειες για τον άνθρωπο/περιβάλλον αν συμβεί ένα ατύχημα. Τα τροχαία και τα σιδηροδρομικά ατυχήματα μπορούν να οδηγήσουν σε διαρροές αποβλήτων και απελευθερώσεις ρυπαντών που μπορούν να μολύνουν τον αέρα, το νερό και το έδαφος. Επίσης, απόβλητα μπορούν να απελευθερωθούν κατά τη φόρτωση και την εκφόρτωση. [23]

Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της μεταφοράς των αποβλήτων μειώνεται όταν το όχημα μεταφοράς ακολουθεί τη βέλτιστη διαδρομή για να φτάσει στον προορισμό του (π.χ. διαδρομή στην οποία δε θα υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση). Άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τη μεταφορά των απορριμμάτων είναι ο αριθμός και η θέση των container, ο χρόνος εκφόρτωσης.

#### 2.1.3 Ξήρανση/Τεμαχισμός

Το συλλεγόμενο υλικό στη συνέχεια οδηγείται για ξήρανση και τεμαχισμό σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο. Το υλικό επεξεργάζεται θερμικά (92-98οC) και μηχανικά (τεμαχισμός) με σκοπό τη δημιουργία ενός καινοτόμου προϊόντος που ονομάζουμε FORBI (Food Residue Biomass product). Το σύστημα ξήρανσης μειώνει τον όγκο των ζυμώσιμων απορριμμάτων σε ποσοστό που φτάνει μέχρι και το 90%. Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης είναι η μείωση του τελικού όγκου και βάρους του υλικού, η αφαίρεση μεγάλου ποσοστού οσμών, η παράταση του δυνατού χρόνου αποθήκευσης χωρίς να επέρχεται αλλοίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του προϊόντος καθώς και η επίτευξη ομοιογένειας.

#### 2.1.4 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι ένα σύνολο διεργασιών με το οποίο οι μικροοργανισμοί διασπούν βιοαποδομήσιμα υλικά απουσία οξυγόνου. Η διεργασία αυτή χρησιμοποιείται ως μία βέλτιστη πρακτική διαχείρισης αποβλήτων με ταυτόχρονη παραγωγή βιοκαυσίμων.

Η διεργασία της χώνευσης ξεκινά με τη βακτηριακή υδρόλυση. Αδιάλυτα οργανικά πολυμερή, όπως οι υδατάνθρακες, διασπώνται σε διαλυτά παράγωγα τα οποία είναι διαθέσιμα για άλλα βακτήρια. Τα οξικά βακτήρια, έπειτα, μετατρέπουν τα σάκχαρα και τα αμινοξέα σε διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, αμμωνία και οργανικά οξέα. Τα βακτήρια αυτά μετατρέπουν τα οργανικά οξέα που παράγονται σε οξικό οξύ, αλλά και σε αμμωνία, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης τα μεθανογόνα μετατρέπουν τα προϊόντα σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται ως ένα μέρος της διεργασίας επεξεργασίας βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και λάσπης λυμάτων. Επίσης, μειώνει τις εκπομπές των αερίων της χωματερής στην ατμόσφαιρα.

Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται ευρέως ως μία πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Η συγκεκριμένη διεργασία παράγει ένα βιοαέριο, το οποίο αποτελείται από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και ίχνη άλλων μολυσματικών αερίων. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν ως καύσιμο ή να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο με ποιότητα φυσικού αερίου. Το πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία προϊόν της διεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως λίπασμα, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, η οποία ονομάζεται βιοαποικοδόμηση. [24]

Compound	Formula	%
Methane	CH <sub>4</sub>	50–75
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	25–50
Nitrogen	N <sub>2</sub>	0–10
Hydrogen	H <sub>2</sub>	0–1
Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	0–3
Oxygen	O <sub>2</sub>	0–0

Source: [www.kolumbus.fi](http://www.kolumbus.fi), 2007<sup>[95]</sup>

Πίνακας 4: Τυπική σύσταση βιοαερίου

### 2.1.5 Κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση είναι η διεργασία η οποία ανακυκλώνει διάφορα οργανικά υλικά και παράγει ένα εδαφοβελτιωτικό υλικό [5]. Πρόκειται για μια διεργασία η οποία μπορεί να απομακρύνει μέχρι και το 30% των οικιακών αποβλήτων από τον κάδο. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή όταν η οργανική ύλη εισέρχεται στον ΧΥΤΑ, δεν έχει τον αέρα που χρειάζεται, οπότε η αποσύνθεση πραγματοποιείται με πιο αργούς ρυθμούς. Επίσης, χωρίς την κομποστοποίηση δημιουργείται επικίνδυνο αέριο μεθάνιο, καθώς αποσυντίθεται η οργανική ύλη κι έτσι εντείνονται τα προβλήματα της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής. [25]

Το κομπόστ είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά. Χρησιμοποιείται για παράδειγμα, σε κήπους, στη διαμόρφωση (αρχιτεκτονική) των κήπων, στην κηπουρική, στην οργανική καλλιέργεια[23] και στην απομάκρυνση ασθενειών που προέρχονται από τα φυτά.[26]

Η διεργασία της κομποστοποίησης, στο απλούστερο επίπεδο, απαιτεί τη δημιουργία μίας σωρού υγρής οργανικής ύλης (ή πράσινα απόβλητα), όπως φύλλα και γρασίδι και την αναμονή μέχρι τη διάσπαση των υλικών σε χούμους (οργανική ύλη του εδάφους) μετά από μερικούς μήνες.

Η διεργασία της κομποστοποίησης απαιτεί την ύπαρξη τεσσάρων εξίσου σημαντικών στοιχείων:

- άνθρακας για ενέργεια.
- Άζωτο, για την αναπαραγωγή περισσότερων οργανισμών για την οξείδωση του άνθρακα.
- Οξυγόνο, για την οξείδωση του άνθρακα
- Νερό, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες [23]

### 2.1.6 Διάθεση σε ΧΥΤΑ

Ο ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων) είναι ένας χώρος για την απόρριψη αποβλήτων μέσω ταφής. Είναι η παλαιότερη μέθοδος διαχείρισης των αποβλήτων, παρ' όλο που η ταφή των αποβλήτων θεωρείται σχετικά σύγχρονη μέθοδος και χρησιμοποιείται ευρέως.

Τα αέρια που εκπέμπονται από το ΧΥΤΑ δημιουργούνται από την αναερόβια χώνευση μικροβίων. Σε έναν σωστά οργανωμένο ΧΥΤΑ αυτό το αέριο συλλέγεται και χρησιμοποιείται. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύση, παραγωγή ηλεκτρισμού και άλλα. [27]

## 2.2 Προσδιορισμός Αντικείμενου και Στόχου

### 2.2.1 Προσδιορισμός Στόχου

Με αφορμή την προσπάθεια που πραγματοποιείται στο δήμο Χαλανδρίου για ένα καθαρότερο και πιο φιλικό προς τον άνθρωπο περιβάλλον(μέσω του προγράμματος Waste4think), επιθυμούμε με την παρούσα εργασία να συγκρίνουμε το οικολογικό αποτύπωμα δύο διαφορετικών σεναρίων επεξεργασίας των τροφικών υπολειμμάτων στο δήμο του Χαλανδρίου. Επίσης, στόχος της εργασίας είναι να υπολογίσουμε την επίπτωση όσον αφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα της εφαρμογής του συστήματος διαχείρισης οικιακών ζυμώσιμων απορριμμάτων που προτείνεται από το WASTE4think. Ένα χρήσιμο εργαλείο που έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων είναι το λογισμικό EASETECH.

### 2.2.2 Λειτουργική Μονάδα

Η λειτουργική μονάδα (functional unit) είναι 1 τόνος Αστικών Στερεών Απορριμμάτων του Δήμου Χαλανδρίου. Επιλέγεται, η συγκεκριμένη λειτουργική μονάδα ώστε να αποτυπωθεί η επίπτωση που θα έχει η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης των οικιακών ζυμώσιμων απορριμμάτων στο σύνολο του συστήματος διαχείρισης.

