

## Πτυχιακή Εργασία

Περιβαλλοντικές ωφέλειες από την εναλλακτική διαχείριση  
οργανικών αστικών απορριμμάτων σε μικρό ημιαστικό Δήμο  
με την χρήση του μοντέλου WARM



Τριβέλλας Ισίδωρος 2016010103

Υπεύθυνος Καθηγητής : Τσαγκαράκης Κωνσταντίνος

Χανιά 2023

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε κατά την ακαδημαϊκή περίοδο 2022-2023 υπό την ανάθεση του Καθηγητή Τσαγκαράκη Κωνσταντίνου, στα πλαίσια του μαθήματος Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσαγκαράκη για την συμβολή του, την καθοδήγηση του, τη συνεργασία του, την εμπιστοσύνη του για την ανάθεση του θέματος της πτυχιακής εργασίας αλλά και των γνώσεων που μου προσέφερε τα χρόνια της φοίτησης μου. Επιπλέον θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την αδιάκοπη συνεργασία μας, την συνεχή και πολύτιμη στήριξη και βοήθεια του όλο αυτό το διάστημα για να εμβαθύνω συνεχώς στο θέμα, εκφράζοντας μου απορίες που μου κινούν την περιέργεια καθώς και για τις συμβουλές και την καθοδήγηση του για την εκπόνηση της εργασίας.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δήμο Αρχανών Αστερούσιων για τις πολύτιμες πληροφορίες και βοήθεια που μου παρείχε.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευχαρίστηση προς την οικογένεια μου και τους φίλους μου είτε νέους είτε παλιούς για την αλληλεγγύη, την κατανόηση, την εμπύχωση να μην τα παρατήσω αλλά και την οικονομική και ψυχολογική τους υποστήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε προσεγγίζοντας διεξοδικά τις περιβαλλοντικές ωφέλειες από την εναλλακτική διαχείριση των οργανικών αστικών απορριμμάτων. Αφού αρχικά αποσαφηνίστηκε ο όρος αστικά στερεά απόβλητα δόθηκαν αριθμητικά δεδομένα για τον όγκο τους σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς και μελλοντικές προβλέψεις για την διαχείριση τους είτε προέρχονται από χώρες υψηλού είτε χαμηλού εισοδήματος. Στη συνέχεια, διαχωρίστηκαν τα οργανικά από τα ανόργανα αστικά απόβλητα με τον Αμερικανικό Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) να αποκαλεί τα οργανικά « waste » και να δημοσιοποιεί στατιστικά στοιχεία για την χρήση τους. Στο προσκήνιο εμφανίζεται η κυκλική οικονομία με εξέχουσα την κομποστοποίηση και την αναερόβια χώνεψη για την επαναχρησιμοποίηση των οργανικών αποβλήτων. Εκτενής αναφορά γίνεται ακολούθως στα στάδια, τις μεθόδους και τις παραμέτρους της κομποστοποίησης, όπως και τα κυριότερα οφέλη της.

Τα αποκαλούμενα απόβλητα « MSW » έχουν ανακηρυχθεί σε ζήτημα υψηλής προτεραιότητας των οποίων η αντιμετώπιση και περιβαλλοντική αξιοποίηση παρακολουθείτε στο διάστημα 1960-2018, με ιδιαίτερη μνεία στις τάσεις της ανακύκλωσης και της κομποστοποίησης. Παράλληλα, παρατίθενται πορίσματα ερευνών της ανεξάρτητης αρχής ECN (European Compost Network) όπως και το νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που καθιστά απαραίτητη την χρήση φιλικών προς το περιβάλλον μεθόδων με εξέχοντα το ρόλο του ποιοτικού κομπόστ. Απώτερος σκοπός προβάλλεται η ανάπτυξη μέχρι το 2035 των μεθόδων αυτών.

Ολοκληρώνοντας, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην χώρα μας που βάσει στοιχείων των αρμόδιων Υπουργείων Περιβάλλοντος και Ενέργειας, υστερεί στην διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων συγκριτικά προς την υπόλοιπη Ευρώπη και των θέσεων της για ενεργειακή ουδετερότητα μέχρι το 2050. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος θεσπίστηκε το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων αναλαμβάνοντας αρκετά έργα σε ολόκληρη την χώρα όμως η υγειονομική κρίση του Covid 19 καθυστέρησε ή ακόμα και ματαίωσε μερικά από τα έργα του ΕΣΔΑ. Το έργο το οποίο θα μελετήσουμε είναι η μονάδα κομποστοποίησης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος, η οποία πρόκειται να εγκατασταθεί στον ΧΥΤΑ Αρχανών – Αστερουσίων στην Κρήτη, αναλυτικότερα παρουσιάζονται όλα τα στάδια λιπασματοποίησης, κομποστοποίησης, μηχανικής υποστήριξης αλλά και συστημάτων ασφαλούς λειτουργίας της μονάδας. Τέλος με την χρήση του μοντέλου WARM (Waste Reduction Model) είμαστε σε θέση να ποσοτικοποιήσουμε και να αναλύσουμε τα οφέλη που θα έχει αυτή η μονάδα παραγωγής τόσο στο περιβάλλον όσο και στους πολίτες.

## Abstract

This thesis was conducted by thoroughly examining the environmental benefits of alternative management of organic municipal waste. After clarifying the term “municipal solid waste” numerical data were provided on their volume globally, as well as future projections for their management, whether they originate from high- or low-income countries. Subsequently, organic waste was separated from inorganic municipal waste, with the Environmental Protection Agency referring to organics as “waste” and publishing statistics on their usage. The circular economy, with composting as a prominent aspect for the reuse of organic waste, comes to the forefront. Extensive reference is made to the stages, methods, and parameters of composting, as well as its main benefits.

The so-called “municipal solid waste” (MSW) has been declared a high-priority issue, with its management and environmental utilization monitored from 1960 to 2018, particularly highlighting recycling and composting trends. Additionally, findings from research conducted by the independent body ECN (European Compost Network) are presented, along with the legislative framework of the European Union, which makes the use of environmentally friendly methods, particularly high-quality compost, essential. The ultimate goal is the development of these methods by 2035.

In conclusion, this thesis focuses on our country, which, based on data from the competent Ministries of Environment and Energy, lags behind in the management of municipal solid waste compared to the rest of Europe and its positions on energy neutrality by 2050. To address this issue, the National Waste Management Plan was established, undertaking several projects throughout the country. However, the health crisis of Covid-19 has delayed or even canceled some of the projects of the National Waste Management Plan. The project we will examine is the composting unit for preselected organic fractions, which is planned to be installed at the Archanes-Asterousia landfill in Crete. In more detail, all stages of fertilization, composting, mechanical support, and safe operation systems of the unit are presented. Finally, using the Waste Reduction Model (WARM), we are able to quantify and analyze the benefits that this production unit will have on the environment and citizens.

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων .....	6
Κατάλογος Εικόνων .....	6
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	6
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> Αστικά Στερεά απόβλητα .....	8
1.1 Εισαγωγή .....	8
1.2 Τάσεις στα Αστικά Στερεά Απόβλητα .....	8
1.3 Οργανικά απόβλητα .....	11
1.4 Γενικές Αλήθειες για τα Οργανικά Αστικά Απόβλητα .....	11
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> Κομποστοποίηση .....	13
2.1 Ορισμός Κομποστοποίησης .....	13
2.1.1 Τα κυριότερα οφέλη της κομποστοποίησης .....	13
2.1.2 Στάδια κομποστοποίησης .....	14
2.1.3 Παράμετροι Κομποστοποίησης .....	14
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> Ευρωπαϊκή Ένωση .....	16
4.1 Παραγωγή αστικών απορριμμάτων .....	18
4.2 Επεξεργασία αστικών απορριμμάτων .....	20
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> Ελλάδα .....	22
5.1 Νομοθετικό Πλαίσιο .....	22
5.3 Δυναμικότητα της Εγκατάστασης .....	23
5.3.1 Βασική Επιλογή και Στόχος Έργου .....	24
5.3.2 Διεργασίες Προεπεξεργασίας .....	25
5.3.3 Διεργασίες Λιπασματοποίησης .....	25
5.3.4 Ανάδευση Οργανικού Υλικού .....	26
5.3.5 Εξαγωγή Υλικού από την Μονάδα Ταχείας Λιπασματοποίησης – Ωρίμανσης .....	27
5.3.6 Αερισμός Ταχείας Λιπασματοποίησης .....	28
5.3.7 Δίκτυο Διαβροχής της Εγκατάστασης Λιπασματοποίησης .....	29
5.3.8 Όργανα ελέγχου διεργασίας .....	29
5.3.9 Περιγραφή του Κλειστού Συστήματος Κομποστοποίησης .....	30
5.3.10 Λειτουργία και Προδιαγραφές Αναστροφεία .....	31
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> Waste Reduction Model (WARM) .....	34
6.1 Waste Reduction Model (WARM) .....	34
6.2 Επεξεργασία Δεδομένων – Αποτελέσματα .....	35
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> Συμπεράσματα .....	44
Βιβλιογραφία .....	46

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.2 : Municipal waste generated, in selected years 1995 – 2021 Europe (σελίδα 40 )

Πίνακας 4.4 : Municipal waste landfilled, incinerated, recycled and composted, EU, 1995 – 2021 ( σελίδα 42 )

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 : Η κομποστοποίηση ( σελίδα 1 )

Εικόνα 1.1 : Ετήσια αστικά στερεά απόβλητα που παράγονται κατά κεφαλήν (κιλά/κάτοικο/ημέρα) ( σελίδα 9 )

Εικόνα 2.1 : Η διαδικασία της κομποστοποίησης ( σελίδα 17 )

Εικόνα 2.2 : Φάσεις κομποστοποίησης σε σχέση θερμοκρασίας - χρόνου ( σελίδα 19 )

Εικόνα 4.1 : Bio – Waste collected per capita in selected countries grouped into quartiles (kg/capita/annum) ( σελίδα 38 )

Εικόνα 5.3 : Η κατάταξη των κρατών μελών της Ε.Ε. στην κυκλική οικονομία ( σελίδα 48 )

Εικόνα 5.4 : Τοπογραφικό της μονάδας Κομποστοποίησης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος ( σελίδα 59 )

Εικόνα 6.1 : Ποιοτική σύνθεση ρευμάτων ΑΣΑ Δήμου Αρχανών – Αστερουσίων ( σελίδα 65 )

Εικόνα 6.2 : Warm step 1 ( σελίδα 37 )

Εικόνα 6.3 : Warm step 2 ( σελίδα 38 )

Εικόνα 6.8 : Warm step 2 εναλλακτικό σενάριο ( σελίδα 41 )

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.2 : Προβλεπόμενη παραγωγή αποβλήτων, ανά περιοχή (εκατομμύρια τόνοι/έτος) ( σελίδα 10 )

Διάγραμμα 1.3 : Ποσοστά συλλογής απορριμμάτων, ανά επίπεδο εισοδήματος (ποσοστό) ( σελίδα 11 )

Διάγραμμα 1.4 : Παγκόσμια σύνθεση απορριμμάτων (ποσοστό) (σελίδα 12)

Διάγραμμα 1.5 : Παγκόσμια επεξεργασία και διάθεση απορριμμάτων (ποσοστό) ( σελίδα 12 )

Διάγραμμα 3.5 : Composting and Other Food Management Tonnages USA 1960 – 2018 ( σελίδα 34 )

Διάγραμμα 4.3 : Municipal waste generated, 2006 and 2021 Europe ( σελίδα 41 )

Διάγραμμα 4.5 : Municipal waste treatment, EU, 1995 – 2021 ( σελίδα 42 )

Διάγραμμα 4.6 : Bio – απόβλητα σε επιλεγμένες χώρες της Ευρώπης ( σελίδα 43 )

Διάγραμμα 5.1 : Η υστέρηση της Ελλάδας στη διαχείριση των ΑΣΑ σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο της ΕΕ ( σελίδα 45 )

Διάγραμμα 5.2 : Η σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα ( σελίδα 46 )

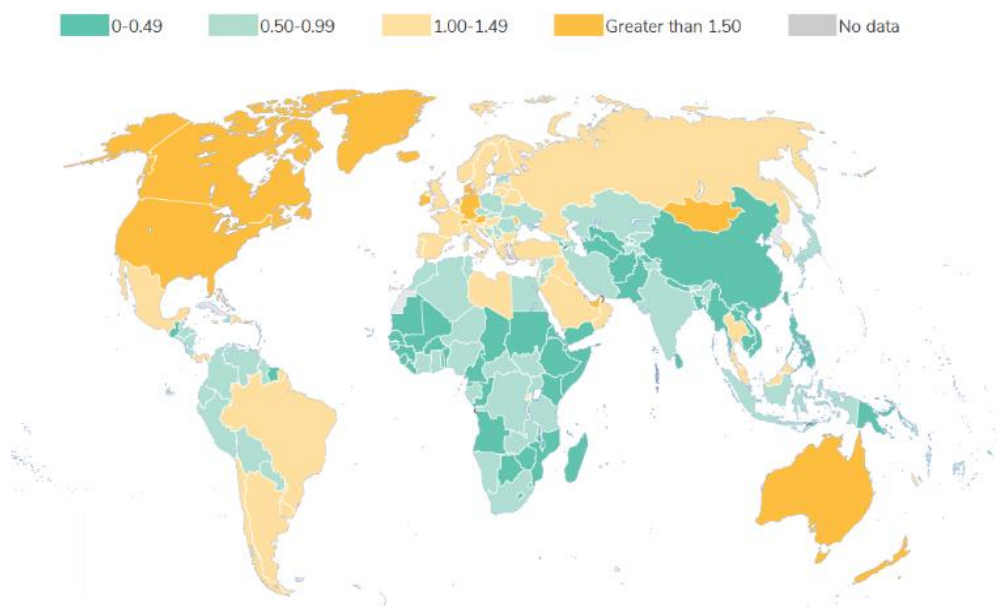
## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Αστικά Στερεά απόβλητα

### 1.1 Εισαγωγή

Ως αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) ή Municipal Solid Waste (MSW) — ευρύτερα γνωστά ως σκουπίδια — εννοούνται καθημερινά αντικείμενα ευρείας χρήσης που στη συνέχεια πετιούνται, όπως συσκευασίες προϊόντων, αποκόμματα χόρτου, έπιπλα, ρούχα, μπουκάλια, υπολείμματα τροφίμων, εφημερίδες, συσκευές, μπογιές και μπαταρίες. Πηγή προέλευσής τους είναι είτε αστικές οικίες και σχολικά περιβάλλοντα είτε νοσοκομεία και επιχειρηματικά συγκροτήματα. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

### 1.2 Τάσεις στα Αστικά Στερεά Απόβλητα

Πορίσματα πρόσφατων ερευνών αναδεικνύουν την παραγωγή 2,01 δισεκατομμυρίων τόνων αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως, με τουλάχιστον το 33% αυτών να είναι μη διαχειρίσιμο με περιβαλλοντικά ωφέλιμη επεξεργασία. Παγκοσμίως, τα απορρίμματα που δημιουργείτε ανά άτομο την ημέρα με τον μέσο όρο αυτού να ανέρχονται σε 0,74 κιλά με την τιμή να κυμαίνεται στο διάστημα από 0,11 έως 4,54 κιλά το άτομο την ημέρα. Αν και είναι αντιπροσωπευτικά μόνο του 16% του παγκόσμιου πληθυσμού, οι χώρες οι οποίες έχουν ανεπτυγμένο βιοτικό επίπεδο φαίνεται να παράγουν περίπου το 34% ή 683 εκατομμύρια τόνους των παγκόσμιων αποβλήτων.

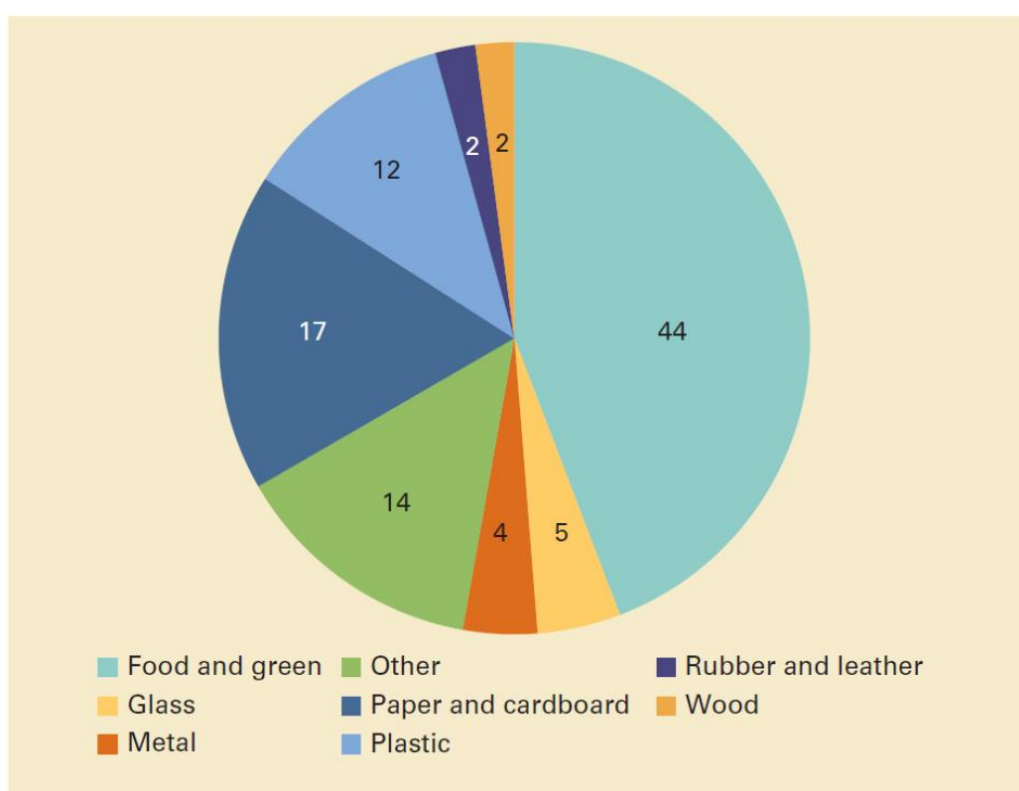


Εικόνα 1.1 Ετήσια αστικά στερεά απόβλητα που παράγονται κατά κεφαλήν (κιλά/κάτοικο/ημέρα)  
(Πηγή : Statista Energy and Environment)

Όσον αφορά το μέλλον, αναμένεται αύξηση των παγκόσμιων αποβλήτων σε 3,40 δισεκατομμύρια τόνους έως το 2050, σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη τιμή του πληθυσμού της Γης την ίδια περίοδο. Δυσοίωνες είναι όμως και οι εκτιμήσεις για



τη συνολική ποσότητα αποβλήτων που παράγεται σε χώρες χαμηλού εισοδήματος, καθώς αναμένεται αύξηση περισσότερο από τρεις φορές έως το 2050. Έχει διαπιστωθεί ότι η περιοχή της Ανατολικής Ασίας και του Ειρηνικού παράγει το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων στον κόσμο στο 23%, τη στιγμή που η περιοχή της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής εμφανίζονται ως ρυπογόνες με το λιγότερο ποσοστό σε απόλυτες τιμές, στο 6%. Ωστόσο, στις ταχύτερα αναπτυσσόμενες περιοχές με χαμηλό βιοτικό επίπεδο εκτιμάται ότι έως το 2050, θα υπερτριπλασιάσουν τη συνολική παραγωγή αποβλήτων. Σε αυτές τις περιοχές, περισσότερα από τα μισά απόβλητα απορρίπτονται ανοιχτά επί του παρόντος. Εν τούτοις οι τροχιές ανάπτυξης των αποβλήτων αυτών εγκυμονούν ανυπολόγιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον, την υγεία και την ευημερία, καθιστώντας επιβεβλημένη την κινητοποίηση τόσο σε εθνικό, σε διακρατικό αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.



