

Μελέτη υγρών αποβλήτων από την ξήρανση βιοαποβλήτων



Διπλωματική Εργασία

Μιχάλης Καβαλόπουλος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Χαραλάμπους Αικατερίνη

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Χημικών Μηχανικών
Τομέας Ι

Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας
Αθήνα, Ιούνιος 2020

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί την διπλωματική μου εργασία για την ολοκλήρωση των σπουδών μου που εκπονήθηκε στην Μονάδα περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2019-2020.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια που μου ανέθεσε την διπλωματική εργασία, την κυρία Λοιζίδου, η οποία μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα το οποίο μου παρουσίαζε συνεχώς προκλήσεις μέσω των οποίων έμαθα πολλά χρήσιμα πράγματα. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, την κυρία Χαραλάμπους, η οποία με καθοδήγησε στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Μάη και την κα Μπαραμπούτη για την ανεκτίμητη συνεισφορά τους. Χωρίς τις παρεμβάσεις και την βοήθεια τους η διπλωματική δεν θα είχε ολοκληρωθεί και τις ευχαριστώ θερμά και τις δύο που ήταν πάντα εκεί για να μου παρέχουν συμβουλές, βοήθεια και τεχνογνωσία όποτε τις χρειαζόμουν, πάντα πρόσχαρες και πάντα πρόθυμες. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Jelica Novaković χωρίς την βοήθεια της οποίας δεν θα μπορούσα να πραγματοποιήσω τις εργαστηριακές μου μετρήσεις καθώς και όλο το προσωπικό του εργαστηρίου που με βοήθησε κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που μου παρείχε οικονομική και ψυχολογική υποστήριξη για την ολοκλήρωση των σπουδών μου, τους φίλους μου τον Φώτη, τον Γιάννη, τον Κώστα, τον Γεράσιμο, τον Δημήτρη, τον Γιώργο, την Μαριαλένα οι οποίοι με παρακινούσαν να διαβάζω και με υποστήριξαν πολύ στην προσπάθεια μου δίνοντας μου γέλιο αλλά και σωστά λόγια όποτε ήταν απαραίτητο, την Βαρβάρα που μου έδωσε κίνητρο και αγάπη και είχε την υπομονή να με ακούει όλες τις φορές που μεμψιμοιρούσα για την δυσκολία της σχολής των Χημικών Μηχανικών και γινόμουν ανυπόφορος. Χωρίς αυτούς τους ανθρώπους δεν θα είχα ολοκληρώσει τις σπουδές μου και κατ' επέκταση ούτε αυτήν την διπλωματική εργασία.

Περίληψη

Τα διατροφικά απορρίμματα αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των αστικών στερεών αποβλήτων και καταλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό του όγκου των απορριμάτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ. Μέσω της ξήρανσης τους, ο όγκος τους μειώνεται ακόμα και σε ποσοστά μέχρι 90%, λόγω του πολύ υψηλού περιεχομένου τους σε υγρασία, με αποτέλεσμα να μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό ο όγκος που καταλαμβάνουν στους ΧΥΤΑ. Παράλληλα μέσω της διαδικασίας αυτής σταθεροποιούνται με αποτέλεσμα να μειώνονται σημαντικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την χώνευση τους στους ΧΥΤΑ ενώ εξαλείφονται σε σημαντικό βαθμό οι δυσάρεστες οσμές που προκύπτουν κατά την σήψη τους.

Πολλοί σύγχρονοι ξηραντήρες, όπως διάφοροι οικιακοί ξηραντήρες καθώς και το σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA, διαθέτουν ενσωματωμένα συστήματα για την υγροποίηση των υδρατμών που παράγονται με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία υγρή απορροή που είναι πολύ πιο εύκολα διαχειρίσιμη από τους αέριους υδρατμούς. Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκαν οι υγροποιημένοι υδρατμοί που παράγονταν κατά την ξήρανση διατροφικών απορριμάτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε πτητικά λιπαρά οξέα (volatile fatty acids ή VFA) καθώς και σε ολικό οργανικό άνθρακα (total organic carbon ή TOC).

Τα πτητικά λιπαρά οξέα αποτελούν χημικά με πολλές και ποικίλες εφαρμογές (φαρμακευτική βιομηχανία, βιομηχανία τροφίμων, βιομηχανία καλλυντικών κ.α.). Με την μέτρηση της συγκέντρωσής τους στο συμπύκνωμα των υδρατμών έγινε μία εκτίμηση για το κατά πόσο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί το τελευταίο για την απομόνωση αυτών των χρήσιμων χημικών. Με την μέτρηση του οργανικού άνθρακα υπολογίστηκε και το ποσοστό των πτητικών λιπαρών οξέων στο συνολικό οργανικό φορτίο που υπάρχει εντός του συμπυκνώματος των υδρατμών.

Στην διπλωματική αυτή μελετήθηκαν δύο συστήματα αποκεντρωμένης ξήρανσης: το σύστημα οικιακής ξήρανσης Smart Cara CS 10 καθώς και το σύστημα GAIA. Τα δείγματα αποτελούσαν διατροφικά απορρίμματα που για τον πρώτο ξηραντήρα συλλέχθηκαν από παιδικό σταθμό στην Δροσιά, Αττικής ενώ για τον δεύτερο από την λέσχης εστίασης του ΕΜΠ. Στην συνέχεια, τα δείγματα αφήνονταν για διαφορετικούς χρόνους παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος που κυμαίνονταν από 0 έως 30 ημέρες. Αυτό έγινε προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του χρόνου παραμονής των διατροφικών απορριμάτων στην συνολική παραγωγή VFA και TOC. Έγινε επίσης και μελέτη της επίδρασης του χρόνου ξήρανσης στην συνολική παραγωγή VFA και TOC για το σύστημα GAIA καθώς και για όλα τα δείγματα με διαφορετικούς χρόνους παραμονής. Τέλος, έγινε η προσαρμογή γνωστών εξισώσεων ξήρανσης στις καμπύλες ξήρανσης των δειγμάτων που μελετήθηκαν στην διπλωματική και υπολογίστηκε ο παράγοντας R^2 για όλες τις περιπτώσεις προκειμένου να φανεί ποια εξίσωση παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή στις πειραματικές καμπύλες ξήρανσης των διατροφικών απορριμάτων αυτής της διπλωματικής.

Μετά από επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα VFA στο συμπύκνωμα είναι σημαντική και όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, η παραγωγή των VFA και του TOC αυξάνονται και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Επιπλέον, κατέστη σαφές ότι και για τα δύο συστήματα ξήρανσης η παραγωγή VFA και TOC σε σχέση με τον χρόνο αποθήκευσης ακολουθεί μία γραμμική τάση με ικανοποιητική προσαρμογή. Βέβαια, η παραγωγή VFA είναι σημαντικά υψηλότερη για το οικιακό σύστημα ξήρανσης και ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής VFA ως προς το χρόνο αποθήκευσης είναι επίσης σημαντικά υψηλότερος.

Παρατηρείται επίσης ότι η παραγωγή TOC στο σύστημα GAIA είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν του οικιακού ξηραντήρα. Ωστόσο, η κλίση των δύο γραμμών τάσης είναι η ίδια πράγμα που δείχνει πως ο ρυθμός αύξησης της συνολικής παραγωγής TOC συναρτήσει του χρόνου είναι σταθερός και για τα δύο συστήματα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι ο μηχανισμός παραγωγής του οργανικού άνθρακα στα συμπυκνώματα ελέγχεται από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση των δειγμάτων.

Μετά από προσαρμογή 10 εξισώσεων ξήρανσης στο πρόγραμμα Origin, την καλύτερη προσαρμογή την παρουσίαζε η συνάρτηση Gauss καθώς σε όλα τα πειράματα έχει εξαιρετική τιμή R^2 ενώ σε 8 από τα 10 παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή από όλες τις άλλες συναρτήσεις. Συνεπώς μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συνάρτηση Gauss είναι πάρα πολύ καλή για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της υγρασίας XR στα διατροφικά απορρίμματα, με την κατάλληλη προσαρμογή των παραμέτρων της αναλόγως και με την περίπτωση.

Επομένως, συμπεράθηκε ότι η ποσότητα VFA στο συμπύκνωμα είναι σημαντική και μπορεί να αξιοποιηθεί, ο οικιακός ξηραντήρας έχει σημαντικά υψηλότερη παραγωγή VFA ανά kg δείγματος σε σχέση με τον ξηραντήρα GAIA, ο χρόνος αποθήκευσης αυξάνει τα VFA και τα TOC με γραμμική τάση και η GAUSS παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή στις καμπύλες ξήρανσης από τις προαναφερθείσες εξισώσεις.

ABSTRACT

Food waste constitute a very large portion of the municipal solid waste and they occupy a significant percentage of the total volume of the solid waste that end up in landfills. By drying them, their volume can decrease as low as 90%, due to their very high moisture content, and as a result the total volume that they occupy inside the landfill can decrease dramatically. Meanwhile, through the drying procedure food waste are stabilized, resulting in significantly fewer green house gas emissions during their digestion inside the landfill along with the eradication, to a substantial point, of unpleasant odors that are being produced during their decay.

Many modern dryers, including various domestic dryers and the GAIA system of decentralized drying, incorporate systems for the condensation of vapors that are being produced during the drying procedure resulting in the creation of a liquid runoff that is much more easily manageable than the gaseous vapors. In this thesis, the condensate of the vapors produced during the drying procedure of various food waste was analyzed concerning their volatile fatty acids (VFA) content and total organic carbon (TOC) content.

Volatile fatty acids are chemicals that have multiple applications (food industry, pharmaceutical industry, cosmetics etc.). By measuring their concentration in the aforementioned vapor condensate it is evaluated whether it can be used for the purpose of isolating these useful chemicals. Moreover, by measuring the concentration of the total organic carbon, it was determined what percentage of the total organic load of the vapor condensate is VFA.

In this thesis, two different decentralized drying systems were studied: the domestic drying system Smart Cara CS 10 and the GAIA drying system. The samples were all food waste and the ones concerning the first drying system came from a day care in Drosia, Attiki and the ones concerning the second drying system came from the restaurant in National Technical University of Athens. Next, the samples were left in STP temperature for different retention times that varied between 0 to 30 days. This was done in order for the effect of the food waste retention time to the total production of VFA and TOC to be analyzed. Moreover, the effect of the drying time to the total production of VFA and TOC for the GAIA system and for all the samples with the different retention times was analyzed as well. Finally, well established equations for the description of drying curves were fitted to the drying curves of the samples that were studied in this thesis and the R^2 was calculated for all of them in order to determine which equation best fits the actual drying curves of the food waste analyzed in this thesis.

After analyzing the data it was observed that the quantity of VFA in the vapor condensate is significant and that the production of VFA and TOC is increased along with the increase of the retention time of the samples for both drying systems. Moreover, it became clear that for both drying systems the production of VFA and TOC in relation to the retention time follows a linear fitting model adequately. The production of VFA was considerably higher for the domestic drying system and the growth rate of the VFA in relation to the retention time is substantially higher as well.

It was also observed that the TOC production was significantly higher for the GAIA drying system. However, the slope of the fitted lines in the retention time –TOC mass diagrams was the same for both drying systems which shows that the growth rate of the total production of TOC in relation to the retention time is the same for both drying systems. This fact indicates that the production

mechanism of organic carbon in the condensate is controlled by reactions that take place during the storage of the samples.

After the fitting of 10 drying equations at the origin program, the gauss equation had the best fit as it had an exceptional R^2 value for all the experiments and in 8 out of 10 it had the highest value than any other equation. Therefore, it can be concluded that the gauss equation is exceptionally good for the description of the time evolution of the XR moisture in food waste, with the right adjustment of the parameters accordingly.

Therefore, it was concluded that the quantity of VFA and TOC in the vapor condensate is significant and can be utilized, the domestic dryer had a significantly higher production of VFA per sample kg than the GAIA dryer, the retention time of the sample increases the production of both VFA and TOC in a way compatible to a linear model and the Gauss equation presents the best fit to the drying curves than all the other aforementioned equations.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	2
Περίληψη.....	3-4
Abstract.....	5-6
Κεφάλαιο 1: Διατροφικά Απορρίμματα.....	8-31
1.1 Παγκόσμια παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων.....	8-12
1.2 Στατιστικά ΕΕ και νομοθετικό πλαίσιο.....	12-16
1.3 Η κατάσταση των διατροφικών απορριμμάτων στην Ελλάδα.....	16-19
1.4 Αξιοποίηση και διαχείριση των παραγόμενων διατροφικών απορριμμάτων..	19-31
Κεφάλαιο 2: Ξήρανση Βιοαποβλήτων.....	32-48
2.1 Εισαγωγή.....	32-35
2.2 Μέθοδοι ξήρανσης αποβλήτων.....	35-48
Κεφάλαιο 3: Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA).....	49-63
3.1 Εισαγωγή.....	49
3.2 Παραγωγή VFA.....	49
3.2.1 Πηγές VFA.....	49-52
3.2.2 Μέθοδοι παραγωγής VFA.....	52-57
3.3 Χρήσεις και εφαρμογές VFA.....	57-63
Κεφάλαιο 4: Πειραματική μεθοδολογία.....	64-71
4.1 Σκοπός.....	64
4.2 Μεθοδολογία Συλλογής Δειγμάτων.....	64-65
4.3 Περιγραφή του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA.....	65-67
4.4 Περιγραφή του συστήματος οικιακής ξήρανσης.....	67-69
4.5 Μέθοδοι ανάλυσης.....	69-71
Κεφάλαιο 5: Πειραματικά αποτελέσματα.....	72-84
5.1 Αποτελέσματα συστήματος οικιακής ξήρανσης.....	72-75
5.2 Αποτελέσματα συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA.....	76-84
Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων.....	85-112
6.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων οικιακής ξήρανσης.....	85-88
6.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA.....	89-98
6.3 Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στη σύσταση των συμπυκνωμάτων της ξήρανσης.....	98-105
6.4 Κινητική ξήρανσης διατροφικών απορριμμάτων.....	105-110
6.5 Συμπεράσματα.....	110-112

Κεφάλαιο 1: Διατροφικά απόβλητα

1.1 Παγκόσμια παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων

Σύμφωνα με τον ΟΗΕ διατροφικά απορρίμματα καλούνται όλα τα τρόφιμα και τα τροφικά απόβλητα που χάνονται λόγω των πράξεων των πωλητών λιανικής, των υπηρεσιών τροφίμων, των προμηθευτών καθώς και των καταναλωτών. Αποτελούν δηλαδή βρώσιμα υλικά τα οποία προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και χάνονται σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγικής αλυσίδας των τροφίμων λόγω απόρριψης, απώλειας, αλλοίωσης ή κατανάλωσης από παράσιτα (5). Τα διατροφικά απορρίμματα δηλαδή μπορεί να προέρχονται (2),(12):

- Από τρόφιμα τα οποία απορρίπτονται λόγω της απόκλισης τους από αυτό το οποίο θεωρείται εμπορικά επιθυμητό (μέγεθος, χρώμα, σχήμα κ.α.)
- Τρόφιμα τα οποία είναι κοντά στην ημερομηνία λήξης τους αλλά ακόμα μπορούν να καταναλωθούν
- Από τους ίδιους τους καταναλωτές σε οικιακό επίπεδο καθώς και από τις επιχειρήσεις εστίασης

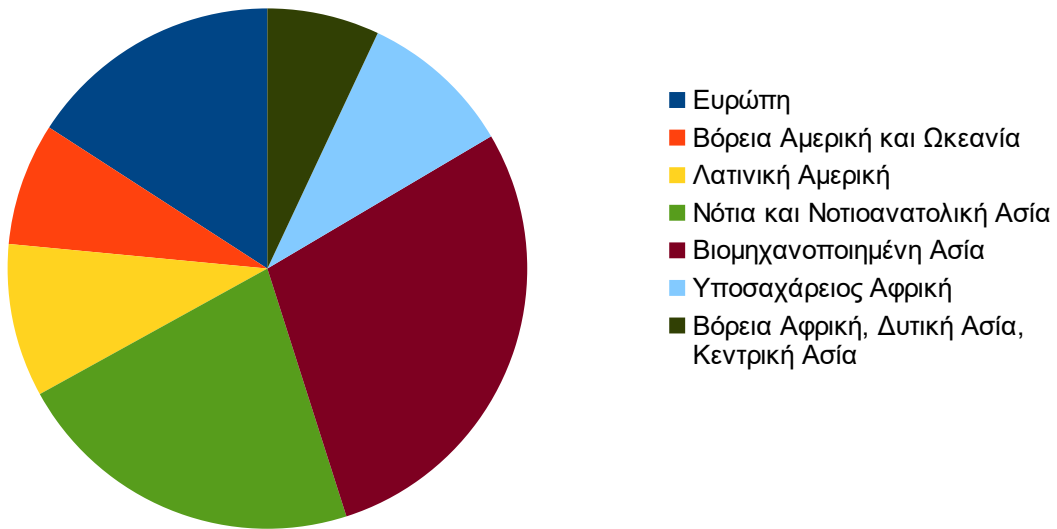
Τα διατροφικά απορρίμματα είναι διαφορετική έννοια από τα από τις απώλειες τροφίμων καθώς οι τελευταίες αφορούν απορριπτόμενα τρόφιμα από τους παραγωγούς τροφίμων χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι πωλητές λιανικής, οι υπηρεσίες τροφίμων, οι προμηθευτές και οι καταναλωτές. Συχνά οι δύο όροι συγχέονται στην διεθνή βιβλιογραφία.

Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο περίπου 1,3 δισεκατομμύρια τόνοι διατροφικά απορρίμματα παράγονται παγκοσμίως (αποτελεί το 1/3 της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων που προορίζονται για τον άνθρωπο). Αυτή η ποσότητα είναι αρκετή για να ταΐσει 3 δισεκατομμύρια ανθρώπους ενώ είναι υπεύθυνη για την παραγωγή του 8% της παγκόσμιας παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου (1). Εκτιμάται επίσης ότι η ποσότητα των διατροφικών απορριμμάτων που μένει αναξιοποίητη κοστίζει περίπου 2,6 τρισεκατομμύρια αμερικανικά δολάρια (6).

Με την τοποθέτηση των διατροφικών απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ παράγονται μεγάλες ποσότητες μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα τα οποία αποτελούν δύο βασικά αέρια του θερμοκηπίου με το μεθάνιο να είναι σημαντικά πιο καταστροφικό λόγω της πολύ υψηλότερης θερμοχωρητικότητας του από το διοξείδιο του άνθρακα (5). Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν επίσης η εξάντληση των φυσικών πόρων (νερό, θρεπτικά συστατικά του χώματος), η διαταραχή των κύκλων του αζώτου και του φωσφόρου καθώς δεν γυρνάνε τα θρεπτικά συστατικά των τροφών πίσω στο χώμα καθώς και οι διάφορες επιπτώσεις που σχετίζονται με την γενικότερη παραγωγική αλυσίδα των διατροφικών απορριμμάτων (κατανάλωση καυσίμων, παρασιτοκτόνων, λιπασμάτων κ.α.) (5),(2).

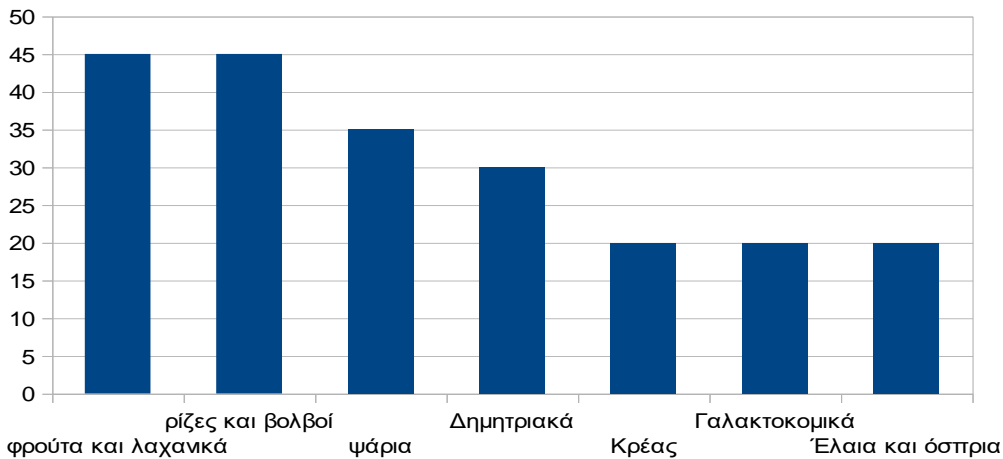
Το σχήμα 1.1 παρουσιάζει την εκτιμώμενη παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων ανά ήπειρο:

Ετήσια Παραγωγή Food waste ανά γεωγραφική περιοχή

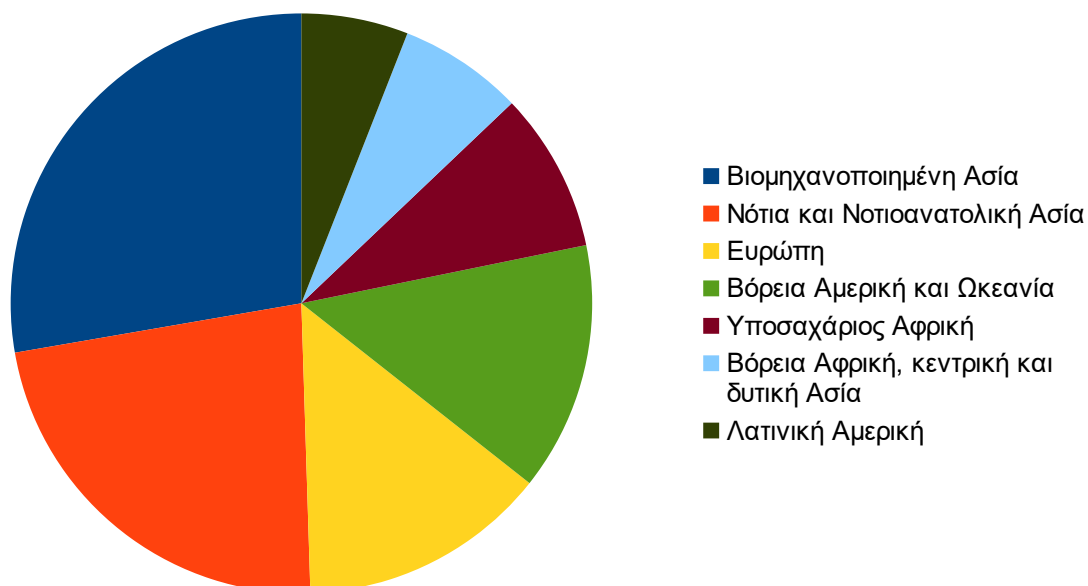


Σχήμα 1.1: Ετήσια παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων (tn) ανά γεωγραφική περιοχή (10)

Το σχήμα 1.22 δείχνει και μία εικόνα της επί τοις εκατό ποσότητας των διατροφικών απορριμμάτων που παράγονται ανά κατηγορία τροφίμων:



Σχήμα 1.2: Ποσοστό % των διατροφικών απορριμμάτων που παράγονται ανά κατηγορία τροφίμων (9)



Σχήμα 1.3: Ποσοστό των διατροφικών απορριμμάτων ανά γεωγραφική περιοχή σε kcal (8)

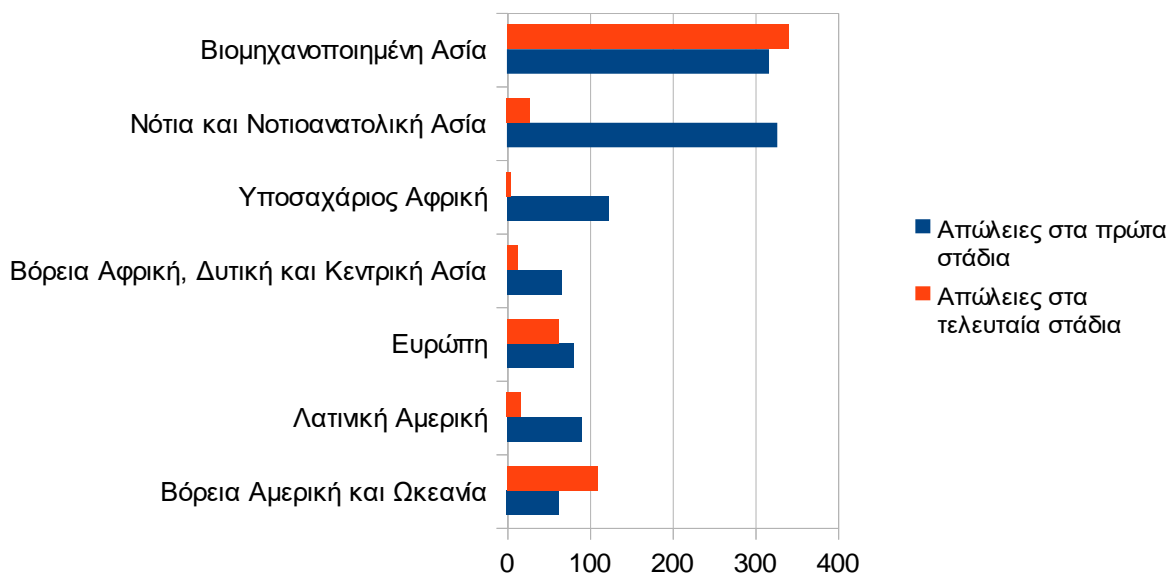
Σύμφωνα με τον FAO (food and agricultural organization) του ΟΗΕ οι ανεπτυγμένες και οι αναπτυσσόμενες οικονομίες παράγουν παρόμοιες ποσότητες διατροφικών απορριμμάτων. Ωστόσο, υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά όσον αφορά το σε ποιο παραγωγικό στάδιο παράγονται με αποτέλεσμα να απαιτείται διαφορετική μέριμνα ανά γεωγραφική περιοχή (6).

Συγκεκριμένα, στις αναπτυσσόμενες οικονομίες τα διατροφικά απορρίμματα παράγονται ως επί το πλείστον στα πρώτα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας των τροφίμων και αυτό οφείλεται σε κακές υποδομές, σε ελλείψεις εξοπλισμού, σε περιορισμένα τεχνολογικά μέσα κατά την διαλογή και στην αδυναμία διατήρησης ψυχρών συνθηκών για την συντήρηση των τροφίμων(1),(6),(3),(5). Αυτό κατά συνέπεια επηρεάζει σημαντικά τους παραγωγούς αυτών των χωρών καθώς μεγάλο κομμάτι της παραγωγής τους χάνεται με αποτέλεσμα τα έσοδά τους να μειώνονται σημαντικά (7). Στις ανεπτυγμένες οικονομίες αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό διατροφικών απορριμμάτων παράγεται στο επίπεδο του καταναλωτή (4).

Ένα παράδειγμα που δείχνει αυτήν την δυσαναλογία στην παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων στις ανεπτυγμένες και στις αναπτυσσόμενες οικονομίες είναι το ακόλουθο: στην υποσαχάρια Αφρική το 83 % των διατροφικών απορριμμάτων δημιουργείται στην παραγωγή, στην αποθήκευση και στην επεξεργασία των τροφίμων ενώ μόλις το 5% δημιουργείται από τους καταναλωτές. Αντιθέτως στις ΗΠΑ και στην Ωκεανία, μόλις το 32% χάνεται στα πρώτα στάδια ενώ το 61% χάνεται από τους ίδιους τους καταναλωτές (6).

Στις ανεπτυγμένες οικονομίες, τα διατροφικά απορρίμματα παράγονται στα τελικά στάδια της παραγωγικής αλυσίδας των τροφίμων, δηλαδή στα supermarket, στους χώρους εστίασης και στα σπίτια. Αυτό εκπορεύεται σε μεγάλο βαθμό από την τάση των καταναλωτών να απορρίπτουν τρόφιμα τα οποία έχουν μαυρίσει, έχουν παράξενο σχήμα ή χρώμα με αποτέλεσμα οι έμποροι να τα πετάνε εξ αρχής επειδή γνωρίζουν ότι δεν πρόκειται να πουληθούν. Τα εστιατόρια επίσης μεγαλώνουν συνεχώς τις μερίδες τους με αποτέλεσμα να αυξάνονται και τα επίπεδα διατροφικών απορριμμάτων που απορρίπτονται (περίπου το 15% των διατροφικών απορριμμάτων που βρίσκονται σε ΧΥΤΑ στις ΗΠΑ). Επιπλέον, οι καταναλωτές έχουν την ανάγκη να έχουν πληθώρα επιλογών με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται προϊόντα στα ράφια τα οποία αντικειμενικά θα

χαλάσουν και θα πεταχτούν χωρίς να αξιοποιηθούν καθόλου. Επίσης, δεν υπάρχει επαρκής σχεδιασμός στις κουζίνες καθώς δεν λαμβάνεται καμία μέριμνα για την αξιοποίηση των παραγόμενων διατροφικών απορριμμάτων ενώ ένα μεγάλο κομμάτι δημιουργείται και κατά την επεξεργασία από την βιομηχανία τροφίμων. Τέλος, υπάρχει παρερμηνεία των ημερομηνιών λήξης καθώς οι καταναλωτές τις παρερμηνεύουν ως οριστικές και ως ενδεικτικές ότι ένα προϊόν δεν είναι ασφαλές για κατανάλωση ενώ στην πραγματικότητα αποτελούν απλή ένδειξη του πότε αρχίζει να χάνει την ποιότητά του ένα τρόφιμο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να πετιούνται τρόφιμα που είναι απολύτως κατάλληλα για κατανάλωση (3),(6). Το σχήμα 1.4 δείχνει τις απώλειες τροφίμων στα πρώτα και στα τελευταία στάδια της παραγωγικής αλυσίδας τροφίμων ανά γεωγραφική περιοχή:



Σχήμα 1.4: Παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων (tn) ανά γεωγραφική παραγωγή και ανά θέση στην παραγωγική αλυσίδα τροφίμων (1)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα τελευταία στάδια αφορούν τον καταναλωτή και τους προμηθευτές ενώ τα πρώτα στάδια αφορούν την παραγωγή, την αποθήκευση και την μεταφορά των τροφίμων. Παρατηρούμε λοιπόν στο παραπάνω διάγραμμα ότι στις πλούσιες περιοχές (π.χ. Ευρώπη, Βόρεια Αμερική και Ωκεανία, Βιομηχανοποιημένη Ασία) οι απώλειες είναι πολύ μεγαλύτερες στα τελευταία στάδια σε σχέση με τις οικονομικά ασθενέστερες περιοχές (π.χ. Υποσαχάρια Αφρική) πράγμα το οποίο επιβεβαιώνει την ποιοτική διαφορά που υπάρχει στην παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων ανάμεσα σε οικονομικά ασθενείς και οικονομικά ισχυρότερες χώρες.

Η σωστή διαχείριση και κατά συνέπεια η αξιοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων είναι πάρα πολύ σημαντικές όχι μόνο γιατί υπάρχουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως έχει προαναφερθεί αλλά και γιατί με βάση τον FAO του ΟΗΕ εκτιμάται ότι επαρκούν για την σίτιση όλων των ανθρώπων του κόσμου. Συγκεκριμένα, από το 2012 μέχρι το 2014 υπήρχαν 805 εκατομμύρια υποσιτισμένοι άνθρωποι οι οποίοι με βάση τις τότε ποσότητες διατροφικών απορριμμάτων θα μπορούσαν να έχουν τραφεί επαρκώς. Επιπλέον, η ίδια η αξιοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων μπορεί να δημιουργήσει καινούργιες θέσεις εργασίας με αποτέλεσμα να μπορεί να δώσει οικονομική ανάσα σε τοπικές κοινωνίες καθώς και κίνητρα για καινοτομική επιχειρηματικότητα (2).

Στις αναπτυσσόμενες οικονομίες είναι πολύ σημαντική η μείωση των απωλειών που οφείλονται

στην αποθήκευση, στην μεταφορά και στην διαχείριση των τροφίμων. Για αυτό είναι και πολύ σημαντική η σωστή εκπαίδευση των αγροτών καθώς και οι τοπικές επενδύσεις σε υποδομές είτε με ιδιωτική είτε με κρατική πρωτοβουλία. Οι υποδομές αυτές περιλαμβάνουν την δημιουργία καλύτερων συνθηκών αποθήκευσης μέσω της ενσωμάτωσης μεθόδων και εξοπλισμού ψύξης των τροφίμων επειδή οι αναπτυσσόμενες οικονομίες συχνά έχουν πολύ ζεστά ή πολύ υγρά κλίματα, καθώς και καλύτερες τεχνικές συσκευασίας τροφίμων. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντική η τήρηση υγειονομικών μέτρων στις υπαίθριες αγορές καθώς ένα μεγάλο κομμάτι των τροφίμων αλλοιώνονται κατά την πώλησή τους σε αυτές ενώ δεν πρέπει να παραληφθεί και η δημιουργία δομών για την επεξεργασία των τροφίμων κοντά στον χρόνο διαλογής τους πριν προλάβουν να αλλοιωθούν (3),(6),(7).

Στις αναπτυσσόμενες οικονομίες παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η εκπαίδευση των καταναλωτών και η ευαισθητοποίησή τους. Συγκεκριμένα, πρέπει να γίνουν προσπάθειες αλλαγής της συμπεριφοράς των καταναλωτών καθώς με αυτόν τον τρόπο δεν θα απορρίπτονται βρώσιμα τρόφιμα καθαρά για αισθητικούς λόγους (χρώμα, σχήμα, μέγεθος κλπ.). Επιπλέον, πρέπει να ενημερωθούν για το πότε ένα τρόφιμο είναι κατάλληλο για κατανάλωση και να μην έχουν σαν μοναδικό κριτήριο την ημερομηνία λήξης καθώς έτσι πετιούνται τρόφιμα χωρίς να έχουν αλλοιωθεί ακόμα λόγω άγνοιας.

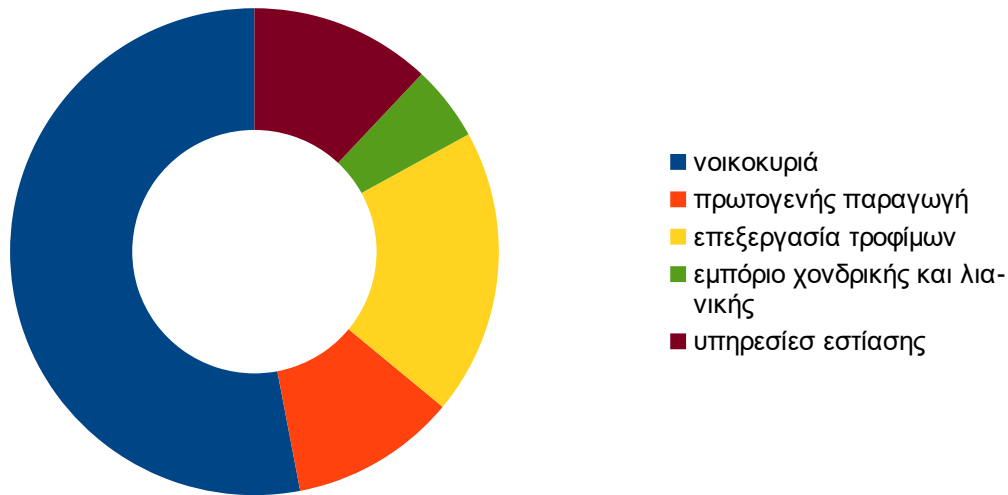
Οι προμηθευτές μπορούν επίσης τα τρόφιμα τα οποία δεν πουλήθηκαν να τα δωρίζουν σε φιλανθρωπικές οργανώσεις και σε άπορους όπως ήδη γίνεται σε πάρα πολλά κράτη και σε πολλές επιχειρήσεις. Στη Γαλλία συγκεκριμένα είναι παράνομο οι επιχειρήσεις να πετάνε αναίτια φαγητό ενώ στην Μεγάλη Βρετανία η πλειοψηφία των μεγάλων αλυσίδων προμηθευτών συνεργάζεται με τοπικά φιλανθρωπικά ιδρύματα. Επίσης, η πολιτεία έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει τα όποια διατροφικά απορρίμματα αναγκαστικά θα απορρίπτονται για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας όπως είναι τα βιοπολυμερή, το βιοαέριο, τα VFA (volatile fatty acids), τα βιοκαύσιμα, το κομπόστ και πληθώρα άλλων χημικών προϊόντων (3),(6),(7).

1.2 Στατιστικά ΕΕ και νομοθετικό πλαίσιο

Σύμφωνα με την έρευνα που είχε πραγματοποιηθεί το 2013 από το πρόγραμμα Fusions (ευρωπαϊκό πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από την ευρωπαϊκή επιτροπή το οποίο στόχευε στο να δώσει συμβουλές για την δημιουργία ενός πιο βιώσιμου ευρωπαϊκού οικονομικού μοντέλου) για την παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων των βρώσιμων και των μη βρώσιμων, τα 28 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης εκτιμάται ότι παράγουν ετησίως 88 εκατομμύρια τόνους διατροφικά απορρίμματα, ποσότητα η οποία αντιστοιχεί στο 20% των συνολικών τροφίμων που παράγονται. Αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 173 kg διατροφικά απορρίμματα ανά άνθρωπο καθώς και σε ζημιά αξίας 143 δισεκατομμυρίων ευρώ. Η Ευρώπη επίσης είναι δεύτερη παγκοσμίως στην παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων κατά κεφαλή, πίσω μόνο από την γεωγραφική περιοχή της Βόρειας Αμερικής και της Ωκεανίας (13),(15),(17).

Τα περισσότερα διατροφικά απορρίμματα τα παρήγαγε το Ηνωμένο Βασίλειο (η έρευνα έγινε αρκετά χρόνια πριν την αποχώρηση της χώρας από την ΕΕ) με εκτιμώμενη παραγωγή 14,3 εκατομμύρια τόνους ετησίως ενώ ακολουθούν η Γερμανία (10,3 εκατομμύρια τόνους), η Ολλανδία (9,4 εκατομμύρια τόνους), η Γαλλία (9 εκατομμύρια τόνους) και η Πολωνία (8,9 εκατομμύρια τόνους). Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή επιτροπή σχεδόν τα 3/4 από τα διατροφικά απορρίμματα αυτών των χωρών μπορούν να αποτραπούν (15).

Σύμφωνα με την έρευνα του Fusions, οι τομείς που συνεισφέρουν περισσότερο στην παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων είναι τα νοικοκυριά και η επεξεργασία των τροφίμων καθώς αποτελούν το 72% της συνολικής παραγωγής διατροφικών απορριμμάτων εντός της ΕΕ. Το σχήμα 1.5 δείχνει την επί τοις εκατό κατανομή των διατροφικών απορριμμάτων ανά τομέα εντός της ΕΕ:



Σχήμα 1.5: Κατανομή των διατροφικών απορριμμάτων ανά τομέα εντός της Ε.Ε.

Η Ευρωπαϊκή ένωση έχει βάλει σαν στόχο την ευθυγράμμιση με τον γενικότερο στόχο 12.3 του σχεδίου αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης που έχει θέσει ο ΟΗΕ από το 2015 για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων κατά 30% μέχρι το 2025 και κατά το ήμισυ μέχρι το 2030 σε επίπεδο καταναλωτών και προμηθευτών και την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση των απωλειών στην υπόλοιπη παραγωγική αλυσίδα τροφίμων (14),(18). Για αυτό και το 2016 δημιουργήθηκε μία πολυμετοχική πλατφόρμα από την ευρωπαϊκή επιτροπή αφιερωμένη στις απώλειες τροφίμων και στην μείωση και διαχείριση αυτών (14),(17). Η πλατφόρμα αυτή δημιουργήθηκε στα πλαίσια της μετάβασης σε μία κυκλική οικονομία, ένα οικονομικό μοντέλο που περιγράφει ότι η αξία των υλικών, των προϊόντων και των πόρων παραμένει όσο το δυνατόν περισσότερο στην οικονομία χωρίς να απαιτείται συνεχής παροχή ενέργειας και πρώτων υλών όπως στην σημερινή οικονομία, ενώ μέσω της πλήρους αξιοποίησης των αποβλήτων και της μείωσης της ποσότητάς τους η οικονομία λειτουργεί αυτόνομα (17),(20).

Η πλατφόρμα που δημιουργήθηκε αποτελεί έναν θεσμό στον οποίο συμβάλλουν ιδιωτικοί και δημόσιοι φορείς που συμμετέχουν σε όλους τους τομείς της παραγωγικής αλυσίδας τροφίμων προκειμένου να συντονίσουν τις προσπάθειες της ΕΕ για την επίτευξη του προαναφερθέντος στόχου. Έχει τον ρόλο να βοηθήσει όλους του συμμετέχοντες στην εφαρμογή των μέτρων και να κάνει συστάσεις ακόμα και σε επίπεδο ΕΕ ενώ ταυτόχρονα αξιολογεί και την αποτελεσματικότητα των μέτρων για την επίτευξη των επιθυμητών στόχων. Το επίσημο όνομα αυτού του θεσμού είναι EU platform on food losses and food waste και συμμετέχουν διεθνείς οργανισμοί (FAO, ΟΗΕ κ.α.), θεσμοί της ΕΕ, ειδικοί από όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ καθώς και επιχειρήσεις που απασχολούνται σε όλους τους τομείς της παραγωγής τροφίμων (17).

Η διαχείριση των τροφικών αποβλήτων ακολουθεί τις κατευθυντήριες της φιλοσοφίας του zero waste, δηλαδή την φιλοσοφία της ελαχιστοποίησης της παραγωγής αποβλήτων. Η λογική είναι ότι όλα τα προϊόντα θα πρέπει να επανασχεδιαστούν προκειμένου να μειώνονται τα απόβλητα κατά

την παραγωγή τους και προκειμένου να μπορούν να ανακυκλωθούν όσα απόβλητα αναγκαστικά παράγονται με στόχο οι πρώτες ύλες να παραμένουν περισσότερο εντός της οικονομίας και με στόχο την ελαχιστοποίηση του όγκου των απορριμμάτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ. Τα βασικά οφέλη μία λογικής zero waste είναι τα ακόλουθα (21):

- Εξοικονόμηση χρημάτων λόγω ελαχιστοποίησης των αποβλήτων
- Δημιουργία μίας κυκλικής οικονομίας με αειφόρο ανάπτυξη σε αντίθεση με τις ως επί το πλείστον γραμμικές οικονομίες που διαθέτουμε σήμερα
- Παραμονή των υλικών εντός του κύκλου της οικονομίας για πολύ μεγαλύτερο διάστημα καθώς οι πρώτες ύλες επαναχρησιμοποιούνται πολλές φορές πριν απορριφθούν σε ΧΥΤΑ
- Δημιουργία οικονομιών που θα είναι αυτάρκειες και πλήρως φιλικές προς το περιβάλλον χωρίς συνεχή παροχή ενέργειας και πρώτων υλών.

Η πολιτική του zero waste αναλύεται σε επτά στάδια φθίνουσας σημασίας για την επίτευξη του στόχου του εκμηδενισμού των αποβλήτων. Τα στάδια παρουσιάζονται παρακάτω (16):

1. Επανασχεδιασμός

Σε αυτό το στάδιο υιοθετείται η οποιαδήποτε διεργασία μπορεί να αποτρέψει την δημιουργία περισσότερων αποβλήτων. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την δημιουργία καινούργιων τεχνικών και συστημάτων τα οποία από την φύση τους παράγουν σημαντικά λιγότερα απόβλητα είτε με το να σταματήσει η προώθηση αναλώσιμων, μίας χρήσης προϊόντων έναντι προϊόντων πολλαπλών χρήσεων

2. Μείωση και επαναχρησιμοποίηση

Πολλά προϊόντα απορρίπτονται πριν χάσουν την αξία τους ενώ ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές επειδή δεν αξιοποιούνται επαρκώς από την οικονομία. Είναι σημαντικό αυτά τα προϊόντα να μην απορρίπτονται αλλά να ανακαλύπτονται νέοι τρόποι με τους οποίους μπορούν να παραμείνουν παραπάνω στην οικονομία.

3. προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση

Προϊόντα τα οποία έχουν απορριφθεί ήδη ενώ έχουν αξία μπορούν να εισέλθουν και πάλι στην οικονομία με τον κατάλληλο καθαρισμό και την επιδιόρθωση τους. Για παράδειγμα, ένα βρώμικο ψυγείο αν καθαριστεί και επισκευασθεί μπορεί κάλλιστα να γυρίσει στην οικονομία.

4. Ανακύκλωση, κομποστοποίηση και αναερόβια χώνευση

Τα απορρίμματα που αναγκαστικά δημιουργούνται συλλέγονται και στην συνέχεια μπορούν να ανακυκλωθούν, να αξιοποιηθούν για την ανάκτηση χρήσιμων για την οικονομία υλικών, για την δημιουργία λιπασμάτων μέσω της κομποστοποίησης και για την δημιουργία βιοαερίου με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο μέσω της αναερόβιας χώνευσης.

5. Επανάκτηση υλικών και χημικών

6. Διαχείριση υπολειμμάτων

Τα υπολείμματα υφίστανται περαιτέρω σταθεροποίηση προκειμένου να είναι ασφαλής η υγειονομική ταφή τους ή η ενδεχόμενη καύση τους.

7. Μη αποδεκτά

Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει διεργασίες που αφαιρούν πόρους από την οικονομία ή είναι εχθρικές προς το περιβάλλον. Σε ένα ιδεατό σενάριο zero waste, τα απόβλητα που φθάνουν σε αυτό το στάδιο είναι ελάχιστα ή σχεδόν μηδαμινά. Τέτοιες διεργασίες αποτελούν η υγειονομική ταφή μη σταθεροποιημένων αποβλήτων και η καύση απορριμμάτων.

Τα μέτρα και οι κατευθυντήριες που έχουν δοθεί από την ΕΕ συνοψίζονται στις προτάσεις του θεσμού EU platform on food losses and food waste καθώς και στην ντιρεκτίβα 2018/851 στην

οποία αναλύονται προτάσεις για την διαχείριση διαφόρων αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων και των διατροφικών απορριμμάτων (13),(19).

Με βάση την ντιρεκτίβα 2018/851 δόθηκαν κάποιες γενικές οδηγίες για τα κράτη μέλη (19):

- Τα κράτη μέλη οφείλουν να προωθήσουν μέτρα για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της μείωσης κατά το ήμισυ μέχρι το 2030. Τα μέτρα αυτά πρέπει να εστιάζουν στον πρωτογενή τομέα, στην επεξεργασία, στην πώληση και στην διανομή των τροφίμων καθώς και στους χώρους εστίασης και στα νοικοκυριά. Προκειμένου τα κράτη να βλέπουν εάν βαδίζουν προς την υλοποίηση του προαναφερθέντος στόχου, θα πρέπει να στοχεύσουν αρχικά σε μείωση κατά 30% μέχρι το 2025 και 50% μέχρι το 2030 όλων των διατροφικών απορριμμάτων.
- Θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων από όλα τα κράτη, συμπεριλαμβανομένων εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κόσμου και των επιχειρήσεων.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να βρουν τρόπους για την μέτρηση και την αξιολόγηση της προόδου τους όσον αφορά την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων. Θα πρέπει όλα τα κράτη μέλη καθώς και οι επιχειρήσεις της βιομηχανίας τροφίμων να εφαρμόσουν μία κοινή μεθοδολογία για την μέτρηση της προόδου και η αναφορά θα πρέπει να είναι ετήσια.
- Τα κράτη-μέλη πρέπει να δώσουν κίνητρα για την συλλογή των προϊόντων τροφίμων που δεν έχουν πουληθεί καθώς και για την αναδιανομή τους όπως π.χ σε φιλανθρωπικές οργανώσεις. Επιπλέον, είναι σημαντική η ενημέρωση των καταναλωτών για ζητήματα ημερομηνίας λήξης και καταλληλότητας των τροφίμων προκειμένου να μειωθούν σημαντικά τα απορριπτόμενα τρόφιμα.
- Στις 31 Δεκεμβρίου του 2023 η Ευρωπαϊκή επιτροπή θα εξετάσει τα δεδομένα από όλα τα κράτη-μέλη, θα αξιολογήσει εάν ο στόχος του 2030 είναι εφικτός και θα καταθέσει στο Ευρωπαϊκό συμβούλιο και στο Ευρωκοινοβούλιο την αξιολόγησή της καθώς και ενδεχόμενη νομοθετική πρόταση.

Η πλατφόρμα EU platform on food losses and food waste δημοσίευσε ένα κείμενο το 2019 στο οποίο αναλύονται οι βασικοί άξονες γύρω από τον περιορισμό των διατροφικών απορριμμάτων καθώς και την διαχείρισή τους (14):

- Ανάπτυξη εθνικών στρατηγικών για τον περιορισμό και την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος 12.3 του ΟΗΕ. Συγκεκριμένα, συνεργασίες κρατικών και ιδιωτικών φορέων για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας
- Ενσωμάτωση των μειώσεων των διατροφικών απορριμμάτων στα πλαίσια των εθνικών προγραμμάτων και στρατηγικών καθώς και στα πλαίσια των προγραμμάτων προστασίας του περιβάλλοντος και του κλίματος. Τα προγράμματα για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων θα επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό διάφορους τομείς όπως π.χ. Την αγροτική παραγωγή και είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα τέτοιων πολιτικών θα είναι θετικά. Για αυτό και είναι σημαντική η παρακολούθηση και η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων των τομέων με τα μέτρα προκειμένου να είναι θετική η έκβαση. Επιπλέον, τα κράτη μέλη οφείλουν να μειώσουν τα διατροφικά απορρίμματα στα πλαίσια της εθνικής τους πολιτικής για την κλιματική αλλαγή καθώς η μείωσή τους

- συνεισφέρει σημαντικά σε αυτόν τον τομέα.
- Βελτίωση της μείωσης των διατροφικών απορριμμάτων κατά μήκος όλης της παραγωγικής αλυσίδας τροφίμων. Μπορούν να δημιουργηθούν πολυμετοχικές πλατφόρμες σε εθνικό επίπεδο για την διάδοση τεχνογνωσίας και την εύρεση λύσεων για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων. Αναγνώριση των πρωτοβουλιών που είχαν το μεγαλύτερο αντίκτυπο καθώς και προώθηση συνεργασιών σε διαφορετικούς τομείς για καλύτερο συντονισμό.
 - Βελτίωση της διαθεσιμότητας και της ποιότητας των δεδομένων για τα διατροφικά απορρίμματα, παρακολούθηση των επιπτώσεών τους στην οικονομία καθώς και βελτίωση του σχεδιασμού, της παρακολούθησης και της αξιολόγησης των διαφόρων μεθόδων μείωσης διατροφικών απορριμμάτων. Κρατικοί και ιδιωτικοί φορείς πρέπει να βελτιώσουν την καταγραφή, την συνοχή και την διαφάνεια των δεδομένων που αφορούν τα διατροφικά απορρίμματα και να δημιουργήσουν νέες μεθόδους διαχείρισης αυτών. Δημιουργία εργαλείων που θα βοηθήσουν σε μελλοντικές παρεμβάσεις καθώς και στον συντονισμό της πολιτικής των κρατών-μελών.
 - Επαγγελματική εκπαίδευση τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα για τις μεθόδους μείωσης των διατροφικών απορριμμάτων. Προσπάθεια για την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και χρήση των τελευταίων ερευνών για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών παρεμβάσεων που θα επηρεάσουν την συμπεριφορά τους. Οι εταιρείες θα πρέπει να βάλουν σαν προτεραιότητά τους την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων εκπαιδύοντας κατάλληλα το προσωπικό τους. Για την εκπαίδευση των καταναλωτών τα κράτη θα πρέπει να λάβουν υπόψη πως θα ενσωματώσουν και θα πετύχουν τους στόχους των διάφορων εκστρατειών προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα.
 - Βελτίωση της δυνατότητας για καινοτομία, κυκλική οικονομία και ευκαιριών νέων αγορών. Όλη η σχετική έρευνα και οι καινοτομίες πρέπει να αξιοποιηθούν και πρέπει να δημιουργηθούν οικονομικά όργανα που προωθούν τις διάφορες καινοτομίες γύρω από την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων. Επιπλέον πρέπει να δοθεί έμφαση και στην πρωτογενή παραγωγή προκειμένου όλα τα απορριπτόμενα υλικά και τρόφιμα να αξιοποιηθούν στην δημιουργία προϊόντων προστιθέμενης αξίας.
 - Πρέπει να δοθούν κίνητρα για την μείωση των διατροφικών απορριμμάτων. Οι κρατικοί φορείς πρέπει να λάβουν υπόψη πως θα εξασφαλίσουν ότι η μείωση των διατροφικών απορριμμάτων είναι πιο βιώσιμη οικονομικά από την τελική διαχείρισή τους. Μπορούν να δημιουργηθούν και οικονομικά όργανα που προωθούν αλλαγές στις επιχειρήσεις σχετικές με την πυραμίδα ιεράρχησης που έχει αναλυθεί και παραπάνω.
 - Εξασφάλιση οικονομικής βοήθειας προκειμένου να υλοποιηθούν αυτά τα μέτρα από τους διάφορους φορείς.

1.3 Η Κατάσταση των διατροφικών απορριμμάτων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια καταγραφή των διατροφικών απορριμμάτων με αποτέλεσμα αυτά να συγκαταλέγονται στα βιοαπόβλητα που με την σειρά τους αποτελούν ποσοστό των ΑΣΑ (αστικών στερεών απορριμμάτων) (22),(25). Σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα περίπου το 40% όλων των ΑΣΑ αποτελείται από βιοαπόβλητα (22). Επιπλέον, εκτιμήσεις δείχνουν ότι η Ελλάδα παράγει περίπου 488.000 τόνους διατροφικών απορριμμάτων ετησίως αν και δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια συστηματική μελέτη στην Ελλάδα μέχρι στιγμής (23).

Σε μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Χαροκόπειο πανεπιστήμιο (29), ζητήθηκε από 101 διαφορετικά νοικοκυριά για την περίοδο από το καλοκαίρι του 2013 ως τον χειμώνα του 2014 να ζυγίζουν καθημερινά (για δύο εβδομάδες) όλες τις κατηγορίες των τροφίμων που απορρίπτονταν καθώς και να καταγράφουν το βρώσιμο και το μη βρώσιμο κομμάτι των αποβλήτων αυτών. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε λόγω των ισχνών δεδομένων που υπάρχουν για την κατά κεφαλή παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων στην Ελλάδα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατά κεφαλή παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων υπολογίζεται στα 76,1kg/y με το βρώσιμο κομμάτι να είναι 25,9 kg/y και το μη βρώσιμο 50,2 kg/y. Τα νούμερα αυτά είναι συγκρίσιμα με τα νούμερα του ΟΗΕ για άλλα Ευρωπαϊκά κράτη. Παρατηρούμε ότι το βρώσιμο κομμάτι είναι πολύ μεγάλο ποσοστό των συνολικά παραγόμενων διατροφικών απορριμμάτων πράγμα που δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα μείωσης των παραγόμενων διατροφικών απορριμμάτων και στην Ελλάδα.

Επειδή στην Ελλάδα τα διατροφικά απορρίμματα κατατάσσονται στα βιοαπόβλητα, δεν υπάρχει κάποια νομοθεσία για αυτά πέρα από τον γενικότερο στόχο που έχει βάλει η ΕΕ για μείωση κατά το ήμισυ των διατροφικών απορριμμάτων μέχρι το 2030. Ωστόσο για τα βιοαπόβλητα η βασική νομοθεσία είναι η **ΚΥΑ 29407/3508/2002**, "Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων", η οποία ψηφίστηκε το 2002. Με βάση αυτήν την νομοθεσία ορίζεται ότι:

- Πρέπει μέχρι τις 16 Ιουλίου του 2020 το βιοαποικοδομήσιμος κλάσμα των ΑΣΑ να έχει μειωθεί στο 35% της συνολικής ποσότητας βιοαποικοδομήσιμων ΑΣΑ που είχε παραχθεί μέχρι το 1995. Αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να οδηγηθούν πάνω από 900.000 τόνοι βιοαποικοδομήσιμων σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Τα τελευταία χρόνια τα βιοαπόβλητα παρουσιάζουν αύξηση ή μένουν σταθερά με αποτέλεσμα ο παραπάνω στόχος να είναι σχεδόν σίγουρο ότι δεν θα υλοποιηθεί (23). Επιπλέον, πέρα από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διατροφικών απορριμμάτων που έχουν αναλυθεί και παραπάνω, η Ελλάδα είναι μία χώρα όπου περίπου το 20% του πληθυσμού της ζει κάτω από τα όρια της φτώχειας με δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους να σιτίζονται από την αρχιεπισκοπή ενώ το υπουργείο αγροτικής ανάπτυξης είχε μοιράσει 10.500 τόνους φαγητού σε 835.000 δικαιούχους σε όλη την Ελλάδα το 2013 (23). Δεν είναι δυνατόν λοιπόν, σε μία χώρα όπου τόσοι πολλοί άνθρωποι έχουν πρόβλημα με την επαρκή σίτιση τους να μην υπάρχει σαφής καταγραφή των διατροφικών απορριμμάτων που θα μπορούσαν να δοθούν σε όλους αυτούς. Επιπλέον, έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 8% των Ελλήνων μειώνει τα παραγόμενα διατροφικά απορρίμματα μέσω κομποστοποίησης με αποτέλεσμα η συντριπτική πλειοψηφία να πηγαίνει σε ΧΥΤΑ (26).

Με βάση τον δείκτη FSI (food sustainability index) που είναι ενδεικτικός του πόσο βιώσιμη είναι η παραγωγή τροφίμων μία χώρας αξιολογώντας την βιωσιμότητα των καλλιεργειών, τις απώλειες τροφίμων και την διαχείριση της σίτισης των πολιτών, η Ελλάδα δεν παρουσιάζει καθόλου καλά στοιχεία, ειδικότερα στον τομέα των απωλειών τροφίμων και των διατροφικών απορριμμάτων. Συγκεκριμένα, σε μία αξιολόγηση 35 εύπορων χωρών που έγινε το 2018, η Ελλάδα ήταν 28η και 27η στις απώλειες τροφίμων και στις βιώσιμες καλλιέργειες αντίστοιχα ενώ στην τελική μέτρηση του FSI που λαμβάνει υπόψη όλους τους προαναφερθέντες παράγοντες η Ελλάδα είναι 29η στις 35 εύπορες χώρες (27),(30). Αυτή η αξιολόγηση, η οποία είναι και πολύ πρόσφατη, δείχνει πόσο άσχημα διαχειρίζεται η Ελληνική κοινωνία το ζήτημα των διατροφικών απορριμμάτων καθώς και των απωλειών τροφίμων σε όλη την παραγωγική αλυσίδα τροφίμων.

Σε μία έρευνα που είχε γίνει το 2017 από το Χαροκόπειο και το ΤΕΙ Κρήτης (28) έγιναν ερωτήσεις σε πάνω από 250 ανθρώπους που αφορούσαν την παραγωγή διατροφικών απορριμμάτων. Σε μία ερώτηση στην οποία αξιολογήθηκαν οι συμμετέχοντες για το εάν γνωρίζουν την σημασία των ταμπελών “Ημερομηνία λήξης” και “Ανάλωση πριν από”, το 70% των συμμετεχόντων έκανε λάθος στην σημασία της πρώτης και το 50% στην σημασία της δεύτερης. Αυτά τα στοιχεία είναι ενδεικτικά ότι ένα σημαντικό κομμάτι του Ελληνικού πληθυσμού δεν γνωρίζει την σημασία των ταμπελών με αποτέλεσμα να πετιούνται τρόφιμα που μπορούν να καταναλωθούν.

Η πολιτική της Ελλάδας για την διαχείριση των διατροφικών απορριμμάτων περιγράφεται από το εθνικό σχέδιο πρόληψης και δημιουργίας αποβλήτων, ένα πρόγραμμα που συντάχθηκε το 2014 με ορίζοντα εξαετίας από το ΥΠΕΚΑ σε συνεργασία με το υπουργείο εσωτερικών και το υπουργείο διοικητικής ανασυγκρότησης. Η τελευταία αξιολόγηση θα γίνει στο τέλος του 2020 (31). Σύμφωνα με το σχέδιο αυτό, στα ρεύματα προτεραιότητας και στους στόχους είναι τα τρόφιμα και η προώθηση μείωσης παραγωγής τροφικών αποβλήτων λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και λόγω του υποσιτισμού χιλιάδων ανθρώπων (24),(25),(31). Βασικός στόχος είναι η μείωσή τους στα μεγάλα αστικά κέντρα σε πρώτη φάση αλλά και η μετέπειτα εφαρμογή των μέτρων σε εθνικό επίπεδο. Η μείωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μέχρι το 2020 και αφορά κυρίως τα νοικοκυριά αλλά μπορεί να επεκταθεί και σε πωλητές λιανικής, σε χώρους εστίασης, σε ξενοδοχεία κλπ. Επιπλέον, τα προγράμματα ευαισθητοποίησης απευθύνονται και στα σχολεία (31).

Τα μέτρα που προβλέπονται στοχεύουν στα τρόφιμα που είναι ασφαλή για κατανάλωση χωρίς περιορισμό ή που είναι ασφαλή για κατανάλωση αλλά δεν μπορούν να διατεθούν εύκολα στην αγορά. Οι δέσμες μέτρων απευθύνονται είτε σε επιχειρήσεις, βιομηχανίες, υγειονομικές μονάδες κλπ. είτε άμεσα στον ίδιο τον καταναλωτή (24),(25):

Μέτρα για επιχειρήσεις/ Βιομηχανίες/ υγειονομικές μονάδες

- Εκστρατείες ευαισθητοποίησης ή παροχής οικονομικής βοήθειας σε επιχειρήσεις με οικονομικά, συμβουλευτικά ή άλλα μέσα. Πολλές επιχειρήσεις δεν έχουν την δυνατότητα να συμβάλλουν στην μείωση των αποβλήτων τροφίμων με αποτέλεσμα να απαιτείται από τα αρμόδια υπουργεία και τους φορείς να ευαισθητοποιήσουν τις επιχειρήσεις για την πρόληψη τροφικών αποβλήτων καθώς και να τους παρέχουν πληροφορίες για την δυνατότητα χρήσης νέων τεχνολογιών και για την δυνατότητα εύρεσης πηγών χρηματοδότησης.
- Οι σχετικές επιχειρήσεις και βιομηχανίες τροφίμων θα πρέπει να λάβουν τα δικά τους μέτρα και τους δικούς τους στόχους πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων ή να διορθώσουν τα προϊόντα τους με βάση εθελοντικές συμφωνίες, επιτροπές καταναλωτών και παραγωγών ή με διαπραγματεύσεις ανά τομέα.

Οι εθελοντικές συμφωνίες έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα ότι αποτελούν μία ήπια μορφή μέτρων και έχουν σκοπό να δώσουν στις επιχειρήσεις κίνητρο να υιοθετήσουν περιβαλλοντικά φιλικές πρακτικές. Συνάπτονται μεταξύ της πολιτείας και των ενδιαφερόμενων εταιριών ή μεταξύ των εταιριών και των ΜΚΟ και έχουν ως στόχο την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων με γνώμονα την υιοθέτηση περιβαλλοντικά φιλικών πρακτικών. Οι εθελοντικές συμφωνίες εφαρμόζονται σε πολλά κράτη αλλά ακόμα στην Ελλάδα είναι σχεδόν ανύπαρκτες.

Μέτρα που αφορούν τους καταναλωτές

- Δημιουργία εκστρατειών που αποσκοπούν στην ευαισθητοποίηση και στην ενημέρωση των πολιτών και κάποιων ειδικών ομάδων καταναλωτών. Οι πολίτες πρέπει να ενημερώνονται για τους τρόπους μείωσης των τροφικών αποβλήτων καθώς και την υιοθέτηση ενός μοντέλου βιώσιμης κατανάλωσης. Η ενημέρωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με πληθώρα μέσων όπως περιοδικά, φυλλάδια καθώς και με την δημιουργία διαδικτυακής πλατφόρμας ενημέρωσης.
- Εφαρμογή της πρόληψης δημιουργίας τροφικών αποβλήτων στο ίδιο το σύστημα εκπαίδευσης. Εξερεύνηση των δυνατοτήτων μείωσης για κάθε σχολείο και εκπαιδευτικό ίδρυμα, εφαρμογή των μέτρων πρόληψης αποβλήτων με την συμμετοχή των ίδιων των μαθητών, των σπουδαστών και των εκπαιδευτικών. Παράλληλα, η πρόληψη των τροφικών αποβλήτων πρέπει να ενσωματωθεί σε προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης του εκπαιδευτικού προσωπικού και στην δημιουργία κατάλληλου διδακτικού υλικού για τους μαθητές και τους σπουδαστές.
- Προώθηση συμφωνιών με την βιομηχανία τροφίμων και με τους εμπόρους λιανικής για την προώθηση πληροφοριών σχετικών με την πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων και με την αγορά προϊόντων που είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Θα μπορούσαν να δημιουργηθούν κοινές εκστρατείες όλων των βιομηχανιών τροφίμων και των εμπόρων τροφίμων με στόχο την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και την υιοθέτηση μίας πιο βιώσιμης κατανάλωσης από αυτούς.
- Προώθηση δωρεών τροφίμων. Σε τοπικό επίπεδο (δήμοι) θα πρέπει να διασφαλίζεται η υποστήριξη ΜΚΟ που αναδιανέμουν τρόφιμα και περισεύματα τροφίμων.

1.4 Αξιοποίηση και διαχείριση των παραγόμενων διατροφικών απορριμμάτων

Όσο καλή πρόβλεψη και αν γίνει από την πολιτεία και τις επιχειρήσεις και όσο και αν αλλάξουν την συμπεριφορά τους οι καταναλωτές και προσανατολιστούν σε μία πιο βιώσιμη ανάπτυξη, αντικειμενικά κάποια διατροφικά απορρίμματα θα παράγονται και είναι πολύ σημαντική η διαχείριση και η αξιοποίηση τους. Αναγκαστικά στα παραγόμενα διατροφικά απορρίμματα υπάρχει και το μη βρώσιμο κομμάτι (π.χ. Φλούδες από εσπεριδοειδή, κόκαλα, τσόφλια αυγών, φλούδες από κρεμμύδια και σκόρδα κλπ) δηλαδή το κομμάτι που δεν είναι βρώσιμο και αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό των συνολικών διατροφικών απορριμμάτων. Μέχρι στιγμής οι βασικοί τρόποι που υπάρχουν για την αξιοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων είναι η χρήση τους ως ζωοτροφή (36),(41),(42), η κομποστοποίηση (32),(40), η θερμική επεξεργασία μαζί με άλλα αστικά στερεά απορρίμματα (33),(37),(38), η αναερόβια χώνευση(37),(39) και η διάθεσή τους σε ΧΥΤΑ. Η τελευταία μέθοδος είναι και η βασική για όλες τις αναπτυσσόμενες οικονομίες και εκτιμάται ότι το 90% της συνολικής παγκόσμιας ποσότητας διατροφικών απορριμμάτων που καταλήγει σε ΧΥΤΑ οφείλεται σε αυτές (33),(36). Η μέθοδος αυτή είναι και η λιγότερο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον λόγω του γεγονότος ότι τα διατροφικά απορρίμματα είναι ταχεία βιοαποδομήσιμα απόβλητα, παράγουν μεγάλες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου όπως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα (ειδικά σε παλιότερους ΧΥΤΑ όλη αυτή η ποσότητα κατέληγε στην ατμόσφαιρα ενώ στους σύγχρονους τουλάχιστον είτε συλλέγεται είτε καίγεται) και μπορούν επίσης να αποτελέσουν εστίες μόλυνσης (33). Για αυτό και επειδή αυτή η μέθοδος δεν είναι βιώσιμη θα εξεταστούν άλλες μέθοδοι διαχείρισης των διατροφικών απορριμμάτων. Επιπλέον, υπάρχει και μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των FW σε βιοδιυλιστήρια (43),(44) για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας όλες βιοκαύσιμα (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, βιοαέριο κ.α.), VFA κλπ)(33),(44). Παρακάτω παρουσιάζονται όλες αυτές οι μέθοδοι:

- Κομποστοποίηση

Η κομποστοποίηση είναι μία περίπλοκη βιοχημική διεργασία παρουσία οξυγόνου η οποία αποδομεί ένα κομμάτι του οργανικού κλάσματος των οργανικών αποβλήτων και τα σταθεροποιεί επαρκώς με αποτέλεσμα να παράγεται ένα τελικό προϊόν που είναι απολύτως κατάλληλο ως εδαφοβελτιωτικό. Επιπλέον, παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Στην κομποστοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα πάσης φύσεως διατροφικά απορρίμματα, στάχτη καυσόξυλων, χαρτί κουζίνας και χαρτοπετσέτες, μικρά φύλλα και μικρά κλαδιά καθώς και πριονίδι και όλα αυτά σταθεροποιούνται από μικροοργανισμούς στην θερμόφιλη περιοχή (50-60 βαθμοί Κελσίου) με αποτέλεσμα να παράγεται ένα τελικό προϊόν τύπου χούμους που είναι πολύ καλό εδαφοβελτιωτικό. Η απαιτούμενη θερμοκρασία διασφαλίζεται από βιολογικά παραγόμενη θερμότητα και απαιτούνται ειδικές συνθήκες υγρασίας και αερισμού προκειμένου να εξασφαλιστούν οι θερμόφιλες συνθήκες (40),(46).

Η κομποστοποίηση μπορεί να γίνει είτε κεντρικά σε βιομηχανικό επίπεδο, με διαλογή και διαχωρισμό των υπό κομπόστ υλικών από το κύριο ρεύμα των οργανικών αποβλήτων, είτε σε οικιακό επίπεδο. Η οικιακή κομποστοποίηση είναι ένα πάρα πολύ απλό σύστημα στο οποίο ένα νοικοκυριό συγκεντρώνει τα απόβλητά του που μπορούν να κομποστοποιηθούν σε ειδικά διαμορφωμένους κάδους κομποστοποίησης πολυαιθυλενίου και στην συνέχεια το φυσικά παραγόμενο κομπόστ χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό του κήπου (32). Η βιομηχανική κομποστοποίηση είναι πιο περίπλοκη και αναλύεται περισσότερο παρακάτω.

Την βιοχημική διεργασία την υλοποιούν δύο είδη μικροοργανισμών: τα βακτήρια και οι μύκητες. Τα βακτήρια είναι υπεύθυνα για την διάσπαση των λιπιδίων και των πρωτεϊνών σε υψηλές θερμοκρασίες ενώ οι μύκητες διασπούν μόρια όπως η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (46).

Κατά την πρώτη φάση της διεργασίας τα θερμόφιλα βακτήρια αποδομούν μέρος των οργανικών συστατικών με ταχύ ρυθμό με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται σημαντικά η θερμοκρασία στο εσωτερικό του υλικού και να φτάνει μέχρι και τους 70 βαθμούς Κελσίου. Η ένταση και η διάρκεια αυτής της φάσης εξαρτάται από την διάθεση εύκολα αποικοδομήσιμων συστατικών όπως τα σάκχαρα. Σε αυτήν την φάση οι μικροοργανισμοί που κυριαρχούν είναι τα βακτήρια και αποδομούν σχεδόν πλήρως όλες τις αζωτούχες ενώσεις με αποτέλεσμα να παράγονται σημαντικές ποσότητες αμμωνίας και να αυξάνεται πολύ το pH(40),(46).

Μετά την κατανάλωση των εύκολα αποικοδομήσιμων οργανικών ενώσεων, αρχίζει και διασπάται η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη από θερμόφιλους μύκητες ενώ με την σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας αρχίζει και η διάσπαση της λιγνίνης από τους λιγνολυτικούς μύκητες. Στην συνέχεια, με την σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, αρχίζουν και επικρατούν οι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί (ως επί το πλείστον μύκητες) και διασπούν την κυτταρίνη που έχει απομείνει από το θερμόφιλο στάδιο. Η κατανάλωση αυτή είναι αρκετά βραδεία με αποτέλεσμα η παραγόμενη θερμότητα να μην επαρκεί για την διατήρηση της θερμοκρασίας. Κατά την διάρκεια της μεσόφιλης φάσης το υλικό αποκτά άλλη δομή και χαρακτηρίζεται ως άωρο κομπόστ διότι περιέχει μεγάλες ποσότητες τοξινών και είναι ακατάλληλο για χρήση(40),(46).

Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας είναι η ωρίμανση του άωρου κομπόστ, μία βραδεία διαδικασία η οποία μπορεί να διαρκέσει μήνες. Η φάση αυτή έχει την μικρότερη ένταση από τα

τρία στάδια και πραγματοποιείται από μικτή μικροχλωρίδα της μεσόφιλης περιοχής(40),(46).

Σε σχέση με άλλα απόβλητα του οργανικού κλάσματος των στερεών αποβλήτων, τα διατροφικά απορρίμματα έχουν κάποια σημαντικά φυσικοχημικά πλεονεκτήματα όπως είναι το υψηλό οργανικό περιεχόμενο, υψηλή αναλογία οργανικού/τέφρας, όχι πολύ συνεκτική δομή, υψηλή συγκέντρωση αζώτου, χαμηλή αναλογία C/N και υψηλή συγκέντρωση εύκολα αποδομήσιμων οργανικών ενώσεων πράγμα που τα καθιστά ένα καλό υπόστρωμα για την κομποστοποίηση. Υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για την κομποστοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων με σταθερές και υψηλά αποδοτικές μεθόδους (40).

Αξίζει να σημειωθεί ότι συχνά χρησιμοποιούνται πρόσθετα προκειμένου να αυξηθεί το πορώδες του υλικού και να βελτιωθεί η σύσταση του υλικού όσον αφορά την υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά προκειμένου να ευνοηθεί η ανάπτυξη των κατάλληλων μικροοργανισμών. Επίσης συχνά προστίθεται και διογκωτικό υλικό για την δομική στήριξη και την αύξηση του πορώδους του υλικού (46).

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία είναι η θερμοκρασία, η υγρασία του υποστρώματος, το pH, ο ρυθμός αερισμού καθώς, η αναλογία C/N και η σύσταση του υποστρώματος. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά (40),(46):

- Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες της συνολικής διεργασίας καθώς καθορίζει την ταχύτητα, τον τύπο των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν καθώς και τον βαθμό στον οποίο θα προχωρήσει η οξείδωση. Η δραστηριότητα των μικροοργανισμών αυξάνει σημαντικά την θερμοκρασία, συχνά πάνω από 70 βαθμούς Κελσίου, με αποτέλεσμα να γίνεται ανεπιθύμητη καθώς αρχίζει και μειώνεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Μία θερμοκρασία 55-65 βαθμών Κελσίου είναι επιθυμητή στο αρχικό στάδιο καθώς αποστειρώνει το υλικό από παθογόνους μικροοργανισμούς (έχει παρατηρηθεί ότι σε διάστημα 3-4 ημερών σε αυτές τις θερμοκρασίες οι παθογόνοι μικροοργανισμοί καταστρέφονται πλήρως) και επιταχύνει την οξείδωση του ενώ στο μεσόφιλο στάδιο είναι επιθυμητές θερμοκρασίες 35-45.

- pH

Το pH είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας καθώς καθορίζει σε σημαντικό βαθμό ποιους μικροοργανισμούς θα αναπτυχθούν. Τα βακτήρια δραστηριοποιούνται σε pH ουδέτερο ενώ οι μύκητες που διασπούν τις κυτταρίνες δραστηριοποιούνται σε όξινο περιβάλλον με $pH < 5.5$. Το pH θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-7,5 προκειμένου να λειτουργεί βέλτιστα η διεργασία. Κατά την κομποστοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων παράγεται αμμωνία λόγω της διάσπασης των νιτρικών ενώσεων καθώς και λιπαρά οξέα μικρού μοριακού βάρους με αποτέλεσμα η αμμωνία να αυξάνει το pH και τα οξέα να το μειώνουν. Είναι σημαντικό να διατηρείται το pH σε ένα συγκεκριμένο εύρος καθώς και το πολύ χαμηλό και το πολύ υψηλό επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη και την δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Για αυτό και πολλές φορές χρησιμοποιούνται πρόσθετα (διαλύματα, στάχτη κλπ.) προκειμένου να διατηρηθεί το pH στο επιθυμητό εύρος.

- Υγρασία

Η υγρασία πρέπει να υπάρχει στο υλικό καθώς βοηθάει σημαντικά στην μεταφορά των θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για τον μεταβολισμό των μικροοργανισμών. Σε πολύ υψηλή

υγρασία ο αερισμός του υλικού δυσχεραίνει με αποτέλεσμα να παρεμποδίζονται οι αερόβιες διεργασίες και να δίνουν χώρο στις αναερόβιες που είναι ανεπιθύμητες. Επιπλέον, η πολύ χαμηλή υγρασία είναι επίσης ανεπιθύμητη καθώς αναστέλλεται η μικροβιακή δραστηριότητα.

Η βέλτιστη υγρασία καθορίζεται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υλικού που είναι για κομποστοποίηση. Για αυτό και η υγρασία πρέπει να κυμαίνεται στο 45-55% ενώ ο λόγος του νερού προς τα αποδομήσιμα στερεά πρέπει να είναι μικρότερος από 10. Τα διατροφικά απορρίμματα για παράδειγμα έχουν πολύ μεγάλο ποσοστό υγρασίας με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα στον χρόνο διάρκειας της κομποστοποίησης και στην αποδοτικότητα εάν αυτά δεν υποστούν κάποια προεπεξεργασία.

- Αναλογία C/N

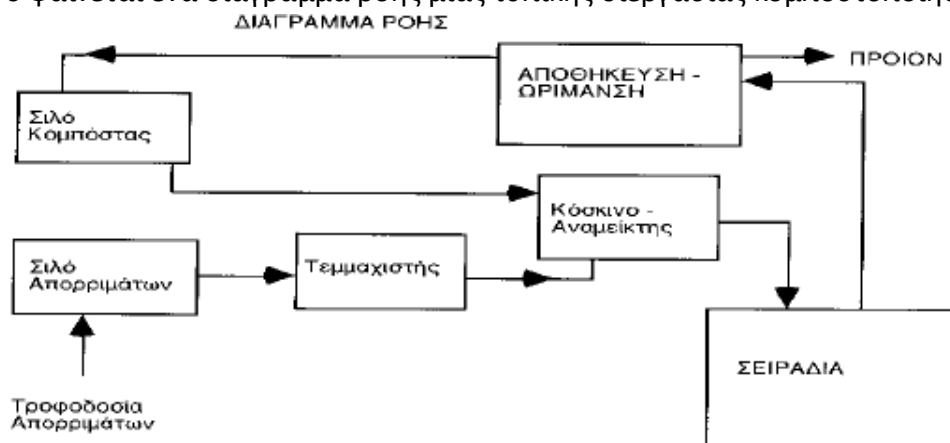
Εκτιμάται ότι η αναλογία άνθρακα και αζώτου πρέπει να είναι γύρω στο 30:1 αν και πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι η κομποστοποίηση μπορεί να γίνει και με πολύ χαμηλότερη αναλογία (<25:1) αλλά θα διαρκέσει περισσότερο χρόνο.

- Ρυθμός αερισμού

Επειδή η κομποστοποίηση αποτελεί μία αερόβια βιοχημική διεργασία είναι απαραίτητη η παροχή οξυγόνου για τον μεταβολισμό των οργανικών ενώσεων από τους μικροοργανισμούς. Ο αερισμός επιτελεί διπλό ρόλο καθώς καλύπτει τις ανάγκες των μικροοργανισμών σε οξυγόνο ενώ ταυτόχρονα ξηραίνει το μίγμα σε περίπτωση που έχει υψηλότερη υγρασία από την επιθυμητή. Επιπλέον, ο αερισμός επηρεάζει τον ρυθμό διάσπασης του υποστρώματος καθώς και το θερμοκρασιακό εύρος.

Ο αερισμός μπορεί να είναι φυσικός σε περίπτωση ανοικτών συστημάτων κομποστοποίησης ή τεχνητός σε περίπτωση κλειστών συστημάτων. Στην περίπτωση του φυσικού απλώς αναδεύεται το υλικό ανά τακτά διαστήματα προκειμένου να εξασφαλιστεί από την ατμόσφαιρα το απαραίτητο οξυγόνο ενώ κατά τον τεχνητό η παροχή αέρα ρυθμίζεται. Υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για την βέλτιστη παροχή αέρα ανάλογα και με το υπόστρωμα που είναι υπό επεξεργασία.

Στο σχήμα 6 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής μίας τυπικής διεργασίας κομποστοποίησης.



Σχήμα 6: Διάγραμμα ροής μίας τυπικής διεργασίας κομποστοποίησης (46)

- Χρήση των διατροφικών απορριμμάτων ως ζωτροφή

Τα διατροφικά απορρίμματα γενικά χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των ζωικών τροφών σε διάφορες χώρες όπως στην Νότια Κορέα και στην Ιαπωνία λόγω αύξησης των τιμών των παραδοσιακών ζωοτροφών και λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές (36). Επειδή συχνά περιέχουν κρέας, είναι αναγκαίο να γίνεται μία θερμική προεπεξεργασία πριν δοθούν για κατανάλωση σε ζώα καθώς μπορεί να περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς και είναι απαραίτητη η αποστείρωση τους. Στις προαναφερθείσες χώρες, καθώς και σε πολλές άλλες, υπάρχουν πολύ αυστηρές νομοθεσίες για την θερμική επεξεργασία, την αποθήκευση και την διανομή των διατροφικών απορριμμάτων που προορίζονται για κατανάλωση από τα ζώα (36),(41).

Λόγω μίας επιδημίας που ξεκίνησε στην Αγγλία το 2001 από έναν αγρότη που έδινε στους χοίρους του διατροφικά απορρίμματα μη αποστειρωμένα, η Ε.Ε. Έχει απαγορεύσει την ανακύκλωση των διατροφικών απορριμμάτων ως υποκατάστατο των ζωικών τροφών. Επιτρέπεται μόνο η αξιοποίηση πολύ συγκεκριμένων τύπων διατροφικών απορριμμάτων τα οποία είναι αποδεδειγμένο ότι δεν φέρουν κανέναν κίνδυνο μόλυνσης αλλά αυτή η ποσότητα είναι πάρα πολύ μικρή σε σχέση με τα συνολικά παραγόμενα διατροφικά απορρίμματα της Ευρώπης. Ενδεικτικά, από τα περίπου 88 εκατομμύρια τόνους διατροφικών απορριμμάτων που παράγει η ΕΕ ετησίως μόνο 3 εκατομμύρια ανακυκλώνονται για την παραγωγή ζωοτροφών (36). Παρόμοιες επιδημίες που αργότερα σχετίστηκαν με τα κατανάλωση μη επεξεργασμένων διατροφικών απορριμμάτων στα ζώα παρατηρήθηκαν και στις ΗΠΑ με αποτέλεσμα και εκεί να υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στην χρήση των διατροφικών απορριμμάτων για αυτόν τον σκοπό. Στους περιορισμούς αυτούς αναφέρεται ρητά ότι πρέπει όλα τα διατροφικά απορρίμματα, ειδικά αυτά που προέρχονται καθ' οιονδήποτε τρόπο από ζώα, να επεξεργάζονται θερμικά προκειμένου να αποστειρωθούν (41).

Πέρα από τις ανησυχίες που προκαλούν οι πιθανές μολύνσεις που θα μπορούσαν να παραχθούν από την χρήση των διατροφικών απορριμμάτων σε ζωοτροφές, άλλοι παράγοντες που δυσχεραίνουν αυτήν την μέθοδο αξιοποίησης είναι η υψηλή υγρασία τους η οποία έχει σαν αποτέλεσμα το ότι χαλάνε πολύ γρήγορα, το ότι δεν είναι πάντα διαθέσιμα σε συχνή βάση και ότι δεν έχουν όλα τα διατροφικά απορρίμματα που παράγονται τις ίδιες θρεπτικές αξίες με αποτέλεσμα να μην είναι ενιαία τα χαρακτηριστικά τους και να μην είναι σίγουρο εάν επαρκούν κάθε φορά για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ζώων (42).

Στην Ιαπωνία, όπου το 35,9% των διατροφικών απορριμμάτων ανακυκλώνεται ως ζωτροφή, παράγεται ένα είδος ζωοτροφής που ονομάζεται Ecofeed από ανακυκλούμενα διατροφικά απορρίμματα καθώς και από υπολείμματα τροφών. Πιο αναλυτικά οι πηγές διατροφικών απορριμμάτων που αξιοποιούνται για την παραγωγή Ecofeed είναι οι παρακάτω (42):

- παραπροϊόντα προερχόμενα από την βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων όπως πίτουρο ρυζιού και κριθαριού, υπολείμματα σιταριού, κατακάθι ρυζόκρασου, μπύρας και σόγιας, στερεά υπολείμματα χυμών, ψίχουλα ψωμιού κλπ.
- Πλεόνασμα τροφών που τελικά δεν αξιοποιήθηκαν στην βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων όπως σόγια, ρύζι, ψωμί, ζυμαρικά, λαχανικά, χυμοί κλπ.
- Περισσεύματα τροφών από νοικοκυριά, εταιρείες catering και εταιρείες εστίασης.

Είναι σημαντικό τα υλικά που αποτελούν την πρώτη ύλη του Ecofeed να μεταφέρονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και να φυλάσσονται σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους προκειμένου

να προφυλαχθούν από τρωκτικά, πτηνά και πιθανή μόλυνση από παθογόνα βακτήρια. Οχήματα με ενσωματωμένα συστήματα ψύξης πρέπει να χρησιμοποιούνται για την μεταφορά τους προκειμένου να μην οξειδωθεί και να μην αλλοιωθεί η πρώτη ύλη (42).

Στην συνέχεια, εφόσον η πρώτη ύλη έχει μεταφερθεί με βάση τις προηγούμενες προδιαγραφές, οι παραγωγοί του ecofeed θα πρέπει να τηρούν τις εξής προδιαγραφές (42):

- Θέρμανση των πρώτων υλών στους 70 βαθμούς Κελσίου για 30 λεπτά ή στους 80 για τρία σε περίπτωση που οι πρώτες ύλες περιέχουν μη μαγειρεμένο κρέας.
- Θέρμανση και των πρώτων υλών ακόμα και αν δεν περιέχουν ωμό κρέας για αποφυγή μολύνσεων από παθογόνους μικροοργανισμούς.
- Αποφυγή χρήσης πρώτων υλών που περιέχουν πρωτεΐνες προερχόμενες από θηλαστικά, πουλερικά ή ψάρια για την παραγωγή Ecofeed που προορίζεται για κατανάλωση από μηρυκαστικά.

Τέλος, για την χρήση του ecofeed μετά την παραγωγή του υπάρχουν οι εξής προδιαγραφές (42):

- Αποφυγή χρήσης ecofeed που περιέχει πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης για κατανάλωση από μηρυκαστικά.
- Χρήση της τροφής όσο το δυνατόν πιο γρήγορα από την άφιξή της
- Χρήση της σωστής ποσότητας ecofeed ανάλογα και με την σύστασή της.
- Θέρμανση του ecofeed που περιέχει ωμό κρέας στους 70 βαθμούς Κελσίου για 30 λεπτά ή στους 80 για τρία.
- Θέρμανση και του ecofeed που δεν περιέχει ωμό κρέας

Το παράδειγμα του ecofeed είναι ένα καλό παράδειγμα αξιοποίησης των διατροφικών απορριμμάτων για την δημιουργία ζωοτροφών και θα μπορούσε να υιοθετηθεί κάτι αντίστοιχο, με συγκεκριμένες προδιαγραφές, και από τα δυτικά κράτη καθώς πολλά κράτη της Ασίας καταφέρνουν και μειώνουν σημαντικά τα διατροφικά απορρίμματα κατά αυτόν τον τρόπο.

● Αναερόβια χώνευση

Η Αναερόβια χώνευση είναι μία βιοχημική διεργασία στην οποία μικροοργανισμοί απουσία οξυγόνου μετατρέπουν οργανικό υπόστρωμα σε βιοαέριο (ανανεώσιμο βιοκαύσιμο που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλα στοιχεία και ενώσεις όπως άζωτο, οξυγόνο και υδρόθειο σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις) (37),(39).

Η διεργασία αυτή έχει τα εξής μεγάλα πλεονεκτήματα (37),(39):

- Παράγει μία ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, το βιοαέριο, μέσα από το οργανικό κλάσμα των στερεών αποβλήτων
- Μειώνεται πολύ ο όγκος των αποβλήτων
- Η παραγόμενη σταθεροποιημένη λάσπη είναι καλό εδαφοβελτιωτικό
- Είναι μία διεργασία πολύ φιλική προς το περιβάλλον

Το πολύ μεγάλο μειονέκτημα, μεταξύ άλλων, είναι η χρονική διάρκεια της διεργασίας καθώς διαρκεί από 20-40 ημέρες (39). Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται πιο αναλυτικά η συνολική διεργασία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της οπότε το παρόν κεφάλαιο θα εστιάσει περισσότερο στη χρήση των διατροφικών απορριμμάτων ως βασικό υπόστρωμα στην αναερόβια χώνευση.

Τα διατροφικά απορρίμματα αποτελούνται ως επί το πλείστον από οργανικές ενώσεις με αποτέλεσμα, σε πρώτη φάση να αποτελούν ένα καλό υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση καθώς παρέχουν την δυνατότητα ανάπτυξης των κατάλληλων μικροοργανισμών λόγω του υψηλού οργανικού περιεχομένου. Επιπλέον, λόγω της υψηλής τους υγρασίας που κυμαίνεται από 70-80%, αποτελούν ένα υπόστρωμα που είναι εύκολα βιοαποδομήσιμο. Το βασικό πρόβλημα όμως είναι η μικρή αναλογία C/N που παρουσιάζεται στα διατροφικά απορρίμματα λόγω υψηλής συγκέντρωσης αζώτου η οποία αυξάνει σημαντικά την παραγόμενη αμμωνία κατά την πορεία της αναερόβιας χώνευσης δημιουργώντας πιθανώς τοξικές συνθήκες για τους μικροοργανισμούς (37),(39).

Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης αζώτου είναι σημαντικό τα διατροφικά απορρίμματα να αναμειχθούν με άλλα υποστρώματα που παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη αναλογία C/N προκειμένου να ελαττωθεί η παραγόμενη αμμωνία. Συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί ότι η ανάμιξη διατροφικών απορριμμάτων με πρωτογενή ιλύ μπορεί να αυξήσει σημαντικά την τελική παραγωγή του μεθανίου (από 40-50% σε σχέση με την χώνευση μόνο των διατροφικών απορριμμάτων). Σε μία άλλη έρευνα πραγματοποιήθηκε αναερόβια χώνευση διατροφικών απορριμμάτων προερχόμενων από σφαγεία, απόβλητα φρούτων και λαχανικών μαζί με ζωική κοπριά και παρατηρήθηκε επίσης μία καλή παραγωγή μεθανίου βιοαερίου (0,3 m³/kg VS). Αυτές οι έρευνες δείχνουν τις δυνατότητες που υπάρχουν για ταυτόχρονη χώνευση διατροφικών απορριμμάτων με άλλα υποστρώματα στην παραγωγή βιοαερίου καθώς και την δυνατότητα να χωνευθούν πολλά υποστρώματα μαζί που από μόνα τους θα ήταν αδύνατο να αποτελέσουν υπόστρωμα στην αναερόβια χώνευση (37).

Όπως και σε άλλα οργανικά υποστρώματα έτσι και με τα διατροφικά απορρίμματα η προεπεξεργασία βελτιώνει σημαντικά την αποδοτικότητα της διεργασίας καθώς όπως θα αναλυθεί και στο κεφάλαιο των VFA η υδρόλυση είναι το περιοριστικό στάδιο της αναερόβιας χώνευσης οπότε χρειάζεται να οργανικά μακρομόρια να διασπαστούν σε μικρότερα μόρια για να επιταχυνθεί αυτό το στάδιο. Συγκεκριμένα για αυτό το υπόστρωμα έχουν μελετηθεί η μηχανική άλεση, η χρήση της τεχνικής πίεσης-αποσυμπίεσης, η χημική προεπεξεργασία με την χρήση διαλύματος υδροχλωρίου κ.α. Διαπιστώθηκε ότι πολλές τεχνικές αυξάνουν σημαντικά την αποδοτικότητα της διεργασίας. Υπάρχει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον για την εύρεση της βέλτιστης τεχνικής προεπεξεργασίας των διατροφικών απορριμμάτων (39).

Προκειμένου να μπορεί η αναερόβια χώνευση των διατροφικών απορριμμάτων να είναι βιώσιμη και οικονομικά θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα ομοιόμορφα κατανομημένο σύστημα μονάδων αναερόβιας χώνευσης για να αποφευχθούν τα υψηλά κόστη μεταφοράς βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, θα πρέπει να δημιουργηθούν μεγάλης κλίμακας εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενα στο παραγόμενο αέριο της αναερόβιας χώνευσης και είναι πολύ σημαντική η δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης και συγκεντροποίησης των διατροφικών απορριμμάτων καθώς αυτά έχουν πολλές διαφορετικές πηγές (σχολεία, εστιατόρια, νοικοκυριά, βιομηχανίες τροφίμων κ.α.) (39).

- Θερμική επεξεργασία των διατροφικών απορριμμάτων

Η θερμική επεξεργασία των στερεών αποβλήτων και κατά συνέπεια και των διατροφικών απορριμμάτων μαζί με αυτά συνήθως γίνεται με τρεις διαφορετικές μεθόδους: την καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση (37),(38),(45). Παρακάτω θα παρουσιασθούν συνοπτικά και οι

τρεις μέθοδοι και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα διατροφικά απορρίμματα ως υπόστρωμα:

➤ Καύση στερεών αποβλήτων

Κατά την καύση τα στερεά απόβλητα καίγονται με το οξυγόνο του παρεχόμενου αέρα με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε θερμότητα και διάφορα αέρια. Η θερμότητα στην συνέχεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την εξάτμιση νερού και την λειτουργία τουρμπίνων ατμού για την παραγωγή ενέργειας ή μπορεί να αξιοποιηθεί σε εναλλάκτες θερμότητας της βιομηχανίας (37),(38),(45).

Πολύ σημαντική για την ενεργειακή απόδοση της καύσης είναι η σύσταση των στερεών αποβλήτων και συγκεκριμένα η θερμογόνο δύναμή τους. Σημαντική για την αύξηση της θερμογόνου δύναμης είναι η κυτταρίνη η οποία συναντάται σε όλα τα προϊόντα χαρτιού. Μία τυπική θερμογόνο δύναμη των απορριμμάτων είναι 2500 kcal/kg και αυτή μειώνεται σημαντικά με την παρουσία υγρασίας (45).

Η καύση έχει το πολύ μεγάλο πλεονέκτημα ότι μειώνει τον όγκο των στερεών κατά 85-95%, πράγμα που είναι πολύ σημαντικό καθώς η μείωση του όγκου είναι βασικό πρόβλημα στην διαχείριση απορριμμάτων, ενώ ταυτόχρονα παράγει και θερμότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Το μεγάλο μειονέκτημα είναι η αέρια ρύπανση που προκαλείται καθώς τα καυσαέρια των απορριμμάτων περιέχουν διοξίνες και βαριά μέταλλα πράγμα που τα καθιστά τοξικά. Επιπλέον, η υπολειπόμενη στάχτη χαίρει δύσκολης διαχείρισης.

Οι πιο σύγχρονες μονάδες καύσης απορριμμάτων όμως επιτελούν πολύ καλύτερη διαχείριση των αέριων ρύπων τους λόγω βελτίωσης της τεχνολογίας με αποτέλεσμα να υιοθετείται αυτή η μέθοδος από όλο και περισσότερες χώρες καθώς αρχίζει και αποτελεί μία βιώσιμη περιβαλλοντικά και ανανεώσιμη μέθοδο παραγωγής ενέργειας που βοηθάει στην ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα (37),(38), . Απαραίτητος εξοπλισμός για την διαχείριση των αερίων ρύπων είναι η χρήση της αμμωνίας για τον έλεγχο των οξειδίων του αζώτου, ξηρό φίλτρο για έλεγχο των οξειδίων του θείου και των όξινων αερίων καθώς και σακκόφιλτρα για την διαχείριση των μικροσωματιδίων που προκύπτουν από την καύση (45).

Για τα διατροφικά απορρίμματα συγκεκριμένα η έρευνα που αφορά την καύση τους για την παραγωγή ενέργειας είναι πολύ περιορισμένη καθώς τα διατροφικά απορρίμματα από μόνα τους δεν αποτελούν ένα αποδοτικό καύσιμο λόγω της υψηλής υγρασίας τους και της ύπαρξης πολλών μη εύφλεκτων ουσιών που μειώνουν σημαντικά την θερμογόνο δύναμή τους (37). Συγκεκριμένα, τα υπολείμματα τροφών παρουσιάζουν ένα ενεργειακό περιεχόμενο της τάξεως των 4.650 KJ/kg όταν τα χαρτιά και τα πλαστικά παρουσιάζουν 17.000 KJ/kg και 32.000 KJ/kg αντίστοιχα (45). Για αυτό και τα διατροφικά απορρίμματα καίγονται μαζί με τα υπόλοιπα κλάσματα των στερεών αποβλήτων καθώς η καύση αποκλειστικά των διατροφικών απορριμμάτων φαίνεται ότι είναι μη βιώσιμη (37).

➤ Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι η θερμική διάσπαση οργανικών ενώσεων απουσία οξυγόνου και σε υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 250-1000 βαθμούς Κελσίου ανάλογα με το απόβλητο αλλά

συνήθως σε θερμοκρασίες άνω των 600 (37),(38),(45). Κατά την πυρόλυση τα ΑΣΑ μπορούν να μετατραπούν σε μία σειρά χρήσιμων προϊόντων που βρίσκονται στην αέρια, στην υγρή και στην στερεή φάση ενώ το περιβάλλον δεν επιβαρύνεται με σωστή εφαρμογή της μεθόδου (37),(45). Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανομή των τριών φάσεων ή κλασμάτων επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η διεργασία. Παρακάτω αναλύεται συνοπτικά τι περιέχει η κάθε φάση των προϊόντων της πυρόλυσης (45):

- Η αέρια φάση περιέχει κυρίως υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και πληθώρα αερίων η σύσταση των οποίων εξαρτάται από την σύσταση των ΑΣΑ.
- Η υγρή φάση περιέχει πίσσα ή λάδι, ακετόνη, μεθανόλη και διάφορους περίπλοκους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες. Υπάρχει η δυνατότητα το παραγόμενο λάδι με περαιτέρω επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί ως συνθετικό καύσιμο λάδι ως υποκατάστατο του συμβατικού.
- Το στερεό υπόλειμμα αποτελείται ως επί το πλείστον από καθαρό άνθρακα καθώς και από τα διάφορα αδρανή που περιείχαν τα ΑΣΑ.

Κατά την πυρόλυση των διατροφικών απορριμμάτων παράγονται κυρίως syngas (αέριο που αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα), λάδι και στερεό υπόλειμμα αποτελούμενο κυρίως από άνθρακα(37). Επειδή η πυρόλυση είναι μία διεργασία που απαιτεί οργανικό υπόστρωμα και επειδή είναι φιλική προς το περιβάλλον εφόσον τηρηθούν οι κανονισμοί που πρέπει, μπορεί να αποτελέσει μία καλή μέθοδο επεξεργασίας των διατροφικών απορριμμάτων καθώς παράγει και προϊόντα που αξιοποιούνται ενεργειακά και είναι ανανεώσιμα. Ωστόσο, δεν υπάρχουν μέθοδοι πυρόλυσης αποκλειστικά για τα διατροφικά απορρίμματα αλλά μόνο γενικά για τα ΑΣΑ. Το ίδιο ισχύει και για την αεριοποίηση που θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο (37).

➤ Αεριοποίηση

Στην διεργασία αυτή, οργανικά υλικά καίγονται μερικώς με ποσότητα αέρα μικρότερη από την στοιχειομετρικά αναγκαία ποσότητα για πλήρη καύση (37),(45). Η θερμοκρασία συνήθως είναι άνω των 600 βαθμών Κελσίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παράγεται αέριο syngas πλούσιο σε υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο (παρόμοιο με αυτό που παράγεται στην πυρόλυση), έλαια παρόμοια με αυτά της πυρόλυσης καθώς και στερεό υπόλειμμα πλούσιο σε άνθρακα και στα ανόργανα που περιέχουν τα ΑΣΑ. Το παραγόμενο αέριο μπορεί στην συνέχεια να καεί άμεσα για την παραγωγή ενέργειας ή να αξιοποιηθεί ως καύσιμο σε κινητήρες αερίων. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σύνθεση χημικών (π.χ. μεθανόλη) και άλλων καυσίμων (37),(45). Οι πέντε βασικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την αεριοποίηση είναι οι παρακάτω(45):

- 1) $C + O_2 \Rightarrow CO_2$ (εξώθερμη)
- 2) $C + H_2O \Rightarrow CO + H_2$ (ενδόθερμη)
- 3) $C + CO_2 \Rightarrow 2CO$ (ενδόθερμη)
- 4) $C + 2H_2 \Rightarrow CH_4$ (εξώθερμη)
- 5) $CO + H_2O \Rightarrow CO_2 + H_2$ (εξώθερμη)

Η αεριοποίηση έχει τα πλεονεκτήματα ότι έχει πιο προσιτό κόστος λειτουργίας, έχει την

δυνατότητα να συνδυάσει τις συνθήκες λειτουργίας με κατάλληλους τύπους αντιδραστήρα προκειμένου να παράξει syngas συγκεκριμένων προδιαγραφών που μπορεί να αξιοποιηθεί με πληθώρα τρόπων και επίσης παρουσιάζει πλεονεκτήματα που αφορούν λιγότερες εκπομπές διοξινών σε σχέση με τις μονάδες απλής καύσης των ΑΣΑ. Ωστόσο έχει το βασικό μειονέκτημα ότι χρειάζεται μία σημαντική προεπεξεργασία της πρώτης ύλης καθώς η διεργασία είναι πολύ ευαίσθητη σε παράγοντες όπως είναι η υγρασία, η περιεκτικότητα σε στάχτη, η πυκνότητα και το μέγεθος των σωματιδίων, η θερμογόνος δύναμη κ.α. Με αποτέλεσμα στις μονάδες αεριοποίησης να χρησιμοποιούνται υποστρώματα που ήδη έχουν υποστεί μία βασική προεπεξεργασία και όχι τα απορρίμματα ως έχουν (37).

- Βιοδιυλιστήρια και παραγωγή χρήσιμων χημικών και προϊόντων

Στα βιοδιυλιστήρια η βιομάζα αποτελεί την πρώτη ύλη για την δημιουργία διαφόρων προϊόντων και χημικών προστιθέμενης αξίας όπως ακριβώς στα συμβατικά διυλιστήρια χρησιμοποιείται το αργό πετρέλαιο ως πρώτη ύλη και από την απόσταξη του προκύπτουν τα διάφορα κλάσματά του. Πιο συγκεκριμένα, τα βιοδιυλιστήρια έχουν περιγραφεί ως η παραγωγική μονάδα που διυλίζει βιομάζα σε βιομηχανικό επίπεδο για την παραγωγή χημικών, υλικών, καυσίμων και διαφόρων προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Η βιομάζα και τα οργανικά απόβλητα (συμπεριλαμβανομένων των διατροφικών απορριμμάτων) συλλέγονται και αξιοποιούνται ως ανανεώσιμες πρώτες ύλες και μετατρέπονται σε χρήσιμα προϊόντα με την χρήση βιώσιμων και περιβαλλοντικά φιλικών μεθόδων σε βιομηχανική κλίμακα (34),(43),(44).

Με την χρήση κατάλληλης τεχνολογίας βασισμένης στα βιοδιυλιστήρια, τα διατροφικά απορρίμματα είναι ένα πολύ καλό υπόστρωμα για τα βιοδιυλιστήρια λόγω του ότι σε πολλές χώρες υπάρχουν ήδη υποδομές και τεχνογνωσία για την συλλογή, την διανομή και την κατάλληλη επεξεργασία των τροφίμων για την παραγωγή προϊόντων (34). Επιπλέον, λόγω της σύστασής τους (υδατάνθρακες, λιπίδια, πρωτεΐνες, έλαια) αποτελούν μία πολύ καλή πηγή άνθρακα και ενέργειας ενώ έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα ότι παράγονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες και από πολλές διαφορετικές βιομηχανίες και τομείς (34). Τέλος, με τα βιοδιυλιστήρια παρέχεται η δυνατότητα και για πλήρη αξιοποίηση των διατροφικών απορριμμάτων, στα πλαίσια και της πολιτικής zero waste της Ε.Ε., ενώ πραγματοποιείται κι ένα σημαντικό βήμα για την υλοποίηση μία κυκλικής οικονομίας λόγω των καυσίμων και των χρήσιμων προϊόντων που παράγονται από την εκμετάλλευση ενός σημαντικού ποσοστού των ΑΣΑ (34),(43),(44).

Είναι απαραίτητο όμως να γίνει μία εκτίμηση της ποσότητας των διατροφικών απορριμμάτων που παράγονται ανά περιοχή προκειμένου να αξιολογηθεί η βιωσιμότητα της δημιουργίας μίας μονάδας επεξεργασίας διατροφικών απορριμμάτων. Η πιθανή κερδοφορία από τα τελικά παραγόμενα προϊόντα θα είναι και το βασικό κίνητρο για την προσέλκυση επενδύσεων στον τομέα της βιοδιύλισης των διατροφικών απορριμμάτων και όχι σε πιο συμβατικούς τομείς αξιοποίησης. Έχει να διαδραματίσει πολύ σημαντικό ρόλο όμως και η πολιτεία καθώς πρέπει να δημιουργηθούν νομοθεσίες που θα στηρίζουν και θα προωθούν τέτοιου είδους προϊόντα καθώς και θα καθορίζουν συγκεκριμένες προδιαγραφές που θα αφορούν την υγεία, την ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος (34),(43).

Τα διατροφικά απορρίμματα μπορούν να αξιοποιηθούν με δύο βασικές οδούς σε επίπεδο βιοδιυλιστηρίου: είτε για την απομόνωση συστατικών υψηλής αξίας που θα αξιοποιηθούν στην συνέχεια ως θρεπτικά συστατικά ή ως πρώτες ύλες στην φαρμακευτική βιομηχανία είτε για την

μετατροπή τους σε χημικά, υλικά ή βιοκαύσιμα με την χρήση κατάλληλων χημικών και βιολογικών διεργασιών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα προϊόντα που μπορούν να παραχθούν ή να απομονωθούν από τα διατροφικά απορρίμματα (34),(44):

- Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα αποτελούν μία ευρεία κατηγορία προϊόντων που περιλαμβάνει το βιοντίζελ, την βιοαιθανόλη, την βιοβουτανόλη, τους βιοαιθέρες, το βιοαέριο, το βιοϋδρογόνο και το προαναφερθέν syngas (34),(44). Επειδή τα διατροφικά απορρίμματα έχουν πολλές πηγές προέλευσης, μπορούν να έχουν πολύ διαφορετική σύσταση ανάλογα με την προέλευσή τους και να περιλαμβάνουν λιπίδια, υδατάνθρακες και πρωτεΐνες. Με την παραγωγή τους, η οποία βασίζεται πάντα σε ανανεώσιμες πηγές, η κοινωνία ανεξαρτητοποιείται όλο και περισσότερο από την χρήση ορυκτών καυσίμων που είναι μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και σαφώς πιο ρυπογόνα από τα βιοκαύσιμα. Η μετατροπή των διατροφικών απορριμμάτων σε βιοκαύσιμα γίνεται με τις παρακάτω διεργασίες (34):

- ➔ Μετεστεροποίηση των ελαίων και των λιπιδίων για την παραγωγή βιοντίζελ
- ➔ Ζύμωση των υδατανθράκων για την παραγωγή βιοαιθανόλης ή βιοβουτανόλης
- ➔ Αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου
- ➔ Σκοτεινή ζύμωση για την παραγωγή βιοϋδρογόνου
- ➔ Πυρόλυση ή αεριοποίηση για την παραγωγή syngas

Το βιοντίζελ είναι ένα μίγμα εστέρων (κυρίως μεθυλοεστέρων και αιθυλοεστέρων) που προέρχονται μέσω της διαδικασίας της μετεστεροποίησης των λιπαρών που είναι φυσικής προέλευσης όπως είναι τα διάφορα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη. Μέσω της μετεστεροποίησης μειώνεται σημαντικά και το ιξώδες των εστέρων με αποτέλεσμα να γίνονται κατάλληλοι για την χρήση τους ως καύσιμο σε κινητήρες που λειτουργούν με τον κύκλο του ντίζελ (34),(44). Έλαια όπως το σογιέλαιο, κραμβέλαιο, φοινικέλαιο και διάφορα απορριπτόμενα έλαια μαγειρικής έχουν μετατραπεί με επιτυχία σε βιοντίζελ (44). Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα τα τηγανισμένα έλαια να επεξεργαστούν μαζί με ζωικά λίπη προερχόμενα από σφαγεία και βιομηχανίες δέρματος προκειμένου να δημιουργηθεί μία φθηνή πρώτη ύλη λιπιδίων που είναι απολύτως κατάλληλη για την παραγωγή βιοντίζελ (34). Για αυτό και πρέπει να δημιουργηθούν δομές για την ανακύκλωση χρησιμοποιημένων ελαίων από διάφορες επιχειρήσεις και βιομηχανίες καθώς αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ.

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται βιομάζα φυτικής προέλευσης εδώ και δεκαετίες. Κατά την βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς χρησιμοποιούταν ως πρώτη ύλη βιομάζα προερχόμενη από καλλιέργειες φυτών με υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα ή σε άμυλο όπως το καλαμπόκι, το ζαχαροκάλαμο, το σιτάρι κ.α. (34) Επειδή όμως η πρώτη ύλη προερχόταν από καλλιέργειες για την παραγωγή βρώσιμων υλικών δημιουργήθηκε έντονος ηθικός προβληματισμός για τον ανταγωνισμό των βιοκαυσίμων με τα τρόφιμα και την επαρκή σίτιση των ανθρώπων (34),(47). Για αυτόν κυρίως τον λόγο αναπτύχθηκε και η βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς η οποία βασίζεται σε χρήση λιγνοκυτταρινικών υλικών όπως είναι τα διάφορα λιγνοκυτταρινούχα φυτά (κυτταρινούχο σόργο, κενάφ, αγριαγκινάρα, μίσχανθος, καλάμι) καθώς και διάφορες πηγές ξύλου (ευκάλυπτος, ψευδοακακκία κ.α.). Οι λιγνοκυτταρινούχες πηγές έχουν το καλό ότι δεν είναι βρώσιμες με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται το δίλημμα δημιουργίας βιοκαυσίμων έναντι επαρκούς σίτισης των ανθρώπων (47).

Η βασική ιδέα για την βιαιθανόλη δεύτερης γενιάς είναι η ενζυμική υδρόλυση της λιγνοκυτταρίνης προκειμένου να απελευθερωθούν τα απαραίτητα σάκχαρα και να πραγματοποιηθεί η ζύμωση για την δημιουργία της αιθανόλης. Είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία τέτοιων πηγών βιομάζας καθώς οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επεξεργαστούν την κυτταρίνη από μόνοι τους προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ζύμωση. Τα διατροφικά απορρίμματα και τα απόβλητα καλλιέργειών είναι υποστρώματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή αιθανόλης καθώς τα μεν περιέχουν σάκχαρα και τα δε περιέχουν μεγάλες ποσότητες κυτταρίνης (34),(44),(47).

Το υδρογόνο είναι ένα καύσιμο που μπορεί να βοηθήσει πολύ στο να μειωθεί η παγκόσμια παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και να μειωθεί η κατανάλωση υδρογονανθράκων ως πηγή ενέργειας. Μία μέθοδος που παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον είναι η σκοτεινή ζύμωση στην οποία οργανικά βιοδιασπώμενα υποστρώματα μετατρέπονται σε VFA, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο υπό αναερόβιες συνθήκες και υπό την απουσία φωτός. Είναι μία διεργασία η τεχνολογία της οποίας είναι γνωστή άλλα παρουσιάζει τα εξής μεγάλα προβλήματα: μεγάλη ευαισθησία και αστάθεια της διεργασίας, μικρή αποδοτικότητα στην παραγωγή υδρογόνου, μικρή καθαρότητα του παραγόμενου αερίου και πραγματοποίηση πολλών παράλληλων μεταβολικών δρόμων που δεν οδηγούν στο επιθυμητό τελικό προϊόν. Ωστόσο, είναι μία διεργασία για την οποία υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον και έχουν γίνει πολλές έρευνες πάνω στους παράγοντες που την επηρεάζουν και στον βαθμό που την επηρεάζουν. Σε πολλές από αυτές τις έρευνες το υπόστρωμα ήταν διατροφικά απορρίμματα καθώς είναι βιοαποδομήσιμα, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες συνεπώς είναι κατάλληλα για αυτήν την διεργασία (34),(46).

- Ένζυμα

Η προεπεξεργασία λιγνοκυτταρινικών διατροφικών απορριμμάτων και η ενζυματική υδρόλυση τους είναι πολύ σημαντικά για την παραγωγή ενζύμων από διατροφικά απορρίμματα. Η βιομηχανική παραγωγή χρήσιμων ενζύμων είναι ιδιαίτερος ακριβή καθώς ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του κόστους αφορά στην αγορά κατάλληλων υποστρωμάτων. Για αυτό και γίνονται πολλές έρευνες για την χρήση των λιγνοκυτταρινικών διατροφικών απορριμμάτων ως υπόστρωμα για την παραγωγή ενζύμων καθώς αποτελούν μία πολύ φθηνή και ευρέως διαθέσιμη πρώτη ύλη και είναι και κατάλληλη και η σύστασή τους λόγω της δυνατότητας για εκμετάλλευση των σακχάρων της κυτταρίνης για την ανάπτυξη των κατάλληλων μικροοργανισμών. Ωστόσο, αν και τα διατροφικών απορριμμάτων μειώνουν σημαντικά το κόστος υλικών καθώς είναι μία φθηνή πρώτη ύλη, αυξάνουν σημαντικά το κόστος της απομόνωσης των ενζύμων καθώς είναι πολύ ετερογενή και δυσχεραίνουν την απομόνωσή τους (44).

- Βιοπολυμερή (PHA)

Τα PHA είναι γραμμικοί πολυεστέρες που συντίθενται από διάφορα είδη βακτηρίων μέσω της μικροβιακής τους ζύμωσης και αποτελούν μία βασική κατηγορία βιοπολυμερών. Έχουν το μεγάλο θετικό ότι παρουσιάζουν καλές μηχανικές αντοχές, σχεδόν μηδαμινή διαπερατότητα από οξυγόνο και υγρασία ενώ επειδή είναι βιοδιασπώμενα δεν αποτελούν ρύπο καθώς διασπώνται εύκολα και γρήγορα σε αντίθεση με τα πολυμερή της πετροχημικής βιομηχανίας (34),(44). Στο κεφάλαιο των VFA αναλύεται πιο αναλυτικά η παραγωγή τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Η χρήση διατροφικών απορριμμάτων προερχόμενων από την αγροτική παραγωγή ή την βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων μπορεί να αποτελέσει μία καλή επιλογή έναντι της χρήσης των μέχρι τώρα εκκαθαρισμένων σακχάρων όπως γλυκόζη και σακχαρόζη καθώς αποτελούν ένα σημαντικό πιο φθηνό υπόστρωμα με αποτέλεσμα να μειώνουν το κόστος παραγωγής των ΡΗΑ. Σιρόπι ζάχαρης από ζαχαροκάλαμο και παντζάρι, οροί γάλακτος από την βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων, πεταμένα φρούτα και λαχανικά, απορροές από ελαιοτριβεία και από βιομηχανίες χαρτιού, όλα τα διατροφικά απορρίμματα πλούσια σε κυτταρίνη κ.α. Θα μπορούσαν να αποτελέσουν καλά και φθηνά υποστρώματα για την παραγωγή ΡΗΑ και να αντικαταστήσουν τα σημερινά υποστρώματα που είναι πολύ ακριβά (34),(44).

- Απομόνωση χρήσιμων ουσιών και συστατικών

Η απομόνωση χημικών προστιθέμενης αξίας είναι ένας σημαντικός δρόμος επεξεργασίας των διατροφικών απορριμμάτων και κερδίζει συνεχώς έδαφος. Συστατικά όπως τα αντιοξειδωτικά, οι φυτικές ίνες, οι φαινόλες, οι βιταμίνες, τα καροτενοειδή, η πηκτίνη κ.α. Βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε πολλά τρόφιμα και αποτελούν προϊόντα μεγάλου εμπορικού ενδιαφέροντος. Παραδείγματα όπως η χρήση του πίτουρου ρυζιού ως πηγή πρωτεϊνών, βιταμινών και ιχνοστοιχείων, η απομόνωση φαινολών από φλούδες και υπολείμματα εσπεριδοειδών, η απομόνωση πηκτίνης από διατροφικά απορρίμματα φυτικής προέλευσης δείχνουν τις δυνατότητες που υπάρχουν για την απομόνωση χρήσιμων χημικών από διατροφικά απορρίμματα (34),(44).

Η δημιουργία γαλακτικού οξέος από τα διατροφικά απορρίμματα έχει κερδίσει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της ιδιότητάς του να επεξεργάζεται οργανικά απόβλητα με ταυτόχρονη απομόνωση χρήσιμων προϊόντων. Η βιομηχανία γαλακτοκομικών παράγει μεγάλες ποσότητες ορού γάλακτος που αποτελεί ένα καλό υπόστρωμα για την παραγωγή γαλακτικού οξέος λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε λακτόζη, πρωτεΐνες, λίπη, βιταμίνες κ.α., που βοηθούν σημαντικά την ανάπτυξη των κατάλληλων μικροοργανισμών (34).

Η χιτοζάνη είναι ένα πολυμερές το οποίο είναι βιοσυμβατό, βιοδιασπώμενο και έχει και αντιμικροβιακή δράση. Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών είναι ένα πολυμερές που είναι περιζήτητο στην φαρμακευτική βιομηχανία, στην βιομηχανία τροφίμων, σε διάφορες χημικές βιομηχανίες και στην βιομηχανία υφασμάτων. Επιπλέον η υψηλή πυκνότητα κατιόντων και οι μεγάλες πολυμερικές αλυσίδες της χιτοζάνης την κάνουν ιδανική και για την επεξεργασία νερού. Αξιοποιούνται ευρέως τα κελύφη γαρίδων για την εξαγωγή χιτοζάνης και υπάρχει έρευνα για την ανάπτυξη νέων πιο αποδοτικών μεθόδων (44).

Τέλος, το κολλαγόνο είναι μία πρωτεΐνη που απαντάται σε πληθώρα πολυκύτταρων μικροοργανισμών και χρησιμοποιείται ευρέως στην βιομηχανία καλλυντικών, στην φαρμακευτική βιομηχανία, στην βιομηχανία δερμάτων και σε διάφορες ιατρικές χρήσεις. Διατροφικά απορρίμματα ζωικής προέλευσης χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την απομόνωση αυτής της πολύ χρήσιμης πρωτεΐνης (44).

Κεφάλαιο 2: Ξήρανση Αποβλήτων

2.1 Εισαγωγή

Ξήρανση καλείται η φυσική διεργασία κατά την οποία αφαιρείται ένα σημαντικό ποσοστό της υγρασίας ενός προϊόντος με τη χρήση ενέργειας και αέρα προκειμένου να απορροφηθεί η υγρασία. Είναι μία διεργασία που απαρτίζεται από δύο φυσικά φαινόμενα: μεταφορά θερμότητας από μία πηγή παραγωγής θερμότητας στο υπό ξήρανση προϊόν και στη συνέχεια μεταφορά μάζας της υγρασίας από το εσωτερικό του προϊόντος στην επιφάνειά του και ακολούθως από την επιφάνεια στο περιβάλλον. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου η τάση ατμών της υγρασίας του υλικού γίνει ίση με την τάση ατμών της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Ο ρυθμός εξάτμισης υγρασίας από το προϊόν στην ατμόσφαιρα φτάνει μετά από ένα χρονικό διάστημα σε ισορροπία με το ρυθμό απορρόφησης υγρασίας από την ατμόσφαιρα και η υγρασία στην οποία γίνεται αυτό λέγεται υγρασία ισορροπίας (48),(49),(50),(51),(52).

Με επαρκή θερμότητα, η υγρασία της επιφάνειας αποκτά επαρκή ενέργεια για να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα και η υγρασία στο εσωτερικό του υλικού έρχεται να αναπληρώσει την υγρασία της επιφάνειας μέσω μεταφοράς μάζας. Η μεταφορά αυτή εξαρτάται από την φύση του υλικού και από την υγρασία που έχει, για αυτό και η πορεία της ξήρανσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το εκάστοτε υπό ξήρανση προϊόν. Στόχος ενός ξηραντήρα είναι να παρέχει μεγαλύτερη θερμότητα στο προϊόν από αυτήν που κανονικά υπάρχει υπό φυσιολογικές συνθήκες προκειμένου να αυξηθεί σημαντικά η τάση ατμών της υγρασίας του προϊόντος και να μειωθεί σημαντικά η υγρασία του περιβάλλοντος αέρα, αυξάνοντας τη δυνατότητά του για μεταφορά υγρασίας και κατά συνέπεια μειώνοντας σημαντικά το σημείο της υγρασίας ισορροπίας (56).

Η μεταφορά μάζας της υγρασίας εντός του υλικού μέχρι και την επιφάνεια του γίνεται κυρίως με τον μηχανισμό της μοριακής διάχυσης. Συνεπώς, ο ρυθμός κίνησης της υγρασίας εκφράζεται με τον νόμο του Fick ο οποίος φαίνεται παρακάτω:

$$\frac{dX}{d\theta} = D_L \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

όπου X η υγρασία εκφρασμένη σε kg υγρού ανά kg ξηρού στερεού, θ είναι ο χρόνος, x το πάχος του υλικού και D_L ο συντελεστής διάχυσης της υγρής φάσης για κίνηση μέσα από στερεή φάση (107).

Ο νόμος του Fick από μόνος του δεν μπορεί να αξιοποιηθεί και απαιτείται κάποια ολοκλήρωση λαμβάνοντας τις κατάλληλες παραδοχές. Θεωρώντας ότι το D_L παραμένει σταθερό και δεν εξαρτάται από την υγρασία και κάνοντας την παραδοχή ότι η ξήρανση πραγματοποιείται μόνο από την μία πλευρά της πλάκας ενώ οι πλευρές και η βάση της παραμένουν μονωμένες, μπορεί να πραγματοποιηθεί η ολοκλήρωση της εξίσωσης Fick:

$$\frac{\bar{X} - \bar{X}e}{\bar{X}c - \bar{X}e} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ e^{-D_L \theta \left(\frac{\pi}{l}\right)^2} + \frac{1}{9} e^{-9D_L \theta \left(\frac{\pi}{l}\right)^2} + \frac{1}{25} e^{-25D_L \theta \left(\frac{\pi}{l}\right)^2} + \dots \right\}$$

όπου l είναι η απόσταση από το κέντρο μέχρι την επιφάνεια της πλάκας όταν αυτή ξηραίνεται και από τις δύο μεριές ή το ολικό πάχος όταν ξηραίνεται μόνο από την μία, X_e η υγρασία ισορροπίας

του υλικού σε kg υγρού/kg ξηρού στερεού, Xc η υγρασία στην αρχή της περιόδου κατά την διάρκεια της οποίας ο ρυθμός ξήρανσης καθορίζεται από την διάχυση εκφρασμένη στις ίδιες μονάδες. Η εξίσωση είναι η απλούστερη που προκύπτει από την ολοκλήρωση της εξίσωσης Fick (107).

Πολλά προϊόντα, όπως για παράδειγμα τα φρούτα και τα λαχανικά, έχουν πολύ μεγάλο ποσοστό υγρασίας με αποτέλεσμα η αποθήκευσή τους να καθίσταται δύσκολη λόγω της γρήγορης αλλοίωσης τους. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η χρήση μεθόδων ξήρανσης για αυτά τα προϊόντα, σε συνδυασμό με αξιόπιστα συστήματα αποθήκευσης, προκειμένου να μπορούν τα προϊόντα να αποθηκευτούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καθώς μέσω της ξήρανσης μειώνεται η πιθανότητα ανάπτυξης μικροοργανισμών και αναστέλλονται ή καθυστερούν και οι ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις αυξάνοντας σημαντικά τον χρόνο ζωής των προϊόντων (48),(49).

Η ξήρανση είναι επίσης ιδιαίτερως σημαντική για το σύνολο των τροφικών και των αγροτικών προϊόντων καθώς αυτά συνήθως έχουν ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται από 25-80%. Με την επαρκή μείωση της υγρασίας αυτά τα προϊόντα καθίστανται κατάλληλα για μεγαλύτερους χρόνους αποθήκευσης καθώς παρεμποδίζεται σημαντικά η δράση των ενζύμων των βακτηρίων και των μυκήτων. Επιπλέον, με πλήρη αφαίρεση της υγρασίας μπορούν να παραχθούν αποξηραμένα τρόφιμα τα οποία χαλάνε πολύ δύσκολα και με την προσθήκη νερού αποκτάνε τις παλιές τους ιδιότητες πριν την ξήρανση (56).

Για την ξήρανση πολλές φορές ακολουθείται το μοντέλο της ξήρανσης λεπτού φιλμ. Σύμφωνα με αυτό, η ξήρανση ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης, δηλαδή η υγρασία περιγράφεται από την παρακάτω διαφορική εξίσωση πρώτης τάξης (51),(52):

$$dM/dt = -k(M - M_e).$$

Στην παραπάνω εξίσωση το M αναπαριστά την υγρασία, το Me την υγρασία ισορροπίας και το k την σταθερά ξήρανσης η οποία προσδιορίζεται πειραματικά. Από την επίλυση της διαφορικής καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση (50),(51),(52):

$$(M - M_e)/(M_0 - M_e) = C \exp(-kt).$$

Η εξίσωση αυτή αναφέρεται πολλές φορές στην βιβλιογραφία ως εξίσωση Hustrulid και Flikke και εφαρμόζεται σε πορώδη, υγροσκοπικά υλικά που ξηραίνονται με ελαττόμενο ρυθμό ξήρανσης. Βασική παραδοχή αυτής της εξίσωσης είναι ότι τα υλικά είναι αρκετά λεπτά οπότε οι συνθήκες ξήρανσης είναι ομοιογενείς κατά μήκος όλου του υλικού. Μία άλλη εξίσωση που επίσης εφαρμόζεται συχνά με την ίδια παραδοχή είναι η εξίσωση Page, η οποία είναι καθαρά εμπειρική και έχει καταφέρει να προβλέψει καλύτερα την ξήρανση αμυλούχων συστατικών σε αντίθεση με την προηγούμενη εξίσωση που αποτύγχανε (50),(51):

$$(M - M_e)/(M_0 - M_e) = \exp(-kt^N)$$

Τέλος, μία απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης διάχυσης του Fick χρησιμοποιείται πολύ συχνά και εφαρμόζεται για μεγάλους χρόνους ξήρανσης (50):

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-ct/L^2)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι εξισώσεις είναι ενδεικτικές και δεν εφαρμόζονται σε όλα τα υπό ξήρανση προϊόντα. Το κάθε προϊόν έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και χρήζει ειδικής μελέτης για την εύρεση του κατάλληλου κινητικού μοντέλου. Προκειμένου να εξαχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η εύρεση των διαφορικών εξισώσεων μεταφοράς θερμότητας και μάζας στο εσωτερικό του υλικού και στη διεπιφάνεια με το μέσο ξήρανσης (π.χ. θερμός αέρας). Μεγέθη όπως η διάχυση της υγρασίας, η θερμική αγωγιμότητα, η πυκνότητα και οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας είναι απαραίτητα για την εξαγωγή ενός συγκεκριμένου μοντέλου ξήρανσης (51).

Για την εύρεση της σταθεράς ξήρανσης έχουν προταθεί απλά μοντέλα όπως το παρακάτω (52):

$$k = k_0 d_p^{k_1} T^{k_2} V^{k_3} Rh^{k_4}$$

Στην παραπάνω εξίσωση το k_0 είναι σταθερά (1/h ή 1/min), k_1 - k_4 είναι αδιάστατες σταθερές, d_p είναι η διάμετρος των σωματιδίων, Rh είναι η σχετική υγρασία του αέρα, V είναι η ταχύτητα του αέρα και T είναι η θερμοκρασία ξηρού βολβού. Τέλος η εξίσωση GAB είναι ένα αρκετά πετυχημένο μοντέλο για την εύρεση της υγρασίας ισορροπίας (52):

$$X_e = b_1 \exp(b_2/T) (a_w / (1 - a_w))^{b_3}$$

όπου a_w η ενεργότητα του νερού, b_1 - b_3 εμπειρικές παράμετροι και T είναι η θερμοκρασία.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται 10 εξισώσεις, 9 εκθετικές και μία πολυωνυμική, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της ξήρανσης. Αξίζει να σημειωθεί πως η αποτελεσματικότητα της εκάστοτε εξίσωσης στην περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της ξήρανσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το υπό ξήρανση υπόστρωμα καθώς και από τις συνθήκες ξήρανσης.

Πίνακας 2.1: Εξισώσεις που περιγράφουν την χρονική εξέλιξη της ξήρανσης (80)

Lewis	$XR = \exp(-kt)$
Page	$XR = \exp(-kt^n)$
Modified page	$XR = \exp(-(kt)^n)$
Henderson and Pabis	$XR = a \cdot \exp(-kt)$
Logarithmic	$XR = a \cdot \exp(-kt) + c$
Wang and Singh	$XR = 1 + at + bt^2$
Two term	$XR = a \cdot \exp(-k_0t) + c \cdot \exp(-k_1t)$
Approach of diffusion	$XR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a) \cdot \exp(-kbt)$
Midilli et al.	$XR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$
Two term Gaussian	$XR = a \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-b}{c}\right)^2\right] + d \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-e}{f}\right)^2\right]$

Στις εξισώσεις του πίνακα 1 η υγρασία XR υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$XR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$$

Στην παραπάνω σχέση το X_t είναι η υγρασία του υλικού σε δεδομένο χρόνο, X_e είναι η υγρασία ισορροπίας και X_0 είναι η αρχική υγρασία του υλικού.

2.2 Μέθοδοι ξήρανσης αποβλήτων

➤ Βιοξήρανση

Η βιοξήρανση είναι μία διεργασία η οποία βασίζεται στην ενέργεια που παράγεται κατά την αερόβια χώνευση συγκεκριμένων οργανικών υποστρωμάτων από μικροοργανισμούς και η οποία αξιοποιείται για την ξήρανση των αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί την φυσικά παραγόμενη θερμότητα που προκύπτει κατά την αποσύνθεση οργανικών υποστρωμάτων από μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες, ακτινομύκητες και διάφοροι μικροοργανισμοί που αποδομούν την κυτταρίνη). Πιο συγκεκριμένα, η αερόβια χώνευση είναι μία εξώθερμη διαδικασία με αποτέλεσμα το υπόστρωμα να φτάνει πολύ γρήγορα στη θερμόφιλη περιοχή με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται ικανοποιητική ξήρανση του προϊόντος. Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία καλή επιλογή για την προεπεξεργασία οργανικών αποβλήτων με πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις υγρασίας (53),(54),(55).

Η ενέργεια που παράγεται κατά τη χώνευση συνήθως επαρκεί για την ικανοποιητική ξήρανση των αποβλήτων και καλύπτει τις απώλειες που υπάρχουν λόγω συναγωγής, θερμικής ακτινοβολίας, θέρμανσης του αέρα και όποιας απορρόφησης θερμότητας από την υγρή απορροή. Το εύρος της θερμοκρασίας προκειμένου να επιτευχθεί κατάλληλη ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι 40-70 βαθμούς Κελσίου (53).

Στη βιοξήρανση, ο βασικός μηχανισμός που λειτουργεί είναι η εξάτμιση μέσω συναγωγής και η απαραίτητη θερμότητα παρέχεται από την αερόβια χώνευση ενώ η συναγωγή πραγματοποιείται μέσω της κατάλληλης παροχής αέρα. Η ελάττωση της συνολικής υγρασίας των αποβλήτων πραγματοποιείται με τα εξής δύο βήματα: εξάτμιση των μορίων του νερού από την επιφάνεια του υποστρώματος στον περιβάλλοντα αέρα και απομάκρυνση αυτού με τη χρήση κατάλληλου συστήματος παροχής αέρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα μικρό κομμάτι της υγρασίας καταλήγει στον πυθμένα του αντιδραστήρα ως απορροή νερού (55).

Η βιοξήρανση είναι μία φθηνή και περιβαλλοντικά φιλική μέθοδος καθώς έχει πολύ μικρή απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τις περισσότερες μεθόδους ξήρανσης ενώ δεν έχει καμία απαίτηση σε ατμό. Για αυτόν τον λόγο έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος σε μία σειρά Ευρωπαϊκών χωρών όπως η Ιταλία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ισπανία, η Πολωνία, η Ελλάδα, η Ρουμανία και σε χώρες της Ασίας όπως η Κίνα, η Ινδία και η Μαλαισία. Οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει αφορούν σε πειραματικό στάδιο ή σε εργαστηριακό περιβάλλον ενώ υπάρχει και κάποια περιορισμένη βιβλιογραφία για το βιομηχανικό στάδιο (53),(55).

Η σωστή επεξεργασία του αέρα της βιοξήρανσης παίζει σημαντικό ρόλο λόγω αναγκαιότητας διαχείρισης ανεπιθύμητων οσμών καθώς και για την ανάκτηση αζώτου και θερμότητας. Ειδικά η διαχείριση των οσμών μπορεί να οδηγήσει σε πρόστιμα από την πολιτεία και αποτελεί ένα αναγκαίο έξοδο σε εγκαταστάσεις βιοξήρανσης. Οι Winkler et al. έδειξαν ότι με τη χρήση βιοφίλτρου οι οσμές μειώνονται κατά 80% και κατά συνέπεια καλύπτουν τα κριτήρια υγιεινής που θέτει το Ολλανδικό κράτος (55).

Η βιοξήρανση αποτελεί και μία επιλογή στα συστήματα μηχανικής-βιολογικής επεξεργασίας αποβλήτων (mechanical-biological treatment ή MBT). Σε έναν τυπικό βιοξηραντήρα που χρησιμοποιείται σε μια μονάδα MBT, εισάγονται στερεά αστικά απόβλητα σε κονιορτοποιημένη μορφή με αποτέλεσμα να παράγονται βιοξηραμένα απόβλητα που επιδέχονται περαιτέρω μηχανική και βιολογική επεξεργασία. Σε αυτές τις μονάδες εκμεταλλεύονται την παραγόμενη θερμότητα από την αναερόβια χώνευση των οργανικών αποβλήτων μαζί με επαρκή αερισμό προκειμένου να ξηραθούν όλα τα απόβλητα που εισάγονται. Το εξαγόμενο προϊόν είναι καλό ως καύσιμο (solid residual fuel ή SRF) καθώς είναι επαρκώς σταθεροποιημένο και έχει αφαιρεθεί ένα σημαντικό κομμάτι της προϋπάρχουσας υγρασίας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα εναλλακτικό καύσιμο και προχωράει ένα βήμα παραπέρα η ανεξαρτητοποίηση από τους υδρογονάνθρακες. Ο γενικότερος στόχος της βιοξήρανσης σε τέτοιες εγκαταστάσεις είναι η προεπεξεργασία στερεών αποβλήτων σε σχετικά μικρό χρόνο παραμονής προκειμένου να παραχθεί ένα καύσιμο SRF με χαμηλή υγρασία, εύκολα διαχειρίσιμο, κατάλληλο για περαιτέρω επεξεργασία και με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο καθώς μέσω της βιοξήρανσης το ενεργειακό περιεχόμενο του υποστρώματος δεν θα μεταβληθεί (54).

➤ Ξήρανση με τη χρήση ηλιακής ενέργειας (solar drying)

Η ξήρανση με τη χρήση του ηλίου αποτελεί μία μέθοδο ξήρανσης που χρησιμοποιείται από την ανθρωπότητα για χιλιετίες καθώς ο ήλιος αποτελούσε τη μοναδική πηγή ενέργειας για το μεγαλύτερο κομμάτι της ανθρώπινης ιστορίας. Είναι μία εναλλακτική μέθοδος ξήρανσης κατά την οποία αξιοποιείται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και είναι αποτελεσματική για προϊόντα όπως φρούτα, λαχανικά, σιτηρά και άλλα προϊόντα όπως ξύλο κλπ. Είναι μία απολύτως φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος καθώς αξιοποιείται η ανανεώσιμη ηλιακή ενέργεια και είναι πολύ χαμηλές και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (56),(57).

Στην ηλιακή ξήρανση, η θερμότητα του ηλίου χρησιμοποιείται ως αποκλειστική ή συμπληρωματική πηγή θερμότητας. Η ροή του αέρα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω φυσικής ή ακόμα και τεχνητής συναγωγής. Η διεργασία μπορεί να περιλαμβάνει την διέλευση προθερμασμένου αέρα μέσα από το υπό ξήρανση προϊόν, την άμεση έκθεση του προϊόντος στο περιβάλλον και τη χρήση της φυσικής ροής του αέρα ή χρήση και των δύο. Η μεταφορά της θερμότητας συνήθως γίνεται και με τους τρεις τρόπους καθώς πραγματοποιείται συναγωγή λόγω της μεταφοράς θερμότητας του κινούμενου θερμασμένου αέρα στο προϊόν, πραγματοποιείται αγωγή λόγω ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας πάνω στην οποία βρίσκεται το προϊόν και του προϊόντος και τέλος το προϊόν απορροφά και ένα κομμάτι της ηλιακής ακτινοβολίας. Με αυτούς τους τρεις τρόπους η θερμοκρασία του προϊόντος ανεβαίνει στον βαθμό που απαιτείται (57).

Η ηλιακή ξήρανση είναι μία μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε χώρες που έχουν έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες όλο τον χρόνο. Πολλές φορές τέτοιες χώρες εντάσσονται στις αναπτυσσόμενες οικονομίες με αποτέλεσμα ένα μεγάλο κομμάτι της παραγωγής να χάνεται στα αρχικά στάδια της παραγωγικής αλυσίδας τροφίμων λόγω έλλειψης υποδομών. Με αυτή τη μέθοδο, παρέχεται η δυνατότητα σε αυτές τις χώρες να ξηραίνουν τα προϊόντα τους αυξάνοντας σημαντικά τον χρόνο ζωής τους χωρίς να είναι εξαρτημένες από καύσιμα και ενέργεια που πολλές φορές είναι πολύ δύσκολο να προμηθευτούν (56),(57).

Πολύ συχνά τα προϊόντα που υφίστανται ηλιακή ξήρανση πρέπει να υποστούν κάποια

προεπεξεργασία. Το κάθε προϊόν έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και χρήζει ειδικής διαχείρισης. Κάποιες μέθοδοι προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν το καλό πλύσιμο προϊόντων για την αφαίρεση των περισσότερων μικροοργανισμών, το ξεφλούδισμα ή το κόψιμο σε μικρές φέτες ανάλογα με το προϊόν, το βράσιμο σε νερό ή την έκθεση σε ατμό για την καταστροφή των ενζύμων και τη χημική επεξεργασία με διάφορα χημικά διαλύματα όπως θειούχο νάτριο (56).

Τα προϊόντα τροφίμων και τα σιτηρά είναι πολύ ευαίσθητα στις συνθήκες ξήρανσης. Για αυτό και κατά την ηλιακή ξήρανση, όπως και στις υπόλοιπες μεθόδους, πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα προκειμένου να μη χάνουν αυτά τα προϊόντα χαρακτηριστικά όπως είναι το χρώμα, το άρωμα και η γεύση τους. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία παίζουν καθοριστικό ρόλο και στη συγκεκριμένη μέθοδο ξήρανσης, όπως και σε άλλες (56).

Οι επιμέρους μέθοδοι της ηλιακής ξήρανσης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: άμεση ηλιακή ξήρανση και έμμεση ηλιακή ξήρανση. Παρακάτω θα αναλυθούν οι δύο αυτές κατηγορίες.

- Άμεση ηλιακή ξήρανση

Στην άμεση ηλιακή ξήρανση το προϊόν έρχεται απευθείας σε επαφή με την ηλιακή θερμότητα σε ανοιχτό χώρο. Είναι η πιο παλιά διαδικασία ξήρανσης και πραγματοποιείται συναγωγή με φυσικό τρόπο λόγω της φυσικής κίνησης του αέρα. Οι θερμοκρασίες συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 40-70°C και μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 80°C. Η ξήρανση αυτή μπορεί να γίνει είτε με άμεση έκθεση του προς θέρμανση προϊόντος στον ήλιο είτε με τη χρήση κάποιου διάφανου καλύμματος προκειμένου να προστατευθούν μερικώς τα προϊόντα από φυσικά φαινόμενα όπως η βροχή. (56)

Για την καλύτερη έκθεση των προϊόντων στον ήλιο συνήθως απλώνονται σε ένα λεπτό φιλμ, εφόσον υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος, προκειμένου η ηλιακή ενέργεια να ξηράνει πιο αποτελεσματικά τα προϊόντα. Η ανάδευση ανά τακτά διαστήματα είναι επιθυμητή καθώς έτσι όλες οι επιφάνειες έρχονται πιο συχνά σε επαφή με τον ήλιο. Η επιφάνεια συνήθως είναι τσιμεντένια και επίπεδη και καλύπτεται από ένα φιλμ πολυαιθυλενίου πάνω στο οποίο απλώνονται τα υπό ξήρανση προϊόντα, εκτός και αν είναι πιο ευαίσθητα οπότε απλώνονται σε ειδικά διαμορφωμένους πάγκους. Η τεχνική αυτή γενικά είναι πάρα πολύ αργή καθώς απαιτείται χρόνος ξήρανσης 10-30 μέρες για να φτάσουν τα προϊόντα την υγρασία ισορροπίας τους και χρησιμοποιείται ευρέως για την ξήρανση σταφυλιών, σύκων και διάφορων φρούτων. Τα λαχανικά δεν ξηραίνονται με αυτήν την μέθοδο καθώς είναι επιρρεπή στην αλλοίωση (56).

Κατά την διάρκεια της ξήρανσης, η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την επιφάνεια των προϊόντων με αποτέλεσμα η υγρασία να εξατμίζεται και να μεταφέρεται στον περιβάλλοντα, πιο ξηρό αέρα. Ένα μέρος της ακτινοβολίας απλά χάνεται στην ατμόσφαιρα και στο περιβάλλον χώμα. Η μεταφορά θερμότητας και η μεταφορά της υγρασίας εξαρτώνται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ταχύτητα του αέρα. Για αυτό και είναι μία μέθοδος που είναι ασταθής και δεν έχει σταθερά αποτελέσματα καθώς εξαρτάται από παράγοντες που είναι απρόβλεπτοι και δεν ρυθμίζονται (56).

Η άμεση ηλιακή ξήρανση είναι μία ιδιαιτέρως οικονομική μέθοδος καθώς εκμεταλλεύεται στο έπακρο μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας ενώ συνήθως οι εργαζόμενοι που χρειάζονται είναι ανειδίκευτοι και λειτουργούν κυρίως με την εμπειρία τους, μειώνοντας σημαντικά το κόστος του

εργατικού δυναμικού. Ωστόσο, υπάρχουν πολύ σημαντικά μειονεκτήματα που δεν μπορούν να παραβλεφθούν όπως το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιος επιστημονικός έλεγχος του τελικού προϊόντος παρά μόνο εμπειρικές παρατηρήσεις με αποτέλεσμα πολλές φορές αυτό να είναι πολύ κακής ποιότητας. Επιπλέον, είναι πάρα πολύ αργός ο ρυθμός ξήρανσης και τα προϊόντα είναι εκτεθειμένα σε όλων των ειδών τις καιρικές συνθήκες καθώς και σε επιθέσεις από μύκητες, βακτήρια, έντομα, πουλιά και τρωκτικά με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές απώλειες προϊόντων (56).

- Έμμεση ηλιακή ξήρανση

Η τεχνική αυτή είναι αρκετά καινούργια και βρίσκεται σε μεγάλο βαθμό σε πειραματικό στάδιο. Περιλαμβάνει ξηραντήρες και μεθόδους που δεν έχουν ακόμα ευρεία αποδοχή ή βιομηχανική εφαρμογή ενώ βασίζονται και πολύ συχνά σε εμπειρικά και όχι σε επιστημονικά δεδομένα (56).

Το βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το υψηλό πάγιο κόστος εγκατάστασης που περιλαμβάνει τον ξηραντήρα, τον ηλιακό συλλέκτη και όλο τον βοηθητικό εξοπλισμό όπως αγωγούς, αντλίες, όργανα μέτρησης και ελέγχου. Επιπλέον, απαιτείται σχετικά εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό αυξάνοντας σημαντικά το εργατικό κόστος. Τα πλεονεκτήματα όμως αυτής της μεθόδου είναι πολύ σημαντικά διότι ο ρυθμός ξήρανσης είναι γρήγορος (15-30 h αντί για ημέρες), η επίβλεψη του τελικού προϊόντος μπορεί να γίνει με επιστημονικό τρόπο και να διαπιστωθεί εάν πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές, οι απώλειες είναι μηδαμινές καθώς τα προϊόντα δεν εκτίθενται σε φυσικά φαινόμενα, απαιτείται μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής από την άμεση έκθεση στον ήλιο και τέλος το σύστημα έχει τη δυνατότητα να δέχεται και εποχιακά προϊόντα με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η λειτουργία ολόκληρο τον χρόνο και όχι μόνο τους μήνες πιο σταθερής ηλιοφάνειας (56).

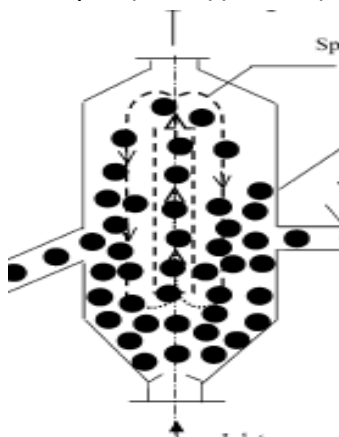
- Ξήρανση με θερμό αέρα

Η τεχνική αυτή είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται συχνά στην ξήρανση φρούτων και λαχανικών. Μειώνει σημαντικά τον όγκο και τη μάζα τους με αποτέλεσμα να τα καθιστά ικανά για αποθήκευση για μεγάλα χρονικά διαστήματα υπό φυσιολογικές συνθήκες και να μειώνει πολύ το κόστος της συσκευασίας των προϊόντων ενώ έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι ξηραίνει γρήγορα και ομοιόμορφα τα προϊόντα. Με τη διαδικασία αυτήν το προϊόν ξηραίνεται μέσω αέρα σχετικά υψηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του προϊόντος μέσω συναγωγής, να απομακρύνεται η υγρασία από την επιφάνεια μέσω διάχυσης και ο θερμός αέρας να επιτελεί τον ρόλο του φορέα της υγρασίας του υπό ξήρανση προϊόντος. Είναι μία περίπλοκη διαδικασία καθώς περιλαμβάνει μηχανισμούς μεταφοράς μάζας και θερμότητας μεταξύ του υλικού και της ροής του αέρα και καθίσταται περίπλοκη η περιγραφή της για προϊόντα με υψηλή υγρασία λόγω της σημαντικής συρρίκνωσης τους. Η πιο σημαντική παράμετρος αυτής της διεργασίας είναι ο ρυθμός ξήρανσης ο οποίος αποτελεί άμεση συνάρτηση της επιφάνειας εναλλαγής θερμότητας του υλικού με τον αέρα καθώς και του τρόπου παροχής θερμότητας. Είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ξήρανσης στη σημερινή βιομηχανία (58),(59),(60),(61),(62).

Η ξήρανση μέσω θερμού αέρα μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από πολλούς παράγοντες όπως είναι η ταχύτητα και η θερμοκρασία του αέρα, ο μηχανισμός διάχυσης της υγρασίας στο εσωτερικό του υλικού, η πυκνότητα του υλικού καθώς και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του

υλικού. Η απότομη μείωση της υγρασίας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την θρεπτική αξία των τροφίμων για αυτό και απαιτείται προσοχή κατά τη χρήση αυτής της μεθόδου καθώς είναι γνωστό πως μέσω της ξήρανσης θερμού αέρα μπορεί να αλλοιωθούν σημαντικά τα προϊόντα όσον αφορά το αισθητικό και το θρεπτικό κομμάτι (61).

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και το εάν το υλικό βρίσκεται σε κίνηση σε σχέση με το ρεύμα αέρα ή εάν παραμένει στάσιμο. Στη δεύτερη περίπτωση, η ξήρανση καθυστερεί σημαντικά και γίνεται ανομοιόμορφα, ειδικά εάν το προϊόν έχει και κάποιο παχύ στρώμα στο εσωτερικό του. Επιπλέον, παρατεταμένη επαφή με στάσιμο υλικό μπορεί να αλλοιώσει σημαντικά την ποιότητά του λόγω παρατεταμένης επαφής με οξυγόνο και υψηλές θερμοκρασίες. Με το να βρίσκεται το υλικό σε κίνηση, η επαφή του με τον αέρα είναι αποτελεσματικότερη και συνεπώς γίνεται και πιο αποτελεσματική η μεταφορά μάζας και θερμότητας. Η κίνηση του υλικού μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους όπως με τη χρήση ξηραντήρα ρευστοστερεάς κλίνης (59). Στο σχήμα 1 φαίνεται μία σχηματική απεικόνιση μίας ρευστοστερεάς κλίνης που αξιοποιείται για ξήρανση:



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση ξήρανσης με χρήση ρευστοστερεάς κλίνης. Στα αριστερά φαίνεται η είσοδος του υγρού υλικού, στα δεξιά η έξοδος του αποξηραμένου υλικού ενώ στον πάτο εισέρχεται ο αέρας που δημιουργεί και συντηρεί της ρευστοστερεά κλίνη (48).

Η θερμοκρασία του αέρα είναι πολύ σημαντική για τη μεταφορά θερμότητας. Ωστόσο, επειδή η επιφάνεια είναι αυτή που κυρίως έρχεται σε επαφή με τον αέρα, χρειάζεται προσοχή καθώς μπορεί να αλλοιωθεί σημαντικά η ποιότητα του αποξηραμένου προϊόντος. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η διακοπτόμενη θέρμανση κατά την οποία η θέρμανση δε γίνεται συνεχόμενα αλλά διακόπτεται ανά διαστήματα προκειμένου να χαλαρώσει το υλικό και να προλάβει να γίνει η διάχυση της υγρασίας από το εσωτερικό του υλικού στην επιφάνεια ώστε να εξατμιστεί πιο εύκολα κατά την επανέναρξη της ξήρανσης. Με αυτήν την μέθοδο μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση αέρα ενώ έχει αποδειχτεί ότι η αλλοίωση των προϊόντων ελαχιστοποιείται (59).

Τέλος, η μείωση της υγρασίας του αέρα είναι ένας τρόπος για τη βελτίωση της ξήρανσης καθώς αυξάνεται η δυνατότητα του αέρα για μεταφορά υγρασίας. Αντλίες θερμότητας οι οποίες ψυχραίνουν τον αέρα, με αποτέλεσμα να υγρασιάζεται η υγρασία και να ξηραίνεται ο αέρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και να βελτιώσουν πολύ τη συνολική διαδικασία της ξήρανσης (59).

Μία αποτελεσματική μέθοδος ξήρανσης θερμού αέρα είναι η χρήση ξηραντήρα ρευστοστερεάς

κλίνης (fluidized bed reactor ή FBD). Οι ξηραντήρες αυτοί είναι κατάλληλοι για την ξήρανση στερεών που βρίσκονται σε μορφή κόκκων και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, στην φαρμακευτική βιομηχανία, στην ξήρανση αγροτικών προϊόντων και στη βιομηχανία κεραμικών. Τα υγρά προϊόντα έρχονται σε επαφή με ένα ρεύμα αέρα το οποίο έχει αρκετή ορμή προκειμένου να νικήσει τις βαρυτικές δυνάμεις των κόκκων με αποτέλεσμα το στερεό να βρεθεί σε μία κατάσταση ρευστοστερεάς κλίνης. Σε αυτή την κατάσταση η βαρύτητα των κόκκων ισούται περίπου με τη δύναμη που δέχονται από το ρεύμα αέρα με αποτέλεσμα να βρίσκονται αιωρούμενοι σε ισορροπία. Όταν βρίσκονται σε αυτή την μορφή έχουν καλύτερη επαφή με τον αέρα και κατά συνέπεια η ξήρανση γίνεται αρκετά πιο αποτελεσματική καθώς αυξάνεται η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας. Στη συνέχεια τα ξηρά σωματίδια απομακρύνονται από την ειδική έξοδο που διαθέτει ο ξηραντήρας και η διεργασία συνεχίζεται (48).

Πλεονεκτήματα όπως η πολύ καλή επαφή του θερμού ρεύματος αέρα με τα στερεά σωματίδια που βελτιώνει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας, η μικρότερη περιοχή ροής του αέρα, η καλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους ξήρανσης θερμού αέρα, η ευκολία χειρισμού και τα χαμηλά κόστη λειτουργίας και εγκατάστασης καθιστούν αυτούς τους ξηραντήρες μία καλή επιλογή. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν μόνο για προϊόντα συγκεκριμένης μορφής (48).

- Ψυχρή ξήρανση

Η λογική της διεργασίας αυτής βασίζεται στην αφαίρεση της υγρασίας από ένα προϊόν μέσω της στερεοποίησης της υγρασίας σε πάγο και της αφαίρεσης αυτής. Πιο συγκεκριμένα, αφού χαμηλώσει η θερμοκρασία και η υγρασία γίνει πάγος, η τελευταία αφαιρείται από το προϊόν μέσω εξάχνωσης υπό κενό με αποτέλεσμα να παραμένει το προϊόν με σαφώς μειωμένη υγρασία (μέχρι και το 99% w/w της αρχικής υγρασίας μπορεί να αφαιρεθεί). Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερος περίπλοκη, κοστοβόρα και αρκετά χρονοβόρα και εξαρτάται από πληθώρα παραγόντων όπως είναι η χημική σύσταση και η υγρασία του προϊόντος, οι φυσικοχημικές αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά την ψύξη καθώς και τα γνωστά φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ενέργειας που αποτελούν ζήτημα σε όλες τις τεχνικές ξήρανσης. Είναι μία διεργασία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην φαρμακευτική βιομηχανία (63),(64).

Μία διεργασία ψυχρής ξήρανσης συνήθως περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια: την ψύξη, την πρωτογενή ξήρανση και τη δευτερογενή ξήρανση. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά αυτά τα στάδια (63),(64):

- Ψύξη

Κατά την ψύξη, η θερμοκρασία του προϊόντος πέφτει σημαντικά με αποτέλεσμα η υγρασία να στερεοποιείται και να σχηματίζεται πάγος ο οποίος βρίσκεται σε διακριτή φάση από το υπόλοιπο προϊόν. Το προϊόν δηλαδή χωρίζεται σε διάφορες διακριτές φάσεις και σχηματίζεται διεπιφάνεια μεταξύ του προϊόντος και του πάγου. Συνήθως η θερμοκρασία φτάνει δύο βαθμούς χαμηλότερα από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης του υλικού. Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες.

- Πρωτογενής ξήρανση

Στη συνέχεια, κατά την πρωτογενή ξήρανση μειώνεται η πίεση του θαλάμου στον οποίο βρίσκεται το προϊόν χαμηλότερα από την τάση ατμών του πάγου και με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας

ο τελευταίος υφίσταται εξάχνωση. Οι ατμοί του πάγου επανακρυσταλλώνονται στα τοιχώματα του συμπυκνωτή.

Ο χρόνος της ξήρανσης είναι άμεσα εξαρτώμενος από το ρυθμό εξάχνωσης του πάγου και εξαρτάται από την πίεση του θαλάμου ξήρανσης, τη φύση του υλικού δηλαδή την αντίσταση στην μεταφορά μάζας καθώς και από τη θερμοκρασία της επιφάνειας στην οποία βρίσκεται το υπό ξήρανση προϊόν.

Η θερμοκρασία του προϊόντος πρέπει να απέχει από το κρίσιμο σημείο του προϊόντος γιατί σε θερμοκρασίες κοντά σε αυτήν θα αλλοιωθεί σημαντικά. Ωστόσο, με την αύξηση της θερμοκρασίας η ξήρανση γίνεται πολύ πιο αποδοτική (άνοδος κατά 1 βαθμό Κελσίου μειώνει τον χρόνο ξήρανσης κατά 13%) με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η εύρεση της ισορροπίας ανάμεσα στην απόδοση της ξήρανσης και στη διατήρηση των ιδιοτήτων του προϊόντος. Συνήθως είναι επιθυμητή μία θερμοκρασία 2-5 βαθμούς Κελσίου χαμηλότερης της κρίσιμης θερμοκρασίας.

Το στάδιο της πρωτογενούς ξήρανσης είναι το πιο χρονοβόρο και είναι και αυτό που καθορίζει την βιωσιμότητα της όλης διεργασίας σε μεγάλο βαθμό. Το τέλος του σταδίου αυτού καθορίζεται από το ότι η θερμοκρασία του προϊόντος ανεβαίνει μαζί με την άνοδο της θερμοκρασίας της επιφάνειας του προϊόντος, πράγμα που δείχνει ότι η εξάχνωση έχει τελειώσει καθώς η ενέργεια καταναλώνεται στην άνοδο της θερμοκρασίας και όχι στην αλλαγή φάσης του πάγου.

- Δευτερογενής ξήρανση

Κατά τη δευτερογενή ξήρανση εξατμίζεται ένα κομμάτι του εναπομείναντος πάγου μέσω αύξησης της θερμοκρασίας και διατήρησης της χαμηλής πίεσης. Το στάδιο αυτό κρατάει μερικές ώρες.

Το προϊόν στο τέλος της πρωτογενούς ξήρανσης έχει ακόμα σημαντικό ποσοστό υγρασίας (5-20% w/w) με αποτέλεσμα να απαιτείται μία μείωση του ποσοστού σε περίπου 1%. Αυτό γίνεται με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας (πρέπει να είναι αργή και ελεγχόμενη για να αποφευχθεί η κατάρρευση του προϊόντος) και με γρήγορη ξήρανση σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Η ξήρανση γίνεται εντός λίγων ωρών καθώς ο ρυθμός ξήρανσης αρχίζει και μειώνεται πάρα πολύ γρήγορα κατά την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα μεγάλοι χρόνοι ξήρανσης να γίνονται αντικοινομικοί.

Οι παράμετροι που μπορούν να καθοριστούν άμεσα από τον άνθρωπο είναι η πίεση του θαλάμου, η θερμοκρασία της επιφάνειας πάνω στην οποία βρίσκεται το προϊόν καθώς και η θερμοκρασία του συμπυκνωτή. Η θερμοκρασία του προϊόντος, που είναι και ο πιο σημαντικός παράγοντας για τη διεργασία, δεν μπορεί να επηρεαστεί με άμεσο τρόπο και πρέπει να ελέγχεται αλλάζοντας τις παραπάνω συνθήκες. Μέσω της κατάλληλης ρύθμισης αυτών των παραγόντων μπορεί να βελτιστοποιηθεί ο κύκλος της ψυχρής ξήρανσης προκειμένου να υπάρξει καλή απόδοση αλλά και σωστή διαχείριση της ενέργειας. Για αυτό και είναι απαραίτητη η γνώση των εξής δεδομένων (63):

- Του σημείου υαλώδους μετάπτωσης του προϊόντος (T_g). Το T_g δείχνει τη θερμοκρασία κάτω από την οποία το προϊόν είναι άκαμπτο και χάνει την ελαστικότητά του. Συνήθως στις διεργασίες της ψυχρής ξήρανσης η ψύξη πραγματοποιείται μέχρι μία θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη από το T_g οπότε η γνώση του για το κάθε προϊόν είναι ιδιαίτερα

σημαντική για την βελτιστοποίηση της διεργασίας.

- Του χρόνου για την ολοκλήρωση της εξάχνωσης του πάγου αναλόγως και με τις επιβαλλόμενες συνθήκες.
- Του σωστού ρυθμού εναλλαγής θερμότητας προκειμένου να γίνει αποτελεσματικά η δευτερογενής ξήρανση αλλά ταυτόχρονα να μην αλλοιωθεί το προϊόν.

➤ Ξήρανση μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας

Η υπέρυθη ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που ανήκει στο εύρος μήκους κύματος 700nm-1mm. Όταν αυτή η ακτινοβολία προσπίπτει σε μία στερεή επιφάνεια συνήθως απορροφάται με αποτέλεσμα να αυξάνει τη θερμοκρασία αυτής. Στην περίπτωση προϊόντων που βρίσκονται σε λεπτές φέτες, η ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση τους καθώς κατά την απορρόφησή της θα αυξηθεί η θερμοκρασία τους και θα βοηθήσει σημαντικά να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ξήρανσης. Η ακτινοβολία επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ψήσιμο καθώς και για θερμική επεξεργασία των προϊόντων (65),(66).

Η υπέρυθη ξήρανση έχει κάποια πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής ξήρανσης με θερμό αέρα. Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας είναι υψηλοί, ο χρόνος ξήρανσης είναι μειωμένος και το κόστος ενέργειας είναι χαμηλό. Επιπλέον, επειδή ο αέρας παρουσιάζει μηδενική απορροφητικότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία, η ξήρανση μπορεί να γίνει και σε θερμοκρασία δωματίου ενώ ο εξοπλισμός της υπέρυθρης ξήρανσης αυτοματοποιείται εύκολα και καθιστά εύκολο τον έλεγχο όλων των παραμέτρων της ξήρανσης. Οι εφαρμογές ωστόσο αυτής της μεθόδου είναι περιορισμένες. Κάποιες από αυτές είναι η θερμική επεξεργασία των σπόρων σόγιας, των δημητριακών, των σπόρων κακάο και των ξηρών καρπών καθώς και η ξήρανση φυκιών, λαχανικών και ζυμαρικών. Επιπλέον, οι υπέρυθροι ξηραντήρες χρησιμοποιούνται και για την ανάλυση της υγρασίας των τροφίμων.

Το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας χωρίζεται σε τρία διακριτά μέρη: στην κοντινή υπέρυθη (0,75-3 μm), στη μέση υπέρυθη (3-15 μm) και στη μακρινή υπέρυθη (15-1000 μm). Συνήθως οι υπέρυθροι ξηραντήρες εκπέμπουν σε ένα φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας και η κορυφή, δηλαδή το μήκος κύματος που εκπέμπουν στην μεγαλύτερη ένταση, βρίσκεται κοντά στην κοντινή και στην αρχή της μέσης υπέρυθρης ακτινοβολίας (65).

Η μεταφορά θερμότητας σε αυτήν την μέθοδο είναι πολύ διαφορετική από την μεταφορά θερμότητας στην συμβατική ξήρανση. Η ακτινοβολία απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα και μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία διαδίδεται σε όλο το σώμα. Σε περίπτωση που το σώμα έχει υγρασία, η μέγιστη απορρόφηση και κατά συνέπεια η μέγιστη θερμοκρασία αναπτύσσεται σε ένα στρώμα κοντά αλλά κάτω από την επιφάνεια επαφής με την ακτινοβολία. Η απόσταση του στρώματος αυτού εξαρτάται από τον συντελεστή απορρόφησης της ακτινοβολίας του συγκεκριμένου υλικού. Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής τότε τόσο πιο βαθιά βρίσκεται το συγκεκριμένο στρώμα. Κατά συνέπεια, η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται από αυτό το στρώμα προς το κέντρο καθώς και προς την επιφάνεια του σώματος ενώ πραγματοποιείται και μεταφορά μάζας υγρασίας από το κέντρο του σώματος προς την επιφάνεια. Συνεπώς, από το κέντρο μέχρι το στρώμα μέγιστης θερμοκρασίας η μεταφορά μάζας και θερμότητας έχουν αντίθετη φορά ενώ από το στρώμα μέχρι την επιφάνεια έχουν την ίδια (65).

Σε βιομηχανικό επίπεδο, τα υπό ξήρανση προϊόντα όπως έχει προαναφερθεί πρέπει να βρίσκονται σε μία μορφή που να αυξάνει την αποδοτικότητα της ξήρανσης όπως είναι οι πολύ λεπτές φέτες, οι κόκκοι και τα σταγονίδια. Πρέπει δηλαδή η επιφάνεια επαφής να είναι αυξημένη. Μία μέθοδος επίσης που έχει προταθεί για την καλύτερη αποδοτικότητα της διεργασίας είναι η ξήρανση σε διαστήματα. Να πραγματοποιείται δηλαδή έκθεση στην ακτινοβολία για κάποιο χρονικό διάστημα και στην συνέχεια αυτή να διακόπτεται προκειμένου να χαλαρώσει το υλικό και να πραγματοποιηθεί μεταφορά μάζας της υγρασίας. Η διαδικασία αυτή ρυθμίζεται εύκολα ως προς την ένταση της ακτινοβολίας, την κορυφή του φάσματος και τον χρόνο ξήρανσης. Γνωρίζοντας την συμπεριφορά του υπό ξήρανση προϊόντος κατά την υπέρυθρη ξήρανση καθώς και τις φυσικές ιδιότητες όσον αφορά την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορεί να ρυθμιστεί η ένταση και η κορυφή της ακτινοβολίας ενώ ο χρόνος ξήρανσης ρυθμίζεται με βάση τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας στο εσωτερικό του υλικού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η υπέρυθρη ξήρανση συχνά χρησιμοποιείται επικουρικά μαζί με άλλες πιο συμβατικές μεθόδους ξήρανσης προκειμένου να αυξηθεί η συνολική αποδοτικότητα της διεργασίας (66).

➤ Ξήρανση τυμπάνου (Drum drying)

Η τεχνολογία αυτή είναι αρκετά παλιά καθώς αναπτύχθηκε στις αρχές του εικοστού αιώνα και χρησιμοποιείται κυρίως για την ξήρανση υγρών υψηλού ιξώδους καθώς και προϊόντων που βρίσκονται σε μορφή πολτού. Στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιούνται οι ξηραντήρες τυμπάνου (drum dryers) για την ξήρανση προϊόντων γάλακτος, βρεφικών τροφών, δημητριακών, πολτών φρούτων και λαχανικών, μαγειρεμένου αμύλου καθώς και μαγιάς. Είναι ένας αποδοτικός τρόπος ξήρανσης και είναι μία ώριμη τεχνολογία που είναι ευρέως διαδεδομένη (67),(68).

Ένας τυπικός drum dryer αποτελείται από έναν ή δύο κούφιους κυλίνδρους μήκους 1-6 m και διαμέτρου 0,5-6 m κατασκευασμένους από σίδηρο ή ανοξείδωτο ατσάλι, ένα σύστημα υποστήριξης, ένα σύστημα τροφοδοσίας, ένα σύστημα ξυσίματος της ξηραμένης σκόνης και επικουρικό εξοπλισμό. Κατά την διάρκεια λειτουργίας του, υπέρθερμος ατμός που μπορεί να φτάσει μέχρι και 200 βαθμούς Κελσίου, θερμό νερό ή και άλλα θερμαντικά μέσα διέρχονται από το εσωτερικό του κυλίνδρου και ζεσταίνουν την εξωτερική του επιφάνεια. Το υπό ξήρανση προϊόν είναι ομοιόμορφα απλωμένο στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου και ξηραίνεται λόγω της ανταλλαγής θερμότητας με το θερμαντικό μέσο (65). Περιλαμβάνονται δηλαδή δύο μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας: συναγωγή για τη μεταφορά θερμότητας από το θερμαντικό μέσο στο μέταλλο του κυλίνδρου και αγωγή για την μεταφορά θερμότητας από το μέταλλο στο προϊόν. Παράγοντες όπως το ιξώδες και η σύσταση των υπό ξήρανση προϊόντων, η πίεση του υπέρθερμου ατμού και η θερμοκρασία του οποιοδήποτε ξηραντικού μέσου, η ταχύτητα περιστροφής των κυλίνδρων καθώς και η απόσταση μεταξύ των κυλίνδρων παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα όλης της διεργασίας (66). Ο χρόνος παραμονής συνήθως είναι αρκετά μικρός (συνήθως της τάξεως των δευτερολέπτων) και το προϊόν φτάνει μέχρι και στο 5% w/w υγρασίας. Η ξηραντική ικανότητα ενός drum dryer μπορεί να φτάσει μέχρι και 80 kg H₂O/h/m² (67).

Οι drum dryers κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: μονοί (αποτελούνται από έναν μόνο κύλινδρο), διπλοί (αποτελούνται από δύο κυλίνδρους που συγκλίνουν στην κορυφή) και δίδυμων κυλίνδρων (αποτελείται από δύο κυλίνδρους που έχουν την αντίθετη φορά από τους διπλούς). Οι πρώτες δύο κατηγορίες είναι πολύ καλές για την ξήρανση προϊόντων όπως είναι τα φρούτα και τα λαχανικά ενώ η τελευταία είναι για προϊόντα που αποδίδουν ξηρή σκόνη κατά την ξήρανση.

Επιπλέον, για προϊόντα που είναι ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται και οι drum dryers υπό κενό. Σε αυτήν την κατηγορία, οι κύλινδροι βρίσκονται ολόκληροι υπό κενό προκειμένου να μειωθεί η θερμοκρασία της ξήρανσης. Επειδή είναι αρκετά υψηλό το κόστος της λειτουργίας της τελευταίας κατηγορίας, χρησιμοποιούνται μόνο για την ξήρανση προϊόντων με υψηλή αξία (67).

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτών των ξηραντήρων είναι η πολύ καλή ενεργειακή απόδοσή τους, η δυνατότητα ξήρανσης προϊόντων πολύ υψηλού ιξώδους που δεν θα μπορούσαν να ξηραθούν με διαφορετικές τεχνικές, η εύκολη λειτουργία και συντήρησή τους καθώς και η ευελιξία τους επειδή μπορούν να ξηράνουν πληθώρα προϊόντων. Ωστόσο, όπως όλες οι μέθοδοι παρουσιάζει και κάποια πολύ βασικά μειονεκτήματα: πολλά προϊόντα με υψηλή συγκέντρωση σε σάκχαρα δεν αφαιρούνται καθόλου εύκολα μετά την ξήρανση τους από τους κυλίνδρους, προϊόντα που δεν μπορούν να σχηματίσουν λεπτό φιλμ είναι αδύνατο να ξηραθούν, είναι σχετικά μικρή η χωρητικότητα των κυλίνδρων και κατά συνέπεια η παραγόμενη ποσότητα αποξηραμένων υλικών, είναι αρκετά πιθανή η αλλοίωση της επιφάνειας των προϊόντων λόγω επαφής με μέταλλο υψηλής θερμοκρασίας, αδυναμία επεξεργασίας προϊόντων με πολλά άλατα λόγω πιθανής διάβρωσης των κυλίνδρων και υψηλό κόστος αλλαγής της επιφάνειας των κυλίνδρων (67).

➤ Ξήρανση με εκνέφωση (Spray drying)

Κατά τη διεργασία αυτή ξηραίνεται ένα υπόστρωμα που βρίσκεται σε υγρή κατάσταση (διάλυμα, αιώρημα ή πολτός) σε σκόνη αφού πρώτα έρθει σε επαφή με τη μορφή σπρέι, δηλαδή μικρών σταγονιδίων, με κάποιο θερμαντικό μέσο. Συνήθως αυτό το μέσο είναι ο αέρας οπότε αποτελεί μία υποκατηγορία των τεχνικών ξήρανσης με θερμό αέρα. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται σκόνες με πολύ συγκεκριμένες προδιαγραφές. Είναι μία τεχνική που είναι ήδη ευρέως διαδεδομένη με πληθώρα εφαρμογών στη χημική βιομηχανία, στην φαρμακευτική βιομηχανία και στη βιομηχανία τροφίμων. Η ξήρανση αυγών, γάλακτος, κεραμικών, λιπασμάτων και πολλών χημικών είναι κάποια από τα πολλά παραδείγματα εφαρμογής αυτής της μεθόδου (69),(70).

Η τεχνική ξήρανσης με εκνέφωση έχει τέσσερα διακριτά στάδια τα οποία αναλύονται συνοπτικά παρακάτω (69),(70):

- Ψεκασμός

Η κατάλληλη επιλογή του ψεκαστήρα είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους σε αυτήν την μέθοδο καθώς επηρεάζει άμεσα τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος μετά την ξήρανση. Χαρακτηριστικά του ψεκαστήρα που επηρεάζουν άμεσα το τελικό προϊόν είναι η ομοιομορφία του μεγέθους των σταγονιδίων, ο έλεγχος της κατανομής των μεγεθών των σταγονιδίων και η ομοιογένεια του σπρέι. Κοινοί τύποι ψεκαστήρων αποτελούν ο περιστροφικός ψεκαστήρας, ο ψεκαστήρας υπό πίεση και οι πνευματικοί (δύο ρευστών) ψεκαστήρες.

Στους περιστροφικούς ψεκαστήρες, το υγρό τροφοδοτείται στο θερμαντικό μέσο με την περιστροφή δίσκου ή τροχού που δημιουργεί σταγονίδια και κατά συνέπεια σπρέι. Στον ψεκαστήρα υπό πίεση το υγρό έρχεται υπό πίεση σε ένα στενό στόμιο με αποτέλεσμα να ψεκάζεται με τη μορφή σταγονιδίων. Τέλος, στους πνευματικούς ψεκαστήρες υπάρχουν δύο διακριτά ρεύματα: το ένα αποτελείται από το υπό ξήρανση υγρό και το άλλο από αέρα. Αυτά τα ρεύματα αναμιγνύονται στο στόμιο και ο αέρας διαλύει το υγρό σε πολλά μικρά σταγονίδια.

- Ανάμιξη σπρέι και αέρα

Ο σχεδιασμός των spray dryers μπορεί να έχει ομόρροπα ρεύματα αέρα και υπό ξήρανση υγρού ή αντίρροπα ή ακόμα και συνδυασμούς και των δύο. Στα ομόρροπα ρεύματα το υγρό και ο αέρας έχουν το ίδιο σημείο έναρξης εντός του ξηραντήρα ενώ στα αντίρροπα εισέρχονται σε αντιδιαμετρικά σημεία. Η πρώτη τεχνική είναι χρήσιμη για την ξήρανση ευαίσθητων σε υψηλές θερμοκρασίες προϊόντων καθώς αυτά έρχονται σε επαφή με ψυχρό ρεύμα αέρα και ανεβαίνει η θερμοκρασία τους σταδιακά κατά την πορεία τους εντός του ξηραντήρα. Αντίθετα στη δεύτερη τεχνική, το υγρό έρχεται σε επαφή με θερμό ρεύμα αέρα και κατά συνέπεια είναι πιο αποδοτική ενεργειακά και οικονομικά αλλά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα είναι και πιο πιθανό να αλλοιώσει το προϊόν.

- Ξήρανση του σπρέι

Η ξήρανση σταγονιδίων είναι μία περίπλοκη διεργασία καθώς υπάρχει κατανομή διαφορετικών μεγεθών και η ανάμιξη του σπρέι και του αέρα συνήθως δεν είναι απόλυτα ομοιογενής. Το κάθε σταγονίδιο δηλαδή μπορεί να έχει διαφορετικούς χρόνους ξήρανσης.

Επιπλέον, τα φαινόμενα που καθορίζουν την ξήρανση αλλάζουν καθώς η υγρασία μειώνεται εντός του σταγονιδίου. Στα αρχικά στάδια της διαμόρφωσης του σωματιδίου, τον καθοριστικό ρόλο τον παίζει η αντίσταση στη διεπιφάνεια αέρα και υγρού και ο ρυθμός ξήρανσης παραμένει σταθερός. Στη συνέχεια καθώς προχωράει η ξήρανση, αρχίζουν και εμφανίζονται φαινόμενα μεταφοράς μάζας της υγρασίας εντός του σταγονιδίου καθώς υγρασία μεταφέρεται από το εσωτερικό στην επιφάνειά του και ο ρυθμός ξήρανσης αρχίζει και μειώνεται. Συνεπώς, όπως και στις άλλες μεθόδους ξήρανσης, είναι απαραίτητη η γνώση των φυσικών χαρακτηριστικών του υποστρώματος προκειμένου να προβλεφθούν επαρκώς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και να βελτιστοποιηθεί η διεργασία.

- Διαχωρισμός και συλλογή του προϊόντος

Το ξηραμένο προϊόν βρίσκεται με τη μορφή κόκκων ως αιώρημα στο ρεύμα αέρα του ξηραντήρα. Για την συλλογή του συνήθως το ρεύμα αέρα εισέρχεται σε ένα σύστημα κυκλώνων προκειμένου να διαχωριστεί η σκόνη και το ρεύμα αέρα να εξέλθει καθαρό.

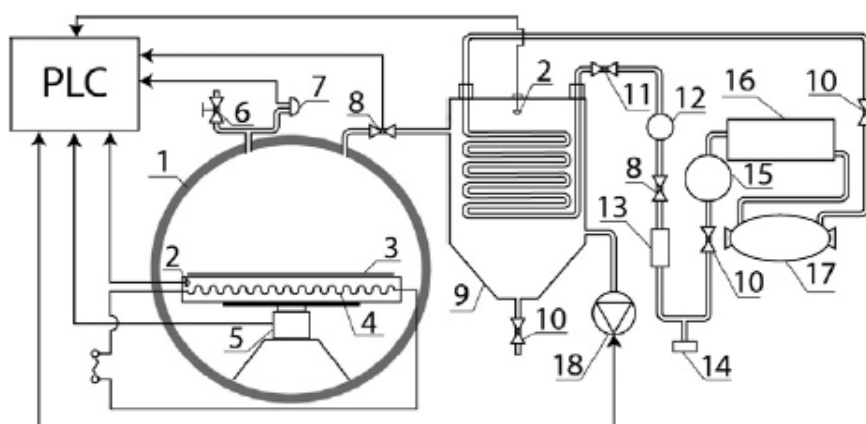
Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να παράξει προϊόντα πολύ συγκεκριμένων προδιαγραφών καθώς είναι μία διαδικασία που ελέγχεται με ακρίβεια. Ωστόσο, το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης είναι υψηλά ενώ η θερμική απόδοση της διεργασίας είναι χαμηλή και αυξάνεται σημαντικά μόνο σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες πράγμα που την καθιστά δύσκολη για ξήρανση ευαίσθητων σε υψηλές θερμοκρασίες προϊόντων (69).

- Ξήρανση υπό κενό

Η ξήρανση υπό κενό αποτελεί περισσότερο μία τεχνική και όχι μία αυτοτελή μέθοδο ξήρανσης. Είναι δηλαδή ένας τρόπος για τη βελτίωση άλλων μεθόδων ξήρανσης όπως η υπέρυθη ξήρανση, η ξήρανση μικροκυμάτων και οι συμβατικές μέθοδοι ξήρανσης βασισμένες στην συναγωγή. Η λογική βασίζεται στο ότι κατά τη μείωση της πίεσης, το σημείο βρασμού του νερού μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα να μπορεί να επιτευχθεί ξήρανση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ο κεντρικός θάλαμος ξήρανσης δηλαδή απομονώνεται αεροστεγώς και με τη χρήση αντλίας κενού η πίεση σε αυτόν μειώνεται και μαζί της μειώνεται σημαντικά και το σημείο βρασμού της υγρασίας

του υπό ξήρανση προϊόντος. Η τεχνική αυτή έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι καθιστά δυνατή την ξήρανση των προϊόντων σε σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες και σε ένα περιβάλλον έλλειψης οξυγόνου πράγμα που την καθιστά ιδανική για την διατήρηση των ιδιοτήτων των προϊόντων. Επιπλέον, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών καθίσταται δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας ενώ βοηθάει και σημαντικά στην αύξηση της ταχύτητας εξάτμισης της υγρασίας (72),(73),(74). Είναι μία τεχνική που σε συνδυασμό με άλλες χρησιμοποιείται για την ξήρανση προϊόντων τροφίμων καθώς μέσω αυτής διατηρείται το άρωμα, το χρώμα, η υφή, η γεύση, το σχήμα και η διατροφική τους αξία (71).

Ένα σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει τη λειτουργία τυπικού εξοπλισμού ξήρανσης υπό κενό με τη χρήση θερμαντήρα φαίνεται παρακάτω (71). Αξίζει να σημειωθεί ότι αντί για θερμαντήρα θα μπορούσε κάλλιστα να αξιοποιηθεί και σώμα που εκπέμπει μικροκύματα ή υπέρυθη ακτινοβολία ή ενδεχομένως και φούρνος ως θερμαντικό μέσο (73),(74). Η λογική πάντως σε όλους τους εξοπλισμούς που λειτουργούν υπό κενό είναι παρόμοια.



Σχήμα 2.2: Τυπικός εξοπλισμός ξήρανσης υπό κενό. 1: θάλαμος ξήρανσης, 2: αισθητήρας θερμοκρασίας, 3: υποδοχή του δείγματος, 4: θερμαντήρας, 5: μετρητής βάρους, 6: βαλβίδα εκτόνωσης κενού, 7: αισθητήρας πίεσης, 8: σωληνοειδής βαλβίδα, 9: συλλογή του συμπυκνώματος, 10: βαλβίδες, 11: βαλβίδα διαστολής, 12: μετρητής ροής, 13:εξατμιστήρας, 14: υποδοχέας, 15: ελεγκτής πίεσης, 16: συμπυκνωτήρας, 17: συμπιεστήρας, 18: αντλία κενού (71).

➤ Ξήρανση με χρήση αφυγραντικού υγρού

Τα αφυγραντικά υγρά είναι εξειδικευμένα χημικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση υγρασίας από αέρια. Επειδή έχουν χαμηλότερη τάση ατμών από το νερό στην ίδια θερμοκρασία, κατά τη διέλευση των αερίων μέσα από αυτά το νερό αφαιρείται με αποτέλεσμα η υγρασία του αερίου να μειώνεται σημαντικά. Η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει σημαντικά την τάση ατμών του αφυγραντικού ενώ η αύξηση της συγκέντρωσής του την μειώνει. Συνεπώς, ένα σύστημα ξήρανσης που χρησιμοποιεί αφυγραντικά υγρά πρέπει να βρει μία ισορροπία ανάμεσα σε αυτές τις δύο παραμέτρους και να τις ελέγχει συνεχώς προκειμένου να είναι επιτυχής και συνεχής η ξήρανση. Συνήθως σε αυτά τα συστήματα η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται με τη χρήση ψυκτικού και αυτό έρχεται σε επαφή με το αφυγραντικό μέσο με αποτέλεσμα να ξηραίνεται. Το ψυκτικό στη συνέχεια επαναψύχεται και ο κύκλος συνεχίζει. Τα συστήματα αυτά δηλαδή αποτελούν αντλίες θερμότητας (75).

Τα αφυγραντικά υγρά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες (75):

- Υγροσκοπικά άλατα

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν άλατα με αφυγραντικές ικανότητες όπως το χλωριούχο λίθιο που διαλύονται σε νερό. Η συγκέντρωση του άλατος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την ποιότητα του παραγόμενου διαλύματος. Το χλωριούχο λίθιο είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο λόγω της αποτελεσματικότητας του και της μικρής διαβρωτικής του ικανότητας. Σε υψηλές συγκεντρώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες το άλας αρχίζει και σχηματίζει κρυστάλλους κάτι που είναι ανεπιθύμητο διότι στην στερεή του μορφή το χλωριούχο λίθιο είναι λιγότερο αποτελεσματικό στην αφύγρανση από ότι στην υγρή του μορφή.

- Γλυκόλες

Οι αλκοόλες αυτές έχουν παρόμοια δράση με τα άλατα απλώς είναι πολύ πιο πτητικές και πρέπει να βρίσκονται σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις για να είναι το ίδιο αποτελεσματικές, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα για τη διατήρηση του κύκλου. Για αυτό και η θερμοκρασία λειτουργίας των συσκευών που λειτουργούν με γλυκόλες είναι σημαντικά χαμηλότερη για να μειωθεί η τάση ατμών τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου ξήρανσης είναι τα ακόλουθα: τα αφυγραντικά υγρά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία από τα κλασικά συστήματα θέρμανσης με θερμό αέρα, η αφυγραντική ικανότητα του υγρού είναι πολύ πιο ισχυρή από αυτήν του αέρα, το προϊόν ξηραίνεται ομοιόμορφα χωρίς να υπάρχει μεγάλη ανομοιογένεια στο ποσοστό υγρασίας και η ίδια η διεργασία είναι πολύ γρήγορη (76). Ωστόσο περιορίζεται στην ξήρανση αερίων συνήθως.

- Ξήρανση με μικροκύματα

Συνήθως τα προϊόντα δεν ξηραίνονται μόνο με τη χρήση μικροκυμάτων αλλά αξιοποιείται ένας συνδυασμός πιο συμβατικών μεθόδων μαζί με τα μικροκύματα. Η λογική πίσω από την ανταλλαγή θερμότητας είναι παρόμοια με αυτήν που έχει περιγραφεί και για την υπέρυθη ξήρανση. Η μέθοδος αυτή έχει αξιοποιηθεί σε προϊόντα όπως βότανα, πατάτες, σταφίδες, μήλα, μανιτάρια, καρότα και μπανάνες (77).

Στις συμβατικές μεθόδους ξήρανσης, όπως έχει προαναφερθεί, καθώς προχωράει η διεργασία ο ρυθμός ξήρανσης μειώνεται σημαντικά λόγω σημαντικής μείωσης της επιφάνειας του υλικού και λόγω της συρρίκνωσης του, πράγμα που καθιστά πιο δύσκολα τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και θερμότητας. Έτσι λοιπόν όταν η ξήρανση φτάνει σε αυτό το στάδιο η διεργασία παρατείνεται σημαντικά και η αποδοτικότητά της μειώνεται επίσης σημαντικά (77).

Τα μικροκύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικουρικά όταν ο ρυθμός ξήρανσης αρχίζει και μειώνεται σημαντικά ή και σε προϊόντα που έχουν χαμηλή υγρασία (<20%) και καθιστούν τη συμβατική ξήρανση μη αποδοτική προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος ξήρανσης και να αυξηθεί σημαντικά η αποδοτικότητα της συνολικής διεργασίας (77).

- Ξήρανση Refractance window (RW)

Η ξήρανση RW είναι μία σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία αξιοποιείται για την ξήρανση ευαίσθητων στη θερμότητα προϊόντων όπως οι πολτοί και οι φέτες φρούτων και λαχανικών, οι χυμοί σε σκόνη, φλούδες κλπ. Επιπλέον χρησιμοποιείται στην φαρμακευτική βιομηχανία, στη βιομηχανία καλλυντικών και στην ξήρανση χρωστικών ουσιών. Είναι μία μέθοδος η οποία είναι

πολύ καλή για τη διατήρηση του αρώματος, του χρώματος, της υφής και της θρεπτικής αξίας των υπό ξήρανση προϊόντων και μπορεί να συγκριθεί ακόμα και με τη μέθοδο της ψυχρής ξήρανσης σε αυτόν τον τομέα παρουσιάζοντας ίδια αποτελεσματικότητα σε πολύ χαμηλότερο κόστος. Τέλος, είναι μία μέθοδος που παρουσιάζει πολύ καλή θερμική απόδοση (ανάλογη με τον drum dryer και σημαντικά καλύτερη από την ξήρανση με θερμό αέρα) (78),(79).

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία έμμεση μέθοδο ξήρανσης καθώς το υπό ξήρανση προϊόν και το θερμαντικό μέσο δεν έρχονται σε άμεση επαφή. Πιο συγκεκριμένα, το προϊόν απλώνεται σε ένα λεπτό φιλμ στην επιφάνεια μιας πλαστικής μεταφορικής ταινίας η οποία με τη σειρά της έρχεται σε επαφή με λουτρό θερμού νερού. Η ταινία μετακινείται με ρυθμιζόμενη ταχύτητα πάνω από το θερμό νερό και κατά συνέπεια η θερμότητα του νερού μεταφέρεται στην πλαστική ταινία και στην συνέχεια στο υπό ξήρανση υλικό με αποτέλεσμα η ξήρανση να πραγματοποιείται γρήγορα και αποτελεσματικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πλαστικό της ταινίας εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία κατά την θέρμανση του με αποτέλεσμα αυτή να απορροφάται από το νερό της υγρασίας του προϊόντος και να επιταχύνεται ακόμα περισσότερο η ξήρανση. Στο τέλος της ταινίας βρίσκεται μία λεπίδα η οποία ξύνει το αποξηραμένο υλικό από την επιφάνειά της (78).

Το νερό θερμαίνεται μέσω ατμού σε μία αδιαβατική δεξαμενή και στη συνέχεια μεταφέρεται με τη χρήση αντλίας σε μία ρηχή ορθογώνια λεκάνη στην οποία έρχεται σε επαφή με το πλαστικό της μεταφορικής ταινίας. Το νερό στο τέλος της διεργασίας που έχει κρυώσει ανακυκλώνεται και αναθερμαίνεται με ατμό και η διαδικασία συνεχίζεται κυκλικά. Συνήθως το θερμό νερό βρίσκεται σε θερμοκρασία 95-97 βαθμούς Κελσίου, το προϊόν δεν ξεπερνάει τους 70 βαθμούς Κελσίου ενώ η όλη διάταξη είναι υπό ατμοσφαιρική πίεση. Παρακάτω φαίνεται και μία εικόνα που δείχνει μία τυπική διάταξη RW (78):



Εικόνα 2.1: Τυπική διάταξη RW σε βιομηχανική κλίμακα

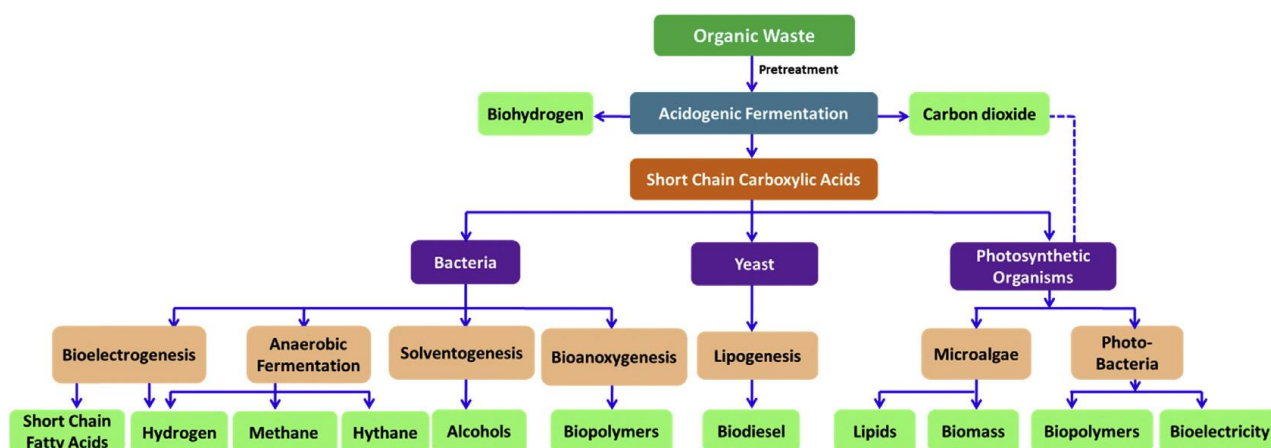
Η περιγραφή της ξήρανσης RW είναι ιδιαίτερος δύσκολη καθώς περιλαμβάνει και τους τρεις τρόπους μεταφοράς θερμότητας. Πραγματοποιείται μεταφορά μέσω αγωγής ανάμεσα στο πλαστικό και στο υπό ξήρανση υλικό, μέσω συναγωγής ανάμεσα στο πλαστικό και στο θερμό νερό καθώς και στο υπό ξήρανση υλικό και στον αέρα ενώ πραγματοποιείται και μέσω ακτινοβολίας λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει το πλαστικό κατά την θέρμανση του και απορροφάται από το υπό ξήρανση υλικό. Η συνεισφορά αυτών των τριών τρόπων μεταφοράς θερμότητας είναι άγνωστη και υπάρχουν λίγα δεδομένα για την περιγραφή ενός επαρκούς μοντέλου μεταφοράς θερμότητας για τη συνολική διεργασία (79).

Κεφάλαιο 3: Πτητικά λιπαρά οξέα (VFA)

3.1 Εισαγωγή

Τα Πτητικά Λιπαρά Οξέα (volatile fatty acids, VFA) αποτελούν λιπαρά οξέα που περιέχουν έως έξι άτομα άνθρακα (81),(85). Το πιο διαδεδομένο από όλα είναι το οξικό οξύ (συντακτικός τύπος: CH_3COOH και κατά ISO αιθανικό οξύ) λόγω της δυνατότητας των αντίστοιχων βακτηρίων που το παράγουν να αναπτυχθούν σε ένα μεγάλο εύρος φυσικοχημικών συνθηκών (84).

Αυτά τα οξέα μπορούν να αξιοποιηθούν με πολλούς και ποικίλους τρόπους: στην παραγωγή βιοπλαστικών (81),(85),(87),(91), τα οποία έχουν ιδιαίτερη χρησιμότητα καθώς είναι βιοδιασπώμενα σε αντίθεση με τα πλαστικά της πετροχημικής βιομηχανίας, στην παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρικής (81) ή μέσω της παραγωγής βιοαερίου στην αναερόβια χώνευση (82),(90)) καθώς και στην αφαίρεση ανεπιθύμητων συστατικών από το νερό (81),(94) (χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η απονιτροποίηση (90)). Επιπλέον τα οξέα αυτά χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή διάφορων προϊόντων προστιθέμενης αξίας όπως εστέρων, αλδευδών, κετονών, αλκανίων και αλκοολών στην συμβατική οργανική βιομηχανία (87). Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει τις διάφορες χρήσεις που μπορούν να έχουν τα VFA:



Σχήμα 3.1: Παραγωγή προϊόντων από τα VFA (83)

Με τη σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την παραγωγή και την αξιοποίηση των VFA καθώς αποτελούν μία ανανεώσιμη πηγή λόγω της υψηλής τους συγκέντρωσης στο οργανικό κλάσμα των αστικών αποβλήτων και ειδικότερα στα απόβλητα τροφίμων (Food waste ή FW, χάριν συντομίας) (81),(86),(87). Επιπλέον, φυτά υψηλής συγκέντρωσης σε σάκχαρα ήδη χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή VFA, όπως αντίστοιχα και για την παραγωγή βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, αλλά η χρήση αγροτικής γης για την παραγωγή μη βρώσιμων προϊόντων ενώ η αύξηση του πληθυσμού παραμένει σταθερή αποτελεί έναν πολύ σοβαρό και δικαιολογημένο προβληματισμό (81).

3.2 Παραγωγή VFA

3.2.1 Πηγές VFA

Παραδοσιακά τα VFA παράγονται από προϊόντα της πετροχημικής βιομηχανίας. Συγκεκριμένα,

παράγονται από την οξείδωση ή την καρβοξυλίωση χημικών όπως οι αλδεΐδες και οι ολεφίνες που προέρχονται από την επεξεργασία του πετρελαίου (87). Αυτές οι χημικές διεργασίες όμως είναι ενεργειακά κοστοβόρες και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον με αποτέλεσμα η παραγωγή VFA μέσω βιοτεχνολογικών διεργασιών καθώς και με την χρήση βιολογικών υποστρωμάτων να αποκτά όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον (88).

Μερικές από τις πιο μελετημένες πηγές για την παραγωγή VFA είναι η πρωτογενής ιλύς και η ενεργός ιλύς προερχόμενες από εργοστάσια επεξεργασίας αστικών λυμάτων, το οργανικό κλάσμα αστικών στερεών αποβλήτων (Organic Fraction of Municipal Solid Waste ή OFMSW) και κυρίως τα FW που ανήκουν σε αυτό καθώς και τα αγροτικά απόβλητα/υπολείμματα.

- Πρωτογενής και ενεργός ιλύς

Τα αστικά λύματα παράγουν μεγάλες ποσότητες ιλύων οι οποίες είναι πολύ πλούσιες σε οργανικό φορτίο. Συγκεκριμένα, έχει καταγραφεί συγκέντρωση COD από 14.800 μέχρι 23.000 mg/L. Ωστόσο, μόλις το 1-10% του οργανικού κλάσματος είναι υδατοδιαλυτό με αποτέλεσμα η παραγωγή VFA να καθίσταται δυσχερής καθώς η υδρόλυση είναι το περιοριστικό στάδιο στην χώνευση των λασπών (81).

Για τη βελτίωση της απόδοσης της χώνευσης, οι ιλύες μπορούν να προεπεξεργαστούν καθώς και να συγχωνευτούν και με άλλα υποστρώματα όπως FW ή αγροτικά απόβλητα (88). Παραδείγματος χάριν, πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η μέγιστη συγκέντρωση VFA που παρήγαγε η πρωτογενής λάσπη ήταν 85 mgCOD/mgVSS. Η τελευταία αυξήθηκε κατά 40% με την προσθήκη δευτερογενούς ιλύος σε αναλογία 1:1 ως προς τα πτητικά στερεά (VSS) (81).

- Τροφικά απόβλητα (FW)

Τα FW προέρχονται από διάφορες πηγές. Συγκεκριμένα, μπορεί να είναι υπολείμματα οικιακής προέλευσης, υπολείμματα αγορών, εστιατορίων, κυλικείων, καφετεριών, βιομηχανιών τροφίμων κλπ. Παρουσιάζουν υψηλή βιοαποδομησιμότητα καθώς και υψηλό περιεχόμενο υγρασίας (89).

Ο πιο κοινός τρόπος διαχείρισης των FW σήμερα είναι η ταφή τους σε ΧΥΤΑ και η παραγωγή βιοαερίου από αυτά καθώς ανήκουν στο ζυμώσιμο κλάσμα των στερεών αποβλήτων. Ωστόσο, η απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου είναι αρκετά επιβλαβής για το περιβάλλον. Επιπλέον, η καύση τους χρησιμοποιείται συχνά καθώς έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα αλλά ούτε αυτή η μέθοδος είναι φιλική προς το περιβάλλον λόγω των καυσαερίων που απελευθερώνονται (82),(98).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την χρήση των υπολειμμάτων τροφών για την παραγωγή VFA λόγω του μεγάλου όγκου που καταλαμβάνουν στα αστικά στερεά απόβλητα (22-54%) καθώς και λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης COD η οποία κυμαίνεται μεταξύ των 91,900 με 166,180 mg/L (81). Επιπλέον, ενώ γενικά τα FW παρουσιάζουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την περιοχή προέλευσής τους, εμφανίζουν κάποιες ομοιότητες οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές: παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση οργανικής ύλης (15-20% TVS ή total volume solid) καθώς και σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου (2-15 g/kg και 0.5-1 g/kg αντιστοίχως) που αποτελούν θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που είναι σημαντικοί για την παραγωγή VFA (87). Ακόμα, τα FW έχουν σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον καθώς μπορούν να αποτελέσουν το υπόστρωμα για αναερόβια χώνευση, μια διαδικασία η οποία μέσω του σταδίου της οξυγένεσης μπορεί να παράξει σημαντικές ποσότητες VFA (87), (88), (45).

Ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η αύξηση της διαλυτότητας των FW καθώς η τελευταία επηρεάζει άμεσα την παραγωγή των VFA. Τα FW πριν υποστούν την οποιαδήποτε βιολογική διεργασία περνάνε πρώτα από το στάδιο της προεπεξεργασίας προκειμένου να αυξηθεί η τελική απόδοση της επιθυμητής διεργασίας που ακολουθεί. Η προεπεξεργασία στοχεύει να πετύχει τα παρακάτω (87):

- Τη μείωση του μεγέθους του υποστρώματος προκειμένου να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής των αντιδρώντων στις αντιδράσεις που έπονται
- Την εκχύλιση μικρότερων και απλούστερων χημικών ουσιών για τη βελτίωση του σταδίου της ζύμωσης
- Την αφαίρεση ενδογενών συστατικών τα οποία παρεμποδίζουν την ακόλουθη βιολογική διεργασία.

Οι προεπεξεργασίες των FW συνήθως κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες (87):

- Φυσικές
- Χημικές
- Βιολογικές

Στις φυσικές προεπεξεργασίες, τα τρόφιμα αλέθονται προκειμένου να αυξηθεί η ειδική επιφάνεια και να γίνει εφικτή η επεξεργασία τους από τους μικροοργανισμούς και τα ένζυμα στις εκάστοτε βιολογικές διεργασίες. Οι πιο ευρεία χρησιμοποιούμενες μηχανές άλεσης είναι οι διάφοροι τύποι μύλων (87).

Στις χημικές επεξεργασίες, όξινα, αλκαλικά και οργανικά υδατικά διαλύματα διαφόρων ενώσεων (αιθανόλης, βενζενίου, αιθυλενογλυκόλης κ.α.) χρησιμοποιούνται για την κατεργασία των FW με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαλυτότητα τους. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι η απαίτηση σε ακριβά χημικά αντιδραστήρια με αποτέλεσμα να καθίστανται οικονομικά ασύμφωρες (87).

Τέλος, στις βιολογικές προεπεξεργασίες χρησιμοποιούνται ένζυμα τα οποία αποδομούν την κυτταρίνη και το άμυλο που βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα FW αυξάνοντας τη διαλυτότητα τους. Το βασικό μειονέκτημα αυτών των διεργασιών είναι οι αρκετά μειωμένες κινητικές των αντιδράσεων, ειδικά σε σύγκριση με τις χημικές, πράγμα που πολλές φορές τις καθιστά ασύμφωρες (87).

Ένα πολύ μεγάλο πρόβλημα που παρουσιάζουν τα FW είναι ο διαχωρισμός τους από το σύνολο των αστικών στερεών αποβλήτων καθώς περιέχουν πολλά συστατικά που είναι ανεπιθύμητα για την παραγωγή VFA. Οι λύσεις που έχουν προταθεί για αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση κάδων αποκλειστικά για FW, πράγμα που σημαίνει ότι η διαλογή FW μετακυλιέται αποκλειστικά στον καταναλωτή, ή η χρήση σταθμών ανάκτησης των οργανικών κλασμάτων από τα συνολικά στερεά απόβλητα (81).

- **Αγροτικά Απόβλητα/ Υπολείμματα**

Τα αγροτικά απόβλητα έχουν πολύ μεγάλη συγκέντρωση COD και συνεπώς χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά για την παραγωγή VFA (81),(89). Συγκεκριμένα, το ζαχαροκάλαμο καθώς και το

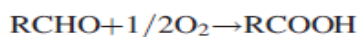
άχυρο έχουν συγκεντρώσεις COD 1150,40 g/kg και 1188,85 g/kg αντιστοίχως (89). Ωστόσο, αν και παρουσιάζουν αυτό το σημαντικό πλεονέκτημα, έχουν το μεγάλο αρνητικό ότι παρουσιάζουν υψηλή συγκέντρωση λιγνίνης, η οποία είναι δυσδιάλυτη, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η παραγωγή VFA καθώς όπως έχει προαναφερθεί η υδρόλυση αποτελεί συχνά το περιοριστικό στάδιο (89).

3.2.2 Μέθοδοι παραγωγής VFA

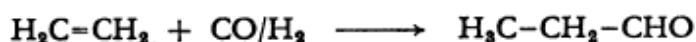
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα VFA σήμερα παράγονται κυρίως μέσω της επεξεργασίας προϊόντων του πετρελαίου (αλδεΐδες, ολεφίνες, αλκάνια) ενώ η παραγωγή τους από ανανεώσιμες πηγές όπως είναι τα διάφορα είδη βιομάζας είναι ακόμα αρκετά χαμηλότερη (88),(96). Ωστόσο, επειδή οι υδρογονάνθρακες είναι ρυπογόνοι και υπάρχει στόχος από την Ε.Ε. για πλήρη ανεξαρτητοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα (88), η παραγωγή των VFA μέσω της αναερόβιας χώνευσης βιομάζας έχει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον.

- Μέθοδοι άμεσα εξαρτώμενες από το πετρέλαιο

Μία πολύ γνωστή και παλιά μέθοδος για την παραγωγή VFA είναι η αλδεϊδική οξείδωση. Παρακάτω είναι η γενική μορφή αυτής της χημικής αντίδρασης (96):



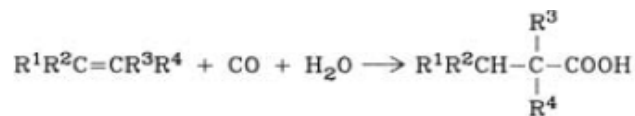
Οι αλδεΐδες που είναι απαραίτητες για τη σύνθεση των λιπαρών οξέων παράγονται από τις ολεφίνες του πετρελαίου μέσω μιας διεργασίας που αποτελεί πατέντα από την δεκαετία του 1930 και ονομάζεται διεργασία Oxo. Σε αυτήν την διεργασία αντιδρούν οι ακόρεστες ολεφίνες με μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, πάντα υπό την επίδραση κάποιου καταλύτη, σχηματίζοντας ένα καρβοξυλικό οξύ. Παρακάτω παρουσιάζεται η μετατροπή του αιθυλενίου σε προπανάλη με την επίδραση μονοξειδίου και υδρογόνου ως χαρακτηριστικό παράδειγμα (96),(96):



Η αντίδραση είναι εξώθερμη και παράγει ενέργεια της τάξεως των 28-35 kcal/mol, αναλόγως με την δομή και το μοριακό βάρος της ολεφίνης (95). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι στην αντίδραση Oxo μπορεί να συμμετέχει ένα μεγάλο εύρος ολεφινών με αποτέλεσμα να μπορούν να παραχθούν πολλά διαφορετικά λιπαρά οξέα (95).

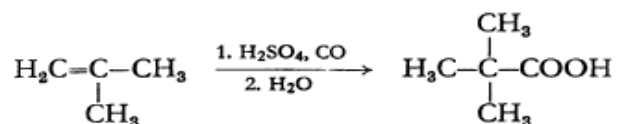
Οι παραγόμενες αλδεΐδες στην συνέχεια οξειδώνονται με αέρα, με ή χωρίς καταλύτη. Στην δεύτερη περίπτωση, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι καταλύτες είναι τα άλατα των μετάλλων που εμφανίζουν πάνω από έναν αριθμό οξείδωσης (π.χ. κοβάλτιο, σίδηρος, βανάδιο κ.α.) (95).

Η παραγωγή λιπαρών οξέων μπορεί να γίνει απευθείας από τις ολεφίνες χωρίς να υπάρχει η ανάγκη του σταδίου της παραγωγής αλδεϊδών. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διεργασία Koch και η γενική μορφή της είναι η ακόλουθη (94):



Η διεργασία Koch περιλαμβάνει δύο πολύ βασικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι ολεφίνες αντιδρούν με το μονοξειδίο του άνθρακα παρουσία κάποιου οξίνου καταλύτη (ο πιο συνηθισμένος είναι το $H_3PO_4-BF_3$) και στο δεύτερο στάδιο το σύμπλεγμα της ολεφίνης, του μονοξειδίου και του καταλύτη υδρολύονται απελευθερώνοντας το καρβοξυλικό οξύ ως προϊόν (95),(96). Μετά την υδρόλυση, τα οξέα και ο καταλύτης βρίσκονται σε ένα διφασικό μη αναμίξιμο μίγμα οπότε ο καταλύτης απομονώνεται εύκολα από τα επιθυμητά οξέα και ανακυκλώνεται (95),(96).

Το πρώτο στάδιο της διεργασίας απαιτεί θερμοκρασίες 20-80 βαθμούς κελσίου και πιέσεις 50-100 bar ενώ η συνολική διεργασία έχει απόδοση 85-95% σε καρβοξυλικά οξέα (95). Παρακάτω παρουσιάζεται ως παράδειγμα η μετατροπή του μεθυλοπροπενίου σε ισοβουτυρικό (96):



Τέλος, η οξείδωση των παραφινών του πετρελαίου μπορεί επίσης να παράξει σημαντική ποσότητα VFA. Συγκεκριμένα, τα αλκάνια σε υγρή φάση μπορούν να θερμανθούν σε θερμοκρασία άνω των 100 βαθμών κελσίου και σε πίεση ελαφρώς μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής δίνοντας σαν προϊόντα CO_2 καθώς και ένα μίγμα ευθύγραμμων και διακλαδισμένων καρβοξυλικών οξέων. Τα οξέα αυτά κυμαίνονται από το φορμικό μέχρι και τα άτομα του άνθρακα του αντιδρώντος αλκανίου, συνεπώς ανάλογα με το αντιδρόν μπορεί να παραχθεί σημαντική ποσότητα από VFA (95).

- Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία σειρά από βιολογικές διεργασίες κατά τις οποίες μικροοργανισμοί διασπούν βιοδιασπώμενα υλικά απουσία οξυγόνου και παράγουν σαν τελικό προϊόν το βιοαέριο, που περιέχει μεταξύ πολλών άλλων υψηλή συγκέντρωση σε μεθάνιο. Στην συνέχεια, το μεθάνιο αποτελεί ενεργειακή πηγή και μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας (45),(96).

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία πολύ αποτελεσματική μέθοδο για τη διαχείριση βιοδιασπώμενων αποβλήτων όπως είναι τα FW, οι απορροές των FW, οι κοπριές των ζώων καθώς και τα αστικά λύματα καθώς μειώνει σημαντικά το οργανικό φορτίο τους ενώ ταυτόχρονα παράγει βιοαέριο (αποτελείται από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα ως επί το πλείστον) με αποτέλεσμα να παρέχει μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (82),(86). Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας που δείχνει την τυπική σύσταση του βιοαερίου που παράγεται από την αναερόβια χώνευση:

Πίνακας 3.1: Τυπική σύσταση βιοαερίου (97)

Biogas Component	Composition of Biogas (%)
Methane (CH ₄)	45–65%
Carbon dioxide (CO ₂)	30–40%
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	0.3–3%
Ammonia (NH ₃)	0–1%
Moisture (H ₂ O)	0–10%
Nitrogen (N ₂)	0–5%
Oxygen (O ₂)	0–2%
Hydrogen (H ₂)	0–1%

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διεργασία οπότε για την υλοποίησή της απαιτείται η παρουσία συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Η διεργασία μπορεί να γίνει είτε από ένα είδος μικροοργανισμών σε κάθε στάδιο είτε από μικτή καλλιέργεια μικροοργανισμών (87),(88). Αν και η παραγωγή VFA είναι σημαντικά μεγαλύτερη στην πρώτη περίπτωση, συνήθως στην πράξη χρησιμοποιούνται μικτές καλλιέργειες καθώς δεν επηρεάζονται από ενδεχόμενη μόλυνση από κάποιον άλλο μικροοργανισμό με αποτέλεσμα να είναι πιο σταθερές σε σχέση με τις μονοκαλλιέργειες (87),(88).

Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει τα εξής πολύ βασικά στάδια (45):

- Την υδρόλυση, κατά την οποία διαλυτοποιείται το οργανικό υλικό.

Η Υδρόλυση είναι πολύ σημαντική καθώς η βιομάζα συνήθως αποτελείται από μεγάλα οργανικά μόρια τα οποία δεν μπορούν να αξιοποιηθούν. Στο στάδιο αυτό, τα μεγάλα βιοπολυμερή όπως οι πρωτεΐνες, τα λιπίδια καθώς και οι υδατάνθρακες διασπώνται σε μικρότερα μόρια όπως αμινοξέα, λιπαρά οξέα και σάκχαρα (97).

Το στάδιο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της δράσης εξωκυττάρικων ενζύμων τα οποία παράγονται από συγκεκριμένα βακτήρια. Ο ρυθμός του σταδίου αυτού καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και τον ρυθμό της μεθανογένεσης στο τέλος (45).

- Την οξυγένεση, στην οποία παράγονται λιπαρά οξέα και κατά συνέπεια και τα VFA.

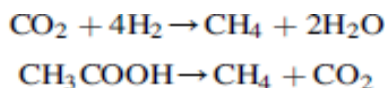
Στο στάδιο αυτό, τα οργανικά μόρια τα οποία είναι ακόμα αρκετά μεγάλα μετά την υδρόλυση, διασπώνται περαιτέρω με αποτέλεσμα να παράγονται VFA (όπως το προπιονικό, το βουτυρικό, το ισοβουτυρικό, το βαλερικό και το οξικό οξύ), υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, αλκοόλες και διάφορα παραπροϊόντα που βρίσκονται σε ίχνη (45),(97). Αν και το οργανικό φορτίο σε σημαντικό βαθμό έχει αλλάξει μορφή, δεν έχει επέλθει ακόμα η σταθεροποίηση καθώς το COD έχει μειωθεί ελάχιστα.

- Την οξικογένεση, στην οποία παράγεται υδρογόνο και οξικό οξύ.

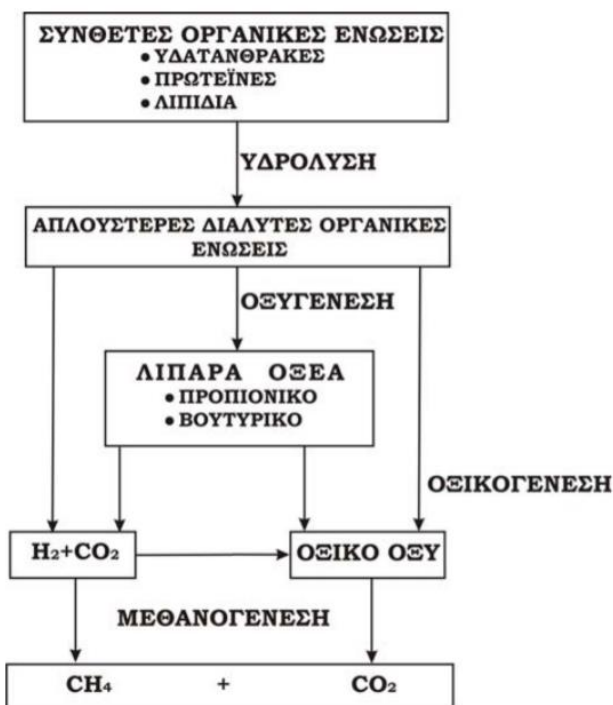
Τα οξικογόνα βακτήρια χρησιμοποιούν πολλά από τα προϊόντα που παρήχθησαν στο προηγούμενο στάδιο (π.χ. τα διάφορα λιπαρά οξέα) για την παραγωγή οξικού οξέος, υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα τα οποία θα αξιοποιηθούν στην συνέχεια από τα μεθανογόνα βακτήρια για την παραγωγή μεθανίου (45),(97)

- Την μεθανογένεση, στην οποία παράγεται και το τελικό προϊόν της χώνευσης, το μεθάνιο.

Στο τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, τα μεθανογόνα βακτήρια παράγουν βιοαέριο από τα τελικά προϊόντα της οξικογένεσης καθώς και από κάποια ενδιάμεσα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων με αποτέλεσμα αφενός οι λάσπες να σταθεροποιούνται λόγω σημαντικής μείωσης του οργανικού φορτίου και αφετέρου να παράγεται σημαντική ποσότητα βιοαερίου (45),(97). Στην συνέχεια το μεθάνιο, επειδή είναι αδιάλυτο στο νερό, περνάει στην αέρια φάση οπότε διαχωρίζεται πολύ εύκολα από την αναερόβια ιλύ και συλλέγεται μαζί με τα υπόλοιπα συστατικά του βιοαερίου (45). Υπάρχουν δύο γενικές διεργασίες μέσω των οποίων παράγεται μεθάνιο οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω (45),(97):



Ενδεικτικά, περίπου το 72% του μεθανίου παράγεται από τη δεύτερη αντίδραση ενώ το υπόλοιπο 28% από την πρώτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι το οξυγόνο είναι ισχυρά τοξικό για τα μεθανογόνα βακτήρια οπότε απαιτούνται αυστηρά αναερόβιες συνθήκες σε αυτό το στάδιο (45). Παρακάτω παρουσιάζεται το σχήμα 2 που δείχνει την συνολική διεργασία της αναερόβιας χώνευσης (98):



Σχήμα 3.2: Διαδικασία αναερόβιας χώνευσης

Το βιοαέριο που παράγεται έχει ενεργειακό περιεχόμενο της τάξεως των 22MJ/m³ και χρησιμοποιείται όπως προαναφέρθηκε για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμικής ενέργειας. Ωστόσο, το πάγιο κόστος των αναερόβιων εγκαταστάσεων είναι αρκετά υψηλό και η συνολική διαδικασία δεν είναι τόσο αποδοτική οπότε προτιμώνται μόνο όταν υπάρχει πολύ μεγάλη παροχή βιομάζας (98).

Η αναερόβια χώνευση επηρεάζεται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες όπως είναι το pH, η θερμοκρασία, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT), η παροχή του οργανικού φορτίου (OLR), η επιφάνεια επαφής, η απουσία τοξικών ουσιών κ.α. (86),(45),(93),(94). Ωστόσο, συγκεκριμένα για την παραγωγή των VFA έχουν υπάρξει πειραματικά δεδομένα που επιβεβαιώνουν ότι ο HRT, το

OLR, η θερμοκρασία και το pH είναι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή των VFA κυρίως επειδή επηρεάζουν το στάδιο στο οποίο παράγονται κατά κύριο λόγο, την οξυγένωση (86),(93),(94).

Συγκεκριμένα, για το pH οι Bengsston et al. (86) μέτρησαν την παραγωγικότητα των VFA έχοντας ως υποστρώματα τυρόγαλα βιομηχανίας τυριού καθώς και απορροή βιομηχανίας χαρτιού και βρήκαν, υπό σταθερό χρόνο παραμονής, ότι τα VFA μειώνονται δραματικά σε χαμηλά pH κάτω από 5 ενώ η μέγιστη παραγωγικότητα και για τα δύο υποστρώματα ήταν μεταξύ pH 5-6. Αντίστοιχα οι Jiang et al. (94) χρησιμοποίησαν ως υπόστρωμα υπολείμματα τροφών με σύσταση 35% ρύζι, 45% λάχανο, 16% χοιρινό, και 4% τόφου κατά βάρος και βρήκαν και αυτοί ότι σε χαμηλά pH πέφτει δραματικά η παραγωγικότητα ενώ κοντά στο 6 παρουσιάζεται μέγιστη. Ωστόσο, οι Zou et al. (94) βρήκαν ότι το ιδανικό pH είναι 7 για οικιακά FW ενώ για υπόστρωμα οργανικής λάσπης αναμιγμένο με FW το βέλτιστο pH ήταν 9. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ανάλογα με το υπόστρωμα, το βέλτιστο pH για την μέγιστη παραγωγή VFA αλλάζει οπότε πρέπει για το κάθε διαφορετικό υπόστρωμα να γίνεται ξεχωριστή έρευνα. Όλες οι έρευνες πάντως συμφωνούν ότι το pH διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγωγή VFA.

Ο χρόνος παραμονής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας επίσης καθώς δίνει περισσότερο χρόνο στους μικροοργανισμούς να διασπάσουν το οργανικό υπόστρωμα και να παράξουν τα VFA στην οξυγένωση (45),(94). Παρόλα αυτά, μετρήσεις έχουν δείξει ότι με αύξηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής πέρα από ένα επίπεδο, η παραγωγή των VFA δεν θα αυξηθεί λόγω περιορισμών από το ίδιο το υπόστρωμα (94). Οι Bengsston et al. (86) πραγματοποίησαν πειράματα σε σταθερό pH αυξάνοντας σταδιακά τον χρόνο παραμονής και παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων ενώ επιπλέον παρατηρήθηκε και αλλαγή στη σύσταση των παραγόμενων οξέων με σταδιακή αύξηση της περιεκτικότητας του βουτυρικού και του προπιονικού οξέος, ενώ ύστερα από μία τιμή χρόνου παραμονής μειώθηκαν και πάλι. Οι Zou et al. (93) επίσης συμφωνούν με το συμπέρασμα ότι με την αύξηση του υδραυλικού χρόνου παραμονής αυξάνονται και τα VFA, ωστόσο κατέληξαν εξετάζοντας διαφορετικά υποστρώματα ότι ξεπερνώντας ένα όριο που εξαρτάται κάθε φορά από το υπόστρωμα, η παραγωγικότητα σταματάει να μεταβάλλεται.

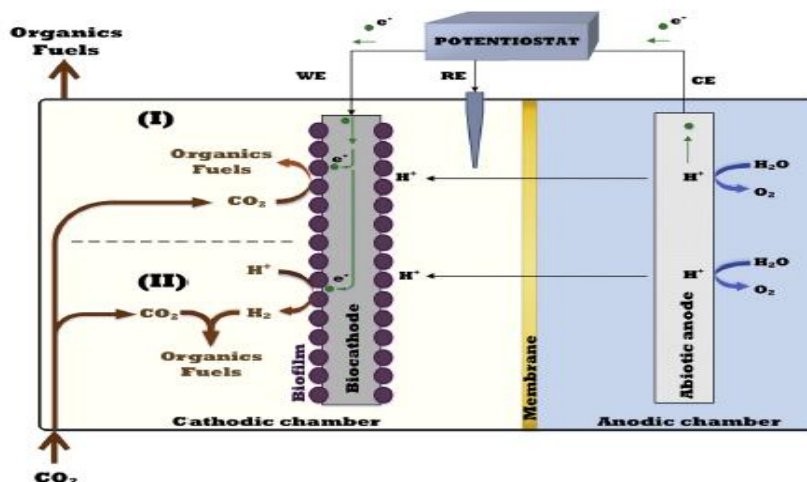
Η θερμοκρασία είναι σημαντική για την παραγωγή VFA λόγω του γεγονότος ότι επηρεάζει τις κινητικές των ενζύμων καθώς και τον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Συνήθως αξιοποιείται μια θερμοκρασία της τάξεως των 35 βαθμών Κελσίου. Πειραματικές μετρήσεις (94),(94) έχουν δείξει ότι η μέγιστη συγκέντρωση VFA επιτυγχάνεται σε θερμοκρασίες 35 με 45 βαθμούς Κελσίου με μία ελάχιστη μεγαλύτερη συγκέντρωση στους 45°C (94). Επειδή όμως το ενεργειακό κόστος είναι αρκετά υψηλότερο, η θερμοκρασία των 35 °C είναι η πιο προσφιλής επιλογή καθώς είναι ελάχιστη η διαφορά στην παραγωγή VFA (92),(93). Αξίζει να σημειωθεί ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας στους 55°C μειώνεται η συγκέντρωση των VFA συνολικά αλλά αυξάνεται σημαντικά η παραγωγικότητα σε βουτυρικό οξύ (92),(93). Συνεπώς η θερμοκρασία επηρεάζει και την σύσταση των παραγόμενων VFA.

Τέλος, το OLR επίσης αλλάζει την παραγωγικότητα των VFA καθώς εισάγεται μεγαλύτερη ποσότητα υποστρώματος, δηλαδή αντιδρώντος. Πειραματικές μετρήσεις (92),(93) έχουν δείξει ότι η αύξηση του OLR αυξάνει την παραγωγικότητα των VFA μέχρι ενός σημείου όπου το υπόστρωμα αρχίζει και αποκτάει μεγάλο ιξώδες λόγω της μεγάλης αύξησης της ποσότητάς του με αποτέλεσμα η παραγωγικότητα των VFA να αρχίζει να μειώνεται σημαντικά. Τα προαναφερθέντα

πειράματα έγιναν σε περιβάλλον σταθερού pH καθώς και σταθερού HRT (92),(93).

➤ Μικροβιακή ηλεκτροσύνθεση (MES)

Στα συστήματα MES μικροοργανισμοί μετατρέπουν το CO₂ σε χημικά προϊόντα προστιθέμενης αξίας καθώς και σε καύσιμα εντός ηλεκτροχημικού κελιού λόγω της ικανότητάς τους να ανταλλάσσουν ηλεκτρόνια με ηλεκτροδοτικές επιφάνειες. Αυτοί οι μικροοργανισμοί δέχονται ηλεκτρόνια από την στερεή κάθοδο με αποτέλεσμα να μετατρέπουν το πλήρως οξειδωμένο CO₂ σε χημικά όπως είναι οι αλκοόλες καθώς και τα VFA (84). Παρακάτω το σχήμα 3 δείχνει την θεωρητική λειτουργία ενός ηλεκτροχημικού κελιού MES:



Σχήμα 3.3: Γενικό διάγραμμα μικροβιακής ηλεκτροσύνθεσης (84)

Τα VFA μπορούν να παραχθούν από πολλούς διαφορετικούς μικροοργανισμούς σε συστήματα MES με το οξικό οξύ να είναι αυτό που εμφανίζεται πιο συχνά. Οι μικροοργανισμοί οι οποίοι παράγουν το οξικό οξύ μέσω του CO₂ είναι κυρίως τα βακτήρια *Sporomusa sp.* και *Clostridium sp.* Έχουν επιτευχθεί ρυθμοί παραγωγής οξικού οξέος άνω των 0,78 g/L/d (84).

Το βουτυρικό οξύ είναι το δεύτερο VFA σε συχνότητα εμφάνισης μετά το οξικό στα συστήματα MES καθώς προκύπτει ως προϊόν μαζί με το οξικό μέσω αντιδράσεων αύξησης της ανθρακικής αλυσίδας. Άλλα VFA όπως το προπιονικό και το ισοβουτυρικό έχουν εντοπιστεί ως παραπροϊόντα των αντιδραστήρων MES αλλά σε μικροποσότητες (84).

3.3 Χρήσεις και εφαρμογές των VFA

Τα VFA χρησιμοποιούνται ήδη ευρέως στη φαρμακευτική βιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων, στη βιομηχανία καλλυντικών, στη βιομηχανία υφασμάτων, στη βιομηχανία πλαστικών μέσω της συμμετοχής τους στη σύνθεση βιοπολυμερών κ.α. (105),(106).

Συγκεκριμένα, το μυρμηκικό οξύ χρησιμοποιείται στη βιομηχανία υφασμάτων, στην επεξεργασία καουτσούκ και στην παρασκευή φαρμάκων ενώ χρησιμοποιείται και ως συντηρητικό και απολυμαντικό ζωοτροφών. Το οξικό οξύ, που είναι και το πτητικό λιπαρό οξύ με το μεγαλύτερο εμπορικό ενδιαφέρον και την μεγαλύτερη κατανάλωση παγκοσμίως, αξιοποιείται στην παραγωγή πληθώρας προϊόντων καθώς συμμετέχει στην βιομηχανία πλαστικών, αποτελεί πρόσθετο τροφίμων με την κωδική ονομασία E260, είναι ρυθμιστής της οξύτητας σε διάφορα διαλύματα και επιπλέον αξιοποιείται στην παραγωγή εστέρων με ποικίλες χρήσεις. Το προπιονικό οξύ επίσης αποτελεί συντηρητικό στη βιομηχανία τροφίμων, όπου εισάγεται με τη μορφή των αλάτων

νατρίου ή ασβεστίου, καθώς και στην παραγωγή παρασιτοκτόνων και φαρμάκων. Επίσης οι εστέρες του αποτελούν διαλύτες πολλών οργανικών ενώσεων και πρόσθετα τροφίμων (106).

Πέρα από την συμβατική χημική βιομηχανία όμως, υπάρχουν και πολλές εφαρμογές των VFA οι οποίες είναι σημαντικές για περιβαλλοντικούς σκοπούς καθώς αφορούν είτε στη δημιουργία ανανεώσιμων και φυσικά διασπώμενων προϊόντων όπως τα πάσης φύσεως βιοπολυμερή, είτε την παραγωγή ενέργειας με ανανεώσιμο και αειφόρο τρόπο, είτε την αφαίρεση βλαβερών συστατικών από υδατικά διαλύματα.

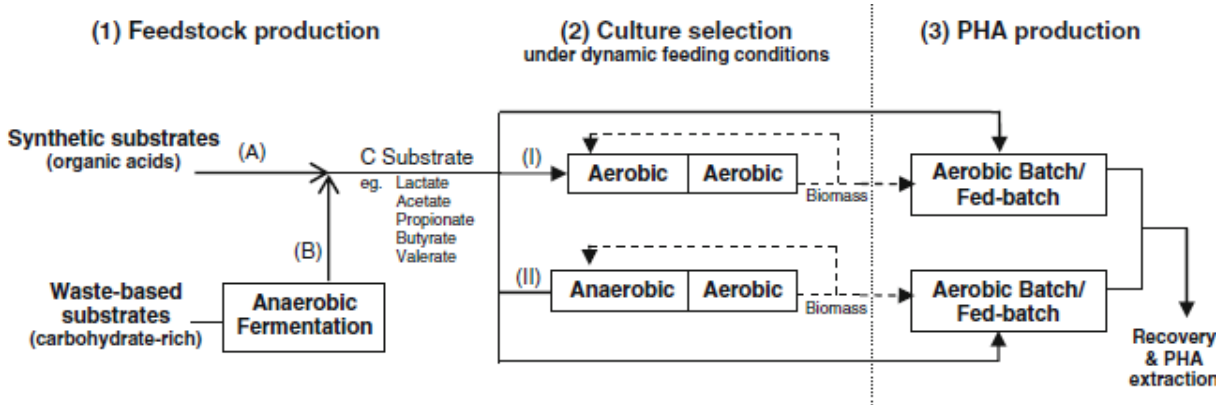
➤ Παραγωγή βιοπολυμερών - πολυϋδροξυαλκανοϊκών (Polyhydroxyalkanoates, PHA)

Τα PHA είναι πολυεστέρες και αποτελούν κατηγορία βιοπολυμερών τα οποία έχουν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της βιοαποδομησιμότητάς τους καθώς και λόγω των πολλών διαφορετικών ιδιοτήτων που μπορούν να αποκτήσουν διότι αξιοποιούνται πολλά διαφορετικά μονομερή για την παραγωγή τους (81),(86),(88). Παράγονται από πληθώρα προκαρυωτικών μικροοργανισμών ως αποθέματα άνθρακα και ενέργειας σε σχηματισμό κόκκων εντός του κυτταροπλάσματος. Οι μικροοργανισμοί αυτοί αντιδρούν συνθέτοντας PHA όταν υπόκεινται σε σχετικά δύσκολες συνθήκες όπως είναι η έλλειψη επαρκών θρεπτικών συστατικών (88),(99).

Τα πολυμερή αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι θερμοπλαστικά με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως στη δημιουργία συσκευασιών, ως πρόσθετα σε μπογιές, ως κολλητικές ουσίες καθώς και με πολλές εφαρμογές στην Ιατρική επιστήμη (88),(99).

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον γι' αυτά τα πολυμερή λόγω του ότι αποτελούν ένα προϊόν που είναι ανανεώσιμο σε αντίθεση με τα πολυμερή που παράγονται έχοντας ως πρώτη ύλη το πετρέλαιο. Επιπλέον, είναι απολύτως φιλικά στο περιβάλλον καθώς διασπώνται πολύ εύκολα σε αντίθεση με τα παραδοσιακά πλαστικά (88). Δυστυχώς όμως, λόγω του γεγονότος ότι η παραγωγή των PHA είναι σημαντικά πιο ακριβή από την παραγωγή πολυμερών της πετροχημικής βιομηχανίας καθώς τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται ανεβάζουν το κόστος, η παραγωγή τους είναι πολύ πιο μικρή σε σχέση με αυτήν των πλαστικών (81),(86),(88),(100). Προκειμένου να γίνουν πιο ανταγωνιστικά σαν προϊόντα σε σχέση με τα συνθετικά πλαστικά είναι απαραίτητη περαιτέρω έρευνα (99).

Όλες οι βιομηχανικές μέθοδοι παραγωγής των PHA που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα αξιοποιούν καλλιέργειες συγκεκριμένων κανονικών ή γενετικά τροποποιημένων μικροοργανισμών και η κάθε καλλιέργεια συνήθως περιλαμβάνει μόνο ένα είδος μικροοργανισμού (99). Ωστόσο, επειδή η καλλιέργεια ενός είδους μικροοργανισμού είναι ακριβή καθώς μπορεί πολύ εύκολα να μολυνθεί από άλλους παθογόνους για αυτήν μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα να απαιτείται συχνή απολύμανση καθώς και επειδή το κόστος των υποστρωμάτων είναι αρκετά ακριβό διότι χρησιμοποιούνται καθαρή γλυκόζη, σακχαρόζη ή άλλα σάκχαρα που έχουν αρκετά υψηλή τιμή, μελετάται η δημιουργία αυτών των πολυμερών από μικτές καλλιέργειες μικροοργανισμών καθώς και η χρήση των VFA προερχόμενων από ανανεώσιμες πηγές ως φθινό υπόστρωμα (81),(86),(88),(99). Οι μικτές καλλιέργειες έχουν αρκετά χαμηλότερη απόδοση σε PHA από τις απλές αλλά επειδή δεν απαιτείται απολύμανση έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος με αποτέλεσμα να κάνουν την σύνθεση των βιοπολυμερών πιο ανταγωνιστική (81),(86),(99). Παρακάτω στο σχήμα 4 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής για την παραγωγή PHA σε τρία στάδια χρησιμοποιώντας μικτές καλλιέργειες μικροοργανισμών:



Σχήμα 3.4: Παραγωγή PHA από μικτές καλλιέργειες έχοντας ως υπόστρωμα συνθετικά υποστρώματα ή υποστρώματα προερχόμενα από οργανικά απόβλητα (99)

Τα VFA μπορούν να αξιοποιηθούν ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (81),(86),(88). Επειδή βρίσκονται σε μεγάλη συγκέντρωση σε πολλούς τύπους αποβλήτων όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές και παραπάνω, αποτελούν ένα υπόστρωμα το οποίο είναι φθινό, υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες αναξιοποίητο στα απόβλητα και επίσης είναι ανανεώσιμο. Έχει παρατηρηθεί ότι η οξυγενής ζύμωση οργανικών αποβλήτων μπορεί να αυξήσει την συγκέντρωση των VFA οπότε πολλές φορές συνιστάται για την αύξηση της παραγωγικότητας των βιοπολυμερών (86). Έχουν υπάρξει επίσης πειραματικές μετρήσεις που δείχνουν ότι η παραγωγικότητα των VFA έχοντας ως βάση τα FW που έχουν ήδη υποστεί ζύμωση ήταν σημαντικά υψηλότερη από τη χρήση απλών ακατέργαστων FW πράγμα που επιβεβαιώνει τον παραπάνω ισχυρισμό (88).

Το μήκος της αλυσίδας των VFA έχει πολύ σημαντική επίδραση στην σύνθεση των τελικών PHA και κατά συνέπεια στις μηχανικές τους ιδιότητες (81),(86). Συγκεκριμένα, η παρουσία του οξικού και του βουτυρικού οξέος έχουν την τάση δημιουργίας υδροξυβουτυρικών μονομερών (HB) ενώ η παρουσία του προπιονικού οξέος ευνοεί τη δημιουργία υδροξυβαλερικών μονομερών (HV) (81),(86). Κατά συνέπεια, τα PHA που έχουν υψηλή συγκέντρωση σε HB έχουν την τάση να είναι σκληρά και άκαμπτα με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένες οι εφαρμογές τους ενώ τα PHA που έχουν κατά βάση HV είναι πολύ πιο ελαστικά και εύχρηστα (81),(86). Επιπλέον, τα πολυμερή που έχουν HV είναι λιγότερο διαπερατά σε οξυγόνο ακόμα και από τα πολυμερή της πετροχημικής βιομηχανίας, όπως το πολυαιθυλένιο, με αποτέλεσμα να είναι πολύ χρήσιμα και ως συσκευασίες (81). Για αυτό και συνήθως γίνεται συμπολυμερισμός και των δύο (81). Είναι πολύ σημαντικό κατά την ζύμωση της πρώτης ύλης να ρυθίζονται κατάλληλα οι συνθήκες (pH, θερμοκρασία κ.α.) έτσι ώστε να παράγονται τα VFA τα οποία στην συνέχεια θα δώσουν PHA με τις επιθυμητές ιδιότητες ανάλογα με την εφαρμογή (81),(86).

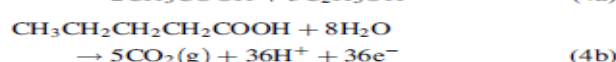
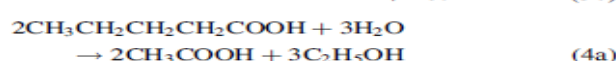
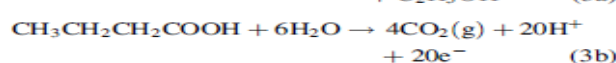
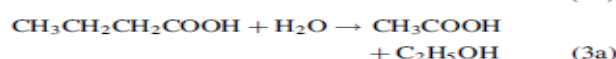
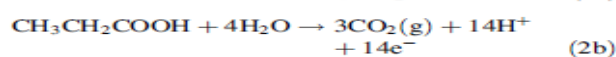
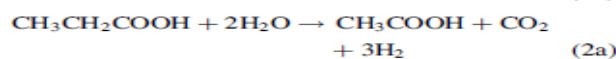
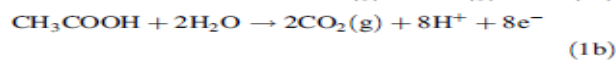
- Παραγωγή ηλεκτρισμού από μικροβιακές κυψέλες καυσίμου (microbial fuel cell, MFC)

Τα MFC είναι βιοηλεκτροχημικά συστήματα τα οποία αξιοποιούν μικροοργανισμούς για τη μετατροπή της χημικής ενέργειας οργανικών υποστρωμάτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Ως υποστρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πληθώρα οργανικών ενώσεων όπως η γλυκόζη, η λακτόζη, το οξικό οξύ, το βουτυρικό οξύ, η αιθανόλη καθώς και η οργανική ύλη των λυμάτων (81),(100),(101),(102).

Σε αυτά τα συστήματα, συνυπάρχουν ένα ανοδικό αναερόβιο κελί μαζί με ένα καθοδικό αερόβιο

κελί που διαχωρίζονται από μία μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων. Στο αναερόβιο κελί δημιουργείται ένα βιοφίλμ από βακτήρια τα οποία οξειδώνουν το οργανικό υπόστρωμα με την βοήθεια ηλεκτρονίων τα οποία προέρχονται είτε από εξωγενή μεταφορέα ηλεκτρονίων, είτε από διαβιβαστές ηλεκτρονίων, είτε από τα ένζυμα των ίδιων των βακτηρίων του φιλμ. Στην τελευταία περίπτωση, τα βακτήρια του συστήματος έχουν στην επιφάνεια του κυτταρικού τους τοιχώματος ηλεκτροχημικά ενεργά ένζυμα όπως τα κυττοχρώματα που μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρόνια σε εξωτερικά υλικά. Το αναερόβιο κελί στη συνέχεια συνδέεται με το αερόβιο μέσω ενός υλικού ικανού για την μεταφορά πρωτονίων και τα ηλεκτρόνια που περνάνε στην κάθοδο αντιδρούν με πρωτόνια και οξυγόνο και σχηματίζουν νερό. Τέλος το αναερόβιο και το αερόβιο κελί συνδέονται εξωτερικά και με καλώδιο προκειμένου να κλείσει το κύκλωμα (81),(100),(102).

Τα VFA μπορούν να αποτελέσουν και αυτά υπόστρωμα των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Συγκεκριμένα, μέσω της οξυγενούς ζύμωσης οργανικών αποβλήτων όπως τα FW μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες VFA τα οποία στην συνέχεια οξειδώνονται από τα βακτήρια της αναερόβιας καθόδου με την γενική διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω (81),(102). Οι γενικές ηλεκτροχημικές αντιδράσεις του οξικού, του βουτυρικού, του προπιονικού και του βαλερικού οξέος φαίνονται στο σχήμα 5:



Σχήμα 3.5: Γενικές ηλεκτροχημικές αντιδράσεις τεσσάρων VFA (102)

Πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι ο ρυθμός διάσπασης του οξικού και του προπιονικού οξέος ήταν υψηλότεροι και όσο αυξανόταν το μοριακό βάρος του οξέος, ο ρυθμός διάσπασης και κατά συνέπεια και η παραγωγή ηλεκτρισμού από τα κελιά μειωνόταν σημαντικά. Συνεπώς, φαίνεται να υπάρχει μία προτίμηση για τα VFA με μικρότερο μοριακό βάρος από τα βακτήρια της ανόδου (102).

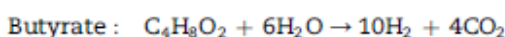
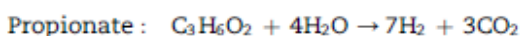
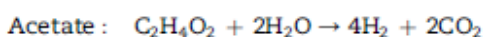
Πάρα πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση των MFC's όπως τα υλικά της ανόδου και της καθόδου, το υλικό της αντλίας μεταφοράς πρωτονίων, το χημικό υπόστρωμα και η συγκέντρωσή του, η ιοντική ισχύς του διαλύματος, η αντίσταση στη μεταφορά μάζας των ουσιών από το διάλυμα της ανόδου στο κυτταρικό τοίχωμα των βακτηρίων κ.α. Αν και αποτελούν έναν πολύ καθαρό και ανανεώσιμο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν ακόμα πολύ χαμηλή παραγωγή και βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό σε πειραματικό στάδιο λόγω προβλημάτων που ακόμα δεν έχουν λυθεί όπως είναι η ισχυρή εσωτερική αντίσταση μεταφοράς μάζας των κελιών (100),(101),(102).

➤ Παραγωγή υδρογόνου

Τα VFA μπορούν να δώσουν υδρογόνο μέσω πολλών βιολογικών διεργασιών, δύο εκ των οποίων είναι η φωτοζύμωση και η ηλεκτροϋδρόλυση (81).

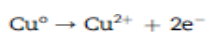
Κατά την φωτοζύμωση, συγκεκριμένα βακτήρια όπως για παράδειγμα το *Rhodobacter sphaeroides* O.U. 001 αξιοποιούν οργανικό υπόστρωμα και παράγουν υδρογόνο με την επίδραση της ηλιακής ενέργειας. Συνήθως το υπόστρωμα πριν εισαχθεί για επεξεργασία από αυτά τα βακτήρια έχει ήδη υποστεί ζύμωση για τη διάσπαση των μεγάλων οργανικών μορίων σε μικρότερα μόρια όπως είναι τα VFA. Στη συνέχεια, το διάλυμα εξόδου της ζύμωσης είναι πλούσιο σε VFA με αποτέλεσμα συγκεκριμένα βακτήρια να τα καταναλώνουν και να παράγουν βιοϋδρογόνο υπό αναερόβιες συνθήκες και πάντα υπό την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας (81),(103).

Πειραματικές μετρήσεις που έγιναν σε διάλυμα που περιείχε βουτυρικό, οξικό και προπιονικό οξύ έδειξαν ότι όλα αυτά τα VFA αξιοποιούνται από τα βακτήρια στην παραγωγή υδρογόνου αλλά με διαφορετικές αποδόσεις (81),(103). Συγκεκριμένα οι Uyar et al. (103) χρησιμοποίησαν δύο διαλύματα VFA (περιείχαν μόνο βουτυρικό, προπιονικό και οξικό οξύ) με διαφορετική σύσταση το καθένα και τα εισήγαγαν σε ίδιους φωτοβιοαντιδραστήρες. Το πρώτο είχε σε μεγαλύτερη συγκέντρωση το οξικό οξύ ενώ το δεύτερο είχε σε μεγαλύτερη το βουτυρικό οξύ. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι πρώτα καταναλώθηκαν το προπιονικό και το οξικό οξύ και τελευταίο το βουτυρικό ενώ η απόδοση ήταν σαφώς υψηλότερη στο πρώτο διάλυμα. Αυτές οι μετρήσεις δείχνουν ότι υπάρχει προτίμηση των βακτηρίων σε συγκεκριμένα VFA. Παρακάτω στο σχήμα 6 φαίνονται και οι θεωρητικές αντιδράσεις παραγωγής υδρογόνου από τα τρία προαναφερθέντα VFA, οι οποίες όμως δεν είναι στοιχειομετρικά ακριβείς γιατί μέρος του παραγόμενου CO₂ καταναλώνεται από τα βακτήρια:

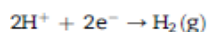
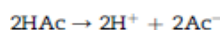


Σχήμα 3.6: Θεωρητικές αντιδράσεις παραγωγής υδρογόνου από VFA (103)

Η φωτοζύμωση έχει το μεγάλο μειονέκτημα ότι η παραγωγή υδρογόνου είναι χαμηλή καθώς περιορίζεται η παραγωγικότητα από τον σχετικά χαμηλό μεταβολισμό των μικροοργανισμών (104). Μία πιο γρήγορη διεργασία παραγωγής VFA είναι η ηλεκτροϋδρόλυση. Σε αυτήν, εφαρμόζεται σταθερό ρεύμα σε μεταλλικά ηλεκτρόδια σε ένα ηλεκτροχημικό κελί που έχει διαλυμένα VFA με αποτέλεσμα να απελευθερώνονται στο διάλυμα ηλεκτρόνια από τα μεταλλικά ιόντα και πρωτόνια από την ηλεκτρόλυση των VFA. Τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια συνδυάζονται και σχηματίζουν υδρογόνο. Οι Tuna et al. (104) χρησιμοποίησαν χάλκινα ηλεκτρόδια σε ένα διάλυμα πλούσιο σε VFA προερχόμενο από ζύμωση και εφάρμοσαν σταθερό ρεύμα χαμηλής τάσης σε αυτά. Τα χάλκινα ηλεκτρόδια απελευθέρωσαν στο διάλυμα ηλεκτρόνια και κατιόντα υδρογόνου με βάση την παρακάτω εξίσωση:



Παράλληλα, τα VFA υπέστησαν ηλεκτροϋδρόλυση και έδωσαν πρωτόνια τα οποία στη συνέχεια αντέδρασαν με τα παραπάνω ηλεκτρόνια και παρήγαγαν υδρογόνο:



Οι εξισώσεις που γράφτηκαν παραπάνω περιγράφουν την γενικότερη λογική της ηλεκτροϋδρόλυσης και δεν περιορίζονται μόνο στο συγκεκριμένο πείραμα. Μέχρι στιγμής η έρευνα πάνω στην ηλεκτροϋδρόλυση των VFA είναι πολύ περιορισμένη οπότε η συγκεκριμένη τεχνική είναι σε πολύ πειραματικό στάδιο (81),(104).

Αξίζει να σημειωθεί επίσης η παραγωγή ενός αερίου που στα αγγλικά ονομάζεται biohythane και είναι μίγμα υδρογόνου και μεθανίου. Το αέριο αυτό έχει υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο από το απλό βιοαέριο (81),(105).

Η αναερόβια χώνευση που έχει περιγραφεί εκτενώς και παραπάνω είναι μία βιολογική διεργασία η οποία συνήθως γίνεται σε ένα στάδιο, δηλαδή όλα τα παραπάνω στάδια που έχουν αναλυθεί γίνονται σε έναν αντιδραστήρα και υπό αναερόβιες συνθήκες. Η αναερόβια χώνευση ενός σταδίου παράγει το βιοαέριο που αποτελείται από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κυρίως. Υπάρχει όμως η δυνατότητα η αναερόβια χώνευση να γίνει σε δύο στάδια, όπου η υδρόλυση και η οξυγένεση διαχωρίζονται από την οξικογένεση και την μεθανογένεση εξασφαλίζοντας τις βέλτιστες συνθήκες για τους μικροοργανισμούς του κάθε σταδίου. Έτσι, το υδρογόνο που παράγεται κατά την οξυγένεση δεν είναι αμελητέο και αναμιγνύεται με το βιοαέριο της μεθανογένεσης με αποτέλεσμα να παράγεται το τελικό biohythane το οποίο έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος ως καύσιμο αυτοκινήτων. Τα VFA διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο καθώς ρυθμίζουν το στάδιο της οξυγένεσης και είναι το βασικό υπόστρωμα και στην παραγωγή βιοαερίου στην μεθανογένεση (105).

➤ Βιολογική αφαίρεση συστατικών (Φώσφορος και άζωτο)

Η αφαίρεση του αζώτου και του φωσφόρου από τα διάφορα λύματα είναι ένα συνεχές πρόβλημα στον σύγχρονο βιομηχανικό κόσμο καθώς είναι γνωστό ότι οι αζωτούχες και φωσφορούχες ενώσεις είναι κυρίως υπεύθυνες για το φαινόμενο του ευτροφισμού. Τα συστατικά αυτά μπορούν να αφαιρεθούν από τα υδατικά διαλύματα με βιολογικές διεργασίες από βακτήρια που χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας οργανικό υπόστρωμα (90),(94).

Για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών παίζει ρόλο η περιεκτικότητα του διαλύματος σε βιοδιασπώμενο οργανικό υπόστρωμα. Επειδή συνήθως τα διαλύματα αυτά δεν περιέχουν από μόνα τους αρκετά μεγάλο οργανικό φορτίο, χρησιμοποιείται ως πρόσθετο η μεθανόλη η οποία όμως είναι αρκετά ακριβή με αποτέλεσμα να επηρεάζει σημαντικά το συνολικό λειτουργικό κόστος των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και επίσης δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αφαίρεση του φωσφόρου. Έχει δημιουργηθεί λοιπόν πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για τη χρήση των VFA ως πηγών ενέργειας για τα βακτήρια καθώς έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να αξιοποιηθούν ως υπόστρωμα για την ανάπτυξή τους (90),(94). Γι' αυτό και είναι σημαντικές οι πηγές VFA εκτός πετρελαίου προκειμένου να είναι τα VFA φθηνά και ανανεώσιμα.

Εφόσον χρησιμοποιηθούν τα VFA ως πρώτη ύλη στη βιολογική αφαίρεση συστατικών, τότε θα

πρέπει να εξασφαλιστεί ότι είναι πολύ χαμηλές οι αναλογίες C/N και C/P του υποστρώματος προκειμένου με την εισαγωγή του στο σύστημα να μην αυξάνεται περαιτέρω η περιεκτικότητα αζώτου και φωσφόρου. Έχουν εξεταστεί διάφορες πηγές VFA για αυτές τις βιολογικές διεργασίες όπως το οργανικό κλάσμα στερεών αστικών αποβλήτων, διάφορες βιομηχανικές εκροές καθώς και πρωτογενής ιλύς. Οι Lim et al. (94) έδειξαν ότι τα FW είναι μία πολύ καλή πηγή και λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε VFA, της σχετικά χαμηλής συγκέντρωσης σε άζωτο και φώσφορο καθώς και λόγω του γεγονότος ότι είναι μία φθηνή πρώτη ύλη. Ακόμα πάντως χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως πηγή ενέργειας για τα βακτήρια (90),(94).

Πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι υπάρχει μία σαφής προτίμηση των απονιτροποιητικών βακτηρίων στο οξικό οξύ καθώς το διασπούν πολύ πιο εύκολα και γρήγορα ενώ ακολουθούν το βουτυρικό και το προπιονικό χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρη προτίμηση ανάμεσα στα δύο (90),(94).

Κεφάλαιο 4: Πειραματική μεθοδολογία

4.1 Σκοπός

Ο βασικός σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι να μελετηθεί η ξήρανση βιοαποβλήτων σε οικιακό σύστημα ξήρανσης αλλά και σε πιλοτικό σύστημα. Επίσης, στόχος είναι και η μελέτη της επίδρασης του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σύσταση των παραγόμενων συμπυκνωμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, η ξήρανση είναι μία διαδικασία η οποία όπως έχει προαναφερθεί και στο κεφάλαιο 2 είναι πολύ χρήσιμη, καθώς αυξάνει σημαντικά το χρόνο ζωής του υπό ξήρανση υποστρώματος και καθιστά πιο εύκολη την αποθήκευσή του για μετέπειτα χρήση ή επεξεργασία. Κατά την ξήρανση όμως παράγονται πάντα κάποια συμπυκνώματα, αναλόγως και με την ποσότητα καθώς και τη φύση του υπό ξήρανση υποστρώματος.

Στα δύο συστήματα ξήρανσης που χρησιμοποιήθηκαν η λογική ήταν παρόμοια. Τα συμπυκνώματα/υδρατμοί που παράγονταν κατά την ξήρανση υγροποιούνταν και στην συνέχεια πραγματοποιούνταν συλλογή του συμπυκνώματος. Στο σύστημα οικιακής ξήρανσης, οι ποσότητες ήταν αρκετά μικρές, ενώ στο πιλοτικό σύστημα πραγματοποιούνταν ξήρανση δεκάδων κιλών διατροφικών απορριμμάτων. Και στα δύο συστήματα γινόταν μελέτη του συμπυκνώματος όλης αυτής της ποσότητας των διατροφικών αποβλήτων καθώς και μελέτη της χρονικής εξέλιξης των χαρακτηριστικών της απορροής στο σύστημα GAIA επειδή η ξήρανση διαρκούσε αρκετές ώρες για το κάθε δείγμα με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η χρονική παρακολούθησή της.

Τα VFA έχουν αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 3 και έχουν πολλές διαφορετικές χρήσεις. Συνεπώς μελετήθηκε με τα δύο συστήματα ξήρανσης κατά πόσο υπάρχει σημαντική ποσότητα VFA στους υδρατμούς των διατροφικών απορριμμάτων που παράγονται κατά την ξήρανσή τους. Επιπλέον, με την καταγραφή και του TOC, μελετάται το οργανικό φορτίο που έχουν οι υδρατμοί και το ποσοστό αυτού του οργανικού φορτίου που μπορεί να αποδοθεί στα VFA. Επίσης, με την παραμονή του υποστρώματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για χρονικά διαστήματα από 1 μέχρι 30 ημέρες μελετάται και κατά πόσο τα χαρακτηριστικά αυτά μεταβάλλονται καθώς τα διατροφικά απόβλητα αλλοιώνονται υπό STP συνθήκες. Τέλος, γίνεται και μία σύγκριση της παραγωγής VFA από τα δύο συστήματα ξήρανσης, έχοντας πάντα σαν υπόστρωμα διατροφικά απορρίμματα, προκειμένου να διαπιστωθεί σε ποιο από τα δύο παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα VFA ανά kg υποστρώματος.

4.2 Μεθοδολογία Συλλογής Δειγμάτων

Τα δείγματα για τα δύο συστήματα ξήρανσης αποτελούνταν από διαφορετικές ποσότητες διατροφικών απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο σύστημα της οικιακής ξήρανσης αξιοποιήθηκαν μικροποσότητες οικιακών διατροφικών απορριμμάτων τα οποία προέρχονται από παιδικό σταθμό στη Δροσιά, Αττικής (που περιελάμβαναν μεταξύ άλλων φλούδες από κρεμμύδια και πατάτες, ψωμί, παντζάρια, φρούτα και λαχανικά, τυριά, ψωμί, τσόφλια από αυγά κ.α.) που αλέστηκαν προκειμένου να ομογενοποιηθούν και να αποκτήσουν ενιαία χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια, τα αλεσμένα οικιακά διατροφικά απόβλητα χωρίστηκαν σε 6 δοχεία. Το κάθε δοχείο είχε διαφορετικό χρόνο αποθήκευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στα χαρακτηριστικά των συμπυκνωμάτων της ξήρανσης, με άλλα λόγια να διερευνηθεί το κατά πόσο τα VFA και το TOC θα επηρεαστούν από την αποθήκευση

των απορριμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν σε εαρινούς μήνες οπότε η θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρούμε πως ήταν περίπου 20 βαθμούς κελσίου.

Ο αρχικός στόχος ήταν οι χρόνοι παραμονής να απέχουν αυστηρά 5 ημέρες αλλά λόγω αντικειμενικών συνθηκών δεν ήταν δυνατή η αυστηρή τήρηση αυτού του διαστήματος. Για αυτό και υπάρχει μία διακύμανση στον χρόνο αποθήκευσης. Στη συνέχεια, σε κάθε πείραμα αξιοποιούνταν 20 g δείγματος τα οποία τοποθετούνταν σε πλαστικές πλάκες και ξηραίνονταν εμπειρικά, μέχρις ότου το υπόστρωμα να κολλήσει στο πλαστικό και να μην έχει υγρή υφή. Μετά το τέλος της ξήρανσης, συλλέγονταν οι συμπυκνωμένοι ατμοί του δείγματος και πραγματοποιούνταν μέτρηση των συγκεντρώσεων VFA και TOC. Ο όγκος τους μετριόταν σε ογκομετρικό κύλινδρο και στην συνέχεια μετά τον υπολογισμό VFA και TOC γινόταν καταγραφή όγκου συμπυκνώματος σε mL, συγκέντρωσης VFA σε mg/L και συγκέντρωσης TOC σε mg/L.

Στο σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA οι ποσότητες ήταν άλλη τάξη μεγέθους καθώς ξηραίνονταν δεκάδες κιλά διατροφικών αποβλήτων. Τα διατροφικά απόβλητα προέρχονταν από την λέσχη εστίασης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αποτελούνταν από τα τρόφιμα που δεν καταναλώθηκαν στη μεσημεριανή βάρδια καθώς και από τα διατροφικά απόβλητα που πετάχτηκαν κατά την προετοιμασία των τροφίμων. Στην συνέχεια, όπως και με τον οικιακό ξηραντήρα, τα τρόφιμα παρέμεναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα με την ίδια λογική που έχει περιγραφεί και παραπάνω. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε χειμερινούς μήνες οπότε η θερμοκρασία περιβάλλοντος εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 17 με 20 βαθμούς κελσίου. Τα διατροφικά απορρίμματα αποθηκεύονταν σε πλαστικές σακούλες. Οι χρόνοι παραμονής κυμαίνονταν από 1-32 ημέρες και παρουσίαζαν και αυτοί διακύμανση λόγω αντικειμενικών συνθηκών. Σε κάθε διαφορετικό πείραμα πραγματοποιούνταν η ξήρανση των διατροφικών αποβλήτων μίας βάρδιας της λέσχης του ΕΜΠ και αυτά συλλέγονταν από τον χώρο όπου είχαν αποθηκευτεί μετά την συλλογή τους από την λέσχη.

Κατά την ξήρανση των διατροφικών απορριμάτων στο σύστημα GAIA υπήρχε μία υγρή απορροή η οποία κατέληγε σε έναν κουβά στην αποχέτευση. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα, συλλεγόταν δείγμα από την υγρή απορροή που κατέληγε στον κουβά και ζυγιζόταν η συνολική ποσότητα μάζας που είχε συγκεντρωθεί από την προηγούμενη συλλογή δείγματος μέχρι την τρέχουσα. Στη συνέχεια υπολογιζόταν στο υγρό δείγμα αυτό η συγκέντρωση VFA και TOC σε mg/L. Στο τέλος καταγράφονταν ως πειραματικά αποτελέσματα η μάζα της ποσότητας του υγρού ανάμεσα στην κάθε πειραματική μέτρηση σε g, η συγκέντρωση VFA και TOC σε mg/L καθώς και η χρονική στιγμή της ξήρανσης του υποστρώματος κατά τη συλλογή του δείγματος προκειμένου να φανεί η χρονική εξέλιξη των ιδιοτήτων του υγρού.

4.3 Περιγραφή του συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA

Το σύστημα GAIA ανήκει στην κατηγορία ξηραντήρων θερμικής ξήρανσης. Είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα, διαθέτει σύστημα μηχανικής ανάδευσης και είναι κατάλληλο για την ξήρανση και την μείωση όγκου διάφορων βιοαποβλήτων. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται και ο ξηραντήρας που αξιοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων:



Εικόνα 4.1: Σύστημα ξήρανσης GAIA δυνατότητας επεξεργασίας 100 kg νωπού υλικού ημερησίως

Το υπό ξήρανση υλικό εισέρχεται στον κεντρικό θάλαμο του ξηραντήρα και ζεσταίνεται με αντιστάσεις με αποτέλεσμα να ξεκινάει η ξήρανση του. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται συνεχής ανάδευση εντός του θαλάμου προκειμένου η ξήρανση να πραγματοποιηθεί ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του υλικού ενώ ταυτόχρονα με την ανάδευση κονιορτοποιείται και το υλικό προκειμένου να υπάρχουν ομοιόμορφα χαρακτηριστικά σε όλη την μάζα του. Στο τέλος ο όγκος του υλικού μειώνεται σημαντικά καθώς η υγρασία του αφαιρείται και το στερεό υπόλειμμα είναι μία άοσμη και αποστειρωμένη σκόνη που έχει την υφή πούδρας συνήθως. Ο όγκος του υλικού μπορεί να μειωθεί μέχρι και κατά 90%. Η αποξηραμένη βιομάζα μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς να αλλοιωθεί.

Τα συστήματα GAIA παρουσιάζουν την καινοτομία του συστήματος closed loop. Πιο συγκεκριμένα, οι υδρατμοί που παράγονται κατά την ξήρανση των προϊόντων υγροποιούνται αφού περάσουν πρώτα από ένα σύστημα δύο φίλτρων. Αυτό έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχουν εκπομπές αερίων και δυσάρεστων οσμών. Το μόνο που υπάρχει ως απόβλητο είναι μία υγρή απορροή η οποία αποτελείται από τους υγροποιημένους υδρατμούς που παρήχθησαν κατά την ξήρανση. Η απορροή αυτή μπορεί εύκολα να οδηγηθεί στην αποχέτευση. Στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, γινόταν συλλογή δειγμάτων από αυτήν την υγρή απορροή. Στους παρακάτω πίνακες λοιπόν που παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα, αυτά που αφορούν το σύστημα GAIA αναφέρονται σε αυτήν την υγρή απορροή.

Κατά την διάρκεια των συγκεκριμένων πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GC-100 το οποίο έχει τα παρακάτω λειτουργικά και τεχνικά χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.1: Λειτουργικά και χαρακτηριστικά του μοντέλου GC-100

Χωρητικότητα	50kg/κύκλο, 2 κύκλοι/ημέρα
Χρόνος ξήρανσης	6-9 ώρες ανά κύκλο
Χρόνος που απαιτείται για τη ψύξη του ξηραντήρα	1-2 ώρες ανά κύκλο
Θερμοκρασία κυλίνδρου λαδιού	165°C+15°C

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζονται στον πίνακα 2:

Πίνακας 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά μοντέλου GC-100

Μοντέλο	GC-100
Χωρητικότητα	50kg/κύκλο, 2κύκλοι/ημέρα
Διαστάσεις:	
-Μήκος	1400mm
-Βάθος	950mm
-Ύψος	1291mm
Κινητήρας	0,4kW, 150:1, 380V, 50Hz
Ανεμιστήρας	
-Πίεση	Max. 700mmAq
-Ροή	Max. 1m ³ /min
-Κινητήρας	0,2kW
Κύλινδρος λαδιού	6 kW
Συμπυκνωτής	0,112kw
Πετρέλαιο θέρμανσης	24L
Απαιτούμενη ισχύς	6,7kW
Ρεύμα	10,2 Amp
Βάρος	600kg

Το σύστημα τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια ενώ η θέρμανση είναι δυνατόν να προέρχεται από φυσικό αέριο, πετρέλαιο, ηλεκτρικό ρεύμα ή ακόμα και από ατμό. Οι χρόνοι κατεργασίας όπως επίσης και το κόστος χρήσης ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τύπο των απορριμμάτων και την περιεκτικότητα αυτών σε υγρασία. Οι συνήθεις χρόνοι κατεργασίας κυμαίνονται από 7 έως 9 ώρες, και η κατανάλωση από 0,28 έως 0,9 kW/kg.

Ο χρόνος λειτουργίας του ξηραντήρα ορίζεται ως το άθροισμα του χρόνου ξήρανσης του υπό ξήρανση υλικού και του χρόνου που απαιτείται για τον τερματισμό λειτουργίας του συστήματος. Είναι μία μεταβλητή η οποία εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη φύση του υπό ξήρανση υλικού καθώς και από την θερμοκρασία στην οποία επιτελείται η ξήρανση. Σε περίπτωση που το υπό ξήρανση υλικό είναι κολλοειδές ή έχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας ο χρόνος λειτουργίας αυξάνεται σημαντικά.

4.4 Περιγραφή του συστήματος οικιακής ξήρανσης

Ο οικιακός ξηραντήρας που χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Smart Cara CS 10. Ο ξηραντήρας αυτός χρησιμοποιείται για την ξήρανση οικιακών οργανικών αποβλήτων. Έχει μέσο χρόνο λειτουργίας 3-6 ώρες και πετυχαίνει μείωση του συνολικού όγκου των οργανικών απορριμμάτων μέχρι και κατά 90% λόγω απώλειας της υγρασίας τους. Η χωρητικότητα αυτού του ξηραντήρα είναι σαφώς μικρότερη από αυτήν του συστήματος GAIA καθώς προορίζεται για οικιακή χρήση και μπορεί να ξηράνει μέχρι και μερικά κιλά οργανικών αποβλήτων σε αντίθεση με το GAIA που ξηραίνει μέχρι και 100 kg. Στην εικόνα 2 φαίνεται το μοντέλο Smart Cara CS 10.



Εικόνα 4.2: Εξωτερική όψη του μοντέλου Smart Cara CS 10

Η λειτουργία του οικιακού ξηραντήρα είναι πάρα πολύ απλή και προσιτή σε όλους. Το σύστημα έχει έναν κεντρικό θάλαμο στον οποίο πραγματοποιείται ξήρανση με θερμό αέρα. Ο θερμός αέρας κυκλοφορεί συνεχώς στον θάλαμο προκειμένου να μειωθεί σημαντικά ο χρόνος ξήρανσης. Το δείγμα εισέρχεται στον κεντρικό θάλαμο (στα συγκεκριμένα πειράματα συνήθως εισερχόταν πάνω σε μία πλαστική κάψα προκειμένου να μην κολλήσει το υπό ξήρανση προϊόν στα τοιχώματα του ξηραντήρα) χωρίς καμία προεπεξεργασία ή προετοιμασία και με το πάτημα του κουμπιού λειτουργίας ξεκινούσε η ξήρανση. Ο χρόνος ξήρανσης ρυθμιζόταν αυτόματα από τον ξηραντήρα ανάλογα και με την ποσότητα των οργανικών αποβλήτων που ξηραίνονται με αποτέλεσμα να αποφεύγονται ενεργειακές σπατάλες.

Ο ξηραντήρας διαθέτει και φίλτρα προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δυσάρεστες οσμές που παράγονται κατά την ξήρανση. Οι υδρατμοί που παράγονταν κατά την χρονική εξέλιξη της ξήρανσης διέρχονταν από μία υποδοχή με δύο κούφιους κυλίνδρους οι οποίοι σε κάθε πείραμα γέμιζαν με πάγο. Καθώς διέρχονταν οι υδρατμοί, ο πάγος έλιωνε και οι υδρατμοί υγροποιούνταν με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα συμπύκνωμα στον πάτο της υποδοχής των δύο κυλίνδρων. Στο τέλος του πειράματος ο πάγος είχε λιώσει ολόκληρος και οι κύλινδροι γέμιζαν με καινούργιο προκειμένου να ξεκινήσει το επόμενο πείραμα. Το συμπύκνωμα αυτό, που αποτελούνταν από τους υδρατμούς των διατροφικών αποβλήτων που μελετήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα, συγκεντρωνόταν σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο και γινόταν μέτρηση του όγκου του. Στη συνέχεια γινόταν και υπολογισμός της συγκέντρωσης VFA και TOC εντός του εκάστοτε συμπυκνώματος. Το κάθε πείραμα ήταν αυτοτελές και ανεξάρτητο.

Ο οικιακός ξηραντήρας συμβάλλει σημαντικά στην προστασία της ανθρώπινης υγιεινής καθώς σταθεροποιούνται μέσω της ξήρανσης οργανικά οικιακά απόβλητα που αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι των συνολικών αποβλήτων μίας κατοικίας. Μέσω αυτής της σταθεροποίησης τα οργανικά απόβλητα αποστειρώνονται ενώ ταυτόχρονα σταματάνε να αποτελούν πηγή προσέλκυσης τρωκτικών και εντόμων που μπορούν να είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο. Επιπλέον, οι δυσάρεστες οσμές που προκύπτουν κατά την αποσύνθεση ανεπεξέργαστων οργανικών αποβλήτων ελαχιστοποιούνται ενώ η εκπομπή των αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα μειώνεται σημαντικά λόγω της σταθεροποίησης των αποβλήτων που καθυστερεί σημαντικά την αποσύνθεσή τους. Τέλος, μέσω της μείωσης του όγκου των αποβλήτων μειώνεται σημαντικά η ανάγκη για σακούλες ενώ το στερεό υπόλειμμα μετά την ξήρανση αποτελεί ένα στερεό καύσιμο υψηλού ενεργειακού περιεχομένου. Μέσω της χρήσης οικιακού ξηραντήρα εκτιμάται ότι το κάθε νοικοκυριό μπορεί να μειώσει την ετήσια παραγωγή άνθρακα κατά 425 kg.

4.5 Μέθοδοι ανάλυσης

➤ Μέτρηση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Για την μέτρηση του TOC αξιοποιήθηκε το όργανο μέτρησης TOC της εταιρείας Shimatzu και συγκεκριμένα μόνο το μέρος του οργάνου που αφορά υγρά δείγματα. Τα προς εξέταση δείγματα ήταν όπως έχει προαναφερθεί συμπυκνώματα υδρατμών διατροφικών απορριμμάτων και προέρχονταν και από τον οικιακό ξηραντήρα και από το σύστημα ξήρανσης GAIA. Τα δείγματα τοποθετούνταν ως τέτοια στην συσκευή χωρίς να πραγματοποιείται αραίωση καθώς οι συγκεντρώσεις TOC συνήθως δεν ήταν πάρα πολύ ψηλές.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στον υπολογισμό της ποσότητας του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται από την οξείδωση των ανθρακούχων ενώσεων που υπάρχουν στα υπό εξέταση διαλύματα. Τα δείγματα εισέρχονται στον σωλήνα καύσης της συσκευής και ο συνολικός άνθρακας που περιέχεται στο δείγμα οξειδώνεται στους 720°C σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα. Στην συνέχεια αξιοποιείται ένα φέρον αέριο το οποίο μεταφέρει τα διάφορα προϊόντα καύσης μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου οργάνου ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε υπερκαθαρός αέρας. Με την βοήθεια υπερκαθαρού αέρα τα προϊόντα καύσης μεταφέρονται σε έναν αφυγραντή προκειμένου να αφαιρεθεί η υγρασία ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται και ψύξη όλων των αερίων που έχουν παραχθεί κατά την αρχική καύση. Έπειτα, το φέρον αέριο διέρχεται μέσα από μια παγίδα αλογόνων και καταλήγει στην κυψελίδα ανιχνευτή NDIR (Non Dispersive Infra Red gas analyzer), όπου ανιχνεύεται το διοξείδιο του άνθρακα. Στην εικόνα 3 φαίνεται η εξωτερική όψη του οργάνου μέτρησης TOC της Shimatzu.



Εικόνα 4.3: Όργανο μέτρησης TOC της Shimadzu

Αξίζει να σημειωθεί ότι με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω μετριέται ο συνολικός άνθρακας που υπάρχει στα δείγματα, οργανικός και ανόργανος. Ο ανόργανος άνθρακας βρίσκεται σε μορφή διοξειδίου του άνθρακα και όχι δεσμευμένος σε οργανικές ενώσεις. Επομένως απαιτείται και η μέτρηση του ανόργανου άνθρακα (IC) και στην συνέχεια το όργανο αφαιρεί αυτόματα από τον ολικό άνθρακα (TC) τον IC και έτσι υπολογίζει τον οργανικό άνθρακα που υπήρχε αρχικά στο δείγμα. Στα συγκεκριμένα πειράματα, τα συμπυκνώματα είχαν ισχνές ποσότητες IC οπότε έγινε η παραδοχή πως ο IC είναι αμελητέος και θεωρήθηκε ότι ο TC είναι ίδιος με τον TOC.

➤ Μέτρηση VFA

Τα VFA προσδιορίστηκαν με την χρήση του φωτόμετρου Spectroquant Pharo 300 Merck αφού πρώτα χρησιμοποιήθηκαν τα αντιδραστήρια του πακέτου Spectroquant Volatile Organic Acids Test 1018909 (Merck KGaA, Mellipore, Germany (Merck KGaA, Mellipore, Germany) μέσω μίας επαναλαμβανόμενης διαδικασίας που θα περιγραφεί παρακάτω. Αραίωση των συμπυκνωμάτων δεν πραγματοποιήθηκε καθώς οι συγκεντρώσεις VFA δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλες συνεπώς δεν έβγαιναν εκτός του εύρους εντοπισμού του φωτόμετρου. Στην εικόνα 4 φαίνεται το φωτόμετρο μαζί με τις κυψελίδες που χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή της μέτρησης.



Εικόνα 4.4: Φωτόμετρο Spectroquant Pharo 300 Merck μαζί με τις κατάλληλες κυψελίδες που φαίνονται στα αριστερά της φωτογραφίας

Τα αντιδραστήρια του πακέτου είναι πέντε και έχουν τις κωδικές ονομασίες OA-1 Έως OA-5 και επιτελούν τις εξής χημικές αντιδράσεις:

- Αντίδραση των VFA που περιέχονται στο συμπύκνωμα με διόλη σε όξινο περιβάλλον προς σχηματισμό εστέρων λιπαρών οξέων
- Αντίδραση των εστερών με υδροξυλαμίνη και μετατροπή τους σε υδροξαμικά οξέα

- Αντίδραση των υδροξαμικών οξέων με ιόντα σιδήρου και σχηματισμός κοκκινόχρωμων συμπλεγμάτων

Τα κοκκινόχρωμα συμπλέγματα στην συνέχεια προσδιορίζονται φωτομετρικά στο προαναφερθέν φωτόμετρο. Η περιοχή μέτρησης του φωτόμετρου κυμαίνεται στα 50-3000 mg/L VFAs και τα τελευταία προσδιορίζονται ως οξικό οξύ. Η μέθοδος για την διεξαγωγή των αντιδράσεων είναι πλήρως τυποποιημένη και περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Έλεγχος του pH του δείγματος, ώστε να είναι pH 2-12.
- Προσθήκη με πιπέτα σε μια καθαρή κυλινδρική κυψελίδα 0,75ml αντιδραστηρίου OA-1.
- Προσθήκη με πιπέτα στην κυψελίδα 0,5ml αντιδραστηρίου OA-2.
- Προσθήκη με πιπέτα στην κυψελίδα 0,5ml δείγματος. Βιδώνεται το καπάκι και αναμιγνύεται.
- Η κυψελίδα τοποθετείται σε θερμοαντιδραστήρα στους 100 για 15 λεπτά. Κατόπιν, ψύχεται κάτω από τρεχούμενο νερό στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου.
- Προσθήκη με πιπέτα στην κυψελίδα από 1 ml αντιδραστηρίου OA-3, OA-4 και OA-5.
- Χρόνος αντίδρασης 1 λεπτό.

Οι κυψελίδες είναι όμοιες με αυτές που φαίνονται στην εικόνα 4. Μετά το πέρας των παραπάνω βημάτων εισάγονται στον υποδοχέα του φωτομέτρου και μετράται η συγκέντρωση των VFA βάσει της καταχωρημένης μεθόδου με αριθμό 223.

Κεφάλαιο 5: Πειραματικά Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα συστήματος οικιακής ξήρανσης

Σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα οικιακής ξήρανσης η μάζα του δείγματος υπολειμμάτων τροφών ήταν 20g. Επιπλέον, τα πειράματα του ξηραντήρα οικιακής ξήρανσης πραγματοποιήθηκαν σε ανοιξιάτικους και εαρινούς μήνες οπότε η θερμοκρασία περιβάλλοντος που αναφέρεται στους επόμενους πίνακες εκτιμάται ότι είναι περίπου 20°C. Κάθε πείραμα επαναλήφθηκε 2-3 φορές.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ημέρα.

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 1 ημέρα παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	223	135	39
2	234	200	22
3	220	131	9

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 2 ημέρες.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 2 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	204	154	18
2	188	203	21

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες.

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 5 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
-------------------------------	--------------------	------------	------------

1	218	193	104
2	237	194	96
3	244	160	109

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες.

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 6 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	244	161	92
2	197	245	107

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 ημέρες.

Πίνακας 5.5: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 10 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	214	171	117
2	208	203	128
3	211	162	145

Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 11 ημέρες.

Πίνακας 5.6: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 11 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	238	248	149
2	187	198	131

Στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από

αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 16 ημέρες.

Πίνακας 5.7: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 16 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	170	325	201
2	199	195	190
3	192	283	219

Στον Πίνακα 5.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 17 ημέρες.

Πίνακας 5.8: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 17 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	202	223	288
2	210	290	224

Στον Πίνακα 5.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 21 ημέρες.

Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 21 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	226	414	224
2	206	241	236

Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 22 ημέρες.

Πίνακας 5.10: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 22 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	207	486	240
2	202	215	203
3	232	258	198

Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 27 ημέρες.

Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 27 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	204	263	204
2	218	220	190
3	222	256	236

Στον Πίνακα 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στο οικιακό σύστημα ξήρανσης υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 29 ημέρες.

Πίνακας 5.12: Χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση υπολειμμάτων τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από 29 ημέρες παραμονής σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	Αρχικός όγκος (mL)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	224	356	206
2	228	237	188

5.2 Αποτελέσματα συστήματος αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA

Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα αποκεντρωμένης ξήρανσης GAIA έγιναν σε φθινοπωρινούς και ως επί το πλείστον χειμερινούς μήνες. Συνεπώς, η θερμοκρασία περιβάλλοντος που αναφέρεται παρακάτω εκτιμάται ότι είναι 17-20°C αναλόγως και με την ημερήσια διακύμανση.

Στον Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 95°C-105°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 26 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 4-5 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 6,02 kg.

Πίνακας 5.13: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (95°C-105°C) δειγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 4-5 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός μέτρησης	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα δείγματος (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	93	540	489	1953
2	138	1040	817	2232
3	160	500	823	2406
4	189	680	795	2416
5	207	420	997	2443
6	223	360	949	2421
7	243	480	869	2456
8	272	600	762	2435
9	288	340	864	2399
10	300	320	786	2405
11	330	860	773	2359
12	353	440	824	2252
13	368	380	775	2230
14	392	440	965	2205
15	412	380	815	2184
16	600	4720	871	1913
17	656	620	1224	1856
18	686	520	1069	1868
19	708	740	931	1785
20	748	820	1084	1742
21	772	400	1200	1717
22	803	480	1222	1691
23	935	440	1028	1693
24	965	300	1307	1608
25	1000	180	1366	1602

Στον Πίνακα 5.14 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 21,38 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ημέρα. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 3,5 kg.

Πίνακας 5.14: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 1 ημέρα αποθήκευση

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	78	1600	1535	2195
2	98	860	1344	1990
3	123	1080	1350	1789
4	143	860	1192	1651
5	163	1300	1060	1485
6	193	880	942	1338
7	218	1080	1009	1226
8	238	900	784	1088
9	258	760	928	1070
10	278	820	730	968
11	300	940	770	894
12	330	1060	706	829
13	350	710	648	776
14	370	540	728	749
15	390	600	643	713
16	465	880	713	690
17	490	420	756	695
18	520	500	757	722
19	540	300	689	705

Στον Πίνακα 5.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 29,8 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 8 kg.

Πίνακας 5.15: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 5 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	95	1440	670	2187
2	120	960	888	3267
3	141	760	820	3517
4	161	712	805	3642

5	180	740	808	3760
6	201	780	870	3820
7	223	780	949	3700
8	252	1060	890	3643
9	274	760	923	3550
10	294	720	900	3520
11	315	780	970	3428
12	335	640	960	3430
13	357	760	1044	3423
14	378	710	1152	3297
15	398	710	1040	3297
16	418	720	1071	3299
17	439	720	966	3264
18	459	660	1204	2912
19	480	760	1186	2568
20	570	1560	1209	1975
21	590	600	1219	1958
22	610	560	1207	1937
23	634	580	1322	1884
24	654	480	1577	1769
25	675	480	1341	1728
26	697	340	1538	1749
27	722	360	1489	1740

Στον Πίνακα 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 32,5 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 11 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 6 kg.

Πίνακας 5.16: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 11 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	76	880	847	2463
2	96	680	759	3668
3	120	880	898	4307
4	151	1260	742	4862
5	171	820	752	5108
6	191	860	844	5238
7	220	1160	836	5198
8	248	1140	879	4924
9	274	1160	906	4885
10	303	1440	967	4862

11	363	980	916	4537
12	394	860	1055	4601
13	415	840	909	4602
14	447	1240	1012	4551
15	470	820	850	4449
16	495	920	920	3676
17	525	1140	1086	2966
18	550	880	1072	2732
19	579	1120	1027	2609
20	599	680	935	2490
21	623	780	1098	2144
22	655	1000	1303	1951
23	680	740	1144	1743
24	703	660	1217	1691
25	723	480	1321	1677
26	753	700	1295	1653
27	786	700	1296	1639
28	846	640	1125	1527

Στον Πίνακα 5.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 43,6 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 14 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 9,34 kg.

Πίνακας 5.17: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 14 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	88	1300	965	2153
2	120	1080	1087	3640
3	150	1120	914	4371
4	180	1200	899	4676
5	210	1160	1095	4812
6	243	1300	991	4890
7	339	1800	1147	4628
8	369	1220	1090	4575
9	413	1620	972	4492
10	443	1100	1092	4293
11	473	1080	1171	4356
12	513	1460	1181	4241
13	543	1060	1144	4689
14	573	1100	1294	3322
15	605	1080	1350	3040

16	633	1140	1373	2522
17	663	1040	1159	2433
18	740	1320	1379	1971
19	770	1040	1350	1929
20	830	2100	1327	1887
21	860	1080	1657	1863
22	890	1040	1419	1870
23	920	780	1375	1901
24	950	900	1480	1947
25	980	760	1390	1974

Στον Πίνακα 5.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 30,88 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 21 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 7,76 kg.

Πίνακας 5.18: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 21 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	66	280	1440	3274
2	89	660	1403	4470
3	110	580	1553	5213
4	130	620	1353	5792
5	150	720	1389	6299
6	170	620	1665	6622
7	205	1120	1506	6759
8	225	740	1352	6603
9	248	760	1128	6527
10	269	710	1165	6431
11	300	1040	1379	6141
12	320	660	1223	6106
13	343	860	1175	6032
14	364	740	1140	6159
15	384	740	1644	6144
16	460	1200	1283	4953
17	483	820	1280	4994
18	503	640	1138	4990
19	523	680	1153	4931
20	543	710	1373	4947
21	563	660	1390	4825
22	583	712	1304	3965
23	609	820	1583	2955

24	637	820	1261	2726
25	657	520	1453	2620
26	677	520	1257	2572
27	697	520	1260	2575
28	717	560	1299	2415
29	747	660	1786	2209
30	769	440	1390	2200
31	789	320	1593	2197

Στον Πίνακα 5.19 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 20,86 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 26 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 6,8 kg.

Πίνακας 5.19: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 26 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	80	920	1334	6093
2	110	1000	1507	6920
3	140	1040	1485	7034
4	170	1020	1309	6656
5	260	1540	1430	5764
6	290	940	1457	5932
7	320	940	1362	5768
8	350	1020	1244	5706
9	393	940	1454	5663
10	423	1540	1345	5360
11	453	840	1228	4260
12	483	640	1180	3370
13	503	700	1061	2613

Στον Πίνακα 5.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 16,06 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 31 ημέρες. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 2,66 kg.

Πίνακας 5.20: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 31 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	88	2000	1421	4329
2	115	1000	1530	5294

3	145	1040	1498	5312
4	170	900	1349	5115
5	195	860	1306	4796
6	220	860	1302	4731
7	245	820	1321	4652
8	335	1540	1407	4233
9	360	740	1111	4336
10	395	940	1360	4332
11	415	520	1343	4148
12	448	760	1262	3520
13	480	440	1497	3186

Στον Πίνακα 5.21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 105°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 25,56 kg υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 6,1 kg.

Πίνακας 5.21: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (105°C) δείγματος υπολειμμάτων αποβλήτων ζυθοποιίας.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	75	820	1105	883
2	81	880	1031	906
3	122	700	876	843
4	151	1000	738	794
5	179	860	813	746
6	199	660	614	708
7	223	760	750	682
8	240	580	703	663
9	263	700	705	641
10	285	640	621	613
11	308	740	564	592
12	336	800	531	573
13	363	740	578	550
14	386	620	585	537
15	414	660	537	526
16	446	700	544	512
17	466	440	549	499
18	497	640	522	485
19	548	1320	527	480
20	676	3320	555	538
21	704	460	584	464
22	734	710	562	468

23	756	520	512	474
24	783	580	534	477
25	819	800	464	486

Στον Πίνακα 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 105°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 25,38 kg υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας μετά την αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για έναν μήνα. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 7,16 kg.

Πίνακας 5.22: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (105°C) δείγματος υπολειμμάτων αποβλήτων ζυθοποιίας μετά από έναν μήνα αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	80	1480	1514	2774
2	112	1540	1404	2966
3	162	2240	1330	2961
4	245	1920	1397	2543
5	276	1300	1349	2622
6	306	1220	1232	2518
7	336	1220	1389	2438
8	367	1160	1413	2446
9	397	1080	1513	2391
10	427	800	1385	2347
11	457	880	1221	2366
12	487	780	1364	2315
13	527	840	1394	2301

Στον Πίνακα 5.23 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 19,84 kg φλούδες πατάτας.

Πίνακας 5.23: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος από φλούδες πατάτας.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	80	1360	1562	3188
2	110	1300	1376	2768
3	135	1060	1361	2320
4	165	1240	1302	2060
5	195	1120	1213	1818
6	220	940	1109	1683

7	268	1640	1035	1549
8	303	980	1125	1451
9	328	640	939	1363
10	358	700	1118	1309
11	383	500	1042	1257
12	418	660	1144	1229
13	500	840	970	1059
14	540	560	1108	1044

Στον Πίνακα 5.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 15,32 kg υπολειμμάτων φούρνου. Το στερεό υπόλειμμα που συλλέχθηκε μετά την ξήρανση ανήλθε σε 10,18 kg.

Πίνακας 5.24: Χρονική εξέλιξη των χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος από υπολείμματα φούρνου.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	Μάζα (g)	VFA (mg/L)	TOC (mg/L)
1	60	240	1517	5788
2	80	420	2017	6268
3	100	420	1507	5622
4	115	340	1619	5302
5	135	440	1474	4988
6	155	340	1951	4660

Κεφάλαιο 6: Επεξεργασία πειραματικών αποτελεσμάτων

6.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων οικιακής ξήρανσης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες που δείχνουν τα mg VFA και τα mg TOC που απομονώθηκαν σε όλες τις πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο σύστημα οικιακής ξήρανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το σύστημα η κάθε μέτρηση ήταν αυτοτελής και απαρτιζόταν πάντα από 20 g δείγματος σε αντίθεση με το σύστημα GAIA όπου στον κάθε πίνακα γίνεται η επεξεργασία του ίδιου αρχικού δείγματος. Συνεπώς τα αθροιστικά VFA (ΣVFA) και TOC (ΣTOC) δεν έχουν νόημα στο σύστημα οικιακής ξήρανσης καθώς η κάθε μέτρηση πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την άλλη και με διαφορετικά δείγματα ίδιας μάζας. Όπως θα φανεί παρακάτω όμως, στο σύστημα GAIA έχουν νόημα καθώς σε κάθε πίνακα γίνεται κατεργασία του ίδιου δείγματος.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ημέρα.

Πίνακας 6.1: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 1 ημέρα αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	30	9
2	47	5
3	29	2

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ημέρα.

Πίνακας 6.2: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 2 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	31	4
2	38	4

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες.

Πίνακας 6.3: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 5 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	42	23
2	46	23
3	39	27

Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 6 ημέρες.

Πίνακας 6.4: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 6 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	39	22
2	48	21

Στον Πίνακα 6.5 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 ημέρες.

Πίνακας 6.5: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 10 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	37	25
2	42	27
3	34	31

Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 11 ημέρες.

Πίνακας 6.6: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών

μετά από 11 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	59	36
2	37	25

Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 16 ημέρες.

Πίνακας 6.7: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 16 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	55	34
2	39	38
3	54	42

Στον Πίνακα 6.8 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 17 ημέρες.

Πίνακας 6.8: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 17 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	45	58
2	61	47

Στον Πίνακα 6.9 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 21 ημέρες.

Πίνακας 6.9: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 21 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
-------------------------------	----------	----------

1	94	51
2	50	49

Στον Πίνακα 6.10 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 22 ημέρες.

Πίνακας 6.10: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 22 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	101	50
2	43	41
3	60	46

Στον Πίνακα 6.11 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 27 ημέρες.

Πίνακας 6.11: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 27 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	54	42
2	48	41
3	57	52

Στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται η μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση υπολείμματος τροφών στο οικιακό σύστημα ξήρανσης μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 29 ημέρες.

Πίνακας 6.12: Μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 29 ημέρες αποθήκευσης

Αριθμός πειραματικής μέτρησης	VFA (mg)	TOC (mg)
1	80	46
2	54	43

6.2 Επεξεργασία αποτελεσμάτων αποκεντρωμένης ξήρασης GAIA

Στον Πίνακα 6.13 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήραση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 21,38 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 1 ημέρα.

Πίνακας 6.13: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήραση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 1 ημέρα αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρασης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	78	2456	2456	3512	3512	0.115	0.164
2	98	1156	3612	1711	5223	0.169	0.244
3	123	1458	5070	1932	7156	0.237	0.335
4	143	1025	6095	1420	8575	0.285	0.401
5	163	1378	7473	1931	10506	0.350	0.491
6	193	829	8302	1177	11683	0.388	0.546
7	218	1090	9392	1324	13007	0.439	0.608
8	238	706	10098	979	13987	0.472	0.654
9	258	705	10803	813	14800	0.505	0.692
10	278	599	11402	794	15594	0.533	0.729
11	300	724	12126	840	16434	0.567	0.769
12	330	748	12874	879	17313	0.602	0.810
13	350	460	13334	551	17864	0.624	0.836
14	370	393	13727	404	18268	0.642	0.854
15	390	386	14113	428	18696	0.660	0.874
16	465	627	14740	607	19302	0.689	0.903
17	490	318	15058	292	19594	0.704	0.916
18	520	379	15437	361	19955	0.722	0.933
19	540	207	15644	212	20167	0.732	0.943

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρασης του δείγματος μετά από 540min ή 9 h παρήχθησαν συνολικά 15,64g VFA και 20,17g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,73gVFA/kg και 0,94gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.14 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήραση στους 95°C και στους 105°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 26 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 4 ημέρες.

Πίνακας 6.14: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήραση (95°C και 105°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 4 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δειγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	93	264	264	1055	1055	0.0102	0.0406
2	138	850	1114	2321	3376	0.0428	0.1298
3	160	412	1526	1203	4579	0.0587	0.1761
4	189	541	2067	1643	6222	0.0795	0.2393
5	207	419	2486	1026	7248	0.0956	0.2788
6	223	342	2828	872	8120	0.1088	0.3123
7	243	417	3245	1179	9299	0.1248	0.3577
8	272	457	3702	1461	10760	0.1424	0.4138
9	288	294	3996	816	11576	0.1537	0.4452
10	300	252	4248	770	12346	0.1634	0.4748
11	330	665	4913	2029	14375	0.189	0.5529
12	353	363	5276	991	15366	0.2029	0.591
13	368	295	5571	847	16213	0.2143	0.6236
14	392	425	5996	970	17183	0.2306	0.6609
15	412	310	6306	830	18013	0.2425	0.6928
16	600	4111	10417	9029	27042	0.4007	1.0401
17	656	759	11176	1151	28193	0.4298	1.0843
18	686	556	11732	971	29164	0.4512	1.1217
19	708	689	12421	1321	30485	0.4777	1.1725
20	748	889	13310	1428	31913	0.5119	1.2274
21	772	480	13790	687	32600	0.5304	1.2538
22	803	587	14377	812	33412	0.553	1.2851
23	935	452	14829	745	34157	0.5703	1.3137
24	965	392	15221	482	34639	0.5854	1.3323
25	1000	246	15467	288	34927	0.5949	1.3433

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 1000 min ή 16,67 h παρήχθησαν συνολικά 15,48 g VFA και 34,93 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,59gVFA/kg και 1,34 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.15 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 29,8 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 5 ημέρες.

Πίνακας 6.15: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 5 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	95	965	955	3149	3149	0.0324	0.1057

2	120	852	1817	3136	6285	0.061	0.2109
3	141	623	2440	2673	8958	0.0819	0.3006
4	161	573	3013	2593	11561	0.1011	0.3876
5	180	558	3611	2782	14333	0.1212	0.481
6	201	679	4290	2980	17313	0.144	0.581
7	223	740	5330	2886	20199	0.1688	0.6778
8	252	943	5973	3862	24061	0.2005	0.8074
9	274	701	6674	2698	26759	0.224	0.898
10	294	648	7322	2534	29293	0.2457	0.983
11	315	757	8079	2674	31967	0.2711	1.0727
12	335	614	8693	2195	34162	0.2918	1.1464
13	357	793	9486	2601	36763	0.3184	1.2337
14	378	818	10304	2341	39104	0.3458	1.3122
15	398	738	11042	2341	41445	0.3706	1.3908
16	418	771	11813	2375	43820	0.3965	1.4705
17	439	695	12539	2350	46170	0.4198	1.5494
18	459	795	13304	1922	48092	0.4465	1.6139
19	480	901	14205	1962	50044	0.4767	1.6794
20	570	1886	16091	3081	53125	0.54	1.7827
21	590	731	16822	1175	54300	0.5646	1.8222
22	610	676	17498	1085	55385	0.5872	1.8586
23	634	767	18265	1093	56478	0.613	1.8952
24	654	757	19022	849	57327	0.6384	1.9237
25	675	644	19566	829	58156	0.66	1.9516
26	697	523	20189	595	58751	0.6775	1.9715
27	722	536	20725	626	59377	0.6955	1.9925

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 722 min ή 12,03 h παρήχθησαν συνολικά 20,73 g VFA και 59,38 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,70gVFA/kg και 2,00 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.16 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 32,5 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 11 ημέρες.

Πίνακας 6.16: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 11 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	76	745	745	2167	2167	0.023	0.067
2	96	516	1261	2494	4661	0.039	0.143

3	120	790	2051	3790	8451	0.063	0.260
4	151	935	2986	6126	14577	0.092	0.449
5	171	617	3603	4189	18766	0.111	0.577
6	191	726	4329	4505	23271	0.133	0.716
7	220	970	5299	6030	29301	0.163	0.902
8	248	1002	6301	5613	34914	0.194	1.074
9	274	1051	7352	5667	40581	0.226	1.249
10	303	1392	8744	7001	47582	0.269	1.464
11	363	898	9642	4446	52028	0.297	1.601
12	394	907	10549	3957	55985	0.325	1.723
13	415	764	11313	3866	59851	0.348	1.842
14	447	1256	12568	5643	65494	0.387	2.015
15	470	697	13265	3648	69142	0.408	2.127
16	495	846	14111	3382	72524	0.434	2.232
17	525	1238	15349	3381	75905	0.472	2.336
18	550	943	16292	2404	78309	0.501	2.410
19	579	1150	17442	2922	81231	0.537	2.499
20	599	636	18078	1693	82924	0.556	2.552
21	623	856	18934	1672	84505	0.583	2.603
22	655	1303	20237	1951	86647	0.623	2.663
23	680	847	21084	1290	87837	0.649	2.703
24	703	803	21887	1116	88953	0.673	2.737
25	723	634	22521	805	89758	0.693	2.762
26	753	907	23428	1157	90915	0.721	2.797
27	786	907	24335	1147	92052	0.749	2.833
28	846	720	25056	977	93039	0.771	2.863

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 846min ή 16,67 h παρήχθησαν συνολικά 25,06 g VFA και 93,04 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,77gVFA/kg και 2,86 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.17 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 43,6 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 14 ημέρες.

Πίνακας 6.17: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 14 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	88	1255	1255	2799	2799	0.0288	0.0642
2	120	1174	2429	3931	6730	0.0557	0.1544

3	150	1024	3453	4896	11626	0.0792	0.2667
4	180	1079	4532	5611	17237	0.1039	0.3953
5	210	1270	5802	5582	22819	0.1331	0.5234
6	243	1288	7090	6357	29176	0.1626	0.6692
7	339	2065	9155	8330	37506	0.21	0.8602
8	369	1330	10485	5582	43088	0.2405	0.9883
9	413	1575	12060	7277	50365	0.2766	1.1552
10	443	1201	13261	4722	55087	0.3042	1.2635
11	473	1265	14526	4704	59791	0.3332	1.3714
12	513	1724	16250	6192	65983	0.3727	1.5134
13	543	1213	17463	4970	70953	0.4005	1.6274
14	573	1423	18886	3654	74607	0.4332	1.7112
15	605	1458	20344	3283	77890	0.4666	1.7865
16	633	1565	21909	2875	80765	0.5025	1.8524
17	663	1205	23114	2530	83295	0.5301	1.9104
18	740	1820	24934	2602	85897	0.5719	1.9701
19	770	1404	26338	2006	87903	0.6041	2.0161
20	830	2787	29125	3963	91866	0.668	2.107
21	860	1790	30915	2012	93878	0.7091	2.1532
22	890	1476	32391	1945	95823	0.7429	2.1978
23	920	1073	33464	1483	97306	0.7675	2.2318
24	950	1332	34796	1752	99058	0.7981	2.272
25	980	1056	35852	1500	100558	0.8223	2.3064

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 980 min ή 16,33 h παρήχθησαν συνολικά 35,85 g VFA και 100,56 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,82 gVFA/kg και 2,31 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.18 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 30,88 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 21 ημέρες.

Πίνακας 6.18: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 21 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	66	403	403	917	917	0.013	0.030
2	89	926	1329	2950	3867	0.043	0.125
3	110	901	2230	3024	6891	0.072	0.223
4	130	839	3069	3591	10482	0.099	0.339
5	150	1000	4069	4535	15017	0.132	0.486

6	170	1032	5101	4106	19123	0.165	0.619
7	205	1687	6788	7570	26693	0.220	0.864
8	225	1000	7788	4886	31579	0.252	1.023
9	248	857	8645	4961	36540	0.280	1.183
10	269	827	9472	4566	41106	0.307	1.331
11	300	1434	10906	6387	47493	0.353	1.538
12	320	807	11713	4030	51523	0.379	1.668
13	343	1011	12724	5188	56711	0.412	1.836
14	364	844	13568	4568	61269	0.439	1.984
15	384	1217	14785	4547	65816	0.479	2.131
16	460	1540	16325	5944	71760	0.529	2.324
17	483	1050	17375	4095	75855	0.563	2.456
18	503	728	18103	3194	79049	0.586	2.560
19	523	784	18887	3353	82402	0.612	2.668
20	543	975	19862	3512	85914	0.643	2.782
21	563	917	20779	3185	89099	0.673	2.885
22	583	928	21707	2823	91922	0.703	2.977
23	609	1298	23005	2423	94345	0.745	3.055
24	637	1034	24039	2235	96580	0.778	3.128
25	657	756	24795	1362	97942	0.803	3.172
26	677	654	25449	1337	99279	0.824	3.215
27	697	655	26104	1339	100518	0.845	3.258
28	717	727	26831	1352	101970	0.869	3.302
29	747	1179	28010	1458	103428	0.907	3.349
30	769	612	28622	968	104396	0.927	3.381
31	789	510	29132	703	105099	0.943	3.403

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 789 min ή 13,15 h παρήχθησαν συνολικά 29,13 g VFA και 105,10 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,94gVFA/kg και 3,40 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.19 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 20,86 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 26 ημέρες.

Πίνακας 6.19: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 26 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	80	1227	1227	5606	5606	0.059	0.269
2	110	1507	2734	6920	12526	0.131	0.600
3	140	1544	4278	7315	19841	0.205	0.951

4	170	1335	5613	6789	26630	0.269	1.277
5	260	2202	7815	8877	35507	0.375	1.702
6	290	1370	9185	5576	41083	0.440	1.969
7	320	1280	10465	5422	46505	0.502	2.229
8	350	1269	11734	5820	52325	0.563	2.508
9	393	1367	13101	5323	57648	0.628	2.764
10	423	2071	15172	8254	65902	0.727	3.159
11	453	1032	16204	3578	69480	0.777	3.331
12	483	755	16959	2157	71637	0.813	3.434
13	503	743	17702	1829	73466	0.849	3.522

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 503 min ή 8,38 h παρήχθησαν συνολικά 17,70 g VFA και 73,47 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,85 gVFA/kg και 3,52gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.20 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 16,06 kg υπολείμματος τροφών μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 31 ημέρες.

Πίνακας 6.20: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολειμμάτων τροφών μετά από 31 ημέρες αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	88	2842	2842	8658	8658	0.177	0.539
2	115	1530	4372	5294	13952	0.272	0.869
3	145	1558	5930	5524	19476	0.369	1.213
4	170	1214	7144	4604	24080	0.445	1.499
5	195	1123	8267	4125	28205	0.515	1.756
6	220	1120	9387	4069	32274	0.584	2.010
7	245	1083	10470	3815	36089	0.652	2.247
8	335	2167	12637	6519	42608	0.787	2.653
9	360	822	13459	3209	45817	0.838	2.853
10	395	1278	14737	4072	49889	0.918	3.106
11	415	698	15435	2157	52046	0.961	3.241
12	448	959	16394	2675	54721	1.021	3.407
13	480	659	17053	1402	56123	1.062	3.494

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 480 min ή 8 h παρήχθησαν συνολικά 17,05 g VFA και 56,12 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 1,06 gVFA/kg και 3,49gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.21 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών

λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 25,56 kg υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας.

Πίνακας 6.21: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣΤOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣΤOC (g/kg)
1	75	906	906	724	724	0.035	0.028
2	81	907	1813	797	1521	0.071	0.060
3	122	613	2427	590	2111	0.095	0.083
4	151	738	3165	794	2905	0.124	0.114
5	179	699	3864	642	3547	0.151	0.139
6	199	405	4269	467	4015	0.167	0.157
7	223	570	4839	519	4533	0.189	0.177
8	240	408	5247	384	4918	0.205	0.192
9	263	494	5740	448	5366	0.225	0.210
10	285	397	6138	392	5758	0.240	0.225
11	308	417	6555	438	6196	0.256	0.242
12	336	425	6980	458	6655	0.273	0.260
13	363	428	7408	407	7061	0.290	0.276
14	386	363	7770	333	7394	0.304	0.289
15	414	354	8125	347	7741	0.318	0.303
16	446	381	8505	358	8099	0.333	0.317
17	466	242	8747	220	8319	0.342	0.325
18	497	334	9081	311	8630	0.355	0.338
19	548	696	9777	633	9263	0.383	0.362
20	676	1843	11619	1787	11050	0.455	0.432
21	704	269	11888	213	11263	0.465	0.441
22	734	399	12287	332	11595	0.481	0.454
23	756	266	12553	246	11842	0.491	0.463
24	783	310	12863	277	12118	0.503	0.474
25	819	371	13234	389	12508	0.518	0.489

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 819 min ή 13,65 h παρήχθησαν συνολικά 13,23 g VFA και 125,08 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,52 gVFA/kg και 0,49gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.22 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 25,38 kg υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας μετά από αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για έναν μήνα.

Πίνακας 6.22: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών

λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος υπολείμματος αποβλήτων ζυθοποιίας μετά από ένα μήνα αποθήκευση.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	80	2241	2241	4106	4106	0.088	0.162
2	112	2162	4403	4568	8674	0.173	0.342
3	162	2979	7382	6633	15307	0.291	0.603
4	245	2682	10064	4883	20190	0.397	0.795
5	276	1754	11818	3409	23599	0.466	0.930
6	306	1503	13321	3072	26671	0.525	1.051
7	336	1695	15016	2974	29645	0.592	1.168
8	367	1639	16655	2837	32482	0.656	1.280
9	397	1634	18289	2582	35064	0.721	1.382
10	427	1108	19397	1878	36942	0.764	1.455
11	457	1074	20471	2082	39024	0.807	1.538
12	487	1064	21535	1806	40830	0.849	1.609
13	527	1171	22706	1933	42763	0.895	1.685

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 527 min ή 8,78 h παρήχθησαν συνολικά 22,71 g VFA και 42,76 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,90 gVFA/kg και 1,69gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.23 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 19,84 kg φλουδών πατάτας.

Πίνακας 6.23: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος από φλούδες πατάτας.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	80	2124	2124	4336	4336	0.107	0.219
2	110	1789	3913	3598	7934	0.197	0.400
3	135	1443	5356	2459	10393	0.270	0.524
4	165	1614	6970	2554	12947	0.351	0.653
5	195	1359	8329	2036	14983	0.420	0.755
6	220	1042	9371	1582	16565	0.472	0.835
7	268	1697	11068	2540	19105	0.558	0.963
8	303	1103	12171	1422	20527	0.613	1.035
9	328	601	12772	872	21399	0.644	1.079
10	358	783	13555	916	22315	0.683	1.125
11	383	521	14076	629	22944	0.709	1.157
12	418	755	14831	811	23755	0.748	1.197

13	500	815	15646	890	24645	0.789	1.242
14	540	620	16266	585	25230	0.820	1.272

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 540 min ή 9 h παρήχθησαν συνολικά 16,27 g VFA και 25,23 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,82 gVFA/kg και 1,27 gTOC/kg.

Στον Πίνακα 6.24 παρουσιάζονται η μαζική και αθροιστική μαζική παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων και του οργανικού άνθρακα του συμπυκνώματος που προέκυψε κατά την ξήρανση στους 120°C στο αποκεντρωμένο σύστημα GAIA 15,32 kg αποβλήτων φούρνου.

Πίνακας 6.24: Χρονική εξέλιξη της μαζικής και αθροιστικής μαζικής παραγωγής των πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) και του οργανικού άνθρακα (TOC) του συμπυκνώματος που παράγεται κατά την ξήρανση (120°C) δείγματος αποβλήτων φούρνου.

Αριθμός δείγματος	Χρόνος ξήρανσης (min)	VFA (mg)	ΣVFA (mg)	TOC (mg)	ΣTOC (mg)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	60	364	364	1389	1389	0.024	0.091
2	80	847	1211	2633	4022	0.079	0.263
3	100	633	1844	2361	6383	0.120	0.417
4	115	550	2394	1803	8186	0.156	0.534
5	135	649	3043	2195	10381	0.199	0.678
6	155	663	3706	1584	11965	0.242	0.781

Επομένως με την ολοκλήρωση της ξήρανσης του δείγματος μετά από 155 min ή 2,58 h παρήχθησαν συνολικά 3,706 g VFA και 11,97 g TOC. Ανάγοντας τα ανά kg νωπού δείγματος προκύπτει ότι παρήχθησαν 0,24 gVFA/kg και 0,78 gTOC/kg.

6.3 Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στη σύσταση των συμπυκνωμάτων της ξήρανσης

Η παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων και ολικού οργανικού άνθρακα κατά την εκτέλεση των πειραμάτων στον οικιακό ξηραντήρα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα.

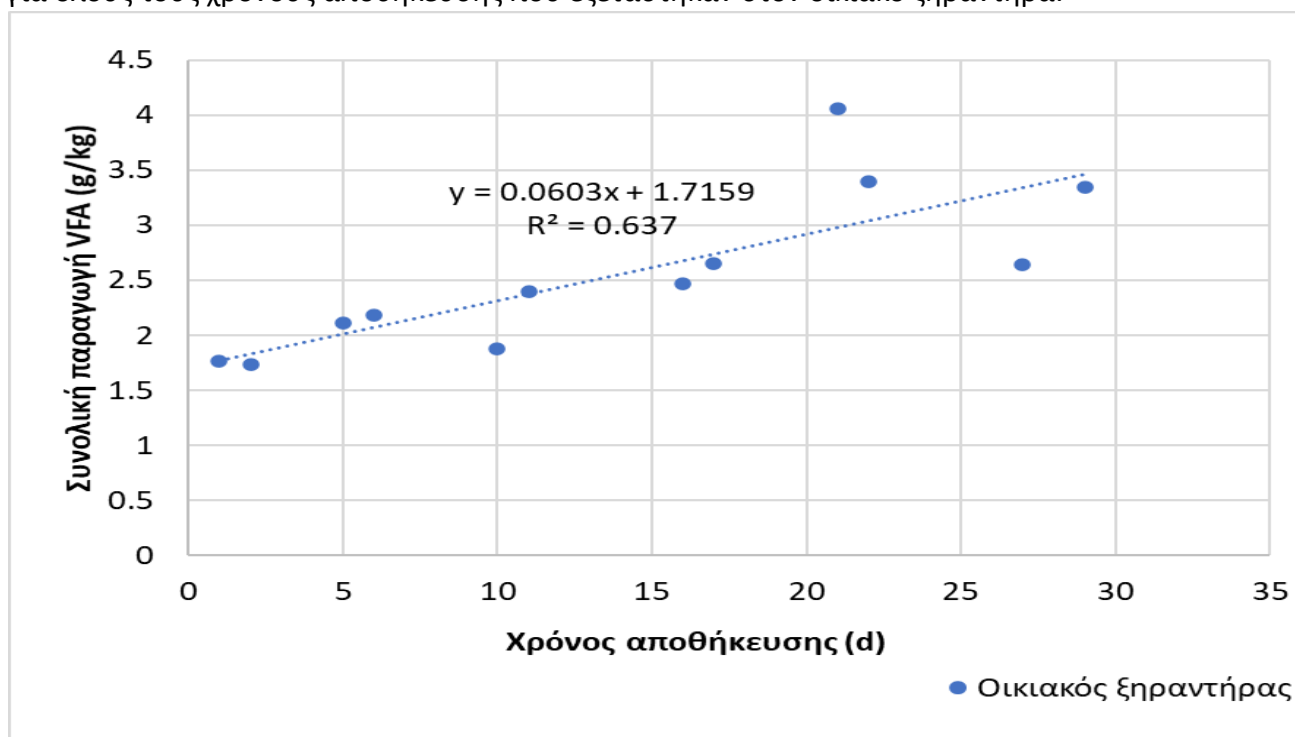
Πίνακας 6.25: Παραγωγή VFA και TOC για τον οικιακό ξηραντήρα

Χρόνος αποθήκευσης (d)	ΣVFA (g/kg)	ΣTOC (g/kg)
1	1.762	0.264
2	1.740	0.189
5	2.118	1.199
6	2.189	1.086
10	1.883	1.368
11	2.401	1.501
16	2.473	1.901
17	2.649	2.630
21	4.063	2.480

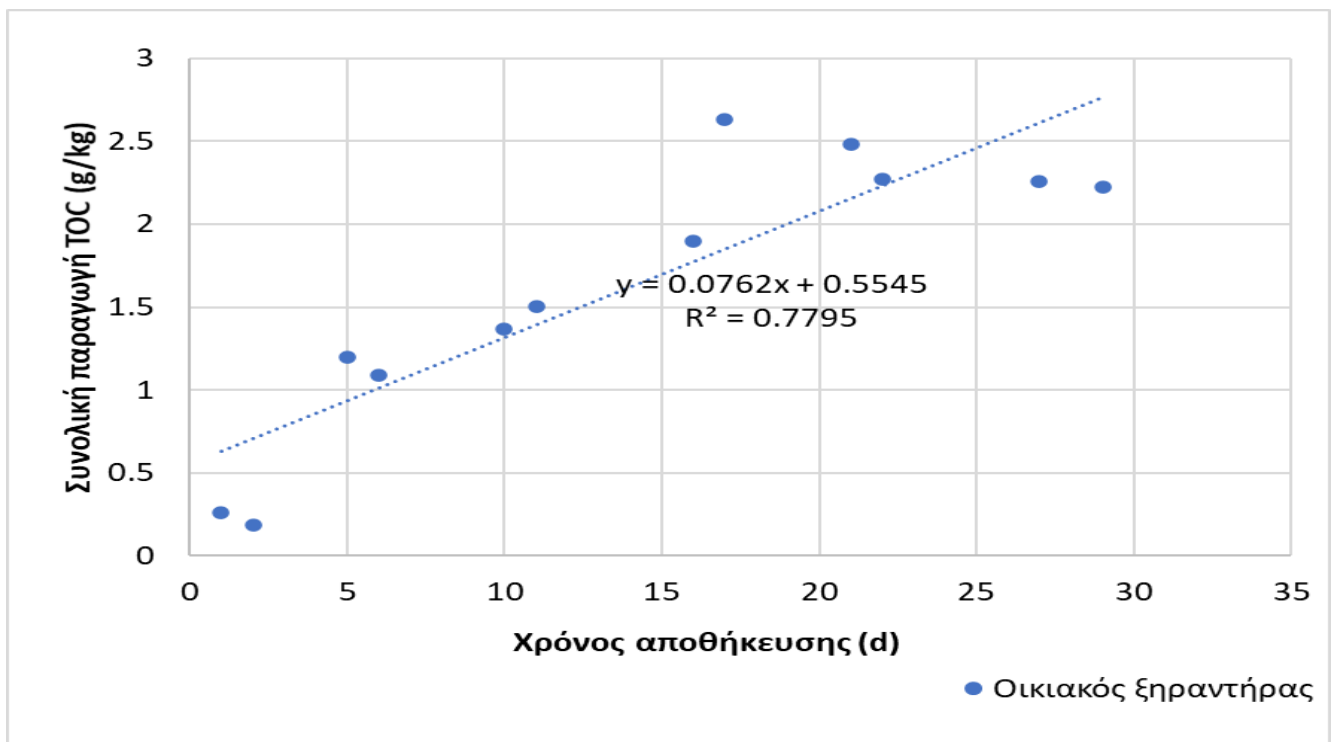
22	3.398	2.273
27	2.641	2.259
29	3.345	2.221

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, η παραγωγή των VFA και του TOC αυξάνονται. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στις βιολογικές και κυρίως αναερόβιες δράσεις που προχωρούν κατά την αποθήκευση του υλικού.

Στα διαγράμματα 6.1 και 6.2 φαίνεται η χρονική εξέλιξη της συνολικής παραγωγής VFA και TOC για όλους τους χρόνους αποθήκευσης που εξετάστηκαν στον οικιακό ξηραντήρα.



Διάγραμμα 6.1: Χρονική εξέλιξη της συνολικής παραγωγής ΣVFA (g/kg) για όλους τους χρόνους αποθήκευσης στον οικιακό ξηραντήρα



Διάγραμμα 6.2: Χρονική εξέλιξη της συνολικής παραγωγής ΣΤΟC (g/kg) για όλους τους χρόνους αποθήκευσης στον οικιακό ξηραντήρα.

Στον πίνακα 6.26 φαίνεται η συνολική παραγωγή VFA και ΤΟC για το σύστημα ξήρανσης GAIA καθώς και η αναλογία VFA προς ΤΟC συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης.

Πίνακας 6.26: Συνολική παραγωγή των VFA και του ΤΟC για το σύστημα GAIA για τα οικιακά βιοαπόβλητα

Χρόνος αποθήκευσης (d)	ΣVFA (g/kg)	ΣΤΟC (g/kg)	VFA/ΤΟC (%)
0	0.732	0.943	62.1
5	0.696	1.993	27.9
10	0.771	2.863	21.5
15	0.822	2.306	28.5
20	0.943	3.403	22.2
25	0.849	3.522	19.3
30	1.062	3.494	24.3

Αντίστοιχα και στο σύστημα GAIA, η παραγωγή των VFA και του ΤΟC αυξάνεται, όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης. Επιπλέον στον Πίνακα αυτόν έχει προσδιοριστεί και το ποσοστό του οργανικού άνθρακα που μπορεί να αποδοθεί στα VFA. Κατά τον υπολογισμό λήφθηκε υπόψη ότι η συγκέντρωση των VFA εκφράζεται ως οξικό οξύ. Έτσι, το ποσοστό του οργανικού άνθρακα που μπορεί να αποδοθεί στα VFA υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{VFA}{TOC} \% = \frac{\frac{\Sigma VFA}{TOC} * 60}{\Sigma TOC} * 100$$

Όταν το υλικό ξηραίνεται φρέσκο, τότε το ποσοστό των VFA στον οργανικό άνθρακα των υποστρωμάτων είναι αρκετά υψηλό (έως και 60%). Όταν τα υπολείμματα τροφών αποθηκεύονται, το ποσοστό των VFA μειώνεται σημαντικά κινούμενο στο εύρος 20-30%, γεγονός που υποδηλώνει ότι μετά την αποθήκευσή τους παράγονται και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις πέραν των πτητικών οξέων μικρού μοριακού βάρους.

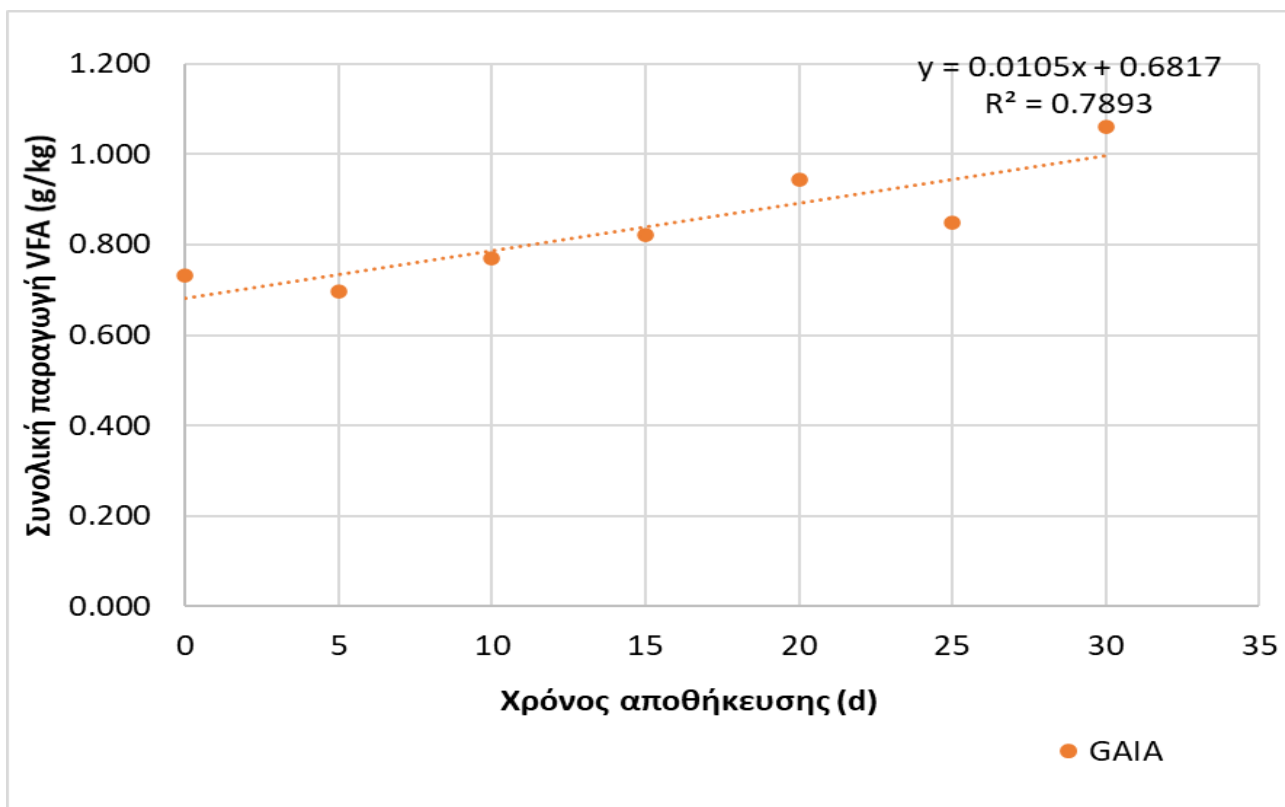
Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι αντίστοιχες τιμές συνολικής παραγωγής VFA και TOC καθώς και το ποσοστό του οργανικού άνθρακα που μπορεί να αποδοθεί στα VFA για τα βιομηχανικά απόβλητα που εξετάστηκαν.

Πίνακας 6.27: Συνολική παραγωγή VFA και TOC για τα βιομηχανικά απόβλητα που εξετάστηκαν (απόβλητα ζυθοποιίας, αρτοποιίας και πατατοβιομηχανίας)

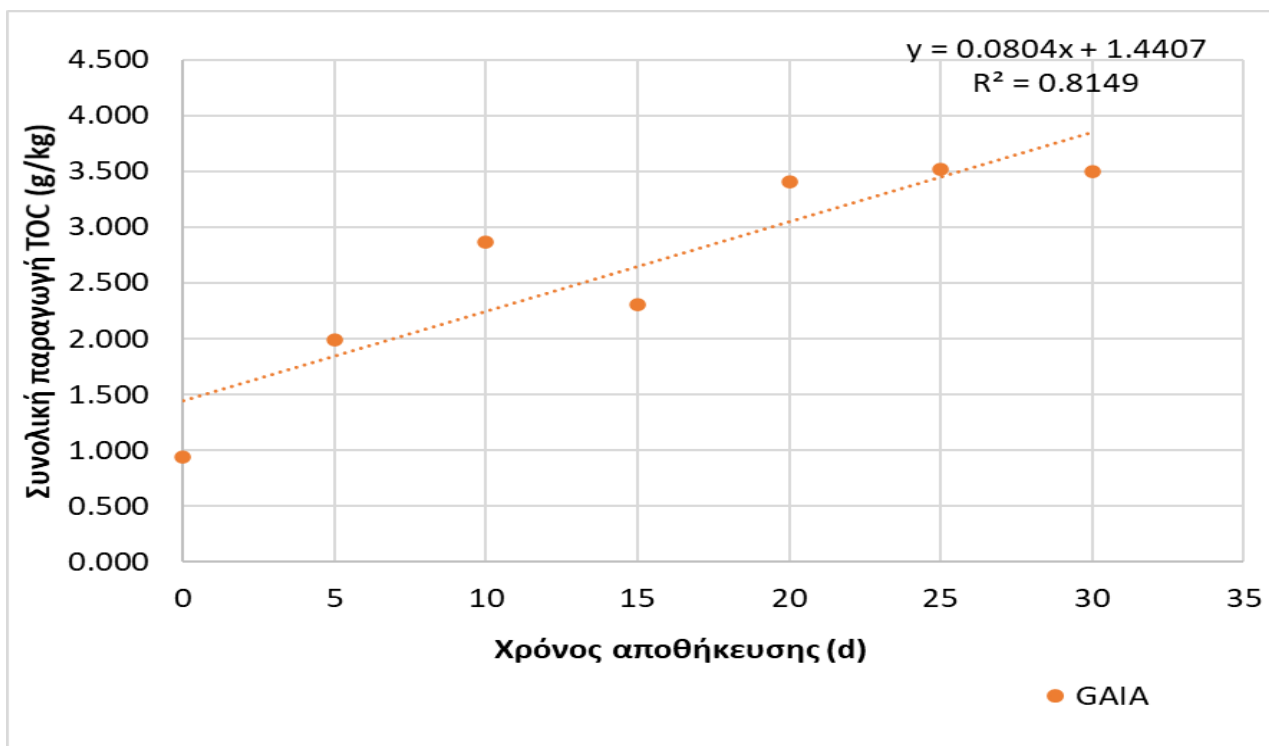
Βιομηχανία	Χρόνος αποθήκευσης (d)	VFA (g/kg)	TOC (g/kg)	VFA/TOC (%)
Ζυθοποιία				
	0	0.518	0.489	84.6
	30	0.895	1.685	42.5
Αρτοποιία				
	0	0.242	0.781	24.8
Επεξεργασίας πατάτας				
	5	0.820	1.272	51.6

Παρατηρείται ότι και για τα βιομηχανικά απόβλητα οι τάσεις είναι ανάλογες, αν και οι απόλυτες τιμές των TOC και VFA είναι σημαντικά χαμηλότερες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική σύσταση των υποστρωμάτων.

Στην περίπτωση του αποκεντρωμένου συστήματος GAIA, η χρονική εξέλιξη της παραγωγής των VFA και του TOC για όλους τους χρόνος αποθήκευσης των διατροφικών απορριμμάτων που εξετάστηκαν παρουσιάζεται στα διαγράμματα 6.3 και 6.4 αντίστοιχα.



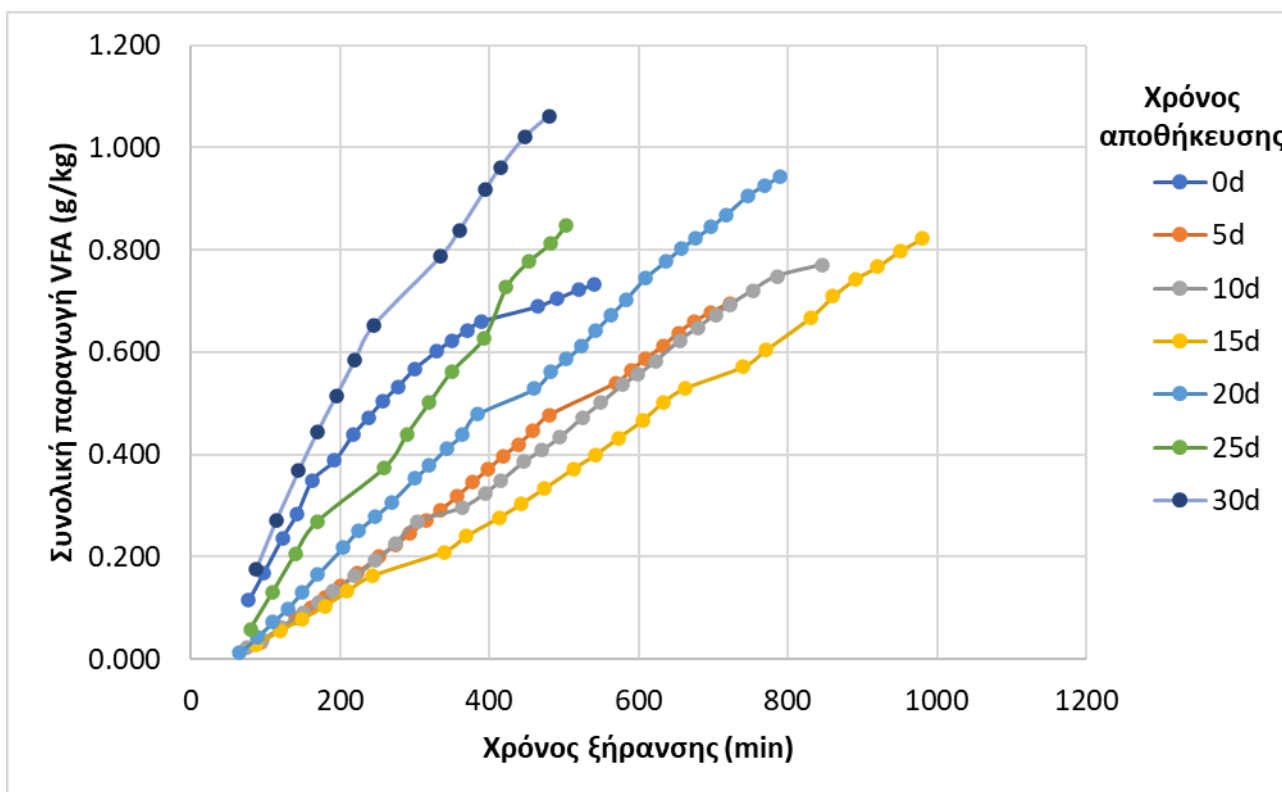
Διάγραμμα 6.3: Χρονική εξέλιξη της συνολικής παραγωγής ΣVFA (g/kg) για όλους τους χρόνους αποθήκευσης στο σύστημα GAIA



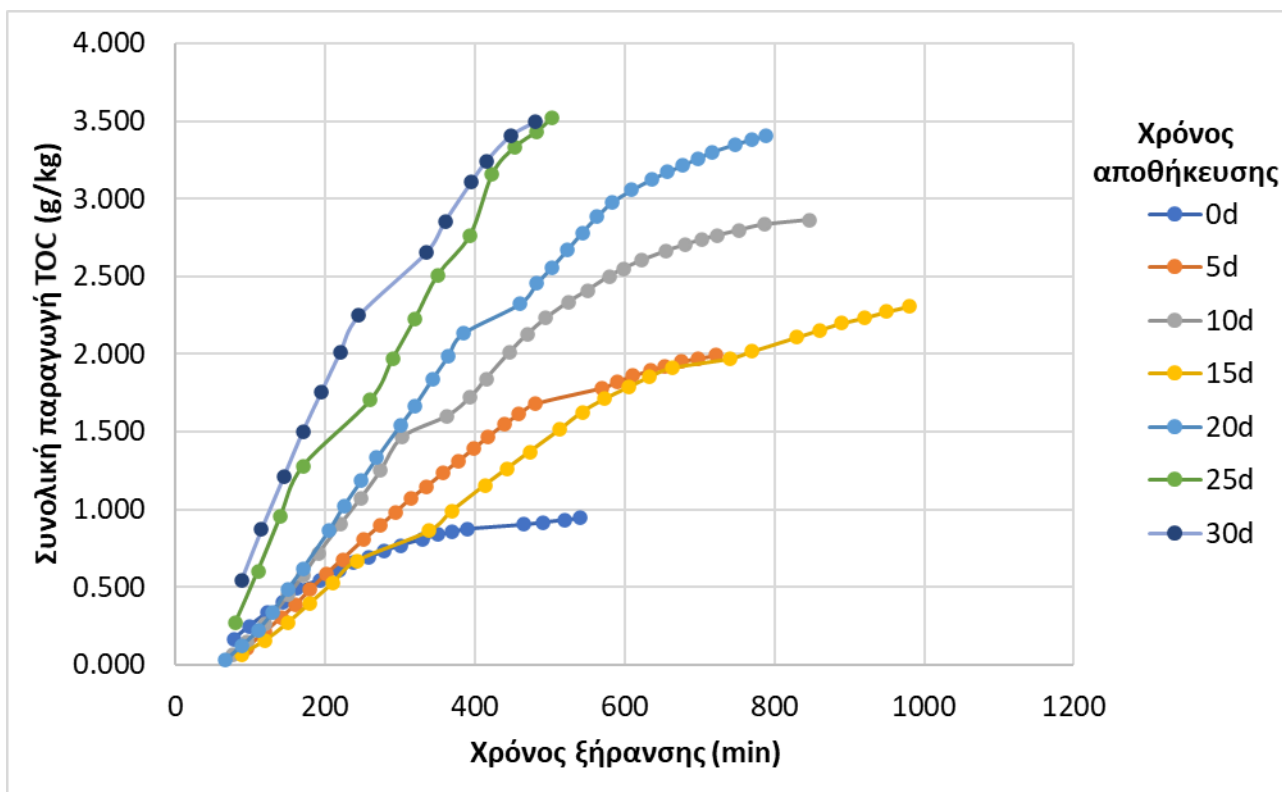
Διάγραμμα 6.4: Χρονική εξέλιξη της συνολικής παραγωγής ΣTOC (g/kg) για όλους τους χρόνους αποθήκευσης στο σύστημα GAIA

Στα διαγράμματα 6.5 και 6.6 φαίνεται και η επίδραση του χρόνου ξήρανσης στην συνολική

παραγωγή VFA και TOC για το σύστημα GAIA και για διαφορετικούς χρόνους παραμονής του υλικού.



Διάγραμμα 6.5: Επίδραση του χρόνου ξήρανσης στη συνολική παραγωγή VFA για διάφορους χρόνους αποθήκευσης.

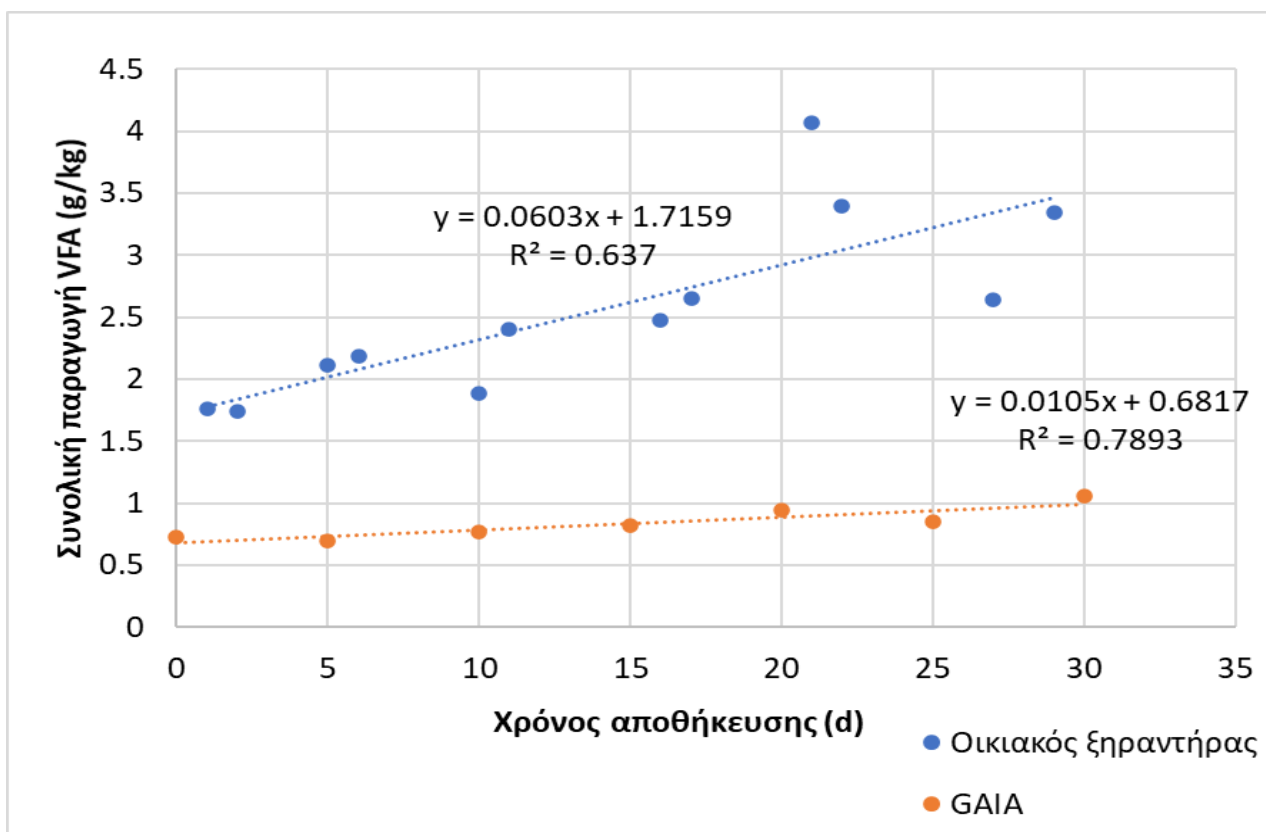


Διάγραμμα 6.6: Επίδραση του χρόνου ξήρανσης στη συνολική παραγωγή TOC για διάφορους

χρόνους αποθήκευσης

Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι η αρχική κλίση των καμπυλών τόσο για την περίπτωση των VFA όσο και για την περίπτωση του TOC είναι πολύ μεγάλη, ενώ με την πάροδο του χρόνου η κλίση μειώνεται, μέχρι την ολοκλήρωση της ξήρανσης. Επίσης, παρατηρείται αύξηση της κλίσης των καμπυλών όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης.

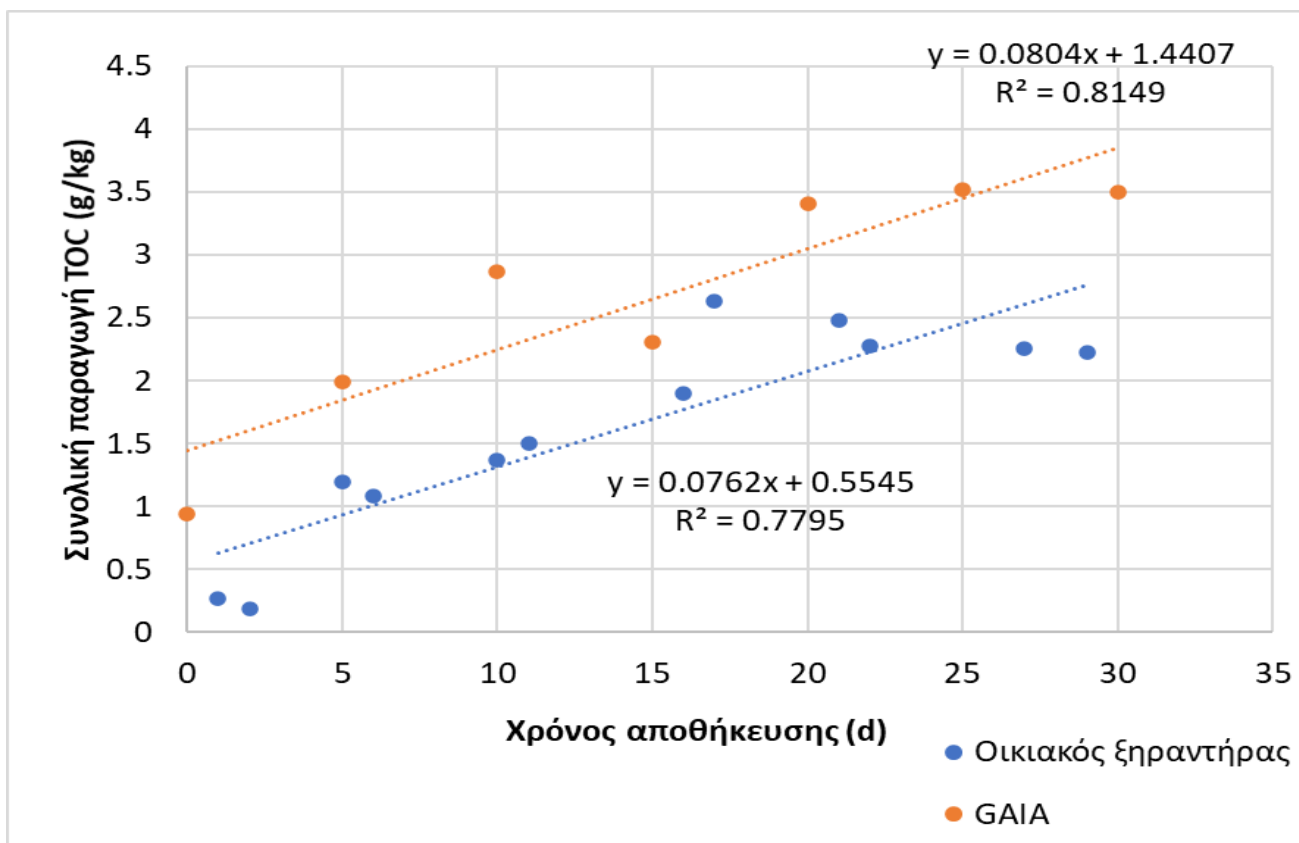
Αναπαριστώντας τα δεδομένα που ελήφθησαν από την ξήρανση των οικιακών αποβλήτων σε διαγραμματική μορφή προκειμένου να καταστεί πιο εύκολη η σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 6.7: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στη συνολική παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων για τα δύο εξεταζόμενα συστήματα ξήρανσης

Από το διάγραμμα αυτό καθίσταται σαφές ότι η παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων ακολουθεί μια γραμμική τάση με το χρόνο αποθήκευσης των αποβλήτων και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Βέβαια, είναι σημαντικά υψηλότερη για το οικιακό σύστημα ξήρανσης και ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής VFA ως προς το χρόνο αποθήκευσης είναι επίσης σημαντικά υψηλότερος. Οι διαφορετικές τεχνικές ξήρανσης αλλά και η κλίμακα συνεισφέρουν στη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

Στο διάγραμμα 6.8 φαίνεται και η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην συνολική παραγωγή TOC και για τα δύο συστήματα ξήρανσης.



Διάγραμμα 6.8: Επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στην συνολική παραγωγή ολικού οργανικού άνθρακα και για τα δύο συστήματα ξήρανσης.

Από το διάγραμμα 6.8 καθίσταται σαφές ότι η παραγωγή TOC ακολουθεί γραμμική τάση με τον χρόνο αποθήκευσης και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Παρατηρείται ότι η παραγωγή TOC στο σύστημα GAIA είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν του οικιακού ξηραντήρα. Ωστόσο, η κλίση των δύο γραμμών τάσης είναι η ίδια πράγμα που δείχνει πως ο ρυθμός αύξησης της συνολικής παραγωγής TOC συναρτήσει του χρόνου είναι σταθερός και για τα δύο συστήματα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι ο μηχανισμός παραγωγής του οργανικού άνθρακα στα συμπυκνώματα ελέγχεται από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση.

6.4 Κινητική ξήρανσης διατροφικών απορριμμάτων

Από τα πειραματικά δεδομένα της ξήρανσης των διατροφικών απορριμμάτων υπολογίστηκε η υγρασία ως αδιάστατος λόγος. Συγκεκριμένα, η τιμή της υγρασίας υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$XR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e}$$

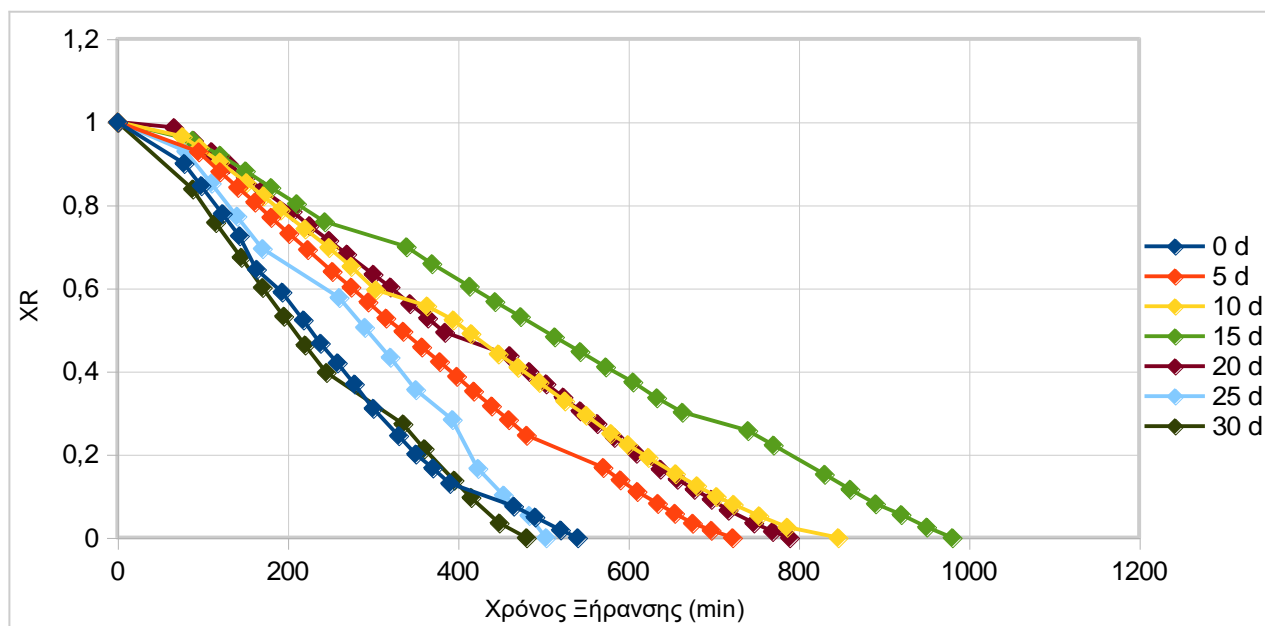
όπου X_t είναι η υγρασία σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ξήρανσης, X_e είναι η υγρασία ισορροπίας και X_0 είναι η αρχική υγρασία του προϊόντος πριν την ξήρανση. Όλες οι υγρασίες που αναφέρθηκαν είναι σε ξηρή βάση.

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι καμπύλες ξήρανσης, οι οποίες αναπαριστούν τη μεταβολή της αδιάστατης υγρασίας ως προς το χρόνο ξήρανσης και παρουσιάζονται στα διαγράμματα 6.9 και 6.10. Ακολούθως έγινε προσαρμογή δέκα διαφορετικών εξισώσεων ξήρανσης στις πειραματικές καμπύλες μεταβολής της υγρασίας XR σε σχέση με τον χρόνο ξήρανσης. Η προσαρμογή πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα OriginPro 2017. Ως μέτρο σύγκρισης για την επιτυχία της προσαρμογής θα αξιοποιηθεί το στατιστικό μέγεθος R². Για το μέγεθος αυτό ισχύει ότι όσο πιο κοντά είναι η τιμή του στην μονάδα τότε τόσο πιο αποτελεσματική ήταν και η προσαρμογή της εξίσωσης. Οι εξισώσεις που θα συγκριθούν είναι αυτές που φαίνονται στον πίνακα 1 του κεφαλαίου 2. Η μόνη διαφορά έγκειται στην μορφή της τελευταίας εξίσωσης όπου αντί για την two term gauss αξιοποιήθηκε η κλασική συνάρτηση gauss. Η τελευταία έχει τον εξής τύπο:

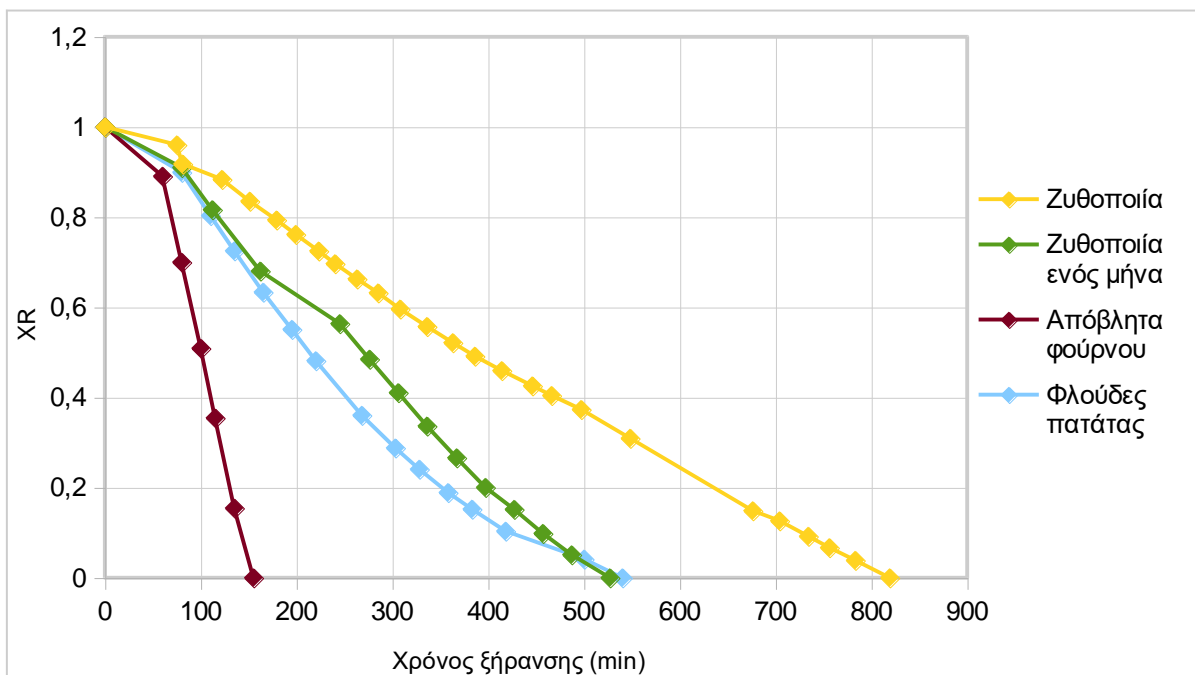
$$f(X) = y_0 + \frac{A}{W\sqrt{\pi/2}} * e^{-\frac{(X - X_c)^2}{W^2}}$$

όπου y₀, w, A και X_c είναι παράμετροι

Στο διάγραμμα 6.9 φαίνονται οι καμπύλες ξήρανσης για τα διατροφικά απορρίμματα μέχρι και 30 ημερών χρόνου αποθήκευσης. Στο διάγραμμα 6.10 φαίνονται οι καμπύλες ξήρανσης διάφορων βιομηχανικών αποβλήτων.



Διάγραμμα 6.9: Καμπύλες ξήρανσης για τα διατροφικά απορρίμματα από 0 μέχρι 30 ημέρες χρόνου αποθήκευσης για το σύστημα GAIA.



Διάγ

ραμμα 6.10: Καμπύλες ξήρανσης για διάφορα βιομηχανικά διατροφικά απορρίμματα

Παρατηρώντας το διάγραμμα 6.9, που αφορά δείγματα από την ίδια πηγή προέλευσης, η κλίση των καμπυλών ξήρανσης μειώνεται με την αύξηση της μάζας των δειγμάτων. Αυτό είναι απολύτως λογικό καθώς με την αύξηση της μάζας αυξάνεται και ο απαιτούμενος χρόνος για την μείωση της υγρασίας οπότε κατά συνέπεια μειώνεται και η κλίση της καμπύλης ξήρανσης. Ωστόσο, η μάζα φαίνεται να μην είναι ο μόνος παράγοντας που επηρεάζει την μορφή των καμπυλών ξήρανσης. Το δείγμα των 25 ημερών είχε παρόμοια μάζα με το φρέσκο δείγμα αλλά η καμπύλη ξήρανσης του έχει σημαντικά υψηλότερη κλίση ενώ για το δείγμα των 30 ημερών η καμπύλη ξήρανσης έχει παρόμοια κλίση με το φρέσκο παρόλο που η μάζα του είναι σημαντικά μικρότερη. Στο διάγραμμα των βιομηχανικών αποβλήτων επίσης, τα δύο δείγματα της ζυθοποιίας έχουν παρόμοια μάζα αλλά η κλίση της καμπύλης είναι πολύ διαφορετική.

Οι διαφορές στην μορφή της καμπύλης ξήρανσης θα μπορούσαν να οφείλονται στην διαφορετική σύσταση των υποστρωμάτων καθώς τα δείγματα προέρχονταν από τα υπολείμματα της λέσχης του ΕΜΠ και δεν είχαν τις ίδιες ιδιότητες κάθε φορά. Ωστόσο, θα μπορούσε να επηρεάζει και ο χρόνος παραμονής την μορφή της καμπύλης ξήρανσης αλλά τα δεδομένα είναι ανεπαρκή για να εξαχθεί ένα τέτοιο συμπέρασμα. Προκειμένου να διαπιστωθεί ποια είναι η επίδραση του χρόνου παραμονής στην καμπύλη ξήρανσης ενός υποστρώματος χρειάζεται εξειδικευμένη μελέτη αναλόγως και με το εκάστοτε υπόστρωμα

Στους πίνακες 6.28 και 6.29 φαίνονται οι εξισώσεις οι οποίες προσαρμόστηκαν στο πρόγραμμα Origin για όλα τα δείγματα που ξηράθηκαν στο σύστημα GAIA καθώς και η τιμή του R^2 που επιτεύχθηκε για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της υγρασίας XR.

Πίνακας 6.28: R^2 των προσαρμοσμένων εξισώσεων για διατροφικά απορρίμματα μέχρι 20 ημερών χρόνου παραμονής

Όνομα εξίσωσης	Φρέσκα Food waste	Food waste 5 d	Food waste 10 d	Food waste 15 d	Food waste 20 d
----------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Lewis	0,89447	0,88135	0,89394	0,89194	0,87975
Page	0,99794	0,99531	0,98935	0,98606	0,98949
Modified Page	0,99795	0,99538	0,98948	0,98645	0,98962
Henderson and Pabis	0,92675	0,92667	0,93501	0,92444	0,92975
Logarithmic	0,98301	0,99371	0,99544	0,99711	0,99653
Wang and singh	0,97722	0,98857	0,99157	0,99651	0,99236
Two term	0,98829	0,98524	0,92981	0,91757	0,92473
Approach of Diffusion	0,99085	0,9855	0,97946	0,97172	0,97894
Mildilli et al.	0,95892	0,98816	0,99363	0,99763	0,99633
Gauss	0,99878	0,99936	0,99733	0,99833	0,99748

Πίνακας 6.29: R² των προσαρμοσμένων εξισώσεων για διατροφικά απορρίμματα 25 και 30 ημερών καθώς και για διάφορα απόβλητα βιομηχανιών.

Όνομα εξίσωσης	Food waste 25 d	Food waste 30 d	Απόβλητα Φούρνου	Φλούδες πατάτας	Απόβλητα ζυθοποιίας φρέσκα	Απόβλητα ζυθοποιίας ενός μήνα
Lewis	0,86018	0,91149	0,72773	0,90902	0,90665	0,89207
Page	0,97326	0,99052	0,99421	0,99877	0,99029	0,98519
Modified Page	0,97382	0,99054	0,9949	0,99877	0,99037	0,98557
Henderson and Pabis	0,88501	0,92744	0,70048	0,93264	0,9402	0,90945
Logarithmic	0,98869	0,99425	0,8739	0,98214	0,99798	0,99381
Wang and singh	0,99556	0,99396	0,9822	0,97825	0,99596	0,99288
Two term	0,94522	0,98179	0,5008	0,99355	0,98193	0,94053
Approach of Diffusion	0,97679	0,98435	0,94866	0,99584	0,98283	0,96893
Mildilli et al.	0,98762	0,99054	0,832	0,95091	0,99521	0,99314
Gauss	0,99509	0,99444	0,99956	0,99851	0,99816	0,9967

Από τους παραπάνω πίνακες μπορούμε να συμπεράνουμε ότι την καλύτερη προσαρμογή την παρουσιάζει η συνάρτηση Gauss καθώς σε όλα τα πειράματα έχει εξαιρετική τιμή R² ενώ σε 8 από τα 10 παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή από όλες τις άλλες συναρτήσεις. Συνεπώς μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συνάρτηση Gauss είναι πάρα πολύ καλή για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της υγρασίας XR στα διατροφικά απορρίμματα, με την κατάλληλη προσαρμογή των παραμέτρων της αναλόγως και με την περίπτωση.

Στους πίνακες 6.30 και 6.31 φαίνονται και οι τιμές των παραμέτρων των συναρτήσεων για τις οποίες επιτεύχθηκαν οι παραπάνω τιμές R² στους πίνακες 6.28 και 6.29.

Πίνακας 6.30: Τιμές παραμέτρων των συναρτήσεων για διατροφικά απορρίμματα μέχρι 20 ημέρες χρόνου αποθήκευσης

Όνομα εξίσωσης	Παράμετροι	Φρέσκα Food waste	Food waste 5 d	Food waste 10 d	Food waste 15 d	Food waste 20 d
Lewis	k	0,00364	0,00244	0,00209	0,00166	0,00208

Page	k	3,98088E-5	2,0742E-5	2,18495E-5	1,371E-5	1,35778E-5
	n	1,80704	1,80068	1,74315	1,75535	1,82237
Modified Page	k	0,00367	0,00251	0,00212	0,0017	0,00213
	n	1,82042	1,82596	1,77962	1,82139	1,85924
Henderson and Pabis	a	1,18871	1,222	1,19616	1,16774	1,21845
	k	0,00432	0,00301	0,00254	0,00197	0,00258
Logarithmic	a	1,89562	2,86031	4,39894	6,45828	6,92859
	k	0,00168	6,76197E-4	3,44961E-4	1,8039E-4	2,17243E-4
Wang and singh	c	-0,80524	-1,78177	-3,33728	-5,40817	-5,85419
	a	-0,00247	-0,00151	-0,00122	-9,35343E-4	-0,00112
Two term	b	9,91528E-7	9,01844E-8	-5,22466E-8	-1,05388E-7	-2,60595E-7
	a	-1,70656	-72,35504	0,49208	0,67565	0,49582
Approach of Diffusion	k ₀	0,01249	0,00609	0,00254	0,00197	0,00259
	c	2,6966	73,32983	0,70407	0,492	0,72259
Mildilli et al.	k ₁	0,0069	0,00599	0,00254	0,00197	0,00258
	a	-13,93339	-16,08774	-5,29396	-5,07527	-4,80151
Gauss	k	0,00928	0,00622	0,00545	0,00429	0,00574
	b	0,91769	0,92946	0,82159	0,81903	0,79654
Mildilli et al.	a	0,98061	1,01893	1,03305	1,03354	1,05718
	k	-2,21322E-19	-2,21103E-19	-2,21322E-19	-2,21322E-19	-2,21322E-19
Gauss	n	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8
	b	-0,00201	-0,00149	-0,00131	-0,00106	-0,00138
Gauss	γ ₀	-0,02697	-0,1935	-0,27586	-0,52292	-0,43315
	x _c	-38,72816	-321,69124	-262,09149	-441,7018	-322,17991
Gauss	w	450,04921	1024,46027	1191,91002	1847,58861	1353,10287
	A	590,17186	2003,48148	2136,58052	3984,65679	2795,91468

Πίνακας 6.30: Τιμές παραμέτρων των συναρτήσεων για διατροφικά απορρίμματα 25 και 30 ημερών χρόνου αποθήκευσης καθώς και για διάφορα απόβλητα βιομηχανιών

Όνομα εξίσωσης	Παράμετροι	Food waste 25 d	Food waste 30 d	Απόβλητα Φούρνου	Φλούδες πατάτας	Απόβλητα ζυθοποιίας φρέσκα	Απόβλητα ζυθοποιίας ενός μήνα
Lewis	k	0,00304	0,00385	0,00826	0,00376	0,00202	0,00336
Page	k	1,51555E-5	1,09658E-4	2,15197E-7	5,99895E-5	4,35389E-5	2,85826E-5
	n	1,91724	1,64148	3,25481	1,74345	1,6353	1,82496
Modified Page	k	0,00306	0,00387	0,00895	0,00379	0,00216	0,00323
	n	2,00743	1,65426	3,414	1,74743	1,65933	1,8955
Henderson and Pabis	a	1,16169	1,13241	1,12485	1,15701	1,16168	1,14045
	k	0,00356	0,00436	0,0093	0,00435	0,00242	0,0038
Logarithmic	a	486,08436	2,75039	1327,3418	-1,78894	3,50372	24,76638
	k	4,2539E-6	9,88844E-4	5,19138E-6	0,00183	4,32E-4	8,35049E-5
Wang and singh	c	-485,01671	-1,72219	-1326,19126	-0,70962	-2,46154	-23,73222
	a	-0,00134	-0,00247	-6,96824E-4	-0,00261	-0,0013	-0,00184
Two term	b	-1,33426E-6	7,44115E-7	-3,9255E-5	1,25967E-6	7,73891E-8	-2,55439E-7
	a	-3,2602	-1,56464	0,68889	-1,33565	-2,8973	-0,38975
Two term	k ₀	0,00885	0,01258	0,00926	0,01396	0,00579	88,29723
	c	4,24393	2,55964	0,43567	2,33218	3,86957	1,38975

	k_1	0,00634	0,00703	0,00934	0,00681	0,00416	0,00455
Approach of Diffusion	a	-1998,23585	-2,63602	-30,58189	-11,01004	-11,79402	-13,88178
	k	5,19367E-7	0,01102	0,03108	0,00963	0,00499	0,00803
	b	2,8136	0,69055	0,92044	0,89923	0,91762	0,92119
	a	1,06748	0,9789	1,15052	0,97203	1,0065	1,03016
Mildilli et al.	k	-2,21322E-19	-2,21322E-19	-2,21322E-19	-2,21322E-19	-1,38265E-19	-2,21322E-19
	n	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8	1,54077E-8
	b	-0,00207	-0,00213	-0,00689	-0,00203	-0,00126	-0,00202
	γ_0	1,45392	2,34235	-0,33463	-0,01534	2,42739	1,29398
Gauss	x_c	1120,75297	692,29901	20,43905	-49,71128	1316,39992	645,32003
	w	1211,93321	1235,0234	159,79028	445,45955	2323,38691	731,76747
	A	-3724,73658	-3841,41984	276,25628	587,38963	-7721,95154	-1252,36717

6.5 Συμπεράσματα

Μετά το πέρας της επεξεργασίας των πειραματικών μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι η ποσότητα των VFA στα συμπυκνώματα των υδρατμών των διατροφικών απορριμάτων είναι σημαντική καθώς η μάζα τους ανά kg δείγματος κυμαίνεται μεταξύ των 0,2 - 1 g/kg. Επιπλέον, το ποσοστό των VFA σε σχέση με τον οργανικό άνθρακα TOC στα συμπυκνώματα είναι πολύ μεγάλο καθώς κυμαίνεται από 20-60% και σε κάποια βιομηχανικά απόβλητα μέχρι και 80% πράγμα που δείχνει πως τα VFA αποτελούν ένα πολύ σημαντικό ποσοστό του συνολικού οργανικού φορτίου των συμπυκνωμάτων. Η αναλογία VFA/TOC μειώνεται με τον χρόνο αποθήκευσης των δειγμάτων όπως θα εξηγηθεί και παρακάτω.

Στον οικιακό ξηραντήρα παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των δειγμάτων, η παραγωγή των VFA και του TOC αυξάνονται. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στις βιολογικές και κυρίως αναερόβιες δράσεις που προχωρούν κατά την αποθήκευση του υλικού. Αντίστοιχα και στο σύστημα GAIA, η παραγωγή των VFA και του TOC αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, για τους ίδιους ακριβώς λόγους.

Κατά τον υπολογισμό της ποσοστιαίας αναλογίας VFA/TOC λήφθηκε υπόψη ότι η συγκέντρωση των VFA εκφράζεται ως οξικό οξύ. Διαπιστώθηκε ότι όταν το υλικό ξηραίνεται φρέσκο, τότε το ποσοστό των VFA στον οργανικό άνθρακα των υποστρωμάτων είναι αρκετά υψηλό (έως και 60%). Όταν τα υπολείμματα τροφών αποθηκεύονται, το ποσοστό των VFA μειώνεται σημαντικά κινούμενο στο εύρος 20-30%, γεγονός που υποδηλώνει ότι μετά την αποθήκευσή τους παράγονται και άλλες πτητικές οργανικές ενώσεις πέραν των πτητικών οξέων μικρού μοριακού βάρους. Επιπλέον, για τα βιομηχανικά απόβλητα που μελετήθηκαν σε αυτήν την διπλωματική οι τάσεις είναι ανάλογες, αν και οι απόλυτες τιμές των TOC και VFA είναι σημαντικά χαμηλότερες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική σύσταση των υποστρωμάτων.

Από τα διαγράμματα χρόνου ξήρανσης – μάζας VFA και χρόνου ξήρανσης – μάζας TOC διαπιστώθηκε ότι η αρχική κλίση των καμπυλών τόσο για την περίπτωση των VFA όσο και για την περίπτωση του TOC είναι πολύ μεγάλη, ενώ με την πάροδο του χρόνου η κλίση μειώνεται, μέχρι την ολοκλήρωση της ξήρανσης. Επίσης, παρατηρείται αύξηση της κλίσης των καμπυλών όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης των δειγμάτων. Αυτό σημαίνει πως ο ρυθμός παραγωγής VFA και TOC αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης των δειγμάτων.

Τα δεδομένα που ελήφθησαν από την ξήρανση των οικιακών αποβλήτων απεικονίστηκαν σε διαγραμματική μορφή προκειμένου να καταστεί πιο εύκολη η σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων ξήρανσης. Πιο συγκεκριμένα, απεικονίστηκε η συνολική παραγωγή VFA και TOC συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Από τα διαγράμματα κατέστη σαφές ότι η παραγωγή των πτητικών λιπαρών οξέων ακολουθεί μια γραμμική τάση με το χρόνο αποθήκευσης των αποβλήτων και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Βέβαια, είναι σημαντικά υψηλότερη για το οικιακό σύστημα ξήρανσης και ο ρυθμός αύξησης της παραγωγής VFA ως προς το χρόνο αποθήκευσης είναι επίσης σημαντικά υψηλότερος. Οι διαφορετικές τεχνικές ξήρανσης αλλά και η κλίμακα συνεισφέρουν στη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

Από την σύγκριση των διαγραμμάτων για τα δύο συστήματα ξήρανσης κατέστη σαφές ότι και η παραγωγή TOC ακολουθεί γραμμική τάση με τον χρόνο αποθήκευσης και για τα δύο συστήματα ξήρανσης. Παρατηρείται ότι η παραγωγή TOC στο σύστημα GAIA είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν του οικιακού ξηραντήρα. Ωστόσο, η κλίση των δύο γραμμών τάσης είναι η ίδια πράγμα που δείχνει πως ο ρυθμός αύξησης της συνολικής παραγωγής TOC συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης είναι σταθερός και για τα δύο συστήματα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι ο μηχανισμός παραγωγής του οργανικού άνθρακα στα συμπυκνώματα ελέγχεται από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση.

Παρατηρώντας το διάγραμμα 6.9, που αφορά δείγματα από την ίδια πηγή προέλευσης, διαπιστώνεται ότι η κλίση των καμπυλών ξήρανσης μειώνεται με την αύξηση της μάζας των δειγμάτων. Αυτό είναι απολύτως λογικό καθώς με την αύξηση της μάζας αυξάνεται και ο απαιτούμενος χρόνος για την μείωση της υγρασίας οπότε κατά συνέπεια μειώνεται και η κλίση της καμπύλης ξήρανσης. Ωστόσο, η μάζα φαίνεται να μην είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την μορφή των καμπυλών ξήρανσης. Το δείγμα των 25 ημερών είχε παρόμοια μάζα με το φρέσκο δείγμα αλλά η καμπύλη ξήρανσης του έχει σημαντικά υψηλότερη κλίση ενώ για το δείγμα των 30 ημερών η καμπύλη ξήρανσης έχει παρόμοια κλίση με το φρέσκο παρόλο που η μάζα του είναι σημαντικά μικρότερη. Στο διάγραμμα των βιομηχανικών αποβλήτων επίσης, τα δύο δείγματα της ζυθοποιίας έχουν παρόμοια μάζα αλλά η κλίση της καμπύλης είναι πολύ διαφορετική.

Οι διαφορές στην μορφή της καμπύλης ξήρανσης θα μπορούσαν να οφείλονται στην διαφορετική σύσταση των υποστρωμάτων καθώς τα δείγματα προέρχονταν από τα υπολείμματα της λέσχης του ΕΜΠ και δεν είχαν τις ίδιες ιδιότητες κάθε φορά. Ωστόσο, θα μπορούσε να επηρεάζει και ο χρόνος παραμονής την μορφή της καμπύλης ξήρανσης αλλά τα δεδομένα είναι ανεπαρκή για να εξαχθεί ένα τέτοιο συμπέρασμα. Προκειμένου να διαπιστωθεί ποια είναι η επίδραση του χρόνου παραμονής στην καμπύλη ξήρανσης ενός υποστρώματος χρειάζεται εξειδικευμένη μελέτη αναλόγως και με το εκάστοτε υπόστρωμα.

Από την προσαρμογή των εξισώσεων στις καμπύλες ξήρανσης των δειγμάτων με την χρήση του προγράμματος Origin, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι την καλύτερη προσαρμογή την παρουσιάζει η συνάρτηση Gauss καθώς σε όλα τα πειράματα έχει εξαιρετική τιμή R^2 ενώ σε 8 από τα 10 παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή από όλες τις άλλες συναρτήσεις. Όπως είναι αυτονόητο, στην κάθε καμπύλη ξήρανσης η προσαρμογή των εξισώσεων ήταν διαφορετική καθώς το κάθε δείγμα παρουσιάζει διαφορετική χρονική εξέλιξη της υγρασίας του. Πολύ καλή προσαρμογή παρουσίαζαν επίσης οι page, modified page, wang and singh και η diffusion καθώς για όλες τις καμπύλες ξήρανσης παρουσίαζαν R^2 μεγαλύτερο του 0,9. Συνεπώς, μπορεί να εξαχθεί το

συμπέρασμα ότι η συνάρτηση Gauss είναι εξαιρετική για την περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της υγρασίας XR στα διατροφικά απορρίμματα, με την κατάλληλη προσαρμογή των παραμέτρων της αναλόγως και με την περίπτωση, ενώ παρουσιάζουν πολύ καλή προσαρμογή και οι εξισώσεις page, modified page, wang and singh και η diffusion.

Επομένως, συμπεραίνεται ότι η ποσότητα των VFA είναι σημαντική στα συμπυκνώματα υδρατμών διατροφικών απορριμμάτων, το ποσοστό VFA στο συνολικό TOC είναι πολύ μεγάλο για όλα τα δείγματα, ο χρόνος αποθήκευσης των δειγμάτων αυξάνει σημαντικά και τα VFA και το TOC και μάλιστα με γραμμική τάση αύξησης, ο οργανικός άνθρακας στα συμπυκνώματα ελέγχεται από διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση, ο οικιακός ξηραντήρας έχει μεγαλύτερη παραγωγή VFA ανά kg δείγματος σε σχέση με τον ξηραντήρα GAIA και η εξίσωση Gauss παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή για την περιγραφή των καμπυλών ξήρανσης των διάφορων διατροφικών απορριμμάτων.

Βιβλιογραφία

- 1) Barabouiti. (2019). "Current Trends and Future Potential of Biowaste and Biomass."
- 2) Sustainable Management of Food Basics. (Retrieved 2020, June 19).
<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/sustainable-management-food-basics>
- 3) Jenny Gustavsson, Christel Cederberg, Ulf Sonesson. (2011). *Global food losses and food waste*. The Swedish institute for food and biotechnology
- 4) Ong, K. L., Kaur, G., Pensupa, N., Uisan, K., & Lin, C. S. K. (2018). *Trends in food waste valorization for the production of chemicals, materials and fuels: Case study South and Southeast Asia*. *Bioresource Technology*, 248, 100–112.
- 5) Papargyropoulou, E., Lozano, R., K. Steinberger, J., Wright, N., & Ujang, Z. bin. (2014). *The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste*. *Journal of Cleaner Production*, 76, 106–115.
- 6) Global Food Waste and its Environmental Impact: Green Living. (Retrieved July 07, 2020).
<https://en.reset.org/knowledge/global-food-waste-and-its-environmental-impact-09122018>
- 7) Per capita food waste of selected countries worldwide in 2017. (Retrieved July 7, 2020)
<https://www.statista.com/statistics/933059/per-capita-food-waste-of-selected-countries/>
- 8) Healthy Food for a Healthy World: Wasted Food, Wasted Nutrients. (Retrieved July 7, 2020)
<https://www.thechicagocouncil.org/blog/global-food-thought/healthy-food-healthy-world-wasted-food-wasted-nutrients>
- 9) Share Of Global Food Loss And Waste. (Retrieved July 7, 2020).
<https://epthinktank.eu/2014/02/07/tackling-food-waste-the-eus-contribution-to-a-global->
- 10) Global food waste. (Retrieved July 7, 2020) <https://www.rferl.org/a/global-food-waste/29602025.html>
- 11) Turning food waste into animal feed could take a chunk out of livestock emissions. (Retrieved July 7, 2020) <https://medium.com/@SFGillman/turning-food-waste-into-animal-feed-could-take-a-chunk-out-of-livestock-emissions-c0adf6911da2>
- 12) Global Food Losses and Food waste – Extent of food losses and waste. (2007). FAO, UN
- 13) Åsa Stenmarck, Carl Jensen, Tom Quested, Graham Moates. (2016) *Estimates of European food waste levels*, FUSIONS program, EU
- 14) Recommendations for Action in Food Waste Prevention, (2019). EU Platform on Food Losses and Food Waste
- 15) How much food does the EU waste? (Retrieved July 7, 2020)
<https://www.independent.co.uk/news/world/europe/how-much-food-does-the-eu-waste-a6778351.html>

- 16) Zero waste hierarchy for Europe (Retrieved July 7, 2020) <https://zerowasteurope.eu/2019/05/a-zero-waste-hierarchy-for-europe/>
- 17) Sustainable development goals (Retrieved July 7, 2020) https://ec.europa.eu/info/strategy/international-strategies/sustainable-development-goals_en
- 18) EU Platform on Food Losses and Food Waste (Retrieved July 7, 2020) https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu_actions/eu-platform_en
- 19) DIRECTIVE 2018/851. (2018). European parliament, Council of the european union
- 20) *Το κλείσιμο του κύκλου – Ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία.* (2015). Ευρωπαϊκή Επιτροπή
- 21) Χατζητισοπάνης Στέφανος, (2015). *ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΗΜΟΤΩΝ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΣΕ ΤΡΟΠΟΥΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΝΕΑΠΟΛΗΣ- ΣΥΚΕΩΝ.* Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- 22) Σπυριδάκης – Κωνσταντίνου Παναγιώτης. (2015). *Τροφικά απόβλητα: ένα περιβαλλοντικό και κοινωνικό ζήτημα.* Χαροκόπειο πανεπιστήμιο
- 23) Τροφικά απόβλητα: Ένα πρόβλημα με περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις. (Retrieved July 7, 2020) <https://www.ellinikigeorgia.gr/trofika-apovlita/>
- 24) Αρφανάκου Αναστασία, *ΕΘΝΙΚΟ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΝΕΟΣ ΕΘΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ,* Υπουργείο περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής
- 25) *Εθνικό στρατηγικό σχέδιο πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων.* (2014). εφημερίδα της κυβερνήσεως
- 26) Greeks waste large amounts of food. (retrieved july 7, 2020). <https://greece.greekreporter.com/2013/12/06/greeks-waste-large-amounts-of-food/>
- 27) „Sustainable Food Movement – Aiming to fight food waste in Greece. (retrieved july 7,2020). <https://oneplanetrating.org/blog/sustainable-food-movement-greece/>
- 28) K. Lasaridi, K. Abeliotis, K. Boikou, T. Manios, C. Chroni. (2017) *Household food waste generation and composition in Greece as assessed by self-reporting diaries,* Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, ΤΕΙ Κρήτης
- 29) Konstadinos Abeliotis, Katia Lasaridi, Konstantina Boikou, Christina Chroni. *Food waste volume and composition in households in Greece,* Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- 30) *Best practises towards the sustainable development goals.* Fixing Food 2018

- 31) Διαχείριση στερεών αποβλήτων. (2014). ΥΠΕΚΑ
- 32) Lundie, S., & Peters, G. M. (2005). *Life cycle assessment of food waste management options. Journal of Cleaner Production, 13(3), 275–286.*
- 33) Thi, N. B. D., Kumar, G., & Lin, C.-Y. (2015). *An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. Journal of Environmental Management, 157, 220–229.*
- 34) Girotto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). *Food waste generation and industrial uses: A review. Waste Management, 45, 32–41.*
- 35) Eriksson, M., Strid, I., & Hansson, P.-A. (2015). *Carbon footprint of food waste management options in the waste hierarchy – a Swedish case study. Journal of Cleaner Production, 93, 115–125.*
- 36) Salemdeeb, R., zu Ermgassen, E. K. H. J., Kim, M. H., Balmford, A., & Al-Tabbaa, A. (2017). *Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. Journal of Cleaner Production, 140, 871–880.*
- 37) Pham, T. P. T., Kaushik, R., Parshetti, G. K., Mahmood, R., & Balasubramanian, R. (2015). *Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions. Waste Management, 38, 399*
- 38) M. Igarashi, Y. Hayafune, R. Sugamiya, Y. Nakagawa. *Pyrolysis of municipal solid waste*
- 39) Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. (2014). *Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38, 383–392.*
- 40) Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. (2013). *Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. Chemosphere, 93(7), 1247–1257.*
- 41) Westendorf, M. L. (Ed.). (2000). *Food Waste to Animal Feed.*
- 42) Katsuaki Sugiura, Shoich Yamatani, Masashi Watahara, Takashi Onondera. *Ecofeed, animal feed from recycled food waste. Veterinaria italiana, 45 (3), 397-404*
- 43) Pommeret, A., Yang, X., Kwan, T. H., Christoforou, E. A., Fokaides, P. A., & Lin, C. S. K. (2017). *Techno-Economic Study and Environmental Assessment of Food Waste Based Biorefinery. Food Waste Reduction and Valorisation, 121–146.*
- 44) Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). *Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. Trends in Biotechnology, 34(1), 58–69.*
- 45) Βλυσσίδης Α., Γρηγοροπούλου Ε., Λυμπεράτος Γ. (2019). *Περιβαλλοντική μηχανική σημειώσεις παραδόσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*
- 46) Giovanna Cappai, Giorgia De Gioannis 1, Aldo Muntoni, Daniela Spiga, Maria Rosaria Boni, Alessandra Polettoni, Raffaella Pomi and Andreina Rossi. (2018). *Biohydrogen Production*

- 47) Σαραγάς Κωνσταντίνος. (2018). Βελτιστοποίηση ενζυμικής σακχαροποίησης και ζύμωσης προξηραμένων διατροφικών απορριμμάτων για παραγωγή αιθανόλης 2ης γενιάς, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 48) Chua, K. ., & Chou, S. . (2003). *Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519–528.
- 49) Motevali, A., Minaei, S., & Khoshtagaza, M. H. (2011). *Evaluation of energy consumption in different drying methods. Energy Conversion and Management*, 52(2), 1192–1199.
- 50) DIAMANTE, L. M., & MUNRO, P. A. (2007). *Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices. International Journal of Food Science & Technology*, 26(1), 99–109.
- 51) Karathanos, V. T. (1999). *Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. Journal of Food Engineering*, 39(4), 337–344.
- 52) Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D. (2003). *Drying kinetics of some vegetables. Journal of Food Engineering*, 59(4), 391–403.
- 53) Maw Maw Tun, Dagmar Juchelková. (2019). *Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review, Environmental Engineering Research, Volume 24 (4)*
- 54) Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R., & Pollard, S. J. T. (2009). *Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. Bioresource Technology*, 100(11), 2747–2761.
- 55) Winkler, M.-K. H., Bennenbroek, M. H., Horstink, F. H., van Loosdrecht, M. C. M., & van de Pol, G.-J. (2013). *The biodrying concept: An innovative technology creating energy from sewage sludge. Bioresource Technology*, 147, 124–129.
- 56) Belessiotis, V., & Delyannis, E. (2011). *Solar drying. Solar Energy*, 85(8), 1665–1691.
- 57) Ekechukwu, O. ., & Norton, B. (1999). *Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. Energy Conversion and Management*, 40(6), 615–655.
- 58) Demir, V., Gunhan, T., & Yagcioglu, A. K. (2007). *Mathematical modelling of convection drying of green table olives. Biosystems Engineering*, 98(1), 47–53.
- 59) Fernando, J. A. K. M., & Amarasinghe, A. D. U. S. (2016). *Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. SpringerPlus*, 5(1).
- 60) Lewicki, P. P. (2006). *Design of hot air drying for better foods. Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153–163.
- 61) Ratti, C. (2001). *Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. Journal of Food*

- Engineering*, 49(4), 311–319.
- 62) Vega, A. Fito, P. Andres, A. Lemus, R. (2007). *Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper*, *Journal of food engineering*
- 63) Franks, F. (1998). *Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice*. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 45(3), 221–229.
- 64) Tang, X. (Charlie), & Pikal, M. J. (2004). *Design of Freeze-Drying Processes for Pharmaceuticals: Practical Advice*. *Pharmaceutical Research*, 21(2), 191–200
- 65) Constantine Sandu. (1986). *Infrared Radiative Drying in Food Engineering: A Process Analysis*, *Biotechnology progress*, 2 (3), 109-119
- 66) Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2004). *Infrared drying of apple slices*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353–360.
- 67) Juming Tang, Hao Feng, Guo-Qi Shen. (2003). *Drum drying*, *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*, 211-214
- 68) Pua, C. K., Hamid, N. S. A., Tan, C. P., Mirhosseini, H., Rahman, R. B. A., & Rusul, G. (2010). *Optimization of drum drying processing parameters for production of jackfruit (Artocarpus heterophyllus) powder using response surface methodology*. *LWT - Food Science and Technology*, 43(2), 343–349.
- 69) I Ré, M. (1998). *MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING*. *Drying Technology*, 16(6), 1195–1236.
- 70) Broadhead, J., Edmond Rouan, S. K., & Rhodes, C. T. (1992). *The spray drying of pharmaceuticals*. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 18(11-12), 1169–1206.
- 71) Šumić, Z., Tepić, A., Vidović, S., Jokić, S., & Malbaša, R. (2013). *Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process*. *Food Chemistry*, 136(1), 55–63
- 72) Thanit Swasdisevi , Sakamon Devahastin , Rittigrai Ngamchum and Somchart Sophonronarit. (2007). *Optimization of a drying process using infrared vacuum drying of Cavendish banana slices*, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 29(3), 809-816
- 73) Mousa, N., & Farid, M. (2002). *MICROWAVE VACUUM DRYING OF BANANA SLICES*. *Drying Technology*, 20(10), 2055–2066.
- 74) Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., & Tagawa, A. (2007). *Vacuum drying characteristics of eggplants*. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422–429.
- 75) Liquid desiccant drying. (Received July 7, 2020),
<https://www.thomasnet.com/articles/chemicals/liquid-desiccant-drying/>
- 76) Barati, A., Kokabi, M., & Famili, M. H. N. (2003). *Drying of gelcast ceramic parts via the*

- liquid desiccant method. Journal of the European Ceramic Society, 23(13), 2265–2272.*
- 77) Maskan, M. (2001). *Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering, 48(2), 177–182.*
- 78) Ortiz-Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). *Quantitative understanding of Refractance Window™ drying. Food and Bioproducts Processing, 95, 237–253.*
- 79) Nindo, C. I., & Tang, J. (2007). *Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. Drying Technology, 25(1), 37–48*
- 80) Francisco Gomez et al. *A vital stage in the large scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics*
- 81) Lee, W. S., Chua, A. S. M., Yeoh, H. K., & Ngoh, G. C. (2014). *A review of the production and applications of waste-derived volatile fatty acids. Chemical Engineering Journal, 235, 83–99*
- 82) Lee, D.-J., Lee, S.-Y., Bae, J.-S., Kang, J.-G., Kim, K.-H., Rhee, S.-S., ... Seo, D.-C. (2015). *Effect of Volatile Fatty Acid Concentration on Anaerobic Degradation Rate from Field Anaerobic Digestion Facilities Treating Food Waste Leachate in South Korea. Journal of Chemistry, 2015, 1–9*
- 83) Venkata Mohan, S., Rohit, M. V., Amulya, K., Kumar, A. N., Modestra, J. A., Sravan, J. S., ... Swathi, K. (2019). *Acidogenic Biohydrogen Production Integrated With Biorefinery Approach. Biohydrogen, 369–381*
- 84) Mateos, R., Escapa, A., Vanbroekhoven, K., Patil, S. A., Moran, A., & Pant, D. (2019). *Microbial Electrochemical Technologies for CO₂ and Its Derived Products Valorization. Microbial Electrochemical Technology, 777–796*
- 85) Martinez, G. A., Rebecchi, S., Decorti, D., Domingos, J. M. B., Natolino, A., Del Rio, D., ... Fava, F. (2016). *Towards multi-purpose biorefinery platforms for the valorisation of red grape pomace: production of polyphenols, volatile fatty acids, polyhydroxyalkanoates and biogas. Green Chemistry, 18(1), 261–270*
- 86) Bengtsson, S., Hallquist, J., Werker, A., & Welander, T. (2008). *Acidogenic fermentation of industrial wastewaters: Effects of chemostat retention time and pH on volatile fatty acids production. Biochemical Engineering Journal, 40(3), 492–499*
- 87) Strazzera, G., Battista, F., Garcia, N. H., Frison, N., & Bolzonella, D. (2018). *Volatile fatty acids production from food wastes for biorefinery platforms: A review. Journal of Environmental Management, 226, 278–288*
- 88) Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). *Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. Bioresource Technology, 248, 2–12*
- 89) Cavinato, Cristina, et al. "Volatile fatty acids production from organic waste for biorefinery platforms."
- 90) Elefsiniotis, P., & Wareham, D. G. (2007). *Utilization patterns of volatile fatty acids in the*

denitrification reaction. Enzyme and Microbial Technology, 41(1-2), 92–97

- 91) Jin, X., Angelidaki, I., & Zhang, Y. (2016). *Microbial Electrochemical Monitoring of Volatile Fatty Acids during Anaerobic Digestion. Environmental Science & Technology, 50(8), 4422–4429.*
- 92) Jiang, J., Zhang, Y., Li, K., Wang, Q., Gong, C., & Li, M. (2013). *Volatile fatty acids production from food waste: Effects of pH, temperature, and organic loading rate. Bioresource Technology, 143, 525–530*
- 93) Zhou, M., Yan, B., Wong, J. W. C., & Zhang, Y. (2018). *Enhanced volatile fatty acids production from anaerobic fermentation of food waste: A mini-review focusing on acidogenic metabolic pathways. Bioresource Technology, 248, 68–78.*
- 94) Lim, S.-J., Choi, D. W., Lee, W. G., Kwon, S., & Chang, H. N. (2000). *Volatile fatty acids production from food wastes and its application to biological nutrient removal. Bioprocess Engineering, 22(6), 543–545.*
- 95) Riemenschneider, W. (2000). *Carboxylic Acids, Aliphatic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.*
- 96) Falbe, J. (1970). *Carbon Monoxide in Organic Synthesis. Organische Chemie in Einzeldarstellungen.*
- 97) Gould, M. C. (2015). *Bioenergy and Anaerobic Digestion. Bioenergy, 297–317.*
- 98) Breeze, P. (2018). *Landfill Waste Disposal, Anaerobic Digestion, and Energy Production. Energy from Waste, 39–47.*
- 99) Jeong, C. M., Choi, J. D. R., Ahn, Y., & Chang, H. N. (2008). *Removal of volatile fatty acids (VFA) by microbial fuel cell with aluminum electrode and microbial community identification with 16S rRNA sequence. Korean Journal of Chemical Engineering, 25(3), 535–541.*
- 100) Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., & Oh, S.-E. (2015). *Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. Alexandria Engineering Journal, 54(3), 745–756*
- 101) Choi, J., Chang, H. N., & Han, J.-I. (2010). *Performance of microbial fuel cell with volatile fatty acids from food wastes. Biotechnology Letters, 33(4), 705–714.*
- 102) Mamimin, C., Prasertsan, P., Kongjan, P., & O-Thong, S. (2017). *Effects of volatile fatty acids in biohydrogen effluent on biohythane production from palm oil mill effluent under thermophilic condition. Electronic Journal of Biotechnology, 29, 78–85.*
- 103) Uyar, B., Eroglu, I., Yücel, M., & Gündüz, U. (2009). *Photofermentative hydrogen production*
- 104) TUNA, E., KARGI, F., & ARGUN, H. (2009). *Hydrogen gas production by electrohydrolysis of volatile fatty acid (VFA) containing dark fermentation effluent. International Journal of Hydrogen Energy, 34(1), 262–269.*
- 105) David, B., Federico, B., Cristina, C., Marco, G., Federico, M., & Paolo, P. (2019). *Biohythane Production From Food Wastes. Biohydrogen, 347–368.*

- 106) Zacharof, Myrto-Panagiota & Lovitt, Robert Bob. (2013). *Complex Effluent Streams as a Potential Source of Volatile Fatty Acids. Waste and Biomass Valorization. 4. 557-581*
- 107) Σωτηρόπουλος Άγγελος. (2015). *Ανάλυση συστήματος επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των οικιακών αποβλήτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*