### 2.2.3 Οριοθέτηση Συστήματος

Το σύστημά μας αποτελείται από μία περιοχή παρέμβασης (intervention system), στην οποία είναι δυνατόν να γίνουν τροποποιήσεις και παρεμβάσεις που σχετίζονται με το πρόβλημα που επιθυμούμε να λύσουμε και από τον περιβάλλον χώρο, στον οποίο ανήκουν τα στοιχεία που δε συναντώνται στην περιοχή παρέμβασης.[25]

Έτσι, η περιοχή παρέμβασης περιλαμβάνει τη σύσταση των αποβλήτων που θα επεξεργαστούν, την ποσότητά τους, τα ποσοστά που καταλήγουν στον κάθε κάδο κατά τη διαλογή στην πηγή, την κατανάλωση καυσίμου στις διεργασίες της συλλογής και της μεταφοράς, τα ποσοστά υγρασίας μετά από ξήρανση ή υγροποίηση, τις παραμέτρους που αφορούν την αναερόβια χώνευση(απόδοση, ποσοστό μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο κ.α.), τις παραμέτρους για την κομποστοποίηση(ποσοστά αποδόμησης των πτητικών στερεών, του αζώτου και του άνθρακα, εκπομπές στον αέρα κ.α.) και τις παραμέτρους για τον ΧΥΤΑ(ρυθμός αποδόμησης των διάφορων συστατικών των αποβλήτων που μελετώνται). Στη δεύτερη περιοχή, δηλαδή στον περιβάλλον χώρο, ανήκουν τα εξής στοιχεία: α) η παραγωγή απορριμμάτων ανά κάτοικο ανά χρόνο, β) οι συνθήκες των κατοίκων, γ) η ενημέρωση των πολιτών και η ευαισθητοποίησή τους για θέματα διαχείρισης των απορριμμάτων, δ) τα μέτρα που λαμβάνει το κράτος, ε) η ανάπτυξη της πόλης του Χαλανδρίου, στ) η οικονομική κατάσταση του Χαλανδρίου και των κατοίκων του, ζ) η τιμή του καυσίμου κίνησης(που επηρεάζει τη συλλογή και τη μεταφορά των απορριμμάτων).

## 2.2.4 Μέθοδος εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Προκειμένου να υπολογίσουμε το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της διεργασίας μας, χρησιμοποιούμε το λογισμικό EASETECH. Η λέξη EASETECH σημαίνει Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies. Σκοπός του EASETECH είναι να εφαρμόσει ΑΚΖ(Ανάλυση Κύκλου Ζωής) σε πολύπλοκα συστήματα με ετερογενείς ροές υλικών. Το EASETECH μοντελοποιεί τη χρήση και την ανάκτηση πηγών, αλλά και περιβαλλοντικές εκπομπές που σχετίζονται με την περιβαλλοντική διαχείριση σε ένα κύκλο ζωής.

Συγκεκριμένα, η μέθοδος εκτίμησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η “2013 Prosuit Global NR w/o LT” όπως προτείνεται από τη Διεθνή βάση δεδομένων ανάλυσης κύκλου ζωής (ILCD). Στη μέθοδο αυτή περιλαμβάνονται όλες οι προτεινόμενες κατηγορίες εκτός από την “Εξάντληση αβιοτικών πόρων” (abiotic resources depletion) η οποία χωρίζεται σε “στοιχεία” και “ορυκτά”

## 2.2.5 Συλλογή Βασικών Δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν προέρχονται από πειραματικά αποτελέσματα στο εργαστήριο, από βιβλιογραφικά δεδομένα και από επί τόπου αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο δήμο Χαλανδρίου.

### 2.2.5.1 Σύσταση Απορριμμάτων

Με μελέτες που έγιναν στο δήμο Χαλανδρίου, βρέθηκε η σύσταση των οικιακών Αστικών Στερεών Απορριμμάτων που παράγονται. Οι παρακάτω πίνακες δίνουν τη σύσταση αυτή:

Material fraction	%
Yard waste, flowers	8.22
Animal excrements and bedding (straw)	0.75
Paper and carton containers	10.07
Dirty paper	8.86
Clear glass	7.25
Non-recyclable glass	0.75
Plastic bottles	5.76
Soft plastic	4.71
Plastic products (toys, hangers, pens)	2.26
Food cans (tinplate/steel)	1.4
Beverage cans (aluminium)	0.91
Other metals	0.38
Aluminium foil and containers	0.91
Milk cartons (carton/plastic)	1.9
Plastic-coated aluminium foil	0.65
Wood	0.26
Textiles	1.23
Shoes, leather	0.54
Diapers, sanitary towels, tampons	5.72
Other non-combustibles	0.79
Stones, concrete	3.1
Soil	1.48
Other combustibles	1.67

Food waste	30.42
------------	-------

Πίνακας 5: Σύσταση των οικιακών ζυμώσιμων απορριμμάτων στο δήμο Χαλανδρίου

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, τα οικιακά Αστικά Στερεά Απορρίμματα του δήμου Χαλανδρίου αποτελούνται κατά 30.42% από απόβλητα φαγητού (food waste), ποσοστό που είναι πολύ μεγάλο και που αναδεικνύει τη σημασία που έχει η ανάπτυξη ενός φιλικού προς το περιβάλλον και βαισιζόμενου στις αρχές της κυκλικής οικονομίας μοντέλου διαχείρισης του συγκεκριμένου κλάσματος.

#### 2.2.5.2 Ρυθμός Διαλογής στην Πηγή

Το παρών σύστημα διαλογής στην πηγή του Δήμου Χαλανδρίου περιλαμβάνει 3 ρεύματα: τον μπλε κάδο για τα ανακυκλώσιμα, τον κίτρινο κάδο για το Χαρτί & Χαρτόνια και τον πράσινο κάδο για τα σύμμεικτα απορρίμματα. Βάσει μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο Δήμο προέκυψε ο Πίνακας 8 στον οποίον παρουσιάζεται ο ρυθμός διαλογής στην πηγή των διαφόρων ρευμάτων

Fraction name	Recyclables	Paper & Cardboard	Residues
Food waste	1.18	0	98.82
Other combustibles	52.28	1.52	46.2
Soil	1.72	0.13	98.15
Stones, concrete	11.12	0	88.88
Other non-combustibles	55.09	0	44.91
Diapers, sanitary towels, tampons	5.96	0.15	93.89
Shoes, leather	31.77	0	68.23
Textiles	54.05	0.16	45.79
Wood	15.67	0	84.33
Plastic-coated aluminium foil	20.66	0.3	79.04
Milk cartons (carton/plastic)	44.16	3.86	51.98
Aluminium foil and containers	64.81	0.11	35.08
Other metals	40.93	0	59.07
Beverage cans (aluminium)	70.97	1.72	27.31
Food cans (tinplate/steel)	79.27	0	20.73
Plastic products (toys, hangers, pens)	89.64	1.04	9.32
Soft plastic	51.31	1.58	47.11
Plastic bottles	63.53	1.36	35.11
Non-recyclable glass	5.26	0	94.74
Clear glass	89.68	0.94	9.38
Dirty paper	35.11	44.12	20.77
Paper and carton containers	48.73	34.71	16.56
Animal excrements and bedding (straw)	0	0	100
Yard waste, flowers	0.17	0	4.83
Default	0	0	100

Πίνακας 6: Διαλογή στην πηγή των αποβλήτων του δήμου Χαλανδρίου

Η διαλογή στην πηγή εφαρμόζεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση των ποσοτήτων αποβλήτων που καταλήγουν στον πράσινο κάδο, έτσι ώστε να απορρίπτονται τα περισσότερα απόβλητα σε ΧΥΤΑ.

### 2.2.6 Περιορισμοί Μελέτης

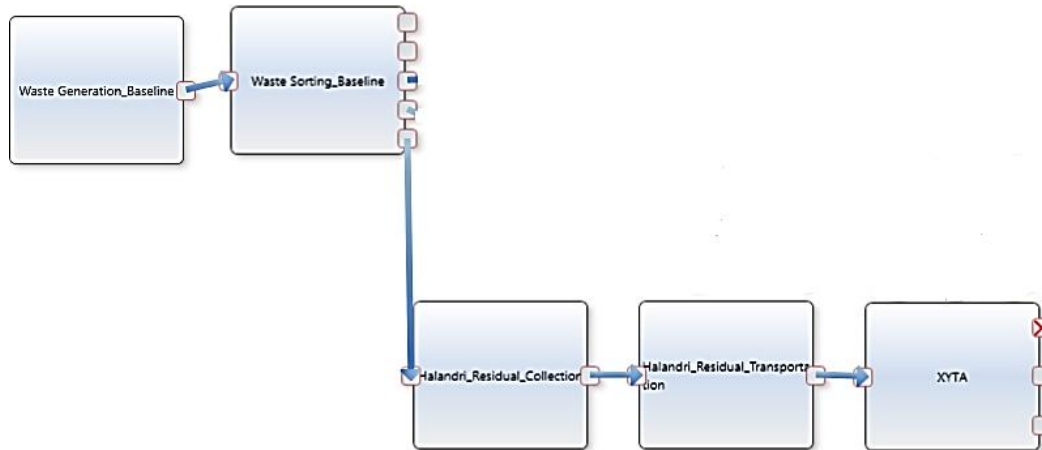
Όπως συμβαίνει με όλα τα καινούρια συστήματα και τα συστήματα που εξελίσσονται, υπάρχουν προβλήματα δυσχέρειας κατά την ανάπτυξη της ανάλυσης κύκλου ζωής. Επίσης, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται, έχουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα όταν περιέχουν υποθέσεις, που είναι υποκειμενικές. Αυτό αποτελεί πρόβλημα για απλές συγκρίσεις που πρέπει να γίνουν στη μελέτη που διεξάγεται. Άλλοι περιορισμοί είναι η εγκυρότητα των δεδομένων και το αν έχουν χρησιμοποιηθεί δεδομένα που είναι πρόσφατα. Η πραγματοποίηση μίας ανάλυσης κύκλου ζωής καταναλώνει πόρους και η συλλογή των δεδομένων μπορεί να έχει διάφορες δυσκολίες (μία από τις δυσκολίες αυτές μπορεί να είναι ότι έχουμε συλλέξει πειραματικά αποτελέσματα, επομένως δύο αναλύσεις κύκλου ζωής για το ίδιο θέμα μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικά αποτελέσματα). Έτσι, είναι απαραίτητο να ελέγξουμε πόσοι πόροι χρειάζονται και πόσα είναι τα προβλεπόμενα οφέλη για να δούμε αν όντως είναι εφικτή η μελέτη. Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι έχουμε κάνει κάποιες παραδοχές και κάποια άλλη ανάλυση κύκλου ζωής για το ίδιο πρόβλημα με άλλες παραδοχές θα έχει διαφορετικά αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, δεν υπάρχει κάποια μορφή ανάλυσης κύκλου ζωής που να είναι αποδεκτή από όλους, ενώ οι υπάρχουσες μελέτες με αναλύσεις κύκλου ζωής έχουν αρκετές ατέλειες. Τέλος, αποτελέσματα από μία ανάλυση κύκλου ζωής που σχετίζονται με εθνικά και περιφερειακά ζητήματα, δε μπορούν να εφαρμοστούν σε μία τοπική ανάλυση κύκλου ζωής.[28]

## 2.3 Καταγραφή δεδομένων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται δύο εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης των τροφικών υπολειμμάτων του Δήμου Χαλανδρίου. Ως Σενάριο 0 ορίζεται το σενάριο αναφοράς, δηλαδή η παρούσα κατάσταση της διαχείρισης στο Δήμο, όπου τα τροφικά υπολείμματα συλλέγονται ως σύμμεικτα στον πράσινο κάδο και οδηγούνται απ' ευθείας χωρίς προηγούμενη επεξεργασία στο ΧΥΤΑ Φυλής. Το Σενάριο 1 περιλαμβάνει το μοντέλο διαχείρισης που προτείνεται από το WASTE4think, όπως ακριβώς έχει περιγραφεί παραπάνω.

### 2.3.1 Σενάριο Αναφοράς

Το σενάριο αναφοράς όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 10 περιέχει τη συλλογή των τροφικών υπολειμμάτων ως συμμεικτων μέσω του πράσινου κάδου και τη μεταφορά τους στο ΧΥΤΑ. Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο ΧΥΤΑ θα περιγραφούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.



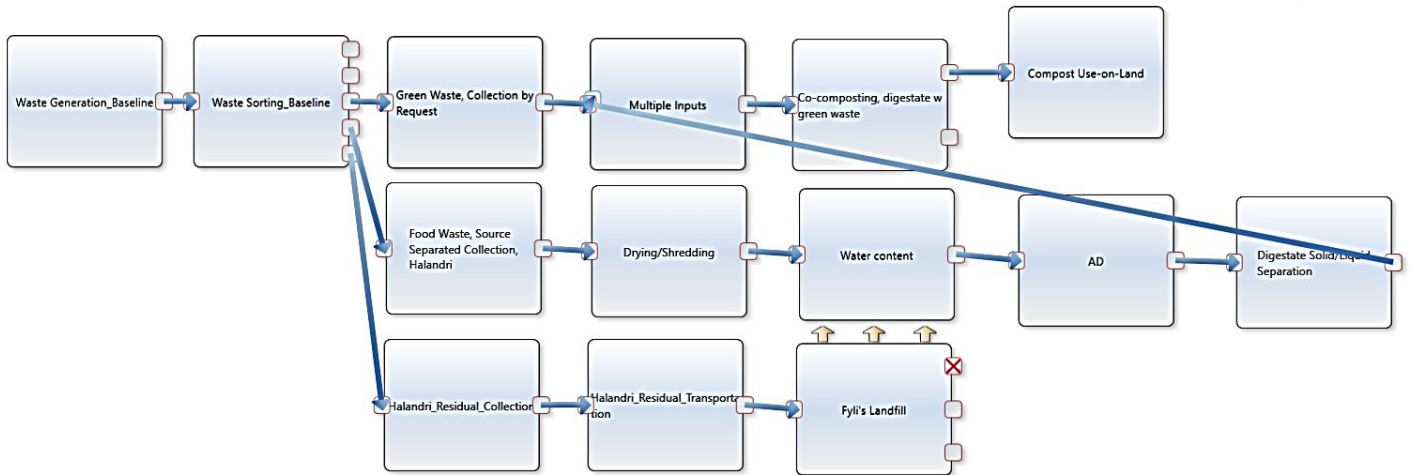
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής στο EASETECH για το σενάριο αναφοράς

### 2.3.2 Εναλλακτικό Σενάριο

Στο εναλλακτικό σενάριο (προτεινόμενο στα πλαίσια του WASTE4think) εφαρμόζεται σύστημα διαλογής στην πηγή των οικιακών ζυμώσιμων απορριμμάτων και συνεπεξεργασία με τα πράσινα απόβλητα του δήμου. Μελετάται η βέλτιστη περίπτωση όπου επιτυγχάνεται πλήρης διαλογή (η συνολική ποσότητα οικιακών ζυμώσιμων απορριμμάτων καταλήγει στον καφέ κάδο).

Τα οικιακά ζυμώσιμα απορρίμματα, συλλέγονται και μεταφέρονται στην ειδική μονάδα επεξεργασίας που βρίσκεται στα όρια του Δήμου, μέσω τροποποιημένων απορριμματοφόρων τα οποία καταναλώνουν βιομεθάνιο ως καύσιμο. Στη μονάδα αυτή υφίστανται μία διεργασία ξήρανσης και τεμαχισμού, προς παραγωγή του FORBI. Στη συνέχεια αιώρημα του FORBI χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης προς παραγωγή βιοαερίου, το οποίο εξευγενίζεται (προς αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα καθώς και άλλων τοξικών ενώσεων), συμπιέζεται και παράγεται το βιοκαύσιμο κίνησης των απορριμματοφόρων.

Παράλληλα η αναερόβια εκρόή του αντιδραστήρα συγκομποστοποιείται με τα πράσινα απόβλητα του Δήμου (κλαδέματα) προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού. Το προϊόν αυτό χρησιμοποιείται ως λίπασμα στα δημοτικά πάρκα και χώρους πρασίνου.



Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής στο EASETECH για το εναλλακτικό σενάριο

### 2.3.2.1 Σύστημα διαχείρισης τροφικών υπολειμμάτων

#### 2.3.2.1.1 Συλλογή

Τα απόβλητα φαγητού σε πολυκατοικίες του δήμου Χαλανδρίου συλλέγονται με απορριμματοφόρο το οποίο καταναλώνει 0.00307 lt καυσίμου ανά κιλό συνολικού υγρού βάρους. Θεωρούμε ότι το απορριμματοφόρο ζυγίζει περίπου 13 τόνους, ότι μπορεί να μεταφέρει φορτίο περίπου 10 τόνων και ότι διαθέτει υδραυλική συμπίεση. Η κατανάλωση αυτή αποτελεί βασική παράμετρο του μοντέλου. Επιπλέον, θεωρείται ότι τα απορριμματοφόρα είναι της κατηγορίας EURO6. Η συλλογή και η μεταφορά των αποβλήτων είναι δύο ξεχωριστές διεργασίες, των οποίων το περιβαλλοντικό αποτύπωμα υπολογίζεται με διαφορετική μέθοδο. Μάλιστα, στην περίπτωση των τροφικών υπολειμμάτων η επεξεργασία πραγματοποιείται τοπικά, στα όρια του Δήμου, επομένως θεωρούμε ότι δε θα χρειάζεται διεργασία μεταφοράς των απορριμμάτων. Ακόμα, το απορριμματοφόρο καταναλώνει βιοαέριο και οι κάδοι τους οποίους συλλέγουν τα οχήματα είναι χωρητικότητας 360 λίτρων. Όσον αφορά τα πράσινα απόβλητα η συλλογή γίνεται με παρόμοια μέθοδο, μόνο που δε θεωρείται ότι υπάρχουν τακτικά δρομολόγια συλλογής, αλλά αυτή πραγματοποιείται μετά από αίτηση των πολιτών, όταν υπάρχουν αντίστοιχα απόβλητα.

Add external process						
	Name	Amount	Unit	Per	Comment	Linked
	Documentation	Collection Vehicle, 10t Euro3, urban traffic, 1 liter diesel, 2006	0.00307	l	kg Total Wet Weight	<input type="checkbox"/>

Εικόνα 11: Κατανάλωση απορριμματοφόρου που συλλέγει τα απόβλητα

#### 2.3.2.1.2 Ξήρανση/Τεμαχισμός

Το ρεύμα των αποβλήτων φαγητού υπόκειται σε ξήρανση και τεμαχισμό, στην οποία η υγρασία του τελικού προϊόντος είναι 10%.



### Water content

Define the new water content

↓ Add fraction

Fraction name	% of wet weight
✖ Default	10

Εικόνα 12: Ποσοστό υγρασίας μετά την ξήρανση

Για τη διεργασία της ξήρανσης και του τεμαχισμού είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε και την κατανάλωση ηλεκτρισμού σε kWh. Αυτή είναι ίση με 0.88 kWh ανά κιλό εισερχόμενου αποβλήτου. Η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού έχει ως στόχο τη μείωση του όγκου των ζυμώσιμων απορριμμάτων σε ποσοστό που φτάνει μέχρι και το 90%. Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης είναι η μείωση του τελικού όγκου και βάρους, η αφαίρεση μεγάλου ποσοστού οσμών, η παράταση του δυνατού χρόνου αποθήκευσης χωρίς να επέρχεται αλλοίωση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του προϊόντος καθώς και η επίτευξη ομοιογένειας.

#### 2.3.2.1.3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Στην αναερόβια χώνευση, η είσοδος στον αναερόβιο χωνευτήρα περιέχει αστικά στερεά οργανικά απόβλητα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα απόβλητα του νοικοκυριού μαζί με τα απόβλητα κήπου, οργανικά απόβλητα από εστιατόρια, από πράσινες αγορές, από μαγαζιά με είδη φαγητού και παρόμοιους τύπους αποβλήτων αστικών περιοχών. Η έξοδος από τον αναερόβιο χωνευτήρα είναι βιοαέριο για την παραγωγή ενέργειας και το χώνευμα που χρησιμεύει ως υποκατάστατο λιπάσματος στις φάρμες. Ο σχεδιασμός του συστήματος της αναερόβιας χώνευσης έχει πραγματοποιηθεί βάσει των συστημάτων χώνευσης που χρησιμοποιούνται στη δυτική Ευρώπη. Η θερμοκρασία της μεσόφιλης αναερόβιας χώνευσης είναι 35 °C.

Αφού ρυθμίσαμε το ποσοστό υγρασίας του ρεύματος αποβλήτων που επεξεργαζόμαστε, ρυθμίζουμε τις παραμέτρους της αναερόβιας χώνευσης. Πιο συγκεκριμένα, η απόδοση της αναερόβιας χώνευσης όσον αφορά την αποδόμηση του βιοαποικοδομήσιμου άνθρακα είναι 82%, το ποσοστό του μεθανίου στο βιοαέριο που παράγεται είναι 62.8%.

### Anaerobic digestion

Define gas yield as proportion of degradable carbon

↓ Add fraction

Fraction name	Yields (% C bio and)
✖ Default	82

**Parameters related to biogas generation**

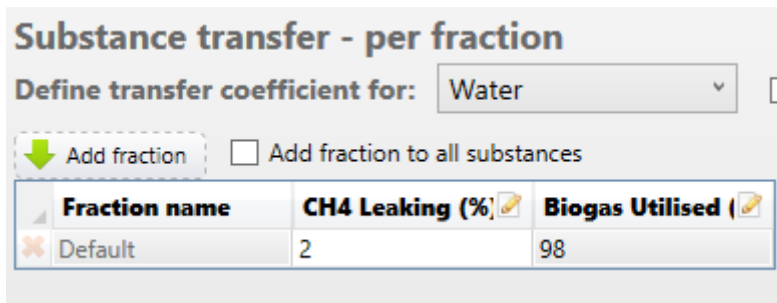
- Theoretical ratios of CH<sub>4</sub> in biogas View CH<sub>4</sub> %
- Partitioning of CO<sub>2</sub> between gas and liquid phases calculated with:
  - Part of CO<sub>2</sub> going to the liquid phase (%) 29.19
  - Measured CH<sub>4</sub> % in biogas 62.8

**Parameters related to mass balance**

Loss of VS related to loss of biogenic carbon 1.92

Εικόνα 13: Χαρακτηριστικά αναερόβιας χώνευσης

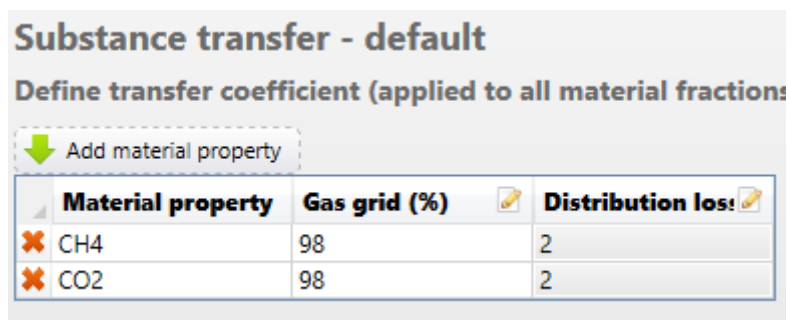
Επίσης, στη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, υποθέτουμε απώλειες βιοαερίου λόγω διαρροών 2%.



Εικόνα 14: Χαρακτηριστικά ανερόβιας χώνευσης

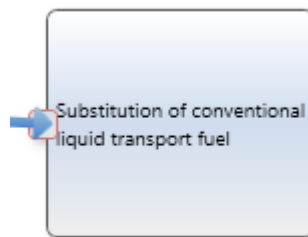
Τμήμα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι η αναβάθμιση του βιοαερίου (upgrading of biogas), κατά την οποία αφαιρείται το CO<sub>2</sub> και λαμβάνεται ρεύμα καθαρού μεθανίου.

Στη συμπίεση του αερίου (που είναι τμήμα της διεργασίας της αναβάθμισης του βιοαερίου) έχουμε απώλειες, λόγω διαρροών, 2% τόσο στο CH<sub>4</sub> όσο και στο CO<sub>2</sub>.



Εικόνα 15: Χαρακτηριστικά αναερόβιας χώνευσης

Το τελικό αέριο που παράγεται μπορεί να αντικαταστήσει το συμβατικό καύσιμο, που χρησιμοποιείται για την κίνηση των απορριμματοφόρων.



Εικόνα 16: Αντικατάσταση του συμβατικού καυσίμου μεταφοράς

Η αντιστοιχία του παραγόμενου βιοκαυσίμου είναι 38 MJ/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> που διατίθεται.

External processes						
Add external process						
	Name	Amount	Unit	Per	Comment	Linked
	Production and combustion of conventional petrol in car	-38	MJ	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>		<input type="checkbox"/>

Εικόνα 17: Κατανάλωση σε ενέργεια

#### 2.3.2.1.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΗΣ ΑΠΟ ΣΤΕΡΕΗ ΦΑΣΗ

Για την αξιοποίηση του χωνεμένου υπολείμματος με τη μέθοδο της συγκομποστοποίησης, απαιτείται η πραγματοποίηση διαχωρισμού υγρής-στερεής φάσης, ώστε να μειωθεί η

υγρασία του κλάσματος που οδηγείται σε συγκομποστοποίηση. Ο διαχωρισμός υγρής-στερεής φάσης αναπαρίσταται στο πρόγραμμα με μία διεργασία αλλαγής της υγρασίας. Συγκεκριμένα, η υγρασία που έχει το τελικό προϊόν μετά το διαχωρισμό είναι 60%.

Fraction name	% of wet weight
Default	60

Εικόνα 18: Ποσοστό υγρού μετά το διαχωρισμό υγρής-στερεής φάσης

#### 2.3.2.1.5 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Τα απόβλητα μεταφέρονται σε πλακόστρωτη περιοχή και στη συνέχεια τεμαχίζονται μέσω ενός βιομηχανικού μύλου που λειτουργεί με πετρέλαιο. Ο μύλος φορτώνεται μέσω ενός τροχοφόρου εκσκαφέα που είναι εξοπλισμένος στο βραχίονα με μία υδραυλική λαβή.

Τα απόβλητα φαγητού, έπειτα, οδηγούνται προς κομποστοποίηση μαζί με τα πράσινα απόβλητα του Δήμου. Στο πρόγραμμα εισήχθησαν σαν δεδομένα τα ποσοστά αποικοδόμησης των πτητικών στερεών (VS), του άνθρακα (C) και του αζώτου (N). Τα ποσοστά αυτά απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες:

Από το βιολογικό άνθρακα που παράγεται το 97.76% μετατρέπεται σε βιογενές CO<sub>2</sub>. Ενώ το 2.24% μετατρέπεται σε μη ορυκτό CH<sub>4</sub>. Από το άζωτο, το 2% παραμένει άζωτο, το 83% μετατρέπεται σε NH<sub>3</sub> και το 15% σε υποξείδιο το αζώτου.

Material property	Transformed at (%) into	Elementary exchange	Compartment
kg C bio	97.76	Carbon dioxide, non-fossil	air
kg C bio	2.24	Methane, non-fossil	air
kg N	2	nitrogen	air
kg N	83	Ammonia	air
kg N	15	Dinitrogen monoxide	air

Εικόνα 19: Εκπομπές στο περιβάλλον της αναερόθιας χώνευσης

#### 2.3.2.1.6 ΤΕΛΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ

Τα απόβλητα τελικά μεταφέρονται σε κήπους και πάρκα υποκαθιστώντας συμβατικά λιπάσματα σε αντιστοιχία που φαίνεται παρακάτω. Αποφεύγεται να χρησιμοποιούνται λιπάσματα από N, P, K που παράγονται στο εμπόριο. Επίσης, μπορεί να έχουμε έκπλυση σε κάποιες από τις ενώσεις μετά την εφαρμογή τους σε κήπους. Θεωρείται ότι το παραγόμενο εδαφοβελτιωτικό θα χρησιμοποιείται εντός των ορίων του Δήμου, επομένως δεν απαιτείται να εισαχθεί διεργασία που να αντιστοιχεί στη μεταφορά του προϊόντος.

Add external process							
		Name	Amount	Unit	Per	Comment	
✘	View	Documentation	Average K Fertilizer, Europe, 1997	-0.29*5.86/1000	kg	kg Total Wet Weight	29% substitution
✘	View	Documentation	Average P Fertilizer, Europe, 1997	-0.29*4.67/1000	kg	kg Total Wet Weight	29% substitution
✘	View	Documentation	Average N Fertilizer, Europe, 1997	-0.29*1.76/1000	kg	kg Total Wet Weight	30% of N content in compost,

Εικόνα 20: Τελική διάθεση των αποβλήτων φαγητού

### 2.3.2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### 2.3.2.2.1 ΣΥΛΛΟΓΗ

Για τη συλλογή των αποβλήτων χρησιμοποιήθηκε απορριμματοφόρο με κατανάλωση 0.00307 lt ντήζελ ανά κιλό συλλεγόμενων αποβλήτων αποβλήτων.

External processes						
Add external process						
		Name	Amount	Unit	Per	
✘	View	Documentation	Collection Vehicle, 10t Euro3, urban traffic, 1 liter diesel, 2006	0.00307	l	kg Total Wet Weight

Εικόνα 21: Συλλογή των υπολειμματικών αποβλήτων

#### 2.3.2.2.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Τη μεταφορά των αποβλήτων αναλαμβάνει ένα όχημα με κατανάλωση 0.0032 lt ανά κιλό υγρού βάρους. Στην περίπτωση της μεταφοράς σημαντικό ρόλο παίζει η απόσταση μεταφοράς, εδώ θεωρούμε απόσταση 40 χιλιομέτρων, όση περίπου είναι η απόσταση μέχρι το ΧΥΤΑ Φυλής, μετ' επιστροφής.

Add external process						
		Name	Amount	Unit	Per	
✘	View	Documentation	Collection Vehicle, 10t Euro3, urban traffic, 1 liter diesel, 2006	40*0.00008	l	kg Total Wet Weight

Εικόνα 22: Μεταφορά των υπολειμματικών αποβλήτων

#### 2.3.2.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΧΥΤΑ

Τελικά, τα υπολειμματικά απόβλητα οδηγούνται σε ΧΥΤΑ προς τελική διάθεση. Στο ΧΥΤΑ οι βασικές πηγές περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι η παραγωγή αερίων ρύπων (κυρίως CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>) αλλά και υγρού στραγγίσματος που καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Βασικές παράμετροι μοντελοποίησης στο EASETECH είναι ο ρυθμός παραγωγής αερίων ρύπων και στραγγίσματος αλλά και οι μέθοδοι συλλογής και επεξεργασίας τους. Ο ρυθμός παραγωγής αερίου θεωρείται ότι ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης και οι κινητικές σταθερές κάθε κλάσματος εξαρτώνται από τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το αέριο συλλέγεται και αξιοποιείται ως καύσιμο σε μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, η οποία υποκαθιστά τη χρήση συμβατικών για τα δεδομένα της Ελλάδας πηγών ενέργειας (λιγνίτης, πετρέλαιο). Το ποσοστό συλλογής ανάλογα τη χρονική περίοδο κυμαίνεται από 35% έως 75% για τα πρώτα 40 χρόνια ζωής του ΧΥΤΑ, ενώ μετά θεωρείται ότι παύει η συλλογής και εκπομπές εξακολουθούν να υπάρχουν για 60 ακόμα χρόνια.

Όσον αφορά το στράγγισμα που παράγεται θεωρούμε ότι συλλέγεται σε ποσοστό έως και 99% για τα πρώτα 80 χρόνια και υφίσταται κοινή αερόβια επεξεργασία.

## 2.4 Εκτίμηση περιβαλλοντικού αποτυπώματος εναλλακτικών σεναρίων

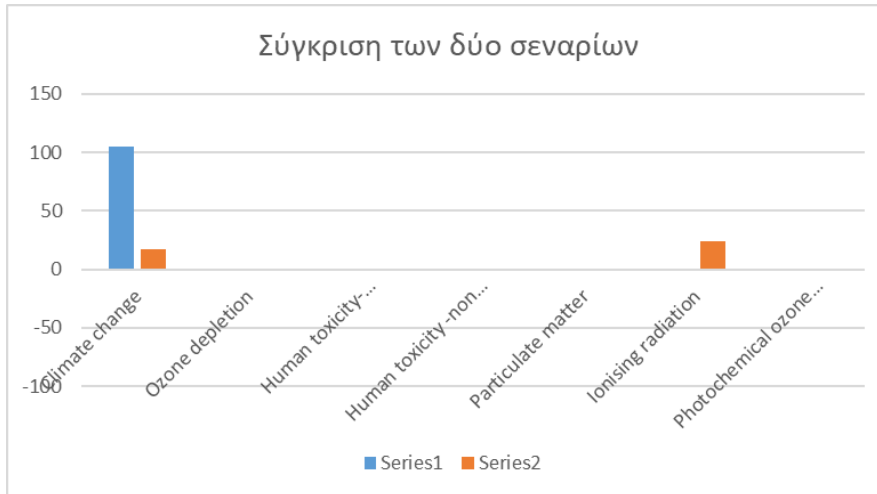
Ο υπολογισμός του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εναλλακτικών σεναρίων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από το λογισμικό EASETECH. Αυτό που κάνουμε είναι εκτίμηση των συνεπειών του κύκλου ζωής ή Life Cycle Impact Assessment(LCIA). Στόχος του LCIA είναι να απλοποιήσει την πολυπλοκότητα εκατοντάδων ροών σε λίγους περιβαλλοντικούς τομείς που μας ενδιαφέρουν. Τα LCIA έχουν αναπτυχθεί ως εργαλεία για να διευρύνουν τις πληροφορίες και το περιεχόμενο του LCI, το οποίο αναφέρεται κυρίως σε μάζα και ενέργεια. Οι πληροφορίες που μας δίνει το LCIA είναι το πόσο επηρεάζει η διεργασία μας διάφορες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως η κλιματική αλλαγή, η εξασθένηση του όζοντος, η ανθρωπίνη τοξικότητα κ.α.. Το EASETECH έχει μία ακόμα δυνατότητα, η οποία είναι να υπολογίζει το πόσο επηρεάζει η κάθε επιμέρους διεργασία (αναερόβια χώνευση, κομποστοποίηση κ.λ.π.) τα φυσικά φαινόμενα που προαναφέρθηκαν. Στους παρακάτω πίνακες, όπου έχει αρνητική τιμή αυτό σημαίνει περιβαλλοντική ελάφρυνση, ενώ όπου υπάρχει θετική τιμή τότε έχουμε περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το LCIA των δύο σεναρίων καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή σε κάθε μία από τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Κατηγορία Επιπτώσεων	Σενάριο 0	Σενάριο 1	%Μεταβολής
Κλιματική αλλαγή (kg CO2-eq)	105	17	-84%
Εξασθένηση του όζοντος(kg CFC -11eq)	0.0002314	4.49E-05	-81%
Ανθρώπινη τοξικότητα, αφορά και τον καρκίνο (CTUh)	2.64E-07	4.29E-07	62%
Ανθρώπινη τοξικότητα, δεν αφορά τον καρκίνο (CTUh)	4.64E-06	6.83E-06	47%
Αιωρούμενα σωματίδια (kg PM2.5-eq)	0.01259	0.04675	271%
Ιονίζουσα ακτινοβολία ανθρώπου (kBq U235-eq)	-0.02216	24.06	-108674%
Φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος (kg NMVOC)	0.334	0.2735	-18%
Επίγεια οξύνιση (mol H+ eq)	0.3067	1.109	262%
Επίγειος ευτροφισμός (mol N eq)	1.474	3.276	122%
Ευτροφισμός νερού (kg P eq)	-0.001448	-0.001521	5%
Θαλάσσιος ευτροφισμός (kg N eq)	0.1615	0.1643	2%
Οικοτοξικότητα νερού (CTUe)	44.69	30.92	-31%
Εξάντληση αβιοτικών πηγών (MJ)	-511.6	2194	-529%
Εξάντληση των χημικών στοιχείων (kg antimony-eq)	7.43E-06	0.01152	155052%

Πίνακας 7: Εκτίμηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δύο σεναρίων

Όπως προκύπτει η μετάβαση στο προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης θα επιφέρει σημαντική μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της διαχείρισης όσον αφορά τις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων, χαρακτηριστικό παράδειγμα η Κλιματική Αλλαγή η οποία θα έχει μείωση 84%. Σημαντική αύξηση παρατηρείται μόνο σε τρεις κατηγορίες (Αιωρούμενα Σωματίδια, Επίγεια Οξύνιση και Επίγειος Ευτροφισμός). Παρακάτω παρουσιάζονται και διαγραμματικά τα ίδια αποτελέσματα:



Εικόνα 23: Διάγραμμα με τα αποτελέσματα της εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος

Σημαντικό πλεονέκτημα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής είναι η δυνατότητα μελέτης ανά διεργασία. Με αυτό το τρόπο καθίσταται δυνατή η αναγνώριση των σημείων του συνολικού συστήματος, τα οποία μπορούν να βελτιστοποιηθούν από την άποψη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Με το EASETECH έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε την επίδραση της κάθε μίας διεργασίας που χρησιμοποιήσαμε στις διάφορες κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αναλυτικότερα, οι επιδράσεις αυτές, για το προτεινόμενο σενάριο διαχείρισης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Name	Συγκομποστοποίηση	Αναερόβια χώνευση	Εξασθένηση εξαερωμένου	Σύλληψη ΤΥ	Σύλληψη παράστων	Σύλληψη Υπολείμματων	Μεταφορά Υπολείμματων	Απόθεση στο ΧΥΤΑ	Ξήρανση/Τεμαχισμός
Κλιματική αλλαγή (kg CO <sub>2</sub> -eq)	14.40717409	-45.82051065	-0.296653297	2.790747566	2.141809447	2.315029268	2.413059823	-84.50297657	123.5499931
Εξασθένηση του όζοντος(kg CFC -11eq)	0	1.48E-08	0	1.02E-09	7.84E-10	8.48E-10	8.84E-10	3.70E-05	7.89E-06
Ανθρώπινη τοξικότητα, αφορά και τον καρκίνο (CTUh)	0	5.62E-09	-4.61E-09	1.45E-09	2.93E-09	1.20E-09	3.31E-09	2.32E-07	1.87E-07
Ανθρώπινη τοξικότητα, δεν αφορά τον καρκίνο (CTUh)	0	5.32E-07	2.20E-07	5.61E-07	4.31E-07	4.65E-07	4.85E-07	1.21E-06	2.93E-06
Αιωρούμενα σωματίδια (kg PM <sub>2.5</sub> -eq)	0.010323268	-0.008382822	-7.27E-05	0.002252246	0.001728527	0.001868322	0.001947437	0.000213113	0.036872243
Ιονίζουσα ακτινοβολία ανθρώπου (kBq U235-eq)	0	0.02043155	0	0.004029934	0.003092845	0.003342981	0.00348454	-0.009084651	24.03018557
Φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος (kg NMVOC)	0.006539886	-0.113063259	-0.000568764	0.025624022	0.019665617	0.021256083	0.022156178	0.045282061	0.24663465
Επίγεια οξύνιση (mol H <sup>+</sup> eq)	0.467620664	-0.043941762	-0.002003016	0.020114417	0.015437171	0.01668566	0.017392218	0.024154861	0.593167341
Επίγειος ευτροφισμός (mol N eq)	2.085712032	-0.115685166	-0.003444965	0.102788119	0.078886592	0.085266581	0.088877218	0.082937349	0.871067443
Ευτροφισμός νερού (kg P eq)	0	3.92E-06	-0.001620615	2.43E-06	1.86E-06	2.01E-06	2.10E-06	8.06E-05	6.98E-06
Θαλάσσιος ευτροφισμός (kg N eq)	0.014245398	-0.010668234	0.000377777	0.009229125	0.007084473	0.007655904	0.007981689	0.048238921	0.080119276
Οικοτοξικότητα νερού (CTUe)	0	0.278899856	2.943418457	0.304428932	0.243188439	0.252535161	0.273987143	20.20900211	6.414781617
Εξάντληση αβιοτικών πηγών (MJ)	0	357.7549147	0	38.11049063	29.24858194	31.61407441	32.95278115	-152.7766648	1856.667899
Εξάντληση των χημικών στοιχείων (kg antimony-eq)	0	9.10E-06	0	2.17E-06	1.66E-06	1.80E-06	1.88E-06	-3.80E-06	0.01150646

Εικόνα 24: Επίδραση της κάθε διεργασίας στα αποτελέσματα του LCIA

Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι στην κλιματική αλλαγή οι διεργασίες που την επηρεάζουν περισσότερο είναι ο ΧΥΤΑ και η ξήρανση/τεμαχισμός. Στην εξασθένηση του όζοντος, οι διεργασίες που επηρεάζουν περισσότερο είναι πάλι ο ΧΥΤΑ και η ξήρανση/τεμαχισμός. Το ίδιο ισχύει και για την ανθρώπινη τοξικότητα που περιλαμβάνει καρκίνο και για την ανθρώπινη τοξικότητα που δεν περιλαμβάνει καρκίνο. Στην κατηγορία αιωρούμενα σωματίδια, οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο είναι η συγκομποστοποίηση και η ξήρανση/τεμαχισμός. Έπειτα, στην ιονίζουσα ακτινοβολία μεγάλη επίδραση έχει το στάδιο της ξήρανσης/τεμαχισμού. Στο σχηματισμό φωτοχημικού όζοντος επιδρά περισσότερο η ξήρανση/τεμαχισμός. Στην επίγεια οξύνιση, η πιο σημαντική διεργασία είναι η συγκομποστοποίηση και η ξήρανση/τεμαχισμός. Στον επίγειο ευτροφισμό, η συγκομποστοποίηση επηρεάζει περισσότερο και στον ευτροφισμό του γλυκού νερού η κομποστοποίηση όπου έχουμε χρήση στη γη. Στο θαλάσσιο ευτροφισμό οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι η συγκομποστοποίηση, ο ΧΥΤΑ και η ξήρανση/τεμαχισμός. Στην οικοτοξικότητα του γλυκού νερού τα σημαντικότερα στάδια είναι ο ΧΥΤΑ και η ξήρανση/τεμαχισμός με το πρώτο στάδια να είναι πιο σημαντικό. Στην εξάντληση αβιοτικών πηγών που αφορά ορυκτά οι διεργασίες που επηρεάζουν περισσότερο είναι η αναερόβια χώνευση και η ξήρανση/τεμαχισμός. Τέλος, για την εξάντληση των αβιοτικών πηγών που αφορά στοιχεία σημαντικότερη επίδραση έχει μόνο το στάδιο της ξήρανσης/τεμαχισμού.

## 2.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Οι παράμετροι στις οποίες επιλέξαμε να κάνουμε ανάλυση ευαισθησίας είναι οι εξής: Το καύσιμο που καταναλώνεται κατά τη συλλογή των αποβλήτων φαγητού, η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται κατά τη διεργασία της ξήρανσης-τεμαχισμού, η απόδοση της αναερόβιας χώνευσης, η διείδυση των στραγγισμάτων στο ΧΥΤΑ, το ύψος του στρώματος που δημιουργείται στο ΧΥΤΑ και η φαινόμενη πυκνότητα στον ΧΥΤΑ. Την ανάλυση ευαισθησίας την εφαρμόσαμε, γιατί θέλαμε να συμπεράνουμε ποιες μεταβλητές επηρεάζουν περισσότερο τα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση ευαισθησίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Παράμετροι	Κλιματική Αλλαγή	Εξασθένιση του όζοντος	Φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος	Επίγει οξίνιση	Ευτροφισμός Επίγειας ευτροφισμός	Ευτροφισμός νερού	Θαλάσσιος ευτροφισμός	Οικολογικότητα νερού
Πυκνότητα	0.02019	1.80E-03	0.003973	-0.006579	0.002572	0.04871	-0.1634	-0.5059
Κατανάλωση ενέργειας ξηραντήρα	2,026	0.2667	0.9401	0.6624	0.3817	-0.007844	0.6189	0.3085
Ποσότητα καυσίμου για συλλογή	0.02685	2.03E-02	0.0573	0.01318	0.02643	-0.001601	0.04182	0.00859
Ύψος κυττάρου ΧΥΤΑ	0.02019	1.80E-03	0.003973	-0.006579	0.002572	0.04871	-0.1634	-0.5059
Διείσδυση στραγγισμάτων στο ΧΥΤΑ	-0.0222	-1.98E-03	-0.00437	0.007237	-0.00283	-0.05358	0.1798	0.5564
Απόδοση Αναερόβιας Χώνευσης	-0.7831	0.0002376	-0.3523	-0.05623	-0.07006	-0.001437	-0.1128	0.0007873

Είναι εμφανές ότι η κατανάλωση ενέργειας στον ξηραντήρα είναι η πιο ευαίσθητη παράμετρος για τις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Επίσης, σημαντική επίδραση ιδιαίτερα όσον αφορά στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής έχει και η απόδοση της αναερόβιας χώνευσης. Επομένως, από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι οι βασικοί στόχοι μίας πιθανής βελτιστοποίησης του προτεινόμενου συστήματος διαχείρισης θα ήταν η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας για την ξήρανση των τροφικών υπολειμμάτων αλλά και η μεγιστοποίηση της απόδοσης της αναερόβιας χώνευσης.



### 3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής που πραγματοποιήθηκε αποσκοπούσε στην μελέτη της επίπτωσης που θα είχε η μετάβαση στο προτεινόμενο από το WASTE4think σύστημα διαχείρισης των οικιακών Αστικών Ζυμώσιμων Απορριμμάτων.

Παρατηρούμε ότι και τα δύο σενάρια έχουν αρνητικές συνέπειες στην κλιματική αλλαγή, μόνο που το εναλλακτικό σενάριο (Σενάριο 1) έχει κατά 84% μικρότερη επίδραση στο συγκεκριμένο φαινόμενο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων το Σενάριο 1 υπερτερεί της υπάρχουσας κατάστασης. Οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επηρεάζονται περισσότερο είναι η κλιματική αλλαγή, η ιονίζουσα ακτινοβολία του ανθρώπου, η οικοτοξικότητα του νερού και η εξάντληση των αβιοτικών πηγών. Το γεγονός ότι το εναλλακτικό σενάριο υπερέχει του σεναρίου αναφοράς, δε σημαίνει πως είναι προτιμητέο αφού αυτό μπορεί να το κρίνει η ευρωπαϊκή και η εθνική νομοθεσία. Ωστόσο, αναδεικνύονται δύο σημαντικά πλεονεκτήματα του Σεναρίου 1:

1. Η εκτροπή των Τροφικών Υπολειμμάτων από το ΧΥΤΑ σημαίνει σημαντική μείωση τόσο των αερίων εκπομπών του ΧΥΤΑ όσο και των στραγγισμάτων. Επομένως, σημαίνει σημαντική μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.
2. Η αποκεντρωμένη τοπική διαχείρισης, εντός των ορίων του Δήμου, οδηγεί σε σημαντική μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, λόγω της μείωσης των εκπομπών από τη μεταφορά των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ

Από τα αποτελέσματα της εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της κάθε διεργασίας που χρησιμοποιήσαμε, παρατηρούμε ότι η διεργασία της ξήρανσης/τεμαχισμού των τροφικών υπολειμμάτων έχει το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Αυτό είναι λογικό δεδομένων της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας για την ξήρανση. Ως εκ τούτου, κρίνεται σκόπιμη η βελτιστοποίηση της διεργασίας ξήρανσης/τεμαχισμού είτε και η έρευνα εναλλακτικών μεθόδων ξήρανσης.

#### 4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θα ήταν πολύ χρήσιμο να πραγματοποιηθεί καινούρια μελέτη πάνω στο ίδιο θέμα είτε με το ίδιο λογισμικό είτε με κάποιο πιο καινούριο. Ειδικότερα, θα μπορούσε κάποιος να κατασκευάσει ένα σενάριο το οποίο να έχει διαφορετικές διεργασίες από το σενάριο που επιλέχθηκε για αυτήν την εργασία. Επίσης, θα ήταν πρόσφορο να σχεδιάζε κάποιος πολλά διαφορετικά σενάρια έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη βεβαιότητα για τα τελικά αποτελέσματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα η σχεδίαση του λογισμικού EASETECH, οπότε τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να συγκριθούν στο μέλλον με τα αποτελέσματα κάποιου σύγχρονου προγράμματος στο οποίο θα υπάρχουν οι πλέον ενημερωμένες βάσεις δεδομένων. Μετά τη σύγκριση, αφού θα είναι γνωστό ποιες είναι οι αποκλίσεις του λογισμικού που περιέχει τις ενημερωμένες βάσεις δεδομένων με το παλαιότερο λογισμικό, θα μπορούν να γίνουν και διορθώσεις στο παλιό λογισμικό.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική σημασία για μία μελέτη σαν και αυτή έχει η μελέτη της ποιότητας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται μέσω μεθόδων όπως η ανάλυση ευαισθησίας και ανάλυση αβεβαιότητας.

## 5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/swm1.pdf>
2. Μάριος Ευθυμίου, «Στερεά απόβλητα», Γραφείο Επιτρόπου Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο Κύπρου.
3. <http://www.recyclingathome.eu/site/index.php/el/2013-02-06-09-55-02/2013-02-06-10-03-12>
4. Agroenergy,  
<http://www.agroenergy.gr/categories/%CF%83%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B5%CE%AC-%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%81%CF%81%CE%AF%CE%BC%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>  
1
5. Ντζαμίλης Παναγιώτης, Χάβας Γεώργιος, «ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΡΗΤΗΣ», Μεταπτυχιακή διατριβή για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος Ειδίκευσης «Έλεγχος Ποιότητας και Διαχείριση Περιβάλλοντος, Μάρτιος 2004
6. Κορνάρος Μιχαήλ, «Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των Στερεών Απορριμμάτων», Τεχνολογία Περιβάλλοντος: Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Πατρών
7. Παναγιώτα Ψαριανού, ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΒΙΟΔΙΑΣΠΑΣΙΜΩΝ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2012
8. Ιατρίδης Γεώργιος, «ΤΟΠΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΔΗΜΟΥ ΑΛΜΩΠΙΑΣ», ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΑΣ, ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ
9. Η πλαστική ρύπανση στην παγκόσμια έκθεση του WWF: Τα στοιχεία για την Ελλάδα, <https://www.star.gr/eidiseis/ellada/453621/eidhseis-shmera-h-ellada-pisw-sth-diaxeirish-apoblhtwn>
10. Κουλούδης Ιορδάνης, «ΧΥΤΑ. Η ελληνική και διεθνής πρακτική», Ερευνητική Εργασία, Βέροια, Ιούνιος 2012
11. Η αναγκαιότητα διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων, <http://www.avgi.gr/article/10811/9454444/e-anankaioteta-diacheirises-ton-astikon-stereon-apobleton>
12. Διαχείριση Απορριμμάτων στην Ελλάδα, [http://www.wwf.gr/images/pdfs/fact\\_sheet\\_sterea\\_apovlita.pdf](http://www.wwf.gr/images/pdfs/fact_sheet_sterea_apovlita.pdf)
13. Κοινωνικο-Οικονομικές Πτυχές της Διαχείρισης Αποβλήτων
14. Γιώργος Ουρσουζίδης, «Διαχείριση στερεών αποβλήτων: Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές στην Ελλάδα», γράφει ο Γιώργος Ουρσουζίδης, 4 Σεπτεμβρίου 2017 <https://faretra.info/2017/09/04/diacheirisi-stereon-apovlita-ifistameni-katastasi-kai-prooptikes-stin-ellada-grafei-o-giorgos-oursouzidis/>

15. Ανδρέας Χασιώτης, «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας  
Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας

[http://library.tee.gr/digital/kma/kma\\_m1433/kma\\_m1433\\_xasiotis.pdf](http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1433/kma_m1433_xasiotis.pdf)

16. [https://en.wikipedia.org/wiki/Municipal\\_solid\\_waste](https://en.wikipedia.org/wiki/Municipal_solid_waste)
17. Mr. D.B.S.S.R Sastry, «Composition of Municipal Solid Waste- need for thermal treatment in present Indian context
18. Household Waste,  
<http://phsneb.org/programs/population-protection/environmental/household-waste/>
19. <http://waste4think.eu/el/halandri-shows-way-alternative-waste-management>
20. Κ. Παπαδοπούλου, Σ. Νιάκας, Ε. Μελανίτου, Γ. Λύτρας, Δ. Μαθιουδάκης, Γ. Λυμπεράτος, Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Αστικών στερεών απορριμμάτων στο Δήμο Χαλανδρίου
21. [https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle\\_assessment](https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_assessment)
22. Ιωάννης Μπάκας, Anna Bernstad, Julie Clavreul, Monia Niero, LCA applied to solid waste management systems: A comprehensive review, November 2012
23. <http://www.pollutionissues.com/Ve-Z/Waste-Transportation-of.html>
24. [file:///C:/Users/User/Downloads/SE\\_FS\\_2014\\_final\\_handout\\_Schoensleben.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/SE_FS_2014_final_handout_Schoensleben.pdf),  
Systems Engineering Methodology, Team Schonsleben
25. <https://learn.eartheasy.com/guides/composting/>
26. <https://en.wikipedia.org/wiki/Compost>
27. <https://en.wikipedia.org/wiki/Landfill>
28. <https://www.ukessays.com/essays/environmental-sciences/key-benefits-and-limitations-of-lca-environmental-sciences-essay.php>
29. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%B9>