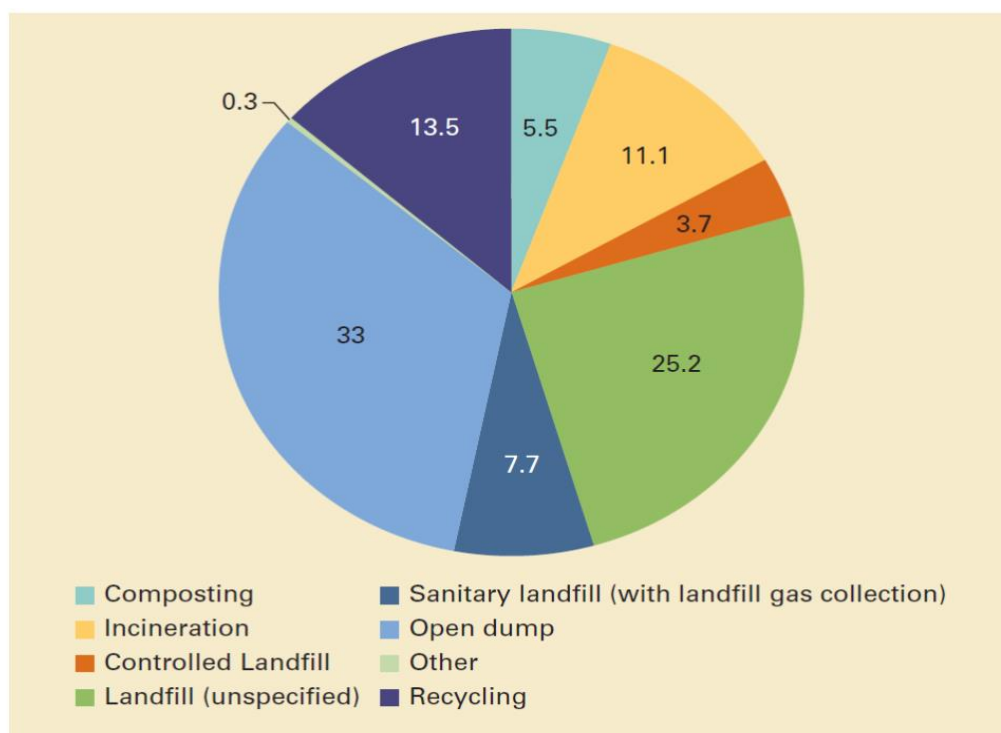
Διάγραμμα 1.4 : Παγκόσμια σύνθεση απορριμμάτων (ποσοστό) (Πηγή : Statista Energy and Environment )

Όπως παρατηρείτε και στο παραπάνω διάγραμμα 1.4 για την παγκόσμια σύνθεση των απορριμμάτων υπολογίζετε ότι το 44% αυτών είναι απόβλητα τροφίμων και πράσινου, το 2% είναι συνδυασμός λάστιχου και δέρματος παράλληλα σε ίδιο ποσοστό 2% αντιστοιχεί και το ξύλο. Επίσης 12% είναι τα πλαστικά, 17% είναι το χαρτί και το κάρβουνο, 4% είναι μέταλλα, 5% είναι γυαλί και τέλος το υπόλοιπο 14% είναι όλα τα υπόλοιπα απόβλητα που δεν είναι εύκολο να τα διακρίνουμε με την πρώτη ματιά.

Αναφορικά με τους χώρους απόθεσης των απορριμμάτων, σε παγκόσμιο επίπεδο, διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα απόβλητα απορρίπτονται επί του παρόντος σε

κάποια μορφή χωματελής. Αναλυτικότερα και λαμβάνοντας υπόψιν το παρακάτω διάγραμμα 1.5 με τίτλο Παγκόσμια επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων προκύπτουν τα ακόλουθα :

1. Το 25,2% των παγκόσμιων αποβλήτων καταλήγουν γενικά σε χωματερές
2. Το 7,7% των παγκόσμιων αποβλήτων καταλήγουν ΧΥΤΑ υγειονομικής ταφής με συλλογή των αερίων
3. Το 33% των παγκόσμιων αποβλήτων καταλήγουν σε ανοικτές χωματερές χωρίς ιδιαίτερες προδιαγραφές
4. Το 13,5% των παγκόσμιων αποβλήτων ανακυκλώνονται
5. Το 5,5% των παγκόσμιων αποβλήτων κομποστοποιούνται
6. Το 11,1% των παγκόσμιων αποβλήτων καταλήγουν σε αποτεφρωτήρια
7. Το 3,7% των παγκόσμιων αποβλήτων καταλήγουν σε ελεγχόμενες χωματερές
8. Τέλος για τα 8% των παγκόσμιων αποβλήτων επεξεργάζονται με άλλες μεθόδους ( Liverpool John Moores University )



Διάγραμμα 1.5 : Παγκόσμια επεξεργασία και διάθεση απορριμμάτων (ποσοστό) (Πηγή : Statista Energy and Environment)

### 1.3 Οργανικά απόβλητα

Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα Οργανικά και τα Ανόργανα .

Οργανικά απόβλητα :

- Απορρίμματα τροφίμων : Περιλαμβάνουν τρόφιμα που δεν έχουν καταναλωθεί ή έχουν λήξει από νοικοκυριά, εστιατόρια, παντοπωλεία και άλλες επιχειρήσεις που σχετίζονται με τρόφιμα. Εντάσσονται τόσο μαγειρεμένα όσο και ωμά τρόφιμα, καθώς και συσκευασίες τροφίμων που είναι κατασκευασμένες από οργανικά υλικά (όπως χαρτί ή χαρτόνι).
- Απόβλητα αυλής : Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει στοιχεία, όπως αποκόμματα γρασιδιού, φύλλα, κλαδιά και άλλα φυτικά υλικά που παράγονται από τον εξωραϊσμό, την κηπουρική και τη συντήρηση της αυλής.
- Γεωργικά απόβλητα :εντοπίζονται όλα τα οργανικά απόβλητα που προέρχονται από γεωργικές δραστηριότητες, όπως υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά ζώων και αλλοιωμένες ζωοτροφές.
- Απόβλητα ξύλου : Περιλαμβάνονται όλα τα οργανικά απόβλητα που προέρχονται από την επεξεργασία ή τη χρήση προϊόντων ξύλου, όπως πριονίδι, ροκανίδια και απόβλητα κατασκευών.

Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο Οργανικά Απόβλητα αναφερόμαστε σε κάθε υλικό που είναι βιοαποικοδομήσιμο και προέρχεται είτε από φυτό είτε από ζώο. Τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα είναι οργανικά υλικά που διασπώνται σε διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο ή απλά οργανικά μόρια. Αναλυτικότερα, τα οργανικά αστικά απόβλητα αφορούν το βιοαποικοδομήσιμο μέρος των στερεών αποβλήτων που παράγονται από νοικοκυριά, ιδρύματα και επιχειρήσεις σε ένα δήμο ή μια κοινότητα. Περιλαμβάνουν υπολείμματα τροφίμων, απορρίμματα αυλής, απορρίμματα χαρτιού και άλλα οργανικά υλικά διασπώμενα με φυσικές διαδικασίες.

Συνεπώς, τα οργανικά αστικά απόβλητα αντιπροσωπεύουν περίπου το 40-50% των συνολικών αστικών στερεών αποβλήτων. Τα οργανικά αστικά απόβλητα είναι σε θέση να αποτελέσουν πολύτιμο πόρο με τη σωστή διαχείριση. Όταν τα οργανικά απόβλητα αποστέλλονται σε χώρο υγειονομικής ταφής, υφίστανται αναερόβια αποσύνθεση (λόγω έλλειψης οξυγόνου) και παράγουν μεθάνιο - 20 φορές πιο ισχυρό αέριο θερμοκηπίου από το διοξείδιο του άνθρακα που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Ωστόσο, όταν τα οργανικά απόβλητα διαχωρίζονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω κομποστοποίησης ή αναερόβιας χώνευσης, μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και είναι δυνατή η μετατροπή τους σε χρήσιμο εδαφοβελτιωτικό ή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας διατηρώντας τους φυσικούς μας πόρους.

### 1.4 Γενικές Αλήθειες για τα Οργανικά Αστικά Απόβλητα

Ο Αμερικάνικος Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) επιχειρώντας να ευαισθητοποιήσει τους Αμερικανούς πολίτες

προέβη σε μια μεγάλη αλλαγή : αντικατέστησε τον όρο “Όργανικά Αστικά Απόβλητα” με τον πιο οικείο “Wasted food”- “σπαταλημένη τροφή”. Έτσι και σε συνεργασία και με άλλους φορείς εξέδωσε ένα άρθρο με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία για τα απορρίμματα τροφίμων.

- Σύμφωνα με τον FAO (Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών), η ανθρωπότητα σπαταλά το ένα τρίτο των τροφίμων που παράγουμε. Αυτό προσθέτει περίπου 1,3 δισεκατομμύρια τόνους απορριμμάτων τροφίμων ετησίως. Προκύπτει επομένως, η κατασπατάληση περισσότερων από 931.078.600 τόνους τροφίμων το 2022, περισσότερων από 65.748.900 αυτόν τον μήνα και περίπου 1.640.358 μόνο αυτήν την εβδομάδα.
- Περίπου 350 εκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων τροφίμων παράγονται από τον χειρισμό, την αποθήκευση και την κατανάλωση μετά τη συγκομιδή ετησίως.
- Τα περισσότερα απόβλητα τροφίμων προέρχονται από τη φάση της γεωργίας/παραγωγής, όπου παράγονται κατά μέσο όρο 500 εκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων τροφίμων ετησίως.
- Τα παντοπωλεία, τα εστιατόρια και τα νοικοκυριά ευθύνονται για το 35% της παγκόσμιας σπατάλης τροφίμων
- Το ετήσιο αποτύπωμα άνθρακα των απορριμμάτων τροφίμων καθορίζεται σε 3,3 δισεκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>. Αυτό σημαίνει ότι εάν τα «απόβλητα τροφίμων» ήταν μια χώρα, θα ήταν ο τρίτος μεγαλύτερος ρύπος άνθρακα, αμέσως μετά την Κίνα και τις ΗΠΑ.

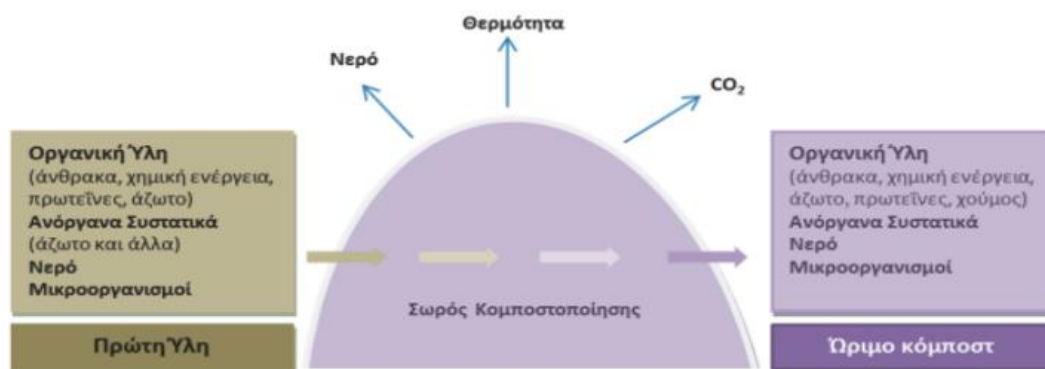
## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση σε συνδυασμό με την αναερόβια χώνεψη εμφανίζονται ως οι καλύτερες μέθοδοι για την επεξεργασία των οργανικών αστικών απορριμμάτων

### 2.1 Ορισμός Κομποστοποίησης

Ο όρος κομποστοποίηση (composting) συνιστά την αερόβια βιολογική διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού). Το τελικό προϊόν είναι σταθεροποιημένο και διαθέσιμο, χωρίς ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. (Haug, 1993)

Σύμφωνα με τα επιστημονικά δεδομένα που μας προσφέρονται από τους Rynk et al. 1992, Haug, 1993, Bari, 1999, Beffa, 2002, Xiao et al., 2009, Belyaeva et al., 2012, Polprasert (1996) και Παναγιωτακόπουλο 2007 κατανοούμε καλύτερα την διαδικασία της κομποστοποίησης.



Εικόνα 2.1 : Η διαδικασία της κομποστοποίησης ( Πηγή : (Rynk et al. 1992))

#### 2.1.1 Τα κυριότερα οφέλη της κομποστοποίησης

Αναφέρονται χαρακτηριστικά τα εξής:

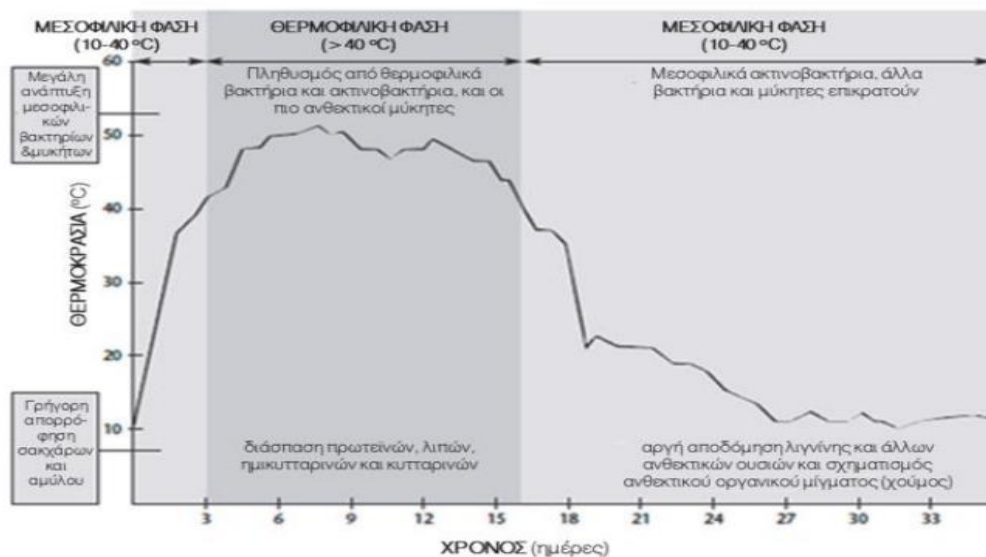
- Σημαντική μείωση των εκπομπών μεθανίου, παραγόμενου από τα οργανικά απόβλητα των χωματερών. Με αυτό τον τρόπο αποδυναμώνεται ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, το μεθάνιο.
- Περιορισμός και σε ορισμένες περιπτώσεις εξάλειψη της ανάγκης για χημικά λιπάσματα.
- Βελτιστοποίηση και εξασφάλιση υψηλότερων αποδόσεων στις γεωργικές καλλιέργειες.
- Σημαντική συμβολή στην αναδάσωση, την αποκατάσταση υγροτόπων και τις προσπάθειες αναζωογόνησης των οικοτόπων, βελτιώνοντας τα μολυσμένα και περιθωριακά εδάφη.

- Οικονομική μέθοδος για την αποκατάσταση εδαφών που έχουν μολυνθεί από επικίνδυνα απόβλητα.
- Ενίσχυση της κατακράτησης νερού στα εδάφη.
- Δέσμευση άνθρακα.

### 2.1.2 Στάδια κομποστοποίησης

Η όλη διαδικασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε τέσσερις φάσεις, καθώς λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις, ενώ αναπτύσσονται και δραστηριοποιούνται ποικίλοι μικροοργανισμοί. Οι φάσεις αυτές διακρίνονται ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας και είναι:

- I. Λανθάνουσα φάση 1-2 ημέρες
- II. Φάση της αυξήσεως 3-4 ημέρες
- III. Θερμόφιλη Φάση 15-20 ημέρες
- IV. Φάση ωριμάνσεως >30 ημέρες



Εικόνα 2.2 : Φάσεις κομποστοποίησης σε σχέση θερμοκρασίας - χρόνου (Πηγή : Trautmann and Krasny, 2014)

### 2.1.3 Παράμετροι Κομποστοποίησης

Λόγω του γεγονότος ότι η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίζεται στην παρουσία κατάλληλων πληθυσμών μικροοργανισμών, οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανάπτυξη και δραστηριότητά τους είναι αυτές που καθορίζουν τόσο το ρυθμό, την έκταση της διεργασίας όσο και την ποιότητα του παραγόμενου τελικού σταθεροποιημένου οργανικού προϊόντος (compost). Τα δεδομένα που θα παρουσιαστούν παρακάτω αντλήθηκαν από τις αναφορές που αναφέρθηκαν παραπάνω με επιπλέον την βοήθεια από τους Goyal 2005, Miller 1992, Finstein et al,

1986, Gajalakshmi and Abbasi 2008, Das and Keener 1997 και de Bertoldiet al. 1983. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους παράγοντες που απεικονίζονται και παρακάτω είναι οι εξής:

1. Η αρχική σύσταση του προς κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος  
Η βέλτιστη αναλογία είναι 3 μέρη υλικών πλούσια σε άνθρακα προς 1 μέρος πλούσιο σε άζωτο
2. Ο αερισμός της μάζας  
Για να παρέχει στο σορό το απαραίτητο οξυγόνο που χρειάζεται για να ξεκινήσουν οι οργανικές αντιδράσεις
3. Η θερμοκρασία  
Εξαρτάτε από τις διάφορες φάσεις όπως είδαμε πιο πριν και κυμαίνεται από τους 10 – 60 °C
4. Η υγρασία  
Επιδιώκουμε ποσοστά υγρασίας πάνω από το 65%
5. Ο λόγος άνθρακα / αζώτου ( C / N )  
Επηρεάζει την ταχύτητα της βιολογικής αποδόμησης του υλικού
6. Οι τιμές pH  
Οι επιτρεπτές τιμές του pH πρέπει να κυμαίνονται από 5,5 έως 8,5 για να γίνει σωστά η διαδικασία

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ραγδαία ανάπτυξη της περιβαλλοντικής μόλυνσης και η συνεχής μείωση των συμβατικών πηγών ενέργειας οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση στην ψήφιση του νόμου 2008/98/ΕΚ σχετικά με την παραγωγή και την επεξεργασία των αποβλήτων έχοντας ως τελικό στόχο την κυκλική οικονομία. Ως πρωταρχικός στόχος αυτού του νόμου εμφανίζεται η ανακύκλωση τουλάχιστον του 55 % των αστικών αποβλήτων κατά βάρος έως το 2025. Ο εν λόγω στόχος θα αυξηθεί στο 60 % έως το 2030 και στο 65 % έως το 2035.

Δυστυχώς όμως σύμφωνα με την έκθεση της ανεξάρτητης αρχής ECN ( European Compost Network ) για το ημερολογιακό έτος 2022 επισημαίνεται ότι λιγότερο από 40 εκατομμύρια τόνοι αστικών βιολογικών αποβλήτων συλλέγονται χωριστά και υποβάλλονται σε επεξεργασία παράγοντας υψηλής ποιότητας λίπασμα στην Ευρώπη. Αυτή η κατάσταση υποδηλώνει ότι μόνο το 17% των αστικών στερεών αποβλήτων ανακυκλώνεται οργανικά μέσω κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης. Σε συνδυασμό με το παραπάνω υπογραμμίζει πως για να πιάσουν τους συγκεκριμένους στόχους που έχει θεσμοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για όλα τα κράτη μέλη της πρέπει να δοθούν και άλλα κίνητρα οικονομικής κυρίως φύσεως σε συνδυασμό με αυστηρές κυρώσεις.

Αναλυτικότερα, ως προς τα χωριστά συλλεγόμενα βιολογικά απόβλητα, εκτιμάται ότι 71 εκατομμύρια τόνοι ετησίως υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτές οι εκτιμήσεις περιλαμβάνουν τόσο αστικά όσο και εμπορικά/βιομηχανικά βιολογικά απόβλητα. Η κομποστοποίηση αντιπροσώπευε 42 εκατομμύρια τόνους ετησίως (59%), ενώ η αναερόβια χώνευση (AD) 29 εκατομμύρια τόνοι σε ετήσια κλίμακα(41%). Αυτά τα δεδομένα αναφέρονται στα βιολογικά απόβλητα, όπως αυτά ορίζονται στην ευρωπαϊκή Οδηγία-πλαίσιο της Ένωσης για τα απόβλητα (ΕΕ 2018/851) και επομένως εξαιρούνται οι διαδικασίες μηχανικής βιολογικής επεξεργασίας, τα γεωργικά απόβλητα/προϊόντα και η ιλύς καθαρισμού λυμάτων. ( ECN data report 2022 )

Εξετάζοντας τις επιμέρους χώρες και εισχωρώντας σε ενδελεχή ανάλυση, υπήρχε μεγάλη διαφορά αλλά και διακύμανση στην ποσότητα των χωριστά συλλεγόμενων βιολογικών αποβλήτων που υφίστανται επεξεργασία ανά άτομο, το οποίο κυμαίνεται από τουλάχιστον 28 kg/κάτοικο/ετησίως έως μέγιστο 328 kg/κάτοικο/έτος. Συνολικά, η κομποστοποίηση υποβλήθηκε σε επεξεργασία κατά μέσο όρο 72 kg/κάτοικο/ετησίως και 48 αναερόβια χώνευση/κάτοικο/ετησίως, όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη της Ευρώπης.





Εικόνα 4.1 : Βιολογικά απόβλητα που συλλέγονται κατά κεφαλήν σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Πηγή : ECN DATA REPORT 2022)

Συνολικά 47 εκατομμύρια τόνοι αστικών βιολογικών αποβλήτων βρέθηκαν να έχουν κομποστοποιηθεί και υποστεί αναερόβια πέψη στην ΕΕ27, CH (Switzerland), NO (Norway) & UK (United Kingdom). Από αυτά τους 47 εκατομμύρια τόνους, η Ευρωπαϊκή Ένωση να επεξεργάστηκε τους 38 εκατομμύρια τόνους ετησίως, με τον διαχωρισμό να πραγματοποιείτε 70% για κομποστοποίηση και το 30% για αναερόβια χώνευση, και έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ποσότητα του οργανικού κλάσματος που επεξεργάστηκε ισοδύναμη με το μικρό ποσοστό του 17% των αστικών στερεών αποβλήτων.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε και να αναλύσουμε τις εγκαταστάσεις οι οποίες βρίσκονται και λειτουργούν στην Ευρώπη οι οποίες πραγματοποιούν διαδικασίες και επεξεργασία κομποστοποίησης και αναερόβια χώνευσης, εντοπίζονται περίπου 5.800 επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων, με 3.800 από αυτές ή σε ποσοστό (66%) να κομποστοποιούν και 2.000 ή (34%) αντίστοιχα να προορίζονται και να εκτελούν αναερόβια χώνευση. Κατά μέσο όρο, κάθε μονάδα κομποστοποίησης επεξεργαζόταν 8.000 τόνους ετησίως βιολογικών αποβλήτων, ενώ κάθε μονάδα AD 13.000 τόνους σε ετήσια επίσης κλίμακα. Ομοίως, κάθε μονάδα κομποστοποίησης βρέθηκε να εξυπηρετεί περίπου 120.000 άτομα, ενώ κάθε εγκατάσταση AD 225.000 άτομα.

Η έρευνα εντόπισε ότι, κατά μέσο όρο, κάθε τόνος κομπόστ που κατασκευάζεται στην Ευρώπη περιέχει λιπάσματα NPK2 αξίας 41 ευρώ και δεσμευμένο άνθρακα αξίας 4 ευρώ σε γεωργικά εδάφη, τιμή τεσσεράμισι φορές μεγαλύτερη από τη μέση τρέχουσα τιμή πώλησης του κομπόστ.

Τέλος όσο αναφορά τα οικονομικά οφέλη στην συγκεκριμένη σχέδιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπολογίζεται πως η αξία του άνθρακα σε συνδυασμό με τα λιπάσματα του κομπόστ ανήλθε σε περίπου 957 εκατομμύρια ευρώ ετησίως. Η αύξηση της χρήσης κομπόστ στη γεωργία θα φέρει σε περαιτέρω ανοδική πορεία τη δέσμευση άνθρακα. Επίσης, όσο αναφορά το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν ( ΑΕΠ ) της Ευρώπης η λειτουργία και η ανάπτυξη στον τομέα εκτιμάται ότι θα συνεισφέρει κατά 76 ευρώ ανά τόνο στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, ενώ για το έτος του 2021 η συνολική συνεισφορά στο ΑΕΠ ήταν περίπου 1,6 δισεκατομμύρια ευρώ για την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Θα ήταν παράλειψη σε αυτό το σημείο να μην αναφερθεί η σπουδαιότητα της κομποστοποίησης στον τομέα της γεωργίας. Στατιστικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι παρήχθησαν 21,1 εκατομμύρια τόνοι κομπόστ με την γεωργία να είναι το κυρίαρχο τμήμα της αγοράς τόσο για το κομπόστ όσο και για τα υπολείμματα της αναερόβιας χώνεψης. Δεδομένου ότι όλα τα ευρωπαϊκά γεωργικά εδάφη υποφέρουν από διάβρωση, ότι αντίστοιχα ισχύει και στις ΗΠΑ, λόγω εν μέρει της απώλειας οργανικής ύλης με την πάροδο του χρόνου, η κομποστοποίηση εμφανίζεται ως υπολογίσιμο αντίβαρο στην εφαρμογή μη βιώσιμων γεωργικών πρακτικών. Το ποιοτικό κομπόστ αναγνωρίζεται ως σημαντικό βελτιωτικό του εδάφους, προσθέτοντας οργανική ύλη και συμβάλλοντας στην αποκατάσταση της παραγωγικότητας. Επί του παρόντος, εννέα χώρες παράγουν επαρκές λίπασμα για την αξιοποίησή του στα μετρίως/σοβαρά διαβρωμένα από το νερό γεωργικά εδάφη τους, με ευοίωνες προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή και την επισιτιστική ασφάλεια.

#### 4.1 Παραγωγή αστικών απορριμμάτων

Οι εικόνες 4.2 και 4.3 απεικονίζουν την παραγωγή αστικών αποβλήτων ανά χώρα εκφρασμένη σε χιλιόγραμμα κατά κεφαλήν. Για να αποτυπώσει τις τάσεις, η εικόνα 4.2 δείχνει τα απόβλητα για επιλεγμένα έτη, καλύπτοντας την περίοδο 1995 έως 2021. Για καλύτερη αναγνωσιμότητα, η εικόνα 4.3 καλύπτει μόνο τα έτη 2006 και 2021. Και τα δύο περιλαμβάνουν τα συγκεντρωτικά στοιχεία της ΕΕ ,που τίθενται προς σύγκριση.

	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2021	Change 2021/1995 (%)
<b>EU</b>	<b>467</b>	<b>513</b>	<b>506</b>	<b>503</b>	<b>480</b>	<b>521</b>	<b>530</b>	<b>13.6</b>
Belgium	455	471	482	456	412	729	759	66.7
Bulgaria (*)	694	612	588	554	419	408	408	-41.3
Czechia	302	335	289	318	316	543	570	88.8
Denmark	521	664	736	758	822	814	786	50.9
Germany	623	642	565	602	632	641	646	3.7
Estonia	371	453	433	305	359	383	395	6.4
Ireland (*)	512	599	731	624	557	644	644	25.7
Greece (²)	303	412	442	532	488	524	524	72.8
Spain	505	653	588	510	456	464	472	-6.6
France	475	514	529	534	516	538	561	18.0
Croatia	220	262	336	379	393	418	446	103.2
Italy (*)	454	509	546	547	486	487	487	7.4
Cyprus	595	628	688	695	620	609	633	6.5
Latvia	264	271	320	324	404	478	461	74.5
Lithuania	426	365	387	404	448	483	480	12.7
Luxembourg	587	654	672	679	607	790	793	35.0
Hungary	460	446	461	403	377	403	416	-9.5
Malta	387	533	625	623	641	643	611	57.6
Netherlands	539	598	599	571	523	533	515	-4.5
Austria (*)	437	580	575	562	560	834	834	90.7
Poland	285	320	319	316	286	346	362	27.3
Portugal	352	457	452	516	460	513	514	46.1
Romania	342	355	383	313	247	290	302	-11.8
Slovenia	596	513	494	490	449	487	511	-14.3
Slovakia	295	254	273	319	329	478	496	68.3
Finland	413	502	478	470	500	611	609	47.6
Sweden	386	425	479	441	451	431	418	8.3
Iceland (²)	426	462	516	484	588	614	:	:
Norway	624	613	426	469	422	604	799	27.9
Switzerland	602	659	664	711	728	706	704	17.0
United Kingdom (³)	498	577	581	509	483	463	:	:
Montenegro	:	:	:	494	530	486	515	:
North Macedonia	:	:	:	381	441	441	459	:
Albania	:	:	:	:	491	369	311	:
Serbia (*)	:	:	:	363	259	427	:	:
Türkiye(*)	441	465	458	410	424	415	:	:
Bosnia and Herzegovina (²)	:	:	:	340	352	352	:	:
Kosovo (¹)	:	:	:	:	252	255	270	:

(¹) 2020 data.

(²) 2012 data.

(³) 2018 data.

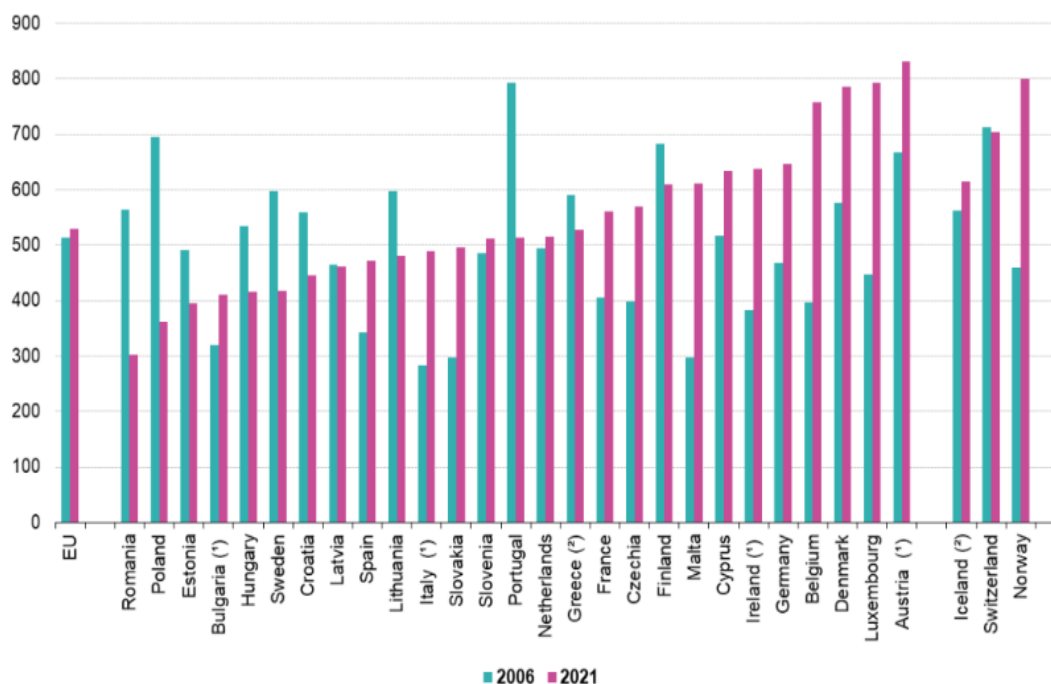
Note: data presented in italics are estimated.

(\*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244/1999 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat 

Πίνακας 4.2 : Τα απόβλητα που παράγονται στις χώρες της ΕΕ για τα έτη 1995-2021 ( Πηγή Eurostat)



Note: Countries are ranked in increasing order by municipal waste generation in 2020.

(\*) Estimated.

(\*) Bulgaria, Latvia, Italy, Portugal, Ireland, Austria, Iceland 2020 data.

(\*) Greece 2019 data.

(\*) United Kingdom 2018 data

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat

Διάγραμμα 4.3 : Τα απόβλητα που παράγονται στις χώρες της ΕΕ για τα έτη 2006-2021 Πηγή : Eurostat

## 4.2 Επεξεργασία αστικών απορριμμάτων

Στον πίνακα 4.4 φαίνεται η ποσότητα των αστικών αποβλήτων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία στην ΕΕ για την περίοδο 1995 έως 2021 με μέθοδο επεξεργασίας να μετρίεται, σε εκατομμύρια τόνους και σε kg κατά κεφαλήν.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Change 2020/1995 (%)	
	million tonnes																												
Landfill	121	117	117	114	113	112	107	104	99	93	88	88	87	83	82	79	74	67	63	59	57	54	53	53	55	53	54	-55	
Incineration	30	30	33	33	34	36	37	39	39	41	45	48	49	51	52	53	55	54	56	57	57	58	59	59	59	0	62	107	
Material Recycling (*)	23	26	30	32	37	38	40	43	43	43	46	47	52	53	54	55	56	58	56	59	63	65	66	67	67	69	70	203	
Composting	14	16	17	18	19	23	23	24	24	26	26	27	28	30	30	29	29	30	31	33	33	36	38	38	39	43	45	218	
Other	10	13	12	11	12	11	12	12	12	13	16	13	11	10	7	6	6	6	5	4	4	5	4	5	0	0	0	-100	
	kg per capita																												
Landfill	286	276	276	266	263	262	250	241	229	215	202	202	199	190	186	178	167	153	142	134	127	121	120	119	124	119	121	-58	
Incineration	70	71	77	78	79	84	87	90	90	95	103	111	112	116	117	121	125	122	127	128	128	131	133	132	131	137	141	102	
Material Recycling (*)	54	62	69	75	85	87	92	100	100	100	105	109	119	120	123	125	128	130	128	134	141	146	148	149	150	154	157	188	
Composting	33	38	41	42	45	53	54	57	57	59	59	61	64	69	67	66	66	69	71	73	75	82	85	85	87	97	100	202	
Other	23	31	28	27	28	27	27	27	28	31	37	30	24	23	17	13	13	13	13	11	9	9	10	10	11	8	11	11	-53

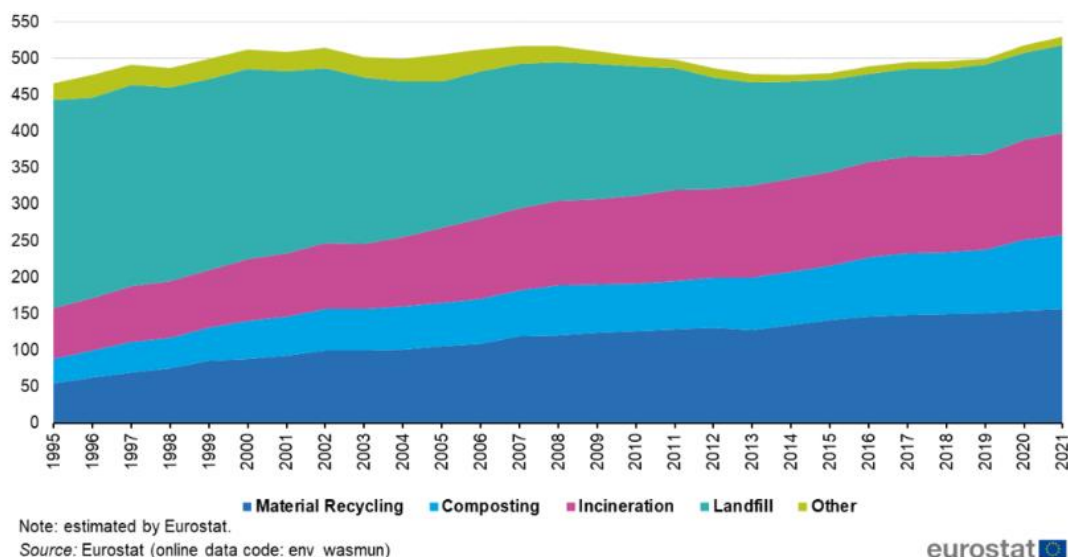
(\*) including preparation for reuse

Note: estimated by Eurostat.

Source: Eurostat (online data code: env\_wasmun)

eurostat

Πίνακας 4.4 : Η επεξεργασία των αποβλήτων στην ΕΕ για τα έτη 1996-2021 Πηγή : Eurostat



Διάγραμμα 4.5 : Η εξέλιξη της επεξεργασίας των αποβλήτων στην ΕΕ για τα έτη 1995-2021 (Πηγή : Eurostat)

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω διαγράμματα και σύμφωνα με την αρμόδια επιτροπή Eurostat εμφανίζεται σε αυτό το σημείο εμφανίζεται το εξής οξύμωρο : παρά την αύξηση των αποβλήτων στην ΕΕ, η συνολική ποσότητα αστικών απορριμμάτων που τίθενται σε υγειονομική ταφή έχει μειωθεί. Κατά την περίοδο αναφοράς, το σύνολο των αστικών αποβλήτων που τοποθετήθηκαν σε ΧΥΤΑ στην ΕΕ μειώθηκε κατά 67 εκατομμύρια τόνους, ή 55 %, από 121 εκατομμύρια τόνους (286 kg ανά κάτοικο) το 1995 σε 54 εκατομμύρια τόνους (121 kg ανά κάτοικο) το 2021. Αυτό αντιστοιχεί με μέση ετήσια μείωση 3,0 %. Επίσης, για τη συντομότερη περίοδο 2006-2021, η υγειονομική ταφή εμφανίζεται να υφίσταται μείωση της τάξεως του 3,0 % ετησίως κατά μέσο όρο.

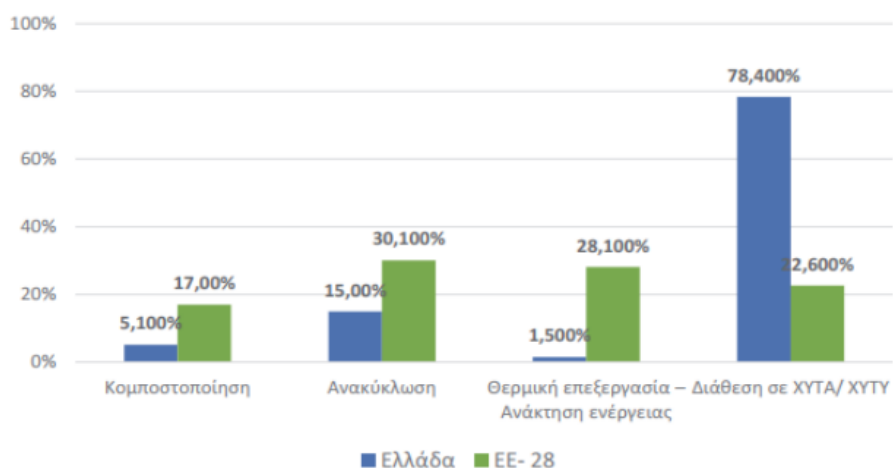
Ο στόχος που έχει θεσμοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση δηλαδή να πραγματοποιεί ανακύκλωση ή να προετοιμάσει για επαναχρησιμοποίηση το 65% των αστικών απορριμμάτων έως το 2035 είναι ρεαλιστικό επιτεύξιμο σενάριο μόνο με την αύξηση της ανακύκλωσης των αστικών οργανικών αποβλήτων τόσο μέσω της κομποστοποίησης όσο και της αναερόβιας χώνευσης. Στην πράξη, αυτό θα σήμαινε αύξηση του τρέχοντος ποσοστού ανακύκλωσης από 17% των χωριστά συλλεγόμενων αστικών απορριμμάτων σε 35%, αύξηση που μεταφράζεται σε επιπλέον 40 εκατομμύρια τόνους ετησίως (δηλαδή αύξηση από 38 σε 78 εκατομμύρια τόνους βιολογικών αποβλήτων), στην ΕΕ27 και 6 εκατομμύρια τόνους ετησίως σε CH, NO και HB (αύξηση από 8 σε 14 εκατομμύρια τόνοι ετησίως).

Όμως για να γίνει αυτή η αύξηση στα ποσοστά επεξεργασίας των οργανικών αστικών απορριμμάτων υπολογίζετε πως είναι αναγκαίο και απαραίτητο να λειτουργήσουν 3.900 νέες εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης, εκ των οποίων οι 3.000 θα βρίσκονται στην ΕΕ27. Αυτό υπολογίζεται πως θα συνεισφέρει μεταξύ 1-2 δισεκατομμυρίων ευρώ στην ευρωπαϊκή οικονομία κάθε χρόνο.

## Κεφάλαιο 5° Ελλάδα

### 5.1 Νομοθετικό Πλαίσιο

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει νόμους για την καταπολέμηση της οικολογικής κρίσης με στόχο την ομαλή μετάβαση σε μία ενεργειακή ουδετερότητα αξιοποιώντας τα απόβλητα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ακολουθώντας τους κατευθυντήριους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως αυτοί απορρέουν από το άρθρο 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, έτσι και η Ελλάδα όρισε το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) ως τον στρατηγικό και πολιτικό σχεδιασμό της χώρας μας για την διαχείριση των αποβλήτων.



Διάγραμμα 5.1 : Η υστέρηση της Ελλάδας στη διαχείριση των ΑΣΑ σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο της ΕΕ (Πηγή : Έκθεση ΕΣΔΑ)

Το νέο ΕΣΔΑ (2020-2030) προτίθεται να θέσει στόχους συμβατούς με εκείνους των Ευρωπαϊκών Οδηγιών για τη διαλογή στην πηγή, σε ένα ευρύτερο πλαίσιο των στόχων της δέσμης μέτρων για την κυκλική οικονομία

Η λειτουργία του ΕΣΔΑ προδιαγράφει τη δημιουργία αρκετών project ανά την επικράτεια .Η πρόσφατη όμως υγειονομική κρίση του Covid 19 που περάσαμε παγκοσμίως είχε ως συνέπεια είτε το ολοκληρωτικό πάγωμα είτε τη σοβαρή καθυστέρηση των περισσότερων έργων που είχαν δρομολογηθεί να ξεκινήσουν. Ένα τέτοιο έργο το οποίο και θα μελετήσουμε είναι η «Κατασκευή Μονάδας Κομποστοποίησης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος Απορριμμάτων στη θέση Ρημάμπελλα του Δήμου Αρχανών – Αστερουσίων». Ο Δήμος Αρχανών - Αστερουσίων είναι δήμος της περιφέρειας Κρήτης νότια του Ηρακλείου που συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης από την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Αστερουσίων, Νίκου Καζαντζάκη και Αρχανών. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 335.38



τ.χλμ. Έδρα του νέου δήμου ορίστηκαν τα Πεζά και ιστορικές έδρες οι Αρχάνες και ο Πύργος.

### 5.3 Δυναμικότητα της Εγκατάστασης

Η προβλεπόμενη δυναμικότητα της μονάδας κομποστοποίησης του προδιαλεγμένου οργανικού, η οποία πρόκειται να εγκατασταθεί στον ΧΥΤΑ Αρχανών - Αστερουσίων ανέρχεται σε 8.000 - 10.000 τόνους / έτος. Ο Σύνδεσμος Φο.Δ.Σ.Α. Διαχείρισης Περιβάλλοντος Δ. Ν. Καζαντζάκη – Αρχανών – Τεμένους εντάσσεται στις παρακάτω διαχειριστικές ενότητες όσον αφορά την διαχείριση του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων και εξυπηρετεί αντίστοιχα τις Δημοτικές Ενότητες που περιγράφονται παρακάτω:

Έργα διαχείρισης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος:

- 5η Διαχειριστική Ενότητα
- Εξυπηρετούμενος πληθυσμός: 79.894 κάτοικοι
  - ο Δήμος Αρχανών – Αστερουσίων (16.072)
  - ο Δήμος Γόρτυνας (14.167)
  - ο Δήμος Μαλεβιζίου (25.734)
  - ο Δήμος Φαιστού (23.921)
- Συνολικός προϋπολογισμός έργου: € 4.992.554,88

Περιλαμβάνει:

- 1.Κλειστό κτίριο υποδοχής των εισερχομένων αποβλήτων
- 2.Μονάδα επεξεργασίας/μηχανικής διαλογής εισερχόμενων οργανικών αποβλήτων
- 3.Κλειστή μονάδα κομποστοποίησης, με δυνατότητα επεξεργασίας οκτώ αυτόνομων ρευμάτων σε ισάριθμα κελιά κομποστοποίησης
- 4.Μονάδα ραφιναρίας με κοσκίνιση
- 5.Μονάδα ωρίμανσης τελικού προϊόντος
- 6.Σύστημα απόσμησης με βιοφίλτρο και αποκονίωσης με σακκόφιλτρα στα διάφορα στάδια επεξεργασίας

Πιο συγκεκριμένα, η παραγόμενη ποσότητα προδιαλεγμένων οργανικών, που θα συλλέγεται από τους παραπάνω Δήμους, περιλαμβάνει:

Π.Ε. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ / ΔΗΜΟΣ	Παραγόμενα ΑΣΑ 2020 (tn)	Προδιαλεγμένα Βιοαπόβλητα (tn)	Ανακυκλώσιμα Υλικά	Λουτά	Σύμμεικτα ΑΣΑ προς επεξεργασία
<b>ΑΡΧΑΝΩΝ - ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ</b>	9.985	1.564	2.877	552	4.992
<b>ΓΟΡΤΥΝΑΣ</b>	7.883	1.234	2.271	436	3.941
<b>ΜΑΛΕΒΙΖΙΟΥ</b>	16.912	2.648	4.873	934	8.456
<b>ΦΑΙΣΤΟΥ</b>	13.369	2.094	3.852	739	6.684
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΔΗΜΩΝ</b>	<b>48.149</b>	<b>7.540</b>	<b>13.873</b>	<b>2.661</b>	<b>24.073</b>

Εικόνα 5.1 : Το μείγμα και η επεξεργασία των αποβλήτων στην περιοχή που μελετάμε (Πηγή ΕΣΔΑ)

Έτσι εκτιμάται πως η μονάδα κομποστοποίησης θα πρέπει να έχει δυναμικότητα 8.000 με 10.000 τόνων ετησίως με σκοπό την άνετη κάλυψη των αναγκών της περιοχής του έργου, και πέραν αυτών επιπλέον ποσότητες οργανικών αποβλήτων που μπορεί να παραλάβει για κομποστοποίηση, προερχόμενων από μονάδα επεξεργασίας σύμμεικτων αποβλήτων (οργανικό υπόλειμμα) στο μέλλον.

Όσον αφορά τη μονάδα κομποστοποίησης οργανικών, η δυναμικότητά της υπολογίζεται στους 850 τόνους ανά μήνα τους μήνες αιχμής. Αυτή η ποσότητα προέρχεται από την Διαλογή στην Πηγή του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Έτσι, η μονάδα κομποστοποίησης θα μπορεί να διαχειρίζεται 850 τόνους μηνιαίως κατά μέσο όρο, οπότε θα πρέπει να είναι σε θέση να έχει μία ημερήσια δυναμικότητα διαχείρισης  $850/30 \approx 30$  τόνους οργανικών ημερησίως.

### 5.3.1 Βασική Επιλογή και Στόχος Έργου

Η βασική επιλογή, που προτείνεται στον τεχνικό σχεδιασμό του έργου, είναι να δοθεί έμφαση και απόλυτη προτεραιότητα στη διαλογή στην πηγή. Η επιτυχία αυτής της δράσης είναι απαραίτητη για την λειτουργία της σχεδιαζόμενης μονάδας. Επιπλέον, η μεγαλύτερη ανάκτηση οργανικών και χαρτιού προς κομποστοποίηση θα συμβάλλει ταχύτερα στην επίτευξη των ποσοτικών στόχων που έχει ορίσει ο Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ). Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, η Μονάδα Επεξεργασίας θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί 8.000 - 10.000 τόνους ανά έτος Προδιαλεγμένων Οργανικών, αγροτικών υπολειμμάτων και Πράσινων αποβλήτων. Η λειτουργία της θα είναι σε εξαήμερη βάση εβδομαδιαίως (ή επταήμερη βάση στην αιχμή). Όπως έχει αναφερθεί, η έμφαση στον σχεδιασμό δίνεται στην μεγαλύτερη δυνατή εκτροπή υλικών από την ταφή, με στόχο το 2022 να είναι υλοποιήσιμη η εκτροπή 40% από την ταφή του συνόλου του προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Για να επιτύχουμε τα βέλτιστα αποτέλεσμα απαραίτητη είναι η διαλογή στην πηγή. Αυτό είναι δυνατό να λειτουργήσει πάνω σε 4 σημαντικούς άξονες :

- Εφαρμογή προγράμματος ΔσΠ σε ειδικές πληθυσμιακές ομάδες και “μεγάλους” παραγωγούς (κέντρα εστίασης – λαϊκές αγορές – super markets), όπου τοποθετείται κεντρικός κάδος συλλογής οργανικών αποβλήτων



- Κομποστοποίηση σε κατοικίες – στοχευμένα νοικοκυριά, όπου επιλέγεται μικρός σε χωρητικότητα κάδος αποβλήτων κουζίνας και κεντρικός κάδος συλλογής (καφέ κάδος)
- Εφαρμογή προγράμματος οικιακής κομποστοποίησης σε αποκεντρωμένες /αριοκατοικημένες περιοχές
- Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών

### 5.3.2 Διεργασίες Προεπεξεργασίας

Πριν την διεργασία Κομποστοποίησης, έχει σχεδιαστεί ένα σύστημα προεπεξεργασίας του Οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, ώστε να απομακρυνθούν από το οργανικό κλάσμα τυχόν ξένες προσμίξεις που προέρχονται από πιθανές αστοχίες του συστήματος Διαλογής στην Πηγή του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα προεπεξεργασίας του οργανικού κλάσματος αποτελείται από:

- Σχίστης σάκκων, ο οποίος έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας κατ' ελάχιστο 60 m<sup>3</sup> /h απορριμμάτων και θα είναι κατάλληλος για εργασία υπό δύσκολες συνθήκες, ιδιαίτερα ρυπασμένης ατμόσφαιρας και σε ακραίες θερμοκρασίες
- Μαγνητικό διαχωριστή, για την απομάκρυνση τυχόν μεταλλικών αντικειμένων
- Περιστροφικό κόσκινο, το οποίο διαθέτει κατάλληλο μήκος και διάμετρο ώστε να δεχθεί παροχή τουλάχιστον 60 m<sup>3</sup> / hr και είναι ικανό να δίνει δύο (2) ρεύματα επεξεργασμένων αποβλήτων, ένα διαμέτρου μικρότερης των 10 mm και ένα διαμέτρου μεγαλύτερης των 20 mm
- Ταινιόδρομους, για την μεταφορά των οργανικών αποβλήτων. Η κλίνη θα είναι κατασκευασμένη για τη μεταφορά ενός μέσου γραμμικού φορτίου 35kg/m με την μέγιστη ταχύτητα, κατάλληλη για την τροφοδοσία της γραμμής διαλογής απορριμμάτων
- Αεροδιαχωριστή, ο οποίος έπεται του σταδίου της Κομποστοποίησης και χρησιμοποιείται για τον τελικό καθαρισμό του εξερχόμενου κομπόστ

### 5.3.3 Διεργασίες Λιπασματοποίησης

Αξιολογείται ως ένα από τα κυριότερα και δυσκολότερα τμήματα της διαδικασίας. Για αυτό, θα ήταν χρήσιμο να παρουσιαστούν αναλυτικά και με τεχνικούς όρους όλες οι διαδικασίες.

Οι διεργασίες της ταχείας λιπασματοποίησης και ωρίμανσης θα λαμβάνουν χώρα σε τέσσερα παράλληλα κανάλια από σπλισμένο σκυρόδεμα πλάτους 5m, ύψους 3,0m (ωφέλιμο βάθος απόθεσης υλικού 2,7m) και συνολικού μήκους 38,4 m έκαστο.

Σύμφωνα με το σχεδιασμό το στάδιο της λιπασματοποίησης λαμβάνει χώρα στα κανάλια μήκους 38,4m, εξασφαλίζοντας στο μίγμα διάρκεια παραμονής μεγαλύτερης των 22 ημερών, αεριζόμενο και αναδευόμενο καθημερινά, προωθούμενο προς την έξοδο από κατάλληλη διάταξη. Το μίγμα παραμένει στο στάδιο της ωρίμανσης για διάρκεια μεγαλύτερη των 50 ημερών, αναδευόμενο – προωθούμενο από τη κοινή διάταξη της μονάδας κομποστοποίησης. Η ανάδευση και εξαγωγή του υλικού γίνεται από κατάλληλο αναστροφέα, εγκατεστημένης ισχύος 30kW, ο οποίος κινείται κατά μήκος του αντιδραστήρα και φέρει δύο κοχλίες. Το μήκος των αντιδραστήρων είναι 38,4m συνολικά και περιλαμβάνει τέσσερα κανάλια ταχείας κομποστοποίησης. Κάθε κοχλίας αναδύει το υλικό αντίστοιχου καναλιού.

Ο όγκος του υλικού που τροφοδοτείται στην ταχεία κομποστοποίηση ανά εβδομάδα είναι περίπου 275 m<sup>3</sup> (για ημερήσια παροχή μίγματος ίση με 57 m<sup>3</sup>/d, και εβδομαδιαία πενθήμερη λειτουργία της μονάδας), ενώ ο όγκος του εξερχόμενου από την ταχεία κομποστοποίηση υλικού ανά εβδομάδα είναι περίπου 123,75 m<sup>3</sup>. Για ύψος υλικού στα κανάλια κομποστοποίησης έως 2,70 m, ο χρόνος παραμονής του υλικού στην κομποστοποίηση υπερβαίνει τις 3 εβδομάδες (22 ημέρες).

Ο όγκος του υλικού που οδηγείται στην ωρίμανση ανά εβδομάδα είναι περίπου 123,75 m<sup>3</sup>, ενώ ο όγκος του εξερχόμενου από την ωρίμανση υλικού ανά εβδομάδα είναι περίπου 98,5 m<sup>3</sup>. Για ύψος υλικού έως 2,7 m, ο χρόνος παραμονής του υλικού στην ωρίμανση υπερβαίνει τις 7 εβδομάδες (50 ημέρες).

#### 5.3.4 Ανάδευση Οργανικού Υλικού

Οι απέναντι κινητήριои τροχοί της γέφυρας συμπλέκονται μηχανικά με άξονα και λαμβάνουν κίνηση από κοινό ηλεκτρομειωτήρα. Η ταχύτητα της δια μήκους κίνησης είναι ρυθμιζόμενη. Οι κοχλίες έχουν τη δυνατότητα της από κοινού μεταθέσεως κατά πλάτος του αντιδραστήρα (κατά μήκος της γέφυρας). Τούτο επιτυγχάνεται από ανεξάρτητο ηλεκτρομειωτήρα. Οι κοχλίες είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα, με επίστρωση κράματος υψηλής σκληρότητας, έχουν διάμετρο 400mm και ονομαστική ταχύτητα περιστροφής 60rpm. Στην φάση αναμίξεως του υλικού ο κοχλίας βυθισμένος ανυψώνει το υλικό από τον πυθμένα προς την επιφάνεια σαρώνοντας κινούμενος μια ζώνη αποτελεσματικής ανάμιξης 600mm. Συνεπώς, για να επιτευχθεί μια πλήρης ανάμιξη του υλικού που περιέχεται στο κανάλι πλάτους 3,0m απαιτούνται πέντε (5) κατά μήκος σαρώσεις. Ο κοχλίας εισέρχεται στο υλικό υπό κλίση, ρυθμιζόμενη από 15° έως 25°. Η κλίση του κοχλίου επιδρά στον ρυθμό μεταφοράς του υλικού από το μέτωπο φορτώσεως προς το μέτωπο εκφορτώσεως.

Ο κύκλος αναδέυσεως εκκινεί την 4η ώρα της πρωινής βάρδιας και έχει ως ακολούθως:

1. Η γέφυρα βρίσκεται σταθμευμένη στο τέλος του αντιδραστήρα με τους κοχλίες σε οριζόντια θέση (επειδή προηγείτο τροφοδοσία στο μέτωπο φορτώσεως και εξαγωγή υλικού στο μέτωπο εκφορτώσεως)
2. Ενεργοποιείται η κίνηση της γέφυρας προς την αρχή του αντιδραστήρα και η στάθμευσή της στην αρχική θέση με τους κοχλίες ανυψωμένους σε οριζόντια

- θέση. Η κίνηση αυτή γίνεται με ταχύτητα 4m/min, επομένως για μήκος διαδρομής 45m διαρκεί χρόνος 5min
3. Ενεργοποιείται η περιστροφή των κοχλιών και η κατάβασή τους εντός του υλικού. Η διαδικασία αυτή έχει διάρκεια 11min.
  4. Όταν επιβεβαιωθεί από ανιχνευτή θέσης ότι όλοι οι κοχλίες βρίσκονται στην κάτω θέση (δηλ. στην γωνία που έχουν ρυθμιστεί) ενεργοποιείται η κίνηση της γέφυρας προς το μέτωπο εκφόρτωσης του αντιδραστήρα. Η κίνηση αυτή γίνεται με ρυθμιζόμενη ταχύτητα στο εύρος 0,8 – 1,2 m/min (τυπική τιμή 1m/min) και συνεπώς για μήκος διαδρομής 45m διαρκεί 45min
  5. Όταν η γέφυρα φθάσει στα τελευταία 3m περίπου, και προκειμένου να αποφευχθεί η εκφόρτωση υλικού από το χαμηλό τοιχίο του αντιδραστήρα, ενεργοποιείται η ανύψωση των κοχλιών. Όταν όλοι οι κοχλίες φθάσουν στην οριζόντια θέση διακόπτεται η περιστροφή τους. Η διάρκεια της ανύψωσης είναι 1 min.

Με την ανωτέρω διαδικασία έχει ολοκληρωθεί ένας κύκλος της ανάδευσης με τον οποίο αναδεύτηκε το 1/5 του περιεχομένου των καναλιών (ενεργό πλάτος 60cm σε σύνολο 300cm). Ο χρόνος του ανωτέρω κύκλου είναι:  $11+2+45+1 = 59\text{min}$ .

Επαναλαμβάνεται λοιπόν ένας επόμενος κύκλος ενεργοποιώντας την κατά πλάτος μετατόπιση των κοχλιών κατά 60cm. Η μετατόπιση αυτή διάρκειας 1 min λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την επιστροφή της γέφυρας στο μέτωπο φορτώσεως, η οποία διαρκεί 10min, και κατά αυτόν τον τρόπο δεν συμμετέχει στον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας του κύκλου.

Συνεπώς οι πέντε (5) κύκλοι αναμίξεως, ήτοι η πλήρης ανάμιξη του περιεχομένου του αντιδραστήρα, θα έχουν διάρκεια  $5 \times 59\text{min} = 295\text{min}$  (5ώρες). Επομένως, συνολικά η τροφοδοσία των καναλιών (σε διάρκεια 3 ωρών) και η ανάδευση (σε διάρκεια 5 ωρών) θα πραγματοποιείται στη διάρκεια της πρωινής βάρδιας σε διάστημα 8 ωρών.

### 5.3.5 Εξαγωγή Υλικού από την Μονάδα Ταχείας Λιπασματοποίησης – Ωρίμανσης

Αναφορικά με τη διαδικασία εκφόρτωσης του υλικού από τα κανάλια ωρίμανσης, αυτή λαμβάνει χώρα μετά το πέρας της διαδικασίας τροφοδοσίας και ανάδευσης και διενεργείται από τους κοχλίες με τη γέφυρα σταθμευμένη στο πέρας των καναλιών. Στη φάση αυτή οι κοχλίες υπό περιστροφή μεταβιβάζονται εντός του υλικού με επιμέρους κινήσεις. Όταν ολοκληρωθεί η κατάβαση, ενεργοποιείται η ανύψωσή τους και ακολούθως τα φορτία των κοχλιών μετατοπίζονται κατά 60 cm και επαναλαμβάνεται νέα κατάβαση έως ολοκληρώσεως 5 κύκλων. Ο χρόνος του κάθε κύκλου δύναται να ρυθμιστεί από 15 έως 30 min και συνεπώς η όλη διαδικασία εξαγωγής του ημερήσιου υλικού από 75 έως 150 min.

Το υλικό που εκφορτώνεται από τα κανάλια κομποστοποίησης οδηγείται στην μεταφορική ταινία, μήκους 10m και πλάτους 0,65m, εγκατεστημένης ισχύος 2,2kW που βρίσκεται στο τέλος και εγκάρσια στο διαμήκη άξονα των καναλιών. Η ταινία αυτή

φέρει πλευρικά παραπέτα μεγάλου ύψους για τη διαμόρφωση μιας διαμήκουσ χοάνης κατάλληλων διαστάσεων για την παραλαβή του υλικού.

Η ταινία καθώς εξέρχεται από το κτίριο ταχείας κομποστοποίησης – ωρίμανσης τροφοδοτεί δεύτερη κεκλιμένη μεταφορική ταινία, μήκους 25m και πλάτους 0,65 m, εγκατεστημένης ισχύος 4kW, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτεί 3η οριζόντια μεταφορική ταινία μήκους 5m και πλάτους 0,65m, εγκατεστημένης ισχύος 2,2kW, μέσω της οποίας γίνεται η τροφοδοσία του κόσκινου. Όλες οι ταινίες φέρουν κάλυμμα από γαλβανισμένη εν θερμώ λαμαρίνα για την προστασία του προς κομποστοποίηση υλικού από τον άνεμο και την βροχή, ενώ φέρουν επίσης μεταφορικό τάπητα κατάλληλο για τη μεταφορά του διογκωτικού υλικού, από ιμάντα 2 πολυεστερικών λινών, πλάτους 650mm. Όλα τα σταθερά τμήματα και τα ράουλα είναι γαλβανισμένα εν θερμώ. Κατά μήκος των ταινιών υπάρχουν πλαϊνά παραπέτα για τυχόν διαρροές, κατασκευασμένα από διαμορφωμένο inox έλασμα και στεγανοποιημένα με κατάλληλο λάστιχο. Στο κάτω μέρος των μεταφορικών ταινιών και καθ' όλο το μήκος τους εγκαθίστανται ανοξείδωτες σκάφες πάχους 1,5mm, αφαιρούμενες για την περισυλλογή των απόνερων. Η ταχύτητα του τάπητα των ταινιών θα είναι περίπου 30 m/min και η κίνηση θα είναι άμεσης σύζευξης (οι ηλεκρομειωτές στον άξονα του τυμπάνου).

#### 5.3.6 Αερισμός Ταχείας Λιπασματοποίησης

Για την εξασφάλιση του απαιτούμενου οξυγόνου στο στάδιο της ταχείας λιπασματοποίησης, εκτός από τον αερισμό που επιτυγχάνεται μέσω της ανάδευσης, προβλέπεται η εμφύσηση αέρα από το δάπεδο των καναλιών. Κατά πλάτος του αντιδραστήρα θα κατασκευασθούν κατάλληλα κανάλια διαστάσεων 30 x 30cm εντός των οποίων θα τοποθετηθούν διάτρητοι αγωγοί PVC. Οι αγωγοί αερισμού θα επικαλύπτονται από διαβαθμισμένο υλικό για την αποφυγή εμφράξεων. Τα κανάλια απέχουν μεταξύ τους 1,4m και το πλήθος τους είναι 12.

Ο συνολικά τροφοδοτούμενος αέρας είναι της τάξεως των 0,6m<sup>3</sup>/min/dr tn (WEF, 1995) ή περίπου 4300m<sup>3</sup>/hr. Επειδή τα δίκτυα διατάσσονται κατά πλάτος, η κατά μήκος θέση τους σχετίζεται με την ηλικία παραμονής του υλικού στον αντιδραστήρα. Με βάση το γεγονός αυτό προβλέπεται η διαμόρφωση δύο ζωνών αερισμού με τους αγωγούς αερισμού κάθε ζώνης να συνδέονται σε κοινό διανομέα, ο οποίος τροφοδοτείται από αντίστοιχο φυγοκεντρικό ανεμιστήρα. Οι ανεμιστήρες θα διαθέτουν μετατροπέα συχνότητας. Δεδομένης της θεωρητικά αυξημένης ζήτησης οξυγόνου κατά τη πρώτη φάση της λιπασματοποίησης ο αέρας κατανέμεται στις 2 ζώνες αερισμού ως εξής :

##### Ζώνη 1

Ο φυγοκεντρικός ανεμιστήρας δυναμικότητας 2600m<sup>3</sup>/h σε πίεση 25 mbar, εγκατεστημένης ισχύος 5,5kW, τροφοδοτεί ανοξείδωτο διανομέα από AISI 304, 12", ο οποίος διακλαδίζεται σε έξι ανοξείδωτους αγωγούς AISI 304, 6" συνδεόμενοι μέσω εύκαμπτου τμήματος σε αντίστοιχο αριθμό διάτρητων αγωγών αερισμού PVC, DN160.

## Ζώνη 2

Ο φυγοκεντρικός ανεμιστήρας δυναμικότητας 1700m<sup>3</sup>/h σε πίεση 25mbar, εγκατεστημένης ισχύος 5,55kW, τροφοδοτεί ανοξείδωτο διανομέα από AISI 304, 10΄, ο οποίος διακλαδίζεται σε έξι ανοξείδωτους αγωγούς AISI 304, 6΄ συνδεδεμένοι μέσω εύκαμπτου τμήματος σε αντίστοιχο αριθμό διάτρητων αγωγών αερισμού PVC, DN160

Οι ανεμιστήρες και ειδικότερα η εμφύσηση λειτουργούν διακοπτόμενα (συνήθως 30% λειτουργία, το υπόλοιπο στάση), μέσω χρόνο-προγράμματος που διαμορφώνεται στο πρόγραμμα PLC – παράμετρος SCADA.

### 5.3.7 Δίκτυο Διαβροχής της Εγκατάστασης Λιπασματοποίησης

Λόγω της ανάδευσης του υλικού στην ταχεία λιπασματοποίηση αλλά και του πρόσθετου αερισμού, ο αντιδραστήρας δύναται να εξατμίσει το νερό των παραχθέντων διασταλαζόντων. Επιπλέον και η υγρασία του υπό ωρίμανση υλικού είναι σε θέση να ρυθμιστεί σε επίπεδα τέτοια ώστε να μην εξάγεται ξηρό υλικό, δηλ. με υγρασία κάτω του 30%, αποφεύγοντας τη δημιουργία σκόνης κατά την περαιτέρω διακίνηση του compost. Για τους λόγους αυτούς, θα πραγματοποιείται διαβροχή του υλικού τόσο στο τμήμα της ταχείας λιπασματοποίησης όσο και στην ωρίμανση, έτσι ώστε η υγρασία του υλικού να είναι της τάξης του 40%. Η διαβροχή του υλικού γίνεται από τη μηχανή ανάδευσης με τέσσερα (4) ακροφύσια, τοποθετημένα σε μικρή απόσταση (περίπου 0,5μ.) από το αναδευόμενο υλικό κάθε κοχλία. Έτσι, αποφεύγεται η έκλυση μικροσταγονιδίων που παράγονται από διάταξη σταθερών ψεκαστήρων που εναλλακτικά θα μπορούσαν να τοποθετηθούν στα τοιχεία ή την οροφή. Φυσικά, λόγω του ψεκασμού διασταλαζόντων, η λύση αυτή απαγορεύεται λόγω της πιθανής ύπαρξης μικροοργανισμών. Το σύστημα διαβροχής της εγκατάστασης λιπασματοποίησης τροφοδοτείται από το δίκτυο ύδρευσης της εγκατάστασης. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού είναι της τάξης των 7,5m<sup>3</sup>/d.

### 5.3.8 Όργανα ελέγχου διεργασίας

Για τον έλεγχο της διεργασίας κομποστοποίησης είναι απαραίτητη η παρακολούθηση ορισμένων παραμέτρων. Ο εργαστηριακός εξοπλισμός μετρήσεων παραμέτρων κομποστοποίησης εγκαθίσταται στο εργαστήριο της ΜΕΛ Πρέβεζας και περιλαμβάνει:

- 2 ψηφιακά θερμόμετρα
- 1 ψηφιακό όργανο μέτρησης pH
- 1 όργανο μέτρησης O<sub>2</sub>
- 1 όργανο μέτρησης CO<sub>2</sub>

Η βιολογική επεξεργασία του υλικού εισαγωγής πραγματοποιείται σε κλειστό σύστημα κομποστοποίησης με ανάδευση. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λαμβάνει χώρα διάσπαση των οργανικών ενώσεων από τους μικροοργανισμούς. Το γεγονός αυτό προκαλεί αυτοθέρμανση του εισερχόμενου υλικού, με συνεπακόλουθη την

υγιεινοποίηση της μάζας του υλικού και την αφύγρανσή του. Έτσι, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών προκαλείται εξάτμιση του νερού.

Για την υποστήριξη της παραπάνω διαδικασίας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο παράμετροι, όπως η παροχή οξυγόνου, οι κατάλληλες αναλογίες μίγματος του εισερχόμενου υλικού και η ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας και του οξυγόνου σε όλο το εισερχόμενο υλικό. Για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας, οι παραπάνω παράμετροι επηρεάζονται με την τακτική αναστροφή της μάζας και τον παράλληλο αερισμό.

Το υλικό εισαγωγής αποθηκεύεται μεταξύ των συμπαγών τοιχίων και της στέγης του συστήματος σχηματίζοντας ένα κλειστό κανάλι. Ένας ειδικά σχεδιασμένος αναστροφέας κινείται πάνω από την στέγη του καναλιού στηριζόμενο στα δύο τοιχία, αναστρέφοντας την μάζα του υλικού, αναμιγνύοντάς το και καθιστώντας το αφράτο και εύκολα προσβάσιμο από τον φρέσκο αέρα που τροφοδοτείται από το δάπεδο του καναλιού.

Με την αναστροφή το υλικό κινείται σε κάθε κύκλο αναστροφής προς μια κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ροή του υλικού από το ένα άκρο στο άλλο του καναλιού. Η τροφοδοσία του συστήματος με νέο υλικό πραγματοποιείται πάντα από το ένα άκρο του καναλιού ενώ η απομάκρυνση του έτοιμου υλικού από το αντίθετο άκρο.

Η μεταφορά του αναστροφέα από το ένα κανάλι στο επόμενο πραγματοποιείται μέσω ενός βαγονέτου, κινούμενο κατά μήκος των άκρων των καναλιών από όπου γίνεται η εκφόρτωση του έτοιμου υλικού.

#### 5.3.9 Περιγραφή του Κλειστού Συστήματος Κομποστοποίησης

Κάθε κανάλι κομποστοποίησης αποτελείται από δύο τοιχία από μπετό. Διαθέτει ταυτόχρονα δίκτυο αεραγωγών για την απαγωγή του αέρα από το σύστημα, δίκτυο για την συλλογή του νερού, δάπεδο από μπετό με το σύστημα τροφοδοσίας και διανομής του φρέσκου αέρα και οροφή με λαστιχένια στεγάνωση. Η ζώνη εισαγωγής και εξαγωγής για κάθε κανάλι είναι εξοπλισμένη με πόρτες για την εύκολη πρόσβαση στο κανάλι σε περίπτωση πλήρωσης ή εκκένωσης από φορτωτή.

Η στέγη κάθε καναλιού σχεδιάζεται ως φτερωτό σύστημα και στηρίζονται και στους δύο τοίχους των καναλιών. Και τα δύο φτερά είναι εξοπλισμένα με λαστιχένια στοιχεία που σφραγίζουν το άνοιγμα μεταξύ των δύο φτερών της στέγης που απαιτείται για να περάσει ο άξονας του αναστροφέα στο κανάλι.

Το σύστημα των καναλιών είναι σχεδιασμένο για λειτουργία συνεχούς ροής και εξοπλισμένο με διακριτές ζώνες κομποστοποίησης ώστε να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται και να ρυθμίζει η διαδικασία τις ανάγκες σε οξυγόνο κατά την διάρκεια της κομποστοποίησης. Ο αερισμός του συστήματος επιτυγχάνεται με σύστημα τροφοδοσίας και διάχυσης αέρα από το δάπεδο του καναλιού. Ελεγχόμενες ποσότητες αέρα τροφοδοτούνται στις ζώνες κομποστοποίησης του καναλιού. Ο εξερχόμενος

αέρας από τη διεργασία της κομποστοποίησης συλλέγεται από την οροφή και μεταφέρεται σε ειδικό βιόφιλτρο για τον έλεγχο των ωσμών.

Τέσσερα κανάλια συλλέγονται σε μια ομάδα. Κάθε ομάδα συνδέεται με το σύστημα εξαερισμού της. Η ροή αέρα ρυθμίζεται και ελέγχεται με τη βοήθεια των αισθητήρων θερμοκρασίας και οξυγόνου. Οι απαραίτητοι ανεμιστήρες εξαερισμού και οι μονάδες ελέγχου εγκαθίστανται μεταξύ των ομάδων καναλιών.

### 5.3.10 Λειτουργία και Προδιαγραφές Αναστροφέα

Περιγραφή του συστήματος ανάδευσης

Το σύστημα αποτελείται από αναστροφέα λωρίδας με ηλεκτροκινητήρα για την αυτόματη λειτουργία και ένα βαγόνι μεταφοράς για τη μεταφορά του συστήματος ανάδευσης από μία λωρίδα προς την επόμενη. Παράλληλα, διαθέτει ένα ρότορα τοποθετημένο οριζόντια και εγγυάται τον εντατικό αερισμό και την ομογενοποίηση του υλικού. Ο ρότορας έχει ειδική κατασκευή για την ανάδευση και την προώθηση του υλικού και όλα τα εξαρτήματα που είναι επιρρεπή σε φθορά λόγω της επαφής τους με διαβρωτικά υλικά αντικαθίστανται εύκολα.

Το υλικό μεταφέρεται σε διαμήκη κατεύθυνση από την διαδικασία της περιστροφής, με ρυθμιζόμενο και προγραμματιζόμενο ρότορα. Ανάλογα με τον ρότορα το υλικό μετατοπίζεται περίπου 1,9 έως 2,5 m στην κατεύθυνση της εξόδου.

Ο αναστροφέας κινείται πάνω σε ελαστικές ερπύστριες και οι κινήσεις του είναι πλήρως αυτοματοποιημένες. Αυτόματες συσκευές καθαρισμού για την κορυφή του τοίχους εξασφαλίζουν πάντα καθαρή επιφάνεια για τις διαδρομές. Για λόγους ασφαλείας, το σύστημα διαθέτει αισθητήρες για την καθοδήγησή του πάνω στα τοιχώματα του αντιδραστήρα και ένα μηχανικό σύστημα προστασίας εμποδίζει το μηχάνημα να πέσει από τα τοιχώματα στην περίπτωση σφάλματος του συστήματος ελέγχου.

Για την μετακίνηση του αναστροφέα από μία λωρίδα στην επόμενη, το σύστημα είναι εφοδιασμένο με βαγόνι μεταφοράς, το οποίο κινείται επί σιδηροτροχιών εγκατεστημένων στο δάπεδο του χώρου μεταφοράς.

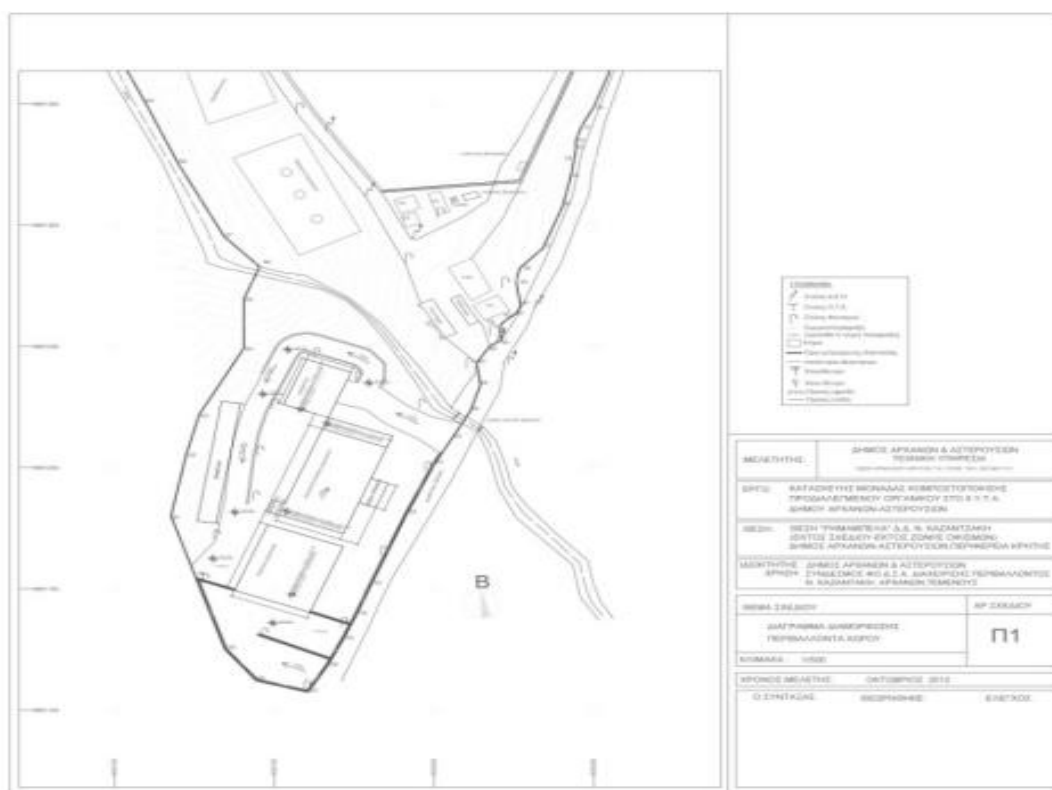
Η λειτουργία του βαγονιού ελέγχεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κιβωτίου ελέγχου τοποθετημένου στο βαγόνι μεταφοράς. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με πίνακες ελέγχου υπό πίεση. Ολόκληρη η διαδικασία ελέγχεται από κεντρικό σύστημα ελέγχου, το οποίο λαμβάνει υπόψη τα σήματα από τους αισθητήρες μέτρησης των παραμέτρων λειτουργίας. Η διαδικασία είναι οπτικοποιημένη μέσω της οθόνης αφής ή του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ένα σύστημα άρδευσης εξασφαλίζει την περιεκτικότητα σε υγρασία του υλικού κομποστοποίησης. Αυτό αποτελείται από ένα σωλήνα PE για τη μεταφορά του νερού, τύμπανα σωλήνα, βαλβίδα διανομής νερού και ακροφύσια ψεκασμού.



Κατά τη διάρκεια της αδράνειας προτείνεται το σύστημα να οδηγείται από την κομποστοποίηση σε μια αίθουσα -ξεχωριστό δωμάτιο για την όσο το δυνατόν περισσότερη προστασία του από τη διάβρωση. Μεταξύ άλλων, οι εργασίες επισκευής και συντήρησης μπορούν να γίνουν σε αυτό το δωμάτιο χωρίς καμία ενόχληση από τις εκπομπές των αντιδραστήρων.

Αναπόσπαστο επίσης τμήμα αποτελούν τα σχέδια και οι χάρτες.



Εικόνα 5.4 : Τοπογραφικό της μονάδας Κομποστοποίησης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος (Πηγή ΕΣΔΑ)

Σε συνέχεια της παραπάνω τεχνικής μελέτης του έργου είναι αναγκαίο να υπάρξουν έργα περιβαλλοντικής παρακολούθησης που θα έχουν ως πρωταρχικούς στόχους την προστασία της δημόσιας υγείας τόσο των εργαζομένων όσο και των πολιτών των γύρω περιοχών που θα επηρεαστούν άμεσα, την αποφυγή της ρύπανσης και της μόλυνσης του περιβάλλοντος και επίσης την παρακολούθηση για την σωστή και εύρυθμη λειτουργία της εγκατάστασης.

Παράλληλα απαραίτητος είναι ο έλεγχος και η παρακολούθηση του μηχανολογικού εξοπλισμού για τα αποφευχθούν πιθανόν ατυχήματα σύμφωνα με το πλαίσιο που ορίζει ο κατασκευαστής. Συμπληρωματικά με το παραπάνω σε περίπτωση ατυχήματος θα υπάρχει έτοιμο σχέδιο αντιμετώπισης και διαχείρισης έκτακτης ανάγκης όπως αυτό ορίζετε από τους αρμόδιους νόμους στην κάθε περίπτωση. Για αυτό τον λόγο είναι άκρος σημαντικό να τηρούνται όλα τα μέτρα ασφαλείας και υγιεινής των εργαζομένων.



Τέλος αλλά εξίσου σημαντικός είναι ο έλεγχος της ποιότητας του κομπόστ όπως αυτή αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 δηλαδή την σχέση C/N, το pH, την οργανική ουσία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλά και την φυτοτοξικότητα γιατί όσο πιο καλή είναι η ποιότητα του τόσο πιο πολλά θα είναι τα έσοδα του από την πώληση του ως εδαφοβελτιωτικό.

## Κεφάλαιο 6° Waste Reduction Model (WARM)

### 6.1 Waste Reduction Model (WARM)

Για την αξιολόγηση και την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων που θα έχει η δημιουργία αυτής της Μονάδας Κομποστοποίησης που έχουμε περιγράψει και αναλύσει στην προηγούμενη ενότητα απαιτούνται τα κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία και πιο συγκεκριμένα το Waste Reduction Model, δημιούργημα του Αμερικανικού Οργανισμού EPA. Προσεγγίζοντας πιο διεξοδικά το μοντέλο αυτό, γίνεται αντιληπτό ότι σχεδιάστηκε για να παρέχει εκτιμήσεις υψηλού επιπέδου για πιθανές μειώσεις εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), εξοικονόμηση ενέργειας και οικονομικές επιπτώσεις από διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης σε ένα ευρύ φάσμα τύπων υλικών που βρίσκονται συνήθως στα αστικά στερεά απόβλητα. Το WARM εκτιμά αυτές τις επιπτώσεις συγκρίνοντας τις βασικές πρακτικές με τις εναλλακτικές διαχείρισης αποβλήτων — μείωση στην πηγή, ανακύκλωση, αναερόβια χώνευση, καύση, κομποστοποίηση και υγειονομική ταφή. Το μοντέλο υπολογίζει τις εκπομπές σε μετρικούς τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (MTCO<sub>2</sub>E), ενέργεια σε εκατομμύρια των BTUs (MMBTU), τις επιπτώσεις στους μισθούς και τη φορολόγηση, τις ώρες εργασίας που υποστηρίζονται σε ένα ευρύ φάσμα τύπων υλικών που βρίσκονται συνήθως στα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ).

Το WARM επί του παρόντος είναι διαθέσιμο ως εργαλείο που βασίζεται σε μια βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε σε λογισμικό αξιολόγησης ανοιχτού κύκλου ζωής (openLCA) και ολοένα βελτιώνεται, με εκδόσεις διαθέσιμες τόσο για χρήστες Windows όσο και για Macintosh. Το WARM είναι επίσης διαθέσιμο ως υπολογιστικό φύλλο του Microsoft Excel το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε με δυνατότητα λήψης. Η πρώτη έκδοση του WARM κυκλοφόρησε το 1998 με όνομα Version 1 και σχεδόν αμέσως ακολούθησε η βελτιωμένη έκδοση του με όνομα Version 2. Αυτή την στιγμή διατίθεται στην έκδοση με όνομα Version 15. Το WARM είναι αξιοποιήσιμο από άτομα και οργανισμούς με μεγάλη εμβέλεια σε κρατικές και τοπικές κυβερνήσεις, φοιτητές, μικρές επιχειρήσεις και άλλους οργανισμούς που ενδιαφέρονται για τα GHG, την ενέργεια και τις οικονομικές επιπτώσεις από αποφάσεις εναλλακτικής διαχείρισης υλικών. ( WARM Excel User's Guide – Version 15 )

Το σημαντικότερο δεδομένο που επιβάλλεται για την αξιοποίηση και την μετέπειτα αποτίμηση του συγκεκριμένου εργαλείου είναι το ποσοτικό μείγμα αποβλήτων από την περιοχή μελέτης. Με άλλα λόγια, αν ποσοτικοποιούνται στα απόβλητα οι ακόλουθες κατηγορίες πχ χαρτί, απόβλητα φαγητού, απόβλητα αυλής, πλαστικό, βιοπλαστικό, ηλεκτρονικά είδη, μέταλλα, γυαλί, κατασκευαστικά υλικά, ελαστικά και άλλα. Όλα τα παραπάνω έχουν και υποκατηγορίες που αν είναι γνωστές, οδηγούν σε πιο ασφαλή και συγκεκριμένα συμπεράσματα. Το δεύτερο πιο σημαντικό είναι το είδος των διεργασιών που υφίστανται τα συγκεκριμένα απόβλητα και το ποσοστό ανακύκλωσής τους ή και κομποστοποίησης ακόμα και αν εναποθέτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Σύμφωνα με το Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων του Δήμου Αρχανών Αστερουσίων το μείγμα αποβλήτων είναι που καλείται να επεξεργαστεί η μονάδα κομποστοποίησης ως ακολούθως:

Είδος Αποβλήτου	Ποσοστό %	Ποσότητες (tn)
<b>ΤΡΟΦΙΚΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ (Οργανικά)</b>	39,15%	<b>3.621</b>
<b>ΧΑΡΤΙ</b>	19,94%	<b>1.844</b>
<b>ΠΛΑΣΤΙΚΑ</b>	16,85%	<b>1.559</b>
<b>ΜΕΤΑΛΛΑ</b>	3,51%	<b>325</b>
<b>ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b>	1,44%	<b>133</b>
<b>ΑΔΡΑΝΗ</b>	2,67%	<b>247</b>
<b>ΓΥΑΛΙ</b>	5,33%	<b>493</b>
<b>Δ-Ξ-Υ-Λ</b>	5,24%	<b>485</b>
<b>ΥΠΟΛΟΙΠΑ</b>	5,87%	<b>543</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>100,00%</b>	<b>9.250</b>

Εικόνα 6.1 : Ποιοτική σύνθεση ρευμάτων ΑΣΑ Δήμου Αρχανών – Αστερουσίων (Πηγή Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων του Δήμου Αρχανών Αστερουσίων)

Στη συνέχεια πρέπει να διασαφηνιστούν ενδεικτικά τα ακόλουθα ερωτήματα :

- Περιοχή ή Χώρα αναφοράς
- Αν τα απόβλητα επεξεργασίας έχουν προέλθει από ανακύκλωση ή όχι
- Αν στο χώρο υγειονομικής ταφής και εναπόθεσής τους διατίθεται σύστημα ελέγχου αερίων χωματερής (LFG)
- Εάν πραγματοποιείται από τη χωματερή ανάκτηση αερίου, μεθανίου για ενέργεια ή πυροδότησή του
- Ο ενδεικνυόμενος τύπος χωματερής ανάλογα με τις προδιαγραφές που ακολουθεί
- Οι συνθήκες υγρασίας και ο σχετικός ρυθμός αποσύνθεσης ΑΣΑ
- Ο χρησιμοποιούμενος τύπος αναερόβιας χώνευσης για τα υπολείμματα τροφίμων
- Η κατάληξη του χωνεμένου υπολείμματος που προκύπτει από διαδικασίες αναερόβιας χώνευσης
- Οι εκπομπές που προκύπτουν κατά τη μεταφορά υλικών στην εγκατάσταση διαχείρισης

## 6.2 Επεξεργασία Δεδομένων – Αποτελέσματα

Μετά τη δωρεάν λήψη του Waste Reduction Model (WARM) από το επίσημο site του οργανισμού EPA και με το άνοιγμα του αρχείου excel, περιγράφεται η λειτουργία του προγράμματος στο πρώτο φύλλο excel που ονομάζεται User's Guide. Το δεύτερο φύλλο ονομάζεται Analysis Inputs και είναι το πιο σημαντικό γιατί σε αυτό μεταφέρονται όλα τα δεδομένα. Στο πρώτο βήμα όπως αναφέρθηκε παραπάνω

γίνεται η αντικατάσταση στα αντίστοιχα κελία των αριθμητικών δεδομένων από την εικόνα 6.1 με την ποιοτική και ποσοτική σύνθεση ρευμάτων ΑΣΑ Δήμου Αρχανών – Αστερουσίων όπως φαίνεται παρακάτω.

Material Type	Material	Tons Recycled	Tons Landfilled	Tons Combusted	Tons Composted	Tons Anaerobically Digested
Paper	Corrugated Containers	NA	NA	NA	NA	NA
	Magazines/Third-class Mail	NA	NA	NA	NA	NA
	Newspaper	NA	NA	NA	NA	NA
	Office Paper	NA	NA	NA	NA	NA
	Phonebooks	NA	NA	NA	NA	NA
	Textbooks	NA	NA	NA	NA	NA
Food Waste	Mixed Paper (general)	NA	1,844.00	NA	NA	NA
	Mixed Paper (primarily residential)	NA	NA	NA	NA	NA
	Mixed Paper (primarily from offices)	NA	NA	NA	NA	NA
	Food Waste	NA	3,621.00	NA	NA	NA
	Food Waste (non-meat)	NA	NA	NA	NA	NA
	Food Waste (meat only)	NA	NA	NA	NA	NA
Yard Trimmings	Beef	NA	NA	NA	NA	NA
	Poultry	NA	NA	NA	NA	NA
	Grains	NA	NA	NA	NA	NA
	Bread	NA	NA	NA	NA	NA
	Fruits and Vegetables	NA	NA	NA	NA	NA
	Dairy Products	NA	NA	NA	NA	NA
Mixed Plastics	Yard Trimmings	NA	NA	NA	NA	NA
	Glass	NA	NA	NA	NA	NA
	Leaves	NA	121.00	NA	NA	NA
	Branches	NA	NA	NA	NA	NA
	HDPE	NA	NA	NA	NA	NA
	LDPE	NA	NA	NA	NA	NA
Bioplastics	PET	NA	NA	NA	NA	NA
	LLDPE	NA	NA	NA	NA	NA
	PP	NA	NA	NA	NA	NA
	PS	NA	NA	NA	NA	NA
	PVC	NA	NA	NA	NA	NA
	Mixed Plastics	NA	1,559.00	NA	NA	NA
Electronics	PLA	NA	NA	NA	NA	NA
	Desktop CPUs	NA	NA	NA	NA	NA
	Portable Electronic Devices	NA	NA	NA	NA	NA
	Flat-Panel Displays	NA	NA	NA	NA	NA
	CRT Displays	NA	NA	NA	NA	NA
	Electronic Peripherals	NA	NA	NA	NA	NA
Metals	Hard-Copy Devices	NA	NA	NA	NA	NA
	Mixed Electronics	NA	NA	NA	NA	NA
	Aluminum Cans	NA	133.00	NA	NA	NA
	Aluminum Ingot	NA	NA	NA	NA	NA
	Steel Cans	NA	NA	NA	NA	NA
	Copper Wire	NA	NA	NA	NA	NA
Construction Materials	Mixed Metals	NA	325.00	NA	NA	NA
	Glass	NA	493.00	NA	NA	NA
	Asphalt Concrete	NA	NA	NA	NA	NA
	Asphalt Shingles	NA	NA	NA	NA	NA
	Carpet	NA	NA	NA	NA	NA
	Clay Bricks	NA	NA	NA	NA	NA
Tires	Concrete	NA	NA	NA	NA	NA
	Dimensional Lumber	NA	NA	NA	NA	NA
	Drywall	NA	NA	NA	NA	NA
	Fiberglass Insulation	NA	NA	NA	NA	NA
	Fly Ash	NA	NA	NA	NA	NA
	Medium-density Fiberboard	NA	NA	NA	NA	NA
Mixed Materials	Structural Steel	NA	NA	NA	NA	NA
	Vinyl Flooring	NA	NA	NA	NA	NA
	Wood Flooring	NA	NA	NA	NA	NA
	Tires	NA	121.00	NA	NA	NA
	Mixed Recyclables	NA	NA	NA	NA	NA
	Mixed Organics	NA	NA	NA	NA	NA
	Mixed MSW	NA	247.00	NA	NA	NA

Εικόνα 6.2: Warm step 1 Πηγή : excel warm\_v15.1

Στην συνέχεια υπάρχει ένα ίδιος και παράλληλος πίνακας με τον παραπάνω στον οποίο χωρίζονται σε ποσοστά τα απόβλητα ανάλογα με τις προδιαγραφές επεξεργασίας της κάθε μονάδες παραγωγής. Άρα όπως διαπιστώθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η επεξεργαστέα απόδοση πρέπει να είναι της τάξης του 40%. Για τον λόγο αυτό προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας.

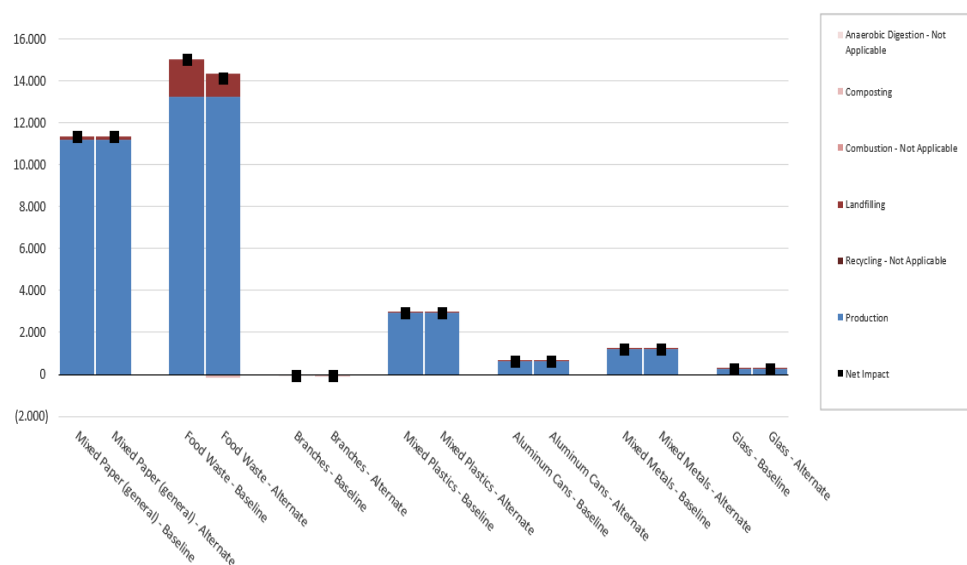
Tons Source Reduced	Tons Recycled	Tons Landfilled	Tons Combusted	Tons Composted	Tons Anaerobically Digested
	NA	2.172,80		NA	NA
	NA			1.448,40	
	NA				
	NA				
	NA				
	NA				
	NA				
	NA				
NA	NA				
NA	NA	72,80		48,40	
NA	NA			NA	NA
	NA			NA	NA
	NA			NA	NA
	NA			NA	NA
	NA	1.559,00		NA	NA
	NA			NA	NA
NA				NA	NA
NA				NA	NA
		133,00		NA	NA
				NA	NA
		325,00		NA	NA
		493,00	NA	NA	NA
			NA	NA	NA
NA	NA		NA	NA	NA
	NA		NA	NA	NA
NA	NA		NA	NA	NA
	NA		NA	NA	NA
	NA		NA	NA	NA
	NA		NA	NA	NA
	NA		NA	NA	NA
	NA	121,00		NA	NA
NA	NA			NA	NA
NA	NA			NA	NA
NA	NA	247,00		NA	NA

Εικόνα 6.3: Warm step 2 Πηγή : excel warm\_v15.1

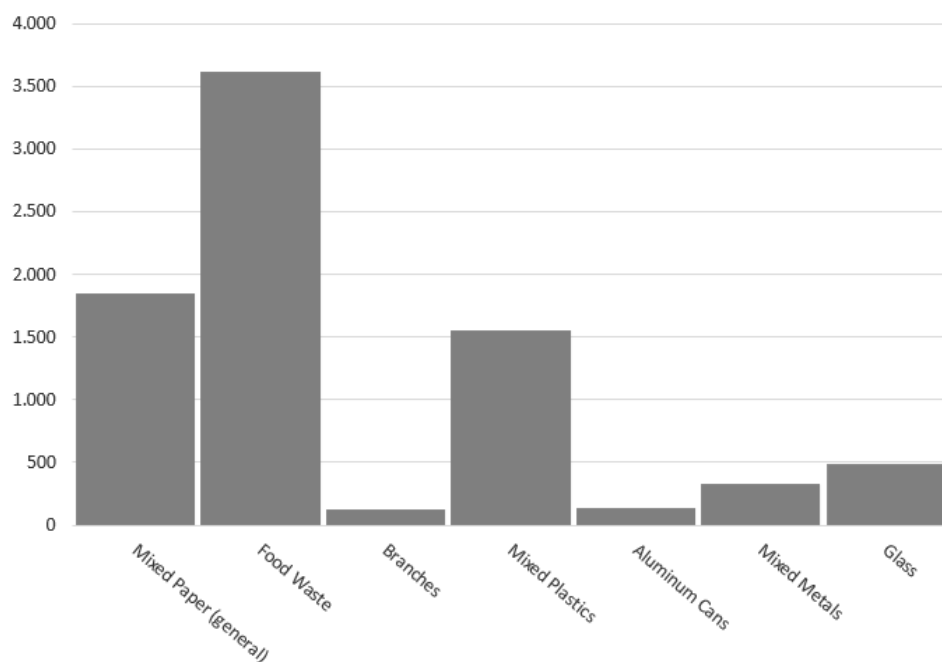
Στην συνέχεια απαντάμε στις ακόλουθες ερωτήσεις στις οποίες αναφερθήκαμε προηγούμενος.

Επομένως στα επόμενα φύλλα του excel παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που να έχει η μονάδα επεξεργασίας οργανικών αστικών αποβλήτων.

Στο επόμενο φύλλο excel με όνομα Summary Report (MTCO<sub>2</sub>E) εμφανίζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ετήσια μείωση εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου GHG(MTCO<sub>2</sub>E) της τάξεως 864,64. Αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει από τον υπολογισμό ότι αν όλο το μείγμα των αστικών αποβλήτων εναποθέτονταν σε χώρους ταφής οι ετήσιες εκπομπές αέριων του θερμοκηπίου GHG(MTCO<sub>2</sub>E) θα ήταν της τάξης των 2.004 ενώ με την αλλαγή του 45% προς κομποστοποίηση αυτές οι εκπομπές θα μειωθούν στις 1.139,36. Πιο απλά, είναι σαν να αφαιρούνται σε ετήσια βάση εκπομπές αερίων από 184 αυτοκίνητα ή σαν να εξοικονομούνται 97.292 γαλόνια βενζίνης (με τιμή γαλονιού 0,931€ αποταμιεύουμε 90.578,852€ με την τωρινή τιμή του) ή σαν τα εξοικονομούνται 36.026 φιάλες προπάνιου. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και παρακάτω με την μορφή διαγραμμάτων.



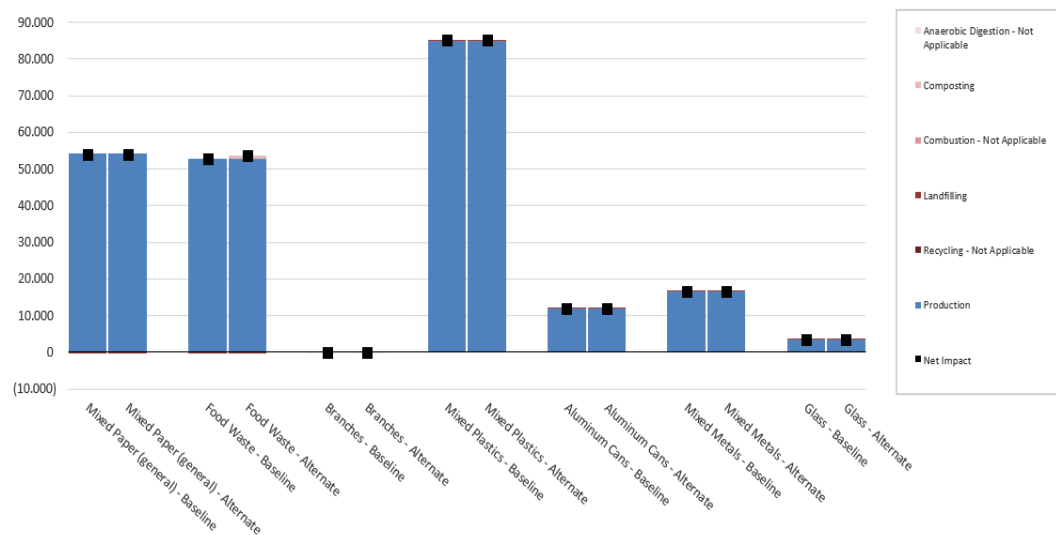
Διάγραμμα 6.4 : Baseline and alternate Production and End-of-Life Emissions (MTCO<sub>2</sub>E) (Πηγή : excel warm\_v15.1)



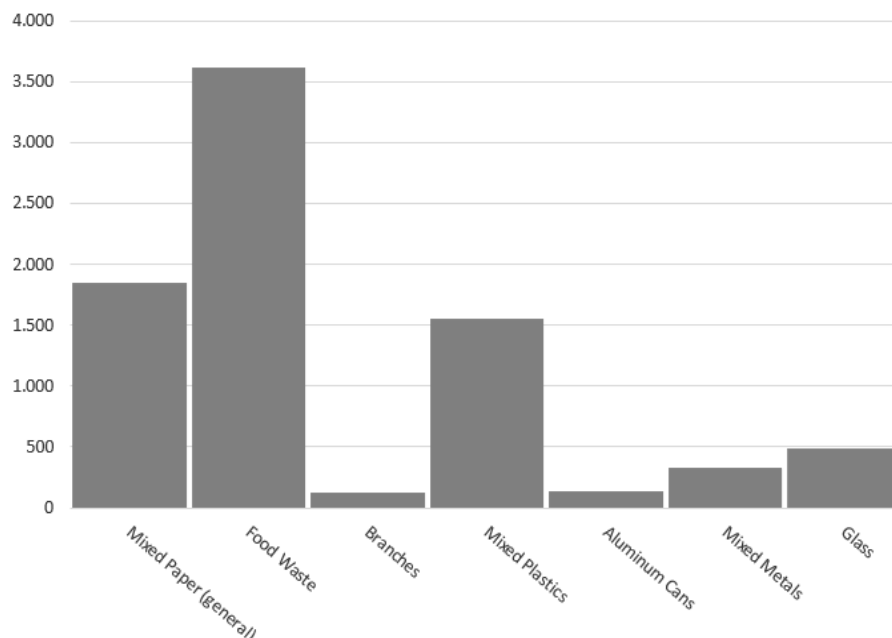
Διάγραμμα 6.5 : Material Weight of Baseline and Alternate Scenarios (Short Tons) (Πηγή : excel warm\_v15.1)

Στο επόμενο φύλλο excel με όνομα Summary Report (energy) εμφανίζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ετήσια ενέργεια που δεν δαπανάται σε million BTU της τάξεως των 1.068,50 ( με τον όρο BTU ορίζεται η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός κιλού νερού κατά ένα βαθμό Φαρενάιτ ). Με

αλλά λόγω εξοικονομείται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας 12 νοικοκυριών ή 184 βαρελιών πετρελαίου – φυσικού αερίου ή 8.871 γαλονιών βενζίνης. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και παρακάτω με την μορφή πινάκων.



Διάγραμμα 6.6 : Baseline and alternate Production and End-of-Life Energy Use (Million Btu) (Πηγή : excel warm\_v15.1)



Διάγραμμα 6.6 : Material Weight of Baseline and Alternate Scenarios (Short Tons) (Πηγή : excel warm\_v15.1)

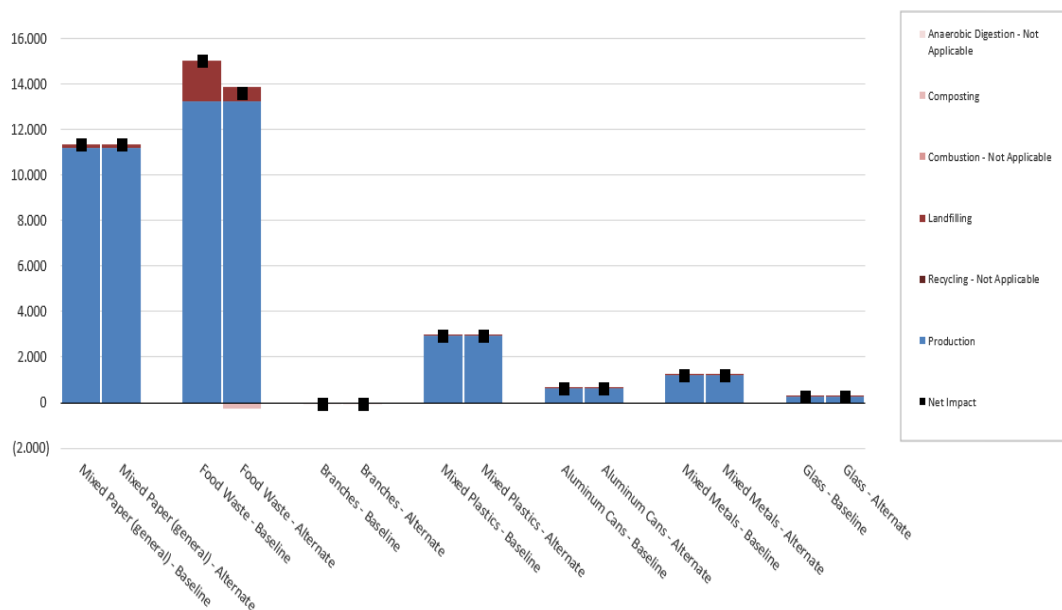
Όμως όλα τα παραπάνω είναι επιτεύξιμα με βασική προϋπόθεση την υπακοή στις εντολές και τις κατευθυντήριες γραμμές που έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση με όραμα σε βάθος χρόνου (ήτοι το 2050) την ενεργειακή ουδετερότητα με ποσοστό κομποστοποίησης τουλάχιστον 65%. Για αυτό δημιουργήθηκε και το εναλλακτικό σενάριο με την μετατροπή πως κομποστοποίησης σε ποσοστό 65% στο υπάρχον μίγμα αποβλήτων.

Εικόνα 6.8 : Warm step 2 εναλλακτικό Πηγή : excel warm\_v15.1

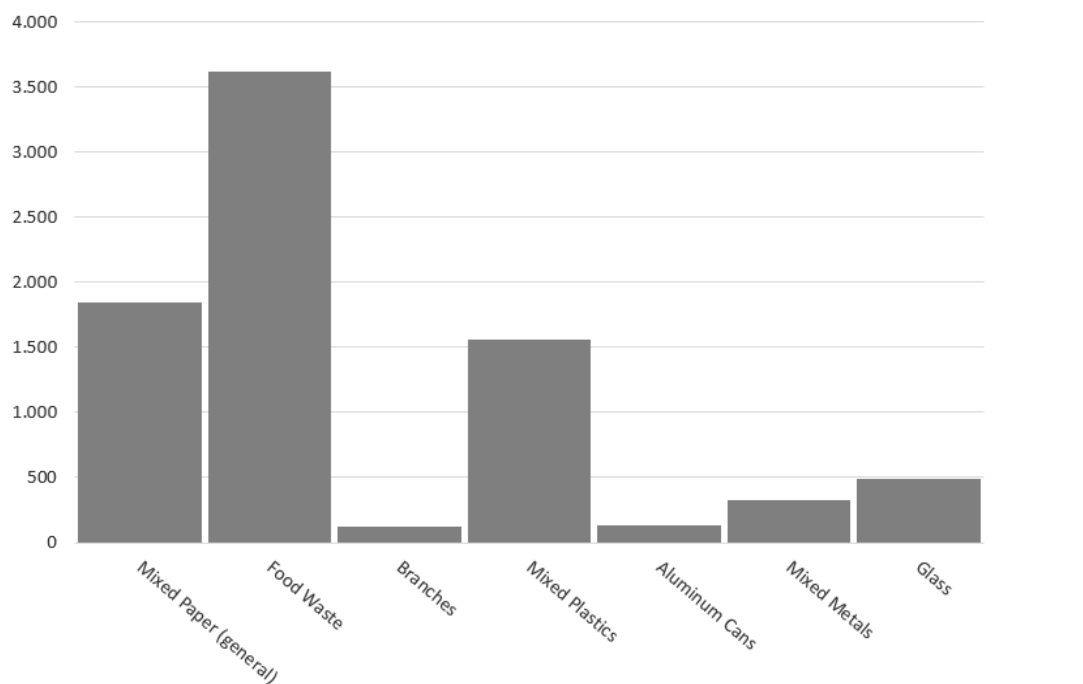
Στο επόμενο φύλλο excel με όνομα Summary Report (MTCO<sub>2</sub>E) εμφανίζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ετήσια μείωση εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου GHG(MTCO<sub>2</sub>E) της τάξεως των 1.405,03. Με άλλα λόγια είναι σαν να αφαιρούνται σε ετήσια βάση εκπομπές αερίων από 298 αυτοκίνητα ή σαν να εξοικονομούνται 158.100 γαλόνια βενζίνης (με τιμή γαλονιού 0,931€ αποταμιεύονται 147.191,1€ με την τωρινή



τιμή του) ή σαν να εξοικονομούνται 36.026 φιάλες προπάνιου. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και παρακάτω με την μορφή πινάκων.

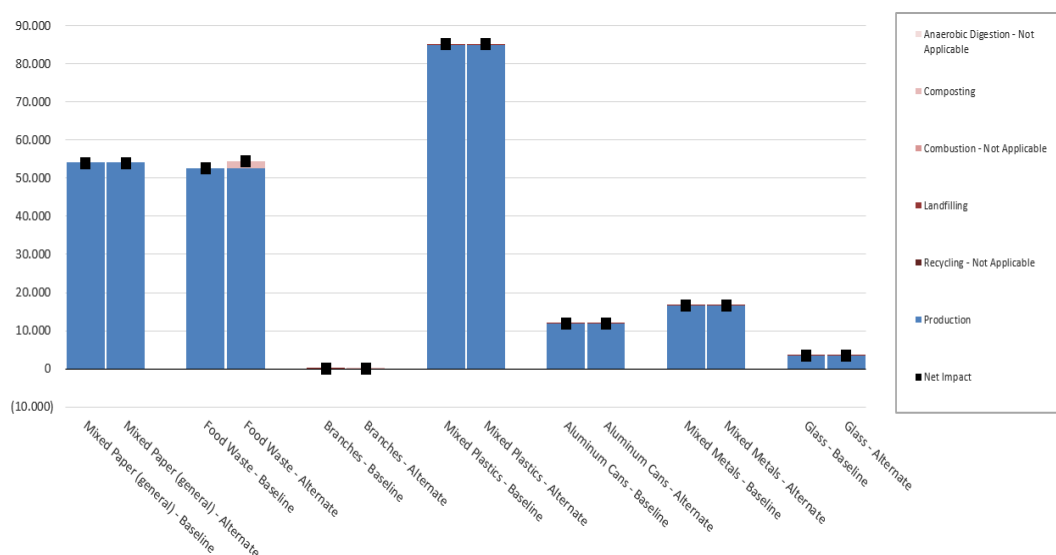


Διάγραμμα 6.9 : Baseline and alternate Production and End-of-Life Emissions (MTCO<sub>2</sub>E) (Πηγή : excel warm\_v15.1)

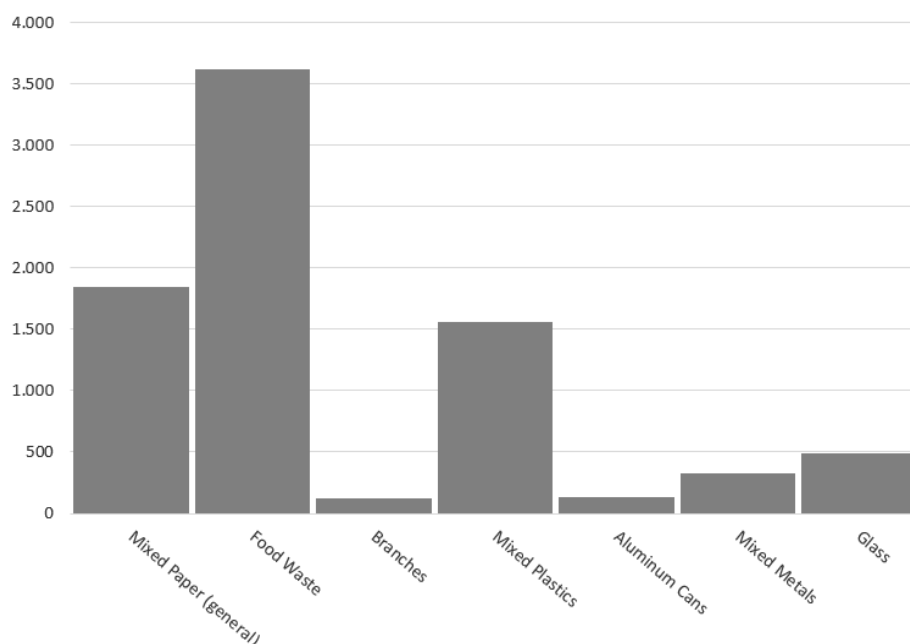


Διάγραμμα 6.10 : Material Weight of Baseline and Alternate Scenarios (Short Tons) (Πηγή : excel warm\_v15.1)

Στο επόμενο φύλλο excel με όνομα Summary Report (energy) εμφανίζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ετήσια ενέργεια που δεν δαπανάται σε million BTU της τάξεως των 1.736,31 ( με τον όρο BTU ορίζεται η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός κιλού νερού κατά ένα βαθμό Φαρενάιτ ). Έτσι εξοικονομείται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας 19 νοικοκυριών ή 299 βαρελιών λαδιού ή 14.415 γαλονιών βενζίνης. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται και παρακάτω με την μορφή πινάκων.



Διάγραμμα 6.11 : Baseline and alternate Production and End-of-Life Energy Use (Million Btu) Πηγή : excel warm\_v15.1



Διάγραμμα 6.12 Material Weight of Baseline and Alternate Scenarios (Short Tons) (Πηγή : excel warm\_v15.1)

Τέλος υπολογίζεται στα Summary Report (Wages) και Summary Report (Taxes) ότι θα υπάρχει εξοικονόμηση 49.400,01€ και 29.114,63€ αντίστοιχα από την ετήσια λειτουργία της μονάδας κομποστοποίησης.

## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> Συμπεράσματα

Όπως είναι ευρέως γνωστό και έχει αναφερθεί και στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία οι φυσικοί πόροι της γης εξαντλούνται και σε συνδυασμό με την μη επαρκή χρησιμοποίηση ανακυκλώσιμων πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον είναι αναγκαίο να στρέψουμε την προσοχή μας στην ορθή διαχείριση των αποβλήτων μας εφαρμόζοντας το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας. Για τον λόγο αυτό πρέπει να σταματήσουμε να εναποθέτουμε τα σκουπίδια μας στους χώρους ταφής ή καύσης που προκαλούν σοβαρά οικολογικά προβλήματα με κυριότερο να είναι η ανάπτυξη αέριων που συνδράμουν στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και να στραφούμε σε άλλες μεθόδους όπως η ανακύκλωση, η αναερόβια χώνεψη και η κομποστοποίηση κλπ. Τα οργανικά απόβλητα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό στις τάξεις των αποβλήτων με την κομποστοποίηση να αποτελεί η βέλτιστη λύση για την επεξεργασία τους στοχεύοντας στην παραγωγή κομπόστ ως υλικό ανάκτησης ενέργειας. Αυτή η διαδικασία μας δίνει την βέλτιστη αναλογία υποκατάστασης 0,4:1 που σημαίνει ότι 1 τόνος οργανικών αποβλήτων αποδίδει 0,4 τόνους κομπόστ.

Στο ίδιο μήκος κύματος εκτός από τους πολίτες βρίσκονται και οι χώρες οι οποίες μετά από έρευνες οι οποίες ανέδειξαν το πρόβλημα αρχίσαν να εφαρμόζουν μέτρα για την αντιμετώπιση του προβλήματος τόσο εφαρμόζοντας αυστηρούς νόμους και περιορισμούς για τις παραδοσιακές μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων όσο δίνοντας κίνητρο στους πολίτες και στις εταιρίες να αναπτύξουν την οικολογική τους συνείδηση.

Για παράδειγμα ο οργανισμός EPA (Environmental Protection Agency) που δραστηριοποιείται στην Αμερική τα τελευταία 35 χρόνια στην αναλυτική μελέτη για την διαχείριση των αποβλήτων υποστηρίζει πως στις ΗΠΑ το ποσοστό κομποστοποίησης φτάνει στο 32,1% το 2018. Όμως επισημαίνει πως αυτό το ποσοστό είναι απαραίτητο να ανέβει αρκετά τα επόμενα 10 χρόνια γιατί ακόμα το 50% των αποβλήτων στις ΗΠΑ καταλήγουν σε χώρους αποτέφρωσης ή υγειονομικής ταφής.

Σε παρόμοια πορεία έχει στραφεί και η Ευρωπαϊκή Ένωση όπου μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου έχει ορίσει ως στόχο σε όλα τα κράτη μέλη της ανακύκλωση τουλάχιστον του 55 % των αστικών αποβλήτων κατά βάρος έως το 2025 όπου ο εν λόγω στόχος θα αυξηθεί στο 60 % έως το 2030 και στο 65 % έως το 2035. Όμως η ανεξάρτητη αρχή ECN ( European Compost Network ) για το ημερολογιακό έτος 2022 επισημαίνεται ότι το ποσοστό σε απόλυτο μέσο όρο βρίσκετε περίπου στο 17%. Κάποιες χώρες έχουν πιάσει ή ακόμη και ξεπεράσει αυτόν το στόχο όμως οι περισσότερες συμπεριλαμβανομένου και της Ελλάδας βρίσκονται πολύ χαμηλά.

Για αυτόν τον λόγο στην Ελλάδα έχει θεσμοθετηθεί το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) με στόχο την υλοποίηση των Ευρωπαϊκών απαιτήσεων που έχουν ορισθεί και γιατί προβλέπονται σοβαρές κυρώσεις για τις χώρες που δεν ικανοποιούν τους στόχους. Ο ΕΣΔΑ έχει προβεί σε αρκετά έργα στην χώρα μας για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων τα οποία έχουν καθυστερήσει στην υλοποίηση τους λόγω του covid-19. Το έργο το οποίο μελετάμε είναι η μονάδα κομποστοποίησης του

προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος, η οποία πρόκειται να εγκατασταθεί στον ΧΥΤΑ Αρχανών - Αστερουσίων ανέρχεται σε 8.000 - 10.000 τόνους / έτος. Εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε και ποιοτικά τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου έργου κάνοντας χρήση του μοντέλου Waste Reduction Model (WARM) το οποίο δημιούργημα από τον Αμερικάνικο Οργανισμό EPA.

Αναλύοντας το μοντέλο εμφανίζοντας ποσοστό κομποστοποίησης 40% όπως ορίζετε στο έργο τότε καταλήγουμε στο κύριο συμπέρασμα ότι για 1 έτος λειτουργίας της μονάδας θα υπάρχει μείωση εκπομπών αέριων του θερμοκηπίου GHG(MTCO<sub>2</sub>E) της τάξεως 864,64. Όμως για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε αυτό το νούμερο πρέπει να ανατρέξουμε στην έκθεση του United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) για την χώρας όπου στο έτος 2019 τα αέρια του θερμοκηπίου ήταν περίπου 105,5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι CO<sub>2</sub>. Ο αριθμός για τα απόβλητα είναι της τάξης του 5.900.000 μετρικοί τόνοι CO<sub>2</sub> συνεπώς το ένα εργοστάσιο αποτελεί το 0,000147% της εκπομπής αέριων του θερμοκηπίου στην χώρα μας.

Κλίνοντας είναι απαραίτητο να αναφέρουμε πως για να μπορέσουμε να αποφύγουμε τις καταστροφικές συνέπειες από την μόλυνση του περιβάλλοντος πρέπει να ευαισθητοποιηθούν οι πολίτες και οι αρμόδιοι φορείς να υλοποιήσουν έργα σε όλοι την επικράτεια.

## Βιβλιογραφία

«Τεχνική Περιγραφή» Κατασκευή Μονάδας Κομποστοποίησης προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος Απορριμμάτων στη θέση Ρημάμπελλα Δ. Αρχανών – Αστερουσίων

Τοπικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων Δήμου Αρχανών Αστερουσίων

Μεταπτυχιακή Εργασία : Επιλογή βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων με βάση τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου με ανάλυση κύκλου ζωής : εφαρμογή στο Δήμο Βόλου ( Ιωάννα Μασλουμίδα )

Διπλωματική Εργασία : Επικαιροποίηση του Τοπικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων Δήμου Κύμης – Αλιβερίου ( Γεώργιος Μαθιουδάκης )

Municipal waste management in Greece – European Environment Agency ( Ιωάννης Μπάκας και Λεωνίδα Μήλιος )

Managing municipal solid waste, a review of achievements in 32 European countries European Environment Agency

Διπλωματική Εργασία : Η κομποστοποίηση στην Ελλάδα και στην Ευρώπη ( Σταματία Συλίου )

Διπλωματική Εργασία : Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων μέτρησης του βαθμού βιοσταθεροποίησης κομποστ ( Βασιλεία Λογοθέτη )

Διπλωματική Εργασία : Επεξεργασία οργανικού κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου οικιακού κομποστοποιητή ( Ιωάννης Πεζούλας )

Διπλωματική Εργασία : Μονάδες βιοαερίου και κομποστ – πιστοποίηση και βιομετρική ανάλυση ( Κωνσταντίνος Μαύρος )

EPA ( National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling )

Eurostat Statistics Explained ( Waste Statistics )

News European Parliament (Plastic waste and recycling in the EU: facts and figures)

ECN Compost and Digestate for a Circular Bioeconomy ( Bio-Waste in Europe )

ECN Data report 2022 (Overview of Bio-Waste Collection, Treatment & Markets Across Europe

Eurostat Statistics Explained ( Food waste and food waste prevention – estimates )

Greenly Resources Global Food Waste in 2023

U. S. Food & Drug Administrator ( Food Loss and Waste )

United Nations News ( one - third of world's food wasted annually, at great economic, environmental cost )

Bokashi Organko From Food waste to new resource ( surprising global food waste statistics that will blow your mind )

The World Bank IBRD – IDA ( What a waste 2.0 – A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 – Trends in Solid Waste Management )

EPA ( Composting At Home )

Wikipedia The Free Encyclopedia ( Compost )

EPA ( Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting )

BIOCYCLE the organics recycling authority since 1960 ( State of Composting in the US )

ILSR – A Growing Movement 2022 Community Composter Census

ILSR – Pay Dirt Composting in Maryland to Reduce Waste, Create jobs, Protect the Bay

Eurostat Statistics Explained ( Municipal waste statistics )

ECN ( Compost Production in Europe )

European bioplastics ( Fact sheet NOV 2009 Industrial Composting )

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας ( Final Report 11 APRIL 2020 : Guide on Separate Collection of Municipal Waste in Greece )

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία : Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών αλλαγών και Κυκλική οικονομία ( Αποστολία Κρεμαλή )

Εθνική Σχολή Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης Τελική Εργασία : Η εφαρμογή της Κυκλικής Οικονομίας στη διαμόρφωση Τοπικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΤοΣΔΑ). Η περίπτωση του Δήμου Περάματος. ( Ελένη Ασπρουλάκη )

ΕΔΣΝΑ (Ειδικός Διαβαθμιδικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής) - Χωματερή Άνω Λιοσίων : Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης

ΔΕΔΙΣΑ (Διαδημοτική Επιχείρηση Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων)

EPA ( WARM Excel User's Guide – Version 15 )

Rynk et al. 1992 : On-Farm Composting Handbook

Haug, R.T. (1993) The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton.