



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Π.Μ.Σ. «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

**Οικονομοτεχνική Θεώρηση των Διεργασιών
Κομποστοποίησης**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καπελέρη Αναστασία

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρεόπουλος Ανδρέας

Αθήνα, 2023

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Οικονομοτεχνική Θεώρηση των
Διεργασιών Κομποστοποίησης

Επιβλέπων καθηγητής: ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Η Τριμελής Επιτροπή

ΒΑΡΕΛΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΝΔΡΕΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΣΙΝΙΟΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αναστασία Καπελέρη του Ανδρέα, με αριθμό μητρώου 189 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Αναστασία Καπελέρη



Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος» του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και πραγματεύεται τη μελέτη των διεργασιών της κομποστοποίησης. Γίνεται ανάλυση των τεχνικών κομποστοποίησης και αναφορά σε ελληνικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον τομέα επεξεργασίας βιοαποβλήτων καθώς και στα οικονομικά τους στοιχεία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ανδρέα Ανδρεόπουλο για την ανάθεση, την επίβλεψη και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων με τη μέθοδο της κομποστοποίησης. Η χώρα μας, εναρμονιζόμενη με τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θέτει ως στόχο την μείωση της παραγωγής αποβλήτων και την αύξηση της ανακύκλωσης υλικών δίνοντας έμφαση στην επεξεργασία οργανικών αποβλήτων με σκοπό την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ.

Στα πρώτα κεφάλαια γίνεται ανάλυση των Βιοαποβλήτων και των μεθόδων διαχείρισης και επεξεργασίας τους. Παρουσιάζεται η διεργασία της κομποστοποίησης και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του κομπόστ καθώς και τα οφέλη που προσφέρει το τελικό προϊόν. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο Εθνικό θεσμικό πλαίσιο που αφορά στην διαχείριση των αποβλήτων.

Σε επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι διαχείρισης των απορριμμάτων και γίνεται μια συγκριτική ανάλυση σε σχέση με την κομποστοποίηση. Επίσης, αναλύονται οι διάφορες επιπτώσεις που μπορούν να προκύψουν από την λειτουργία μιας μονάδας κομποστοποίησης και τα προβλήματα που δύναται να δημιουργήσουν στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Στα τελευταία κεφάλαια παρουσιάζονται κάποιες εταιρείες που λειτουργούν στην Ελλάδα και επεξεργάζονται οργανικά απόβλητα στις μονάδες τους καθώς και μια σύντομη αναφορά στα οικονομικά στοιχεία τους.

Abstract

The objective of this diploma thesis is the study of the processing of bio-waste with the method of Composting. Our country, following the legislation of the European Union, aims to reduce the production of waste and to increase the recycling especially with the processing of organic waste in order to produce high quality compost.

In the first chapters, there is a review of the bio-waste and all the methods of their handling and processing. The process of the Composting and the techniques which are used to produce the compost are analyzed as well as the benefits of the final product. Afterwards, there is a reference of the laws in our country regarding the management of waste.

Later, the different ways of handling the waste are being reviewed in comparison to the Composting. Furthermore, there is an analysis of the impacts that can appear from a composting facility and a possible harm to the people and the environment.

In the last chapters, there is a review of some companies which operate in Greece and process organic waste in their facilities and also there's a short reference to their economic data.

Πίνακας περιεχομένων	
Πρόλογος	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Κατάλογος Εικόνων.....	8
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	8
Συντομογραφίες και Ακρωνύμια	9
Εισαγωγή	10
1. Στερεά Απόβλητα.....	11
1.1 Γενικά.....	11
1.2 Κατηγορίες Στερεών Αποβλήτων	12
1.3 Αστικά Στερεά Απόβλητα.....	14
2. Βιοαπόβλητα.....	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.2 Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Βιοαποβλήτων	23
2.3 Μέθοδοι Διαχείρισης Βιοαποβλήτων	24
2.3.1 Εισαγωγή.....	24
2.3.2. Πρόληψη παραγωγής Βιοαποβλήτων	25
2.3.3. Συλλογή με Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ).....	27
2.4 Μέθοδοι Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων.....	36
3. Κομποστοποίηση.....	44
3.1 Εισαγωγή	44
3.2 Βιοαπόβλητα ως υπόστρωμα για την Κομποστοποίηση.....	45
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την Κομποστοποίηση	47
3.4 Φάσεις, τεχνικές και συστήματα Κομποστοποίησης	50
3.4.1 Φάσεις κομποστοποίησης.....	50
3.4.2 Η μικροβιολογία της κομποστοποίησης	52
3.4.3 Συστήματα Κομποστοποίησης	53
3.5 Τελικό προϊόν	55
3.5.1 Το κομπόστ ως τελικό προϊόν.....	55
3.5.2 Χρήσεις και Εφαρμογές Κομπόστ	56
3.5.3 Προτεινόμενα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Κομπόστ.....	57
4. Εθνικό Θεσμικό πλαίσιο Διαχείρισης Βιοαποβλήτων.....	59
5. Συγκριτική ανάλυση Διαχείρισης Απορριμμάτων με Κομποστοποίηση σε σχέση με την Αναερόβια Επεξεργασία, Θερμική Επεξεργασία και Υγειονομική Ταφή	62

5.1	Αερόβια Επεξεργασία ή Κομποστοποίηση.....	62
5.2	Αναερόβια χώνευση	64
5.3	Θερμική Επεξεργασία	66
5.4	Υγειονομική Ταφή	68
6.	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις Μονάδων Κομποστοποίησης.....	72
6.1	Εισαγωγή	72
6.2	Οσμές	72
6.3	Βιοαερολύματα και Παθογόνοι Οργανισμοί	73
6.4	Σκόνη	74
6.5	Υγρά Απόβλητα.....	74
6.6.	Θόρυβος.....	75
6.6	Άλλες αέριες εκπομπές	75
7.	Μονάδες Επεξεργασίας Απορριμμάτων στην Ελλάδα.....	76
7.1	Εισαγωγή	76
7.2	Μονάδες Επεξεργασίας Βιολογικών Απορριμμάτων στην Ελλάδα και τα οικονομικά τους στοιχεία.....	78
8.	Συμπεράσματα	86
	Βιβλιογραφικές Αναφορές:	89
	Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:.....	89
	Ελληνική Βιβλιογραφία:	93
	Νομοθεσία.....	94

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Κατανομή των ΑΣΑ, ΒΑΑ και ΒΑ σε μορφή συνόλου

Εικόνα 2: Η σύνθεση των αστικών βιοαποβλήτων για 32 ευρωπαϊκές χώρες

Εικόνα 3: Διαχείριση ΑΣΑ σε ποσοστά για τις χώρες της ΕΕ για το έτος 2011

Εικόνα 4: Ιεράρχηση της διαχείρισης των τροφικών αποβλήτων

Εικόνα 5: Μεταβολή παραμέτρων κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης

Εικόνα 6: Ανοικτό Σύστημα Κομποστοποίησης (πηγή: Εταιρεία WATT ΑΕ)

Εικόνα 7: Κλειστό Σύστημα Κομποστοποίησης (πηγή: Εταιρεία ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ)

Εικόνα 8: Οικονομικά στοιχεία ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες των ΒΑ και τα συστατικά τους ανά είδος

Πίνακας 2: Συστήματα κομποστοποίησης

Πίνακας 3: Ενδεικτικές τιμές βαρέων μετάλλων του κομπόστ

Πίνακας 4: Στόχοι απόδοσης Μονάδας Επεξεργασίας Αποβλήτων ΔΙΑΔΥΜΑ ΑΕ

Πίνακας 5: Οικονομικά στοιχεία ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Εκτίμηση της μέσης ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ στην Ελλάδα

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

ΑΕΠ: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

ΑΣΑ: Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΒΑ: Βιολογικά Απόβλητα

ΒΑΑ: Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα

ΔσΠ: Διαλογή στην Πηγή

ΕΚΑ: Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

ΕΜΑΚ: Εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης

ΕΟΧ: Ευρωπαϊκός Οικονομικός Χώρος

ΕΣΔΑ: Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

ΚΔΑΥ: Κέντρα Διαλογής και Ανάκτησης Υλικών

ΚΕΟΔ: Κεντρική Εγκατάσταση Ολοκληρωμένης Διαχείρισης

ΜΕΑ: Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων

ΜΕΒΑ: Μονάδα Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων

ΣΔΙΤ: Σύμβαση Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα

ΣΣΕΔ: Συλλογικό Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης

ΦοΔΣΑ: Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΧΥΤΑ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΧΥΤΥ: Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

Εισαγωγή

Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) της περιόδου 2020-2030, στην Ελλάδα παράγονται ετησίως 5.523 εκ. τόνοι Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ) εκ των οποίων το 44,3% αποτελείται από βιοαπόβλητα. Κατ' εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας, οι χώρες θα πρέπει να προχωρήσουν σε λήψη μέτρων ώστε να μειωθεί η παραγωγή απορριμμάτων αλλά και να προωθηθεί η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση υλικών. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα απόβλητα που αποτελούνται κυρίως από οργανικά και στα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν μέσω της επεξεργασίας τους όπως είναι το κομπόστ.

Η χώρα μας εναρμονιζόμενη με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία, εφαρμόζει πολιτική για τα βιοαπόβλητα που στοχεύει στην διεύρυνση του συστήματος χωριστής συλλογής και στην δημιουργία εγκαταστάσεων κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης. Έτσι, είναι σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός των βιοαποβλήτων στην πηγή και να ανακυκλώνονται ώστε να λαμβάνουμε καθαρά επιμέρους υλικά προς κομποστοποίηση.

Συνεπώς, για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου είναι αναγκαία η ενίσχυση του δικτύου Διαλογής στην Πηγή (ΔσΠ) και η δημιουργία σύγχρονων εγκαταστάσεων επεξεργασίας βιοαποβλήτων. Στην χώρα μας για την επεξεργασία αποβλήτων πριν την υγειονομική ταφή, λειτουργούν από το 2017 η Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) Κοζάνης (στη Δυτ. Μακεδονία), η ΜΕΑ Ηπείρου και η ΜΕΑ Σερρών οι οποίες επεξεργάζονται και βιοαπόβλητα, ενώ ήταν ήδη σε λειτουργία το ΕΜΑΚ Λιοσίων, η Μονάδα Προεπεξεργασίας αποβλήτων Ηρακλείου, το ΕΜΑΚ Χανίων και η Μονάδα Προεπεξεργασίας αποβλήτων Κεφαλλονιάς.

Σταδιακά, κυρίως μέσω των συμβάσεων σύμπραξης Δημόσιου και Ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ) όλο και περισσότερα έργα διαχείρισης προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων προγραμματίζονται και υλοποιούνται στις διάφορες Περιφέρειες της Ελλάδας ενώ παράλληλα εντείνεται και η προώθηση της δημοτικής κομποστοποίησης.

1. Στερεά Απόβλητα

1.1 Γενικά

Σε γενικές γραμμές, ο ορισμός των στερεών αποβλήτων είναι διφορούμενος, λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας των τύπων και των πηγών τους. Αυτό οδηγεί σε διαφωνίες σχετικά με τις εκτιμώμενες ποσότητες και τη σύνθεση.

Τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν όλα τα στερεά ή ημιστερεά υλικά που προκύπτουν από ανθρώπινες και ζωικές δραστηριότητες και τα οποία δεν θεωρούνται πλέον αρκετά αξιόλογα για να διατηρηθούν σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Ως άχρηστα ή ανεπιθύμητα, απορρίπτονται ως ετερογενής μάζα.

Τα στερεά απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την προέλευση, τη σύνθεση, τις φυσικές πτυχές, τις χημικές ή επικίνδυνες ιδιότητες και τη μέθοδο διάθεσής τους. Οι ταξινομήσεις σπάνια είναι ολοκληρωμένες ή απόλυτα συγκρίσιμες, επειδή τα απόβλητα μπορούν να αντιμετωπιστούν από διάφορες οπτικές γωνίες, καθεμία από τις οποίες απαιτεί διαφορετικούς τύπους πληροφοριών. Επιπλέον, λόγω της φύσης τους, τα στερεά απόβλητα είναι σπάνια σταθερά και προβλέψιμα ως προς τη μορφή, το μέγεθος ή τη σύνθεση και ο ακριβής προσδιορισμός των ιδιοτήτων τους θεωρείται κουραστικός, δαπανηρός και περιορισμένης χρησιμότητας (Alege et al., 2020).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ) τα στερεά απόβλητα χωρίζονται στα επικίνδυνα απόβλητα και τα μη επικίνδυνα στερεά. Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) αποτελούν σημαντικό μέρος των Στερεών Αποβλήτων και περιλαμβάνουν τα απόβλητα από νοικοκυριά και τα απόβλητα που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά και παράγονται από βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες.

1.2 Κατηγορίες Στερεών Αποβλήτων

Τύποι ανά σύνθεση

Ο όρος «στερεά απόβλητα» είναι περιεκτικός και περιλαμβάνει όλες τις πηγές, τους τύπους ταξινόμησης, τις συνθέσεις και τις ιδιότητες. Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται ενδεικτικά οι τύποι στερεών αποβλήτων ανά σύνθεση και προέλευση (Clark, 2019):

- Απόβλητα τροφίμων: Τα απόβλητα τροφίμων είναι τα ζωικά, οπωροκηπευτικά ή φυτικά υπολείμματα (αποκαλούμενα επίσης «σκουπίδια») που προκύπτουν από το χειρισμό, την προετοιμασία, το μαγείρεμα και την κατανάλωση τροφίμων. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του είδους των αποβλήτων είναι ότι είναι σάπια και αποσυντίθενται γρήγορα, ιδίως σε θερμό καιρό.

- Απορρίμματα: Τα απορρίμματα αποτελούνται από καύσιμα και μη καύσιμα στερεά απόβλητα, εξαιρουμένων των τροφικών αποβλήτων ή άλλων σάπιων υλικών. Συνήθως, τα καύσιμα συστατικά αποτελούνται από υλικά όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, υφάσματα, καουτσούκ, δέρμα, ξύλο, έπιπλα και κλαδέματα κήπου. Τα απορρίμματα αποτελούνται από αντικείμενα όπως γυαλί, πιατικά, κονσέρβες αλουμινίου, σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, χώμα και απόβλητα κατασκευών.

- Τέφρα και υπολείμματα: Πρόκειται για τα υλικά που απομένουν από την καύση ξύλου, άνθρακα, κοκ και άλλων καύσιμων αποβλήτων. Τα υπολείμματα από σταθμούς παραγωγής ενέργειας αποτελούνται συνήθως από λεπτά, κονιορτοποιημένα υλικά, τέφρα, κροκάλες και μικρές ποσότητες καμένων και μερικώς καμένων υλικών.

- Απόβλητα κατεδαφίσεων και κατασκευών: Απόβλητα από κατεδαφισμένα κτίρια και άλλα ταξινομούνται ως απόβλητα κατεδάφισης. Τα απόβλητα από την κατασκευή, αναδιαμόρφωση και επισκευή εμπορικών και βιομηχανικών κτιρίων και άλλων παρόμοιων κατασκευών ταξινομούνται ως απόβλητα κατασκευών. Αυτό το είδος μπορεί να περιλαμβάνει χώμα, πέτρες, σκυρόδεμα, τούβλα, γύψο, ξυλεία, βότσαλα και εξαρτήματα υδραυλικών εγκαταστάσεων, θέρμανσης και ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

- Απόβλητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων: Η ταξινόμηση αυτή περιλαμβάνει τα στερεά και ημιστερεά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων.
- Γεωργικά απόβλητα: Τα απόβλητα και τα υπολείμματα που προκύπτουν από διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, όπως η φύτευση και η συγκομιδή, η παραγωγή γάλακτος, η παραγωγή ζώων για σφαγή και η λειτουργία κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, ονομάζονται συλλογικά γεωργικά απόβλητα.
- Ειδικά απόβλητα: Απόβλητα όπως οδοκαθαριστικά, απορρίμματα στην άκρη του δρόμου, υπολείμματα λεκανών απορροής, νεκρά ζώα και εγκαταλελειμμένα οχήματα ταξινομούνται ως ειδικά απόβλητα.

Τύποι ανά προέλευση

Ανάλογα με την προέλευσή τους, τα στερεά απόβλητα μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες ομάδες (Intharathirat & Abdul Salam, 2020):

- Οικιακά απόβλητα: παράγονται από οικιακές δραστηριότητες, όπως η προετοιμασία φαγητού, ο καθαρισμός, η καύση καυσίμων, τα παλιά ρούχα και έπιπλα, τα παρωχημένα σκεύη και ο εξοπλισμός, οι συσκευασίες, το χαρτί εφημερίδων και τα απόβλητα κήπων.
- Εμπορικά απόβλητα: προέρχονται από καταστήματα, γραφεία, εστιατόρια, ξενοδοχεία και παρόμοιες εγκαταστάσεις. Συνήθως αποτελούνται από υλικά συσκευασίας, είδη γραφείου και απόβλητα τροφίμων και γενικά, προσομοιάζουν με οικιακά απόβλητα.
- Ιδρυματικά απόβλητα: προέρχονται από σχολεία, νοσοκομεία, κλινικές, κυβερνητικά γραφεία, στρατιωτικές βάσεις, κ.λπ. Αυτός ο τύπος είναι παρόμοιος με τα προαναφερθέντα, αλλά περιλαμβάνει περισσότερες συσκευασίες από τα απόβλητα τροφίμων. Τα απόβλητα υγειονομικών μονάδων περιλαμβάνουν δυνητικά μολυσματικά και επικίνδυνα υλικά, τα οποία πρέπει να διαχωρίζονται από τα μη επικίνδυνα συστατικά, προκειμένου να αντιμετωπίζονται ξεχωριστά για να μειώνονται οι κίνδυνοι για την υγεία.

- Βιομηχανικά απόβλητα: Η σύνθεσή τους εξαρτάται από το είδος της βιομηχανίας που δραστηριοποιείται. Εκτός από υλικά παρόμοια με τα οικιακά και εμπορικά, περιέχουν χημικές ουσίες και μπορεί να περιλαμβάνουν επικίνδυνα υλικά.
- Οδοκαθαριστικά απόβλητα: τα οποία αποτελούνται κυρίως από σκόνη και χώμα. Άλλα είδη υλικών μπορεί να είναι χαρτί, μέταλλα και διάφορα άλλα απορρίμματα από τους δρόμους.
- Απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.
- Γεωργικά απόβλητα.

1.3 Αστικά Στερεά Απόβλητα

Τα Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) (Municipal Solid Wastes - ΑΣΑ) ορίζονται ως το μείγμα των οικιακών, εμπορικών και/ή ιδρυματικών απορριμμάτων. Ο τύπος αυτός περιλαμβάνει υλικά, όπως χαρτί, ξύλο, απορρίμματα κήπων, κλαδέματα δέντρων, πλαστικά, δέρμα, καουτσούκ, γυαλί, μέταλλα και άλλα καύσιμα και μη καύσιμα υλικά. Το καύσιμο που προέρχεται από απορρίμματα (Refuse Derived Fuel - RDF) θεωρείται ως ένας τύπος στερεών αποβλήτων που τεμαχίζεται και σε ορισμένες περιπτώσεις πελλετοποιείται. Στα ΑΣΑ δεν περιλαμβάνονται τα απορρίμματα βιομηχανικών διεργασιών, τα απορρίμματα παραγωγής ούτε τα αποκλειστικά διαχωρισμένα ιατρικά απόβλητα. Εξαιρούνται επίσης η ιλύς και τα υπολείμματα αποτέφρωσης (Chen et al., 2021).

Τα ΑΣΑ περιέχουν επίσης μια μικρή ποσότητα επικίνδυνων αποβλήτων (απορρυπαντικά, μπαταρίες, φάρμακα, κ.λπ.), τα οποία είναι δύσκολο (μερικές φορές αδύνατο) να διαχωριστούν. Αν και μικρές, οι ποσότητες αυτές επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και ασφάλεια της επεξεργασίας τους.

Τα ΑΣΑ συλλέγονται και διαχειρίζονται από δήμους ή ιδιωτικές εταιρείες. Προκειμένου να υπάρξει ένα σχέδιο για την αποτελεσματική διαχείριση των ΑΣΑ, είναι σημαντικό να αποκτηθούν δεδομένα σχετικά με τις ποσότητες και τους ρυθμούς παραγωγής ΑΣΑ, τη διακύμανσή τους στο χρόνο και στο χώρο,

τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητές τους και το σχετικό κόστος συλλογής και διάθεσής τους (Chen et al., 2021).

Κατηγορίες Αστικών Στερεών Αποβλήτων

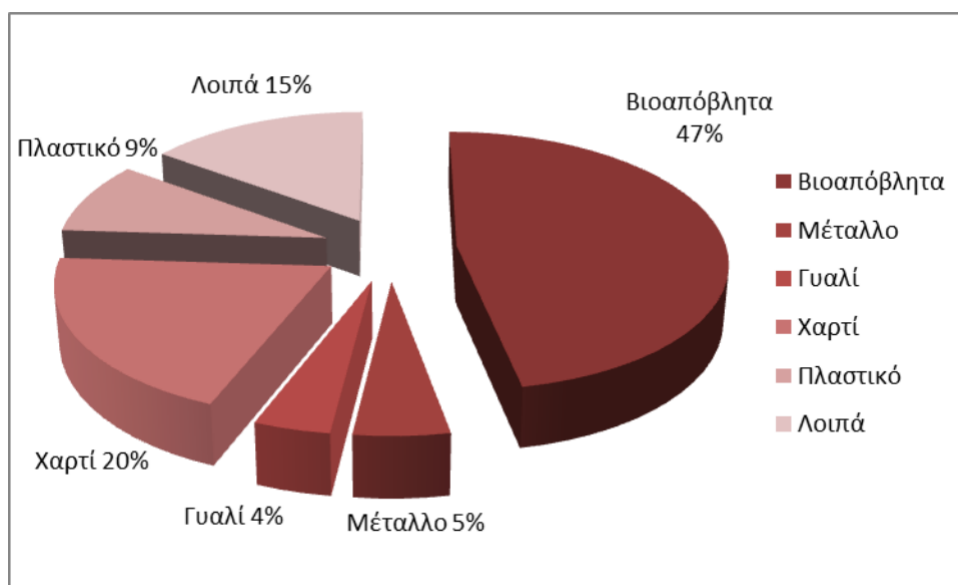
Η σύσταση των αστικών στερεών αποβλήτων που παράγονται είναι δύσκολο να εκτιμηθεί λόγω των διαφορών από τόπο σε τόπο και χρόνο αλλά με μια απλή διάκριση χωρίζονται σε:

- **Οργανικό κλάσμα:** σε αυτή την κατηγορία τα απορρίμματα αποτελούνται από οργανικά υλικά και αποδομούνται από μικροοργανισμούς σε μικρό χρονικό διάστημα. Περιλαμβάνουν υπολείμματα τροφών, χαρτί, υφάσματα και δέρμα, υπολείμματα κήπων και πάρκων (green waste) και τα συστατικά που επικρατούν είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο και το υδρογόνο.
- **Ανόργανο κλάσμα:** σε αυτή την κατηγορία τα απορρίμματα αποτελούνται από υλικά που η διαδικασία αποδόμησής τους χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα ή μπορεί να είναι και αδύνατη.

Πιο συγκεκριμένα τα αστικά στερεά απόβλητα διαχωρίζονται σε:

- **Βιοαπόβλητα:** περιλαμβάνουν τα υπολείμματα τροφών, τα πράσινα απορρίμματα (κλαδέματα του κήπου κτλ.). Η συγκεκριμένη κατηγορία συνίσταται για κομποστοποίηση ή αναερόβια αποσύνθεση λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε οργανικά υλικά και υγρασία.
- **Χαρτί:** περιλαμβάνονται τα απορρίμματα από συσκευασίες και έντυπο υλικό
- **Μέταλλα:** Διαχωρίζονται σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα.
- **Γυαλί:** περιλαμβάνονται τα γυάλινα δοχεία, φιάλες κτλ.
- **Πλαστικό:** η συγκεκριμένη κατηγορία διακρίνεται από έντονη ανομοιογένεια και περιλαμβάνει το σύνολο πολυμερών απορριμμάτων.
- **Λοιπά:** περιλαμβάνουν τα απόβλητα που δεν μπορούν να καταταχθούν στις παραπάνω κατηγορίες.

Στα ελληνικά αστικά απορρίμματα συναντούμε σε μεγαλύτερο ποσοστό τα βιοαπόβλητα.



Διάγραμμα 1: Εκτίμηση της μέσης ποιοτικής σύστασης των ΑΣΑ στην Ελλάδα (πηγή: ΕΣΔΑ)

Ποσοτικά χαρακτηριστικά

Τα δεδομένα σχετικά με την παραγωγή ΑΣΑ σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή λαμβάνονται άμεσα από διαδοχικές μετρήσεις ή έμμεσα από αρχεία με σχετικά δεδομένα.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν πληροφορίες για μια συγκεκριμένη περιοχή ή χρονική περίοδο, χρησιμοποιείται το ισοζύγιο υλικών ως μέθοδος για να γίνει μια χονδροειδής εκτίμηση της ποσότητας των παραγόμενων ΑΣΑ. Για να γίνει πρόβλεψη της πιθανής ποσότητας ΑΣΑ που θα παραχθεί στο μέλλον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος τύπος:

$$MSWamount = \sum_i^n w_i \cdot P_i$$

Όπου:

- w_i : η μέση ποσότητα ΑΣΑ που παράγεται ανά κάτοικο το έτος i ,
- n : ο αριθμός των ετών, για τα οποία θέλουμε να κάνουμε την εκτίμηση,
- P_i : ο πληθυσμός κατά το έτος i , ο οποίος μπορεί να ληφθεί από στοιχεία απογραφής.

Οι ποσότητες παραγωγής ΑΣΑ εκφράζονται σε μονάδες μάζας ανά κάτοικο ανά ημέρα, προκειμένου να διευκολύνεται η σύγκριση των τιμών για διάφορες χώρες, πληθυσμούς και χρονικές περιόδους.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Οι πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των ΑΣΑ είναι σημαντικές για την αξιολόγηση εναλλακτικών απαιτήσεων εξοπλισμού, συστημάτων και σχεδίων διαχείρισης.

Ειδικότερα, οι φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των επιμέρους συστατικών των ΑΣΑ, την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε υγρασία και είναι απαραίτητες για τον καθορισμό του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί (Shukor et al., 2018).

Οι πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύνθεση είναι σημαντικές για την αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών επεξεργασίας και ανάκτησης. Εάν τα απόβλητα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, οι τέσσερις πιο σημαντικές ιδιότητες που πρέπει να είναι γνωστές είναι:

- Προσεγγιστική ανάλυση, συμπεριλαμβανομένων της υγρασίας, της πτητικής ύλης, της τέφρας και του σταθερού άνθρακα (C, υπόλοιπο),
- Σημείο τήξης της τέφρας,
- Τελική ανάλυση, ποσοστό άνθρακα (C), υδρογόνου (H), οξυγόνου (O), αζώτου (N), θείου (S) και τέφρας,

- Θερμαντική αξία (σε kJ ανά kg),
- Συγκέντρωση χλωρίου.

Τέλος, οι βιολογικές ιδιότητες, οι οποίες σχετίζονται με τα βακτήρια και την οσμή, έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα των εναλλακτικών διεργασιών που θα χρησιμοποιηθούν (Shukor et al., 2018).

Σημαντικοί παράγοντες

Η σύνθεση και οι ρυθμοί παραγωγής των ΑΣΑ ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με πολυάριθμους παράγοντες. Η κοινωνικοοικονομική κατάσταση της περιοχής συλλογής των απορριμμάτων παίζει καθοριστικό ρόλο. Τα ΑΣΑ που συλλέγονται σε εύπορες περιοχές είναι συνήθως λιγότερο πυκνά, καθώς περιέχουν περισσότερες συσκευασίες και άλλα ελαφρύτερα υλικά και λιγότερη τέφρα και απόβλητα τροφίμων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται ή καταναλώνονται περισσότερα ανθρωπογενή προϊόντα και μεγάλο μέρος της επεξεργασίας τροφίμων πραγματοποιείται στον εμπορικό/βιομηχανικό τομέα. Επιπλέον, οι περιοχές με υψηλό εισόδημα παράγουν περισσότερα απόβλητα από ό,τι οι περιοχές με χαμηλό ή μεσαίο εισόδημα. Σε εθνική κλίμακα, το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο των διαφόρων χωρών αντικατοπτρίζεται από το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) τους, αν και δεν παρέχει πάντα ακριβή αποτελέσματα (Clark, 2019).

Ομοίως, η πυκνότητα του πληθυσμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Τα υψηλότερα ποσοστά παραγωγής αποβλήτων ανά περιοχή παρατηρούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Τα τελευταία χρόνια, οι τιμές της παραγωγής ΑΣΑ καταδεικνύουν αύξηση, ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού και του ΑΕΠ σε πολλές χώρες. Η παραγωγή ΑΣΑ σήμερα κυμαίνεται από λίγα κιλά στις αναπτυσσόμενες χώρες έως 3,64 κιλά ανά κάτοικο την ημέρα στις αναπτυγμένες χώρες (Clark, 2019).

Επιπλέον, παρουσιάζονται δυσκολίες στην παρακολούθηση των ποσοτήτων και της σύνθεσης των ΑΣΑ λόγω της αλλαγής των εποχών. Η παρατηρούμενη

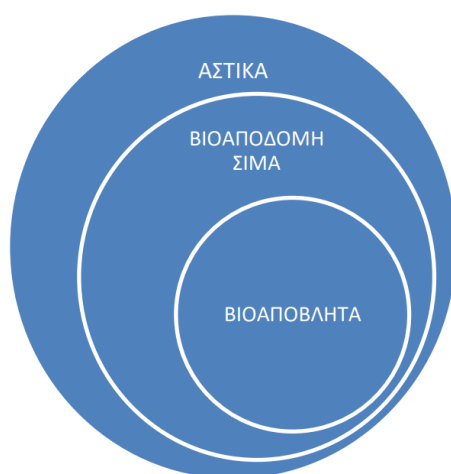
ποικιλία στην ποσότητα και την ποιότητα των ΑΣΑ οφείλεται σε παράγοντες, όπως ο τουρισμός και η διαθεσιμότητα διαφορετικών εποχιακών προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για παράδειγμα, οι ετήσιες διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα σε υγρασία εξαρτώνται από τις εποχές συγκομιδής των λαχανικών και των φρούτων και τις κλιματικές συνθήκες κάθε περιοχής. Σύμφωνα με πολυάριθμες μελέτες, σε περιόδους υψηλής θερμοκρασίας τα απόβλητα τείνουν να έχουν υψηλότερη υγρασία (Clark, 2019).

2. Βιοαπόβλητα

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Οδηγία περί Υγειονομικής Ταφής 1999/31/ΕΕ τα Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα (ΒΑΑ) συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων και ορίζονται ως κάθε απόβλητο που μπορεί να γίνει η αποσύνθεσή του με τη δράση μικροοργανισμών μέσω της διαδικασίας της αερόβιας ή αναερόβιας χώνευσης. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα απόβλητα τροφών και κήπου, τα χαρτόνια και το ξύλο.

Η Οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ ορίζει ότι τα βιοαπόβλητα ή βιολογικά απόβλητα (ΒΑ) συνιστούν υποσύνολο των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και περιλαμβάνουν τα απόβλητα τροφών από οικίες και μαγειρεία, εστιατόρια και εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων και τα απόβλητα πάρκων και κήπων.



Εικόνα 1: Κατανομή των ΑΣΑ, ΒΑΑ και ΒΑ σε μορφή συνόλου (πηγή: ΕΠΠΕΡΑΑ)

Στην κατηγορία των ΒΑ δεν περιλαμβάνονται τα δασικά υπολείμματα και τα υπολείμματα που προκύπτουν από τις γεωργικές δραστηριότητες, η κοπριά, η ιλύς επεξεργασίας λυμάτων, το χαρτί και το κατεργασμένο ξύλο. Επίσης, στα ΒΑ δεν ανήκουν τα παραπροϊόντα του τομέα παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα.

Η αναθεωρημένη οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα εισήγαγε μια νέα απαίτηση για το διαχωρισμό των βιοαποβλήτων. Έως τις 31 Δεκεμβρίου 2023, τα βιοαπόβλητα πρέπει είτε να διαχωρίζονται και να ανακυκλώνονται στην πηγή είτε να συλλέγονται χωριστά και να μην αναμειγνύονται με άλλους τύπους αποβλήτων. Αυτό αποσκοπεί στην αύξηση της ποιότητας και της απορρόφησης δευτερογενών πρώτων υλών. Επιπλέον, από το 2027, το κομπόστ που προέρχεται από σύμμεικτα αστικά απόβλητα δεν θα υπολογίζεται πλέον για την επίτευξη της συμμόρφωσης με τους στόχους ανακύκλωσης για τα αστικά απόβλητα έως το 2027.

Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η σύνθεση των αστικών βιοαποβλήτων για 32 ευρωπαϊκές χώρες (Cordella, Alfieri, Sanfelix, Donatello, Kaps & Wolf, 2020).

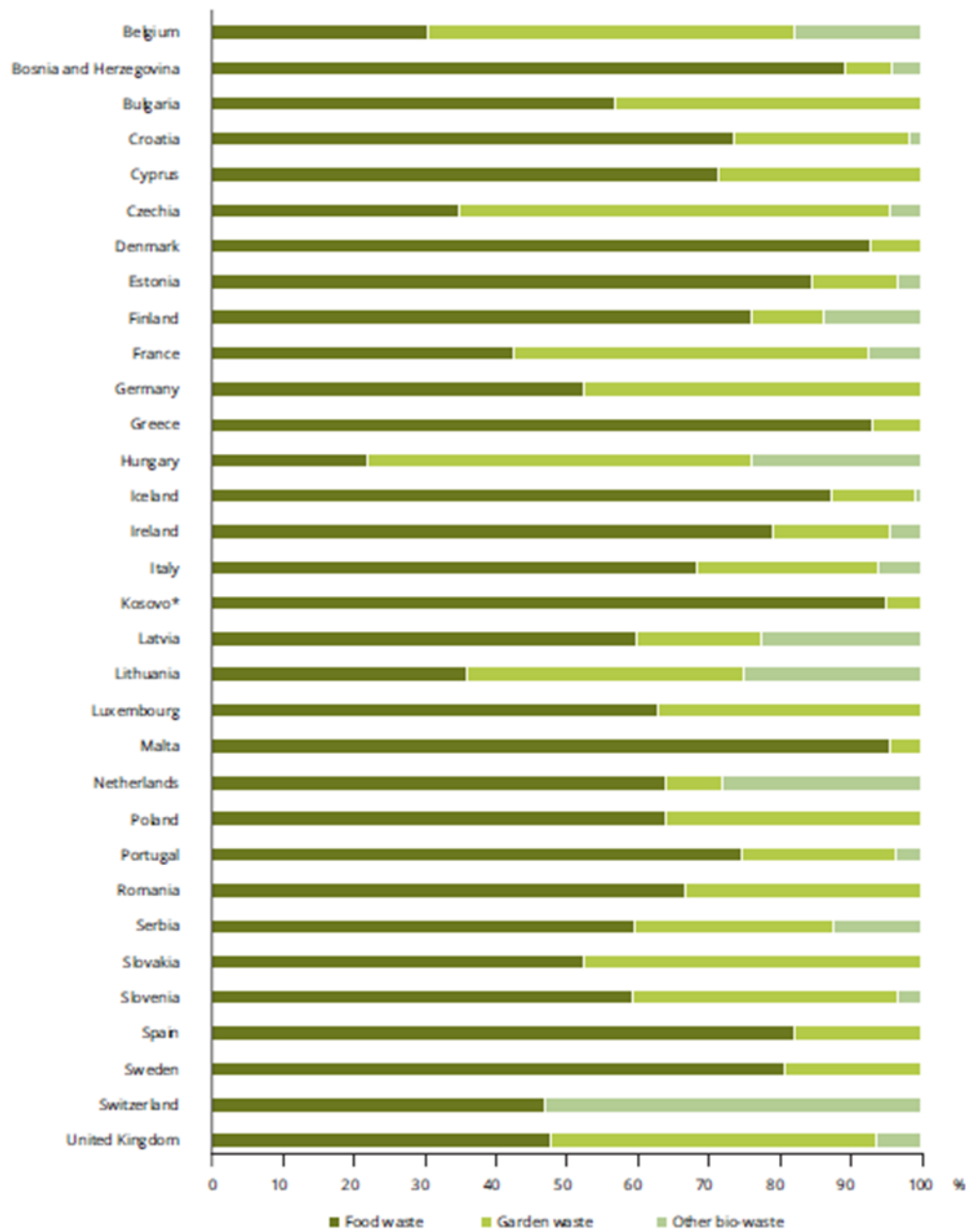
Παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στη σύνθεση των βιοαποβλήτων των χωρών και οι λόγοι που τις προκαλούν είναι συχνά δύσκολο να εξηγηθούν λόγω των πολλαπλών παραγόντων που τις επηρεάζουν. Πρώτον, το σύστημα συλλογής βιοαποβλήτων είναι πιθανό να έχει σημαντικό αντίκτυπο: όταν τα απόβλητα κήπου συλλέγονται χωριστά, το μερίδιο των αποβλήτων κήπου τείνει να είναι υψηλότερο. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, στην Τσεχία, η οποία έχει το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο αποβλήτων κήπου στα βιοαπόβλητά της (Edjabou, Boldrin & Astrup, 2018).

Επιπλέον, τα βιοαπόβλητα που κομποστοποιούνται στο σπίτι δεν περιλαμβάνονται σε αυτά τα δεδομένα. Εκτός από τη στρατηγική συλλογής και διαχείρισης των αποβλήτων, εξωτερικοί παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη σύνθεση των βιοαποβλήτων. Παραδείγματα τέτοιων παραγόντων είναι η εποχικότητα (με εποχιακά ρεύματα αποβλήτων κήπου), το κλίμα, το επίπεδο αστικοποίησης, η γεωγραφική περιοχή, οι τοπικές παραδόσεις και οι οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές πτυχές (Di Maria, Sisani & Contini, 2018).

Ορισμένες από τις διαφορές οφείλονται, ωστόσο, σε διαφορετικούς τρόπους συλλογής δεδομένων. Η σύνθεση των βιοαποβλήτων, και η σύνθεση των αποβλήτων εν γένει, δεν αποτελεί μια ροή δεδομένων που αναφέρεται τακτικά, και τα δεδομένα ορισμένων χωρών περιλαμβάνουν μικτά απόβλητα τροφίμων και κήπων που κατηγοριοποιούνται ως «άλλα βιοαπόβλητα». Οι διαφορές στον

τρόπο με τον οποίο οι χώρες συμπεριλαμβάνουν τα απόβλητα από πάρκα στην αναφορά των αστικών αποβλήτων επηρεάζουν επίσης τα δεδομένα.

Συνεπώς, η ανάλυση παρέχει μια κατά προσέγγιση εικόνα της συνάφειας των διαφόρων ροών αποβλήτων (Di Maria, Sisani & Contini, 2018).



Εικόνα 2: η σύνθεση των αστικών βιοαποβλήτων για 32 ευρωπαϊκές χώρες (Πηγή: Cordella, Alfieri, Sanfelix, Donatello, Kaps & Wolf, 2020).

2.2 Κύρια φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των Βιοαποβλήτων

Προκειμένου να γίνεται η σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου διαχείρισης των βιοαποβλήτων είναι σημαντικό να αναλύουμε τα βιοαπόβλητα ως προς τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους.

Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των βιοαποβλήτων είναι (Chandrappa & Das, 2012):

- Η πυκνότητα ή ειδικό βάρος. Με την εύρεση της πυκνότητας μπορούμε να εκτιμήσουμε τη συνολική μάζα των βιοαποβλήτων και τον όγκο νερού που περιέχουν.
- Το μέγεθος των συστατικών τους.
- Η υγρασία. Παίζει σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης και την αναερόβιας χώνευσης διότι το υψηλό ποσοστό της στα βιοαπόβλητα μειώνει την θερμογόνο δύναμη.
- Η Βιοαποδομησιμότητα. Ορίζεται ως η ικανότητα των οργανικών υλικών που περιέχονται στα απορρίμματα να μετατρέπονται σε αέρια και σε αδρανή οργανικά και ανόργανα στερεά υλικά. Με βάση το βαθμό βιοαποδομησιμότητας διακρίνονται σε (Κώνστας, 2004):
 1. Υλικά που αποδομούνται εύκολα και περιλαμβάνουν τα σάκχαρα, το άμυλο, τις ημικυτταρίνες και μερικές πρωτεΐνες.
 2. Υλικά που χρειάζονται αρκετό χρόνο για να αποδομηθούν και περιλαμβάνουν την κυτταρίνη, τα λίπη και ορισμένες πρωτεΐνες.
 3. Υλικά ανθεκτικά στην αποσύνθεση όπως η λιγνίνη και η κερατίνη.

Οι παράμετροι που αφορούν τα χημικά χαρακτηριστικά των βιοαποβλήτων και είναι σημαντικό να υπολογίζονται και να λαμβάνονται υπόψιν είναι: (Chandrappa & Das, 2012):

- Κατηγοριοποίηση των χημικών ενώσεων από τις οποίες αποτελούνται τα βιοαπόβλητα
- Το βάρος των βιοαποβλήτων που μετατρέπεται σε αέρια μορφή κατά τη θέρμανσή τους στους 550° C.
- Η τέφρα και τα υπολείμματα από την καύση των βιοαποβλήτων

2.3 Μέθοδοι Διαχείρισης Βιοαποβλήτων

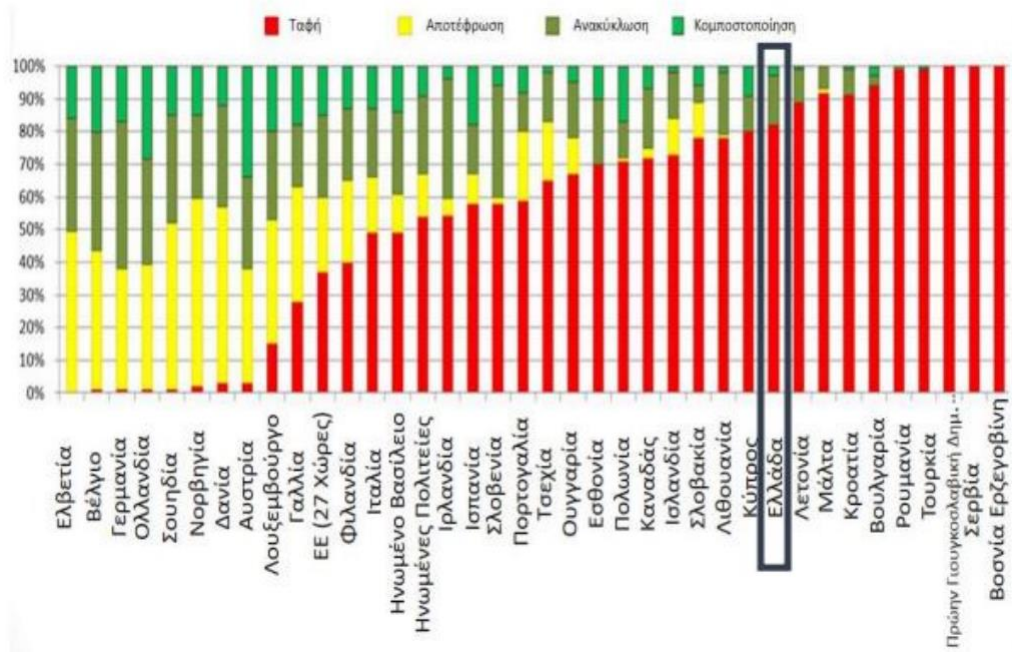
2.3.1 Εισαγωγή

Η βιώσιμη επεξεργασία των βιοαποβλήτων απαιτεί πρώτα απ' όλα το διαχωρισμό τους από τα υπόλοιπα απόβλητα στην πηγή. Κατ' αρχήν, ο πιο βιώσιμος τρόπος διαχείρισης των βιοαποβλήτων είναι η οικιακή κομποστοποίηση ή η κοινοτική κομποστοποίηση σε τοπικό επίπεδο, εφόσον γίνεται σωστά. Αυτό μπορεί να μειώσει την ανάγκη χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων και έτσι να μειώσει το κόστος μεταφοράς και διαχείρισης των αποβλήτων (Vázquez & Soto, 2017) και τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αραιοκατοικημένες περιοχές.

Οι πολίτες μπορούν να επωφεληθούν από ένα καλής ποιότητας λίπασμα και εδαφοβελτιωτικό (κομπόστ) για χρήση στους κήπους ή τα χωράφια τους με λαχανικά. Για παράδειγμα, το 48 % των ανθρώπων στη Σλοβενία αναφέρθηκε ότι διαθέτει συστήματα οικιακής κομποστοποίησης (Žitnik & Vidic, 2016).

Στην εικόνα 3 παρουσιάζεται ο τρόπος διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, οι βόρειες χώρες βρίσκονται αρκετά μπροστά σε σχέση με την Ελλάδα, εφαρμόζοντας στρατηγικές διαχείρισης που τους βοηθούν να καλύψουν τους θεσμικούς στόχους.

Δυστυχώς στην χώρα μας υφίσταται ακόμα σε μεγάλο βαθμό η υγειονομική ταφή των βιοαποβλήτων και γι' αυτό το λόγο η ανάπτυξη συστημάτων διαχείρισης για τα ΒΑ είναι αναγκαία. Έτσι ένας συνδυασμός επιλογών που περιλαμβάνουν την συλλογή με ΔσΠ, την αερόβια και αναερόβια χώνευση για την ανάκτηση προϊόντων και ενέργειας, την καύση και τελικά την διάθεση των υπολειμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής συνιστούν την κατάλληλη διαχείριση των βιοαποβλήτων.



Εικόνα 3: Διαχείριση ΑΣΑ σε ποσοστά για τις χώρες της ΕΕ για το έτος 2011 (Πηγή Eurostat).

2.3.2. Πρόληψη παραγωγής Βιοαποβλήτων

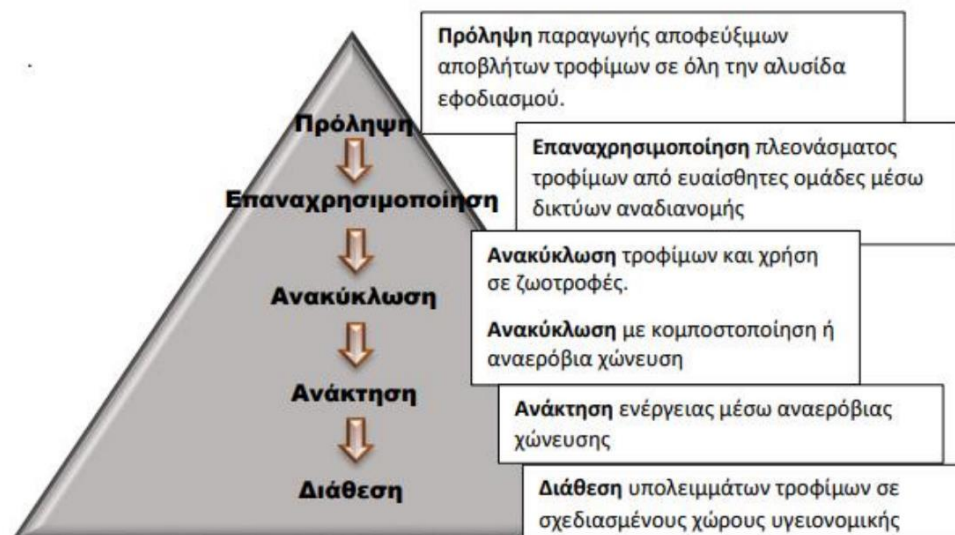
Η πρόληψη των βιοαποβλήτων εστιάζει στην αποφυγή των προϊόντων τροφίμων προτού αυτά γίνουν απόβλητα. Στόχος είναι η μείωση της ποσότητάς τους και της τελικής διάθεσής τους σε ΧΥΤΑ και κατά συνέπεια μείωση των επιπτώσεων που προκαλούν στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Προκειμένου να είναι αποτελεσματική η πρόληψη των αποβλήτων τροφίμων είναι σημαντικό να σχεδιαστούν ολοκληρωμένα προγράμματα στον τομέα της αλυσίδας τροφίμων. Στην Ελλάδα, για την επίτευξη αυτού του στόχου σχεδιάστηκε το 2014 το Εθνικό Στρατηγικό Σχέδιο Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων, το οποίο περιλαμβάνει τους στόχους για την πρόληψη των αποβλήτων ακολουθώντας τις γραμμές της Ευρωπαϊκής Νομοθεσίας. Οι πολιτικές πρόληψης εστιάζουν κυρίως στα απόβλητα τροφίμων που προέρχονται από τα νοικοκυριά και οι δράσεις που περιλαμβάνουν είναι:

- Εκστρατείες ενημέρωσης των πολιτών σε θέματα πρόληψης προκειμένου να διαχειρίζονται καλύτερα τα τρόφιμα που προμηθεύονται

- Εκστρατείες ευαισθητοποίησης των πολιτών προκειμένου να προμηθεύονται τα τρόφιμα που πραγματικά χρειάζονται και να αποφεύγονται οι σπατάλες τροφίμων
- Εκπαιδευτικά προγράμματα που αφορούν την συντήρηση των τροφίμων με σκοπό την επιμήκυνση της ζωής των προϊόντων
- Καλύτερη ενημέρωση και εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την προσφορά και τη ζήτηση προϊόντων
- Μείωση των φυσικών πόρων που χρησιμοποιούνται στη παραγωγή τροφίμων
- Αναδιανομή των τροφίμων με δωρεές σε ευπαθείς ομάδες (ηλικιωμένους, άστεγους κτλ.)

Συνεπώς, οι δράσεις πρέπει να εστιάζουν στην πρόληψη των τροφίμων κατά την αγορά και προτού καταστούν απόβλητα ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον με την ανεξέλεγκτη διάθεσή τους. Η ανακύκλωση αφορά τα προϊόντα αφού μετατραπούν σε απόβλητα και καλό είναι να ακολουθεί την πρόληψη. Με την ανακύκλωση γίνεται ο διαχωρισμός των υλικών στην πηγή με στόχο την επανεπεξεργασία τους και τη δημιουργία νέων προϊόντων.



Εικόνα 4: Ιεράρχηση της διαχείρισης των τροφικών αποβλήτων. (Πηγή: Papargyropoulou et al. 2014)

2.3.3. Συλλογή με Διαλογή στην Πηγή (ΔσΠ)

Ορισμός – Περιγραφή

Η Διαλογή στην Πηγή είναι η διαδικασία με την οποία γίνεται ο διαχωρισμός των αποβλήτων πριν αυτά αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα απορριμμάτων με σκοπό την ανάκτηση υλικών. Με αυτή τη διαδικασία μειώνεται η ποσότητα των αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής και τα επιμέρους υλικά που διαχωρίζονται μπορούν με την επεξεργασία τους να προσδώσουν ένα καθαρότερο τελικό προϊόν και να γίνει ανάκτηση ενέργειας. Επίσης, οι εγκαταστάσεις όπου γίνεται η επεξεργασία τους δεν απαιτούν υψηλή τεχνολογία. Σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία της Διαλογής στην Πηγή είναι η συμμετοχή του πολίτη. Ο διαχωρισμός των αποβλήτων τροφίμων και κήπων γίνεται από τους κατοίκους και στη συνέχεια συλλέγονται από τους Δήμους. Τα καθαρά επιμέρους υλικά που προκύπτουν από τον διαχωρισμό προσφέρουν ένα καθαρότερο με υψηλές προδιαγραφές προϊόν που προκύπτει μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης, το κομπόστ, και η χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό αντικαθιστά άλλα πιο επιβλαβή λιπάσματα για το περιβάλλον όπως η τύρφη.

Κατηγορίες Συστημάτων Διαλογής στην Πηγή

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι συλλογής των βιοαποβλήτων σε αυτά τα συστήματα είναι:

- Συλλογή με τη μέθοδο ‘Πόρτα – Πόρτα’ (Door to Door Collection).
- Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών (Curbside Collection).
- Συγκέντρωση προδιαλεγμένων υλικών – στόχων σε Κέντρα Συλλογής (Collection at ‘Green’ Points or ‘Bring’ Systems).

Συλλογή Βιοαποβλήτων με τη μέθοδο ‘Πόρτα – Πόρτα’

Με τη μέθοδο συλλογής Πόρτα-Πόρτα οι πολίτες μπορούν με τη χρήση βιοαποδομήσιμων και κομποστοποιήσιμων σάκων και βιοκάδων να συλλέγουν και να αποθηκεύουν προσωρινά τα βιοαπόβλητα στην οικία τους. Μπορούν να τοποθετήσουν τους κάδους εντός του σπιτιού τους ή στον κήπο τους. Στη συνέχεια ο Δήμος τα συλλέγει από κάθε σπίτι συγκεκριμένες ώρες και μέρες με σκοπό την μεταφορά τους από τον φορέα διαχείρισης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας για την ανάκτηση υλικών όπως κομπόστ και βιοαέριο.

Το κομπόστ που παράγεται από νοικοκυριά ή μικρές κοινότητες (όπως πολυκατοικίες σε μικρά χωριά) μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε τοπικό επίπεδο. Αυτό αποτελεί ένα παράδειγμα εγχειριδίου για το κλείσιμο των βρόχων σε τοπικό επίπεδο. Ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές, αυτού του είδους το αποκεντρωμένο σύστημα μπορεί να προσφέρει μια ευκαιρία για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων (Panaretou et al., 2019).

Συλλογή με κάδους ανά ομάδες κατοικιών

Η συλλογή των βιοαποβλήτων στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται σε κάδους χρώματος καφέ που βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία στους διάφορους Δήμους. Ένα σημαντικό κριτήριο στο σχεδιασμό του συγκεκριμένου συστήματος είναι η απόσταση του κάδου να μην είναι μεγαλύτερη από 50 μέτρα από την οικία του πολίτη ώστε να διευκολύνεται η πρόσβαση σε αυτόν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση συλλογής τα επίπεδα ανάκτησης καθαρών υλικών δεν είναι πάντα τα προσδοκώμενα διότι μερικές φορές η χωριστή συλλογή των υπολειμμάτων τροφίμων και πράσινων υλικών δεν είναι εφικτή.

Συγκέντρωση Βιοαποβλήτων σε Κέντρα Συλλογής

Η συγκέντρωση σε κέντρα συλλογής γίνεται στα λεγόμενα πράσινα σημεία ή πάρκα ανακύκλωσης που πρόκειται για ειδικά διαμορφωμένους χώρους από τον Δήμο. Είναι δυνατή η συγκέντρωση διαφόρων ρευμάτων αποβλήτων όπως γυαλί, πλαστικό, χαρτί, μέταλλα. Η συμμετοχή των πολιτών είναι μικρότερη σε

σχέση με τα δύο προηγούμενα συστήματα διότι συνήθως οι συγκεκριμένοι χώροι είναι πιο απομακρυσμένοι από τις οικίες σε σχέση με το σύστημα των καφέ κάδων. Επίσης το κόστος λειτουργίας και εγκατάστασης των πράσινων σημείων είναι σημαντικό και αρκετές φορές ξεπερνά το μηδενικό κόστος συλλογής των αποβλήτων που προσφέρει το συγκεκριμένο σύστημα.

Οφέλη των Συστημάτων ΔσΠ στη Διαχείριση των Βιοαποβλήτων

Από την εφαρμογή προγραμμάτων Διαλογής στην Πηγή των βιοαποβλήτων προκύπτουν κάποια βασικά οφέλη τα οποία είναι (ΕΠΠΕΡΡΑ, 2012):

- Επιτυγχάνεται σημαντική ποσότητα ανακύκλωσης βιοαποβλήτων καθώς αποτελούν μεγάλο μέρος των απορριμμάτων.
- Είναι δυνατή η οργάνωση από την αρχή των συστημάτων συλλογής αποβλήτων με σκοπό την ανακύκλωση πολλαπλών διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων.
- Με την απομάκρυνση των οργανικών υπολειμμάτων μέσω της ΔσΠ γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση των υπόλοιπων ρευμάτων αποβλήτων
- Λόγω των διακριτών ρευμάτων υλικών που προκύπτουν με την χωριστή συλλογή, το τελικό προϊόν κομπόστ που λαμβάνουμε είναι πιο καθαρό και εμφανίζει υψηλές προδιαγραφές
- Λόγω της υψηλής ποιότητας κομπόστ που παράγεται, το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά και παράλληλα χρησιμοποιούνται λιγότερα λιπάσματα και φυτοφάρμακα. Έτσι, βελτιώνεται η δομή του εδάφους και η ικανότητά του να παραμένει το νερό στο έδαφος αλλά και συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και της κλιματικής αλλαγής.

Η χωριστή συλλογή αποτελεί προϋπόθεση για τη χρήση των βιοαποβλήτων ως πόρου με κυκλικό τρόπο. Η χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων από τα υπόλοιπα αστικά απόβλητα διατηρεί τα επίπεδα των ακαθαρσιών και της μόλυνσης όσο το δυνατόν χαμηλότερα και επιτρέπει τη χρήση τους ως πολύτιμων δευτερογενών πόρων, όπως βελτιωτικά εδάφους, οργανικά λιπάσματα και βιοαέριο (Xevgenos et al., 2015). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα

προτείνει την εναρμόνιση των συστημάτων χωριστής συλλογής αποβλήτων (Fricke et al., 2017).

Η εισαγωγή της χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων απαιτεί συνήθως μια αρχική επένδυση από τον δημόσιο τομέα, αλλά οι αναλύσεις κόστους-οφέλους έχουν δείξει ότι το συνολικό οικονομικό αποτέλεσμα τόσο για τους πολίτες όσο και για τον οργανισμό διαχείρισης αποβλήτων είναι θετικό, εάν βελτιστοποιηθεί ολόκληρο το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων. Το πραγματικό κόστος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το σύστημα συλλογής (συλλογή από πόρτα σε πόρτα ή δοχεία στην άκρη του δρόμου), η πυκνότητα του πληθυσμού, η συχνότητα συλλογής και οι καιρικές συνθήκες (Rodrigues et al., 2015).

Η βελτιστοποίηση του συστήματος θα μπορούσε να συνεπάγεται τη μείωση της συχνότητας συλλογής των υπολειμματικών αποβλήτων, τη δημιουργία οικονομικών κινήτρων για την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων και τη συμμετοχή στη χωριστή συλλογή, καθώς και την προσαρμογή του συστήματος στις τοπικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της διασφάλισης κατάλληλων συνθηκών υγιεινής. Η ανάλυση από μεγάλο αριθμό δήμων δείχνει ότι υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης για τα αστικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των βιοαποβλήτων, μπορούν να επιτευχθούν χωρίς αύξηση του κόστους του συστήματος διαχείρισης αποβλήτων. Τα έσοδα από τις πωλήσεις ανανεώσιμης ενέργειας, εδαφοβελτιωτικών και λιπασμάτων που παράγονται από βιοαπόβλητα μπορούν να καλύψουν μέρος του κόστους συλλογής και επεξεργασίας. Ωστόσο, τα προϊόντα αυτά πρέπει να ανταγωνιστούν τα παρθένα υλικά, τα καύσιμα και την ενέργεια, τα οποία επιδοτούνται εν μέρει και οι τιμές τους συχνά δεν λαμβάνουν υπόψη την περιβαλλοντική ζημία που προκαλούν (Giavini & Compostatori, 2017).

Περίπου το 50% των παραγόμενων αστικών βιοαποβλήτων συλλέγεται χωριστά στις χώρες που παρείχαν στοιχεία (σταθμισμένος μέσος όρος). Το υπόλοιπο 50% των αστικών βιοαποβλήτων συλλέγεται μαζί με τα υπόλοιπα (μικτά) απόβλητα. Τα ποσοστά χωριστής συλλογής ποικίλλουν από 80% ή περισσότερο στην Αυστρία και τη Σλοβενία έως λιγότερο από 10% στη Βοσνία-Ερζεγοβίνη, την Κύπρο, τη Βόρεια Μακεδονία, την Πορτογαλία, την Ισπανία και

την Τουρκία, γεγονός που καταδεικνύει ότι, σε επίπεδο μεμονωμένης χώρας, υπάρχουν ακόμη πολλά περιθώρια βελτίωσης. Η Μάλτα εισήγαγε πρόσφατα τη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων σε όλη τη χώρα, αλλά δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για τις ποσότητες.

Σε πολλές χώρες, διεξάγονται πιλοτικά έργα για την καθιέρωση χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων ή αποβλήτων τροφίμων σε επιλεγμένες πόλεις ή περιφέρειες ή η χωριστή συλλογή έχει ήδη καθιερωθεί σε ορισμένους δήμους ή περιφέρειες, για παράδειγμα στην Πολωνία, την Πορτογαλία και τη Σερβία. Άλλοι εκτελούν έργα για τη βελτίωση ή την περαιτέρω ανάπτυξη ήδη υφιστάμενων συστημάτων, για παράδειγμα στην περιφέρεια της πρωτεύουσας των Βρυξελλών και στη Φλάνδρα στο Βέλγιο και στις Κάτω Χώρες.

Δεν υπάρχουν ενοποιημένα στοιχεία σχετικά με τις τάσεις στη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Ωστόσο, η ποσότητα των αστικών αποβλήτων που κομποστοποιούνται ή χωνεύονται αναερόβια -στην οποία μπορεί να περιλαμβάνονται ορισμένα μικτά αστικά απόβλητα που επεξεργάζονται σε μονάδες μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας- αυξήθηκε κατά 52% την περίοδο 2004-2018 (Eurostat, 2020). Για την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης των βιοαποβλήτων απαιτείται η συλλογή δεδομένων για τα χωριστά συλλεγόμενα βιοαπόβλητα (Giavini & Compostatori, 2017).

Εισαγωγή της χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων

Η εφαρμογή ενός επιτυχημένου συστήματος χωριστής συλλογής και διαχείρισης βιοαποβλήτων απαιτεί μια ολοκληρωμένη στρατηγική, η οποία θα λαμβάνει υπόψη τις τοπικές συνθήκες. Οι ακόλουθοι βασικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο (EC, 2000):

- Τύποι βιοαποβλήτων που αποτελούν στόχο, π.χ. απόβλητα τροφίμων, απόβλητα κήπων, άλλα βιοαπόβλητα. Ορισμένες περιφέρειες μπορεί να χρειαστεί να εστιάσουν περισσότερο σε συγκεκριμένους τύπους αστικών βιοαποβλήτων (π.χ. απόβλητα τροφίμων στις πόλεις).
- Καθορίζονται σαφείς (μετρήσιμοι και επιτεύξιμοι) στόχοι.

- Επιλογή συστήματος συλλογής. Έχουν προκύψει διάφορες λύσεις, όπως συστήματα από πόρτα σε πόρτα, σημεία απόρριψης στους δρόμους, χώροι εξυπηρέτησης πολιτών, συλλογή κατά παραγγελία.
- Προσφέρονται οικονομικά κίνητρα για τη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων, για παράδειγμα συστήματα pay-as-you-throw.
- Δημιουργείται υποδομή επεξεργασίας βιοαποβλήτων.
- Κατεύθυνση προς την επεξεργασία αποβλήτων. Τα βιοαπόβλητα που συλλέγονται χωριστά μπορούν να κατευθύνονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας σε κοινοτικό ή πιο κεντρικό επίπεδο.
- Οικονομικές λεπτομέρειες. Ποιες δαπάνες θα καταλογιστούν από ποιους φορείς και τι είδους σύστημα εσόδων θα εφαρμοστεί (π.χ. συνεισφέρουν οι πολίτες ή όχι;).
- Διοίκηση του συστήματος. Ένα επιτυχημένο σύστημα χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων απαιτεί λεπτομερή σχεδιασμό και προγραμματισμό, με τη συμμετοχή δήμων ή τοπικών κυβερνήσεων.
- Στοχευμένη περιοχή. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τοπικές παράμετροι, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού, η αναλογία τουριστών προς κατοίκους, η παρουσία νοσοκομείων, σχολείων, ξενοδοχείων και εστιατορίων και η παρουσία (αστικών) κήπων.
- Ευαισθητοποίηση. Τα συστήματα χωριστής συλλογής θα απαιτήσουν καλή δημοσιότητα και μεταφορά γνώσεων στους πολίτες, ώστε να διασφαλιστεί ο σωστός διαχωρισμός στην πηγή, συμπεριλαμβανομένης, για παράδειγμα, της στόχευσης στα σχολεία. Αυτή είναι μία από τις βασικές συστάσεις που προκύπτουν από την ανασκόπηση των επιτυχημένων συστημάτων χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων. Η ευαισθητοποίηση θα πρέπει να συνδυάζεται με τη δημιουργία θετικής εικόνας της αρχής ή της εταιρείας διαχείρισης αποβλήτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν εισάγεται ένα νέο σύστημα χωριστής συλλογής.

Τα υψηλά επίπεδα γνώσης και δέσμευσης των πολιτών αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την επιτυχία των συστημάτων χωριστής συλλογής αποβλήτων.

Σε γενικές γραμμές, η εισαγωγή χωριστής συλλογής αστικών βιοαποβλήτων απαιτεί μια ολοκληρωμένη εκστρατεία μάρκετινγκ κατά το στάδιο της εισαγωγής για δύο λόγους. Πρώτον, η εκστρατεία πρέπει να πείσει τους πολίτες να διαχωρίζουν τα βιοαπόβλητά τους (Xevgenos et al., 2015).

Δεύτερον, για να αποφευχθούν οι προσμίξεις και η μόλυνση, η εκστρατεία πρέπει να εκπαιδεύσει τους ανθρώπους σχετικά με το τι επιτρέπεται στον κάδο βιοαποβλήτων.

Στο Μόναχο, για παράδειγμα, στήθηκε και επαναλήφθηκε αρκετές φορές μια εκστρατεία, η οποία οδήγησε σε πολύ χαμηλά επίπεδα ακαθαρσιών. Παρ' όλα αυτά, οι συνολικές γνώσεις των πολιτών του σχετικά με τον διαχωρισμό και την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων παραμένουν χαμηλές, όπως αναφέρει η εταιρεία διαχείρισης αποβλήτων του Μονάχου (Langer, 2017).

Στην ιρλανδική πόλη Sligo, μια εκστρατεία ευαισθητοποίησης αύξησε σημαντικά τον αριθμό των νοικοκυριών που συμμετείχαν στη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων και μείωσε το επίπεδο των ακαθαρσιών από 18% σε 1% και το μερίδιο των βιοαποβλήτων στα υπολειμματικά απόβλητα κατά 10 ποσοστιαίες μονάδες. Ο τύπος του συστήματος συλλογής είναι επίσης σημαντικός για το επίπεδο των ακαθαρσιών. Τα συστήματα συλλογής από πόρτα σε πόρτα φαίνεται να ενθαρρύνουν τους ανθρώπους να διαχωρίζουν τα βιοαπόβλητα στην πηγή καλύτερα από ό,τι τα συστήματα παράδοσης με κάδους στο δρόμο.

Το επίπεδο των ακατάλληλων υλικών, όπως τα πλαστικά, το χαρτί και το γυαλί, μειώνει την ποιότητα του κομπόστ, συμπεριλαμβανομένης της μόλυνσης με βαρέα μέταλλα- ως εκ τούτου, οι προσπάθειες για την αποφυγή τέτοιων υλικών στα βιοαπόβλητα είναι σημαντικές. Ο πολλαπλασιασμός των πλαστικών προϊόντων που χαρακτηρίζονται ως κομποστοποιήσιμα ή βιοδιασπώμενα μπορεί να δημιουργήσει μια ιδιαίτερη πρόκληση για τη χωριστή συλλογή και την ποιότητα του κομπόστ (Rodrigues et al., 2020).

Άλλοι παράγοντες επιτυχίας είναι η παροχή οικονομικών κινήτρων, όπως υψηλότερα τέλη για τη διάθεση μη διαχωρισμένων αποβλήτων, και ρυθμιστικά μέτρα (π.χ. απαγόρευση αποτέφρωσης, περιορισμοί ή υποχρεωτικός διαχωρισμός στην πηγή) (Xevgenos et al., 2015).

Μια συγκριτική ανάλυση 19 διαφορετικών περιπτώσεων στην Ευρώπη έδειξε επίσης ότι η αποτελεσματικότητα των συστημάτων χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων, η οποία αξιολογείται με βάση τις επιδόσεις σε βάθος χρόνου, βελτιώνεται με την ωριμότητα των συστημάτων. Ωστόσο, η μελέτη διαπίστωσε επίσης ορισμένες περιπτώσεις που κατάφεραν να επιτύχουν ταχείες βελτιώσεις στη χωριστή συλλογή σε σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. Λιουμπλιάνα). Τέλος, οι δήμοι με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά συμμετοχής και δέσμευσης στα συστήματα χωριστής συλλογής τους.

Ωστόσο, αρκετές ευρωπαϊκές μελέτες περίπτωσης δείχνουν ότι οι δήμοι με χαμηλή πληθυσμιακή πυκνότητα θα πρέπει να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στην οικονομική αποδοτικότητα των συστημάτων χωριστής συλλογής αποβλήτων τους, κυρίως λόγω των αποστάσεων μεταφοράς (Lombrano, 2009· Carvalho & Marques, 2014· Guerrini et al., 2017· Exposito & Velasco, 2018· Bartolacci et al., 2019).

Επομένως, η επιτυχία της οικιακής και κοινοτικής κομποστοποίησης εξαρτάται από την ποιότητα του διαχωρισμού των αποβλήτων και τη διαχείριση της διαδικασίας κομποστοποίησης από τους πολίτες. Η κοινοτική κομποστοποίηση, όπως συνήθως εφαρμόζεται σε αστικές περιοχές, απαιτεί πρόσθετη οργανωτική προσπάθεια. Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης και η κατάρτιση μπορούν να συμβάλουν στην παρακίνηση των πολιτών να διαχωρίζουν και να διαχειρίζονται βιώσιμα τα βιοαπόβλητά τους.

Για παράδειγμα, η Φλάνδρα στο Βέλγιο έχει εκπαιδεύσει περισσότερους από 5000 εθελοντές τα τελευταία 25 χρόνια για να βοηθήσει τους πολίτες να εφαρμόσουν την οικιακή κομποστοποίηση και την κηπουρική κλειστού κυκλώματος, και το 41% των φλαμανδικών νοικοκυριών κομποστοποιούν στο σπίτι. Σε μια έρευνα, το 84% των οικιακών κομποστοποιητών ανέφερε ότι δεν αντιμετώπισε ποτέ προβλήματα με την κομποστοποίηση ή το κομπόστ (Dri et al., 2018).

Αρκετά παραδείγματα απεικονίζουν αυτή την επιλογή: το πρόγραμμα Revitaliza στην ισπανική επαρχία Pontevedra υιοθετεί ένα αποκεντρωμένο σύστημα: έναν

συνδυασμό οικιακής κομποστοποίησης, κοινοτικής κομποστοποίησης και μικρών εγκαταστάσεων κομποστοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της εκτεταμένης ευαισθητοποίησης και της κατάρτισης «δασκάλων κομποστοποίησης» (Mato et al., 2019). Το έργο Decisive (Walk & Körner, 2022) αποσκοπεί στην ανάλυση και επίδειξη επιλογών για αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης βιοαποβλήτων στην Καταλονία, Ισπανία, και στην πόλη της Λυών, Γαλλία.

Ένα κοινοτικό έργο κομποστοποίησης στην πόλη της Μπρατισλάβα, στη Σλοβακία, κατέδειξε τη σημασία της συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων φορέων και των πολιτών που ενδιαφέρονται να κομποστοποιήσουν τα δικά τους βιοαπόβλητα και οδήγησε σε μείωση της ποσότητας των βιοαποβλήτων στα σύμμεικτα αστικά απόβλητα. Ο γαλλικός Οργανισμός Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ADEME) δημιούργησε μια πλατφόρμα για την ανταλλαγή εμπειριών από μικρής κλίμακας έργα διαχείρισης βιοαποβλήτων και πρόληψης αποβλήτων τροφίμων από όλη τη χώρα.

Συνολικά, η καλή συνεργασία και η καλή πληροφόρηση σχετικά με το σύστημα διαχωρισμού στην πηγή μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα ανάκτησης των βιοαποβλήτων και σε σχετική εξοικονόμηση κόστους στις υπηρεσίες αποβλήτων (Panaretou et al., 2017).

Για τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, δεν υπάρχουν επί του παρόντος διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την οικιακή κομποστοποίηση. Ωστόσο, τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν τα βιοαπόβλητα που κομποστοποιούνται κατ' οίκον όταν αναφέρουν τα ποσοστά ανακύκλωσης των αστικών αποβλήτων, όπως απαιτείται από την οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα (ΟΠΥ), σύμφωνα με τη μέθοδο υπολογισμού που εγκρίθηκε το 2019. Για τα κράτη μέλη της ΕΕ που κάνουν χρήση αυτής της δυνατότητας, τα δεδομένα σχετικά με την οικιακή κομποστοποίηση θα καταστούν διαθέσιμα τα επόμενα χρόνια (Cordella et al., 2020).

2.4 Μέθοδοι Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων

Τα δυνητικά οφέλη της χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων μπορούν να αξιοποιηθούν μόνο εάν τα βιοαπόβλητα που συλλέγονται χωριστά υποβάλλονται επίσης σε κατάλληλη επεξεργασία. Ως εκ τούτου, η ικανότητα επεξεργασίας βιοαποβλήτων μιας περιοχής πρέπει να ευθυγραμμιστεί με τα βιοαπόβλητα που παράγονται και συλλέγονται χωριστά (Neuwahl et al., 2019).

Η επεξεργασία περιλαμβάνει τις φυσικές, θερμικές και βιολογικές μεθόδους που μετατρέπουν τα βιοαπόβλητα και συντελούν στην ανάκτηση υλικών και ενέργειας.

Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης αποβλήτων χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας, που περιλαμβάνουν την αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση) και την αναερόβια χώνευση
- Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας
- Διάθεση με την υγειονομική ταφή

Τα βιοαπόβλητα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων όπως ήδη έχει αναφερθεί. Είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η διάθεσή τους στους χώρους υγειονομικής ταφής, η οποία σημαίνει μείωση της παραγωγής μεθανίου και κατά συνέπεια μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Έτσι, για να επιτευχθεί η ορθή διαχείρισή τους οι μέθοδοι που προτιμώνται είναι οι βιολογικές και οι θερμικές.

Οι βιολογικές μέθοδοι μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των βιοαποβλήτων με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος τους και τελικά να ελαττώνεται η διάθεσή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου που εισέρχεται στην μονάδα επεξεργασίας είναι αυτά που καθορίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος, γι' αυτό τίθεται απαραίτητη η διαλογή στην πηγή για την επιτυχή ανακύκλωση και ανάκτηση με την συγκεκριμένη μέθοδο. Με την θερμική επεξεργασία, ουσιαστικά ελαχιστοποιείται το οργανικό υπόλειμμα που οδηγείται σε ΧΥΤΑ αλλά δεν

προτιμάται σαν μέθοδος διότι εμπεριέχει αρκετούς κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι επεξεργασίας για τα χωριστά συλλεγόμενα βιοαπόβλητα, σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, είναι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση.

Η κομποστοποίηση είναι μια διεργασία που πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου, συνήθως είτε σε υπαίθριους σκουπιδότοπους είτε σε δοχεία. Μέσω της βιοαποδόμησης των οργανικών στερεών, παράγεται μια χουμική ουσία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, βελτιωτικό εδάφους ή συστατικό καλλιεργητικού μέσου. Η διαδικασία λειτουργεί καλύτερα με ένα καλό μείγμα εύκολα αποικοδομήσιμων, υγρών οργανικών ουσιών, όπως τα απόβλητα τροφίμων και οργανικών ουσιών που βελτιώνουν τη δομή, όπως τα απόβλητα κήπων.

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία χωρίς οξυγόνο, από την οποία παράγεται βιοαέριο το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας ή μπορεί να αναβαθμιστεί σε καύσιμο. Επίσης, προκύπτει το χωνεμένο υπόλειμμα (τα στερεά και υγρά κατάλοιπα που προκύπτουν από την διαδικασία) το οποίο μπορεί με περαιτέρω επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα και εδαφοβελτιωτικό. Η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορα είδη οργανικών υλικών εισόδου, αλλά δεν διασπά τη λιγνίνη, η οποία αποτελεί βασικό συστατικό του ξύλου (Neuwahl et al., 2019).

Οι τεχνικές επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για τα αστικά βιοαπόβλητα εφαρμόζονται συνήθως και σε βιοαπόβλητα από άλλες πηγές (π.χ. από τη βιομηχανία τροφίμων). Για το λόγο αυτό, τα δημοτικά βιοαπόβλητα συχνά υποβάλλονται σε επεξεργασία μαζί με άλλα ρεύματα βιοαποβλήτων. Η τεχνολογία επεξεργασίας βιοαποβλήτων που επιτρέπει τη μεγαλύτερη ανάκτηση τόσο υλικών όσο και ενέργειας είναι γενικά η περιβαλλοντικά προτιμότερη επιλογή.

Με βάση την ανάλυση του κύκλου ζωής, το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής προσδιόρισε μια «ιεραρχία» επιλογών για τα βιοαπόβλητα, αλλά τονίζει ότι η ανάλυση του κύκλου ζωής κάθε συγκεκριμένης

κατάστασης μπορεί να παράγει αποτελέσματα που αποκλίνουν από την εν λόγω ιεραρχία (Blakeney, 2019).

Ενώ η πρόληψη και η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων (π.χ. αναδιανομή ή χρήση ως ζωοτροφές) είναι σαφώς προτιμότερη από περιβαλλοντική άποψη, η αναερόβια χώνευση των χωριστά συλλεγόμενων βιοαποβλήτων (εξαιρουμένων ορισμένων μη χωνεύσιμων αποβλήτων) είναι η δεύτερη καλύτερη επιλογή και ακολουθεί η κομποστοποίηση, επειδή η αναερόβια χώνευση ανακτά τόσο υλικά όσο και ενέργεια. Ωστόσο, η αξιοποίηση αυτών των πλεονεκτημάτων προϋποθέτει τα εξής (Blakeney, 2019):

- το κομπόστ είναι απαραίτητο ως εδαφοβελτιωτικό
- το κομπόστ που λαμβάνεται από την άμεση κομποστοποίηση και από την κομποστοποίηση του χωνεμένου υπολείμματος είναι παρόμοιο ως προς τη σύνθεση και την ποσότητα
- η ανάκτηση ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο εκτοπίζει την παραγωγή ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα
- η διαδικασία της χώνευσης είναι καλά διαχειρίσιμη.

Συγκρίνοντας διαφορετικές οδούς διάθεσης για τα απόβλητα τροφίμων, μια ολλανδική ανάλυση κύκλου ζωής διαπίστωσε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα για την ανάκτηση υλικών και ενέργειας επιτυγχάνονται με την κομποστοποίηση με αναερόβια χώνευση ως προεπεξεργασία. Ωστόσο, σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα οργανικής ύλης στα γεωργικά εδάφη, η κομποστοποίηση μπορεί να είναι η περιβαλλοντικά προτιμότερη επιλογή (Blakeney, 2019).

Η αναερόβια χώνευση δεν είναι πάντα τεχνικά εφικτή, για παράδειγμα για υψηλά μερίδια αποβλήτων κήπου. Αν και τα απόβλητα κήπων μπορούν να υποστούν επεξεργασία με αναερόβια χώνευση, συχνά μειώνεται η ενεργειακή απόδοση της διαδικασίας λόγω της παρουσίας λιγνίνης, η οποία δεν διασπάται χωρίς οξυγόνο. Όταν η αναερόβια χώνευση δεν είναι (τεχνικά) εφικτή, η κομποστοποίηση των βιοαποβλήτων θα πρέπει να αξιολογείται σε σχέση με την ανάκτηση ενέργειας.

Η ανάλυση κύκλου ζωής έχει αποδειχθεί χρήσιμο εργαλείο στο πλαίσιο αυτό, επιτρέποντας τη σύγκριση των περιβαλλοντικών οφελών της ανάκτησης υλικών με τα περιβαλλοντικά οφέλη της ανάκτησης ενέργειας. Διάφορες παράμετροι παίζουν ρόλο, για παράδειγμα η αποδοτικότητα της διαδικασίας, η σύνθεση των αποβλήτων, η απόσταση μεταφοράς και τα χαρακτηριστικά του μίγματος ηλεκτρικής ενέργειας που αντικαθίσταται. Μια πτυχή που επί του παρόντος μπορεί να καλυφθεί μόνο ποιοτικά στις αναλύσεις κύκλου ζωής είναι το όφελος του κομπόστ για την ποιότητα του εδάφους.

Συνήθως, οι χώρες δεν επιλέγουν αποκλειστικά μια οδό επεξεργασίας βιοαποβλήτων. Αντίθετα, επιλέγουν ένα συνδυασμό τεχνικών, καθώς αυτό τους επιτρέπει να στοχεύουν σε διαφορετικούς τύπους βιοαποβλήτων από πολλαπλές πηγές (Blakeney, 2019).

Ικανότητα επεξεργασίας

Η αξιολόγηση της ικανότητας επεξεργασίας των αστικών βιοαποβλήτων στην Ευρώπη είναι δύσκολη, καθώς μόνο ένας περιορισμένος αριθμός χωρών διαθέτει στοιχεία σχετικά με την εγκατεστημένη και προγραμματισμένη δυναμικότητα επεξεργασίας για αυτό το κλάσμα αποβλήτων. Επί του παρόντος, με βάση τις πληροφορίες που παρείχαν 20 χώρες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περίπου το 59 % της παραγωγής αστικών βιοαποβλήτων στις χώρες μέλη του ΕΟΧ και στις συνεργαζόμενες χώρες, η γνωστή ετήσια δυναμικότητα των υποδομών επεξεργασίας στις χώρες αυτές ανέρχεται σε 38 εκατομμύρια τόνους βιοαποβλήτων. Αυτό περιλαμβάνει εγκατεστημένη δυναμικότητα 21 εκατομμυρίων τόνων για την κομποστοποίηση βιοαποβλήτων και επιπλέον 17 εκατομμύρια τόνους για την αναερόβια χώνευση βιοαποβλήτων.

Η πραγματική δυναμικότητα επεξεργασίας είναι πιθανό να είναι σημαντικά υψηλότερη, καθώς ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες δεν παρείχαν στοιχεία σχετικά με τη δυναμικότητα των υποδομών επεξεργασίας τους. Οι εν λόγω δυνατότητες επεξεργασίας δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την επεξεργασία αστικών βιοαποβλήτων. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις τα αστικά βιοαπόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία μαζί με άλλα ρεύματα αποβλήτων,

όπως κοπριά, λυματολάσπη και απόβλητα από τη βιομηχανία τροφίμων (Blakeney, 2019).

Η οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα του 2018 απαιτεί τη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων ή την ανακύκλωση στην πηγή (οικιακή κομποστοποίηση) έως τον Δεκέμβριο του 2023. Αυτή η νέα υποχρέωση, σε συνδυασμό με τις νέες απαιτήσεις για την ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων, αναμένεται να ωθήσει περισσότερα βιοαπόβλητα προς την κατεύθυνση της αναερόβιας χώνευσης και της κομποστοποίησης και, ως εκ τούτου, να αυξήσει επίσης την εγκατεστημένη δυναμικότητα αυτών των τεχνικών επεξεργασίας. Οι πληροφορίες σχετικά με τη σχεδιαζόμενη δυναμικότητα - αν και πολύ περιορισμένες - υποδεικνύουν μια αυξανόμενη σημασία της αναερόβιας χώνευσης.

Η χωρητικότητα των εγκατεστημένων υποδομών επεξεργασίας βιοαποβλήτων ποικίλλει σημαντικά στις 21 ευρωπαϊκές χώρες που παρείχαν σχετικά στοιχεία. Οι δυνατότητες επεξεργασίας κυμαίνονται μεταξύ 356 kg βιοαποβλήτων ανά άτομο. Ορισμένες χώρες ανέφεραν ότι παρείχαν στοιχεία μόνο για τη γνωστή δυναμικότητά τους για την επεξεργασία βιοαποβλήτων, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ενδεχομένως μέρος της εγκατεστημένης δυναμικότητάς τους λόγω έλλειψης στοιχείων.

Η σύνδεση της δυναμικότητας επεξεργασίας, η οποία μπορεί να μην χρησιμοποιείται μόνο για την επεξεργασία αστικών βιοαποβλήτων, με την παραγωγή αστικών βιοαποβλήτων και τη χωριστή συλλογή παρέχει ορισμένες πολύτιμες πληροφορίες, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτές τις πληροφορίες περιορίζονται από τους προαναφερθέντες περιορισμούς. Ωστόσο, οι χώρες για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την ικανότητα επεξεργασίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γενικές γραμμές σε τρεις ομάδες (Razza et al., 2018):

1. Επαρκής δυναμικότητα επεξεργασίας για όλα τα παραγόμενα αστικά βιοαπόβλητα: Αυστρία, Γαλλία, Κάτω Χώρες, Σλοβενία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο. Η δυναμικότητα επεξεργασίας των χωρών αυτών υπερβαίνει τον όγκο των παραγόμενων αστικών βιοαποβλήτων. Ως εκ τούτου, στην ακραία περίπτωση που όλα τα αστικά βιοαπόβλητα συλλέγονταν χωριστά, η χώρα

θεωρητικά θα ήταν σε θέση να επεξεργαστεί όλα αυτά τα βιοαπόβλητα. Εάν η εγκατεστημένη δυναμικότητα επεξεργασίας βιοαποβλήτων μιας χώρας υπερβαίνει τα παραγόμενα αστικά βιοαπόβλητα, αυτό δεν σημαίνει ότι η χώρα έχει πλεονάζουσα δυναμικότητα επεξεργασίας.

2. Η ικανότητα επεξεργασίας είναι διαθέσιμη για τα χωριστά συλλεγόμενα αστικά βιοαπόβλητα, αλλά όχι για όλα τα παραγόμενα αστικά βιοαπόβλητα: Βέλγιο, Κύπρος, Ουγγαρία, Ιταλία (αν και η δυναμικότητα επεξεργασίας της είναι πολύ κοντά στον όγκο των παραγόμενων βιοαποβλήτων), Λετονία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακία και Ισπανία. Οι χώρες αυτές είναι σήμερα σε θέση να επεξεργαστούν όλα τα χωριστά συλλεγόμενα αστικά βιοαπόβλητα, δεδομένης της εγκατεστημένης δυναμικότητας επεξεργασίας τους. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η χωριστή συλλογή, η εγκατεστημένη υποδομή επεξεργασίας θα πρέπει να επεκταθεί. Η Κροατία διαθέτει άφθονη δυναμικότητα αναερόβιας επεξεργασίας, αλλά οι περισσότερες μονάδες επεξεργάζονται μόνο ζωικά υποπροϊόντα και η χωρική τους κατανομή δεν ταιριάζει απαραίτητα με τη θέση παραγωγής βιοαποβλήτων.

3. Ανεπαρκής ικανότητα επεξεργασίας για τα χωριστά συλλεγόμενα αστικά βιοαπόβλητα: Εσθονία, Ελλάδα, Βόρεια Μακεδονία και Τουρκία. Οι χώρες αυτές δεν είναι επί του παρόντος σε θέση να επεξεργαστούν (θεωρητικά) τον όγκο των παραγόμενων βιοαποβλήτων, ούτε είναι σε θέση να επεξεργαστούν όλα τα χωριστά συλλεγόμενα βιοαπόβλητα. Ωστόσο, τα βιοαπόβλητα ενδέχεται να επεξεργάζονται σε μονάδες μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας ή σε μονάδες αναερόβιας χώνευσης που επεξεργάζονται κυρίως γεωργικά απόβλητα, και η δυναμικότητα αυτή ενδέχεται να μην περιλαμβάνεται στις αναφερόμενες δυναμικότητες. Η επέκταση της χωριστής συλλογής βιοαποβλήτων θα απαιτήσει την εγκατάσταση νέας δυναμικότητας επεξεργασίας.

Κατά μέσο όρο, στις 21 χώρες που παρείχαν πληροφορίες, οι εγκαταστάσεις κομποστοποίησης αντιπροσωπεύουν σήμερα το 53% της δυναμικότητας επεξεργασίας βιοαποβλήτων, ενώ η αναερόβια χώνευση το 47%, ενώ δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τον όγκο της οικιακής κομποστοποίησης.

Σε επίπεδο χώρας, ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Η Εσθονία, η Ελλάδα, η Ουγγαρία, η Λετονία, η Βόρεια Μακεδονία και η Ρουμανία παρείχαν στοιχεία μόνο για την υποδομή κομποστοποίησης των αστικών βιοαποβλήτων τους. Σε αυτές τις χώρες μπορεί να υπάρχει δυναμικό αναερόβιας χώνευσης. Στην Αυστρία, το Βέλγιο, την Κύπρο, την Ιταλία, τις Κάτω Χώρες, τη Σλοβακία και την Ισπανία, η κομποστοποίηση είναι η κυρίαρχη οδός επεξεργασίας.

Μόνο σε λίγες χώρες, ιδίως στην Κροατία, την Πολωνία, την Πορτογαλία, τη Σλοβενία, τη Σουηδία και την Τουρκία, η δυναμικότητα της αναερόβιας χώνευσης υπερβαίνει εκείνη της κομποστοποίησης. Τέλος, είναι δυνατόν να συνδυαστεί η δυναμικότητα επεξεργασίας βιοαποβλήτων - τα βιοαπόβλητα πρώτα χωνεύονται και στη συνέχεια το χωνεμένο υπόλειμμα κομποστοποιείται, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην Πορτογαλία. Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την επικράτηση αυτής της συνδυασμένης δυναμικότητας (Achinas et al., 2020).

Η υιοθέτηση της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να επηρεαστεί από περιβαλλοντικούς κανονισμούς, όπως η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η οδηγία απαιτεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ να διασφαλίσουν ότι τουλάχιστον το 10% των καυσίμων τους για τις μεταφορές θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το 2020 και καθορίζει στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την ΕΕ τουλάχιστον 20% μέχρι το 2020 και 32 % μέχρι το 2030 (Achinas et al., 2020· Araya, 2018).

Συγκρίσιμες πολιτικές σε εθνικό επίπεδο μπορούν ταυτόχρονα να ενθαρρύνουν την αναερόβια χώνευση. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, η θέσπιση της υποχρέωσης για ανανεώσιμα καύσιμα μεταφορών, η οποία από το 2014 απαιτεί από τους προμηθευτές καυσίμων να προμηθεύονται το 5% των καυσίμων τους από ανανεώσιμες πηγές, ενθάρρυνε σημαντικά την ανάπτυξη της δυναμικότητας αναερόβιας χώνευσης.

Επιπλέον, ο Araya (2018) ανέφερε ότι και άλλα είδη πολιτικών που διέπουν τη χρήση γης και τη διάθεση αποβλήτων μπορούν επίσης να ενθαρρύνουν την αναερόβια χώνευση, όπως τα ρυθμιστικά πλαίσια για τη γεωργία, οι πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τα κίνητρα (π.χ. επιδοτήσεις) που έχουν εξασφαλίσει την επιτυχία και τη βιωσιμότητα της

αναερόβιας χώνευσης και οι υποχρεωτικές απαιτήσεις για την εκτροπή των βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής (Araya, 2018).

Στο μέλλον, οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της αναερόβιας χώνευσης αναμένεται επίσης να αυξήσουν τις δυνατότητές της και να βελτιώσουν την οικονομική βιωσιμότητά της (Fricke et al., 2017).

Επί του παρόντος, η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση είναι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συχνότερα για τη διαχείριση των βιοαποβλήτων. Στο μέλλον, τα βιοαπόβλητα θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως πηγή προϊόντων υψηλότερης αξίας, σύμφωνα με την αρχή της κυκλικής οικονομίας, δηλαδή τη διατήρηση της αξίας των προϊόντων και των υλικών στην οικονομία όσο το δυνατόν περισσότερο. Για παράδειγμα, στη Δανία, τη Γερμανία, την Ιταλία και τη Νορβηγία, το μεθάνιο από μονάδες αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή καυσίμων για αυτοκίνητα και για οικιακούς σκοπούς ή διοχετεύεται στο δίκτυο φυσικού αερίου μετά από καθαρισμό (Fricke et al., 2017).

3. Κομποστοποίηση

3.1 Εισαγωγή

Η κομποστοποίηση είναι η ρυθμιζόμενη αποσύνθεση της οργανικής ύλης για την παραγωγή ενός τελικού προϊόντος που ονομάζεται κομπόστ. Χρησιμοποιείται στη διαχείριση αποβλήτων ως μέθοδος ανάκτησης οργανικών αποβλήτων. Η διαδικασία της κομποστοποίησης συνεπάγεται τη διαχείριση και επιτάχυνση της βιολογικής και απαιτητικής σε οξυγόνο διαδικασίας, καθώς ένα μείγμα οργανικών υλικών διέρχεται από μια σειρά σταδίων που χαρακτηρίζονται από αυξήσεις της θερμοκρασίας και των βακτηριακών τύπων και οδηγούν σε ένα σταθερό οργανικό υλικό που ονομάζεται κομπόστ (Haight & Taylor, 2000).

Η κομποστοποίηση των οργανικών αποβλήτων αναγνωρίζεται ως μια αποτελεσματική μέθοδος διαχείρισης αυτού του τύπου αποβλήτων, καθώς αποσκοπεί στην ανάκτηση των οργανικών αποβλήτων και παράγει ένα χρήσιμο τελικό προϊόν. Η κομποστοποίηση μπορεί να οριστεί ως μέρος μιας στρατηγικής βιώσιμης διαχείρισης των πόρων (Faucette, 2004).

Είναι σημαντικό να ενθαρρυνθεί η ανακύκλωση, η μόνη βιώσιμη πρακτική διαχείρισης αποβλήτων που αποφεύγει την ύπαρξη των ίδιων των αποβλήτων με τη μετατροπή των πιθανών αποβλήτων σε μια σειρά προϊόντων. Με τη βιώσιμη μετατροπή των αποβλήτων σε οργανικά λιπάσματα, η κομποστοποίηση θα συμπλήρωνε τη βιώσιμη γεωργία. Η βιώσιμη γεωργία και η χρήση του κομπόστ μπορούν να θεωρηθούν ως βασικές δραστηριότητες για μια βιώσιμη κοινωνία (Sinha & Heart, 2002).

Ως εκ τούτου, τα ζητήματα βιωσιμότητας αποτελούν σημαντικές κινητήριες δυνάμεις για τις τεχνολογίες κομποστοποίησης. Οι βελτιώσεις στον έλεγχο της διαδικασίας κομποστοποίησης θα συμβάλουν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητας των σχετικών τεχνολογιών, συμβάλλοντας έτσι στη γεωργική και κοινωνική βιωσιμότητα (Molla et al., 2005).

Η κομποστοποίηση μπορεί να ικανοποιήσει πολλαπλούς στόχους, όπως η μείωση της δυσοσμίας, η ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος και η διαχείριση των κτηνοτροφικών αποβλήτων μέσω μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης (Alpert et al., 2002· Park et al., 2004). Έτσι, η κομποστοποίηση προσφέρει τη δυνατότητα παραγωγής ενός χρήσιμου προϊόντος από το οργανικό κλάσμα των στερεών αποβλήτων και αποτελεί έτσι μια μορφή ανακύκλωσης. Μπορεί επίσης να παράγει καύσιμο για ανάκτηση ενέργειας. Από μόνη της η κομποστοποίηση δεν αποτελεί λύση για όλα τα προβλήματα των αποβλήτων, ωστόσο μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο συστατικό στοιχείο ενός σχεδίου διαχείρισης αποβλήτων (Lasoff, 2000). Προάγει τους στόχους της αποσύνθεσης των ρευστοποιήσιμων υλικών, της μείωσης του όγκου, του βάρους και της περιεκτικότητας σε νερό, της παραγωγής ενός σταθεροποιημένου υπολείμματος διεργασίας και της αδρανοποίησης των παθογόνων οργανισμών (Baghaie, 2018).

3.2 Βιοαπόβλητα ως υπόστρωμα για την Κομποστοποίηση

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα υλικά που αποτελούνται από οργανικό κλάσμα όπως τα σάκχαρα, το άμυλο, τα λίπη, οι ημικυτταρίνες κ.α., είναι πιο εύκολο να αποδομηθούν. Έτσι τα βιοαπόβλητα που αποτελούνται κυρίως από οργανικά υλικά συνιστούν το κατάλληλο υπόστρωμα για την επεξεργασία τους με τη μέθοδο της Κομποστοποίησης.

Τα απορρίμματα που αποτελούνται από σάκχαρα και άμυλο όπως είναι τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πιο εύκολο να αποδομηθούν. Σε αντίθεση με τα φύλλα και τους φλοιούς των δέντρων που παρουσιάζουν μια βραδεία αποσύνθεση λόγω του ότι περιέχουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ	ΣΥΛΛΟΓΗ
Απόβλητα τροφών και τροφίμων		
Υπολείμματα τροφών από νοικοκυριά ή χώρους εστίασης ή καταστήματα λιανικής πώλησης τροφίμων (μανάβικα, super markets, λαϊκές αγορές κ.α.)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Υπολείμματα τροφών: κυτταρίνη, πρωτεΐνες. ▪ Υπολείμματα φρούτων και λαχανικών: κυτταρίνη, σάκχαρα, πρωτεΐνες. ▪ Υπολείμματα τροφών καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος: κυτταρίνη, πρωτεΐνες. 	Χωριστή συλλογή μέσω συστήματος ΔσΠ (από Δήμους).
Απόβλητα Κήπων και Πάρκων		
Πράσινα υπολείμματα (χόρτα, κλαδέματα, είδη ανθοκομίας) από κήπους και πάρκα	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Φύλλα & Φλοιοί: κυτταρίνη, λιγνίνη, ταννίνη. ▪ Γρασίδι: κυτταρίνες, πρωτεΐνη ▪ Κλαδέματα: κυτταρίνη, λιγνίνη 	Χωριστή συλλογή μέσω συστήματος ΔσΠ (από Δήμους)
Λοιπά Οργανικά Απόβλητα από Εγκαταστάσεις Μεταποίησης		
Απόβλητα από την προετοιμασία και επεξεργασία τροφίμων	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μελάσα (βιομηχανία ζάχαρης): σάκχαρα ▪ Φλούδες σταφυλιών (οινοποίηση): κυτταρίνη, πρωτεΐνες 	Συλλογή με ευθύνη του παραγωγού

Πίνακας 1: Κατηγορίες των Βιοαποβλήτων. (Πηγή: ΕΠΠΕΡΡΑΑ 2014)

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την Κομποστοποίηση

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις διεργασίες κομποστοποίησης, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ροή αερίων και πολλές άλλες φυσικές, χημικές και βιολογικές μεταβλητές (Ekinici, 2001).

Αναλογία Άνθρακα-Αζώτου C/N

Αποτελεί τη σημαντικότερη παράμετρο που απαιτεί ρύθμιση πριν την έναρξη της κομποστοποίησης. Σε υψηλές τιμές του λόγου (50:1), υπάρχει δηλαδή μεγαλύτερη ποσότητα C, η διαδικασία της κομποστοποίησης επιβραδύνεται ενώ σε χαμηλότερες τιμές παράγεται αμμωνία και άλλες ενώσεις του N προκαλώντας δυσάρεστες οσμές. Για τη ρύθμιση στην περίπτωση που ο λόγος C/N είναι υψηλός γίνεται προσθήκη απορριμμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε N όπως είναι τα φρέσκα λαχανικά. Ενώ για την ρύθμιση του χαμηλού λόγου C/N γίνεται προσθήκη αποβλήτων πλούσια σε C όπως φλοιοί δέντρων. Κατά την ενεργό αερόβια ανάπτυξη, οι ζωντανοί οργανισμοί χρησιμοποιούν περίπου 25 έως 35 μονάδες άνθρακα για κάθε μονάδα αζώτου. Ο Baghaie (2018) επαλήθευσε ότι ο λόγος C/N στο εύρος μεταξύ 25 και 35 είναι ο πλέον επιθυμητός για γρήγορη και αποτελεσματική κομποστοποίηση. Εάν υπάρχει περίσσεια άνθρακα (υψηλότερος λόγος C/N), η ταχεία ανάπτυξη των κυττάρων θα προκαλέσει εξάντληση του διαθέσιμου αζώτου και προσωρινή επιβράδυνση της ανάπτυξης των κυττάρων. Ο ιδανικός λόγος C/N ή το καλά ωριμασμένο κομπόστ είναι περίπου 10, αλλά είναι συνήθως δύσκολο να επιτευχθεί με την κομποστοποίηση (Baghaie, 2018).

Τιμή pH

Η τιμή pH του κομπόστ θεωρείται ως δείκτης της διαδικασίας αποσύνθεσης και σταθεροποίησης. Η μεταβολή της τιμής του pH κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι αρκετά προβλέψιμη (Benito, Masaguer, Moliner, Arrigo & Palma, 2003). Πέφτει ελαφρώς στην αρχή της επεξεργασίας και στη συνέχεια αυξάνεται γρήγορα σε περίπου 8,5 λόγω της αμμωνιοποίησης. Η τιμή του pH

εγκαθίσταται μεταξύ 7,5~8,0 καθώς το κομπόστ σταθεροποιείται. Οι Sánchez-Monedero, Roig, Paredes & Bernal (2001) διαπίστωσε ότι η τιμή του pH κυμαίνεται εντός 7,0~8,0 σε 4 μίγματα κομποστοποίησης (μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών) σε 20 εβδομάδες. Όμως η τιμή του pH δεν είναι ένας απόλυτα αξιόπιστος δείκτης ωριμότητας και σταθερότητας.

Στοιχείο αζώτου

Η διαδικασία νιτροποίησης ή αμμωνοποίησης έχει μελετηθεί εκτενώς ως δείκτης ωριμότητας και σταθερότητας για την κομποστοποίηση. Ο λόγος $\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{NO}_3^- - \text{N}$ είναι ένας σαφής δείκτης νιτροποίησης (Haug, 2018).

Σύμφωνα με τον Haug (2018), η υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας βρίσκεται συνήθως στα αρχικά στάδια της κομποστοποίησης καθώς το οργανικό άζωτο αποσυντίθεται. Η συγκέντρωση αμμωνίας τελικά μειώνεται μέσω εξάτμισης ή οξείδωσης στη νιτρική μορφή και έτσι, η παρουσία νιτρικών και η απουσία αμμωνίας είναι ενδεικτική μιας σταθεροποιημένης κατάστασης.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Μια χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα θα μπορούσε να είναι δείκτης σύνθετων θρεπτικών ουσιών και, επομένως, επιθυμητή. Η μείωση της EC κατά τη διαδικασία κομποστοποίησης είναι η άμεση συνέπεια της αυξημένης συγκέντρωσης θρεπτικών ουσιών, όπως τα νιτρικά και τα νιτρώδη. Η EC είναι ένα μέτρο της περιεκτικότητας σε διαλυτά άλατα. Τα ανεπιθύμητα επίπεδα αλάτων μπορεί να είναι επιβλαβή για τους σπόρους και τα φυτά που βλαστάνουν όταν το κομπόστ εφαρμόζεται ως καλλιεργητικό μέσο. Τα επιθυμητά εύρη μπορεί να μην ισχύουν όταν το κομπόστ χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα λόγω της αραιωτικής επίδρασης της ανάμιξης του κομπόστ με το έδαφος (Storino et al., 2017).

Οξυγόνο O₂

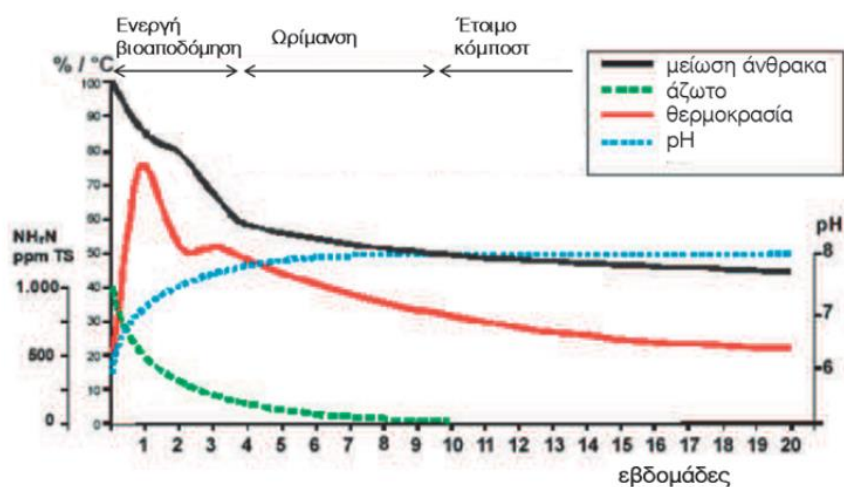
Η ανταλλαγή αερίων παρέχει οξυγόνο και απομακρύνει το διοξείδιο του άνθρακα, τη θερμότητα και τους υδρατμούς. Η σημασία της παροχής οξυγόνου είναι ότι η αερόβια αναπνοή παράγει θερμότητα με ρυθμό επαρκή για αυτοθέρμανση. Ορισμένοι ερευνητές θεώρησαν τα επίπεδα οξυγόνου ή διοξειδίου του άνθρακα ως μεταβλητές ανατροφοδότησης (Ekinici, 2001). Με γνωστό ρυθμό ροής, η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα ή του οξυγόνου θα πρέπει να είναι επαρκής για τον προσδιορισμό του ρυθμού αποικοδόμησης. Το εύρος τιμών θα πρέπει να είναι 7 έως 12% κ.ο. O₂ ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται <5% κ.ο. O₂ (αναερόβιες συνθήκες), <10-12%κ.ο. CO₂ και <1% κ.ο. CH₄. Χωρίς το επαρκές οξυγόνο οι συνθήκες μπορεί να γίνουν αναερόβιες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλείται έκλυση δυσάρεστων οσμών όπως το H₂S. Οι μικροοργανισμοί για να δρουν χρειάζονται οξυγόνο και η ρύθμισή του γίνεται με ανάδευση και αερισμό του σωρού των βιοαποβλήτων.

Περιεκτικότητα σε υγρασία/νερό/θερμοκρασία

Για τη μέγιστη αποτελεσματικότητα της μικροβιακής σταθεροποίησης απαιτείται επαρκής υγρασία στα στερεά απόβλητα. Το νερό απαιτείται και παράγεται από τις μικροβιακές δραστηριότητες. Ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας κομποστοποίησης είναι η απώλεια νερού, ως αποτέλεσμα της εξάτμισης καθώς η διαδικασία εξελίσσεται. Η υγρασία επηρεάζει επίσης το πορώδες και τη διαχυτικότητα των αερίων και απομακρύνεται μέσω της εξάτμισης (εξατμιστική ψύξη), όπως οδηγείται από τη μικροβιακή παραγωγή θερμότητας. Η περιεκτικότητα του κομπόστ σε υγρασία επηρεάζει τις δομικές ιδιότητες των υλικών, τις θερμικές ιδιότητες των υλικών καθώς και τον ρυθμό βιοαποδόμησης (Nakasaki et al., 2005).

Η θερμοκρασία του κομπόστ είναι συνάρτηση της συσσώρευσης της θερμότητας που παράγεται μεταβολικά και, ταυτόχρονα, η θερμοκρασία είναι καθοριστικός παράγοντας των μεταβολικών δραστηριοτήτων. Αποτελεί κρίσιμη μεταβλητή στη διαδικασία κομποστοποίησης και πολλές μελέτες έχουν ασχοληθεί με τη μεταφορά θερμότητας και μάζας στις διαδικασίες κομποστοποίησης (Nakasaki et al., 2005).

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η μεταβολή του C και του N αλλά και της θερμοκρασίας και του pH κατά τη διάρκεια των σταδίων της κομποστοποίησης.



Εικόνα 5: Μεταβολή παραμέτρων κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης (πηγή: Binner, 2003)

3.4 Φάσεις, τεχνικές και συστήματα Κομποστοποίησης

3.4.1 Φάσεις κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διαδικασία που περιλαμβάνει τις συνδυασμένες δραστηριότητες πολλών μεμονωμένων μικροοργανισμών. Θεωρούνται δύο κατηγορίες μικροοργανισμών όσον αφορά τις θερμοκρασίες στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν: οι μεσόφιλοι και οι θερμόφιλοι. Οι μεσόφιλοι είναι οργανισμοί που αναπτύσσονται βέλτιστα σε θερμοκρασίες από 20,0 έως 35,0 °C. Οι οργανισμοί που προσαρμόζονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 50,0 και 60,0°C είναι γνωστοί ως θερμόφιλοι. Μπορούν να ανεχθούν και να επιβιώσουν σε ελάχιστες θερμοκρασίες 30,0 έως 40,0°C και μέγιστες θερμοκρασίες 80,0 έως 90,0°C (Storino et al., 2017).

Τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ακτινομύκητες είναι τα τρία κύρια μικροβιακά είδη που σχετίζονται με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, η οποία μπορεί να

κατηγοριοποιηθεί σε εύκολα, μέτρια και πολύ ανθεκτική αποικοδομήσιμη ύλη. Διαφορετικές μικροβιακές κοινότητες επικρατούν σε διάφορα στάδια: μεσόφιλο, θερμόφιλο, ψύξη και σταθεροποίηση, της διαδικασίας κομποστοποίησης- κάθε μικροβιακή κοινότητα είναι προσαρμοσμένη σε έναν συγκεκριμένο τύπο οργανικού υλικού και περιβάλλοντος (Insam, Riddech & Klammer, 2013).

Οι φάσεις που διακρίνονται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης είναι:

- Η ψυχρόφιλος φάση. Οι ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί διασπών σε μικρό χρονικό διάστημα απλές ενώσεις με τη θερμοκρασία να έχει εύρος 15-35°C. Η θερμοκρασία σταδιακά αυξάνεται λόγω της δράσης των μικροοργανισμών που ελευθερώνουν θερμότητα.
- Η πρώτη μεσόφιλος φάση. Έχουμε ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας και οι μεσόφιλοι οργανισμοί που είναι βακτήρια διασπών απλά μόρια για διάστημα που ποικίλει από μερικές ώρες έως μερικές μέρες.
- Η θερμόφιλος φάση. Χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία 55-80°C. Στη συγκεκριμένη φάση όμως παρατηρείται σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας και του ρυθμού κομποστοποίησης. Σύμφωνα με τον Miller (1996), πάνω από τους 60°C οι μικροοργανισμοί ελαττώνουν την δράση τους και η σωρός πρέπει να αερίζεται ώστε να εισέρχεται συνεχώς οξυγόνο και να απομακρύνεται η θερμότητα για την αποφυγή του θανάτου των μικροοργανισμών.
- Η μεσόφιλος φάση. Οι μύκητες που δρουν σε αυτή την φάση διασπών πιο πολύπλοκα μόρια και η δράση τους διαρκεί από λίγες μέρες έως εβδομάδες.
- Τελικά, η προσφορά εύκολα αποσυντιθέμενων υλικών εξαντλείται και αρχίζει το στάδιο της ωρίμανσης. Στη φάση ωρίμανσης, το ποσοστό του υλικού που είναι ανθεκτικό αυξάνεται σταθερά και ο μικροβιακός πολλαπλασιασμός μειώνεται αντίστοιχα. Η θερμοκρασία αρχίζει μια αδυσώπητη πτώση, η οποία επιμένει μέχρι να επιτευχθεί η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο χρόνος που μεσολαβεί για την ωρίμανση είναι από 8 έως 12 εβδομάδες και το υλικό που προκύπτει είναι πλούσιο σε οργανική ουσία.

3.4.2 Η μικροβιολογία της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διαδικασία που περιλαμβάνει τις συνδυασμένες δραστηριότητες πολλών μεμονωμένων μικροοργανισμών. Θεωρούνται δύο κατηγορίες μικροοργανισμών όσον αφορά τις θερμοκρασίες στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν: οι μεσόφιλοι και οι θερμόφιλοι. Οι μεσόφιλοι είναι οργανισμοί που αναπτύσσονται βέλπιστα σε θερμοκρασίες από 20,0 έως 35,0 °C. Οι οργανισμοί που προσαρμόζονται καλύτερα σε θερμοκρασίες μεταξύ 50,0 και 60,0°C είναι γνωστοί ως θερμόφιλοι. Μπορούν να ανεχθούν και να επιβιώσουν σε ελάχιστες θερμοκρασίες 30,0 έως 40,0°C και μέγιστες θερμοκρασίες 80,0 έως 90,0°C (Storino et al., 2017).

Τα βακτήρια, οι μύκητες και οι ακτινομύκητες είναι τα τρία κύρια μικροβιακά είδη που σχετίζονται με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, η οποία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε εύκολα, μέτρια και πολύ ανθεκτική αποικοδομήσιμη ύλη. Τα βακτήρια αποτελούν την πλειοψηφία του πληθυσμού των μικροοργανισμών που δρουν κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης (άνω του 80%). Αποσυνθέτουν το μεγαλύτερο μέρος της οργανικής ύλης παράγοντας σε μεγάλο βαθμό θερμότητα κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης. Μεσοφιλικά βακτήρια εμφανίζονται στην αρχή της κομποστοποίησης (<40 °C) ενώ όσο η θερμοκρασία αυξάνεται εμφανίζονται τα θερμοφιλικά βακτήρια με κυρίαρχα αυτά του γένους *Bacillus*. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται, εμφανίζονται πάλι τα μεσοφιλικά βακτήρια.

Οι ακτινομύκητες διασπούν σύνθετες οργανικές ενώσεις όπως κυτταρίνες, λιγνίνες, χυτίνες και πρωτεΐνες. Τα ένζυμά τους βοηθούν στην διάσπαση σκληρών υλικών όπως στελέχη ξύλου, φλοιούς ή εφημερίδες. Μερικά από τα είδη εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της θερμοφιλικής φάσης και άλλα κατά τη διάρκεια της φάσης ωρίμανσης, όπου μόνο οι ιδιαίτερα ανθεκτικές ουσίες παραμένουν στα τελευταία στάδια παραγωγής του χούμου.

Οι μύκητες περιλαμβάνουν βλαστομύκητες και υφομύκητες. Παίζουν σημαντικό ρόλο στην κομποστοποίηση γιατί αποδομούν σκληρά υλικά, επιτρέποντας στα βακτήρια να συνεχίσουν τη διαδικασία της αποσύνθεσης όταν το μεγαλύτερο τμήμα της κυτταρίνης έχει εξαντληθεί. Εμφανίζονται τόσο στη μεσοφιλική όσο

και στη θερμοφιλική φάση και ζουν στο εξωτερικό στρώμα του κομπόστ όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές.

3.4.3 Συστήματα Κομποστοποίησης

Η επεξεργασία των βιοαποβλήτων με κομποστοποίηση οδήγησε στην δημιουργία δύο κυρίως συστημάτων. Το κύριο στοιχείο της διάκρισής τους είναι η παρουσία ή μη αντιδραστήρα (Haug, 1993) που τα χωρίζει σε κλειστού και ανοικτού τύπου (Stentiford, 1993; Szmudz and Fox, 2001). Στα κλειστά συστήματα με αντιδραστήρα το υλικό τοποθετείται σε δεξαμενή μέσα σε κλειστούς χώρους ή κτίρια ενώ στα ανοικτά το υπόστρωμα τοποθετείται σε επιμήκεις σωρούς σε ανοικτές υπαίθριες εγκαταστάσεις ή στεγασμένους χώρους.

Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος αερισμού, τα ανοικτά συστήματα χωρίζονται σε αναδευόμενους σωρούς χωρίς εξαναγκασμένο αερισμό και σε στατικούς σωρούς με εξαναγκασμένο αερισμό.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται τα δύο κύρια συστήματα κομποστοποίησης.

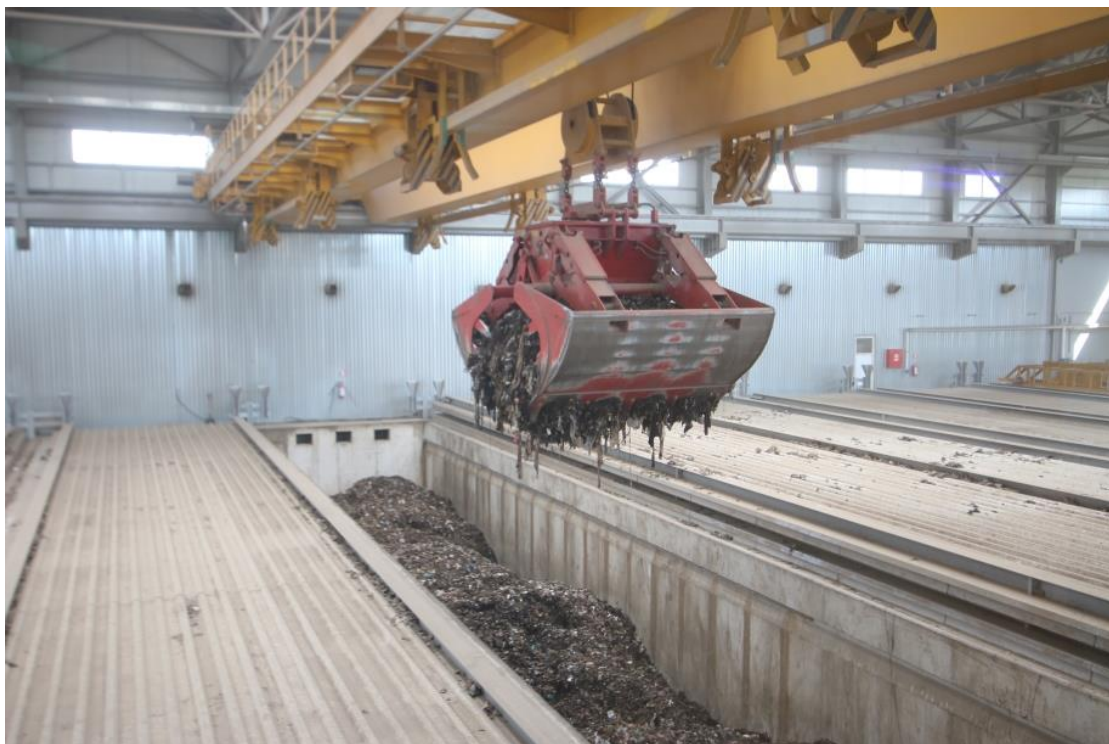
Ανοικτά Συστήματα (αναδευόμενοι και στατικοί σωροί)	Κλειστά συστήματα (βιοαντιδραστήρες σε κλειστά κτίρια)
Αναδευόμενοι σωροί (ο αερισμός της σωρού γίνεται με τη χρήση αναστροφέα ή φορτωτή)	Κάθετοι αντιδραστήρες <ul style="list-style-type: none"> • Συνεχούς ροής • Ασυνεχούς ροής
Στατικοί σωροί <ul style="list-style-type: none"> • Με απορρόφηση αέρα • Με εμφύσηση αέρα • Με μεταβαλλόμενο αερισμό (απορρόφηση και εμφύσηση) • Με εμφύσηση ή/και απορρόφηση αέρα σε συνδυασμό με έλεγχο θερμοκρασίας 	Οριζόντιοι αντιδραστήρες <ul style="list-style-type: none"> • Στατικοί • Με κίνηση του υλικού

Πίνακας 2: Συστήματα κομποστοποίησης. (ΕΠΠΕΡΡΑ, 2014)

Στις εικόνες 6 και 7 απεικονίζονται τα δύο συστήματα, ανοικτού και κλειστού τύπου.



Εικόνα 6: Ανοικτό Σύστημα Κομποστοποίησης (πηγή: Εταιρεία WATT ΑΕ)



Εικόνα 7: Κλειστό Σύστημα Κομποστοποίησης (πηγή: Εταιρεία ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ)

3.5 Τελικό προϊόν

3.5.1 Το κομπόστ ως τελικό προϊόν

Λόγω της μεγάλης ποσότητας οργανικών αποβλήτων στο περιβάλλον, η σωστή διαχείρισή τους και η εκμετάλλευση του παραγόμενου προϊόντος έχει καταστεί ένα από τα κύρια παγκόσμια ζητήματα. Μεταξύ των διαφόρων επεξεργασιών για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων, όπως η χρήση χώρων υγειονομικής ταφής και η αποτέφρωση, η αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων με τη χρήση βιολογικών διεργασιών θεωρείται ως καταλληλότερη μέθοδος επίλυσης.

Η κομποστοποίηση επιλέγεται σαν μέθοδος διαχείρισης των βιοαποβλήτων διότι προσφέρει πολλαπλά οφέλη στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Πρώτα απ' όλα με την διαδικασία της κομποστοποίησης παράγονται χρήσιμα προϊόντα όπως είναι το κομπόστ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό και οργανικό λίπασμα. Είναι μια μέθοδος που μέσα από φυσικές, βιολογικές διεργασίες των μικροοργανισμών που αποσυνθέτουν το οργανικό κλάσμα, επιστρέφει στην φύση ένα προϊόν που δεν επιφέρει καμία επίπτωση στο περιβάλλον.

Οι φυσικοχημικές παράμετροι που επηρεάζονται από αυτή τη διαδικασία περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, τον αερισμό, την περιεκτικότητα σε υγρασία, την αναλογία C:N και το pH (Nigussie, Kuypers & de Neergaard, 2015). Εκτός αυτού, τα χαρακτηριστικά του μικροβιακού πληθυσμού εξαρτώνται από το υπόστρωμα και τις φυσικές συνθήκες, δηλαδή την υγρασία, τη θερμοκρασία και τον αερισμό του χώρου όπου πραγματοποιείται η κομποστοποίηση. Η απόδοση της διαδικασίας κομποστοποίησης εξαρτάται επίσης από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, διότι η κομποστοποίηση είναι κατάλληλη μόνο για απόβλητα που είναι βιοαποικοδομήσιμα. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που μπορούν να προκύψουν από την κομποστοποίηση, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του όγκου, του βάρους και της περιεκτικότητας των αποβλήτων σε νερό, καθώς και της παραγωγής ανενεργών παθογόνων οργανισμών (Diacono et al., 2019).

Ως εκ τούτου, το κομπόστ μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της περιεκτικότητας του εδάφους και των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για τη συγκομιδή των φυτών και θα μειώσει σημαντικά τη χρήση συνθετικών λιπασμάτων. Η εφαρμογή του κομπόστ μπορεί να βελτιώσει τις ιδιότητες του εδάφους που έχουν μεγάλη ανάγκη ανανέωσης, καθώς μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα. Εν τω μεταξύ, το κομπόστ δρα επίσης ως εδαφική παρέμβαση στη βελτίωση της δομής του εδάφους, του ρυθμού διήθησης του νερού και της ικανότητας συγκράτησης νερού από το έδαφος (Nigussie, Kuypers & de Neergaard, 2015).

Το κομπόστ που παράγεται από την διαδικασία της κομποστοποίησης πρέπει να ακολουθεί κάποιες προδιαγραφές για να αποκαλείται προϊόν και σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΕ αυτές είναι:

- Το προϊόν να διακινείται για συγκεκριμένους σκοπούς
- Να υπάρχει ζήτηση από τους καταναλωτές για το συγκεκριμένο προϊόν
- Να ακολουθούνται οι κανονισμοί και να πληροί τα κριτήρια που έχουν διαμορφωθεί από την νομοθεσία
- Να μην επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον ή στους καταναλωτές

3.5.2 Χρήσεις και Εφαρμογές Κομπόστ

Το τελικό προϊόν κομπόστ μπορεί να συμβάλει στην βελτίωση του εδάφους και δύναται να μειώσει την χρήση συνθετικών λιπασμάτων. Με τη χρήση του βελτιώνονται οι φυσικές, βιολογικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους αυξάνοντας την οργανική ύλη και προσφέροντας θρεπτικά συστατικά. Επίσης μειώνει τη διάβρωση του εδάφους και βελτιώνει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό. Αυτό είναι πολύ σημαντικό και για τις περιοχές με ξηρασία. Επίσης, συμβάλει στην αύξηση του pH ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη και βελτιώνει την δομή και τη βιολογική δραστηριότητα του εδάφους.

Άρα, το κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία και τη φυτοκομία ως εδαφοβελτιωτικό, οργανικό λίπασμα και υπόστρωμα, δηλαδή ως φυτόχωμα για την ανάπτυξη φυτών. Είναι σημαντικό να εμφανίζει υψηλές προδιαγραφές

όπως είναι οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη κ.α. ειδικά στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες με βρώσιμα λαχανικά και φρούτα.

Μετά από ανάμιξη του κομπόστ με εδαφικό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση εδαφών και την διαμόρφωση τοπίων που δεν προορίζονται για καλλιέργεια αλλά για χώρους αναψυχής όπως γήπεδα και πάρκα.

Άλλη μια χρήση είναι ως επίστρωση/επικάλυψη σε ΧΥΤΑ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να εμφανίζει χαμηλότερη ποιότητα αλλά σε κάποιες προδιαγραφές θα πρέπει να πληρούνται οι οριακές τιμές. Μια ακόμα περίπτωση χρήσης του κομπόστ είναι σε μονάδες επεξεργασίες αποβλήτων ως βιόφιλτρο.

3.5.3 Προτεινόμενα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Κομπόστ

Όσον αφορά τις ποιοτικές προδιαγραφές του κομπόστ πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει ακόμα νομοθεσία σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έτσι παρατηρούνται διακυμάνσεις από χώρα σε χώρα. Κοινός παρονομαστής όμως σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες είναι η προστασία του εδάφους και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος και της υγείας των πολιτών από την χρήση του τελικού προϊόντος.

Σύμφωνα με την πρόταση Κριτηρίων Αποχαρακτηρισμού αποβλήτων του άρθρου 7 του ν.4042/2012, τα προτεινόμενα κριτήρια που πρέπει να τηρούνται κατά την παραγωγή του κομπόστ είναι:

- Η ελάχιστη ποσότητα σε οργανική ύλη
- Σταθερότητα του υλικού
- Η περιεκτικότητα σε παθογόνους μικροοργανισμούς
- Ποσότητα βιώσιμων σπόρων ζιζανίων
- Μακροσκοπικές προσμίξεις
- Τιμές βαρέων μετάλλων
- Οργανικοί ρύποι

Συγκεκριμένα για τα βαρέα μέταλλα οι ελάχιστες τιμές παρατίθενται στον πίνακα 3. Σημειώνεται ότι οι τιμές αυτές δεν είναι δεσμευτικές καθώς αποτελούν πρόταση και δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί σε ευρωπαϊκό κανονισμό.

Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων και οργανικών ρυπαντών	mg/kg (ξηρό βάρος)
Cd	1.5
Cr	100
Cu	200
Hg	1
Ni	50
Pb	120
Zn	600
PAH ₁₆	6

Πίνακας 3: Ενδεικτικές τιμές βαρέων μετάλλων του κομπόστ (IPTS, 2014)

4. Εθνικό Θεσμικό πλαίσιο Διαχείρισης Βιοαποβλήτων

Το κανονιστικό πλαίσιο για τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα περιλαμβάνει διάφορα νομοθετήματα που βασίζονται στο δίκαιο της ΕΕ. Ο κύριος μοχλός ήταν η οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, η οποία μεταφέρθηκε στην ελληνική νομοθεσία με τον νόμο 4042/2012 για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, ένας σημαντικός αριθμός Οδηγιών και Αποφάσεων που ρυθμίζουν συγκεκριμένα προβλήματα στη διαχείριση των αποβλήτων έχουν εκδοθεί σε εθνικό επίπεδο. Πρόσφατα, ο νόμος 4685/2020 για τον εκσυγχρονισμό της περιβαλλοντικής νομοθεσίας ενσωμάτωσε στην ελληνική νομοθεσία, τις Οδηγίες (ΕΕ) 2018/844 και 2019/692.

Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, ο νόμος 4685/2020 προβλέπει το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), το οποίο εγκρίνεται από το Υπουργικό Συμβούλιο, μετά από πρόταση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Καθορίζει τη στρατηγική, τις πολιτικές και τους στόχους για τη διαχείριση των αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο. Η σύνταξη Σχεδίων Διαχείρισης αποτελεί υποχρέωση των κρατών μελών της ΕΕ και απορρέει από το άρθρο 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, όπως ενσωματώθηκαν στο εθνικό δίκαιο με το Ν. 4042/2012. Το ΕΣΔΑ αφορά περίοδο δέκα ετών και αξιολογείται κάθε πέντε χρόνια και εφόσον απαιτείται αναθεωρείται, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο ν. 4685/2020 (Α' 92). Το νέο ΕΣΔΑ ισχύει για την περίοδο εφαρμογής 2020-2030 και έχει συνταχθεί σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 1 του ν. 22 και 35 του νόμου 4042/2012, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 22 του ν. 4042/2012. 83 του Ν. 4685/2020.

Το νέο εθνικό σχέδιο για τη διαχείριση των αποβλήτων προσανατολίζεται στους ακόλουθους στόχους:

- Η μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που θάβονται σε χώρους υγειονομικής ταφής σε ποσοστό κάτω του 10% έως το 2030.
- Η εφαρμογή της χωριστής συλλογής για τα απορρίμματα και τα βιοαπόβλητα.

- Ανάπτυξη δικτύου συλλογής οργανικών αποβλήτων (κάδος καφέ) μέχρι το τέλος του 2022.
- Η ανάκτηση ενέργειας από την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων (βιομάζα) καθώς και η παραγωγή δευτερογενών υλικών (κομπόστ).
- Η κατασκευή και λειτουργία Μονάδων Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) και Μονάδων Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων (ΜΕΒ).

Σύμφωνα με το άρθρο 41 του Ν. 4042/2012, όπως αντικαταστάθηκε με την παρ. 2 του άρθρου 84 του Ν. 4685/2020, ορίζει ότι από τις 31 Δεκεμβρίου 2022, θα γίνεται χωριστή συλλογή των βιοαποβλήτων και δεν θα αναμειγνύονται με τα σύμμεικτα απορρίμματα ή θα διαχωρίζονται και θα ανακυκλώνονται απευθείας στην πηγή.

Συγκεκριμένα, για το ρεύμα το βιοαποβλήτων προβλέπεται τα απόβλητα να οδηγούνται σε Μονάδες Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων (ΜΕΒΑ). Για την αποδοτικότερη συλλογή διακριτών ρευμάτων ανακυκλώσιμων υλικών καθίσταται σημαντική η διεύρυνση και η καθιέρωση δικτύου συλλογής και σύγχρονων μονάδων επεξεργασίας. Σημαντική ποσότητα όμως καθαρών επιμέρους υλικών μπορεί να προσφέρει και η οικιακή κομποστοποίηση (Ανδρεόπουλος, 2021)

Στο πλαίσιο του νέου εθνικού σχεδίου, επισημαίνονται επίσης οι αρμοδιότητες διαχείρισης αποβλήτων για τους παραγωγούς συσκευασιών και τους παραγωγούς ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΗΗΕ), ενώ προβλέπεται και η δημιουργία νέων συστημάτων διευρυμένης ευθύνης για τους παραγωγούς συγκεκριμένων κατηγοριών αστικών αποβλήτων, όπως έπιπλα, στρώματα, απόβλητα θερμοκηπίων και άλλα.

Επιπλέον, εκδόθηκε η υπ' αριθμ. 99398/6484 (ΦΕΚ 4656 Β'/2020) υπουργική απόφαση σχετικά με την "Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες, σύμφωνα με το άρθρο 1 παρ. 4 του ν. 4014/2011". Βάσει της εν λόγω απόφασης, οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας (ανάκτησης και διάθεσης) αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) ανυψώνονται από την υποκατηγορία Α2 (έργα και δραστηριότητες που ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον) στην

υποκατηγορία Α1 (έργα και δραστηριότητες που ενδέχεται να προκαλέσουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον).

Η υπουργική απόφαση συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός ενιαίου και αυστηρότερου νομοθετικού πλαισίου όσον αφορά την περιβαλλοντική αδειοδότηση των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Αποβλήτων, ενώ ταυτόχρονα προβλέπει τη συντόμευση των σχετικών διαδικασιών και εγγυάται υψηλό επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος.

Σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη των υποδομών διαχείρισης αποβλήτων, σημειώνεται ότι το Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων Δυτικής Μακεδονίας (ΟΣΔΑ), -που αποτελεί την πρώτη Σύμπραξη Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ) στη Διαχείριση Απορριμμάτων στην Ελλάδα-, αναμένεται να δημοπρατηθεί, μετά από απόφαση της εκτελεστικής επιτροπής του Περιφερειακού Συνδέσμου Φορέων Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Κεντρικής Μακεδονίας (ΦΟΔΣΑ) τον Μάιο του 2021. Επιπλέον, εντός του 2021 αναμένεται να διενεργηθούν επιπλέον διαγωνισμοί για νέες εγκαταστάσεις επεξεργασίας απορριμμάτων και βιοαποβλήτων στην Αττική.

5. Συγκριτική ανάλυση Διαχείρισης Απορριμμάτων με Κομποστοποίηση σε σχέση με την Αναερόβια Επεξεργασία, Θερμική Επεξεργασία και Υγειονομική Ταφή

5.1 Αερόβια Επεξεργασία ή Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι μια ελεγχόμενη, αερόβια (απαιτούμενο οξυγόνο) διαδικασία που μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε πλούσιο με θρεπτικά συστατικά εδαφοβελτιωτικό ή εδαφοκάλυμμα μέσω φυσικής αποσύνθεσης. Το τελικό προϊόν είναι το κομπόστ, ένα σκούρο, εύθρυπτο, με γήινη μυρωδιά υλικό. Οι μικροοργανισμοί τρέφονται με τα υλικά που προστίθενται στο σωρό κομπόστ κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κομποστοποίησης. Χρησιμοποιούν άνθρακα και άζωτο για να αναπτυχθούν και να αναπαραχθούν, νερό για να χωνέψουν τα υλικά και οξυγόνο για να αναπνεύσουν (Colón et al., 2010).

Η κομποστοποίηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και στο σπίτι χρησιμοποιώντας υπολείμματα τροφίμων από την κουζίνα και ξηρά φύλλα και ξυλώδη υλικά από την αυλή.

Η κομποστοποίηση είναι ο τρόπος ανακύκλωσης της φύσης. Είναι μία από τις πιο ισχυρές ενέργειες που μπορεί να γίνει για να μειωθούν τα σκουπίδια, να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή και να δημιουργηθεί υγιές έδαφος. Μετατρέποντας τα υπολείμματα τροφίμων και τα κλαδέματα της αυλής σε κομπόστ, υπάρχει η δυνατότητα να μετατραπούν τα ρεύματα αποβλήτων σε ένα ευεργετικό, προστιθέμενης αξίας εδαφοβελτιωτικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία του περιβάλλοντος και τη δημιουργία ανθεκτικών κοινοτήτων (Vázquez & Soto, 2017):

- Η κομποστοποίηση είναι ένας πολυμήχανος τρόπος για να ανακυκλωθούν τα υπολείμματα τροφίμων και τα κλαδέματα της αυλής που παράγονται στο σπίτι όλο το χρόνο και να διαχειρίζονται τα απορρίμματα με πιο βιώσιμο τρόπο.
- Μειώνεται ο όγκος των υλικών (φύλλα, κομμένο γρασίδι, κλαδέματα κήπου και υπολείμματα τροφίμων) που διαφορετικά θα απορρίπτονταν σε χώρους

υγειονομικής ταφής ή σε αποτεφρωτήρες σκουπιδιών, αποτρέποντας με αυτό τον τρόπο την εκπομπή ισχυρών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

- Η κομποστοποίηση απαιτεί ελάχιστη προσπάθεια, εξοπλισμό, έξοδα και τεχνογνωσία και μπορεί να είναι διασκεδαστική.
- Γίνεται εξοικονόμηση χρημάτων με την παραγωγή ενός δωρεάν, υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού - του κομπόστ, το οποίο μειώνει τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.
- Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του κομπόστ για να δημιουργηθεί υγιέστερο έδαφος, να αποτραπεί η διάβρωση του εδάφους, να γίνεται εξοικονόμηση νερού και να βελτιωθεί η ανάπτυξη των φυτών στον κήπο και την αυλή.

Οικιακή Κομποστοποίηση

Η οικιακή κομποστοποίηση στοχεύει στην συλλογή και διαχείριση των υλικών που περιέχουν οργανικό κλάσμα και προέρχονται από την ετοιμασία φαγητού στις οικίες όπως είναι φλούδες από λαχανικά και φρούτα. Επίσης, υλικά για κομποστοποίηση μπορούν να αποτελέσουν και τα πράσινα απορρίμματα που προέρχονται από τους κήπους των σπιτιών και περιλαμβάνουν κλαδέματα, γρασίδι, φύλλα και φλοιούς δέντρων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την κομποστοποίηση στο σπίτι:

- Να υπάρχει ένας κάδος κομποστοποίησης στο σπίτι.
- Βερμικό κομποστοποίηση (κομποστοποίηση με σκουλήκια) με κάδο.

Αν δεν υπάρχει εξωτερικός χώρος για κομποστοποίηση, υπάρχει η δυνατότητα συμμετοχής σε ένα τοπικό πρόγραμμα κομποστοποίησης με βάση την κοινότητα, το οποίο μπορεί να συλλέγει τα υπολείμματα τροφίμων ή να έχει μια καθορισμένη τοποθεσία όπου υπάρχει η δυνατότητα παράδοσης. Εναλλακτικά, η βερμικοκομποστοποίηση μπορεί να γίνει σε εσωτερικό χώρο (Barrena et al., 2014).

Η οικιακή κομποστοποίηση, ωστόσο, απαιτεί από τους ανθρώπους να έχουν κάποιες γνώσεις ορθής πρακτικής κομποστοποίησης, ώστε να αποφεύγονται

οι περιττές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να διασφαλίζεται η καλή ποιότητα του κομπόστ.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μπορεί να εκπέμπονται οσμές και αέρια του θερμοκηπίου (π.χ. μεθάνιο, οξείδιο του αζώτου), εάν δεν γίνεται καλή διαχείριση (Colón et al., 2012). Για λόγους υγιεινής, τα ζωικά απόβλητα τροφίμων θα πρέπει, ωστόσο, να αποκλείονται από την οικιακή κομποστοποίηση (π.χ. τα ζωικά απόβλητα τροφίμων αποτελούν το 21 % των αποβλήτων τροφίμων στη Δανία (Edjabou et al., 2018)).

Κομποστοποίηση στην αυλή του σπιτιού

Συστατικά για κομποστοποίηση

Τα συστατικά για την κομποστοποίηση περιλαμβάνουν την κατάλληλη ισορροπία των ακόλουθων υλικών (Colón et al., 2010):

- Υλικά πλούσια σε άνθρακα ("καφέ") μπορούν να περιλαμβάνουν ξηρά φύλλα, στελέχη φυτών και κλαδιά. Τα υλικά πλούσια σε άνθρακα παρέχουν τροφή στους μικροοργανισμούς για να καταναλώσουν και να χωνέψουν.
- Υλικά πλούσια σε άζωτο ("πράσινα") περιλαμβάνουν τα κομμένα χόρτα και τα υπολείμματα τροφών. Τα πλούσια σε άζωτο υλικά θερμαίνουν το σωρό για να δημιουργήσουν ιδανικές συνθήκες για τη διάσπαση του υλικού.
- Νερό (υγρασία).
- Αέρας (οξυγόνο).

5.2 Αναερόβια χώνευση

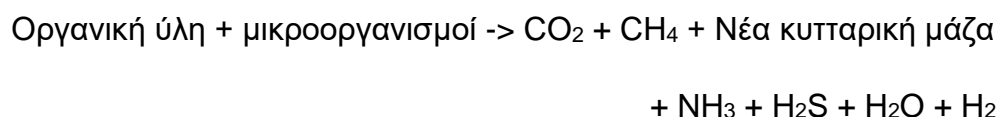
Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας βακτήρια διασπούν οργανική ύλη -όπως ζωική κοπριά, βιοστερεά απόβλητα και απόβλητα τροφίμων- απουσία οξυγόνου. Η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου λαμβάνει χώρα σε ένα σφραγισμένο δοχείο που ονομάζεται αντιδραστήρας, ο οποίος σχεδιάζεται και κατασκευάζεται σε διάφορα σχήματα

και μεγέθη ανάλογα με την τοποθεσία και τις συνθήκες της πρώτης ύλης. Αυτοί οι αντιδραστήρες περιέχουν πολύπλοκες μικροβιακές κοινότητες που διασπούν (ή χωνεύουν) τα απόβλητα και παράγουν βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα (τα στερεά και υγρά υλικά τελικά προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης), τα οποία απορρίπτονται από τον χωνευτήρα (Meegoda, Li, Patel & Wang, 2018).

Πολλαπλά οργανικά υλικά μπορούν να συνδυαστούν σε έναν χωνευτή, μια πρακτική που ονομάζεται συγχώνευση. Τα υλικά που συγχωνεύονται περιλαμβάνουν κοπριά, απόβλητα τροφίμων (δηλαδή υλικά που παράγονται από την επεξεργασία, τη διανομή και τους καταναλωτές), ενεργειακές καλλιέργειες, υπολείμματα καλλιεργειών, λίπη, έλαια και λίπη (fats, oils, and greases - FOG) από λιποσυλλέκτες εστιατορίων και πολλές άλλες πηγές. Η συγχώνευση μπορεί να αυξήσει την παραγωγή βιοαερίου από οργανικά απόβλητα χαμηλής απόδοσης ή δύσκολα χωνεύσιμα (Meegoda, Li, Patel & Wang, 2018).

Η κύρια διαφορά της αναερόβιας χώνευσης από την κομποστοποίηση είναι η απουσία οξυγόνου. Στην περίπτωση που υπάρχει οξυγόνο κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης διεργασίας μπορεί να σταματήσει η διαδικασία.

Η συνολική αντίδραση της αναερόβιας χώνευσης είναι (Νταρακάς, 2014):



Εκροές αναερόβιου χωνευτή

Η αναερόβια χώνευση παράγει δύο πολύτιμες εκροές: βιοαέριο και χωνεμένο υπόλειμμα.

Βιοαέριο

Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή θερμότητας, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την τροφοδοσία συστημάτων ψύξης.

Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) σε σχετικά υψηλό ποσοστό (50 έως 75 %), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), υδρόθειο (H_2S), υδρατμούς και ίχνη άλλων αερίων. Από την περαιτέρω επεξεργασία του βιοαερίου με την απομάκρυνση αδρανών συστατικών, μπορεί να προκύψει ανανεώσιμο φυσικό αέριο (renewable natural gas - RNG) το οποίο μπορεί να διατεθεί στο σύστημα φυσικού αερίου ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για μεταφορές. (Kougiaris, & Angelidaki, 2018).

Χωνεμένο υλικό

Το χωνεμένο υλικό είναι το υπολείμματικό υλικό που απομένει μετά τη διαδικασία χώνευσης. Αποτελείται από υγρά και στερεά τμήματα. Αυτά συχνά διαχωρίζονται και αντιμετωπίζονται ανεξάρτητα, καθώς το καθένα έχει αξία που μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους βαθμούς μεταγενέστερης επεξεργασίας (Adekunle & Okolie, 2015).

Με την κατάλληλη επεξεργασία, τόσο το στερεό όσο και το υγρό τμήμα του χωνεμένου υπολείμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές ευεργετικές εφαρμογές, όπως ως στρωμνή για ζώα (στερεά), λίπασμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά (υγρά και στερεά), υλικό βάσης για προϊόντα βιολογικής βάσης (π.χ. βιοπλαστικά), κομπόστ πλούσιο σε οργανικά συστατικά (στερεά) ή/και απλά ως εδαφοβελτιωτικό (στερεά), στην τελευταία περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη γεωργική εκμετάλλευση η διασπορά του χωνεμένου υπολείμματος στο χωράφι ως λίπασμα. Τα προϊόντα χωνεμένου υγρού μπορούν να αποτελέσουν πηγή εσόδων ή εξοικονόμησης κόστους και συχνά επιδιώκεται η αύξηση του οικονομικού και καθαρού περιβαλλοντικού οφέλους ενός έργου αναερόβιας χώνευσης/βιοαερίου (Romero-Güiza et al., 2016).

5.3 Θερμική Επεξεργασία

Θερμική επεξεργασία είναι κάθε τεχνολογία επεξεργασίας αποβλήτων που περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες κατά την επεξεργασία των πρώτων υλών αποβλήτων. Η θερμική επεξεργασία είναι μια λύση για την επεξεργασία μη

ανακυκλώσιμων και μη επαναχρησιμοποιήσιμων αποβλήτων με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον και την οικονομία. Η θερμική επεξεργασία μειώνει τον όγκο και τη μάζα των αποβλήτων και αδρανοποιεί τα επικίνδυνα συστατικά, ενώ ταυτόχρονα παράγει θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια και ελαχιστοποιεί τις εκπομπές ρύπων στον αέρα και το νερό (Meegoda, Li, Patel & Wang, 2018).

Οι βασικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας είναι οι εξής:

- Καύση με στοιχειομετρική ποσότητα ή με περίσσεια οξυγόνου (αποτέφρωση ή πλήρης καύση)
- Πυρόλυση
- Αεριοποίηση

Η θερμική επεξεργασία περιλαμβάνει την εφαρμογή θερμότητας για την επεξεργασία και αποσύνθεση των υλικών αποβλήτων μέσω διαφόρων προσεγγίσεων. Η ανοικτή καύση είναι η κύρια μέθοδος θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων, αλλά θεωρείται περιβαλλοντικά επεμβατική διαδικασία. Στην ανοικτή καύση δεν χρησιμοποιούνται συσκευές ελέγχου της ρύπανσης, επιτρέποντας τη διαφυγή ρύπων στο περιβάλλον. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις περισσότερες χώρες, δεδομένου ότι παρέχει μια φθηνότερη λύση για την επεξεργασία στερεών αποβλήτων (Meegoda, Li, Patel & Wang, 2018).

Στην διαδικασία της καύσης αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τις τιμές των 850 έως 1500 °C. Στόχος της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών παρουσία οξυγόνου που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του όγκου που προορίζεται για διάθεση σε ΧΥΤΑ. Τα προϊόντα της καύσης είναι αέριες ενώσεις (διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, όξινα αέρια κ.α.) τα οποία πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία πριν την έκλυσή τους στην ατμόσφαιρα και στερεά υπολείμματα (τέφρα).

Σε περίπτωση ανεπάρκειας του οξυγόνου οδηγούμαστε σε ατελή καύση και παράγεται το αέριο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) το οποίο είναι επιβλαβές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έτσι είναι πολύ σημαντικό για την αποφυγή ατελούς καύσης, να υπάρχει συνεχώς επάρκεια οξυγόνου, να γίνεται διαρκής απομάκρυνση των απαερίων και των υπολειμμάτων της καύσης.

Συμπερασματικά, η μέθοδος της καύσης λόγω αυτών των επιβλαβών προϊόντων που προκύπτουν, την καθιστούν ως μια ρυπογόνο και μη επιθυμητή επιλογή για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων. Επίσης, πρόκειται για μια μέθοδο με αυξημένο κόστος λειτουργίας διότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και το κόστος λειτουργίας των δευτερευόντων μονάδων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των παραγόμενων αερίων και στερών υπολειμμάτων. Επίσης, οι τεράστιες ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται κατά την καύση συμβάλλουν στο μεγάλο πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Η πυρόλυση διασπά τις οργανικές ενώσεις απουσία οξυγόνου. Επίσης η θερμοκρασία λειτουργίας είναι χαμηλότερη σε σχέση με την καύση. Τα προϊόντα πυρόλυσης είναι στερεά, υγρά και αέρια. Τα αέρια αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο, μεθάνιο, CO, CO₂ ενώ τα στερεά περιέχουν σχεδόν καθαρό άνθρακα.

Η Αεριοποίηση είναι μια ενδόθερμη θερμική διεργασία από την οποία το οργανικό κλάσμα μετατρέπεται σε μίγμα αερίων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως σε μηχανές εσωτερικής καύσης, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στη βιομηχανία και στο δίκτυο αερίου των πόλεων.

5.4 Υγειονομική Ταφή

Στην υγειονομική ταφή τα απορρίμματα που προορίζονται για διάθεση σε ΧΥΤΑ, απλώνονται σε στρώσεις που φτάνουν το ύψος των 2-3 m, συμπιέζονται και τέλος καλύπτονται με ένα αδρανές υλικό.

Σύμφωνα με την ιεράρχηση των αποβλήτων της ΕΕ, η υγειονομική ταφή είναι η λιγότερο προτιμητέα επιλογή και πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό.

Το 2018, το 24% του συνόλου των αστικών αποβλήτων που παράγονται στην ΕΕ αποτέθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αυτό μπορεί να έχει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η παραγωγή στραγγισμάτων μπορεί να μολύνει τα υπόγεια ύδατα ενώ παράγεται μεθάνιο. Επιπλέον, όταν τα ανακυκλώσιμα απόβλητα οδηγούνται σε χώρους

υγειονομικής ταφής, χάνονται άσκοπα υλικά από την κυκλική οικονομία (Vaverkonά, 2019).

Αν και η ταφή αποτελεί την τελευταία επιλογή στην αρχή της ιεράρχησης των αποβλήτων, στην Ελλάδα εξακολουθεί να αποτελεί την κυρίαρχη επιλογή διαχείρισης με τα ποσοστά της ακόμα και σήμερα να πλησιάζουν το 80%.

Η απόθεση των βιοαποβλήτων στους ΧΥΤΑ επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τον άνθρωπο. Κάποιες από αυτές είναι:

- Έκκλιση μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα (CH₄ και CO₂) τα οποία είναι τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου
- Δημιουργία δυσάρεστων οσμών και εμφάνιση διαφόρων ζωικών ειδών όπως ποντίκια, έντομα τα οποία συντελούν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος
- Μετά από έντονες βροχοπτώσεις υπάρχει ο κίνδυνος δημιουργίας στραγγισμάτων τα οποία μπορούν να μολύνουν το έδαφος και τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (Λάλας, κ.α., 2007).
- Δέσμευση πόρων και γης η οποία μπορεί να ισχύει μακροπρόθεσμα λόγω της ρύπανσης του εδάφους, ακόμα και μετά το κλείσιμο ή την μεταφορά του ΧΥΤΑ σε άλλη περιοχή.

Ιστορικό

Η οδηγία για την υγειονομική ταφή καθορίζει αυστηρές λειτουργικές απαιτήσεις για τους χώρους υγειονομικής ταφής με στόχο την προστασία τόσο της ανθρώπινης υγείας όσο και του περιβάλλοντος (Crawford & Smith, 2016).

Για να στηρίξει τη μετάβαση της ΕΕ στην κυκλική οικονομία, η οδηγία για την υγειονομική ταφή (Crawford & Smith, 2016):

- Εισάγει περιορισμούς στην υγειονομική ταφή όλων των αποβλήτων που είναι κατάλληλα για ανακύκλωση ή άλλη ανάκτηση υλικών ή ενέργειας από το 2030.
- Περιορίζει το μερίδιο των δημοτικών αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής στο 10% έως το 2035.

- Εισάγει κανόνες για τον υπολογισμό της επίτευξης των στόχων για τα αστικά απόβλητα και απαιτεί από τις χώρες της ΕΕ να θέσουν σε εφαρμογή ένα αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου της ποιότητας και ιχνηλασιμότητας για τα αστικά απόβλητα που εναποτίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Απαιτεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μαζί με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, να συντάσσει εκθέσεις έγκαιρης προειδοποίησης 3 χρόνια πριν από κάθε προθεσμία για να εντοπίζει τις ελλείψεις στην επίτευξη των στόχων και να συνιστά τη λήψη μέτρων.
- Επιτρέπει στις χώρες της ΕΕ να χρησιμοποιούν οικονομικά μέσα και άλλα μέτρα για να ενθαρρύνουν την εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων.

Οι χώροι υγειονομικής ταφής χωρίζονται σε:

- Χώροι υγειονομικής ταφής επικίνδυνων αποβλήτων
- Χώροι υγειονομικής ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων
- Χώροι υγειονομικής ταφής αδρανών αποβλήτων

Η οδηγία καθορίζει συγκεκριμένες λειτουργικές απαιτήσεις, όπως η αδειοδότηση, η αποδοχή αποβλήτων, οι τεχνικές απαιτήσεις στη φάση της λειτουργίας και της μεταγενέστερης φροντίδας και η υποβολή εκθέσεων (Crawford & Smith, 2016):

- Οι χώρες της ΕΕ πρέπει να εφαρμόσουν εθνικές στρατηγικές για τη σταδιακή μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής ταφής δεν μπορούν να δέχονται μεταχειρισμένα ελαστικά ή απόβλητα που είναι υγρά, εύφλεκτα, εκρηκτικά ή διαβρωτικά, ή από νοσοκομεία και ιατρικά και κτηνιατρικά ιατρεία.
- Μόνο τα επεξεργασμένα απόβλητα μπορούν να αποτεθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Οι εθνικές αρχές πρέπει να διασφαλίζουν ότι η τιμή που χρεώνουν οι φορείς εκμετάλλευσης για τη διάθεση των αποβλήτων καλύπτει όλες τις δαπάνες από το άνοιγμα έως το οριστικό κλείσιμο του χώρου.

Στόχοι

Η οδηγία για την υγειονομική ταφή αποσκοπεί στην προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Ειδικότερα, αποσκοπεί στην πρόληψη ή στη μείωση, στο μέτρο του δυνατού, των αρνητικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής στα επιφανειακά ύδατα, τα υπόγεια ύδατα, το έδαφος, τον αέρα και την ανθρώπινη υγεία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη θέσπιση αυστηρών λειτουργικών και τεχνικών απαιτήσεων (Ali et al., 2015).

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι καταλληλότερες μέθοδοι επεξεργασίας των βιοαποβλήτων από οικονομικής και περιβαλλοντικής πλευράς είναι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Συγκεκριμένα, για την κομποστοποίηση συμπεραίνουμε πως πρόκειται για μια επωφελή μέθοδο, αφού τα βιοαπόβλητα αποσυντίθενται και δίνουν ένα σταθερό προϊόν χιουμοποίησης, το κομπόστ, το οποίο με την χρήση του συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας του εδάφους χωρίς να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντίστοιχα, και η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης θεωρείται επωφελής, καθώς έχουμε την παραγωγή του βιοαερίου το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αλλά και με περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να μας δώσει ένα υλικό τύπου κομπόστ. Αντιθέτως, η καύση αποτελεί μια μέθοδο η οποία δεν επιλέγεται διότι ναι μεν συμβάλλει στην ανάκτηση ενέργειας μέσω της παραγωγής βιοαερίου αλλά παρουσιάζει αρκετές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τέλος, η υγειονομική ταφή θα πρέπει να αποφεύγεται λόγω των επιβλαβών επιπτώσεων για το περιβάλλον και τον άνθρωπο αλλά και της δέσμευσης πόρων και γης.

6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις Μονάδων Κομποστοποίησης

6.1 Εισαγωγή

Σε όλα τα στάδια λειτουργίας μιας μονάδας κομποστοποίησης είναι πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα με δυσμενείς επιπτώσεις για το περιβάλλον. Με την πρόληψη και τα κατάλληλα μέτρα όμως μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά.

Αυτές οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να οφείλονται σε λειτουργικά προβλήματα της μονάδας όπως ο λάθος σχεδιασμός, η λάθος διαχείριση των προβλημάτων που προκύπτουν, η έλλειψη προσωπικού και καθαριότητας.

6.2 Οσμές

Το συνηθέστερο και πιο σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται κατά τη λειτουργία μιας μονάδας είναι οι οσμές που εκλύονται σχεδόν σε όλα τα στάδια κομποστοποίησης.

Οι οσμές γίνονται αντιληπτές από τους πολίτες και σε μικρές συγκεντρώσεις και προέρχονται από τα εισερχόμενα υλικά, από την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων αλλά και όταν υφίστανται αναερόβιες συνθήκες.

Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν τρόποι πρόληψης και αντιμετώπισής τους. Κατά την υποδοχή των απορριμμάτων στην μονάδα θα πρέπει να γίνεται άμεση επεξεργασία των εισερχομένων υλικών και σε περιπτώσεις προσωρινής αποθήκευσης θα πρέπει να γίνεται ανάμιξη των αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και υγρασία (π.χ. υπολείμματα τροφίμων) με υλικό δομής και κάλυψή τους με υλικό δομής. Επίσης, θα πρέπει να γίνεται άμεση απομάκρυνση των διαχωρισθέντων προσμίξεων προς ταφή ώστε να μειώνεται όσο το δυνατόν ο χρόνος παραμονής τους στη μονάδα.

Κατά το στάδιο της κομποστοποίησης (ενεργή βιοαποδόμηση) η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται συνεχώς με συχνές αναστροφές του σωρού ώστε να μην αυξηθεί πέρα από τις επιθυμητές τιμές. Επίσης, η αναστροφή του σωρού πρέπει να γίνεται με κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. διεύθυνση ανέμου) ιδιαίτερα στην περίπτωση που σε κοντινή απόσταση υπάρχουν ευαίσθητοι αποδέκτες. Ένα ακόμη μέτρο είναι η κάλυψη με ημιπερατές μεμβράνες για να αποφεύγεται η υπερβολική είσοδος του νερού. Τέλος, μείωση του μεγέθους σωρού για την καλύτερη διάχυση του αέρα στη μάζα του υλικού και προσθήκη υλικού δομής όταν το πορώδες δεν είναι ικανοποιητικό.

Τα συστήματα εμφύσησης του αέρα θα πρέπει να συνδυάζονται με συστήματα επεξεργασίας-απόσμησης του αέρα (βιόφιλτρα).

Κατά το στάδιο της ωρίμανσης πρέπει να γίνεται αναστροφή του σωρού για την αποφυγή αναερόβιων συνθηκών και κάλυψη με ημιπερατές μεμβράνες.

Κατά το στάδιο αποθήκευσης πρέπει να γίνεται έλεγχος αν το κομπόστ έχει σταθεροποιηθεί και άμεση απομάκρυνση των διαχωρισθέντων προσμίξεων προς ταφή ώστε να μειώνεται όσο το δυνατό ο χρόνος παραμονής τους στη μονάδα.

6.3 Βιοαερολύματα και Παθογόνοι Οργανισμοί

Τα βιοαερολύματα είναι σωματίδια, μη ορατά με το μάτι που αιωρούνται και περιέχουν μικροοργανισμούς τοξικούς για τον άνθρωπο όπως βακτήρια, μύκητες, ακτινοβακτήρια, ένζυμα, ενδοτοξίνες κ.α. Τα σωματίδια μεγέθους κάτω από 10μm μέσω της αναπνοής εισέρχονται στους πνεύμονες προκαλώντας σοβαρές αναπνευστικές παθήσεις (Epstein,2011).

Τα βιοαερολύματα μπορούν να προκύψουν από τις διεργασίες μηχανικής ανάδευσης και επεξεργασίας των υλικών και γι' αυτό το λόγο είναι σημαντικό οι χώροι της μονάδας να καθαρίζονται συνεχώς και η αναστροφή των σωρών και

ο χειρισμός των υλικών να γίνεται όταν έχουν εξασφαλιστεί οι κατάλληλες συνθήκες υγρασίας οι οποίες δεν ευνοούν την διασπορά των βιοαερολυμάτων.

6.4 Σκόνη

Η σκόνη αποτελείται από τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος 1-75 μm σε διάμετρο που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις διάφορες δραστηριότητες της μονάδας κομποστοποίησης.

Η σκόνη που εκλύεται επιβαρύνει την ποιότητα της ατμόσφαιρας και είναι επικίνδυνη για την υγεία των κατοίκων της περιοχής και των εργαζομένων, ιδιαίτερα τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο έως και 10μm που μπορούν να εισέλθουν στην αναπνευστική οδό.

Εκλύεται στα στάδια που εκτελείται η προεπεξεργασία των υλικών, η ανάδευση των σωρών, η ραφιναρία, η μεταφορά των υλικών και η κίνηση των οχημάτων. Η διασπορά της σκόνης εξαρτάται από το εάν μια εγκατάσταση είναι ανοιχτή ή κλειστή, από τις κλιματολογικές συνθήκες, τη μορφολογία του εδάφους ενώ ο βαθμός όχλησης εξαρτάται και από την απόσταση στην οποία βρίσκονται οι πλησιέστεροι αποδέκτες.

6.5 Υγρά Απόβλητα

Η παραγωγή στραγγισμάτων σε ένα σωρό εκτιμάται περίπου 0,028 m³ ανά m² επιφάνειας όπου πραγματοποιείται η κομποστοποίηση.

Για να αποφεύγεται η παραγωγή υγρών αποβλήτων είναι σημαντικό να γίνεται αναστροφή των σωρών ώστε το νερό που περιέχεται στα απορρίμματα να εξατμίζεται με γρήγορους ρυθμούς. Επίσης οι σωροί που βρίσκονται σε ανοικτούς χώρους θα πρέπει να καλύπτονται με ημιπερατές μεμβράνες ή στέγαστρα προκειμένου να προστατεύονται από την βροχόπτωση. Τέλος, τα υγρά απόβλητα που παράγονται θα πρέπει να συλλέγονται και να μεταφέρονται

σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την ορθή διαχείρισή τους.

6.6. Θόρυβος

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός μιας μονάδας αποτελεί πηγή θορύβου. Επίσης η κίνηση των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των αποβλήτων αλλά και η λειτουργία των αναστροφένων μπορούν να προκαλέσουν θόρυβο. Τέλος, όλα τα συστήματα αερισμού και ραφιναρίας που βρίσκονται σε λειτουργία σε μια μονάδα κομποστοποίησης μπορούν να αποτελέσουν πηγές θορύβου. Για αυτό θα πρέπει να γίνονται συστηματικά μετρήσεις του θορύβου και να ελέγχεται να μην ξεπερνούν τις οριακές τιμές.

6.6 Άλλες αέριες εκπομπές

Άλλες αέριες εκπομπές που μπορεί να δημιουργηθούν σε μια μονάδα κομποστοποίησης είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , το μεθάνιο CH_4 , το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), η αμμωνία (NH_3) και οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC).

Όταν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου στη σωρό λόγω μη καλού αερισμού δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες και παράγεται CH_4 παράγεται όταν δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες κατά την κομποστοποίηση. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με προσθήκη υλικού δομής στο αρχικό μίγμα.

Κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης μπορεί να δημιουργηθούν CO_2 και υδρατμοί. Η απώλεια του άνθρακα προέρχεται κυρίως από το CO_2 και αποτελεί δείκτη της βιοαποδόμησης. Τέλος, κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης έχουμε και την εμφάνιση της αμμωνίας και οφείλεται κυρίως στο χαμηλό λόγο C/N ο οποίος μπορεί να διορθωθεί με προσθήκη υλικών πλούσιων σε άνθρακα στο αρχικό μίγμα, όπως φλοιοί δέντρων.

7. Μονάδες Επεξεργασίας Απορριμμάτων στην Ελλάδα

7.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το νέο Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) η εθνική πολιτική της χώρας μας στοχεύει στην μείωση της υγειονομικής ταφής των ΑΣΑ διότι αποτελεί την πιο επιβλαβή μέθοδο διαχείρισης των αποβλήτων. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία αποσκοπεί στην μείωση σε ποσοστό 10% το έτος 2035 ενώ η χώρα μας θέλει να πετύχει αυτό το ποσοστό έως το έτος 2030.

Για την επίτευξη του ανωτέρω στόχου θα χρειαστεί να παρθούν κάποια μέτρα πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων. Επίσης μεταξύ άλλων, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην συλλογή ξεχωριστών ρευμάτων αποβλήτων αλλά και στην επαναχρησιμοποίηση. Για να πετύχει αυτό θα πρέπει να γίνεται διαρκής ενημέρωση των πολιτών ώστε να γνωρίζουν τους σωστούς τρόπους με τους οποίους μπορούν να ανακυκλώσουν και να συλλέξουν στην πηγή τα απόβλητά τους. Τέλος, η χώρα μας θα πρέπει να ενισχυθεί με ένα ευρύ δίκτυο εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων και βιοαποβλήτων (ΜΕΑ και ΜΕΒΑ).

Ένα από τα βασικά μέτρα που προτείνεται είναι η ενίσχυση της Διαλογής στην Πηγή. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με την διεύρυνση του δικτύου συλλογής των υλικών των απορριμμάτων που μπορούν να ανακυκλωθούν. Συγκεκριμένα για τα βιοαπόβλητα, είναι απαραίτητη η επέκταση σε όλη την Ελλάδα του δικτύου του καφέ κάδου. Όσον αφορά την επεξεργασία τους, εκτός από την δημιουργία νέων ΜΕΒΑ, είναι δυνατή και η χρήση υφιστάμενων μονάδων απορριμμάτων που διαθέτουν ξεχωριστό ρεύμα για τα βιοαπόβλητα.

Είναι φυσικό η επέκταση του δικτύου συλλογής πανελλαδικά να παρουσιάζει ένα αυξημένο κόστος. Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι η διαχείριση με την υγειονομική ταφή μπορεί να έχει χαμηλό άμεσο κόστος αλλά συνολικά επιφέρει αρκετά προβλήματα όπως η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής, η αποφυγή αναπτυξιακών δραστηριοτήτων λόγω αυτής της υποβάθμισης αλλά και των πιθανών κινδύνων που μπορεί να έχει ένας χώρος

υγειονομικής ταφής στον άνθρωπο και τα ζώα και τέλος η καταβολή προστίμων.

Με την χωριστή συλλογή των διαφορετικών ρευμάτων αποβλήτων οι ποσότητες των σύμμεικτων υπολειμματικών ΑΣΑ θα μειωθούν αρκετά. Έτσι, ένα μέρος της αύξησης του κόστους που θα επιφέρει η διεύρυνση του δικτύου συλλογής ξεχωριστών ρευμάτων αντισταθμίζεται από την μείωση του κόστους συλλογής των σύμμεικτων απορριμμάτων και της διαχείρισής τους. Επίσης, το κόστος επεξεργασίας των βιοαποβλήτων είναι μικρότερο σε σχέση με αυτό των σύμμεικτων απορριμμάτων στις ΜΕΑ. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό στην συζήτηση για την συγκεκριμένη επένδυση είναι πως μέσω της επεξεργασίας των βιοαποβλήτων προκύπτει ένα προϊόν το οποίο μπορεί μέσω της πώλησής του να αποφέρει κέρδη.

Έτσι, η χώρα θέλοντας να ενισχύσει την χωριστή συλλογή και τη ΔσΠ των υλικών των απορριμμάτων που μπορούν να ανακυκλωθούν και να προσφέρουν νέα προϊόντα, θα πρέπει να κάνει ένα προγραμματισμό για κάποιο κόστος. Όμως, παράλληλα θα πρέπει να λάβει υπόψιν ότι το κόστος αυτό θα αντισταθμιστεί από την μείωση των σύμμεικτων απορριμμάτων και της διαχείρισής τους αλλά και από πιθανά κέρδη μέσω της αξιοποίησης των νέων προϊόντων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του τελικού συνολικού κόστους.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες εταιρείες που λειτουργούν στην Ελλάδα και δραστηριοποιούνται στον τομέα της επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και της παραγωγής κομπόστ. Επίσης γίνεται αναφορά στα οικονομικά στοιχεία που έχουν δημοσιεύσει οι εταιρείες και μια συγκριτική ανάλυση στα κέρδη που παρουσιάζουν από χρόνο σε χρόνο.

7.2 Μονάδες Επεξεργασίας Βιολογικών Απορριμμάτων στην Ελλάδα και τα οικονομικά τους στοιχεία

W.A.T.T. ΑΕ

Ο Όμιλος W.A.T.T. δραστηριοποιείται στον κλάδο της διαχείρισης απορριμμάτων και της ανακύκλωσης. Έχει αναπτύξει και λειτουργεί μερικά από τα πιο σύγχρονα έργα στον κλάδο έχοντας πραγματοποιήσει συνεργασίες με μεγάλους οργανισμούς και βιομηχανικούς πελάτες. Διαθέτει τρεις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις Κέντρων Διαλογής και Ανάκτησης Υλικών (ΚΔΑΥ) στην Φυλή Αττικής, στο Κορωπί και στην Πάρο.

Το πρότυπο ΚΔΑΥ στην Φυλή έχει δυναμικότητα επεξεργασίας 50.000 τόνων ετησίως και παρέχει την δυνατότητα υποδοχής και επεξεργασίας απορριμμάτων συσκευασίας και υπολειμματικών αποβλήτων. Μέσω των μεθόδων μηχανικού διαχωρισμού παράγονται δευτερογενή καύσιμα (SRF) και ανακυκλώσιμα υλικά όπως γυαλί, πλαστικά και μέταλλα. Οι εγκαταστάσεις ΚΔΑΥ στο Κορωπί είναι δυνατόν να επεξεργαστούν μηχανικά απόβλητα συσκευασίας καθώς και εμπορικά και βιομηχανικά απόβλητα, με δυναμικότητα επεξεργασίας 20 τόνων/ώρα και αποτελούν την μοναδική μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων στην ανατολική Αττική εξυπηρετώντας τις ανάγκες 30 Δήμων.

Επίσης, Ο Όμιλος W.A.T.T. έχει υπογράψει σύμβαση με τον Δήμο Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης με σκοπό την παραλαβή και επεξεργασία στο ΚΔΑΥ Κορωπίου 10.000 τόνων προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων που προέρχονται από τον Δήμο. Με την παραλαβή και επεξεργασία αυτών των βιοαποβλήτων η μονάδα μπορεί να παράγει δύο τύπους εδαφοβελτιωτικών υψηλής ποιότητας, τα προϊόντα VITA Green και VITA Green Plus. Αυτή η συνεργασία του Δήμου με την εταιρεία αποτελεί ένα άριστο παράδειγμα επιστροφής στην κυκλική οικονομία αφού τα βιοαπόβλητα που παράγονται σε έναν Δήμο αξιοποιούνται πλήρως και παρέχουν ένα νέο προϊόν το οποίο δεν επιφέρει καμία αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον. Επίσης, λόγω της υψηλής ποιότητας που παρουσιάζει εισέρχεται στην αναπτυσσόμενη αγορά της βιολογικής γεωργίας.

Η σύμβαση αφορά την διεξαγωγή εφαρμογών παραγωγής εδαφοβελτιωτικού Vita Green και Vita Green Plus από καθαρά φυτικά υπολείμματα του Δήμου (κλαδέματα, πράσινα υπολείμματα κ.α.) και βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και χώρων διαίτησης και απόβλητα από αγορές. Το κόστος ανά τόνο στην πρώτη περίπτωση είναι 30€ και στην δεύτερη περίπτωση το κόστος είναι 47€ ανά τόνο. Η παροχή υπηρεσίας θα διαρκέσει για τρία έτη και θα συλλέγονται 15.000 τόνοι φυτικά υπολείμματα και 9.000 τόνοι βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα κουζίνας και αγορών με συνολικά έσοδα για την εταιρεία 1.386.760,20€. Επίσης, η σύμβαση προβλέπει ότι στη διάρκεια των τριών ετών θα παραδοθεί ποσότητα προς διάθεση στο Δήμο 1.000 κυβικών μέτρων (20.000 σάκοι των 50 λίτρων) εδαφοβελτιωτικού Vita Green/Vita Green Plus που δύναται να αποφέρει έσοδο στον Δήμο ενδεικτικής οικονομικής αξίας 6€ / σάκο.

ΔΙΑΔΥΜΑ – ΜΕΑ ΚΟΖΑΝΗΣ

Η Ανώνυμη Εταιρεία Διαχείρισης Απορριμμάτων Δυτικής Μακεδονίας (ΔΙΑΔΥΜΑ ΑΕ) αποτελεί τον Φορέα Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΦοΔΣΑ) της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Η εταιρεία είναι υπεύθυνη για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη λειτουργία του Περιφερειακού Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) Δυτικής Μακεδονίας.

Η ΔΙΑΔΥΜΑ έχει υπογράψει Σύμβαση Σύμπραξης με την εταιρεία ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ. Μέσω αυτής της συνεργασίας έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί η Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμάτων (ΜΕΑ). Η ΜΕΑ βρίσκεται μαζί με τον ΧΥΤΥ σε αυτόνομη έκταση 200 στρεμμάτων εντός των Κεντρικών Εγκαταστάσεων Ολοκληρωμένης Διαχείρισης (ΚΕΟΔ). Στην συγκεκριμένη μονάδα η οποία είναι μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας, τα σύμμεικτα απορρίμματα διαχωρίζονται από τα οργανικά με μηχανική διαλογή και στη συνέχεια τα ανακυκλώσιμα υλικά μοιράζονται σε διακριτά ρεύματα με τη χρήση οπτικών, βαρυτικών και βαλλιστικών διαχωριστών. Τέλος, το οργανικό κλάσμα υφίσταται αερόβια επεξεργασία και κομποστοποίηση σε συστήματα κλειστού τύπου.

Τρεις είναι οι βασικοί στόχοι απόδοσης της ΜΕΑ:

- Εκτροπή Βιοαποδομήσιμων Αποβλήτων (ΒΑΑ) από Υγειονομική Ταφή σε ποσοστό >80%
- Εκτροπή Αποβλήτων από την Υγειονομική Ταφή (ΥΤ) σε ποσοστό <35,96%
- Ανάκτηση Ανακυκλώσιμων Υλικών (ΑΥ) των Συμβατικών Αποβλήτων σε ποσοστό >35%

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα προηγούμενων ετών. Παρατηρείται ότι όλα τα χρόνια έχουν επιτευχθεί οι στόχοι της εταιρείας.

ΣΤΟΧΟΙ		2017	2018	2019	2020	2021
Εκτροπή ΒΑΑ	>80%	86,40%	86,32%	85,29%	88,09%	85,70%
Εκτροπή από ΥΤ	<35,96%	32,77%	33,87%	35,56%	34,25%	35,50%
Ανάκτηση ΑΥ	>35%	35,92%	38,44%	41,44%	41,80%	37,58%

Πίνακας 4: Στόχοι απόδοσης Μονάδας Επεξεργασίας Αποβλήτων ΔΙΑΔΥΜΑ (πηγή: ιστοσελίδα ΔΙΑΔΥΜΑ ΑΕ)

Η συλλογή των βιοαποβλήτων με σκοπό την επεξεργασία τους στην ΜΕΑ γίνεται με δύο τρόπους. Στις αγροτικές και πιο απομακρυσμένες περιοχές επιλέγεται η ΔσΠ με την οικιακή κομποστοποίηση. Σε αστικούς/ημιαστικούς οικισμούς επιλέγεται η Δσπ των βιοαποβλήτων από οικίες και επιχειρήσεις ενώ για τα πράσινα απόβλητα επιλέγεται το σύστημα των καφέ κάδων. Η συλλογή των βιοαποβλήτων γίνεται από τον κάθε Δήμο και στην συνέχεια μεταφέρονται σε συγκεκριμένα σημεία της εταιρείας ΔΙΑΔΥΜΑ και αποθηκεύονται σε ειδικά κλειστά container. Έπειτα τα κλειστά container μεταφέρονται στις

εγκαταστάσεις επεξεργασίας της εταιρείας και η κομποστοποίηση γίνεται στην ΜΕΑ, είτε σε διακριτή γραμμή από τα σύμμεικτα, είτε χωριστά αξιοποιώντας τμήμα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων της ΜΕΑ. Στην περίπτωση που η χωριστή συλλογή δίνει καθαρά ρεύματα βιοαποβλήτων η επεξεργασία τους γίνεται σε διακριτή γραμμή μέσα στην μονάδα ενώ στην αντίθετη περίπτωση η κομποστοποίηση μπορεί να γίνει σε εξωτερικό χώρο της μονάδας (χώρος ωρίμανσης κτλ.) όπου τα βιοαπόβλητα απλώνονται σε σωρούς. Το ραφινάρισμα γίνεται στη υφιστάμενη ραφιναρία της ΜΕΑ.

ΕΠΑΔΥΜ Α.Ε.

Η ΕΠΑΔΥΜ Α.Ε. ιδρύθηκε για την εκτέλεση του έργου "Μελέτη, Κατασκευή, Συντήρηση και Λειτουργία των Εγκαταστάσεων του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας" και αποτελείται σε ποσοστό 50% από τις εταιρίες ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε. και ΑΚΤΩΡ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΕΙΣ Α.Ε. μέλη του Ομίλου ΕΛΛΑΚΤΩΡ Α.Ε.

Με την υπογραφή της Σύμβασης Σύμπραξης με την εταιρεία ΔΙΑΔΥΜΑ ΑΕ ξεκίνησε η κατασκευή της μονάδας που περιλαμβάνει:

- Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων ΜΕΑ μέγιστης δυναμικότητας 120 kta
- Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων ΧΥΤΥ
- Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων ΜΕΥΑ
- Βοηθητικά έργα – κτίριο Διοίκησης, Συνεργείο, Πλυντήριο, Φυλάκιο, Εργαστήριο, κλπ
- Σταθμός Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων ΣΜΑ Κοζάνης

Η Μονάδα Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) βρίσκεται στο Νότιο Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας της ΔΕΗ. Έχει δυνατότητα επεξεργασίας 120 kta Αστικών Σύμμεικτων Απορριμμάτων τα οποία τα παραλαμβάνει από δέκα περιφερειακούς σταθμούς μεταφόρτωσης απορριμμάτων που βρίσκονται στην περιφέρεια.

Τα απορρίμματα που συγκεντρώνονται από τους Δήμους μεταφέρονται στη Μονάδα Υποδοχής και μετά την απομάκρυνση των αποβλήτων που έχουν μεγαλύτερη μάζα, η οποία γίνεται με αυτόματο σύστημα γερανογέφυρας με αρπάγη, οδηγούνται στη Μονάδα Μηχανικής Διαλογής μέσω κινούμενου δαπέδου. Εκεί, διαχωρίζεται το οργανικό υλικό από τα υπόλοιπα απορρίμματα και οδηγείται για κομποστοποίηση ενώ το άχρηστο υπόλειμμα οδηγείται για ταφή στο ΧΥΤΥ. Για το διαχωρισμό του οργανικού κλάσματος χρησιμοποιείται ένα περιστροφικό και δονητικό κόσκινο. Στην μονάδα υπάρχει όμως και η δυνατότητα περαιτέρω διαχωρισμού. Με τη χρήση οπτικών και βαλλιστικών διαχωριστών μπορούν να ανακτηθούν ρεύματα χαρτιού, πλαστικού φιλμ και σκληρών πλαστικών συσκευασιών. Τα υλικά που προκύπτουν μετά το διαχωρισμό οδηγούνται σε χώρους όπου γίνεται έλεγχος ποιότητας με σκοπό την αφαίρεση τυχόν προσμίξεων. Τέλος, δεματοποιούνται για την καλύτερη και ευκολότερη διάθεσή τους.

Το σύστημα της μονάδας Κομποστοποίησης αποτελείται από κλειστούς, οριζόντιους βιοαντιδραστήρες. Για την σταθεροποίηση του οργανικού υλικού παρέχεται ένα ελεγχόμενο περιβάλλον θερμοκρασίας και υγρασίας στο οποίο πρέπει να παραμείνει για τουλάχιστον δύο εβδομάδες. Τέλος, για την ωρίμανση του πλέον υγιεινοποιημένου υλικού γίνεται μεταφορά του στο στέγαστρο ωρίμανσης και απλώνεται σε τραπέζοειδείς σωρούς. Ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας γίνεται ανάδευση του σωρού όταν είναι απαραίτητο.

Το τελικό προϊόν που προκύπτει μεταφέρεται στην υφιστάμενη ραφιναρία της ΜΕΑ όπου γίνεται διαχωρισμός του ώριμου κομπόστ από τις διάφορες προσμίξεις (σκληρά πλαστικά, χαλίκι, αδρανή, film πλαστικών, γυαλί). Τα ανεπιθύμητα υλικά οδηγούνται προς τελική διάθεση στο ΧΥΤΥ και το εξευγενισμένο πλέον κομπόστ προς διάθεση στην αγορά.

Η εταιρεία λειτουργεί συστήματα αποκονίωσης και απόσμησης με σκοπό την επεξεργασία των οσμών και της σκόνης που παράγονται από τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην μονάδα. Επίσης, γίνεται επεξεργασία των υγρών αποβλήτων που παράγονται στην Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης. Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η ανάκτηση νερού το οποίο

χρησιμοποιείται σε διάφορες εργασίες στη μονάδα αλλά και για το πότισμα των κήπων που υπάρχουν στην ΜΕΑ.

Τα οικονομικά στοιχεία της εταιρείας ΕΠΑΔΥΜ ΜΑΕ δείχνουν ότι οι συνολικές πωλήσεις της εταιρείας για το 2021 ανήλθαν σε 10,3 εκ. ευρώ σε σχέση με το 2020 που ήταν 8 εκ. ευρώ. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση των τιμών ανακυκλώσιμων, στην αύξηση εισερχομένων μη συμβατικών αποβλήτων και στον υπολογισμό του IFRIC 12.

Κατάσταση Αποτελεσμάτων και Συνολικού Εισοδήματος

	Σημ.	31-Δεκ-21	31-Δεκ-20
Πωλήσεις		10.312.188	8.043.036
Κόστος πωληθέντων	15	(9.418.540)	(7.946.102)
Μικτό κέρδος		893.648	96.934
Έξοδα διοίκησης	15	(146.981)	(234.068)
Λοιπά κέρδη/(ζημιές)		(9.802)	5.241
Αποτελέσματα εκμετάλλευσης		736.865	(131.893)
Χρηματοοικονομικά έσοδα	16	2.913.506	3.007.421
Χρηματοοικονομικά έξοδα	16	(2.316.903)	(2.252.506)
Καθαρά κέρδη προ φόρων		1.333.468	623.022
Φόρος εισοδήματος	13,17	106.891	(123.546)
Καθαρά κέρδη χρήσης		1.440.359	499.475
Συγκεντρωτικά συνολικά εισοδήματα χρήσης		1.440.359	499.475

Εικόνα 8: Οικονομικά στοιχεία ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ (πηγή: ετήσιες χρηματοοικονομικές καταστάσεις ΕΠΑΔΥΜ ΑΕ)

ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ

Η εταιρεία Μεσόγειος ΑΕ δραστηριοποιείται στην κατασκευή και λειτουργία έργων προστασίας περιβάλλοντος. Έχει αναλάβει περισσότερες από 40 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, πάνω από 30 ΧΥΤΑ-ΧΥΤΥ, 10 διυλιστήρια νερού, πολλές εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και επεξεργασίας απορριμμάτων. Πρόσφατα, μετά την υπογραφή της σύμβασης σύμπραξης (ΣΔΙΤ) με τους Δήμους Αλεξανδρούπολης και Ηλείας ξεκίνησε την κατασκευή και λειτουργία

δύο μονάδων επεξεργασίας σύμμεικτων ΑΣΑ και προδιαλεγμένων οργανικών αποβλήτων. Το έργο στην πρώτη περίπτωση θα παράγει 6.300 tn/έτος και στο νομό Ηλείας 12.000 tn/έτος εδαφικού υλικού τύπου κομπόστ.

Στη μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ στην Αλεξανδρούπολη γίνεται μηχανική επεξεργασία των απορριμμάτων, βιολογική επεξεργασία του οργανικού κλάσματος και τελικά η ραφιναρία, από όπου παράγονται ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, πλαστικά, μέταλλα), υλικό τύπου κομπόστ κατάλληλο για εδαφική χρήση και ηλεκτρική ενέργεια. Για τα οργανικά υπολείμματα χρησιμοποιείται η αναερόβια χώνευση η οποία πραγματοποιείται σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες. Το υλικό που παράγεται είναι το βιοαέριο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης, από την περαιτέρω επεξεργασία του οργανικού κλάσματος παράγεται ένα υλικό τύπου κομπόστ.

Η δυναμικότητα της μονάδας σε αριθμούς είναι 38.855 tn/έτος σύμμεικτων ΑΣΑ, 5.971 tn/έτος προδιαλεγμένα οργανικά απόβλητα και 1.195 tn/έτος πράσινα απόβλητα.

Η μονάδα επεξεργασίας απορριμμάτων στο Νομό Ηλείας έχει δυναμικότητα 80.000 tn αστικών στερεών αποβλήτων ετησίως. Και σε αυτή τη μονάδα τα στάδια που λαμβάνουν χώρα είναι τρία και περιλαμβάνουν την μηχανική επεξεργασία, τη βιολογική επεξεργασία και τη ραφιναρία. Όλες οι διεργασίες γίνονται σε κλειστά βιομηχανικά κτίρια και λειτουργούν υπό πίεση για την αποφυγή διαφυγών αερίων και σκόνης στην ατμόσφαιρα.

Για την βιολογική επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων εφαρμόζεται η μέθοδος της αερόβιας χώνευσης σε αντιδραστήρες διαλείποντος έργου.

Η εταιρεία με τις βιώσιμες μεθόδους που χρησιμοποιεί για την επεξεργασία των βιοαποβλήτων έχει καταφέρει να μειώσει την υγειονομική ταφή των υπολειμμάτων κατά 39% και να αυξήσει την εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων κατά 73%.

Σύμφωνα με τα οικονομικά στοιχεία της εταιρείας, στην διαχείριση στερεών αποβλήτων κατά το 2021 υπήρξε αύξηση του κύκλου εργασιών σε 36,9 εκ.€ (αύξηση κατά 23,16 %) από το 2020. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως σε κατασκευές εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διάθεσης. Επίσης εντός του

2021 ξεκίνησε η λειτουργία της ΜΕΑ Ηλείας και από τον Ιούνιο του 2022 ξεκίνησε και η λειτουργία της ΜΕΑ Αλεξανδρούπολης οπότε αναμένεται η αύξηση αυτή να συνεχιστεί.

ΧΡΗΣΗ 2020	Έσοδα	Έξοδα	Μικτό όφελος	% εσόδων ΓΔ/ συνόλου
ΓΕΝ. ΔΙΕΥΘ. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	29.966.439,45 €	20.841.902,80 €	30,45%	59,08%

ΧΡΗΣΗ 2021	Έσοδα	Έξοδα	Μικτό όφελος	% εσόδων ΓΔ/ συνόλου
ΓΕΝ. ΔΙΕΥΘ. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	36.905.621,62 €	28.282.333,51 €	23,37%	66,05%

Πίνακας 5: Οικονομικά στοιχεία ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ (πηγή: χρηματοοικονομικές καταστάσεις ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ ΑΕ).

8. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν οι διεργασίες της κομποστοποίησης, η οποία αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο επεξεργασίας των βιοαποβλήτων. Τα βιοαπόβλητα συνιστούν ένα μεγάλο πρόβλημα στις περισσότερες χώρες, με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Έτσι είναι απαραίτητη η διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης με στόχο την μέγιστη μείωση της παραγωγής αποβλήτων, την εφαρμογή συστημάτων διαλογής βιοαποβλήτων στην πηγή προκειμένου να έχουμε ένα καθαρότερο κλάσμα προς ανακύκλωση και την επεξεργασία με τις μεθόδους που επιστρέφουν προϊόντα στον οικονομικό κύκλο.

Η μέθοδος της κομποστοποίησης ως μέθοδος επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται στην Ελλάδα όλο και περισσότερο και είναι απολύτως συμβατή με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, αφού τα βιοαπόβλητα αποδομούνται σε ένα σταθερό προϊόν χιουμποποίησης, το κομπόστ, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να βελτιώσει την ποιότητα του εδάφους χωρίς να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Έτσι, είναι επιτακτική η ανάγκη της ανάπτυξης της διαλογής των βιοαποβλήτων στην πηγή σε επίπεδο δήμου με συλλεκτήριους κάδους χρώματος καφέ. Το συλλεγόμενο υλικό, λόγω καθαρότητας και έλλειψης προσμίξεων, μπορεί πιο εύκολα να οδηγήσει σε παρασκευή κομπόστ υψηλής ποιότητας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του όγκου των αποβλήτων που θα κατέληγαν σε Χ.Υ.Τ.Α. αλλά και το τελικό προϊόν, λόγω της υψηλής ποιότητάς του, μπορεί να αποφέρει έσοδα από τις πωλήσεις του, στηρίζοντας με αυτό τον τρόπο την οικονομική βιωσιμότητα της συγκεκριμένης μεθόδου επεξεργασίας των βιοαποβλήτων.

Η Ελλάδα έχει προχωρήσει στην κατασκευή και λειτουργία μονάδων επεξεργασίας απορριμμάτων και βιοαποβλήτων σε αρκετές περιφέρειές της. Μέσω των Συμβάσεων Σύμπραξης του Δημοσίου και Ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ), υλοποιούνται αρκετά έργα για την επεξεργασία στερεών αποβλήτων με στόχο την πλήρη επεξεργασία και δραστική μείωση των απορριμμάτων πριν την ταφή

αλλά και την ανάκτηση ανακυκλώσιμων και την κομποστοποίηση διαλεγμένου οργανικού κλάσματος.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το συνολικό κόστος της διαχείρισης των αποβλήτων ειδικά σε σχέση με την ταφή είναι αρκετά μεγάλο. Όμως είναι σημαντικό να αναλογιστούμε τον αντίκτυπο που έχει η μη ορθή διαχείριση των απορριμμάτων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Εξάλλου, ένα μέρος της αύξησης του κόστους που θα επιφέρει η διεύρυνση του δικτύου συλλογής ξεχωριστών ρευμάτων αντισταθμίζεται από την μείωση του κόστους συλλογής των σύμμεικτων απορριμμάτων και της διαχείρισής τους. Σε αυτό συμβάλλει και η παραγωγή ενός νέου προϊόντος, του κομπόστ, το οποίο μπορεί να επιφέρει έσοδα στις εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον τομέα αλλά και στους Δήμους, πουλώντας το τελικό προϊόν κομπόστ.

Συνεπώς, η κομποστοποίηση αποτελεί μία επωφελή μέθοδο επεξεργασίας βιοαποβλήτων από οικονομικής και περιβαλλοντικής πλευράς. Μέσω της αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων επιστρέφει στην κυκλική οικονομία ένα σταθεροποιημένο προϊόν που δύναται να αντικαταστήσει τα γεωργικά λιπάσματα και να λειτουργήσει ως εδαφοβελτιωτικό. Επίσης, όσον αφορά τις μονάδες κομποστοποίησης, το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος είναι σχετικά μικρό.

Τα έργα κομποστοποίησης συνιστώνται ανεπιφύλακτα για πόλεις ή περιοχές που αναζητούν εναλλακτικά συστήματα επεξεργασίας για την αντικατάσταση της υγειονομικής ταφής. Η πόλη ή η περιοχή θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλέγει ξεχωριστά ποιοτικές πρώτες ύλες για την κομποστοποίηση, να εξασφαλίζει αρκετή ζήτηση για κομπόστ και να διασφαλίζει έναν επαρκή προϋπολογισμό για τη λειτουργία εγκαταστάσεων κομποστοποίησης για δεκαετίες. Η πόλη ή η περιοχή θα πρέπει επίσης να διαθέτει επαρκές επίπεδο ανθρώπινου δυναμικού και θεσμικής ικανότητας ώστε να διασφαλίζεται η βιωσιμότητα των έργων κομποστοποίησης (Backes, 2020).

Το κομπόστ δεν θα πρέπει να περιέχει προσμίξεις, όπως μη βιοδιασπώμενα ή επικίνδυνα απόβλητα, καθώς μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα. Η παρούσα κατευθυντήρια γραμμή υποστηρίζει ότι η χωριστή συλλογή οργανικών αποβλήτων αποτελεί βασικό στοιχείο για την παροχή ποιοτικών

πρώτων υλών για την κομποστοποίηση, ώστε να παράγεται κομπόστ υψηλής ποιότητας. Υπάρχουν διάφορες επιλογές που έχουν στη διάθεσή τους οι κάτοικοι για τη χωριστή συλλογή και μεταφορά των οργανικών αποβλήτων. Η καταλληλότερη επιλογή θα πρέπει να υιοθετηθεί με βάση τις τοπικές καταστάσεις και λεπτομερείς μελέτες σκοπιμότητας, ώστε να διασφαλιστεί ότι συλλέγονται μόνο απόβλητα υψηλής ποιότητας (Dalin & Outhwaite, 2019).

Ένα σύστημα κομποστοποίησης χρειάζεται χρήστες, όπως οι τοπικοί αγρότες, οι οποίοι θα πρέπει να συμπεριληφθούν από την αρχή του σχεδιασμού, ώστε να διασφαλιστεί ότι οι απόψεις τους αντικατοπτρίζονται στο σύστημα. Χωρίς τη συμμετοχή των τοπικών γεωργών που χρησιμοποιούν τακτικά το κομπόστ, τα συστήματα κομποστοποίησης δεν θα επιτύχουν την επίτευξη των στόχων της τοπικής κυβέρνησης για τη μείωση της ποσότητας των απορριμμάτων που διατίθενται στους χώρους υγειονομικής ταφής και τον εξορθολογισμό της διαχείρισης των αποβλήτων (Backes, 2020).

Για να πετύχει όμως ένα τέτοιο σύστημα χρειάζεται και η ενεργή συμμετοχή του πολίτη ο οποίος θα είναι άρτια ενημερωμένος για τη συνολική κατάσταση του συστήματος και θα έχει τις απαραίτητες γνώσεις για τη λειτουργία του. Έτσι, ανά τακτά χρονικά διαστήματα θα πρέπει να ενημερώνεται και να υπάρχει ένας διάυλος επικοινωνίας μεταξύ των πολιτών και των αρμόδιων φορέων σχετικά με τα βιοαπόβλητα και την κομποστοποίηση, την ιδιαίτερη σημασία της συμμετοχής τους και τα οφέλη που προκύπτουν από την ορθή διαχείριση των αποβλήτων. Αυτή η επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί μέσω ειδικών ενημερωτικών φυλλαδίων που να απευθύνονται στους κατοίκους των Δήμων αλλά και ειδικά διαμορφωμένων βιβλίων και βίντεο που να απευθύνονται σε παιδιά και σχολεία για την καλύτερη και πιο εύκολη κατανόηση. Επίσης, η δημιουργία ειδικών δραστηριοτήτων και ασκήσεων σε μαθητές της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης μπορεί να συμβάλλει στην ενημέρωση των παιδιών από μικρή ηλικία για τα οφέλη της σωστής διαχείρισης των αποβλήτων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές:

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

1. Achinas, S., Achinas, V., & Euverink, G. J. W. (2020). Microbiology and biochemistry of anaerobic digesters: an overview. *Bioreactors*, 17-26.
2. Adekunle, K. F., & Okolie, J. A. (2015). A review of biochemical process of anaerobic digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6(03), 205.
3. Alege, F. P., Gu, X., Tao, H., Miito, G. J., & Ndegwa, P. M. (2021). Dairy manure compost pelleting process: A techno-economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127481.
4. Alpert, J. E., Hernandez, M., & Soto, Y. (2002). Improving a state-of-the-art composting facility. *BioCycle*, 43(5), 40-41.
5. Araya, M. N. (2018). A review of effective waste management from an EU, national, and local perspective and its influence: The management of biowaste and anaerobic digestion of municipal solid waste. *Journal of Environmental Protection*, 9(6), 652-670.
6. Backes, C. (2020). The Waste Framework Directive and the Circular Economy. In *Research Handbook on EU Environmental Law* (pp. 328-343). Edward Elgar Publishing.
7. Baghaie, A. (2018). Effect of municipal waste compost and zeolite on reduction of cadmium availability in a loamy soil (A case study: Arak municipal waste compost). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(4), 103-117.
8. Barrena, R., Font, X., Gabarrell, X., & Sánchez, A. (2014). Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. *Waste Management*, 34(7), 1109-1116.
9. Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., Arrigo, N., & Palma, R. M. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biology and fertility of soils*, 37(3), 184-189.

10. Blakeney, M. (2019). Strategies for FLW reduction. In Food Loss and Food Waste (pp. 138-178). Edward Elgar Publishing.
11. Chandrappa, P., Das, D.B. (2012), «Waste Quantities & Characteristics», In: Solid Waste Management: Principles and Practice, Environmental Science and Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. Pp
12. Chen, T., Zhao, Y., Qiu, X., Zhu, X., Liu, X., Yin, J., ... & Feng, H. (2021). Economics analysis of food waste treatment in China and its influencing factors. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 15(2), 1-12.
13. Clark, G. (2019). Technologies for compost production from plant byproducts. *Byproducts from Agriculture and Fisheries: Adding Value for Food, Feed, Pharma, and Fuels*, 545-562.
14. Colón, J., Martínez-Blanco, J., Gabarrell, X., Artola, A., Sánchez, A., Rieradevall, J., & Font, X. (2010). Environmental assessment of home composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 893-904.
15. Cordella, M., Alfieri, F., Sanfelix, J., Donatello, S., Kaps, R., & Wolf, O. (2020). Improving material efficiency in the life cycle of products: a review of EU Ecolabel criteria. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(5), 921-935.
16. Crawford, J. F., & Smith, P. G. (2016). *Landfill technology*. Elsevier.
17. Dalin, C., & Outhwaite, C. L. (2019). Impacts of global food systems on biodiversity and water: the vision of two reports and future aims. *One Earth*, 1(3), 298-302.
18. Diacono, M., Persiani, A., Testani, E., Montemurro, F., & Ciaccia, C. (2019). Recycling agricultural wastes and by-products in organic farming: Biofertilizer production, yield performance and carbon footprint analysis. *Sustainability*, 11(14), 3824.
19. Di Maria, F., Sisani, F., & Contini, S. (2018). Are EU waste-to-energy technologies effective for exploiting the energy in bio-waste?. *Applied Energy*, 230, 1557-1572.

20. Edjabou, M. E., Boldrin, A., & Astrup, T. F. (2018). Compositional analysis of seasonal variation in Danish residual household waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 130, 70-79.
21. Ekinci, K. (2001). Theoretical and experimental studies on the effects of aeration strategies on the composting process. The Ohio State University.
22. Faucette, B. (2004). Evaluation of environmental benefits and impacts of compost and industry standard erosion and sediment control measures used in construction activities (Doctoral dissertation, University of Georgia).
23. Fricke, K., Heußner, C., Hüttner, A., & Turk, T. (2017). Recycling of biowaste: experience with collection, digestion, and quality in Germany. *Source Separation and Recycling*, 175-175.
24. Giavini, M., & Compostatori, C. C. I. (2017). Separate collection of biowaste—is it technically, economically and environmentally practicable?. In conferencia presentada en el workshop «ECN Biowaste in the Circulare Economy», Bruselas.
25. Haight, T., & Taylor, P. (2000). A Manual for Composting in Hotels. A guide to Composting Yard and Food Waste for Hotels in Thailand. Canadian Universities Consortium Urban Environmental Management Project, Training and Technology Transfer program Funded by Canadian International Development Agency.
26. Haug, R. T. (2018). *The practical handbook of compost engineering*. Routledge.
27. Intharathirat, R., & Abdul Salam, P. (2020). Analytical hierarchy process-based decision making for sustainable MSW management systems in small and medium cities. In *Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies* (pp. 609-624). Springer, Singapore.
28. Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities—A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(3), 1-12.
29. Lasoff, M. A. (2000). Composting industry. *Waste Age*, 31(8), 44-53.
30. Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K., & Wang, L. B. (2018). A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion.

- International journal of environmental research and public health, 15(10), 2224.
31. Molla, A. H., Fakhru'l-Razi, A., Hanafi, M. M., & Alam, M. Z. (2005). Compost produced by solid state bioconversion of biosolids: a potential resource for plant growth and environmental friendly disposal. *Communications in soil science and plant analysis*, 36(11-12), 1435-1447.
 32. Nakasaki, K., Nag, K., & Karita, S. (2005). Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. *Waste Management & Research*, 23(1), 48-56.
 33. Neuwahl, F., Cusano, G., Benavides, J. G., Holbrook, S., & Roudier, S. (2019). Best available techniques (BAT) reference document for waste incineration. Publications Office of the European Union: Luxembourg.
 34. Nigussie, A., Kuyper, T. W., & de Neergaard, A. (2015). Agricultural waste utilisation strategies and demand for urban waste compost: Evidence from smallholder farmers in Ethiopia. *Waste Management*, 44, 82-93.
 35. Papargyropouloy E., Lozano R., Ujang Z.B, (2014), «The Food Waste Hierarchy as a Framework for the Management of food Surplus and Food Waste», *Journal of Cleaner Production*
 36. Park, M., Singvilay, O., Shin, W., Kim, E., Chung, J., & Sa, T. (2004). Effects of long-term compost and fertilizer application on soil phosphorus status under paddy cropping system. *Communications in soil science and plant analysis*, 35(11-12), 1635-1644.
 37. Razza, F., D'Avino, L., L'Abate, G., & Lazzeri, L. (2018). The role of compost in bio-waste management and circular economy. In *Designing sustainable technologies, products and policies* (pp. 133-143). Springer, Cham.
 38. Rodrigues, J., Oliveira, V., Lopes, P., & Dias-Ferreira, C. (2015). Door-to-door collection of food and kitchen waste in city centers under the framework of multimunicipal waste management systems in Portugal: the case study of Aveiro. *Waste and biomass valorization*, 6(5), 647-656.

39. Romero-Güiza, M. S., Vila, J., Mata-Alvarez, J., Chimenos, J. M., & Astals, S. (2016). The role of additives on anaerobic digestion: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1486-1499.
40. Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource technology*, 78(3), 301-308.
41. Shukor, J. A., Omar, M. F., Kasim, M. M., Jamaludin, M. H., & Naim, M. A. (2018). Assessment of composting technologies for organic waste management *J. Assessment*, 9(8).
42. Sinha, R. K., & Herat, S. (2002). A cost-effective microbial slurry technology for rapid composting of municipal solid wastes in waste dump sites in India and its feasibility for use in Australia. *Environmentalist*, 22(1), 9-12.
43. Storino, F., Menéndez, S., Muro, J., Aparicio-Tejo, P. M., & Irigoyen, I. (2017). Effect of feeding regime on composting in bins. *Compost Science & Utilization*, 25(2), 71-81.
44. Vázquez, M. A., & Soto, M. (2017). The efficiency of home composting programmes and compost quality. *Waste Management*, 64, 39-50.
45. Xevgenos, D., Papadaskalopoulou, C., Panaretou, V., Moustakas, K., & Malamis, D. (2015). Success stories for recycling of MSW at municipal level: a review. *Waste and biomass valorization*, 6(5), 657-684.
46. Zucconi, F., De Bertoldi M., (1987), «Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste», Elsevier, London.

Ελληνική Βιβλιογραφία:

1. Ανδρεόπουλος Γ. Ανδρέας, (2021), «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων», Σημειώσεις Μεταπτυχιακού Μαθήματος,

Εφαρμοσμένες Πολιτικές και Τεχνικές Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

2. Γιδάρακος, Ε. (2006), «Επικίνδυνα Απόβλητα: Διαχείριση - Επεξεργασία – Διάθεση», Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
3. ΕΠΠΕΡΡΑΑ (2014), «Οδηγός Λειτουργίας Εγκαταστάσεων Κομποστοποίησης (Αερόβια Επεξεργασία) Προδιαλεγμένων Βιοαποβλήτων».
4. ΕΠΠΕΡΑΑ (2012), «Οδηγός Εφαρμογής Προγραμμάτων Διαλογή στη Πηγή και Συστημάτων Διαχείρισης των Βιοαποβλήτων».
5. ΕΕΔΣΑ, Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2008), «Η Νέα Οδηγία –Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Απόβλητα και οι Επιπτώσεις της στην Ελλάδα».
6. ΕΕΔΣΑ, Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2017) «Ορισμοί Αστικών Στερεών αποβλήτων».
7. Κώνστας Σ., (2004), «Οργανωτής Προγραμμάτων Ανακύκλωσης Στερεών Αποβλήτων με Διαλογή στην Πηγή». Εκδόσεις ΕΕΔΣΑ-EQUAL, Αθήνα.
8. Μανιός Θ., (2009), «Κομποστοποίηση Οργανικών Υπολειμμάτων», Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Ηράκλειο.
9. Μαυρόπουλος Α., (2008), Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων, Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης.
10. Ραλλιός Ε., (2016), «Η Διαχείριση των Βιοαποβλήτων με Έμφαση στην Συλλογή Και Μεταφορά», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Νομοθεσία

1. Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 «για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών»
2. Νόμος 4014/2011 - ΦΕΚ Α-209/Α/21-9-2011: Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε

συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος.

3. Νόμος 4042/2012 - ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012: Ποινική προστασία του περιβάλλοντος - Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/99/ΕΚ - πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98/ΕΚ - Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.
4. Νόμος 4685/2020 - ΦΕΚ 92/Α/7-5-2020: Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.
5. Υπουργική Απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΙΠΑ/17185/1069/2022 - ΦΕΚ 841/Β/24-2-2022: Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπό στοιχεία ΔΙΠΑ/οικ.37674/27-7-2016 υπουργικής απόφασης «Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπουργικής απόφασης 1958/2012 - Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες