



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΓΡΟΔΙΑΤΡΟΦΗ»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία

**« Μέθοδοι διαχείρισης και αξιοποίησης βιοαποβλήτων. Η περίπτωση
του βιοποβλήτου καφέ»**

Βασιλική Δημάκα
Γεωπόνος

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2023

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κα. Χελά Δήμητρα για την συνεργασία μας στην παρούσα εργασία. Είναι πολύ σημαντικό στις μέρες μας να υπάρχουν καθηγητές που να στηρίζουν τους μαθητές τους και να τους ενθαρρύνουν εμπράκτως να ασχοληθούν με την επιστήμη, γι' αυτό κι εγώ είμαι πραγματικά ευγνώμων για αυτό.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω το τμήμα μου "Χημικό Ιωαννίνων" για το εξαιρετικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών που παρακολούθησα και για τις γνώσεις που έλαβα και θα με βοηθήσουν στην μετέπειτα επαγγελματική μου πορεία

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη της σε κάθε μου βήμα, καθώς και όλους όσους συντέλεσαν με το δικό τους τρόπο για αυτή την εργασία.

Με τιμή,

Δημάκα Βασιλική

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
Κεφάλαιο 1 ^ο : Οργανικά απόβλητα, Αστικά Στερεά Απόβλητα και Βιοαπόβλητα.....	6
1.1 Οργανικά απόβλητα	6
1.2 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) – Municipal solid waste	9
1.3 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (BAA) και Βιοαπόβλητα (BA ή BW)	10
1.4 Περιβαλλοντικά ζητήματα που δημιουργούν.....	13
1.5 Ανάγκη διαχωρισμού βιοαποβλήτων από ΑΣΑ	15
1.6 Ανάγκη για επεξεργασία	17
1.6.1 Συστήματα διαχείρισης βιοαποβλήτων	19
1.7 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής κι επεξεργασίας βιοαποβλήτων.....	23
2 ^ο Κεφάλαιο: Μέθοδοι επεξεργασίας-διαχείρισης βιοαποβλήτων	27
2.1 Βιοδυλιστήρια.....	27
2.1.1 Οφέλη και προκλήσεις βιοδυλιστηρίων	30
2.2 Διεργασίες που πραγματοποιούνται σε ένα βιοδυλιστήριο.....	32
2.2 Παραγωγή κομπόστ και εδαφοβελτιωτικών	32
2.2.1 Κομποστοποίηση.....	35
2.2.2 Συν-κομποστοποίηση	40
2.2.3 Αναερόβια χώνευση	41
2.3 Παραγωγή - Ανάκτηση ενέργειας.....	48
2.3.1 Διεργασίες παραγωγής ελαίων/βιοντίζελ.....	50
2.3.2 Παραγωγή ενέργειας με υγροποίηση ή πυρόλυση (ή αεριοποίηση)	54
2.4 Καύση.....	57
2.5 Υγειονομική ταφή.....	59
Κεφάλαιο 3 ^ο Ο καφές και η επεξεργασία των υπολειμμάτων του	61
3.1 Υφιστάμενη κατάσταση	61
3.2 Χρήσεις βιοαποβλήτων κατακαθιών καφέ.....	63

3.3 Παραγωγή ενέργειας.....	64
3.3.1 Βιοντίζελ.....	65
3.3.2 Ανακτήσιμα σάκχαρα και παραγωγή βιοαιθανόλης	68
3.3.3 Στερεό βιοκαύσιμο.....	70
3.3.4 Υγροποίηση και πυρόλυση.....	71
3.4 Κομποστοποίηση	74
3.5 Παρασκευή υλικών	76
3.5.1 Υλικά πλήρωσης κλπ	76
3.5.2 Συνθετικά υλικά.....	77
3.5.3 Φίλτρα προσρόφησης.....	78
3.6 Διατροφικά οφέλη και υγεία	79
3.6.1 Φαινόλες και αντιοξειδωτικά.....	79
3.6.2 Αντικαρκινική δράση	81
3.7 Αλκοολούχα ποτά.....	82
3.8 Αρτοποιία	83
Συμπεράσματα.....	83
Βιβλιογραφία	85

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση του πληθυσμού καθώς και της κατανάλωσης οδηγεί στην αύξηση των παραγόμενων υποπροϊόντων. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των υποπροϊόντων είναι οργανικής φύσης τα οποία χρίζουν διαχείρισης πριν διατεθούν ή αξιοποιηθούν περαιτέρω.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται η διάκριση μεταξύ οργανικών αποβλήτων, αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) και βιοαποβλήτων. Η εργασία επικεντρώνεται στις μεθόδους διαχείρισης και επεξεργασίας των βιοαποβλήτων γενικότερα καθώς και ειδικότερα στα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν από το βιοαπόβλητο του καφέ. Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά των οργανικών αποβλήτων, των αστικών στερεών αποβλήτων και των βιοαποβλήτων. τα προβλήματα που δημιουργούνται στο περιβάλλον από αυτά, την υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με την παραγωγή τους όπως και η ανάγκη για επεξεργασία τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα δωλιστήρια που είναι οι εγκαταστάσεις που μετατρέπουν τη βιομάζα σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας και στα οφέλη, αλλά και τις προκλήσεις που μπορεί να έχουν τέτοιες εγκαταστάσεις. Τέλος θα πραγματοποιηθεί εκτεταμένη αναφορά στις διεργασίες επεξεργασίας των βιοαποβλήτων με βάση τα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθούν βιολογικές διεργασίες, διεργασίες παραγωγής ενέργειας αλλά και οι μέθοδοι επεξεργασίας που σχετίζονται με την παραγωγή ενώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της τροφής και υγείας.

Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο θα μελετηθεί η επεξεργασία των υπολειμμάτων καφέ. Αναλυτικότερα θα αναφερθεί η υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με την παραγωγή υπολειμμάτων καφέ, οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαφόρων ωφέλιμων προϊόντων όπως και τα οφέλη από την επεξεργασία αλλά και πιθανά προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπιστούν.

Κεφάλαιο 1^ο : Οργανικά απόβλητα, Αστικά Στερεά Απόβλητα και Βιοαπόβλητα

1.1 Οργανικά απόβλητα

Τα οργανικά απόβλητα αναφέρονται σε κάθε υλικό που προέρχεται από φυτά ή ζώα και είναι βιοαποδομήσιμο. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να διασπαστούν σε φυσικές ουσίες στο περιβάλλον. Τα οργανικά απόβλητα μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως νοικοκυριά, επιχειρήσεις, αγροκτήματα και βιομηχανίες. Τα συνήθη είδη οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνουν τα απορρίμματα τροφίμων, τα απορρίμματα κήπων, την κοπριά ζώων, τη λυματολάσπη και τα γεωργικά απόβλητα. Διαφέρουν από άλλα είδη αποβλήτων, όπως τα ανόργανα απόβλητα, τα οποία δεν βιοδιασπώνται και μπορούν να παραμείνουν στο περιβάλλον για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Τα οργανικά απόβλητα διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες : τα αστικά απόβλητα, τα βιομηχανικά απόβλητα και τα γεωργικά απόβλητα.

➤ Αστικά απόβλητα

Τα αστικά απόβλητα είναι μια μορφή οικιακών αποβλήτων που μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την πυκνότητα του πληθυσμού, τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και τα πολιτιστικά πρότυπα. Γενικά, περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικής ύλης, χαρτιού και χαρτονιού, με χαμηλότερη συγκέντρωση επικίνδυνων ουσιών. Μπορεί επίσης να περιέχουν και άλλα υλικά, όπως πλαστικά, γυαλί και μέταλλα. Η συμπεριφορά των καταναλωτών παίζει ρόλο στην επίδραση των χαρακτηριστικών των αστικών αποβλήτων. Επιπλέον, η σύνθεση των αστικών αποβλήτων μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την εποχή, με τους θερμότερους μήνες να παράγουν περισσότερα οργανικά απόβλητα. Τέλος, οι αλλαγές στη συμπεριφορά των καταναλωτών, όπως οι αλλαγές στις αγοραστικές συνήθειες ή η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, μπορεί να επηρεάσουν τα αστικά απόβλητα (Roy & al, 2022).

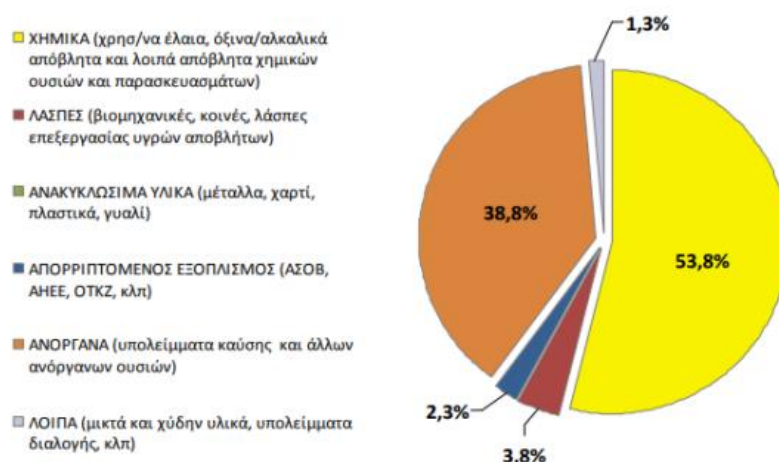
Η αναγνώριση αυτών των χαρακτηριστικών είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία βιώσιμων συστημάτων συλλογής και διαχείρισης αποβλήτων που θα είναι στενά συνδεδεμένα με τα χαρακτηριστικά κάθε περιφέρειας και δήμου (αστικός ή αγροτικός) που ταιριάζει σε κάθε περίπτωση (Panaretou, et al., 2016).

➤ Βιομηχανικά απόβλητα

Τα βιομηχανικά απόβλητα αναφέρονται στα απόβλητα που παράγονται από βιομηχανικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένης και της μεταποίησης, της εξόρυξης και των κατασκευών. Τα βιομηχανικά απόβλητα συνήθως ταξινομούνται σε υγρά απόβλητα, στερεά απόβλητα και αέριους ρύπους. Οι τρεις κατηγορίες αποβλήτων είναι αλληλένδετες, αφού παράγονται από τις ίδιες βιομηχανικές εγκαταστάσεις και επηρεάζουν εξίσου το περιβάλλον.

Περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα υλικών με διαφορετικό βαθμό περιβαλλοντικής τοξικότητας. Περιέχουν συνήθως υψηλές συγκεντρώσεις επικίνδυνων υλικών, όπως βαρέα μέταλλα, χημικές ουσίες και διαλύτες. Επιπλέον περιέχουν οργανικά υλικά όπως ξύλο, χαρτί και απόβλητα τροφίμων, καθώς και μη βιοδιασπώμενα υλικά, όπως πλαστικά και μέταλλα. Η σύνθεσή τους ποικίλλει ανάλογα με τη βιομηχανία και τις συγκεκριμένες διεργασίες που εμπλέκονται (Roy & al, 2022).

Σε έρευνα αποβλήτων της Ελληνικής στατιστικής αρχής που αφορά τις επιχειρήσεις με 10 και περισσότερα άτομα μισθωτού προσωπικού, τις οποίες και απογράφει. Το έτος 2010 δηλώθηκαν συνολικά 96.346 τόνοι βιομηχανικών επικίνδυνων αποβλήτων από 873 βιομηχανικές εγκαταστάσεις και αντίστοιχα, το έτος 2011 συνολικά 131.771 τόνοι από 793 εγκαταστάσεις. Η ποσοστιαία συμμετοχή κάθε κατηγορίας στο σύνολο των εκτιμώμενων βιομηχανικών επικίνδυνων αποβλήτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 European council 2017 European Council (2017),

«Council Regulation 2017/997 of 8 June 2017 amending Annex III to Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council as regards the hazardous property HP 14 'Ecotoxic'», Official Journal of the European Union, p. 1-4

Δυστυχώς, δεν υπάρχει τακτικά ενημερωμένη και συστηματική βάση δεδομένων για τα βιομηχανικά στερεά απόβλητα, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον ακριβή προσδιορισμό των ποσοστών παραγωγής. Ενδεικτικά στοιχεία για την ετήσια παραγωγή βιομηχανικών αποβλήτων στην Ελλάδα δίνονται στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων που πραγματοποιήθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας το 2016 (Σοφρά, 2019)

Η αναλογία της παραγωγής αστικών και βιομηχανικών στερεών αποβλήτων ποικίλλει μεταξύ των χωρών που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένων των αναπτυσσόμενων χωρών (Roy & al, 2022).

➤ Γεωργικά απόβλητα

Τα αγρο-απόβλητα αναφέρονται σε οποιαδήποτε ουσία, όπως ένα φυτοφάρμακο, χημικά ή λιπάσματα που έχουν απομείνει και απορρίπτονται ως υποπροϊόν της γεωργίας. Είναι οτιδήποτε προέρχεται από γεωργικές δραστηριότητες όπως φύτευση ή εκτροφή ζώων και δεν μπορεί να πουληθεί ή να χρησιμοποιηθεί με οποιονδήποτε τρόπο, αφού παρήχθη ως υποπροϊόν γεωργικών δραστηριοτήτων όπως η φύτευση ή η εκτροφή ζώων (Tu Nguyen et al., 2022).. Τα ζιζάνια, τα υπολείμματα των καλλιεργειών, το πριονίδι, τα απορρίμματα φύλλων, τα δασικά σκουπίδια και η κοπριά των ζώων είναι όλα παραδείγματα αγρο-απόβλητων. Ακόμη και μέρη των φυτών που δεν τρώγονται θα καταλήξουν ως αγρο-απόβλητα. Μετά την παραγωγή των καλλιεργειών περίπου το 80 % της γεωργικής βιομάζας καταλήγουν γεωργικά απόβλητα (Rani & al, 2023).

Διάφορες γεωργικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της φυτικής παραγωγής, της κτηνοτροφίας και της δασοκομίας, παράγουν γεωργικά οργανικά απόβλητα. Τα απόβλητα αυτά παράγονται επίσης από νοικοκυριά, εμπορικές εγκαταστάσεις και ιδρύματα με τη μορφή οργανικών αποβλήτων, όπως απόβλητα τροφίμων και κήπων.

Τα χαρακτηριστικά των γεωργικών και οργανικών αποβλήτων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την προέλευση και τον τύπο τους. Παρόλα αυτά, ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν υψηλή οργανική περιεκτικότητα, βιοδιασπασιμότητα και σχετικά χαμηλή συγκέντρωση επικίνδυνων υλικών. Το γεγονός ότι οι αγρότες συχνά καίνε αυτά τα απόβλητα, τα οποία απελευθερώνουν κατά την αποσύνθεσή τους αέρια (όπως το μεθάνιο) στο περιβάλλον σε μεγάλες ποσότητες, είναι ο κύριος

παράγοντας που συμβάλλει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την υγεία του μέσου ανθρώπου.

Τα γεωργικά και οργανικά απόβλητα μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων καλλιεργειών, της κοπριάς ζώων, των αποβλήτων τροφίμων και των πράσινων αποβλήτων. Κάθε τύπος αποβλήτων έχει διαφορετική σύνθεση, με τα υπολείμματα καλλιεργειών να περιέχουν υψηλότερα επίπεδα λιγνοκυτταρίνης, την κοπριά ζώων να περιέχει υψηλότερα επίπεδα αζώτου και φωσφόρου και τα απόβλητα τροφίμων να έχουν υψηλότερο ποσοστό οργανικής ύλης.

1.2 Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) – Municipal solid waste

Τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) αποτελούνται από ανθρωπογενούς κυρίως προέλευσης, στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία στερούνται άμεσης αξίας και είναι ανεπιθύμητα για τον κάτοχό τους. Τα αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ) είναι τα απόβλητα που παράγονται από νοικοκυριά, επιχειρήσεις και ιδρύματα σε μια πόλη ή κομόπολη. Αποτελούνται από καθημερινά είδη όπως υπολείμματα τροφίμων, απορρίμματα αυλής, χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλο. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν αντικείμενα όπως έπιπλα, συσκευές, ηλεκτρονικά είδη και επικίνδυνα απόβλητα όπως μπαταρίες, χημικά και ιατρικά απόβλητα.

- Μικτά οικιακά απόβλητα (Residential- Commercial) παράγονται από οικίες και επιχειρήσεις και αποτελούνται από βιοαποδομήσιμα οργανικά απόβλητα, χαρτί - χαρτόνι, πλαστικά, γυαλί, μέταλλα, ξύλο, υλικά διαφόρων συσκευασιών, υφάσματα, δέρματα κ.α.
- Κλαδέματα κήπων και πάρκων (yard wastes) Εκτός από τα φύλλα και τα κλαδιά σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται και μη βιοαποδομήσιμα υλικά όπως χώμα και πέτρες.
- Απόβλητα λαικών αγορών, καθαρισμών δρίμων, ιλύς από σηπτικές δεξαμενές, ιλύς που παράγεται κατά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων
- Ογκώδη αντικείμενα που λόγω του μεγέθους τους χρήζουν ξεχωριστής συλλογής, όπως απόβλητα οικοδομής και κατεδάφισης που περιλαμβάνουν υλικά που παράγονται κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων κατασκευής, ανακαίνισης και κατεδάφισης.

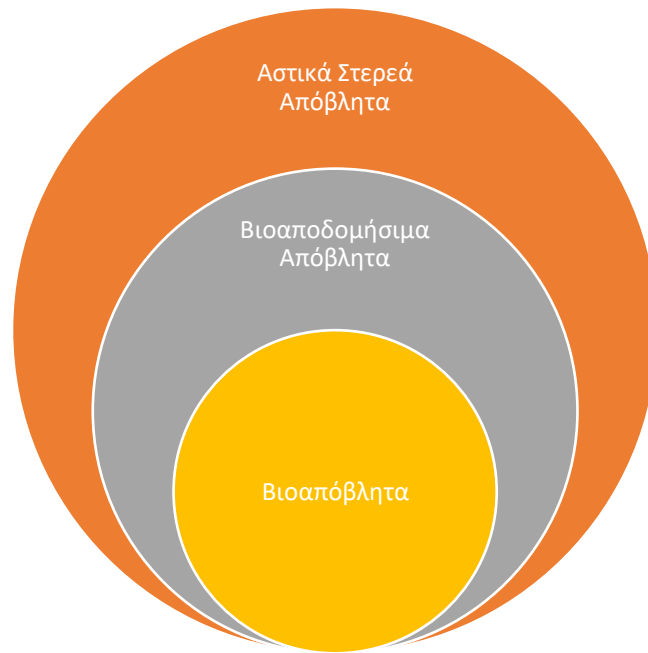
- Άλλα υλικά τα οποία δεν περιλαμβάνονται στις παραπάνω ομάδες αποβλήτων, όπως π.χ. βρεφικές πάνες (Σκορδίλης & Κομνίτσας, 2004).

Τα αστικά στερεά απόβλητα με βάση το ΥΠΕΝ αποτελούν το 18,4% του συνόλου των αποβλήτων (ΥΠΕΝ, 2018, σσ. 1-8).

Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) της περιόδου 2020 - 2030 (ΠΥΣ 39/ΦΕΚ 85Α), επί της συνολικής ετήσιας παραγόμενης ποσότητας Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) των 5.523 Mt/ε, το 44,3% των παραγόμενων αστικών αποβλήτων αποτελείται από βιοαπόβλητα, το 22,2% από χαρτί και χαρτόνι, το 13,9% από πλαστικά, το 3,9% από μέταλλα, το 4,3% από γυαλί και το 11,4% από τα υπόλοιπα ανακτήσιμα υλικά, καθώς και από μη ανακτήσιμα υλικά.

1.3 Βιοαποδομήσιμα απόβλητα (BAA) και Βιοαπόβλητα (BA ή BW)

Τα «βιοαποδομήσιμα απόβλητα» (BAA) αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος σε ποσοστό σύστασης των ΑΣΑ (Αστικών Στερεών Αποβλήτων). Σύμφωνα με την οδηγία περί υγειονομικής ταφής {Landfill Directive (1999/31/ΕΕ)} ορίζονται ως κάθε απόβλητο που είναι σε θέση να υποστεί αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση, όπως είναι τα απόβλητα τροφών και κηπουρικής, το χαρτί και το χαρτόνι. Με βάση την παραπάνω οδηγία επιβάλλεται η σταδιακή εκτροπή του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών αποβλήτων από τη διάθεση σε ΧΥΤΑ, από το 2010 έως το 2020 για την Ελλάδα.



Εικόνα 2. Κατανομή των αστικών αποβλήτων (ΑΣΑ), των βιοαποδομήσιμων (BAA) και των βιοαποβλήτων (BA) σε μορφή συνόλου με βάση ΕΠΠΕΡΑΑ 2012

Τα «βιοαπόβλητα ή βιολογικά απόβλητα» (BA) αποτελούν υποσύνολο των ΒΑΑ. Τα βιολογικά απόβλητα ταξινομούνται στα «αστικά απόβλητα» του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (EWC). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα (Parliament, 2008), τα βιοαπόβλητα (BW) ορίζονται ως «βιοαποδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, τροφίμων και κουζίνας από νοικοκυριά, γραφεία, εστιατόρια, καταστήματα εστίασης και καταστήματα λιανικής και συγκρίσιμα απόβλητα από μονάδες επεξεργασίας τροφίμων». Παρόλο που αυτή η οδηγία έχει τροποποιηθεί από την Οδηγία (ΕΕ) 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ης Μαΐου 2018, η οποία τροποποιεί την Οδηγία 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα [2], ο ορισμός των βιοαποβλήτων παρέμεινε ως έχει.

Τα βιοαπόβλητα (BW) είναι το κύριο κλάσμα των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ), κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου αντιπροσωπεύουν το 50–70% του συνόλου των ΑΣΑ (Thi & al, 2015, pp. 220-229). Έχουν ετερογενή φυσική σύνθεση, υψηλή υγρασία και συγκέντρωση αλάτων.

Τα βιολογικά απόβλητα ανάλογα με τη φύση ή την προέλευσή τους και τις ροές αποβλήτων που προέρχονται, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά βιολογικά απόβλητα.

Με βάση την έκθεση του ΕΠΠΕΡΑΑ (ΕΠΠΕΡΑΑ, 2012)

- Οικιακά βιοαπόβλητα: αποτελούν το οργανικό κλάσμα των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που δημιουργούνται στις οικίες (ή και σε δημόσιους χώρους στην περίπτωση των αποβλήτων κήπων) και διακρίνονται σε: οργανικά απόβλητα κουζίνας που περιλαμβάνουν τρόφιμα κουζίνας που απορρίπτονται έπειτα από χρήση ή όχι και σε απόβλητα κήπων- πρασίνου που περιλαμβάνουν υπολείμματα βλάστησης από συντήρηση χώρων πρασίνου και κήπων (χόρτα, κλαδιά κτλ).
- Εμπορικές δραστηριότητες και υπηρεσίες: είναι απόβλητα τροφίμων που προέρχονται από επιχειρήσεις όπως απόβλητα που προκύπτουν από δραστηριότητες εστίασης (π.χ εστιατορίων, ξενοδοχείων, κέντρων διασκέδασης κτλ.). Η κατηγορία αυτή εμπεριέχει τα βιοαπόβλητα που προέρχονται από αθλητικές δραστηριότητες υπηρεσίες αναψυχής, τις υπηρεσίες δημόσιου ή ιδιωτικού χαρακτήρα, οργανισμούς κοινής ωφέλειας και εκπαιδευτικά ιδρύματα. Σε μικρό ποσοστό περιλαμβάνονται και απόβλητων πρασίνου των δραστηριοτήτων αυτών.
- Εγκαταστάσεις παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων: είναι απόβλητα που προέρχονται από τις βιομηχανίες τροφίμων και ποτών. Εξαιρούνται τα παραπροϊόντα του τομέα παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα. Χωρίζονται σε αυτά που προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία και διατίθενται προς ταφή χωρίς επεξεργασία και σε αυτά που είναι αστικού τύπου. Επιπλέον στον εν λόγω ορισμό δεν περιλαμβάνονται η ιλύς επεξεργασίας αστικών λυμάτων, τα δασικά ή γεωργικά κατάλοιπα και τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα όπως οι φυσικές ίνες το χαρτί και το κατεργασμένο ξύλο. Χωρίζονται σε
 - α) εγκαταστάσεις επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών,
 - β) εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος και αλιευμάτων
 - γ) λοιπές εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων.



Εικόνα 3 Διαφορετικά οργανικά συστατικά βιοαποβλήτων (El Asri et al., 2021)

Συγκεκριμένα, τα βιοαπόβλητα αν και αναφέρονται στη νομοθεσία για τη διαχείριση των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, δεν περιέχουν χαρτί και έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό με αποτέλεσμα να έχουν ενδεχομένως επιπτώσεις στην επεξεργασία τους και συγκεκριμένα τις διεργασίες που περιλαμβάνουν θερμική επεξεργασία των αποβλήτων αυτών (Πράσινη Βίβλος, 2008).

1.4 Περιβαλλοντικά ζητήματα που δημιουργούν

Η μη επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον σχετίζεται με την δημιουργία διαφόρων περιβαλλοντικών ζητημάτων.

Αρχικά το σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα που σχετίζεται με τα οργανικά απόβλητα είναι η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Όταν τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, όπως σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε αναερόβιους χωνευτήρες, παράγεται μεθάνιο, το οποίο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή. Όταν η οργανική ύλη

αποσυντίθεται στους χώρους υγειονομικής ταφής, απελευθερώνει τα αέρια του θερμοκηπίου διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μεθάνιο (CH₄), τα οποία συμβάλλουν στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή (Zan & al, 2022, pp. 1180-1189).

Επιπλέον, εκπομπές που υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα είναι η αμμωνία, το υδρόθειο και οι πτητικές οργανικές ενώσεις. Αυτά τα αέρια μπορεί να προκαλέσουν αναπνευστικά προβλήματα, ερεθισμό των ματιών και άλλα προβλήματα υγείας στους κατοίκους της περιοχής. Επιπλέον, τα οργανικά απόβλητα μπορούν να προσελκύσουν μύγες, αρουραίους και άλλα παράσιτα, τα οποία μπορούν να συμβάλουν περαιτέρω στην εξάπλωση ασθενειών (Zan & al, 2022).

Ακόμα, τα οργανικά απόβλητα μπορούν να οδηγήσουν σε μόλυνση του νερού εάν δεν επεξεργαστούν ορθά με πολλούς τρόπους. Αρχικά όταν τα οργανικά απόβλητα διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε ανοικτές χωματερές, μπορεί να διαρρεύσουν ρύποι όπως άζωτο και φώσφορος στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα. Αυτοί οι ρύποι μπορούν να οδηγήσουν στο φαινόμενο του ευτροφισμού, δηλαδή στην υπερβολική ανάπτυξη φυκών και άλλων υδρόβιων φυτών που τελικά ρίχνουν τον ποσότητα οξυγόνου του νερού και βλάπτουν τα ψάρια και άλλους υδρόβιους οργανισμούς.

Τα οργανικά απόβλητα μπορούν επίσης να συμβάλουν στην ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων και ιών στις πηγές νερού. Όταν τα οργανικά απόβλητα εισέρχονται σε υδάτινα σώματα, μπορούν να αποτελέσουν πηγή τροφής για μικροοργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες που μεταδίδονται με το νερό, όπως η χολέρα, ο τυφοειδής πυρετός και η ηπατίτιδα Α. Τέλος μπορούν να αποτελέσουν πηγή τοξινών για το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα. Για παράδειγμα όταν η κοπριά των ζώων δεν διαχειρίζεται σωστά, μπορεί να διαρρεύσουν θρεπτικά συστατικά και παθογόνα σε κοντινές πηγές νερού. Αυτοί οι μολυσματικοί παράγοντες μπορούν να βλάψουν την υγεία των ανθρώπων και των ζώων και να οδηγήσουν στην υποβάθμιση παραλιών και αλιευτικών περιοχών (Owa, 2013).

Προβλήματα μπορούν επιπλέον να δημιουργήσουν και στο εδαφικό περιβάλλον με διάφορους τρόπους. Όταν τα οργανικά απόβλητα δεν διαχειρίζονται σωστά, μπορούν να απελευθερώσουν ρύπους όπως άζωτο, φώσφορο και βαρέα μέταλλα στο έδαφος. Αυτοί οι ρύποι μπορούν να μολύνουν το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, γεγονός που μπορεί να βλάψει τη ζωή των φυτών και των ζώων. Μπορούν ταυτόχρονα να

προσελκύσουν παράσιτα όπως αρουραίους και μύγες, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν ασθένειες που μπορούν να βλάψουν το έδαφος και τη ζωή των φυτών. Αυτά τα παράσιτα μπορούν επίσης να προκαλέσουν ζημιές σε καλλιέργειες και άλλη βλάβιση, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη γεωργική παραγωγικότητα (Owa, 2013).

Εκτός από αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οργανικά απόβλητα μπορούν επίσης να καταλαμβάνουν πολύτιμο χώρο στις χωματερές, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην εξάντληση των φυσικών πόρων και στην ανάγκη για νέες χωματερές. Τα οργανικά απόβλητα μπορούν επίσης να απελευθερώσουν τοξίνες στο έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, οι οποίες μπορούν να βλάψουν την υγεία των ανθρώπων και των ζώων (Zan & al, 2022).

Έτσι η ορθή διαχείριση των οργανικών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη αυτών των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ποσότητας των οργανικών αποβλήτων που οδηγούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής και μπορούν να μετατρέψουν τα οργανικά απόβλητα σε χρήσιμα προϊόντα, όπως λίπασμα και ανανεώσιμη ενέργεια. Επιπλέον, η μείωση των αποβλήτων τροφίμων μέσω προγραμμάτων μείωσης της προέλευσης και ανάκτησης τροφίμων μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη των περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με τα οργανικά απόβλητα (Owa, 2013).

1.5 Ανάγκη διαχωρισμού βιοαποβλήτων από ΑΣΑ

Στόχος είναι ο διαχωρισμός των βιοαπόβλητων στα ΑΣΑ, δηλαδή διαχωρισμός των υλικών που επαναχρησιμοποιούνται ή ανακυκλώνονται όπως τα χαρτί-χαρτόνι, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, και άλλα ανακυκλώσιμα κλάσματα. Η χωριστή συλλογή βιοαποδομήσιμων αποβλήτων παρέχει καλύτερης ποιότητας πρώτη ύλη για την παραγωγή λιπασμάτων από το υλικό που προέρχεται από τον μηχανικό διαχωρισμό αστικών στερεών αποβλήτων και θα μπορούσε να θεωρηθεί η καλύτερη λύση για τη μείωση του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη και για τη βελτίωση των υγειονομικών χωματερών.

Η εθνική πολιτική για τα βιοαπόβλητα, ακολουθώντας τις οδηγίες της ΕΕ, εστιάζει στην ανάπτυξη συστημάτων χωριστής συλλογής και εγκαταστάσεων

κομποστοποίησης ή αναερόβιας χώνευσης. Σύμφωνα με την οδηγία 2018/851 που αφορά τροποίσεις σχετικά με τη συλλογή και διαχείριση των βιοαποβλήτων (Parliament E. , 2018 , pp. 109–140).

- Έως τις 31 Δεκεμβρίου 2023, τα βιοαπόβλητα πρέπει να συλλέγονται χωριστά, να ανακυκλώνονται στην πηγή και ποτέ να μην αναμιγνύονται με άλλους τύπους απορριμμάτων.
- Από την 1η Ιανουαρίου 2027, το BW που εισέρχεται σε αερόβια ή αναερόβια επεξεργασία θα υπολογίζεται ως ανακυκλωμένο, μόνο εάν έχει συλλεχθεί ξεχωριστά ή διαχωριστεί στην πηγή.
- Σκοπός της παραπάνω τροπολογίας είναι να ενθαρρυνθεί η οικιακή κομποστοποίηση και να μειωθεί η ποσότητα των βιοαποβλήτων

Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο αυτό η εκτροφή του οργανικού κλάσματος αποβλήτων στοχεύει στη χρήση του αφενός για παραγωγή κόμποστ υψηλής ποιότητας και ανάκτηση ενέργειας και αφετέρου ενθαρρύνεται η οικιακή κομποστοποίηση ώστε να αποφευχθεί η κύρια απειλή της κακής διαχείρισης των βιοαποβλήτων που είναι η παραγωγή μεθανίου με αναερόβια ζύμωση σε χωματερές.

Βασικό πρόβλημα στον διαχωρισμό των βιοαποβλήτων από τα υπόλοιπα ΑΣΑ είναι ότι μικρά φυτικά κλάσματα και FW εξακολουθούν να συλλέγονται σε πολλές περιοχές αναμειγμένα με άλλους τύπους αποβλήτων. Έτσι, η εφαρμογή ενός νέου κάδου συλλογής και η ενθάρρυνση της οικιακής κομποστοποίησης πρέπει να είναι το επόμενο βήμα σε κάθε δήμο.

Η γενιά των BW και συνεπώς η στρατηγική διαχείρισης που πρέπει να αναπτυχθεί τα επόμενα χρόνια θα είναι στενά συνδεδεμένη με τον τύπο του δήμου, αστικού ή αγροτικού, επομένως χρειάζεται πρώτα να καθοριστεί η τυπολογία των δήμων. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε περιφέρειας και δήμου, το επιλεγμένο σύστημα συλλογής για καθένα από αυτά θα ποικίλλει σημαντικά (Paneratou et al., 2017) . Ο δείκτης αγροτικότητας είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να το συμπεριλάβουν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

1.6 Ανάγκη για επεξεργασία

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η ανάγκη για επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων διακρίνεται σε τρεις πυλώνες : στην ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος, κοινωνικόοικονομικά οφέλη όπως και στην ανάγκη για βιώσιμη διαχείρισή τους

- Ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και πραγματοποίηση δράσεων που θα μετριάσουν την κλιματική αλλαγή

Η ανάγκη για μια βιώσιμη βιομηχανία παραγωγής και ενέργειας έχει αυξηθεί δραστικά αφού οι πρώτες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται πιο διαδεδομένες και ορατές. Οι ορυκτές πηγές γίνονται όλο και πιο αμφιλεγόμενες και πρόκειται να αντικατασταθούν με βιολογικούς πόρους στο μέλλον. Ωστόσο, προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό αυτών των βιολογικών πόρων και, επιπλέον, να διαφυλαχθεί η αρόσιμη γη για παραγωγή τροφίμων, θα πρέπει να ενταθεί η χρήση ροών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας και χημικών ενώσεων. Ακριβώς όπως οι ορυκτές πηγές μετατρέπονται σε ενέργεια και χημικές ενώσεις σε ένα διυλιστήριο, οι βιο-πόροι μετατρέπονται σε χρήσιμες ενώσεις σε ένα βιοδιυλιστήριο .

Τα οργανικά απόβλητα αποτελούν το 50-70% των συνολικών παραγόμενων αποβλήτων.

Αρχικά είναι αναγκαία η επεξεργασία τους ώστε να μειωθούν οι παραγόμενες τοξικές ουσίες αλλά και αέρια του θερμοκηπίου προς το περιβάλλον. Η επεξεργασία με διάφορες μεθόδους όπως η αναερόβια χώνευση και κομποστοποίηση μπορεί να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών μεθανίου με τη δέσμευση του αερίου και τη χρήση του για την παραγωγή ενέργειας (Bengtsson & al, 2012).

Τα κατάλληλα επεξεργασμένα οργανικά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό, εμπλουτίζοντας το έδαφος με απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και βελτιώνοντας την ποιότητα του εδάφους. Αυτό οδηγεί σε καλύτερη ανάπτυξη των φυτών, αυξημένη δέσμευση άνθρακα στο έδαφος και βελτιωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Ταυτόχρονα, μειώνει την ανάγκη χρήσης συνθετικών

λιπασμάτων, των οποίων η παραγωγή και εφαρμογή εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου (Bengtsson & al, 2012).

Επιπλέον, η διάθεση των αποβλήτων ή η υγειονομική τους ταφή αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων μέσω διαφόρων μεθόδων μπορεί να εκτρέψει τα απόβλητα από τους χώρους υγειονομικής ταφής και να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Bengtsson & al, 2012).

Τέλος, η ακατάλληλη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων μπορεί να μολύνει τις πηγές νερού, οδηγώντας σε ρύπανση των υδάτων και υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων. Με την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων, μπορούν να προστατευτούν οι ήδη επιβαρυνμένοι και πολύτιμοι υδάτινοι πόροι (Bengtsson & al, 2012).

Ανάγκη για οικονομική αξιοποίησή τους για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

Παρόλο που τα «απόβλητα» έχουν συνήθως μια αρνητική χροιά, σκέφτεται κανείς σκουπίδια ή ίσως ακόμη και επικίνδυνο ή τοξικό υλικό, αυτό μπορεί να αλλάξει αν αυτό που θεωρείται απόβλητο σήμερα, μπορεί να είναι πόρος στο μέλλον. Μια πιο στρατηγική αντίληψη, επομένως, είναι ότι μια ουσία ή ένα αντικείμενο χαρακτηρίζεται ως απόβλητο όταν δεν χρησιμοποιείται στο μέγιστο των δυνατοτήτων του (Dijkema & al, 2000, pp. 633-638).

Τα οργανικά υπολείμματα αποτελούνται από διάφορα τρόφιμα, υποπροϊόντα της διατροφής των ζώων και των καλλιεργούμενων καρπών. Μόνο η ετήσια ποσότητα φρούτων και λαχανικών φτάνει στους 1,3 δισεκατομμύρια τόνους αποβλήτων. Η ποσότητα αυτή εκτιμάται ότι ανέρχεται σε περίπου 88 εκατ. τόνους σε ολόκληρη την Ευρώπη, που αντιστοιχεί σε περίπου 173 κιλά ανά κάτοικο και αντιπροσωπεύει απώλεια 143 δισεκατομμυρίων ευρώ κάθε χρόνο. Μία μεγάλη ποσότητα από αυτά τα παραγόμενα απόβλητα

- Ανάγκη για βιώσιμη διαχείρισή τους

Η σημερινή διαχείριση των αστικών αποβλήτων σε αρκετές περιπτώσεις αποτελεί απειλή τόσο για τους ανθρώπους όσο και για το περιβάλλον και σαφώς δεν είναι βιώσιμη (Bengtsson & al, 2012).

Οι χώροι διάθεσης, οι οποίοι συνήθως βρίσκονται στα περίχωρα των πόλεων, είναι κυρίως ανοικτές χωματερές και απλές χωματερές με ελάχιστο εξοπλισμό για την προστασία του περιβάλλοντος. Οι χώροι αυτοί ρυπαίνουν τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα, εκπέμπουν άσχημες οσμές και παράγουν μεθάνιο, το οποίο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου που μπορεί επίσης να προκαλέσει πυρκαγιές στις χωματερές. Οι χωματερές και οι χώροι υγειονομικής ταφής απαιτούν κατάλληλη γη, η οποία είναι σπάνια σε πολλά μέρη του κόσμου. Οι θάβουν υλικά που διαφορετικά θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν σε νέα προϊόντα ή να επιστρέψουν στα παραγωγικά εδάφη ως θρεπτικά συστατικά. Ως εκ τούτου θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν περισσότερες προσπάθειες για τη βελτίωση των συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων τους και την προώθηση καλύτερων μεθόδων επεξεργασίας. Ωστόσο, οι τοπικές κυβερνήσεις διαθέτουν συχνά περιορισμένους πόρους και ικανότητες και ενδέχεται να χρειάζονται υποστήριξη και ενθάρρυνση από το εθνικό επίπεδο και άλλες εξωτερικές πηγές για την επιλογή και εφαρμογή πιο βιώσιμων συστημάτων και τεχνολογιών. Αν και οι προκλήσεις που σχετίζονται με τα οργανικά απόβλητα έχουν αναγνωριστεί εδώ και πολλά χρόνια, η κατάσταση στις περισσότερες πόλεις παραμένει ανησυχητική. Έτσι είναι αναγκαία η βιώσιμη επεξεργασία τους (Bengtsson & al, 2012).

1.6.1 Συστήματα διαχείρισης βιοαποβλήτων

Τα συστήματα διαχείρισης των βιοαποβλήτων με βάση το εγχειρίδιο διαχείρισης αποβλήτων διακρίνονται ανάλογα τον χώρο που πραγματοποιείται η διαχείριση σε

- Συστήματα διαχείρισης των βιοαποβλήτων στην πηγή: χωρίζονται σε δύο κατηγορίες

α) Οικιακή-επιτόπια κομποστοποίηση: αφορά την διαχείριση των αποβλήτων με διάφορων τύπων κάδοι οικιακής κομποστοποίησης εντός οικιών, κήπων, δημόσιων χώρων πρασίνου ή συγκεκριμένων χώρων των αστικών περιοχών, όπως οικιστικά συγκροτήματα, σχολεία, ξενοδοχεία, στρατόπεδα. Σε περιπτώσεις που επιδιώκεται μαζικότερη επιτόπια διαχείριση όπως π.χ. για την εξυπηρέτηση οικιστικών συγκροτημάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μηχανικοί κομποστοποιητές, οι οποίοι σε σχέση με τους απλούς κάδους οικιακής κομποστοποίησης διαθέτουν μεγαλύτερη δυναμικότητα και αυτοματοποιούν σε ορισμένο βαθμό τη διαδικασία παραγωγής του κόμποστ.

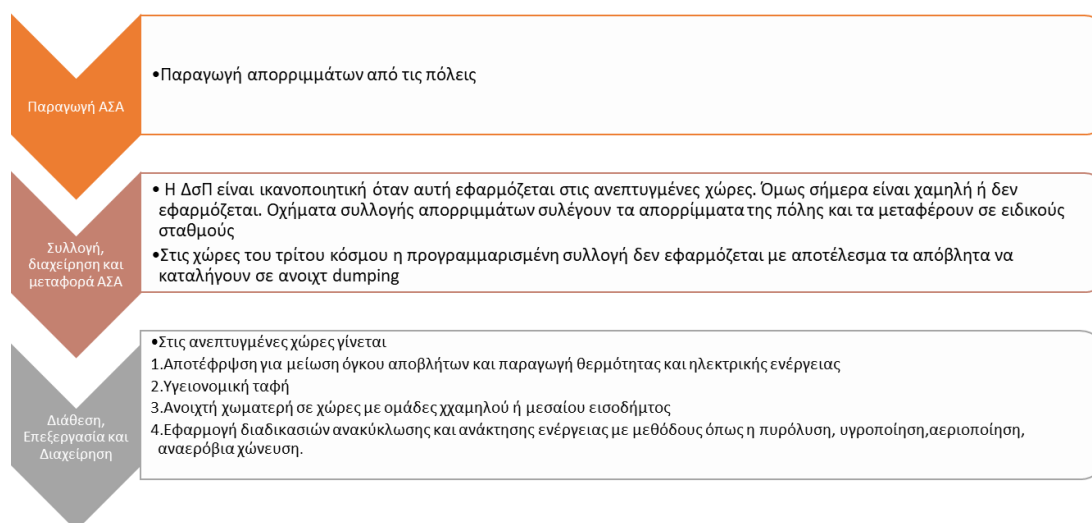
β) Διαλογή στην πηγή (ΔσΠ): αφορά τον διαχωρισμό των βιοαποβλήτων πριν αναμειχθούν με την υπόλοιπη μάζα απορριμμάτων. Βασικά συστατικά των συστημάτων ΔσΠ είναι οι κάδοι στους οποίους οι πολίτες αποθέτουν τα προδιαλεγμένα βιοαπόβλητα και τα απορριμματοφόρα οχήματα που διατίθενται από τις δημοτικές υπηρεσίες αποκλειστικά για την αποκομιδή βιοαποβλήτων.

- Συστήματα (μονάδες) επεξεργασίας και ανάκτησης βιοαποβλήτων: χωρίζονται σε

α) μονάδες δημοτικής κομποστοποίησης αποκεντρωμένες μονάδες μικρής κλίμακας που αναπτύσσονται προκειμένου να εξυπηρετήσουν ανάγκες σε τοπικό επίπεδο.

β) σε κεντρικές μονάδες επεξεργασίας προδιαλεγμένων βιοαποβλήτων αναπτύσσονται προκειμένου να εξυπηρετήσουν περιοχές σε κεντρικό επίπεδο, όπου και οι συλλεγόμενες ποσότητες βιοαποβλήτων θα είναι σχετικά μεγάλες.

Ο διαχωρισμός στην πηγή των ανακυκλώσιμων κλασμάτων τόσο από τα νοικοκυριά όσο και από επιλεγμένες παραγωγικές δραστηριότητες είναι η κύρια και απαραίτητη στρατηγική που επιτρέπει την ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης από τους Δήμους επιβάλλεται να εφαρμόζει έννοιες της ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης και διαλογής στην πηγή με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων που τελικά θα καταλήξουν στους ΧΥΤΥ για υγειονομική ταφή.



Ο καφέ κάδος

Είναι ειδικός κάδος στον οποίο συλλέγουμε αποκλειστικά τα οργανικά μας βιοαπόβλητα. Σε αυτόν ουσιαστικά ξεκινάει η διαδικασία της κομποστοποίησης ώστε τελικά να παραχθεί ένα θρεπτικό οργανικό λίπασμα. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά τη μεταφορά των βιοαπόβλητων από τους καφέ κάδους μέσω των καφέ απορριμματοφόρων σε ειδικές μονάδες επεξεργασίας-ανακύκλωσης ανά την Ελλάδα. Στόχος του καφέ κάδου είναι η αποτροπή του κλάσματος των βιοαποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής ή χωματερών. Η φιλοσοφία πίσω από τους καφέ κάδους είναι "ναι στο χώμα, όχι στην χωματερή". Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε έναν καφέ κάδο στην περιοχή της Πλαταριάς Θεσπρωτίας δίπλα από το λιμάνι όπου βρίσκονται τα περισσότερα μαγαζιά εστίασης. Στην δεύτερη φωτογραφία απεικονίζεται πινακίδα δίπλα από τον κάδο που υποδεικνύει τον σωστό τρόπο ανακύκλωσης των απορριμμάτων





Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται αναλυτικά τα απορρίμματα που επιτρέπονται και απαγορεύονται να πετάμε στους καφέ κάδους.

Επιτρέπεται η απόρριψη
<ul style="list-style-type: none"> • Φρούτα, λαχανικά, φλούδες και κοτσάνια • Κρέας – ψάρι – θαλασσινά (και τα κόκκαλα)- Γαλακτοκομικά • Αυγά (και τα τσόφλια) • Δημητριακά, αλεύρι, ψωμί, κέικ, γλυκά • Υπολείμματα και φίλτρα από καφέ-τσάι • Ξηροί καρποί, κουκούτσια ελιάς • Πριονίδι, σάχτη καυσόξυλων • Χαρτί κουζίνας, χαρτοσακούλες, εφημερίδες • Βιοδιασπώμενες σακούλες
Απαγορεύεται η απόρριψη
<ul style="list-style-type: none"> • Γόπες τσιγάρων • Τροφές και περιττώματα ζώων • Πλαστικά, γυαλιά, μεταλλικά • Μπαταρίες • Γυαλιστερά χαρτιά (π.χ περιοδικά) • Συσκευασίες κάθε είδους

Το χρώμα, η χρήση του κάδου και το υλικό που αυτός δέχεται αλλάζει από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα η χρήση του καφέ κάδου είναι για την ανακύκλωση των βιοαποβλήτων, η οποία έρχεται για να περιορίσει τις ποσότητες απορριμμάτων, να διευκολύνει τη διαχείριση τους, να μειώσει τη ρύπανση του περιβάλλοντος στις περιπτώσεις υγειονομικής ταφής ή καύσης τους, να αυξήσει τη ζήτηση ανακυκλώσιμων υλικών και τελικά να δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας.

1.7 Υφιστάμενη κατάσταση παραγωγής κι επεξεργασίας βιοαποβλήτων

Η τρέχουσα κατάσταση της παραγωγής και επεξεργασίας αποβλήτων διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφόρων περιοχών και χωρών. Ωστόσο, σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή αποβλήτων αυξάνεται σταθερά τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της αστικοποίησης και των αλλαγών στην καταναλωτική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την έντονη καταναλωτική δραστηριότητα έχει εντείνει αυτό το φαινόμενο όπως και οι βιομηχανικές δραστηριότητες. Για τον λόγο αυτό οι σύγχρονες κοινωνίες έχουν την δυνατότητα και είναι σημαντικό να επεξεργάζονται τα απόβλητά τους.

Παγκοσμίως παράγονται 2,01 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους αστικών στερεών αποβλήτων και το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί σε 3,40 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους έως το 2050.

Δυστυχώς, μια σημαντική ποσότητα αποβλήτων δεν τυγχάνει κατάλληλης διαχείρισης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ρύπανση των υδάτων και η υποβάθμιση του εδάφους. Σύμφωνα με την έκθεση Global Waste Management Outlook, μόνο το 43% των παγκόσμιων αποβλήτων συλλέγεται σήμερα και μόνο το 13,5% αυτών των αποβλήτων ανακυκλώνεται.

Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι υποδομές επεξεργασίας αποβλήτων είναι ανεπαρκείς, με αποτέλεσμα την ανοικτή απόρριψη και καύση αποβλήτων, που μπορεί να απελευθερώσει ρύπους και αέρια του θερμοκηπίου στο περιβάλλον. Σε ορισμένες

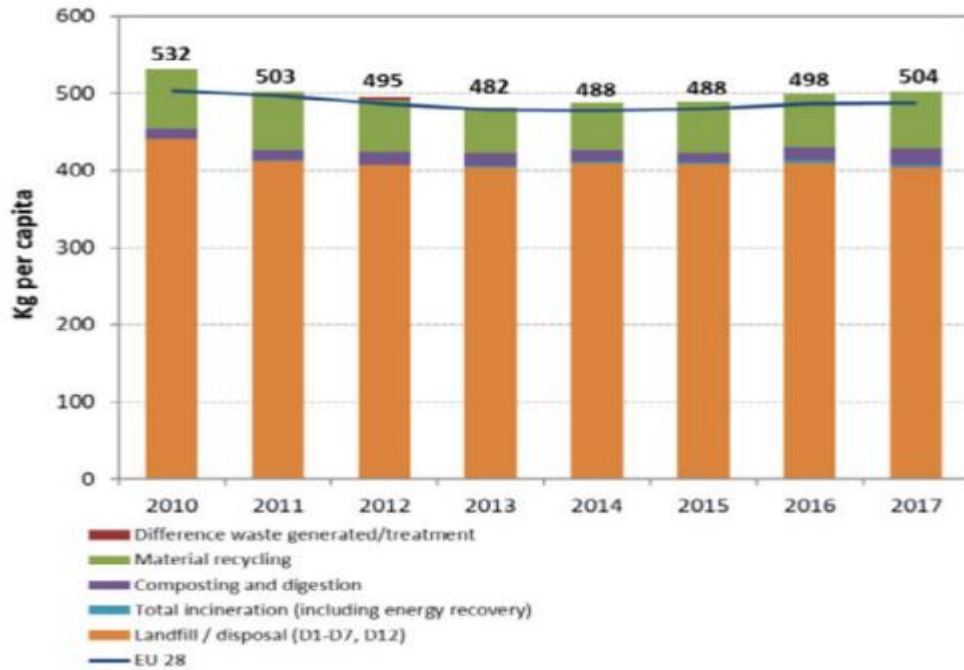
αναπτυσσόμενες χώρες, έως και το 90% των αποβλήτων απορρίπτεται ανοιχτά ή καίγεται.

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πολλές θετικές εξελίξεις στην επεξεργασία αποβλήτων, όπως η επέκταση των προγραμμάτων ανακύκλωσης, η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών μετατροπής των αποβλήτων σε ενέργεια και η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων. Πολλές χώρες έχουν θέσει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των αποβλήτων και την ανακύκλωση και υπάρχει αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για τη σημασία της διαχείρισης των αποβλήτων για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Σε πολλές περιοχές των χωρών της Βαλτικής και στο μεγαλύτερο μέρος της Γαλλίας, δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου οργανικά απόβλητα με την μορφή αποβλήτων τροφίμων. Αυτά συλλέγονται χωριστά για κομποστοποίηση ή χώνευση, αν και τα απόβλητα κήπων συλλέγονται χωριστά από τους δήμους. Στο Βέλγιο, τις Κάτω Χώρες, την Αυστρία, τη Γερμανία, οι οποίες παραδοσιακά συγκαταλέγονται μεταξύ των χωρών με τις καλύτερες επιδόσεις τόσο στη συλλογή οργανικών αποβλήτων όσο και στην ανακύκλωση γενικότερα, η χωριστή συλλογή των οργανικών αποβλήτων πραγματοποιείται με τη χρήση βιολογικών κάδων όπου τα απόβλητα κήπων και τροφίμων συλλέγονται ανάμεικτα.

Όσον αφορά τις επιδόσεις των διαφόρων συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη συνήθως συλλέγονται 10-30kg οργανικών αποβλήτων ανά κάτοικο ετησίως. Παρά την ευρεία εμβέλεια των συστημάτων χωριστής συλλογής για βιοαπόβλητα, το 2017 μόνο το 34-42% των αποβλήτων τροφίμων συλλέχθηκε μέσω των χρησιμοποιούμενων συστημάτων με το υπόλοιπο ποσοστό απλά να απορρίπτεται.

Συνολικά, η σημερινή κατάσταση της παραγωγής και επεξεργασίας αποβλήτων είναι σύνθετη και πολύπλευρη, με προκλήσεις αλλά και ευκαιρίες για βελτίωση. Καθώς κινούμαστε προς μια πιο βιώσιμη και κυκλική οικονομία, η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων θα αποτελέσει σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής βιωσιμότητας.



Εικόνα 4 Παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων και η μέθοδος επεξεργασίας τους για την Ελλάδα Πηγή : https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/07/2020_07_06_bic_zwe_report_bio_waste.pdf

Για την Ελλάδα βλέπουμε στην εικόνα 1 πως η ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων ανά κάτοικο παρουσιάζει αυξητική τάση με την κύρια μέθοδο επεξεργασίας να είναι η υγειονομική ταφή ή απόρριψη στο περιβάλλον. Σε μικρότερο ποσοστό τα υλικά ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται ελάχιστα άλλες μέθοδοι επεξεργασίας.



Εικόνα 5 Ανακύκλωση των οργανικών αστικών αποβλήτων (%) στην Ελλάδα συγκριτικά με τον μέσο όρο της ΕΕ Πηγή : https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/07/2020_07_06_bic_zwe_report_bio_waste.pdf

Από την εικόνα 2 παρατηρούμε πως ο μέσος όρος ανακύκλωσης των οργανικών αστικών αποβλήτων είναι αρκετά μικρός συγκριτικά με αυτό της ΕΕ γεγονός που μας φανερώνει την ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία των αποβλήτων στην Ελλάδα.

Ποσότητες των κλασμάτων των ΑΣΑ το έτος 2018 και η εκτιμώμενη παραγωγή τα έτη 2025, 2030			
Κατηγορία αποβλήτων	Παραγωγή έτους (2018) τόνοι	Εκτιμώμενη παραγωγή 2015 τόνοι	Εκτιμώμενη παραγωγή 2030 τόνοι
ΑΣΑ	5.523.809	5.291.081	5.301.499
ΒΑ	2.447.047	2.254.596	2.259.036
Ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, πλαστικό, μέταλλο κ.α)	2.447.047	2.431.171	2.435.958
Ξύλο	254.095	189.492	189.865
Λοιπά απόβλητα (ογκώδη αντικείμενα, υφάσματα κ.α)	375.620	415.822	416.640
Ιλύες αστικού τύπου (DS)	114.021	144.998	159.704

Εικόνα 6 Πίνακας βάση της έκθεσης του ΕΣΔΑ-ΕΣΔΕΑ 2020

Συγκεντρωτικά στοιχεία αποτύπωσης υφιστάμενης κατάστασης των επιμέρους ρευμάτων αποβλήτων που εμπεριέχονται στα ΑΣΑ	
Βιοαποδομήσιμα Απόβλητα (ΒΑΑ)	
Υφιστάμενη παραγωγή (2018)	3.673.333 τόνοι
Εκτροπή ΒΑΑ από την ταφή (2018)	901.560 τόνοι
ΒΑΑ σε ΧΥΤΑ (2018)	2.771.773 τόνοι
Βιολογικά Απόβλητα (ΒΑ) ή Βιοαπόβλητα	
Υφιστάμενη παραγωγή (2018)	2.447.047
Εκτιμώμενη Σύσταση (2018)	Τα βιοαπόβλητα επιμερίζονται σε <ul style="list-style-type: none"> • Απόβλητα κουζίνας: 87% των ΒΑ • Απόβλητα κήπων-πράσινα : 10% των ΒΑ • Βρώσιμα λίπη και έλαια 3%
Χωριστή συλλογή (2018)	139.244 τόνοι
Ανακύκλωση (2018)	Ανακύκλωση 281.668 τόνοι που επιμερίζεται: <ul style="list-style-type: none"> • Οικιακή κομποστοποίηση: 10.000tn • Εκτροπή ΒΑΑ αγροτικών περιοχών 81.144tn • ΕΜΑΚ 190.524 tn
Ανάκτηση (2018)	Ανάκτηση: 329.7689tn Εκ των οποίων 48.100tn που αφορά χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια, τηγανέλαια και ζωικά λίπη
Υποδομές επεξεργασίας (ΜΕΒΑ)	4 Υφιστάμενες Μονάδες Επεξεργασίας Βιοαποβλήτων (ΜΕΒΑ) εντός ΜΕΑ: <ul style="list-style-type: none"> > Περιφέρεια Αττικής: 1 (ΕΜΑΚ Α. Λισιων) > - Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας: 1 (Κοζάνης) > Περιφέρεια Ηπείρου: 1 (Ηπείρου) > Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας: 1 (Σερρών) 1 υφιστάμενη αυτόνομη (εκτός ΜΕΑ) ΜΕΒΑ: <ul style="list-style-type: none"> > Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας: 1 (Αμφισσας) Στις παραπάνω δεν περιλαμβάνονται ιδιωτικές ΜΕΒΑ

Εικόνα 7 Πίνακας βάση της έκθεσης του ΕΣΔΑ-ΕΣΔΕΑ 2020

2^ο Κεφάλαιο: Μέθοδοι επεξεργασίας-διαχείρισης βιοαποβλήτων

2.1 Βιοδυλιστήρια

Τα βιοδυλιστήρια ορίζονται από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) σαν εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν διαδικασίες μετατροπής βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων, βιοενέργειας, χημικών ουσιών και προϊόντων προστιθέμενης αξίας και έχουν κοινά σημεία με τα δυλιστήρια πετρελαίου. Η ιδέα του βιοδυλιστηρίου στοχεύει στην ενίσχυση του οικονομικού δυναμικού της παραγωγής βιοπροϊόντων αναζητώντας την ευκαιρία να επαναχρησιμοποιηθούν τα υποπροϊόντα μέσω της ενσωμάτωσης διαφόρων τεχνολογιών μετατροπής (Sy et al., 2018). Αν και ο ορισμός του βιοδυλιστηρίου αποτελεί αντικείμενο συζήτησης, γενικός στόχος του είναι η παραγωγή μιας ποικιλίας αγαθών από διαφορετικές πρώτες ύλες βιομάζας, μέσω συγκεκριμένων βιοκατεργασιών κι ενός συνδυασμού τεχνολογιών. Ένα βιοδυλιστήριο βασίζεται σε διαδικασίες αναβάθμισης των πρώτων υλών, όπου οι πρώτες ύλες αναβαθμίζονται συνεχώς και εξευγενίζονται. Αυτό σημαίνει ότι ένα βιοδυλιστήριο θα πρέπει να διαχωρίζει όλα τα συστατικά της πρώτης ύλης βιομάζας και να οδηγεί, μέσω μιας αλυσίδας διαφόρων διεργασιών, σε υψηλή συγκέντρωση καθαρών χημικών ειδών (π.χ. αιθανόλη).

Το βιοδυλιστήριο είναι μια αναγνωρισμένη πλατφόρμα που μετατρέπει τη βιομάζα και τα υπολείμματά της σε διάφορα βιοπροϊόντα όπως η βιοενέργεια, τα βιοχημικά, τα βιοπολυμερή και οι ζωοτροφές (Kumar et al., 2020). Συγκεκριμένα, μετατρέπουν μέσω τεχνολογικών διεργασιών την βιομάζα σε ένα εμπορικό φάσμα προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως **platform chemicals and energy**. Στόχος τους είναι η ενίσχυση του οικονομικού δυναμικού της παραγωγής βιοπροϊόντων αναζητώντας την ευκαιρία να επαναχρησιμοποιηθούν τα υποπροϊόντα μέσω της ενσωμάτωσης διαφόρων τεχνολογιών μετατροπής .

Η έννοια των βιοδυλιστηρίων έχει εξελιχθεί μόλις τα τελευταία 10 χρόνια με τα βιοδυλιστήρια να ταξινομούνται με διάφορους τρόπους

- a) Συμβατικά ή προηγμένα βιοδυλιστήρια 1^{ης} 2^{ης} 3^{ης} και τέταρτης γενιάς,
- b) Το είδος της πρώτης ύλης που επεξεργάζονται (3 κύριες κατηγορίες βιομάζας είναι: λιγνοκυτταρινικές, λιπιδικές και σακχαρώδεις),

- c) Τον τύπο των κύριων και ενδιάμεσων προϊόντων που παράγουν (π.χ syngas, σακχάρων),
- d) Τον κύριο τύπο των διεργασιών μετατροπής (π.χ θερμοχημικά και βιομηχανικά βιοδυλιστήρια).

Τα βιοκαύσιμα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις τεχνολογίες παραγωγής τους: Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς (FGBs), βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς (SGBs), βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς (TGBs) και βιοκαύσιμα τέταρτης γενιάς (Demirbas & al, 2011, pp. 1815-1828). Ο σχεδιασμός των βιοδυλιστηρίων βασίζεται στην αξιοποίηση των διαφόρων ποιοτήτων των συστατικών της βιομάζας και των ενδιάμεσων προϊόντων (Kamm & Kamm, 2004, pp. 137-145).

Τα FGB αναφέρονται σε βιοκαύσιμα που παράγονται από ζάχαρη, άμυλο, φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη με χρήση συμβατικής τεχνολογίας. Τα βιοδυλιστήρια πρώτης γενιάς χρησιμοποιούν γενικές καλλιέργειες ως πρώτη ύλη (Cherubini, 2010, pp. 1412–1421). Χαρακτηριστικά παραδείγματα 1G είναι το σιτάρι που παράγει άμυλο και ζυμώνεται σε βιοαιθανόλη ή οι ηλιόσποροι που συμπιέζονται για να δώσουν φυτικό έλαιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο βιοντίζελ. Αυτή η γενιά βιοδυλιστηρίων έχει ήδη αξιοποιηθεί οικονομικά, αλλά εγείρει ηθικά ερωτήματα όπως χρήση γής για καλλιέργεια καλλιεργειών με στόχο την παραγωγή ενέργειας αντί χρήσης της για παραγωγή τροφίμων. Αυτό συνεπάγεται με το γεγονός ότι η καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών είναι πιο κερδοφόρα και συνεπάγεται με μείωση της ποικιλομορφίας των καλλιεργειών, πιο επιρρεπείς σε ασθένειες καλλιέργειες, θέτοντας σε κίνδυνο τον ενεργειακό εφοδιασμό, την παροχή τροφής και τα προς το ζην των αγροτών

Τη λύση στα παραπάνω προβλήματα έδωσαν τα βιοδυλιστηρια δεύτερης γενιάς που χρησιμοποιούν ροές υπολειμμάτων και αποβλήτων ως πρώτη ύλη, όπως λιγνοκυτταρινικά υλικά, πράσινα λιπάσματα και άλλα υπολείμματα αγροκτημάτων, απορρίμματα κουζίνας, βιομηχανικά απόβλητα και απόβλητα δασοκομίας (Cherubini, 2010) Τα βιοκαύσιμα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς που παράγονται ονομάζονται προηγμένα. Συγκεκριμένα τα SGB επεξεργάζονται ύλες όπως μη βρώσιμες καλλιέργειες, άχυρο σίτου, καλαμπόκι, ξύλο, ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία. Η χρήση των φυκών ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαύσιμο τρίτης γενιάς μέσω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιούν τα βιοδυλιστήρια 3G

είναι σημαντική καθώς δίνουν 30 φορές περισσότερη ενέργεια ανά στρέμμα απ' ό τι προϊόντα που παράγονται στο έδαφος.

Διυλιστήρια	Πρώτη ύλη	Παράδειγμα
1ης Γενιας Βιοκαύσιμα	Ζάχαρη, άμυλο, φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη	Βιοαλκοόλες, φυτικά έλαια, βιοντίζελ, βιοαέριο σύνθεσης (syngas), βιοαέριο
2ης Γενιας Βιοκαύσιμα	Μη βρώσιμες καλλιέργειες, άχυρο σίτου, καλαμπόκι, ξύλο, στερεά απόβλητα, ενεργειακές καλλιέργειες	Βιοαλκοόλες, βιοέλαιο, bio-dmf, βιοϋδρογόνο, bio-fischer-tropsch diesel, ντίζελ ξύλου
3ης Γενιας Βιοκαύσιμα	Φύκια	Φυτικό λάδι, βιοντίζελ
4ης Γενιας Βιοκαύσιμα	Φυτικό λάδι, βιοντίζελ	Βιοβενζίνη (biogasoline)

Εικόνα 8 Μεταφρασμένος πίνακας από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890410005157>

Η οικονομική εκμετάλλευση αυτού του τύπου βιοδιυλιστηρίων εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, κυρίως λόγω των εγγενών διακυμάνσεων στην προσφορά πρώτης ύλης, και επομένως και στην αναμενόμενη απόδοση. Τα ρεύματα αποβλήτων υπόκεινται σε εποχιακές διακυμάνσεις στο μέγεθος ή/και στη σύνθεση και είναι συχνά δύσκολο να διατηρηθούν. Η αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας των βιοδιυλιστηρίων και του συνολικού δικτύου logistics διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην εγγύηση της επιτυχίας αυτών των βιοδιυλιστηρίων (Fava & al, 2015, pp. 100-108). Για να αποκτήσετε ένα οικονομικά βιώσιμο βιοδιυλιστήριο, αυτές οι διακυμάνσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στη φάση του σχεδιασμού.

Ως γενικός κανόνας-αρχή διαχείρισης των βιοαποβλήτων ενός διυλιστηρίου είναι κατά σειρά:

1. **Ο μετριασμός** που αφορά 2 πυλώνες α) μείωση της παραγωγής αποβλήτων μέσω καθαρότερων στρατηγικών παραγωγής ή βελτιώσεων της αποδοτικότητας της διαδικασίας, είτε β) μετριασμού των επιπτώσεων των αποβλήτων στην κοινωνία ή στο περιβάλλον μειώνοντας την απόρριψη ρύπων. Συγκεκριμένα μετριασμός τοξικών υλικών και η μείωση των εκπομπών.
2. **Η βιώσιμη-αιεφόρος αξιοποίηση (utilization)** δηλαδή παραγωγή χρήσιμων προϊόντων που συνεπάγεται με α) παραγωγή υλικών που έχουν εμπορική αξία.

β) ανάκτηση ενέργειας με την συμπερίληψη της παραγωγής βιοκαυσίμων, γ) την παραγωγή υλικών για βιομηχανικές διεργασίες

3. **Καθαρότερη απόρριψη.** Αναφέρεται σε στρατηγικές επεξεργασίας που εφαρμόζονται στα βιολογικά απόβλητα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ρύπανσης και της ροής των αποβλήτων στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με το πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της επαναχρησιμοποίησης των βιοαποβλήτων, παρατηρούμε ότι η επεξεργασία και αξιοποίηση τους στα βιοδιυλιστήρια παρέχει μια βιώσιμη προσέγγιση. Για παράδειγμα οι Carson-Tojo et al. (2016) διεξήγαγε μια ανασκόπηση τελευταίας τεχνολογίας των αναερόβιων διεργασιών για τη μετατροπή των απορριμμάτων τροφίμων σε πτητικά λιπαρά οξέα, βιομεθάνιο και βιοϋδρογόνο.

2.1.1 Οφέλη και προκλήσεις βιοδιυλιστηρίων

Υπάρχουν πολλά οφέλη που σχετίζονται με τα βιοδιυλιστήρια, όπως:

- Διαφοροποίηση των πρώτων υλών: Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών υπολειμμάτων, των δασικών αποβλήτων και των αστικών στερεών αποβλήτων, για την παραγωγή μιας σειράς προϊόντων. Αυτή η διαφοροποίηση των πρώτων υλών μειώνει την εξάρτηση από μία μόνο πρώτη ύλη και αυξάνει την ανθεκτικότητα του βιοδιυλιστηρίου στις διακυμάνσεις της αγοράς .
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου: Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με την παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων και χημικών ουσιών που μπορούν να αντικαταστήσουν τα προϊόντα ορυκτής προέλευσης. Αυτό μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων .
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και οικονομική ανάπτυξη: Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας και οικονομική ανάπτυξη σε αγροτικές περιοχές, όπου οι πρώτες ύλες είναι συχνά διαθέσιμες αλλά οι οικονομικές ευκαιρίες είναι περιορισμένες. Με την

ανάπτυξη μιας βιομηχανίας βιοδιυλιστηρίων, οι αγροτικές κοινότητες μπορούν να επωφεληθούν από την αυξημένη οικονομική δραστηριότητα και τη δημιουργία θέσεων εργασίας .

- Αξιοποίηση των ρευμάτων αποβλήτων: Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν ρεύματα αποβλήτων, όπως απόβλητα τροφίμων, γεωργικά υπολείμματα και δασικά απόβλητα, για την παραγωγή πολύτιμων προϊόντων. Αυτό μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που στέλνονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και μπορεί να δημιουργήσει νέες ροές εσόδων για τις εταιρείες και τις κοινότητες .
- Ανάπτυξη βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού: Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού, συνεργαζόμενα με αγρότες, δασολόγους και εταιρείες διαχείρισης αποβλήτων για την προμήθεια πρώτων υλών. Με την προώθηση βιώσιμων πρακτικών, τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των γεωργικών και δασικών δραστηριοτήτων .Ενώ τα βιοδιυλιστήρια προσφέρουν πολλά οφέλη, υπάρχουν επίσης ορισμένες προκλήσεις που συνδέονται με την ανάπτυξη και τη λειτουργία τους όπως (Strassberger & al, 2014, pp. 25310-25318) :
- Τεχνικές προκλήσεις: Τα βιοδιυλιστήρια συχνά περιλαμβάνουν πολύπλοκες διεργασίες και τεχνολογίες που απαιτούν σημαντική έρευνα και ανάπτυξη για τη βελτιστοποίησή τους. Οι τεχνικές προκλήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την προετοιμασία και το χειρισμό των πρώτων υλών, τις διαδικασίες μετατροπής της βιομάζας και το διαχωρισμό και τον καθαρισμό των προϊόντων (Strassberger & al, 2014).
- Οικονομικές προκλήσεις: Τα βιοδιυλιστήρια μπορεί να αντιμετωπίσουν οικονομικές προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος των πρώτων υλών, το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας της εγκατάστασης, καθώς και τη ζήτηση και τις τιμές της αγοράς για τα παραγόμενα προϊόντα. Επιπλέον, τα βιοδιυλιστήρια ενδέχεται να ανταγωνίζονται με άλλες βιομηχανίες για πρόσβαση σε πρώτες ύλες και χρηματοδότηση .
- Προκλήσεις πολιτικής: Τα βιοδιυλιστήρια ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις πολιτικής που σχετίζονται με κυβερνητικούς κανονισμούς, κίνητρα και επιδοτήσεις. Για παράδειγμα, οι πολιτικές που σχετίζονται με την παραγωγή

και τη χρήση βιοκαυσίμων, τις εντολές για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα των βιοδυλιστηρίων .

- Κοινωνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις: Τα βιοδυλιστήρια ενδέχεται να αντιμετωπίσουν κοινωνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την αποδοχή του κοινού, τη χρήση γης και τη βιωσιμότητα. Για παράδειγμα, οι τοπικές κοινότητες μπορεί να αντισταθούν στην ανάπτυξη βιοδυλιστηρίων λόγω ανησυχιών για το θόρυβο, τις οσμές και την κυκλοφορία. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στα βιοδυλιστήρια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών παραγωγής
- Προκλήσεις κλιμάκωσης: Τα βιοδυλιστήρια ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιμάκωση της παραγωγής από εργαστηριακή σε εμπορική κλίμακα. Η κλιμάκωση μπορεί να απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και εξοπλισμό και μπορεί να συνεπάγεται αλλαγές στις διαδικασίες παραγωγής για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση του κόστους .

2.2 Διεργασίες που πραγματοποιούνται σε ένα βιοδυλιστήριο

2.2 Παραγωγή κομπόστ και εδαφοβελτιωτικών

Η απώλεια της γονιμότητας του εδάφους, οι υψηλές τιμές των ορυκτών λιπασμάτων, η μείωση της οργανικής ύλης του εδάφους και η ανεπαρκής διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για τη φυτική παραγωγή στις αναπτυσσόμενες χώρες δηλώνουν την ανάγκη για εναλλακτικά λιπάσματα. Οι υπέρογκες ποσότητες οικιακών απορριμμάτων αποτελούν πραγματικό πρόβλημα τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η κομποστοποίηση είναι μία βιώσιμη και αποτελεσματική προσέγγιση για την διαχείριση-ανακύκλωση του μεγάλου όγκου απορριμμάτων και την επεξεργασία των βιοαποβλήτων.

Κάθε απόβλητο που μπορεί να υποστεί αερόβια ή αναερόβια αποσύνθεση, όπως τα υπολείμματα τροφίμων (FW), τα απόβλητα κήπου και τα χαρτιά μπορούν να κομποστοποιηθούν. Η κομποστοποίηση έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή ως ένας περιβαλλοντικά αποδεκτός τρόπος για την απόρριψη και χρήση οργανικών αποβλήτων (Zhang L. &., 2014, pp. 274-284). Οι (Raut & al., 2008)έκρινε ότι η κομποστοποίηση βοηθά στη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων οργανικών αποβλήτων με βιώσιμο τρόπο ανακυκλώνοντας τα οργανικά υλικά σε χρήσιμα προϊόντα. Πρόκειται για μια φυσική διαδικασία ανακύκλωσης, αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών και τελικά παραγωγής του κομπόστ. Το κομπόστ έχει βρεθεί ότι βελτιώνει τη δομή του εδάφους και την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και την παροχή θρεπτικών ουσιών στα φυτά (Giusquiani & al, 1995, pp. 175-182) και έτσι μπορεί να μειώσει την εισαγωγή ορυκτών λιπασμάτων στη συμβατική γεωργία και να παρέχει μια χρήσιμη πηγή θρεπτικών συστατικών στη βιολογική γεωργία, αντίστοιχα.

Το κομπόστ χρησιμοποιείται γενικά ως λίπασμα ή ενισχυτικό του εδάφους, ενώ η ενέργεια από τα οργανικά απόβλητα παράγεται μέσω άλλων διεργασιών όπως η αναερόβια χώνευση. Ωστόσο, η κομποστοποίηση μπορεί επίσης να παράγει έναν νέο πόρο για ενεργειακά καύσιμα, λύνοντας τα προβλήματα του κομπόστ χαμηλής ποιότητας και της υπερπαραγωγής κομπόστ. Το κομπόστ μπορεί να καεί και στη συνέχεια να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας υπέρθερμο ατμό που παράγεται μέσω μιας γεννήτριας ατμού ανάκτησης θερμότητας (Williams & al, 2001). Η πρόσφατη χρήση του κομπόστ FW για το σκοπό αυτό έχει επίσης αποδείξει τις δυνατότητές του με θερμαντική αξία 3300 kcal/kg (Yeo & al, 2019, pp. 290-296).

Η κομποστοποίηση, η συγκομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση είναι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας των αποβλήτων. Διαχωρίζονται αναλόγως με την παρουσία ή την απουσία αέρα. Η βιολογική επεξεργασία παρουσία αέρα (αερόβια) είναι η κομποστοποίηση και η συνκομποστοποίηση και η επεξεργασία απουσία αέρα (αναερόβια) είναι η αναερόβια χώνευση. Θεωρούνται αποτελεσματικές μέθοδοι σε οποιαδήποτε ολοκληρωμένη στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων καθώς επίσης και επιλογές φιλικές προς το περιβάλλον. Να σημειώσουμε ότι η βερμικομποστοποίηση είναι και αυτή μια τεχνική βιολογικής διαχείρισης των ΑΣΑ, ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι δεν μπορούν όλα τα οικιακά βιολογικά απόβλητα να επεξεργαστούν με βάση αυτή λόγω της της δυσανεξίας των γαιοσκωλήκων να τρέφονται και να αναπτύσσονται σε απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε κρέας, ψάρι, λίπος και λάδια, μεταξύ άλλων.

Είναι σημαντικό αφενός ότι μέσω των διαδικασιών αυτών δημιουργείται ένα προϊόν φιλικό προς το περιβάλλον έτοιμο να επαναχρησιμοποιηθεί και αφετέρου ότι το οργανικό κλάσμα εκτρέπεται από την ροή των αποβλήτων και επιστρέφει στο έδαφος σε μια ωφέλιμη μορφή. Είναι αξιόπιστες επιλογές επεξεργασίας αποβλήτων που είναι χρήσιμες στη μείωση των επιπτώσεων που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή μη επεξεργασμένων οργανικών αποβλήτων στο έδαφος. Η εκτροπή αστικών στερεών αποβλήτων (MSW) από χώρους υγειονομικής ταφής μέσω της κομποστοποίησης έχει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (USEPA, 2015), η μείωση των ποσοτήτων έκπλυσης όταν απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής (Adhikari et al., 2009) και η αύξηση της θρεπτικής αξία της πρώτης ύλης για την παραγωγή περισσότερης ενέργειας απ' ότι στην περίπτωση αποτέφρωσης (Zhou & al, 2015, pp. 38-43).

Εκτός από τη χαμηλού κόστους, φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία, τα οφέλη περιλαμβάνουν επίσης τη μείωση του όγκου, του βάρους, της υγρασίας, των πιθανών επικίνδυνων οσμών και των παθογόνων, καθώς και την αύξηση των πιθανών θρεπτικών συστατικών των αποβλήτων (Scheutz & al, 2011, pp. 895-902).

Στην ΕΕ, περίπου 60 εκατομμύρια Mg βιοαποβλήτων (εκ των οποίων τα 38 εκατομμύρια Mg από ΑΣΑ) συλλέχθηκαν χωριστά το 2020. Αυτό είναι περίπου το 17% των ΑΣΑ. Από αυτό, λίγο λιγότερο από το 60% κομποστοποιήθηκε και το 40% υποβλήθηκε σε επεξεργασία σε εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης. Συνολικά παρήχθησαν 17,6 εκατομμύρια Mg κομποστ, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων χρησιμοποιήθηκε στη γεωργία. Επί του παρόντος, στην ΕΕ λειτουργούν περίπου 3100 μονάδες κομποστοποίησης και 1600 μονάδες αναερόβιας χώνευσης για χωριστά συλλεγόμενα βιολογικά απόβλητα (από δημοτικές και μη δημοτικές πηγές) [21]. Εως τις 31 Δεκεμβρίου 2023, τα κράτη μέλη της ΕΕ υποχρεούνται να συλλέγουν τα βιολογικά απόβλητα χωριστά ή να τα ανακυκλώνουν στην πηγή. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα κομποστ από τη διαχείριση απορριμμάτων στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας (βιοαπόβλητα και άλλα οργανικά απόβλητα, πράσινα απόβλητα) επιτρέπονται στη βιολογική γεωργία σύμφωνα με τον Κανονισμό ΕΕ 2021/1165 εάν προέρχονται από σύστημα χωριστής συλλογής αναγνωρισμένο στο αντίστοιχο κράτος μέλος της ΕΕ και εάν τηρούνται οι καθορισμένες οριακές τιμές βαρέων μετάλλων .

2.2.1 Κομποστοποίηση

Με βάση τον ορισμό του Epstein το 1997 η κομποστοποίηση αποτελεί την αερόβια βιολογική διεργασία αποσύνθεσης του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων υπό ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασίας, υγρασίας, παρουσίας οξυγόνου) και σταδιακής μετατροπής του σε ένα βιολογικά σταθεροποιημένο προϊόν, το κομπόστ. Πιο συγκεκριμένα οι αερόβιοι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στην κομποστοποίηση χρησιμοποιούν οξυγόνο για να μετατρέψουν την οργανική ύλη σε θερμότητα, νερό, CO₂, NH₃ και χούμο (διάσπαση οργανική ύλη). Είναι μια οξειδωτική διαδικασία γιατί για την υλοποίηση της απαιτούνται αερόβιοι μικροοργανισμοί (μύκητες, αρχαία και βακτήρια) οι οποίοι καταναλώνουν οξυγόνο για την διάσπαση σύνθετων οργανικών ενώσεων σε ενδιάμεσα προϊόντα και στη συνέχεια σε απλούστερες ενώσεις (βιοσταθεροποίηση οργανικής ύλης υποστρώματος μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και της χουμοποίησης δηλ. σχηματισμός φουλβικών οξέων ως ενδιάμεσες ενώσεις για την παραγωγή χουμικών οξέων και τελικά αδιάλυτων, μη φυτοτοξικών ενώσεων), παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα (Epstein & al, 1997). Κατά την κομποστοποίηση είναι επίσης πιθανή η δραστηριότητα αναερόβιων μικροοργανισμών σε αναερόβιους θύλακες του οργανικού κλάσματος (Cabanas-Vargas & Stentiford, 2006).

Η κομποστοποίηση είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες μεθόδους επεξεργασίας για τα βιολογικά απόβλητα. Κατά την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης καταναλώνεται οξυγόνο και εκλύεται θερμότητα, διοξείδιο του άνθρακα, αμμωνία, νερό και οργανικά οξέα (Day & Shaw, 2001, pp. 18-22). Η θερμότητα που εκλύεται αυξάνει την θερμοκρασία του υπο-κομποστοποίηση υλικού αν έχουν δημιουργηθεί συνθήκες μόνωσης (Finstein, 1992, pp. 355-374). Καθοριστικής σημασίας αποτελεί όρος «ελεγχόμενη» διαδικασία, καθώς διακρίνει την κομποστοποίηση από την απλή αποσύνθεση ή χουμοποίηση οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ανοιχτές χωματερές “σκουπιδότοπους” ή σε φυσικά οικοσυστήματα χωρίς κατ’ ανάγκη θερμοφιλικές ή αερόβιες συνθήκες.

Η κομποστοποίηση βιοαποβλήτων παρουσιάζει πολλά οφέλη όπως αξιοποίηση, αποστείρωση, σταθεροποίηση και μείωση της βιομάζας των αποβλήτων (Sadeh & al, 2016). Η μείωση του βάρους και του όγκου του FW θα μπορούσε να φτάσει το αξιοσημείωτο 40% από μια διαδικασία κομποστοποίησης (Abdalla & al, 2014, pp. 71-84). Το θετικό πρόσημο που συνοδεύει τις διαδικασίες κομποστοποίησης μπορεί να

αποδειχθεί κερδοφόρο μόνο εάν η διαδικασία διαχειρίζεται αποτελεσματικά. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει επαρκής προγραμματισμός κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης για την παραγωγή χρήσιμων ή προστιθέμενης αξίας προϊόντων (Zhang L. S., 2016b)

Η κυβέρνηση πρέπει να διαδραματίσει ρόλο στη στήριξη της κομποστοποίησης ως εναλλακτική λύση στην υγειονομική ταφή με τη δημιουργία προγραμμάτων και πρωτοβουλιών που είναι επιφορτισμένα με την παροχή δανείων και επιχορηγήσεων για εγκαταστάσεις κομποστοποίησης. Αυτό θα εξασφαλίσει τη βιωσιμότητα της κομποστοποίησης και με τη σειρά του θα δημιουργήσει ευκαιρίες εργασίας στις κοινότητες. Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο η κυβέρνηση μπορεί να υποστηρίξει την κομποστοποίηση είναι να ενθαρρύνει τη βιολογική γεωργία και δημιουργία μιας ευνοϊκής αγοράς για την προώθηση της χρήσης κομπόστ έναντι των παραδοσιακών τροποποιήσεων του εδάφους και των λιπασμάτων εδάφους, όπως επεσήμαναν οι (Platt, 2014). Η εφαρμογή κομπόστ είναι μια πολύ επίκαιρη πρακτική και βρίσκεται στις προτεραιότητες της ΕΕ για την προστασία του εδάφους και συγκεκριμένα στη βελτίωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ύλη.

Συστήματα κομποστοποίησης

Η βασικότερη κατηγοριοποίηση των συστημάτων κομποστοποίησης είναι εάν πραγματοποιείται σε ανοιχτά συστήματα ή σε κλειστά συστήματα (π.χ κάποιον βιοαντιδραστήρα).

Ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης (σωροί, σειράδια-windrow)

Στα ανοιχτά συστήματα η κομποστοποίηση πραγματοποιείται σε εξωτερικό περιβάλλον ή σε ημιστεγασμένους χώρους. Ο αερισμός παράγεται με παθητική μεταφορά ή με αναγκαστικό αερισμό ((Michel Jr & al, 2004, pp. 323-334). Τα ανοιχτά συστήματα διακρίνονται σε γραμμικούς περιστρεφόμενους (αναδευόμενους) σωρούς - σειράδια (windrow) και στους στατικούς αεριζόμενους σωρούς (static aeration piles - ASP). Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των 2 τεχνολογιών είναι η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας και εργασίας. Τα συστήματα στατικών αεριζόμενων σωρών απαιτούν λιγότερη ενέργεια αλλά περισσότερο χρόνο από τα συστήματα περιστρεφόμενων σωρών- σειράδια.

Κλειστά συστήματα κομποστοποίησης (in vessel composting)

Η διαδικασία πραγματοποιείται σε κλειστούς χώρους, κοντέινερ ή βιοαντιδραστήρες τα οποία λειτουργούν συνεχώς ή περιοδικά με εξαναγκασμένο αερισμό (forced aeration). Οι αντιδραστήρες διακρίνονται σε κατακόρυφους συνεχούς ή ασυνεχούς ροής και σε οριζόντιους στατικούς ή με κίνηση του σωρού. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της παροχής οξυγόνου που απαιτείται από τη διαδικασία είναι η μηχανική ανάδευση των αποβλήτων (περιστροφή) ή / και εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα μέσω των αποβλήτων (αναγκαστικός αερισμός) που προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα ελέγχου και αυτοματισμού της διαδικασίας. Προσφέρονται δύο μέθοδοι ροής υλικού: ανά παρτίδες ή συνεχής ροή εισόδου αποβλήτων.

- Αντιδραστήρες κατακόρυφης ροής: κινούμενοι αντιδραστήρες αναδεδυμένης κλίνης και κινούμενα συστήματα packed bed ομάδων κλινών .
- Αντιδραστήρες οριζόντιας ροής: περιστροφικοί drums κοιλινοί ?, αναδεδυμένοι κάδοι και αναδεδυμένες agitated solids bed στερεές κλίνες???

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ο έλεγχος των οσμών καθώς και ο αυτόματος έλεγχος της διαδικασίας ο οποίος συνεπάγεται με τη ταχύτερη βιοχημική σταθεροποίηση του οργανικού υλικού και καλύτερη ποιότητα των χαρακτηριστικών του. Ο εξαναγκασμένος αερισμός προσαρμόζεται σύμφωνα με τη μικροβιακή δραστηριότητα και τις απαιτήσεις για απώλεια θερμότητας, μέσω διαφορετικών αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας αέρα, O₂ και CO₂ που είναι εγκατεστημένοι στο σύστημα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το σταθεροποιημένο προϊόν μετά το τέλος της κομποστοποίησης βιοαποδομήσιμου κλάσματος των Α.Σ.Α τοποθετείται σε ανοιχτά συστήματα με στόχο την περαιτέρω ωρίμανση του κλάσματος του. Τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης συμφέρουν οικονομικά μόνο για βιομηχανικές μονάδες.

Η επιλογή μεταξύ των διαφόρων συστημάτων εξαρτάται από τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους. Κατά την ανάπτυξη μιας προσέγγισης για την επεξεργασία των αποβλήτων με τη μέθοδο της κομποστοποίησης, το σύνολο των αποβλήτων, η σύνθεσή τους, το τελικό προϊόν και οι περιορισμοί της αγοράς πρέπει να αξιολογηθούν κατά τον καθορισμό της ίδιας της διαδικασίας και τη διάρθρωση μιας εγκατάστασης.

Όσον αφορά την κομποστοποίηση των βιοαποβλήτων υπάρχουν 2 μηχανισμοί με τους οποίους συμβαίνει. Ο πιο κοινός μηχανισμός είναι η οικιακή κομποστοποίηση ή η

δημοτική συλλογή πράσινων απορριμμάτων που αποστέλλονται σε μεγάλης κλίμακας μονάδες κομποστοποίησης. Εναλλακτικά, μέσω της αναερόβιας χώνευσης που θα αναφερθεί παρακάτω μετατρέπονται σε βιοαέριο και βελτιωτικά εδάφους

Στάδια κομποστοποίησης

Με βάση το δημοσιευμένο άρθρο των Chen et al. (2015) η εξέλιξη της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις το μεσόφιλο, το θερμόφιλο, το στάδιο ψύξης και ωρίμανση.

Μεσόφιλη φάση ξεκινάει η αύξηση της θερμοκρασίας του υποστρώματος σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 40-45°C. Οι μικροοργανισμοί που επικρατούν είναι μεσόφιλα βακτήρια που με ταχύτερη ανάπτυξη στους 25-45°C. Αυτοί οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν τις εύκολα αποικοδομήσιμες ουσίες διαλυτές ενώσεις του κομποστού όπως είναι τα σακχαρα και οι πρωτεΐνες. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί σταδιακά και φτάσει τους 45 °C οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί θανατώνονται σταδιακά, ενώ αυξάνονται τα θερμόφιλα βακτήρια (π.χ γένους Bacillus). Ο γρήγορος ρυθμός αποδόμησης των οργανικών ουσιών αυξάνει τη θερμοκρασία του υποστρώματος και μειώνει το pH του λόγω της παραγωγής οργανικών οξέων. Αυτό το αρχικό στάδιο είναι από τα πιο κρίσιμα γιατί καθορίζει την πορεία της διαδικασίας και συγκεκριμένα καθορίζει τη θερμοκρασία κατά την θερμόφιλη φάση και συνάμα το πόσο γρήγορη και πληρέστερη θα είναι η διαδικασία κομποστοποίησης (Kumar & al, 2011, pp. 1841-1848).

Θερμόφιλη φάση οι μικροοργανισμοί που δραστηριοποιούνται σε αυτή τη φάση αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες 45-70 °C (Hellmann & al, 1997, pp. 1011-1018). Θερμόφιλοι μύκητες αποικοδομούν πολυπλοκότερες ουσίες όπως πολυσακχαρίτες (κυτταρίνη, λιγνίνη) και πρωτεΐνες, ενώ ορισμένα είδη ακτινομυκήτων και θερμόφιλων βακτηρίων κυριαρχούν σε θερμοκρασίες πάνω από 55 °C και διασπούν σύνθετα μακρομόρια όπως λίπη. Αυτή η αυξημένη θερμοκρασία είναι επίσης σημαντική δεδομένου ότι οδηγεί στο θάνατο των σπόρων ζιζανίων και των πιο συχνών παθογόνων του εδάφους. Η μέγιστη θερμοκρασία κατά το θερμόφιλο στάδιο είναι 70 °C. Αν η θερμοκρασία ανέβει περαιτέρω παρατηρείται θανάτωση των μικροοργανισμών. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων συστημάτων αερισμού τα οποία εξασφαλίζουν και την οξυγόνωση του υποστρώματος. Η λήξη της θερμόφιλης φάσης συνεπάγεται με την πτώση της θερμοκρασίας.

Στάδιο ψύξης και ωρίμανσης η μειωμένη μικροβιακή δραστηριότητα που παρατηρείται οφείλεται στις μειωμένες βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες του υποστρώματος και συνεπάγεται με πτώση της θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου κυριαρχούν ξανά οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί καθώς θανατώνονται σταδιακά οι θερμόφιλοι. Οι μικροοργανισμοί αυτής της φάσης δεν είναι απαιτητικοί σε υγρασία, προτιμούν τις αναερόβιες συνθήκες και το ουδέτερο ως ελαφρά αλκαλικό pH. Κατά το στάδιο της ωρίμανσης ολοκληρώνονται οι βιοχημικές διεργασίες της κομποστοποίησης ως απόρροια της μειωμένης μικροβιακής δραστηριότητας και της πτώσης της θερμοκρασίας η οποία τώρα προσεγγίζει αυτή του περιβάλλοντος. Η τελική φάση της ωρίμανσης είναι πολύ σημαντική διότι παράγονται χουμικές ενώσεις για τον σχηματισμό του ώριμου κομπόστ (Reigné & Girardin, 2004, pp. 45-68).

Η ποιότητα του κομπόστ

Το κομπόστ εφαρμόζεται στο έδαφος αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ωρίμανσης του. Η εφαρμογή είτε οργανικών αποβλήτων χωρίς κομποστοποίηση είτε ανώριμων κομπόστ μπορεί να οδηγήσει σε ακινητοποίηση θρεπτικών ουσιών και να προκαλέσει φυτοτοξικότητα (Cambardella, 2003). Η ποιότητα των κομπόστ σχετίζεται στενά με τη σταθερότητα και την ωριμότητά του, και καμία μεμονωμένη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί καθολικά για τον καθορισμό του βαθμού σταθερότητας και ωριμότητας σε όλα τα κομπόστ λόγω της διακύμανσης των υλικών και της τεχνολογίας κομποστοποίησης (Benito & al, 2003, pp. 184-189), (Chang J. & Chen., 2010)

Διάφοροι παράμετροι όπως η θερμοκρασία, το χρώμα, η οσμή, η υγρασία, ο δείκτης νιτροποίησης ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$), ο λόγος C/N, η συνολική περιεκτικότητα σε άζωτο, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC), η διαλυτή οργανική ουσία (DOM), το μέγεθος των σωματιδίων, τα πτητικά στερεά, ο δείκτης βλάστησης και ο βαθμός πολυμερισμού έχουν προταθεί για την αξιολόγηση της σταθερότητας των κομποστ από διαφορετικούς συγγραφείς.

Ο δείκτης νιτροποίησης (λόγος $\text{NH}_4\text{-N} / \text{NO}_3\text{-N}$) έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ωριμότητας των λιπασμάτων (Zhang L. S., 2016b). Ο δείκτης νιτροποίησης των ώριμων κομπόστ πρέπει να έχει μια όσο το δυνατόν χαμηλότερη τιμή. Επιπλέον, μια τιμή δείκτη νιτροποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταξινομήσει το κομπόστ ως πλήρως ώριμο (δείκτης νιτροποίησης 0,5), ώριμο (πάνω από 0,5 έως 3,0) και ανώριμο (πάνω από 3,0).

Δεδομένου ότι η κομποστοποίηση είναι μια μικροβιολογική διαδικασία, (Mohammad, 2012) σημείωσε ότι η σταθερότητα και η ωριμότητα των λιπασμάτων εξαρτώνται από τα αποτελέσματα της **μικροβιακής δραστηριότητας** όπως ανέφέρθηκε εκτενέστερα παραπάνω. **ο δείκτης βλάστησης** μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ευαίσθητος δείκτης ωρίμανσης κομποστοποίησης και φυτοτοξικότητας. Σύμφωνα με τους Awasthi et al. (2014), **ο λόγος C / N** είναι μια σημαντική παράμετρος που δείχνει την ωριμότητα του κομπόστ (Chen & al, 2015, pp. 121-127), η οποία μπορεί γενικά να επηρεαστεί από διαφορές της οργανικής ύλης και των χαρακτηριστικών της. επισημαίνει περαιτέρω ότι ο λόγος C / N κάτω από 20 είναι δείκτης αποδεκτής ωριμότητας, αλλά ο λόγος 15 ή μικρότερος προτιμάται.

Άλλοι παράμετροι που έχουν προταθεί για την αξιολόγηση της ωριμότητας του κομπόστ είναι η συνολική περιεκτικότητα σε άζωτο, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC), χρήση διαλυμένης οργανικής ουσίας (DOM) και ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρονίων (ETC), η ποσότητα των πτητικών στερεών, βαθμός πολυμερισμού. Τέλος η χρήση του μεγέθους των σωματιδίων ως δείκτη ωρίμανσης κομποστοποίησης, οι (Zhang L. &, 2014) ανέφεραν το βέλτιστο εύρος μεγέθους σωματιδίων ενός ώριμου κομπόστ ως 0,25-2,00 mm.

2.2.2 Συν-κομποστοποίηση

Συν-κομποστοποίηση είναι η συγχώνευση δύο ή περισσότερων ροών αποβλήτων με στόχο την τη βελτίωση της διαδικασίας κομποστοποίησης και των τελικών προϊόντων. Η συν-κομποστοποίηση αποβλήτων βελτιώνει την ποιότητα κομποστοποίησης με την ολοκληρωμένη χρήση υλικών με διαφορετικές ιδιότητες .Η απόδοση της διαδικασίας συν-κομποστοποίησης και η ποιότητα του τελικού προϊόντος (κομπόστ) εξαρτώνται από τη σύνθεση των αποβλήτων, των παραγόντων διόγκωσης και των στρατηγικών διαχείρισης.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανάμειξη οικιακών τροφίμων και απορριμάτων κουζίνας με πράσινα απόβλητα που αποτελούνται από φύλλα, μοσχεύματα ξύλου από το κλάδεμα και χόρτο που συλλέγεται από πάρκα και κήπους δημόσιων και ιδιωτικών φορέων. Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων από τα κλαδέματα τα καθιστούν καλούς διογκωτικούς παράγοντες (BA) για ανάμειξη με τα οικιακά απορρίμματα τροφίμων. Έτσι η συν-κομποστοποίηση,

περισσότερων από ενός τύπων αποβλήτων μπορεί να είναι μια πιο βιώσιμη διαδικασία διαχείρισης στερεών αποβλήτων .

Όπως και στις περισσότερες παραγωγικές διαδικασίες, η εφαρμογή κομποστοποίησης μεγάλης κλίμακας αποφέρει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, βασικό σημείο στην συν-κομποστοποίηση είναι η κατανόηση της ποσότητας και της ποιότητας των αποβλήτων για την παραγωγική διαχείριση (αξιολόγηση και απόδοση) μιας διαδικασίας συν-κομποστοποίησης (Yeoh, 2011).

Χρήση κομπόστ ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Παρ' ότι έχει διερευνηθεί η πιθανή χρήση θερμότητας από κομπόστ ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας η έρευνα είναι ακόμα σε εξέλιξη. Επομένως, υπάρχουν μελλοντικές ερευνητικές ανάγκες για διάφορα μέσα αξιοποίησης της θερμότητας από τη διαδικασία κομποστοποίησης έως την παραγωγή βιοενέργειας.

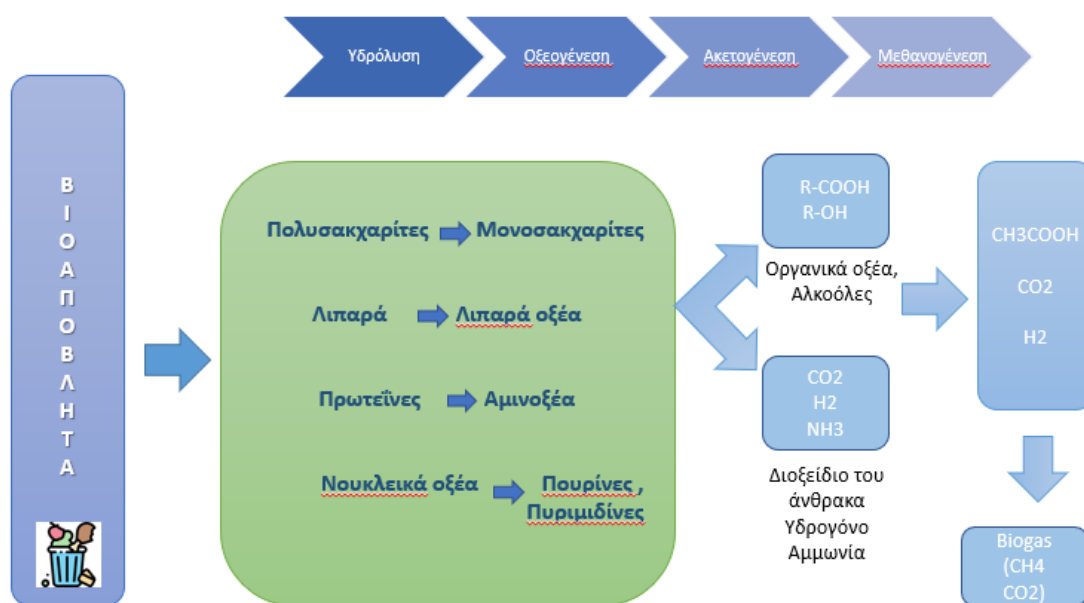
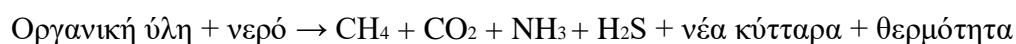
2.2.3 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση (AD) ειδικά στην περίπτωση των στερεών βιοαποβλήτων δεν είναι μια πρόσφατη μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων. Πολλοί συγγραφείς από το 1975 ασχολούνται με τη διαδικασία αυτή και την εξέλιξη της. Το πρώτο Διεθνές Συμπόσιο για την Αναερόβια Χώνευση Στερεών Αποβλήτων (ISAD-SW) πραγματοποιήθηκε στη Βενετία το 1992. Από τότε μέχρι σήμερα οι διαδικασίες μετατροπής των αποβλήτων σε πηγές ενέργειας (και επαναχρησιμοποιήσιμα προϊόντα) έχουν αλλάξει την έννοια του όρου απόβλητο σε πόρο κι η σημασία της αναερόβιας χώνευσης είναι αδιαμφισβήτητη.

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διαδικασία που διασπά τα οργανικά απόβλητα απουσία οξυγόνου. Εμφανίζεται φυσικά σε περιβάλλοντα όπως οι υγρότοποι, αλλά αξιοποιείται και σε μηχανικά συστήματα όπως οι αναερόβιοι χωνευτές-χωνευτήρες. Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει μια σειρά βιολογικών αντιδράσεων όπου οι μικροοργανισμοί διασπούν την πολύπλοκη οργανική ύλη σε απλούστερες ενώσεις.

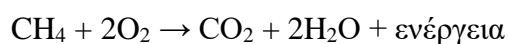
Σύμφωνα με τους Chynoweth και Isaacson (1987) η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης ξεκινάει με τον διαχωρισμό οικιακών απορριμμάτων σε βιοαποδομήσιμα και μη βιοαποδομήσιμα απόβλητα. Το βιοαποδομήσιμο υλικό τεμαχίζεται, πολτοποιείται και στη συνέχεια κοσκινίζεται και παστεριώνεται για να ξεκινήσει η διαδικασία

θανάτωσης επιβλαβών παθογόνων. Στη συνέχεια τοποθετείται στον χωνευτήρα όπου τα βακτήρια διασπούν το υλικό και παράλληλα σχηματίζουν βιοαέριο, αφήνοντας ένα χωνεμένο υπόλειμμα. Τα τέσσερα στάδια διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι: η υδρόλυση πολυμερών, η οξεογένεση, η ακετογένεση (οξικογένεση) και η μεθανογένεση. Το κάθε στάδιο εκτελείτε από διαφορετικές ομάδες μικροβιακών κοινοτήτων και τελικά παράγεται ως κύριο βιοκαύσιμο το βιοαέριο. Το βιοαέριο που παράγεται από τη διαδικασία αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (55-70 %) , διοξείδιο του άνθρακα (30-45%) και ίχνη άλλων αερίων (όπως υδρόθειο, αμμωνία, άζωτο, οξυγόνο, κ.α υδρογονάνθρακες (Kadam & Panwar, 2017, pp. 892-903). Η αντίδραση είναι:



Εικόνα 9 Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης

Το στοιχείο που δίνει στο βιοαέριο την ιδιότητα του βιοκαυσίμου είναι το μεθάνιο. Όταν καίγεται το μεθάνιο παράγεται ενέργεια από την παρακάτω εξώθερμη αντίδραση:



Υδρόλυση πολυμερών

Κατά την υδρόλυση οι μικροοργανισμοί παράγουν υδρολάσες οι οποίες διασπούν το πολύπλοκο πολυμερές υλικό (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια) σε απλούστερα μόρια όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπαρά οξέα. Οι πρωτεΐνες, το άμυλο και άλλα απλά σάκχαρα υδρολύονται ευκολά στις αναερόβιες συνθήκες, σε αντίθεση με ενώσεις όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη που αποδομούνται αργά και ατελώς. Η διαδικασία αυτή είναι εξωκυτταρική δηλαδή λαμβάνει χώρα εξωτερικά του κυτταρικού τοιχώματος των μικροοργανισμών, στην κυρίως μάζα του υγρού (Ιωαννίδης Π., 2021). Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το στάδιο αυτό είναι το μέγεθος των σωματιδίων, η τιμή του pH, η ενεργότητα των ενζύμων φαινόμενα διάχυσης και προσρόφησης των ενζύμων στην επιφάνεια των σωματιδίων (Gavala & al, 1999, pp. 339-346).

Οξεογένεση

Στην συνέχεια τα οξυογενή βακτήρια ζυμώνουν περαιτέρω τα μονομερή που δημιουργήθηκαν κατά την υδρόλυση των πολυμερών και τα μετατρέπουν σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs) και αέρια συστατικά (H_2 και CO_2) και αλκοόλες. Αυτά τα συστατικά μειώνονται περαιτέρω σε οξικό οξύ μέσω ακετογόνων βακτηρίων.

Οξικογένεση

Τα μεθανογόνα βακτήρια χρησιμοποιούν τα ενδιάμεσα προϊόντα των διαφόρων σταδίων και τα ζυμώνουν σε μεθάνιο, CO_2 , H_2 και νερό (Bhatia & al., Current status and strategies for second generation biofuel production using microbial systems. , 2017, pp. 1142-1156), (Bhatia & al, Biowaste-to-bioenergy using biological methods—a mini-review., 2018, pp. 640-660). Στην παραγωγή υδρογόνου οφείλεται η αύξηση της μερικής του πίεσης μέσα στον αντιδραστήρα γεγονός που παρεμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογόνων βακτηρίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης όμως, το υδρογόνο αυτό θα μετετραπεί σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα σε ίδιο χρόνο, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

Μεθανογένεση

Είναι το τελευταίο και το πιο ευαίσθητο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Εκτελείται από μεθανογενή βακτήρια, η ανάπτυξη των οποίων είναι βραδύτερη από κάθε άλλο μικροοργανισμό που εμπλέκεται στη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό είναι το πιο αργό,

αλλά και πιο κρίσιμο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης καθώς καθορίζει την ταχύτητα ολόκληρης της διαδικασίας. Όσον αφορά το μεθάνιο, το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από το οξικό άλας ενώ το υπόλοιπο ποσοστό από τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα και του υδρογόνου (Ιωαννίδης, 2021).

Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και η αυξημένη παρουσία διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του ρυθμού παραγωγής μεθανίου αλλά ακόμα και στον τερματισμό της διαδικασίας (Χρυσογιάννη, 2019).

Οι μικροοργανισμοί που σχηματίζουν οξέα και οι μικροοργανισμοί που σχηματίζουν μεθάνιο διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τη φυσιολογία, τις διατροφικές ανάγκες, την κινητική ανάπτυξης και την ευαισθησία στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στόχος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας είναι η διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ αυτών των δύο ομάδων μικροοργανισμών ώστε να πετύχουμε τη σταθερότητα του αντιδραστήρα .

Η αναστολή των αναερόβιων διεργασιών λόγω της διατάραξης των μικροοργανισμών (πιθανοί λόγοι ανταγωνισμός, συνεργισμός, εγκλιματισμός και συμπλοκοποίηση) που συμβάλλουν στη διαδικασία μπορεί να γίνει από διάφορες ανόργανες και οργανικές ουσίες. Οι πιο σημαντικές ουσίες είναι η αμμωνία, σουλφίδια, ιόντα μετάλλων (Na, K, Mg, Ca και Al), βαρέα μέταλλα, οργανικές ουσίες (Χλωροφαινόλες, Αλογονωμένα αλειφατικά, N-υποκατεστημένα αρωματικά, LCFAs, Λιγνίνες και ενώσεις που σχετίζονται με τη λιγνίνη)

Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση

Η αποτελεσματικότητα της αναερόβια χώνευση είναι άμεσα συνυφασμένη με την ανάπτυξη και τη σωστή λειτουργία μιας τεράστιας ποικιλίας διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών γι' αυτό είναι σημαντικό να εξασφαλίσουμε τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης τους σε κάθε στάδιο της διαδικασίας. Εκτός από τη φύση του υποστρώματος που θα χρησιμοποιήσουμε το οποίο όπως προ αναφέρθηκε παίζει μεγάλο ρόλο στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών, λειτουργικοί παράγοντες όπως αναερόβιες συνθήκες (η απουσία οξυγόνου), θερμοκρασία, η τιμή του pH, η ένταση της ανάδευσης, καθώς και η παρουσία και η ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων (π.χ. αμμωνία) καθορίζουν την πορεία της διαδικασίας. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες αναλύονται παρακάτω:

Θερμοκρασία

Καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχει η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας κυρίως στο κρίσιμο στάδιο της μεθανογένεσης. Η θερμοκρασία λειτουργίας σε κάθε σύστημα αναερόβιας χώνευσης επιλέγεται σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και παρέχεται συνήθως από συστήματα θέρμανσης εντός του χωνευτή. Η διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε 3 θερμοκρασιακά εύρη:

- ψυχρόφιλη (κάτω από 20° C): πραγματοποιείται από ψυχρόφιλα βακτήρια που δραστηριοποιούνται σε θερμοκρασίες κάτω των 20° C και έχουν χρόνο παραμονής 70-80 μέρες
- μεσόφιλη (25- 45° C): πραγματοποιείται από μεσόφιλα βακτήρια που δραστηριοποιούνται σε θερμοκρασίες 20° C – 45°C και έχουν μικρότερο χρόνο παραμονής 30-40 μέρες
- θερμόφιλη (45-70° C): πραγματοποιείται από θερμόφιλα βακτήρια που δραστηριοποιούνται σε θερμοκρασίες κάτω των 20°C και έχουν ελάχιστο χρόνο παραμονής 15-20 μέρες

Σε σύγκριση με τη μεσόφιλη χώνευση, η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση έχει πρόσθετα οφέλη, όπως υψηλό βαθμό σταθεροποίησης των αποβλήτων, πιο ενδεδειγμένη καταστροφή των ιογενών και βακτηριακών παθογόνων, βελτιωμένη αφυδάτωση της ίλως μετά την επεξεργασία (Lo et al., 1985), καλύτερη διάσπαση των στερεών υποστρωμάτων και μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής μεθανίου (Ιωαννίδης Π., 2021). Ωστόσο, οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις και τη μειωμένη ευστάθεια των διεργασιών καθιστούν συνήθως τη θερμόφιλη αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη (Ιωαννίδης, 2021)

pH

Σημαντικός παράγοντας στη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης είναι το pH, ειδικότερα για τα μεθανογόνα βακτήρια που είναι ευαίσθητα στις μεταβολές του pH. Φυσιολογικά αναπτύσσονται σε εύρος pH από 6.7-7.4 με βέλτιστο το 7-7.2. Όσο πιο όξινο γίνεται το pH λόγω της συσσώρευσης όξινων προϊόντων όπως λιπαρά οξέα τόσο μειώνεται η δραστηριότητα τους. Η ρύθμιση του pH σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται

φυσικά είτε με παραγωγή όξινων ανθρακικών ιόντων, είτε από την κατανάλωση των παραγόμενων οξέων από τα οξικογόνα και μεθανογόνα βακτήρια

Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)

Η συγκέντρωση ενδιάμεσων προϊόντων – ενώσεων όπως τα VFA που παράγονται κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης επηρεάζουν/διαταράσσουν τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Η συσσώρευση VFA στον χωνευτήρα όπως προαναφέρθηκε είναι υπεύθυνη για τη μείωση του pH στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει φυσική ικανότητα ανάσχεσης μερικών τύπων βιομάζας.

Αμμωνία

Όσον αφορά την αμμωνία (ιόντα αμμωνίου ή ελεύθερη αμμωνία) που παράγεται από τη βιολογική αποδόμηση αζωτούχων συστατικών της ύλης είναι η κύρια αιτία αναστολής της λειτουργίας των μικροοργανισμών επειδή διαχέεται παθητικά στο κύτταρο προκαλώντας ανισορροπία πρωτονίων, και/ή ανεπάρκεια καλίου (Spratt and Patel, 1986, Gallert et al., 1998). Τα μεθανογόνα είναι τα λιγότερο ανεκτικά και τα πιο πιθανά να σταματήσουν την ανάπτυξή τους λόγω αναστολής της αμμωνίας (Kayhanian, 1994). Ο έλεγχος της ποσότητας αμμωνίας στον αντιδραστήρα μπορεί να γίνει με τη ρύθμιση α) της συγκέντρωσης της αμμωνίας συγκεντρώσεις αμμωνίας κάτω από 200 mg/L είναι ευεργετικές για την αναερόβια διεργασία, δεδομένου ότι το άζωτο αποτελεί βασικό θρεπτικό συστατικό για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς (Liu and Sung, 2002). β) του pH. Στα απόβλητα με υψηλά επίπεδα ολικού άζωτου αμμωνίας (TAN) το pH επηρεάζει τόσο την ανάπτυξη των μικροοργανισμών όσο και τη σύνθεση του TAN. Ο έλεγχος του pH εντός του βέλτιστου επιπέδου ανάπτυξης των μικροοργανισμών μπορεί να μειώσει την τοξικότητα της αμμωνίας. Επιπλέον είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τόσο οι μεθανογόνοι όσο και οι οξεογόνοι μικροοργανισμοί έχουν το βέλτιστο pH τους και ότι η μεταβολή του σε ακατάλληλο εύρος pH μπορεί να προκαλέσει επίσης αναστολή διαδικασίας γ) θερμοκρασία, δ) Παρουσία άλλων ιόντων, ε) Εγκλιματισμός

Χημική σύσταση τροφοδοσίας

Από τους σημαντικότερους παράγοντες αποτελεί η πρώτη ύλη που θα χρησιμοποιήσουμε για τη διαδικασία. Τα οργανικά και ανόργανα συστατικά της χημικής σύστασης της τροφοδοσίας είναι αυτά που διαμορφώνουν τον μικροβιακό

πληθυσμό που θα αναπτυχθεί, αφού οι οργανισμοί που έχουν την ικανότητα να τα μεταβολίσουν υπερτερούν αριθμητικά και τελικά επικρατούν σε σχέση με αυτούς που δεν μπορούν να αποδομήσουν το διαθέσιμο προς χώνευση υλικό.

Έχει γίνει αρκετή έρευνα σχετικά με την αναλογία C:N:P σε ένα υπόστρωμα για να υπάρξει επαρκής μικροβιακή ανάπτυξη. Για αναερόβια βακτήρια έχει προταθεί η αναλογία 700:5:1 αντίστοιχα, ενώ άλλοι ερευνητές έχουν έρθει στο αποτέλεσμα πως η αναλογία C:N πρέπει να είναι περίπου 30:1. Αν στο υπόστρωμα δεν περιέχεται αρκετή ποσότητα αζώτου, αυτή μπορεί να εξισορροπηθεί προσθέτοντας είτε ουρία (NH_2CONH_2) είτε ιόντα NH_4^+ . Παρομοίως η εξισορρόπηση σε φώσφορο μπορεί να γίνει με προθήκη ιόντων PO_4^{3-} .

Τύποι αναερόβιων αντιδραστήρων

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι σημαντική για πολλούς λόγους. Η διαχείριση του μεγάλου όγκου απορριμμάτων, η μείωση χρήσης των ορυκτών καυσίμων ως πηγή ενέργειας, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η αποδόμηση οργανικών μικρορύπων, η αποδόμηση οργανοχλωριωμένων-οργανοχλωρικών ενώσεων, απομάκρυνσης βλαβερών οσμών και παθογόνων, η ανάκτηση θρεπτικών συστατικών (κυρίως φώσφορος), το χωνεμένο υπόλειμμα που είναι κατάλληλο ως εδαφοβελτωτικό-λίπασμα είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεθόδου. Επιπλέον, είναι σημαντική διαδικασία γιατί βοηθά στην δέσμευση των μεγάλων ποσοτήτων μεθανίου που διαφορετικά θα παράγονταν σε χωματερές και την αξιοποίηση του μεθανίου για την παραγωγή βιοενέργειας.

Τα βιοκαύσιμα ορίζονται ως στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα. Κάποια βιοκαύσιμα είναι το βιοντίζελ, βιοέλαιο, βιοαιθανόλη, υδρογόνο Fischer–Tropsch (FT), μεθάνιο και μεθανόλη. Το βιοντίζελ παράγεται μέσω της αντίδρασης εστεροποίησης/μεθεστεροποίησης των ελαίων (Bhatia & al, 2015) που συσσωρεύονται σε βιολογικό υλικό με τη μορφή τριακυλογλυκερόλης (TAG) και πρέπει να εκχυλιστούν για την παραγωγή βιοντίζελ. Οι μέθοδοι εκχύλισης των ελαίων αυτών μπορεί να είναι φυσικές όπως η υπερήχηση και το οσμωτικό σόκ ή χημικές όπως η εκχύλιση με διαλύτη. Η αντίδραση μεθεστεροποίησης των ελαίων με τις αλκοόλες πραγματοποιείται με χημικούς καταλύτες ή ένζυμα

2.3 Παραγωγή - Ανάκτηση ενέργειας

Η εποχή που ζούμε είναι η αρχή της μετάβασης από μια οικονομία βασισμένη στο πετρέλαιο σε μια βιολογική οικονομία στην οποία τα βιοαπόβλητα που σήμερα θεωρούνται υλικά χαμηλής αξίας, αρχίζουν να αναγνωρίζονται ως πόροι για την παραγωγή μιας ποικιλίας φιλικών προς το περιβάλλον και βιώσιμων προϊόντων όπως τα υγρά βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς. Ο όρος βιοκαύσιμα ή βιοανανεώσιμα καύσιμα αναφέρεται ως στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα που παράγονται κυρίως από βιομάζα. Είναι μη ρυπογόνα, βιώσιμα, διαθέσιμα σε επίπεδο τοπικό (η κάθε περιοχή μπορεί να παράγει τα δικά της) και αξιόπιστα. Τα σημαντικότερα βιοκαύσιμα σήμερα είναι η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ, το βιοαέριο, η βιομεθανόλη, ο βιοδιμεθυλαιθέρας, τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα), ο βιο-MTBE (μεθυλοτριτοβουτυλαιθέρας), το βιοϋδρογόνο και τα καθαρά φυτικά έλαια. Τα κυριότερα βιοκαύσιμα είναι η βιοαιθανόλη, η οποία παράγεται από σακχαρούχα και αμυλούχα φυτά (ζαχαρότευτλο, γλυκό σόργο, καλαμπόκι, σιτάρι κ.α.) και το βιοντίζελ ή μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων (Οικονόμου Χ. , 2012).

Η πιο μελετημένη εφαρμογή βιοαποβλήτων-βιοδυλιστηρίων είναι η ανάκτηση ενέργειας. Αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν τη μετατροπή βιολογικών αποβλήτων σε ενδιάμεσα υλικά που παράγουν βιοκαύσιμα ή βιοαέριο και τη συμπαραγωγή ενέργειας με άλλα βιομηχανικά προϊόντα σε ένα βιοδυλιστήριο.

Σήμερα, υπάρχουν κυρίως τρεις τρόποι που χρησιμοποιούνται συχνά για την εξαγωγή ενέργειας από τη βιομάζα. Αυτές είναι: η καύση (εξώθερμη), η αεριοποίηση (εξώθερμη) και η πυρόλυση (ενδόθερμη). Η καύση είναι η μια εξώθερμη οξειδοαναγωγική αντίδραση. Η καύση είναι η οξείδωση του καυσίμου κατά την οποία η βιομάζα μπορεί να οξειδωθεί πλήρως και να μεταφερθεί σε θερμότητα. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας είναι μόνο περίπου 10% και αυτός ο τρόπος χρήσης αποτελεί πηγή σημαντικής ρύπανσης (Pei-dong, Z. Guomei, J. Gang, W., 2007). Η αεριοποίηση είναι μια εν μέρει οξειδωτική διαδικασία που μετατρέπει ένα

στερεό καύσιμο σε αέριο καύσιμο, ενώ η πυρόλυση είναι το πρώτο στάδιο τόσο της καύσης όσο και της διαδικασίας αεριοποίησης [24]. Επομένως, η πυρόλυση δεν είναι μόνο μια ανεξάρτητη τεχνολογία μετατροπής, αλλά και ένα μέρος της αεριοποίησης και της καύσης [25], η οποία συνίσταται σε θερμική αποικοδόμηση του αρχικού στερεού καυσίμου σε αέρια και υγρά χωρίς οξειδωτικό παράγοντα ολη η παραγραφος είναι από αυτό το αρθρο

Μεγάλη προσοχή επίσης δίνεται στα προϊόντα αντικατάστασης που προέρχονται από τον μικροβιακό μεταβολισμό (Jahirul & al, 2012, pp. 4952-5001). Η αιθανόλη, η βουτανόλη, το βιοντίζελ, το μεθάνιο και το υδρογόνο είναι πολύτιμοι πόροι για ενέργεια και ηλεκτρική ενέργεια, με δυνατότητες και για μεταφορά.

Τα πιο σημαντικά ενεργειακά προϊόντα που μπορούν να παραχθούν είναι

- αέρια βιοκαύσιμα (βιοαέριο, syngas, υδρογόνο, βιομεθάνιο)
- στερεά βιοκαύσιμα (πέλλετ, λιγνίνη, κάρβουνο)
- τα υγρά βιοκαύσιμα για μεταφορά (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ) (Cherubini, 2010).

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στα βιοδυλιστήρια είναι μία ή δυο και περιλαμβάνουν την θερμοχημική και στη συνέχεια μικροβιολογική επεξεργασία της βιομάζας. Στη θερμοχημική διαδικασία, η βιομάζα εξατμίζεται και το αέριο σύνθεσης που προκύπτει μετατρέπεται σε καύσιμα και χημικές ουσίες, ενώ ένα μέρος της χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Στη βιοτεχνολογική διαδικασία, κατάλληλα ένζυμα μετατρέπουν την πρώτη ύλη σε σάκχαρα και στη συνέχεια χρησιμοποιείται η ζύμωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή αλκοόλη. Τα απόβλητα της βιοτεχνολογικής διαδικασίας καίγονται για την παραγωγή θερμότητας ή/και βιοκαυσίμου .

Ο πρώτος διαχωρισμός είναι απαραίτητος, δεδομένου ότι ο μετασχηματισμός και η επεξεργασία αυτών των ενώσεων που ακολουθεί θα οδηγήσει σε μια ευρεία ποικιλία προϊόντων.

Η ευκολία με την οποία οι υδρογονάνθρακες μπορούν να μετατραπούν σε χημικά καθαρά προϊόντα μέσω χημικών διεργασιών αποτελεί τη βάση της λειτουργίας των βιοδυλιστηρίων. Βέβαια αντίθετα από την δύλιση του πετρελαίου, η βιομάζα έχει ένα

ευρύ φάσμα αναλογιών άνθρακα, υδρογόνου, αζώτου και οξυγόνου, καθιστώντας την αποτελεσματική βιοτεχνολογική μετατροπή εξαιρετικά δύσκολη.

Η βιομάζα υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία είναι πιο κατάλληλη για μια διαδικασία υγρής μετατροπής, όπως η ζύμωση, δηλ. διεργασίες που περιλαμβάνουν βιοχημικά μεσολαβούμενες αντιδράσεις, ενώ η βιομάζα χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία είναι πιο οικονομική για διαδικασίες μετατροπής όπως η καύση, η πυρόλυση ή η αεριοποίηση [11].

2.3.1 Διεργασίες παραγωγής ελαίων/βιοντίζελ

Το βιοντίζελ είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον υγρό καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιονδήποτε κινητήρα ντίζελ χωρίς καμία τροποποίηση. Η ιδέα της χρήσης φυτικού λαδιού ως καύσιμο πρώτο ακούστηκε το 1900 στο Παρίσι από τον διάσημο επιστήμονα Sir Rudolf Diesel. Η παραγωγή του ξεκίνησε στις της δεκαετίας του 1990 και σήμερα χρησιμοποιείται είτε απευθείας σε καθαρή μορφή (B100) ή αναμειγνύεται με το συμβατικό πετρελαϊκό ντίζελ σε διάφορες αναλογίες, γεγονός που μειώνει σημαντικά τις εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων, CO, θεικών αλάτων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, νιτρομένων πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων και σωματιδίων. Είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμο, δεν είναι τοξικό, έχει καλύτερες λιπαντικές ιδιότητες και εμφανίζει υψηλό αριθμό κετανίου (δείκτης ποιότητας ανάφλεξης ενός μίγματος) σε σχέση με το συμβατικό ντίζελ, ενώ περιέχει 10-11% κατά βάρος οξυγόνο, το οποίο καθιστά την καύση λιγότερο ατελή.

Τα καύσιμα βιοντίζελ προέρχονται από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη και λίπη μέσω μιας χημικής διαδικασίας που ονομάζεται μεθεστεροποίηση. Η χημική δομή των φυτικών ελαίων πρέπει να τροποποιηθεί για να μειωθεί το μοριακό τους βάρος, το ιξώδες και το ειδικό βάρος τους και να γίνουν οι ιδιότητές τους συγκρίσιμες με το ντίζελ έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες ντίζελ χωρίς καμία τροποποίηση στους κινητήρες (Shahid & Jamal, 2011) .

Μόνο οι καλλιέργειες σόγιας και ελαιοκράμβης είναι υπεύθυνες για το 80% της παγκόσμιας παραγωγής ελαίου. Στη ΝΑ Ασία ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται το φοινικέλαιο. Τα συνηθέστερα λιπαρά οξέα που απαντώνται στα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ είναι

a) κορεσμένα : Έχουν υψηλό αριθμό κετανίου και χαμηλό βαθμό οξείδωσης (C14:0; μυριστικό οξύ, C16:0; παλμιτικό οξύ, C18:0; στεατικό οξύ).

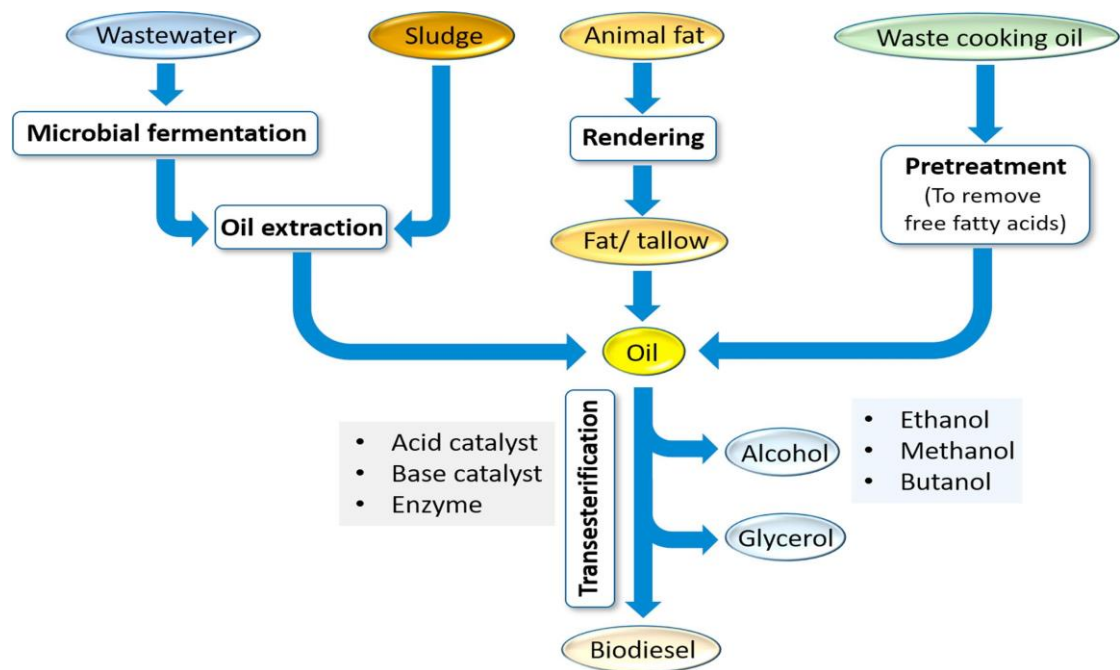
b) ακόρεστα :

Το υψηλό κόστος του βιοντίζελ είναι το κύριο εμπόδιο στην εμπορευματοποίηση του προϊόντος, αφού το 70-95% του συνολικού κόστους παραγωγής του σχετίζεται με τις πρωτογενείς πρώτες ύλες. Η εύρεση φθηνότερων πρώτων υλών (π.χ όπως τα βιοαπόβλητα) θα μπορούσε να δώσει λύση σε αυτό το πρόβλημα του κόστους

Αντίδραση μεθεστεροποίησης ελαίων

Υπάρχουν πολλές διαδικασίες μετατροπής των φυτικών ελαίων σε καύσιμα με συγκρίσιμες ιδιότητες με το πετρέλαιο, αυτές είναι η μεθεστεροποίηση, η ανάμειξη, η διάσπαση, η μικρογαλακτωματοποίηση και η πυρόλυση. Η συνηθέστερη μέθοδος είναι η χημική μέθοδος της μεθεστεροποίησης κατά την οποία το τριγλυκερίδιο μετατρέπεται σε διγλυκερίδιο και το διγλυκερίδιο μετατρέπεται σε μονογλυκερίδιο που είναι μεθυλ ή αιθυλεστέρας και ονομάζεται βιοντίζελ (Shahid & Jamal, 2011). Η αλκοόλη που χρησιμοποιείται, είναι κυρίως αιθυλική ή μεθυλική αλκοόλη, αντιδρά με το φυτικό έλαιο παρουσία κατάλληλου καταλύτη και παράγονται αιθυλεστέρες/μεθυλεστέρες. Ένα μόριο τριγλυκεριδίου αντιδρά με 3 μόρια αλκοόλης και παράγει τρία μόρια μονογλυκεριδίου και ένα μόριο γλυκερίνης. Οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται είναι καταλύτες οξέων και βάσεων ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται και συμβάλλουν στην επιτάχυνση του ρυθμού της αντίδρασης. Στη συνέχεια παράγονται 2 διακριτές στρώσεις υγρών ο αιθυλ/μεθυλεστρας και γλυκερίνη που τελικά διαχωρίζονται. Τέλος, τόσο η γλυκερίνη όσο και το ακατέργαστο βιοντίζελ εξευγενίζονται ξεχωριστά. Η γλυκερίνη απορρίπτεται για περεταίρω χρήση (π.χ ζωοτροφές, φαρμακευτικά προϊόντα κ.α) και το βιοντίζελ διαχωρίζεται από την αλκοόλη η οποία επαναχρησιμοποιείται στον παραπάνω κύκλο. Η αντίδραση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 50–75 °C και ολοκληρώνεται εντός 2 ωρών.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό απόδοσης βιοντίζελ είναι η ποσότητα και ο τύπος της αλκοόλης και του καταλύτη, η θερμοκρασία και ο χρόνος αντίδρασης. Σημαντικός παράγοντας είναι επιπλέον και η περιεκτικότητα σε υγρασία και η ποσότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) που έχει η πρώτη ύλη.



Εικόνα 10 Διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ από διαφορετικά βιοαπόβλητα. (Bhatia & al, Biowaste-to-bioenergy using biological methods—a mini-review., 2018)

Μετεστεροποίηση με χρήση ενζυμικών καταλυτών.

Οι ενζυμικοί καταλύτες προτιμώνται επειδή αφενός με τη χρήση τους, δεν σχηματίζεται σαπούνι και αφετέρου επειδή οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται σε ήπιες συνθήκες. Ενζυματικοί καταλύτες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην πρώτη ύλη υψηλής περιεκτικότητας σε ελεύθερα λιπαρά οξέα FFA και μετατρέπουν περισσότερο από το 90% του πετρελαίου σε βιοντίζελ. Τα προβλήματα όμως που σχετίζονται με τους ενζυμικούς καταλύτες είναι το υψηλότερο κόστος και ο μεγαλύτερος χρόνος αντίδρασης.

Μετεστεροποίηση μέσω μικροκυμάτων ραδιοσυχνότητας

Η μετεστεροποίηση μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ακτινοβολίες μικροκυμάτων υψηλής συχνότητας (υπέρυθρη και ραδιοκύματα), οι οποίες επιταχύνουν τις χημικές αντιδράσεις, μειώνοντας το χρόνο από ώρες σε λεπτά και λεπτά σε δευτερόλεπτα. Οι Refaat et al. τρανσεστεροποιημένο χρησιμοποιημένο μαγειρικό λάδι χρησιμοποιώντας 20% μεθανόλη, 1% NaOH στους 65 °C. Η αντίδραση ολοκληρώθηκε σε 60 λεπτά και η φάση διαχωρισμού ολοκληρώθηκε σε 8 ώρες με τη συμβατική μέθοδο. Η διαδικασία επαναλήφθηκε με τις ίδιες ποσότητες αλκοόλης και καταλύτη χρησιμοποιώντας ακτινοβολίες μικροκυμάτων. Η αντίδραση ολοκληρώθηκε εντός 2 λεπτών και η φάση διαχωρισμού ολοκληρώθηκε σε 30 λεπτά. Η απόδοση

μετατροπής ήταν 100%, σε σύγκριση με 96% με εκείνη της συμβατικής μεθόδου (Refaat & al, 2008, pp. 315-322).

Μετεστεροποίηση με χρήση υπερκρίσιμης μεθανόλης

Η πρώτη ύλη αντιδρά με εξαιρετικά κρίσιμη μεθανόλη σε εξαιρετικά υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Με αυτή την τεχνική τα φυτικά έλαια ή τα ζωικά λίπη μπορούν να μετατραπούν σε βιοντίζελ με πολύ μειωμένο χρόνο χωρίς τη χρήση κανενός τύπου καταλύτη με αποτέλεσμα να μην απαιτείται ούτε πλύσιμο ούτε εξουδετέρωση. Πλεονέκτημα της διαδικασίας είναι ότι το περιεχόμενο νερού της πρώτης ύλης δεν επηρεάζει την αντίδραση. Από την άλλη το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η υψηλή πίεση και θερμοκρασία που απαιτείται.

Διεργασίες παραγωγής βιοαλκοολών (βιοαιθανόλης)

Αλκοόλη ονομάζεται οποιαδήποτε οργανική ένωση περιέχει ένα ή περισσότερα υδροξύλια ή υδροξυομάδες (-OH), συνδεδεμένα με άτομο άνθρακα (μόνο εφόσον το υδροξύλιο είναι η κύρια χαρακτηριστική ομάδα της ένωσης). Οι Αλκοόλες ανήκουν στα οξυγονούχα καύσιμα. Κατά την καύση τους μειώνονται τα μόρια οξυγόνου που περιέχονται στο μόριο της εκάστοτε αλκοόλης που έχει ένα ή περισσότερα άτομα οξυγόνου. Οι αλκοόλες που παράγονται με βιολογικές μεθόδους και χρησιμοποιούνται ως καύσιμα ή διαλύτες ονομάζονται βιοαλκοόλες. Θεωρητικά οποιοδήποτε οργανικό μόριο αλκοόλης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κινητήρων, αλλά αυτές που πρακτικά χρησιμοποιούνται είναι η βιοαιθανόλη (C_2H_5OH), η βιομεθανόλη (CH_3OH), η προπανόλη (C_3H_7OH), η βιοβουτανόλη (C_4H_9OH). Παρόλα αυτά, μόνο τα καύσιμα βιοαιθανόλης και βιομεθανόλης είναι τεχνικά και οικονομικά κατάλληλα για κινητήρες εσωτερικής καύσης (Demirbas A., 2007), με την βιοαιθανόλη να κατέχει την νο.1 θέση παγκοσμίως ως χρησιμοποιούμενο βιοκαύσιμο για μεταφορά.

Η βιοαιθανόλη παράγεται συνήθως μέσω ζύμωσης βιολογικού υλικού (σακχάρων ή λιγνοκυτταρίνης) που τελικά μετατρέπεται σε μόνο ή δισακχαρίτη. Η εξαγωγή-απομόνωση σακχάρων από τα φυτά γίνεται με προεπεξεργασία όπως θερμική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και διαδικασία ακτινοβόλησης (Pandey, 2011). Η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται είτε απευθείας σε αυτοκίνητα με κινητήρα σχεδιασμένο να λειτουργεί με καθαρή αιθανόλη ή σε συμβατικά αυτοκίνητα ως πρόσθετο καυσίμου

χωρίς τροποποίηση κινητήρα με μείγμα βιοαιθανόλης με βενζίνη (E10,E15,E85). Η βιοαιθανόλη είναι ένα οξυγονωμένο καύσιμο που περιέχει 35% οξυγόνο, το οποίο μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων και NOx από την καύση. Έχει υψηλότερο αριθμό οκτανίων (108), ευρύτερα όρια ευφλεκτότητας, υψηλότερες ταχύτητες φλόγας και υψηλότερες θερμοότητες εξάτμισης από τη βενζίνη. Αυτές οι ιδιότητες επιτρέπουν υψηλότερο λόγο συμπίεσης, μικρότερο χρόνο καύσης και πιο αδύνατο κινητήρα καύσης, που οδηγούν σε θεωρητικά πλεονεκτήματα απόδοσης έναντι της βενζίνης σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (Balat, Global bio-fuel processing and production trends. , 2007, pp. 195-218)(Balat, 2009, pp. 1242-1255) (Demirbas M. F., Balat M., & Balat, H., 2011) (Demirbas A. , 2007, pp. 391-401).

Η χρήση των βιοαποβλήτων για την παραγωγή αλκοόλων έρχεται να καταπολεμήσει την επισιτιστική ασφάλεια που απειλείται από τη χρήση των τροφίμων για την παραγωγή καυσίμων. Από οικονομική άποψη, οι χρήσεις λιγνοκυτταρινικών υπολειμμάτων από φυτά ή τρόφιμα ως πρώτη ύλη έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τη ζάχαρη ή το άμυλο, η υψηλή ποσότητα ζάχαρης ή αμύλου στο καλαμπόκι και το ζαχαροκάλαμο μπορεί εύκολα να ζυμωθεί σε βιοαιθανόλη (Waghmare & al, 2018, pp. 1-10).

2.3.2 Παραγωγή ενέργειας με υγροποίηση ή πυρόλυση (ή αεριοποίηση)

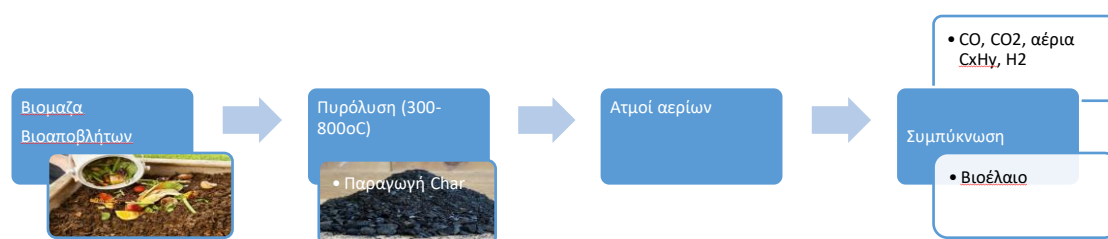
Οι σημαντικότεροι τύποι θερμικών διεργασιών, πέραν της καύσης, που έχουν αναπτυχθεί είναι: πυρόλυση (pyrolysis), υγροποίηση (liquefaction), ανθρακοποίηση (carbonization) και η εξαερίωση (gasification)

Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι η διαδικασία της θερμικής αποσύνθεσης της βιομάζας σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Κατά την πυρόλυση το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε πλούσιο σε άνθρακα στερεό και πτητική ύλη. Το στερεό ονομάζεται εξανθράκωμα και είναι υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (περίπου το ήμισυ του αρχικού συνολικού άνθρακα της βιομάζας), ενώ τα πτητικά συμπυκνώνονται εν μέρει και δίνουν ένα υγρό κλάσμα και ένα μίγμα των λεγόμενων «μη συμπυκνώσιμων» αερίων. Αρχικά λοιπόν παράγεται βιοεξανθράκωμα (biochar) και αφετέρου βιοέλαιο και syngas (CO +H₂

κυρίως) τα οποία δύνανται να χρησιμοποιηθούν και σε άλλους τομείς όπως στη βιομηχανία, για μετακίνηση, ενέργεια.

Συγκεκριμένα, γίνεται αποσύνθεση του οργανικού κλάσματος της πρώτης ύλης που θα χρησιμοποιήσουμε αρχικά στους 350 °C–550 °C και φτάνει στους 700 °C–800 °C απουσία αέρα/οξυγόνου. Οι μακριές αλυσίδες ενώσεων άνθρακα, υδρογόνου και οξυγόνου στη βιομάζα διασπώνται σε μικρότερα και απλούστερα μόρια αερίων, υγρών και στερεών (μόρια με τη μορφή αερίων, συμπυκνώσιμων ατμών (πίσσα και λάδια) και στερεού άνθρακα (char). Ο ρυθμός και η έκταση της αποσύνθεσης καθενός από αυτά τα συστατικά εξαρτάται από τις παραμέτρους της διαδικασίας (ρυθμός θέρμανσης βιομάζας, πίεση, χαρακτηριστικά του αντιδραστήρα, πρώτη ύλη κ.α), θερμοκρασίας του αντιδραστήρα (πυρόλυση (Jahirul & al, 2012)).



Εικόνα 11 Διαδικασία Πυρόλυσης

Η πυρόλυση σε σχέση με τις διαδικασίες μετατροπής βιομάζας σε ενέργεια είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται περισσότερο για την παραγωγή προϊόντων υγρού καυσίμου λόγω των πλεονεκτημάτων της σχετικά με την αποθήκευση, τη μεταφορά και την ευελιξία σε εφαρμογές όπως κινητήρες εσωτερικής καύσης, λέβητες, στρόβιλοι κ.λπ. Η πυρόλυση διαφορετικών ειδών βιομάζας όπως το ξύλο οξιάς, η βαγάσα, ξυλώδη βιομάζα, τα καλαμάκια, τα seedcake (ελαιούχους σπόρους μετά την εξαγωγή ελαίου) και τα αστικά στερεά απόβλητα (MSW) έχει διερευνηθεί εκτενώς για την παραγωγή βιολογικών υγρών καυσίμων και άλλων προϊόντων (ξυλάνθρακα και αέριο) (Jahirul & al, 2012).

Το σημαντικότερο προϊόν της διαδικασίας είναι η παραγωγή βιοελαίου υψηλής αξίας που θα καταφέρει να ανταγωνισθεί και τελικά να αντικαταστήσει τα μη ανανεώσιμα

ορυκτά καυσίμα δηλ. τη βενζίνη και το πετρέλαιο που χρησιμοποιούνται σε οχήματα τρένα, πλοία και αεροπλάνα κ.α. Το βιο-έλαιο έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να αποθηκεύεται και να μεταφέρεται πιο εύκολα από ότι η ίδια η βιομάζα. Επιπλέον, πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι το biochar που παράγεται κατά την διαδικασία της πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο με τις επιθυμητές ιδιότητες καυσίμου, αφού αυτό έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο και άζωτο σε σύγκριση με τα συμβατικά στερεά καύσιμα, οδηγώντας σε πιθανή μείωση της απελευθέρωσης οξειδίων, όπως SO_x και NO_x, κατά τη χρήση του. Τέλος τόσο το βιοεξανθράκωμα όσο και τα αέρια που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν τη θερμότητα η οποία απαιτείται κατά τη διεργασία πυρόλυσης με αποτέλεσμα να μη δημιουργούνται απόβλητα, αλλά και να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας (Nudri & al, 2020, pp. 45-55).

Ανάλογα με τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής του στερεού ή του αερίου στη μονάδα πυρόλυσης διακρίνονται 4 είδη πυρόλυσης :

- 1) Η αργή πυρόλυση ή ανθρακοποίηση,
- 2) Ενδιάμεση πυρόλυση,
- 3) Ταχεία πυρόλυση,
- 4) Flash pyrolysis.
- 5) Αεριοποίηση

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των βιοεξανθρακωμάτων που θα παραχθούν επηρεάζονται από την πρώτη ύλη και τη θερμοκρασία πυρόλυσης. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά οι διαφορές:

1. Αργή πυρόλυση : πραγματοποιείται με χαμηλούς ρυθμούς θέρμανσης και μεγάλους χρόνους παραμονής σε στερεά και ατμούς. Θερμοκρασίες μικρότερες από την ταχεία. Τυπικά 400⁰C. Ευνοείται η παραγωγή βιοεξανθρακώματος.
2. Ενδιάμεση πυρόλυση: χρήση αντιδραστήρα Haloclean που σχεδιάστηκε για τη διάθεση απορριμμάτων καταλοίπων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστατικών με πυρόλυση

3. Ταχεία πυρόλυση : Πολύ η πρώτη ύλη θερμαίνεται γρήγορα σε υψηλή θερμοκρασία απουσία αέρα, εξατμίζεται και συμπυκνώνεται σε ένα σκούρο καφέ υγρό (βιοέλαιο). πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από 400⁰C έως 1000⁰C για λίγες ώρες και ευνοείται η παραγωγή βιοελαίου.
4. Flash pyrolysis: χρήση σε εργαστηριακές μελέτες

Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια σχετικά νέα μέθοδος θερμικής επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει τη μετατροπή του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων σε ένα μίγμα καύσιμων αερίων, μέσω μερικής οξείδωσής του σε υψηλές θερμοκρασίες (400 έως 1500 °C) (Alibardi & Cossu, 2006). Είναι μια εν μέρει οξειδωτική διαδικασία που μετατρέπει ένα στερεό καύσιμο σε αέριο καύσιμο, ενώ η πυρόλυση είναι το πρώτο στάδιο τόσο της καύσης όσο και της διαδικασίας αεριοποίησης. υνίσταται σε θερμική αποικοδόμηση του αρχικού στερεού καυσίμου σε αέρια και υγρά χωρίς οξειδωτικό παράγοντα. Είναι το επόμενο στάδιο της διαδικασίας πυρόλυσης στο οποίο το υπολειμματικό κωκ της πυρόλυσης οξειδώνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 800 °C, παρουσία περιορισμένων (μη στοιχειομετρικών) ποσοτήτων οξυγόνου. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στην πυρόλυση χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή θερμότητας για να ξεκινήσουν οι ενδόθερμες αντιδράσεις θερμικής διάσπασης της βιομάζας σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου, ενώ η αεριοποίηση είναι

2.4 Καύση

Ως καύση ορίζεται η θερμική διάσπαση παρουσία αέρα σε υψηλές θερμοκρασίες (800-1100) με τελικό προϊόν να είναι το CO₂. Αποτελεί μια από τις χειρότερες πρακτικές αντιμετώπισης του κλάσματος των αποβλήτων και κυρίως βιοαποβλήτων διότι στερεί σημαντικούς πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές όπως η ανακύκλωση, η κομποστοποίηση και οι παραπάνω που αναφέρθηκαν. Η καύση ή αποτέφρωση των αποβλήτων παράγει αέριους ρύπους-επικίνδυνα καυσαέρια (βαρέα μέταλλα, CO₂, N₂O, διοξίνες έμμονους οργανικούς ρύπους, furans, Mo, Hg), αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, στερεά υπολείμματα όπως η τέφρα και θερμότητα. Πλεονεκτήματα της καύσης όταν γίνεται σε ελεγχόμενες συνθήκες- εγκαταστάσεις είναι από τη μία μια πολύ γρήγορη διαδικασία που μειώνει σε πολύ μικρό χρόνο τον όγκο των στερεών αποβλήτων στο

20% έως 30% του αρχικού όγκου από την άλλη αποτρέπει τον μεγάλο όγκο απορριμμάτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι αποφεύγεται η παραγωγή μεθανίου από τα ΑΣΑ στις ανοιχτές χωματερές. Επιπλέον, η τέφρα που απομένει μετά την καύση καθορίζεται από τη σύνθεση των αποβλήτων που έχουν εισαχθεί στην εγκατάσταση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο σε υλικά κατασκευών-πλήρωσης ή να ταφεί σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τέλος, τα αέρια που εκλύονται έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαυσίμων. Η δημιουργία όμως, τέτοιων εγκαταστάσεων είναι κοστοβόρα και δεν αντισταθμίζει τα πλεονεκτήματα της μεθόδου. Σχεδόν 500–600 kWh ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να παραχθούν μέσω της αποτέφρωσης 1 τόνου απορριμμάτων.

Από την άλλη, η καύση σε ανοιχτούς χώρους (μη ελεγχόμενες συνθήκες) λόγω της καύσης σε χαμηλή θερμοκρασία προκαλεί σοβαρή ατμοσφαιρική ρύπανση, τα αέρια που εκλύονται συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και μπορεί να προκαλέσουν τοξικότητα στους ανθρώπους που ζουν σε κοντινές αποστάσεις, καθώς και διεγείρει κίνδυνο πυρκαγιάς.

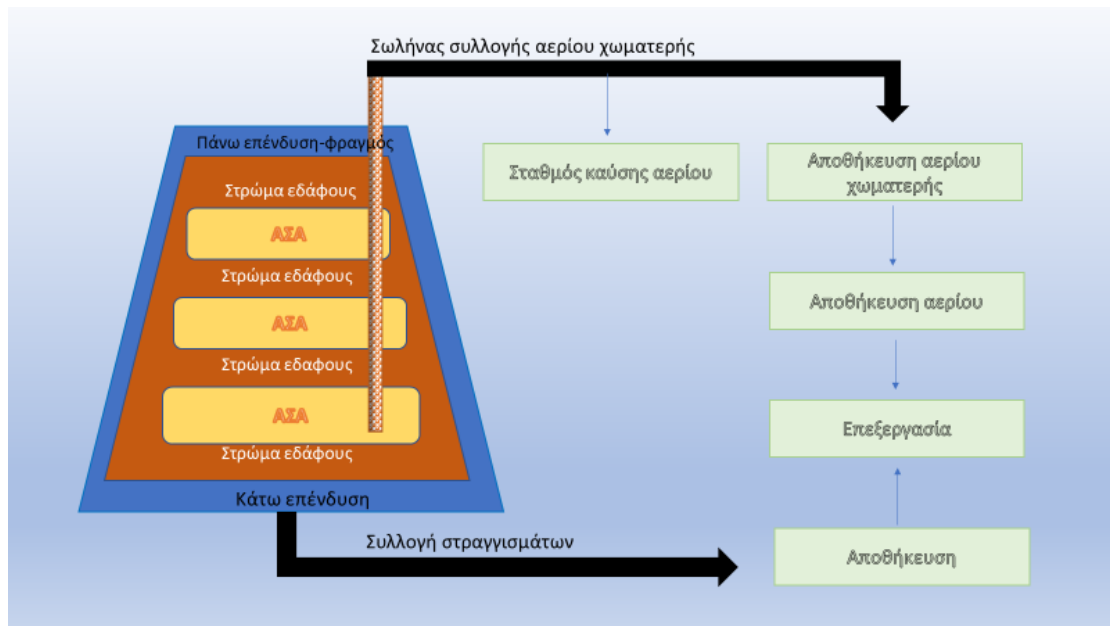
Η αποτέφρωση είναι ευεργετική για την επεξεργασία ορισμένων αποβλήτων, όπως τα κλινικά απόβλητα, όπου η θερμότητα μπορεί να σκοτώσει παθογόνα και να καταστρέψει άλλες τοξίνες. Υπάρχουν επί του παρόντος περίπου 86 μονάδες αποτέφρωσης ΑΣΑ σε λειτουργία στις ΗΠΑ που παράγουν 2720 μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως επεξεργάζοντας περισσότερους από 28 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτων. Ομοίως, άλλες χώρες όπως η Ιαπωνία και η Κίνα χρησιμοποιούν την αποτέφρωση για την επεξεργασία του 27,3% και του 80%, αντίστοιχα, των ΑΣΑ (Bhatia & al, 2018)

Η καλή απόδοση καύσης εξαρτάται από τη διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας στον θάλαμο καύσης, τη θερμοκρασία καύσης και τον χρόνο παραμονής. Οι βέλτιστες συνθήκες είναι απαραίτητες ώστε τα αέρια που παράγονται κατά την καύση να αναμυγνύονται συνεχώς με τον αέρα που εγχύεται στον καυστήρα- αποτεφρωτήρα διατηρώντας την βέλτιστη θερμοκρασία σταθερή. Επιπλέον, ουσίες όπως τα βαρέα μέταλλα, το χλώριο, θείο, άζωτο που υπάρχουν στα απόβλητα δεν καταστρέφονται κατά την καύση, αλλά κατακάθονται μαζί με την τέφρα στον πυθμένα του αποτεφρωτήρα. Ο υδράργυρος επειδή είναι πτητική ένωση εξατμίζεται στον θάλαμο

καύσης. Έτσι λοιπόν, οι συνθήκες καύσης πρέπει να καταστρέφουν τα ατελή προϊόντα που παράγονται καύσης και να ελαχιστοποιούν την εξάτμιση και τη συμπλοκοποίηση των βαρέων μετάλλων με τις εκπομπές αερίων και ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα ΝxO παράγονται σε υψηλές θερμοκρασίες καύσης. Υπάρχουν όμως συσκευές ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στους αποτεφρωτήρες όπως ηλεκτροστατικοί κατακρεμνηστες (electrostatic precipitators), υφασμάτινα φίλτρα, wet scrubbers για τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων, wet scrubbers, spray-dryer absorbers για τον έλεγχο του υδροχλωρικού οξέος, του διοξειδίου του θείου, βαρέων μετάλλων και διοξινών, με έγχυση αμμωνίας ή ουρίας μερικώς ελέγχονται τα οξειδία του αζώτου. Μόνο μέσω της εξειδικευμένης τεχνολογίας και του εξειδικευμένου προσωπικού οι αποτεφρωτήρες απορριμμάτων μπορούν να λειτουργήσουν με θετικό αποτύπωμα, εκπέμποντας χαμηλές ποσότητες ρύπων National Research Council (2000).

2.5 Υγειονομική ταφή

Η υγειονομική ταφή είναι μια διαδικασία οργανωμένης διάθεσης βιοαποδομήσιμων και μη βιοαποδομήσιμων αποβλήτων σε καθορισμένο χερσαίο χώρο ταφής ή χώρο υγειονομικής ταφής, ο οποίος βρίσκεται μακριά από τις προαστιακές περιοχές ενός δήμου (Nanda & Berruti 2021). Το μεγαλύτερο μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τα απόβλητα μπορεί να θάβονται σε αυτούς τους χώρους ή να απορρίπτονται σε σωρούς ή πετιούνται σε λάκκους. Είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται μόνη της ή ως μέρος άλλων στρατηγικών διαχείρισης αποβλήτων. Σαν πρακτική προσφέρει χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης συγκριτικά με άλλες πρακτικές όπως π.χ η αποτέφρωση. Αποτελεί όμως σοβαρό κίνδυνο για το περιβάλλον. Έχει θετικό πρόσημο μόνο στην περίπτωση δημιουργίας ενοποιημένης μονάδας με ενσωμάτωση πρακτικών ανακύκλωσης των στραγγισμάτων και αναβάθμισης του αερίου σε βιοαέριο.



Εικόνα 12 Πρότυπο σύστημα υγειονομικής ταφής με ενσωμάτωση κάτω επένδυσης, συστήματος συλλογής στραγγισμάτων και αερίων, σταθμό καύσης αερίου

Οι χώροι υγειονομικής ταφής κατατάσσονται σε ανοικτούς χώρους υγειονομικής ταφής, ημιελεγχόμενους χώρους υγειονομικής ταφής και υγειονομικούς χώρους υγειονομικής ταφής. Η έλλειψη χώρου για δημιουργία νέων χώρων υγειονομικής ταφής σε μητροπολιτικές πόλεις και αναπτυσσόμενες χώρες οδηγεί στην ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων.

Η διάθεση των βιοαποδομήσιμων αστικών αποβλήτων (BMW) σε τέτοιους χώρους και οι διεργασίες αναερόβιας αποδόμησης τους είναι η κύρια αιτία παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου και τοξικών για το περιβάλλον υγρών αποστράγγισης με υψηλό φορτίο ρύπων (μέταλλα, μεταλλοειδή, διαλυτά άλατα και διαλυτό οργανικό άνθρακα (DOC)). Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση που τα απόβλητα έχουν πρώτα περάσει από άλλες επεξεργασίες και η περαιτέρω ανάκτηση ενέργειας κρίνεται τεχνικά και οικονομικά ανέφικτη. Όμως, παρά τις περιβαλλοντικές πολιτικές η πλειονότητα των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων καταλήγει ακόμα και σήμερα στους χώρους υγειονομικής ταφής και η ποσότητα των εναποτιθέμενων αποβλήτων είναι σημαντική παγκοσμίως. Η υγειονομική ταφή αντιπροσωπεύει σχεδόν το 40% των αστικών απορριμμάτων (Gotvajn & Pavko, 2015).

Ωστόσο, έχουν γίνει σημαντικά βήματα και η υγειονομική ταφή ΑΣΑ μειώθηκε από 89% το 1980 σε λιγότερο από 53% το 2014 στις ΗΠΑ λόγω των προόδων που έγιναν στις τεχνολογίες ανακύκλωσης, κομποστοποίησης, καύσης και ανάκτησης ενέργειας.

Ο αριθμός των ενεργών και κλειστών χωματερών στην Ευρωπαϊκή Ένωση κυμαίνεται μεταξύ 150.000 και 500.000, που χρησιμεύει ως αποθήκη για τεράστιες ποσότητες αστικών στερεών αποβλήτων που παράγονται στην Ευρώπη. Η υγειονομική ταφή στερεών αποβλήτων μπορεί να είναι βιώσιμη όταν οι ΧΥΤΑ σχεδιάζονται, λειτουργούν και συντηρούνται λαμβάνοντας υπόψη ορισμένους σημαντικούς παράγοντες όπως (1) ρυθμιστικά πρωτόκολλα, (2) ασφάλεια των εργαζομένων, (3) χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, (4) ανάκτηση και αναβάθμιση upgrading των αποστραγγισμάτων- εκπλυμάτων και αερίων των χωματερών και (5) δυνατότητα εξόρυξη Έτσι λοιπόν, τα ΧΥΤΑ έχουν τη δυνατότητα από «αποθήκες απορριμμάτων» να μετατραπούν σε «ενεργειακές μονάδες παραγωγής ενέργειας» μέσω εφαρμογής ολοκληρωμένων τεχνολογιών παραγωγής πράσινης ενέργειας και δευτερογενών υλικών (Nanda & Berruti 2021).

Κεφάλαιο 3ο Ο καφές και η επεξεργασία των υπολειμμάτων του

3.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Ο καφές είναι ένα από τα πιο καταναλωτικά και δημοφιλή είδη ροφημάτων παγκοσμίως. Καλλιεργείται σε περισσότερες από 70 χώρες και ακολουθεί αμέσως το πετρέλαιο ως το δεύτερο πιο εμπορεύσιμο προϊόν παγκοσμίως, φέρει μαζί του μια μεγάλη οικονομική και περιβαλλοντική επιβάρυνση με τη μορφή καταναλωμένου κόκκου καφέ (Crossley et al. 2020). Το γεγονός αυτό καθιστά τη βιομηχανία του καφέ υπεύθυνη για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας απορριμμάτων κυρίως σε μορφή “coffee silver skin” και κατακάθι καφέ (SCG)(spent coffee grounds). Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Καφέ, η παγκόσμια κατανάλωση καφέ έφτασε τα 9,3 δισεκατομμύρια κιλά το 2016 και παραμένει ένα από τα πιο εμπορεύσιμα προϊόντα παγκοσμίως. Το αχρησιμοποίητο μέρος του καφέ που μένει μετά την παρασκευή του ροφήματος συγκαταλέγεται ως βιοαπόβλητο από τις επιχειρήσεις εστίασης και έχει τη δυνατότητα να μετατραπεί σε διάφορα βιοπροϊόντα υψηλής αξίας. Τα τελευταία είναι απόρροια κυρίως της διαδικασίας παρασκευής-εκχύλισης του καφέ, αλλά και από τις βιομηχανίες παραγωγής συσκευασμένων

ροφημάτων καφέ. Οι πολυσακχαρίτες, κυρίως η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη, αποτελούν την πλειονότητα του SCG, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 50% της ξηρής μάζας. Τα κύρια συστατικά των σακχάρων της ημικυτταρίνης είναι η μαννόζη, η γαλακτόζη και η αραβινόζη, ενώ η γλυκόζη είναι το κυρίαρχο συστατικό της κυτταρίνης. Τα επόμενα επικρατέστερα συστατικά είναι η λιγνίνη και η πρωτεΐνη, τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 20% της ξηρής μάζας. Επίσης περιέχουν μεγάλη ποσότητα ελαίου, με ποσοστό άνω του 15% επί της ξηρής μάζας που παρατηρήθηκε σε αρκετές άλλες έρευνες (McNutt & He, 2019). Άλλα δευτερεύοντα συστατικά των SCG περιλαμβάνουν τέφρα, φαινολικές ενώσεις, ανόργανα άλατα, καφεΐνη και τανίνες. Περίπου 6 εκατομμύρια τόνοι SCG παράγονται κάθε χρόνο παγκοσμίως (Getachew and Chun 2017). Παραδοσιακά η διαδικασία διάθεσης των υπολειμμάτων του καφέ γίνεται σε χώρους υγειονομικής ταφής, πρακτική που εγείρει κινδύνους τοξικότητας των υπολειμμάτων του λόγω της οργανικής τους φύσης (Campos-Vega & al., 2015, pp. 24-36).

Ωστόσο, ανάλογα με το τοπικό πλαίσιο, την κουλτούρα και τις ατομικές προτιμήσεις, η πραγματική χρήση των κατακαθιών καφέ μπορεί να ποικίλλει. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη βιωσιμότητα και τη μείωση των αποβλήτων έχει αυξήσει την ευαισθητοποίηση σχετικά με τα οφέλη της επαναχρησιμοποίησης πόρων όπως το κατακάθι του καφέ. Πολλοί επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με τη μετατροπή των χρησιμοποιημένων κατακάθια καφέ σε βιοκαύσιμα, βιοπλαστικά ή άλλα αγαθά προστιθέμενης αξίας. Πολλά άτομα και επιχειρήσεις με οικολογική συνείδηση και έμφαση στη βιωσιμότητα, εξακολουθούν να αναζητούν νέους τρόπους επαναχρησιμοποίησης του κατακαθιού του καφέ με ορισμένα καφεκοπτεία και καφετέριες, εφαρμόζουν προγράμματα όπου οι πελάτες μπορούν να συλλέγουν τα υπολείμματα κατακάθια καφέ για διάφορες δραστηριότητες, όπως κηπουρική ή χειροτεχνία. Επιπλέον, κοινοτικές πρωτοβουλίες, και προγράμματα κομποστοποίησης σε ορισμένα μέρη παροτρύνουν τους πολίτες να απομακρύνουν τα οργανικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των κατακάθων καφέ, από τους χώρους υγειονομικής ταφής και να τα χρησιμοποιούν αντ' αυτού για κομποστοποίηση και κηπουρική. Ορισμένα επίσης εμπορικά προϊόντα περιλαμβάνουν τους κόκκους καφέ ως πρόσθετα εδάφους. Επιπροσθέτως λόγω των απολεπιστικών χαρακτηριστικών των κατακαθιών του καφέ, στον τομέα της ομορφιάς και της προσωπικής φροντίδας έχει αυξηθεί ο αριθμός των προϊόντων περιποίησης του δέρματος που ενσωματώνουν κατακάθι καφέ, άλλωστε οι

μάσκες προσώπου από κατακάθι καφέ γίνονται όλο και πιο δημοφιλή. Τέλος οι κόκκοι καφέ χρησιμοποιούνται συχνά σε διάφορα έργα DIY, από την παρασκευή κεριών έως την ανάπτυξη φυσικών καθαριστικών διαλυμάτων. Συνεπώς η αξιοποίηση των κατακαθιών καφέ μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζεται ανάλογα με τον τόπο και τις τρέχουσες τάσεις κάθε κοινωνίας

3.2 Χρήσεις βιοαποβλήτων κατακαθιών καφέ

Τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με πολλούς και ποικίλους τρόπους. Ένας τρόπος αξιοποίησης είναι η παραγωγή ενέργειας. Αναλυτικότερα, μαζί με άλλα οργανικά απόβλητα, μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν αναερόβιο χωνευτή βιοαερίου για την παραγωγή αερίου μεθανίου. Αυτό το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για θέρμανση ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η ενεργειακή απόδοση από τα κατακάθια καφέ είναι μάλλον χαμηλή και είναι συνήθως πιο εφικτό να χρησιμοποιηθεί μια σειρά οργανικών υλικών στον χωνευτή για να αυξηθεί η παραγωγή αερίου. Συν τοις άλλοις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο βιομάζας σε βιομηχανικούς λέβητες ή σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας και, στη συνέχεια, ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλη μια διαδικασία μέσω της οποίας μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας είναι η πυρόλυση, μια διαδικασία που αποσυνθέτει οργανικό υλικό σε υψηλές θερμοκρασίες απουσία οξυγόνου. Η μέθοδος αυτή μπορεί να παράγει βιοεξανθράκωμα, βιοέλαιο και αέριο σύνθεσης. Τέλος, οι κόκκοι καφέ μπορούν να κομποστοποιηθούν αντί να παράγουν απευθείας ηλεκτρική ενέργεια. Η κομποστοποίηση εμπλουτίζει το έδαφος και μπορεί έμμεσα να ενισχύσει την ανάπτυξη των φυτών, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στη δέσμευση του άνθρακα και, με την ευρύτερη έννοια, στο συνολικό οικοσύστημα.

Τα κατακάθια καφέ είναι ένα λίπασμα αργής αποδέσμευσης που μπορεί να εφαρμοσθεί απευθείας στο χώμα του κήπου ή σε φυτά σε γλάστρες. Οι γαιοσκώληκες, οι οποίοι βελτιώνουν το έδαφος, έλκονται από τα οργανικά τους υλικά. Οι κόκκοι καφέ μπορούν να απωθήσουν με φυσικό τρόπο τα μυρμήγκια, τα σαλιγκάρια και τους γυμνοσάλιαγκες όταν τοποθετούνται γύρω από τις βάσεις των φυτών ή τις εισόδους. Η ανάμειξη χρησιμοποιημένων κόκκων καφέ σε σπιτικά κεριά προσθέτει υφή και

διακόσμηση. Έχουν ακόμη την δυνατότητα να ενισχύσουν τη γεύση αλμυρών τροφίμων, κρεάτων και γλυκών (McNutt & He, 2018, pp. 1-12).

Τα κατακάθια καφέ μπορούν επιπλέον να αξιοποιηθούν με διάφορους τρόπους για την παραγωγή ενέργειας. Ενώ αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εξάγουν κάποια ενέργεια από τα κατακάθια του καφέ, είναι ζωτικής σημασίας να θυμόμαστε ότι τα κατακάθια του καφέ αποτελούν μια μικρής κλίμακας και εντοπισμένη πηγή δυνητικής ενέργειας. (Zannikos & al., 2011, pp. 1-7).

3.3 Παραγωγή ενέργειας

Η βιομάζα από χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορεί δυνητικά να παράγει ενέργεια. Η οργανική βιομάζα τους μπορεί να παράγει θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια και βιοκαύσιμα. Δεδομένου ότι τα κατακάθια καφέ είναι οργανικά απόβλητα, περιέχουν πλούσιους σε ενέργεια υδατάνθρακες και έλαια που μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια. Αυτό μπορεί να γίνει με απευθείας καύση για την παραγωγή θερμότητας. Η θέρμανση χώρων, οι βιομηχανικές δραστηριότητες και η παραγωγή ατμού σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα μπορούν να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά αυτό το είδος καύσης. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα και την υγρασία των κατακαθίων καφέ. Άλλο ένα σημαντικό γεγονός είναι ότι μπορούν να υποστούν επεξεργασία για την εξαγωγή ελαίων και άλλων συστατικών για την παραγωγή βιοντίζελ. Διάφοροι τύποι οχημάτων και μηχανημάτων λειτουργούν με βιοντίζελ το οποίο προσθέτει ακόμη μεγαλύτερη σημασία στην συγκεκριμένη προοπτική.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αναερόβια χώνευση και μπορεί να παράγει βιοαέριο από τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ, ένα μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Από το βιοαέριο αυτό μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια αλλά και το ανανεώσιμο φυσικό αέριο. Επιπροσθέτως, με τη διαδικασία της πυρόλυσης τα SCG μετατρέπονται σε βιοεξανθράκωμα, βιοέλαιο και αέριο με διάσπαση θερμότητας. Τα προϊόντα αυτά βελτιώνουν σημαντικά το έδαφος και μπορούν να παράγουν ενέργεια.

Τα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν επίσης να παράγουν θερμότητα και ενέργεια από τα χρησιμοποιημένα

κατακάθια καφέ. Οι βιομηχανίες που έχουν αυξημένες ανάγκες σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια κάνουν χρήση τέτοιων συστημάτων.

Η χρήση SCG για την παραγωγή ενέργειας μπορεί δυνητικά να μειώσει τη χρήση ορυκτών καυσίμων και να εκτρέψει το βιοαπόβλητο του καφέ από τους χώρους υγειονομικής ταφής, αλλά η σκοπιμότητα και η αποτελεσματικότητα αυτών των διαδικασιών εξαρτώνται από παράγοντες όπως η ποιότητα του καφέ, η τοπική υποδομή και η ζήτηση ενέργειας. Παρότι η σύνθεση του SCG ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, όπως η μέθοδος παρασκευής, καθώς και οι συνθήκες καλλιέργειας και το είδος του καφέ, τα περισσότερα έχουν παρόμοια σύνθεση. Ο αλεσμένος καφές έχει διαφορετική διαδικασία ώστε να είναι χρήσιμος και βιώσιμος ως πηγή ενέργειας (Misra & al., 2008, pp. 11757-11560).

3.3.1 Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ είναι ένα ανανεώσιμο καύσιμο που παράγεται από βιολογικές πηγές και μπορεί να αντικαταστήσει το πετρέλαιο. Η παραγωγή βιοντίζελ από το SCG είναι η πιο δημοφιλής χρήση τους γύρω από την παραγωγή ενέργειας. Το βιοντίζελ που μπορεί να παραχθεί από SCG είναι λιγότερο συχνό σαν διαδικασία παραγωγής ενέργειας σε σχέση με την παραγωγή βιοντίζελ από τα φυτικά έλαια ή τα ζωικά λίπη. Αρχικά πρώτο βήμα είναι η συλλογή και μεταφορά υπολειμμάτων καφέ, η ξήρανση τους, η εξαγωγή λαδιού και μετά η παραγωγή βιοντίζελ. Η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ αρχίζει με την εκχύλιση των ελαίων από το SCG και στη συνέχεια με μεθεστεροποίηση των εκχυλισμένων ελαίων σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (FAME), συχνά γνωστούς ως βιοντίζελ. Το έλαιο μπορεί να ανακτηθεί από τα κατακάθια με τη χρήση κάποιου διαλύτη ή με μηχανική συμπίεση. Υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων που χρησιμοποιούνται επίσης, συμπεριλαμβανομένης της εξαγωγής υπερκρίσιμου υγρού, της εξαγωγής με τη βοήθεια μικροκυμάτων και της εξαγωγής με τη βοήθεια υπερήχων οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι δε μεταβάλλουν σημαντικά τη συνολική απόδοση λαδιού. Η απόδοση του ελαίου στις παραπάνω διαδικασίες κυμαίνεται από 10-20% (McNutt & He, 2019).

Οι πιο σημαντικές μέθοδοι εκχύλισης ελαίου από τα SCG είναι είτε με η εξάνιο, είτε με υπερήχους είτε με μικροκύματα που χρησιμοποιούνται για την προσθήκη ενέργειας στο σύστημα για την προώθηση της εξαγωγής. Πειράματα διεξαγωγής ελαίου έδειξαν ποσοστά από 11,41-15% με χρήση υπερκρίσιμου υγρού, ενώ με μικροκύματα είχαμε ποσοστό 15,11%. Στην περίπτωση με εξάνιο (Soxhlet) είχαμε απόδοση ελαίου 15,28%, ενώ στην περίπτωση των υπερήχων απόδοση 12%. Οι Rocha & al (2014) σε πείραμα με εκχύλιση με βοήθεια υπερήχων πήραν απόδοση 12% ελαίου αποτελείται κυρίως από παλμιτικό και λινολεϊκό οξύ και δείχνει πιθανή εφαρμογή για την παραγωγή βιοντίζελ.

Στη συνέχεια όσον αφορά τη μετατροπή των φυτικών ελαίων σε βιοντίζελ η πιο κοινή διαδικασία μεθεστεροποίησης των ελαίων είναι με αλκοόλη (μεθανόλη, αιθανόλη, βουτανόλη κ.α). Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται με καταλύτες ή χωρίς καταλύτες. Ο καταλύτης μπορεί να είναι ομογενής, ετερογενής ή βιοκαταλύτης (ένζυμο). Παράμετροι όπως θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα ή νερό στο λάδι, η αλκοόλη που θα χρησιμοποιήσουμε είναι παράγοντες που επηρεάζουν την αντίδραση μεθεστεροποίησης. Η μεθεστεροποίηση είναι μια αναστρέψιμη αντίδραση τριών σταδίων όπου τα τριγλυκερίδια μετατρέπονται σε διγλυκερίδια, τα διγλυκερίδια σε μονογλυκερίδια και τα μονογλυκερίδια σε εστέρες και γλυκερόλη. Από αυτή την αντίδραση προκύπτουν 3 μόρια μονοαλκυλεστέρα (βιοντίζελ) και ένα μόριο γλυκερόλης ως υποπροϊόν. Μετά την αντίδραση αυτή, το μείγμα κατακάθεται, με τη γλυκερίνη στον πυθμένα και το βιοντίζελ στην κορυφή. Στην συνέχεια οι ακαθαρσίες, ο καταλύτης και η αλκοόλη απομακρύνονται από το βιοντίζελ. Το καθαρό βιοντίζελ μπορεί να συνδυαστεί με καύσιμο ντίζελ, να χρησιμοποιηθεί ως ανανεώσιμο καύσιμο σε κινητήρες ντίζελ ή να υποστεί επεξεργασία για να ικανοποιήσει τους άλλους τύπους καυσίμων.

Σε πειράματα που έγιναν για την παραγωγή Biodiesel από έλαια που έχουν παραχθεί με τις διάφορες μεθόδους εκχύλισης-εξαγωγής βρέθηκαν ότι είχαμε μετατροπή ελαίου που εξήχθηκε με υπερήχους σε βιοντίζελ 97%. Σε περιπτώσεις 2 σταδίων μεθεστεροποίησης είχαμε ποσοστό Biodiesel <90%, ενώ σε πείραμα in situ μεθεστεροποίησης είχαμε μετατροπή ελαίου σε βιοντίζελ από 83%-98,61% σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση in situ μεθεστεροποίηση με υπερκρίσιμη μεθανόλη και CO₂ αποδείχθηκε μετατροπή 93,4%, ενώ σε μεθεστεροποίηση υποβοηθούμενη από μορφολίνη 97,6%.

Σύγχρονες μελέτες έχουν εστιαστεί στην αποτελεσματική ανακύκλωση πλούσιων σε λιπίδια υλών όπως οι Abomohra & al (2021) πραγματοποίησαν επιτόπια in situ συν-μεθεστεροποίηση υγρών αστικών αποβλήτων SCG (χωρίς ξήρανσης) μαζί με βιομάζα μικροφυκών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η παρουσία νερού ενίσχυσε την αντίδραση μεθεστεροποίησης μέσω της υδρόλυσης του DCE. Επιπλέον από τη μία, η αύξηση της αναλογίας της βιομάζας των μικροφυκών βελτίωσε την απόδοση του βιοντίζελ και από την άλλη τα SCG βοήθησαν στην βελτίωση της ποιότητας του βιοντίζελ..

Αν και τα SCG θεωρούνται πρώτη ύλη χαμηλού κόστους, πρέπει να τονιστεί ότι το βιοντίζελ με βάση τους εστέρες έχει πολλούς περιορισμούς λόγω της υπερβολικής παραγωγής γλυκερίνης κατά τη διαδικασία παραγωγής του, της χαμηλής περιεκτικότητας σε ενέργεια και προβλημάτων απόφραξης του κινητήρα. Επιπλέον, τα υπολείμματα του καφέ ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ, δεν είναι τόσο πλούσια σε λάδι όσο το σογιέλαιο ή το κραμβέλαιο. Έτσι, η σύνθεση βιοντίζελ μεγάλης κλίμακας από κατακάθια καφέ μπορεί να απαιτεί την συλλογή πολύ μεγάλης ποσότητας (Blinová & al., 2017, pp. 1-9).

Πίνακας 1 Μέθοδοι εκχύλισης στην παραγωγή βιοντίζελ (McNutt & He, 2019)

Μέθοδος Εκχύλισης	Απόδοση Εκχύλισης (%)
Διαλύτης (εξάνιο Soxhlet)	15.3
Μικροκύματα	15.1
Υπέρηχοι	12

Μέθοδος Μεθεστεροποίησης	Απόδοση Μεθεστεροποίησης (%)
2 σταδίων	<90.0
In situ	83.0 - 98.6
Με υπερήχους	97.0
In situ με υπερκρίσιμη μεθανόλη και CO ₂	93.4
Υποβοηθούμενη από μορφολίνη	97.6

3.3.2 Ανακτήσιμα σάκχαρα και παραγωγή βιοαιθανόλης

Τα SCG εκτός από πλούσια πηγή ελαίων, είναι και πηγή ανακτήσιμων σακχάρων, τα οποία εκχυλίζονται με υδρόλυση του SCG είτε με οξύ, είτε με τη βοήθεια ενζύμων. Τα ανακτήσιμα σάκχαρα στα κατακάθια καφέ περιέχουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και μικρές ποσότητες γλυκόζης και φρουκτόζης. Σε σύγκριση με το ζαχαροκάλαμο ή το καλαμπόκι, το κατακάθι καφέ έχει λιγότερα σάκχαρα αλλά μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη ζύμωση αλκοόλης ή οξέος ή τη βιοτεχνολογική ανάπτυξη μικροβίων (McNutt & He, 2019).

Ωστόσο, πριν από την υδρόλυση, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προεπεξεργασίας για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της ανάκτησης του σακχάρου. Το πρώτο βήμα είναι η εκχύλιση λιπιδίων ή η «απολίπανση» “defatting”, καθώς τα ελεύθερα λιπαρά οξέα και τα τριγλυκερίδια έχει αποδειχθεί ότι επιβραδύνουν την υδρόλυση των σακχάρων. Έχουν ερευνηθεί πολλές προεπεξεργασίες πριν την υδρόλυση των λιπιδίων οι οποίες βελτιώνουν την ανάκτηση σακχάρων. Κάποιες από αυτές είναι η χρήση συμπυκνωμένου NaOH όπου έδωσε πάνω από 4% των ανακτήσιμων σακχάρων ανακτήθηκαν πριν την ακόλουθη διαδικασία. Άλλοι εξέτασαν το ψήσιμο/αφυδάτωση των SCG πριν την υδρόλυση τεχνική που βελτίωσε κατά 15% το ποσοστό galactomannans

Μετά το τέλος της προεπεξεργασίας, πραγματοποιείται η υδρόλυση για την εξαγωγή των περισσότερων από τα σάκχαρα. Η πιο συνηθισμένη υδρόλυση που

χρησιμοποιείται είναι η υδρόλυση αραιού οξέος. Όπως υποδηλώνει το όνομα, το αραιό οξύ, συνήθως θειικό, έρχεται σε επαφή με το SCG σε υψηλές θερμοκρασίες (>100 C) για 45 λεπτά έως δύο ώρες. Κατά την εκχύλιση με αραιά οξέα όπως το θειικό ή το υδροχλωρικό οξύ μπορούν να υδρολύσουν τους σύνθετους υδατάνθρακες σε διαλυτά σάκχαρα μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά στη παρασκευή βιοαιθανόλης. Εναλλακτικά, αντί για οξύ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ένζυμα για τη διάσπαση των πολυσακχαριτών. Η μαννανάση, η κυτταρινάση και η ημικυτταρινάση είναι μερικά από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ένζυμα. Τα ένζυμα μπορούν να διασπάσουν την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη του SCG σε απλούστερους υδατάνθρακες όπως γλυκόζη, ξυλόζη και άλλα σάκχαρα.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την παραγωγή βιοαιθανόλης από τα SCG μπορεί μέσω ζύμωσης, σε όλα τα πειράματα που έχουν γίνει έχει χρησιμοποιηθεί ο *Saccharomyces cerevisiae* προκειμένου να μετατρέψουν τα σάκχαρα σε αιθανόλη. Τέλος, η πυρόλυση και η αεριοποίηση μπορούν να μετατρέψουν τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ σε βιοεξανθράκωμα, αέριο σύνθεσης ή βιοέλαιο, τα οποία μπορεί να περιέχουν ανακτήσιμα σάκχαρα και άλλες χρήσιμες ενώσεις.

Με βάση το άρθρο του McNutt & He (2019) σχετικά με πειράματα που έχουν γίνει με προεπεξεργασία με εκχύλιση λιπιδίων επιτεύχθηκε ανάκτηση σακχάρων 86% με όξινη υδρόλυση (χωρίς απολίπανση, no defatting), με διαδοχική εξαγωγή υπέρθερμου νερού από φούρνο μικροκυμάτων με 30 mL/g SCG, four times, fifth at 230 °C έχουμε ανάκτηση 3^{ος} χρόνος ανάκτηση 48%, 4^{ος} χρόνος ανάκτηση 56%, 5^{ος} χρόνος ανάκτηση 69%.

Η ανάκτηση σακχάρων από τα SCG είναι εφικτή, αν και η παραγωγή μπορεί να είναι χαμηλή και να χρειάζεται προς το παρόν πολλή ενέργεια και εξειδικευμένο εξοπλισμό. Το επίπεδο των σακχάρων ποικίλλει ανάλογα με τον κόκκο καφέ, τη μέθοδο καβουρδίσματος και τη διαδικασία παρασκευής. Η ανάκτηση σακχάρων από τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται (Go & al., 2016, pp. 1-7).

Μέθοδος	Παραγωγή αιθανόλης
Όξινη υδρόλυση Υδρόλυση με 100mg H ₂ SO ₄ /g SCG, 10g liq/g SCG, 163°C, 45min	Απόδοση Αιθανόλης: 50.2%
Όξινη υδρόλυση χωρίς απολίπανση 4% H ₂ SO ₄ , 10mL solvent/g SCG, 95°C, 120min	Απόδοση: 31% Ανάκτηση: 86%
Ενζυματική υδρόλυση 30% substrate loading, 40-60°C, 18h, 100rpm, mannanase enzymes 0.5mg/g SCG	Απόδοση: 17%

3.3.3 Στερεό βιοκαύσιμο

Τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στερεό βιοκαύσιμο και πολλοί ερευνητές έχουν αποδείξει ότι έχουν παρόμοια απόδοση με άλλα είδη βιομάζας (McNutt & He, 2019). Η καύση χρησιμοποιημένων κατακαθιών καφέ απελευθερώνει ενέργεια, καθώς περιέχουν οργανικό υλικό. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των υγρών αλεσμένων κόκκων καθιστά τη διαδικασία της καύση των SCG δύσκολη, γι' αυτό η διαδικασία της ξήρανσης των αλεσμένων καφέδων είναι απαραίτητη και βελτιώνει την καύση. Τα SCG χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους, είτε αναμειγνύονται με άλλες βιομάζες όπως π.χ το πριονίδι. Οι εξειδικευμένοι λέβητες βιομάζας ή οι σόμπες για στερεά βιοκαύσιμα μπορούν να παράγουν θερμότητα ή ενέργεια αρκετά αποτελεσματικά από αποξηραμένο SCG ως άμεση πηγή καυσίμου. Παρόλο που έχει αποδεχθεί ότι μετά την ξήρανση το SCG έχει καλύτερες θερμοαντικές τιμές από τα πέλλετ ξύλου με την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία, το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι με την καύση των SCG παράγονται επιβλαβείς εκπομπές, ιδιαίτερα τα οξείδια του αζώτου. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με τον κατάλληλο εξοπλισμό καύσης καθώς και με τους τακτικούς ελέγχους μειώνουν τις εκπομπές και διασφαλίζουν την περιβαλλοντική συμμόρφωση. Συν τοις άλλοις η τοποθεσία και η κλίμακα της λειτουργίας επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα σε επιχειρήσεις

όπως καφενεΐα, καφετέριες και τους μεγάλους παραγωγούς καφέ που μπορούν να παράγουν τεράστιες ποσότητες.

Σε πειράματα που έκαναν οι Kang & al (2017) απέδειξαν ότι τα SCG έχουν υψηλότερη θερμαντική αξία από τα pellets ξύλου με την ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία και η χαμηλότερη θερμαντική αξία (LHV lower heat value) του ξηρού αλεσμένου καφέ με περιεκτικότητα 10% σε νερό είναι μεγαλύτερη από 18,8 MJ/kg (4500 kcal/kg). Παράλληλα απέδειξαν ότι απαιτείται βελτιστοποίηση για το σχεδιασμό του καυστήρα με σκοπό τη μείωση της συγκέντρωσης επιβλαβών εκπομπών όπως O₂ (17.8%), CO (643 ppm) και κυρίως NO_x (163 ppm) στα καυσαέρια. Σε άλλο πείραμα που έκαναν οι Jeguirim & al (2016) χρησιμοποίησαν μείγμα SCG με φλοιούς από καφέ CH coffee husks για τη δημιουργία agropellets ως πρώτη ύλη για βιοκαύσιμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το LHV ήταν 17,520kJ/kg σε περιεκτικότητα νερού 7.5%, γεγονός που αποδεικνύει ότι τόσο τα πέλλετς από SCG, όσο και τα πελετς με μείγμα SCG και CH έχουν συγκρίσιμα θερμικά χαρακτηριστικά με άλλες βιομάζες όπως το άχυρο σιταριού ή καλαμποκιού ή το κέλυφος καρύδας καθώς και παρουσιάζουν δυνατότητες που τα φέρουν κοντά στο πρότυπο της αγροβιομηχανικής NF EN 12809 (national formula). Τέλος, οι Limousy et al. έκαναν ανάμειξη του SCG με πριονίδι πεύκου και πακόλουθη σφαιροποίηση αυτού του μείγματος. Τα pellets που παράχθηκαν με αυτή τη μέθοδο είχαν συγκρίσιμες τιμές με άλλες τιμές θέρμανσης βιομάζας, αλλά και σε αυτή την περίπτωση είχαν αισθητά υψηλότερες εκπομπές σωματιδίων από εναλλακτικές λύσεις όπως το καθαρό πριονίδι.

Συμπερασματικά, τα κατακάθια καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στερεά βιοκαύσιμα, ωστόσο η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε ενέργεια και η υψηλή περιεκτικότητά τους σε υγρασία και τέφρα δημιουργούν προβλήματα. Για τη χρήση των υπολειμμάτων του καφέ ως βιοκαύσιμο απαιτείται κατάλληλη ξήρανση, καύση και περιβαλλοντικοί έλεγχοι (Lee & al., 2021, pp. 1-12).

3.3.4 Υγροποίηση και πυρόλυση

Η υδροθερμική υγροποίηση αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία οι βιοπολυμερείς δομές μέσα σε μια βιομάζα διασπώνται μέσω έκθεσης σε υπερ ή

υποκρίσιμο υγρό ή διαλύτη σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Αυτή η μέθοδος πλεονεκτεί καθώς επιτρέπει τη μετατροπή της βιομάζας σε ακατέργαστο βιοέλαιο απευθείας, χωρίς την ανάγκη διεργασιών ξήρανσης. Διαπιστώθηκε ότι η υδροθερμική υγροποίηση του SCG παρέχει υψηλή απόδοση ακατέργαστου βιοελαίου 47,3% κατά μάζα.

Η πυρόλυση είναι η διαδικασία διάσπασης των υλικών μέσω θερμικής αποσύνθεσης. Τα κύρια προϊόντα που παράγονται από τη διαδικασία της πυρόλυσης των SCG είναι το βιοεξανθράκωμα, το βιοέλαιο και το βιοαέριο/syngas. Τα προϊόντα αυτά έχουν πολλές χρήσεις:

- Το βιοεξανθράκωμα είναι πλούσιο σε άνθρακα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τροποποιήσεις στο έδαφος.
- Από το βιοέλαιο μπορούν να παραχθούν χημικά ή υγρά βιοκαύσιμα ή έλαια που χρησιμοποιούνται ως φυτοφάρμακα (αντιμυκητιακά και εντομοκτόνα).
- Το βιοαέριο μπορεί να παράγει θερμότητα και ενέργεια ή να μετατραπεί σε άλλες ενώσεις.

Αναλυτικότερα η πυρόλυση είναι η διάσπαση με θερμότητα σε αναερόβιες συνθήκες ή συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Οι τρεις κύριες φάσεις της πυρόλυσης είναι (Atabani & al., 2022)

1. Εξάτμιση του νερού και απελευθέρωση του διοξειδίου του άνθρακα (έως 200°C). Απώλεια μάζας αρχικού δείγματος σε αυτό το στάδιο ~7 % (wt%).
2. Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις πυρόλυσης οι οποίες ξεκινούν στους ~200 °C και τελειώνουν στους ~550–600 °C. Η Απώλεια μάζας σε αυτό το στάδιο είναι ~70% (wt%) λόγω της διάσπασης ημικυτταρινών & κυτταρινών, κατά τη διάρκεια της οποίας απελευθερώνεται μια τεράστια σειρά πτητικών. Η θερμική διάσπαση της ημικυτταρίνης ξεκινά περίπου στους ~365 °C (~51 % wt% της απώλειας μάζας του δείγματος), ενώ η θερμική αποσύνθεση της κυτταρίνης συμβαίνει στους ~400 °C (~19 % wt% του απώλεια μάζας δείγματος)
3. Τέλος πραγματοποιείται η αποσύνθεση των υπολειμματικών στερεών με βάση τον άνθρακα και η τελική μαζική δημιουργία του biochar σε θερμοκρασίες μεταξύ 600-1000 °C.

Η απόδοση της διαδικασίας της πυρόλυσης αυξήθηκε όταν τα SCG προστέθηκαν σε μείγμα με άλλα συστατικά με αποτέλεσμα να βελτιωθεί ο ρυθμός της διεργασίας, και η παραγωγή μεθανίου. Η διαδικασία της πυρόλυσης μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να αυξηθεί η απόδοση του εκάστοτε προϊόντος που θέλουμε να παράγουμε από τη συγκεκριμένη διαδικασία. Η πυρόλυση απλή διαδικασία διάσπασης των υλικών μέσω θερμικής αποσύνθεσης, παράγει αέρια πτητικών οργανικών ενώσεων τα οποία μπορούν να συμπυκνωθούν για την ανάκτηση χημικών ουσιών. Οι ατμοί για να υγροποιηθούν ή να στερεοποιηθούν, διαχωρίζοντάς τους από μη συμπυκνώσιμα αέρια όπως το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα (McNutt & He, 2019). Η διαδικασία συμπύκνωσης ανακτά επιλεκτικά χρήσιμα μόρια από τα προϊόντα πυρόλυσης, όπως υγρά κλάσματα για χημική επεξεργασία ή επεξεργασία καυσίμων. Οι διαδικασίες αυτές βελτίωσαν τον ρυθμό παραγωγής και είτε βελτίωσαν είτε διατήρησαν την παραγωγή μεθανίου μετατροπή σε βιοαέριο ή σε αέριο σύνθεσης. Αυτές οι δύο μέθοδοι συνήθως γίνονται είτε μέσω αναερόβιας χώνευσης είτε μέσω θερμικής αεριοποίησης/πυρόλυσης, αντίστοιχα. Τα συμπυκνωμένα κλάσματα μπορεί να περιέχουν φαινόλες, κετόνες και αρωματικούς υδρογονάνθρακες ανάλογα με την πρώτη ύλη και τις συνθήκες πυρόλυσης.

Ο συνδυασμός πυρόλυσης και συμπύκνωσης επιτρέπει την προσαρμογή των προϊόντων μετατροπής των κατακαθιών καφέ. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας, του χρόνου παραμονής και των καταλυτών μπορεί να μεγιστοποιήσει την απόδοση του προϊόντος. Η πυρόλυση και η συμπύκνωση πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά για την ενίσχυση της απόδοσης και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτές οι μέθοδοι μπορεί επίσης να είναι οικονομικά βιώσιμες ανάλογα με την κλίμακα, τη διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης και τη ζήτηση του προϊόντος. Η πυρόλυση και η συμπύκνωση είναι διαδικασίες που μπορούν να μετατρέψουν τα κατακάθια καφέ σε χρήσιμα προϊόντα βιολογικής βάσης, μειώνοντας τα απόβλητα και καθιστώντας τη βιομηχανία καφέ πιο βιώσιμη (Ktori & al., 2018, pp. 27582-27588).

Όσον αφορά την απόδοση βιοελαίου από SCG σε σχέση με άλλα βιοέλαια που παράγονται από άλλες βιομάζες σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε ότι έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα από αυτό του βιοελαίου από mallee. Οι Bok et al. (2012) ανέφεραν ότι η βέλτιστη απόδοση βιοελαίου ήταν 54,85% στους 823K και η θερμική του αξία (HHV) των SCG (22,74) είναι πολύ υψηλότερη από το βιοέλαιο που λαμβάνεται από ξυλώδη βιομάζα (17,32). Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε

N είναι υψηλότερη καθώς το SCG έχει πολυάριθμες οργανικές ομάδες που περιλαμβάνουν καφεΐνη τύπου N περίπου 6,61 %, δωδεκαναμίδη περίπου 0,13 %, και 2-μεθυλ-πυριδίνη περίπου 0,24%. Τα βασικά μόρια στο βιοέλαιο από τα δείγματα SCG είναι το n-δεκαεξανοϊκό οξύ (παλμιτικό οξύ), το 9-οκταδεκανοϊκό οξύ (ελαϊκό οξύ), το οκταδεκανοϊκό οξύ (στεατικό οξύ). Τέλος, υπολογίστηκε ότι 2566 t/έτος πυρόλυσης SCG θα μπορούσε να αποφέρει κέρδη 47 €/τόνο SCG (Atabani & al., 2022)

3.4 Κομποστοποίηση

Μέσω της διαδικασίας της κομποστοποίησης οι αερόβιοι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το οξυγόνο για να μετατρέψουν την οργανική ύλη που περιέχουν τα SCG σε θερμότητα, νερό, CO₂, NH₃ και σε σταθερό προϊόν που λέγεται χούμος. Για την επιτυχή κομποστοποίηση απαιτείται βελτιστοποίηση πολλών παραμέτρων ανάλογα με τη σύνθεση του δείγματος (όπως η φαινομενική πυκνότητα, το πορώδες, το μέγεθος των σωματιδίων, η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και η αναλογία C/N) (Bomfim et al., 2022).

Από την άλλη η βερμικομποστοποίηση είναι μια τεχνική κατά την οποία “δουλεύουν” συνεργιστικά μικροοργανισμοί και γαιοσκώληκες. Οι μικροοργανισμοί εκτελούν βιοχημική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων και οι γαιοσκώληκες επεξεργάζονται τη αποσυντιθέμενη ύλη επιταχύνοντας τη διαδικασία της κομποστοποίησης.

Τα κατακάθια καφέ περιέχουν θρεπτικά συστατικά όπως το K, P, Mg και Ca που είναι σημαντικά για την ανάπτυξη των φυτών και τον εμπλουτισμό του εδάφους. Ακόμη βελτιώνουν την υφή τ κομπόστ μέσω της κοκκώδης φύσης τους βοηθουν στην απομάκρυνση των συμπιεσμένων αργιλικών εδαφών όταν προστίθενται στο κομπόστ, βελτιώνοντας την αποστράγγιση και τον αερισμό (McNutt & He, 2019). Τα κατακάθια καφέ είναι ελαφρώς όξινα, γεγονός που μπορεί να εξισορροπήσει το pH του κομπόστ. Μπορούν επίσης να εξουδετερώσουν την αλκαλική επίδραση της αποσύνθεσης του κομπόστ. Μια ιδιότητα επιπλέον είναι ότι μπορούν να αποτρέψουν την κακοσμία του κομπόστ, λόγω των αποβλήτων τροφίμων που αποσυντίθενται. Το κατακάθι του καφέ πρέπει να αναμιγνύεται με άλλα υλικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν όπως

φύλλα, άχυρο και χαρτί, ώστε να δημιουργηθεί ο κατάλληλος λόγος C/N στο κομπόστ. Από την άλλη πλευρά τα ξηρά κατακάθια καφέ μπορεί να συσσωματωθούν. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας αυτής είναι απαραίτητη η ανάμειξη με βιοδιασπώμενα υλικά αντί να τα τοποθετούνται σε στρώσεις, τα παχιά στρώματα των οποίων μπορεί να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη μούχλας (Zarrinbakhsh & al., 2016, pp. 7637-7653). Ωστόσο, οι περιορισμοί για τις χρήσεις SCG σχετίζονται με την τοξικότητά του ανάλογα με την ποσότητα που χρησιμοποιείται, γεγονός που επιλύεται με τη συγκομποστοποίηση με άλλα απόβλητα και εφαρμογή ορισμένων επεξεργασιών για την απομάκρυνση των τοξικών στοιχείων, όπως η καφεΐνη και οι τανίνες. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι η άμεση εφαρμογή του αναλωμένου καφέ στα εδάφη έχει βρεθεί ότι είναι επιζήμια λόγω της υψηλής αναλογίας C/N, της περιεκτικότητας σε φαινόλη και της οξύτητάς του.

Σύμφωνα με τους Liu & Price (2011) αξιολόγησαν την κομποστοποίηση σε κλειστό σύστημα, τη βερμικομποστοποίηση, και την αεριζόμενη στατική κομποστοποίηση (σε αεριζόμενο στατικό σωρό) των SCG και SCG αναμεμειγμένα με φίλτρα καφέ και απόβλητα χαρτονιού για την αξιολόγηση της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά και των ρυθμών αποσύνθεσης. Η αεριζόμενη στατική κομποστοποίηση παρουσίασε 1,5 φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου και καλίου σε σύγκριση με την αρχική περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Επιπλέον, παρείχαν τη μεγαλύτερη αύξηση αζώτου (75%), ενώ τα δείγματα SCG ανεμειγμένα με χαρτόνι παρουσίασαν μειωμένη περιεκτικότητα άζωτου. Τα κομπόστ SCG χωρίς την προσθήκη απορριμμάτων χαρτονιού, μπορούν να συκρατήσουν άζωτο λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε έλαιο του SCG που δρα ως ανασταλτικός παράγοντας στη μικροβιακή αποικοδόμηση. Όλα τα κομπόστ είχαν αναλογία C/N μικρότερη μικρότε από 25 γεγονός που υποδηλώνει τη σωστή σταθεροποίηση του N.

Σε άλλο πείραμα των Santos et al η συγκομποστοποίηση SCG (0%, 20% και 40% ξηρής ύλης) με άχυρο σιταριού και *Acacia dealbata* απέδειξε ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα SCG στο κομπόστ οδήγησε σε υψηλότερη περιεκτικότητα σε N από την αρχή έως το τέλος του πειράματος. Συγκεκριμένα, το κομπόστ 40% SCG παρουσίασε αφενός την υψηλότερη συνολική περιεκτικότητα σε N, η οποία ήταν 40% υψηλότερη από το κομπόστ χωρίς SCG και αφετέρου καλύτερη ποιότητα και εκπομπές αερίων.

3.5 Παρασκευή υλικών

3.5.1 Υλικά πλήρωσης κλπ

Τα SCG έχει μελετηθεί στον κατασκευαστικό κλάδο ως ανακυκλωμένο δομικό υλικό, λόγω της φυσικής του ομοιότητας με αμμώδη εδάφη. Ο γεωπολυμερισμός είναι μια πράσινη διαδικασία που παράγει τσιμεντοειδείς ενώσεις χρησιμοποιώντας υλικά πλούσια σε αργιλοπηριτικά και αλκαλικά υγρά (Arulrajah & al., 2017, pp. 1-14). Γι' αυτό και έχουν γίνει πειράματα ανάμιξης των SCG με πολλά υλικά προκειμένου να δημιουργηθούν σύνθετα υλικά με υψηλές αντοχές έκθλιψης-πίεσης που θα χρησιμοποιηθούν ως υλικό υποβάθρου. Το υλικό αυτό δημιουργείται με βάση το SCG, αναμειγμένο με κάποιο συνδυασμό ανακυκλωμένου γυαλιού, τέφρας βγάσσης, ιπτάμενης σκόνης και σκωρίας. Τα υλικά που δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη SCG με τέφρα είχαν Ultimate Compressive Strength (UCS) περίπου 1,5 MPa, ενώ το υλικό που κατασκευάστηκε με ανάμιξη με γυαλί είχε UCS κοντά στα 11 MPa (Arulrajah & al., 2017, pp. 1-14). Σε πειράματα που έκαναν οι Kua et al. βρήκαν ότι η slag είναι το καλύτερο συμπληρωματικό υλικό για το SCG σε σχέση με τη fly ash και ότι ενώ το UCS ενός μείγματος σκωρίας 70 SCG:30 ήταν καλό (κοντά στα 2 MPa), μια αναλογία ανάμιξης 50/50 παράγαγε υλικό πολύ χαμηλής αντοχής.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό το οποίο το κάνει χρήσιμο στο τεχνικό κλάδο είναι όριο απορροφούν και εξουδετερώνουν τις έντονες μυρωδιές, καθιστώντας τα ένα αποτελεσματικό υλικό ελέγχου των οσμών. Μπορούν να απορροφήσουν τις οσμές ψυγείων και παπουτσιών σε δοχεία. Εκ παραλλήλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βιοδιασπώμενες συσκευασίες. Τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά πλήρωσης συσκευασίας (Arulrajah & al., 2017, pp. 1-14).

Διερευνάται επίσης συστηματικά η αποτελεσματικότερη χρήση τους ως υλικό πλήρωσης ή ενισχυτικό σε βιοπλαστικά και δομικά πάνελ μιας και παράλληλα αυξάνουν τη μόνωση (McNutt & He, 2019).

Τέλος, στην κηπουρική, τα κατακάθια καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό πλήρωσης. Αναλυτικότερα η προσθήκη τους στο χώμα των φυτών για να βελτιώνει την υφή και τη συγκράτηση νερού, ενώ τα φυτά μπορούν να πάρουν και άζωτο και κάλιο

από αυτούς. Συν τοις άλλοις μπορούν να σταθεροποιήσουν το έδαφος σε πλαγιές και περιοχές με κίνδυνο διάβρωσης, υλικό υποβάθμισης στον κατασκευαστικό κλάδο.

3.5.2 Συνθετικά υλικά

Τα κατακάθια καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό πλήρωσης ή ενισχυτικό υλικό. Τα βιοπλαστικά δημιουργούνται από οργανικά ή ανανεώσιμα υλικά. Η ανάμειξη τους με βιοπολυμερή όπως PLA ή PHA δημιουργεί σύνθετα υλικά με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Τα βιοπλαστικά με βάση τον καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συσκευασίες, αυτοκίνητα και άλλα. Πέραν αυτού έχουν μελετηθεί ως φυσική βαφή ή χρωστική ουσία για υφάσματα. Οι βαφές με βάση τον καφέ μπορούν να επιδράσουν στα χρώματα των υφασμάτων. το SCG βελτίωσε την αντοχή στο νερό του σύνθετου υλικού. Η εξαγωγή του λαδιού πριν τη χρήση του στο σύνθετο υλικό βελτίωσε επίσης τη διεπιφανειακή πρόσφυση, τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες και την απορρόφηση υγρασίας. Αντίστοιχα όταν συνδυάζονται με συνδετικά υλικά και μορφοποιούνται σε σανίδες ή πάνελ παρέχουν θερμική και ακουστική μόνωση. Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία, τον αθλητισμό και τα καταναλωτικά είδη. Έρευνα έχει γίνει για την ενσωμάτωση του SCG σε σύνθετα υλικά, PHA και παραγωγή τούβλων. Τα PHAs και τα πολυδροξυβουτυρικά (PHBs) από SCG έχουν επίσης ερευνηθεί από διάφορες ομάδες. Οι Obruca et al. έχουν δημοσιεύσει αρκετές μελέτες για τη μετατροπή των SCG σε PHAs και PHBs. Σε μια μελέτη, διαπιστώθηκε ότι τόσο το έλαιο όσο και τα σάκχαρα από το SCG μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή PHAs, καθώς το έλαιο μπορεί να μετατραπεί από το *Cupriavidus necator* H16 και τα σάκχαρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για το *Bacillus megaterium* για την παραγωγή PHA (McNutt & He, 2019).

Έρευνα των Munoz et al. κατασκεύασε τούβλα με 17% SCG με αντοχή στην εκθλιψη 10N/mm² γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για χρήση ως δομικό υλικό. Επιπλέον, τα τούβλα αυτά είχαν μειωμένη θεμική αγωγιμότητα (εως 50%) καθιστώντας τα καλύτερα μονωτικά από τα κανονικά τούβλα.

Ο τύπος καφέ, οι μέθοδοι επεξεργασίας και το συνθετικό υλικό που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων με βάση τον καφέ επηρεάζουν τις ιδιότητες και τις εφαρμογές τους. Η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, η επεκτασιμότητα και η βιωσιμότητα είναι ζωτικής σημασίας για κάθε ανάπτυξη υλικού (Saratale & al., 2020, pp. 1-12).

3.5.3 Φίλτρα προσρόφησης

Η προσροφητική διήθηση χρησιμοποιεί τη φυσική προσρόφηση των απορριπτόμενων κατακάθων καφέ για την απομάκρυνση ρύπων από υγρά και αέρια. Το κατακάθι του καφέ είναι πορώδες και πλούσιο σε οργανικά συστατικά, καθιστώντας το αποτελεσματικό ως προσροφητικό υλικό. Αναλυτικότερα τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορούν να φιλτράρουν και να απομακρύνουν βαρέα μέταλλα, χημικές ενώσεις και οσμές από το νερό. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του νερού σε ορισμένες περιπτώσεις. Σε συστήματα καθαρισμού αέρα, οι κόκκοι καφέ μπορούν να απορροφήσουν αερομεταφερόμενα σωματίδια, μολυσματικές ουσίες και οσμές. Η ικανότητα προσρόφησης των κόκκων καφέ μπορεί να μειώσει τις πτητικές οργανικές ενώσεις στον αέρα εσωτερικών χώρων και σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Είτε με άμεση χρήση είτε μέσω ενεργοποίησης του άνθρακα εντός του SCG έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικό προσροφητικό υλικό για ένα ευρύ φάσμα ρύπων. Τα ιόντα μετάλλων, οι βαφές και οι βιοδραστικές ενώσεις έχουν αφαιρεθεί από το νερό σε κάποιο βαθμό μέσω της χρήσης του SCG ως προσροφητικό υλικό. Αρσενικό, χαλκός, νικέλιο, κάδμιο, μόλυβδος, υδράργυρος, χρώμιο και στρόντιο έχουν αφαιρεθεί από το νερό χρησιμοποιώντας προσροφητικά που προέρχονται από SCG. Ωστόσο, το SCG ήταν πιο οικονομικό από τα άλλα βιοπροσροφητικά καθώς έχει κατάλληλο μέγεθος χωρίς να χρειάζεται διαδικασία γείωσης. (McNutt & He, 2019)

Σε πείραμα που έκαναν οι Kim et al. σχετικά με τις προσροφητικές ικανότητες των SCG και βιοεξανθρακώματος που προέρχεται από SCG διαπιστώθηκε ότι το βιοεξανθράκωμα SCG εμφάνισε καλύτερες προσροφητικές ιδιότητες για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων και τελικά την αποκατάσταση του εδάφους.

Ένα ευρύ φάσμα βαφών όπως το πορτοκαλί οξύ 7, το μπλε του μεθυλενίου κ.α έχουν αφαιρεθεί χρησιμοποιώντας προσροφητικά με βάση τα SCG. Επιπλέον έχουν αφαιρεθεί βιοδραστικές ενώσεις, όπως οι ορμόνες, τα φυτοφάρμακα και οι φαινόλες. Συνεχίζοντας μέσω της μετατροπής του SCG σε ενεργό άνθρακα έχουν αφαιρεθεί βλαβεροί ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο, οργανικές ενώσεις όπως το νιτροβενζόλιο, το βουτάνιο και το αιθυλένιο.

Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων για την εξάλειψη των οργανικών ρύπων και τη βελτίωση της ποιότητας των λυμάτων. Οι ρύποι, η συγκέντρωση και η εφαρμογή καθορίζουν την απόδοση του φίλτρου προσρόφησης (Lavecchia & al., 2016, pp. 295-300).

3.6 Διατροφικά οφέλη και υγεία

Όσον αφορά τα διατροφικά οφέλη και την υγεία θα ασχοληθούμε με την απομόνωση ενώσεων μέσω διαφόρων μεθόδων εκχύλισης μέτρια περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες. Οι φυτικές ίνες ρυθμίζουν την ομαλή λειτουργία του εντέρου, αποτρέπουν τις ευπάθειες ενώ βοηθούν και στην αίσθηση της πληρότητας του στομάχου. Επιπροσθέτως περιέχουν αντιοξειδωτικά, συμπεριλαμβανομένου του χλωρογενικού οξέος, τα οποία προστατεύουν τα κύτταρα από οξειδωτικές βλάβες. Τέλος ένα ακόμη όφελος της κατανάλωσής τους είναι να μειώνουν τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, όπως οι καρδιακές παθήσεις και ορισμένοι καρκίνοι.

3.6.1 Φαινόλες και αντιοξειδωτικά

Τα κατακάθια του καφέ μετά την παρασκευή τους μπορούν να έχουν διάφορα διατροφικά οφέλη και χρήσεις. Εκτός από την καφεΐνη που είναι το πιο μελετημένο συστατικό του καφέ, τα SCG περιέχουν διάφορες κατηγορίες χημικών ουσιών όπως αντιοξειδωτικές και φαινολικές ενώσεις όπως χλωρογενικό οξύ (CGA), η καφεΐνη και τα φλαβονοειδή, οι μελανοϊδίνες, τα διτερπένια, οι ξανθίνες και πρόδρομες ουσίες βιταμινών οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν την υγεία ενός ατόμου.

Τα φαινολικά συστατικά του καφέ έχουν βρίσκονται στο επίκεντρο των μελετών τα τελευταία χρόνια λόγω των ισχυρών αντιοξειδωτικών και χηλικών ιδιοτήτων τους (metal-chelating properties.). Οι φαινόλες είναι φυσικά συστατικά που απαντώνται σε

γεύματα και ποτά φυτικής προέλευσης. Ο καφές περιέχει αντιοξειδωτικές ουσίες όπως το γλωρογενικό οξύ (CGA) , το καφεϊκό οξύ, το φερούλικό οξύ και το κινικό οξύ. Τα αντιοξειδωτικά εξουδετερώνοντας τις ελεύθερες ρίζες, μειώνουν το οξειδωτικό στρες, το οποίο μπορεί να προκαλέσει χρόνιες ασθένειες και γήρανση. Αναλυτικότερα ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ορισμένοι καρκίνοι. Από την άλλη, τα αντιφλεγμονώδη χαρακτηριστικά των φαινολών που περιέχονται στο SCG καφέ μπορεί να μειώσουν τη συχνότητα εμφάνισης φλεγμονωδών διαταραχών, σύμφωνα με διάφορες έρευνες. Επιπλέον, τα φαινολικά συστατικά του καφέ μπορεί να προστατεύουν από νευροεκφυλιστικές διαταραχές, όπως η νόσος του Αλτσχάιμερ και η νόσος του Πάρκινσον, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη.

Τα φαινολικά συστατικά απομονώνονται κυρίως με εκχύλιση με κάποια αλκοόλη κυρίως μεθανόλη και αιθανόλη από τα SCG. Έρευνες με εκχύλιση με αιθανόλη έχουν αποδείξει ότι η συνολική ποσότητα φαινολικού οξέος που εκχειλίσθηκε ήταν 20-30mg Ισοδύναμα γαλλικού οξέος (GAE)/g SCG, και 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) Αντιοξειδωτική δράση δέσμευσης ελεύθερων ριζών 396,2 mg ισοδύναμα Trolox (TE)/g SCG. Επιπλέον η προεπεξεργασία με αφαίρεση των ελαίων πριν την εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων αύξησε την απόδοση της εκχύλισης, γεγονός που απέδειξαν οι Burniol-Figols et al. ότι θα μπορούσε να παραχθεί βιοαιθανόλη μετά από την εκχύλιση των φαινολικών ενώσεων. Τέλος, επεξεργασίες όπως χρήση υπερήχων, μικροκυμάτων σε συνδιασμό ή μη με αιθανόλη, έχουν δείξει παρόμοια αποτελέσματα με μικρότερους χρόνους εκχύλισης και χρήση μικρότερων ποσοτήτων διαλύτη. Όσον αφορά τη σύγκριση αιθανόλης- μεθανόλης ως διαλύτης, Οι Mussatto et al. απέδειξαν ότι η μεθανόλη δίνει χαμηλότερες αποδόσεις έως 16 mg GAE/g SCG. Με βάση τον McNutt & He (2019) οι ολικές φαινόλες TPC με μονάδα μέτρησης τα ισοδύναμα Γαλλικού οξέος (mg GAE/g) που μετρήθηκαν με διάφορες μεθόδους εκχύλισης όπως με υποκρίσιμο υγρό (υψηλές αποδόσεις πολυφαινολικών ενώσεων, TPC : 88.34 mg GAE/g), με βρασμό (πολύ χαμηλές αποδόσεις TPC: 5.66 ± 0.07 mg GAE/g), με εκχύλιση αιθανόλης με τη βοήθεια υπερήχων (TPC: 36.17± 0.32 mg GAE/g), Εκχύλιση μεθανόλης με τη βοήθεια υπερήχων (TPC: 24 mg GAE/g), με ζύμωση με *Penicillium purpurogenum* GH2 (TPC: 7.02 ± 0.80 mg/g), υδροθερμική προεπεξεργασία (TPC: 32,9mg GAE/g). Επιπλέον όσον αφορά τα αντιοξειδωτικά που μετρήθηκαν στα διάφορα πειράματα σε DPPH με μονάδα μέτρησης mmol TE/g με με

διάφορες μεθόδους εκχύλισης όπως με υποκρίσιμο υγρό (υψηλές αποδόσεις αντιοξειδωτικών DPPH: 38.28 mmol TE/100 g), με εκχύλιση μεθανόλης με τη βοήθεια υπερήχων (DPPH: 173 μmol TE/g).

Τέλος, χρησιμοποιούνται για την απολέπιση του δέρματος με φυσικό τρόπο. Τα αντιοξειδωτικά των κόκκων καφέ μπορεί να προστατεύουν το δέρμα από οξειδωτικές βλάβες και να το συσφίγγουν προσωρινά όταν χρησιμοποιούνται ως μάσκα. Το τρίψιμο απομακρύνει τα νεκρά κύτταρα του δέρματος και βελτιώνει την υφή. Η υφή των κόκκων του καφέ απολεπίζει. Από την άλλη, η καφεΐνη μπορεί να συσφίξει προσωρινά το δέρμα. Επειδή πολλές φαινόλες και αντιοξειδωτικά απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της παρασκευής, οι κόκκοι καφέ που έχουν απομείνει μπορεί να έχουν μικρότερες συγκεντρώσεις. Ωστόσο, ορισμένες φαινόλες και αντιοξειδωτικά παραμένουν στους κόκκους, καθιστώντας τους δυνητικά υγιεινούς όταν χρησιμοποιούνται με συγκεκριμένους τρόπους (Okur & al., 2021, pp. 1-13).

Ακόμη μια ιδιότητα τους είναι ότι μπορούν να δώσουν μια ελαφριά γεύση καφέ στα τρόφιμα, μπορούν να προστεθούν σε εντριβές κρέατος ή σε αρτοσκευάσματα (Bevilacqua & al., 2023, pp. 1-18).

3.6.2 Αντικαρκινική δράση

Ο καφές και τα συστατικά του, ιδίως τα χλωρογενικά οξέα και η καφεΐνη, μελετώνται για την πρόληψη του καρκίνου. Ο καφές περιλαμβάνει αντιοξειδωτικά, συμπεριλαμβανομένων των χλωρογενικών οξέων, τα οποία καταστρέφουν τις ελεύθερες ρίζες. Εκτός από καλή πηγή αντιοξειδωτικών, έχει επίσης βρεθεί ότι είναι πλούσιο σε φυτικές ίνες και απαραίτητα αμινοξέα και χαμηλό σε γλυκαιμικά σάκχαρα. Panzella et al. Βρήκε επίσης ότι το SCG σε μια προσομοιωμένη πεπτική διαδρομή είχε ακόμη υψηλή πρεβιοτική δραστηριότητα μετά την πέψη. Τέλος, έχει βρεθεί ότι τα SCG μειώνουν την απελευθέρωση φλεγμονωδών μεσολαβητών, βοηθώντας έτσι στον έλεγχο της φλεγμονής στο παχύ έντερο. Για αυτούς τους λόγους, πιστεύεται ότι είναι ένα καλό πρόσθετο τροφίμων που μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο παχυσαρκίας και διαβήτη. Τα αντιοξειδωτικά αποτρέπουν την οξειδωτική βλάβη, η οποία μπορεί δυνητικά να προκαλέσει καρκίνο. Ο καφές είναι πλούσια πηγή καφεΐνης, η οποία επίσης μπορεί υπό προϋποθέσεις να προστατεύει από διάφορες μορφές καρκίνου. Η

καφεΐνη μπορεί να μπλοκάρει τους βιολογικούς μηχανισμούς που προάγουν τον καρκίνο. Επιπροσθέτως δύναται να μειώσει τον κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του ήπατος, ειδικότερα σε ασθενείς με κίρρωση του ήπατος και ηπατίτιδα. Προκαλείται απόπτωση των καρκινικών κυττάρων του παχέος εντέρου όταν τα κύτταρα εκτίθενται σε μη χωνεμένο SCG και στον μεταβολίτη του παχέος εντέρου . Εκτός από την καταπολέμηση του καρκίνου, μπορεί επίσης να βοηθήσει στην πρόληψη του. Οι Marto et al. και Choi et al. και οι δύο έχουν δημιουργήσει προϊόντα περιποίησης δέρματος που περιέχουν εκχυλίσματα SCG που μειώνουν τη φωτογήρανση και άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις από το ηλιακό φως. Τα καροτενοειδή είναι μια άλλη κατηγορία ενώσεων με ευεργετικές ιδιότητες για την υγεία που μπορούν να παραχθούν από SCG. Λόγω της υψηλής αντιοξειδωτικής τους συγκέντρωσης, τα SCG έχουν εξεταστεί για χρήση στη βιομηχανία τροφίμων για τα οφέλη για την υγεία (McNutt & He, 2019). Η προσθήκη SCG στο κρέας και σε άλλα τρόφιμα έχει αποδειχθεί ότι παρέχει εξαιρετικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενώ επίσης μειώνει την ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων και την αλλοίωση των τροφίμων

Η κατανάλωση καφέ και ο κίνδυνος καρκίνου του μαστού αν και βρίσκονται υπό μελέτη υπάρχουν ενδείξεις και στοιχεία περί προστασίας. Βέβαια το όλο ζήτημα είναι πολυπαραγοντικό και το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από παράγοντες όπως η συνολική κατανάλωση καφέ, η γενετική του καταναλωτή και τέλος ο τρόπος ζωής.

Η κατανάλωση καφέ και ο κίνδυνος καρκίνου είναι πολύπλοκες, επομένως απαιτούνται πρόσθετες έρευνες (Badr & al., 2022, pp. 1-14).

3.7 Αλκοολούχα ποτά

Τα χρησιμοποιημένα κατακάθια καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εμποτίσουν τη βότκα, το ρούμι και το ουίσκι με γεύσεις καφέ. Η εμφάνιση των κατακαθίων του καφέ με αλκοόλ για μικρό χρονικό διάστημα και, στη συνέχεια, φιλτραριστεί μπορεί να δώσει στα αποστάγματα μια πλούσια γεύση καφέ.

Η ανάμιξη τους με αλκοόλ και την προσθήκη των υπόλοιπων συστατικών μπορεί να προσδώσει το χαρακτηριστικό λικέρ με άρωμα καφέ. Εκτός αυτού μπορούν να

χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα στην παρασκευή της μπίρας κατά τη διάρκεια της ζυθοποίησης προσδίδει γεύσεις και αρώματα καφέ. Αυτό είναι σύνηθες στις μπίρες τύπου porter και stout. Οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ μπορούν να αποξηραθούν και να κονιορτοποιηθούν για να γαρνίσουν κοκτέιλ με βάση τον καφέ, όπως το γνωστό σε όλους Espresso Martini (Machado, 2018, pp. 1-15).

3.8 Αρτοποιία

Η προσθήκη του καφέ ως αρωματικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην παρασκευή άρτου. Τα κατακάθια καφέ, που προστίθενται με μέτρο σε συνταγές ψωμιού, μπορούν να βελτιώσουν την υφή και τη διατήρηση της υγρασίας, δημιουργώντας μια μαλακή και κάπως υγρή ψίχα. Επιπροσθέτως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κρούστα του ψωμιού. Ορισμένα αρτοποιεία χρησιμοποιούν κατακάθια καφέ για να φτιάξουν ψωμιά με ιδιαίτερες γεύσεις. Στην παραγωγή τροφίμων και ποτών, οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ πρέπει να ταιριάζουν με την υφή, τη γεύση και την υγρασία του τελικού προϊόντος. Η υπερβολική χρήση τους από την άλλη μπορεί να αλλοιώσει με αρνητικό τρόπο το τελικό αποτέλεσμα (Martinez-Saez & al., 114-122, pp. 114-122).

Συμπεράσματα

Συνοπτικά, το κατακάθι του καφέ που περισσεύει μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με πολλούς καινοτόμους και πρακτικούς τρόπους. Η επαναχρησιμοποίηση των κατακαθιών καφέ μειώνει τα απόβλητα και παρατείνει τον κύκλο ζωής ενός υποπροϊόντος που διαφορετικά θα κατέληγε σε χωματερές. Οι κόκκοι καφέ μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν ως εδαφοβελτιωτικό, κομπόστ ή εδαφοκάλυμμα σε κήπους και αγροκτήματα για τη βελτίωση της δομής του εδάφους, της περιεκτικότητας σε θρεπτικά συστατικά και την καταστολή των ζιζανίων. Το SCG αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο απόβλητο που επί του παρόντος υποχρησιμοποιείται. Ωστόσο, η βιομηχανία του καφέ είναι παγκοσμίως υπεύθυνη για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας

απορριμμάτων, κυρίως «καφέ ασημί δέρμα» και αναλωμένο κατακάθι καφέ (Mussatto et al. 2011; Murthy 2012). Τα τελευταία παράγονται κυρίως από τη διαδικασία παρασκευής ή από τη βιομηχανία διαλυτού καφέ. Αναφέρεται ότι περίπου 6 εκατομμύρια τόνοι SCG παράγονται κάθε χρόνο παγκοσμίως (Getachew and Chun 2017). Η παραδοσιακή διαδικασία διάθεσης αυτών των υπολειμμάτων γίνεται σε ΧΥΤΑ. Ωστόσο, η διασπορά του στο περιβάλλον θα πρέπει να αποτραπεί έντονα λόγω της πιθανής τοξικότητάς του και της οργανικής του φύσης. Οι χρησιμοποιημένοι κόκκοι καφέ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λειαντικό καθαριστικό, αποσμητικό και εντομοαπωθητικό. Παράλληλα μπορούν να κάνουν απολέπιση και να δώσουν αντιοξειδωτικά σε μάσκες προσώπου. Στον κλάδο της διατροφής και της ποτοποιίας δίνουν γεύση, υφή και μια επίγευση καφέ σε τρόφιμα και ποτά. Επιπροσθέτως έχουν την δυνατότητα να απομακρύνουν ρύπους και οσμές από το νερό και τον αέρα με τη διαδικασία της προσροφητικής διήθησης. Αντίστοιχα τα κατακάθια καφέ χρησιμοποιούνται στην οικοδομή, σε σύνθετα υλικά, σε βιοκαύσιμα, καθώς και σε υλικά πλήρωσης και ενίσχυσης. Οι ροές προς τα εμπρός σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του καφέ, από το κεράσι του καφέ έως το κατακάθι του καφέ, έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη εξάπλωση με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή και στη συνέχεια μεγαλύτερη ζημιά. Ωστόσο, αν και ολόκληρη η διάρκεια ζωής της αλυσίδας εφοδιασμού καφέ παράγει, κάθε χρόνο, μια μεγάλη ποσότητα βιοαποβλήτων (McNutt & He, 2019). Ένα βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι έχουν διάφορες χρήσεις που μπορούν να προσαρμοστούν στις εκάστοτε ανάγκες. η προσοχή έχει επικεντρωθεί στην ευκαιρία να αποφευχθεί το τέλος της ζωής και η απόρριψη των SCG, προτείνοντας μια εναλλακτική δυναμική αντίστροφη ροή εντός της αλυσίδας εφοδιασμού καφέ με στόχο τη χρήση SCG σε την παραγωγή δομικού υλικού για βιώσιμα κτίρια και εφαρμογές πολιτικού μηχανικού. Έχουν πολλά οφέλη, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η υγιεινή, η διάθεση και η εφαρμογή για τη μεγιστοποίηση της χρήσης τους (Stylianou & al., 2018, pp. 1-15).

Βιβλιογραφία

- Abdalla, O., & al, e. (2014). Clinicopathological studies on the effect of spirulina in culture Nile tilapia. . *Suez Canal Veterinary Medical Journal*. , 71-84.
- Abomohra, A. E. F., Zheng, X., Wang, Q., Huang, J., & Ebaid, R. (2021). Enhancement of biodiesel yield and characteristics through in-situ solvo-thermal co-transesterification of wet microalgae with spent coffee grounds. *Bioresource Technology*, 323, 124640.
- Alibardi, & C. R. (2006). . Biological hydrogen production from organic waste and biomass. *Biomass and Waste to Energy Symposium*.
- Arulrajah, A., Kua, T. A., Horpibulsuk, S., Mirzababaei, M., & Chinkulkijniwat, A. (2017). Recycled glass as a supplementary filler material in spent coffee grounds geopolymers. *Construction and Building Materials*, 151, 18-27.
- Atabani, A. E., Ali, I., Naqvi, S. R., Badruddin, I. A., Aslam, M., Mahmoud, E., ... & Khan, T. Y. (2022). A state-of-the-art review on spent coffee ground (SCG) pyrolysis for future biorefinery. *Chemosphere*, 286, 131730.
- Balat, M. (2007). Global bio-fuel processing and production trends. . *Energy Exploration & Exploitation*, 195-218.
- Balat, M. (2009). Bioethanol as a vehicular fuel: a critical review. . *Energy Sources*, 1242-1255.
- Bengtsson, M., & al, e. (2012). the need for coordinated action at national and local levels. *J. Sustainable management of organic waste:.*
- Benito, M. M. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost.
- Benito, M., & al, e. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. . *Biology and fertility of soils*, , 184-189.

- Bhatia, & al, e. (2015). Development of semi-synthetic microbial consortia of *Streptomyces coelicolor* for increased production of biodiesel (fatty acid methyl esters). *Fuel*.
- Bhatia, S., & al, e. (2018). Biowaste-to-bioenergy using biological methods—a mini-review. *Energy conversion and management*, 640-660.
- Bhatia, S., & al., e. (2017). Current status and strategies for second generation biofuel production using microbial systems. . *Energy Conversion and Management*, 1142-1156.
- Bok, J. P., Choi, H. S., Choi, Y. S., Park, H. C., & Kim, S. J. (2012). Fast pyrolysis of coffee grounds: Characteristics of product yields and biocrude oil quality. *Energy*, 47(1), 17-24.
- Bomfim, A. S. C. D., de Oliveira, D. M., Walling, E., Babin, A., Hersant, G., Vaneeckhaute, C., ... & Rodrigue, D. (2022, August). Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment. *In Waste* (Vol. 1, No. 1, pp. 2-20). MDPI.
- Cabanas-Vargas, & Stentiford, E. I. (2006). Oxygen and CO₂ profiles and methane formation during the maturation phase of composting. *Compost science & utilization*, 86-89.
- Cambardella, C. R. (2003). Compost mineralization in soil as a function of composting process conditions.
- Chang, J. C. (2010). Effects of bulking agents on food waste composting.
- Chang, J., & C. Y. (2010). Effects of bulking agents on food waste composting.
- Chen, R. W. (2015). N₂O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure.
- Chen, R., & al, e. (2015). . N₂O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure. . *Journal of environmental management*, , 121-127.
- Cherubini. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 1412–1421.

- DAY M., S. K. (2001). Biological, chemical, and physical processes of composting.
- Day, M., & Shaw, K. (2001). Biological, chemical and physical processes of composting. . *Compost utilization in horticultural cropping systems.* , 18-22.
- Demirbas, A. (2007). Producing and using bioethanol as an automotive fuel. *Energy Sources*, 391-401.
- Demirbas, M., & al, e. (2011). Biowastes-to-biofuels. *Energy Conversion and Management*, 1815-1828.
- Dijkema, G. P., & al, e. .. (2000). A new paradigm for waste management. . *Waste management*, 633-638.
- Epstein E. (1997). *The science of composting*, Technomic Publishing. Pennsylvania, USA: Technomic Publishing.
- Epstein, E., & al, e. (1997). The Science of composting. *Technomic Publising Co. Inc.*, 383-415.
- Fava, F., & al, e. (2015). Biowaste biorefinery in Europe: opportunities and research & development needs. . *New Biotechnology*, 100-108.
- FINSTEIN M.S. (1992). Composting in the context of municipal solid waste management , In: R. Mitchell (ed.). *Environmental Microbiology.* . Wiley-Liss, Inc., New York, pp. 355–374.
- Finstein, M. S. (1992). Composting in the context of municipal solid waste management. . *Environmental microbiology*, 355-374.
- Francesco Storino, J. S.-T. (2016). Meat waste as feedstock for home composting: Effects on the process and quality of compost.
- Gavala, H., & al, e. .. (1999). On the performance of a centralised digestion facility receiving seasonal agroindustrial wastewaters. . *Water Science and Technology*, 339-346.
- Giusquiani, P. L., & al, e. (1995). Urban waste compost: effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. *American Society of Agronomy*,, 175-182.
- Gotvajn, A. Ž., & Pavko, A. (2015). Perspectives on biological treatment of sanitary landfill leachate. *Wastewater Treatment Engineering*, 13, 31-39.

- Hellmann, B. Z. (1997). Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting. .
- Hellmann, B., & al, e. (1997). Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-windrow composting. . *Applied and environmental microbiology*, 1011-1018.
- I.Körner, J. J. (2003, January 23). Investigation and optimization of composting processes—test systems and practical examples.
- Iqbal, M. N. (2015). Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology.
- Jahirul, M. I., & al, e. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review. . *Energies*, 4952-5001.
- Jeguirim, M., Limousy, L., & Fossard, E. (2016). Characterization of coffee residues pellets and their performance in a residential combustor. *International journal of green energy*, 13(6), 608-615.
- Kang, S. B., Oh, H. Y., Kim, J. J., & Choi, K. S. (2017). Characteristics of spent coffee ground as a fuel and combustion test in a small boiler (6.5 kW). *Renewable Energy*, 113, 1208-1214.
- Kadam, R., & Panwar, N. L. (2017). Recent advancement in biogas enrichment and its applications. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 892-903.
- Kamm, B., & Kamm, M. J. (2004). Principles of biorefineries. . *Applied microbiology and biotechnology*.
- Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Shen, S. L. (2016). Strength assessment of spent coffee grounds-geopolymer cement utilizing slag and fly ash precursors. *Construction and Building Materials*, 115, 565-575.
- Kumar, A. A. (2010). Volatile organic compound emissions from green waste composting, characterization and ozone formation.
- Kumar, A., & al, e. (2011). Volatile organic compound emissions from green waste composting: Characterization and ozone formation. . *Atmospheric Environment*, , 1841-1848.

- Liu, K., & Price, G. W. (2011). Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource technology*, 102(17), 7966-7974.
- McNutt, J., & He, Q. (2019). Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 78-88.
- Michel Jr, F., & al, e. (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. . *Compost science & utilization*, , 323-334.
- Michel Jr., F. P. (2004). Mass and nutrient losses during composting of dairy manure with sawdust versus straw amendments.
- Mohammad, M. A. (2012). Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi, a review.
- Mukesh Kumar Awasthi, A. K. (2016). Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium.
- Muñoz Velasco, P., Mendívil, M. A., Morales, M. P., & Muñoz, L. (2016). Eco-fired clay bricks made by adding spent coffee grounds: a sustainable way to improve buildings insulation. *Materials and Structures*, 49, 641-650.
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1433-1456.
- National Research Council. (2000). Waste incineration and public health.
- Nudri, N. A., & al, e. (2020). Characterization of oil palm trunk biocoal and its suitability for solid fuel applications. . *Biomass Conversion and Biorefinery*,, 45-55.
- Owa, F. (2013). Water pollution: sources, effects, control and management. . *Mediterranean journal of social sciences*.
- Panaretou, V., Malamis, D., Papadaskalopoulos, C., Sotiropoulos, A., Valta, K., Plevri, K., . . . Loizidou, M. (2016, July 16). Implementation and Evaluation of an Integrated Management Scheme for MSW in Selected Communities in Tinos Island, Greece.

- Pandey, A. (2011). *Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes*. . Academic Press.
- Parliament. (2008). E.: Council: directive 2008/98/EC of the european parliament and of the council of 19 november 2008 on waste and repealing certain directives.
- Parliament, E. (2018). Council: directive 2018/851 of the european parliament and of the council of 30 may amending directive 2008/98/CE on waste. . *Off. J. Eur. Union*, 109–140 .
- PEIGNE J., G. P. (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices. *Water, Air and Soil Pollution*.
- Peigné, J., & Girardin, P. (2004). Environmental impacts of farm-scale composting practices. . *Water, Air, and Soil Pollution*, , 45-68.
- Platt, B. G. (2014). State of composting in the US Institute for local self-Reliance.
- Rani, G. M., & al, e. (2023). Agro-waste to sustainable energy: A green strategy of converting agricultural waste to nano-enabled energy applications. *Science of The Total Enviromrnt*.
- Raut, M. P., & al., e. (2008). Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste—a compost maturity analysis perspective. *Bioresource technology*.
- Refaat, A. A., & al, e. (2008). Optimum reaction time, performance and exhaust emissions of biodiesel produced by microwave irradiation. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 315-322.
- Rocha, M. V. P., de Matos, L. J. B. L., de Lima, L. P., da Silva Figueiredo, P. M., Lucena, I. L., Fernandes, F. A. N., & Gonçalves, L. R. B. (2014). Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds. *Bioresource technology*, 167, 343-348.
- Roy, H., & al, e. (2022). A Review on Characteristics, Techniques, and Waste-to-Energy Aspects of Municipal Solid Waste Management: Bangladesh Perspective. . *Sustainability*.

- Sadef, & al, e. (2016). Waste-to-energy and recycling value for developing integrated solid waste management plan in Lahore. . *Energy Sources*.
- Santos, C., Fonseca, J., Aires, A., Coutinho, J., & Trindade, H. (2017). Effect of different rates of spent coffee grounds (SCG) on composting process, gaseous emissions and quality of end-product. *Waste management*, 59, 37-47.
- Scheutz, C., & al, e. (2011). Evaluation of respiration in compost landfill biocovers intended for methane oxidation. . *Waste management*, 895-902.
- Shahid, E. M., & Jamal. (2011). Production of biodiesel: a technical review. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4732-4745.
- Strassberger, Z., & al, e. (2014). The pros and cons of lignin valorisation in an integrated biorefinery. . *Rsc Advances*, , 25310-25318.
- Thi, N., & al, e. (2015). An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. . *Journal of environmental management*, 220-229.
- USEPA, U. S. (2013). Advancing Sustainable Materials Management: 2013 Fact Sheet- Assessing Trends in Material Generation, Recycling and Disposal in the United State. Ανάκτηση από <https://ilsr.org/state-of-composting/>
- USEPA, U. S. (2015). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2014 (Chapter-7-Waste),. Ανάκτηση από <https://www.epa.gov/sites/production/files/signpost/cc.html>
- Waghmare, P. R., & al, e. (2018). Bio-ethanol production from waste biomass of *Pogonatherum crinitum* phytoremediator: an eco-friendly strategy for renewable energy. . *Biotech*, 1-10.
- Williams, B. C., & al, e. (2001). An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. . *Bioresource Technology*, 227-230.
- Yeo, J., & al, e. (2019). Smart Food Waste Recycling Bin (S-FRB) to turn food waste into green energy resources. . *Journal of environmental management*, 290-296.
- Yeoh, C. Y. (2011). Co-composting of palm oil mill wastes.

- Zan, F., & al, e. (2022). Food waste-wastewater-energy/resource” nexus: integrating food waste management with wastewater treatment towards urban sustainability. . *Water Research*,, 1180-1189.
- Zhang, H. L. (2016a). Influence of aeration on volatile sulfur compounds (VSCs) and NH₃ emissions during aerobic composting of kitchen posting of kitchen waste.
- Zhang, J. C. (2016c). Straw biochar hastens organic matter degradation and produces nutrient-rich compost.
- Zhang, L. &. (2014). Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. . *Bioresource technolog*, 274-284.
- Zhang, L. S. (2016b). Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste.
- Zhou, C., & al, e. (2015). A new strategy for co-composting dairy manure with rice straw: Addition of different inocula at three stages of composting. . *Waste management*, 38-43.
- Ιωαννίδης, Π. (2021). Αντιδραστήρες παραγωγής βιοαερίου και επεξεργασία αναβάθμισης του με απομάκρυνση υδρόθειου, αμμωνίας, σιλοξανών και υγρασίας . *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*).
- Οικονόμου, Χ. (2012). Biomass utilization for biofuels production. .
- Οικονόμου, Χ. Ν. (2012). Biomass utilization for biofuels production. doi:10.12681/eadd/26000
- Πράσινη Βίβλος. (2008). *Διαχείριση των Βιολογικών Αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση*. Βρυξέλλες: Πράσινη Βίβλος.
- Σκορδίλης, Α., & Κομνίτσας, Κ. (2004). Οικιακά και άλλα μη επικίνδυνα απόβλητα. *Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*.
- Σοφρά, Μ. (2019). Χαρακτηρισμός, ταξινόμηση και διαχείριση βιομηχανικών αποβλήτων.
- ΥΠΕΝ. (2018). Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ). *Enhmerotiko_Shmeioma_ESDA*., 1-8.

Χρυσογιάννη, Μ. (2019). Παραγωγή βιοαερίου από βιομάζα και αναβάθμισή του προς βιομεθάνιο. *Πανεπιστήμιο Πατρών*.

Arulrajah, A., & al., e. (2017). Engineering and environmental evaluation of spent coffee grounds stabilized with industrial by-products as a road subgrade material. *Clean Technologies and Environmental Policy* , 1-14.

Badr, A. N., & al., e. (2022). Spent Coffee Grounds Valorization as Bioactive Phenolic Source Acquired Antifungal, Anti-Mycotoxigenic, and Anti-Cytotoxic Activities. *Toxins* , 1-14.

Bevilacqua, E., & al., e. (2023). The Potential of Spent Coffee Grounds in Functional Food Development. *Nutrient*, 1-18.

Blinová, L., & al., e. (2017). Biodiesel Production from Spent Coffee Grounds. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 1-9.

Campos-Vega, R., & al., e. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* , 24-36.

Go, A. W., & al., e. (2016). Recovery of Sugars and Lipids from Spent Coffee Grounds: A New Approach. *Waste and Biomass Valorization* , 1-7.

Kourmentza, C., & al., e. (2017). Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. *Journal of Cleaner Production* , 1-13.

Ktori, R., & al., e. (2018). Spent coffee grounds valorization through pyrolysis for energy and materials production in the concept of circular economy. *Materials Today Proceedings* , 27582-27588.

Lavecchia, R., & al., e. (2016). Lead Removal from Water by Adsorption on Spent Coffee Grounds. *Chemical Engineering Transactions*, 295-300.

Lee, X. J., & al., e. (2021). Solid biofuel production from spent coffee ground wastes: Process optimisation, characterisation and kinetic studies. *Fuel* , 1-12.

Machado, E. M. (2018). Increasing the Sustainability of the Coffee Agro-Industry: Spent Coffee Grounds as a Source of New Beverages. *Beverages* , 1-15.

Martinez-Saez, N., & al., e. (114-122). Use of Spent Coffee Grounds as Food Ingredient in Bakery Products. *Food Chemistry* , 114-122.

McNutt, J., & He, Q. S. (2018). Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1-12.

Misra, M., & al., e. (2008). Spent Coffee Grounds as a Versatile Source of Green Energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 11757-11560.

Okur, I., & al., e. (2021). Improving the Recovery of Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds (SCG) by Environmentally Friendly Extraction Techniques. *Molecules*, 1-13.

Saratale, G. D., & al., e. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Ganesh Dattatraya Saratale*, 1-12.

Stylianou, M., & al., e. (2018). Converting environmental risks to benefits by using spent coffee grounds (SCG) as a valuable resource. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.

Zannikos, F. E., & al., e. (2011). Waste Coffee Grounds as an Energy Feedstock. 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference, 1-7.

Zarrinbakhsh, N., & al., e. (2016). Characterization of Wastes and Coproducts from the Coffee Industry for Composite Material Production. *BioResources*, 7637-7653.