



«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας»

«Διαχείριση και Τεχνολογία Ποιότητας (ΔΙΠ)»

Διπλωματική Εργασία

«Βιώσιμη Διαχείριση Υπολειμμάτων και Απορριμμάτων τροφίμων.

Αξιολόγηση μεθόδων και προτάσεις τυποποίησης»

«Σταυρούλα Μπουγατσά»

Επιβλέπων Καθηγητής: «Βασίλης Κωστόπουλος»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής: «Δημοσθένης Πολύζος»

Πάτρα, «Μάϊος» «2024»

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Βιώσιμη Διαχείριση Υπολειμμάτων και Απορριμμάτων τροφίμων.  
Αξιολόγηση μεθόδων και προτάσεις τυποποίησης»

«Σταυρούλα Μπουγατσά»

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

«Βασίλης Κωστόπουλος»

«Διευθυντής Εργαστηρίου Τεχνικής  
Μηχανικής & Ταλαντώσεων –  
Πανεπιστήμιο Πατρών »

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

«Δημοσθένης Πολύζος»

«Μέλος Εργαστηρίου Τεχνικής  
Μηχανικής & Ταλαντώσεων –  
Πανεπιστήμιο Πατρών»

Πάτρα, «Μάϊος» «2024»

*Ευχαριστίες.*

*«Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, που με ώθησαν σε αυτό το υπέροχο ταξίδι γνώσεων, για τη συμπαράσταση και τις συμβουλές τους».*

*«Ευχαριστώ επίσης το σύζυγό μου και την κόρη μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους στις πραγματικές πολλές ώρες που δαπάνησα για αυτή την έρευνα και συγγραφή».*

## Περίληψη

Η παρούσα διατριβή διαπραγματεύεται το πρόβλημα της βιώσιμης διαχείρισης υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων, όπως αυτό έχει διαμορφωθεί σήμερα. Η δομή της εργασίας αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Το πρώτο μας εισάγει στο πρόβλημα και έχει ως σκοπό να αναδείξει την κρισιμότητα που έχει αποκτήσει στην εποχή μας η συσσώρευση απορριμμάτων τροφίμων. Στο δεύτερο κεφάλαιο, μέσα από βιβλιογραφική ανασκόπηση σε επιλεγμένη βιβλιογραφία επί του θέματος, παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη του προβλήματος και αναλύονται οι δυνατότητες εφαρμογής της βιώσιμης διαχείρισης στα τρόφιμα, το μοντέλο κυκλικής ανάπτυξης και οι σύγχρονες προσεγγίσεις στο συγκεκριμένο θέμα. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής παρουσίαση σε συμβατικές και προηγμένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη διαχείριση υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται στρατηγικές πρόληψης και μείωσης της σπατάλης φαγητού που τελικά καταλήγει στα απορρίμματα. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και των στρατηγικών πρόληψης της δημιουργίας τους, έτσι ώστε να προαχθούν οι καταλληλότεροι ή κατάλληλος συνδυασμός αυτών ως μέρος μίας ολιστικής προσέγγισης στη βιώσιμη διαχείριση τροφίμων. Επίσης, παρουσιάζονται παραδείγματα και μελέτες περίπτωσης, όπως αυτή της εταιρείας Danone, από τις οποίες φαίνεται ότι η προσπάθεια για μείωση και αποτελεσματική διαχείρισή των αποβλήτων τροφίμων, άλλες φορές έχει επιτυχία και άλλες όχι. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας. Μέσα από τα συμπεράσματα διαφαίνεται η ανάγκη εισαγωγής προηγμένων συστημάτων ολιστικής διαχείρισης της ποιότητας στις ίδιες τις μεθόδους διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων. Συναφώς, γίνονται προτάσεις για τη βέλτιστη μεθοδολογία προσέγγισης του προβλήματος και κατάλληλη τυποποίηση αυτής ώστε να δύναται να εφαρμόζεται σε παγκόσμια κλίμακα και να προσαρμόζεται στις γεωγραφικές, κοινωνικές και γεωπολιτικές ιδιαιτερότητες κάθε χώρας. Τέλος, γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα με τη χρήση σύγχρονων αναδυομένων τεχνολογιών όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, αλλά και για αποτελεσματική ευαισθητοποίηση του κοινωνικού συνόλου, των κρατικών δρώντων και του ιδιωτικού τομέα.

### Λέξεις – Κλειδιά

Σπατάλη τροφίμων, βιώσιμη διαχείριση τροφίμων, αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, κομποστοποίηση, θερμική επεξεργασία αποβλήτων τροφίμων, αναδυόμενες τεχνολογίες.

## **Abstract**

This thesis deals with the problem of sustainable management of food residues and waste, as it has been shaped today. The thesis structure consists of five chapters. The first introduces us to the problem and aims to highlight the criticality that the accumulation of food waste has acquired in our time. In the second chapter, through a literature review in selected literature on the subject, the historical evolution of the problem is presented and the possibilities of applying sustainable management in food, the model of circular development and modern approaches to this issue are analyzed. The third chapter presents extensively the conventional and advanced methods used for the management of food residues and waste. In addition, strategies are presented to prevent and reduce food waste that eventually ends up in waste. The fourth chapter compares and evaluates food waste management methods and prevention strategies to promote the most appropriate or appropriate combination of them as part of a holistic approach to sustainable food management. Also, examples and case studies are presented, such as that of the multinational company Danone, which show that the effort to reduce food waste and effectively manage it sometimes succeeds and sometimes fails. In the fifth and final chapter, the conclusions of this paper are presented. The conclusions reveal the need to introduce advanced holistic quality management systems into the waste and food waste management methods themselves. In this regard, proposals are made for the best methodology for approaching the problem, appropriate standardization so that it can be applied on a global scale, but also adapted to the geographical, social and geopolitical particularities of each country. Finally, proposals are made for future research using modern emerging technologies such as Artificial Intelligence, as well as effective awareness of society, state actors and the private sector.

## **Keywords**

Food waste, sustainable food management, food supply chain, composting, thermal treatment of food waste, emerging technologies.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Περιεχόμενα .....	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων .....	xi
Κατάλογος Πινάκων .....	xiv
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Δομή της εργασίας .....	1
1.1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	1
1.1.2 Μέθοδοι διαχείρισης και στρατηγικές πρόληψη και μείωσης των αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων .....	2
1.1.3 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης - μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα διαχείρισης.....	2
1.1.4 Συμπεράσματα, προτάσεις και μελλοντική έρευνα .....	3
1.2 Μεθοδολογία.....	3
1.2.1 Μοντέλο που χρησιμοποιείται .....	3
1.2.2 Σταδιακή προσέγγιση στο μοντέλο και την πολυπλοκότητα του προβλήματος..	4
1.2.3 Ανάλυση μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης και μείωσης των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων .....	4
1.2.4 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης .....	4
1.3 Επιδιωκόμενα αποτελέσματα.....	5
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	6
2.1 Γενικά.....	6
2.2 Η διαχείριση αποβλήτων τροφίμων .....	8
2.2.1 Μερικά ιστορικά στοιχεία.....	8
2.2.2 Η σύγχρονη πραγματικότητα .....	9
2.3 Βιώσιμη Διαχείριση Τροφίμων (Sustainable Management of Food) και Κυκλική Ανάπτυξη (Circular Development) .....	11
2.3.1 Ορισμοί .....	11
2.3.2 Η Σπατάλη τροφίμων στα διάφορα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων .....	13
2.3.3 Κυκλική οικονομία και βιώσιμη ανάπτυξη.....	18

2.3.4 Γιατί ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων και η βιώσιμη διαχείριση τροφίμων και απορριμμάτων είναι σημαντικά, αλλά και σύνθετα;.....	19
2.4 Τα προβλήματα της κείμενης νομοθεσίας .....	30
2.5 Η διαχείριση αποβλήτων τροφίμων και η τυποποίηση κατά ISO.....	32
2.5.1 Το ISO 14001 .....	32
2.5.2 Το ISO 22000.....	33
2.5.3 Τα ISO 9001 και 50001.....	33
2.5.4 Το υπό σύνταξη πρότυπο ISO/CD 20001 .....	33
3. Μέθοδοι διαχείρισης και στρατηγικές πρόληψη και μείωσης των αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων.....	36
3.1 Συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και τα προβλήματά τους.....	36
3.1.1 Η επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων .....	39
3.1.2 Οι μέθοδοι ανακύκλωσης και επεξεργασίας των απορριμμάτων τροφίμων.....	42
3.1.3 Η απόρριψη (Disposal) και υγειονομική ταφή (Landfilling).....	64
3.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων .....	77
3.2.1 Η επανακύκλωση των τροφίμων (upcycling) .....	77
3.2.2 Προηγμένες μέθοδοι κομποστοποίησης .....	80
3.2.3 Προηγμένες μέθοδοι αναερόβιας χώνευσης .....	85
3.2.4 Προηγμένες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας .....	88
3.3 Στρατηγικές πρόληψης και μείωσης των αποβλήτων τροφίμων .....	94
3.3.1 Πρόληψη .....	94
3.3.2 Ελαχιστοποίηση .....	98
3.3.2.1 Ελαχιστοποίηση στα στάδια παραγωγής, μεταφοράς, αποθήκευσης, επεξεργασίας και συσκευασίας .....	99
3.3.2.2 Ελαχιστοποίηση στα στάδια λιανικής διανομής και κατανάλωσης.....	101
4. Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων και στρατηγικών διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων, μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα. ....	105
4.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης & μείωσης των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων.....	105
4.1.1 Επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων .....	105
4.1.2 Σύγκριση των μεθόδων ανακύκλωσης και επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων .....	106
4.1.3 Σύγκριση μεθόδων απόθεσης στο έδαφος .....	112
4.1.4 Σύγκριση των στρατηγικών πρόληψης και ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων τροφίμων .....	114



4.2 Μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα .....	116
4.2.1 Επισκόπηση μελέτης περίπτωσης της CDM Smith εκ μέρους του Ιδρύματος Ερευνών για το Υδάτινο Περιβάλλον (Water Environment Research Foundation, WERF), για την αξιολόγηση και σύγκριση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων. ....	116
4.2.2 «Όταν η υπεύθυνη παραγωγή και κατανάλωση έχουν σημασία : η περίπτωση της Danone» .....	120
4.2.3 «A2Food – Αποτρέψιμα και μη αποτρέψιμα απόβλητα τροφίμων: Μια ολιστική προσέγγιση διαχείρισης για αστικά περιβάλλοντα» .....	125
4.2.5 Η αποτυχία της αποτελεσματικής χρήσης εγκαταστάσεων αεριοποίησης - Τα στοιχεία χρήσης τους στο Ηνωμένο Βασίλειο και η περίπτωση ανάκλησης αδείας του εργοστασίου αεριοποίησης μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια της Scotgen στο Dumfries της Σκωτίας. ....	128
5. Συμπεράσματα, προτάσεις και μελλοντική έρευνα .....	134
5.1 Συμπεράσματα .....	134
5.1.1 Το πρόβλημα της διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων .....	134
5.1.2 Στρατηγικές διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων .....	134
5.1.3 Επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων τροφίμων .....	135
5.1.4 Μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων .....	136
5.1.5 Τα πλεονεκτήματα χρήσης αναδυόμενων τεχνολογιών και τεχνολογικών εργαλείων στη διαχείριση ποιότητας τροφίμων.....	138
5.1.6 Γενικά συμπεράσματα.....	139
5.2 Η ανάγκη εισαγωγής συστημάτων ολικής διαχείρισης της ποιότητας στις μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων.....	141
5.3 Προτάσεις.....	142
5.3.1 Επίπεδο κρατικών οντοτήτων .....	142
5.3.2 Ατομικό επίπεδο.....	144
5.3.3 Παγκόσμιο επίπεδο – οργανισμοί .....	144
5.3.4 Η επιλογή των μεθόδων διαχείρισης.....	145
5.3.4 Η χρήση νέων τεχνολογιών.....	147
5.4 Επίλογος.....	149
Βιβλιογραφία.....	150
Παράρτημα Α: Η διαδικασία της Κομποστοποίησης (Composting process) .....	161
Στάδια κομποστοποίησης και χημικές διεργασίες .....	162
Μεσοφιλικό Στάδιο .....	162
Θερμοφιλικό Στάδιο.....	163
Στάδιο ωρίμανσης .....	164

Οι μικροοργανισμοί, οι ιοί και οι φυσικοί αποσυνθέτες .....	164
Οι μικροοργανισμοί .....	164
Οι ιοί.....	165
Οι φυσικοί αποσυνθέτες.....	165
Παράρτημα Β: Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης (Anaerobic Digestion, AD)....	167
Φάσεις της αναερόβιας χώνευσης .....	168
Φάση της υδρόλυσης (Hydrolysis) .....	168
Φάση της οξεογένεσης (Acidogenesis).....	168
Φάση της ακετογένεσης (Acetogenesis) .....	169
Φάση της μεθανογένεσης (Acetogenesis).....	169
Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση.....	170
Θερμοκρασία.....	170
Οργανικός ρυθμός φόρτωσης (Organic Loading Rate, OLR) .....	171
Χρόνος υδραυλικής κατακράτησης (Hydraulic Retention Time, HRT).....	171
Αναλογία άνθρακα / αζώτου (C/N ratio) .....	171
Τιμή pH.....	172
Παράρτημα Γ: Μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας και χρήσης αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής (Land Fill Gas, LFG).....	173
Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος .....	173
Παλινδρομικοί κινητήρες (Reciprocating Piston Engines, RP Engine).....	174
Τουρμπίνες αερίου (Gas turbines) .....	175
Μικρο-τουρμπίνες (Microturbines).....	177
Απευθείας χρήση του αερίου (Direct use of btu gas).....	177
Καυστήρες, στεγνωτές και κλίβανοι.....	177
Θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας .....	178
Θερμοκήπια.....	179
Εξάτμιση στραγγίσματος .....	179
Παραγωγή βιο-καυσίμου.....	180
Μετατροπή του LFG σε Ανανεώσιμο Φυσικό Αέριο (Renewable Natural Gas, RNG) .....	180
Πλύσιμο με νερό (Water Scrubbing) .....	181
Πλύσιμο με διαλυτικά (Solvent Scrubbing).....	181
Προσρόφηση ταλάντευσης πίεσης (Pressure Swing Adsorption, PSA) .....	181
Συστήματα μεμβράνης .....	181

## Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

### Εικόνες

Εικόνα 1: Ιεραρχία Ανάκτησης Τροφίμων της US EPA .....	7
Εικόνα 2: Κλίμακα Αποβλήτων Τροφίμων της US EPA.....	7
Εικόνα 3: Εικόνα σκεπαστής λίμνης αναερόβιας χώνευσης (US EPA, 2023) .....	51
Εικόνα 4: Χωνευτές πλήρους μίγματος .....	53
Εικόνα 5: Χωνευτής πλήρους μίγματος με εξωτερική συσκευή μίξης (US EPA, 2023) ...	53
Εικόνα 6: Φωτογραφίες αναερόβιων χωνευτών ροής βύσματος με εύκαμπτο και σκληρό σκέπασμα. (US EPA, 2023) .....	54
Εικόνα 7: Η ιεραρχία αποβλήτων στην Οδηγία Πλαίσιο Αποβλήτων (Waste Framework Directive) της ΕΕ. (Πηγή: <a href="https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en">https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en</a> ) .....	65
Εικόνα 8: Τομή ενός κατάλληλα σφραγισμένου χώρου υγειονομικής ταφής. [Πηγή: (US EPA, 2024)]......	69
Εικόνα 9: Οι 3 Φάσεις της Κομποστοποίησης.....	162
Εικόνα 10: Οι μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας από αέριο χώρων υγειονομικής ταφής (LFG) .....	173
Εικόνα 11: Εγκατάσταση μετατροπής LFG σε ηλεκτρική ενέργεια στο XYTA Μαυροράχης στη Θεσσαλονίκη χωρίς συμπαραγωγή θερμότητας [Πηγή: (Jenbacher, χ.χ.)] .....	175
Εικόνα 12: Φωτογραφία από την εγκατάσταση τουρμπίνας LFG στο XYTA H.W Hill USA.....	176
Εικόνα 13: Παράδειγμα μικροτουρμπίνας μετατροπής LFG σε ηλεκτρικό ρεύμα .....	177
Εικόνα 14: Αριστερά: Βυθισμένος εξατμιστής στραγγίσματος. Δεξιά: Εξατμιστής τύπου συμπύκνωσης που χρησιμοποιεί θερμοκρασία χαμηλής πίεσης από (1) έξοδο αερίων μηχανής και (2) από πυρσό LFG.....	180

### Σχήματα

Σχήμα 1: Η αναλογία χαμένων και σπαταλημένων τροφίμων στα διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. ....	14
Σχήμα 2: Τα απόβλητα τροφίμων στο στάδιο της παραγωγής κατά είδος και τα κατά κεφαλήν απόβλητα τροφίμων των παραγωγών σε χώρες με μέσο-υψηλό και χαμηλό κατά κεφαλήν εισόδημα.....	16
Σχήμα 3: Οι άμεσοι (direct) και έμμεσοι (indirect) παράγοντες που συντελούν στην αύξηση των απορριμμάτων από τους παραγωγούς τροφίμων .....	17
Σχήμα 4: Διάγραμμα τομής των διαστάσεων που έχουν οι επιπτώσεις του συστήματος τροφίμων (οικονομική, κοινωνική, περιβαλλοντική) [Πηγή: (UN FAO, 2018)] .....	21

Σχήμα 5: Η ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων .....	36
Σχήμα 6: Η ιεραρχία ανάκτησης τροφίμων της EPA.....	37
Σχήμα 7: Η μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και απόρριψη των απορριμμάτων τροφίμων. ....	38
Σχήμα 8: Οι διάκριση των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης αναλόγως της τεχνολογίας σχεδιάσής τους .....	49
Σχήμα 9: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή σκεπαστής λίμνης (Uddin & Wright, 2022)...	51
Σχήμα 10: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή πλήρους μίγματος (US EPA, 2023).....	53
Σχήμα 11: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή ροής βύσματος. (Uddin & Wright, 2022).....	54
Σχήμα 12: Διάγραμμα φούρνου ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Furnace, FBF).56	
Σχήμα 13: Διάγραμμα φούρνου πολλαπλών εστιών (Multiple Hearth Furnace, MHF) .....	57
Σχήμα 14: Τυπική διάταξη πυρόλυσης / αεριοποίησης για την παραγωγή ή συνθετικού αερίου (syngas) [Πηγή: (Seltentrich, 2016)] .....	60
Σχήμα 15: Οι μεταβολές της σύστασης του LFG με την πάροδο του χρόνου στους χώρους υγειονομικής ταφής [Πηγή: (US EPA, 2024) όπου υπάρχει παραπομπή : Η εικόνα υιοθετήθηκε από ATSDR 2008. Chapter 2: Landfill Gas Basics in Landfill Gas Primer – An Overview for Environmental Health Professionals. Figure 2-1, pp. 5-6.....	66
Σχήμα 16: Εκπομπές μεθανίου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες [Πηγή: (US EPA, 2024)] .....	67
Σχήμα 17: Χειρισμός των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων στις ΗΠΑ το 2018 .....	67
Σχήμα 18: Ποσοστιαία σύσταση αστικών στερεών απόβλητων που κατέληξαν σε χώρους υγειονομικής ταφής στις ΗΠΑ το 2018 .....	67
Σχήμα 19: Η κυκλική οικονομία ακολουθεί κυκλική διαδρομή που της επιτρέπει να διατηρεί την αξία (των τροφίμων) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η βιο-οικονομία εστιάζει στη ανανεώσιμη βιομάζα στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η ιδέα της κυκλικής βιο-οικονομίας αντικατοπτρίζεται σε όλα τα στάδια της ιεραρχίας σπατάλης τροφίμων που περιλαμβάνει και την επανακύκλωση. [Πηγή: (Rakesh & Mahendran, 2024)]. .....	79
Σχήμα 20: Τα τελικά οικονομικά πλεονεκτήματα από τη χρήση βιο-αντιδραστήρων (Reactor Composting, RC) σε σχέση διατάξεις στατικού σωρού (Static Heap, SH), σωρού σε σειρές (Windrow Composting, WC) και σωρού σκεπασμένου με μεμβράνη (Membrane-covered Composting, MC) για την κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων από μεγάλης κλίμακας εκτροφείο χοίρων.....	83
Σχήμα 21: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή μεμβράνης. (Uddin & Wright, 2022).. .....	86
Σχήμα 22: Τύποι αεριοποιητών σταθερή κλίνης. a) Ανοδικού ρεύματος, b) καθοδικού ρεύματος,.....	92
Σχήμα 23: Σχηματική παράσταση αεριοποιητών τύπου: .....	93
Σχήμα 24: Η πρόβλεψη ως προληπτική επιλογή πριν τη συσσώρευση τροφίμων στη λιανική, σε σχέση με την ελάττωση που είναι επιλογή αντίδρασης στη συσσώρευση αφού η τελευταία έχει ήδη εμφανισθεί.....	95

Σχήμα 25: Δραστηριότητες πρόληψη και μείωσης της σπατάλης τροφίμων στο ρεύμα κίνησης του εφοδιασμού τροφίμων .....	96
Σχήμα 26: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων ως προς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (όπως το ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα – CO <sub>2</sub> e) ...	117
Σχήμα 27: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων ως προς το κόστος τους (αρχικό κόστος, κόστος λειτουργίας & συντήρησης, παρόν κόστος) .....	117
Σχήμα 28: Οι φάσεις της αναερόβιας χώνευσης (Uddin & Wright, 2022).....	167
Σχήμα 29: Τομή συστήματος συμπαραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και θερμότητας (CHP) με παλινδρομικό κινητήρα [Πηγή: (Ciula, και συν., 2023)]. .....	174
Σχήμα 30: Σχεδιάγραμμα τομής τουρμπίνας [Πηγή: <a href="https://www.destinus.energy/waste-no-more/?r=1">https://www.destinus.energy/waste-no-more/?r=1</a> ] .....	176

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Εργαλεία Διαχείρισης και Διασφάλισης Ποιότητας.....	29
Πίνακας 2: Τυπικό κόστος εξοπλισμού ελέγχου ρύπανσης. (Baturay, 1999).....	59
Πίνακας 3: Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές περιεκτικότητας και συγκεντρώσεων σε μέταλλα σε βιο-στερεά που χρησιμοποιούνται σε απόθεση ή διασπορά στο έδαφος .....	74
Πίνακας 4: Όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στην οδηγία ΕΕ 86/278 του 1986 [Πηγή: (Gianico, Braguglia, Gallipoli, Montecchio, & Mininni, 2021). ....	75
Πίνακας 5: Η επιμήκυνση του χρόνου ζωής φρούτων και λαχανικών με τη χρήση ψυγείου εξάτμισης.....	101
Πίνακας 6: Η σύγκριση των κινδύνων της αεριοποίησης σε σχέση με την αποτέφρωση.....	129
Πίνακας 7: Εμπορικής κλίμακας Εγκαταστάσεις Αεριοποίησης στο Η.Β .....	130

## Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΕΑΠ	Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
ΔΙΠ	Διαχείριση & Τεχνολογία Ποιότητας
ΕΕ / EU	Ευρωπαϊκή Ένωση / European Union
ΗΠΑ / USA	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής / United States of America
US EPA	United States Environmental Protection Agency
Α΄ / Β΄ ΠΠ	Α΄ / Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος
USDA	US Department of Agriculture
(US) FDA	Food and Drug Administration
(UN) FAO	(United Nations) Food and Agricultural Organization
H.E / UN	Ηνωμένα Έθνη / United Nations
WWF	World Wildlife Fund
UNEP	United Nations Environment Programme
IoT	Internet of Things
TN / AI	Τεχνητή Νοημοσύνη / Artificial Intelligence
ISO	International Organization for Standardization
AD	Anaerobic Digestion
FBF	Fluidized Bed Furnace
MHF	Multiple Hearth Furnace
ESP	Electro Static Precipitator
WtE	Waste to Energy
LCA	Life Cycle Assessment
GHG	Green House Gas
LFG	Land Fill Gas
RNG	Renewable Natural Gas
CNG	Compressed Natural Gas
LNG	Liquified Natural Gas
XYTA	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

## **1. Εισαγωγή**

Η διαχείριση υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων είναι ένας τομέας που απασχολεί τόσο τις σύγχρονες κοινωνίες, όσο και την επιστημονική κοινότητα. Η τεράστια εξάπλωση της βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων ζωικής και φυτικής προέλευσης και η διαρκώς μεγαλύτερη εξάρτηση των σύγχρονων αστικών κοινωνιών από αυτή για την εξασφάλιση της τροφοδοσίας των αυξανόμενων πληθυσμών τους, δημιουργεί τεράστιες ανάγκες διαθεσιμότητας τροφίμων εις βάρος του περιβάλλοντος στις περισσότερες των περιπτώσεων, λόγω του τεράστιου υποπροϊόντος αυτής της ανάπτυξης που είναι τα υπολείμματα και απορρίμματα τροφίμων. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τις σύγχρονες προκλήσεις που φέρνει η κλιματική αλλαγή και η επαγόμενη μείωση εκμεταλλεύσιμων εκτάσεων για αγροτικές καλλιέργειες και ζωική παραγωγή, εγείρουν άμεσα και σημαντικά ζητήματα που αφορούν στην επιτακτική πλέον ανάγκη αξιοποίησης των οργανικών αποβλήτων και διατροφικών απορριμμάτων με το βέλτιστο δυνατό τρόπο και με σκοπό τη βιώσιμη ανάπτυξη των πόλεων και τη διατήρηση του περιβάλλοντος, μέσα από μία σειρά διαδικασιών που αποβλέπουν αφενός στη μείωση των αποβλήτων τροφίμων (αστικών και βιομηχανικών) και στον περιορισμό της σπατάλης, όσο και στην αξιοποίηση τους για παραγωγή ενέργειας, λιπασμάτων και άλλων χρήσιμων προϊόντων.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η έρευνα για μία βιώσιμη διαχείριση υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων, μέσα από την αξιολόγηση των μεθόδων που ήδη χρησιμοποιούνται, την βελτίωση αυτών και την προοπτική εφαρμογή τους σε μεγαλύτερη (ει δυνατόν παγκόσμια) κλίμακα. Τελικός στόχος είναι η κατάθεση προτάσεων τυποποίησης αυτών των μεθόδων και πρακτικών, για τη βέλτιστη δυνατή αξιοποίησή τους και το μεγαλύτερο δυνατό περιορισμό του σύγχρονου αυτού προβλήματος που έχει αντίκτυπο τόσο στο περιβάλλον και την οικονομία των κρατών, όσο και στην ίδια την ποιότητα της ανθρώπινης διαβίωσης.

### **1.1 Δομή της εργασίας**

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τέσσερα (4) βασικά κεφάλαια, όπως παρακάτω:

#### **1.1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε στοιχεία από επιλεγμένη βιβλιογραφία επί του θέματος, αναφορικά με το ποιες μέθοδοι στη διαχείριση υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων



έχουν χρησιμοποιηθεί. Συναφώς γίνεται αναφορά στο τι θεωρείται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία ως σπατάλη τροφίμων, καθώς και το τι θεωρείται μοντέλο «κυκλικής ανάπτυξης» και πως αυτό μπορεί να εφαρμοσθεί στη διαχείριση τροφίμων και στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης. Στην βιβλιογραφική μας έρευνα, δεν θα περιορισθούμε μόνο σε μελέτες και δημοσιευμένα στοιχεία από παρελθούσες εργασίες, αλλά θα προσεγγίσουμε και τις νέες τάσεις που εμφανίζονται και αρχίζουν να υιοθετούνται από οργανισμούς στο πλαίσιο της κρατικής και ιδιωτικής πρωτοβουλίας παγκοσμίως, της θεσμοθετημένης νομοθεσίας (ΕΕ, ΗΠΑ κλπ.), διαφόρων καλών πρακτικών προστασίας του περιβάλλοντος (που έχουν αρχίσει να βρίσκουν γόνιμο έδαφος στη συνείδηση των πολιτών), αλλά και περιορισμού των οικονομικών δαπανών και του χαμένου κόστους ευκαιρίας που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τις εταιρείες κολοσσούς στη βιομηχανία τροφίμων και τις εφοδιαστικές αλυσίδες διακίνησης και μεταπώλησης.

### **1.1.2 Μέθοδοι διαχείρισης και στρατηγικές πρόληψη και μείωσης των αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων**

Εδώ προσεγγίζοντας και αναλύοντας τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους σε επίπεδο κρατικών οντοτήτων, βιομηχανίας, αλλά και ιδιωτικής πρωτοβουλίας, θα παρουσιάσουμε τόσο συμβατικές μεθόδους διαχείρισης, όσο και προηγμένες μεθόδους με χρήση εξελιγμένων τεχνικών. Παράλληλα θα παρουσιαστούν νέες τάσεις στην επαναχρησιμοποίηση τροφίμων αλλά και στρατηγικές πρόληψης και ελαχιστοποίησης της απώλειας και σπατάλης τροφίμων σε όλη την έκταση της αλυσίδα εφοδιασμού από τον παραγωγό έως τον τελικό καταναλωτή.

### **1.1.3 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης - μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα διαχείρισης**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα προβούμε σε σύγκριση των μεθόδων επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας & ανακύκλωσης με ανάκτηση ενέργειας και απόθεσης στις συμβατικές και εξελιγμένες τους μορφές και αξιολόγηση τους με βάση τις περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές τους επιπτώσεις. Παράλληλα θα συγκρίνουμε και τις στρατηγικές πρόληψης και ελαχιστοποίησης. Με τον τρόπο αυτό θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε τις καλύτερες μεθόδους ανάλογα με τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον ή/και την ανθρώπινη υγεία, το κόστος τους και την αποδοχή τους από την κοινωνία. Παράλληλα θα προσπαθήσουμε να προτείνουμε συνδυασμούς των μεθόδων και των στρατηγικών διαχείρισης για την επίτευξη ενός βέλτιστου αποτελέσματος. Για την καλύτερη προσέγγιση του προβλήματος και των τρόπων επίλυσής / περιορισμού των

επιπτώσεων αυτού, θα παρουσιαστούν μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα ορθής διαχείρισης, όπως αυτό της εταιρείας τροφίμων Danone, αλλά και παραδείγματα αποτυχίας με σκοπό να αναδείξουμε τις προοπτικές, αλλά και τα ρίσκα που υπάρχουν σε διάφορες προσεγγίσεις, με σκοπό να εξάγουμε συμπεράσματα, πιθανούς τρόπους βελτίωσης, αλλά και πιθανές εφαρμογές, με τις κατάλληλες προσαρμογές, στην ελληνική πραγματικότητα.

#### **1.1.4 Συμπεράσματα, προτάσεις και μελλοντική έρευνα**

Στο τελευταίο κεφάλαιο, θα καταλήξουμε σε συμπεράσματα για τις δυνατότητες που υπάρχουν σήμερα στην ορθή διαχείριση των υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων και προτάσεις για τις πιθανές ολιστικές μεθόδους βιώσιμης διαχείρισης δύναται να οδηγήσουν σε «επανάσταση» στη διαχείριση των αποβλήτων και σε ευκαιρίες για ακόμη μεγαλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας και των βιολογικών συστατικών που περιέχουν, μέσα από τη χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών όπως αυτή της τεχνητής νοημοσύνης. Παράλληλα, θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε την αξία της τυποποίησης στις μεθόδους αυτές για την επιτάχυνση και επίτευξη του επιδιωκόμενου αποτελέσματος, αφού τελικά η μεγιστοποίηση του αποτελέσματος έρχεται όταν υπάρχει συνταύτιση προσπαθειών και κοινές / τυποποιημένες πρακτικές στο πλαίσιο συστημάτων ολικής διαχείρισης της ποιότητας των τροφίμων σε όλο τον κύκλο ζωής τους, αλλά και ποσοτικών δεικτών απόδοσης των μεθόδων και στρατηγικών διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων.

### **1.2 Μεθοδολογία**

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση και έρευνα. Συγκεκριμένα μέσα από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται ένα εκτεταμένο σύνολο, μελετών, αναφορών, άρθρων και στοιχείων από επίσημα συγγράμματα που είναι διαθέσιμα σε επίσημες ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων, ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες και ιστοσελίδες κυβερνητικών και μη οργανισμών, υπηρεσιών και εταιρειών που σχετίζονται με το αντικείμενο της εργασίας, ώστε να αναλυθεί σε ικανοποιητική έκταση και βάθος το σύνολο των βασικών συστατικών της βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων, καθώς και των επιδράσεων που αυτά έχουν σε κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο.

#### **1.2.1 Μοντέλο που χρησιμοποιείται**

Το μοντέλο ανάπτυξης και οικονομίας που χρησιμοποιείται είναι το κυκλικό. Το υπόψη σύγχρονο μοντέλο, σε αντίθεση με τα συμβατικά μοντέλα γραμμικής ανάπτυξης, συνάδει

με τις απαιτήσεις και επιδιώξεις της βιώσιμης ανάπτυξης και ως εκ τούτου ενθαρρύνει την ολιστική προσέγγιση της βιώσιμης διαχείρισης των υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων. Στο πλαίσιο της προαναφερθείσας ολιστικής προσέγγισης και το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής μεθόδου ή συνδυασμού μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων, εξετάζονται όχι μόνο οι μέθοδοι διαχείρισης, αλλά και οι στρατηγικές πρόληψης και μείωσης, γιατί αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης στο ζήτημα.

### **1.2.2 Σταδιακή προσέγγιση στο μοντέλο και την πολυπλοκότητα του προβλήματος.**

Πριν παρουσιασθεί το μοντέλο κυκλικής ανάπτυξης που χρησιμοποιείται στην εργασία, γίνεται παρουσίαση της ιεραρχίας ανάκτησης και ιεραρχίας αποβλήτων τροφίμων, διότι σε αυτές τις δομές εμφανίζονται οι γενικές κατηγορίες μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το ιστορικό αποτύπωμα της διαχείρισης αποβλήτων αλλά και η σύγχρονη πραγματικότητα ώστε να αναδειχθεί το διογκούμενο μέγεθος του προβλήματος. Αμέσως μετά, προσεγγίζονται ορισμοί της βιώσιμης διαχείρισης τροφίμων και το μοντέλο της κυκλικής ανάπτυξης, καθώς και τα διάφορα προβλήματα της κείμενης νομοθεσίας αλλά και η συναφής τυποποίηση κατά ISO. Σκοπός είναι να αναδειχθεί αξία και η πολυπλοκότητα ενός βιώσιμου συστήματος τροφίμων και κατ' επέκταση η αντίστοιχη δυσκολία και πολυπλοκότητα ενός βιώσιμου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων.

### **1.2.3 Ανάλυση μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης και μείωσης των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων**

Σε συνάφεια με τα παραπάνω, οι μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων αναλύονται τόσο στην συμβατική τους μορφή, όσο και σε σύγχρονες προσεγγίσεις, ορισμένες εκ των οποίων έχουν επί του παρόντος περιορισμένες εφαρμογές αλλά μεγάλες μελλοντικές δυνατότητες. Αντίστοιχα, οι στρατηγικές πρόληψης και ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων εξετάζονται σε όλες τις φάσεις της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων που περιλαμβάνουν την παραγωγή, μεταφορά, αποθήκευση, επεξεργασία και συσκευασία, λιανική διανομή και κατανάλωση τους.

### **1.2.4 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης**

Η σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων γίνεται κατά γενικές κατηγορίες στις μεθόδους διαχείρισης (ήτοι: επαναχρησιμοποίηση, βιοχημικές μέθοδοι, θερμικές μέθοδοι, μέθοδοι απόθεσης) και συνολικά στις στρατηγικές διαχείρισης. Οι αξιολογήσεις υποστηρίζονται με μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα / αντιπαραδείγματα με βάση πραγματικά δεδομένα.

### **1.3 Επιδιωκόμενα αποτελέσματα**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων από τη σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης σε συνδυασμό με αποτελεσματικές στρατηγικές πρόληψης και ελαχιστοποίησης. Βασική επιδίωξη είναι η υποβολή ολοκληρωμένης πρότασης για ένα σύγχρονο και βιώσιμο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων, το οποίο να έχει μεγάλο βαθμό δυναμικής προσαρμογής στις εκάστοτε περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές απαιτήσεις, λαμβάνοντας υπόψη ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων. Δευτερεύουσες επιδιώξεις είναι :

- Η ανάδειξη της απαίτησης εισαγωγή συστημάτων ολικής διαχείρισης ποιότητας στις μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων.
- Η αναγωγή της εξεύρεσης του καλύτερου συστήματος βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων, σε πρόβλημα βελτιστοποίησης της πορείας (μονοπατιού) που ακολουθούν τα τρόφιμα και τα απορρίμματα τροφίμων μέσα από τους συνδυασμούς μεθόδων και στρατηγικών διαχείρισης.
- Η ανάδειξη της απαίτησης χρήσης προηγμένων τεχνολογιών και συστημάτων, όπως η μηχανική εκμάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, για την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων / παραμέτρων και την εξεύρεση των βέλτιστων μονοπατιών στη διαχείριση των αποβλήτων τροφίμων ανάλογα με τους εκάστοτε περιορισμούς, δυνατότητες και προτιμήσεις.

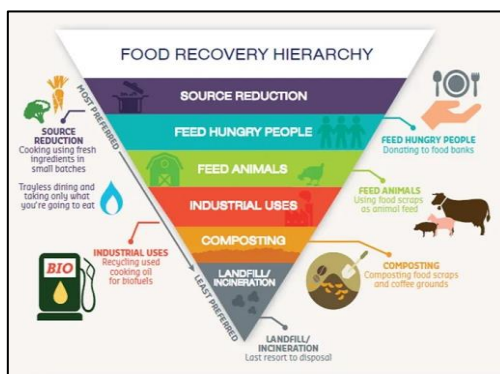
## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Γενικά

Η βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων κάθε τύπου αποβλήτων είναι κάτι που άρχισε να απασχολεί σοβαρά τις αναπτυγμένες κοινωνίες και τους επιστήμονες μετά από τη διαπίστωση του μεγέθους της επίδρασης που έχει η εκτενής και παρατεταμένη μόλυνση του περιβάλλοντος για την ανθρώπινη υγεία, αλλά και την ισορροπία του παγκόσμιου οικοσυστήματος. Σύμφωνα με την νομοθεσία της ΕΕ: *«η παραγωγή αποβλήτων αποτελούσε αναπόφευκτο και ατυχές υποπροϊόν της οικονομικής δραστηριότητας και ανάπτυξης. Με σύγχρονη τεχνολογία και προσεκτική διαχείριση, αυτός ο φαύλος κύκλος μπορεί να σπάσει»*. (ΕΕ, 2022). Για το λόγο αυτό η ΕΕ έχει θεσπιστεί ειδικό νομικό πλαίσιο με την οδηγία 2008/98/ΕΚ (και την τροποποίησή της 2018/851) για την επεξεργασία των αποβλήτων, που αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Οι βασικές αρχές της βιώσιμης διαχείρισης των αποβλήτων περιλαμβάνουν την ιεράρχηση των αποβλήτων, την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων, την ανακύκλωση, την ανάκτηση και τη διάθεση των αποβλήτων. Η ιεράρχηση των αποβλήτων περιλαμβάνει την πρόληψη, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, την ανάκτηση και τη διάθεση. Η πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων περιλαμβάνει τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων και την ανακύκλωση των προϊόντων. Η ανακύκλωση αποβλήτων αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση των υλικών από τα απόβλητα, ενώ η ανάκτηση αποβλήτων αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση της ενέργειας που παράγεται από τα απόβλητα. Η διάθεση των αποβλήτων περιλαμβάνει την απόρριψη των αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής ή την επεξεργασία τους σε ειδικές μονάδες. (ΕΕ, 2022).

Οι παραπάνω αρχές έχουν σαφώς εφαρμογή και στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων. Ειδικά στη βιομηχανία τροφίμων, η προσέγγιση της διαχείρισης αποσκοπεί όχι μόνο στη μείωση του όγκου των αποβλήτων, αλλά και των επιπτώσεων τους σε όλο τον κύκλο ζωής της παραγωγής των τροφίμων, αρχίζοντας από τη χρήση των πρώτων υλών και φυσικών πόρων, συνεχίζοντας σε όλο το φάσμα της παραγωγής, της πώλησης – διανομής, της κατανάλωσης και καταλήγοντας σε αποφάσεις για την ανάκτηση, ή την τελική διάθεση καθώς υφίστανται βιώσιμες αποτελεσματικές και το σημαντικότερο, κερδοφόρες επιλογές διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων, όπως η παραγωγή ζωοτροφών, η δημιουργία λιπασμάτων πλουσίων σε θρεπτικά συστατικά, η αναερόβια διάσπαση για την παραγωγή

ενεργειακά πλούσιου βιοαερίου και η ανακύκλωση/επαναχρησιμοποίηση για χρήση από άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες. Επιπρόσθετα, στην εποχή μας όπου παρατηρείται μία εξαιρετικά άνιση κατανομή της διαθεσιμότητας τροφίμων ανά τον κόσμο, ιδιαίτερη αξία αποκτά όχι μόνο η αποφυγή σπατάλης και υπερκατανάλωσης (που πολλαπλασιάζει τα απόβλητα τροφίμων), αλλά περισσότερο η διανομή τους σε πληθυσμούς που τα έχουν ανάγκη και μαστίζονται από ελλείψεις βασικών αγαθών, ένεκα οικονομικής εξαθλίωσης, συρράξεων αλλά και ακραίων κλιματικών φαινομένων. Για την παραστατική απεικόνιση της ολιστικής αντιμετώπισης του ζητήματος των αποβλήτων τροφίμων, η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (EPA)<sup>1</sup>, δημιούργησε ένα γράφημα της Ιεραρχίας Ανάκτησης Τροφίμων όπου φαίνονται οι βασικές αρχές που πρέπει να ακολουθηθούν από τις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και ποτών, γιατί παρέχουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα για το περιβάλλον, την κοινωνία αλλά και τους παραγωγούς τροφίμων (Zafar, 2022).



Εικόνα 1: Ιεραρχία Ανάκτησης Τροφίμων της US EPA

Συναφώς, πλέον πρόσφατη (Οκτώβριος 2023), γραφική απεικόνιση της EPA, δείχνει την κλίμακα αποβλήτων τροφίμων (Wasted Food Scale), όπου φαίνονται οι τρόποι μείωσης των επιπτώσεων που έχουν τα απόβλητα τροφίμων στο περιβάλλον (US EPA, 2023).



Εικόνα 2: Κλίμακα Αποβλήτων Τροφίμων της US EPA

<sup>1</sup> United States Environmental Protection Agency (EPA)



## 2.2 Η διαχείριση αποβλήτων τροφίμων

### 2.2.1 Μερικά ιστορικά στοιχεία

Το ζήτημα της μικρότερης δυνατής σπατάλης τροφίμων και η απόρριψη υπολειμμάτων τους, ήταν κάτι που απασχόλησε τις κοινωνίες παγκοσμίως από πολύ παλιά. Ήδη από την εποχή της βικτοριανής Αγγλίας, σε μία εποχή όπου η μέση τάξη άρχισε να εξαπλώνεται σύμφωνα με την Lindsay Middleton, υπάρχει η «μαγειρική λιτότητα» σε κείμενα που αφορούν το φαγητό και την αστική διαβίωση και ουσιαστικά διαμορφώνουν αξίες της μεσοαστικής κοινωνίας σύμφωνα με τις αρχές της λιτότητας και της οικονομίας στη διαχείριση ενός σπιτιού (νοικοκυριού). Από αυτές τις αρχές δεν απουσίαζε η μεγαλύτερη δυνατή αποφυγή σπατάλης φαγητού και η επαναχρησιμοποίηση υπολειμμάτων σε νέα γεύματα. (Middleton, 2022). Όμοια, η μεταμόρφωση του τοπίου στην μετα-βικτοριανή Αγγλία, με τη βιομηχανική επανάσταση και την αναδυόμενη επιρροή της διαφήμισης οδήγησε τους παραγωγούς τροφίμων να αναζητήσουν νέους τρόπους εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων της διεργασίας τροφίμων και ειδικά τη χρήση του αποβουτυρωμένου γάλακτος (το οποίο αρχικά αντιμετωπιζόταν ως ανεπιθύμητο απόβλητο) σε νέα προϊόντα όπως πούδρες πρωτεϊνών, που τους απέφεραν σημαντικά κέρδη. (Steinitz, 2021). Ερχόμενοι στον 20<sup>ο</sup> αιώνα, έχουμε σημαντικά παραδείγματα του στενού περιορισμού των αποβλήτων τροφίμων από τη ρωσική πολιτική κατά τη διάρκεια της επισιτιστικής κρίσης του 1930, όπου η σπατάλη φαγητού ήταν συγχρόνως μία ατιμωτική πρακτική που η σοβιετική κοινωνία την απέφευγε,<sup>2</sup> αλλά και ένα ηχηρό σύμβολο ευμάρειας, κοινωνικής θέσης και ισχύος από αυτούς που είχαν τη δυνατότητα να το κάνουν. (Nérard, 2023). Ακολουθώντας, κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (Β' ΠΠ), αν και περιμένουμε ότι οι ΗΠΑ λογικά θα ενθάρρυναν την κατανάλωση για την ανάπτυξη της παραγωγής και της αμερικανικής οικονομίας που άφηνε πίσω την περίοδο της μεγάλης κρίσης που ακολούθησε τον Α' ΠΠ, τελικά ενθάρρυναν την μείωση της κατανάλωσης λόγω του ίδιου του πολέμου. Ωστόσο, οι Αμερικανίδες νοικοκυρές της εποχής εκείνης, ποτέ δεν πίστεψαν ότι κάτι τέτοιο

---

<sup>2</sup> Κατά την περίοδο αυτή έλαβαν χώρα τεράστιες εκστρατείες ενημέρωσης του κοινού για την ανάγκη ελαχιστοποίησης των αποβλήτων τροφίμων, ενώ λειτούργησε και πληθώρα κρατικών εστιατορίων. Ωστόσο, όλες αυτές οι προσπάθειες δεν μείωσαν ιδιαίτερα τη δημιουργία απορριμμάτων τροφίμων, ενώ παράλληλα οι πολύ περιορισμένες δυνατότητες μεταφοράς, διανομής και αποθήκευσης οδηγούσαν μεγάλες ποσότητες τροφίμων σε αλλοίωση, τα οποία πάραυτα δινόταν στην κατανάλωση λόγω ανάγκης και ελλείψεων. Αυτό οδηγούσε συχνά σε περιστατικά τροφικής δηλητηρίασης. Από την άλλη πλευρά η σοβιετική πολιτική ελίτ συνέχιζε να απολαμβάνει σπατάλες σε τρόφιμα.

είναι αναγκαίο και έτσι οι κυβερνητικές προσπάθειες δεν απέφεραν τα αναμενόμενα.<sup>3</sup> (Collingham, 2012). Σε άλλες περιπτώσεις, το κρέας σε κονσέρβα και ειδικά το SPAM, γνώρισε τεράστια επιτυχία ως βασικό συστατικό της διατροφής των συμμαχικών στρατευμάτων. Αν και το βασικό συστατικό του SPAM ήταν η χοιρινή ωμοπλάτη, που έως τότε θεωρείται απόβλητο της επεξεργασίας χοιρινού κρέατος, η χρήση του σε ένα προϊόν που έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές, απέτρεψε την απόθεση του ως απόβλητο σε χωράφια, ή την καύση του σε αποτεφρωτές. (Food Waste: WWII: 1939-1945, 2024).

## **2.2.2 Η σύγχρονη πραγματικότητα**

Το πρόβλημα της σωρευτικής δημιουργίας αποβλήτων (και απορριμμάτων) τροφίμων, δεν είναι προφανώς κάτι το οποίο παρατηρήθηκε πρόσφατα. Μετά τον Β' ΠΠ και έως το 1960 η εκτεταμένη εισαγωγή μηχανημάτων και χημικών στην αγροτική παραγωγή και τον ευρύτερο πρωτογενή τομέα, οδήγησε στις ΗΠΑ σε τόσο μεγάλη παραγωγή τροφίμων, που έδωσε τη δυνατότητα πρωτοβουλιών όπως η Food for Peace για την εξαγωγή τροφίμων σε φτωχές χώρες, αλλά και τη διακήρυξη του «πολέμου στην φτώχεια» από τον πρόεδρο Johnson το 1960. Η αυξημένη διαθεσιμότητα σε προσιτές τιμές, έδωσε πρόσβαση σε κάθε είδους τρόφιμα στους Αμερικάνους πολίτες, αλλά και την πολυτέλεια για εύκολη και αλόγιστη συσσώρευση απορριμμάτων. Η ευρεία χρήση «σκουπιδοφάγων» και παρόμοιων οικιακών ευκολιών, δημιούργησε συμπεριφορές και τάσεις αποφυγής ή απόκρυψης του προβλήματος των απορριμμάτων τροφίμων που έχουν επιπτώσεις ακόμη και σήμερα. (Food Waste: Post WWII Era: 1945-1960, 2024). Παρόμοιες όμως ήταν και οι τάσεις όλων των ανεπτυγμένων κρατών στην Ευρώπη, έως το σημείο που οι επιπτώσεις άρχισαν να γίνονται ορατές και ευρέως αντιληπτές στο σύνολο της κοινωνίας αλλά και στην ίδια την κλιματική αλλαγή του πλανήτη, αναιρώντας κάθε προσπάθεια για συγκάλυψη μιας πραγματικά ζοφερής εξέλιξης. Ερχόμενοι λοιπόν στη σημερινή εποχή, παρά το γεγονός ότι θεωρούμε το πρόβλημα των απορριμμάτων και της σπατάλης τροφίμων σημαντικό λόγω των ορατών επιπτώσεων του, τελικά διατηρούμε την τάση να σπαταλάμε το ίδιο πολύ, ή και περισσότερο φαγητό από αυτό που μπορούμε να καταναλώσουμε. Έτσι, παρά το γεγονός ότι πολλά νοικοκυριά θεωρούν ότι έχουν λίγα απορρίμματα τροφίμων, στην

---

<sup>3</sup> Χαρακτηριστικά, η εκστρατεία για τη συλλογή του ζωικού λίπους που χρησιμοποιούσαν στη μαγειρική (το οποίο μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εκρηκτικά λόγω της γλυκερίνης που περιέχει), δεν είχε την αναμενόμενη συμμετοχή. Σήμερα μπορεί το συγκεκριμένο λίπος να θεωρείται απόβλητο που είναι ανθυγιεινό για μαγειρική, αλλά εκείνη την εποχή το χρησιμοποιούσαν γιατί κανείς δεν ανησυχούσε για τις επιπτώσεις που είχε στην υγεία. (Food Waste: Post WWII Era: 1945-1960, 2024).



πραγματικότητα οι ποσότητες που απορρίπτονται παραμένουν αδικαιολόγητα υψηλές και το πρόβλημα διογκώνεται. Έρευνα επιστημόνων σε αναζήτηση των τρόπων επίλυσης του προβλήματος, με επικεφαλής τον Annemarieke de Bruin από το Περιβαλλοντικό Ινστιτούτο της Στοκχόλμης, εστίασε σε ομάδες οι οποίες θεωρητικά είναι πιο πιθανό να σπαταλήσουν τρόφιμα όπως γονείς με νεαρά παιδιά, οικογένειες με γονείς που δουλεύουν πλήρη ωράρια και νεαρούς επαγγελματίες χωρίς παιδιά. Από την παρακολούθηση της συμπεριφοράς τους ως προς την δημιουργία απορριμμάτων τροφίμων, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά των ατόμων, των συντρόφων τους και των κοινωνικών τους κύκλων, επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά ως προς την απόρριψη τροφίμων, ενώ η δέσμευση του καταναλωτή καθ' όλη τη διάρκεια διαχείρισης των τροφίμων από την αγορά έως την απόρριψη είναι πολύ σημαντική για τη μείωση των απορριμμάτων. Η τεχνολογία και η γενική ευαισθητοποίηση δεν είναι αρκετά. Η επιτυχία στην μείωση απορριμμάτων τροφίμων εξαρτάται από το πόσο οι άνθρωποι / καταναλωτές, είναι διατεθειμένοι να αλλάξουν τον τρόπο ζωής τους. (Box, 2022). Αν στο πρόβλημα συσσώρευσης υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων προσθέσουμε και τις ποσότητες που παράγονται από τους πρωτογενής παραγωγούς (αγρότες, αλιείς κ.λ.π.), μεταποιητές (βιομηχανίες τροφίμων) αλλά και τους μεταπωλητές (λιανική αγορά) τροφίμων, τότε εύκολα συμπεραίνουμε ότι το πρόβλημα διογκώνεται εκθετικά και απαιτείται ένα μοντέλο συστηματικής διαχείρισης για την αντιμετώπισή του. Μία τέτοιου είδους διαχείριση σε μεγάλη κλίμακα, απαιτεί όχι μόνο δραστικά μέτρα και αποτελεσματικές μεθόδους, αλλά και συστηματική διαχείριση της ποιότητας και αποτελεσματικότητας των χρησιμοποιούμενων μεθόδων σε ευρεία κλίμακα, έτσι ώστε να είναι σε θέση να παρέχει μετρήσιμα (ποσοτικοποιημένα) αποτελέσματα. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με βιώσιμη διαχείριση σε όλο τον κύκλο ζωής των τροφίμων και εφαρμογή μοντέλων κυκλικής ανάπτυξης. Συναφώς, στο πλαίσιο μιας πολύπλοκης και παγκοσμιοποιημένης αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων όπως αυτή που λειτουργεί στις μέρες μας, οποιαδήποτε προσπάθεια προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση δύναται να αποφέρει ουσιαστικά αποτελέσματα, μόνο όταν εφαρμοσθεί στο πλαίσιο κανονιστικής νομοθεσίας και κοινής πρακτικής σε παγκόσμιο επίπεδο.

## 2.3 Βιώσιμη Διαχείριση Τροφίμων (Sustainable Management of Food) και Κυκλική Ανάπτυξη (Circular Development)

### 2.3.1 Ορισμοί

#### 2.3.1.1 Βιώσιμη διαχείριση τροφίμων

Με τον όρο βιώσιμη διαχείριση τροφίμων, αναφερόμαστε ουσιαστικά σε μία ολοκληρωμένη προσέγγιση που αποσκοπεί στη μείωση των υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφών, καθώς και σε όλες τις σχετιζόμενες με αυτό συνέπειες σε όλο τον κύκλο ζωής των τροφίμων που ξεκινά από τη χρήση φυσικών πόρων και πρώτων υλών, συνεχίζεται με την παρασκευή, πώληση, κατανάλωση και καταλήγει σε επιλογές που σχετίζονται με την ανάκτηση χρήσιμων υποπροϊόντων από την επεξεργασία των αποβλήτων τροφίμων και την τελική απόθεση τους. (US EPA, 2023).

#### 2.3.1.2 Βιώσιμο σύστημα τροφίμων

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για την περιγραφή της «βιωσιμότητας» σε κάθε μορφή διαχείρισης και «βιώσιμης ανάπτυξης», οι περισσότεροι όμως αποδέχονται ότι η πραγματική βιωσιμότητα πρέπει να ισορροπεί ανάμεσα στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική της διάσταση. (US Department of Agriculture (USDA), n.d.). Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (UN Food and Agricultural Organization, FAO), στην περιγραφή του για τα συστήματα τροφίμων, αναφέρει ότι: *«Τα συστήματα τροφίμων περιλαμβάνουν ολόκληρο το φάσμα των παραγόντων και των αλληλένδετων δραστηριοτήτων τους προστιθέμενης αξίας που εμπλέκονται στην παραγωγή, τη συγκέντρωση, τη μεταποίηση, τη διανομή, την κατανάλωση και τη διάθεση τροφίμων που προέρχονται από τη γεωργία, τη δασοκομία ή την αλιεία, καθώς και τμήματα του ευρύτερου οικονομικού, κοινωνικού και φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο είναι ενσωματωμένα. Το σύστημα τροφίμων αποτελείται από υποσυστήματα (π.χ. σύστημα γεωργίας, σύστημα διαχείρισης αποβλήτων, σύστημα παροχής εισροών κ.λπ.) και αλληλοεπιδρά με άλλα βασικά συστήματα (π.χ. ενεργειακό σύστημα, σύστημα εμπορίου, σύστημα υγείας κ.λπ.)»*. Για τα Η.Ε ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων (Sustainable Food System, SFS): *«είναι ένα σύστημα τροφίμων που παρέχει επισιτιστική ασφάλεια και διατροφή για όλους με τέτοιο τρόπο ώστε να μην διακυβεύονται οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές βάσεις για τη δημιουργία επισιτιστικής ασφάλειας και διατροφής για τις μελλοντικές γενιές»*. Το τελευταίο, σύμφωνα τα Η.Ε, σημαίνει ότι ένα τέτοιο σύστημα όπως είπαμε παραπάνω, οφείλει να

ισορροπεί τη βιωσιμότητά του ανάμεσα στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική διάσταση και να είναι υπό αυτήν την έννοια, κερδοφόρο (οικονομική βιωσιμότητα), να έχει όφελος για την κοινωνία (κοινωνική βιωσιμότητα) και τέλος να έχει ένα θετικό ή ουδέτερο αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον (UN FAO, 2018).

### 2.3.1.3 Απώλεια και σπατάλη τροφίμων

Είναι σημαντικό λάβουμε υπόψη, ότι τα τρόφιμα που τελικά δεν καταναλώνονται, δεν αφορούν μόνο στα υπολείμματα και απορρίμματα τροφίμων που προέκυψαν από την μερική ή μη κατανάλωση τους από τον τελικό καταναλωτή, αλλά και στις ποσότητες τροφίμων εντός της αλυσίδας εφοδιασμού που δεν πρόλαβαν ποτέ να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους γιατί σε κάποιο στάδιο του κύκλου παραγωγής – διανομής τους, κατέστησαν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο είτε ακατάλληλα για κατανάλωση (αλλοιωμένα τρόφιμα), είτε δεν διατέθηκαν ποτέ προς κατανάλωση. Αυτές οι περιπτώσεις που αναφέρονται ως «απώλεια τροφίμων» (food loss) αφορούν σε μειώσεις στις ποσότητες των διατιθέμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα τροφών, οι οποίες προήλθαν μετά τη συγκομιδή / σφαγή / αλίευση και κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως ο χειρισμός, η αποθήκευση / συντήρηση, η μεταφορά, η επεξεργασία και η διάθεση. (Kennard, 2019).

### 2.3.1.4 Κυκλική οικονομία και ανάπτυξη

Θα ήταν ίσως ελλιπές να μιλάμε για βιώσιμη διαχείριση τροφίμων, χωρίς να μνημονεύσουμε το μοντέλο κυκλικής ανάπτυξης και κυκλικής οικονομίας. Ο όρος βασίζεται σε διάφορες σχολές σκέψης που αμφισβητούν το σημερινό παγκόσμιο οικονομικό σύστημα, το οποίο βασίζεται στην υπερκατανάλωση των διαθέσιμων φυσικών πόρων και χρησιμοποιείται επίσημα από το 1990 στο βιβλίο των Pearce & Turner “Economics of Natural Resources and the Environment”.<sup>4</sup> (Rizos, Tuokko, & Behrens, 2017, σσ. 1,2,4). Το ίδρυμα Ellen MacArthur<sup>5</sup> το οποίο ιδρύθηκε το 2010 με σκοπό την

---

<sup>4</sup> Υφίσταται βιβλιογραφική αναφορά στο συγκεκριμένο βιβλίο: Pearce, D.W. and R.K. Turner (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, Hemel Hempstead: Harvester Wheatsheaf, στην ερευνητική αναφορά των: Rizos, V., Tuokko, K., & Behrens, A. (2017). The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts. Η οποία είναι διαθέσιμη στο: [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/tr2017-08\\_circulareconomy\\_0.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/tr2017-08_circulareconomy_0.pdf)

<sup>5</sup> Σύμφωνα με το World Economic Forum, από τη δημιουργία του αυτός ο φιланθρωπικός οργανισμός με έδρα το Η.Β., αναδείχθηκε σε ηγέτη της παγκόσμιας σκέψης προκειμένου η ιδέα της κυκλικής οικονομίας να συμπεριληφθεί στις επιλογές ηγετικών στελεχών από τον εργασιακό, κυβερνητικό και ακαδημαϊκό χώρο. Το έργο του οργανισμού επικεντρώνεται στη διασύνδεση της εκπαίδευσης, της εργασίας και διακυβέρνησης, της διορατικότητας και ανάλυσης και των επικοινωνιών (World Economic Forum, 2022),

επιτάχυνση της μετάβασης στην κυκλική οικονομία, παρέχει έναν από τους πιο σύγχρονους ορισμούς / προσεγγίσεις στην κυκλική οικονομία: «η κυκλική οικονομία είναι ένα σύστημα όπου τα υλικά δεν γίνονται ποτέ απόβλητα και η φύση αναγεννιέται. Σε μια κυκλική οικονομία, τα προϊόντα και τα υλικά διατηρούνται σε κυκλοφορία μέσω διαδικασιών όπως η συντήρηση, η επαναχρησιμοποίηση, η ανακαίνιση, η ανακατασκευή, η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση. Η κυκλική οικονομία αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή και άλλες παγκόσμιες προκλήσεις, όπως η απώλεια βιοποικιλότητας, τα απόβλητα και η ρύπανση, αποσυνδέοντας την οικονομική δραστηριότητα από την κατανάλωση πεπερασμένων πόρων». (Ellen MacArthur Foundation, χ.χ.). Με άλλα λόγια, η κυκλική οικονομία βασίζεται στην παραγωγή και κατανάλωση με γνώμονα την ελαχιστοποίηση κατάχρησης των φυσικών πόρων, την ελαχιστοποίηση της ρύπανσης από απορρίμματα και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και την επιμήκυνση της χρήσης των προϊόντων μέσω αποτελεσματικής συντήρησης, ανασχεδιασμού και ανακύκλωσης, όπου αυτό είναι δυνατό. Ως εκ τούτου, η κυκλική οικονομία αποτελεί εναλλακτικό οικονομικό μοντέλο ανάπτυξης στις παραδοσιακές γραμμικές οικονομίες όπου η συνηθισμένη πρακτική (business as usual) της παραγωγής, κατανάλωσης και απόρριψης οδηγεί τελικά σε αλόγιστη χρήση περιορισμένων πόρων και παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων απόβλητα. (World Economic Forum, 2022).

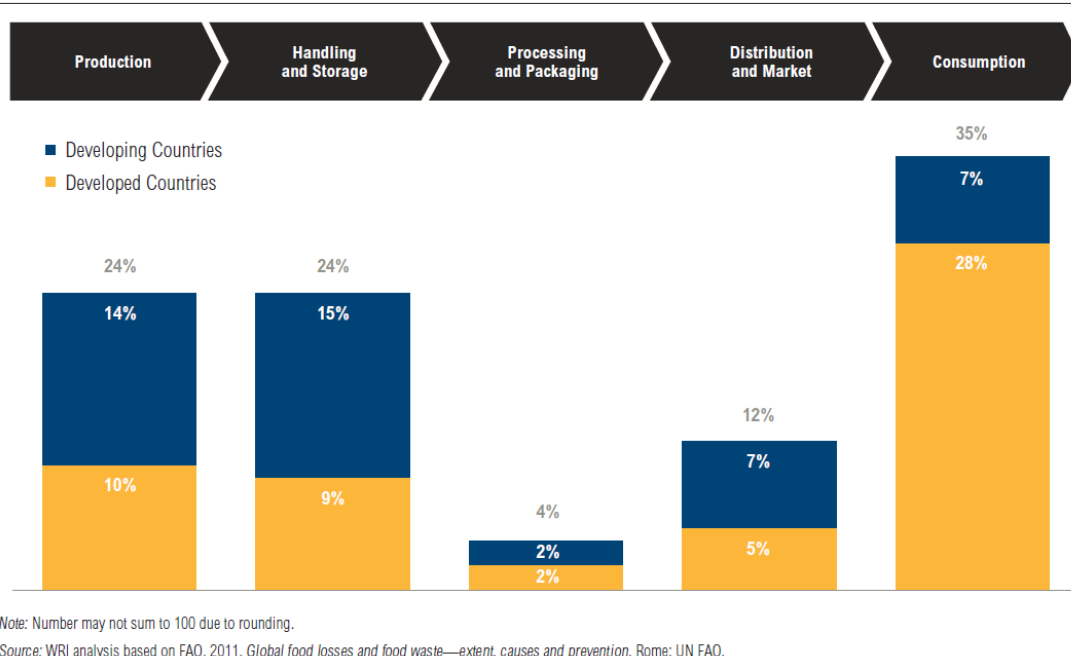
## **2.3.2 Η Σπατάλη τροφίμων στα διάφορα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων**

### **2.3.2.1 Σπατάλη στο στάδιο κατανάλωσης**

Η σπατάλη τροφίμων (food waste), αφορά ως επί το πλείστο σε συμπεριφορά των ίδιων των καταναλωτών ή της λιανικής πώλησης όταν εσκεμμένα απορρίπτονται ποσότητες τροφίμων λόγω παρόδου της ημερομηνίας λήξεως τους για ασφαλή κατανάλωση. (Kennard, 2019). Αν και στις αναπτυσσόμενες χώρες, μεγάλο ποσοστό της απώλειας και σπατάλης τροφίμων εμφανίζεται σε διαφορετικά στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού και συχνά στα στάδια της παραγωγής και επεξεργασίας, πριν ακόμη φτάσει στον τελικό καταναλωτή, στις ανεπτυγμένες, βιομηχανικές χώρες, η μεγαλύτερη σπατάλη τροφίμων εμφανίζεται αφού αυτά έχουν φτάσει στους καταναλωτές. Τελικά, όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα απώλειας και σπατάλης τροφίμων κατά τα διάφορα στάδια<sup>6</sup> στην αλυσίδα εφοδιασμού κατά το έτος 2009 (η οποία και αντιστοιχεί σε 1,5 τετράκις εκατομμύρια

<sup>6</sup> Τα στάδια αυτά είναι: παραγωγή, χειρισμός και αποθήκευση, επεξεργασία και συσκευασία, διανομή και διάθεση στην αγορά και κατανάλωση.

χαμένες θερμίδες), το μεγαλύτερο ποσοστό συνολικά (35%) εμφανίζεται στο στάδιο της κατανάλωσης και ουσιαστικά αφορά στη συμπεριφορά των ίδιων των τελικών καταναλωτών. (Lipinski, και συν., 2013).



**Σχήμα 1: Η αναλογία χαμένων και σπαταλημένων τροφίμων στα διάφορα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες.**

Οι αιτίες που συντελούν στην σπατάλη φαγητού, σε επίπεδο κατανάλωσης (λιανική πώληση και καταναλωτές) στις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες (όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη σπατάλη στο στάδιο της κατανάλωσης), δύναται να αναζητηθούν και να κατηγοριοποιηθούν σε ανεπαρκείς πρακτικές αποθήκευσης και χειρισμού των τροφίμων, συμπεριφορά των καταναλωτών, υψηλά επίπεδα αισθητικών προτύπων για την εμφάνιση των τροφίμων και αναποτελεσματικά συστήματα διανομής. Στην πραγματικότητα όμως αυτές οι κατηγορίες εμπεριέχουν ένα πολύ μεγαλύτερο πλήθος παραγόντων οι οποίοι συντελούν στην αύξηση των υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων ανεξάρτητα ή και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες περιλαμβάνουν ζητήματα όπως:

- Η υπερβολική παραγωγή και πλεονάζουσα διαθεσιμότητα
- Αναποτελεσματική αγορά τροφίμων και προγραμματισμός γευμάτων
- Προώθηση προϊόντων που παρασύρουν σε υπέρμετρη αγορά όπως προωθητικές ενέργειες της μορφής «αγόρασε ένα και πήρε ακόμη ένα δωρεάν».

- Υψηλές αισθητικές προτιμήσεις σε τρόφιμα που έχουν τέλεια για τα καταναλωτικά πρότυπα εξωτερική εμφάνιση, έναντι όμοιων τροφίμων με χειρότερη εμφάνιση, παρά την ίδια διατροφική αξία (και ενδεχομένως χαμηλότερη τιμή).
- Ανεπαρκής διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.
- Ανεπαρκείς ικανότητες στη διαχείριση τροφίμων (πχ. έλλειψη βασικών γνώσεων για τη σωστή αποθήκευση και ψύξη ή έλλειψη στοιχειωδών ικανοτήτων μαγειρικής, με αποτέλεσμα την αλλοίωση ή καταστροφή των τροφίμων).
- Πρακτικές λιανικής που προωθούν την αγορά μεγάλων ποσοτήτων (πχ. καλύτερη τιμή μονάδας αν αγοραστούν έξι ή δώδεκα όμοια προϊόντα που συνήθως βρίσκονται έτοιμα σε τέτοιες συσκευασίες που αποκαλούνται «οικονομικές» ή «οικογενειακές» κλπ.), ανεξάρτητα από τις πραγματικές ανάγκες των καταναλωτών.
- Υπερκαταναλωτική συμπεριφορά από τους καταναλωτές, που υπό την επήρεια τηλεοπτικών, ραδιοφωνικών και διαδικτυακών διαφημίσεων, έρχονται να ικανοποιήσουν τις καταναλωτικές τους ορμές σε τεράστιες υπεραγορές με πληθώρα προϊόντων / συσκευασιών και εμπορικών ονομασιών που ικανοποιούν κάθε ανάγκη πραγματική ή πλασματική.
- Έλλειψη υποδομών και σωστής λογιστικής μέριμνας από πλευράς των διανομέων, ώστε να αποφεύγονται μεγάλες συσσωρεύσεις προϊόντων με περιορισμένο χρονικό περιθώριο διάθεσης (π.χ. φρέσκα φρούτα και λαχανικά που δεν μπορούν να συσσωρευτούν σε μεγάλα αποθέματα για μακρά χρονική περίοδο).
- Μη ευθυγραμμισμένη διαθεσιμότητα τροφίμων σε σχέση με τις απαιτήσεις που οδηγεί σε μεγάλα στοκ αδιάθετων τροφίμων.
- Κανονισμοί για τα τρόφιμα και ανησυχίες για την αναζήτηση ευθυνών (από διανομείς και καταστήματα ή εστιατόρια), που οδηγούν σε απόρριψη τροφίμων των οποίων καίτοι ημερομηνία λήξεως δεν έχει παρέλθει, ή προτιμητέα οριακή ημερομηνία κατανάλωσης πλησιάζει.



- Διαχειριστικά προβλήματα στις ποσότητες (στοκ) τροφίμων από παραγωγούς και μεταπωλητές που δρουν σε συνδυασμό με τα παραπάνω ή ανεξάρτητα.<sup>7</sup>
- Έλλειψη πληροφόρησης και εκπαίδευσης των καταναλωτών.

### 2.3.2.2 Σπατάλη στο στάδιο παραγωγής

Αν και όπως φαίνεται από το γράφημα της προηγούμενης παραγράφου, το στάδιο της λιανικής πώλησης και των τελικών καταναλωτών είναι αυτό που εμφανίζει την μεγαλύτερη παραγωγή αποβλήτων τροφίμων, ένα πολύ μεγάλο ποσοστό παρουσιάζεται και κατά το στάδιο της παραγωγής. Νεότερες έρευνες όπως αυτή του WWF το 2021, εκτιμούν ότι 1,2 δισεκατομμύρια τόνοι τροφίμων χάνονται στις φάρμες παραγωγής του πριν, κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά τη συγκομιδή, δηλαδή περίπου το 15,3% της συνολικής παραγωγής (WWF-UK, 2021). Ακόμη πιο ανησυχητική είναι η διαπίστωση ότι ενάντια στις πεποιθήσεις και αντιλήψεις μεγάλης μερίδας της κοινωνίας, προκύπτει ότι σε αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες της Ευρώπης, των ΗΠΑ, του Καναδά και της βιομηχανοποιημένης Ασίας, τα κατά κεφαλήν απόβλητα τροφίμων στο στάδιο της αγροτικής παραγωγής είναι πολύ περισσότερα συγκριτικά με αυτά των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.

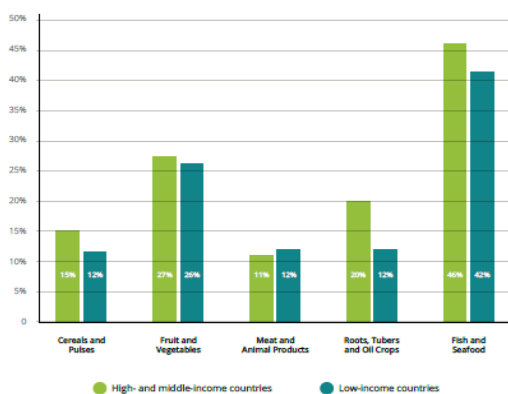


Figure 2  
Farm stage food waste by commodity group as % total food production.

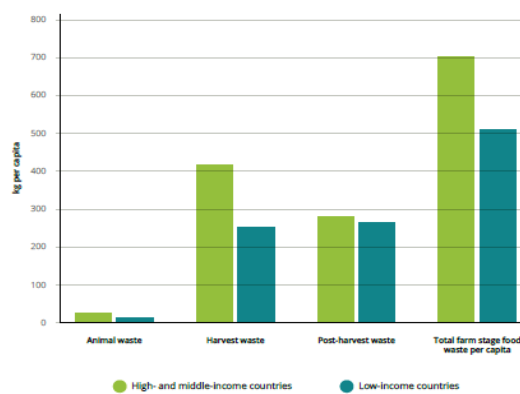
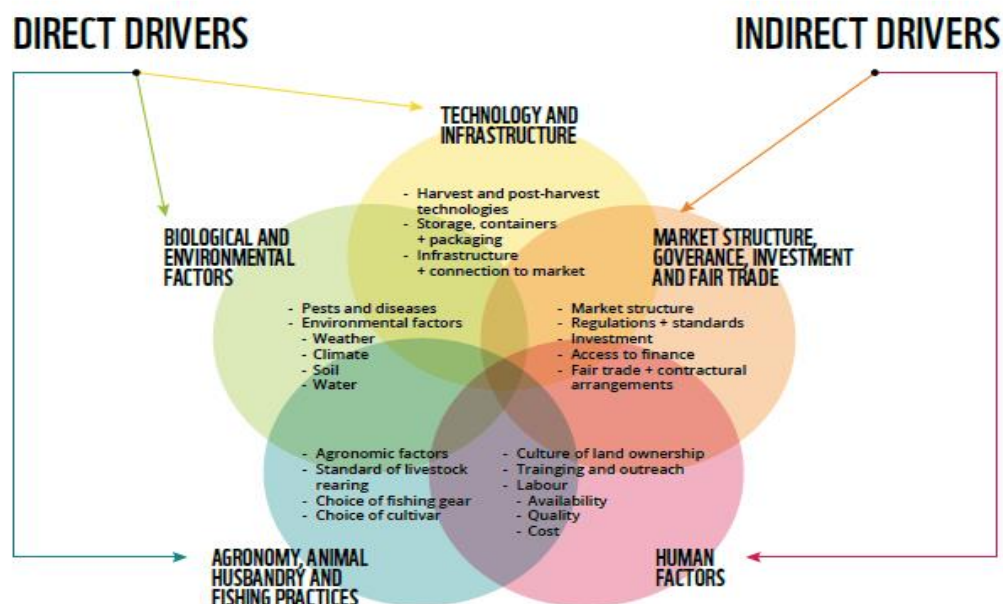


Figure 3  
Per capita farm stage food waste by region (kg/year)

### Σχήμα 2: Τα απόβλητα τροφίμων στο στάδιο της παραγωγής κατά είδος και τα κατά κεφαλήν απόβλητα τροφίμων των παραγωγών σε χώρες με μέσο-υψηλό και χαμηλό κατά κεφαλήν εισόδημα

<sup>7</sup> Για παράδειγμα, στα φρέσκα φρούτα, η προσπάθεια των παραγωγών να πουλήσουν σε καλύτερη τιμή τα προϊόντα τους σε σύντομο χρονικό διάστημα (από τη συγκομιδή), έρχεται σε σύγκρουση με την προσπάθεια των πωλητών λιανικής που προσπαθούν να πετύχουν τη μικρότερη δυνατή τιμή αγοράς και το χαμηλότερο κόστος μεταφοράς. Αν και το βέλτιστο κόστος μεταφοράς προϋποθέτει μεγάλες ποσότητες, ο χρόνος και οι συνθήκες μεταφοράς δύναται να επιφέρουν αλλοιώσεις στα προϊόντα. Επιπρόσθετα, η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων που υπερκαλύπτουν τη ζήτηση (όπως έχει ήδη αναφερθεί σε άλλο παράγοντα παραπάνω) στην περίπτωση των φρέσκων προϊόντων οδηγεί σε αδιάθετες ποσότητες που κατά κανόνα μετατρέπονται σε απορρίμματα τροφίμων.

Οι προαναφερθείσες ανεπτυγμένες περιοχές που αποτελούν μόνο το 37% του παγκόσμιου πληθυσμού, παρά τον εκβιομηχανισμό και την αυτοματοποίηση στην αγροτική παραγωγή συνεισφέρουν στο 58% των συνολικών αποβλήτων τροφίμων κατά τη συγκομιδή. (WWF-UK, 2021). Όπως αποδεικνύεται, ακόμη και στην αρχή της αλυσίδας εφοδιασμού, την παραγωγή στην φάρμα, η πρόβλεψη για αποφυγή παραγωγής αποβλήτων τροφίμων αποτελεί μία πρόκληση που αντιμετωπίζουν ακόμη και οι τεχνολογικά και βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες, γιατί όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα, υπάρχει ένα πλήθος άμεσων (direct) και έμμεσων (indirect) παραγόντων (drivers) που συμβάλουν και οι οποίοι δεν σχετίζονται πάντα με την τεχνολογία ή την πρόοδο στην αγροτική παραγωγή.



**Σχήμα 3: Οι άμεσοι (direct) και έμμεσοι (indirect) παράγοντες που συντελούν στην αύξηση των απορριμμάτων από τους παραγωγούς τροφίμων**

Στην πρωτογενή παραγωγή τροφίμων, όσο σημαντικοί και αν φαίνονται οι άμεσοι παράγοντες που οδηγούν σε σπατάλη τροφίμων και απόβλητα, όπως η έλλειψη τεχνολογίας στη συγκομιδή και αποθήκευση, οι ασθένειες στις καλλιέργειες και την κτηνοτροφία, η κλιματική και εδαφική υποβάθμιση, η έλλειψη υδάτινων πόρων και οι φτωχές αγρονομικές πρακτικές, τόσο σημαντικοί είναι και οι έμμεσοι παράγοντες που σχετίζονται με την εκάστοτε αγροτική πολιτική των κυβερνήσεων, τις επενδύσεις, την υποστήριξη των αγροτών με τη διασφάλιση οικονομικής στήριξης, δίκαιων εμπορικών συναλλαγών και συμφωνιών, αλλά και την ίδια την υποστήριξη αγροτικής κουλτούρας, εργασίας και ποιότητας στην παραγωγή, λαμβάνοντας υπόψη μία σειρά από επιμέρους παράγοντες που



σχετίζονται με την πολιτιστική και διατροφική κουλτούρα, την γεωγραφική κατανομή, τις απαιτήσεις και το κόστος παραγωγής.

### **2.3.3 Κυκλική οικονομία και βιώσιμη ανάπτυξη**

Στις μέρες μας η κυκλική οικονομία αποκτά διαρκώς αυξανόμενη αξία γιατί οι γραμμικές πρακτικές του παρελθόντος έχουν φέρει τον κόσμο μας αντιμέτωπο με προκλήσεις όπως η έλλειψη πρώτων υλών, η σταδιακά μειούμενες δυνατότητες παραγωγής και διαθεσιμότητας τροφίμων σε συνάρτηση με την έκρηξη των πληθωριστικών τάσεων, η απίστευτη συγκέντρωση αποβλήτων που δύσκολα διασπώνται όπως το πλαστικό και τελικά, η αρχή μίας επιταχυνόμενης περιβαλλοντικής κρίσης που ενδέχεται να απειλήσει την ίδια την ανθρώπινη επιβίωση στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον. Ακόμη και από την στενή οικονομοτεχνική πλευρά του ζητήματος, καθίσταται σαφές ότι το «κόστος ευκαιρίας» που χάνεται από τη μη υιοθέτηση κυκλικού μοντέλου ανάπτυξης κάθε άλλο παρά αμελητέο είναι αφού σύμφωνα με τον μεγαλύτερο οίκο συμβουλευτικής σε επιχειρήσεις Accenture, το ρίσκο αυτό αποτιμάται σε 4,5 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030. (Lacy, Long, & Wesley, 2020, σ. 8).

Με γνώμονα τη δεδομένη δυσχέρεια στην ανακύκλωση τροφίμων, τουλάχιστον με την σημερινή τεχνολογία,<sup>8</sup> ώστε να είναι δυνατή η ευρεία επαναχρησιμοποίησή τους από τον άνθρωπο, γίνεται αντιληπτό ότι η εφαρμογή των αρχών του κυκλικού μοντέλου οικονομίας στα τρόφιμα περιορίζεται στην επιμήκυνση του κύκλου ζωής τους και κυρίως στον επανασχεδιασμό όλου του συστήματος τροφίμων ώστε να περιορίζονται τα απορρίμματα και να διευκολύνεται ο διαχωρισμός τους, η κατηγοριοποίηση τους και η αποτελεσματική διαχείρισή τους για την βέλτιστη δυνατή ανακύκλωση τους σε λιπάσματα, βίο-καύσιμα, ή άλλα χρήσιμα υλικά. Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα βιώσιμης διαχείρισης τροφίμων, πρωτεύοντα ρόλο παίζει η πρόβλεψη για εξάλειψη την υπέρμετρη παραγωγής που υπερκαλύπτει τις δεδομένες ανάγκες, η γεωγραφική κατανομή του πλεονάσματος τροφίμων σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη και ο περιορισμός της βιομηχανοποιημένης πρωτογενούς παραγωγής σε φιλικότερες προς το περιβάλλον μεθόδους. Καθίσταται λοιπόν αντιληπτό ότι

---

<sup>8</sup> Αν και η διάσπαση και αναδόμηση της ύλης που περιέχουν απορρίμματα και απόβλητα τροφίμων σε νέα τρόφιμα κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, δεν είναι επί του παρόντος δυνατή με τη σημερινή τεχνολογία, αυτό δεν σημαίνει ότι κάτι τέτοιο δεν θα είναι εφικτό στο μέλλον. Έως τότε, αναβαθμισμένες μέθοδοι επανακύκλωσης των τροφίμων (Upcycling), εξασφαλίζουν τη δημιουργία κατάλληλων για κατανάλωση τροφίμων από συστατικά που τυπικά δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση. Περισσότερα στοιχεία για την επανακύκλωση παρατίθενται στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

σημαντικός συντελεστής της κυκλικής οικονομίας είναι ένα αποτελεσματικό σύστημα παραγωγής και διανομής τροφίμων που ελαχιστοποιεί τα απόβλητα ή παράγει ποσότητες που δύνανται να διαχειριστούν και να αξιοποιηθούν με τον πλέον αποδοτικό τρόπο για την οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον. *«Αλλάζοντας το σύστημα τροφίμων σε ένα που να βασίζεται στις αρχές της κυκλικής οικονομίας είναι ένα από τα σημαντικότερα πράγματα που μπορούμε να κάνουμε για να αλλάξουμε την κλιματική αλλαγή και να κτίσουμε βιοποικιλότητα. Μπορούμε να το επιτύχουμε και να παρέχουμε υγιεινό και θρεπτικό φαγητό για όλους».* (Ellen MacArthur Foundation, χ.χ.)

#### **2.3.4 Γιατί ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων και η βιώσιμη διαχείριση τροφίμων και απορριμμάτων είναι σημαντικά, αλλά και σύνθετα;**

Στη χώρα μας, λαμβάνοντας υπόψη ότι σχεδόν το 46% των αστικών στερεών αποβλήτων είναι βίο-απόβλητα, αλλά και το γεγονός ότι η ταφή τους αγγίζει το 80% επί της συνολικής τους ποσότητας, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η επίτευξη ενός από τους βασικούς στόχους της κυκλικής οικονομίας που είναι η μείωση της ταφής αποβλήτων σε ποσοστό μικρότερο του 10% έως το 2030, φαντάζει κάτι το εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς την ουσιαστική ευαισθητοποίηση κοινωνίας και πολιτείας, αλλά κυρίως των εξαιρετικά πολυπληθών και διαδεδομένων στην Ελλάδα επιχειρήσεων εστίασης, οι οποίες και ένεκα της φύσης τους, παράγουν παραδοσιακά μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων. (Foodlife Team, 2022). Δυστυχώς ακόμη χειρότερα είναι τα πράγματα στην περίπτωση του μεμονωμένου πληθυσμού στη χώρα μας, όπου το φαινόμενο της ουσιαστικής σπατάλης τροφίμων (food waste) έχει λάβει εξαιρετικά μεγάλες διαστάσεις. Σύμφωνα με την ενδελεχή ανάλυση στην αναφορά σπατάλης τροφίμων του 2021 από το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Η.Ε (UN Environment programm, UNEP), ο μέσος όρος απορριμμάτων τροφίμων κατά κεφαλή στην Ελλάδα ανέρχεται στα 142 κιλά ετησίως και είναι ο μεγαλύτερος αριθμός στατιστικά στην Ευρώπη και ένας από τους μεγαλύτερους σε όλο τον κόσμο (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021, σ. 67). Φυσικά και σε παγκόσμιο επίπεδο η κατάσταση δείχνει ζοφερή καθώς σύμφωνα με τα ουσιαστικά ευρήματα της ίδιας αναφοράς μόνο το έτος 2019 παράχθηκαν περί τα 931 εκ. τόνοι απορριμμάτων τροφίμων, το 61% των οποίων προήλθε από νοικοκυριά, το 26% από υπηρεσίες εστίασης και το 13% από τη λιανική πώληση. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το 17% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων καταλήγει στα απορρίμματα (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021, σ. 8), παρά το δεδομένο κόστος

παραγωγής του και παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ακόμη πληθυσμοί και χώρες στο κόσμο που μαστιζονται από επισιτισμό.

Η αδικαιολόγητη σπατάλη τροφίμων που καταλήγουν να γίνονται απορρίμματα, δεν έχει επίπτωση μόνο στην οικονομία ως σπατάλη πόρων που δεν αξιοποιήθηκαν, ή στην κοινωνία ως σπατάλη φαγητού που δεν καταναλώθηκε, αλλά και στο φυσικό περιβάλλον, καθώς η ίδια η παραγωγή και διάθεση τροφίμων, περιλαμβάνοντας την πρωτογενή παραγωγή (αγροτικές καλλιέργειες, κτηνοτροφία, αλιεία), την μεταποίηση, μεταφορά του στη λιανική, αλλά και την αποκομιδή του ως υπόλειμμα / απόρριμμα, τελικά συνεισφέρει στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων που προκαλούν υπερθέρμανση στον πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου), κατά το καθόλου ευκαταφρόνητο ποσό του 8 – 10% (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021). Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν και αντίστοιχες αναφορές από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency, EPA). Σύμφωνα με την EPA, μόνο το 2019 στις ΗΠΑ, παράχθηκαν 66 εκ. τόνοι απορριμμάτων τροφίμων και περίπου το 60% κατέληξε σε ταφή. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με εκτιμήσεις του Τμήματος Γεωργίας των ΗΠΑ (US Department of Agriculture), το κόστος των τροφίμων που κατέληξαν σε απορρίμματα το 2010 στις ΗΠΑ, αποτιμάται σε περίπου 162 εκ. δολάρια (US EPA, OLEM., 2015).

Για όλους τους παραπάνω λόγους, η προσπάθεια της ΕΕ για μετριασμό της επίπτωσης των συσσωρευμένων απορριμμάτων στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στην ολόένα και περισσότερο εμφανή κλιματική αλλαγή, έχει προάγει την προώθηση της κυκλικής οικονομίας ως στρατηγική προτεραιότητα στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Δεν είναι εξάλλου καθόλου τυχαίο ότι ένα βιώσιμο σύστημα τροφίμων βρίσκεται στο επίκεντρο των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης των Η.Ε (UN Sustainable Development Goals, SDGs). Οι τελευταίοι, υιοθετήθηκαν από το 2015 και αφορούν σημαντικές μετεξελίξεις στη γεωργία και τα συστήματα τροφίμων με σκοπό έως το 2030, την εξάλειψη της πείνας, την επίτευξη ασφάλειας στα τρόφιμα και τη βελτίωση της ποιότητας διατροφής παγκοσμίως.

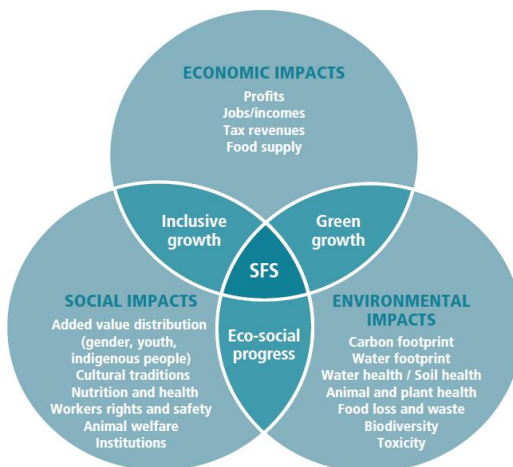
#### **2.3.4.1 Οι διαστάσεις της βιωσιμότητας**

Στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου συστήματος τροφίμων, η βιωσιμότητα πρέπει να εξετάζεται ολιστικά σε όλες της τις διαστάσεις (οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική) και να παράγει σε κάθε μία από αυτές θετικό αποτέλεσμα. Αυτό δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί

γιατί συχνά μία ενέργεια που ενισχύει μία διάσταση της βιωσιμότητας, μπορεί να έχει αρνητικό αποτέλεσμα σε άλλη διάσταση αυτής. (UN FAO, 2018). Ένα παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης μπορεί να είναι ένα νέο μέτρο που λαμβάνεται για να επιλύσει ένα πρόβλημα που αφορά ασθένεια σε ζώα στην κτηνοτροφία, ή την εκμετάλλευση κάποιας καινοτόμου ευκαιρίας όπως μία νέα «πράσινη» τεχνολογία. Έτσι, πριν τη λήψη οποιουδήποτε μέτρου ή σειράς μέτρων, θα πρέπει να εξετάζεται η επίδραση σε όλες τις διαστάσεις της βιώσιμης ανάπτυξης ώστε να εξασφαλισθεί ότι δεν θα έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Επιπλέον θα πρέπει να απαντάται μία σειρά από πιθανά ερωτήματα όπως:

- Τι επιπτώσεις θα έχει η λήψη των συγκεκριμένων μέτρων στη χρήση των φυσικών πόρων; (περιβαλλοντική διάσταση).
- Θα επηρεάσουν τα συγκεκριμένα μέτρα τους φτωχούς και πλούσιους αγρότες το ίδιο ή διαφορετικά; Θα αυξήσουν περισσότερο το χάσμα μεταξύ τους και άρα το αίσθημα αδικίας και άνισης μεταχείρισης; (οικονομική – κοινωνική διάσταση).
- Θα έχουν τα μέτρα αυτά, αρνητική επίδραση στην υγεία του καταναλωτή; (κοινωνική διάσταση)

Αυτού του είδους η προσέγγιση της βιωσιμότητας φαίνεται παραστατικά στο παρακάτω διάγραμμα τομής συνόλων, όπου κάθε σύνολο αποτελεί μία από τις διαστάσεις επιπτώσεων του συστήματος τροφίμων (οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική), ενώ η τομή των συνόλων αυτών δίνει το βιώσιμο σύστημα τροφίμων (Sustainable Food System, SFS).



**Σχήμα 4: Διάγραμμα τομής των διαστάσεων που έχουν οι επιπτώσεις του συστήματος τροφίμων (οικονομική, κοινωνική, περιβαλλοντική) [Πηγή: (UN FAO, 2018)]**

#### **2.3.4.2 Η μέτρηση ανάλυση και βελτίωση της απόδοσης και βιωσιμότητας**

Η ολιστική προσέγγιση του συστήματος τροφίμων έχει άμεση εφαρμογή στην ανάπτυξη στρατηγικής για την βελτίωση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας του απέναντι σε δυναμικές αλλαγές που χαρακτηρίζουν τις παραμέτρους που το συνθέτουν και οι οποίες με τη σειρά τους αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Η ανθεκτικότητα του συστήματος σχετίζεται άμεσα με την δυνατότητα του να ισορροπεί μέσα σε ένα σχεδόν «χαοτικό» περιβάλλον παραμέτρων και αυτή ακριβώς η δυνατότητα εξαρτάται από την ποιότητα των μετρήσεων και την ανάλυση της απόδοσής του, γιατί με τον τρόπο αυτό έχει την ικανότητα να βελτιώνεται.

##### **2.3.4.2.1 Η μέτρηση της απόδοσης**

Η αποτελεσματική μέτρηση της απόδοσης ενός βιώσιμου συστήματος τροφίμων αφορά όχι μόνο στον ποσοτικοποιημένο υπολογισμό των επιδόσεων σε κάθε επιμέρους διάσταση της βιωσιμότητας (κοινωνική, περιβαλλοντική, οικονομική), αλλά και στον εντοπισμό των σημείων όπου υπάρχουν συνέργειες / σημεία σύγκλισης, αλλά και κρυφοί συμβιβασμοί / σημεία απόκλισης. (UN FAO, 2018). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ότι η βασική επιδίωξη για την οποία λαμβάνεται κάποια δράση έχει θετικό αντίκτυπο, αλλά και ο καθαρός συνολικός αντίκτυπος στην προστιθέμενη αξία των συνολικών δραστηριοτήτων του συστήματος, είναι επίσης θετικός. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει εξασφαλίζεται πως μία ενέργεια θετική για παράδειγμα στην περιβαλλοντική διάσταση της βιωσιμότητας, παραμένει συνολικά θετική για το σύστημα, ακόμη και αν έχει μικρή αρνητική επίδραση στην κοινωνική και μεγάλη αρνητική επίδραση στην οικονομική της διάσταση. Ένα απλό παράδειγμα τέτοιου υπολογισμού (σε κλίμακα τιμών από το -10 έως το 10) είναι το ακόλουθο: Μία ενέργεια μεγάλης περιβαλλοντικής σκοπιμότητας με επίδοση 8 αφορά στην εγκατάσταση κομποστοποιητών σε 4 Δήμους μίας πόλης. Αυτή η ενέργεια στους 2 από τους 4 Δήμους εκτιμάται αρκετά θετικά με επίδοση 5, σε ένα Δήμο ουδέτερα με επίδοση 0 και σε έναν άλλο πολύ θετικά με επίδοση 10 (έχει λοιπόν μέσο όρο κοινωνικής αποδοχής / επίδοσης: 5). Από οικονομικής όμως πλευράς θεωρείται πολύ ακριβή υπόθεση και έτσι έχει οικονομική επίδοση -10. Η συνολική επίδοση στο σύστημα θα είναι:  $8 + 5 - 10 = 3$  και αυτό σημαίνει ότι η δράση, παρά το κόστος, θα έχει συνολικό θετικό αντίκτυπο στο σύστημα. Φυσικά, στις πραγματικές μετρήσεις της απόδοσης ενός συστήματος πέρα από την κλίμακα μέτρησης και τον αριθμό των μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες, υπάρχει ένα τεράστιο

πλήθος παραμέτρων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και συνθέτουν ένα αρκετά πολύπλοκο πλαίσιο. Συναφώς θα πρέπει να υπάρχει ένα σαφώς προσδιορισμένο μοντέλο αριθμητικής αποτίμησης των μετρήσεων, έτσι ώστε να μπορεί να γίνουν ποσοτικές συγκρίσεις. Από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη για νέες, εξελιγμένες και βελτιωμένες μετρήσεις επιπτώσεων που να επιτρέπουν τη στατιστική τους επεξεργασία. Η στατιστική επεξεργασία των επιπτώσεων, έπειτα από την ποσοτικοποίηση των μετρήσεων, είναι αυτή που θα επιτρέψει την περαιτέρω ανάλυση της απόδοσης του συστήματος.

#### **2.3.4.2.2 Η ανάλυση της απόδοσης**

Η ανάλυση της απόδοσης ενός βιώσιμου συστήματος τροφίμων έχει να κάνει κυρίως με τον εντοπισμό των αλληλένδετων βασικών αιτιών που οδηγούν σε χαμηλή απόδοση του συστήματος μέσα από μία ολιστική οπτική που βασίζεται σε διεπιστημονική έρευνα, γιατί ακριβώς ο προσδιορισμός των αιτιών αυτών ενέχει μία ιδιαίτερη ευρεία και δυναμική ερμηνεία τους. Εξαιτίας αυτών, απαιτείται μία βαθιά και ουσιαστική κατανόηση της δομής του συστήματος, του τρόπου με τον οποίο η δομή αυτή επηρεάζει τη συμπεριφορά των διάφορων ενδιαφερομένων μερών του συστήματος, καθώς και του τρόπου με τον οποίο όλα αυτά οδηγούν σε μια συνολική απόδοση που μεταβάλλει τη δομή του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. (UN FAO, 2018). Για την επίτευξη των παραπάνω η ανάλυση είναι καλό να περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

##### **Ανάλυση των δεσμών μέσα στον πυρήνα του συστήματος**

Θα πρέπει να γίνεται ενδελεχής ανάλυση των δεσμών που αναπτύσσονται ανάμεσα στους δρώντες του συστήματος τροφίμων, σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού (παραγωγή, συγκέντρωση / αποθήκευση, επεξεργασία, διανομή, κατανάλωση) και στους παρόχους των διάφορων υπηρεσιών, όπως επίσης και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του συστήματος και των κοινωνικών και φυσικών πλαισίων που περιέχονται σε αυτό και το επηρεάζουν, αλλά και επηρεάζονται από αυτό.

##### **Ανάλυση των μηχανισμών διακυβέρνησης**

Θα πρέπει να αναλύονται οι μηχανισμοί διακυβέρνησης που καθορίζουν τις σχέσεις ισχύος ανάμεσα στους διάφορους δρώντες στο σύστημα τροφίμων, ώστε να προσδιορισθούν τα οφέλη που έχει ο καθένας από τη διεξαγωγή συγκεκριμένων δραστηριοτήτων στο σύστημα και τα οποία τελικά φανερώνουν τις επιδιώξεις του και ορίζουν τη συμπεριφορά του.



### **Ανάλυση των βαθύτερων αιτιών**

Θα πρέπει να εντοπίζονται και να αναλύονται τα βαθύτερα αίτια της χαμηλής απόδοσης του συστήματος, αλλά και οι τομείς που έχουν τις μεγαλύτερες δυνατότητες για βελτίωση της απόδοσης, μαζί με τυχόν δεσμευτικούς περιορισμούς αλλά και σημεία «μόχλευσης».<sup>9</sup>

#### **2.3.4.2.3 Η βελτίωση της απόδοσης**

Η ανάλυση της απόδοσης του συστήματος, θα μας δώσει στοιχεία που χαρακτηρίζουν, συμπεριφορές, αλληλοσυγκρουόμενα συμφέροντα, συμμαχίες, αντιπαλότητες και τα επίπεδα / κλίμακες εμπλοκής των δρώντων στο σύστημα τροφίμων. (UN FAO, 2018). Έτσι, η ολιστική ανάλυση για την βελτίωση της απόδοσης μπορεί πλέον, αλλά και πρέπει να στοχεύει στα ακόλουθα:

#### **Αλλαγή συμπεριφορές**

Θα πρέπει να επιδιώκεται η αλλαγή της συμπεριφοράς του συστήματος, στοχεύοντας στα δομικά στοιχεία που επηρεάζουν τόσο τις δυνατότητες, όσο και τα κίνητρα των δρώντων και αφορούν στην αντιμετώπιση των διαφορών που υπάρχουν σε επίπεδα οργάνωσης, τεχνολογίας και οικονομικής ισχύος για την ενθάρρυνση περισσότερο ισορροπημένων σχέσεων.

#### **Κοινές αντιλήψεις και πολυμερείς συνεργασίες**

Θα πρέπει να αναπτύσσεται ένα κοινό όραμα και στρατηγική για την βελτίωση της απόδοσης, στο πλαίσιο ενός ολοκληρωμένου πακέτου λύσεων που ευνοεί τις πολυμερείς συνεργασίες και επιδιώκει με τον τρόπο αυτό ενισχυμένα αποτελέσματα μεγαλύτερης κλίμακας. Η συνεργασία σε κοινούς στόχους εξ' ορισμού περιέχει τη συμπερίληψη και βοηθά στη δέσμευση μεγάλου αριθμού δρώντων σε κοινές ενέργειες σύγκλισης και όχι σε ανεξάρτητες και πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενες δράσεις.

#### **Διευκόλυνση έναντι της παρέμβασης**

Η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος είναι καλύτερο να διευκολύνεται μέσα από θετικές επαναληπτικές διαδικασίες που παρέχουν ανάδραση, έτσι ώστε να δημιουργείται

---

<sup>9</sup> Συγκεκριμένες ενέργειες ή εγγενή στοιχεία που υπάρχουν μέσα στο σύστημα και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή εκμεταλλευθούν κατάλληλα για τη μεγιστοποίηση των αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας χρήσης επικοινωνιών κοντινού πεδίου (Near Field Communication, NFC) που ήδη χρησιμοποιείται σε ανέπαφες πληρωμές μέσω κινητών τηλεφώνων, για να ειδοποιείται ο πελάτης όταν πλησιάζει κοντά σε κάποια τρόφιμα που πλησιάζει η λήξη τους για τυχόν εκπτώσεις στην τιμή πώλησής τους καθώς και τα οφέλη από τη διάσωσή τους από τα απορρίμματα.

μία αυτοσυντηρούμενη διαδικασία βελτίωσης και όχι μέσω παρεμβάσεων με βραχυπρόθεσμα έργα που χρηματοδοτούνται από δημόσιους πόρους. Η επανάληψη σε διαδικασίες και καλές πρακτικές που δίνουν αποτελέσματα, παρέχει πάντα μεγαλύτερη ικανοποίηση σε προσωπικό και συλλογικό επίπεδο και δημιουργεί κουλτούρα συνεργασίας. Η εφάπαξ ή βραχυπρόθεσμη παρέμβαση λύνει ενδεχομένως ένα πρόβλημα ή εισάγει μία δράση με καλές προοπτικές (πχ. χρηματοδότηση συγκεκριμένων έργων και δράσεων από δημόσιους πόρους), αλλά ως εξωτερική ενέργεια, δεν δίνει πολλές φορές κίνητρα για την περαιτέρω αυτοσυντήρηση της δράσης, μέσω κοινής προσπάθειας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι, συνήθως η δράση διαρκεί όσο και η χρηματοδότηση.

### **2.3.4.3 Η διαχείριση της ποιότητας**

#### **2.3.4.3.1 Η απαίτηση νέου συστήματος διαχείρισης ποιότητας τροφίμων**

Η διαχείριση της ποιότητας σε ένα τέτοιου είδους βιώσιμο σύστημα τροφίμων που ακολουθεί το κυκλικό μοντέλο ανάπτυξης, δημιουργεί την απαίτηση εξέλιξης πέρα από τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης της ποιότητας τροφίμων που εξασφαλίζουν την απουσία ελαττωμάτων (εμφάνιση, οσμή, γεύση), πληροφορίες που σχετίζονται με την ανάλυση των θρεπτικών συστατικών, την επεξεργασία των τροφίμων και την υγεία του καταναλωτή. Οι τυπικές πληροφορίες που εντοπίζονται στις ετικέτες των τροφίμων και δίνουν αυτές τις πληροφορίες, συχνά έχουν διαφορετική βαρύτητα στις διαφορετικές κατηγορίες των καταναλωτών και διαφορετική ανάγνωση αναλόγως αν ο διατροφικός προσανατολισμός του τελικού καταναλωτή σχετίζεται με την ασφάλεια και τις επιπτώσεις στην κατανάλωση, την σωματική του εμφάνιση και ευρωστία ή τις γευστικές του επιδιώξεις. Αν και αυτές οι πληροφορίες είναι σημαντικές και εξασφαλίζουν πάνω από όλα την ασφαλή διατροφή και ικανοποίηση του καταναλωτή, δεν παρέχουν στις περισσότερες περιπτώσεις στοιχεία που θα προσέφεραν στα τρόφιμα προστιθέμενη καταναλωτική αξία, όπως τον τρόπο παρασκευής (οργανική καλλιέργεια, περιβαλλοντική ευαισθησία, καλή μεταχείριση των ζώων), τις περιοχές παρασκευής (ακριβή προέλευση), ή τυχόν στοιχεία πολιτιστικής προέλευσης και δεδομένα αποφυγής της σπατάλης τους (συνταγές επαναχρησιμοποίησης, δυνατότητες ανακύκλωσης κλπ.). Έτσι ο καταναλωτής περιορίζεται σε ημερομηνίες λήξης, συστατικά, θρεπτική και θερμιδική αξία και γενικά ότι του παρέχεται στις ετικέτες των τροφίμων για να αξιολογήσει τα χαρακτηριστικά ποιότητας των τροφίμων που αγοράζει. (Djekić, και συν., 2023). Τίποτα όμως από αυτά δεν παρέχει



στοιχεία βιωσιμότητας των τροφίμων στην αλυσίδα εφοδιασμού ή βοηθά στην αποτροπή της σπατάλης και της άσκοπης μετατροπής των τροφίμων σε απορρίμματα. Όπως είναι φανερό, τα παλιά συστήματα ολικής διαχείρισης ποιότητας, στηρίχθηκαν σε γραμμικά μοντέλα ανάπτυξης για βελτιστοποίηση της απόδοσης παραγωγής και διαθεσιμότητας σε βιομηχανικό επίπεδο, αλλά ελάχιστα έως και καθόλου με την πορεία των τροφίμων κατά τα τελευταία στάδια της κατανάλωσής τους ή και μετά από αυτή, όταν απορρίπτονται ως απόβλητα. Περαιτέρω, η οικονομοτεχνική προσέγγιση στα τρόφιμα, έδωσε μεγαλύτερη βαρύτητα στην ανακύκλωση των διαφόρων συσκευασιών τροφίμων και πολύ λιγότερο στα ίδια τα υπολείμματα τροφίμων, τα οποία και αντιμετώπισε ως ένα «αναγκαίο κακό» που ανήκει στην ίδια κατηγορία με τα υπόλοιπα απορρίμματα και απόβλητα. Έτσι, μετά τις προηγούμενες διαδοχικές και αυξητικές εκδόσεις ποιότητας τροφίμων (Food Quality, FQ) που αφορούσαν στην αφαίρεση ελαττωματικών τροφίμων (FQ 1.0), τη διασφάλιση ποιότητας με βάση την πρόβλεψη (FQ 2.0) και την ολική διαχείριση ποιότητας (FQ 3.0), είναι αναγκαία η εισαγωγή νέας έκδοσης FQ 4.0 που να προσθέτει νέα δεδομένα τα οποία σχετίζονται με τη βιωσιμότητα, τη διαφάνεια και την ψηφιοποίηση. (Djekic, και συν., 2023).

#### **2.3.4.3.2 Η διαχείριση ποιότητας 4.0**

Οι βασικές επιδιώξεις της διαχείρισης ποιότητας 4.0 στα τρόφιμα, είναι η επιπρόσθετη ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών συλλογής και ανάλυσης δεδομένων στα υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης για τον εντοπισμό, τη διαφάνεια, τη βελτίωση της ποιότητα τροφίμων και την εξασφάλισή της τελευταίας μέσα σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού σε πραγματικό χρόνο. Στόχος είναι η παροχή πληροφοριών σε όλους τους δρώντες / ενδιαφερόμενους για την αποτελεσματικότητα των πρακτικών που ακολουθούνται, αλλά και τον αντίκτυπο που έχουν στην οικονομία (κόστος παραγωγής, επεξεργασίας, διανομής και διαχείρισης απορριμμάτων), την κοινωνία (επίπεδο κοινωνικής αποδοχής, διατροφικές προτιμήσεις) και το περιβάλλον (συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα των τροφίμων μέσα στην αλυσίδα εφοδιασμού, διαχείριση των αποβλήτων τους). Οι νέες δυνατότητες που προσφέρει η εξέλιξη της τεχνολογίας, επιτρέπουν πέρα από την ολική, την ολιστική και δυναμική προσέγγιση στη διαχείριση της ποιότητας των τροφίμων, με την παρακολούθηση της πορείας τους σε όλο τον κύκλο ζωής τους από την παραγωγή έως την απόρριψη και την διαχείρισή / εκποίηση τους ως απορρίμματα. Ακόμη περισσότερο, δίνουν νέες δυνατότητες στην πρόβλεψη, πρόληψη και μείωση της πιθανότητας σπατάλης τροφίμων με σειρά

τεχνολογιών που συνδέονται μεταξύ τους, αλληλοσυμπληρώνονται, συγκεντρώνουν και συγκρίνουν δεδομένα, κάνουν προβλέψεις, παίρνουν αποφάσεις, διορθώνουν λάθη και παραλείψεις, προσαρμόζονται και βελτιώνονται. Η ραγδαία διάδοση αυτών των τεχνολογιών, η διασύνδεσή και η δυνατότητα τους στο πλαίσιο του διαδικτύου των πραγμάτων<sup>10</sup> να βρίσκονται παντού (στα νοικοκυριά, στα καταστήματα λιανικής, στις μεταφορικές, στις αποθήκες, στις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων, στις φάρμες, αλλά ακόμη και μέσα στο ίδιο το έδαφος, τις λίμνες, θάλασσες ή μέσα στις κτηνοτροφικές και πτηνοτροφικές μονάδες), τους δίνει μοναδικές δυνατότητες αστραπιαίας μεταφοράς τεράστιου όγκου πληροφοριών που σχετίζονται σχεδόν με κάθε δυνατή παράμετρο που επηρεάζει την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να συμβάλλουν αποφασιστικά τόσο στην πρόληψη δημιουργίας, όσο και στην αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων. Παράλληλα, δύναται να διαδραματίσουν αποφασιστικό ρόλο στην βελτιστοποίηση λειτουργίας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων και την υποβοήθηση ή/και βελτιστοποίηση της διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων τόσο στο επίπεδο της ασφαλούς, βιώσιμης και αποδοτικής χρήσης των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας τους, όσο και στην προαγωγή της συναφούς έρευνας.

#### **2.3.4.3.3 Η απαίτηση χρήσης αναδυόμενων τεχνολογιών και τεχνολογικών εργαλείων στη διαχείριση ποιότητας τροφίμων**

Καίτοι, η αυτοματοποίηση των διαδικασιών στη αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων και η σύγχρονη μηχανογράφηση δίνουν τη δυνατότητα συλλογής τεράστιου όγκου δεδομένων, τα σημερινά συμβατικά συστήματα διαχείρισης ποιότητας δεν μπορούν να τα διαχειριστούν, αλλά ούτε και να παρέχουν στους τελικούς καταναλωτές διαφάνεια στις μεθόδους παραγωγής, σαφείς πληροφορίες για το συνολικό ενεργειακό αποτύπωμα των τροφίμων που αγοράζονται, ή οδηγίες για την αποτελεσματική αποφυγή της σπατάλης τους. Ακόμη περισσότερο, δεν παρέχουν τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας και άρα διάδρασης του καταναλωτή με δρώντες στην αλυσίδα εφοδιασμού όπως οι παραγωγοί, οι κατασκευαστές τροφίμων και οι μεταπωλητές της λιανικής, αλλά ούτε και με δρώντες στην επεξεργασία αποβλήτων τροφίμων. Για τους μεν δρώντες στην αλυσίδα εφοδιασμού, το

---

<sup>10</sup> Internet of Things, IoT: «Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) συγχωνεύει φυσικού και εικονικούς κόσμους, δημιουργώντας έξυπνα περιβάλλοντα. Πρόκειται για ένα δίκτυο δισεκατομμυρίων διασυνδεδεμένων συσκευών ή συστημάτων («πράγματα») που μπορούν να ελεγχθούν εξ αποστάσεως μέσω του διαδικτύου. Οι συσκευές αυτές συλλέγουν και ανταλλάσσουν δεδομένα που μπορούν να αναλυθούν και να συγκεντρωθούν για χρήση στην παρακολούθηση, τη συντήρηση και τη βελτίωση των διαδικασιών, με στόχο την παροχή προϊόντων και υπηρεσιών στους καταναλωτές». (EU - European Commission (IoT), 2019).

μικρό ποσοστό των κατά καιρούς ερευνών ικανοποίησης πελάτη και οι προσπάθειες στενότερης επαφής του καταναλωτή με μικρούς παραγωγούς για την απευθείας διάθεση τροφίμων, δεν μπορεί να καλύψει το μεγάλο κενό μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης. Για του δε δρώντες στη διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων, η διάδραση τις περισσότερες φορές εξαντλείται σε πρωτοβουλίες δωρεών, σε τοπικές δράσεις ανακύκλωσης και στην αντίδραση κοινωνικών και περιβαλλοντικών οργανώσεων απέναντι σε κυβερνητικούς φορείς και εταιρείες όταν οι επιλογές των τελευταίων σε μεθόδους διαχείρισης τροφίμων όπως η αποτέφρωση ή η υγειονομική ταφή, έχουν ήδη επιφέρει σημαντικές και ορατές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Εν κατακλείδι, φαίνεται να απουσιάζει ή στην καλύτερη περίπτωση να είναι εξαιρετικά περιορισμένη η μεθοδευμένη προσπάθεια κυβερνητικών, ιδιωτικών και κοινωνικών φορέων για κοινή κινητοποίηση διαχείρισης της σπατάλης και των απορριμμάτων τροφίμων με κοινό όραμα μετάβασης σε κυκλικό μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης. Αν και η ανάγκη για μετάβαση σε πιο βιώσιμα μοντέλα είναι γνωστή σε όλους, η αξιοποίηση του τεράστιου όγκου της πληροφορίας, των δεδομένων και των παραγόντων που θα μπορούσαν να κάνουν δυνατή την υλοποίησή τους, δεν μπορεί να επιτευχθεί με τα τρέχοντα συστήματα διαχείρισης ποιότητας καθώς αυτά ανταποκρίνονται σε γραμμικά οικονομικά μοντέλα και τα εργαλεία τους δεν μπορούν να επεξεργαστούν τα απαιτούμενα δυναμικά και εκθετικού μεγέθους διαδραστικά δεδομένα της σύγχρονης πραγματικότητας. Ακριβώς όπως σε όλα τα προηγούμενα συστήματα διαχείρισης ποιότητας, δόθηκε έμφαση στις αντιλήψεις και επιδιώξεις της κάθε εποχής και χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα εργαλεία, έτσι και στα νέα συστήματα ολιστικής, βιώσιμης και ψηφιακής διαχείρισης των τροφίμων απαιτείται να δοθεί έμφαση σε κυκλικά μοντέλα ανάπτυξης και να χρησιμοποιηθούν σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία. Ενώ λοιπόν τα παλαιότερα συστήματα διαχείρισης ποιότητας στηρίχθηκαν στη χρήση στατιστικών και εποπτικών εργαλείων όπως τα βασικά επτά (basic seven)<sup>11</sup> και τα Ιαπωνικά επτά (Japanese seven), η μετάβαση στα νέα συστήματα διαχείρισης ποιότητας εισάγει επιπρόσθετα νέα ψηφιακά εργαλεία (Quality 4.0 seven) που σχετίζονται με τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence), μεγάλα δεδομένα (big data), κρυπτοαλυσίδες (blockchain), βαθιά εκμάθηση (deep learning), επιστήμη

---

<sup>11</sup> Πολλοί συγγραφείς συμφωνούν ότι τα εργαλεία ποιότητας οδήγησαν σε επιτυχημένη εφαρμογή της διασφάλισης ποιότητας, άλλοι όμως επισήμαναν τα μεγάλα ποσοστά αποτυχίας από την εφαρμογή του, ο Kaoru Ishikawa (ένας από τους μεγάλους θεωρητικούς της οργανωσιακής θεωρίας που αποτέλεσε κλειδί για την ανάπτυξη των πρωτοβουλιών ποιότητας στην Ιαπωνία) πρότεινε στις εταιρείες εξελιγμένα εργαλεία (Japanese seven) και ως αποτέλεσμα η αμερικανική κοινωνία ποιότητας (American Society for Quality, ASQ) αναφέρεται στα βασικά εργαλεία ως «τα βασικά επτά». (Djekić, και συν., 2023).

δεδομένων (data science) και τεχνολογίες γενικής εφαρμογής (enabling technologies), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Djekic, και συν., 2023) :

Βασικά επτά (Basic seven)	Ιαπωνικά επτά (Japanese seven)	Ποιότητα 4.0 επτά (Quality 4.0 seven)
Διάγραμμα ροής (Flow chart)	Διάγραμμα συνάφειας (Affinity diagram)	Artificial intelligence (Τεχνητή νοημοσύνη)
Διάγραμμα ελέγχου (Control chart)	Interrelationship diagram (Διάγραμμα αλληλεξάρτησης)	Big data (Μεγάλα δεδομένα)
Φύλλο ελέγχου (Check sheet)	Tree diagram (Διάγραμμα δέντρου)	Blockchain (Κρυπτοαλυσίδα)
Αίτιο και αποτέλεσμα (Cause and effect)	Matrix diagram (Διάγραμμα μήτρας)	Deep learning (Βαθιά μάθηση)
Ιστόγραμμα (Histogram)	Matrix data analysis (Ανάλυση δεδομένων μήτρας)	Machine learning (Μηχανική μάθηση)
Διάγραμμα Pareto (Pareto diagram)	Arrow diagram (Διάγραμμα βέλους)	Data science (Επιστήμη δεδομένων)
Διάγραμμα διασποράς (Scatter diagram)	Process decision program diagram (Διάγραμμα προγράμματος απόφασης διαδικασίας)	Enabling technologies (Τεχνολογίες γενικής εφαρμογής)

**Πίνακας 1: Εργαλεία Διαχείρισης και Διασφάλισης Ποιότητας**

#### **2.3.4.4 Η πολυπλοκότητα και δυσκολία της εφαρμογής βιώσιμου συστήματος εφοδιασμού τροφίμων και διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων**

Από όλα τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι για την υλοποίηση ενός βιώσιμου συστήματος τροφίμων που να είναι σε θέση να διαχειρισθεί αποτελεσματικά όλο τον κύκλο ζωής των τροφίμων (από την παραγωγή έως την ανακύκλωση / μεταποίηση των απορριμμάτων), απαιτείται εκτεταμένος ανασχηματισμός στο υπάρχον παγκόσμιο σύστημα τροφίμων έτσι ώστε αυτό να γίνει περισσότερο παραγωγικό, να συμπεριλάβει περισσότερο φτωχούς και περιθωριοποιημένους πληθυσμούς, ενώ συγχρόνως να είναι περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμο, ανθεκτικό σε μεταβολές και ικανό να προσφέρει σε όλους, υγιεινή και θρεπτική διατροφή, σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα και με χαμηλό κόστος. Αυτού του είδους όμως οι εξελίξεις δεν είναι καθόλου απλές ή γρήγορες διαδικασίες, διότι απαιτούν όχι μόνο αλλαγές στη μεθοδολογία και την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, αλλά και στην νοοτροπία και τις επικρατούσες αντιλήψεις γύρω από την γεωργία, την κτηνοτροφία, την αλιεία και γενικά την πρωτογενή διαχείριση των πηγών τροφίμων. Επιπρόσθετα, απαιτούν σημαντική αλλαγή του τρόπου σκέψης (mindset) και λειτουργίας (modus operandi) στην παραγωγή, διακίνηση, κατανάλωση και αποκομιδή των τροφίμων. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου και βιώσιμου συστήματος τροφίμων πρόκειται για μια πολυπαραγοντική, σύνθετη και συστημική πρόκληση που απαιτεί νέες τεχνολογίες, συνδυασμό προσπαθειών

και συντονισμένη δράση του δημοσίου και του ιδιωτικού φορέα σε τοπικό, εθνικό, περιφερειακό και τελικά παγκόσμιο επίπεδο. Ακόμη όμως και στην περίπτωση σχεδίασης και κατασκευής ενός τέτοιου συστήματος, η εφαρμογή θα αποτελέσει πρόκληση για όλους τους δρώντες της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων αλλά και των απορριμμάτων τους, γιατί πρωτίστως απαιτεί από όλους δεκτικότητα σε αλλαγές, υπευθυνότητα, αλλά και σοβαρές δεσμεύσεις.

## **2.4 Τα προβλήματα της κείμενης νομοθεσίας**

Η σπατάλη στα τρόφιμα και η δημιουργία αχρείαστων ποσοτήτων από απορρίμματα, δεν είναι αποκλειστικά προϊόν της υπερκατανάλωσης και της τάσης των σύγχρονων δυτικών κοινωνιών για συσσώρευση αγαθών και τροφίμων που τελικά καταλήγουν στα σκουπίδια. Σε πολλές περιπτώσεις, οι ίδιοι νόμοι που έχουν εφαρμογή και συχνά επινοήθηκαν για μεγάλες μεταποιητικές μονάδες και φέρμες τροφίμων, έχουν αρνητική επίδραση ή αποτελούν τροχοπέδη στην προσπάθεια μικρότερης κλίμακας αγροτικής παραγωγής να αποφύγει τη σπατάλη τροφίμων. Όσο και αν το τελευταίο φαντάζει υπερβολικό, πολλά νομικά ερωτήματα μπορεί να προκύψουν από απλές ενέργειες κοινής λογικής που όμως είναι δύσκολο να απαντηθούν. Στις ΗΠΑ αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές γιατί τους νόμους και τους κανονισμούς που διέπουν τα τρόφιμα επιτηρούν 15 διαφορετικές υπηρεσίες. Αν και οι USDA και FDA ελέγχουν τους περισσότερους νόμους για τα τρόφιμα, οι αρμοδιότητες τους συχνά έρχονται σε σύγκρουση ή επικαλύπτονται, συνθέτοντας ένα εξαιρετικά πολύπλοκο πλαίσιο. Το τελευταίο, καθιστά δύσκολο και δαπανηρό στον αγρότη, το λαχανοπώλη, τον εστίατορα αλλά και τις τράπεζες τροφίμων να παρακολουθούν και να ακολουθούν τους σχετικούς κανονισμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση καλλιεργητή ροδάκινων από το Μισισσιπή, του οποίου η σοδειά ωρίμασε μέσα σε δύο εβδομάδες και έτσι πάσχιζε να πουλήσει τα φρούτα του πριν σαπίσουν. Η μετατροπή των ροδάκινων σε προϊόντα μεγαλύτερης διάρκειας όπως σπιτικές πίτες ή μαρμελάδα, θα μπορούσε να δώσει λύση στο πρόβλημά του αλλά οι νόμοι θεωρούσαν παράνομη την πώληση τέτοιων προϊόντων. Η καθηγήτης δικαίου Emily Broad Leib και η ομάδα της, διαπίστωσαν ότι από το 2009 περίπου 30 πολιτείες στις ΗΠΑ είχαν επιτρέψει στους αγρότες να παράγουν και να πωλούν αυτά τα είδη προϊόντων χαμηλού κινδύνου, αφού λάβουν ένα μάθημα ασφαλείας. Έτσι, αφού συγκέντρωσαν στοιχεία από τους αγρότες του Μισισσιπή, στατιστικά στοιχεία υγείας και οικονομίας και ανέλυσαν παρόμοιους νόμους σε εθνικό

επίπεδο, προέτρεψαν το νομοθετικό σώμα του Μισισιπή να υιοθετήσει τέτοιες πολιτικές και τελικά το έπραξε δύο χρόνια αργότερα. (Sweet, 2021).

Αν σε ένα ήδη σύνθετο πλαίσιο νομοθεσίας που διέπει τα τρόφιμα και τη διάθεσή τους, προστεθεί η έλλειψη ευελιξίας των κρατικών μηχανισμών για άμεση αντίδραση και προσαρμογή στις περιστάσεις, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακόμη χειρότερα. Σύμφωνα με άρθρο του Jacob Sweet στο Harvard Magazine, η κλινική καθηγήτης δικαίου Emily Broad Leib, μια από τις ειδικούς στο χώρο των απορριμμάτων τροφίμων, παρατήρησε ότι μία απλή επίσκεψη σε ένα τοπικό λαχανοπωλείο στις ΗΠΑ, απροσδόκητα δημιουργεί πολλά ερωτηματικά. Συγκεκριμένα, ο μη τυποποιημένος τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται ταμπέλες και ημερομηνίες λήξης στα λαχανικά, δημιουργεί σε πολλές περιπτώσεις αδικαιολόγητες ανησυχίες στους καταναλωτές και οδηγεί σε αχρείαστη σπατάλη τροφίμων που ποτέ δεν καταναλώνονται. Μάλιστα, συχνά τα καταστήματα με βάση τις ημερομηνίες που αναγράφονται στις ετικέτες των τροφίμων, προτιμούν να απορρίψουν ασφαλή προς κατανάλωση τρόφιμα, διότι ανησυχούν ότι εάν τα δωρίσουν σε τράπεζες τροφίμων μπορεί να δεχθούν μηνύσεις. Συναφώς, σε πολλές τράπεζες τροφίμων δεν γίνονται δεκτά τρόφιμα των οποίων η ημερομηνία στην ετικέτα έχει παρέλθει, χωρίς να εξετάζεται η σημασία ή ακρίβεια αυτών που αναγράφονται στην εκάστοτε ετικέτα. Κατά τη διάρκεια της πανδημίας, καίτοι οι ανάγκες στις τράπεζες τροφίμων είχαν εκτιναχθεί, οι αγρότες αναγκάστηκαν να απορρίψουν περισσότερες ποσότητες από κάθε άλλη φορά. Καθώς εστιατόρια και σχολεία ήταν κλειστά, οι εφοδιαστικές αλυσίδες που προμήθευαν γαλακτοκομικά προϊόντα βρέθηκαν σε τέλμα και έτσι μόνο οι παραγωγοί γάλακτος υπολογίζεται ότι απέρριπταν περίπου 3,7 εκ. γαλόνια γάλα ημερησίως. Επιπρόσθετα, καθώς ο κόσμος σταμάτησε να βγαίνει έξω για φαγητό, η προσαρμογή της διανομής τροφίμων από τα εστιατόρια στα καταστήματα λιανικής, σήμαινε όχι μόνο την ανακατεύθυνση των τροφίμων αλλά και την απαίτηση τοποθέτησης ετικετών με τα διατροφικά στοιχεία, σε εφαρμογή της κείμενης νομοθεσίας από το υπουργείο γεωργίας των ΗΠΑ (USDA). Σε αυτή την περίπτωση, οι γραφειοκρατικές και νομικές διαδικασίες που δημιουργήθηκαν για την προστασία του καταναλωτή, τελικά δημιούργησαν κωλύματα (Sweet, 2021) και όπως η Emily Broad Leib, έγραψε στο άρθρο της “The Urgent Call for a National Food Strategy 2020” : *«Φαγητό κατάλληλο για κατανάλωση τελικά κατέληξε στα απορρίμματα όχι για κάποιο καλό λόγο, αλλά εξαιτίας της αργής αντίδρασης των αξιωματούχων της FDA»*. (Leib & Beyranevand, 2020). Καίτοι η αναδιανομή μη καταναλωθέντων τροφίμων ποτέ δεν ήταν



κάτι το εύκολο χωρίς κόστος, η πανδημία του COVID-19 μεγέθυνε τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα και έθεσε το πρόβλημα της σπατάλης τροφίμων σε κοινή θέα, περισσότερο από κάθε άλλη φορά.

Για τις μεγάλες εταιρείες, που καθορίζουν το κείμενο και τις ημερομηνίες των ετικετών στα τρόφιμα, η απόρριψη τροφίμων που η ημερομηνία κατανάλωσης τους έχει παρέλθει μπορεί να μην θεωρείται κάτι το αξιοσημείωτο. Από την οπτική όμως της σπατάλης τροφίμων έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς αυτού του είδους η σπατάλη προκαλεί ανασφάλεια στη διαθεσιμότητα των τροφίμων και προβληματισμό ως προς την αδυναμία ή τις δυσκολίες πρόσβασης σε ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα που προκλητικά αφήνεται να καταστραφούν αντί να διανεμηθούν. Τα «ληγμένα» τρόφιμα, τα απορρίμματα από εστιατόρια και υπηρεσίες εστίασης και άλλες συναφείς πηγές έφτασαν το 40% των απορριμμάτων τροφίμων το 2019, όταν το 10,5 % των νοικοκυριών στις ΗΠΑ ήταν ανασφαλή από πλευράς επάρκειας τροφίμων. Τον Απρίλιο του 2020, εν μέσω πανδημίας και έπειτα από τους περιορισμούς των οικονομικών δραστηριοτήτων και τις ανυπολόγιστες απώλειες θέσεων εργασίας, το ποσοστό ανασφάλειας στην εξασφάλιση τροφίμων είχε υπερδιπλασιαστεί αγγίζοντας το 22 – 38% του πληθυσμού. (Sweet, 2021).

## **2.5 Η διαχείριση αποβλήτων τροφίμων και η τυποποίηση κατά ISO**

Παρά τα προαναφερθέντα προβλήματα της κείμενης νομοθεσίας στη διαχείριση τροφίμων, ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Standardization Organization, ISO), έχει αναπτύξει πληθώρα προτύπων που βοηθούν τους οργανισμούς στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων και στη συμμόρφωσή τους με την νομοθεσία.

### **2.5.1 Το ISO 14001**

Ένα από τα βασικά πρότυπα που σχετίζεται με τη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων είναι το ISO 14001 για τα περιβαλλοντικά Συστήματα Διαχείρισης (Environmental Management Systems, EMS). Το ISO 14001 παρέχει ένα πλαίσιο εφαρμογής τέτοιων συστημάτων και βοηθά στη διαχείριση του αντίκτυπου στο περιβάλλον, τη βελτίωση της βιωσιμότητας και τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. (Hyseni, Vlerë, 2023). Αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι βιομηχανία τροφίμων ενέχει μία σειρά από σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις από την παραγωγή των πρώτων υλών έως τη συσκευασία και τη διανομή ολοκληρωμένων διατροφικών προϊόντων, τότε καθίσταται σαφές ότι η



εφαρμογή του συγκεκριμένου προτύπου παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετα, η προσαρμογή του ISO 14001 στις συγκεκριμένες ανάγκες της εφοδιαστικής αλυσίδας και της βιομηχανίας τροφίμων μπορεί να δημιουργήσει προσαρμοσμένες λύσεις που επικεντρώνουν σε τρεις βασικούς τομείς: Την αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων, τη διαχείριση των αποβλήτων και την βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα παραπάνω αποτελούν ένα αποφασιστικό βήμα προς το μετασχηματισμό και στροφή της βιομηχανίας τροφίμων σε βιώσιμα μοντέλα ανάπτυξης και τη χρήση περισσότερο οικολογικών και υπεύθυνων πρακτικών απέναντι στον άνθρωπο και το περιβάλλον. (Flexly Consulting, 2023).

### **2.5.2 Το ISO 22000**

Ένα επίσης σημαντικό πρότυπο τυποποίησης για τη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων είναι και το ISO 22000. Αν και το ίδιο το υπόψη πρότυπο δεν απευθύνεται ευθέως σε απόβλητα τροφίμων, αλλά στη διαχείριση ασφάλειας τροφίμων (Food Safety Management), η εφαρμογή του συνεισφέρει έμμεσα στην μείωση των απορριμμάτων τροφίμων με τη βελτίωση των διαδικασιών και τη μείωση των ρίσκων που μπορεί να οδηγήσουν στην παραγωγή αποβλήτων τροφίμων. Επιπρόσθετα, το ISO 22000 μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση πτυχών της σπατάλης τροφίμων, όπως η ιχνηλασιμότητα των συστατικών της παραγωγής, η διαχείριση της διάρκειας ζωής των τροφίμων και ο έλεγχος των προμηθευτών. (Hyseni, Vlerë, 2023).

### **2.5.3 Τα ISO 9001 και 50001**

Άλλα πρότυπα τυποποίησης που συνεισφέρουν έμμεσα στην διαχείριση της σπατάλης τροφίμων είναι το 9001 που αφορά στο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας (Quality Management System) και το 50001 που αφορά στο Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System). Τα συγκεκριμένα βοηθούν τους οργανισμούς να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες τους, να μειώσουν τα απόβλητα και να ενισχύσουν την απόδοσή τους.

### **2.5.4 Το υπό σύνταξη πρότυπο ISO/CD 20001**

Χαρακτηριστικό της αξίας και σπουδαιότητας που έχει αποκτήσει η ανάγκη τυποποίησης στην απώλεια τροφίμων και τη διαχείριση των αποβλήτων τους, είναι το υπό σύνταξη πρότυπο ISO 20001, το οποίο έρχεται να ικανοποιήσει αυτή ακριβώς την απαίτηση. Την

τυποποίηση δηλαδή των διαδικασιών για τον περιορισμό της απώλειας τροφίμων και των αποβλήτων τροφίμων με την παροχή ενός πλαισίου για τους οργανισμούς τροφίμων που λειτουργεί αποτελεσματικά σε όλη την αλυσίδα τροφίμων, από την παραγωγή έως τον τελικό καταναλωτή. Επιδίωξη αυτού του προτύπου σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τυποποίησης, είναι η δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης που να μετρά και να μειώνει αποτελεσματικά τις απώλειες και τα απόβλητα τροφίμων, να καταγράφει, να παρακολουθεί, να βελτιώνει και αναφέρει τις διαδικασίες που χρησιμοποιεί, καθώς και να καθορίζει μεθόδους μέτρησης συγκρίνοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να ανταποκρίνεται στις δυναμικές ανάγκες της αγοράς και να παρέχει σε κάθε οργανισμό που είναι άμεσα εμπλεκόμενος με την αλυσίδα τροφίμων τη δυνατότητα να:

- Σχεδιάζει, εφαρμόζει, λειτουργεί, συντηρεί και ανανεώνει ένα Σύστημα Διαχείρισης Απωλειών και Αποβλήτων Τροφίμων (Food Loss and Waste Management System, FLW-MS) που ελαχιστοποιεί τις απώλειες και τα απόβλητα τροφίμων εντός του εύρους των δραστηριοτήτων του.
- Συνεισφέρει στη μείωση απωλειών και αποβλήτων τροφίμων σε όλο το εύρος της αλυσίδας τροφίμων.
- Αξιολογεί τις απαιτήσεις μείωσης απωλειών και αποβλήτων τροφίμων όλων των ενδιαφερομένων πλευρών και αποδεικνύει την συμμόρφωση του προς αυτές.
- Γνωστοποιεί αποτελεσματικά θέματα απώλειας και αποβλήτων τροφίμων στα ενδιαφερόμενα μέρη της αλυσίδας τροφίμων.
- Διασφαλίζει ότι ο οργανισμός συμμορφώνεται με τη δηλωμένη πολιτική του σε θέματα απώλειας και αποβλήτων τροφίμων.
- Αποδεικνύει τη συμμόρφωση του στις συναφείς ενδιαφερόμενες πλευρές.
- Αναζητεί πιστοποίηση ή καταχώρηση του συστήματος διαχείρισης απωλειών και αποβλήτων τροφίμων από εξωτερικό οργανισμό ή να προβεί σε αυτό-αξιολόγηση ή υπεύθυνη δήλωση συμμόρφωσης με το παρόν πρότυπο.

Όλες οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου, υπό σχεδίαση πρότυπου τυποποίησης, θα είναι γενικές και εφαρμόσιμες από όλους τους οργανισμούς και δρώντες στην αλυσίδα τροφίμων ανεξαρτήτως μεγέθους και πολυπλοκότητας. Με τον τρόπο αυτό το υπόψη Διαχειριστικό Σύστημα Τυποποίησης θα επιτρέπει σε κάθε οργανισμό που εμπλέκεται με τα τρόφιμα<sup>12</sup> περιλαμβανομένων και μικρών ή/και λιγότερο ανεπτυγμένων<sup>13</sup> να εφαρμόζουν στοιχεία που έχουν αναπτυχθεί εξωτερικά, στο δικό τους σύστημα διαχείρισης απώλειών και αποβλήτων τροφίμων. (International Organization for Standardization (ISO) , χ.χ.). Τα παραπάνω αποδεικνύουν την ορθότητα της ολιστικής αντιμετώπισης του ζητήματος διαχείρισης των αποβλήτων τροφίμων και την ανάγκη επιδίωξης του μεγαλύτερου δυνατού βαθμού ευελιξίας, σε ένα σύστημα τυποποίησης που να συμπεριλαμβάνει κάθε δρώντα σε όλο το εύρος της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, ανεξαρτήτως του μεριδίου ή του οικονομικού του ίχνους στην αγορά τροφίμων. Ακόμη περισσότερο, δίνουν τη δυνατότητα σε κάθε δρώντα που εμπλέκεται στην αλυσίδα τροφίμων να δύναται να εφαρμόσει τους συγκεκριμένους κανόνες τυποποίησης, χωρίς ανάγκη ανάπτυξης εσωτερικών διαδικασιών με υψηλό κόστος σε πόρους και ανθρώπινο δυναμικό, αλλά με τη χρήση τρίτων υπηρεσιών από κατάλληλες εταιρίες πιστοποίησης. Το τελευταίο, δίνει το στίγμα των επιδιωκόμενων και επιθυμητών μελλοντικών εξελίξεων προς κοινές πρακτικές και τυποποίηση της διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο.

---

<sup>12</sup> Παραδείγματα τέτοιων οργανισμών περιλαμβάνουν : αγρότες, παραγωγούς τροφίμων για ζώα, κατασκευαστές τροφίμων, παρόχους μεταφορικών, αποθήκευσης και υπηρεσιών διανομής, εμπόρους λιανικής, τράπεζες τροφίμων, υπηρεσίες εστίασης κλπ.

<sup>13</sup> Όπως μικρές φάρμες, μικρής έκτασης συσκευαστές και διανομείς, μικρές λιανικές ή καταστήματα εστίασης.

### 3. Μέθοδοι διαχείρισης και στρατηγικές πρόληψη και μείωσης των αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων

Κατ' αντιστοιχία με την πυραμίδα ιεραρχίας ανάκτησης των τροφίμων της US EPA που παρουσιάσαμε στην παράγραφο 2.1, η πυραμίδα ιεραρχίας στη διαχείριση αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων περιέχει σειρά επιλογών που από την περισσότερο έως τη λιγότερο επιθυμητή είναι οι :

- Πρόληψη (Prevention)
- Ελαχιστοποίηση (Minimization)
- Επαναχρησιμοποίηση (Reuse)
- Ανακύκλωση (Recycling)
- Απόρριψη (Disposal)

Μία τέτοια ιεραρχία φαίνεται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα. (Hyseni, Vlerë, 2023)



Σχήμα 5: Η ιεραρχία διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων

#### 3.1 Συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και τα προβλήματά τους

Το μοντέλο της γραμμικής οικονομικής ανάπτυξης που θεμελιώθηκε από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, επέφερε αφθονία και στον τομέα των τροφίμων για τις ανεπτυγμένες χώρες. Ωστόσο η γραμμική φύση του συγκεκριμένου μοντέλου και η πρακτική του, που προβλέπει την αλόγιστη εκμετάλλευση των πρώτων υλών και φυσικών

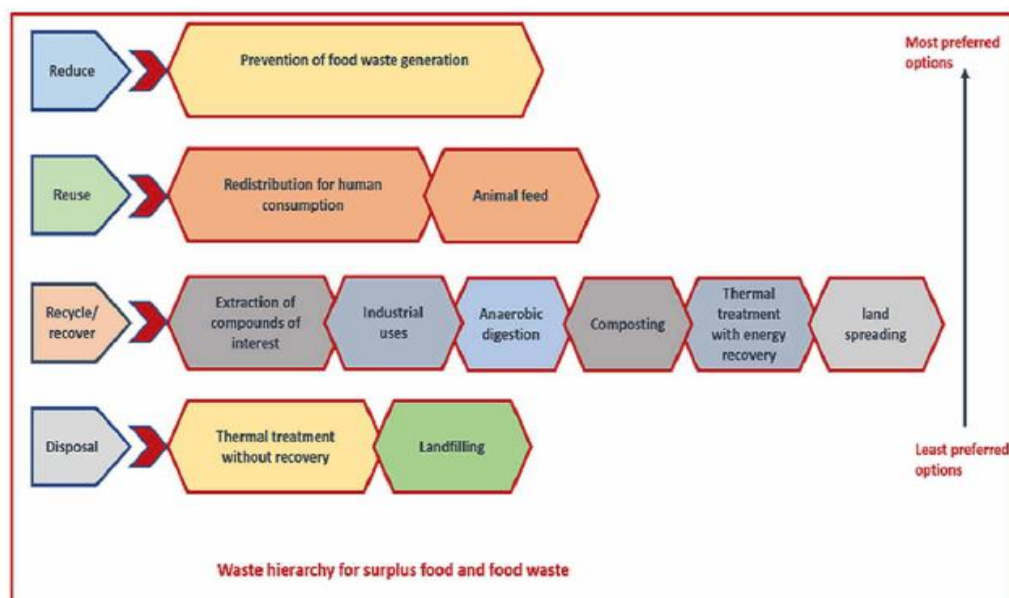
πόρων, την διαρκώς αυξανόμενη μαζική παραγωγή και την δημιουργία απορριμμάτων χωρίς καμία πρόβλεψη διαχείρισης τους, μοιραία δεν θα μπορούσε να συνεχιστεί επ' άπειρο σε μία παγκόσμια πραγματικότητα όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι και τα απορρίμματα συσσωρεύονται. Οι συνέπειες αυτής της προσέγγισης έγιναν ορατές στην περιβαλλοντική καταστροφή, την αποστράγγιση των φυσικών πόρων του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή (Ellen MacArthur Foundation, χ.χ.). Επιπρόσθετα, στο πρόβλημα διαχείρισης του μεγάλου όγκου ρύπων και αποβλήτων που έφερε η προηγμένη βιομηχανική ανάπτυξη, προστέθηκε και αυτό της διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων, καθώς η συνηθισμένη πρακτική της απόρριψη αποβλήτων τροφίμων και άλλων οργανικών υλικών που περιέχουν τα στερεά αστικά απόβλητα σε χώρους υγειονομικής ταφής, αποδείχθηκε επιβλαβής για το περιβάλλον και για το λόγο αυτό βρίσκεται συνήθως στο τέλος (ως τελική λύση) κάθε πυραμίδα ιεραρχίας στην ανάκτηση ή διαχείριση αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων.

Η παραδοσιακή προσέγγιση στη διαχείριση των αποβλήτων τροφίμων ακολουθεί το τρίπτυχο των τριών R : Μείωση (Reduce), επαναχρησιμοποίηση (Reuse) και Ανακύκλωση (Recycle), όπου η μείωση αφορά στην ελάχιστη ποσότητα φαγητού που μπορεί κάθε ένας να καταναλώσει, η επαναχρησιμοποίηση στην χρήση του φαγητού που έχει μαγειρευτεί για περισσότερο χρόνο (παραπάνω από μία ημέρα) και η ανακύκλωση στη συλλογή των υπολειμμάτων που δεν μπορούν να καταναλωθούν πλέον και τη βιομηχανική τους επεξεργασία για παρασκευή βιοκαυσίμων, αιθανόλης και άλλων ενεργειακών προϊόντων (Pandey, και συν., 2019). Ως επέκταση της παραδοσιακής προσέγγισης η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (EPA) το 2021 παρουσίασε την ιεραρχία ανάκτησης του φαγητού, με σκοπό την ανακατανομή και επεξεργασία του, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (US EPA, 2021):



**Σχήμα 6: Η ιεραρχία ανάκτησης τροφίμων της EPA**

Στην προσέγγιση αυτή, υφίσταται η πρόβλεψη για μείωση στο στάδιο παραγωγής, έτσι ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή πλεονάσματος τροφίμων που εφόσον δεν καταναλωθούν γίνονται απορρίμματα. Αντίστοιχα, η επόμενη φάση στην παραδοσιακή διαχείριση που είναι η επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων, αναλύεται πλέον σε τρόφιμα που δωρίζονται για την εξάλειψη της πείνας και απορρίμματα τροφίμων (συνήθως μη κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση) τα οποία δρομολογούνται για την νομή ζώων. Η φάση της ανακύκλωσης αναλύεται σε βιομηχανική χρήση των απορριμμάτων τροφίμων και ελαίων για ανάκτηση ενέργειας με τη μετατροπή τους σε καύσιμα μέσω διαδικασίας χώνευσης (digestion). Επίσης στη φάση της ανακύκλωσης μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει και η κομποστοποίηση (composting) για την μετατροπή των απορριμμάτων τροφίμων σε βελτιωτικό εδάφους πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά. Ως τελευταία λύση για την απαλλαγή από τα απορρίμματα τροφίμων, παρουσιάζεται η καύση (incineration) και η εναπόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής (landfill). Μία πιο αναλυτική προσαρμογή αυτής της προσέγγισης σε αντιστοιχία με το τρίπτυχο Μείωση, Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση (Reduce, Reuse, Recycle), η οποία περιέχει και τον παράγοντα ανάκτηση (recover) στην ανακύκλωση και βιομηχανική χρήση των απορριμμάτων τροφίμων, αλλά και τις τελικές (και λιγότερο επιθυμητές) λύσεις της θερμικής επεξεργασίας ή της υγειονομικής ταφής, φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (Pandey, και συν., 2019) :



Σχήμα 7: Η μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και απόρριψη των απορριμμάτων τροφίμων.

Όπως γίνεται φανερό από το παραπάνω διάγραμμα, η διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων, στο στάδιο της επαναχρησιμοποίησης δεν αφορά ουσιαστικά σε μη βρώσιμα απορρίμματα τροφίμων, αλλά σε εύχρηστες και βρώσιμες ποσότητες που μπορούν να διοχετευθούν στην κατανάλωση από ανθρώπους ή να μετατραπούν σε ζωοτροφές (όταν δεν μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση). Τα επόμενα στάδια της ανακύκλωσης/ανάκτηση και απόθεσης, αφορούν στην επεξεργασία απορριμμάτων τροφίμων με διάφορες μεθόδους, όταν σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να θεωρηθούν πλέον βρώσιμα.

### **3.1.1 Η επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων**

#### **3.1.1.1 Η δωρεά τροφίμων**

Η δωρεά τροφίμων και ουσιαστικά η ανακατανομή κατάλληλων τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση τα οποία σε διαφορετική περίπτωση θα κατέληγαν να γίνουν απόβλητα, δείχνει ως η βέλτιστη επιλογή για τη διαχείριση τροφίμων καθώς σε αυτή την περίπτωση τα τρόφιμα χρησιμοποιούνται για το σκοπό για τον οποίο παράχθηκαν. Με τον τρόπο αυτό, πλεονάσματα τροφίμων μπορούν να διοχετευθούν σε αυτούς που τα έχουν ανάγκη, μέσω τραπεζών τροφίμων και φιλανθρωπικών οργανώσεων. Αν και οι περισσότερες δωρεές τροφίμων προέρχονται από τους δρώντες στην αρχή ή το τέλος της αλυσίδας εφοδιασμού, δηλαδή : αγρότες, παραγωγούς τροφίμων, διανομείς και λιανική, κοινωνικές οργανώσεις και σχολεία, όλοι οι δρώντες στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων μπορούν να γίνουν δωρητές τροφίμων, περιλαμβανομένων των χονδρεμπόρων, μεσαζόντων, επιχειρήσεων εστίασης, ξενοδοχείων αλλά και τελικών καταναλωτών (US EPA, 2024).

Φυσικά, τα τρόφιμα πρέπει να είναι κατάλληλα για κατανάλωση και να έχουν υποστεί την κατάλληλη προς τούτο επεξεργασία, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι τα προσφερόμενα τελικά προϊόντα πρέπει απαραίτητα να έχουν τα πλήρη χαρακτηριστικά χρήσης αυτών που εμφανίζονται στο ράφι της λιανικής. Αρκεί να προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και διανομή και να πληρούν τους συναφείς κανονισμούς τροφίμων. Στην ΕΕ υφίσταται σαφής νομοθεσία που καλύπτεται από το Γενικό Νόμο Τροφίμων, το Πακέτο Υγιεινής Τροφίμων, τον κανονισμό EU 1169/2011 και τη νομοθεσία φορολογίας. Στις ΗΠΑ, αναφορά του τμήματος νομικής του Harvard το 2018, έπειτα από έρευνα σε 50 πολιτείες των ΗΠΑ, επιβεβαίωσε έως εκείνη την εποχή ότι η νομοθεσία, οι κανονισμοί και κατευθύνσεις που αφορούν στην ασφάλεια τροφίμων είχαν διαφορές από πολιτεία σε



πολιτεία, δεν ήταν πλήρεις, ενώ πολλές πολιτείες δεν υπήρχαν καν κανονισμοί ή κατευθύνσεις στο συγκεκριμένο ζήτημα. (Leib, Chan, Hua, Nielsen, & Sandson, 2018). Μόνο με τον κώδικα τροφίμων που εκδόθηκε το 2022 από τη Διαχείριση Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA), έγινε δυνατή η δωρεά τροφίμων από τα καταστήματα λιανικής υπό την προϋπόθεση υιοθέτησης κατάλληλων πρακτικών ασφάλειας. Τελικά σήμερα είναι δυνατή η δωρεά πολλών μη αλλοιωμένων τροφίμων σε τράπεζες τροφίμων, κυλικεία και καταφύγια ευπαθών ομάδων, ενώ υφίστανται και προβλέψεις για φορολογικές ελαφρύνσεις στις εταιρίες που προβαίνουν σε δωρεές τροφίμων. (US EPA, 2024).

Παρά το γεγονός ότι οι δωρεές φαγητού ωφέλησαν μεγάλες μερίδες του πληθυσμού και οι νόμοι σε πολλές χώρες προστατεύουν τους δωρητές τροφίμων από νομικές ευθύνες (εφόσον δεν υπάρχει σκοπιμότητα), πολλά καταστήματα λιανικής έχουν ακόμη ενδοιασμούς για πιθανή αρνητική δημοσιότητα ή ζημιά της εταιρικής τους φήμης, η οποία μπορεί να προκύψει από τον ακατάλληλο χειρισμό της δωρεάς τους. Πέρα δε από τα νομικά και κοινωνικά προβλήματα των δωρεών, υπάρχει ένα φυσικό όριο στην ποσότητα των πλεοναζόντων τροφίμων που μπορούν να καταναλωθούν από τους πληθυσμούς που βρίσκονται σε ανάγκη γιατί πολλές φορές περιέχουν συγκεκριμένες κατηγορίες τροφίμων με περιορισμένη διάρκεια ζωής όπως τα προϊόντα αρτοποιίας ή τα γαλακτοκομικά, ενώ σε άλλες περιπτώσεις περιέχουν συνδυασμούς τροφίμων υψηλής διατροφικής αξίας, αλλά και χαμηλής όπως γλυκά και αναψυκτικά για τα οποία οι τράπεζες τροφίμων συχνά έχουν πολιτική που αντιτίθεται στη διανομή τους. Όπως και να έχει, στις ΗΠΑ ακόμη και αν τα 1,1 εκ. τόνοι δωρεάς τροφίμων (στοιχεία 2016) έφταναν τα 5,5 εκ. τόνους (αύξηση 500%) το ποσοστό της δωρεάς τροφίμων που δεν καταλήγει τελικά σε χώρους υγειονομικής ταφής θα ήταν μικρότερο του 10% (Trabold & Nair, 2018, σσ. 33-34)

### **3.1.1.2 Η παραγωγή ζωοτροφών**

Παραδοσιακά, η χρήση υπολειμμάτων τροφίμων για τη εκτροφή ζώων στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες ήταν συνήθης τακτική στο παρελθόν. Ωστόσο αυτό άλλαξε δραστικά τις τελευταίες 3 δεκαετίες, μετά από αρκετές ασθένειες και πανδημίες στα ζώα που αποδόθηκαν στη χρήση ζωοτροφών που προέρχονται από ζωικά υποπροϊόντα, όπως η σπογκώδης εγκεφαλοπάθεια (Bovine Spongiform Encephalopathy, BSE), γνωστή στο ευρύτερο κοινό ως «ασθένεια των αγελάδων» ή «ασθένεια των τρελών αγελάδων». Αυτό οδήγησε σε μία σειρά από περιορισμούς και νόμους που επέτρεψαν την ελεγχόμενη χρήση

απορριμμάτων τροφίμων σε ζωοτροφές, μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Οι παγκόσμιοι περιορισμοί στη σύσταση των ζωοτροφών που προέρχονται από υπολείμματα τροφίμων δεν εξάλειψαν την πρακτική αυτή, αλλά σίγουρα άλλαξαν την κλίμακα εφαρμογής, καθιστώντας την περισσότερο ελεγχόμενη και βιομηχανοποιημένη. Ωστόσο, οι απαιτήσεις θερμικής επεξεργασίας των απορριμμάτων τροφίμων σε ασφαλείς ζωοτροφές σε συνάρτηση με τη διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος εισαγόμενων ζωοτροφών, σε πολλές περιπτώσεις κατέστησαν την εγχώρια παραγωγή ζωοτροφών μη αναγκαία. (Trabold & Nair, 2018, σ. 34). Γενικά τα μικτά απορρίμματα τροφίμων που περιέχουν ζωικά υποπροϊόντα και δεν έχουν ως κύριο συστατικό το κρέας, εφόσον δεν είναι αλλοιωμένα, μπορούν με κατάλληλη επεξεργασία να μετατραπούν σε ζωοτροφή. Αντίστοιχα αυγά και γαλακτοκομικά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφόσον υποστούν επεξεργασία ανάλογη με αυτή που απαιτείται για την κατανάλωσή τους από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΕΕ πολλά από τα ζωικά υποπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή ζωοτροφών εφόσον δεν περιέχουν δέρμα, οπλές, φτερά, μαλλί, κέρατα, τρίχες, γούνα, λιπώδη ιστό και υπολείμματα τροφίμων από εταιρίες εστίασης. Περαιτέρω, είναι σημαντικό απορρίμματα τροφίμων που περιέχουν διαφορετικές κατηγορίες ζωικών υποπροϊόντων να ακολουθούν χειρισμό και επεξεργασία ανάλογη με το υποπροϊόν που ενέχει τον μεγαλύτερο κίνδυνο αλλοίωσης. (Garcia-Garcia, και συν., 2017). Όπως φαίνεται, τα παραπάνω έχουν κάνει την παραγωγή ζωοτροφών από απορρίμματα τροφίμων πολύ πιο ασφαλή, αλλά συγχρόνως περισσότερο σύνθετη και ακριβή από πλευράς κόστους και διαδικασιών επεξεργασίας.

Χώρες που έχουν πετύχει αποτελεσματική παραγωγή ζωοτροφών από απορρίμματα τροφίμων είναι η Ιαπωνία και η Κορέα. Σε αντίθεση με την προσέγγιση των ΗΠΑ και της ΕΕ για περιορισμούς στα απορρίμματα τροφίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτροφή ζώων και τα συστατικά τους, στην Ιαπωνία και Κορέα η παραγωγή ζωοτροφών από απορρίμματα και υπολείμματα τροφίμων στηρίζεται περισσότερο στην προεπεξεργασία αυτών και τους αυστηρούς ποιοτικούς ελέγχους του τελικού προϊόντος πριν διατεθεί στην αγορά. Ωστόσο, η επιτυχία αυτής της προσέγγισης δεν οφείλεται στην ιδιωτική πρωτοβουλία, αλλά κυρίως στα δραστικά μέτρα και παρεμβάσεις των κυβερνήσεων. Η ιαπωνική κυβέρνηση ήταν αυτή που ενίσχυσε την ανάπτυξη της βιομηχανίας εκποίησης απορριμμάτων τροφίμων σε ζωοτροφές με το να επιβάλει στόχους μείωσης των απορριμμάτων τροφίμων σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς και ιδιωτικούς

φορείς κάθε μεγέθους και επίσης, με το να προάγει με τα ανάλογα οικονομικά κίνητρα μία πιστοποιημένη πρακτική εκτροφής ζώων (Ecofeed) με ζωοτροφές των οποίων τουλάχιστον το 20% της σύστασής τους αποτελείται από υπολείμματα τροφίμων που προέρχονται από μία μεγάλη ποικιλία και περιλαμβάνουν υποπροϊόντα της βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων, πλεονάζουσες ποσότητες τροφίμων που δεν χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τους, μαγειρεμένα υπολείμματα των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων εστίασης. Έτσι, ήδη από το 2007 στην Ιαπωνία περί το 45% των συνολικά παραγόμενων απορριμμάτων τροφίμων, είχε χρήση στην παραγωγή ζωοτροφών. Αντίστοιχα στην Κορέα, με κυβερνητική πρωτοβουλία αποφασίσθηκε η ευρεία μείωση των απορριμμάτων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, αλλά και η προαγωγή μίας αυξανόμενης χρήσης των απορριμμάτων τροφίμων σε ζωοτροφές. Το κεντρικό σχέδιο της κορεατικής κυβέρνησης για μείωση των απορριμμάτων τροφίμων το 1996 προέβλεπε αρχικά την ανακύκλωση των απορριμμάτων τροφίμων από τους εμπορικούς παραγωγούς και το διαχωρισμό των οικιακών απορριμμάτων τροφίμων από τα αστικά στερεά απόβλητα. Την παραπάνω πρωτοβουλία ακολούθησε ακόμη μεγαλύτερη κρατική παρέμβαση με την κατάργηση της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων τροφίμων το 2005 και την εισαγωγή προστίμου ανάλογα με τον όγκο των παραγόμενων αποβλήτων τροφίμων. Αυτά είχαν ως αποτέλεσμα σε βάθος 5ετίας (από το 2001 έως το 2006) την σχεδόν οριστική απαλοιφή της αποτέφρωσης και υγειονομικής ταφής των αποβλήτων τροφίμων και την ποσοστιαία άνοδο της παραγωγής ζωοτροφών από τροφικά απορρίμματα στο 43%, αλλά και της κομποστοποίησης στο 43%. (Trabold & Nair, 2018)

### **3.1.2 Οι μέθοδοι ανακύκλωσης και επεξεργασίας των απορριμμάτων τροφίμων**

#### **3.1.2.1 Η Κομποστοποίηση (Composting)**

##### **3.1.2.1.1 Οι βασικές αρχές της κομποστοποίησης**

Η κομποστοποίηση (composting) ή λιπασματοποίηση (στα ελληνικά), αποτελεί μία μέθοδο αερόβιας βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών υλικών από μικροοργανισμούς. Ουσιαστικά πρόκειται για μία ελεγχόμενη μέθοδο αποσύνθεσης οργανικών ενώσεων (που βασίζονται στον άνθρακα) και περιλαμβάνουν οργανικά υλικά που ποικίλουν από φύλλα και τρίμματα ξύλου, έως απορρίμματα και υπολείμματα τροφίμων, καθώς και βίο-στερεά απόβλητα. Ανεξάρτητα από το μέγεθος και την κλίμακα, οι βασικές αρχές της κομποστοποίησης είναι οι ίδιες. Η διαδικασία απαιτεί μία κατάλληλη αναλογία άνθρακα

και άζωτου (C : N) και ως εκ τούτου απαιτεί συγκεκριμένες ποσότητες από υλικά πλούσια σε άνθρακα όπως φύλλα και ξύσματα ξύλου και υλικά πλούσια σε άζωτο όπως τα απορρίμματα και υπολείμματα τροφίμων. Είναι σημαντικό να διατηρείται μία αναλογία κοντά στην ιδεατή που είναι περίπου 3 μέρη υλικών πλούσιων σε άνθρακα έναντι 1 μέρους υλικών πλούσιων σε άζωτο (δηλαδή C:N = 30:1 σε όρους ποσοτήτων στοιχειώδους άνθρακα προς άζωτο), διότι καθώς τα μικρόβια σε ένα σωρό κομποστοποίησης μετατρέπουν τους υδρογονάνθρακες από τα πλούσια σε άνθρακα υλικά σε ενέργεια για το μεταβολισμό και την αναπνοή τους, χρησιμοποιούν επίσης τις πρωτεΐνες από τα πλούσια σε άζωτο υλικά για την ανάπτυξη και αναπαραγωγή τους. Μία κακή αναλογία C : N, μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστες οσμές, έλξη τρωκτικών και ζιζανίων ή μη ολοκληρωμένη αποσύνθεση των υλικών στο σωρό. Επιπρόσθετα, λόγω της αερόβια φύσης της συγκεκριμένης οργανικής διαδικασίας, απαιτείται η επάρκεια σε οξυγόνο και υγρασία έτσι ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για τη χώνευση και την διάσπαση των οργανικών υλικών.

Η ίδια η δομή και το μέγεθος των υλικών στο σωρό της κομποστοποίησης παίζει ρόλο, διότι το μέγεθος των σωματιδίων / απορριμμάτων και η πυκνότητα του συνολικού σωρού των οργανικών υλικών, επηρεάζει τα επίπεδα οξυγόνου και υγρασίας. Ενώ τα μικρότερα σωματίδια υλικών είναι σημαντικά γιατί παράγουν ένα περισσότερο ομογενές αποτέλεσμα και παρέχουν θερμομόνωση στο σωρό, τα μεγαλύτερα σωματίδια είναι επίσης απαραίτητα, γιατί παρέχουν χώρο για την κυκλοφορία του αέρα και του νερού στο σωρό, παρά το γεγονός ότι πολλές φορές αφήνουν υπολείμματα που δεν έχουν διασπαστεί. Ιδεατή είναι η ύπαρξη ισορροπίας στο μέγεθος των προς κομποστοποίηση υλικών διότι έτσι επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αναλογία πυκνότητας και διαπερατότητας (από αέρα και υγρασία). Εξίσου απαραίτητη είναι και η ύπαρξη ισορροπίας στην ποσότητα υγρασίας στο σωρό. Ενώ η υγρασία που περιέχουν τα υπολείμματα και απορρίμματα τροφίμων είναι απαραίτητη για την επιβίωση των μικροοργανισμών στην κομποστοποίηση και βοηθά στη μεταφορά των ουσιών μέσα στο σωρό, υπερβολική ποσότητα νερού που μπορεί να προέρχεται από βροχή ή εσκεμμένο πότισμα του σωρού δύναται να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συνθήκες έλλειψης του απαραίτητου οξυγόνου. Επειδή το τελευταίο είναι απαραίτητο στην κομποστοποίηση που είναι αερόβια διαδικασία, ο αερισμός του σωρού είναι πολύ σημαντικός και έτσι η διοχέτευση αέρα μέσω αεραγωγών αλλά και η προσθήκη στο σωρό ξύλινων ξυσμάτων και ξερών φύλλων βοηθά σημαντικά τη διαδικασία. Τέλος σημαντικές είναι και οι συνθήκες

θερμοκρασίας στο σωρό, καθώς η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στους σωρούς κομποστοποίησης ευνοείται σε ένα περιβάλλον με θερμοκρασίες από 55 έως 71° C ή παραπάνω για ένα διάστημα αρκετών ημερών το οποίο εξαρτάται από τη μέθοδο κομποστοποίησης, προκειμένου να μειωθούν οι παθογόνοι οργανισμοί. Καθώς τα υλικά αποσυντίθενται η θερμοκρασία του σωρού αυξάνεται αρχικά και μετά μειώνεται. Αναλυτικά στοιχεία για τη διαδικασία της κομποστοποίησης φαίνονται στο Παράρτημα «Α». Τελικά το αποτέλεσμα της διεργασίας δημιουργεί ένα είδος σκουρόχρωμου χώματος (compost) το οποίο είναι πλούσιο σε οργανικά και ανόργανα συστατικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή βελτιωτικό εδάφους στις καλλιέργειες.

Αν και η κομποστοποίηση μπορεί να γίνει σε διάφορα μεγέθη και κλίμακες που εκτείνονται από τα νοικοκυριά και τις κοινότητες, έως τις φάρμες παραγωγής και έργα μεγάλης υποδομής στην επεξεργασία αποβλήτων τροφίμων σε επίπεδο Δήμων και ολόκληρων περιοχών, η μέθοδος και ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την κλίμακα, το μέγεθος, την ποσότητα των υλικών αλλά και την προέλευσή τους. Επιπρόσθετα, υλικά ζωικής προέλευσης δεν γίνονται αποδεκτά σε κάθε εγκατάσταση κομποστοποίησης διότι τέτοια υλικά πρέπει να ελέγχονται για παθογόνους οργανισμούς λόγω αλλοίωσης και πρέπει να ξεχωρίζονται από τις τυχόν μη βιοδιασπώμενες συσκευασίες τους. Σε αποκεντρωμένες και μικρές κλίμακες, όπως η σπιτική κομποστοποίηση που μπορεί να γίνει στο επίπεδο των νοικοκυριών σε ένα μικρό σωρό σε ανοικτό χώρο ή ένα δοχείο απορριμμάτων, δεν περιλαμβάνονται υλικά ζωικής προέλευσης όπως το κρέας, τα κόκκαλα και γαλακτοκομικά προϊόντα. Σε συγκεντρωτικές και μεγάλης κλίμακας μονάδες εμπορικής και βιομηχανικής κομποστοποίησης, η συλλογή μεγάλων ποσοτήτων γίνεται σε μεγάλα κλειστά δοχεία ή σιλό (in vessel composting), με μηχανική ανάδευση υλικών και ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, αερισμού και υγρασίας. (US EPA, 2023).

#### **3.1.2.1.2 Μέθοδοι κομποστοποίησης και τύποι κομποστοποιητών**

Οι διάφοροι μέθοδοι κομποστοποίησης χρησιμοποιούν διαφορετικές διατάξεις κομποστοποιητών και γενικά έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό, ενέργεια, διάρκεια λειτουργίας, χώρου και όγκου υλικών. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και τύπου κομποστοποιητή, λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω απαιτήσεις είναι σημαντική για την επιτυχία του όλου εγχειρήματος σε ένα πρόγραμμα κομποστοποίησης. Γενικά μερικές από τις βασικότερες μεθόδους περιλαμβάνουν: την κομποστοποίηση

στατικού σωρού / κάδου με παθητικό αερισμό, την κομποστοποίηση στατικού σωρού με ενεργό σύστημα αερισμού, την κομποστοποίηση σε σειρές και την κομποστοποίηση σε δοχείο (ή σκάφος).

### **Κομποστοποίηση στατικού σωρού / κάδου με παθητικό αερισμό (Static Pile/bin with passive aeration)**

Αυτού του είδους οι σωροί, ελεύθεροι ή σε κάδους, είναι οι πιο απλοί σε χρήση και συντήρηση και προορίζονται συνήθως για μικρές γενικά ποσότητες υλικών, είτε για οικιακή χρήση, είτε στο πλαίσιο κοινοτήτων και αγροκτημάτων. Στηρίζονται στον παθητικό αερισμό τους που προκαλείται από κίνηση του αέρα που θερμαίνεται από τη βακτηριακή δραστηριότητα στη σωρό και ανέρχεται στην κορυφή του σωρού, ενώ ψυχρός αέρας τον αντικαθιστά από τις διάφορες πλευρές και την βάση του σωρού. Είναι σημαντικό να υπάρχει ικανή ποσότητα αέρα για τον αερισμό του σωρού, ενώ η προσθήκη υλικών όπως τα ξύσματα ξύλου (ροκανίδια) διογκώνουν το σωρό και επιτρέπουν την καλύτερη κυκλοφορία του αέρα. Επιπρόσθετα, η συχνή ανάδευση του σωρού είναι σημαντική γιατί ενισχύει την ομοιόμορφη αποσύνθεση των υλικών. Η μέθοδος αυτή δεν θερμαίνει αρκετά τη σωρό ώστε να μπορεί να διασπάσει υλικά όπως κρέατα, κόκκαλα και γαλακτοκομικά προϊόντα και για το λόγο αυτό στους οικιακούς κομποστοποιητές τα παραπάνω αποφεύγονται. Οι κάδοι κομποστοποίησης συνήθως φτιάχνονται από σύρμα, ξύλο αλλά για μικρές ποσότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και βαρέλια. Πολύ δημοφιλές είναι το σύστημα των 3 βαρελιών, με κάθε βαρέλι να περιέχει κομποστοποιημένο υλικό/χώμα (compost) σε διαφορετικά στάδια αποσύνθεσης, από νέα υλικά έως πλήρως κομποστοποιημένο χώμα. (US EPA, 2023).

### **Κομποστοποίηση στατικού σωρού με ενεργό αερισμό (static pile with active aeration)**

Στην μέθοδο αυτή, οι σωροί κομποστοποίησης αερίζονται με συστήματα ανεμιστήρων και επιτρέπουν την εσωτερική κυκλοφορία του αέρα στη σωρό, είτε διοχετεύοντας αέρα μέσα από σωλήνες κάτω ή μέσα στη σωρό (θετικός αερισμός), είτε ρουφώντας τον αέρα από τη σωρό (αρνητικός αερισμός). Τα συστήματα αερισμού ενεργοποιούνται με χρονοδιακόπτη ή αισθητήρα θερμοκρασίας και συνήθως οι σωροί είναι καλυμμένες για να διατηρούν τα επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας. Αυτή η μέθοδος επιταχύνει την διαδικασία της κομποστοποίησης ελέγχοντας τις συνθήκες που επικρατούν στη σωρό και μπορεί να



λειτουργήσει με μεγάλες ποσότητες οργανικών πρώτων υλικών κάθε τύπου. (US EPA, 2023).

### **Κομποστοποίηση σε σειρές (Windrow)**

Σε αυτή τη μέθοδο, οι σωροί απλώνονται σε μακριές σειρές με εύρος συνήθως διπλάσιο από το ύψος τους εφόσον υπάρχει ο ανάλογος χώρος και αποτελούν την πιο συνηθισμένη μέθοδο κομποστοποίησης στις ΗΠΑ. Οι σειρές των σωρών αναδεύονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα, ή κάτω από τους σωρούς τοποθετούνται σωληνώσεις αεραγωγών για τον καλύτερο αερισμό τους. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να κομποστοποιηθούν διάφορες ποσότητες και είδη οργανικών υλικών σε διαφορετικές κλίμακες, σε μεγαλύτερες όμως κλίμακες απαιτείται αρκετή εργασία, ενώ συχνά χρησιμοποιείται μηχανικός εξοπλισμός και οχήματα όπως φορτωτές, εκσκαφείς και αναδευτές / γαιοδιαμορφωτές. (US EPA, 2023).

### **Κομποστοποίηση σε σκάφος (in-vessel composting) / βιο-αντιδραστήρας (bioreactor)**

Αυτή η μέθοδος κομποστοποίησης γίνεται σε σκάφος (κλειστό δοχείο) και μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλη ποικιλία οργανικών υλικών χωρίς να καταλαμβάνει μεγάλο σχετικά χώρο. Τα υλικά φορτώνονται σε ένα σκάφος σε σχήμα τυμπάνου, σιλό, τάφρο με επένδυση σκυροδέματος, ή παρόμοιο κλειστό δοχείο και αναδεύονται με μηχανικό εξοπλισμό, ή αναμιγνύονται με διογκωτικά υλικά όπως ξύσμα ξύλου, για να εξασφαλίζεται ο αερισμός. Αυτού του τύπου τα σκάφη / δοχεία είναι επίσης γνωστά και ως βιο-αντιδραστήρες και έχουν διάφορα μεγέθη και χωρητικότητες. (US EPA, 2023).

#### **3.1.2.2 Η αναερόβια χώνευση (Anaerobic Digestion, AD)**

Γενικά η αναερόβια χώνευση είναι η φυσική διεργασία διάσπασης των οργανικών υλικών από μικροοργανισμούς. Αν και θυμίζει την κομποστοποίηση, διαφέρει από την τελευταία γιατί στην συγκεκριμένη περίπτωση η διαδικασία είναι αναερόβια, δηλαδή χωρίς την παρουσία αέρα και φυσικά γίνεται αποκλειστικά σε κλειστά δοχεία. Επιπρόσθετα, η συγκεκριμένη διαδικασία δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας όχι μόνο υπολειμμάτων και απορριμμάτων τροφίμων, αλλά μίας μεγάλης γκάμας οργανικών αποβλήτων από κοπριά ζώων και υπολείμματα ελαίων και λιπών, έως και βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και βιο-στερεά υπονόμων και αποχετεύσεων. Η αναερόβια χώνευση δίνει ως παράγωγα το βιο-αέριο που περιέχει κυρίως μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), καθώς και μικρή ποσότητα ατμών νερού και άλλων αερίων, που δημιουργούνται όταν οι διάφοροι μικροοργανισμοί διασπούν τα οργανικά απορρίμματα ή απόβλητα απουσία οξυγόνου. Το



υλικό που μένει μετά την αναερόβια χώνευση (digestate), είναι ένα μίγμα με μεγάλη ποσότητα υγρασίας που συνήθως διαχωρίζεται σε στερεό και υγρό και το οποίο είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στις καλλιέργειες. (US EPA, 2023). Η διάσπαση των οργανικών υλικών κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης γίνεται σε διάφορα στάδια και εμπλέκει διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες ομάδες βακτηρίων διασπούν τα βιολογικά υλικά δρώντας συνεργατικά για την ολοκλήρωση της διεργασίας. Επειδή ορισμένες ομάδες από τα βακτήρια αυτά δεν μπορούν να επιβιώσουν σε περιβάλλον οξυγόνου, για το λόγο αυτό και η διεργασία γίνεται αναερόβια. Αναλυτικά η αναερόβια χώνευση και η βιοχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή φαίνονται στο Παράρτημα «B».

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αναερόβια χώνευση μπορεί να χρησιμοποιήσει ως πρώτη ύλη μία μεγάλη γκάμα από οργανικά υλικά που περιλαμβάνουν αστικά και ζωικά οργανικά απόβλητα, αγροτικά απόβλητα και απορρίμματα τροφίμων. Για τους λόγους αυτούς η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνά σε μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων μαζί με αερόβια χώνευση και καθίζηση (sedimentation), για το διαχωρισμό στερεού ιζήματος από ρευστά απόβλητα, αλλά και για τη μείωση του όγκου των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους που σχετίζεται με τον περαιτέρω χειρισμό και εναπόθεσή τους. (Jarvie, 2023). Καίτοι όλα τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης ακολουθούν τις ίδιες γενικές αρχές, η σχεδίαση διαφέρει από σύστημα σε σύστημα και έτσι έχουμε τρεις (3) διαφορετικές κατηγορίες: αυτόνομους χωνευτές, χωνευτές μέσα στις φάρμες και χωνευτές στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

#### **3.1.2.2.1 Κατηγορίες χωνευτών**

##### **Αυτόνομοι χωνευτές**

Οι αυτόνομοι αναερόβιοι χωνευτές μπορούν να επεξεργαστούν πρώτες ύλες από διάφορες πηγές και χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις ανακύκλωσης, τοπικές κοινότητες και δήμους για τη διαχείριση αστικών αποβλήτων τροφίμων. Χρησιμοποιούνται επίσης και στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών για την επεξεργασία των αποβλήτων τους και για το λόγο αυτό συνήθως κατοικοεδρεύουν στην ίδια τοποθεσία με τις μονάδες επεξεργασίας τροφίμων, είναι προσαρμοσμένοι στην επεξεργασία συγκεκριμένων υλικών της εκάστοτε βιομηχανίας και δε δέχονται υλικό από εξωτερικές πηγές. Αν και η πρώτη ύλη που

επεξεργάζονται οι αυτόνομοι χωνευτές είναι κυρίως τα απορρίμματα τροφίμων, μπορούν επίσης να επεξεργαστούν μαζί με τα απόβλητα τροφίμων και άλλα οργανικά υλικά όπως κοπριά και στερεά λύματα.

### **Χωνευτές στις φάρμες**

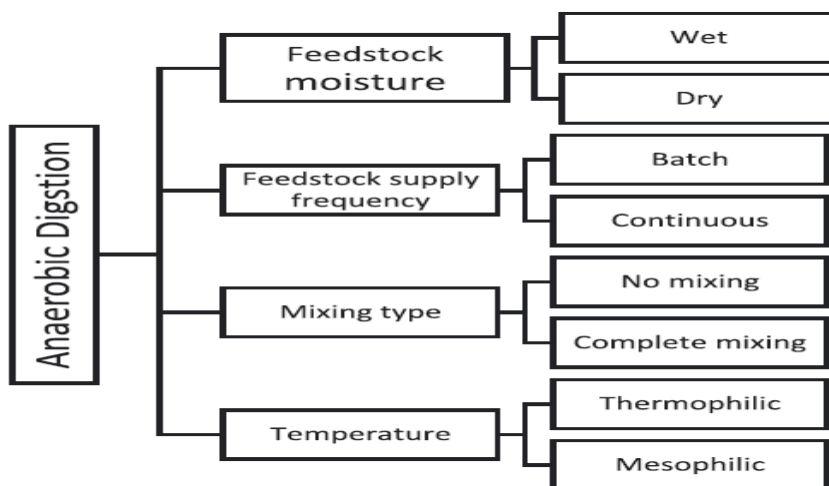
Οι χωνευτές που βρίσκονται εντός των μονάδων πρωτογενούς παραγωγής εξυπηρετούν τους παραγωγούς αλλά και τις τοπικές κοινωνίες, γιατί βοηθούν τους αγρότες να διαχειριστούν καλύτερα τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την παραγωγή τους, να μειώσουν τις δυσάρεστες οσμές και να αποφέρουν πρόσθετο εισόδημα, καθώς μπορούν να δεχτούν απορρίμματα τροφίμων και από εξωτερικές πηγές εκτός της φάρμας.

### **Χωνευτές σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και ανάκτησης υδάτινων πόρων.**

Οι χωνευτές αυτοί συναντώνται κυρίως σε δημόσιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μεγάλης κλίμακας, βιομηχανικές ενώσεις και ερευνητικά ιδρύματα. Όπως δηλώνει και ο τίτλος της υποπαραγράφου, έχουν τη δυνατότητα ανάκτησης καθαρού νερού και θρεπτικών συστατικών όπως ο φώσφορος και το άζωτο, αλλά και τη δυνατότητα παραγωγής βιοαερίου που είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η χρήση των αναερόβιων χωνευτών σε τέτοιες εγκαταστάσεις ξεκίνησε από τις αρχές του 1900. Έκτοτε υπήρξαν εξελίξεις αλλά και προβλήματα στην ανάπτυξη και χρήση της τεχνολογίας τους καθώς οι αναερόβιοι χωνευτές απαιτούν εμπειρία τόσο σε βιολογικές διεργασίες, όσο και σε μηχανικά συστήματα υποστήριξης τους για να είναι αποτελεσματικοί. Η κύρια χρήση τους παραμένει η επεξεργασία των στερεών λυμάτων και γι' αυτό διαφέρουν κατά περίπτωση σε μέγεθος και σχήμα, ρυθμό επεξεργασίας, αριθμό σταδίων επεξεργασίας, θερμοκρασίες λειτουργία, τύπους βιολογικών υλικών στο μίγμα πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται και έκταση επεξεργασίας που απαιτείται στις πρώτες ύλες πριν εισαχθούν στους χωνευτές. (US EPA, 2023).

Με δεδομένο ότι τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης κατασκευάζονται για πολλούς και διαφορετικούς λόγους, η σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του συστήματος και τα χαρακτηριστικά των βιολογικών απορριμμάτων και αποβλήτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες. Έτσι, περαιτέρω διάκριση της τεχνολογίας σχεδίασης των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης μπορεί να γίνει με βάση το ποσοστό υγρασίας στις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, τη συχνότητα παροχής πρώτων υλών στο σύστημα, τον τύπο του μίγματος πρώτων υλών που

χρησιμοποιούνται και τη θερμοκρασίας λειτουργίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 8. (Uddin & Wright, 2022).



Σχήμα 8: Οι διάκριση των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης αναλόγως της τεχνολογίας σχεδιάσής τους

### 3.1.2.2.2 Τύποι χωνευτών

#### Ποσοστό υγρασίας πρώτων υλών

Ανάλογα με την υγρασία των προς επεξεργασίας βιολογικών αποβλήτων, οι αναερόβιοι χωνευτές διακρίνονται σε στεγνούς (dry) ή υψηλής περιεκτικότητας στερεών (high-solids) και υγρούς (wet) ή χαμηλής περιεκτικότητας στερεών (low-solids). Αν έχουμε υλικό με λιγότερο από 15% περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά τότε μιλάμε για υγρό χωνευτή στον οποίο το υλικό είναι τυπικά σε ρευστή μορφή και μπορεί να αντληθεί. Εφόσον χρησιμοποιείται υλικό που έχει περιεκτικότητα σε στερεά μεγαλύτερη του 15% τότε μιλάμε για στεγνό χωνευτή στον οποίο τα στερεά απόβλητα συνήθως στοιβάζονται.

#### Συχνότητα παροχής πρώτων υλών

Σε ένα χωνευτή συνεχούς ροής (continuous flow), τα βιολογικά απόβλητα τροφοδοτούνται συνεχώς και το εξαγόμενο (επεξεργασμένο) υλικό αφαιρείται συνεχώς σε μία συνήθως αυτοματοποιημένη διαδικασία. Αντίθετα σε ένα χωνευτή παρτίδας (batch), τα υλικά φορτώνονται σε παρτίδα όλα μαζί και έπειτα από μια συγκεκριμένη περίοδο χώνευσης, το επεξεργασμένο υλικό αφαιρείται και ο χωνευτής φορτώνεται με νέα παρτίδα ανεπεξέργαστου υλικού, χειροκίνητα.

### **Τύπος μίγματος πρώτων υλών**

Μερικοί χωνευτές είναι σχεδιασμένοι να δέχονται μόνο ένα είδος πρώτων υλών ενώ άλλοι δέχονται ανάμικτα είδη. Καίτοι η απαίτηση σύγχρονης χώνευσης διαφορετικών βιολογικών αποβλήτων διαφορετικής προέλευσης είναι συχνά παράγοντας που οδηγεί στη χρήση αναερόβιων χωνευτών, η επεξεργασία κάποιων τύπων απόβλητων προϋποθέτει ή ευνοείται από την πρότερη προ-επεξεργασία τους πριν τη χώνευση με μεθόδους που περιλαμβάνουν ανάμειξη, κοσκίνισμα, θερμική προετοιμασία κ.α.

### **Θερμοκρασία λειτουργίας**

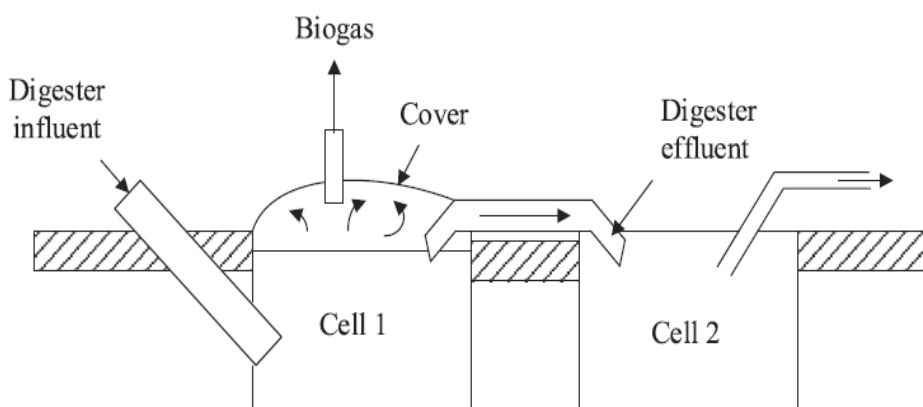
Δεδομένου ότι διαφορετικές ομάδες βακτηρίων που προκαλούν την αναερόβια χώνευση αναπτύσσονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, ανάλογα με τις ομάδες που χρειαζόμαστε σε σχέση με το βιολογικό υλικό που εισάγουμε ως πρώτη ύλη στον χωνευτή, διακρίνουμε τους χωνευτές σε δύο (2) ζώνες θερμοκρασιών: την μεσοφιλική (mesophilic) που έχει εύρος 86 – 100 °C και τη θερμοφιλική (thermophilic) που έχει εύρος 122 – 140 °C. Γενικά, η θερμοφιλική αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται όταν έχουμε βιολογικά υλικά που περιέχουν παθογόνους οργανισμούς που πρέπει να αποστειρωθούν σε υψηλή θερμοκρασία για να δώσουν βιο-στερεά υλικά που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια ως λιπάσματα. Οι θερμοφιλικοί χωνευτές επεξεργάζονται γρηγορότερα τα βιολογικά απόβλητα, αλλά λόγω θερμικών τους χαρακτηριστικών η λειτουργία τους είναι περισσότερο πολύπλοκη και δαπανηρή από τους μεσοφιλικούς. Οι τελευταίοι είναι πιο οικονομικοί στη χρήση και συντήρησή τους αλλά πολλές φορές δεν παράγουν αποστειρωμένα υλικά στα επίπεδα των θερμοφιλικών. (US EPA, 2023).

#### **3.1.2.2.3 Σχεδίαση χωνευτών**

Ανάλογα με τα συστήματα συλλογής της βιομάζας (λυμάτων, υπολειμμάτων, κοπριάς κλπ.), υπάρχουν διάφοροι τύποι αναερόβιων χωνευτών με διαφορετική κατασκευή και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά. Μερικοί από του πιο γνωστούς τύπους στη σχεδίαση αναερόβιων χωνευτών είναι οι : σκεπαστής λίμνης (covered lagoon), ροής βύσματος (plug flow) και πλήρους μίξης (complete mix). Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους παραπάνω τύπους σχεδίασης χωνευτών:

## Σκεπαστής λίμνης

Αυτό το είδος σχεδίασης είναι το πιο απλό και περιλαμβάνει την αποθήκευση της πρώτης ύλης σε μία υπόγεια λίμνη η οποία καλύπτεται με ένα αεροστεγές και εύκαμπτο κάλυμμα. Ορισμένα συστήματα αυτού του είδους αποτελούνται από ένα κοινό χώρο που εξυπηρετεί συγχρόνως ως αποθήκη βιομάζας και ως χωνευτής. Άλλα συστήματα, όπως αυτό που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, χρησιμοποιούν δύο διαφορετικούς χώρους έτσι ώστε στον πρώτο χώρο (αυτό της σκεπαστής λίμνης) συγκεντρώνεται η εισροή της πρώτης ύλης και παγιδεύεται το παραγόμενο βιοαέριο, ενώ ένας δεύτερος χώρος (όχι σκεπασμένος) συλλέγει την εκροή του χωνευτή. (US EPA, 2023).



Σχήμα 9: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή σκεπαστής λίμνης (Uddin & Wright, 2022)



Εικόνα 3: Εικόνα σκεπαστής λίμνης αναερόβιας χώνευσης (US EPA, 2023)

Οι κατασκευές αναερόβιας χώνευσης τύπου σκεπαστής λίμνης είναι περισσότερο κατάλληλες σε θερμά κλίματα, όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ικανή να παρέχει την απαιτούμενη θερμότητα για τη διαδικασία της χώνευσης (χωρίς επιπλέον απαίτηση για κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση). Επίσης η καλύτερη πρώτη ύλη για αυτού του τύπου τη σχεδίαση είναι βιομάζα με χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά (0.5 – 2%), καθώς λόγω κατασκευής, είναι εύκολη και ανέξοδη η επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων. Ο τυπικός χρόνος υδραυλικής κατακράτησης<sup>14</sup> (Hydraulic Retention Time, HRT) είναι 30 – 45 ημέρες, αλλά συχνά είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός μεγάλων στερεών σωματιδίων από τη βιομάζα που εισάγεται προς επεξεργασία, για την αποφυγή δημιουργίας κρούστας στην επιφάνεια της λίμνης που μειώνει την απόδοση σε βιοαέριο. (Uddin & Wright, 2022).

### **Πλήρους μίγματος**

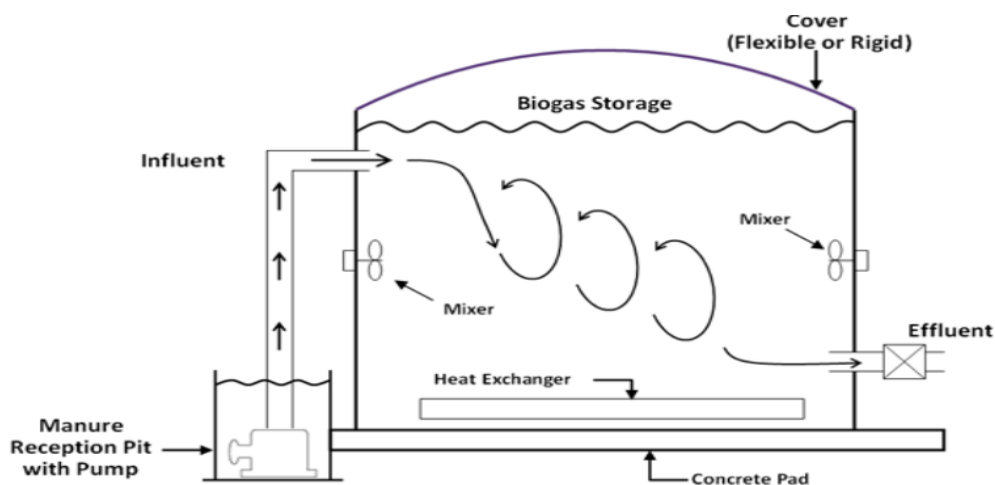
Οι κατασκευές πλήρους μίγματος, ουσιαστικά είναι κλειστές θερμαινόμενες υπέργειες δεξαμενές από μονωμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα οι οποίες διαθέτουν ένα σύστημα μίξης της βιομάζας εισόδου υδραυλικό ή με αέριο. (US EPA, 2023). Είναι σκεπασμένες από ένα εύκαμπτο ή σκληρό σκέπασμα που χρησιμοποιείται για να κατακρατεί το συλλεγόμενο βιοαέριο και να το διοχετεύει μέσα σε κατάλληλους αγωγούς. Σε τέτοια συστήματα, εναλλάκτες θερμότητας διατηρούν την απαιτούμενη θερμοκρασία για τη διαδικασία της χώνευσης και τα συστήματα μίξης εξασφαλίζουν την πλήρη μίξη της βιομάζας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία μη ομογενούς πρώτης ύλης με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε βιο-στερεά απόβλητα (3 – 10%). Αυτού του είδους οι χωνευτές είναι κατάλληλοι για κάθε περιβαλλοντικές συνθήκες (αφού δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος). Επίσης, ο μέσος χρόνος απαιτούμενης παραμονής του μίγματος στο χωνευτή (HRT) είναι μικρότερος από αυτόν στους χωνευτές τύπου σκεπαστής λίμνης και τυπικά κυμαίνεται από 10 έως 25 ημέρες. (Uddin & Wright, 2022). Προφανώς, σε τέτοιου είδους κατασκευές υφίστανται μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις και το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι μεγαλύτερο. Στον αντίποδα, η ανεξαρτησία των συγκεκριμένων χωνευτών από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, αλλά και η ανοχή τους σε μίγμα διαφορετικών συστατικών βιομάζας, είναι σημαντικά. Αυτού του είδους οι χωνευτές λειτουργούν καλύτερα όταν υπάρχει κάποια αραίωση της βιομάζας με νερό (π.χ. λύματα

---

<sup>14</sup> Δηλαδή η μέση διάρκεια που το υπόστρωμα βιομάζας πρέπει να παραμένει στον χωνευτή για να ολοκληρωθεί η μετατροπή του σε βιοαέριο.



από κέντρο αρμέγματος γάλακτος) (US EPA, 2023). Σχεδιάγραμμα και εικόνες χωνευτών τύπου πλήρους μίγματος φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 10: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή πλήρους μίγματος (US EPA, 2023)



Εικόνα 4: Χωνευτές πλήρους μίγματος (US EPA, 2023)



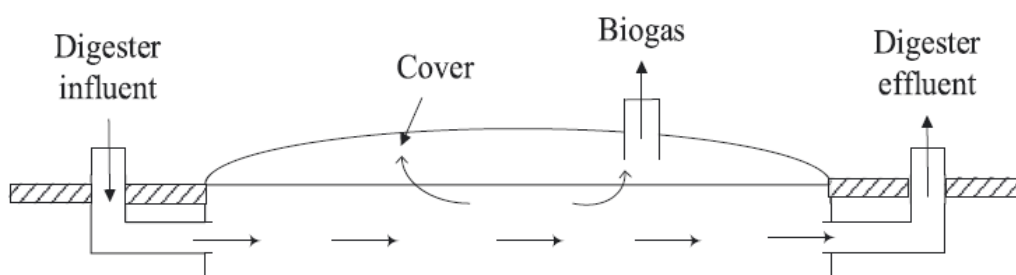
Εικόνα 5: Χωνευτής πλήρους μίγματος με εξωτερική συσκευή μίξης (US EPA, 2023)

## Ροής βύσματος

Οι χωνευτές αυτής της σχεδίασης, έχουν παρόμοια λειτουργία με τους πλήρους μίγματος με τη διαφορά ότι δεν έχουν μηχανικά συστήματα μίξης. Αποτελούνται από μία οριζόντια κυλινδρική δεξαμενή όπου η πρώτη ύλη εισέρχεται από τη μία πλευρά και το προϊόν της χώνευσης εξέρχεται από την άλλη. Η εισερχόμενη βιομάζα πιέζει στην έξοδο του χωνευτή αντίστοιχη ποσότητα χωνεμένου προϊόντος και η χώνευση γίνεται στον ενδιάμεσο χώρο. Τυπικά, οι χωνευτές αυτού του είδους είναι επίγειοι, καλυμμένοι με ένα εύκαμπτο σκέπασμα και η περιεκτικότητα του μίγματος εισόδου σε στερεά πρέπει να είναι αρκετά υψηλή (<10 -15%) για να εξασφαλίζεται η ομαλή κίνηση του εντός του χωνευτή. (Uddin &



Wright, 2022). Οι χωνευτές ροής βύσματος χρησιμοποιούνται κυρίως σε γαλακτοκομικές εργασίες που συλλέγουν απόβλητα με απόξεση, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί και σε μεγαλύτερη γκάμα από άλλες περιπτώσεις, γιατί έχουν ανοχή σε μεγάλες συγκεντρώσεις στερεών αποβλήτων στις πρώτες ύλες που δέχονται. (US EPA, 2023). Φυσικά εξαιτίας της μεγάλης συγκέντρωσης στερεών στα λύματα που επεξεργάζονται, συχνά υπάρχει ο κίνδυνος συγκέντρωσης μεγάλης ποσότητας στερεών στον πυθμένα των δεξαμενών. (Uddin & Wright, 2022). Σχεδιάγραμμα και εικόνες χωνευτών τύπου ροής βύσματος φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 11: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή ροής βύσματος. (Uddin & Wright, 2022)



Εικόνα 6: Φωτογραφίες αναερόβιων χωνευτών ροής βύσματος με εύκαμπτο και σκληρό σκέπασμα. (US EPA, 2023)

### 3.1.2.3 Αποτέφρωση και εναλλακτικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων

Μία από τις γνωστότερες και παλαιότερες μεθόδους απαλλαγής από απορρίμματα γενικά συμπεριλαμβανομένων και των απόβλητων τροφίμων είναι η αποτέφρωση (incineration). Η αποτέφρωση αποτελεί μία εξώθερμη αντίδραση παρουσία καυσίμου και οξυγόνου. Σύμφωνα με στοιχεία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA), ο πρώτος αποτεφρωτής στις ΗΠΑ κατασκευάστηκε το 1885 (Abdelghany, 2019). Αν και οι

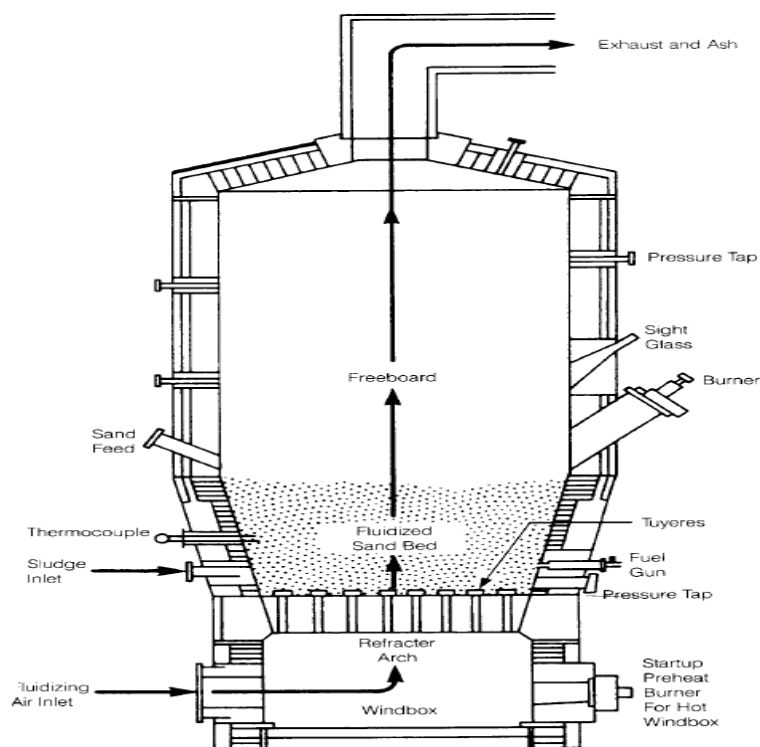
αποτεφρωτές από την αρχή της κατασκευής τους έδωσαν τη δυνατότητα απαλλαγής από πολλά είδη απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων τόσο επικίνδυνων χημικών αποβλήτων, όσο και βιο-ιατρικών αποβλήτων με τοξικά χαρακτηριστικά και επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία, μεταδοτικές ασθένειες (National Academies Press (US), 2000), από περιβαλλοντικής απόψεως η αποτέφρωση γενικά θεωρήθηκε ως μία μάλλον εχθρική προς το περιβάλλον μέθοδος, ελάχιστα και υπό συγκεκριμένες περιπτώσεις καλύτερη, από την τελική λύση της υγειονομικής ταφής (Landfill). Στην περίπτωση της διαχείρισης αστικών στερεών αποβλήτων (Municipality Solid Waste, MSW), όπου η αποτέφρωση χρησιμοποιείται ως μέθοδος διαχείρισης στις ΗΠΑ από την εμφάνιση των αποτεφρωτών, οι επιβλαβείς για τη δημόσια υγεία εκπομπές νιτρικών οξειδίων, διοξινών και άλλων χημικών, αλλά και η κυριολεκτικά αδικαιολόγητη από την καύση ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται, οδήγησαν σε αναθεώρηση της χρήσης των αποτεφρωτών, την υιοθέτηση μεθόδων ανάκτησης ενέργειας από την καύση αποβλήτων (Waste To Energy, WTE), αλλά και την εισαγωγή προηγμένων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων (thermal solid waste treatment), όπως αυτή της πυρόλυσης (pyrolysis) και αεριοποίησης (gasification). (Abdelghany, 2019).

#### **3.1.2.3.1 Αποτέφρωση στερεών αστικών αποβλήτων (Incineration)**

Στην αποτέφρωση αποβλήτων που περιέχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας όπως τα στερεά αστικά απόβλητα, η διαδικασία προϋποθέτει πριν την καύση, την απομάκρυνση μίας ικανής ποσότητας νερού, έτσι ώστε η καύσιμη βιομάζα να περιέχει τουλάχιστον 15 – 35% στερεά απόβλητα. Το 65 – 75% των στερεών αποβλήτων καίγεται πλήρως και έτσι ο όγκος της τέφρας που παράγεται είναι πολύ μικρότερος από ότι θα απέδιδε η αρχική βιομάζα. Επιπρόσθετα, όταν η προς καύση βιομάζα έχει αφυδατωθεί έτσι ώστε να περιέχει τουλάχιστον 30% στερεά απόβλητα, η καύση διατηρείται χωρίς να απαιτούνται επιπρόσθετα καύσιμα. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, η έναρξη της διαδικασίας καύσης απαιτεί πάντα τη χρήση καυσίμων, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται η περιοδική προσθήκη καυσίμων στους αποτεφρωτές για τη διατήρηση της καύσης και την αντιμετώπιση διαφοροποιήσεων που υπάρχουν στις ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των στερεών αποβλήτων με τα οποία τροφοδοτούνται οι αποτεφρωτές. Αν και η τέφρα που παράγεται από την καύση συνήθως καταλήγει σε χώρους υγειονομικής ταφής, ορισμένες σύγχρονες εγκαταστάσεις αποτεφρωτών επαναχρησιμοποιούν την παραγόμενη τέφρα ως πρόσθετο σε τσιμέντο για την κατασκευή τούβλων, ως υπόστρωμα ασφάλτου στην

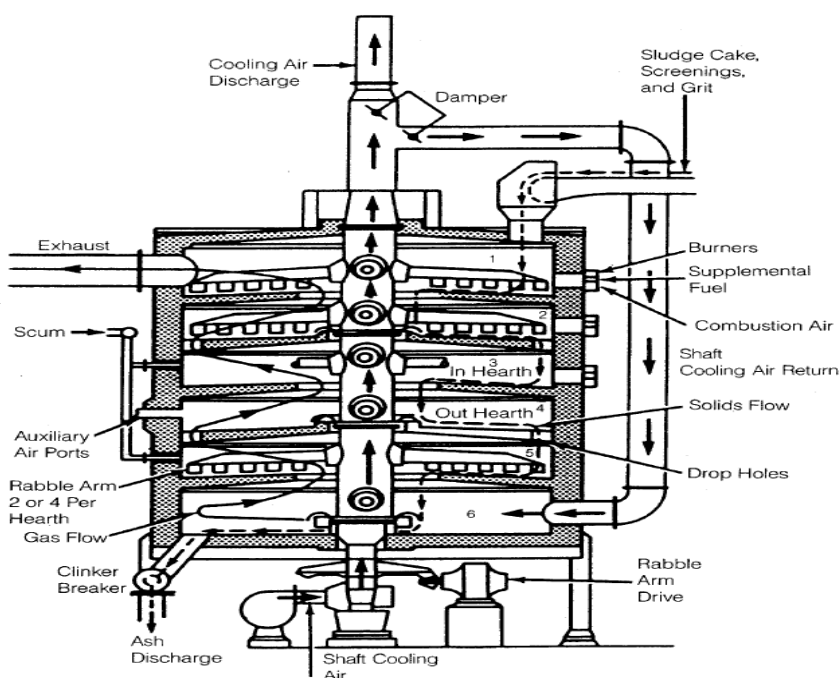
κατασκευή δρόμων, αλλά και ως συστατικό δαπέδων και διαδρόμων σε αθλητικές εγκαταστάσεις και πίστες αγώνων. Δύο βασικές τεχνολογίες αποτεφρωτών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τους φούρνους ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Furnace, FBF) και τους φούρνους πολλαπλών εστιών (Multiple Hearth Furnace, MHF).

Οι περισσότερες σύγχρονες εγκαταστάσεις καύσης χρησιμοποιούν τους φούρνους ρευστοποιημένης κλίνης (FBF) γιατί είναι πιο αποδοτικοί, σταθερότεροι και ευκολότεροι στη λειτουργία τους από τους φούρνους πολλαπλών εστιών (MHF). Στους FBF που το περίβλημα τους έχει το σχήμα κάθετου χαλύβδινου κυλίνδρου, το κατώτερο στρώμα περιέχει άμμο που διατηρείται σε κίνηση από ροή αέρα προς τα πάνω και εξασφαλίζει την ομοιόμορφη καύση. Αυτό το κατώτερο στρώμα ή κλίνη όπως ονομάζεται, προθερμαίνεται περίπου στους 649°C χρησιμοποιώντας υγρά ή αέρια καύσιμα. Κατόπιν από διάφορα στόμια εισάγονται στο φούρνο τα στερεά απόβλητα και καίγονται σε θερμοκρασίες της τάξεως των 760 – 816°C. Ενώ η καύση γίνεται στα κατώτερα στρώματα του φούρνου, οι ατμοί και η τέφρα που παράγεται συλλέγεται από εξόδους στην κορυφή του φούρνου και η τέφρα απομακρύνεται με ειδικούς καθαριστές (μηχανικά) και στη συνέχεια διαχωρίζεται με περιστροφικούς διαχωριστές ή εναλλακτικά με τη βοήθεια δεξαμενών νερού. Ένα τυπικό διάγραμμα φούρνου FBF φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 12: Διάγραμμα φούρνου ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized Bed Furnace, FBF)

Οι φούρνοι πολλαπλών εστιών (MHF) ήταν ο πιο συνηθισμένος τύπος που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν για την καύση αστικών αποβλήτων. Εξωτερικά, αν και οι συγκεκριμένοι μοιάζουν με τις κυλινδρικές κατασκευές των πιο σύγχρονων φούρνων FBF, εσωτερικά, μέσα στο πυρίμαχο χαλύβδινο τους κέλυφος περιέχουν κυκλικά ράφια που ονομάζονται εστίες και αποτελούν επίπεδα του φούρνου. Στο κέντρο τους υπάρχει ένας περιστρεφόμενος κοίλος άξονας από χυτοσίδηρο από τον οποίο εκτείνονται βραχίονες. Τα στερεά απόβλητα διοχετεύονται στο φούρνο στην ανώτερη εστία του (ράφι) και με διαδοχική ανάδευση από τους βραχίονες του κεντρικού άξονα κινούνται σπειροειδώς προς το κέντρο. Η καύση γίνεται στη μεσαία εστία σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 482°C και η παραγόμενη τέφρα ψύχεται στην κατώτερη περιοχή του φούρνου πριν την αποκομιδή της. Τα στερεά απόβλητα που καίγονται απελευθερώνουν θερμότητα και δημιουργούν ροή θερμών αερίων προς τα πάνω που επιβραδύνει τη ροή των εισαχθέντων αποβλήτων στο φούρνο και χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιεί το ρυθμό και την αποτελεσματικότητα της καύσης. Ενώ το μεγαλύτερο μέρος των καυσαερίων εξάγεται από τον κούφιο κεντρικό άξονα που παίζει και το ρόλο του αγωγού καυσαερίων, μέρος τους οδηγείται στα κατώτερα στρώματα του φούρνου όπου θερμαίνονται ακόμη περισσότερο από την καυτή τέφρα που συγκεντρώνεται εκεί και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να στεγνώνουν τα στερεά απόβλητα που εισάγονται στο φούρνο. (US EPA, 2003). Ένα τυπικό διάγραμμα φούρνου MHF φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 13: Διάγραμμα φούρνου πολλαπλών εστιών (Multiple Hearth Furnace, MHF)

### **3.1.2.3.2 Τα προβλήματα της αποτέφρωσης**

Η ανεξέλεγκτη αποτέφρωση αποβλήτων σε φούρνους μικτού μίγματος αποβλήτων (χωρίς διαχωρισμό των υλικών) χαμηλής απόδοσης και χωρίς καμία ανάκτηση ενέργειας, στο παρελθόν περιόρισε σημαντικά τον όγκο απορριμμάτων κάθε τύπου περιλαμβανομένων και των αστικών αποβλήτων, ενώ έδωσε λύση και στην καταστροφή διάφορων επικίνδυνων βιομηχανικών και ιατρικών αποβλήτων με μεγάλη τοξικότητα. Το 1960 στις ΗΠΑ το 31% των αστικών στερεών αποβλήτων αποτεφρώθηκε σε τέτοιους φούρνους. Ωστόσο, οι βαριές επιπτώσεις στο περιβάλλον που είχαν τέτοιες πρακτικές οδήγησε στον περιορισμό της αποτέφρωσης στο 9% το 1980. Τελικά, η εισαγωγή τεχνολογιών ανάκτησης ενέργειας, οδήγησε σε ανάκαμψη της χρήσης των αποτεφρωτών στις ΗΠΑ στο 16% το 1990, αλλά και στην κατασκευή νέας γενιάς φούρνων εξειδικευμένων στη χρήση στερεών αστικών αποβλήτων με ιδιόκτητες τεχνολογίες από ευρωπαϊούς κατασκευαστές. (National Academies Press (US), 2000).

Ακόμη όμως και με τις σημερινές τεχνολογίες, η αποτέφρωση σε κάθε τύπο φούρνου (κλίβανο, καυστήρα, αποτεφρωτή), δημιουργεί εξερχόμενα καυσαέρια που οδηγούνται σε διαχωριστές για να απομακρυνθεί η αιρούμενη τέφρα και στη συνέχεια υφίστανται επεξεργασία και φιλτράρισμα πριν εξαχθούν στην ατμόσφαιρα, προκειμένου να συμμορφώνονται με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Γενικά, οι φούρνοι ρευστοποιημένης κλίνης (FBF) πετυχαίνουν καλύτερη απομάκρυνση των προβληματικών αερίων στις εγκαταστάσεις αποτεφρωτών σε σχέση με τους πολλαπλών εστιών (MHF) γιατί οι υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας τους, καταστρέφουν βλαβερά καυσαέρια, υδρογονάνθρακες και δυσάρεστες οσμές. Για την επίτευξη των ίδιων αποτελεσμάτων στους φούρνους τύπου MHF συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα μετάκαυσης των αερίων, δηλαδή δευτερεύοντες καυστήρες που λειτουργούν σε θερμοκρασίες 600 – 650°C. Ωστόσο, η χρήση τέτοιων συσκευών ανεβάζει σημαντικά το κόστος λειτουργίας και καθιστά τους φούρνους MHF λιγότερο οικονομικούς στη χρήση από τους FBF. Επιπρόσθετα ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που ανεβάζει το κόστος στις εγκαταστάσεις αποτεφρωτών είναι οι απαιτήσεις σε εξειδικευμένα, ακριβά και συχνά πολύπλοκα συστήματα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τα οποία αποτελούν οργανικό μέρος κάθε εγκατάστασης θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων. Τέτοια συστήματα πρέπει να είναι ικανά να ελέγξουν τις εκπομπές σωματιδίων, αερίων όπως τα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), τα οξείδια του θείου ( $\text{SO}_x$ ) και το μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), καθώς και άλλα



χαρακτηριστικά όπως η εμφάνιση (αδιαφάνεια) των αερίων που εκπέμπονται από τα φουγάρα της εγκατάστασης. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια που περιλαμβάνουν και ίχνη μετάλλων ελέγχονται με τη χρήση μηχανικών συλλεκτών, υγρών συστημάτων καθαρισμού, υφασμάτων φίλτρων και ηλεκτροστατικών διαχωριστών (Electro Static Precipitators, ESP) για το διαχωρισμό των λεπτών σωματιδίων σκόνης και καπνού. Η εκπομπή βλαβερών αερίων μειώνεται με τον έλεγχο παραγωγής των συγκεκριμένων αερίων. Η δημιουργία οξειδίων του αζώτου περιορίζεται με τον περιορισμό του οξυγόνου στον φούρνο, την κατανομή της καύσης σε φάσεις και τη χρήση καυστήρων που περιορίζουν την έκθεση του καυσίμου σε οξυγόνο στην περιοχή της καύσης. Αντίστοιχα ο περιορισμός των εκπομπών σε οξείδια του θείου γίνεται με τη χρήση συστημάτων υγρού ή στεγνού καθαρισμού. Τόσο στις εγκαταστάσεις με φούρνους πολλαπλών εστιών (MHF) όσο και σε αυτές με φούρνους ρευστοποιημένης κλίνης (FBF), απαιτείται ο συνδυασμός πολλαπλών συστημάτων ελέγχου των εκπομπών καυσαερίων για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής μόλυνσης, που περιλαμβάνουν διάφορα συστήματα υγρού καθαρισμού (wet scrubbers), συστήματα πίεσης venturi και διαχωριστές (separators) τύπου πρόσκρουσης (impingement) και κυκλώνα (cyclone). (US EPA, 2003). Χαρακτηριστικές ενδείξεις του κόστους τέτοιου εξοπλισμού περιορισμού της ατμοσφαιρικής μόλυνσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Equipment	Costs (\$) *
Multiple Venturi Systems	100,000 - 200,000
Wet Electrostatic Precipitator	150,000 - 500,000
Internal Afterburner Retrofit	50,000 - 75,000
Top Hearth Afterburner Retrofit	50,000 - 75,000
Conventional External Afterburner	400,000 - 700,000
Side-Flue Afterburner Retrofit	300,000 - 400,000
Side-Exit Afterburner Retrofit	600,000 - 800,000
Post-Scrubber Afterburner	400,000 - 700,000

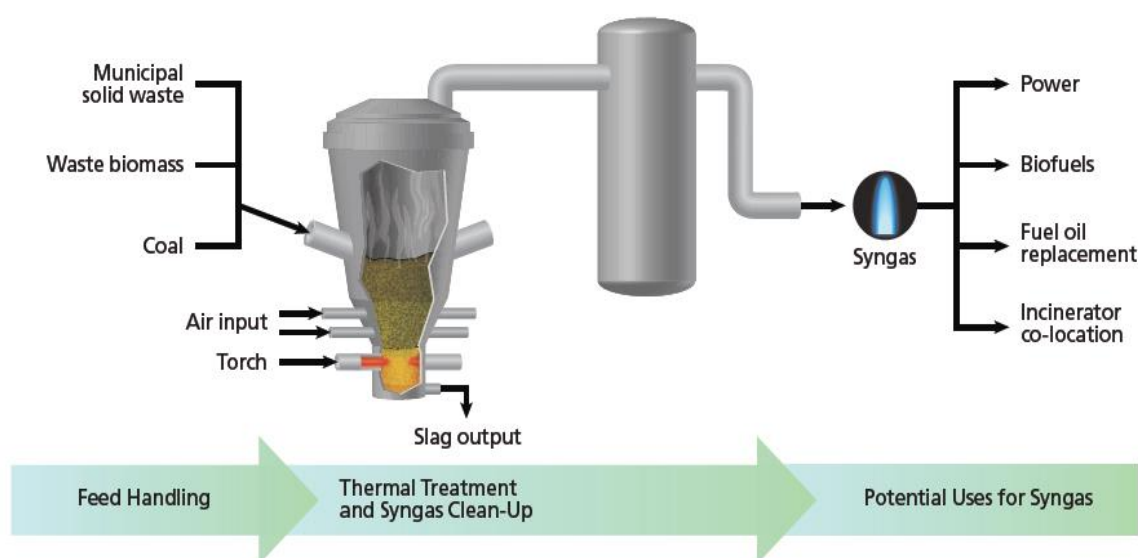
\* Range based on size

**Πίνακας 2: Τυπικό κόστος εξοπλισμού ελέγχου ρύπανσης. (Baturay, 1999).**

#### **3.1.2.3.3 Εναλλακτικές τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων (πυρόλυση και αεριοποίηση)**

Η γενικά αρνητική φήμη των αποτεφρωτών στις ΗΠΑ μετά το 1980, διατηρήθηκε και στις μέρες μας. Παρά το γεγονός ότι το 2000 οι εν λειτουργία αποτεφρωτές παρήγαγαν μόνο το 1% των καρκινογόνων διοξινών σε σχέση με τις ποσότητες 13 ετών πριν, μεγάλη έρευνα

και ελπίδες δημιούργησε η χρήση εναλλακτικών τεχνικών θερμικής επεξεργασίας όπως η πυρόλυση (pyrolysis) και η αεριοποίηση (gasification). Για να διαχωριστούν αυτές οι τεχνολογίες από την αποτέφρωση (και την κακή φήμη που τη συνοδεύει) συχνά χαρακτηρίζονται ως τεχνολογίες μετατροπής (conversion technologies) των στερεών αστικών αποβλήτων σε ενέργεια και ανήκουν στην κατηγορία τεχνικών μετατροπής στερεών αποβλήτων σε ενέργεια (Waste to Energy, WtE) που δεν περιλαμβάνουν καύση. Γενικά τόσο η πυρόλυση όσο και η αεριοποίηση πρώτης ύλης που προέρχεται από στερεά αστικά απόβλητα, υπολείμματα τροφίμων, ή αγροτικά υπολείμματα, βασίζεται στην υπερθέρμανση των υπολειμμάτων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης οξυγόνωσης, ώστε να αποφεύγεται η ανάφλεξη και καύση. Οι βασικές διαφορές σχετίζονται με την πηγές θερμότητας που χρησιμοποιούνται, τις ποσότητες οξυγόνου και τις θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται. Σε αυτές τις συνθήκες χαμηλής παρουσίας οξυγόνου, η δημιουργία βλαβερών καρκινογόνων διοξινών και φουρανίων (ή οξολίων) από τα απόβλητα μπορεί να μειωθεί δραστικά σε σχέση με την αποτέφρωση. Συναφώς, μία ακόμη σημαντική διαφορά των συγκεκριμένων τεχνολογιών μετατροπής από την αποτέφρωση των αστικών αποβλήτων είναι ότι στην περίπτωση της πυρόλυσης και αεριοποίησης παράγεται συνθετικό αέριο (synthetic gas / syngas) που ονομάζεται συχνά βιο-αέριο και το οποίο αποτελείται κυρίως από υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα. (Seltenrich, 2016). Μια σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας των τεχνολογιών πυρόλυσης και αεριοποίησης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 14: Τυπική διάταξη πυρόλυσης / αεριοποίησης για την παραγωγή ή συνθετικού αερίου (syngas) [Πηγή: (Seltenrich, 2016)]



## **Πυρόλυση (pyrolysis)**

Η πυρόλυση, που είναι επίσης και το αρχικό στάδιο στις διαδικασίες της αεριοποίησης και της καύσης αποτελεί μέθοδο διάσπασης οργανικών υλικών με την εφαρμογή θερμότητας που γίνεται υπό ολική έλλειψη ή ελάχιστη παρουσία οξυγόνου σε αντίθεση με την καύση που απαιτεί την παρουσία ικανών ποσοτήτων οξυγόνου. Σε βιομηχανική κλίμακα η πυρόλυση γίνεται σε θερμοκρασίες 430°C ή μεγαλύτερες. Σε μικρότερη κλίμακα πυρόλυση μπορεί να γίνει και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Βασικό χαρακτηριστικό της πυρόλυσης είναι η διάσπαση οργανικών υλικών (όπως η βιομάζα) με καταστροφή ή απομάκρυνση των παθογόνων σε αυτά και παραγωγή βιο-άνθρακα, πυρολυτικών ελαίων (βιο-έλαιο) και αερίων (συνθετικό αέριο) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα. Αν και με την πυρόλυση δεν μπορούν να διασπαστούν ανόργανα συστατικά όπως τα μέταλλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τεχνικές που καθιστούν τα υλικά αυτά αδρανή. Η πυρόλυση έχει πολλές χρήσιμες εφαρμογές στην φιλική προς το περιβάλλον (πράσινη) τεχνολογία και στην περίπτωση της χρήσης της στην επεξεργασία αστικών αποβλήτων ή αποβλήτων υπονόμου, απομακρύνει από τα οργανικά υλικά παθογόνα στοιχεία όπως οι συνθετικές ορμόνες και καθιστά βαρέα μέταλλα που παραμένουν στο βιο-μίγμα ανενεργά, επιτρέποντας στη βιομάζα που μένει (βιο-άνθρακα και υπολείμματα) να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια ως λίπασμα. (Boslaugh, 2024).

## **Αεριοποίηση (gasification)**

Η αεριοποίηση δεν είναι καινούργια τεχνολογία, καθώς από το 1609 ο βέλγος φυσικο-χημικός Jan Baptista Helmont ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί αέριο από θερμαινόμενο κάρβουνο ή ξύλο. Μετά από την ανακάλυψη αυτή και διάφορες προόδους στην παραγωγή και βελτίωση της διαδικασίας, από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> άρχισε να χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα με πρώτη ύλη το κάρβουνο και την τύρφη για την παραγωγή αερίου που χρησιμοποιήθηκε στο φωτισμό των πόλεων και το μαγείρεμα. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου οι μεγάλες ελλείψεις σε πετρέλαιο στην Ευρώπη, έφεραν ξανά στο προσκήνιο την αεριοποίηση με χρήση του ξύλου ως πρώτη ύλη για τη χρήση σε οχήματα και έτσι σχεδόν 9 εκ. τέτοια οχήματα κατασκευάστηκαν στην Ευρώπη μέχρι το 1945. Μετά τη λήξη του πολέμου η αεριοποίηση εγκαταλείφθηκε, αφού υπήρχε ξανά επάρκεια σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο, έτσι μόνο μετά τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70 και τις αβεβαιότητες της δεκαετίας του '90 από την αστάθεια των πετρελαιοπαραγωγών χωρών της Μέσης Ανατολής, ήρθε ξανά στην επιφάνεια ως συμπληρωματική λύση.

(Woods, 2019). Στις μέρες μας οι διαρκώς αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες και τάσεις για περιορισμό των ορυκτών καυσίμων, αλλά και οι αυξανόμενες ανάγκες διαχείρισης της βιομάζας των αστικών αποβλήτων, φέρνουν ξανά στην επικαιρότητα την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μία διαδικασία που διασπά τα πλούσια σε άνθρακα οργανικά υλικά, σε υψηλές θερμοκρασίες (θερμοχημική διαδικασία) που υπερβαίνουν τους  $700^{\circ}\text{C}$ , χωρίς καύση και υπό ελεγχόμενες ποσότητες οξυγόνου ή και ατμού σε πολλές περιπτώσεις, σε μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Το  $\text{CO}$  στη συνέχεια αντιδρά με το νερό ( $\text{H}_2\text{O}$ ) που βρίσκεται στη βιομάζα ή τον ατμό και σχηματίζει  $\text{CO}_2$  και περισσότερο  $\text{H}_2$  μέσω αντίδρασης μετατροπής νερού σε αέριο. Το παραγόμενο αέριο  $\text{H}_2$  συλλέγεται αφού διαχωρισθεί από το αέριο μίγμα με ειδικούς απορροφητές ή μεμβράνες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η πυρόλυση είναι το αρχικό στάδιο της αεριοποίησης όπου η βιομάζα διασπάται με θέρμανση και σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο (χωρίς να γίνεται καύση). Γενικά όμως η βιομάζα δεν αεριοποιείται τόσο εύκολα όσο το κάρβουνο για παράδειγμα και έτσι το πυρολυτικό αποτέλεσμα, ειδικά όταν γίνεται σε πλήρη απουσία οξυγόνου εξάγει ένα αέριο μίγμα που περιέχει διάφορους υδρογονάνθρακες, έτσι απαιτείται ένα ακόμη βήμα για την μετατροπή αυτών των υδρογονανθράκων σε ένα καθαρό μίγμα συνθετικού αερίου που να περιέχει  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  και  $\text{CO}_2$ . Αυτό γίνεται με τη χρήση καταλυτών και στη συνέχεια όπως ακριβώς συμβαίνει στην αεριοποίηση, το στάδιο αντίδρασης του  $\text{CO}$  με το  $\text{H}_2\text{O}$  (με τη βοήθεια ατμού) μετατρέπει το  $\text{CO}$  σε  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2$ . Τελικά το παραγόμενο  $\text{H}_2$  διαχωρίζεται και συλλέγεται. (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE), χ.χ.).

#### **3.1.2.3.4 Τα προβλήματα της πυρόλυσης και αεριοποίησης**

Σε θεωρητικό επίπεδο οι εναλλακτικές τεχνολογίες της πυρόλυσης και αεριοποίησης δείχνουν να είναι πιο καθαρές, αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες από την αποτέφρωση. Ωστόσο όπως αναφέρει και ο Peter Orris, ένας καθηγητής του πανεπιστημίου του Illinois στις ΗΠΑ : *«Οι μηχανικοί από την πλευρά της βιομηχανίας αξιολογούν την περίπτωση σε σταθερή κατάσταση και με τη μέγιστη θερμοκρασία... δεν έχω λόγους να αμφισβητήσω ότι αυτές οι υποθέσεις είναι σωστές, αλλά δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα στην πραγματικότητα»*. (Seltenrich, 2016). Αυτό συμβαίνει γιατί η απόδοση είναι μέγιστη και οι εκπομπές ελάχιστες όταν οι εγκαταστάσεις λειτουργούν πλήρως, αλλά

η εκκίνηση, η ψύξη και η τροφοδότηση πρώτης ύλης σε αυτές τις εγκαταστάσεις είναι οι περιπτώσεις όπου πολλά προβλήματα εμφανίζονται. Συναφώς, σύμφωνα με τον Ιταλό ερευνητή Umberto Arena, ο οποίος είναι και συντάκτης στο περιοδικό Waste Management, αυτή η διαφορά μεταξύ της πιθανής και της πραγματικής απόδοσης είναι ιδιαίτερα εμφανής σε εγκαταστάσεις έξω από τις ΗΠΑ και σχετίζεται κυρίως με την έλλειψη βιώσιμων οικονομικά λύσεων για τον καθαρισμό του παραγόμενου συνθετικού αερίου. (Seltenrich, 2016). Αν και ο τρόπος της «έμμεσης» διάσπασης βιομάζας χωρίς καύση με την μέθοδο της πυρόλυσης και αεριοποίησης μπορεί δυνητικά να μειώσει τις εκπομπές τέφρας και τοξικών αερίων, η ανομοιομορφία στη σύσταση της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη παίζει σημαντικό ρόλο στη μειωμένη απόδοση και την παραγωγή ανεπιθύμητων ιζημάτων που επικάθονται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας όπως η πίσσα. Για την αντιμετώπιση των ανεπιθύμητων ιζημάτων και την ασφάλεια της διαδικασίας απαιτείται ο στενός έλεγχος των αντιδράσεων αλλά και η χρήση καταλυτών όπως: αλκαλικά μεταλλικά άλατα, φυσικά ορυκτά, πολύτιμα μέταλλα και συνθετικά υλικά. (Thanh & Nguyen, 2020). Το τελευταίο μαζί με το κόστος κατασκευής αλλά και τις απαιτήσεις σε ενέργεια αυτού του είδους των εγκαταστάσεων, καθιστούν εξαιρετικά δαπανηρή τη λειτουργία τους. Αν και πολλές ακαδημαϊκές έρευνες παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα τεχνολογιών ανάκτησης ενέργειας από απορρίμματα όπως η πυρόλυση ως αποδοτικές λύσεις, στην πραγματικότητα αποτελέσματα της λειτουργίας τέτοιων συστημάτων έδειξαν αρνητική απόδοση καθώς καταναλώνουν 5 έως 87 φορές περισσότερη ενέργεια από αυτή που μπορεί να ανακτηθεί από το αέριο που παράγουν. Συναφώς, ο ισχυρισμός ότι αυτά τα συστήματα, τουλάχιστον με τη σημερινή τεχνολογία, είναι αυτοσυντηρούμενα, στην περίπτωση της πυρόλυσης πλαστικών είναι ουτοπικός γιατί αν αυτό συνέβαινε θα παραβίαζε του νόμους της θερμοδυναμικής. (Rollinson A. , 2020). Επιπρόσθετα, παραδείγματα αποτυχημένων προσπαθειών χρήσης τεχνολογιών της αεριοποίησης, πέρα από τους κινδύνους που έφεραν ξανά στο προσκήνιο από την παραγωγή άκρως τοξικών και εύφλεκτων αερίων κατά την αεριοποίηση, αποδεικνύουν ότι οι εκπομπές αερίων και η ατμοσφαιρική μόλυνση από αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις κάθε άλλο παρά αμελητέα είναι. Έτσι μία εγκατάσταση αεριοποίησης στο Dumfries της Σκωτίας επί σειρά ετών απέτυχε να εκπληρώσει τις προβλέψεις για μειωμένη εκπομπή ρύπων και έτσι τελικά έκλεισε το 2013 έπειτα από υπέρβαση των ορίων εκπομπής διοξινών και άλλων ρυπογόνων, αποδίδοντας μακράν λιγότερη ενέργεια από την αναμενόμενη. (Seltenrich, 2016). Στην περίπτωση της πυρόλυσης, αναφορές ατυχημάτων σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις και σε βιομηχανίες

χημικών, αποδεικνύουν ότι η διαδικασία ενέχει κινδύνους καθώς παράγει τοξικά και πολύ εύφλεκτα αέρια. Αν και η πυρόλυση είναι θερμοχημική διεργασία που γίνεται απουσία οξυγόνου εμπεριέχει σύνθετες αντιδράσεις και υψηλές θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τις θερμοκρασίες αυτανάφλεξης των υλικών που χρησιμοποιούνται. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος πυρκαγιάς, εκρήξεως και απελευθέρωσης τοξικών ουσιών λαμβάνει χώρα κατά την εκκίνηση, την παύση και την διαλειμματική λειτουργία. (Rollinson A. N., 2018). Τα ατυχήματα σε εγκαταστάσεις θερμοχημικής επεξεργασίας, είναι συχνά. Χαρακτηριστικά, στο Ηνωμένο Βασίλειο που ο τομέας διαχείρισης αποβλήτων χρησιμοποιεί τέτοιες τεχνολογίες επεξεργασίας, το εργαζόμενο προσωπικό εμφανίζει ένα ποσοστό θνησιμότητας από ατυχήματα, 15 φορές μεγαλύτερο από κάθε άλλο τομέα της βιομηχανίας. (Hedlund, 2023).

Με τα σημερινά δεδομένα, αν και η πυρόλυση είναι περισσότερο αποδοτική από θερμοδυναμικής πλευράς σε σχέση με την αεριοποίηση και οι δύο μέθοδοι είναι πολύ ακριβότερες από την απλή αποτέφρωση και απαιτούν περισσότερη ενέργεια. Αν και η αποτέφρωση είναι κατάλληλη για μία μεγάλη γκάμα μικτών αποβλήτων που περιλαμβάνουν επικίνδυνα υλικά, η πυρόλυση αποδίδει καλύτερα σε οργανικά υλικά όπως η βιομάζα, το λάστιχο και τα πλαστικά, ενώ η αεριοποίηση αν και ακριβότερη από όλες τις μεθόδους θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων λόγω της πολυπλοκότητάς της, μπορεί να διαχειρισθεί ευρεία γκάμα πρώτης ύλης που περιλαμβάνει το κάρβουνο, τη βιομάζα και τα αστικά στερεά απόβλητα. (Hasini, 2024). Μελλοντική πρόοδος στην τεχνολογία, δύναται να καταστήσει αυτού του είδους τις μεθόδους βιώσιμες από πλευράς κόστους και απόδοσης, αλλά και περισσότερο ελέγξιμες και ασφαλείς.

### **3.1.3 Η απόρριψη (Disposal) και υγειονομική ταφή (Landfilling)**

Μία από τις παλαιότερες και χειρότερες λύσεις απαλλαγής από τα κάθε είδους απόβλητα είναι η ταφή τους σε χωματερές ή υγειονομική ταφή στους γνωστούς Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Αν και ιστορικά<sup>15</sup>, η μέθοδος αυτή αποτέλεσε τον βασικότερο τρόπο απαλλαγής από κάθε είδους απορρίμματα, (συμπεριλαμβανομένων και των αποβλήτων – απορριμμάτων τροφίμων), με σκοπό την μείωση των επιπτώσεων στην

---

<sup>15</sup> Οι χώροι υγειονομικής ταφής (χωματερές), υπάρχουν εδώ και πάνω από 5000 έτη. Αρχαιολογικές αποδείξεις της ύπαρξής τους έχουν ανευρεθεί τόσο στην Κρήτη του 3000 π.Χ., σε αποθέσεις απορριμμάτων σε τάφρους που μετά σκεπαζόταν με χώμα, όσο και στην Αθήνα του 2500 π.Χ, όπου οι κάτοικοι μετέφεραν τα απορρίμματα σε χώρους εκτός των τειχών της πόλης για να αποφεύγεται η δυσοσμία. (Encyclopedia.com, χ.χ.).

ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, τελικά αποδείχθηκε εξαιρετικά επιβλαβής και για τα δύο. Όπως παρουσιάσαμε ήδη στην ιεραρχία ανάκτησης απορριμμάτων τροφίμων της US EPA στο κεφάλαιο 2.1, αλλά και όπως φαίνεται και στην ιεραρχία αποβλήτων της ΕΕ που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα, η πρόληψη δημιουργίας απορριμμάτων είναι η καλύτερη επιλογή, ενώ η απόρριψη / υγειονομική ταφή τους, η χειρότερη και τελευταία δυνατή επιλογή όταν δεν υπάρχει άλλη λύση (EU - European Commission (Waste Framework Directive), χ.χ.).



**Εικόνα 7: Η ιεραρχία αποβλήτων στην Οδηγία Πλαίσιο Αποβλήτων (Waste Framework Directive) της ΕΕ. (Πηγή: [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en))**

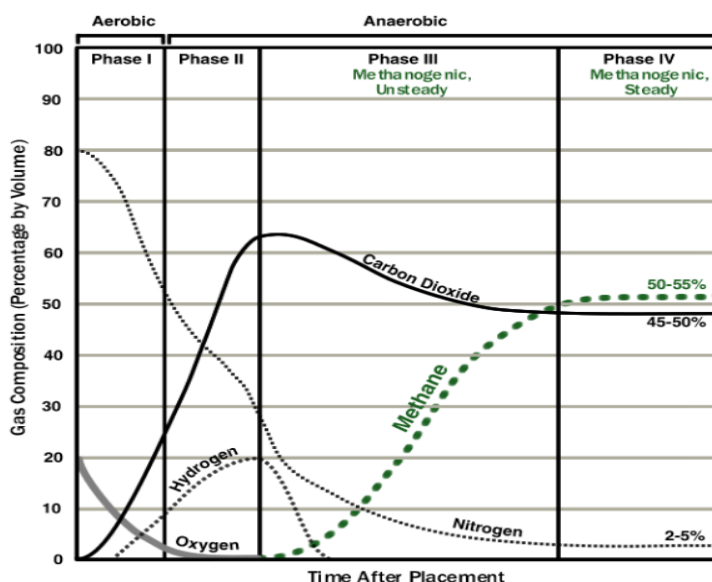
Οι σύγχρονοι χώροι υγειονομικής ταφής έχουν εξελιχθεί και διαθέτουν προβλέψεις για τον περιορισμό διαρροής τοξικών ουσιών. Ωστόσο, οι κάθε είδους διαρροές με απελευθέρωση αερίων θερμοκηπίου και με μόλυνση του γύρω περιβάλλοντος αλλά και του υπεδάφους είναι μία ζοφερή πραγματικότητα που ενέχει πολύ σοβαρούς κινδύνους και μπορεί να αντιμετωπισθεί μόνο με την αποτελεσματική ανακύκλωση και επεξεργασία των αποβλήτων ώστε να μην καταλήγουν σε τέτοιους χώρους. (National Geographic, χ.χ.).

Μία ειδική περίπτωση της απόθεσης βιολογικών απορριμμάτων είναι αυτή της διασποράς τους στο έδαφος ως βελτιωτικό, που συχνά χρησιμοποιείται στις φάρμες παραγωγής αγροτικών προϊόντων για να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει τα εμπορικά χημικά λιπάσματα. Αν και η χρήση βιο-στερεών και απορριμμάτων τροφίμων έχει οφέλη στη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους, πρόσφατες έρευνες όπως θα αναλύσουμε παρακάτω, έδειξαν ότι υπάρχουν και σε αυτή την περίπτωση σοβαροί κίνδυνοι υγείας από τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, που καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση της σύστασης στη βιομάζα που χρησιμοποιείται, καλή διαλογή της πρώτης ύλης, αλλά και επεξεργασία της.

### 3.1.3.1 Η υγειονομική ταφή (Landfill)

#### Η έκλυση αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής (Land Fill Gas, LFG)

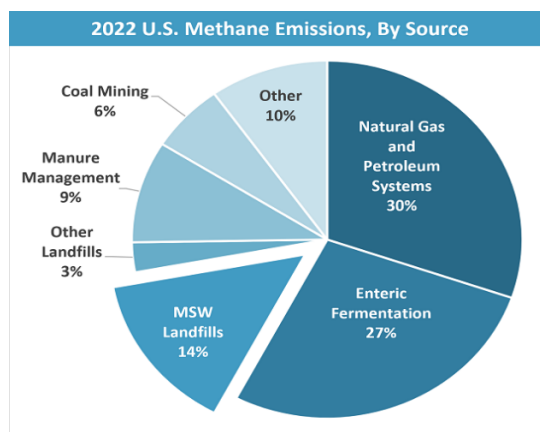
Όταν τρόφιμα και άλλα οργανικά υλικά αποσυντίθενται στους χώρους υγειονομικής ταφής τους όπου βρίσκονται σε αναερόβιο περιβάλλον, τα βακτήρια διασπούν τα οργανικά υλικά και η αναερόβια αυτή διαδικασία εκλύει μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), ένα από τα βασικότερα αέρια μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που συμβάλουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και συνεπώς στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Σε σχέση όμως με το  $\text{CO}_2$  το  $\text{CH}_4$  έχει ακόμη μεγαλύτερες επιπτώσεις γιατί είναι 28 φορές πιο αποτελεσματικό στο να παγιδεύει θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα. Αν και στους χώρους υγειονομικής ταφής η βιομάζα από τα στερεά αστικά απόβλητα (Municipality Solid Waste, MSW) αρχικά περνά ένα στάδιο αερόβιας αποσύνθεσης (παρουσία οξυγόνου), σε λιγότερο από ένα έτος επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και έτσι αναπτύσσονται αναερόβια βακτήρια που παράγουν (όπως και στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης) αέριο που ονομάζεται αέριο υγειονομικής ταφής (Land Fill Gas, LFG) και αποτελείται κατά περίπου 50% από μεθάνιο (το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου) και μικρές ποσότητες από άλλα οργανικά υλικά. (US EPA, 2024). Οι διάφορες μεταβολές στις οποίες υπόκειται το LFG με την πάροδο του χρόνου από την εναπόθεση απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής φαίνεται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα :



**Σχήμα 15:** Οι μεταβολές της σύστασης του LFG με την πάροδο του χρόνου στους χώρους υγειονομικής ταφής [Πηγή: (US EPA, 2024) όπου υπάρχει παραπομπή : Η εικόνα υιοθετήθηκε από ATSDR 2008. Chapter 2: Landfill Gas Basics in Landfill Gas Primer – An Overview for Environmental Health Professionals. Figure 2-1, pp. 5-6.  
(Πηγή: [https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill\\_2001\\_ch2mod.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/PDFs/Landfill_2001_ch2mod.pdf))

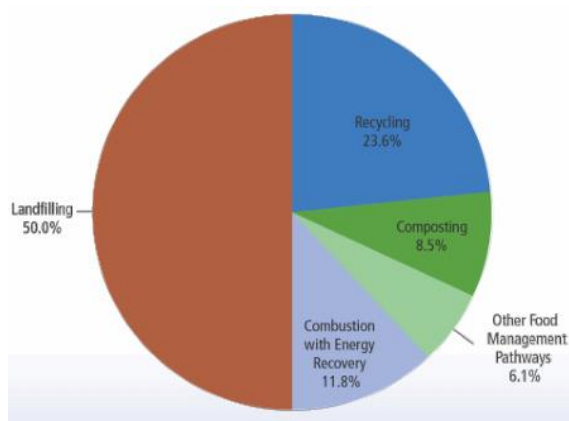


Στις ΗΠΑ, οι περιοχές υγειονομικής ταφής στερεών αστικών απόβλητων αποτελούν την 3<sup>η</sup> μεγαλύτερη πηγή εκπομπών μεθανίου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

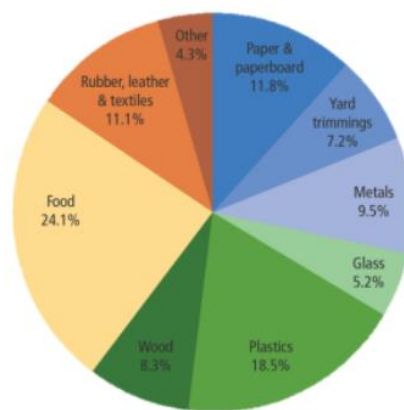


Σχήμα 16: Εκπομπές μεθανίου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες [Πηγή: (US EPA, 2024)]

Σύμφωνα με στοιχεία της US EPA, στις ΗΠΑ το 2018, από τα 292 εκ. τόνους αστικών στερεών αποβλήτων που παράχθηκαν, 146 εκ. τόνοι (το 50%) κατέληξαν σε χώρους υγειονομικής ταφής και τα απόβλητα τροφίμων αποτελούσαν περίπου το 24% των αστικών αποβλήτων αυτών (US EPA, 2020), όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα :



Σχήμα 17: Χειρισμός των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων στις ΗΠΑ το 2018



Σχήμα 18: Ποσοστιαία σύσταση αστικών στερεών απόβλητων που κατέληξαν σε χώρους υγειονομικής ταφής στις ΗΠΑ το 2018

Πηγή: US EPA (2020, Dec). Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet. Διαθέσιμο στο: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018\\_ff\\_fact\\_sheet\\_dec\\_2020\\_fnl\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf)

Σε αναφορά της EPA για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών μεθανίου από απορρίμματα τροφίμων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής από το 1990 έως το 2020, αποδεικνύεται ότι καίτοι οι συνολικές εκπομπές μεθανίου από χώρους ταφής αστικών



αποβλήτων μειώνονται, οι εκπομπές από τα θαμμένα υπολείμματα τροφίμων αυξάνονται. Εξαιτίας του μεγάλου ρυθμού με τον οποίο αποσυντίθενται, τα απορρίμματα τροφίμων, παράγουν τελικά περίπου το 58% της συνολικής ποσότητας μεθανίου που εκλύεται από τους υπόψη χώρους υγειονομικής ταφής και αυτό αποδεικνύει ότι η δρομολόγηση τους μακριά από τους χώρους υγειονομικής ταφής αστικών αποβλήτων είναι ο μόνος αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της επιβάρυνσης στο περιβάλλον (US EPA, 2023). Για όλους αυτούς τους λόγους, από τον Οκτώβριο του 2009 εκδόθηκε από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA), ο ειδικός νόμος 40 CFR Part 98 που απαιτεί την αναφορά εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Green House Gas, GHG) από μεγάλες πηγές και προμηθευτές στις ΗΠΑ, για τη συλλογή δεδομένων με ακρίβεια και τη λήψη αποφάσεων ως προς την πολιτική διαχείρισής τους. (US EPA, 2024). Αντίστοιχα στοιχεία από την ΕΕ έδειξαν ότι το 2018 το 24% όλων των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων απορρίφθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην ανθρώπινη υγεία σε συνάρτηση με το κόστος ευκαιρίας που χάνεται από την μη αξιοποίηση των απορριμμάτων αυτών για την παραγωγή ενέργειας οδήγησε στην οδηγία του ευρωπαϊκού συμβουλίου Landfill Directive 1999/31/EC, για υγειονομική ταφή αποβλήτων. Στην υπόψη οδηγία αφού λαμβάνονται υπόψη η διάκριση των χώρων υγειονομικής ταφής σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα απορρίμματα,<sup>16</sup> εισάγονται κατευθύνσεις για διαλογή των απορριμμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανάκτηση ενέργειας, την αποφυγή μίξης και ανεξέλεγκτης ταφής επικίνδυνων ουσιών μαζί με άλλα απόβλητα και την ταφή απορριμμάτων μόνο έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, για τη μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία και με απώτερο στόχο τον περιορισμό της υγειονομικής ταφής των αστικών αποβλήτων στο 10% έως το 2035. (EU - European Commission (Landfill Waste), χ.χ.).

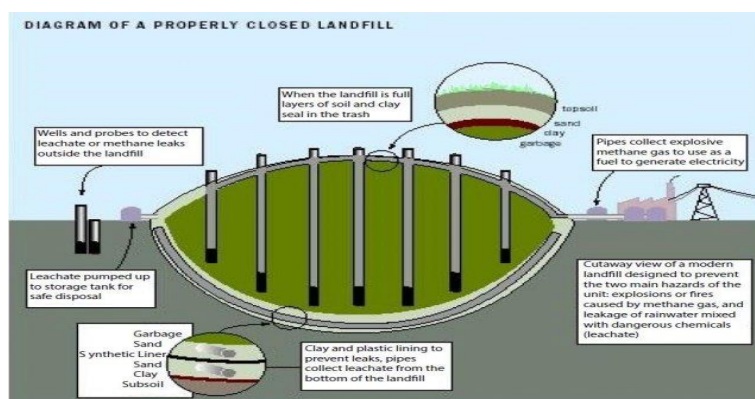
### **Η μόλυνση του υπεδάφους και του υδροφόρου ορίζοντα από διαρροές (ground water contamination by landfill leachate)**

Τα αστικά στερεά απόβλητα, απορρίπτονται σε συγκεκριμένους χώρους υγειονομικής ταφής και αυτοί οι χώροι δέχονται συνήθως και άλλους τύπους μη επικίνδυνων αποβλήτων όπως βιομηχανικά στερεά απόβλητα και υλικό υπονόμων. Αν και οι συγκεκριμένοι ΧΥΤΑ υπόκεινται σε περιορισμούς ώστε να βρίσκονται μακριά από γεωλογικές περιοχές με

---

<sup>16</sup> Τους χώρους ταφής για: επικίνδυνα, μη επικίνδυνα, αδρανή απόβλητα.

ρήγματα, απορροές υδάτων και πλημμυρίδες, το νερό της βροχής διαρρέει και αποστραγγίζεται μέσα από τα απορρίμματα, δημιουργώντας στραγγίσματα (leachates) που μεταφέρουν και διαχέουν διάφορες χημικές ουσίες στο γύρω έδαφος και υπέδαφος. (US EPA, 2024). Σε ΧΥΤΑ που δεν έχουν τοποθετηθεί επενδύσεις ή οι υπάρχουσες επενδύσεις αποτυγχάνουν να περιορίσουν τις διαρροές, τα στραγγίσματα που διαρρέουν από απορρίμματα τροφίμων, πολλές φορές περιέχουν παθογόνους οργανισμούς και φυσικές ή/και χημικές προσμίξεις που δύναται να οδηγήσουν σε μόλυνση των υπογείων υδάτων. Η ποσότητα των στραγγισμάτων αυτών εξαρτάται από την υγρασία των αποβλήτων, το ποσοστό βροχόπτωσης, την εξάτμιση και κυρίως από την ανοχή και απορροφητικότητα του χώρου υγειονομικής ταφής που μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. (Kenny, και συν., Οκτ 2023). Για την αποφυγή των διαρροών και της μόλυνσης, στις ΗΠΑ υφίσταται μία σειρά από ομοσπονδιακούς κανονισμούς και αναθεωρημένα κριτήρια χρήσης τους όπως αυτά του κώδικα 40 ομοσπονδιακών κανονισμών τμήμα 258 (40 CFR part 258) που προβλέπει όχι μόνο την απομακρυσμένη από υδάτινους πόρους τοποθεσία των υπόψη ΧΥΤΑ, αλλά και απαιτήσεις για σύνθετες επενδύσεις με μεμβράνες που αποτρέπουν τη διαρροή στραγγισμάτων στο υπέδαφος, συστήματα συλλογής, επεξεργασίας και απομάκρυνσης των στραγγισμάτων, πρακτικές λειτουργίας που προβλέπουν τη συχνή κάλυψη των αποβλήτων με στρώμα χώματος, καθώς και συστήματα επιτήρησης και ελέγχου των υπογείων υδάτων αλλά και οικονομική διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος σε χώρους υγειονομικής ταφής που έχουν γεμίσει, ώστε να παρέχεται η απαραίτητη χρηματοδότηση για την περιβαλλοντική προστασία κατά τη διάρκεια και μετά το κλείσιμο (σφράγισμα) ενός τέτοιου χώρου. (US EPA, 2024). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η τομή ενός σύγχρονου χώρου υγειονομικής ταφής:



Εικόνα 8: Τομή ενός κατάλληλα σφραγισμένου χώρου υγειονομικής ταφής. [Πηγή: (US EPA, 2024)]

## Η δέσμευση άνθρακα και η ανάκτηση ενέργειας από τους χώρους υγειονομικής ταφής

Ο μη διασπώμενος άνθρακας στα απορρίμματα τροφίμων συγκεντρώνεται και δεσμεύεται στο έδαφος των ΧΥΤΑ μειώνοντας τις συνέπειες από την πιθανή απελευθέρωσή του και συμβολή στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ωστόσο στην περίπτωση των απορριμμάτων τροφίμων, το μοντέλο WARM<sup>17</sup> της US EPA έδειξε ότι μόνο το 16% της ποσότητας τους σε άνθρακα δεσμεύεται σε σχέση με άλλα οργανικά υλικά όπως τα φύλλα στα οποία ο άνθρακας που δύναται να δεσμευθεί φτάνει και το 85%.<sup>18</sup> Πάραυτα, η δέσμευση άνθρακα εξαρτάται από τη διασπασιμότητα της πρώτης ύλης αλλά και τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου υγειονομικής ταφής.<sup>19</sup> Διαφορετικές μελέτες ερευνών που στηρίζονται σε εκτιμήσεις του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment, LCA), θεωρούν ότι για κάθε τόνο απορριμμάτων τροφίμων στους ΧΥΤΑ δεσμεύονται μόνο από 67 έως 168 kg ισοδύναμου CO<sub>2</sub>.<sup>20</sup>

Ο βιοδιασπώμενος άνθρακας στα απορρίμματα τροφίμων, εξασφαλίζει ταχεία παραγωγή αερίου LFG στους χώρους υγειονομικής ταφής και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα απορρίμματα τροφίμων είναι τα απόβλητα που συντελούν στη μεγαλύτερη παραγωγή LFG με κύριο συστατικό το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>). Έτσι, οι εκπομπές μεθανίου από τα αστικά στερεά

---

<sup>17</sup> Πρόκειται για μοντέλο μείωσης αποβλήτων (Waste Reduction Model, WARM) που παρέχει συγκρίσεις υψηλού επιπέδου για πιθανές μειώσεις των εκπομπών αερίων, εξοικονόμηση ενέργειας και οικονομικές επιπτώσεις από διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης υλικών που περιλαμβάνουν μείωση της πηγής, ανακύκλωση, αναερόβια χώνευση, καύση, κομποστοποίηση και υγειονομική ταφή. (US EPA, 2024).

<sup>18</sup> Σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στην αναφορά έρευνας της US EPA (Kenny, και συν., Οκτ 2023), η οποία στην με αριθμό 46 υποσημείωσή τέλους, παραπέμπει σε στοιχεία από: U.S. EPA. 2020b. Documentation for greenhouse gas emission and energy factors used in the waste reduction model (WARM): Management practices chapters. WARM Version 15. Washington, DC, USA: United States Environmental Protection Agency, Office of Resource Conservation and Recovery. <https://www.epa.gov/warm/documentation-chapters-greenhouse-gas-emission-energy-and-economic-factors-used-waste-reduction>

<sup>19</sup> Σύμφωνα με τα διαλαμβανόμενα στην υποσημείωση τέλους με αριθμό 47 της αναφορά έρευνας της US EPA (Kenny, και συν., Οκτ 2023), μία μελέτη που μοντελοποιεί το χώρο υγειονομικής ταφής ως « ένα ‘στεγνό τάφο’ όπου η μικροβιακή δραστηριότητα καταστέλλεται» υποθέτει ότι το 43% του άνθρακα δεσμεύεται. [παραπομπή σε: Yoshida, H., J. J. Gable, and J. K. Park. 2012. Evaluation of organic waste diversion alternatives for greenhouse gas reduction. *Resources, Conservation and Recycling* 60: 1–9. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.011.]. Αυτή η πολύ υψηλότερη τιμή από το 16% της EPA είναι αμφίβολο να έχει εφαρμογή σε περιοχές με υψηλή υγρασία. Επιπρόσθετη έρευνα έδειξε ότι η υποβάθμιση των χώρων υγειονομικής ταφής (σε ότι αφορά τις δυνατότητες δέσμευσης άνθρακα) είναι περιορίζεται περισσότερο σε άνυδρες / ξηρές περιοχές. [παραπομπή σε: Jain, P., J. Wally, T. G. Townsend, M. Krause, and T. Tolaymat. 2021. Greenhouse gas reporting data improves understanding of regional climate impact on landfill methane production and collection. *PLOS One* 16 (2): e0246334. doi:10.1371/journal.pone.0246334.].

<sup>20</sup> Σύμφωνα με παραπομπή στο Bernstad Saraiva Schott, A., H. Wenzel, and J. la Cour Jansen. 2016. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – An analytical review. *Journal of Cleaner Production* 119: 13–24. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.01.079.

απόβλητα στις ΗΠΑ το 2022 είχαν συγκρίσιμες επιπτώσεις με αυτές της χρήσης 24 εκ. οχημάτων βενζίνης ή της θέρμανσης 13,1 εκ σπιτιών. Το τελευταίο αποδεικνύει ότι πέρα από τις επιπτώσεις του LFG στο περιβάλλον, η διάχυση του στην ατμόσφαιρα αποτελεί και μία χαμένη ευκαιρία εκμετάλλευσης του ως μία σημαντική πηγή ενέργειας. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας το LFG στους σύγχρονους ΧΥΤΑ, συλλέγεται, μετατρέπεται και χρησιμοποιείται ως ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, ενώ παράλληλα περιορίζονται οι δυσάρεστες οσμές και οι επιπτώσεις που θα είχε αν εκλυόταν ελεύθερα στο περιβάλλον. Οι βασικές επιλογές ανάκτησης ενέργειας από αέριο που προέρχεται από χώρους υγειονομικής ταφής είναι τρεις (3): η άμεση χρήση του ως αέριο θέρμανσης (Btu gas), σε καυστήρες, στεγνωτές και άλλες θερμικές συσκευές, η χρήση του για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ειδικά διαμορφωμένους παλινδρομικούς κινητήρες ή τουρμπίνες αερίου και τέλος, η χρήση του ως ανανεώσιμο φυσικό αέριο (Renewable Natural Gas, RNG) κατόπιν αναβάθμισης των χαρακτηριστικών και της ποιότητας του. (US EPA, 2024). Αναλυτικά οι μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας και χρήσης του LFG παρουσιάζονται στο Παράρτημα «Γ».

Αν και το αέριο που παράγεται στους χώρους υγειονομικής ταφής (LFG) είναι μία αξιοσημείωτη πηγή ενέργειας και περίπου 60 – 80 m<sup>3</sup> (κυβικά μέτρα) LFG μπορούν να ανακτηθούν από κάθε τόνο αστικών στερεών αποβλήτων σε μία περίοδο 15 – 20 ετών, η χρήση του ενέχει προκλήσεις και εξαρτάται από περιβαλλοντικούς, τεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Έτσι, σε χώρους υγειονομικής ταφής που έχουν τοποθετηθεί διατάξεις συλλογής LFG και το αέριο χρησιμοποιείται στην παραγωγή ενέργειας, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μεγάλες ποσότητες του απλώς καίγονται γιατί συχνά το εκάστοτε κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι σχετικά χαμηλό και έτσι δεν συμφέρει η παραγωγή του με χρήση του LFG. Επιπρόσθετα, σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες, η καταστροφή του LFG με απλή καύση (χωρίς καμία θερμική ή ηλεκτρική παραγωγή) συχνά οφείλεται στην οικονομική χρηματοδότηση που υπάρχει από ανταποδοτικά προγράμματα πίστωσης άνθρακα. Σε πολλές περιπτώσεις, σημαντικά εμπόδια στη χρήση του LFG, μπορεί να προέρχονται από τις εταιρίες διάθεσης ενέργειας που δεν ενδιαφέρονται (για λόγους διατήρησης της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος σε υψηλά επίπεδα) για την ενσωμάτωση της ηλεκτρικής παραγωγής από LFG στο δίκτυο τούς, ή απλώς οι κόμβοι και οι υποσταθμοί τους απέχουν σημαντικά από τους χώρους παραγωγής και μετατροπής του LFG σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, και η ίδια η παραγωγή του LFG δεν είναι ομοιόμορφη σε

απόδοση, οπότε είναι πολύ σημαντικό για τις εγκαταστάσεις χρήσης του LFG να μπορούν να προσαρμοσθούν στους εκάστοτε ρυθμούς εξαγωγής και διάθεσης του αερίου, καθώς περίσσειμα που δεν χρησιμοποιείται συνήθως καίγεται. Για τους λόγους αυτούς, στις περισσότερες εγκαταστάσεις, το LFG χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στις βιομηχανικές χώρες της Ευρώπης όπου αυτή είναι η πιο συνηθισμένη πρακτική, το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο συνήθως περνά κοντά από τέτοιες εγκαταστάσεις LFG. Τεχνικά, η διαδικασία αναβάθμισης του LFG σε ποιότητα ανανεώσιμου φυσικού αερίου (RNG) είναι μία αρκετά ακριβή διαδικασία, εξαιτίας της περιεκτικότητας του σε οξυγόνο και άζωτο και για το λόγο αυτό η παρασκευή RNG από LFG έχει ενδιαφέρον μόνο στην περίπτωση μεγάλων ποσοτήτων για μεγάλες χρονικές περιόδους όπου εφαρμόζονται οικονομίες κλίμακας. Από την άλλη πλευρά, είναι συνηθισμένη τεχνικά η χρήση του LFG για παραγωγή θερμότητας σε ειδικά προσαρμοσμένους καυστήρες που ανταποκρίνονται στη χαμηλότερη από το φυσικό αέριο περιεκτικότητα του LFG σε μεθάνιο. Ωστόσο, οι ανάγκες θερμότητας δεν είναι συνεχείς και ίδιες για όλη τη διάρκεια του έτους και έτσι οι εγκαταστάσεις παραγωγής LFG για θέρμανση δεν λειτουργούν συνεχώς στο μέγιστο της παραγωγής ή απόδοσής τους. Επιπλέον, η χρήση αγωγών για την εναλλακτική τροφοδοσία εργοστασίων με LFG δεν είναι και τόσο διαδεδομένη, ενώ η αποθήκευση του σε δεξαμενές είναι αρκετά ακριβή διαδικασία. Τέλος, η καύση του LFG ενέχει περιβαλλοντικούς κινδύνους γιατί περιέχει ιχνοστοιχεία τοξικών ουσιών και άρα απαιτεί φιλτράρισμα και επεξεργασία καυσαερίων (που ενέχει επιπλέον κόστος), ενώ και η ίδια η περιεκτικότητα του σε οξυγόνο ή η έκθεση του σε οξυγόνο υπό πίεση, μπορεί να οδηγήσει σε εκρήξεις κάτω από διάφορες συνθήκες και έτσι απαιτείται ο προσεκτικός χειρισμός του, η στενή επιτήρηση της όλης διαδικασίας αλλά και η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού προστασίας. Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι πριν την κατασκευή οποιασδήποτε εγκατάστασης εξαγωγής και χρήσης του LFG από ΧΥΤΑ, απαιτείται να συνυπολογισθεί μία σειρά τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων που εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε χώρα και την τοποθεσία κάθε χώρου υγειονομικής ταφής. (Rettenberger, 2018).

### **3.1.3.2 Η απόθεση (disposal) και διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος (land application of biosolids)**

Η απόθεση και διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος, ή η εισαγωγή τους μέσα σε αυτό αποτελεί μια γνωστή και συνηθισμένη πρακτική στις ΗΠΑ για τη βελτίωση των



χαρακτηριστικών του εδάφους, γιατί αφενός βελτιώνει την υφή του και την ικανότητα κατακράτησης νερού, αφετέρου παρέχει ωφέλιμα για τις καλλιέργειες συστατικά όπως το άζωτο, ο φώσφορος και μικρές ποσότητες από άλλα βασικά μέταλλα όπως το νικέλιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός. Επιπρόσθετα, η οργανική φύση των βιο-στερεών παρέχει πλεονεκτήματα όπως η αργή αποδέσμευση των συστατικών τους και η περιορισμένη του διαλυτότητα στο νερό που τους εξασφαλίζει μικρότερη πιθανότητα διαρροής σε υπόγεια ή απορροής σε επιφανειακά ύδατα. Η εναπόθεση και διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος, εφόσον υφίστανται σε ποιοτικό έλεγχο είναι ένας μακράν καλύτερος τρόπος απαλλαγής από τέτοιου είδους απόβλητα, σε σχέση με την υγειονομική τους ταφή. Συγκριτικά, είναι ένας σχετικά οικονομικός και απλός τρόπος διαχείρισης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας και διαχείρισης στερεών αποβλήτων, ωστόσο η ίδια η διαδικασία είναι μια υψηλής εντάσεως εργασία η οποία περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους και δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε έδαφος σκεπασμένο με πάγο ή χιόνι. Για το λόγο αυτό απαιτεί εγκαταστάσεις αποθήκευσης των βιο-στερεών. Συχνά, οι δυσάρεστες οσμές που συνοδεύουν τη χρήση βιο-στερεών και λυμάτων υονόμου, εγείρουν τη δυσανεξία των κοινωνιών που διαβιών κοντά σε περιοχές όπου γίνεται διασπορά βιο-στερεών και για το λόγο αυτό απαιτείται καλή επικοινωνιακή πολιτική για τη χρήση τους. Τέλος, παρά τα οφέλη της διασποράς βιο-στερεών για το έδαφος και τις καλλιέργειες, μη ορθές πρακτικές χρησιμοποίησης τους μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις. Η υπερβολική τους χρήση και η έλλειψη ελέγχου στη σύσταση και ποιότητά τους, μπορεί να μολύνει το έδαφος και τους υδάτινους πόρους μίας περιοχής με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συστατικών από αυτές που μπορεί να δεχθεί το συγκεκριμένο έδαφος, ή ακόμη και επιβλαβείς συγκεντρώσεις μετάλλων πέρα από τα επιτρεπτά όρια τοξικότητας. (US EPA, Sep 2000). Αν και το 1995 περίπου το 54% των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων στις ΗΠΑ, διαχειρίστηκαν βιο-στερεά για διασπορά στο έδαφος, το κόστος της απόθεσης βιο-στερεών στο έδαφος είναι γενικά δύσκολο να εκτιμηθεί γιατί εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από την κλίμακα εφαρμογής αλλά και τις απαιτήσεις επεξεργασίας της βιομάζας και των λυμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη. Η χρήση βιο-στερεών για απόθεση στο έδαφος είναι μια διαδικασία που στηρίζεται σε απλό και αξιόπιστο εξοπλισμό που ωστόσο έχει κάποιο κόστος. Επιπλέον, οι αυξημένες απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό και η επεξεργασία των βιο-στερεών, που περιλαμβάνει σταθεροποίηση για την εξυγίανση από βλαβερά παθογόνα, όπως και αποξήρανση ενέχει επίσης κόστος. Επιπρόσθετα, ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να ανεβάσει σημαντικά το τελικό κόστος διασποράς βιο-στερεών είναι οι ανάγκες

μεταφοράς και αποθήκευσής τους, που εξαρτώνται από την απόσταση από τα σημεία παραγωγής και επεξεργασίας τους. (US EPA, Sep 2000).

Στις ΗΠΑ, για τη ασφαλή χρήση και απόθεση στο έδαφος βιο-στερεών και ειδικά αυτών που προέρχονται από λάσπη και λύματα υπονόμων, είναι υποχρεωτική (σύμφωνα με προβλέψεις της EPA στον κανονισμό 40 CFR Part 503) η επεξεργασία ή σταθεροποίηση τους όπως ονομάζεται, για την καταστροφή των παθογόνων που μπορεί να περιέχουν. Επιπρόσθετα απαιτείται να μην υπερβαίνουν κάποια όρια στην περιεκτικότητα τους σε συγκεκριμένα μέταλλα<sup>21</sup>, αλλά και ούτε να υπερβαίνονται συγκριμένα όρια συγκεντρώσεων στα μέταλλα αυτά μετά από τη διασπορά στο έδαφος (US EPA, Sep 2000), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Metal	Ceiling Concentration (mg/kg)	Cumulative Pollutant Loading Rates (kg/hectare)	Pollutant Concentrations (mg/kg)
Arsenic	75	41	41
Cadmium	85	39	39
Copper	4,300	1,500	1,500
Lead	840	300	300
Mercury	57	17	17
Molybdenum	75	NL	NL
Nickel	420	420	420
Selenium	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

NL = No limit

Source: U.S. EPA, 1993 and 1994.

**Πίνακας 3: Οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές περιεκτικότητας και συγκεντρώσεων σε μέταλλα σε βιο-στερεά που χρησιμοποιούνται σε απόθεση ή διασπορά στο έδαφος**

Στην Ευρώπη, καίτοι από το 2015 άρχισε να αποκτά βαρύτητα η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας σε τομείς που σχετίζονται με τη χρήση αποβλήτων, διατηρήθηκε η παλιά οδηγία Sewage Sludge Directive (SSD) 86/278/EEC του 1986 για τη χρήση λυμάτων στη γεωργία, η οποία έγινε νόμος στην ΕΕ το 1989. Ο υπόψη νόμος απαγορεύει τη χρήση των λυμάτων σε ορισμένες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα σε διάστημα δέκα (10) μηνών πριν και κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, ή για φρούτα και λαχανικά που βρίσκονται σε απευθείας επαφή με το έδαφος και επίσης θέτει περιορισμούς και όρια για τις

<sup>21</sup> Τα μέταλλα που λαμβάνονται υπόψη και είναι αποδεδειγμένα βλαβερά σε συγκεντρώσεις και ποσότητες που υπερβαίνουν συγκεκριμένες τιμές είναι τα: αρσενικό (arsenic), κάδμιο (cadmium), χαλκός (copper), μόλυβδος (lead), υδράργυρος (mercury), μολυβδαίνιο (molybdenum), νικέλιο (nickel), σελήνιο (selenium) και ψευδάργυρος (zinc).



συγκεντρώσεις συγκεκριμένων βαρέων μετάλλων<sup>22</sup> στα λύματα, το έδαφος και στις μέγιστες αποδεκτές ετήσιες τιμές, (European Council, 1986), όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Directive 86/278/EEC	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Sludge (mg/kg dw)	20–40	1000–1750	16–25	300–400	750–1200	2500–4000
Sludge-treated soil (mg/kg dw of soil) (6 < pH <sub>soil</sub> < 7)	1–3	50–140	1–1.5	30–75	50–300	150–300

**Πίνακας 4: Όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στην οδηγία ΕΕ 86/278 του 1986 [Πηγή: (Gianico, Braguglia, Gallipoli, Montecchio, & Mininni, 2021).**

Αν και οι προβλέψεις του 86/278 θεωρήθηκαν ικανοποιητικές, πάραυτα η χρήση λυμάτων από τα κ-μ της ΕΕ χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν σε ποσοστό 50% ενώ άλλες εναλλακτικές χρήσεις που αφορούν σε επεξεργασμένα βιο-στερεά σε βελτιωτικά και λιπάσματα (στρουβίτες, βιο-κάρβουνο, στάχτες) έχουν ακόμη και σήμερα περιορισμένη εφαρμογή, παρά την ύπαρξη αρκετών εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Η προσοχή φαίνεται να έχει στραφεί κυρίως σε τεχνολογικές λύσεις ανάκτησης του φωσφόρου και τελευταία στην ανάκτηση βιο-πλαστικών (πολυδρόξυαλκανοϊκά ή PHA). Συναφώς, με τον κανονισμό EU 2019/1009 η απευθείας χρήση επεξεργασμένων λυμάτων ουσιαστικά αποκλείστηκε από τη παραγωγή οργανικών λιπασμάτων και περιορίστηκε σε προϊόντα θερμικής τους επεξεργασίας, που ανήκουν στην κατηγορία των στρουβιτών, βιο-κάρβουνου και στάχτης. Εξαιτίας αυτού του κενού στη νομοθεσία, τα κράτη-μέλη της ΕΕ έχουν υιοθετήσει στις αντίστοιχες εθνικές νομοθεσίες, διαφορετικές τακτικές και όρια στη χρήση λυμάτων, δημιουργώντας μία σύνθετη κατάσταση χωρίς τυποποίηση. Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία αύξηση νέων κινδύνων όπως τα μικρο και νανο-πλαστικά, η μικρο-ίνες αλλά και οι διάφορες ανθεκτικές οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ή χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν στην τεχνολογία τροφίμων και στα προϊόντα περιποίησης και καλλυντικά,<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Κάδμιο, χαλκό, νικέλιο, μόλυβδο, ψευδάργυρο, υδράργυρο και χρώμιο. Για το τελευταίο αρχικά δεν είχε δοθεί συγκεκριμένη τιμή αλλά υπήρξε πρόβλεψη για μελλοντική επικαιροποίηση (EU - European Commission (SSD), χ.χ.) και (European Council, 1986).

<sup>23</sup> Τέτοιες οργανικές ουσίες και ενώσεις χαρακτηρίζονται από τον γενικό όρο εμμένοντες οργανικοί ρύποι (Persistent Organic Pollutants, POPs) και περιλαμβάνουν τόσο υλικά όπως τα PCBs και PCDD/Fs (πολυχλωρωμένα διφαινύλια και διοξίνες/φουράνια) που έχουν απαγορευθεί, όσο και νέα όπως το triclosan

έστρεψε το ενδιαφέρον στα νοικοκυριά και στις νέες απειλές από τη συγκέντρωσή τέτοιων ανθεκτικών (δύσκολα διασπώμενων) ουσιών στα αστικά απόβλητα, δημιουργώντας ακόμη μεγαλύτερη δυσπιστία για τη χρήση των τελευταίων στη γεωργική παραγωγή. Στο τελευταίο συντέλεσαν και τα ευρήματα από τους εκτενέστερους ελέγχους που έλαβαν χώρα στα αστικά λύματα εξαιτίας της πανδημίας του SARS-CoV-2 (γνωστότερου και ως COVID-19). Αν και τα αποτελέσματα ερευνών έδειξαν ότι ο κίνδυνος μόλυνσης θεωρείται αμελητέος, τα λύματα που παράχθηκαν κατά την περίοδο έξαρσης της πανδημίας κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιούνται υπό συνθήκες και οπωσδήποτε κατόπιν δραστηκής επεξεργασίας τους με θερμικές μεθόδους ή θερμοφιλική αναερόβια χώνευση για την εξάλειψη κάθε πιθανού παθογόνου. Αντίστοιχα, ειδικό βάρος δόθηκε και στην ενίσχυση του ελέγχου της σύστασης αλλά και επεξεργασίας των λυμάτων και της παραγόμενης βιομάζας με έμφαση τόσο στη στενή επιτήρηση των μεθόδων επεξεργασίας όσο και στη συμμόρφωση των εργαζομένων στις υπόψη εγκαταστάσεις επεξεργασίας με αυστηρούς κανόνες υγιεινής και ασφάλειας. (Gianico, Braguglia, Gallipoli, Montecchio, & Mininni, 2021).

Συνολικά οι διαφοροποιήσεις στις αντιλήψεις και προσεγγίσεις των κρατών-μελών της ΕΕ, αλλά και η τάση υπερεξασφάλισης έναντι των πιθανών επιπτώσεων της διασποράς βιο-στερεών στο έδαφος, από τη χρήση τους ως λιπάσματα στις αγροτικές καλλιέργειες, δεν βοήθησαν στη διάδοση της απόθεσης και διασποράς βιο-στερεών στην Ευρώπη σε σχέση με τις ΗΠΑ. Ωστόσο, οι διάφορες έρευνες που έγιναν και συνεχίζονται προς την κατεύθυνση αυτή, έδωσαν ώθηση στον εντοπισμό και την αντιμετώπιση νέων ανερχόμενων κινδύνων από τα μικρο-πλαστικά και τις σύνθετες οργανικές ενώσεις στα νέα καταναλωτικά προϊόντα. Αυτού του είδους οι έρευνες στην Ευρώπη, τράβηξαν με τη σειρά τους το ενδιαφέρον των ερευνητών στις ΗΠΑ για την έρευνα μόλυνσης των λυμάτων που χρησιμοποιούνται ως λίπασμα στις αγροτικές καλλιέργειες, από μικρο-πλαστικά, υπερφθοριωμένες ή πολυφθοριωμένες αλκαλικές ουσίες (Per/poly fluorinated alkyl substances, PFAS), καθώς και φαρμακευτικά προϊόντα και καλλυντικά. Τα ευρήματα τέτοιων ερευνών δείχνουν ότι οι παραπάνω ρυπογόνες και ανθεκτικές ουσίες είναι παρούσες σε μεγάλες συγκεντρώσεις τόσο στα βιομηχανικά όσο και στα αστικά λύματα και η έλλειψη κατάλληλης νομοθεσίας αλλά και αποτελεσματικών μεθόδων επεξεργασίας,

---

και triclocarban που χρησιμοποιούνται σε καλλυντικά και συναντώνται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα παραγόμενα αστικά στερεά απόβλητα. (Gianico, Braguglia, Gallipoli, Montecchio, & Mininni, 2021).

απομάκρυνσης και εξυγίανσης, τις διοχετεύει στο έδαφος χωρίς πρόβλεψη για τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αλλά και χωρίς πραγματική επίγνωση των μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της ενδεχόμενης μη-αντιστρεπτής οικολογικής καταστροφής. Τα παραπάνω κάνουν ακόμη σημαντικότερη και επιτακτική την εντατικοποίηση της έρευνας, την ακριβή ανάλυση της σύστασης και σύνθεσης της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό εδάφους, αλλά και την επένδυση σημαντικών πόρων στην εξέλιξη των τεχνολογιών και μεθόδων επεξεργασίας λυμάτων και στερεών αποβλήτων ώστε να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τις προκλήσεις από νέους ρυπογόνους παράγοντες. (Pozzebon & Seifert, 2023).

## **3.2 Σύγχρονες προσεγγίσεις διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων**

### **3.2.1 Η επανακύκλωση των τροφίμων (upcycling)**

Αν και η επαναχρησιμοποίηση τροφίμων ή υπολειμμάτων τους σε νέες συνταγές και με νέους τρόπους ώστε να αποφευχθεί η σπατάλη δεν είναι κάτι το καινούργιο, οι σύγχρονες καταναλωτικές κοινωνίες, ειδικά στις ανεπτυγμένες οικονομικά χώρες, αλλά και τρόπος με τον οποίο λειτουργεί η λιανική και η διαφήμιση συχνά οδηγούν τον τελικό καταναλωτή σε σπατάλη, αλλά και τις ίδιες τις αλυσίδες λιανικής σε απόρριψη μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων. Σε κάθε περίπτωση, αδικαιολόγητα μεγάλες ποσότητες βρώσιμων τροφίμων, παρά το κόστος παραγωγής τους και την επίπτωση αυτής στο περιβάλλον, εξέρχονται από την αλυσίδα τροφίμων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, χωρίς να έχουν εξυπηρετήσει το σκοπό για τον οποίο παράχθηκαν και καταλήγουν, σε πολλές περιπτώσεις στους χώρους υγειονομικής ταφής, επιβαρύνοντας για δεύτερη φορά στον κύκλο ζωής τους το περιβάλλον. Οι διάφορες συμβατικές μέθοδοι ανακύκλωσης και επεξεργασίας των απορριμμάτων τροφίμων όπως είδαμε στην παρ. 3.1, αλλά και η επαναχρησιμοποίησή τους για την παραγωγή ζωοτροφών δεν αποτρέπει την εξαγωγή τροφίμων από την αλυσίδα ανθρώπινης κατανάλωσης, αλλά επιδιώκει να διαχειριστεί τις συνέπειες της απορριμματοποίησης τους, να δρομολογήσει μέρος τους στη αλυσίδα εκτροφής ζώων και να εκμεταλλευθεί μέρος της χημικής τους ενέργειας. Η δωρεά τροφίμων δεν αναφέρεται καν σε απορρίμματα τροφίμων, αλλά ουσιαστικά σε ανακατανομή πλεοναζόντων τροφίμων, καταλλήλων για κατανάλωση, πριν ακόμη αυτά μετατραπούν σε απορρίμματα.

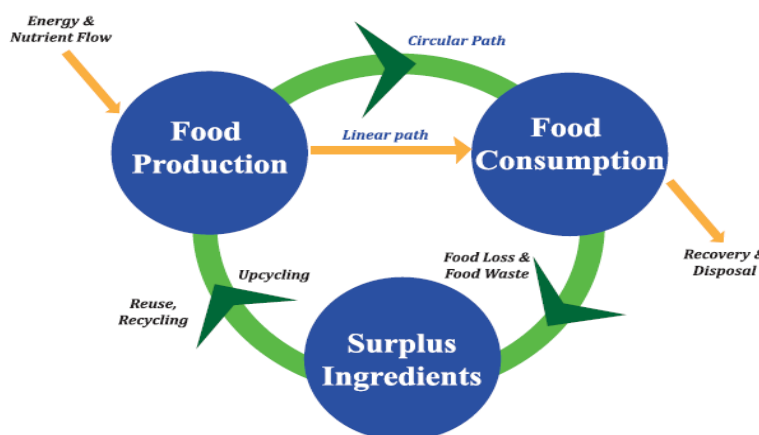
Μία σύγχρονη προσέγγιση στη χρήση όλων αυτών των θρεπτικών συστατικών που βρίσκονται στα τρόφιμα και εξέρχονται από την αλυσίδα κατανάλωσης ως απορρίμματα, δίνει η επανακύκλωση (upcycling) τροφίμων. Σύμφωνα με την Ένωση Επανακυκλωμένων

Τροφίμων (Upcycled Food Association)<sup>24</sup>, ο επίσημος ορισμός των επανακυκλωμένων τροφίμων που καθορίστηκε το 2020 για χρήση μεταξύ άλλων στην πολιτική και την επιστημονική έρευνα είναι ο ακόλουθος: *«Τα ανακυκλωμένα τρόφιμα χρησιμοποιούν συστατικά που διαφορετικά δεν θα είχαν διατεθεί για κατανάλωση από τον άνθρωπο, αγοράζονται και παράγονται χρησιμοποιώντας επαληθεύσιμες αλυσίδες εφοδιασμού και έχουν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον»*. (Upcycled Food Association (UFA), χ.χ.). Ουσιαστικά λοιπόν πρόκειται για νέα διατροφικά προϊόντα, τα συστατικά των οποίων προέρχονται από την ανακύκλωση τροφίμων που έχουν εξέλθει από την αλυσίδα εφοδιασμού και θεωρούνται απορρίμματα. Ωστόσο, ο όρος ανακύκλωση εκτιμάται ότι στην περίπτωση αυτή δεν αντιπροσωπεύει πραγματικά αυτού του είδους τα τρόφιμα γιατί στην ανακύκλωση και επεξεργασία των απορριμμάτων τροφίμων (τουλάχιστον με τη σημερινή τεχνολογία), σε καμία περίπτωση δεν αποδίδονται ως τελικά προϊόντα νέα τρόφιμα και μάλιστα κατάλληλα για κατανάλωση από τον άνθρωπο. Αντίθετα, ο όρος επανακύκλωση, εκτιμάται ότι αποδίδει την αξία του όλου εγχειρήματος καθώς στην πραγματικότητα τα παραγόμενα επανακυκλωμένα τρόφιμα περιέχουν θρεπτικά και ασφαλή για κατανάλωση συστατικά και όχι ανακυκλωμένα συνθετικά υλικά. Έτσι η περιγραφή της προέλευσης των συστατικών τους στον παραπάνω ορισμό : *«που διαφορετικά δεν θα είχαν διατεθεί για κατανάλωση από τον άνθρωπο»*, δεν αναφέρεται σε απόβλητα αλλά σε συστατικά αυτών των τροφίμων που μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ευρεία γκάμα προϊόντων όπως ζωοτροφές και καλλυντικά (Upcycled Food Association (UFA), χ.χ.) και προέρχονται από τμήματα φρούτων, λαχανικών και άλλων πρώτων υλών που η συμβατική βιομηχανία επεξεργασίας δεν χρησιμοποιεί ή απορρίπτει ακόμη και για αισθητικούς λόγους. Χαρακτηριστικές τέτοιες περιπτώσεις είναι το περίβλημα και η σάρκα από πολλά φρούτα που πετιέται μετά τη χρήση τους σε χυμό, υπολείμματα από επεξεργασία τροφίμων όπως φλούδες από κρεμμύδι και πατάτες, πολτός από καρπούς σόγιας από τους οποίους παράγεται το Tofu χρησιμοποιώντας μόνο το τυρόπηγμα, καθώς και φρούτα και λαχανικά με μελανίες και δυσμορφίες τα οποία παρόλο που δεν έχουν καμία υποβάθμιση στα θρεπτικά τους συστατικά, δεν προτιμώνται από τους καταναλωτές και έτσι καταλήγουν στα απορρίμματα. (Robbins, 2023). Οι προσπάθειες της UFA για τυποποίηση αυτού του είδους των τροφίμων,

---

<sup>24</sup> Η συγκεκριμένη μη κερδοσκοπική ένωση αποσκοπεί να μειώσει την σπατάλη τροφίμων με την ανάπτυξη της οικονομίας επανακυκλωμένων τροφίμων. Μέσα από πολιτική, marketing και επικοινωνιακή εργασία επιζητά να χτίσει ένα σύστημα τροφίμων όπου τα τρόφιμα χρησιμοποιούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. (The Upcycled Certified Standards Committee, 2022).

σε ένα διευρυμένο δίκτυο συνεργατών και εταιριών παραγωγής και επεξεργασίας, που διαρκώς επεκτείνεται, έχουν οδηγήσει στη δημιουργία προτύπου και ετικετών πιστοποίησης, που καλύπτουν μεγάλη γκάμα προϊόντων (όπως τρόφιμα, συμπληρώματα και καλλυντικά), τα οποία περιέχουν ή αποτελούνται από επανακυκλωμένα συστατικά σε ποσοστό τουλάχιστον 10% ή λιγότερο (Upcycled Certified Product και Upcycled Certified Minimal Content, αντίστοιχα). Στόχος αυτής της τυποποίησης είναι να παρέχει διαφάνεια, να προβάλλει την αξία των συγκεκριμένων προϊόντων αλλά και να κερδίσει την εμπιστοσύνη και την προτίμηση σε αυτά των καταναλωτών, μέσα από την ενίσχυση υπεύθυνων καταναλωτικών συμπεριφορών που έχουν μεγάλη επίδραση στη μείωση των αποβλήτων τροφίμων και την αρνητική επίδραση τους στο περιβάλλον. (The Upcycled Certified Standards Committee, 2022). Αναμφίβολα στην εποχή μας όπου η σπατάλη τροφίμων έχει σοβαρό οικολογικές συνέπειες, οι αρχές του φιλικού προς το περιβάλλον μοντέλου κυκλικής ανάπτυξης, και η κυκλική βιο-οικονομία, βρίσκουν πολύ καλή εφαρμογή στην περίπτωση των επανακυκλωμένων τροφίμων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα τρόφιμα (ή καλύτερα σημαντικές ποσότητες τους) δεν χάνονται τελείως από την ανθρώπινη κατανάλωση, ούτε και μετατρέπονται σε απόβλητα από τα οποία η διαχείριση και ανάκτηση ενέργειας δεν σχετίζεται πλέον άμεσα με την επαναχρησιμοποίηση αλλά με τη διαχείρισή τους. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η επανακύκλωση τροφίμων επανξάνει την παραμονή και διαθεσιμότητα των τροφίμων στον κύκλο της ανθρώπινης κατανάλωσης με το να αποτρέπει την απώλεια και τη σπατάλη τους (έξοδο από τον κύκλο κατανάλωσης) και να τα επαναδιαθέτει μετά από κατάλληλη επεξεργασία εκ νέου προς κατανάλωση.



**Σχήμα 19:** Η κυκλική οικονομία ακολουθεί κυκλική διαδρομή που της επιτρέπει να διατηρεί την αξία (των τροφίμων) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η βιο-οικονομία εστιάζει στη ανανεώσιμη βιομάζα στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η ιδέα της κυκλικής βιο-οικονομίας αντικατοπτρίζεται σε όλα τα στάδια της ιεραρχίας σπατάλης τροφίμων που περιλαμβάνει και την επανακύκλωση. [Πηγή: (Rakesh & Mahendran, 2024)].

Η επιτυχία όμως του όλου εγχειρήματος της επανακύκλωσης τροφίμων, αλλά και τις βιοοικονομίας ως επαγγελματικό μοντέλο, εξαρτάται τόσο από τη διαθεσιμότητα, την οικονομική βιωσιμότητα και την αναμόρφωση της υπάρχουσας αλυσίδας εφοδιασμού, όσο και από την ίδια τη νοοτροπία και τις προτιμήσεις του τελικού καταναλωτή. Η διάδοση αυτών των προϊόντων και η αποδοχή τους από το ευρύτερο καταναλωτικό κοινό, πρέπει να υπερβεί την καχυποψία και σειρά προκαταλήψεων που σχετίζονται με την ποιότητα των συστατικών που χρησιμοποιούνται στα επανακυκλωμένα τρόφιμα, αλλά και να εξοικειώσει τον τελικό καταναλωτή με την έννοια της υπεύθυνης κατανάλωσης και της ενεργής συμμετοχής στη μείωση των αποβλήτων τροφίμων. Αν και οι εξελίξεις στην τεχνολογία τροφίμων δίνουν μεγάλες δυνατότητες ανάκτησης θρεπτικών συστατικών από πολλά συστατικά της βιομηχανίας επεξεργασίας τροφίμων τα οποία μένουν ανεκμετάλλευτα, η εξόρυξη και χρήση των συστατικών αυτών σε επεξεργασία επανακυκλωμένων τροφίμων πρέπει να αποκτήσει εκτεταμένη κλίμακα για να γίνει πραγματικά ανταγωνιστική και το τελευταίο εξαρτάται από τις διατροφικές προτιμήσεις του τελικού καταναλωτή, που είναι πολλές φορές διαφορετικές ανά γεωγραφική περιοχή, αλλά και από την αλλαγή των στερεοτύπων κατανάλωσης και συμβατικών αντιλήψεων λειτουργίας της ίδιας της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων η οποία στηρίζεται σε προϊόντα και εμπορικές ονομασίες (brand names) που έχουν εγκαθιδρυθεί επί σειρά ετών στην καταναλωτική συνείδηση. (Rakesh & Mahendran, 2024).

### **3.2.2 Προηγμένες μέθοδοι κομποστοποίησης**

#### **3.2.2.1 Η κομποστοποίηση με χρήση σκωλήκων (vermicomposting)**

Η κομποστοποίηση με χρήση σκωλήκων ή βερμικομποστοποίηση χρησιμοποιεί σκώληκες στη διαδικασία της κομποστοποίησης για τη διάσπαση των οργανικών υλικών και την τελική παρασκευή υψηλής ποιότητα κομποστοποιημένο χώμα. Σε τέτοιου είδους κομποστοποιητές που μπορεί να έχουν διάφορα μεγέθη, είναι σημαντική η χρήση συγκεκριμένων ειδών γαιοσκωλήκων καθώς από τα συνολικά 9.000 είδη μόνο 7 έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για χρήση σε κομποστοποίηση και το περισσότερο γνωστό και χρησιμοποιούμενο είδος είναι το *Eisenia Fetida* που κοινά ονομάζεται κόκκινο σκουλήκι και καταναλώνει σε οργανικό υλικό περίπου το 25% - 35% του βάρους του κάθε ημέρα. (North Carolina State University Cooperative Extension, χ.χ.). Τα σκουλήκια διατηρούνται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο ή σύστημα με προστασία από το φως και τη βροχή, επαρκή ροή αέρα και σύστημα απορροής των υγρών που περισσεύουν. Η ιδανική θερμοκρασία για



κομποστοποίηση με χρήση σκουληκιών είναι περίπου από 13 έως 26°C, αλλά στην περίπτωση που υπάρχει θερμομόνωση στο δοχείο κομποστοποίησης τα σκουλήκια μπορεί να επιβιώσουν και σε θερμοκρασίες από 0 έως 35°C. (US EPA, 2023).

Η κομποστοποίηση με χρήση σκωλήκων είναι μία βιοτεχνολογική διαδικασία η οποία περιλαμβάνει βιο-οξειδωτικές διεργασίες και σταθεροποίηση των οργανικών υλικών που διασπώνται όπως και στην κομποστοποίηση, αλλά αυτή τη φορά με τη βοήθεια της αλληλεπίδρασης μεταξύ γαιοσκωλήκων και μικροοργανισμών / βακτηρίων. Ο ρόλος των μικροοργανισμών είναι η παραγωγή ενζύμων που προκαλούν τη βιοχημική αποσύνθεση της οργανικής ύλης, ενώ οι γαιοσκώληκες συμβάλλουν στην αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού μέσω του κατακερματισμού και της κατάποσης φρέσκιας οργανικής ύλης. Συναφώς, όπως έχουν δείξει διάφορες έρευνες, οι γαιοσκώληκες σε πολλές περιπτώσεις αφομοιώνουν ακόμη και βαρέα μέταλλα που υπάρχουν στην βιομάζα λυμάτων σε διατάξεις κομποστοποίησης συμβάλλοντας έτσι, σε ένα τελικό προϊόν με σημαντικά μικρότερη περιεκτικότητα σε χαλκό, νικέλιο, κάδμιο, μόλυβδο και ψευδάργυρο. Με άλλα λόγια παίζουν το ρόλο ενός εναλλακτικού βιοφίλτρου με παρόμοια λειτουργία με αυτήν που έχουν οι διάφορες, λιγότερο φιλικές προς το περιβάλλον, μηχανικές, χημικές και βιολογικές μέθοδοι απομάκρυνσης τέτοιων ουσιών. Περαιτέρω, τα σκουλήκια αποδείχθηκε ότι επιδρούν σημαντικά και στη μείωση των παθογόνων που υπάρχουν ή αναπτύσσονται στη βιομάζα της κομποστοποίησης μέσω του μεταβολισμού της οργανικής ύλης που καταναλώνουν και των αντιμικροβιακών, πρωτεολυτικών, αιμολυτικών και αντιμυκητιακών ιδιοτήτων που έχουν τα γαστρικά τους υγρά, ενώ το τελικό προϊόν του κομποστοποιημένου χώματος, έχει υψηλής ποιότητας ιδιότητες για την ανάπτυξη των φυτών αλλά και αντιπαρασιτική δράση. Ωστόσο, και σε αυτή την περίπτωση μεγάλη σημασία στο τελικό προϊόν και στα επιθυμητά του χαρακτηριστικά, έχει η επιλογή των οργανικών πρώτων υλών, αλλά και η βαθύτερη έρευνα της βακτηριδιακής συνεργασίας και του ρόλου των σκουληκιών στην κομποστοποίηση. Για τους λόγους αυτούς απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την κατανόηση των μεταβλητών και των παραμέτρων που επιδρούν στην διαδικασία της βερμικομποστοποίησης και την ευρύτερη χρήση των προϊόντων της. (Vukonić, και συν., 2021).

### **3.2.2.2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας στη σχεδίαση και λειτουργία της κομποστοποίησης**

Η διαρκώς εξελισσόμενη έρευνα και διάδοση της κομποστοποίησης, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην μετάβαση της αγροτικής παραγωγής σε ένα πιο βιώσιμο σύστημα συμβατό με



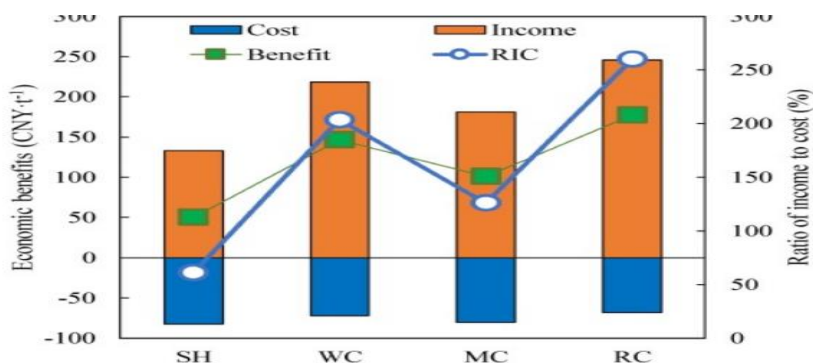
τις επιδιώξεις και πρακτικές της κυκλικής οικονομίας. Η εφαρμογή υψηλής τεχνολογίας στη σχεδίαση των κομποστοποιητών και την ίδια τη λειτουργία της κομποστοποίησης, έχει δώσει σημαντική ώθηση στην επιτυχή εφαρμογή της σε μικρή και μεγάλη κλίμακα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας φυσικών λιπασμάτων και αναμένεται να έχει ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη στο εγγύς μέλλον. Συναφώς, το ενδιαφέρον πολλών εταιριών έχει στραφεί στην εξέλιξη της τεχνολογίας συσκευών κομποστοποίησης και ιδιαίτερα στην Κίνα που κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο (43,89%) από συναφή διπλώματα ευρεσιτεχνίας παγκοσμίως (Zheng, και συν., 2020). Σε μικρή κλίμακα (οικίες, μικρά αγροκτήματα) αν και η πρακτική της κομποστοποίησης σε απλά δοχεία είναι απλή και δημοφιλής, δοκιμές σε διάφορα σχήματα δοχείων έδειξαν ότι το εξαγωνικό-πρισματικό σχήμα και αυτό του κύβου έχουν μεγαλύτερη χρηστικότητα, ενώ η προσθήκη σε απορρίμματα τροφίμων διαφόρων άλλων βιοδιασπώμενων υλικών όπως τα καφέ απόβλητα<sup>25</sup> και η αιωρούμενη τέφρα, επιταχύνουν σημαντικά τη διαδικασία. (Zhou, και συν., 2022). Περαιτέρω, έρευνες έδειξαν ότι η θερμότητα που εκλύεται κατά το θερμοφιλικό στάδιο της κομποστοποίησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση θερμοκηπίων κατά την φθινοπωρινή εποχή εξοικονομώντας έτσι ενέργεια. Η εφαρμογή προγνωστικών μοντέλων με τη βοήθεια τεχνητών νευρωνικών δικτύων, για την πρόβλεψη της θερμοκρασίας μέσα σε τέτοια θερμοκήπια έδειξε ότι η κομποστοποίηση σε συνδυασμό με την χρήση προηγμένης τεχνολογίας, ακόμη και σε μικρή κλίμακα, δύναται να αποτελέσει μια άκρως οικολογική μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων από την οποία είναι δυνατή η περιορισμένη<sup>26</sup> ανάκτηση θερμικής ενέργειας. (Neugebauer, Hałacz, & Olkowski, 2021). Η εξέλιξη της τεχνολογίας και του εξοπλισμού σε κομποστοποιητές μεγάλης κλίμακας με βελτιωμένα συστήματα αερισμού έδωσε μεγάλη ώθηση στην ταχύτητα λειτουργίας και την απόδοση αυτών των συστημάτων. Ωστόσο, οι σύγχρονες προσεγγίσεις στη χρήση συστημάτων κομποστοποίησης δεν περιορίζονται μόνο στη μέτρηση της απόδοσης λειτουργίας, αλλά

---

<sup>25</sup> Τα καφέ απόβλητα (brown waste) είναι βιολογικά υλικά πλούσια σε άνθρακα που διασπώνται αργά, περιέχουν μικρή ποσότητα υγρασίας και προσδίδουν όγκο και χρήσιμους θύλακες αέρα στη σωρό κομποστοποίησης, τέτοιου είδους υλικά είναι τα ξερά φύλλα, οι πευκοβελόνες, το ξύλο δέντρων και τα ξύσματα ξύλου, διάφορα χαρτόνια, χαρτιά, εφημερίδες, το άχυρο, στάχτες ξύλου (όχι κάρβουνου), ξερά και νεκρά φυτά. Ο τεμαχισμός, θρυμματισμός σε μικρά κομμάτια των καφέ αποβλήτων μειώνει την επιφάνειά τους και μπορεί να επιταχύνει σημαντικά τη διάσπασή τους. (Roebuck, 2023).

<sup>26</sup> Αν και η θερμική απόδοση σε τέτοια συστήματα είναι της τάξης του 18%, στην περίπτωση του θερμοκηπίου είναι αρκετή εφόσον εξωτερικά δεν επικρατούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Συναφώς, το σύστημα είναι απλό στην κατασκευή, δεν χρειάζεται ιδιαίτερο εξοπλισμό ή συντήρηση και εξυπηρετεί τόσο στη μερική ανάκτηση ενέργειας, όσο και στη δημιουργία λιπάσματος στον ίδιο χώρο (θερμοκήπιο) καταλαμβάνοντας το 10% περίπου του χώρου αυτού. (Neugebauer, Hałacz, & Olkowski, 2021),

συνυπολογίζουν μία σειρά από παράγοντες που σχετίζονται με την επίδραση της λειτουργίας των κομποστοποιητών στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία (περιβαλλοντική απόδοση), τις απαιτήσεις εξοπλισμού και εργασίας για την λειτουργία τους και το συνολικό οικονομικό αποτύπωμα του κόστους λειτουργίας τους σε σχέση με το κέρδος από τα παραγόμενα τελικά προϊόντα. Η χρήση εξελιγμένων βιο-αντιδραστήρων (in-vessel composting), σε σχέση με άλλες μορφές εξελιγμένης κομποστοποίησης σε στατικό σωρό (static heap), σε σειρές (windrow composting) και σε σωρούς σκεπασμένους με διάφορες μεμβράνες (membrane-covered), αν και δεν μείωσε το μεγάλο σχετικά οικονομικό τους κόστος, οδήγησε σε βελτιωμένη σχεδίαση και χαρακτηριστικά λειτουργίας, ελαχιστοποιώντας τον αντίκτυπο στο περιβάλλον και τις απαιτήσεις τους σε βοηθητικά υλικά και εξοπλισμό, με παράλληλη βελτίωση της σταθερότητας στην όλη διαδικασία και αναβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η βελτιωμένη σχεδίαση και τεχνολογία στους βιο-αντιδραστήρες, στην περίπτωση έρευνας με αξιολόγηση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) σε διαχείριση αποβλήτων με κομποστοποίηση, σε μεγάλης κλίμακας εκτροφείο χοίρων στην Κίνα, έδειξε ότι η χρήση βιο-αντιδραστήρων, αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη οικολογική λύση, που δύναται να ανταποκριθεί σε μεγάλης κλίμακας απαιτήσεις διαχείριση βιολογικών αποβλήτων, παρέχοντας βέλτιστη σχέση κόστους/απόδοσης (Liu, Wang, Li, Bai, & Ma, 2022), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 20:** Τα τελικά οικονομικά πλεονεκτήματα από τη χρήση βιο-αντιδραστήρων (Reactor Composting, RC) σε σχέση διατάξεις στατικού σωρού (Static Heap, SH), σωρού σε σειρές (Windrow Composting, WC) και σωρού σκεπασμένου με μεμβράνη (Membrane-covered Composting, MC) για την κομποστοποίηση βιολογικών αποβλήτων από μεγάλης κλίμακας εκτροφείο χοίρων.  
[Πηγή: (Liu, Wang, Li, Bai, & Ma, 2022)]

Ανάλυση υπολογισμών<sup>27</sup> στο παραπάνω σχήμα:  $Ct = \sum_{k=0}^n (C1 + C2 + \dots + Ci)$  είναι το συνολικό κόστος της επεξεργασίας και  $C1, C2, \dots, Ci$  είναι το κόστος των πρώτων υλών με

<sup>27</sup> Οι υπόψη υπολογισμοί στο (Liu, Wang, Li, Bai, & Ma, 2022) παραπέμπουν σε υπολογισμούς στο άρθρο: Effect of tillage practices on net carbon flux and economic parameters from farmland on the Loess Plateau in China (Lu & Liao, 2017) και στο άρθρο: Economic and environmental sustainability of maize-wheat rotation

$i=1$  έως 12. Στο κόστος επεξεργασίας περιλαμβάνονται το κόστος εξοπλισμού, μεταφορών, υποδομής, εργασίας κλπ. Όλες οι τιμές στο κόστος (Total), έσοδα (Income), μέσο κέρδος (EP), και % λόγος κέρδους προς το κόστος (RIC) είναι μέσες τιμές και εκφράζονται ως  $CNY \cdot t^{-1}$ ,  $EP = Income - Cost$ , και  $RIC = \frac{EP}{Cost} \times 100\%$

### **3.2.2.3 Η εξέλιξη της τεχνολογίας στη βελτίωση απόδοσης της κομποστοποίησης και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων**

Η έρευνα στην ίδια τη διαδικασία της κομποστοποίησης μίγματος αποβλήτων που περιλαμβάνουν τόσο απορρίμματα τροφίμων, όσο και λύματα, περιττώματα και άλλα βιολογικά απόβλητα, σε διάφορες κλίμακες, οδήγησε σε εξελιγμένη χρήση προσθέτων, διογκωτικών υλικών και μικροοργανισμών για την βελτίωση της απόδοσης αλλά και των επιθυμητών χαρακτηριστικών της κομποστοποίησης. Η χρήση προσθέτων όπως το βιο-κάρβουνο, ο γύψος και η αιωρούμενη τέφρα, οδήγησαν σε μείωση των εκπομπών αερίων, διαρροών και δυσάρεστων οσμών ενώ παράλληλα ενίσχυσαν τη μικροβιακή δραστηριότητα για την βελτίωση της απόδοσης. Η χρήση διογκωτικών παραγόντων όπως το άχυρο και τα ξύσματα ξύλου σε διάφορα μεγέθη σωματιδίων, βελτίωσαν τον αερισμό και τον έλεγχο της υγρασίας στους σωρούς βιομάζας και μείωσαν τις δυσάρεστες οσμές. Η χρήση ανθεκτικών στη θερμοκρασία ακτινομυκήτων, και βακτηρίων γαλακτικού οξέος, επιτάχυναν τη διάσπαση της βιομάζας και ενίσχυσαν την ενζυματική δραστηριότητα. Επιπρόσθετες μελέτες για τη χρήση σκωλήκων στην κομποστοποίηση μεγάλης κλίμακας με νέες τεχνολογίες φυγοκεντρικής απομάκρυνσης τους για τη συλλογή των τελικών προϊόντων έδειξαν δυνατότητες μείωσης του χρόνου της διαδικασίας ακόμη και κατά 50% σε σχέση με συμβατικές τεχνολογίες. Όλα τα παραπάνω, απέδειξαν ότι στις προηγμένες μεθόδους κομποστοποίησης είναι δυνατός ο έλεγχος των ανεπιθύμητων εκπομπών αερίων (π.χ. διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου, οξειδίου του αζώτου), ενώ με τη χρήση γαιοσκωλήκων σε υβριδικά συστήματα κομποστοποίησης, είναι δυνατή η αποδοτική παραγωγή υψηλής ποιότητας λιπάσματος με σημαντικά αντιπαρασιτικά χαρακτηριστικά όπως το τσάι βερμικομποστοποίησης (προϊόν κομποστοποίησης με χρήση γαιοσκωλήκων) το οποίο ενισχύει την αντίσταση των φυτών σε διάφορες ασθένειες. (Zhou, και συν., 2022).

---

production when substituting mineral fertilizers with manure in the North China Plain (Li, Wu, Wang, & Ma, 2020).

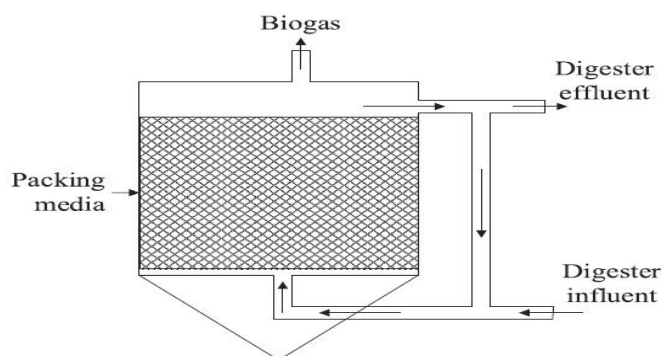
Οι προβλέψεις του τελικού αποτελέσματος και της απόδοσης στην κομποστοποίηση στις συμβατικές της προσεγγίσεις βασιζόταν τυπικά σε εμπειρικά μαθηματικά μοντέλα από πειραματικά δεδομένα και η βασική τους επιδίωξη ήταν η σύνδεση των διαφόρων στατιστικών μετρήσεων παραμέτρων και μεταβλητών της διαδικασίας, σε σχέση με το αποτέλεσμα της. Η πολυπλοκότητα όμως της κομποστοποίησης συχνά καθιστούσε τη χρήση τέτοιων μοντέλων και την επιτήρηση της όλης βιοχημικής διαδικασίας εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση, χωρίς εγγύηση για τα αποτελέσματά της. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ταχεία ανάπτυξη αναδυόμενων νέων τεχνικών στην ανάλυση δεδομένων όπως η χρήση νευρωνικών δικτύων, δέντρων αποφάσεων και παλινδρομικής ανάλυσης, έδωσε νέα ώθηση στην μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση της διαδικασίας με μεγάλη ακρίβεια. Έτσι με τη χρήση σύγχρονων μοντέλων μηχανικής εκμάθησης (machine learning) όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks, ANN), ήδη έχει επιτευχθεί μεγαλύτερη κατανόηση των επιμέρους διαδικασιών της κομποστοποίησης και αυτό έχει εξασφαλίσει, μεγαλύτερες δυνατότητες ελέγχου και παρέμβασης σε αυτές, καθώς και καλύτερες επιδόσεις. (Zhou, και συν., 2022). Η μελλοντική πρόοδος στη σχεδίαση και λειτουργία κομποστοποιητών μεγάλης κλίμακας, σε συνάρτηση με την ευρεία χρήση εξελιγμένων τεχνικών μοντελοποίησης, επιτήρησης και παρέμβασης, αναμένεται να προσδώσει τη δυνατότητα πλήρους πρόβλεψης και ελέγχου των επιθυμητών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος κομποστοποίησης, καθιστώντας τη συγκεκριμένη μέθοδο μία από τις καλύτερες λύσεις στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων και στην παρασκευή ασφαλών και υψηλής ποιότητας βιολογικών γαιοβελτιωτικών και λιπασμάτων.

### **3.2.3 Προηγμένες μέθοδοι αναερόβιας χώνευσης**

Η εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και της έρευνας στον τομέα της αναερόβιας χώνευσης, έδωσε τη δυνατότητα για βελτιωμένη σχεδίαση βιο-αντιδραστήρων ή αναερόβιων χωνευτών σε μικρότερη κλίμακα, αλλά κυρίως ανέδειξε την ανάγκη επεξεργασίας των πρώτων υλών που τροφοδοτούνται στους αναερόβιους χωνευτές με σκοπό την ενίσχυση της χώνευσης και την αυξημένη παραγωγή βιοαερίου. Επιπρόσθετα, οδήγησε στη διεύρυνση της επίγνωσης των βιοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην αναερόβια χώνευση και στην εισαγωγή νέων προσθετικών υλικών που ευνοούν και ενισχύουν την απόδοσή της.

### 3.2.3.1 Σχεδίαση αναερόβιων χωνευτών

Διάφοροι προηγμένοι τύποι σχεδίασης χωνευτών, είναι αυτοί της σταθερής μεμβράνης (fixed film) και οι επαγόμενοι αντιδραστήρες κουβέρτας (Induced Blanket Reactors). Οι τελευταίοι χρησιμοποιούν εκτενώς και ενισχύουν τη δημιουργία και παρουσία των βακτηρίων. Έτσι οι αντιδραστήρες κουβέρτας αποτελούν ουσιαστικά βιο-αντιδραστήρες (χωνευτές) στους οποίους αναπτύσσεται μία «κουβέρτα» από βιολογικό υλικό στο οποίο αναπτύσσονται αναερόβια βακτήρια δημιουργώντας ένα πλούσιο σε βακτηριακό υπόστρωμα μέσα από το οποίο διοχετεύεται η βιομάζα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στον χωνευτή. Αντίστοιχα, οι χωνευτές μεμβράνης περιέχουν πλαστικά μέσα όπως σφαιρίδια στα οποία προσκολλώνται και αναπτύσσονται βακτήρια και έτσι δεν στηρίζονται αποκλειστικά σε αιωρούμενα βακτήρια για τη διάσπαση της πρώτης ύλης με την οποία τροφοδοτούνται (US EPA, 2023). Στους χωνευτές μεμβράνης υποστηρίζεται η ανάπτυξη των κατάλληλων για τη χώνευση βακτηρίων τα οποία σχηματίζουν ένα είδος μεμβράνης που ονομάζεται συχνά και βιο-μεμβράνη. Σε πολλές περιπτώσεις μία στήλη γεμάτη από υποστηρικτικό υλικό όπως μικροί πλαστικοί δακτύλιοι ή ξύσματα ξυλείας χρησιμοποιείται ως το υπόστρωμα που θα φιλοξενήσει τα κατάλληλα για την χώνευση βακτήρια. Ωστόσο, στους συγκεκριμένους χωνευτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλοι οι τύποι βιομάζας γιατί το ανεκτό ποσοστό βιο-στερεών κυμαίνεται από 1 έως 2%, καθώς βιομάζα εισόδου με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά μπορεί να μπλοκάρει την ελεύθερη ροή του υποστρώματος μέσα από το εμπλουτισμένο με βακτήρια μέσο. Στον αντίποδα, βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου σχεδίασης είναι ο πολύ μικρός χρόνος υδραυλικής κατακράτησης (HRT) της βιομάζας στον χωνευτή που κυμαίνεται από 2 έως 5 ημέρες και δίνει τη δυνατότητα κατασκευής χωνευτών με πολύ μικρότερο όγκο. (Uddin & Wright, 2022). Σχηματική αναπαράσταση τέτοιου είδους χωνευτών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 21: Διάγραμμα αναερόβιου χωνευτή μεμβράνης. (Uddin & Wright, 2022).



Καθώς μία σημαντική παράμετρος στην όλη σχεδίαση των αναερόβιων χωνευτώ είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτωσης, όπως αναλύεται στο Παράρτημα «Β», η κύρια επιδίωξη δέσμευσης βακτηρίων που παράγουν μεθάνιο μέσα στον χωνευτή σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους όπου τα βακτήρια κινούνται μέσα στο υπόστρωμα βιομάζας ωθεί στην σχεδίαση εξελιγμένων χωνευτών όπως ο αντιδραστήρας παρτίδας αναερόβιας αλληλουχίας (Anaerobic Sequencing Batch Reactor, ASBR), το αναερόβιο φίλτρο, η αναερόβια ρευστοποιημένη κλίνη, ο αντιδραστήρας αναερόβιας κουβέρτας βιομάζας ανερχόμενης ροής (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket, UASB), ο αναερόβιος αντιδραστήρας με αμμηχανία (Anaerobic Baffled Reactor, ABR) και άλλες από τις προηγμένες έννοιες σχεδιασμού χωνευτήρων υψηλού ρυθμού. Περαιτέρω, χωνευτές δύο σταδίων ή δύο φάσεων γίνονται ολοένα και περισσότερο συνηθισμένοι γιατί έχει πλέον γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι τα οξινογενή βακτήρια απαιτούν διαφορετικές συνθήκες pH και θερμοκρασίας από τα μεθανογενή βακτήρια. Έτσι στους βιο-αντιδραστήρες δύο σταδίων, δύο διαφορετικοί χωνευτές συνδέονται σε σειρά. Ο πρώτος έχει σχεδιασθεί για τα στάδια της υδρόλυσης και οξεογένεσης και ο δεύτερος για τα στάδια παραγωγής μεθανίου (ακετογένεση και μεθανογένεση). Κάθε χωνευτής έχει διαφορετικό έλεγχο για να προσφέρει τις καλύτερες συνθήκες επεξεργασίας που είναι προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένη ομάδα βακτηρίων.

### **3.2.3.2 Επεξεργασία πρώτης ύλης (βιομάζας)**

Το μεγαλύτερο βάρος της έρευνας στη βελτίωση της αναερόβιας χώνευσης έχει δοθεί στην επεξεργασία της βιομάζας πριν εισέρθει στους χωνευτές, καθώς η προ-επεξεργασία αυτής ενισχύει τη χώνευση και την παραγωγή βιοαερίου. Διάφορες μέθοδοι προ-επεξεργασίας με χρήση χημικών και μηχανικών μεθόδων χρησιμοποιούνται ήδη, ενώ άλλες βρίσκονται ακόμη σε δοκιμαστικό στάδιο. Παραδείγματα προηγμένης τεχνολογίας στην προ-επεξεργασία αποτελούν η χρήση υπερήχων και μικροβιακών ενζύμων, η χρήση παλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων, η διαδικασία υγρής θερμικής οξείδωσης ή χρήση κενού και άλλα. Αν και δεν είναι δυνατή η χρήση όλων των προηγμένων μεθόδων στους χωνευτές, ο συνδυασμός δύο ή και περισσότερων μεθόδων παρέχει πλεονεκτήματα και έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης. Στην αναερόβια χώνευση σε βιομηχανική κλίμακα πολύ συχνά η βιομάζα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη θερμαίνεται για να αυξηθεί η διαλυτότητά της στο νερό αλλά και για τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Πρόσφατα, η χρήση μικροκυμάτων για τη μείωση των



παθογόνων οργανισμών της βιομάζας ανέδειξε τη μέθοδο αυτή ως οικονομικότερη από τη θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία, ωστόσο η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου ή συνδυασμού αυτών, συχνά εξαρτάται από την αρχική σύσταση της βιομάζας. Έτσι, για υλικό που είναι πλούσιο σε λιγνίνη η προσθήκη οξέων ή βάσεων βελτιώνει τη διαλυτότητα, ενώ παρά το κόστος και τις απαιτήσεις σε ενέργεια η προσθήκη οξειδωτικών υλικών σε τέτοιου είδους πρώτη ύλη βελτιώνει τη χώνευση. Σε πολλές περιπτώσεις μηχανική προεπεξεργασία της πρώτης ύλης όπως ο τεμαχισμός, η άλεση της, ή ακόμη και η ομογενοποίηση με χρήση υψηλής πίεσης αποδίδουν καλά. Συναφώς, ο ελεγχόμενος και βελτιστοποιημένος ρυθμός εισαγωγής βιομάζας στους χωνευτές περιορίζει την συγκέντρωση οργανικών οξέων (και συνεπώς το επίπεδο τοξικότητας), ενώ εξασφαλίζει και τη διατήρηση των κατάλληλων αναλογιών άνθρακα και αζώτου, προκειμένου η χώνευση να είναι αποδοτική. Στο τελευταίο συντελεί και η χρήση πρόσθετων και συμπληρωμάτων που ενισχύουν την αναερόβια χώνευση όπως η άμμος, ο ζεόλιθος και το κάρβουνο που ενισχύουν την παράλληλη δραστηριότητα και συνεργασία διαφορετικών ειδών βακτηρίων. Ένα νέο πολλά υποσχόμενο πρόσθετο είναι το βιοκάρβουνο που αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν αναερόβιας χώνευσης και το οποίο απορροφά διάφορα υποπροϊόντα της αναερόβιας χώνευσης ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , κλπ.) που αναστέλλουν τους ρυθμούς της και επιταχύνει τον συνεργατικό μεταβολισμό διαφορετικών τύπων βακτηρίων με το να παίζει το ρόλο του μέσου για τη μεταφορά υδρογόνου. Αν και ο ακριβής τρόπος που ενεργεί το βιοκάρβουνο στην διαδικασία αναερόβιας χώνευσης δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητός, η θετική του επίδραση στην αύξηση απόδοσης της αναερόβιας χώνευσης είναι καταγεγραμμένη. (Uddin & Wright, 2022). Όπως γίνεται φανερό, οι παραπάνω επεμβάσεις στους αναερόβιους χωνευτές και τις φάσεις λειτουργίας τους, απαιτούν αξιόπιστη επιτήρηση της λειτουργίας τους και τη διεξαγωγή σειράς αξιόπιστων μετρήσεων από ενδείκτες, αισθητήρες και αντιδραστήρια, που διατηρούν τη σταθερότητα των βιοχημικών αντιδράσεων, αλλά ανεβάζουν το κόστος λειτουργίας.

### **3.2.4 Προηγμένες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας**

#### **3.2.4.1 Η εξέλιξη των αποτεφρωτών**

Επί του παρόντος, αν και οι αποτεφρωτές πολλές φορές χαρακτηρίζονται πολύ επικίνδυνοι για τη δημόσια υγεία, αποτελούν μία μάλλον αποδεκτή, αν όχι φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία γιατί λειτουργούν με εξελιγμένα συστήματα καθαρισμού και μείωσης των ρύπων σε σχέση με τις παλαιότερες υλοποιήσεις τους. Νέες αναδυόμενες τεχνολογίες

καθαρισμού των εξερχομένων αερίων όπως οι καθαριστές ελαίου και γαλακτωμάτων και η αποκονίωση και συσσωμάτωση των παραγόμενων σωματιδίων ακόμα και σε επίπεδο νανοσωματιδίων, από υδατοδιασπειρόμενα πολυμερή με ελεγχόμενη συμβατότητα νερού, αρχίζουν να έχουν εφαρμογή για την ακόμη καλύτερη διαχείριση των εκπεμπόμενων ρύπων. Συνολικά, οι πρόοδοι στις τεχνολογίες φιλτραρίσματος των ρύπων έχει καταστήσει τις εγκαταστάσεις αποτεφρωτών αποδεκτές ακόμη και με τα αυστηρότερα κριτήρια, έτσι τελικά η αποδοτική χρήση τους εξαρτάται μόνο από το συνολικό κόστος λειτουργίας ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων που θα αποτεφρωθεί. Ακόμη και έτσι, η λειτουργία των αποτεφρωτών αστικών στερεών λυμάτων, δύναται να μολύνει τον περιβάλλοντα χώρο από τις εκπομπές αερίων και την υγειονομική ταφή υπολειμμάτων της καύσης μετά από τη επεξεργασία τους για στερεοποίηση και σταθεροποίηση. Επιπρόσθετα, επιβλαβή βαριά μέταλλα όπως το κάδμιο, ο μόλυβδος και το χρώμιο δύναται να διασκορπιστούν στην περιοχή και να επιβαρύνουν την υγεία κοντινών πληθυσμών. (Quina, Bordado, & Quinta-Ferreira, 2011).

#### **3.2.4.2 Προηγμένες τεχνικές πυρόλυσης**

Η πολυπλοκότητα των απορριμμάτων τροφίμων ως πρώτη ύλη για τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας όπως η πυρόλυση, αλλά και η σύσταση και τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά που διαφέρουν ανά γεωγραφική περιοχή, καθιστούν τη δομή τους ετερογενή, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις τόσο στην περιεκτικότητα του άνθρακα, όσο και στην θερμική τους αξία. Παρόμοιες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται και σε άλλα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην πυρόλυση όπως τα απορρίμματα ελαστικών αυτοκινήτων (που έχουν την υψηλότερη θερμική αξία και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα) και το πολύ-βινυλοχλωρίδιο ή PVC (που περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα χλωρίου και ευαίσθητων συστατικών).

Τα παραπάνω οδήγησαν σε εξελεγμένες τεχνικές όπως η συν-πυρόλυση και η καταλυτική πυρόλυση, με σημαντικά θετικά αποτελέσματα στη διαδικασία και τα τελικά προϊόντα χωρίς την απαίτηση τροποποίησης του υπάρχοντος εξοπλισμού. Στην συν-πυρόλυση η χρήση διαφόρων συστατικών όπως η μικρο-άλγη (*chlorella vulgaris*), τα απορρίμματα ελαστικών αυτοκινήτου και το πλαστικό PVC, σε συνδυασμό με τα απορρίμματα τροφίμων σε διάφορες αναλογίες, έδειξε ότι τα συστατικά δρουν συνεργατικά κατά την πυρόλυση τους και οδηγούν σε μεγαλύτερη παραγωγή υδρογονανθράκων και βιο-ελαίου, ενώ σε

πολλές περιπτώσεις μειώνουν τις απαιτήσεις ενέργειας για την εκκίνηση της πυρόλυσης. Αντίστοιχα, στην καταλυτική πυρόλυση, η χρήση υλικών όπως το οξείδιο του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ) σε απορρίμματα τροφίμων, βελτιώνει τόσο τα χαρακτηριστικά της πυρόλυσης όσο και των τελικών προϊόντων αυτής. Σε κάθε περίπτωση ακόμη και στη χρήση προηγμένων τεχνικών πυρόλυσης, διαφαίνεται η σημασία της διαλογής των απορριμμάτων τροφίμων στη βιομάζα που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη, αλλά και η ανάγκη προ-επεξεργασίας της λόγω της ετερογενούς της σύστασης αλλά και της μεγάλης περιεκτικότητας σε υγρασία. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση η γνώση της ακριβούς σύστασης αλλά και η προ-επεξεργασία των αποβλήτων τροφίμων (άλεση, στέγνωμα) είναι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την πυρόλυση και την ποιότητα των τελικών προϊόντων (υψηλής ποιότητας βιο-έλαιο). Ωστόσο, η προ-επεξεργασία της βιομάζας είναι μία ενεργοβόρα διαδικασία που ενέχει σημαντικό κόστος.

Ο συνδυασμός καταλυτικής συν-πυρόλωσης αποβλήτων τροφίμων με τη βοήθεια μικροκυμάτων σε περιβάλλον κενού, έδειξε ότι η πυρόλυση ως μέθοδος θερμικής επεξεργασίας, όταν γίνεται χρήση φθηνών σχετικά καταλυτικών υλικών (πχ. σιλικόνη, αιματίτης, μαγνητίτης) μπορεί να αποδειχθεί τελικά οικονομικά βιώσιμη και παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες για εμπορική και βιομηχανική αξιοποίηση μελλοντικά. Η χρήση μικροκυμάτων δίνει τη δυνατότητα παράλειψης κάποιων ιδιαίτερα ενεργοβόρων σταδίων της προ-επεξεργασίας όπως αυτό του στεγνώματος (αφυδάτωσης), καθώς το νερό δύναται να αφαιρεθεί κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης. Συναφώς, η χρήση κενού δημιουργεί αρνητική πίεση που μειώνει το σημείο βρασμού και ευνοεί το σχηματισμό βιο-ελαίου. Έτσι, η πυρόλυση αποβλήτων μαγειρικών ελαίων και πλαστικών έδειξε ότι το κόστος παραγωγής βιο-ελαίου σε περιβάλλον κενού είναι 20,47% μικρότερο σε σχέση με αντίστοιχη πυρόλυση σε περιβάλλον αζώτου ( $\text{N}_2$ ).

Η χρήση των παραπάνω προηγμένων τεχνικών πυρόλυσης αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα, δείχνει να έχει καλύτερη εφαρμογή και οικονομική βιωσιμότητα σε μικρές, κατανεμημένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων και το τελευταίο δίνει ελπίδες για μεγαλύτερη αξιοποίηση της επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων ακόμη και σε μικρές χώρες με οικονομίες που τελούν υπό ανάπτυξη. (Su, και συν., 2022).

### **3.2.4.3 Προηγμένος εξοπλισμός και τεχνικές αεριοποίησης**

Τα πλεονεκτήματα της μετατροπής μεγάλης ποικιλίας βιομάζας που περιλαμβάνει απορρίμματα τροφίμων και αστικά στερεά απόβλητα, σε συνθετικό βιο-αέριο που μπορεί να συμπιεστεί μέσω της αεριοποίησης, έχει τραβήξει το ενδιαφέρον τόσο της βιομηχανίας, όσο και της επιστημονικής κοινότητας, με κύρια κατεύθυνση τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και τη μείωση του σχετικά υψηλού κόστους παραγωγής. Το τελευταίο οδήγησε στη χρήση καταλυτών και τεχνολογίας πλάσματος, αλλά και στην εξέλιξη του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε νέους τύπους και κατασκευές αεριοποιητών.

#### **3.2.4.3.1 Εξελιγμένες τεχνικές**

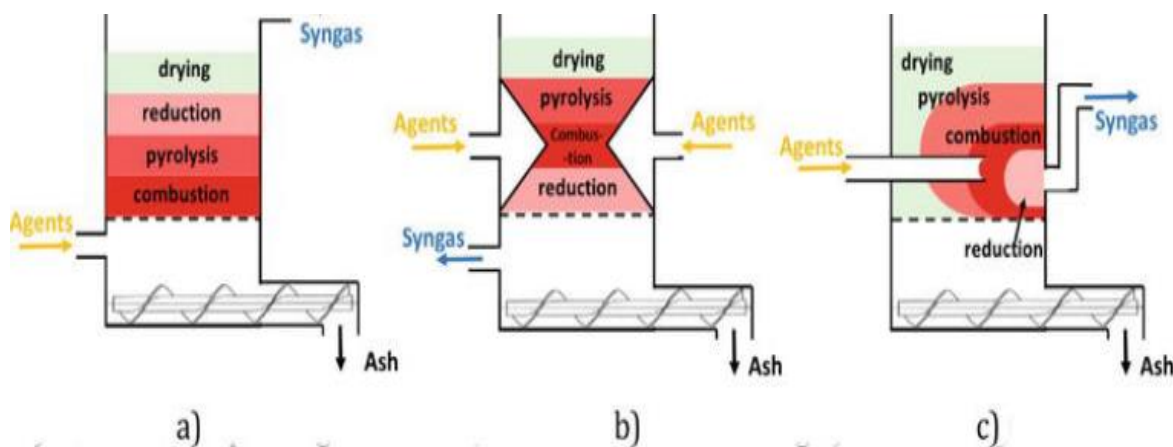
Μερικές από τις εξελιγμένες τεχνικές αεριοποίησης είναι η χρήση εμπλουτισμένου με οξυγόνο αέρα, η χρήση υπέρθερμου ατμού, ως μέσου αεριοποίησης, η χρήση καταλυτών και η αεριοποίηση με τη βοήθεια πλάσματος. Η χρήση εμπλουτισμένου με οξυγόνο αέρα κατά 30%, έδειξε ότι το παραγόμενο βιο-αέριο αποκτά καλύτερες ιδιότητες καύσης (δυνατή και πιο ισχυρή φλόγα με λιγότερο καπνό) αποδίδοντας φλόγα με θερμοκρασία 933°C σε σχέση με τους 874°C της φλόγας που παράγεται από τη χρήση μη εμπλουτισμένου αέρα. Η χρήση υπέρθερμου ατμού, έδειξε ότι ευνοεί ιδιαίτερα την ποσότητα και ποιότητα του παραγόμενου βιο-αερίου και επίσης μειώνει τη συγκέντρωση πίσσας η οποία ως υποπαραγώγο της αεριοποίησης μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στον εξοπλισμό. Η χρήση καταλυτών που μειώνουν σημαντικά την συσσώρευση πίσσας έδειξε να είναι υποσχόμενη για την καλή λειτουργία του εξοπλισμού, αλλά διερευνάται ακόμη λόγω του κόστους σε σχέση με την απόδοση των καταλυτών που υποβαθμίζονται κατά την αεριοποίηση και δεν δύναται να ανακτηθούν. Πάραυτα, συνεχίζονται οι έρευνες στο τομέα της καταλυτικής αεριοποίησης με τις τελευταίες τάσεις να επικεντρώνονται στη χρήση αλκαλικών μεταλλικών αλάτων, φυσικών ορυκτών, πολύτιμων μετάλλων αλλά και συνθετικών καταλυτών. Τέλος, η χρήση πλάσματος που παράγεται από την εκκένωση ηλεκτρικού τόξου σε αέριο, μέσα σε ένα πολύ θερμό ιονισμένο μίγμα αερίων, έδειξε ότι με την μέθοδο αυτή μπορεί άμεσα<sup>28</sup> να παραχθεί βιο-αέριο που διατηρεί όλη την χημική και θερμαντική ενέργεια της βιομάζας που χρησιμοποιείται, ενώ η ανόργανη ορυκτή τέφρα που δημιουργείται μετατρέπεται σε αδρανές γυαλί ή σκουριά. Με τον τρόπο αυτό

<sup>28</sup> Καθώς τα απόβλητα εισέρχονται στο θάλαμο αεριοποίησης σε ακραία υψηλές θερμοκρασίες, το τόξο πλάσματος δημιουργεί κάτι σαν ελεγχόμενο κεραυνό θερμοκρασίας άνω των 10.000°C που διασπά τα υλικά των αποβλήτων στα στοιχειώδη συστατικά τους. (O'Neill, 2021).

ελαχιστοποιείται ο υποβιβασμός της ποιότητας του παραγόμενου βιο-αερίου και είναι εφικτός ο προϋπολογισμός τις αναμενόμενης σύνθεσης του. Περαιτέρω πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη ατμού ή καταλυτών στην αεριοποίηση με τη βοήθεια πλάσματος αποτρέπει σημαντικά τη συσσώρευση πίσσας. (Thanh & Nguyen, 2020).

### 3.2.4.3.1 Προηγμένος εξοπλισμός

Η αεριοποίηση είναι μία σύνθετη διαδικασία που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι η ίδια η σχεδίαση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται (αεριοποιητές), καθώς οι διαφορετικές σχεδιαστικές αρχές παρέχουν πλεονεκτήματα αλλά ενέχουν και αντίστοιχα μειονεκτήματα. Τέσσερις από τους πιο δημοφιλείς τύπους αεριοποιητών (gasifiers) είναι οι: σταθερής κλίνης, (Fixed-bed gasifiers), ρευστοποιημένης κλίνης (Fluidized bed gasifiers), παρασυρόμενης ροής (Entrained flow gasifiers) και περιστροφικού τυμπάνου (Rotary drum gasifiers). Οι αεριοποιητές σταθερής κλίνης διακρίνονται σε 3 επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τους τρόπους εισόδου της βιομάζας και των μέσων αεριοποίησης σε αυτούς: τους ανοδικού ρεύματος (Updraft gasifiers), καθοδικού ρεύματος (Downstream gasifiers) και διασταυρούμενου βυθίσματος (Crossdraft gasifiers), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



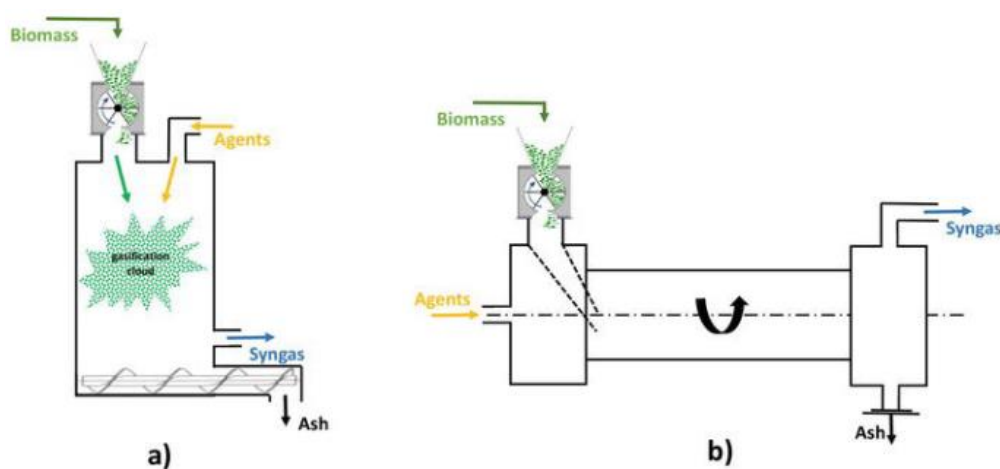
Σχήμα 22: Τύποι αεριοποιητών σταθερή κλίνης. a) Ανοδικού ρεύματος, b) καθοδικού ρεύματος, c) διασταυρούμενου βυθίσματος.

Οι αεριοποιητές σταθερής κλίνης ανοδικού ρεύματος είναι οι πιο εύκολοι στην κατασκευή τους, αλλά έχουν το μειονέκτημα μεγάλης συγκέντρωσης πίσσας και υγρασίας στην κορυφή τους με αποτέλεσμα να φράσσεται η ροή και να παράγεται χαμηλής ποιότητας βιο-αέριο. Αντίστοιχα, οι καθοδικού ρεύματος έχουν πολύ λιγότερα προβλήματα συγκέντρωσης

πίσσας, αλλά η κατασκευή τους είναι δύσκολη και η χρήση βιομάζας με χαμηλή πυκνότητα ή μεγάλη περιεκτικότητα σε λιγνίνη μπορεί να μπλοκάρει τη ροή (πρόβλημα γεφύρωσης στη μέση του αεριοποιητή). Τέλος οι διασταυρούμενου βυθίσματος, αποτελούν κατασκευές που προέκυψαν από τα μειονεκτήματα των δύο προηγούμενων τύπων. Στους τελευταίους η ζώνη πυρόλυσης είναι ξεχωριστή από τη ζώνη ανάφλεξης και έτσι μειώνεται η συγκέντρωση πίσσας, ενώ δεν έχουν προβλήματα γεφύρωσης και η κατασκευή τους είναι ευκολότερη από αυτούς του τύπου καθοδικού ρεύματος. (Thanh & Nguyen, 2020).

Οι αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης βασίζονται στις ίδιες αρχές με τους αντίστοιχους αποτεφρωτές ρευστοποιημένης κλίνης και χρησιμοποιούν ρευστοποιημένο στρώμα από αδρανή υλικά όπως η άμμος. Το στρώμα αυτό σε συνδυασμό με τα αέρια που εισέρχονται από το κάτω τμήμα με ταχύτητες 1 – 3 m/s, παρέχει ομοιομορφία στην ανταλλαγή θερμότητας στο μίγμα και πετυχαίνει μεγάλη απόδοση αεριοποίησης με μειωμένη παραγωγή πίσσας. (Thanh & Nguyen, 2020).

Οι αεριοποιητές παρασυρόμενης ροής, ουσιαστικά χρησιμοποιούν αέρια για να δημιουργήσουν μία ισχυρή ροή που ανακατεύει το μίγμα της βιομάζας σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση, επιτρέποντας την παραγωγή βιο-αερίου με μεγάλη απόδοση. Τέλος οι αεριοποιητές περιστροφικού τυμπάνου, έχουν σχήμα οριζόντιου κυλίνδρου, χρησιμοποιούν και αυτοί αέρια αλλά το μίγμα ανακατεύεται κυρίως λόγω της περιστροφικής κίνησης του κυλίνδρου χωρίς να απαιτείται ροή αερίων με μεγάλη πίεση, όπως συμβαίνει στους αεριοποιητές παρασυρόμενης ροής. (Thanh & Nguyen, 2020). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σχεδίαση τέτοιων αεριοποιητών:



Σχήμα 23: Σχηματική παράσταση αεριοποιητών τύπου:  
α) παρασυρόμενης ροής και β) περιστροφικού τυμπάνου



Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι οι διάφορες σχεδιαστικές τεχνικές παρέχουν έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα, με τα βασικότερα να αφορούν το κόστος κατασκευής λόγω πολυπλοκότητας, την ανοχή τους σε ανεπιθύμητα υποπροϊόντα όπως η πίσσα και στο συνολικό κόστος λειτουργίας τους ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις τους.

### **3.3 Στρατηγικές πρόληψης και μείωσης των αποβλήτων τροφίμων**

Αν και η πλήρης εξάλειψη της σπατάλης τροφίμων είναι μάλλον αδύνατη, η βιομηχανία τροφίμων μπορεί να την μειώσει δραστικά, συνεισφέροντας σε ένα περισσότερο βιώσιμο και υπεύθυνο σύστημα τροφίμων. Καλύτερα συστήματα διαχείρισης τροφίμων που περιλαμβάνουν όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, μπορούν να εξασφαλίσουν την αποφυγή απόρριψης σημαντικών ποσοτήτων τροφίμων ή/και την ελαχιστοποίηση της σπατάλης.

#### **3.3.1 Πρόληψη**

Όπως είναι προφανές η πρόληψη (αντί της θεραπείας), είναι προτιμητέα και σε αυτή την περίπτωση, γιατί είναι η πιο απλή, οικονομική και αποτελεσματική πρακτική αντιμετώπισης της συσσώρευσης απορριμμάτων τροφίμων «εν τη γενέσει» τους. Ένα πολύ απλό και καλό παράδειγμα που αφορά στις υπηρεσίες και επιχειρήσεις εστίασης, είναι η μείωση των μερίδων που σερβίρονται σε εστιατόρια και καφετέριες. Η απλή πρόβλεψη για μείωση στις ποσότητες που διατίθενται, μοιραία θα οδηγήσει σε μείωση των αποβλήτων στον τομέα αυτό (Hyseni, Vlerë, 2023).

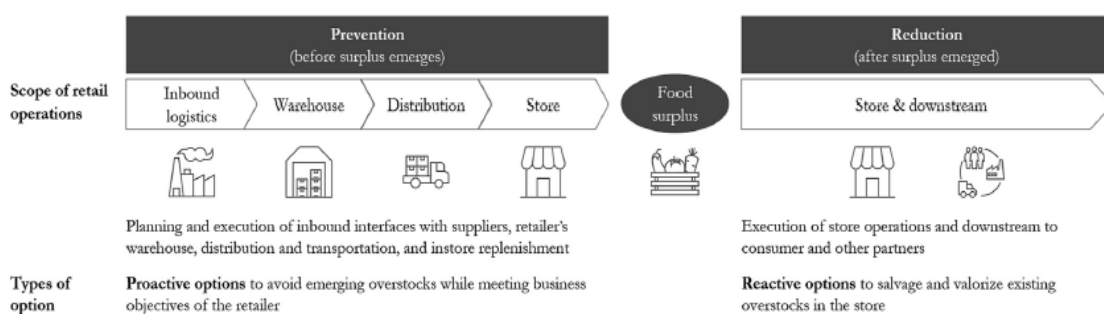
##### **3.3.1.1 Πρόληψη σε ατομικό επίπεδο (τελικός καταναλωτής)**

Η πρόληψη στο επίπεδο του τελικού καταναλωτή είναι πολύ αποτελεσματική εφόσον αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά τα αίτια που οδηγούν σε απώλεια ή/και σπατάλη τροφίμων, τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί προηγουμένως στην παράγραφο 2.3.1.3. Υπό αυτό το πρίσμα οι τρόποι αποφυγής της σπατάλης τροφίμων στην οικιακή κατανάλωση έχουν να κάνουν με την αποτελεσματική διαχείριση των τροφίμων τόσο ως προς τον προγραμματισμό της αγοράς των κατάλληλων ποσοτήτων χωρίς υπερβολές, όσο και στην σωστή αποθήκευση / συντήρησή τους και την προετοιμασία τους για κατανάλωση. Στην περίπτωση της οικιακής κατανάλωσης, η αγορά μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων σε προσφορά στην πραγματικότητα είναι συμφέρουσα οικονομικά μόνο εφόσον αυτά καταναλωθούν πριν λήξουν. Επιπλέον η σωστή αποθήκευση και συντήρηση των τροφίμων απαιτεί την γνώση ορθής αποθήκευσης των τροφίμων ανάλογα με το είδος τους και την

ορθή χρήση των διατιθέμενων οικιακών ψυγείων και καταψυκτών. Τέλος η χρήση το δυνατό όλων των τμημάτων από τρόφιμα που θα μπορούσαν να θεωρηθούν απορρίμματα (όπως φλούδες από πατάτες ή ψωμί που έχει ξεραθεί), ή και υπολειμμάτων από γεύματα που μπορούν να διατηρηθούν σε ψύξη ή κατάψυξη, να αποξηραθούν, να μετατραπούν σε σπιτικές σάλτσες ή μαρμελάδες και να υποστούν επεξεργασία σε σπιντικό τουρσί ώστε να καταναλωθούν σε μελλοντικό χρόνο, συνεισφέρει αποτελεσματικά στην μείωση των τροφίμων που καταλήγουν να μετατραπούν σε απόβλητα. (US EPA, 2024).

### 3.3.1.2 Πρόληψη σε επίπεδο λιανικής (υπεραγορές, οπωροπωλεία, μπακάλικα)

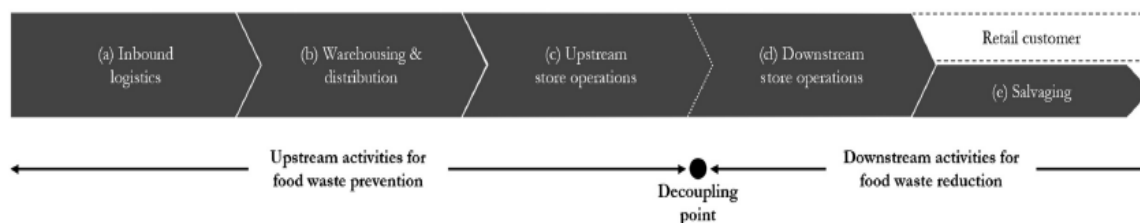
Αν και η πρόληψη στο επίπεδο της χονδρικής αγοράς και λιανικής διάθεσης τροφίμων βασίζεται σε όμοιες αρχές με αυτές του οικιακού καταναλωτή, σε ότι αφορά στην αποτελεσματική διαχείριση των ποσοτήτων που αγοράζονται και στη σωστή αποθήκευσή και συντήρηση έως τη διάθεση, η διαχείριση αποδεικνύεται σαφώς πιο σύνθετη και δυσχερής. Αυτό συμβαίνει γιατί στην περίπτωση της εφοδιαστικής αλυσίδας στη λιανική πώληση, έμφαση δίνεται περισσότερο στην δραστική μείωση της σπατάλης τροφίμων στα καταστήματα (με εκπτώσεις ή δωρεές σε τράπεζες τροφίμων), αφού έχει δημιουργηθεί πλεόνασμα, παρά στην πρόβλεψη για αποφυγή και πρόληψη δημιουργίας του πλεονάσματος από την αρχή. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η πρόβλεψη στην περίπτωση της αλυσίδας εφοδιασμού της λιανικής έχει νόημα πριν τα τρόφιμα φτάσουν στο κατάστημα και δημιουργηθεί πλεόνασμα.



**Σχήμα 24:** Η πρόβλεψη ως προληπτική επιλογή πριν τη συσσώρευση τροφίμων στη λιανική, σε σχέση με την ελάττωση που είναι επιλογή αντίδρασης στη συσσώρευση αφού η τελευταία έχει ήδη εμφανισθεί.

Ωστόσο, το τμήμα της αλυσίδας εφοδιασμού της λιανικής τροφίμων, πριν τα τελευταία φτάσουν στο κατάστημα είναι και το πιο σύνθετο, αφού περιέχει διακανονισμούς με τους

παραγωγούς / προμηθευτές χονδρικής (Inbound logistics), αποθήκευση σε ενδιάμεσες αποθήκες τροφίμων (Warehouse) και μεταφορά / διανομή στα καταστήματα λιανικής (Distribution), δηλαδή όλο το ανώρευμα (upstream) κίνησης των τροφίμων από τους χώρους παραγωγής στα καταστήματα λιανικής. Αντίστοιχα το κατώρευμα (Downstream) κίνησης, αφορά στις διεργασίες εντός των καταστημάτων λιανικής (store operations) και την διανομή των τροφίμων είτε στους τελικούς καταναλωτές (retail costumers), είτε την περισυλλογή τους (salvaging) από δευτερεύοντα κανάλια διανομής (οργανισμούς και τράπεζες τροφίμων ως δωρεές) ή υπηρεσίας / μέσα διακομιδής απορριμμάτων. Οι δραστηριότητες για την πρόληψη σπατάλης τροφίμων στο ανώρευμα και για την μείωση της σπατάλης στο κατώρευμα εφοδιασμού αφού τα τρόφιμα έχουν φτάσει στο κατάστημα λιανικής, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 25: Δραστηριότητες πρόληψη και μείωσης της σπατάλης τροφίμων στο ρεύμα κίνησης του εφοδιασμού τροφίμων**

Όπως εξάγεται από πρόσφατη μελέτη επί του θέματος στις αλυσίδες εφοδιασμού λαχανικών της λιανικής (Winkler, Ostermeir, & Hübner, 2023), κάθε ενέργεια που λαμβάνεται για τη μείωση του πλεονάσματος κατά τα στάδια έως την είσοδο των τροφίμων στα καταστήματα λιανικής,<sup>29</sup> αλλά και για τη μείωση των απωλειών / αποβλήτων μετά την είσοδο τους σε αυτά,<sup>30</sup> ενέχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στους επαγγελματίες λιανικής και αλληλεπίδραση με διάφορα στάδια της υπόψη αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπρόσθετα, οι εταιρίες λιανικής πρέπει να ανταποκρίνονται στις εκάστοτε απαιτήσεις κόστους / απόδοσης και επιδιωκόμενου κέρδους, αλλά και σε αστάθμητους παράγοντες όπως η εποχικότητα των προϊόντων, η αγοραστική συμπεριφορά των καταναλωτών και οι καιρικές συνθήκες. Η σύγχρονη τεχνολογία και αυτοματοποίηση μπορεί να βοηθήσει, ενώ αναδυόμενες

<sup>29</sup> Αφορά μέτρα όπως η μείωση της ποικιλίας των ειδών τροφίμων στις παραγγελίες, η χρήση διαφοροποιημένων πηγών και προμηθευτών, η στενότερη συνεργασία χονδρικής και λιανικής, μικρότερες ποσότητες παραγγελιών, μικρότερες αποστάσεις διακίνησης κ.α.

<sup>30</sup> Αφορά μέτρα όπως η αποτελεσματική διαχείριση, επιτήρηση της λειτουργίας της αγοράς, αυτοματισμό και εκπτώσεις, κ.α

τεχνολογίες στην επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων και στην πρόβλεψη των απαιτήσεων σε ποσότητες τροφίμων, αναμένεται να παίζει σημαντικό ρόλο στον περιορισμό των αποβλήτων τροφίμων σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού. Ωστόσο, η πρόβλεψη και η χρήση υψηλής τεχνολογίας στην αλυσίδα εφοδιασμού, συχνά είναι πολύπλοκη. Έτσι, παρά το γεγονός ότι η απαίτηση για βιωσιμότητα στην ανάπτυξη της λιανικής αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων αυξάνεται διαρκώς, σε μία ιδιαίτερα ανταγωνιστική αγορά, η υψηλή διαθεσιμότητα τροφίμων στο ράφι των καταστημάτων παραμένει μία σημαντική στρατηγική επιδίωξη για τις εταιρίες λιανικής, παρά τους κινδύνους δημιουργίας πλεονάσματος. (Winkler, Ostermeir, & Hübner, 2023).

### **3.3.1.3 Πρόληψη σε επίπεδο παραγωγής (πρωτογενής παραγωγή)**

Η εφαρμογή λύσεων προηγμένης τεχνολογίας και σύγχρονων αγροτικών μεθόδων και πρακτικών αποτελεί σημαντικό αρωγό στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων / αποβλήτων κατά το στάδιο παραγωγής των τροφίμων. Τέτοιες μέθοδοι περιλαμβάνουν την επιλογή ανθεκτικών ποικιλιών καλλιεργειών και σπόρων, χρήση προηγμένων θεριζοαλωνιστικών μηχανών, βελτιωμένες τεχνικές παγίδευσης και απομάκρυνσης τρωκτικών και παρασίτων, προστασία των ζώων στην κτηνοτροφία / πτηνοτροφία σε κατάλληλα στεγασμένους χώρους, κτηνιατρική παρακολούθηση και χορήγηση εμβολίων και χρήση χώρων αποθήκευσης της συγκομιδής με ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις τεχνολογικές λύσεις, δεν αντιμετωπίζουν συστημικούς, ή κοινωνικούς παράγοντες που οδηγούν στην δημιουργία αποβλήτων τροφίμων. (O'Connor, Skeaff, Bremer, Lucci, & Miroso, 2023). Επίσης, είναι προφανές ότι έχουν σοβαρούς περιορισμούς στην εφαρμογή τους, από χώρες που δε διαθέτουν το ανάλογο επίπεδο οικονομίας, τεχνολογίας και εκπαίδευσης στην πρωτογενή παραγωγή.

Σε συστημικό επίπεδο, καίτοι φαντάζει εύκολο να αντιμετωπισθούν οι άμεσοι παράγοντες που αυξάνουν τα απόβλητα τροφίμων κατά τα στάδια της πρωτογενούς παραγωγής, με νέες τεχνολογίες, εκπαίδευση και επιμόρφωση του αγροτικού δυναμικού, στην πραγματικότητα αυτές οι προσπάθειες δεν πρόκειται να αποδώσουν καρπούς μακροπρόθεσμα, ή να έχουν σημαντική επίδραση στη μείωση των αποβλήτων τροφίμων αν δεν λάβουν χώρα αντίστοιχες ρυθμίσεις σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. (WWF-UK, 2021, σ. 16).

Υπό αυτή την έννοια, ποτέ δεν θα σταματήσει να θεωρείται απόρριμμα για τον παραγωγό ένα λαχανικό με ακανόνιστο σχήμα, αν ο τελικός καταναλωτής δεν αλλάξει την αντίληψη του περί τελειότητας και ομοιομορφίας στην εμφάνιση, έτσι ώστε να αγοράσει αυτού του είδους τα λαχανικά και συνεπώς να έχει νόημα η μεταφορά και διάθεση από τη λιανική, την χονδρική και από τον ίδιο τον παραγωγό. Αντίστοιχα, οι ίδιες οι αγορές τροφίμων και οι δρώντες στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων μπορούν να βοηθήσουν αποφασιστικά στη μείωση των αποβλήτων τροφίμων δίνοντας τα κατάλληλα κίνητρα προς τούτο στους παραγωγούς, με σειρά πρωτοβουλιών που δύναται να περιλαμβάνουν διαμοιρασμό του ρίσκου απωλειών στην αγροτική παραγωγή, υποστήριξη μεγαλύτερης ποικιλίας καλλιεργειών, διευκόλυνση των διαπραγματεύσεων μεταξύ χονδρεμπόρων και παραγόντων της αγοράς με τους αγροτικούς συνεταιρισμούς, προώθηση της αγροβιοποικιλότητας στον τελικό καταναλωτή.

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η πρόληψη δημιουργίας αποβλήτων τροφίμων σε επίπεδο πρωτογενούς παραγωγής, χωρίς να υποβαθμίζει την σπουδαιότητα και συμβολή μεθόδων προηγμένης τεχνολογίας και αγρονομίας, δεν εξαρτάται απολύτως από αυτές. Η ίδια η πρωτογενής παραγωγή πέρα από το ρίσκο που ενέχει λόγω φυσικών καταστροφών (καιρός, κλίμα, ασθένειες), υπόκειται και σε ποικίλες ανθρωπογενείς επιδράσεις (νόμοι, αγρονομική και εδαφική πολιτική, υψηλές απαιτήσεις τυποποίησης, κόστος μηχανημάτων και πρώτων υλών, αυξανόμενη ζήτηση σε συγκεκριμένα προϊόντα, απόπειρες μεσαζόντων για αισχροκέρδεια εις βάρος των παραγωγών κλπ). Συναφώς, για την επίτευξη αξιοσημείωτου αποτελέσματος, χρειάζεται η ολιστική θεώρηση της πρόβλεψης σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων γιατί υφίσταται αμοιβαία εξάρτηση σε όλα τα συστατικά που την αποτελούν. Έτσι οι προτεραιότητες της παραγωγής έχουν αντίκτυπο στον τελικό καταναλωτή και η ανάδραση από τις προτιμήσεις του τελικού καταναλωτή έχουν αντίκτυπο στην παραγωγή.

### **3.3.2 Ελαχιστοποίηση**

Η πρόληψη είναι πολύ σημαντική αλλά η πλήρης εξάλειψή του φαινομένου σπατάλης και δημιουργίας αποβλήτων τροφίμων είναι κάτι το ουτοπικό, ειδικά στο πλαίσιο του εξαιρετικά πολύπλοκου και χαοτικού παγκόσμιου συστήματος τροφίμων στο οποίο όλοι έχουν ένα μερίδιο ευθύνης, από τους παραγωγούς έως τους τελικούς καταναλωτές, για τα τρόφιμα που δεν καταναλώνονται ποτέ και μετατρέπονται σε απόβλητα. Η ίδια η έννοια της ασφάλειας τροφίμων (food safety) πολλές φορές στις συνηθισμένες στον

υπερκαταναλωτισμό κοινωνίες, παρερμηνεύεται και λαμβάνει τη μορφή υπερεξασφάλισης μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων για την αποφυγή του ρίσκου της έλλειψης από το επίπεδο των παραγωγών έως το επίπεδο της λιανικής και του τελικού καταναλωτή. Η ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων, όπως και στην περίπτωση της πρόληψης, απαιτεί τη διερεύνηση των αιτιών που δημιουργούν και συντηρούν την αυξημένη σπατάλη τροφίμων, αλλά και ολιστική προσέγγιση ως προς την εξάλειψή τους, που να λαμβάνει υπόψη όλα τα στάδια και τους δρώντες της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων.

### **3.3.2.1 Ελαχιστοποίηση στα στάδια παραγωγής, μεταφοράς, αποθήκευσης, επεξεργασίας και συσκευασίας**

Απώλειες στη συγκομιδή τροφίμων στις φάρμες παρουσιάζονται τόσο λόγω απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών, έλλειψης προηγμένου εξοπλισμού και εκπαίδευσης, όσο και λόγω υπερπαραγωγής που δεν μπορεί να απορροφήσει η αγορά. Αν και πολλές φορές οι παραγωγοί για να εξασφαλίσουν τυχόν απρόβλεπτες απώλειες που μπορεί να έχουν παράγουν περισσότερες ποσότητες αγροτικών προϊόντων από αυτές που σχεδιάζουν να πουλήσουν και οι ίδιες οι αγορές πολλές φορές για να μειώσουν το κόστος αγοράς, περιορίζουν την απορρόφηση της παραγωγής, καθιστώντας τη συγκομιδή ασύμφορη για τους παραγωγούς. (Kennard, 2019). Η υπάρχουσα δομή της αγοράς και διακίνησης τροφίμων διαχωρίζει τους παραγωγούς από τις τελικές αγορές και αυτό πολύ συχνά οδηγεί σε κακή εκτίμηση των ποσοτήτων που πρέπει να παραχθούν, των ειδών που θα έχουν ζήτηση και των περιόδων σποράς και συγκομιδής. Σε πολλές περιπτώσεις παράγοντες μέσα στις ίδιες τις εφοδιαστικές αλυσίδες (μεγαλέμποροι, εταιρίες μετακομιδής τροφίμων, αλυσίδες λιανικής) ευνοούν ασύμμετρες ισορροπίες εις βάρος των παραγωγών, περιορίζουν τα εισοδήματά τους και καθιστούν ακόμη δυσκολότερη τη δυνατότητα της πρωτογενούς παραγωγής να επενδύσει σε εκπαίδευση και κεφαλαιακό εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας για να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες κατά τη συγκομιδή. Αν και οι πραγματικές απώλειες τροφίμων στο επίπεδο της παραγωγής είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια, αναφορά του WWF το 2021, έδωσε στοιχεία που δείχνουν ότι 4,4 εκατομμύρια Km<sup>2</sup> καλλιεργήσιμου εδάφους κάθε χρόνο, χρησιμοποιείται για την παραγωγή τροφίμων που ποτέ δεν καταναλώνονται, ενώ παράλληλα ο ετήσιος αντίκτυπος που έχει η παραγωγή αυτών των τροφίμων σε επίπεδο πρωτογενούς παραγωγής (αγροτικές καλλιέργειες, κτηνοτροφία/πτηνοτροφία και αλιεία/ιχθυοτροφία) στο περιβάλλον, ανέρχεται σε εκπομπές



2.2 γιγατόνων CO<sub>2</sub>: ποσότητες συγκρίσιμες με τις ετήσιες εκπομπές του 75% των οχημάτων που συνολικά κινούνται σε Ευρώπη και ΗΠΑ. (WWF-UK, 2021).

Σημαντικό ρόλο στις ποσότητες τροφίμων που τελικά δεν φθάνουν στον τελικό καταναλωτή, παίζουν ο χειρισμός, η αποθήκευση τους μετά τη συγκομιδή, αλλά και η μεταφορά τους σε χώρους επεξεργασίας ή λιανικής. Τα πρωτογενή νωπά τρόφιμα που παράγονται είναι συνήθως ευαίσθητα στις κλιματολογικές συνθήκες, η ποιότητά τους υποβαθμίζεται με το χρόνο και συχνά έχουν μικρά χρονικά περιθώρια ασφαλούς κατανάλωσης πριν τη συγκέντρωση παθογόνων οργανισμών, χωρίς την κατάλληλη ψύξη ή επεξεργασία. Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών απαιτείται ο κατάλληλος χειρισμός και αποθήκευση τους σε ειδικούς χώρους και δοχεία, η προστασία τους από ζιζάνια και τρωκτικά, η συντήρησή τους κατά τη μεταφορά, αλλά και η ελαχιστοποίηση του χρόνου μεταφοράς. Η χρήση πλαστικών δοχείων, πλαστικών αεροστεγών συσκευασιών, μεταλλικών σιλό και συστημάτων ψύξης αποτελούν ιδιαίτερα αποτελεσματικές μεθόδους διατήρησης των τροφίμων όπως έχουν δείξει τα αποτελέσματα ερευνών και χρήσης τους σε διάφορες χώρες. Ωστόσο η διαθεσιμότητα και το κόστος προμήθειας τους αποτελούν για μεγάλες μερίδες αγροτικού πληθυσμού (ιδιαίτερα σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες) ανυπέρβλητο εμπόδιο. Στον αντίποδα, λύσεις χαμηλού κόστους χωρίς κατανάλωση ενέργειας όπως τα ψυγεία εξάτμισης (evaporative coolers) ή όπως αλλιώς είναι γνωστά : ψυχροί χώροι μηδενικής ενέργειας (Zero Energy Cool Chamber, ZECC) είναι αποτελεσματικές, αλλά εξαρτώνται από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες (δεν λειτουργούν σε περιοχές με υψηλή υγρασία) και την πρόσβαση / διαθεσιμότητα σε νερό. Πάραυτα, η χρήση ψυγείων εξάτμισης και η εκπαίδευση στη χρήση τους σε χώρες με αρκετή ξηρασία και περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα και έκταση ηλεκτρικού δικτύου ή ακριβό για τους αγρότες κόστος ηλεκτρικής ενέργειας όπως η Τανζανία και η Ινδία, επέλυσε σημαντικά προβλήματα. (Lipinski, και συν., 2013). Η παρεχόμενη ψύξη από τέτοια συστήματα δεν έχει την ίδια απόδοση με αντίστοιχα ηλεκτρικά συστήματα ψύξης, ούτε φυσικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μακρά συντήρηση ή κατάψυξη ευαίσθητων σε αλλοιώσεις προϊόντων όπως τα νωπά κρέατα, πουλερικά. Στην περίπτωση ωστόσο λιγότερο ευαίσθητων τροφίμων όπως τα φρούτα και τα λαχανικά, δύναται, να παρατείνει σημαντικά το χρόνο ζωής τους από 42% έως και 200% κατά περίπτωση, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

CROP	SHELF LIFE (IN DAYS)		ADDED SHELF LIFE (PERCENT)
	ROOM TEMPERATURE	ZERO ENERGY COOL CHAMBER	
Banana	14	20	43%
Carrot	5	12	140%
Cauliflower	7	12	71%
Guava	10	15	50%
Lime	11	25	127%
Mango	6	9	50%
Mint	1	3	200%
Peas	5	10	100%
Potato	46	97	111%

**Πίνακας 5: Η επιμήκυνση του χρόνου ζωής φρούτων και λαχανικών με τη χρήση ψυγείου εξάτμισης**

Η ελαχιστοποίηση των απωλειών σε τρόφιμα κατά τη μεταφορά τους σε κέντρα επεξεργασίας και συσκευασίας, είναι συνυφασμένη τόσο με την αποτελεσματική μεταφορά τους σε οχήματα που διαθέτουν κατάλληλες συνθήκες ψύξης και αποθήκευσης, όσο και την ελαχιστοποίηση των αποστάσεων μέσω κατάλληλης διαχείρισης των δρομολογίων, μαζική μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων για τη μείωση του κόστους μεταφορικών, αλλά και την βελτίωση των υποδομών στα οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα συγκοινωνιών. (Lipinski, και συν., 2013). Η βελτίωση των χρόνων μεταφοράς πολλές φορές δεν εξαρτάται μόνο από την τεχνολογία και το είδος των μεταφορικών, αλλά και από τη βέλτιστη οργάνωση των δρομολογίων, τη διαθεσιμότητα και χωρητικότητα τους, τους χρόνους εκτελωνισμού, αλλά και σειρά νόμων, ελέγχων, γραφειοκρατικών διαδικασιών και περιορισμών της ελεύθερης διακίνησης αγαθών μεταξύ των διαφόρων χωρών που καίτοι θεσπίστηκαν για τη διασφάλιση της ποιότητας και την προστασία του τελικού καταναλωτή, επηρεάζουν αρνητικά το χρόνο ζωής ιδιαίτερα ευαίσθητων τροφίμων και συντελούν στην αύξηση των ποσοτήτων που αλλοιώνονται και καταλήγουν στα απορρίμματα.

### 3.3.2.2 Ελαχιστοποίηση στα στάδια λιανικής διανομής και κατανάλωσης

Αν και η τεχνολογία τροφίμων μπορεί να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία και συσκευασία των τροφίμων που διατίθενται μέσω της λιανικής αγοράς στον τελικό καταναλωτή, η ίδια η λιανική και οι μεγάλες αλυσίδες υπεραγορών, συχνά ωθούν τους παραγωγούς και τις εταιρίες επεξεργασίας και συσκευασίας να επιβαρύνονται το κόστος μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων που δεν φτάνουν στον τελικό καταναλωτή. Η τάση

συγκέντρωσης μεγάλων αλυσίδων της λιανικής σε ομίλους, τους προσδίδει ακόμη μεγαλύτερη ισχύ, στερεί κέρδη και δυνατότητες επιλογής σε εταιρίες επεξεργασίας τροφίμων και οδηγεί τις τελευταίες σε πολύ περιορισμένο πελατολόγιο και μακροπρόθεσμα συμβόλαια. Σε πολλές περιπτώσεις, οι υπερεκτιμήσεις στη λιανική οδηγούν σε αυξημένη παραγωγή τροφίμων από τις εταιρίες παραγωγής, συσκευασίας και επεξεργασίας, που είναι υποχρεωμένες να ανταποκριθούν στη ζήτηση, ωστόσο οι ποσότητες που τελικά δεν καταναλώνονται και συσσωρεύονται στη λιανική επιστρέφονται χωρίς κανένα κέρδος ή αποπληρωμή για τις εταιρίες παραγωγής και επεξεργασίας, ή τους παραγωγούς. (Kennard, 2019)<sup>31</sup> Το τελευταίο περιορίζει τις δυνατότητες επενδύσεων σε νέες τεχνολογίες και την αναβάθμιση ή συντήρηση του εξοπλισμού επεξεργασίας και συσκευασίας και ακόμη χειρότερα, αφού τα πάντα στην εμπορική αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων υπολογίζονται με όρους κόστους και κέρδους, καθιστά σε πολλές περιπτώσεις αποδεκτή την αδικαιολόγητη καταστροφή τροφίμων σε μεγάλες ποσότητες. Έτσι, όπως έχει αποδειχθεί σε έρευνες όπως αυτή της γνωστής εμπορικής συμβουλευτικής McKinsey & Company, αρκετές απώλειες σε τρόφιμα δεν οφείλονται τόσο σε κακές πρακτικές ή ελλιπή συντήρηση του εξοπλισμού, αλλά περισσότερο στην αλληλεξάρτηση και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων της αλυσίδας εφοδιασμού. Άλλωστε, οι περισσότερες συμβάσεις προμηθειών δεν δημιουργούν κίνητρα για την ελαχιστοποίηση της σπατάλης και άρα τη μείωση των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων. (Borens, Gatzert, Magnin, & Timelin, 2022).

Στην περίπτωση της αλυσίδας λιανικής, πολλές από τις νέες τεχνολογίες συσκευασίας και συντήρησης τροφίμων αυξάνουν την ανθεκτικότητα των προϊόντων και την παραμονή τους στο ράφι των καταστημάτων λιανικής για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αν και αυτό θα έπρεπε λογικά να ελαχιστοποιεί της σπατάλης στα τρόφιμα, κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει και τα αίτια μάλλον πρέπει να αναζητηθούν στην αντίστοιχη αλληλεπίδραση μεταξύ της αλυσίδας λιανικής και του τελικού καταναλωτή και του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί η συγκεκριμένη αγορά. Η μεγιστοποίηση του κέρδους για τη λιανική αγορά, δεν στηρίζεται μόνο στην ελαχιστοποίηση του κόστους προμήθειας των τροφίμων από του παραγωγούς, μεταπωλητές και εταιρίας επεξεργασίας και συσκευασίας, αλλά κυρίως στην αυξημένη ζήτηση, κατανάλωση και ιδίως στην ενίσχυση και ενθάρρυνση των υπερκαταναλωτικών τάσεων στις ανεπτυγμένες οικονομικά κοινωνίες. Αυτό άλλωστε συντηρείται στις

---

<sup>31</sup> Υφίσταται παραπομπή στο βιβλίο Stuart, T. (2009). *Waste: Uncovering the Global Food Scandal*. Penguin UK.

σύγχρονες καταναλωτικές κοινωνίες μέσω της διαφήμισης, των προσφορών για αγορές μεγαλύτερων ποσοτήτων, αλλά και των μεγαλύτερων σε όγκο και δυνατότητες, οικιακών καταναλωτικών συσκευών αποθήκευσης που ευνοούν την υπερ-συσσώρευση τροφίμων και μοιραία την αύξηση των απορριμμάτων. Έτσι, ενώ κυβερνήσεις, οργανώσεις, ενώσεις και άλλες επίσημες αρχές αναλώνονται στο να περιορίζουν την σπατάλη τροφίμων ως ένα ηθικό και κοινωνικό στη βάση του πρόβλημα, στην πραγματικότητα η αυξημένη παραγωγή τροφίμων και τα αυξημένα ποσοστά αυτών που καταλήγουν να γίνονται απόβλητα (μαζί με τους χαμένους πόρους για την παραγωγή τους και την επίδραση στο περιβάλλον), μάλλον οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο τα καθεστώτα της παγκόσμιας αλυσίδας τροφίμων έχουν εδραιώσει την ανάπτυξη τους και συγκεκριμένα με την χωρίς όρια κεφαλαιοποίηση των τρόφιμων και τον έλεγχο της αλυσίδας εφοδιασμού με όρους καθαρά κερδοσκοπικούς.

Όπως είναι φανερό, οι παραπάνω μεθοδεύσεις έχουν επηρεάσει την ψυχολογία των τελικών καταναλωτών και στις ανεπτυγμένες χώρες, σε μεγάλο βαθμό υπαγορεύουν πλέον τις υπερκαταναλωτικές συμπεριφορές. Παρά τα μακροχρόνια προβλήματα στην παγκόσμια υγεία που προκαλεί η έκρηξη της παχυσαρκίας στον κόσμο και ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες<sup>32</sup> και η οποία οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην υπέρμετρη κατανάλωση τροφίμων, όπως λέει ο ερευνητής βιωσιμότητας του γερμανικού Ινστιτούτου Οικολογικής Οικονομικής Έρευνας, Vivian Frick : *«Πολλοί άνθρωποι στον παγκόσμιο Βορρά, τείνουν να πιστεύουν ότι είναι δικαίωμά τους και ότι είναι κανονικό να καταναλώνουν τις ποσότητες που καταναλώνουμε σήμερα...Συχνά ξεχνούν εντελώς ότι τα επίπεδα κατανάλωσης που έχουμε στηρίζονται στην εκμετάλλευση άλλων χωρών, τις φθηνές πρώτες ύλες τους και το φθινό εργατικό δυναμικό. Οι τιμές θα ήταν στην πραγματικότητα πολύ διαφορετικές αν ήταν δίκαιες»*. (Syal, 2022). Η επικρατούσα κατάσταση στην οποία ο σύγχρονος καταναλωτής μάλλον είναι δέσμιος των τάσεων και των προτροπών για υπερκατανάλωση και επί σειρά ετών έχει «εκπαιδευθεί» σε τέτοιες συνήθειες είναι δύσκολο να ανατραπεί διότι αφενός απαιτεί μεθοδευμένες προσπάθειες επανεκπαίδευσης σε κοινωνικό, ακαδημαϊκό, κρατικό και παγκόσμιο επίπεδο, αφετέρου έρχεται σε άμεση σύγκρουση με τα οικονομικά συμφέροντα της παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού. Ωστόσο, είναι σημαντικό να λάβουμε

---

<sup>32</sup> Σύμφωνα με στοιχεία του παγκόσμιου οργανισμού υγείας, το 2022 ένας στους οκτώ (1 : 8) ανθρώπους στον κόσμο αντιμετώπιζε προβλήματα παχυσαρκίας (World Health Organization (WHO), 2024). Στις ΗΠΑ το ποσοστό παχυσαρκίας από το 2017 έως το 2021 αυξήθηκε από 30,5% σε 41,9% ενώ ο υπολογιζόμενος αντίκτυπος στο ετήσιο ιατρικό κόστος της παχυσαρκίας το έτος 2019, είχε ήδη φτάσει τα 173 δισεκατομμύρια δολάρια. (US Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2022).

υπόψη ότι οι επιθυμίες, συνήθειες και προτιμήσεις του τελικού καταναλωτή είναι αυτές που καθορίζουν τη ζήτηση στους νόμους της αγοράς. Η αφύπνιση του καταναλωτή, η εκπαίδευσή του και η εφέλκυση του σε φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης, άρα και της παραγωγής αποβλήτων, απαιτεί τη μακροπρόθεσμη και κοινή δέσμευση κρατικών δρώντων, οργανισμών, κοινωνικών και εταιρικών φορέων προς αυτή την κατεύθυνση για τη δημιουργία κατάλληλης κουλτούρας. Υπό αυτή τη έννοια, μεμονωμένες προσπάθειες στην ενίσχυση πρωτοβουλιών ανακύκλωσης (όπως η κομποστοποίηση σε επίπεδο Δήμων), στην απλούστευση των ετικετών λήξης στα προϊόντα ώστε αυτά να μην απορρίπτονται άδικα ενώ δύναται να καταναλωθούν και στις παροτρύνσεις βελτίωσης της υγείας των πολιτών μέσω μείωσης της υπέρμετρης κατανάλωσης, είναι σημαντικές αλλά όχι αρκετές. Η δραστική ελαχιστοποίηση των παραγόμενων απορριμμάτων τροφίμων στο επίπεδο του καταναλωτή είναι δυνατή μόνο σε ένα γενικευμένο πλαίσιο διάδρασης της πολιτείας, της κοινωνίας και της αλυσίδας παραγωγής, όπου υπάρχει δίκαιη κατανομή των υποχρεώσεων και κοινή αντίληψη των διδαγμάτων και καλών πρακτικών που προκύπτουν από το κυκλικό μοντέλο ανάπτυξης.

## **4. Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων και στρατηγικών διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων, μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα.**

Η σύγκριση των μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο μας δίνει σημαντικά στοιχεία για τον αντίκτυπο που έχουν στις τρεις βασικές διαστάσεις που εξετάζουμε σε κάθε σύστημα βιώσιμης ανάπτυξης, δηλαδή στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Η εύρεση της χρυσής τομής όταν και οι τρεις αυτές διαστάσεις συνυπολογίζονται, δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση, γιατί δεν υπάρχει μία μέθοδος πανάκεια που να τις ικανοποιεί όλες συγχρόνως με ικανοποιητικό τρόπο, αλλά ούτε και οι ίδιες οι μέθοδοι είναι κατάλληλες για κάθε περίπτωση. Όπως διαφαίνεται, λύσεις μπορεί να δώσει μόνο ο αποτελεσματικός συνδυασμός ή κατάλληλοι συνδυασμοί των διαθέσιμων μεθόδων και ακόμη περισσότερο η συστηματική και ολιστική διαχείριση του προβλήματος σε όλα τα στάδια της ιεραρχίας ανάκτησης τροφίμων και της ιεραρχίας διαχείρισης των αποβλήτων τους.

### **4.1 Σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων διαχείρισης και στρατηγικών πρόληψης & μείωσης των απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων**

#### **4.1.1 Επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων**

Σε ότι αφορά στην επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων, η δωρεά τροφίμων σε τράπεζες τροφίμων και η επανακύκλωση (recycling) δείχνουν να είναι οι μέθοδοι με τα περισσότερα πλεονεκτήματα γιατί διατηρούν ή επανεισάγουν αντίστοιχα, τα τρόφιμα στον κύκλο της ανθρώπινης κατανάλωσης και με τον τρόπο αυτό αποτρέπουν την μετατροπή τους σε απορρίμματα. Ακολουθεί η επαναχρησιμοποίηση τροφίμων σε ζωοτροφές η οποία επανεισάγει τα τρόφιμα που θα κατέληγαν σε απορρίμματα στον τροφικό κύκλο της νομής και κατ' επέκταση έτσι στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα. Τα βασικότερα μειονεκτήματα των μεθόδων αυτών στην περίπτωση της δωρεάς τροφίμων σχετίζονται με τη σοβαρή απαίτηση για βελτίωση και τυποποίηση του νομοθετικού πλαισίου που διέπει τις δωρεές, αλλά και καλύτερη υποστήριξη της διανομής στις ευπαθείς κοινωνικές ομάδες με κοινωνικές, κυβερνητικές και φιλανθρωπικές πρωτοβουλίες σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Στην περίπτωση της επανακύκλωσης, απαιτείται η μεγαλύτερη διάδοση των επανακυκλωμένων διατροφικών προϊόντων και η αποτελεσματικότερη διανομή, προσβασιμότητά και προτίμηση τους από το ευρύ κοινό, καθώς η επεξεργασία και



παραγωγή τους ενέχει αξιοσημείωτο οικονομικό κόστος. Στην περίπτωση των ζωοτροφών, απαιτείται αφενός διαλογή των πρώτων υλών αλλά και κατάλληλη εξυγίανση και επεξεργασία τους ώστε να περιορίσουν τους υγειονομικούς κινδύνους μεταφοράς επικίνδυνων ασθενειών και συνδρόμων στην ανθρώπινη διατροφική αλυσίδα. Βασικός παράγοντας στην περίπτωση της δωρεάς τροφίμων που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι τα τρόφιμα υπόκεινται σε αλλοιώσεις με την πάροδο του χρόνου και έτσι υφίστανται σημαντικοί περιορισμοί στο διαθέσιμο χρόνο και διανομής τους. Ωστόσο, το τελευταίο ισχύει σε μικρότερη κλίμακα και για την παραγωγή επανακυκλωμένων τροφίμων και ζωοτροφών. Με βάση τα προαναφερθέντα, η καλύτερη ιεράρχηση στην επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων ακολουθεί την σειρά δωρεά τροφίμων, επανακύκλωση, παραγωγή ζωοτροφών. Η επεξεργασία των τροφίμων για επαναχρησιμοποίηση στην περίπτωση της επανακύκλωσης και παραγωγής ζωοτροφών ενέχει κατανάλωση πόρων που μεταφράζονται σε ενέργεια, κόστος και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά διατηρεί και εξασφαλίζει τη χρήση των τροφίμων στο πλαίσιο του βασικού λόγου παραγωγής τους, την κατανάλωση από έμβια όντα. Συνολικά, καμία από τις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης τροφίμων δεν μπορεί να εξαλείψει πλήρως το φαινόμενο απώλειας και σπατάλης τους, καθώς είναι δεδομένο ότι μεγάλες ποσότητες τροφίμων θα καταλήξουν να μετατραπούν σε απόβλητα. Το ζητούμενο είναι ο κατά το δυνατό περιορισμός απώλειας των τροφίμων που δύναται να διασωθούν πριν καταλήξουν στα απορρίμματα.

#### **4.1.2 Σύγκριση των μεθόδων ανακύκλωσης και επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων**

Από τους διάφορους τρόπους ανακύκλωσης και επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων οι βιοχημικές μέθοδοι της κομποστοποίησης και αναερόβιας χώνευσης εμφανίζονται ως οι φιλικότερες προς το περιβάλλον και έπειτα ακολουθούν οι διάφορες μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας.

##### **4.1.2.1 Σύγκριση μεθόδων βιοχημικής επεξεργασίας**

###### **Κομποστοποίηση**

Η κομποστοποίηση είναι μία γενικά οικολογική και πολλά υποσχόμενη βιοχημική μέθοδος διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και μετατροπής τους σε χρήσιμα λιπάσματα, ωστόσο το βασικό της μειονέκτημα είναι η εφαρμογή της σε μεγάλη κλίμακα. Αν και αποτελεί μία ευρείας χρήσης μέθοδο με αυξανόμενη απήχηση στα οικολογικά ευσυνείδητα νοικοκυριά

και κοινότητες, η χρήση της σε μεγάλη κλίμακα απαιτεί χώρο και οικονομικό κόστος σε εξοπλισμό ανάδευσης των απορριμμάτων και επαρκούς αερισμού, καθώς είναι μια αερόβια διαδικασία. Αν και οικολογικά συμβατή με τις επιταγές της βιώσιμης ανάπτυξης, δεν έχει στη συμβατική της μορφή την ίδια απόδοση με άλλες μεθόδους όπως η αναερόβια χώνευση, ενώ σε πολλές περιπτώσεις έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον από την απελευθέρωση αερίων με βάση τον άνθρακα. Συναφώς, αποτελεί μία σχετικά ασταθή βιοχημική διαδικασία με μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας για το τελικό αποτέλεσμα καθώς η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται από την αρχική σύσταση της βιομάζας και πλήθος άλλων παραγόντων, ενώ (κατά περίπτωση) έχει και περιορισμούς στην πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Πάραυτα, οι τεχνολογικές εξελίξεις φέρνουν στο προσκήνιο νέες μεθόδους περιορισμού της αβεβαιότητας με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, ενώ η σταδιακά βαθύτερη επίγνωση της διαδικασίας μέσω της έρευνας δίνει τη δυνατότητα για επαύξηση της κλίμακας εφαρμογής, επιτάχυνση της διαδικασίας και βελτίωση της απόδοσης και ποιότητας του τελικού προϊόντος μέσω της χρήσης γαιοσκωλήκων, προσθέτων και μικροοργανισμών. Συγκριτικά, επί του παρόντος αν και είναι στη βάση της μία από τις πιο οικολογικές μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων, με αυξανόμενη απήχηση στην κοινωνική συνείδηση, δεν δίνει καλύτερα αποτελέσματα από άλλες βιοχημικές μεθόδους όπως η αναερόβια χώνευση, ούτε και προσφέρει ιδιαίτερη ανάκτηση ενέργειας σε σύγκριση με μεθόδους θερμικής επεξεργασίας. Μελλοντικά δύναται να αποτελέσει μία βιώσιμη οικονομικά λύση σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και άλλων βιολογικών αποβλήτων με μερική ανάκτηση (θερμικής) ενέργειας, αλλά αυτό όπως φαίνεται θα απαιτήσει αρκετά μεγάλες επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη. Επιπρόσθετα, θα απαιτήσει ορισμένες μεταβολές του νομοθετικού πλαισίου σε πολλές χώρες, ώστε τα προϊόντα της κομποστοποίησης (λιπάσματα και γαιο-βελτιωτικά) να αποκτήσουν αγοραστικό ενδιαφέρον και να γίνουν διαθέσιμα σε μεγάλη κλίμακα.

### **Αναερόβια χώνευση**

Η αναερόβια χώνευση είναι και αυτή (όπως και η κομποστοποίηση) μία βιοχημική διαδικασία διάσπασης οργανικών υλικών όπως τα απορρίμματα τροφίμων και αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες και οικολογικές μεθόδους επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων. Η διαφορά από την κομποστοποίηση είναι ότι η διαδικασία διάσπασης των οργανικών υλών, γίνεται αναερόβια μέσα σε μεγάλα σιλό στα οποία διοχετεύεται με διάφορες μεθόδους μίγμα βιομάζας και νερό και τα οποία συχνά θερμαίνονται για την

επιτάχυνση της διαδικασίας. Τα τελικά προϊόντα στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης είναι χωνεμένα υγρά και στερεά υπολείμματα (digestates) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα σε καλλιέργειες και κυρίως, βιοαέριο πλούσιο σχετικά σε μεθάνιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιο-καύσιμο. Συγκριτικά με την κομποστοποίηση, τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης είναι σαφώς πιο πολύπλοκα στην κατασκευή και λειτουργία, μεγαλύτερης κλίμακας και απαιτούν μεγάλη αρχική επένδυση. Πάραυτα, τα προϊόντα της κομποστοποίησης είναι λιγότερα και σαφώς μικρότερης ενεργειακής αξίας από το βιοαέριο που παράγεται με την αναερόβια χώνευση. Έτσι η αναερόβια χώνευση αν και πολύ ακριβότερη διαδικασία είναι ταχύτερη και πιο καθαρή (ως διαδικασία) από την κομποστοποίηση, γιατί οι βιοχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε κλειστό αναερόβιο χώρο που δεν επιτρέπει την απευθείας εξαγωγή αερίων στο περιβάλλον. Γενικά, οι εγκαταστάσεις αναερόβιων χωνευτών έχουν υψηλό κόστος λειτουργίας λόγω σημαντικών απαιτήσεων σε ενέργεια και εξοπλισμό ελέγχου – επιτήρησης της διαδικασίας και για το λόγο αυτό δεν απευθύνονται συνήθως σε οικιακούς χρήστες και κοινότητες, αλλά περισσότερο σε κρατικές ή δημόσιες υπηρεσίες, ιδιωτικές εταιρείες επεξεργασίας αποβλήτων και αρκετά μεγάλες φάρμες πρωτογενούς παραγωγής τροφίμων. Επιπρόσθετα, η κατασκευή και χρήση σύγχρονων υποδομών αναερόβιας χώνευσης απαιτεί τεχνολογικό υπόβαθρο, πρόσβαση σε μεγάλες ποσότητες νερού, αλλά και μεγάλες ποσότητες βιομάζας για την παραγωγή ικανών ποσοτήτων βιο-αερίου. Αυτού του είδους οι απαιτήσεις, σε συνδυασμό με τη έλλειψη έρευνας και επενδύσεων, περιορίζουν τη διάδοση και την χρήση τέτοιων εγκαταστάσεων σε αναπτυσσόμενες ή φτωχές οικονομικά χώρες. (Piadeh, και συν., 2024). Η οικονομική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων αναερόβιων χωνευτών και παραγωγής βιοαερίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με τις αποστάσεις μεταφοράς του αερίου, τις υποδομές και τα μέσα μεταφοράς, καθώς και τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές για καθαρισμό του παραγόμενου βιοαερίου και συλλογής των χωνεμένων υπολειμμάτων. Έρευνες στηριζόμενες σε δεδομένα κύκλο-ζωής στην περίπτωση της Σουηδίας, έδειξαν ότι για αποστάσεις της τάξεως των 50 km υφίσταται κόστος που ανταποκρίνεται στο 30-50% του παραγόμενου βιοαερίου, ενώ σε πολλές περιπτώσεις ακόμη και σε ανάγκες μεταφοράς πρώτων υλών σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 150 km, το ισοζύγιο άρχισε να έχει αρνητικό πρόσημο μόνο σε μεγάλες αποστάσεις της τάξεως των 700 km. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε νερό, αλλά και η ίδια η σύσταση της, έχει μεγάλο αντίκτυπο στο παραγόμενο βιοαέριο (ποσότητα και ποιότητα), καθιστώντας τις εκτιμήσεις για τις δυνητικά παραγόμενες ποσότητες δύσκολη υπόθεση.

Παρά τις εξελίξεις στην τεχνολογία και τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης οι ενεργειακές απαιτήσεις τέτοιων εγκαταστάσεων συχνά υπερβαίνουν την ενεργειακή τους απόδοση σε παραγόμενο βιοαέριο. (European Biomass Industry Association (EUBIA), χ.χ.). Το τελευταίο δεν έχει αποτρέψει την ευρεία χρήση τους στις ΗΠΑ, την ΕΕ, την Ινδία και την Κίνα, γιατί η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων συμβατή με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης, ενέχει δυνατότητες ενεργειακής ανάκτησης (βιοαέριο), έχει μία δυναμική και αυξανόμενη αξία στην ενεργειακή αγορά και δημιουργεί θέσεις στην αγορά εργασίας. Η αποτίμηση της ευρωπαϊκής αγορά αναερόβιας χώνευσης το 2019 έφτανε τα \$ 45 δισ. και οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι θα ξεπεράσει τα 17 GW παραγόμενης ενέργειας έως το 2026. (Gupta & Chopra, 2020). Η επένδυση σε υποδομές αναερόβιας χώνευσης έχει σημαντικές ανάγκες σε εργατικό δυναμικό και δημιουργεί ευκαιρίες εργασίας στους τομείς συλλογής και διαχείρισης απορριμμάτων, βοηθώντας φτωχές πληθυσμιακές ομάδες. Για κάθε 1000 τόνους οργανικών αποβλήτων που διαχειρίζονται από μονάδες αναερόβιας χώνευσης δημιουργούνται περίπου 20 θέσεις εργασίας και επιπρόσθετα άλλες 15 θέσεις σε έμμεσες εργασίες που σχετίζονται με την εφοδιαστική αλυσίδα και υπηρεσίες υποστήριξης.<sup>33</sup> Στις ΗΠΑ η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης χρησιμοποιείται εκτενώς εδώ και πολλά χρόνια σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και ανάκτησης ύδατος (wastewater treatment facilities). Έτσι το 2014 λειτουργούσαν πάνω από 2.000 εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου εκ των οποίων αναερόβιους χωνευτές διέθεταν 239 εγκαταστάσεις σε φάρμες και 1241 εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Trabold & Nair, 2018). Ωστόσο, η χρήση απορριμμάτων τροφίμων σε αναερόβιους χωνευτές άρχισε να αποκτά ενδιαφέρον μόνο από τις αρχές του 2000 και έτσι το 2019 ο αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων χωνευτών με κύρια βιομάζα τα απόβλητα τροφίμων, δεν ξεπερνούσε τις 236. (Dalke, Demro, Khalid, Wu, & Urgun-Demirtas, 2021). Στην Ευρώπη που αποτελεί την ηγέτιδα ήπειρο στην παραγωγή βιοαερίου σύμφωνα με στοιχεία του 2019 λειτουργούν περίπου 20.000 εγκαταστάσεις βιοαερίου (οι περισσότερες στη Γερμανία) και οι περισσότερες χρησιμοποιούν γεωργικά και αστικά στερεά απόβλητα, ενώ η χρήση του βιοαερίου για ενέργεια και θέρμανση αναμένεται να αυξηθεί από το 70% σήμερα στο 85% έως το 2040. (IEA, 2020). Πάραυτα σύμφωνα με αντίστοιχα στοιχεία του

---

<sup>33</sup> Αναφέρεται στο (Piadeh, και συν., 2024) με παραπομπή σε: Francini, G., Lombardi, L., Freire, F., Pecorini, I., & Marques, P. (2019). Environmental and cost life cycle analysis of different recovery processes of organic fraction of municipal solid waste and sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*, 10(12), 3613–3634. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00687-w>.

2015 μόνο 290 τέτοιες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν ως κύριο υλικό τα απορρίμματα τροφίμων σε αναερόβιους χωνευτές. (Dalke, Demro, Khalid, Wu, & Urgun-Demirtas, 2021).

Τα παραπάνω δείχνουν ότι αν και τα απορρίμματα τροφίμων που χαρακτηρίζονται από υψηλή βιο-διασπασιμότητα, είναι μία πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για χρήση σε αναερόβιους χωνευτές, η πολυπλοκότητα της όλης διαδικασίας πολλές φορές την καθιστά εξαιρετικά ακριβή και για τους λόγους αυτούς μαζί με τα απορρίμματα τροφίμων συνήθως χρησιμοποιούνται και άλλα βιολογικά απορρίμματα όπως αστικά στερεά απόβλητα και λύματα. Παραμένει μία σχετικά φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος, διότι καίτοι απαιτεί μεγαλύτερους ενεργειακούς πόρους από την κομποστοποίηση, συλλέγει τα παραγόμενο αέριο και δεν το αποδεσμεύει στο περιβάλλον, ενώ πολλές φορές μέρος από το υπόψη βιοαέριο χρησιμοποιείται εντός της ίδιας εγκατάστασης για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών. Σε κάθε περίπτωση πάντως, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το παραγόμενο βιοαέριο που εμπλουτίζεται και χρησιμοποιείται σε κινητήρες και καυστήρες (όχι απαραίτητα στην ίδια εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης), αποτελεί ανανεώσιμη αλλά όχι φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας γιατί η καύση του συμβάλει στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου και την υπερθέρμανση του πλανήτη.

#### **4.1.2.3 Σύγκριση μεθόδων θερμικής επεξεργασίας**

Οι μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας για την αποτέφρωση απορριμμάτων είναι μία δοκιμασμένη και συνηθισμένη μέθοδος που χρησιμοποιείται για ολόκληρες δεκαετίες και έχει μειώσει σημαντικά τον όγκο των στερεών αστικών αποβλήτων, ενώ έχει αξιοσημείωτα αποτελέσματα και στην ανάκτηση ενέργειας από την καύση. Το βασικό πλεονέκτημα των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας στην παραδοσιακή μορφή των κλιβάνων είναι ότι μπορούν να δεχθούν μεγάλη γκάμα και όγκο από απορρίμματα ως πρώτη ύλη. Στον αντίποδα οι απαιτήσεις σε κόστος κατασκευής, κατανάλωσης καυσίμων, συντήρησης και λειτουργίας είναι ιδιαίτερα υψηλές, ενώ και ο αντίκτυπος στο περιβάλλον δυσανάλογα υψηλός των πλεονεκτημάτων τους. Αν και έχουν γίνει τεράστια βήματα στο αποτελεσματικό φιλτράρισμα των ρύπων που παράγονται από την καύση όπως τέφρα, βαρέα μέταλλα και διάφορα οργανικά και ανόργανα συστατικά, η τελική αποθήκευση της παραγόμενης τέφρας σε χώρους υγειονομικής ταφής, αλλά και συχνές διαρροές και δυσλειτουργίες των συστημάτων ελέγχου της ατμοσφαιρικής μόλυνσης ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για το

περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Παρά το γεγονός ότι οι σημερινές μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων και ανάκτησης ενέργειας, δεν έχουν καμία σχέση με τις κατασκευές του παρελθόντος, η κακή ιστορική παράδοση τέτοιων εγκαταστάσεων δείχνει να έχει αποτυπωθεί στη συνείδηση μεγάλης μερίδας της κοινωνίας παγκοσμίως. Έτσι, αν και πολλές έρευνες υποδεικνύουν ότι οι σύγχρονες εγκαταστάσεις θερμικής ανάκτησης ενέργειας από απορρίμματα δεν συνδέονται με κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, (Traven, 2023), η επικρατούσα κοινωνική αντίληψη, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, θεωρεί την αποτέφρωση (και επαγωγικά τις διαφόρους μεθόδους θερμικής επεξεργασίας), ως μία αναποτελεσματική μέθοδο διαχείρισης των στερεών αποβλήτων με ανάκτηση ενέργειας, η οποία έχει μεγάλο κόστος κατασκευής και λειτουργίας, ενέχει κινδύνους για την υγεία των πολιτών και δεν παράγει καθαρή ή ανανεώσιμη ενέργεια γιατί καθώς απαιτεί ως πρώτη ύλη τεράστιες ποσότητες απορριμμάτων, υπονομεύει έτσι τις επιδιώξεις της βιώσιμης ανάπτυξης για τη μείωση τους. (C40 Cities Climate Leadership Group; C40 Knowledge Hub, 2019).

Στην περίπτωση των απορριμμάτων τροφίμων, τα υψηλά ποσοστά υγρασίας που περιέχουν, η χαμηλή τους σχετικά θερμιδική αξία και η μεγάλη ανομοιογένεια στη σύστασή τους, δεν τα καθιστούν ιδιαίτερα καλή καύσιμη ύλη και δημιουργούν πολλά εμπόδια στην αποτελεσματική τους χρήση σε συμβατικούς αποτεφρωτές βιομηχανικής κλίμακας. Ακόμη όμως και στις εξελιγμένες μορφές της θερμικής επεξεργασίας με πυρόλυση, συν-πυρόλυση και αεριοποίηση, τα αποτελέσματα στην παραγωγή βιοαερίου και ανάκτηση ενέργειας σε σχέση με την καταναλωθείσα δεν είναι ιδιαίτερα θεαματικά ενώ προϋποθέτουν την διαλογή και προ-επεξεργασία των απορριμμάτων τροφίμων, την ανάλυση της σύστασής τους και την κατά περίπτωση χρήση ειδικών καταλυτών για να έχουν αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Τα παραπάνω καθιστούν τις εξελιγμένες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων ακριβότερες από τις συμβατικές μορφές θερμικής επεξεργασίας τόσο στην κατασκευή όσο και στην λειτουργία τους. Οι συνεχιζόμενες ωστόσο, έρευνες στη χρήση εξελιγμένων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας για την διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων και στερεών αστικών αποβλήτων μαζί με άλλα υλικά (όπως το PVC και τα ελαστικά αυτοκινήτων), δείχνει ότι η χρήση τέτοιων μεθόδων και εγκαταστάσεων είναι περισσότερο βιώσιμη από οικονομικής πλευράς, για μικρές καταναλωμένες εγκαταστάσεις και ειδικά σε αναπτυσσόμενες χώρες που έχουν μεγάλους περιορισμούς διαθέσιμου εδάφους για χώρους υγειονομικής ταφής. (Su, και συν., 2022). Η περίπτωση της ξεχωριστής θερμικής



επεξεργασίας αποκλειστικά απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων δεν μπορεί να θεωρηθεί μία ρεαλιστική λύση γιατί ενέχει μεγάλο κόστος λειτουργίας και επιπλέον προϋποθέτει αποτελεσματικό διαχωρισμό των απορριμμάτων τροφίμων από τις πλαστικές, χάρτινες ή μεταλλικές τους συσκευασίες, κάτι το οποίο είναι συχνά δαπανηρό, μη πρακτικό και σε διάφορες περιπτώσεις όπως αυτές των μικρών συσκευασιών με σάλτσες ή σιρόπια που συχνά χρησιμοποιούνται σε αλυσίδες εστιατορίων, σχεδόν αδύνατο. (Trabold & Nair, 2018).

Συνολικά, η θερμική επεξεργασία ως μέθοδος διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων, στη σημερινή της μορφή παρά τις εξελιγμένες μεθόδους που έχουν εμφανισθεί και την τεχνολογική πρόοδο που έχει γίνει προς τη βελτίωση των ρυπογόνων χαρακτηριστικών της, δεν χαίρει ιδιαίτερης αποδοχής από την κοινωνία, δεν θεωρείται συμβατή με τις επιταγές της βιώσιμης ανάπτυξης, αλλά και δεν μπορεί να συγκριθεί στον τομέα αυτό με βιοχημικές μεθόδους όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Ωστόσο, αποτελεί μέθοδο που έχει δοκιμασθεί και έχει εξελιχθεί επί σειρά ετών, ενώ το πλεονέκτημα της σε σχέση με άλλες μεθόδους ανακύκλωσης είναι η ταχεία επεξεργασία μεγάλου όγκου απορριμμάτων σε βιομηχανική κλίμακα. Αν και στη συμβατική της μορφή (αποτέφρωση) είναι μία δαπανηρή και δυνητικά ρυπογόνα διαδικασία, η περαιτέρω εξέλιξη προηγμένων τεχνικών που δεν απαιτούν την καύση (πυρόλυση, αεριοποίηση), δεν αποκλείεται στο μέλλον να αποτελέσει μία βιώσιμη οικονομικά λύση χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

#### **4.1.3 Σύγκριση μεθόδων απόθεσης στο έδαφος**

##### **Υγειονομική ταφή**

Η πρακτική της υγειονομικής ταφής θεωρείται γενικά ως η χειρότερη μέθοδος διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων και για το λόγο αυτό βρίσκεται στη βάση της ιεραρχίας ανάκτησης και διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων. Αποτελεί την τελική λύση ανάγκης όταν τίποτα καλύτερο δεν μπορεί να γίνει με τα απορρίμματα τροφίμων και ενέχει τις χειρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ειδικά στις περιπτώσεις της υγειονομικής ταφής σε ανοικτούς χώρους, η υψηλή ταχύτητα με την οποία αποσυντίθενται τα απορρίμματα τροφίμων, καθιστούν τις εκπομπές αερίων όπως το μεθάνιο ιδιαίτερα υψηλές με τραγικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Συναφώς υπάρχει και σημαντικός κίνδυνος μόλυνσης του υπεδάφους από τη διαρροή επικίνδυνων ρύπων μέσω στραγγίσεων από το νερό της βροχής. (Kenny, και συν., Οκτ 2023). Ακόμη όμως και στις περιπτώσεις των

σύγχρονων ΧΥΤΑ με συστήματα συλλογής του παραγόμενου LFG αερίου και χρήση του για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας, σημαντικές ποσότητες αερίων θερμοκηπίου διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, ενώ το κόστος κατασκευής και λειτουργίας τέτοιων εγκαταστάσεων, απαιτεί πολύ καλή σχεδίαση και προγραμματισμό λειτουργίας για να είναι βιώσιμες οικονομικά. Τα τελευταία χρόνια σε Ευρώπη και ΗΠΑ υπάρχει μία αυξανόμενη τάση για μείωση των απορριμμάτων τροφίμων που στέλνονται σε ΧΥΤΑ, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι και στις δύο αυτές περιοχές οι υπόψη χώροι διαθέτουν στις περισσότερες περιπτώσεις συστήματα συλλογής των διαρροών σε αέρια και αποστραγγίσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαρκώς αυξανόμενη συσσώρευση απορριμμάτων τροφίμων και το υψηλό κόστος των μεθόδων ανακύκλωσης και επεξεργασίας συνεχίζει να οδηγεί μεγάλες ποσότητες στους χώρους υγειονομικής ταφής.

### **Απόθεση – διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος (καλλιέργειες)**

Η διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος ως λίπασμα, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, είναι μία ειδική περίπτωση απόθεσης που έχει μεγαλύτερη απήχηση στις ΗΠΑ και λιγότερο στην ΕΕ. Αν και ενέχει κάποιο κόστος, για μεγάλο χρονικό διάστημα θεωρήθηκε μία καλή πρακτική διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων και των αστικών στερεών αποβλήτων για τη μετατροπή τους σε χρήσιμα λιπάσματα και γαιοβελτιωτικά. Ωστόσο, η εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων μικρο-πλαστικών και άλλων ανθεκτικών ουσιών στην αλυσίδα παραγωγής τροφίμων άρχισε να τα μεταφέρει στα απορρίμματα τροφίμων και στα στερεά αστικά απόβλητα και μοιραία άρχισε να περνά και στα βιο-λιπάσματα που διασπείρονται στο έδαφος, δημιουργώντας μία ιδιαίτερα επικίνδυνη κατάσταση. Το τελευταίο έχει εγείρει σημαντικές ανησυχίες, δυσπιστία και επιφυλάξεις στις αγροτικές κοινότητες. Παράλληλα, έχει τραβήξει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για ευρύτερη διερεύνηση των επιπτώσεων, ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων απαλλαγής από νέες επικίνδυνες ουσίες στα τρόφιμα, αλλά και αποτελεσματικών μεθόδων ελέγχου της σύστασης των απορριμμάτων τροφίμων.

Συγκριτικά με την υγειονομική ταφή η μέθοδος της διασποράς βιο-στερεών σε καλλιέργειες θα μπορούσε να θεωρηθεί μία καλή και οικονομική μέθοδος διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και ανακύκλωσής τους σε μορφή λιπάσματος. Ωστόσο, καίτοι συνεχίζει να αποτελεί πρακτική σε αρκετές χώρες, ενέχει κινδύνους και απαιτεί περισσότερη και εκτενέστερη έρευνα των επιπτώσεων της στο έδαφος σε σχέση με νέες επικίνδυνες ουσίες που περιέχονται στα τρόφιμα και κυρίως στα αστικά στερεά απόβλητα. Η έλλειψη

κατάλληλης τυποποίησης και νομοθεσίας αλλά και αποτελεσματικών μεθόδων επεξεργασίας, απομάκρυνσης και εξυγίανσης της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται, την θέτει υπό αμφισβήτηση. Μελλοντικά, καλύτερες μέθοδοι επεξεργασίας των πρώτων υλών και ενδεχόμενη αποκλειστική χρήση απορριμμάτων τροφίμων, δύναται να την καταστήσει εκ νέου αποδεκτή και βιώσιμη. Συγκριτικά, η υγειονομική ταφή στην πιο απλή της μορφή, χωρίς δηλαδή εγκαταστάσεις συλλογής αερίων και προβλέψεις προστασίας του χώρου από διαρροές, είναι οικονομικότερη από την διασπορά βιο-στερεών στο έδαφος, αλλά αποτελεί στην κυριολεξία τον ορισμό του σοβαρού περιβαλλοντικού κινδύνου και θα πρέπει να θεωρείται (χειρίστη) τελευταία λύση ανάγκης. Άλλωστε, δεν είναι περίεργο το γεγονός ότι αν και αποτελεί ιστορικά τον δημοφιλέστερο και οικονομικότερο τρόπο διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων, δεν χαίρει ιδιαίτερης εκτίμησης ούτε από την επιστημονική κοινότητα, αλλά ούτε και από την κοινωνία. Ακόμη και η περίπτωση σύγχρονων εγκαταστάσεων υγειονομικής ταφής με δέσμευση των παραγόμενων αερίων για ανάκτηση ενέργειας, δεν αποτελεί βιώσιμη λύση στη διαχείριση απορριμμάτων αλλά περισσότερο μέτρο περιορισμού των επιπτώσεων τους που ενέχει φυσικά και οικονομικό κόστος.

#### **4.1.4 Σύγκριση των στρατηγικών πρόληψης και ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων τροφίμων**

Σε όλες τις περιπτώσεις η πρόληψη σπατάλης τροφίμων υπερέχει κατά κράτος από κάθε προσπάθεια μείωσης των απορριμμάτων τροφίμων γιατί αποτρέπει τη δημιουργία τους από την αρχή. Καίτοι όμως είναι η προφανώς καλύτερη λύση στη στρατηγική διαχείρισης απαιτεί σημαντικές προσπάθειες τόσο σε επίπεδο παραγωγής, όσο και σε επίπεδο λιανικής διάθεσης και κατανάλωσης. Πέρα από τις διάφορες τεχνολογίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία καλύτερων μοντέλων διάθεσης των τροφίμων που εξαρτώνται από την εκάστοτε κατανάλωση, η πρόληψη σπατάλης τροφίμων σχετίζεται με την αποτροπή της υπερπαραγωγής και τη βελτιστοποίηση με βάση τις πραγματικές ανάγκες. Το τελευταίο έχει διαφορετική ανάγνωση τόσο από τις αλυσίδες της λιανικής και του καταναλωτή που επιζητούν τη μεγάλη διαθεσιμότητα, όσο και από την πλευρά του παραγωγού που είναι υποχρεωμένος να αποφύγει τα ρίσκα μείωσης στην παραγωγή, άρα και το κέρδος του. Τελικά, η μέση λύση που μπορεί να επιτευχθεί με την πρόληψη είναι η αποτελεσματικότερη μείωση των τροφίμων που καταλήγουν στα απορρίμματα. Υπό αυτήν την έννοια η μείωση των απορριμμάτων τροφίμων είναι μία περισσότερο εφικτή περίπτωση. Ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση όμως απαιτείται η υπεύθυνη συμπεριφορά

των αλυσίδων λιανικής διανομής, αλλά και των καταναλωτών. Στην πραγματικότητα πρόληψη και μείωση είναι συνυφασμένες έννοιες καθώς η βέλτιστη περίπτωση της ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων τροφίμων σε ιδεατά μηδενικά επίπεδο προϋποθέτει και αποτελεί την καλύτερη δυνατή εφαρμογή της πρόληψης. Τελικά, τόσο η πρόληψη όσο και η μείωση των απορριμμάτων τροφίμων, αποτελούν συλλογική υπόθεση που αφορά όλους τους δρώντες στην αλυσίδα εφοδιασμού και περιλαμβάνει δράσεις που κυμαίνονται από ορθούς υπολογισμούς στην παραγωγή και κατανάλωση, έως και τακτικές της ίδιας της λιανικής για μεγιστοποίηση του κέρδους, αλλά και τάσεις του καταναλωτικού κοινού για συσσώρευση ποσοτήτων τροφίμων που δεν χρειάζεται πραγματικά.

Σε μία ιδεατή προσέγγιση της ελαχιστοποίησης και πρόληψης της σπατάλης τροφίμων, η αμφίδρομη διασύνδεση του παραγωγού – λιανικής πώλησης – τελικού καταναλωτή μπορεί να διαδραματίσει καταλυτικό ρόλο και είναι η μόνη ίσως λύση στο πρόβλημα της ελαχιστοποίησης συσσώρευσης τροφίμων που ποτέ δεν πρόκειται να καταναλωθούν και άρα παράχθηκαν, διακινήθηκαν και τοποθετήθηκαν στα ράφια μάταια. Εδώ, η ευαισθητοποίηση του καταναλωτή για τις συνέπειες που έχουν οι υπερκαταναλωτικές του πρακτικές στο περιβάλλον και την οικονομία, δύναται να προκαλέσουν το έναυσμα συστημικών αλλαγών στην αλυσίδα εφοδιασμού. Παράλληλα η διασύνδεση όλων των ανωτέρω δρώντων (παραγωγού – λιανικής πώλησης – καταναλωτή), θα δώσει τη δυνατότητα στον καταναλωτή με τις υπεύθυνες επιλογές του, να προκαλέσει την ευαισθητοποίηση της λιανικής σε πιο υπεύθυνη και λογική δημιουργία αποθέματος που ανταποκρίνεται στις πραγματικές ανάγκες των καταναλωτών. Στο επίπεδο της λιανικής, η χρήση συστημάτων αυτοματοποιημένης λήψης απόφασης με τεχνητή νοημοσύνη δύναται λαμβάνοντας υπόψη τις αγοραστικές επιλογές να περιορίσει σημαντικά την συσσώρευση αχρείαστων αγαθών στα ράφια δίνοντας οικονομικά κίνητρα περιορισμού των δαπανών στις απολύτως αναγκαίες. Το τελευταίο με τη σειρά του θα προκαλέσει στους παραγωγούς τροφίμων την τάση για υπεύθυνη παραγωγή που ανταποκρίνεται στη ζήτηση, ενώ παράλληλα η διασύνδεση με τον καταναλωτή θα βοηθήσει τους παραγωγούς, να προβλέπουν ποιες είναι η ανάγκες και τάσεις της κατανάλωσης, προκειμένου να προσαρμόζουν την παραγωγή τους στα συγκεκριμένα δεδομένα. Η χρήση αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης, μοντέλων παραγωγής και κατανάλωσης, όσο και η επιστήμη των δεδομένων, μπορούν να ποσοτικοποιήσουν τα μεγέθη που σχετίζονται με την παραγωγή, διάθεση και κατανάλωση. Παράλληλα η διάθεση όλων αυτών των δεδομένων μέσα στο

διαδίκτυο των πραγμάτων, δύναται να δώσει την απαιτούμενη αιτιολόγηση όλων των ενεργειών από πλευράς παραγωγών, λιανικής και καταναλωτών εξασφαλίζοντας τη διαφάνεια και την αποδοχή. Το βασικότερο πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής δεν είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους, αλλά η ελαχιστοποίηση της οικονομικής ζημιάς που προκαλείται από ανεύθυνες τακτικές και το τελευταίο πρέπει να αποτελέσει βασικό σημείο αναφοράς σε όλες τις προσπάθειες για μετάβαση σε μοντέλα κυκλικής οικονομίας.

## **4.2 Μελέτες περίπτωσης και παραδείγματα**

### **4.2.1 Επισκόπηση μελέτης περίπτωσης της CDM Smith εκ μέρους του Ιδρύματος Ερευνών για το Υδάτινο Περιβάλλον (Water Environment Research Foundation, WERF), για την αξιολόγηση και σύγκριση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων.**

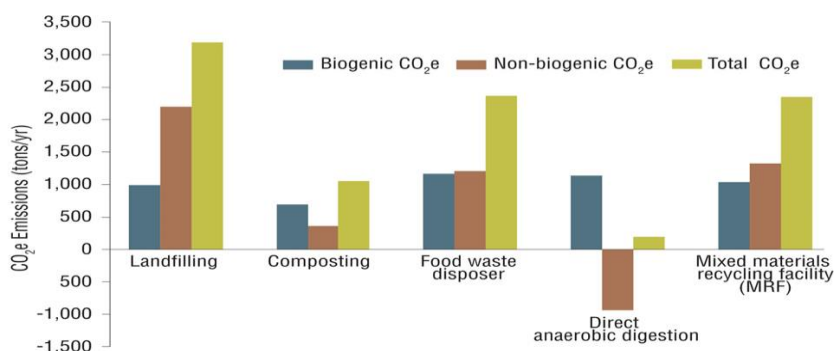
Κάθε μέθοδος διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων έχει διαφορετικές απαιτήσεις νερού και επεξεργασίας λυμάτων, διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις, διαφορετικές δυνατότητες ανάκτησης ενέργειας, καθώς και διαφορετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Μία εμπειριστατωμένη επισκόπηση μελέτης<sup>34</sup> και σύγκρισης πέντε (5) βασικών και σύγχρονων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων με ευρεία χρήση στις ΗΠΑ, σε ότι αφορά στο κόστος και τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, εξήγαγε το 2013 σημαντικά αποτελέσματα. Οι υπό σύγκριση μέθοδοι διαχείρισης ήταν : η υγειονομική ταφή (Landfilling), η κομποστοποίηση (Composting), αστικό σύστημα σκουπιδοφάγου (Residential Food Waste Disposer) σε υποδομή υπονόμων με εγκατάσταση ανάκτησης ύδατος (Water Reclamation Facility, WRF) που λειτουργεί με αναερόβια χώνευση, σύστημα άμεσης αναερόβιας χώνευσης (Direct Anaerobic Digestion) και εγκατάσταση ανάκτησης μεικτών υλικών (Mixed Materials Recovery Facility, MRF). Για την καλύτερη προσέγγιση στη διαχείριση αποβλήτων με βέλτιστες και αποδοτικές πρακτικές, στην περίπτωση της κομποστοποίησης και του συστήματος άμεσης αναερόβιας χώνευσης, τα απόβλητα τροφίμων διαχωρίστηκαν κατά προέλευση. Στην υγειονομική ταφή χρησιμοποιήθηκαν απορρίμματα τροφίμων αναμεμιγμένα με άλλα οικιακά αστικά στερεά απόβλητα, ενώ στις εγκαταστάσεις ανάκτησης μεικτών υλικών, όπως συνηθίζεται,

---

<sup>34</sup> Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε το 2012 από το Ίδρυμα Ερευνών για το Υδάτινο Περιβάλλον (Water Environment Research Foundation, WERF) που προσέλαβε την διεθνή ιδιωτική εταιρεία μηχανικής και κατασκευών CDM Smith, για να αξιολογήσει και να συγκρίνει τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων. Η επισκόπηση αυτής της μελέτης δημοσιεύθηκε το 2013 από τον αντιπρόεδρο της CDM Smith, David L. Parry, PhD, PE, BCEE στο περιοδικό της Αρχής Οργανικής Ανακύκλωσης (The Organics Recycling Authority) Biocycle (τόμος 54, τεύχος 6, σελ.36).

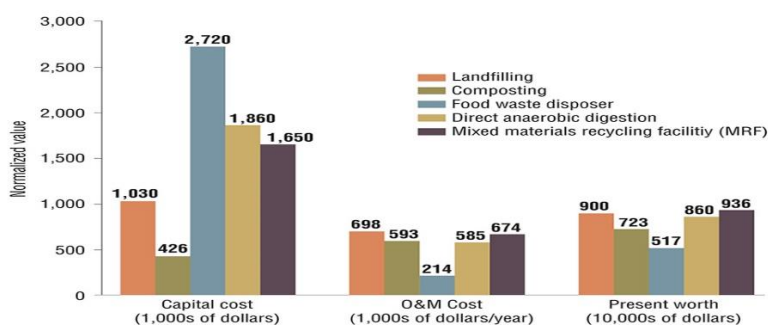
χρησιμοποιήθηκε μίγμα απορριμμάτων τροφίμων και αστικών στερέων αποβλήτων που όμως διαχωρίστηκε και τα απορρίμματα τροφίμων μεταφέρθηκαν ξεχωριστά σε αναερόβιο χωνευτή εγκατάστασης ανάκτησης ύδατος (WRF). Συναφώς, σε όλες τις μεθόδους θεωρήθηκε ότι χρησιμοποιούνται σύγχρονες και αποτελεσματικές ενεργειακές πρακτικές,<sup>35</sup> ενώ η παραγωγή αποβλήτων τροφίμων βασίστηκε σε πόλη των 100.000 κατοίκων που παράγουν 3.930 τόνους αποβλήτων τροφίμων ετησίως. Τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου διαχείρισης που χρησιμοποιήθηκε, συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες, όπου γίνεται η σύγκριση τους ως προς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ως προς το κόστος τους (κόστος κατασκευής, κόστος λειτουργίας & συντήρησης και τελική αξία).

**Figure 1. Comparison of greenhouse gas emissions (as CO<sub>2</sub>e) from food waste management methods**



**Σχήμα 26: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων ως προς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (όπως το ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα – CO<sub>2</sub>e)**

**Figure 2. Summary of costs for food waste management methods**



**Σχήμα 27: Σύγκριση διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας αποβλήτων τροφίμων ως προς το κόστος τους (αρχικό κόστος, κόστος λειτουργίας & συντήρησης, παρόν κόστος)**

<sup>35</sup> Θεωρήθηκε ως δεδομένο ότι οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων διαθέτουν σύστημα αναερόβιας χώνευσης (AD), οι εγκαταστάσεις ανάκτησης μικτών υλικών (MRF) διαθέτουν συστήματα θέρμανσης και ισχύος (Combined Heat and Power) και οι χώροι υγειονομικής ταφής διαθέτουν συστήματα συλλογής αερίου LFG που χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε κατάλληλη γεννήτρια.



Πλέον των ανωτέρω, στον υπολογισμό του τελικού κόστους υπολογίστηκε ποσοστό έκπτωσης 6%, περιλαμβάνοντας και τον πληθωρισμό, μία περίοδος κύκλου ζωής 20 ετών λειτουργίας και τιμή ηλεκτρικού στα 0,1 \$ ανά kWh.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι:

- Η περισσότερο διαδεδομένη σε πολλές χώρες μέθοδος της υγειονομικής ταφής, παράγει τις μεγαλύτερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου επιβαρύνοντας το περιβάλλον, ενώ παράλληλα έχει και μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο. Επίσης, από πλευράς τελικού κόστους η συγκεκριμένη μέθοδος φαίνεται να είναι από τις ακριβότερες. (2<sup>η</sup> ακριβότερη μετά τις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης μικτών υλικών). Αν και θα μπορούσε να είναι ακόμη πιο ρυπογόνα και δαπανηρή μέθοδος, η ύπαρξη συνήθως σύγχρονων εγκαταστάσεων συλλογής και χρήσης του αερίου που παράγεται, τελικά μετριάζουν σε κάποιο βαθμό τις οικονομικές επιπτώσεις και σε μικρότερο βαθμό τις περιβαλλοντικές.

- Η κομποστοποίηση έχει από τις χαμηλότερες τιμές εκπομπών αερίων και χαμηλό τελικό κόστος. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η μεγάλη έκταση που απαιτεί την καθιστά στις περιπτώσεις Δήμων με περιορισμένο χώρο μη υλοποιήσιμη σε μεγάλη κλίμακα και ρεαλιστική βάση.

- Το αστικό σύστημα σκουπιδοφάγων με αναερόβιο χωνευτή μέσα σε υπάρχον σύστημα αστικών υπονόμων έχει το μικρότερο τελικό κόστος και απαιτεί το μικρότερο σε έκταση χώρο. Ωστόσο συστήματα αυτού του είδους έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε πόσιμο νερό για τη μεταφορά των τεμαχισμένων απορριμμάτων τροφίμων στους υπονόμους ενώ απαιτούν και επιπρόσθετα συστήματα αεραγωγών λόγω της προσθήκης αποβλήτων τροφίμων. Για το λόγο αυτό έχουν το μεγαλύτερο αρχικό κόστος κατασκευής. Πάραυτα, επειδή στα συστήματα αναερόβιας χώνευσης που συνήθως διαθέτουν, υπάρχει ανάκτηση ενέργειας, τελικά (σε βάθος χρόνου), έχουν το μικρότερο τελικό κόστος. Τα συγκεκριμένα συστήματα χαίρουν μεγάλης αποδοχής γιατί παρέχουν έναν πολύ βολικό τρόπο διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων κατευθείαν από την κουζίνα του καταναλωτή, αλλά έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον που τις ξεπερνούν μόνο οι χώροι υγειονομικής ταφής.

- Η απευθείας μεταφορά με φορτηγά, απορριμμάτων τροφίμων στις εγκαταστάσεις ανάκτησης ύδατος και η απευθείας τροφοδότηση τους στους αναερόβιους χωνευτές των εγκαταστάσεων αυτών δείχνει να έχει τις μικρότερες εκπομπές αερίων και

συνεπώς τις μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα μεγιστοποιεί την ανάκτηση ενέργειας από το βιοαέριο που παράγεται στους χωνευτές. Πάραυτα, η απευθείας φόρτωση των χωνευτών απαιτεί τη διαλογή κατά προέλευση των αποβλήτων και το διαχωρισμό των απορριμμάτων τροφίμων από τα υπόλοιπα απόβλητα, διαφορετικά το κόστος μπορεί να εκτοξευτεί και τα πλεονεκτήματα να εκμηδενισθούν. Ακόμη και σε ιδανικές συνθήκες, το τελικό κόστος λόγω της απαιτούμενης επεξεργασίας είναι το 3ο μεγαλύτερο μετά τις εγκαταστάσεις ανακύκλωσης μικτών υλικών και την υγειονομική ταφή.

- Οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης μικτών υλικών συνήθως αποτελούνται από πολλές μονάδες επεξεργασίας και η κάθε μία είναι εξειδικευμένη στην επεξεργασία συγκεκριμένων υλικών όπως τα μέταλλα, το γυαλί, τα πλαστικά και οργανικές ύλες περιλαμβανομένων και αποβλήτων τροφίμων. Ενώ οι τεχνολογίες στην διαχωρισμού ανακυκλώσιμων υλικών είναι καθιερωμένες και γνωστές, η τεχνολογίες διαχωρισμού μίγματος αστικών στερεών αποβλήτων είναι πολλές φορές ιδιόκτητες. Για τις ανάγκες της μελέτης και για μία ρεαλιστική προσέγγιση στην πραγματικότητα, θεωρήθηκε ότι τα απορρίμματα τροφίμων ξεφορτώνονται σε μία περιοχή υποδοχής, όπου επιθεωρούνται οπτικά για επικίνδυνα υλικά και μεταφορτώνονται σε μεταφορείς για διαχωρισμό. Η διαδικασία του διαχωρισμού τους χωρίζει τη ροή των απορριμμάτων σε σειρές διαλογής από τις οποίες αφαιρούνται τα άμεσα ανακυκλώσιμα υλικά. Κατόπιν ειδικά μηχανήματα διαλογής διαχωρίζουν τα μέταλλα και το γυαλί από την οργανική ύλη και η τελευταία αλέθεται και μεταφέρεται σε έναν αναερόβιο χωνευτή. Συνολικά στη μελέτη θεωρήθηκε ότι το 30% της οργανικής ύλης που εισέρχεται σε μία τέτοια εγκατάσταση χρησιμοποιείται για αναερόβια χώνευση ενώ το υπόλοιπο 70% δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και έτσι μεταφέρεται σε χώρο υγειονομικής ταφής. Τόσο ο χώρος υγειονομικής ταφής όσο και ο αναερόβιος χωνευτής έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τους υπόλοιπους που χρησιμοποιούνται στη συγκεκριμένη μελέτη. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης μικτών υλικών αν και παρέχουν μεγάλες δυνατότητες ανακύκλωσης διαφορετικών υλικών, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον που συγκρίνονται με τα αστικά σύστημα αποβλήτων και τις ξεπερνούν μόνο οι χώροι υγειονομικής ταφής. Επιπρόσθετα έχουν τον μεγαλύτερο τελικό κόστος.

Η παραπάνω μελέτη αν και δίνει ενδεικτικά συγκριτικά στοιχεία σύγχρονων μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων τροφίμων δεν αποτελεί διεξοδική ανάλυση, γιατί στην

πραγματικότητα είναι δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων ή και όλων των παραπάνω μεθόδων ανάλογα με τις επιδιώξεις και τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η μέθοδος ή ο συνδυασμός μεθόδων που θα προτιμηθεί, εξαρτάται από τις υποδομές, την επιθυμητή ευκολία χρήσης, τους στόχους και τις εκάστοτε οικονομικές δυνατότητες. Στην περίπτωση που σημασία έχει η ευκολία και το τελικό κόστος τα αστικά συστήματα σκουπιδοφάγων με αναερόβιο χωνευτή στους υπονόμους, αποτελούν μία ιδιαίτερα ελκυστική λύση. Εάν επιδιώκεται η καλύτερη από οικολογικής πλευράς λύση που να είναι συγχρόνως και ενεργειακά αποδοτική, τότε ένα σύστημα απευθείας αναερόβιας χώνευσης είναι το καταλληλότερο. Από την άλλη, αν επιδιώκεται μία οικολογική και οικονομική λύση και δεν υπάρχει περιορισμός χώρου αλλά σοβαροί περιορισμοί στο αρχικό κεφάλαιο επένδυσης, τότε η κομποστοποίηση είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος. Τέλος αν υπάρχει χρήμα αλλά το ο χώρος και το ενδιαφέρον των καταναλωτών για ανακύκλωση ή διαχωρισμό των απορριμμάτων τροφίμων είναι περιορισμένο, τότε ένα αστικό σύστημα σκουπιδοφάγων με υπονόμους που διαθέτουν αναερόβιο χωνευτή ή/και μία εγκατάσταση ανακύκλωσης μικτών υλικών είναι προτιμητέα. (Parry, 2013).

#### **4.2.2 «Όταν η υπεύθυνη παραγωγή και κατανάλωση έχουν σημασία : η περίπτωση της Danone»**

Οι στόχοι της βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ στην ατζέντα του 2030, είναι ένα ορόσημο στην υπέρβαση του παρόντος κοινωνικού και οικονομικού μοντέλου σε ένα πιο βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον και την κοινωνία και αυτό απαιτεί την κοινή δέσμευση των κυβερνήσεων, πολιτών και εταιριών προς αυτή την κατεύθυνση και ενσωμάτωση των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης στην εμπορική στρατηγική. Η Danone μία γαλλική πολυεθνική εταιρία στην παρασκευή και επεξεργασία τροφίμων, με πολύ γνωστά εμπορικά προϊόντα και φάρμες όπως το νερό Evian και τα προϊόντα γιαουρτιού Activia, έχει μεγάλη απήχηση και διείσδυση τόσο στις αλυσίδες λιανικής όσο και στο ψυγείο του καταναλωτή στις μέρες μας, αλλά παράλληλα δείχνει να διατηρεί τη δέσμευση της στη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας, όπως και στην αρχή της εταιρίας. Το 1919 στην Ισπανία, ο ιδρυτής της Danone, Isaac Carasso, ξεκίνησε να παρασκευάζει γιαούρτι για να βοηθήσει τα παιδιά με εντερικές λοιμώξεις, χρησιμοποιώντας καλλιέργειες από το Ινστιτούτο Παστέρ. Τη δεκαετία του 1920, πούλησε τα πρώτα του γιαούρτια σε φαρμακεία της Βαρκελώνης, προτού επεκταθεί σε παντοπωλεία και από εκεί και πέρα ξεκίνησε η αλματώδης επέκταση της εταιρίας, με την αγορά της πρωτοπόρου εταιρίας βρεφικών και φαρμακευτικών

τροφίμων Nutricia, το 2007, την παρουσία της σε περισσότερες από 120 χώρες στον κόσμο και το όραμα της εταιρείας που καθιερώθηκε διεθνώς με το λογότυπο: *«Να φέρουμε υγεία μέσω της διατροφή σε όσο το δυνατό περισσότερους ανθρώπους»*. (Danone, 2024).

Στις μέρες μας που η εταιρεία Danone είναι πιά ένας κολοσσός στην παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων, οι αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης έχουν επεκτείνει το αρχικό όραμα σε: *«Να φέρουμε υγεία στον πλανήτη και στις γενιές των ανθρώπων μέσω της εταιρείας μας και τον οικοσυστημάτων της, τώρα και στο μέλλον»*, και τα παραπάνω περικλείονται στο νέο της λογότυπο: *«Ένας πλανήτης. Μία υγεία»* (Danone, 2024). Στο πλαίσιο μίας νέας σύγχρονης πραγματικότητας, όπου η κοινωνική επιχειρηματικότητα είναι το νέο σύνορο στον εμπορικό κόσμο, αλλά και οι κοινωνίες είναι περισσότερο ευαισθητοποιημένες απέναντι στις περιβαλλοντικές προκλήσεις, οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές καινοτομίες αποτελούν πολλές φορές την κινητήρια δύναμη στο μετασχηματισμό των μεγάλων εταιρειών που πρέπει να εφεύρουν εκ νέου τον αυτό τους και τον τρόπο λειτουργίας τους, όχι μόνο για τη βελτίωση της παραγωγικότητάς τους, αλλά κυρίως για τον εναρμονισμό τους με τις αρχές της βιώσιμης οικονομίας και ανάπτυξης και τη συμπερίληψη στα δίκτυα διάθεσης των προϊόντων τους, σημαντικά μεγαλύτερων κοινωνικών ομάδων. (Tavignot, 2016).

Η νέα αυτή επιχειρηματική προσέγγιση που είναι πλήρως συμβατή με το όραμα της Danone, την έχει ωθήσει σε συνεργασίες με μη κερδοσκοπικές οργανώσεις, αλλά και τη δημιουργία νέων καινοτόμων προϊόντων και διαδικασιών που λαμβάνουν υπόψη πολιτιστικούς, κοινωνικούς, συναισθηματικούς και ψυχολογικούς παράγοντες που σχετίζονται με τις διατροφικές πρακτικές και συνήθειες σε κάθε μέρος του πλανήτη. Συναφώς, οι προσπάθειες αυτές χαρακτηρίζονται από το ενδιαφέρον για το περιβάλλον και την προσπάθεια μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των διαφόρων διατροφικών προϊόντων. Η ανταπόκριση στις επιταγές βιώσιμης ανάπτυξης που περικλείονται στο νέο λογότυπο της εταιρείας: *«Ένας πλανήτης. Μία υγεία»* και η αντίληψη της διασύνδεσης της ανθρώπινης υγείας με την υγεία του πλανήτη, έχει θέσει τη βάση για ένα φιλόδοξο επιχειρηματικό σχέδιο που σχετίζεται άμεσα με τα κυκλικά μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης και έχει δημιουργήσει ένα πλαίσιο στόχων και επιδιώξεων, οι σημαντικότερες των οποίων είναι οι παρακάτω:

- Δέσμευση στην προσφορά καινοτόμων διατροφικών προϊόντων που πληρούν τα υψηλότερα πρότυπα ποιότητας και ασφάλειας, με βιώσιμες επιλογές φυσικών πρώτων υλών και με ευδιάκριτες και καθαρές ετικέτες στις συσκευασίες.
- Υιοθέτηση οδικού χάρτη βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης, βελτιστοποιώντας την απόδοση και τηρώντας μεγάλη πειθαρχία στη χρήση των πρώτων υλών.
- Ανταπόκριση στην καταναλωτική εμπιστοσύνη με πιστοποιήσεις όπως αυτή της «Εταιρείας Β» (B Corp Certification),<sup>36</sup> ως απόδειξη υιοθέτησης υψηλών προτύπων αποδεδειγμένης απόδοσης, υπευθυνότητας και διαφάνειας σε παράγοντες που περιλαμβάνουν τις παροχές εργαζομένων, τις δωρεές, τις πρακτικές στην αλυσίδα εφοδιασμού και τις πρώτες ύλες.
- Ανάπτυξη προϊόντων και εμπορικών ονομασιών που δηλώνουν τις δεσμεύσεις της εταιρείας στην ανθρώπινη υγεία και την προστασία του πλανήτη.
- Ενίσχυση λύσεων με θετικό πρόσημο για το περιβάλλον και τον πλανήτη με τη χρήση φυσικών και βιώσιμων πρώτων υλών στα συστατικά των προϊόντων, την προστασία των καλλιεργειών μέσα από ορθές και οικολογικές αγροτικές πρακτικές, την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής με την υιοθέτηση μεθόδων που περιορίζουν τις εκπομπές άνθρακα.

Η υλοποίηση των στόχων της εταιρείας και των δεσμεύσεων της στις επιταγές της βιώσιμης ανάπτυξης και της υπεύθυνης παραγωγής και κατανάλωσης, την έχουν ωθήσει σε σειρά πρωτοβουλιών και καινοτομιών με σημαντικό οικολογικό και κοινωνικό αντίκτυπο που περιλαμβάνουν την εφαρμογή της κυκλικής ανάπτυξης στην παραγωγή, αλλά και την καλλιέργεια συναφούς κουλτούρας στην κατανάλωση με δράσεις όπως :

---

<sup>36</sup> Οι πιστοποιημένες “B Corps” εταιρείες είναι ηγέτιδες στο παγκόσμιο κίνημα για τη μετάβαση σε μία οικονομία δίκαιο, αναγεννητική και χωρίς αποκλεισμού. Σε αντίθεση με άλλες εταιρικές πιστοποιήσεις τα εργαστήρια και οι αρχές έκδοσης της συγκεκριμένης πιστοποίησης μετρούν αποτελεσματικά το συνολικό αντίκτυπο μίας εταιρείας στο περιβάλλον και την κοινωνία. Η συγκριμένη πιστοποίηση αποτελεί έναν προσδιορισμό για μια εταιρεία ότι πληροί υψηλά πρότυπα αποδεδειγμένης απόδοσης, υπευθυνότητας και διαφάνειας σε μια σειρά παραγόντων που εκτείνονται από το ενδιαφέρον για τον εργαζόμενο και την παροχή δωρεών έως τις τηρούμενες πρακτικές στην αλυσίδα εφοδιασμού και στην επιλογή των πρώτων υλών. Για την απόκτηση τέτοιας πιστοποίησης οι εταιρείες πρέπει να αποδείξουν την υψηλή κοινωνική και περιβαλλοντική τους επίδοση, να δεσμευθούν νομικά και σε επίπεδο δομών και διοίκησης για την υπευθυνότητά τους απέναντι σε κάθε ενδιαφερόμενο μέρος και να επιδείξουν πλήρη διαφάνεια στα στοιχεία και τα δεδομένα των μετρήσεων και πιστοποιήσεων τους. (B Labs, χ.χ.).

- Ανάπτυξη της οικολογικής εταιρικής κουλτούρας, μετάδοση ενός κοινού οράματος κυκλικής οικονομίας, εξασφάλιση της ενεργής συμμετοχής όλου του προσωπικού της εταιρείας με προγράμματα όπως το «Ένα άτομο, μια φωνή» και ευαισθητοποίηση του καταναλωτικού κοινού για υπεύθυνη κατανάλωση των τροφίμων και μεγαλύτερη σύνδεση με το φυσικό περιβάλλον.
- Βελτιστοποίηση των πρώτων υλών και της παραγωγής, με μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά 20% στον τομέα των γαλακτοκομικών και πάνω από 12% στον τομέα εμπορίας νερού, χρησιμοποιώντας 100% ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια σε όλα τα εργοστάσια, περιοχές και κέντρα έρευνας και τεχνολογίας της εταιρείας.
- Χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών και προώθηση της ανακύκλωσης με στόχο την ανάκτηση του 100% των απορριμμάτων και μηδενική μεταφορά αποβλήτων τροφίμων και υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Χρήση ανανεώσιμων συσκευασιών και βιοδιασπώμενων υλικών, ώστε πέρα από την πρώτη φιάλη συσκευασίας αποτελούμενη από 75% βιολογικά υλικά που η Danone εισήγαγε στην αγορά το 2021, σε συνεργασία με άλλες εταιρείες του χώρου όπως η Nestle, και η PepsiCO, να είναι στο εγγύς μέλλον δυνατή η κατασκευή και χρήση φιαλών από 100% βιολογικής βάσης υλικά.
- Οικολογική σχεδίαση συσκευασιών, ώστε να διευκολύνουν την ανακύκλωσή τους και σταδιακή αντικατάσταση όλων των συσκευασιών στα προϊόντα της εταιρείας με αντίστοιχες από πλήρως ανακυκλώσιμα, επαναχρησιμοποιήσιμα ή ικανά να κομποστοποιηθούν υλικά. Έξυπνη αντικατάσταση των ετικετών ονομασίας στις φιάλες των προϊόντων με αντίστοιχο ανάγλυφο, ώστε να ευνοείται η ανακύκλωσή τους και να περιορίζεται το χρησιμοποιούμενο πλαστικό<sup>37</sup>
- Μείωση του κόστους μεταφορών με ανάπτυξη δικτύου αυτόνομων τοπικών κέντρων διανομής κοντά στους παραγωγούς. Η εταιρεία έχει χωρίσει τον κόσμο σε 13 περιοχές με αυτονομία στην λήψη αποφάσεων και αυτό της επέτρεψε να αυξήσει τις πωλήσεις κατά 2,9% το 2018 και να μειώσει εξαρτήσεις από μεσάζοντες στη διανομή των

<sup>37</sup> Μόνο από αυτή την έξυπνη επιλογή που η Danone άρχισε να εφαρμόζει από το 2021, υπολογίστηκε ότι εξοικονομήθηκε η χρήση και πιθανά η μετατροπή σε απορρίμματα 130.000 κιλών πλαστικού. (Graham Packaging, 2022).



προϊόντων. Συναφώς, με την ανάπτυξη και προώθηση εναλλακτικών φυτικών προϊόντων ως υποκατάστατα του γιαουρτιού εδώ και 40 χρόνια, ενίσχυσε την αποδοχή διαφορετικών διατροφικών συνηθειών και πρακτικών που οδηγούν σε μία περισσότερο βιώσιμη διαφοροποιημένη πρωτογενή παραγωγή χωρίς αποκλειστική εξάρτηση από τα γαλακτοκομικά προϊόντα.

- Μείωση της σπατάλης φαγητού με στόχο την αποφυγή σπατάλης κατά 90%, μέσω νέων ετικετών που διευκολύνουν και ενθαρρύνουν την υπεύθυνη κρίση του καταναλωτή για χρήση των προϊόντων πέρα από τις τυπικές ημερομηνίες λήξης εφόσον παραμένουν κατάλληλα για κατανάλωση. Οι πρακτικές ετικετών με λογότυπο «*Ημερομηνίες με αίσθηση: Δες, Μύρισε, Δοκίμασε*», αποτελούν παράδειγμα τέτοιας στρατηγικής που στοχεύει στην εκπαίδευση των καταναλωτών και την ενσυνείδητη συμμετοχή τους σε επιλογές και πρακτικές μείωσης της άσκοπης σπατάλης τροφίμων των οποίων η ενδεικνυόμενη ημερομηνία λήξεως έχει παρέλθει αλλά δεν έχουν αλλοιωθεί.
- Ενθάρρυνση της αναγεννητικής γεωργίας και κτηνοτροφίας σε οικογενειακές φάρμες και παροχή εκπαίδευσης στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης με σκοπό την προστασία της βιοποικιλότητας. Η εταιρεία δουλεύει στενά με τους παραγωγούς στις φάρμες για την εξοικείωση τους σε καλές πρακτικές ανανέωσης και βιώσιμης εκμετάλλευσης του κτηνοτροφικού δυναμικού, με στόχο το 90% του γαλακτοκομικού αποθέματος έως το 2025 να προέρχεται από τέτοια αγροκτήματα.
- Κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη των συνεργατών της εταιρείας μέσω εκπαίδευσης, μεταφοράς τεχνολογίας και τεχνογνωσίας στην βελτιωμένη αγροτική παραγωγή.

Οι παραπάνω δράσεις της Danone αλλά και η επιδίωξη της για προσέγγιση και μεγαλύτερη διάδραση, τόσο με τον παραγωγό, όσο και με τον τελικό καταναλωτή, έχει συντελέσει στη δημιουργία κοινής αντίληψης μεταξύ των δυο άκρων της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων για την αξία του βιώσιμου μοντέλου ανάπτυξης και της αλληλεπίδρασης που πρέπει να υφίσταται ώστε να βελτιστοποιείται η υπεύθυνη παραγωγή και υπεύθυνη κατανάλωση των τροφίμων και να ελαχιστοποιούνται η σπατάλη και τα απορρίμματα τροφίμων. Οι προσπάθειες της Danone για σύνδεση των δύο άκρων της αλυσίδας εφοδιασμού, την καλλιέργεια κουλτούρας για υπεύθυνες καταναλωτικές πρακτικές μέσω της ενημέρωσης,

αλλά και βιώσιμες πρακτικές ανάπτυξης και παραγωγής μέσω της εκπαίδευσης σηματοδοτούν νέες αντιλήψεις αντίθετες από τις κατεστημένες κερδοσκοπικές αντιλήψεις των εταιρειών και της αλυσίδας εφοδιασμού για υπερκατανάλωση και ενισχύουν κοινά αποδεκτές και αποτελεσματικές στρατηγικές πρόληψης και μείωσης των απορριμμάτων τροφίμων. (Izquierdo-Yusta, Méndez-Aparicio, Jiménez-Zarco, & Martínez-Ruiz, 2023).

Το σημαντικότερο δίδαγμα είναι ότι οι πολυεθνικές εταιρείες και ειδικά οι εταιρείες τροφίμων σκόπιμα και συνειδητά πρέπει να αρχίσουν να στρέφονται σε επιλογές βιώσιμη ανάπτυξης και μεγαλύτερη κοινωνική διάδραση. Η επιτυχία της Danone και η ευρεία κοινωνική αποδοχή που χαίρει, αποτελούν μία επιτυχημένη περίπτωση («success story») στροφής σε μοντέλα κυκλικής ανάπτυξης που δίνουν έμφαση στον άνθρωπο και το περιβάλλον, αποδεικνύοντας ότι παρά τις προκλήσεις, που ενέχουν και τις μεγάλες δεσμεύσεις που απαιτούν, είναι εφικτές και οικονομικά βιώσιμες επιλογές.

#### **4.2.3 «A2Food – Αποτρέψιμα και μη αποτρέψιμα απόβλητα τροφίμων: Μια ολιστική προσέγγιση διαχείρισης για αστικά περιβάλλοντα»**

Η συγκεκριμένη δράση αποτελεί μία κοινωνική καινοτομία σε τοπικό επίπεδο στην Ελλάδα, που ξεκίνησε το 2019 και ολοκληρώθηκε το 2021 στο Δήμο Ηρακλείου Κρήτης και στόχευε σε ένα ολιστικό σύστημα διαχείρισης αποβλήτων που περιλαμβάνει το τρίπτυχο: μείωση – επαναχρησιμοποίηση – ανακύκλωση. Το πρόγραμμα μεταξύ άλλων αφορούσε στα απορρίμματα τροφίμων αλλά και τα τρόφιμα των οποίων η ημερομηνία λήξης ήταν κοντά αλλά μπορούσαν να καταναλωθούν με ασφάλεια, τη δημιουργία εστιατορίων δεύτερης ευκαιρίας για τη χρήση περισσεύματος στην παρασκευή νέων τροφίμων, την κατασκευή βιοπλαστικών για τη χρήση του σε σάκους που μπορούν να κομποστοποιηθούν, την εγκατάσταση εκατό οικιακών κομποστοποιητών, την εγκατάσταση 2 μεγάλων και 6 μηχανικών κομποστοποιητών για απόβλητα τροφίμων της μονάδας φιλοξενίας στην περιοχή, την προμήθεια ψυγείου για τη συντήρηση περισσευμάτων τροφίμων, την προμήθεια απορριμματοφόρου για συλλογή των αναπόφευκτων αποβλήτων, τη διοργάνωση σεμιναρίων σε συνεργασία με το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, και το Μεσογειακό Πανεπιστήμιο Κρήτης και τέλος την ανάπτυξη λογισμικού εργαλείου διαχείρισης της οικιακής αγοράς τροφίμων ώστε να προλαμβάνεται η σπατάλη τροφίμων. (Υπουργείο Εσωτερικών, 2021)

Το πρόγραμμα επιλέχθηκε στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Αστικών Καινοτόμων Δράσεων (Urban Innovative Actions, UIA) ως το 2<sup>ο</sup> καλύτερο, ανάμεσα σε 312 προτάσεις από όλη

την Ευρώπη (Δήμος Ηρακλείου, 2018). Από την έναρξή του έως την ολοκλήρωσή του το πρόγραμμα εξυπηρέτησε 100 άτομα την ημέρα (περίπου 24.000 άτομα έως το 2021), δημιούργησε 100 ενεργούς οικιακούς κομποστοποιητές, εκπαιδευσε 500 άτομα με το λογισμικό της καμπάνιας foodshaveshare, εφοδίασε 15 επιχειρήσεις με εξοπλισμό επαναχρησιμοποίησης τροφίμων, ενημέρωσε 26.000 πολίτες για την επαναχρησιμοποίηση τροφίμων και των τρόπο μείωσης των απορριμμάτων και διέδωσε τη δράση σε πάνω από 100.000 άτομα μέσω διαφόρων καναλιών. Ο προϋπολογισμός της πρωτοβουλίας έφτασε το ποσό των 3.912.948,75 € και συγχρηματοδοτήθηκε από την πρωτοβουλία της ΕΕ (EU Urban Inovative Actions (UIA), n.d.), μέσω του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) καθώς και από τη δημόσια συνεισφορά του Δήμου Ηρακλείου 299.599,25 € και 20% συνεισφορά σε είδος. (Υπουργείο Εσωτερικών, 2021).

Αν και το πρόγραμμα κατά την υλοποίηση του συνάντησε σημαντικά προβλήματα λόγω της πανδημίας του COVID-19, ήτοι καθυστερήσεις, αλλαγές στις κοινωνικές, οικονομικές, καταναλωτικές συνήθειες και διοικητικούς τρόπους εργασίας, οι προσπάθειες ενίσχυσης της ανθεκτικότητας του έργου απέδωσαν. (Υπουργείο Εσωτερικών, 2021). Σύμφωνα με την επίσημη αναφορά υλοποίησης του έργου από την UIA: *«Όλες οι δραστηριότητες, παρά τις καθυστερήσεις, υλοποιήθηκαν με πλήρη ή μερική επιτυχία, με εξαίρεση το εστιατόριο 2<sup>ης</sup> ευκαιρίας, το οποίο αντιμετώπισε εμπόδια στις διαδικασίες αδειοδότησης και υποβολής προσφορών, που αποδείχθηκαν ανυπέρβλητα στο χρονοδιάγραμμα του έργου»*. (EU Urban Inovative Action (UIA), 2023). Η συνεργασία του Δήμου Ηρακλείου με εταίρους και λοιπούς φορείς, δηλαδή τον Σύλλογο Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων Κρήτης (ESDAK), το Ελληνικό Πανεπιστήμιο Μεσογείου, το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, το Πανεπιστήμιο Κρήτης, το Πανεπιστήμιο της Στουτγκάρδης και η εταιρεία μηχανικών ENVIROPLAN (Υπουργείο Εσωτερικών, 2021), ολοκλήρωσε ή εξήγαγε σημαντικά αποτελέσματα σε μια σειρά καινοτόμων έργων που μεταξύ άλλων:

- Δημιούργησαν το ψηφιακό εργαλείο FoodShaveShare, την ανάπτυξη του οποίου ανέλαβε το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο και το οποίο αποτελεί εργαλείο πρόληψης και ελαχιστοποίησης της σπατάλης τροφίμων για κινητές συσκευές και σε συνεργασία με τα την αλυσίδα super markets Χαλκιάδακης, είναι διαθέσιμη στο internet για συσκευές Android και iOS. Επιπρόσθετα η συγκεκριμένη αλυσίδα super markets, ενσωμάτωσε πολλά στοιχεία της παραπάνω εφαρμογής στην οικεία εταιρική εφαρμογή

όπως η διαχείριση ημερομηνιών λήξεως στα τρόφιμα που αγοράζονται βοηθώντας τους καταναλωτές να μειώσουν τις σπατάλες στα τρόφιμα.

- Εξήγαγαν σημαντικά στοιχεία για την κατασκευή βιο-πολυμερών και βιο-πλαστικών, που ανέλαβε το ESDAK και παρόλο που δεν πέτυχαν το επιζητούμενο αποτέλεσμα, λόγω έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού, εξήγαγαν σημαντικά συμπεράσματα και βελτίωσαν την έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση που τώρα συνεχίζεται από το Πανεπιστήμιο Κρήτης.

- Εγκατέστησαν κομποστοποιητές και κατέβαλαν σημαντικές προσπάθειες ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης της τοπικής κοινωνίας στη χρήση τους, οι οποίες και απέδωσαν. Ωστόσο παρατήρησαν μία ανταγωνιστική σχέση μεταξύ των οικιακών κομποστοποιητών και των «καφέ κάδων» που άρχισαν να προωθούνται στους Δήμους.

- Διέδωσαν το πρόγραμμα και τα αποτελέσματά του σε παρουσιάσεις και συναφή συνέδρια, καθώς και μερικές επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Πέρα από τα επιτεύγματα και τις αποτυχίες του, το πρόγραμμα αποτέλεσε την πιλοτική εφαρμογή και προπομπό μελλοντικών δράσεων που θα βελτιωθούν μέσω από τα εξαχθέντα διδάγματα του έργου, τα βασικότερα των οποίων είναι τα παρακάτω (EU Urban Inovative Action (UIA), 2023):

- Η βιώσιμη διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων απαιτεί τον διαχωρισμό τους από την αρχή και αυτό απαιτεί την ενεργή συμμετοχή των πολιτών. Η παροχή κινήτρων και ειδικά οικονομικών δύναται να ωθήσει τους πολίτες σε τέτοια συμπεριφορά, αλλά αυτό που επίσης χρειάζεται είναι η προτροπή μεγάλων παικτών της αγοράς όπως τα super markets να συμμετέχουν σε τέτοιες προσπάθειες.

- Τα ψηφιακά εργαλεία δύναται να βοηθήσουν στη μείωση της σπατάλης τροφίμων, αλλά αυτό που είναι σημαντικότερο είναι η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σε μεγάλη κλίμακα.

- Η αλληλεπίδραση Δήμων και τοπικών κοινωνιών ενεργοποιεί την ευρύτερη συμμετοχή και εμπλοκή των πολιτών στη μείωση αποβλήτων τροφίμων και οι Δήμοι θα πρέπει να παρακολουθούν και να ενθαρρύνουν τέτοιες δράσεις αναδεικνύοντας και αναβαθμίζοντας άτομα με μεγάλο ενδιαφέρον σε αυτές, σε ισότιμους συνεργάτες.

- Η κατασκευή βιο-πλαστικών είναι μία δύσκολη και απαιτητική διαδικασία που χρειάζεται συνεχή επιστημονική υποστήριξη.
- Η συνεργασία της πολιτείας και η ευελιξία στις δημόσιες σχέσεις είναι προαπαιτούμενα για την επιτυχία τέτοιων δράσεων.

Στην εποχή μας οι επιταγές της ΕΕ και των παγκοσμίων οργανισμών για μείωση και διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα όσο η κλιματική αλλαγή γίνεται εμφανής και οι συνέπειες της ανεύθυνης κατανάλωσης και σπατάλης τροφίμων επιβαρύνουν μία ήδη οριακή κατάσταση. Η πρόληψη και η επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων τροφίμων είναι αποτελεσματικές πρακτικές και στρατηγικές διαχείρισης, ειδικά σε χώρες όπως η Ελλάδα που αν και δεν διαθέτει εξελιγμένες μεθόδους επεξεργασίας και ανακύκλωσης των απορριμμάτων τροφίμων, έχει έναν από τους μεγαλύτερους κατά κεφαλή δείκτες στη δημιουργία απορριμμάτων τροφίμων (142 Kg περίπου ανά έτος) σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (74 Kg ανά έτος). (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021). (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021) Το τελευταίο σηματοδοτεί την ανάγκη για σημαντικές αλλαγές του τρόπου σκέψης και κατανάλωσης, αλλά και ενεργή συνεργασία του κράτους, των καταναλωτών και των προμηθευτών λιανικής για την εκτροπή των απορριμμάτων από τη χειρότερη τους κατάληψη, τις χωματερές.

#### **4.2.5 Η αποτυχία της αποτελεσματικής χρήσης εγκαταστάσεων αεριοποίησης - Τα στοιχεία χρήσης τους στο Ηνωμένο Βασίλειο και η περίπτωση ανάκλησης αδείας του εργοστασίου αεριοποίησης μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια της Scotgen στο Dumfries της Σκωτίας.**

Η αρκετά παλιά και γνωστή τεχνολογία μετατροπής πλούσιας σε άνθρακα πρώτης ύλης σε ενέργεια με τη μέθοδο της αεριοποίησης όπως είπαμε στο κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας είναι σχετικά παλιά (από το 19<sup>ο</sup> αιώνα). Οι προσπάθειες εξέλιξης της τεχνολογίας έδωσαν ώθηση στη σχεδίαση των αεριοποιητών και σε πολλές περιπτώσεις δημιούργησαν εσφαλμένες εντυπώσεις για «επανάσταση» στο χώρο της θερμικής επεξεργασίας με νέες τεχνολογίες που έχουν υψηλή απόδοση ενέργειας και μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ωστόσο, όπως έδειξε η μέχρι τώρα ιστορία η πραγματικότητα από τη χρήση τέτοιων εγκαταστάσεων σε εργοστάσια θερμικής επεξεργασίας αποβλήτων απέχει πολύ από τις φιλοδοξίες. Τα περισσότερα από 100 χρόνια έρευνας στη συγκεκριμένη τεχνολογία έδειξαν ότι παρά τις εξελίξεις ακόμη και η ελάχιστες αλλαγές στην θερμοκρασία και την ποσότητα

οξυγόνου κατά την θερμική αντίδραση της αεριοποίησης μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση στην κατάσταση λειτουργίας, την αστάθεια της διαδικασίας και στην παραγωγή εύφλεκτων και τοξικών αερίων και υποπροϊόντων. (Rollinson A. N., 2018).<sup>38</sup> Η αεριοποίηση αν και εκ κατασκευής πιο «καθαρή» θερμική διεργασία από την αποτέφρωση, απαιτεί στενότερη επιτήρηση με κατάλληλο εξοπλισμό και όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα ενέχει σαφώς περισσότερους κινδύνους.

Hazard	Gasification	Incineration
High temperature	Yes	Yes
High pressure	Varies <sup>†</sup>	No
Flammable gas generated	Yes	No
Toxic gas generated	Yes	No
Corrosive/Erosive gases	High	Medium/High
Tar (Condensable hydrocarbons)	Yes	No

**Πίνακας 6: Η σύγκριση των κινδύνων της αεριοποίησης σε σχέση με την αποτέφρωση.**  
Πηγή: (Rollinson A. N., 2018) «Table 2. Process component risk aspects associated with gasification».

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με τις εξαιρετικά χαμηλές αποδόσεις της αεριοποίησης σε σχέση με τις αρχικές προβλέψεις έχουν αρχίσει να δημιουργούν μία μεγάλη δυσπιστία ως προς την βιωσιμότητα και την αξία της ίδιας της τεχνολογίας σε σχέση με άλλες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας. Δεν είναι λοιπόν καθόλου παράδοξο το γεγονός ότι σε αναφορά του το 2021, το υπουργείο επιχειρήσεων, ενέργειας και βιομηχανικής στρατηγικής (UK BEIS)<sup>39</sup> του Ηνωμένου Βασιλείου (Η.Β) επισημαίνει ότι: «Τα τελευταία 20 έτη, περισσότερα από 30 έργα αεριοποίησης αποβλήτων ή βιομάζας έχουν αναπτυχθεί στο Η.Β με τη βοήθεια διαφόρων μηχανισμών κυβερνητικής στήριξης. Ωστόσο πολλά από αυτά τα έργα ποτέ δεν

<sup>38</sup> Υφίσταται παραπομπή στο συγκεκριμένο άρθρο στα: Reed, T. B., & Das, A. (1988). *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. Biomass Energy Foundation. | Kaupp, A. (2013). *Gasification of rice hulls: theory and praxis*. Springer-Verlag. | Consonni, S., & Viganò, F. (2012). Waste gasification vs. conventional Waste-To-Energy: A comparative evaluation of two commercial technologies. *Waste management*, 32(4), 653-666.

<sup>39</sup> Το υπόψη υπουργείο (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, BEIS) διατηρήθηκε στο Η.Β έως το 2023 οπότε και διαχωρίστηκε σε 3 υπουργεία: το υπουργείο επιχειρήσεων και εμπορίου (Department for Business and Trade, DBT), το υπουργείο ενεργειακής πολιτική και μηδενικών εκπομπών (Department for Energy Security and Net Zero, DESNZ), καθώς και υπουργείο επιστήμης, καινοτομίας και τεχνολογίας (Department for Science, Innovation and Technology, DSIN), ενώ τα καθήκοντα της εθνικής ασφάλειας και επενδυτικής πολιτικής δόθηκαν στο υπουργικό συμβούλιο (Cabinet Office). (UK Government, 2023).



έχουν τότε τεθεί επιτυχώς σε λειτουργία, δεν απέδωσαν σύμφωνα με τις αρχικές προσδοκίες, ή λειτούργησαν μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα». (UK Government - BEIS 2021/038 T4, 2021). Ούτε είναι ίσως παράξενο ότι και σε πίνακα που περιέχει η εν' λόγω αναφορά, φαίνεται ότι από τα 27 εργοστάσια και εγκαταστάσεις που διαθέτουν εμπορικής κλίμακας εγκαταστάσεις αεριοποίησης, μόνο 8 είναι σε λειτουργία, ενώ υπάρχει υποσημείωση ότι ακόμη και αυτά που εμφανίζονται ως λειτουργικά ενδέχεται να μην λειτουργούν με υψηλή διαθεσιμότητα!

Plant	Fuel	Gasifier supplier	Indicative Status <sup>1</sup>
Acharn Biomass Gasification CHP Plant	Wood	LiAg	Commissioning
Advanced Biofuel Solutions Limited Swindon	RDF	RadGas	Commissioning
ARBRE	Wood	TPS	Shut down
Biomass UK No. 1 (Hull)	Waste wood	Outotec Energy Products	Commissioning
Biomass UK No. 2 (Barry)	Waste wood	Outotec Energy Products	Commissioning
Biomass UK No. 3 (Boston)	Waste wood	Outotec Energy Products	Commissioning
Charlton Lane Eco Park	RDF	Outotec Energy Products	Commissioning
CliniPower	Clinical waste	Compact Power	Shut down
Dargavel, Dumfries	RDF	Planet	Shut down
Dartmoor Bio Power	Waste wood	Nexterra	Shut down
Derby Resource Recovery Centre	RDF	Energos	Mothballed
EMR Oldbury	Automotive shredder waste	Chinook Sciences Limited	Shut down
Energy Works Hull	RDF	Outotec Energy Products	Commissioning
Full Circle, Belfast	RDF	Biomass Power Limited	Operational
Glasgow Recycling and Renewable Energy Centre	RDF	Energos	Operational
Hoddesdon Energy	RDF	Biomass Power Limited	Operational
Hooton Park	RDF	Kobelco	In construction
Ince Bio Power	Waste wood	Outotec Energy Products	Operational
Kew Technologies	RDF	Broadcrown	Commissioning
Levensat Renewable Energy Limited	RDF	Outotec Energy Products	Operational
Milton Keynes Waste Recovery Park	RDF	Energos	Operational
New Earth Solutions (multiple plants)	RDF	NEAT	Shut down
O-Gen, UK (multiple plants)	Waste wood	OGEN	Shut down
Swindon Energy	Waste wood	Refgas	Shut down
Tees Valley 1&2	RDF	Alterg-NRG	Shut down
Tyseley Bio Power	Waste wood	Nexterra	Operational
Welland Bio Power	Waste wood	Nexterra	Operational

<sup>1</sup> The status of the projects shown is indicative. Plants shown as operational may not be operating with high availability and plants shown as in commissioning may have been in commissioning for an extended period.

#### Πίνακας 7: Εμπορικής κλίμακας Εγκαταστάσεις Αεριοποίησης στο Η.Β

Πέρα από την παραπάνω αναφορά που αποτελεί μέρος γενικευμένης έρευνας που έλαβε χώρα το 2021 για την επισκόπηση και μέτρηση απόδοσης των προχωρημένων τεχνολογιών αεριοποίησης, από το το υπουργείο επιχειρήσεων, ενέργειας και βιομηχανικής στρατηγικής του Η.Β, τα στοιχεία που προκύπτουν από συναφή οικονομική ανάλυση της ίδιας έρευνας δείχνουν ότι επί του παρόντος κάθε διαθέσιμη τεχνολογία αεριοποίησης παράγει τελικά ακριβότερη ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ χρειάζεται σε αρκετές περιπτώσεις δαπανηρά συστήματα συλλογής και αποθήκευσης του CO<sub>2</sub> ώστε να μην μολύνει την ατμόσφαιρα. Τα βασικά διδάγματα που εξήχθησαν δείχνουν ότι αυτού του είδους τα έργα συχνά δεν εκπληρώνουν τις αρχικές προσδοκίες εξαιτίας συνδυασμού οικονομοτεχνικών αλλά και άλλων αιτιών (UK Government - BEIS 2021/038 T4, 2021). Για τους λόγους αυτούς :

- Τα έργα αυτού του είδους πρέπει να υποστηρίζουν τεχνολογίες που έχουν αποδεδειγμένα πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων όπως τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>.
- Απαιτούνται ρεαλιστικοί υπολογισμοί του ρίσκου κόστους και απόδοσης.
- Οι πιέσεις των εταιρειών για έργα που χρησιμοποιούν νέες και μη δοκιμασμένες τεχνολογίες μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα στη σχεδίαση των εγκαταστάσεων και ελλιπή κονδύλια για τη βελτιστοποίησή τους.
- Πρέπει να γίνει κατανοητή και να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο αντίκτυπος της ποιότητας και της μεταβλητότητας των πρώτων υλών αλλά και η πολυπλοκότητα που υπάρχει στην κλιμάκωση του εξοπλισμού διεργασιών σε τέτοια έργα.

Κλασσικό παράδειγμα του ρίσκου και των διαπιστώσεων της παραπάνω αναφοράς είναι η περίπτωση του εργοστασίου αεριοποίησης της Scotgen στο Dargavel (κοντά στο Dumfries) της Σκωτίας. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση μπήκε σε λειτουργία το 2009 και ήταν η πρώτη που χρησιμοποιούσε τεχνολογία μαζικής αεριοποίησης για την επεξεργασία 60.000 τόνων επικίνδυνων και μη, αποβλήτων ετησίως και την παραγωγή 6.2 MW ενέργειας. Την εποχή που μπήκε σε λειτουργία το εργοστάσιο, η Scotgen είχε κλείσει μία 10ετή συμφωνία με την εταιρία διαχείρισης αποβλήτων Shanks Group για την εξασφάλιση 15.000 τόνων στερεού ανακτημένου καυσίμου για το εργοστάσιο. (Waste Management World (WMW), 2013). Έκτοτε η Scotgen κατέβαλε πολλές προσπάθειες για να θέσει το εργοστάσιο σε αποδοτική λειτουργία και σημαντική παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ωστόσο έως τον Ιανουάριο του 2013 τίποτα αξιοσημείωτο δεν επετεύχθη, ενώ όπως διαπίστωσε η Σκωτσέζικη Υπηρεσία

Προστασίας του Περιβάλλοντος (Scottish Environmental Protection Agency, SEPA) το εργοστάσιο πάνω από 200 φορές ξεπέρασε τα όρια εκπομπών ρύπων, ενώ υπήρξαν 350 άλλες παραβιάσεις και διάφορα άλλα περιβαλλοντικά θέματα που οδήγησαν στον περιβαλλοντικό χαρακτηρισμό της επίδοσης του εργοστασίου ως «πολύ φτωχής». Τα διαρκή περιστατικά εκπομπής επικίνδυνων διοξινών από το εργοστάσιο, προκάλεσαν την κατακραυγή της τοπικής κοινωνίας αλλά και τοπικών περιβαλλοντικών οργανώσεων όπως η WWF Σκωτίας, ενώ επιπρόσθετα, περιστατικό τον Αύγουστο του 2012 όπου αναφέρθηκε διάρρηξη σε φουγάρο του εργοστασίου τράβηξε το ενδιαφέρον της Αρχής Υγιεινής και Ασφάλειας του Η.Β.<sup>40</sup> (The Herald, 2013). Την κατάσταση έκανε ακόμη χειρότερη μία καταστροφική πυρκαγιά που ξέσπασε στο εργοστάσιο περί τα τέλη Ιουλίου του 2013 όπου απαιτήθηκε η επέμβαση 70 πυροσβεστών για την κατάσβεση. Τελικά ένα μήνα περίπου αργότερα, περί τα τέλη Αυγούστου του 2013, η SEPA ανακάλεσε την άδεια λειτουργίας της εγκατάστασης (με εφαρμογή από τις 23 Σεπτεμβρίου του 2013) και έτσι το εργοστάσιο έκλεισε οριστικά. Εκείνη την εποχή η Σκωτσέζικη Πυροσβεστική Υπηρεσία είχε δηλώσει ότι το εργοστάσιο υπέστη σοβαρές ζημιές από την πυρκαγιά. (Waste Management World (WMW), 2013). Η SEPA από την πλευρά της δήλωσε ότι ανακάλεσε την άδεια για 4 βασικούς λόγους: Εμμένουσα μη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της άδειας λειτουργίας, αποτυχία συμμόρφωσης με παρατήρηση που είχε επιβληθεί, αποτυχία διατήρησης των οικονομικών προβλέψεων και πόρων σύμφωνα με τις απαιτήσεις της άδειας λειτουργίας και αποτυχία ανάκτησης ενέργειας με ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης. (The Herald, 2013).

Συνολικά, το υπόψη εργοστάσιο ακόμη και πριν την καταστροφική πυρκαγιά, απέτυχε στο να πλησιάσει ένα λογικό επίπεδο περιβαλλοντικής απόδοσης ενώ το επίπεδο απόδοσης στην ανάκτηση ενέργειας που έφτανε το 3% ήταν ιδιαίτερα απογοητευτικό. Ακόμη περισσότερο, όπως δήλωσε το 2013, ο τότε τεχνικός διευθυντής υποστήριξης νοτιοδυτικού τομέα της SEPA Ian Conroy: *«(Από την έναρξη λειτουργίας του) το εργοστάσιο ποτέ δεν πέτυχε ένα επίπεδο συμμόρφωσης που θα μπορούσε να δώσει στην SEPA ένα βαθμό σιγουριάς ότι η μελλοντική του λειτουργία θα ήταν διαφορετική»*. Παρά τις προσπάθειες της SEPA, την υποστήριξη της, αλλά και την διάθεση μεγάλου χρονικού περιθωρίου στην εταιρεία του εργοστασίου Scotgen (Dumfries) Limited, για να συμμορφωθεί με τις καλύτερες διαθέσιμες

---

<sup>40</sup> Πρόκειται για την UK Health and Safety Executive (HSE).

τεχνικές και τις συγκεκριμένες προδιαγραφές των οδηγιών της ΕΕ για την προστασία του περιβάλλοντος, τίποτα δεν άλλαξε. (Waste Management World (WMW), 2013).

Η αποτυχία του εργοστασίου αεριοποίησης στο Dumfries της Σκωτίας, αλλά και πολλών άλλων παρόμοιων εγκαταστάσεων στο Η.Β έδειξε ότι οι εξελιγμένες τεχνολογίες και τεχνικές αεριοποίησης λειτουργούν στο εργαστήριο, αλλά έχουν προβλήματα στην υλοποίησή τους σε μεγάλη κλίμακα. Επειδή ανήκουν στην κατηγορία των μεθόδων θερμικής επεξεργασίας, εύκολα συγχέονται με τους αποτεφρωτές και οι εκπομπές ρύπων από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις συμβάλλουν ακόμη περισσότερο σε αυτή την αντίληψη. Για τους λόγους αυτούς η αντιμετώπιση από την ευαισθητοποιημένη πλέον περιβαλλοντικά κοινωνία είναι αρνητική. Αν και έχουν πολλές προοπτικές εξέλιξης και ανήκουν στα μέσα που μπορούν να συμβάλλουν στη δραστική μείωση των απορριμμάτων, η αποτελεσματική τους χρήση, ειδικά στις περιπτώσεις πρώτης ύλης από αστικά στερεά απόβλητα και απορριμμάτων τροφίμων, δεν έχει ακόμη ωριμάσει σε τέτοιο επίπεδο ώστε να καθιστούν τις εξελιγμένες μεθόδους θερμικής επεξεργασίας βιώσιμη λύση.

## **5. Συμπεράσματα, προτάσεις και μελλοντική έρευνα**

### **5.1 Συμπεράσματα**

#### **5.1.1 Το πρόβλημα της διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων**

Το πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων και αποβλήτων τροφίμων έχει φτάσει στις μέρες μας σε τέτοια επίπεδα που πλέον δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η κλιματική αλλαγή, η μόλυνση του υπεδάφους και των υδάτινων πόρων αλλά και η συγκέντρωση απορριμμάτων στους ΧΥΤΑ, είναι πραγματική, ορατή και απειλητική. Οι ευθύνες για το πρόβλημα μπορούν να εντοπισθούν σε μία ατέλειωτη σειρά παραγόντων, αλλά αυτό που έχει σημασία είναι ότι η επίλυση του εμπλέκει όλους τους δρώντες στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων και των κυβερνήσεων των κρατών, οργανισμών, ενώσεων, ομοσπονδιών και γενικά το σύνολο του ανθρώπινου πληθυσμού στον πλανήτη. Η επίλυσή του προβλήματος απαιτεί όχι απλά την τροποποίηση μεθόδων διαχείρισης, αλλά συστημικές αλλαγές που περιλαμβάνουν και την αλλαγή συνηθειών και αντιλήψεων σχετικά με τη διαχείριση των τροφίμων. Η μετάβαση στη βιώσιμη ανάπτυξη και κυκλική οικονομία είναι πλέον κάτι περισσότερο από δημοφιλή έκφραση και ευσεβής πόθος. Είναι η μόνη διέξοδος σε μία απειλή που είναι τρομακτική, ζοφερή και πραγματική και απευθύνεται χωρίς εξαιρέσεις σε όλους.

#### **5.1.2 Στρατηγικές διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων**

Η πρόληψη και ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων τροφίμων είναι σαφώς καλύτερη της απαίτησης για τη διαχείριση τους. Όπως φαίνεται, τόσο η πρόληψη όσο και η ελαχιστοποίηση απορριμμάτων τροφίμων μπορούν να βελτιστοποιηθούν με τη χρήση νέων αναδυόμενων τεχνολογιών όπως η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στη πρόβλεψη και τη λήψη αποφάσεων στις παραγγελίες και τη διαχείριση των αποθεμάτων, καθώς και η επιστήμη των δεδομένων για την επεξεργασία των απαιτήσεων παραγωγής και κατανάλωσης. Όλες αυτές όμως οι τεχνολογίες εξαρτώνται από το επίπεδο δέσμευσης των βασικών δρώντων στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων που περιλαμβάνουν παραγωγούς, εταιρείες επεξεργασίας & συσκευασίας τροφίμων, μεταφορικές εταιρείες, λιανική πώληση και καταναλωτές. Αν και καθένας από τους υπόψη δρώντες έχει κατά περίπτωση διαφορετική επίδραση και ισχύ στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, παραγωγοί, εταιρείες επεξεργασίας, μεταφορικές εταιρείες και λιανικοί πωλητές τροφίμων, έχουν κοινές επιδιώξεις βελτιστοποίησης του κέρδους τους, ενώ οι καταναλωτές περιορισμού του

κόστους. Η ευαισθητοποίηση του καταναλωτικού κοινού που είναι και η τελική πηγή κέρδους για τους παραγωγούς, επεξεργαστές και λιανικούς πωλητές τροφίμων, προς νέες επιλογές που είναι συμβατές με αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και κυκλικής οικονομίας, δύναται να πυροδοτήσει μία αντίστροφη τάση για περιορισμό των υπέρμετρων παραγγελιών (λιανική πώληση) και παραγωγής (πρωτογενής παραγωγή). Το τελευταίο μπορεί να επιτευχθεί με την ενισχυμένη και εκτενή διάδραση μεταξύ των παραπάνω παικτών στην αλυσίδα εφοδιασμού και τη διάδοση της πληροφορίας στο διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things) που ευνοεί τέτοιες πρακτικές. Ήδη πολλές εταιρίες έχουν ενστερνιστεί τη μετάβαση σε βιώσιμη ανάπτυξη και οικονομία, όπως και αντίστοιχα μεγάλος αριθμός καταναλωτών. Η συγκεκριμένη όμως μετάβαση δεν είναι πλέον μια πολιτικώς ορθή επιλογή, αλλά μία ουσιαστική ανάγκη και για το λόγο αυτό η καταναλωτική ευσυνειδησία πρέπει να καλλιεργηθεί και να ενισχυθεί σε επίπεδο που να αποτελεί την κανονικότητα και όχι την εξαίρεση. Στην περίπτωση των μεγάλων αλυσίδων λιανικής πέρα από την προτροπή για ευσυνείδητη πώληση αγαθών πρέπει να υπάρχει πάντα και έλεγχος ή/και επιβολή ρυθμίσεων αλλά και κυρώσεων, καθώς εξαιτίας ασυνείδητων ή και συνειδητών επιλογών τους ευθύνονται για μεγάλο ποσοστό τροφίμων που καταλήγουν στα απορρίμματα.

### **5.1.3 Επαναχρησιμοποίηση απορριμμάτων τροφίμων**

Η επαναχρησιμοποίηση των τροφίμων ως τρόφιμα είναι η μόνη περίπτωση διαχείρισης που ανακυκλώνει τα τρόφιμα για να καταναλωθούν από ανθρώπους ή ζώα. Από τις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης η δωρεά είναι σαφώς η καλύτερη γιατί στην πραγματικότητα δεν απευθύνεται σε τρόφιμα που έχουν μετατραπεί σε απορρίμματα αλλά σε τρόφιμα που δυνητικά θα μετατραπούν σε απόβλητα αν δεν ληφθούν κάποιες ενέργειες. Οι ενέργειες λοιπόν αυτές θα πρέπει να είναι καίριες και σκόπιμες και να αποβλέπουν στην καλύτερη διανομή των τροφίμων μέσα στους υφιστάμενους χρονικούς περιορισμούς που αυτά παραμένουν κατάλληλα για κατανάλωση. Αν και πολλοί κανόνες στη διανομή των δωρεών τροφίμων στις τράπεζες έχουν δημιουργηθεί για την προστασία των καταναλωτών, αλλά και των δωρητών (από νομικές κυρώσεις), στην πραγματικότητα η αποτελεσματική δωρεά τροφίμων πρέπει να παρέχει ευελιξία διανομής λαμβάνοντας υπόψη την υγεία του τελικού καταναλωτή αλλά και το γεγονός ότι πολλά τρόφιμα δεν έχουν αυτομάτως μετατραπεί σε απόβλητα μετά την ημερομηνία λήξεώς τους. Εδώ σημαντικό ρόλο μπορεί να παίξει τόσο η ευελιξία της πολιτείας σε νομοθετικό επίπεδο, όσο και οι διάφορες φιλανθρωπικές



οργανώσεις σε επίπεδο έγκαιρης διανομής και δοκιμής στο πλαίσιο ελέγχων με γνώμονα τις πρακτικές πολλών εταιριών που κάνουν χρήση των ετικετών «ελέγξτε το προϊόν με τις αισθήσεις σας: όραση, όσφρηση και γεύση». Τα παραπάνω κάνουν επιτακτική τόσο την ευαισθητοποίηση των αλυσίδων λιανικής, όσο και του κοινού με κατάλληλες εκστρατείες ενημέρωσης και διαπαιδαγώγησης.

Πέρα όμως από τη δωρεά τροφίμων, σημαντικό ρόλο στην επαναχρησιμοποίησή τους μπορεί να παίζει και η επανακύκλωση. Ειδικά στην περίπτωση των επανακυκλωμένων τροφίμων είναι πολύ σημαντική η διαπαιδαγώγηση του καταναλωτικού κοινού και η δημιουργία καταναλωτικής και οικολογικής ευσυνειδησίας απέναντι σε παρωχημένες αντιλήψεις και προκαταλήψεις που πηγάζουν από την έλλειψη ολοκληρωμένης και υπεύθυνης ενημέρωσης ή/και εκπαιδευτικής εκστρατείας από αξιόπιστους κυβερνητικούς φορείς. Παράλληλα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η δημιουργία καταναλωτικής συνείδησης απαιτεί χρόνο και συχνά έρχεται αντιμέτωπη με ισχυρά και επί σειρά ετών εδραιωμένα οικονομικά συμφέροντα των μεγάλων κατασκευαστών και διανομέων στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Ωστόσο, πολλές φορές, σημαντικές προσπάθειες μεγάλων εταιρειών κατασκευής τροφίμων, όπως η Danone, θέτουν τον καταναλωτή στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος και του δίνουν μία σύγχρονη και εναλλακτική επιλογή συμβατή με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και κυκλικής οικονομίας. Συναφώς, όσο οι αρχές της βιώσιμης διαχείρισης θα αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη απήχηση σε παγκόσμια κλίμακα, τόσο και πιο δεκτικές θα γίνονται οι κοινωνίες σε νέες διατροφικές νόρμες, έτσι περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης όπως συμβαίνει στα επανακυκλωμένα προϊόντα δεν αποκλείεται να αποτελέσουν μέρος του μελλοντικού κύριου εφοδιαστικού ρεύματος (food mainstream).

#### **5.1.4 Μέθοδοι διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων**

Όπως διαφαίνεται από την ανάλυση των συμβατικών αλλά και των προηγμένων μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων, η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών δεν έδωσε άμεσες λύσεις υπό την μορφή πανάκειας σε κάθε πρόβλημα. Σε πολλές περιπτώσεις οι πρωτοβουλίες για διαχείριση των αποβλήτων έχουν αποδώσει, ενώ σε άλλες, παρά τις μεγάλες επενδύσεις τα αποτελέσματα δεν ανταποκρίθηκαν στις αρχικές φιλοδοξίες. Οι τεχνολογίες βιοχημικής επεξεργασίας όπως η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση δείχνουν να είναι οι βέλτιστες στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων με έμφαση στη ελαχιστοποίηση των

περιβαλλοντικών συνεπειών. Ωστόσο δεν είναι αρκετές για να διαχειριστούν το μέγεθος των απορριμμάτων τροφίμων που διογκώνεται. Από την άλλη πλευρά, οι θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας, έχουν επιδείξει μεγάλη ικανότητα στη διαχείριση κάθε είδους αποβλήτων, με σημαντικό όμως αντίκτυπο για το περιβάλλον. Αν και εξελιγμένες μέθοδοι θερμικής διαχείρισης δείχνουν να είναι πολλά υποσχόμενες, η μέχρι τώρα εφαρμογή τους δεν έχει δώσει καλά αποτελέσματα διότι τα εργαστηριακά αποτελέσματα απέχουν κατά πολύ σε επιδόσεις από την εφαρμογή τους σε μεγάλη κλίμακα. Το τελευταίο όμως δεν οφείλεται τόσο στην ανικανότητα των τεχνολογιών αλλά περισσότερο στην έλλειψη της κατάλληλης τεχνογνωσίας και στην κατάλληλη επιλογή και επεξεργασία της πρώτης ύλης. Αν και τέτοιου είδους τεχνολογίες όπως η αεριοποίηση στο παρελθόν έδωσαν λύσεις, αυτό δεν σημαίνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν κατευθείαν και με επιτυχία στην περίπτωση των απορριμμάτων τροφίμων τα οποία είναι ένα ιδιαίτερο και εξαιρετικά σύνθετο οργανικό προϊόν. Στην πραγματικότητα, απαιτείται ένας ενδεδειγμένος έλεγχος της σύστασης της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη, η ταξινόμηση των απορριμμάτων τροφίμων και ο διαχωρισμός και διαλογή της σε κατηγορίες. Πέραν του διαχωρισμού, απαιτείται και η επεξεργασία της βιομάζας έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές εισόδου σε κάθε διαφορετική μέθοδο θερμικής επεξεργασίας. Μόνο με τον κατάλληλο διαχωρισμό των απορριμμάτων τροφίμων μπορεί να αποφασισθεί η προσφορότερη μέθοδος θερμικής επεξεργασίας και αυτό παραπέμπει άμεσα στη χρήση σύγχρονων μοντέλων μηχανικής μάθησης και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για τη λήψη αποφάσεων, γιατί το ζήτημα του διαχωρισμού και ταξινόμησης των αποβλήτων τροφίμων είναι μία τόσο σύνθετη διαδικασία που μπορεί να αποτελέσει το αντικείμενο ξεχωριστής ή ξεχωριστών διατριβών. Δεν είναι λοιπόν παράδοξη η αποτυχία των έως σήμερα προσπαθειών εφαρμογής προηγμένων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας και αυτό που πρέπει να αποτελέσει δίδαγμα είναι ότι είναι καλύτερο σε μεγάλη κλίμακα να γίνονται επενδύσεις σε δοκιμασμένες τεχνολογίες παρά σε πειραματικές εφαρμογές. Συναφώς, πρέπει να γίνονται επενδύσεις στην έρευνα γιατί μόνο μέσω της τελευταίας μπορούμε να προχωρήσουμε σε νέες και σημαντικές ανακαλύψεις. Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε μία σύγχρονη πραγματικότητα με φιλόδοξους στόχους για την διαχείριση των αποβλήτων τροφίμων, παλαιότερες τεχνολογίες όπως αυτή της αποτέφρωσης και ειδικά με την εφαρμογή νέων τεχνολογιών μείωσης των ρύπων δεν πρέπει να εξαλειφθεί από τις επιλογές της βιώσιμης ανάπτυξης, αλλά να συμπεριληφθεί λαμβάνοντας υπόψη το ισοζύγιο πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της σε οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά μεγέθη.

### **5.1.5 Τα πλεονεκτήματα χρήσης αναδυόμενων τεχνολογιών και τεχνολογικών εργαλείων στη διαχείριση ποιότητας τροφίμων**

Τα εξελιγμένα τεχνολογικά εργαλεία παρέχουν μια σειρά πλεονεκτημάτων στη διαχείριση ενός πολύπλοκου προϊόντος όπως τα τρόφιμα. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) περιέχει σειρά επιμέρους εργαλείων και τεχνολογιών που έχουν εφαρμογή στη παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων με τη χρήση ρομποτικής, αλλά και την υποβοήθηση της λήψεως αποφάσεων που σχετίζονται με την πρόληψη της σπατάλης τροφίμων και την αποτελεσματική κατηγοριοποίηση και διαχείριση των αποβλήτων τους. Αντίστοιχα η TN σε συνδυασμό με την μηχανική και βαθιά μάθηση, ως διεπιστημονική τεχνολογία, μπορεί να εξελίξει τη βιομηχανία τροφίμων και να βελτιώσει την παραγωγή, ποιότητα και ασφάλεια τροφίμων. Τα μεγάλα δεδομένα διαθέτουν πληθώρα εργαλείων που επιτρέπουν την επεξεργασία τεραστίων συνόλων δεδομένων αλλά η χρήση τους στην περίπτωση των τροφίμων αποτελεί πρόκληση, λόγω των μεγάλων διαφοροποιήσεων που παρουσιάζουν στα φυσικά αλλά και χημικά τους χαρακτηριστικά. Η χρήση κρυπτοαλυσίδων επιτρέπει τον καλύτερο εντοπισμό και διαφάνεια στα τρόφιμα γιατί υποστηρίζει τις ανακλήσεις, βοηθά στην καταπολέμηση νοθείας και απάτης στην αλυσίδα εφοδιασμού και διαλύει μύθους ή αποδεικνύει την αξία διαφόρων οργανικών τροφίμων. Η βαθιά μάθηση είναι ένα ισχυρό εργαλείο στην ψηφιακή απεικόνιση και οπτική αναγνώριση και βοηθά στην κατηγοριοποίηση αλλά και στην αναγνώριση μέσα από σύνθετα μοτίβα. Το συγκεκριμένο εργαλείο αναμένεται να βοηθήσει την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων και την γεωργία σε κάθε είδους εντοπισμό, αναγνώριση, και κατηγοριοποίηση. Η μηχανική μάθηση σχετίζεται με δυνατότητες βελτίωσης των δυνατοτήτων ενός υπολογιστή από τα δεδομένα που συλλέγει και επεξεργάζεται. Η δυνατότητα αυτή μαζί με την οπτική αναγνώριση δίνει τη δυνατότητα στον τομέα τροφίμων για έλεγχο ποιότητας, ανάλυση και εντοπισμό απάτης αλλά και παροχή προβλέψεων. Η επιστήμη των δεδομένων ενοποιεί ετερογενείς και διαφορετικές ομάδες δεδομένων (ακριβώς όπως συμβαίνει με τα τρόφιμα) για μεγαλύτερη ανάλυση, διερεύνηση μοτίβων και πρόβλεψη δημιουργίας και ανάπτυξης βιώσιμων μοντέλων και λύσεων σε προβλήματα με τεράστιο αριθμό μεταβλητών και παραμέτρων. Τέλος οι τεχνολογίες γενικής χρήσης, μπορούν να συνδυάσουν την αποτελεσματική χρήση αισθητήρων, οργάνων και άλλων συσκευών στο διαδίκτυο των πραγμάτων μαζί με εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που είναι χρήσιμες για εξομοίωση συνθηκών και υποστήριξη της διαχείρισης ποιότητας στα τρόφιμα. Παράλληλα, η χρήση γενικών τεχνολογιών όπως η αναγνώριση προσώπου μπορεί

να δώσει σημαντικά δεδομένα που σχετίζονται με την ανάλυση συμπεριφοράς, γευστικής αντίδρασης και επίπεδο αποδοχής σε διάφορα τρόφιμα. (Djekic, και συν., 2023).

### **5.1.6 Γενικά συμπεράσματα**

Η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων τροφίμων δεν είναι ένα πρόβλημα αμιγώς τεχνολογικό, αλλά σε μεγάλο βαθμό είναι ένα πρόβλημα παγκόσμιο, κρατικό και κοινωνικό, το οποίο αφορά πολλούς δρώντες και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Με άλλα λόγια η επίλυσή του είναι μία ιδιαίτερη δύσκολη υπόθεση όπως είναι η επίλυση ενός συστήματος με πολλούς αγνώστους και πολλές παραμέτρους. Για την επίλυση ενός τέτοιου είδους προβλήματος, παρελθοντικές πρακτικές που δίνουν έμφαση μόνο στη διαχείριση των αποβλήτων τροφίμων που παράγονται, ή στην πρόληψη και ελαχιστοποίησή τους δεν μπορούν να δώσουν βιώσιμες λύσεις. Έτσι, απαιτείται μάλλον μία ριζικά διαφορετική συστημική λύση στο πρόβλημα, η οποία είναι σύνθετη, πολυπαραγοντική και ανάλογη της πολυπλοκότητας του προβλήματος.

Ο ρόλος του πολίτη σε επίπεδο ατομικού καταναλωτή αλλά και μέλους της κοινωνίας των καταναλωτών είναι ιδιαίτερα σημαντικός γιατί μπορεί να επηρεάσει αντιλήψεις, να ανατρέψει προκαταλήψεις, αλλά και να επηρεάσει σημαντικό μέρος της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων. Όσο η διασύνδεση του καταναλωτή με κρατικούς φορείς και με την αλυσίδα εφοδιασμού ενισχύεται με νέες τεχνολογίες διασύνδεσης όπου ο καταναλωτής από το κινητό του τηλέφωνο, δύναται να πληροφορείται όχι μόνο για τα θρεπτικά χαρακτηριστικά προϊόντος διατροφής που προμηθεύεται ή την ημερομηνία λήξεως του, αλλά και σειρά επιπρόσθετων πληροφοριών όπως η προέλευση, οι συνθήκες παραγωγής του αλλά και το ενεργειακό του αποτύπωμα από την παραγωγή έως την απόρριψή του, τόσο μεγαλύτερη σημασία θα έχει η ενεργή εμπλοκή του στην μείωση των απορριμμάτων τροφίμων, αλλά και η πρόσθετη αξία από την συνειδητοποίηση ότι οι επιλογές του έχουν σημασία και αντίκτυπο.

Σε μεγαλύτερο επίπεδο, οι κρατικές οντότητες μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της ατομικής πρωτοβουλίας σε δράσεις όπως η κομποστοποίηση σε επίπεδο Δήμων και κοινοτήτων και στη διάδοση καλών πρακτικών και ενσυνείδητης κατανάλωσης τροφίμων. Συναφώς, η αποτελεσματική και εκτενέστερη εμπλοκή κυβερνητικών δρώντων και μη κυβερνητικών φιλανθρωπικών οργανώσεων στην ανακατανομή της περίσσειας τροφίμων από τις αποθήκες της λιανικής ή και τους χώρους

πρωτογενούς παραγωγής (αγροκτήματα, κτηνοτροφικές, πτηνοτροφικές και ιχθυοτροφικές / αλιευτικές μονάδες) δύναται να παίζει καθοριστικό ρόλο. Η μεγαλύτερη ισχύ των κρατικών οντοτήτων καλώς ή κακώς βρίσκεται στη νομοθετική εξουσία και στην επιβολή κυρώσεων, όπως και στη χρηματοδότηση δημοσίων έργων μεγάλης κλίμακας. Η ουσιαστική όμως ισχύ βρίσκεται στην αποδοχή και την προβολή ισχύος μέσω της υπεύθυνης και έγκυρης ενημέρωσης των πολιτών και της ειλικρινούς συμπερίληψης τους στη λήψη αποφάσεων. Για το λόγο αυτό στο όραμα μετάβασης σε κυκλικές και γενικά βιώσιμες μορφές ανάπτυξης το κράτος δεν πρέπει να παίζει μόνο το ρόλο του εντολοδόχου, ή του τιμωρού, αλλά και του συνεργάτη σε ένα κοινό όραμα βελτίωσης της διαβίωσης του πολίτη μέσω συνεργασίας του με τον παραγωγό, το διακομιστή, τον επεξεργαστή τροφίμων και το διανομέα λιανικής. Το τελευταίο μπορεί να επιτευχθεί με την ενίσχυση βιώσιμων επιλογών της κοινωνίας, αλλά και την στενότερη διασύνδεση του πολίτη στις αποφάσεις και καλές πρακτικές για τη διαχείριση των αποβλήτων. Φυσικά στο πρόβλημα της παραγωγής και διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων, όλοι οι εμπλεκόμενοι δρώντες έχουν ένα μερίδιο ευθύνης και το κράτος ως βασική ρυθμιστική αρχή πρέπει να διερευνά και να καταλογίζει ευθύνες στο πλαίσιο της αναλογικότητας. Πέρα από τα παραπάνω η μεγάλη προστιθέμενη αξία των κρατικών οντοτήτων είναι η δυνατότητα διάδρασης μεταξύ τους ώστε να δημιουργούν κοινές πρακτικές και τυποποίηση. Επειδή η τυποποίηση στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων είναι ακόμη ελλιπής και με πολλά προβλήματα εφαρμογής, οι κρατικές οντότητες και οι διάφοροι οργανισμοί είναι αυτοί που πρέπει να σηματοδοτήσουν τη μετάβαση σε κοινές αντιλήψεις. Το τελευταίο είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο μέσα από πρωτοβουλίες υπερεθνικών οργανισμών και για την καθιέρωση προτύπων με μεγάλη απήχηση απαιτείται να ληφθούν υπόψη τόσο οι κοινές απαιτήσεις, όσο και οι ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή ή κάθε κράτος.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν φέρει στο προσκήνιο μία σειρά από ισχυρά νέα εργαλεία όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και η επιστήμη των δεδομένων. Οι εφαρμογές και η σημασία τους αρχίζουν να γίνονται αντιληπτές τόσο στα κράτη όσο και στους πολίτες και τους παρέχουν μεγάλες δυνατότητες. Η αλληλεξάρτηση που ενέχουν αυτές οι τεχνολογίες, αλλά και η διασύνδεσή τους τις καθιστά προστιτές σε παγκόσμιο επίπεδο και αυτό είναι ένα πλεονέκτημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε επίπεδο τυποποίησης των κανονισμών διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων, όσο και σε επίπεδο πρόληψης, μείωσης και βέλτιστης χρήσης των μεθόδων διαχείρισής τους. Τέλος, ο

τομέας όπου αυτές οι τεχνολογίες μπορούν πραγματικά να κάνουν θαύματα, είναι αυτός της επιλογής κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης από την παραγωγή έως την επανακύκλωση / ανακύκλωση/ αποκομιδή των τροφίμων, γιατί θα είναι σε θέση να προτείνουν τη βέλτιστη δυνατή διαδρομή κάθε είδους τροφίμων (ανάλογα με τη σύνθεσή τους, τη διαθέσιμη τεχνολογία, πόρους και άλλες παραμέτρους).

## **5.2 Η ανάγκη εισαγωγής συστημάτων ολικής διαχείρισης της ποιότητας στις μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων**

Οι προσπάθειες σε ατομικό και δημοτικό επίπεδο είναι αξιοσημείωτες και ενθαρρυντικές ως προς το επίπεδο της κοινωνικής κατανόησης του προβλήματος της διαχείρισης των αποβλήτων τροφίμων. Ωστόσο σε μικρές κλίμακες δεν μπορούν να επιφέρουν αξιοσημείωτες μεταβολές χωρίς το συντονισμό και την υποστήριξη των κρατών. Τα κράτη σε κυβερνητικό επίπεδο είναι οι μικρότερες οντότητες που μπορούν να συντονίσουν ενέργειες και δράσεις μεγάλης κλίμακας με σημαντικό αποτέλεσμα. Αντίστοιχα, οι ενώσεις, ομοσπονδίες και διακρατικές συνεργασίες είναι αυτές που μπορούν να σημειώσουν σημαντικές επιτυχίες στον αγώνα για την μείωση των απορριμμάτων τροφίμων και τον αντίκτυπο που έχουν στο περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο. Για το λόγο αυτό υφίσταται ανάγκη για στενή συνεργασία, συνταύτιση προσπαθειών και τυποποίηση.

Η συστημική αντιμετώπιση του προβλήματος απαιτεί νέες μεθόδους ολιστικής και όχι ολικής μόνο διαχείρισης της ποιότητας, που να είναι προσαρμοσμένες όχι μόνο στην παραγωγή τροφίμων αλλά και στην αποκομιδή των απορριμμάτων τους. Η σημερινή τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα συλλογής τεράστιου όγκου δεδομένων για το πρόβλημα, καλύπτοντας όλες τις οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές του. Αυτό που απαιτείται είναι η εφαρμογή της σε ένα νέο σύστημα κυκλικής ανάπτυξης που να είναι ικανό να μετρήσει την απόδοσή του, να εντοπίζει τα προβλήματά του και να βελτιώνεται. Σε ένα τέτοιο σύστημα η διαχείριση αποβλήτων τροφίμων δεν είναι αμιγώς τεχνικό πρόβλημα, αλλά και κοινωνικό με διαφορετικές και δυναμικές παραμέτρους. Παράλληλα ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να είναι ικανό να ελέγχει και την ίδια την απόδοση των μεθόδων διαχείρισης της ποιότητας του. Η ανωτέρω διαδικασία σε ένα σύστημα που υπολογίζει με ποσοτικούς ενδείκτες την ποιότητα και την απόδοση των ίδιων των μεθόδων διαχείρισης, απαιτεί την περαιτέρω συλλογή και επεξεργασία ενός τεράστιου συνόλου πραγματικών και ενδεχομένως ανομοιογενών δεδομένων από όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Επιπρόσθετα, απαιτεί την μέτρηση και αξιολόγηση ποιότητας λαμβάνοντας υπόψη πλήθος παραμέτρων



που σχετίζονται με τον οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο των μεθόδων αυτών επιδιώκοντας τη βέλτιστη αναλογία οφέλους. Ο όγκος των προς επεξεργασία δεδομένων αλλά και η πολυπλοκότητα τους, δεν αφήνει επιλογές άλλες από τη χρήση προηγμένων συστημάτων ανάλυσης δεδομένων μεγάλης κλίμακας (big data) αλλά και τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence, AI). Οι δύο αυτές αναδυόμενες τεχνολογίες οι οποίες συνδέονται άμεσα μεταξύ τους, είναι σίγουρο ότι θα έχουν πλήρη εφαρμογή σε πολύπλοκα μοντέλα όπως αυτό της ολιστικής διαχείρισης ποιότητας στις μεθόδους διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων και όπως είναι αναμενόμενο θα δώσουν σημαντικά συμπεράσματα για τους βέλτιστους τρόπους χρήσης των μεθόδων αυτών.

## **5.3 Προτάσεις**

### **5.3.1 Επίπεδο κρατικών οντοτήτων**

Οι προσπάθειες πρόβλεψης και μείωσης της σπατάλης τροφίμων, όσο και της ανακύκλωσής τους σε επίπεδο ατομικό και τοπικό (πολίτες, Δήμοι, κοινότητες, κλπ.), πρέπει να υποστηριχθούν από τις κυβερνήσεις και να αναβαθμιστούν σε συντονισμένες προσπάθειες μεγάλης κλίμακας σε κρατικό και διακρατικό επίπεδο. Τα κράτη και οι κυβερνήσεις, διαθέτοντας νομοθετική και εκτελεστική εξουσία πρέπει να θεσπίσουν νόμους που να ενθαρρύνουν και να διευκολύνουν τις δωρεές τροφίμων σε συνεργασία με μη κυβερνητικές οργανώσεις και οργανισμούς, αλλά και φιλανθρωπικά ιδρύματα. Συναφώς, απαιτείται να ληφθούν μέτρα για την τροποποίηση των ετικετών ημερομηνίας λήξεως, σε πιο ευέλικτα σχήματα που ευνοούν τη συμμετοχή του καταναλωτή και τις επιλογές ασφαλούς κατανάλωσης, σε κατηγορίες τροφίμων που δεν φέρουν ενδείξεις αλλοίωσης μετά την ενδεικτική ημερομηνία λήξεως τους. Παράλληλα, θα πρέπει να θεσπισθεί η προσθήκη στις ετικέτες πληροφοριών όπως το ενεργειακό αποτύπωμα των τροφίμων και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον από την παραγωγή έως και την ανακύκλωση ή αποκομιδή.

Οι πρωτοβουλίες του κράτους για αποτελεσματική εκπαίδευση των πολιτών σε συνήθειες και τακτικές συμβατές με τις επιλογές της βιώσιμης ανάπτυξης και κυκλικής οικονομίας είναι καταλυτικές για την ενίσχυση της καταναλωτικής υπευθυνότητας των κοινωνιών. Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η θέσπιση συστήματος ανταμοιβής των πολιτών (πχ. με μορφή έκπτωσης από την φορολογία και τα δημοτικά τέλη, ή με την μορφή εκπαιδευτικών κουπονιών) στις περιπτώσεις καταναλωτικής υπευθυνότητας και συμμετοχής σε δράσεις της τοπικής αυτοδιοίκησης για μείωση απορριμμάτων τροφίμων ή προαγωγή της οικιακής

κομποστοποίησης. Στον αντίποδα, είναι σημαντική η στοχευμένη κρατική παρέμβαση για τον περιορισμό της άσκοπης απαξίωσης τροφίμων από τις μεγάλες αλυσίδες λιανικής πώλησης στις οποίες, εφόσον απαιτείται, πρέπει να καταλογίζονται ευθύνες. Επίσης, για την αποφυγή απωλειών τροφίμων κατά τις μεταφορές, πρέπει να αναληφθούν μέτρα για τη βελτίωση τους τόσο από τις μεταφορικές εταιρείες, όσο και από φορείς συγκοινωνιών σε ιδιωτικό και κρατικό επίπεδο, αλλά και από τις ίδιες τις κυβερνήσεις σε κρατικό και διακρατικό επίπεδο, ενώ παράλληλα θα πρέπει να γίνονται από αρμόδιες αρχές συχνοί έλεγχοι της καταλληλότητας των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές τροφίμων (ψυγεία, φορτηγά, βυτιοφόρα γάλακτος κλπ.).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πρόβλημα των απορριμμάτων τροφίμων είναι ένα σύνθετο πρόβλημα στο οποίο αλληλοεπιδρούν όχι μόνο οι τελικοί καταναλωτές αλλά και οι παραγωγοί, απαιτείται η ουσιαστική κρατική παρέμβαση, με την χάραξη αποτελεσματικής γεωργικής πολιτικής και ανάπτυξης στον πρωτογενή τομέα. Πέρα από τις αγροτικές αποζημιώσεις για απώλειες στις καλλιέργειες και τη θέσπιση αυστηρότερου νομοθετικού πλαισίου που να περιορίζει την εκμετάλλευση της πρωτογενούς παραγωγής από παράγοντες της αγοράς με κερδοσκοπικές βλέψεις και μονοπωλιακές πρακτικές, απαιτούνται σοβαρές επενδύσεις για την εκπαίδευση του αγροτικού δυναμικού σε προηγμένες αγροτικές τεχνολογίες και τεχνικές, με τη βοήθεια του ακαδημαϊκού τομέα (γεωπονικά πανεπιστήμια, αγροτικές σχολές). Τέλος, απαιτείται από τις κυβερνήσεις η αναθεώρηση των πρακτικών που ευνοούν την προσαρμοσμένη αγροτική παραγωγή για εξαγωγές στο εξωτερικό έναντι της εγχώριας κατανάλωσης. (Kennard, 2019). Το τελευταίο, φαντάζει ιδιαίτερα δύσκολο στο πλαίσιο μίας σύνθετης και ενοποιημένης αγοράς, με κοινές γραμμές και κατευθύνσεις στην αγροτική ανάπτυξη, όπως η Ε.Ε στην οποία ανήκει και η χώρας μας. Ωστόσο, καμία κοινή πολιτική δεν μπορεί και δεν πρέπει να περιορίζει τις αγροτικές δυνατότητες σε εθνικό επίπεδο κατανάλωσης και ακόμη περισσότερο τις προσπάθειες ελαχιστοποίησης της σπατάλης τροφίμων. Αντί λοιπόν να ενθαρρύνεται με οικονομικά κίνητρα η καταστροφή ή μη διάθεση κατάλληλων προς κατανάλωση τροφίμων επειδή δεν πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις εμφάνισης ή τυποποίησης, πρέπει να ενθαρρύνεται η υπεύθυνη και οικονομική διάθεση τους στις τοπικές αγορές, αποσκοπώντας σε κάθε περίπτωση την αποφυγή μετατροπής τους σε απόβλητα για τους χώρους υγειονομικής ταφής.

### **5.3.2 Ατομικό επίπεδο**

Ο πολίτης ως καταναλωτής έχει την ισχύ της επιλογής και οι επιλογές του είναι ικανές να διαμορφώσουν τη μετάβαση σε μοντέλα βιώσιμης ανάπτυξης. Για να επιτευχθεί όμως αυτό πρέπει να αναπτύξει καταναλωτική αντίληψη και υπευθυνότητα που να τον θωρακίζει από τις πολυπληθείς διαφημιστικές εκστρατείες που τον προτρέπουν σε υπερκατανάλωση. Για το λόγο αυτό, πρέπει να είναι ενήμερος για την πραγματική κατάσταση που επικρατεί στη διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων και να συγκρατεί τάσεις καταναλωτικής βουλιμίας. Παράλληλα πρέπει να κατανοεί την αξία των τροφίμων και τα προβλήματα που υπάρχουν στη διαχείρισή τους ως απόβλητα. Έτσι, πρέπει να προγραμματίζει την αγορά τροφίμων και να επαναχρησιμοποιεί παρασκευασμένα τρόφιμα όπου αυτό είναι εφικτό. Επιπρόσθετα, πρέπει να αναζητεί και να επιλέγει ενσυνείδητα τα επανακυκλωμένα τρόφιμα, διαδίδοντας και σε άλλους τέτοιες πρακτικές. Τέλος, εφόσον αυτό είναι δυνατό πρέπει να δοκιμάζει τεχνικές ανακύκλωσης όπως ο οικιακός κομποστοποιητής ή να συμμετέχει σε τέτοιου είδους δράσεις σε δημοτικό ή κοινοτικό επίπεδο. Είναι αναμενόμενο ότι μελλοντικά σε ένα σύγχρονο περιβάλλον διασύνδεσης της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων με το διαδίκτυο των πραγμάτων, οι διάθεση πληροφοριών του σχετίζονται με το ενεργειακό αποτύπωμα των τροφίμων, αλλά και λεπτομερείς για τον κύκλο ζωής τους, θα είναι διαθέσιμες και εύκολα προσβάσιμες και αυτό θα παίζει σημαντικό ρόλο στο να μετατραπεί η τάση οικολογικής συνείδησης σε συνηθισμένη πρακτική, εφόσον υπάρχει πάντα η επιθυμία και διάθεση. Αντίστοιχα, η μεγαλύτερη διασύνδεση του παραγωγού με τον καταναλωτή θα δύναται να προσαρμόζει καλύτερα τα παραγόμενα προϊόντα στις πραγματικές απαιτήσεις των καταναλωτών και όχι σε υποθετικές ή τεχνητές ανάγκες που επιβάλλονται σε παραγωγούς και καταναλωτές από τις διάφορες εταιρείες παραγωγής και λιανικής διάθεσης τροφίμων.

### **5.3.3 Παγκόσμιο επίπεδο – οργανισμοί**

Οι διάφοροι οργανισμοί, ομοσπονδίες και ενώσεις χαίρουν μεγάλης αποδοχής σε κοινωνικό κρατικό, αλλά και διεθνές επίπεδο. Ως εκ τούτου, αποτελούν σημαντικούς θεσμούς που μπορούν και πρέπει να δημιουργήσουν νόρμες και πρακτικές, άρα τυποποίηση ως προς τη διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων. Για το λόγο αυτό, τέτοιου είδους παγκόσμιας εμβέλειας οργανισμοί πρέπει, πάνω από πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα, να δίνουν την πραγματική εικόνα της περιβαλλοντικής κατάστασης σε όλο τον κόσμο, να ευαισθητοποιούν κυβερνήσεις, να παράγουν και να προάγουν τη βιώσιμη ανάπτυξη και να επηρεάζουν τις πολιτικές τάσεις και αποφάσεις. Οι πρωτοβουλίες των διεθνών οργανισμών

πρέπει να φέρνουν κοντά τα διάφορα κράτη, να συντονίζουν κοινές προσπάθειες αντιμετώπισης του προβλήματος της διαχείρισης των απορριμμάτων και να μεγιστοποιούν έτσι την κλίμακα μεγάλων έργων προς την κατεύθυνση αυτή, δίνοντας τη δυνατότητα συμμετοχής ακόμη και σε κράτη που δεν διαθέτουν ισχυρή οικονομία.

Πολλές φορές, οι νόμοι, διατάξεις και καλές πρακτικές όπως οι εφαρμογές τεχνολογικής φύσης στη διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων απαιτούν μεγάλες επενδύσεις σε εξοπλισμό, έχουν μεγάλο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και δεν μπορούν εκ των πραγμάτων να εφαρμοσθούν στο ίδιο επίπεδο από όλες τις χώρες λόγω οικονομικών περιορισμών αλλά και έλλειψης τεχνογνωσίας. Στις περιπτώσεις αυτές, ο ρόλος τέτοιων οργανισμών πρέπει να είναι ακόμη πιο ενεργός και να προτρέπει τη διάχυση τεχνολογίας και τεχνογνωσίας από τα πλούσια και προηγμένα τεχνολογικά κράτη προς τα λιγότερο ανεπτυγμένα μαζί με αντίστοιχες επενδύσεις υποστήριξης τέτοιων τεχνολογικών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κλιματική αλλαγή επηρεάζει όλο τον πλανήτη και επομένως δεν υπάρχουν περιοχές που εξαιρούνται ή απέχουν από αυτή την εξέλιξη, η επαύξηση των δυνατοτήτων παραγωγής αλλά και των τεχνολογιών μείωσης απορριμμάτων τροφίμων στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, είναι ουσιαστικά μία επένδυση γιατί προλαμβάνει και αποτρέπει τη διαιώνιση μη βιώσιμων επιλογών ανάπτυξης του παρελθόντος που θα έχουν μελλοντικά σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο.

#### **5.3.4 Η επιλογή των μεθόδων διαχείρισης**

Πέρα από την επιλογή της πρόληψης και μείωσης των απορριμμάτων τροφίμων που είναι απλά οι καλύτερες πρακτικές ανεξαρτήτου γεωγραφικής τοποθεσίας και οικονομικής δυνατότητας, η διάδοση των νέων τεχνολογιών στην πρόβλεψη και λήψη αποφάσεων δίνει τη δυνατότητα σημαντικών αποτελεσμάτων χωρίς μεγάλες επενδύσεις. Για το λόγο αυτό είναι και η πρώτη λύση στην οποία πρέπει να δίδεται ειδικό βάρος, σε επίπεδο στρατηγικής, πριν τις λοιπές μεθόδους διαχείρισης. Αναφορικά με τις τελευταίες είναι σημαντικό να συνεχιστεί η έρευνα για εξελιγμένες θερμοχημικές και βιοχημικές μεθόδους, αλλά επίσης σημαντικό είναι να μη καταναλώνονται τεράστια οικονομικά ποσά σε εγχειρήματα αμφιβόλου αποτελέσματος. Υπό αυτή την έννοια, είναι καλύτερο να δαπανώνται σημαντικά ποσά στην έρευνα και να ενθαρρύνεται η ευρύτερη συμμετοχή της επιστημονικής και ακαδημαϊκής κοινότητας σε κοινούς ερευνητικούς τομείς, διότι έτσι μόνο είναι δυνατή η ωρίμανση της τεχνολογίας και η αποτελεσματική εφαρμογή της. Η κομποστοποίηση και άλλες βιοχημικές μέθοδοι σε μικρή κλίμακα είναι σημαντικές ως προς την κινητοποίηση

και συμμετοχή των κοινωνιών στην προσπάθεια διαχείρισης των αποβλήτων, αλλά το αποτύπωμά τους σε παγκόσμιο επίπεδο είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το πρόβλημα. Πάραυτα τέτοιες προσπάθειες πρέπει να υποστηρίζονται από τις κυβερνήσεις και τους διεθνείς οργανισμούς γιατί αναβαθμίζουν τη συμμετοχή των πολιτών στην επίλυση του προβλήματος, ενεργοποιούν και διαδίδουν την οικολογική συνείδηση. Η χρήση βιοχημικών μεθόδων σε μεγάλη κλίμακα και σε διακρατικό ή και παγκόσμιο επίπεδο είναι μία καλή λύση, αλλά μπορεί να έχει βέλτιστα αποτελέσματα μόνο με σωστή επιλογή των περιοχών που έχουν τις καλύτερες δυνατές κλιματολογικές συνθήκες, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Για το λόγο αυτό πρέπει να ενθαρρύνονται πολυμερή σχήματα συνεργασίας που περιλαμβάνουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτεροι συνδυασμοί βιοχημικών μεθόδων επεξεργασίας απορριμμάτων τροφίμων. (π.χ περιοχές με ξηρά και θερμά κλίματα, ή μεγάλη ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα, για τη εκμετάλλευση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ηλιακής ενέργειας).

Η χρήση θερμοχημικών μεθόδων δεν μπορεί να εξαιρεθεί από την εξίσωση επίλυσης της διαχείρισης των αποβλήτων τροφίμων. Ωστόσο, είναι αναγκαία η υπεύθυνη χρήση χωρίς τα μειονεκτήματα να υπερβαίνουν τα πλεονεκτήματά τους. Στο πλαίσιο αυτό, η λειτουργία των διαφόρων εγκαταστάσεων θερμικής επεξεργασίας δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να δικαιολογεί ή να ενθαρρύνει την παραγωγή απορριμμάτων τροφίμων. Αντίθετα η έρευνα στη σωστή και αποτελεσματική διαλογή των κατάλληλων οργανικών υλών ως πρώτη ύλη, αλλά και η εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη βελτιστοποίηση της απόδοσης και ασφάλειας με παράλληλη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον, πρέπει να ενθαρρύνονται και να σηματοδοτούν την ομαλή και εξακριβωμένη τεχνολογική εφαρμογή τους σε βιομηχανικό επίπεδο.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, απαιτείται να συνεχισθεί και να ενισχυθεί η έρευνα, αλλά και να επεκταθεί σε πολυμερή συνεργατικά σχήματα. Η έρευνα σε διακρατικό και παγκόσμιο επίπεδο δύναται να δώσει ταχύτερες εξελίξεις ακριβώς όπως στην περίπτωση του COVID-19 και αυτό που πρέπει να γίνει παγκοσμίως κατανοητό είναι ότι εφόσον το πρόβλημα της συσσώρευσης αποβλήτων τροφίμων και λοιπών βιολογικών αποβλήτων προσεγγίζει τις διαστάσεις επιδημίας, απαιτούνται ανάλογες πρωτοβουλίες σε διεθνές επίπεδο.

Σημαντικές προσπάθειες πρέπει να καταβληθούν για τον περιορισμό στο ελάχιστο δυνατό της υγειονομικής ταφής απορριμμάτων τροφίμων, ωστόσο επίσης σημαντική προσπάθεια πρέπει να καταβληθεί για την ασφάλιση και πιθανά αξιοποίηση, των πολυάριθμων ΧΥΤΑ που υπάρχουν σε όλο τον κόσμο. Τα προβλήματά τους έχουν ορατή υπόσταση από την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, αλλά και αόρατη από τη διαρροή στραγγισμάτων στο υπέδαφος. Η διαχείριση τους με κατάλληλες εγκαταστάσεις εξαγωγής LFG μπορεί να περιορίσει σημαντικά τη μόλυνση και να ανακτήσει κάποια ποσότητα ενέργειας. Ωστόσο, πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη ότι η ανάκτηση ενέργειας από απορρίμματα τροφίμων είναι μεν σημαντική ως προστιθέμενη αξία από τη διαχείρισή τους αλλά σε καμία περίπτωση δεν είναι φιλική προς το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα η λειτουργία κάθε τύπου επεξεργασίας με ανάκτηση ενεργείας δεν παράγει «πράσινη» ενέργεια, αλλά απλά ανανεώσιμη. Η χρήση της υπό μορφή αερίου σε κάθε είδους καύση αποδίδει στο περιβάλλον (και με το παραπάνω σε αρκετές περιπτώσεις) ότι διασώθηκε από την άμεση εκπομπή του αερίου στην ατμόσφαιρα. Από την άλλη πλευρά, η χρήση τέτοιου είδους αερίων (που ούτως ή άλλως θα μολύνουν) είναι σαφώς καλύτερη από την αποστράγγιση του πλανήτη από ορυκτά καύσιμα. Όπως λοιπόν είναι εμφανές, τα προβλήματα είναι πολύπλευρα και δεν υπάρχουν εύκολες απαντήσεις. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων ή συνδυασμών αυτών είναι δύσκολη διαδικασία που απαιτεί ανάλυση της πρώτης ύλης που χρησιμοποιείται και διαχωρισμό των απορριμμάτων τροφίμων. Για τους λόγους αυτούς πρέπει να αντιμετωπισθεί στο πλαίσιο συστημάτων ολιστικής διαχείρισης και όχι με μεμονωμένες προσπάθειες, ανεξάρτητα από τις στρατηγικές πρόληψης.

#### **5.3.4 Η χρήση νέων τεχνολογιών**

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική εκμάθηση και η επιστήμη των δεδομένων, αποτελούν θετική εξέλιξη και η αποτελεσματική εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών στο πλαίσιο ολιστικής διαχείρισης των απορριμμάτων τροφίμων μπορεί να είναι η καλύτερη από τις ελάχιστες δυνατές επιλογές που έχουμε στη διάθεσή μας για την αντιμετώπιση του προβλήματος στην τεχνική του βάση. Είναι λοιπόν σημαντική η άμεση εφαρμογή των συγκεκριμένων τεχνολογιών στο πλαίσιο ενός σύνθετου συστήματος βιώσιμης διαχείρισης τροφίμων που στηρίζεται σε κυκλικό μοντέλο.

Επειδή το ίδιο το πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης αποβλήτων τροφίμων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύσταση και την προέλευση των αποβλήτων



τροφίμων, η χρήση τεχνολογιών όπως αυτή της τεχνητής νοημοσύνης και της επιστήμης των δεδομένων αναμένεται να παίξουν σημαντικό ρόλο στην κατηγοριοποίηση των αποβλήτων τροφίμων και στην ορθή έτσι επιλογή της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης και ανακύκλωσης με όρους οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς. Υπό αυτή την έννοια, το πρόβλημα της βέλτιστης επιλογής του τρόπου ή συνδυασμού των τρόπων διαχείρισης μπορεί να αναχθεί σε γράφο στον οποίο κόμβοι είναι οι διάφορες μέθοδοι διαχείρισης αποβλήτων και οι διαδρομές μεταξύ τους αναλογούν σε αντίστοιχες τιμές (βάρη) ανάλογα με τον αντίκτυπο σε οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Για κάθε κατηγορία αποβλήτων τροφίμων δύναται να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή (αυτή με το μικρότερο συνολικό βάρος και άρα αντίκτυπο) από την εισαγωγή του αποβλήτου (περισυλλογή) έως την έξοδο του από το γράφημα (ολική εκποίηση). Επιπρόσθετα, σε μια τέτοια μεθοδολογία υπολογισμού της βέλτιστης επίλυσης, είναι δυνατή η προσθήκη έμφασης σε παράγοντες όπως η οικονομία, η κοινωνία ή το περιβάλλον με την απλή αλλαγή της αντίστοιχης τιμής του βάρους.

Μία πτυχή που δεν πρέπει να παραβλέψουμε, είναι ότι αρκετοί παράμετροι στο πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων τροφίμων, σχετίζονται με την ανθρώπινη συμπεριφορά, ανθρώπινες συνήθειες και αντιλήψεις που έχουν σημαντικές διαφορές ανά γεωγραφική περιοχή, καίτοι το πρόβλημα είναι στη βάση του όμοιο και κοινό για όλους. Για το λόγο αυτό, είναι μάλλον καλύτερη η αρχική εφαρμογή πιλοτικών μοντέλων σε τοπικό επίπεδο και σταδιακά σε περιφερειακό ή/και παγκόσμιο, αφού αρχίσουν να εξομαλύνονται και να συγκλίνουν οι διαφορετικές αντιλήψεις και προσεγγίσεις που υπάρχουν. Στον τομέα αυτό συνδυασμός των νέων τεχνολογιών μπορεί να δημιουργήσει μοντέλα συμπεριφοράς σε επίπεδο τουλάχιστον τοπικό και ίσως και περιφερειακό, λόγω του εκθετικά τεράστιου αριθμού δεδομένων που πρέπει να συλλεχθούν και να επεξεργασθούν. Στη συνέχεια αναλύοντας τα μοντέλα εφαρμογής σε κάθε περιοχή, μπορούν να εντοπισθούν κοινά σημεία σύγκλισης και να επιταχυνθούν διαδικασίες και αποφάσεις που βελτιστοποιούν τις τάσεις για μείωση των απορριμμάτων και προάγουν την αποδοχή της μετάβασης σε βιώσιμα μοντέλα ανάπτυξης. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η μοντελοποίηση μοτίβων της ανθρώπινης συμπεριφοράς είναι μία εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση με μεγάλες αποκλίσεις και περιθώρια σφάλματος. Πέρα από την τεχνική ανάλυση του ζητήματος είναι εξίσου απαραίτητη και ίσως περισσότερο σημαντική σε αυτή την περίπτωση, η ανθρωπιστική προσέγγιση σε διαπροσωπικό, κοινωνικό και διαπολιτισμικό επίπεδο.

Αντίστοιχα, σε επίπεδο διεθνών κανονισμών και τυποποίησης, εκτιμάται ότι ισχυρά και μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (Large Language Models, LLMs) στην τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να συντελέσουν σημαντικά στη δημιουργία κώδικα κοινής πρακτικής και τυποποίησης στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων, χωρίς, ή με τις ελάχιστες δυνατές διενέξεις με την υπάρχουσα τυποποίηση των κρατών και με μεγάλο ποσοστό αποδοχής.

## 5.4 Επίλογος

Καθώς διανύουμε την 3<sup>η</sup> δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, η βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων και απορριμμάτων τροφίμων δεν είναι πλέον επιλογή αλλά ανάγκη. Οι ατυχείς συγκυρίες του παρελθόντος αλλά και του παρόντος έχουν φέρει την ανθρωπότητα στο σημείο που πρέπει να πάρει δραστικά μέτρα και αποφάσεις για τη συστηματική αλλαγή του τρόπου που αντιλαμβανόμαστε τα τρόφιμα, αλλά και του τρόπου που διαχειριζόμαστε τα απορρίμματά τους. Αν και η τεχνολογία μας παρέχει σημαντικά εργαλεία και θα σταθεί αρωγός σε αυτή την προσπάθεια, η αλλαγή θα είναι μεγάλη, επίπονη και θα απαιτήσει την κοινή προσπάθεια της ανθρωπότητας, για αλλαγή νοοτροπίας στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων αλλά και αλλαγή αντιλήψεων και συνηθειών σε ατομικό επίπεδο

Το κέρδος αλλά και το διακύβευμα ενός τέτοιου εγχειρήματος ή/και στοιχήματος δεν είναι απλά η επίλυση ενός σύνθετου και πολυπαραγοντικού προβλήματος περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής φύσης, αλλά η ίδια η επιβίωση του ανθρώπινου είδους.

Σταυρούλα Μπουγατσά

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.

## Βιβλιογραφία

- Abdelghany, S. (2019, Δεκ). *Thermal Waste Treatment Technologies: Traditional Incineration and Pyrolysis Unit*. ResearchGate. Ανάκτηση Ιαν 30, 2024, από [https://www.researchgate.net/publication/337831493\\_Thermal\\_Waste\\_Treatment\\_Technologies\\_Traditional\\_Incineration\\_and\\_Pyrolysis\\_Unit](https://www.researchgate.net/publication/337831493_Thermal_Waste_Treatment_Technologies_Traditional_Incineration_and_Pyrolysis_Unit)
- B Labs. (χ.χ.). *Measuring a company's entire social and environmental impact*. (B. Labs, Παραγωγός) Ανάκτηση Μαΐ 10, 2024, από B Corporation Network - About B Corp Certification: <https://www.bcorporation.net/en-us/certification/>
- Baturay, A. (1999, Μαΐ). Incinerator Emissions. *Water Environment & Technology*, 11(5), 49-53. Ανάκτηση Μαρ 10, 2024, από <https://www.jstor.org/stable/24667475>
- BNO Team. (2024, Μαρ 27). *Archaeobacteria – Definition, Types, Characteristics, Structure, Examples*. Ανάκτηση Απρ 4, 2024, από Biology Notes Online (Biologynotesonline.com): <https://biologynotesonline.com/el/archaeobacteria/>
- Borens, M., Gatzer, S., Magnin, C., & Timelin, B. (2022, Σεπ 7). *Reducing food loss: What grocery retailers and manufacturers can do*. Ανάκτηση Ιαν 12, 2024, από McKinsey & Company (www.mckinsey.com): <https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/reducing-food-loss-what-grocery-retailers-and-manufacturers-can-do>
- Boslaugh, S. E. (2024, Μαΐ 2). *Pyrolysis / Chemical reaction & energy conversion*. Ανάκτηση Μαΐ 8, 2024, από Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/pyrolysis>
- Box, O. (2022, April 11). *Food Waste: A Persistent Problem*. Ανάκτηση Feb 5, 2024, από [daily.jstor.org](https://daily.jstor.org/food-waste-a-persistent-problem/): <https://daily.jstor.org/food-waste-a-persistent-problem/>
- C40 Cities Climate Leadership Group; C40 Knowledge Hub. (2019, Ιουλ). *Why solid waste incineration is not the answer to your city's waste problem*. Ανάκτηση Μαρ 17, 2024, από C40 Knowledge Hub (c40knowledgehub.org): [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Why-solid-waste-incineration-is-not-the-answer-to-your-city-s-waste-problem?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Why-solid-waste-incineration-is-not-the-answer-to-your-city-s-waste-problem?language=en_US)
- Ciuła, J., Kowalski, S., Generowicz, A., Barbusiński, K., Matuszak, Z., & Gaska, K. (2023, Φεβ 24). Analysis of Energy Generation Efficiency and Reliability of a Cogeneration Unit Powered by Biogas. *Energies*, 16(5), 2180. doi:10.3390/en16052180
- Collingham, L. (2012, April 3). *How World War II Changed The Way Americans Ate*. Ανάκτηση Dec 28, 2023, από Huffpost: [https://www.huffpost.com/entry/wwii-food-america\\_n\\_1398132](https://www.huffpost.com/entry/wwii-food-america_n_1398132)
- Compost Magazine. (2023, Ιουν 5). *The Science of Composting: How Compost Happens*. Ανάκτηση Φεβ 2, 2024, από Compost Magazine (www.compostmagazine.com): [https://www.compostmagazine.com/compost-science/#The\\_three\\_phases\\_of\\_composting](https://www.compostmagazine.com/compost-science/#The_three_phases_of_composting)
- Compost Magazine. (2023, Φεβ 19). *What Is Humus? The Famous Soil And Compost Element That Probably Doesn't Exist*. Ανάκτηση Φεβ 2, 2024, από Compost Magazine (www.compostmagazine.com): <https://www.compostmagazine.com/humus/>

- Dalke, R., Demro, D., Khalid, Y., Wu, H., & Urgan-Demirtas, M. (2021, Νοε). Current status of anaerobic digestion of food waste in the United States. *Renewable & sustainable energy reviews*, 151, 111554. doi:10.1016/j.rser.2021.111554
- Danone. (2024, Ιαν 30). *Η εταιρεία μας*. Ανάκτηση Φεβ 10, 2024, από Danone Nutricia Ελλάδος ([www.danone.gr](http://www.danone.gr)): <https://www.danone.gr/about-us.html>
- Djekic, I., Velebit, B., Pavlic, B., Putnik, P., Merkulov, D., Markovinovic, A., & Konačević, D. (2023, Αυγ 19). Food Quality 4.0: Sustainable Food Manufacturing for the Twenty-First Century. *Food engineering reviews*, 15(4), 577-608. doi:10.1007/s12393-023-09354-2
- EE. (2022, June 16). *EUR-Lex - en0010 - EN - EUR-Lex (Νομοθεσία της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων)*. Retrieved Νοε 19, 2023, from Eur-Lex.europa.eu: <https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html>
- Ellen MacArthur Foundation. (χ.χ.). *Food and the circular economy*. Ανάκτηση Ιαν 12, 2024, από Ellen MacArthur Foundation ([ellenmacarthurfoundation.org](http://ellenmacarthurfoundation.org)): <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/food/overview>
- Ellen MacArthur Foundation. (χ.χ.). *What is a circular economy?* Ανάκτηση Ιαν 17, 2023, από Ellen MacArthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Ellen MacArthur Foundation. (χ.χ.). *What is the linear economy?* Ανάκτηση Ιαν 12, 2024, από Ellen MacArthur Foundation ([ellenmacarthurfoundation.org](http://ellenmacarthurfoundation.org)): <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/what-is-the-linear-economy>
- Encyclopedia.com. (χ.χ.). *"Landfills". Environmental Science : In Context*. Ανάκτηση Απρ 18, 2024, από Encyclopedia.com ([www.encyclopedia.com](http://www.encyclopedia.com)): <https://www.encyclopedia.com/environment/energy-government-and-defense-magazines/landfills>
- EU - European Commission (Landfill Waste). (χ.χ.). *Landfill Waste - European Commission*. Ανάκτηση Ιαν 29, 2024, από European Commission - Environment ([environment.ec.europa.eu](http://environment.ec.europa.eu)): [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/landfill-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en)
- EU - European Commission (SSD). (χ.χ.). *Sewage Sludge Directive (SSD) - Directive 86/278/EEC / Circular Cities and Regions Initiative*. Ανάκτηση Φεβ 20, 2024, από European Commission - Circular Cities and Regions Initiative ([circular-cities-and-regions.ec.europa.eu](http://circular-cities-and-regions.ec.europa.eu)): <https://circular-cities-and-regions.ec.europa.eu/support-materials/eu-regulations-legislation/sewage-sludge-directive-ssd-directive-86278eec>
- EU - European Commission (Waste Framework Directive). (χ.χ.). *Waste Framework Directive - European Commission*. Ανάκτηση Ιαν 29, 2024, από European Commission. Environment ([environment.ec.europa.eu](http://environment.ec.europa.eu)): [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en)
- EU - European Commission (IoT). (2019, Σεπ 23). *Διαδίκτυο των πραγμάτων - Φυλλάδιο /*. Ανάκτηση από European Commission - Shaping Europe's digital future (digital-

- strategy.ec.europa.eu): <https://digital-strategy.ec.europa.eu/el/library/internet-things-brochure>
- EU Urban Inovative Action (UIA). (2023, Ιαν 12). *A2UFood Journal 6 - Looking back, learning for the future*. Ανάκτηση Απρ 29, 2024, από UIA ([uia-initiative.eu](http://uia-initiative.eu)): <https://uia-initiative.eu/en/news/a2ufood-journal-6-looking-back-learning-future>
- EU Urban Inovative Actions (UIA). (χ.χ.). *A2UFood - Avoidable and Unavoidable Food Wastes: A Holistic Managing Approach for Urban Environments*. Ανάκτηση Απρ 20, 2024, από UIA ([uia-initiative.eu](http://uia-initiative.eu)): <https://uia-initiative.eu/en/uia-cities/heraklion>
- European Biomass Industry Association (EUBIA). (χ.χ.). *Anaerobic digestion*. Ανάκτηση Απρ 18, 2024, από European Biomass Industry Association ([eubia.org](http://eubia.org)): <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/anaerobic-digestion/>
- European Council. (1986, Ιουν 12). *Directive 86/278*. Ανάκτηση Φεβ 1, 2024, από EUR-Lex ([eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278>
- Flexly Consulting. (2023, Οκτ 7). *ISO 14001 for Food Industry: Elevating Sustainability in Every Bite*. Ανάκτηση Φεβ 11, 2024, από [flexlyconsulting.com](http://flexlyconsulting.com): <https://flexlyconsulting.com/iso-14001-food-industry-sustainability/>
- Food Waste: Post WWII Era: 1945-1960*. (2024). Ανάκτηση Jan 29, 2024, από [Exhibits.usu.edu](http://exhibits.usu.edu): <http://exhibits.usu.edu/exhibits/show/foodwaste/timeline/postwwii>
- Food Waste: WWII: 1939-1945*. (2024). Ανάκτηση Jan 25, 2024, από <http://exhibits.usu.edu>: <http://exhibits.usu.edu/exhibits/show/foodwaste/timeline/wwii>
- Foodlife Team. (2022, Μαρ 8). *Ε. Τριτοπούλου: Προκλήσεις και ευκαιρίες στη διαχείριση αποβλήτων τροφίμων στην Αλυσίδα της Εστίασης*. Ανάκτηση Φεβ 3, 2024, από [foodlife.gr](http://foodlife.gr): <https://www.foodlife.gr/protagonistes/e-tritopoulou-prokliseis-kai-eykairies-sti-diaxeirisi-apovlition-trofimon-stin-alytida-tis-estiasis/>
- Garcia-Garcia, G., Woolley, E., Rahimifard, S., Colwill, J., White, R., & Needham, L. (2017, Sep). A Methodology for Sustainable Management of Food Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 8(6), 2209-2227. doi:<https://doi.org/10.1007/s12649-016-9720-0>
- Gianico, A., Braguglia, C. M., Gallipoli, A., Montecchio, D., & Mininni, G. (2021, Ιαν 5). Land Application of Biosolids in Europe: Possibilities, Con-Straints and Future Perspectives. *Water*, 13(1), 103. doi:10.3390/w13010103
- Graham Packaging. (2022, Ιουλ 1). *Improving Recyclability with Danone's Label-Less Bottle*. Ανάκτηση Ιαν 28, 2024, από Graham Packaging ([www.grahampackaging.com](http://www.grahampackaging.com)) - Insights: <https://www.grahampackaging.com/insights/improving-recyclability-with-danones-label-less-bottle/>
- Gupta, A., & Chopra, A. (2020). *Europe Anaerobic Digestion Market Size By Feedstock (Organic Waste, Sewage Sludge, Energy Crops, Others), By Application (Residential, Commercial, Industrial), By Process (Wet AD, Dry AD), Industry*



*Analysis Report, Country Outlook, Application Potential*. Global Market Insights Inc. Ανάκτηση Απρ 11, 2024, από <https://www.gminsights.com/industry-analysis/europe-anaerobic-digestion-market>

- Hanpeng, L., Chen, L., Chaofan, A., Tian, G., Qiu-E, Y., Zhen, Y., . . . Friman, V.-P. (2023, Ιουν). Mesophilic and thermophilic viruses are associated with nutrient cycling during hyperthermophilic composting. *The ISME Journal*, 17(6), 916-930. doi:<https://doi.org/10.1038/s41396-023-01404-1>
- Hasini, A. (2024, Ιαν 14). *What is the Difference Between Incineration Pyrolysis and Gasification*. Ανάκτηση Ιαν 25, 2024, από Pediaa.com: <https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-incineration-pyrolysis-and-gasification/>
- Hedlund, F. H. (2023). Inherent Hazards and Limited Regulatory Oversight in the Waste Plastic Recycling Sector – Repeat Explosion at Pyrolysis Plant. *Chemical Engineering Transactions*, 99, 241-246. doi:10.3303/CET2399041
- Hyseni, Vlerë. (2023, Μαΐ 23). *Waste Management in Food Industry*. Ανάκτηση Φεβ 15, 2024, από PECB (pecb.com): <https://pecb.com/article/waste-management-in-food-industry#:~:text=Food%20waste%20management%20refers%20to%20the%20systematic%20approach,animal%20feed%2C%20industrial%20application%2C%20and%20other%20environmental%20benefits.>
- IEA. (2020). *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*. (IEA, Paris) Ανάκτηση Απρ 14, 2024, από International Energy Agency (IEA): <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/the-outlook-for-biogas-and-biomethane-to-2040>
- International Organization for Standardization (ISO) . (χ.χ.). *ISO/CD 20001*. Ανάκτηση Μαρ 1, 2024, από [www.iso.org](http://www.iso.org): <https://www.iso.org/standard/85052.html>
- Izquierdo-Yusta, A., Méndez-Aparicio, M., Jiménez-Zarco, A., & Martínez-Ruiz, M. (2023). When Responsible Production and Consumption Matter: The Case of Danone. Στο E. C. Bianchi, J. V. Burguete, M. Galan-Ladero, & A. L. Carizzo (Επιμ.), *Responsible Consumption and Sustainability. Case Studies from Corporate Social Responsibility, Social Marketing, and Behavioral Economics* (σσ. 199-2011). Springer. doi:10.1007/978-3-031-30742-3\_12
- Jarvie, M. E. (2023, Οκτ 31). Anaerobic digestion / Benefits. Process & Applications. *Encyclopedia Britannica* ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)). (M. Metych, & The Editors of Encyclopaedia Britannica, Επιμ.) Ανάκτηση Μαρ 8, 2024, από <https://www.britannica.com/science/digestion-biology/Digestion>
- Jenbacher. (χ.χ.). *Mavrorachi Landfill (GRC)*. Ανάκτηση Μαΐ 12, 2024, από Jenbacher ([www.jenbacher.com](http://www.jenbacher.com)): <https://www.jenbacher.com/en/case-studies/mavrorachi-landfill-grc>
- Kennard, N. J. (2019). Food Waste Management. In W. Leal Filho, A. Azul, L. Brandli, P. Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Zero Hunger. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (pp. 1-17). Springer. Cham. doi:10.1007/978-3-319-69626-3\_86-1
- Kenny, S., Stephenson, J., Stern, A., Beecher, J., Morelli, B., Henderson, A., . . . Martell, A. (Οκτ 2023). *From Field to Bin: The Environmental Impacts of U.S. Food Waste Management Pathways (Part 2)*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA),



- Office of Research and Development. US EPA. Ανάκτηση Ιαν 21, 2024, από [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-10/part2\\_wf-pathways\\_report\\_formatted\\_no-appendices\\_508-compliant.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-10/part2_wf-pathways_report_formatted_no-appendices_508-compliant.pdf)
- Lacy, P., Long, J., & Wesley, S. (2020, March 2). Introduction: The Path to Transformation Is Circular. Στο P. Lacy, J. Long, & S. Wesley, *The Circular Economy Handbook. Realizing the Circular Advantage* (σσ. 1-14). London: Palgrave Macmillan. doi:10.1057/978-1-349-95968-6\_1
- Leib, E. B., Chan, A., Hua, A., Nielsen, A., & Sandson, K. (2018). *Food Safety Regulations & Guidance for Food Donations: A Fifty-State Survey of State Practices*. Harvard Law School, Food Law and Policy Clinic. Harvard Law School ([www.chlpi.org/flpc](http://www.chlpi.org/flpc)). Ανάκτηση Ιαν 10, 2024, από [https://chlpi.org/wp-content/uploads/2013/12/50-State-Food-Regs\\_March-2018\\_V2.pdf](https://chlpi.org/wp-content/uploads/2013/12/50-State-Food-Regs_March-2018_V2.pdf)
- Leib, E. M., & Beyranvand, L. (2020). *The Urgent Call for a U.S. National Food Strategy (An Update to the Blueprint)*. [foodstrategyblueprint.org](http://foodstrategyblueprint.org). Harvard Law School & Vermont Law School. Ανάκτηση Ιαν 15, 2024, από <https://foodstrategyblueprint.org/wp-content/uploads/2020/10/food-strategy-report-update-2020.pdf>
- Li, S., Wu, J., Wang, X., & Ma, L. (2020, Οκτ 20). Economic and environmental sustainability of maize-wheat rotation production when substituting mineral fertilizers with manure in the North China Plain. *Journal of cleaner production*, 271, 122683. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122683
- Lipinski, B., Hanson, G., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., & Searchinger, T. (2013). *Reducing Food Loss and Waste. Installment 2 of "Creating a Sustainable Food Future"*. World Resources Institute. Washington, DC: World Resources Institute (WRI). Ανάκτηση Μαρ 10, 2024, από World Resource Institute (WRI): <https://www.wri.org/research/reducing-food-loss-and-waste>
- Liu, Z., Wang, X., Li, S., Bai, Z., & Ma, L. (2022, Φεβ). Advanced composting technologies promotes environmental benefits and eco-efficiency: A life cycle assessment. *Bioresource Technology*, 346, 126576. doi:10.1016/j.biortech.2021.126576
- Lu, X., & Liao, Y. (2017, Σεπ). Effect of tillage practices on net carbon flux and economic parameters from farmland on the Loess Plateau in China. *Journal of cleaner production*, 162, 1617-1624. doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.044
- Meena, L. A., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, P. R. (2021, Ιαν). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture & Food: E-Newsletter (www.agrifoodmagazine.co.in) - ResearchGate*, 3(01), 85-90. doi:10.13140/RG.2.2.13546.95689
- Middleton, L. (2022, Μαρ 1). "Frugality and Economy are Home Virtues": Thrift in the Textual Space of the Nineteenth-century Recipe. (E. Barnett, & K. Moseley, Επιμ.) *Global Food History*, 9(3), σσ. 270-289. doi:10.1080/20549547.2022.2045542
- National Academies Press (US). (2000). *Waste Incineration Overview - Waste Incineration & Public Health - NCBI Bookshelf*. Ανάκτηση Φεβ 20, 2024, από National Library of Medicine - National Center for Biotechnology Information (NCBI): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK233614/>

- National Geographic. (χ.χ.). *Landfills*. Ανάκτηση Ιαν 20, 2024, από National Geographic / Education ([education.nationalgeographic.org](https://education.nationalgeographic.org/)):  
<https://education.nationalgeographic.org/resource/landfills/>
- Nérard, F.-X. (2023, Jun 23). Valuable Waste: Soviet management of food scarcity in the early 1930s. (E. Barnett, & K. Moseley, Επιμ.) *Global Food History : Food Waste and Sustainable Eating in Historical Perspective*, 9(3), σσ. 324-343.  
doi:10.1080/20549547.2023.2228626
- Neugebauer, M., Hałacz, J., & Olkowski, T. (2021, Ιαν 10). A compost heating solution for a greenhouse in north-eastern Poland in fall. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123613. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123613
- North Carolina State University Cooperative Extension. (χ.χ.). *Wormy FACTS and Interesting Tidbits*. Ανάκτηση Φεβ 7, 2024, από NC State Extension:  
<https://composting.ces.ncsu.edu/vermicomposting-2/wormy-facts-and-interesting-tidbits/>
- O'Connor, J., Skeaff, S., Bremer, P., Lucci, G., & Miroso, M. (2023, May 19). A critical review of on-farm food loss and waste: future research and policy recommendations. *Renewable Agricultural and Food Systems*, 38(e24), 1-12.  
doi:10.1017/S1742170523000169
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE). (χ.χ.). *Hydrogen Production: Biomass Gasification - Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office*. Ανάκτηση Ιαν 25, 2024, από US Department of Energy ([www.energy.gov](http://www.energy.gov)):  
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification>
- O'Neill, K. M. (2021, Ιαν 6). InEnTec: Turning trash into valuable chemical products and clean fuels. *MIT News*. Ανάκτηση Ιαν 28, 2024, από  
<https://news.mit.edu/2021/inentec-turning-trash-into-valuable-chemical-products-clean-fuels-0106>
- Pandey, A., Pandey, P., Paliwal, A., Tripathi, A. H., Pandey, S. C., Joshi, T., & Pande, V. (2019). Various Approaches for Food Waste Processing and Its Management. Στο A. Gunjal, M. Waghmode, N. Patil, & P. Bhatt (Επιμ.), *Global Initiatives for Waste Reduction and Cutting Food Loss* (σσ. 191-211). IGI Global.  
doi:10.4018/978-1-5225-7706-5.ch010
- Parry, D. L. (2013, Ιουν 19). Analyzing Food Waste Management Methods | CMD Smith. *BioCycle*, 54(6), 36. Ανάκτηση Ιαν 28, 2024, από BioCycle ([biocycle.net](http://biocycle.net)):  
<https://www.biocycle.net/analyzing-food-waste-management-methods/>
- Piadeh, F., Offie, I., Behzadian, K., Rizzuto, J., Bywater, A., Córdoba-Pachón, J.-R., & Walker, M. (2024, Ιαν 1). A critical review for the impact of anaerobic digestion on the sustainable development goals. *Journal of Environmental Management*, 349, 119458. doi:10.1016/j.jenvman.2023.119458
- Pozzebon, E. A., & Seifert, L. (2023, Αυγ 21). Emerging environmental health risks associated with the land application of biosolids: a scoping review. *Environmental Health*, 22(1). doi:10.1186/s12940-023-01008-4
- Quina, M. J., Bordado, J., & Quinta-Ferreira, R. (2011). Air Pollution Control in Municipal Solid Waste Incinerators. Στο K. Mohaned (Επιμ.), *The Impact of Air*

- Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources* (σσ. 331-358). InTech eBooks - ResearchGate. doi:10.5772/17650
- Rakesh, B., & Mahendran, R. (2024, Ιαν). Upcycling of food waste and food loss – A sustainable approach in the food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104274. doi:10.1016/j.tifs.2023.104274
- Rettenberger, G. (2018). Chapter 9.4 - Utilization of Landfill Gas and Safety Measures. Στο R. Cossu, & R. Stegmann (Επιμ.), *Solid Waste Landfilling* (σσ. 463-476). Elsevier eBooks. doi:10.1016/B978-0-12-407721-8.00023-1
- Rizos, V., Tuokko, K., & Behrens, A. (2017, April 08). *The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts*. Ανάκτηση Jan 10, 2024, από European Union - European Circular Economy Stakeholder Platform: [https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/rr2017-08\\_circulareconomy\\_0.pdf](https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/rr2017-08_circulareconomy_0.pdf)
- Robbins, O. (2023, Ιουλ 27). *What Is Upcycled Food & Should You Buy It?* Ανάκτηση Φεβ 12, 2024, από Food Revolution Network: <https://foodrevolution.org/blog/what-is-upcycled-food/>
- Roebuck, A. (2023, Ιουλ 25). *Brown Composting Materials (Everything you Need to Know)*. Ανάκτηση Ιαν 29, 2024, από Help Me Compost (helpmecompost.com): <https://helpmecompost.com/compost/materials/brown-composting-materials/>
- Rollinson, A. (2020, Οκτ 27). *Why pyrolysis and 'plastic to fuels' is not a solution to the plastics problem*. Ανάκτηση Δεκ 10, 2023, από lowimpact.org: <https://www.lowimpact.org/posts/pyrolysis-not-solution-plastics-problem>
- Rollinson, A. N. (2018, Ιουλ 1). Fire, explosion and chemical toxicity hazards of gasification energy from waste. *Journal of loss prevention in the process industries*, 54, 273-280. doi:10.1016/j.jlp.2018.04.010
- Seltenrich, N. (2016, Ιουν 1). Emerging Waste-to-Energy Technologies: Solid Waste Solution or Dead End? *Environmental Health Perspectives (EHP)*, 124(6), A106-A111. doi:10.1289/ehp.124-A106
- Steinitz, L. (2021, Δεκ 29). Transforming Pig's Wash into Health Food: The Construction of Skimmed Milk Protein Powders. (E. Barnett, & K. Moseley, Επιμ.) *Global Food History: Food Waste and Sustainable Eating in Historical Perspective*, 9(3), σσ. 290-323. doi:10.1080/20549547.2021.2010977
- Su, G., Ong, H., Fattah, I., Ok, Y., Jang, J.-H., & Wang, C.-T. (2022, Φεβ 25). State-of-the-art of the pyrolysis and co-pyrolysis of food waste: Progress and challenges. *Science of The Total Environment*, 809, 151170. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.151170
- Sweet, J. (2021, November - December). *The Food Waste Problem*. Ανάκτηση Jan 20, 2024, από Harvard Magazine: <https://www.harvardmagazine.com/2021/10/feature-waste-not>
- Syal, R. (2022, Απρ 21). *Overconsumption is killing the planet. What can we do?* Ανάκτηση Απρ 12, 2024, από Popular Science (www.popsci.com): <https://www.popsci.com/environment/overconsumption-sustainability-climate/>

- Πτυχιακή / Διπλωματική Εργασία 157



- Programme:  
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021, March 4). *UNEP Food Waste Index Report 2021*. Ανάκτηση Jan 18, 2023, από UNEP - UN Environment Programme: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>
- Upcycled Food Association (UFA). (χ.χ.). *About Upcycled Food*. Ανάκτηση Ιαν 29, 2024, από Upcycled Food Association ([upcycledfood.org](http://upcycledfood.org)):  
<https://www.upcycledfood.org/upcycled-food>
- US Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2022, Ιουλ 20). *Obesity is a Common, Serious, and Costly Disease*. Ανάκτηση Δεκ 3, 2023, από Adult Obesity Facts | Overweight and Obesity | CDC:  
<https://www.cdc.gov/obesity/data/adult.html>
- US Department of Agriculture (USDA). (χ.χ.). *Definitions: sustainability and food systems*. Ανάκτηση Jan 10, 2023, από [usda.gov](http://usda.gov):  
<https://www.usda.gov/oce/sustainability/definitions>
- US EPA. (2003). *Fact Sheet: Use of Incineration for Biosolids Management*. Ανάκτηση Φεβ 19, 2024, από US Environmental Protection Agency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)):  
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/use-incineration-biosolids-management-factsheet.pdf>
- US EPA. (2020). *Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet*. Washington DC, USA: United States Environmental Protection Agency (US EPA). Ανάκτηση από [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018\\_ff\\_fact\\_sheet\\_dec\\_2020\\_fnl\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf)
- US EPA. (2021, Ιαν 19). *Food Recovery Hierarchy*. Ανάκτηση Ιαν 20, 2024, από US Environmental Protection Agency ([epa.gov](http://epa.gov)) 19 January 2021 snapshot:  
[https://19january2021snapshot.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy\\_.html](https://19january2021snapshot.epa.gov/sustainable-management-food/food-recovery-hierarchy_.html)
- US EPA. (2023, Ιουν 1). *Anaerobic System Design and Technology*. Ανάκτηση Ιαν 16, 2024, από US EPA ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)): <https://www.epa.gov/agstar/anaerobic-system-design-and-technology>
- US EPA. (2023, Δεκ 12). *Approaches to Composting*. Ανάκτηση Μαρ 10, 2024, από US Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/approaches-composting>
- US EPA. (2023, Οκτ 5). *Basic Information about Anaerobic Digestion*. Ανάκτηση Μαρ 10, 2024, από US Environmental Protection Agency ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)):  
<https://www.epa.gov/anaerobic-digestion/basic-information-about-anaerobic-digestion>
- US EPA. (2023, Οκτ). *Quantifying Methane Emissions from Landfilled Food Waste*. US Environmental Protection Agency (EPA), Office of Research and Development. US EPA. Ανάκτηση Φεβ 10, 2024, από US Environmental Protection Agency ([epa.gov](http://epa.gov)): [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-10/food-waste-landfill-methane-10-8-23-final\\_508-compliant.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-10/food-waste-landfill-methane-10-8-23-final_508-compliant.pdf)

- US EPA. (2023, October 19). *Sustainable Management of Food Basics*. Ανάκτηση Ιαν 18, 2023, από US Environmental Protection Agency (www.epa.gov):  
<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/sustainable-management-food-basics#what>
- US EPA. (2023, Οκτ 30). *Types of Anaerobic Digesters*. (US Environmental Protection Agency ) Ανάκτηση Μαρ 02, 2024, από US EPA (www.epa.gov):  
<https://www.epa.gov/anaerobic-digestion/types-anaerobic-digesters#FarmAD>
- US EPA. (2023, October). *Wasted Food Scale*. Ανάκτηση από www.epa.gov:  
<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/wasted-food-scale>
- US EPA. (2024, Απρ 25). *Basic Information about Landfill Gas*. Ανάκτηση Μαι 5, 2024, από US Environmental Protection Agency (EPA) (www.epa.gov):  
<https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>
- US EPA. (2024, Μαρ 12). *Food Donation Basics*. Ανάκτηση Μαρ 20, 2024, από US Environmental Protection Agency (epa.gov): <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/food-donation-basics>
- US EPA. (2024, Ιαν). *Landfill Gas Energy Project Development Handbook | US EPA*. Ανάκτηση Μαι 5, 2024, από US Environmental Protection Agency (www.epa.gov):  
[https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-01/pdh\\_full.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-01/pdh_full.pdf)
- US EPA. (2024, Φεβ 21). *Municipal Solid Waste Landfills*. Ανάκτηση Μαρ 19, 2024, από US Environmental Protection Agency (www.epa.gov):  
<https://www.epa.gov/landfills/municipal-solid-waste-landfills>
- US EPA. (2024, Φεβ 25). *Preventing Wasted Food At Home*. Ανάκτηση Φεβ 27, 2024, από US EPA (www.epa.gov): <https://www.epa.gov/recycle/preventing-wasted-food-home>
- US EPA. (2024, Μαρ 18). *Waste Reduction Model (WARM)*. Ανάκτηση Απρ 4, 2024, από US Environmental Protection Agency (www.epa.gov): <https://www.epa.gov/warm>
- US EPA. (Sep 2000). *Biosolids Technology Fact Sheet : Land Application of Biosolids*. Washington DC, USA: US Environmental Protection Agency - Office of Water. Ανάκτηση Ιαν 10, 2024, από <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/land-application-biosolids-factsheet.pdf>
- US EPA, OLEM. (2015, Aug 11). *Sustainable Food Management of Food Basics*. Ανάκτηση Jan 17, 2023, από US EPA (www.epa.gov):  
<https://www.epa.gov/sustainable-management-food/sustainable-management-food-basics#why>
- Vuković, A., Velki, M., Ećimović, S., Vuković, R., Čamagajevac, I., & Lončarić, Z. (2021). Vermicomposting - Facts, Benefits and Knowledge Gaps. *Agronomy*, 11(10), 1952. doi:10.3390/agronomy11101952
- Waste Management World (WMW). (2013, Αυγ 28). *Gasification waste to energy plant license revoked in Scotland after fire*. Ανάκτηση Απρ 11, 2024, από WMW (waste-management-world.com): <https://waste-management-world.com/artikel/gasification-waste-to-energy-plant-license-revoked-in-scotland-after-fire/>



- Whitehead, G. (2024, Απρ 26). *Waste-to-Energy Excellence: Landfill Gas Power Plant in Greece*. Ανάκτηση Μαι 12, 2024, από Clarke Energy ([www.clarke-energy.com](http://www.clarke-energy.com)): <https://www.clarke-energy.com/2024/waste-to-energy-landfill-gas-power-plant-greece/>
- Winkler, T., Ostermeir, M., & Hübner, A. (2023, Dec 18). Proactive food waste prevention in grocery retail supply chains – An exploratory study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 53(11), 125-156. doi:<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-12-2022-0383>
- Woods, A. (2019, Νοε 14). *The Renewable Energy "New Kid" Gasification Is Actually 400 Years Old*. Ανάκτηση 15 Φεβ, 2024, από Waste to Energy Systems ([www.wastetoenergysystems.com](http://www.wastetoenergysystems.com)): <https://www.wastetoenergysystems.com/gasification-history/>
- World Economic Forum. (2022, Jun 14). *What is the circular economy, and why does it matter that it is shrinking?*, (updated 2023, March 10). (V. Masterson, & I. Shine, Επιμελητές) Ανάκτηση Jan 10, 2024, από World Economic Forum ([weforum.org](http://weforum.org)): <https://www.weforum.org/agenda/2022/06/what-is-the-circular-economy/>
- World Health Organization (WHO). (2024, Μαρ 1). *Obesity and overweight*. Ανάκτηση Απρ 11, 2024, από [www.who.int](http://www.who.int): <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- WWF-UK. (2021). *Driven to Waste : The Global Impact of Food Loss and Waste on Farms*. World Wild Life (WWF). WWF-UK ([wwf.org.uk](http://wwf.org.uk)). Ανάκτηση Feb 02, 2024, από [https://files.worldwildlife.org/wwfcmssprod/files/Publication/file/6yoepbekgh\\_wwf\\_uk\\_driven\\_to\\_waste\\_the\\_global\\_impact\\_of\\_food\\_loss\\_and\\_waste\\_on\\_farms.pdf](https://files.worldwildlife.org/wwfcmssprod/files/Publication/file/6yoepbekgh_wwf_uk_driven_to_waste_the_global_impact_of_food_loss_and_waste_on_farms.pdf)
- Zafar, S. (2022, September 3). *Waste Management in the Food Processing Industry*. Retrieved from [bioenergyconsult.com](http://bioenergyconsult.com): <https://www.bioenergyconsult.com/waste-management-in-food-processing-industry/>
- Zheng, X., Aborisade, M., Liu, S., Lu, S., Oba, B., Xu, X., . . . Ding, H. (2020, Δεκ 10). The history and prediction of composting technology: A patent mining. *Journal of cleaner production*, 276, 124232. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124232
- Zhou, Y., Xiao, R., Klammersteiner, T., Kong, X., Yan, B., Mihai, F.-C., . . . Awasthi, M. (2022, Σεπ). Recent trends and advances in composting and vermicomposting technologies: A review. *Bioresource Technology*, 360, 127591. doi:10.1016/j.biortech.2022.127591
- Δήμος Ηρακλείου. (2018, Μαρ 6). *A2UFOOD: Ευρεία σύσκεψη για το πρόγραμμα του Δήμου Ηρακλείου που επιλέχτηκε ως το 2ο καλύτερο στην Ευρώπη*. Ανάκτηση Φεβ 19, 2024, από Δήμος Ηρακλείου Κρήτης ([heraclion.gr](http://heraclion.gr)): <https://www.heraklion.gr/municipality/a2ufood/a2ufood-06032018.html>
- Υπουργείο Εσωτερικών. (2021). *A2UFood – Αποτρέψιμα και μη αποτρέψιμα απόβλητα τροφίμων: Μια ολιστική προσέγγιση διαχείρισης για αστικά περιβάλλοντα*. Ανάκτηση Απρ 18, 2024, από Υπουργείο Εσωτερικών - Τμήμα Καινοτομίας ([innovation.gov.gr](http://innovation.gov.gr)): <https://innovation.gov.gr/innovationscat/a2u-food/>

## **Παράρτημα Α: Η διαδικασία της Κομποστοποίησης (Composting process)**

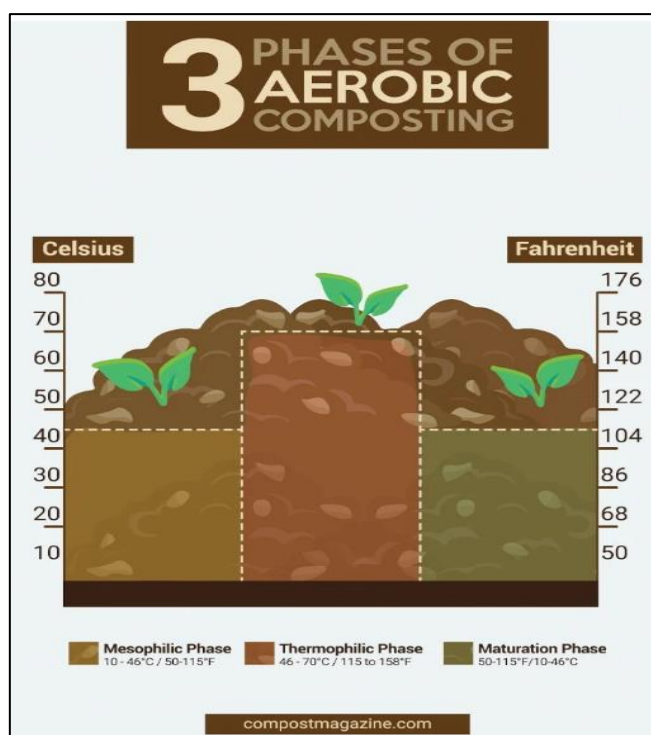
Όπως έχει ήδη ειπωθεί στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο (παρ. 3.1.2.1), η κομποστοποίηση πρόκειται για μία αερόβια φυσική διεργασία αποσύνθεσης οργανικών πρώτων υλών που περιλαμβάνουν απορρίμματα τροφίμων, ξερά φύλλα και μη επεξεργασμένα ξύσματα ξυλείας και είναι ήδη διαχωρισμένα από άλλα συνθετικά υλικά όπως συσκευασίες τροφίμων. Καίτοι η κομποστοποίηση μπορεί να λάβει χώρα σε ένα εύρος περιοχών και διάφορες κλίμακες μεγέθους, οι βασικές αρχές της είναι ίδιες σε κάθε περίπτωση και το τελικό προϊόν είναι ένα είδος σκουρόχρωμου χώματος (κοπρόσωμα ή compost). Παλαιότερα το είδος αυτού του χώματος συχνά αναφερόταν και ως μαυρόχωμα (humus) το οποίο παραδοσιακά είναι ένα σκουρόχρωμο οργανικό υλικό με σπογγώδη υφή, που περιέχει μερικώς αποσυντιθέμενη ύλη φυτικής και ζωικής προέλευσης. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι το humus χρειάζεται χρόνια ή ακόμη και αιώνες για να αποσυντεθεί από μικροοργανισμούς, ενώ σύμφωνα με άλλες πηγές το ίδιο το humus αποτελεί πηγή πολύτιμων θρεπτικών συστατικών για τους ίδιους τους μικροοργανισμούς. Το ίδιο το humus υποτίθεται ότι σχηματίζεται χημικά από εκτενή και πολύ ανθεκτικά μόρια άνθρακα που δεν διασπώνται, ωστόσο όταν οι επιστήμονες μελετούν τη σύνθεση του απλού χώματος ή χώματος που προέρχεται από κομποστοποίηση (compost) δεν διακρίνουν αυτού του είδους τα μόρια και έτσι αυτό έχει οδηγήσει ορισμένους επιστήμονες και μελετητές να ανακηρύξουν το «θάνατο του humus». (Compost Magazine, 2023) Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικό να μην συγχέεται το μαυρόχωμα (humus) με το χώμα που προέρχεται από κομποστοποίησης (compost), ούτε και να αποδίδονται στο τελευταίο «μυθικές» ιδιότητες ως υπερ-λίπασμα.

Η κομποστοποίηση συνήθως είναι αερόβια και απαιτεί συγκεκριμένη αναλογία άνθρακα και αζώτου, καθώς και ικανή ποσότητα οξυγόνου. Σε διαφορετική περίπτωση (όπως συμβαίνει στους χώρους υγειονομικής ταφής ή σε κάποιο οικιακό σωρό μέσα σε κάδο), όταν δεν υπάρχουν ιδανικές συνθήκες η αποσύνθεση γίνεται αναερόβια, αναδύοντας συχνά δυσάρεστη οσμή. Η αερόβια κομποστοποίηση έχει σαφώς πλεονεκτήματα σε σχέση με την αναερόβια γιατί είναι γρηγορότερη, δεν ευνοεί τη δημιουργία δυσάρεστης οσμής που συνήθως οφείλεται στην παραγωγή αμμωνίας, λαμβάνει χώρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και έτσι δεν ευνοεί ιδιαίτερα την ανάπτυξη παθογόνων οργανισμών και γενικά παράγει διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και όχι μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) σε σχέση με τις αναερόβιες μορφές αποσύνθεσης, με αποτέλεσμα να είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον.

Αναφερόμενοι στην συνέχεια στις διεργασίες της κομποστοποίησης θα εννοούμε την αερόβια κομποστοποίηση.

## Στάδια κομποστοποίησης και χημικές διεργασίες

Οι κομποστοποίηση διακρίνεται σε τρεις (3) φάσεις / στάδια, που λαμβάνουν χώρα σε διαφορετική θερμοκρασία και στις οποίες εμπλέκονται διαφορετικές κατηγορίες βακτηρίων που διασπούν την οργανική πρώτη ύλη : Το μεσοφιλικό (mesophilic), το θερμοφιλικό (thermophilic) και το στάδιο ωρίμανσης (maturing stage), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9: Οι 3 Φάσεις της Κομποστοποίησης

### Μεσοφιλικό Στάδιο

Στη φάση αυτή κυριαρχούν τα μεσοφιλικά βακτήρια, δηλαδή μικροοργανισμοί όπως μερικά είδη βακτηρίων, μυκήτων και αρχαίων ή αρχαιοβακτηρίων (archaea).<sup>41</sup> Εδώ, ο σωρός

<sup>41</sup> Αποτελούν μέρος μίας οικογένειας που αποτελείται από μονοκύτταρους οργανισμούς χωρίς κυτταρικούς πυρήνες. Καίτοι αρχικά ταξινομήθηκαν ως βακτήρια (και ονομάστηκαν αρχαιοβακτήρια), οι μοναδικές τους ιδιότητες που αφορούν στην ικανότητα τους να αντέχουν σε πολύ όξινο, αλμυρό και εξαιρετικά θερμό περιβάλλον (κάποια αρχαία έχουν επιβιώσει σε θερμοκρασίες 87 °C αλλά και όξινο περιβάλλον της τάξης του 0,9 PH), τα έχουν διαχωρίσει από τα σύγχρονα βακτήρια και έτσι έχει εγκαταλειφθεί πλέον η ονομασία αρχαιοβακτήρια για τον πιο δόκιμο όρο αρχαία. Άλλη μοναδική ιδιότητα που έχουν μόνο διάφοροι τύποι αρχαίων είναι αυτή της μεθανογένεσης, ήτοι: μορφή αναερόβιας αναπνοής που παράγει μεθάνιο. (BNO Team, 2024).

κομποστοποίησης αρχίζει να θερμαίνεται καθώς οι παραπάνω μικροοργανισμοί παράγουν θερμότητα (Compost Magazine, 2023). Η συγκεκριμένη φάση που διαρκεί από 2 έως 4 ημέρες, ονομάζεται και θερμή φάση (hot phase) ξεκινά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε μικρό χρονικό διάστημα που μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ώρες έως και λίγες ημέρες, η θερμοκρασία του σωρού ανεβαίνει στους 45°C. Η μεταβολική δραστηριότητα των διαφόρων μικροοργανισμών στο σωρό κομποστοποίησης αφορά στην αφομοίωση του αζώτου (N) και του άνθρακα (C) από την οργανική ύλη, αλλά και την αποσύνθεση διαλυτών ενώσεων όπως ζάχαρα. Το τελευταίο παράγει οργανικά οξέα και για το λόγο αυτό το PH πέφτει περίπου στο 4.5 έως 4 δημιουργώντας ένα σχετικά όξινο περιβάλλον. (Meena, Karwal, Dutta, & Mishra, 2021). Γενικά, για τη διάσπαση των οργανικών πρώτων υλών στο σωρό κομποστοποίησης, οι διάφοροι μικροοργανισμοί συμμετέχουν σε χημικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν την οξείδωση και πιο συγκεκριμένα την προσθήκη οξυγόνου στο άνθρακα (οξείδωση του άνθρακα) που παράγει διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Η συγκεκριμένη χημική διεργασία παράγει μεγάλη θερμότητα και σύμφωνα με εκτιμήσεις του Πανεπιστημίου της Πολιτείας της Washington, για κάθε γραμμάριο γλυκόζης που επεξεργάζεται σε ένα σωρό κομποστοποίησης, απελευθερώνονται 484 έως 674 θερμίδες (Kcal). (Compost Magazine, 2023).

### **Θερμοφιλικό Στάδιο**

Στη φάση αυτή, η θερμοκρασία του σωρού κομποστοποίησης αυξάνεται και τα θερμοφιλικά βακτήρια επικρατούν. Η θερμοφιλική φάση που συχνά ονομάζεται θεραπευτική ή υγιεινή φάση (curing, hygienization phase) ευνοεί την ανάπτυξη των θερμοφιλικών μικροοργανισμών που είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί στις υψηλές σχετικά θερμοκρασίες αυτής της φάσης (46 – 70 °C) και οι οποίοι διευκολύνουν τη διάσπαση σύνθετης οργανικής ύλης όπως η κυτταρίνη και η λιγνίνη. Επιπρόσθετα, η μετατροπή του αζώτου σε αμμωνία ανεβάζει το PH στη σωρό κομποστοποίησης οδηγώντας σε ένα αλκαλικό περιβάλλον (το αντίθετο σε σχέση με το όξινο της προηγούμενης φάσης). Σε θερμοκρασίες πάνω από του 60 °C, αναπτύσσονται βακτήρια που παράγουν σπόρια και ακτινοβακτήρια που διασπούν κηρία, ημικυτταρίνες και άλλες ενώσεις που βασίζονται στον άνθρακα. Τέλος οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες καταστρέφουν μολύνσεις και επιβλαβή βακτήρια κοπράνων όπως: *Escherichia coli*, *Salmonella* sp, κύστες και αυγά από παρασιτικούς σκώληκες Έλμινθου, φυτοπαθογόνους μύκητες και διευκολύνουν την καταστροφή παθογόνων σπορίων από

μύκητες και ζιζάνια, συντελώντας έτσι στην εξυγίανση του σωρού κομποστοποίησης. (Meena, Karwal, Dutta, & Mishra, 2021).

### **Στάδιο ωρίμανσης**

Πριν το συγκεκριμένο στάδιο και αφού χρησιμοποιηθεί ο διαθέσιμος άνθρακας και άζωτο από τις πρώτες ύλες του σωρού κομποστοποίησης, η θερμοκρασία αρχίζει και πάλι να μειώνεται στους 40-45 °C επαναφέροντας την μεσοφιλική φάση. Έτσι συνεχίζεται η διάσπαση πολυμερών ενώσεων όπως η κυτταρίνη και ορισμένες αποικίες μυκήτων γίνονται ορατές με γυμνό μάτι. Καθώς η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 40 °C, αρχίζει ξανά η δραστηριότητα των μεσοφιλικών μικροοργανισμοί και το PH αρχίζει να πέφτει καίτοι το γενικό περιβάλλον του σωρού παραμένει αλκαλικό. Αυτή η ενδιάμεση φάση πριν το στάδιο ωρίμανσης χρειάζεται αρκετές εβδομάδες και πολλές φορές συγχέεται με το στάδιο ωρίμανσης. Το τελευταίο χαρακτηρίζεται από πτώση της θερμοκρασίας στη σωρό κομποστοποίησης που τη φέρνει στα επίπεδα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά επίσης χαρακτηρίζεται και από συμπύκνωση των ανθρακούχων ενώσεων και πολυμερισμό που βοηθά στη σύνθεση φουλβικού και χουμικού οξέος. (Meena, Karwal, Dutta, & Mishra, 2021). Στο στάδιο ωρίμανσης, ακόμη πιο σύνθετη και ανθεκτική οργανική ύλη αποσυντίθεται με τη βοήθεια μεγαλύτερων φυσικών αποσυνθετών όπως σκουλήκια, γυμνοσάλιαγκες και σαλιγκάρια.

### **Οι μικροοργανισμοί, οι ιοί και οι φυσικοί αποσυνθέτες**

#### **Οι μικροοργανισμοί**

Όπως έχει γίνει αντιληπτό, τα βακτήρια που είναι μικροσκοπικοί μονοκύτταροι οργανισμοί, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην κομποστοποίηση. Καίτοι δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, εργάζονται σε σωρούς κομποστοποίησης σε τεράστιες συγκεντρώσεις, καθώς εκτιμάται ότι ποσότητα εδάφους στο μέγεθος μπιζελιού μπορεί να περιέχει έως και 1 δισεκατομμύριο βακτήρια. Πέρα από τους διάφορους τύπους βακτηρίων που ευδοκιμούν σε διαφορετικό περιβάλλον θερμότητας κατά τις φάσεις της κομποστοποίησης, οι ακτινομύκητες και οι μύκητες παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη σωρό κομποστοποίησης γιατί διασπών σύνθετα και ανθεκτικά οργανικά υλικά που δεν μπορούν να διασπάσουν τα βακτήρια. (Compost Magazine, 2023).

## **Οι ιοί**

Αν και ο ρόλος των βακτηρίων στην ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών στα χερσαία οικοσυστήματα είναι γνωστός, λιγότερο κατανοητός είναι ο ρόλος των ιών στους σωρούς κομποστοποίησης. Πρόσφατες μελέτες σε κομποστοποίηση βιομηχανικής κλίμακας και σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που φτάνουν τους 90 °C, έδειξαν ότι καθώς ο πληθυσμός των βακτηρίων στη σωρό κομποστοποίησης αυξανόταν, ανάλογα αυξανόταν και ο αριθμός των ιών που στόχευε τα συγκεκριμένα βακτήρια, ενώ όταν η αναλογία ιών στα βακτήρια ήταν υψηλή, αναλόγως υψηλή ήταν και η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από τις οργανικές πρώτες ύλες, αποδεικνύοντας ότι οι ιοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του όλου οικοσυστήματος στην κομποστοποίηση. Περαιτέρω, παρατηρήθηκε ότι ιοί DNA διευκόλυναν τη διάσπαση των βακτηρίων και τη χρήση των γονιδίων που περιείχαν τα βακτήρια για να επεξεργαστούν άνθρακα και θρεπτικά συστατικά και να υποβοηθήσουν με αυτό τον τρόπο την ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων στη σωρό κομποστοποίησης. Τέλος, η πιο αξιοσημείωτη παρατήρηση στην παραπάνω μελέτη είναι και το γεγονός ότι δεν ήταν όλοι οι ιοί βλαβεροί για τα βακτήρια, καθώς μερικοί ουσιαστικά βελτίωσαν την ανθεκτικότητα συγκεκριμένων βακτηρίων σε αντίξοες συνθήκες. Τελικά, η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι οι ιοί είναι σημαντικοί στο βιοχημικό κύκλο της κομποστοποίησης και ίσως θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και ως μετρητές της ομαλής λειτουργίας που συντελείται σε μία σωρό κομποστοποίησης, δίνοντας τη δυνατότητα σε μεγάλα βιοτεχνολογικά και αγροτικά συστήματα κομποστοποίησης να βελτιστοποιήσουν την απόδοσή τους. (Hanpeng, και συν., 2023).

## **Οι φυσικοί αποσυνθέτες**

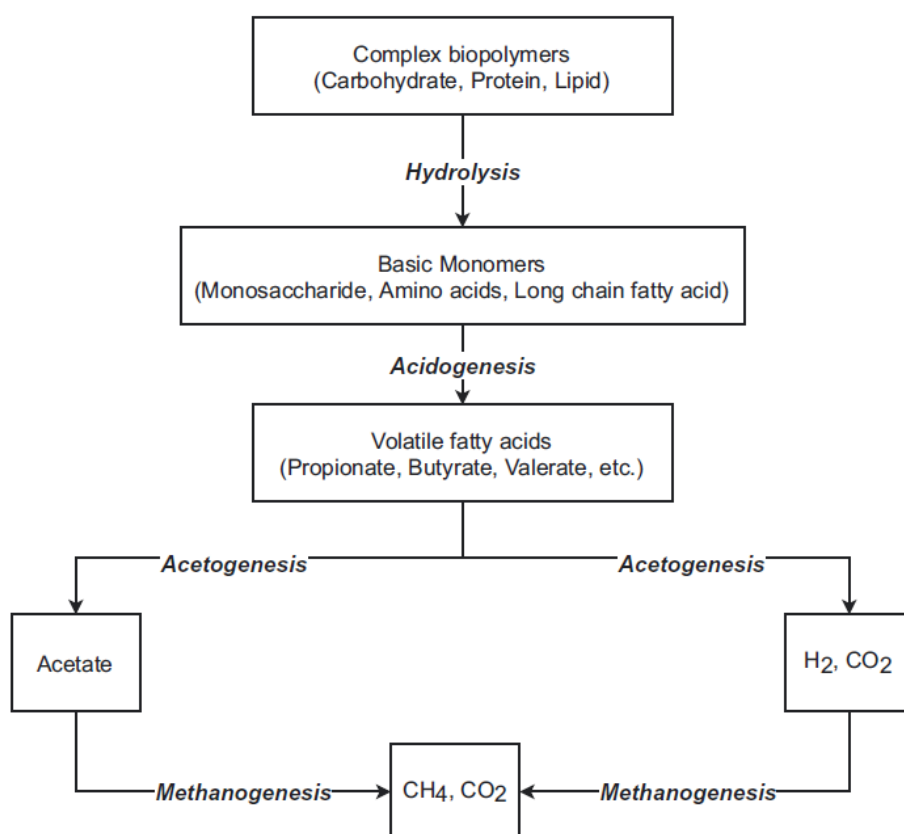
Τα βακτήρια σε μια σωρό κομποστοποίησης συνήθως προσελκύουν μεγαλύτερους οργανισμούς που τα βλέπουν ως τροφή, ενώ με τη σειρά τους αυτοί οι οργανισμοί προσελκύουν για τους ίδιους λόγους άλλους μεγαλύτερους σε μέγεθος. Όλοι αυτοί οι οργανισμοί ονομάζονται αποσυνθέτες και διακρίνονται σε πρωτεύοντες, δευτερεύοντες και τριτογενείς καταναλωτές. Οι πρωτεύοντες καταναλωτές περιλαμβάνουν τόσο τα ίδια τα βακτήρια, όσο και μεγαλύτερους οργανισμούς όπως σκουλήκια, γυμνοσάλιαγκες και σαλιγκάρια που τρώνε το φυτικό υλικό. Οι δευτερεύοντες καταναλωτές είναι οργανισμοί που τρέφονται με τους πρωτεύοντες και οι τριτογενείς ακόμη μεγαλύτεροι οργανισμοί που τρέφονται με δευτερεύοντες καταναλωτές και με όμοιους τους οργανισμούς. Έτσι δευτερεύοντες καταναλωτές όπως τα νηματοειδή (μικροσκοπικά σκουλήκια), τρέφονται με



βακτήρια, αντίστοιχα μύκητες καταναλώνουν τα ελατήρια (επίσης μικρά σκουλήκια) και με τη σειρά τους καταναλώνονται από σαρανταποδαρούσες και ψευδοσκορπιούς. Αντίστοιχα σκαθάρια, σαρανταποδαρούσες και άλλα πολύποδα αποτελούν τροφή για μεγαλύτερους οργανισμούς όπως τα επίπεδα γαιοσκώληκα. Πολλά από τα είδη μεγαλύτερων σε μέγεθος τέτοιων οργανισμών (όπως τα σκουλήκια, οι ξυλόψειρες, οι γυμνοσάλιαγκες και τα σαλιγκάρια) είναι αρκετά μεγάλα και ορατά σε γυμνό μάτι και όσο αποκρουστικά και αν φαίνονται είναι πολύ σημαντικά στο οικοσύστημα της κομποστοποίησης. Ειδικά τα σκουλήκια είναι ιδιαίτερα σημαντικά γιατί αφενός δημιουργούν σήραγγες στη σωρό κομποστοποίησης και έτσι επιτρέπουν την καλή οξυγόνωση της, αφετέρου μέσω της χώνευσης που κάνουν σε οργανικό υλικό με το οποίο τρέφονται, εμπλουτίζουν το παραγόμενο χώμα από την κομποστοποίηση με ορμόνες, ένζυμα και προϊόντα οργανικών ζυμώσεων τα οποία είναι εξαιρετικά ωφέλιμα ως λίπασμα. (Compost Magazine, 2023).

## Παράρτημα Β: Η διαδικασία της Αναερόβιας Χώνευσης (Anaerobic Digestion, AD)

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης μέσα σε ένα αναερόβιο χωνευτή μετατρέπει την και βιομάζα που εισάγεται σε αυτόν ως πρώτη ύλη σε βιοαέριο, για το λόγο αυτό συχνά οι αναερόβιοι χωνευτές ονομάζονται και αναερόβιοι αντιδραστήρες. (US EPA, 2023). Μέσα στους αναερόβιους χωνευτές λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά στάδια, διάφορες βιοχημικές διεργασίες κατά τις οποίες τα σύνθετα πολυμερή της βιομάζας, διασπώνται με τη βοήθεια διαφόρων μικροοργανισμών σε ένα αέριο μίγμα που περιέχει κυρίως μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Οι βιοχημικές αυτές αντιδράσεις χωρίζονται σε τέσσερις (4) διακριτές φάσεις / στάδια: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την ακετογένεση και την μεθανογένεση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 28: Οι φάσεις της αναερόβιας χώνευσης (Uddin & Wright, 2022)

## Φάσεις της αναερόβιας χώνευσης

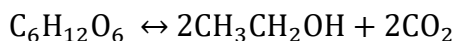
### Φάση της υδρόλυσης (Hydrolysis)

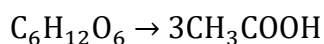
Αποτελεί την 1<sup>η</sup> φάση της αναερόβιας χώνευσης και κατά τη διάρκεια της, νερό και εξωκυτταρικά, υδρολυτικά ένζυμα, διασπούν σύνθετα βιοπολυμερή όπως την κυτταρίνη, το άμυλο και τις πρωτεΐνες, μετατρέποντας σε πιο απλές μονάδες (μονομερή ή ολιγομερή) όπως η γλυκόζη, τα λιπαρά οξέα και τα αμινοξέα, με μία χημική αντίδραση που περιγράφεται από την εξίσωση:  $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 + nH_2$

Τα υδρολυτικά ένζυμα γενικά περιέχουν αμυλάση, κυτταρινάση, προτεάση και πηκτινάση και σε ένα τέτοιο περιβάλλον η ανάπτυξη υδρολυτικών βακτηρίων είναι ραγδαία. Ωστόσο, σε υποστρώματα πλούσια σε λιγνίνη η όλη αντίδραση περιορίζεται σημαντικά. Καίτοι σε αυτό το στάδιο αρκετά συστατικά είναι έτοιμα να μετατραπούν σε βιοαέριο, τα περισσότερα απαιτούν περαιτέρω διάσπαση που λαμβάνει χώρα σε επόμενα στάδια. (Uddin & Wright, 2022)

### Φάση της οξεογένεσης (Acidogenesis)

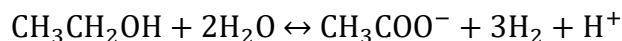
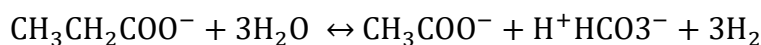
Όπως υποδηλώνει το όνομα της υπόψη φάσης, εδώ τα προϊόντα της υδρόλυσης, μετατρέπονται σε οξέα. Κατά τη φάση αυτή, όξινα (ή οξεογόνα) βακτήρια που ευνοούνται από το όξινο περιβάλλον, διασπούν τα προϊόντα της υδρόλυσης κυρίως σε : ευαίσθητα λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acid, VFA) με μικρή χημική αλυσίδα (οξικό, προπιονικό, μυρμηγκικό και γαλακτικό οξύ), αλκοόλες όπως η αιθανόλη και η μεθανόλη και κετόνες (γλυκερόλη και ακετόνη). Επίσης ως υποπροϊόντα του σταδίου αυτού παράγονται και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), υδρογόνο ( $H_2$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ), αλκοόλες και μικρές ποσότητες από άλλες χημικές ενώσεις όπως τα οξικά άλατα (ακετάτες). Ορισμένα από τα παραγόμενα προϊόντα όπως το  $CO_2$  και το  $H_2$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα από τους μεθανογενείς μικροοργανισμούς για την παραγωγή μεθανίου, άλλες ενώσεις όμως απαιτούν περαιτέρω διάσπαση. Η οξεογένεση είναι γενικά μία διαδικασία που λαμβάνει χώρα με μεγάλη ταχύτητα και ενέχει το ρίσκο υψηλής συγκέντρωσης λιπαρών οξέων μέσα στον αναερόβιο χωνευτή. Το τελευταίο δύναται να οδηγήσει σε υψηλή τοξικότητα του χωνευτή εάν δεν υπάρξει κατάλληλος έλεγχος της διαδικασίας. Οι χημικές αντιδράσεις της οξεογένεσης φαίνονται στις παρακάτω χημικές εξισώσεις:





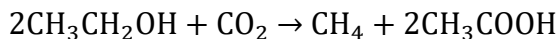
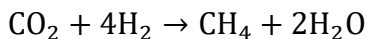
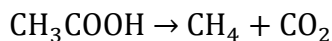
### Φάση της ακετογένεσης (Acetogenesis)

Κατά τη φάση αυτή, ακετογόνα βακτήρια, μετατρέπουν τα προϊόντα της προηγούμενης φάσης της οξεογένεσης, καθώς και μερικά από λιπαρά οξέα με μεγάλες χημικές αλυσίδες από τη φάση της υδρόλυσης σε οξικά άλατα (acetes), διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ). Οι αντιδράσεις στη φάση της ακετογένεσης δεν είναι θερμοδυναμικά αυθόρμητες εάν η μερική πίεση του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από  $10^{-4}$  ατμόσφαιρες (atm). Ωστόσο, τα διάφορα μεθανογόνα βακτήρια (δηλαδή βακτήρια που παράγουν μεθάνιο) που καταναλώνουν μέρος από το παραγόμενο υδρογόνο, μειώνουν την μερική του πίεση και έτσι η αντίδραση είναι θερμοδυναμικά εφικτή. Αυτή η μεταφορά  $\text{H}_2$  μεταξύ διαφορετικών ειδών βακτηρίων είναι συνώνυμη με την μεταφορά ηλεκτρονίων, καθώς το  $\text{H}_2$  είναι ουσιαστικά ένα πρωτόνιο ( $\text{H}^+$ ) με ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο. Ο ρυθμός αυτής της μεταφοράς ηλεκτρονίων επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό της διαδικασίας χώνευσης. Οι παρακάτω εξισώσεις περιγράφουν τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στη φάση της ακετογένεσης (Uddin & Wright, 2022) :



### Φάση της μεθανογένεσης (Acetogenesis)

Στο τελευταίο στάδιο των βιοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια χώνευση, παράγεται μεθάνιο από μεθανογόνους μικροοργανισμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη όλα τα ενδιάμεσα παραγόμενα προϊόντα από τις προηγούμενες φάσεις. Η συγκεκριμένη φάση γίνεται αυστηρά σε αναερόβιες συνθήκες, γιατί τα συγκεκριμένα μεθανογόνα βακτήρια και μικροοργανισμοί γενικά που εμπλέκονται δεν μπορούν να επιβιώσουν υπό την παρουσία οξυγόνου. Στη φάση αυτή, οι ακετάτες ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) και το υδρογόνο ( $\text{H}_2$ ) μέσα στον αναερόβιο χωνευτή, μετατρέπονται τελικά σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) από διαφορετικές οικογένειες βακτηρίων όπως τα ακετοφυλικά και τα υδρογονοφυλικά. Τα ακετοφυλικά μετατρέπουν τις ακετάτες σε μεθάνιο και υδρογόνο, ενώ τα υδρογονοφυλικά μετατρέπουν το υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο. Οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι οι παρακάτω (Uddin & Wright, 2022) :



### **Παράγοντες που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση**

Οι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στις βιοχημικές διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης είναι ευαίσθητοι σε μια σειρά παραμέτρων που σχετίζονται με τις συνθήκες υπό τις οποίες γίνεται η αναερόβια χώνευση. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, το PH, ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης (Organic Loading Rate, OLR), ο χρόνος υδραυλικής κατακράτησης (Hydraulic Retention Time, HRT) και η αναλογία άνθρακα και αζώτου (C/N). Έτσι ανάλογα με τις ιδιότητες της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη αλλά και του περιβάλλοντος στο οποίο συντελείται η αναερόβια χώνευση, η βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων καθορίζει την αποδοτικότητα και την ταχύτητα της όλης διαδικασίας.

#### **Θερμοκρασία**

Οι δύο βασικές ζώνες θερμοκρασιών που χρησιμοποιούνται στην αναερόβια χώνευση είναι 55 – 60 °C και 35 – 40 °C. Η πρώτη ζώνη (55 – 60 °C) χαρακτηρίζεται ως θερμοφιλική και σε αυτήν ευνοείται η λειτουργία των θερμοφιλικών βακτηρίων που είναι ανθεκτικά σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. Η αναερόβια χώνευση σε τέτοιο εύρος θερμοκρασίας χαρακτηρίζεται θερμοφιλική και τα πλεονεκτήματά της είναι ότι παράγει βιοαέριο σε υψηλότερους ρυθμούς, αυξάνει το ρυθμό διάσπασης της βιομάζας (και έτσι μειώνει το χρόνο υδραυλικής κατακράτησης) και παράγει χωνεμένο υπόλειμμα (digestate) υψηλότερης ποιότητας και με λιγότερους παθογόνους οργανισμούς. Μειονεκτήματα της θερμοφιλικής χώνευσης είναι το γεγονός ότι απαιτεί περισσότερη ενέργεια (για τη θέρμανση του χωνευτή) και το γεγονός ότι η διαδικασία είναι συχνά ασταθής.

Η αναερόβια χώνευση σε εύρος θερμοκρασιών 35 – 40 °C, χαρακτηρίζεται ως μεσοφιλική και τα αντίστοιχα βακτήρια που εμπλέκονται (μεσοφιλικά) έχουν προφανώς μικρότερη ανοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Παρόλο που η μεσοφιλική χώνευση παράγει μικρότερες ποσότητες βιοαερίου από τη θερμοφιλική και το υπόλειμμα της χώνευσης περιέχει περισσότερους παθογόνους οργανισμούς, είναι η μέθοδος χώνευσης που χρησιμοποιείται στους περισσότερους εμπορικούς αναερόβιους χωνευτές γιατί παρέχει σταθερότερη λειτουργία και μικρότερο λειτουργικό κόστος. (Uddin & Wright, 2022)

### **Οργανικός ρυθμός φόρτωσης (Organic Loading Rate, OLR)**

Ο δείκτης OLR περιγράφει το ρυθμό εισαγωγής οργανικού υλικού σε ένα χωνευτή ανά μονάδα όγκου του χωνευτή και δίνεται από το λόγο:  $OLR = (Q * COD) / V$ , όπου: Q είναι ο ρυθμός φόρτωσης σε κυβικά μέτρα ανά ημέρα ( $m^3 / day$ ), COD είναι η απαίτηση χημικού οξυγόνου (Chemical Oxygen Demand, COD)<sup>42</sup> σε κιλά ανά κυβικό μέτρο ( $kg COD / m^3$ ) και V είναι ο όγκος του χωνευτή σε κυβικά μέτρα ( $m^3$ ). Ο δείκτης OLR εξαρτάται από τη συγκέντρωση της οργανικής ύλης υποστρώματος και ο βέλτιστος ρυθμός καθορίζεται πειραματικά καθώς υψηλότερο OLR από το βέλτιστο μπορεί να ανεβάσει την τοξικότητα του χωνευτή και να μειώσει τις διεργασίες που δημιουργούν μεθάνιο, ενώ χαμηλότερο OLR από το βέλτιστο μειώνει την παραγωγή βιοαερίου. (Uddin & Wright, 2022)

### **Χρόνος υδραυλικής κατακράτησης (Hydraulic Retention Time, HRT)**

Ο συγκεκριμένος χρόνος ορίζει την μέση διάρκεια που το υπόστρωμα παραμένει στον χωνευτή. Γενικά, τα υποστρώματα βιομάζας θα πρέπει να παραμένουν μέσα στον αναερόβιο χωνευτή για ικανό χρόνο, προκειμένου να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή μετατροπή των οργανικών υλικών σε βιοαέριο. Ωστόσο, μεγαλύτερος χρόνος HRT απαιτεί και μεγαλύτερους σε μέγεθος χωνευτές και αυτό αυξάνει το κεφαλαιακό κόστος του χωνευτή. Γενικά η σχέση του όγκου που πρέπει να έχει ένας χωνευτής σε σχέση με το HRT δίνεται από τον τύπο: Όγκος Χωνευτή ( $m^3$ ) = HRT (ημέρα) \* ρυθμός εισαγωγής υποστρώματος ( $m^3 / ημέρα$ ). (Uddin & Wright, 2022)

### **Αναλογία άνθρακα / αζώτου (C/N ratio)**

Ενώ ο άνθρακας (C) αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς, το άζωτο (N) είναι απαραίτητο στην ανάπτυξη και στον μεταβολισμό τους. Χαμηλή αναλογία C/N οδηγεί σε μεγαλύτερη συγκέντρωση N που θα μετατραπεί σε υπερβολική ποσότητα αμμωνίας ( $NH_3$ ). Η υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας ανεβάζει την αλκαλικότητα του χωνευτή και αναστέλλει στη διαδικασία της χώνευσης με αποτέλεσμα την μείωση παραγωγής βιοαερίου. Από την άλλη, υψηλή αναλογία C/N σημαίνει έλλειψη N στο υπόστρωμα και αυτό θα οδηγήσει στην άμεση κατανάλωση του με αποτέλεσμα να μην μένει ικανή ποσότητα N για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών και την ανάπτυξή τους. Η βέλτιστη αναλογία C/N στους περισσότερους αναερόβιους χωνευτές κυμαίνεται από 20 έως 30 και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βιομάζας που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη.

---

<sup>42</sup> Το COD αποτελεί ένα μέτρο περιεκτικότητας σε οργανική ύλη οποιουδήποτε υποστρώματος.



Για την επίτευξη ή αποκατάσταση της βέλτιστης αναλογίας, συχνά οι αναερόβιοι χωνευτές τροφοδοτούνται με υλικά πλούσια σε C ή N. (Uddin & Wright, 2022)

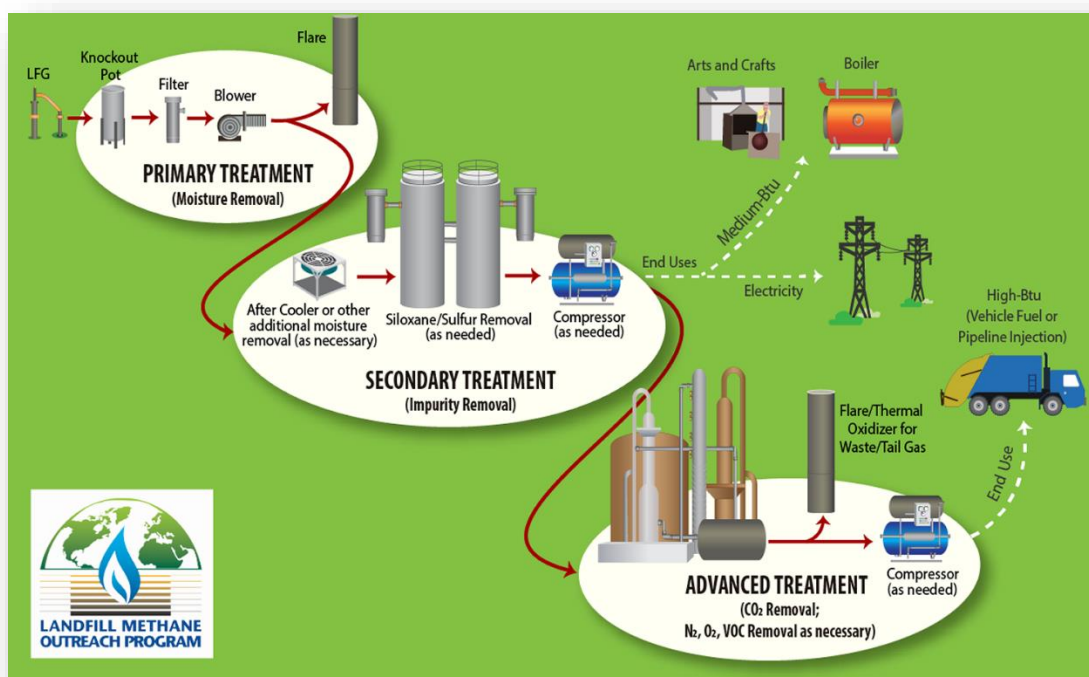
### **Τιμή pH**

Το pH εκφράζει ποσοτικά τη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου ενός διαλύματος με βάση τον τύπο:  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . Επειδή η συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου στα διαλύματα συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1 και  $10^{-14}$  ανάλογα του γραμμαρίου ανά λίτρο, το pH παίρνει τιμές από 0 έως 14. Επειδή το καθαρό νερό σε κανονική θερμοκρασία είναι ουδέτερο (ούτε όξινο, ούτε αλκαλικό) και έχει  $\text{pH} = 7$ , η τιμή 7 του pH χαρακτηρίζει ένα ουδέτερο διάλυμα. Έτσι στην κλίμακα του pH 0 – 14, τα διαλύματα με τιμές μικρότερες του 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα (με την οξύτητα να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στο 0) και αυτά με τιμές μεγαλύτερες του 7 χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά (με την αλκαλικότητα να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε στο 14). (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998).

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί προτιμούν ουδέτερο pH και οι μεθανογενείς έχουν τη μεγαλύτερη απόδοσή τους σε μεθάνιο κοντά σε ουδέτερες τιμές pH. Σε έναν αναερόβιο χωνευτή, τα υδρολυτικά και οξινογενή βακτήρια στις αντίστοιχες φάσεις της υδρόλυσης και οξεογένεσης αποδίδουν καλύτερα σε τιμές pH μεταξύ του 5.5 και 6.5. Αντίστοιχα τα ακετογενή βακτήρια είναι περισσότερο ανθεκτικά σε μεγαλύτερες τιμές pH. Τα παραπάνω καθιστούν τη διατήρηση μίας βέλτιστης τιμής pH για όλους τους τύπους βακτηρίων μέσα σε ένα αναερόβιο χωνευτή δύσκολη υπόθεση και τα πράγματα γίνονται ακόμη περισσότερο δυσχερή όταν η πρώτη ύλη των υποστρωμάτων (βιομάζα) είναι μικτής σύνθεσης όπως συμβαίνει στην περίπτωση των λυμάτων (πχ. ίζημα αστικών λυμάτων). (Uddin & Wright, 2022).

## Παράρτημα Γ: Μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας και χρήσης αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής (Land Fill Gas, LFG)

Οι επιλογές ανάκτησης αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής<sup>43</sup> το οποίο είναι γνωστό και ως LFG, χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες: την παραγωγή ηλεκτρισμού, την απευθείας χρήση αερίου (Btu Gas) και την παρασκευή ανανεώσιμου φυσικού αερίου (Renewable Natural Gas, RNG), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 10: Οι μέθοδοι ανάκτησης ενέργειας από αέριο χώρων υγειονομικής ταφής (LFG)

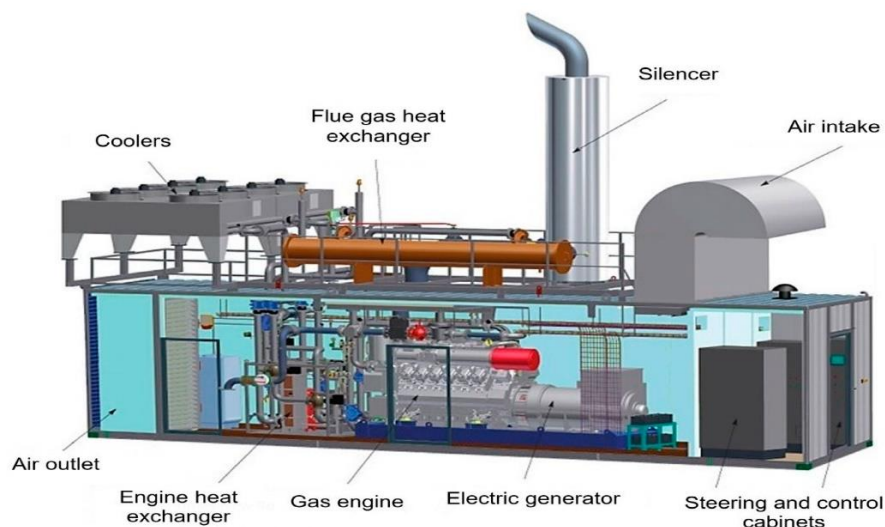
### Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Περίπου το 64% των ενεργειακών προγραμμάτων για χρήση LFG στις ΗΠΑ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. (US EPA, 2024). Η Μετατροπή του LFG σε ηλεκτρισμό γίνεται με τη χρήση διαφόρων τεχνολογιών που κυμαίνονται από τους απλούς παλινδρομικούς κινητήρες, έως τους αεροστροβίλους (τουρμπίνες).

<sup>43</sup> Οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων αναφέρονται στη βιβλιογραφία συχνά με ακρωνύμιο ΧΥΤΑ στα ελληνικά.

### Παλινδρομικοί κινητήρες (Reciprocating Piston Engines, RP Engine)

Όπως υποδηλώνει το όνομά τους οι κινητήρες αυτοί δουλεύουν με παλινδρομική κίνηση εμβόλων και αποτελούν μία απλή μορφή κινητήρα εσωτερικής καύσης με χαμηλό κόστος, σχετικά μικρό μέγεθος και καλή σχετικά απόδοση που κυμαίνεται στο 30 – 40% όταν χρησιμοποιείται LFG, ενώ μπορούν η εγκατάστασή τους μπορεί εύκολα να επεκταθεί (προσθήκη περισσότερων κινητήρων) ή να μειωθεί ανάλογα με τις ανάγκες και την παραγωγή αερίου στην τοποθεσία. Γενικά αυτό το είδος κινητήρων είναι το πιο συνηθισμένο στις ΗΠΑ, χρησιμοποιείται στο 70% των χώρων υγειονομική ταφής (με στοιχεία του 2021). Τέτοιοι κινητήρες γενικά χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου η ποσότητα του εξαγόμενου LFG επιτρέπει παραγωγή 800 kW – 3 MW πράγμα που μεταφράζεται σε ροή LFG της τάξης των 300 – 1100 κυβικών ποδών το λεπτό (cfm), περιεκτικότητας 50% σε μεθάνιο. Ακόμη μεγαλύτερη απόδοση υπάρχει όταν μαζί με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος παράγεται μαζί (συμπαράγωγή) ή καλύτερα ανακτάται η θερμική ενέργεια από τα συστήματα ψύξης των κινητήρων αυτών για να θερμάνει νερό ή να δημιουργήσει μέσω της εξαγωγής καυτών καυσαερίων ατμό χαμηλής πίεσης. Το τυπικό κόστος συνολικό κόστος (αγορά, λειτουργία, ετήσια συντήρηση) τέτοιων κινητήρων με απόδοση μεγαλύτερη από 800 kW είναι περίπου \$ 2.300 / kW (US EPA, 2024). Αυτού του τύπου οι εγκαταστάσεις / λειτουργίες είναι γνωστές και ως Combined Heat / Power (CHP) και είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς, σε περιοχές όπου υπάρχει αγοραστικό ενδιαφέρον για τη χρήση της θερμότητας σε θέρμανση (περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες). Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα βλέπουμε την τομή ενός τέτοιου συστήματος:



Σχήμα 29: Τομή συστήματος συμπαράγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και θερμότητας (CHP) με παλινδρομικό κινητήρα [Πηγή: (Ciula, και συν., 2023)].

Παράδειγμα σύγχρονης εγκατάστασης συστήματος παλινδρομικών κινητήρων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς (συμπαγωγή θερμότητας) είναι η περίπτωση του ΧΥΤΑ Μαυροράχης στην περιοχή Λαγκαδά στη Θεσσαλονίκη που τέθηκε σε λειτουργία το 2020. Η υπόψη εγκατάσταση χρησιμοποιεί 3 κινητήρες βιο-αερίου συνολικής εξόδου 3,52 MW και απόδοσης 42% και έχει λάβει το Energy Global Award 2023 στην κατηγορία AIR, καθώς βελτίωσε την ποιότητα του αέρα και αποτελεί παράδειγμα διεθνών δυνατοτήτων για έργα μετατροπής απορριμμάτων σε ενέργεια, μεγάλης κλίμακας. (Whitehead, 2024), (Jenbacher, χ.χ.).



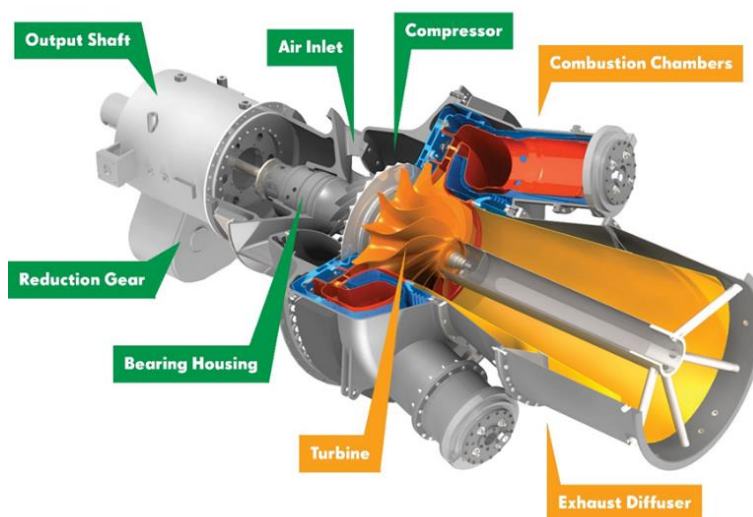
Εικόνα 11: Εγκατάσταση μετατροπής LFG σε ηλεκτρική ενέργεια στο ΧΥΤΑ Μαυροράχης στη Θεσσαλονίκη χωρίς συμπαγωγή θερμότητας [Πηγή: (Jenbacher, χ.χ.)]

### Τουρμπίνες αερίου (Gas turbines)

Αυτού του τύπου οι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερους ΧΥΤΑ όπου η παραγωγή LFG φτάνει τα 1.300 κυβικά πόδια το λεπτό (cfm) και έχουν ηλεκτρική παραγωγή που ξεπερνά τα 3 MW με απόδοση 20 – 28%. Επιπρόσθετη ανάκτηση θερμότητας από τουρμπίνες μικτού κύκλου (combined cycle) μπορεί να ανεβάσει την



απόδοση του συστήματος κοντά στο 40%, αλλά σε κάθε περίπτωση οι τιμές αυτές αφορούν μέγιστο φόρτο λειτουργίας. Όταν η παραγωγή αερίου μειώνεται η απόδοση μειώνεται. Τα πλεονεκτήματα των τουρμπινών είναι ότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή στα παραγόμενα κατά την καύση LFG οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής ενέργειας (μικρότερο από τους παλινδρομικούς κινητήρες, λόγω κλίμακας). Ένα βασικό μειονέκτημα των τουρμπινών είναι ότι απαιτούν μεγάλη πίεση αερίου για να λειτουργήσουν και έτσι μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας στην εγκατάσταση καταναλώνεται για την συμπίεση του LFG. Το τυπικό κόστος συνολικό κόστος (αγορά, λειτουργία, ετήσια συντήρηση) τέτοιων κινητήρων με απόδοση μεγαλύτερη από 3 MW είναι περίπου \$ 1.900 / kW. Παρακάτω παρουσιάζεται σχεδιάγραμμα και φωτογραφία τέτοιου κινητήρα.



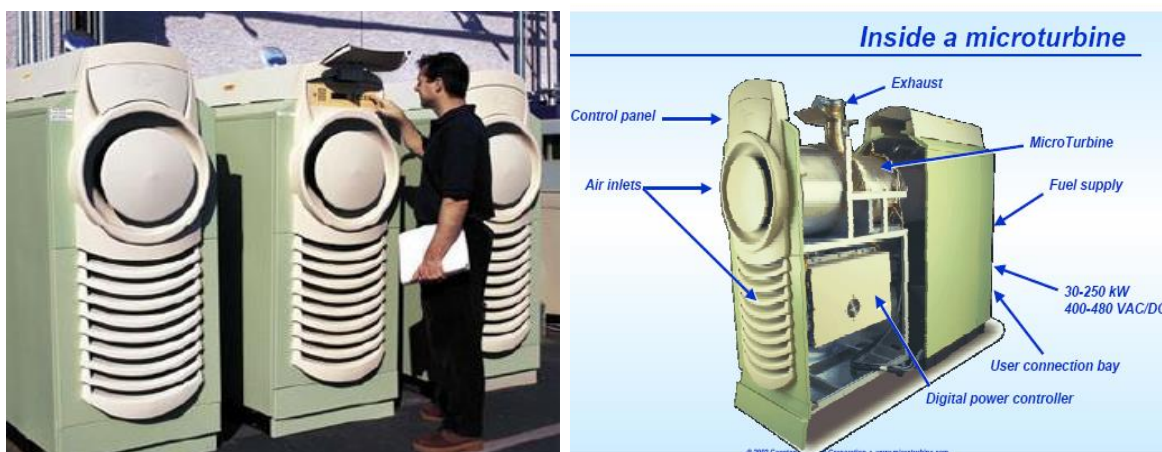
Σχήμα 30: Σχεδιάγραμμα τομής τουρμπίνας [Πηγή: <https://www.destinus.energy/waste-no-more/?r=1>]



Εικόνα 12: Φωτογραφία από την εγκατάσταση τουρμπίνας LFG στο XYTA H.W Hill USA [Πηγή: <http://www.klickitatpud.com/topicalMenu/about/powerResources/hwHillGasProject.aspx>]

### Μικρο-τουρμπίνες (Microturbines)

Είναι ακριβώς όπως φαίνεται από την ονομασία τους μικροσκοπικές τουρμπίνες πολύ μικρότερες σε μέγεθος από τις κανονικές. Αν και το συνολικό τους κόστος ανά παραγόμενο kW είναι μεγαλύτερο από αυτό των παλινδρομικών κινητήρων και των μεγάλων τουρμπινών (κυμαίνεται περίπου στα \$3.700 / kW για μικροτουρμπίνα με έξοδο μικρότερη του 1 MW), χρειάζονται μικρότερο όγκο LFG και λειτουργούν και με φτωχότερο σε μεθάνιο αέριο (ακόμη και με LFG με περιεκτικότητα σε μεθάνιο 35%). Επίσης, έχουν λιγότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου και είναι εύκολη η τοποθέτηση και η αφαίρεσή τους από εγκαταστάσεις LFG. Η διασύνδεσή και η λειτουργία τους είναι εύκολη λόγω μικρού όγκου και χωρητικότητας, ενώ έρχονται σε διάφορα μεγέθη παραγωγής από 30 έως 250 kW ή και περισσότερο. Ανάλογα με τις δυνατότητες της εγκατάστασης και τις τιμές εξόδου που θέλουμε, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται κυρίως μεγάλα μεγέθη (250+ kW), γιατί έχουν οικονομικότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, μειώνουν τον συνολικό αριθμό τουρμπινών στην εγκατάσταση άρα και τις σωληνώσεις υποστήριξης και αυξάνουν την αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα χρήσης. (US EPA, 2024). Στην παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τέτοιων μικρο-τουρμπινών.



Εικόνα 13: Παράδειγμα μικροτουρμπίνας μετατροπής LFG σε ηλεκτρικό ρεύμα

### Απευθείας χρήση του αερίου (Direct use of btu gas)

#### Καυστήρες, στεγνωτές και κλίβανοι

Μία από τους ιστορικά πιο απλούς και οικονομικούς τρόπους χρήσης του LFG είναι η απευθείας χρήση του ως καύσιμο μέσης θερμιδικής αξίας (medium-btu gas) σε καυστήρες



και η χρήση του στη βιομηχανία για διάφορες ανάγκες (στέγνωμα υλικών, κλίβανοι, παραγωγή τσιμέντου και ασφάλτου κλπ.). Το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι απαιτείται πολύ περιορισμένη επεξεργασία και φιλτράρισμα, ωστόσο για τη χρήση του στους υπάρχοντες καυστήρες μπορεί να απαιτηθούν κάποιες μετατροπές. Επίσης ένα βασικό ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι απαιτείται η άμεση διοχέτευση του παραγόμενου LFG στην κατανάλωση διαφορετικά αυτό χάνεται, ενώ δεν είναι εξασφαλισμένα και τα ίδια επίπεδα ροής LFG καθ' όλο το έτος. Οι παραπάνω περιορισμοί σε πολλές περιπτώσεις καθιστούν αναγκαίο για τους καταναλωτές LFG να προμηθευτούν εξοπλισμό ικανό να δεχθεί και άλλου τύπου καύσιμο ή να τροποποιήσουν τον διαθέσιμο με χειροκίνητες ή αυτόματες επιλογές (ιδιαίτερα σε μεγάλους καυστήρες), που έχουν αρκετά υψηλό κόστος (χειροκίνητα: \$120.000 – \$240.000 χιλ. , αυτόματα: \$240.000 – \$516.000). Εναλλακτικά υπάρχει και η επιλογή αναβάθμισης της θερμιδικής αξίας του LFG ώστε να είναι δυνατή η χρήση του στους διαθέσιμους καυστήρες. Αν και η τελευταία επιλογή μειώνει το κόστος συντήρησης από τη χρήση ακάθαρτου LFG, η αναβάθμιση του LFG σε αέριο που πλησιάζει την ποιότητα του RNG (Renewable Natural Gas), ενέχει επίσης κόστος. Πέρα από τα παραπάνω η χρήση LFG έχει το μειονέκτημα ότι προκαλεί συγκέντρωση σιλοξανίων και έτσι τη δημιουργία λευκού ιζήματος που μαζεύεται στους σωλήνες των καυστήρων και έτσι απαιτείται είτε ο καθαρισμός, είτε η εγκατάσταση ειδικών συσκευών μείωσης της συγκέντρωσης σιλοξανίων. (US EPA, 2024). Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις απευθείας χρήσης του LFG είναι οι παρακάτω:

### **Θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας**

Η χρήση του LFG σε τέτοιες θερμάστρες έχει εφαρμογή σε εγκαταστάσεις που με ανάγκες θέρμανσης μεγάλων χώρων, οι οποίες βρίσκονται κοντά στους χώρους παραγωγής του LFG. Η χρήση τέτοιων θερμαστών εφαρμόζεται σε αρκετές εγκαταστάσεις στην Ευρώπη, τον Καναδά και τις ΗΠΑ γιατί για τη λειτουργία τους χρειάζονται μικρές ποσότητες α LFG και οι ίδιες είναι σχετικά φθηνές και εύκολες στην τοποθέτηση. Τυπικά δεν απαιτούν επεξεργασία του LFG εκτός αν αυτό περιέχει μεγάλη ποσότητα σιλοξανίων, ενώ μπορούν να συνδυαστούν και με άλλα θερμικά συστήματα. Τυπικά το κόστος για εγκαταστάσεις με υπέρυθρες θερμάστρες που καταναλώνουν ροή 10 – 150 cfm δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό γιατί κάθε τέτοια θερμάστρα που μπορεί να καλύψει χώρο 500 – 800 ft<sup>2</sup> (δηλαδή: 46 – 74 m<sup>2</sup>) στοιχίζει περίπου \$3.000 ενώ το κόστος για εσωτερικές σωληνώσεις σύνδεσης των θερμαστών με την ταράτσα των κτιρίων κυμαίνεται από \$20.000 έως \$30.000. Σε κάθε

περίπτωση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η εποχική χρήση τέτοιων θερμαστών περιορίζει σημαντικά την ανάγκη διαρκούς ροής του LFG (US EPA, 2024).

### **Θερμοκήπια**

Το LFG μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το φωτισμό, θέρμανση και παροχή ζεστού νερού σε θερμοκήπια, αλλά το κόστος εξαρτάται από τον τρόπο που το αέριο θα χρησιμοποιηθεί. Αν το LFG χρησιμοποιηθεί για φωτισμό με τη χρήση μικρο-τουρμπίνας τότε το κόστος είναι ανάλογο με την παραγωγή ρεύματος από μικρο-τουρμπίνες που εξετάσαμε παραπάνω. Αντίστοιχα αν το LFG χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού, τότε το κόστος είναι ανάλογο με τη χρήση του σε καυστήρες.

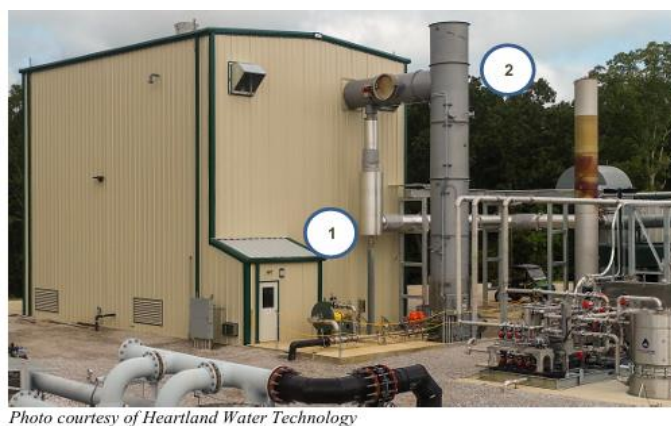
### **Παραδοσιακά εργαστήρια χειροτεχνίας**

Συγκεκριμένα εργαστήρια τέχνης με υψηλές ενεργειακές ανάγκες, σε αντικείμενα όπως η υαλουργία, μεταλλουργία και αγγειοπλαστική, μπορούν να κάνουν χρήση LFG γιατί παρά το γεγονός ότι μπορεί να έχουν μεγάλες απαιτήσεις για θερμική επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (φυσητό γυαλί, μεταλλουργία κλπ.), γενικά ροή αερίου της τάξης των 100 cfm ( $2,83 \text{ m}^3 / \text{λεπτό}$ ) είναι αρκετή.

### **Εξάτμιση στραγγίσματος**

Η εξάτμιση του επικίνδυνου για το υπέδαφος και τους γύρω υδάτινους πόρους στραγγίσματος (Leachate), είναι μία από τις καλύτερες εφαρμογές για άμεση χρήση του LFG κοντά στους χώρους παραγωγής του, ή όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη η οικονομικά συμφέρουσα λύση εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων και ανάκτησης νερού. Υπάρχουν δύο μέθοδοι εξάτμισης: οι βυθισμένοι εξατμιστές και οι εξατμιστές συμπτυκνωτή. Οι πρώτοι δημιουργούν ανάφλεξη στο LFG ενώ είναι βυθισμένοι μέσα σε δοχείο εξαέρωσης και καίνε το στράγγισμα, ενώ οι δεύτεροι αντλούν θερμότητα χαμηλής πίεσης από πυρσούς, καυστήρες, τουρμπίνες ή συνδυασμό τους και στη συνέχεια η θερμότητα αυτή διοχετεύεται σε συμπτυκνωτή μαζί με το στράγγισμα για να εξαερωθεί. Οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούνται για να εξατμίσουν υγρά στραγγίσματα που αντλούνται και να τα περιορίσουν σε ένα πιο διαχειρίσιμο όγκο. Βυθισμένοι εξατμιστές με διαφορετικά μεγέθη και δυνατότητες μπορούν να διαχειρισθούν στραγγίσματα της τάξεως των 10.000 – 40.000 γαλονιών (δηλαδή: 45.500 – 181.850 λίτρα), ημερησίως. Το κόστος αγοράς για ένα σύστημα με δυνατότητα επεξεργασίας 30.000 γαλονιών τη μέρα ανέρχεται κοντά στα \$2.3 εκ. αλλά αποφέρει (συνυπολογισμένου και του απόσβεσης κόστους αγοράς) τιμές

διαχείρισης των στραγγισμάτων της τάξης των \$0,04 / γαλόνι σε σχέση με κόστος \$0,06 / γαλόνι αν ο εξοπλισμός αποκτηθεί από μακροχρόνια ενοικίαση. Αντίστοιχα, εξατμιστές συμπυκνωτή έχουν χωρητικότητες που κυμαίνονται από 10.000 έως 144.000 γαλόνια ημερησίως και το κόστος χρήσης (συνυπολογισμένου και του κόστους αγοράς) για τέτοιο εξατμιστή με δυνατότητα επεξεργασίας 25.000 γαλονιών ημερησίως, ανέρχεται σε \$0.06 ανά γαλόνι και είναι και σε αυτή την περίπτωση μικρότερο από το κόστος μακροχρόνιας μίσθωσης. (US EPA, 2024). Παρακάτω εμφανίζονται φωτογραφίες τέτοιων εξατμιστών.



**Εικόνα 14:** Αριστερά: Βυθισμένος εξατμιστής στραγγίσματος. Δεξιά: Εξατμιστής τύπου συμπύκνωσης που χρησιμοποιεί θερμοκρασία χαμηλής πίεσης από (1) έξοδο αερίων μηχανής και (2) από πυρσό LFG.

### Παραγωγή βιο-καυσίμου

Το LFG μπορεί να χρησιμοποιηθεί έμμεσα σε λέβητες εργοστασίων που παράγουν βιο-καύσιμα όπως βιο-ντίζελ ή αιθανόλη, ως καύσιμο για την αποφυγή χρήσης ορυκτών καυσίμων. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και ως πρώτη ύλη για τη μετατροπή του σε μεθανόλη που χρησιμοποιείται στην παραγωγή βιο-ντίζελ (US EPA, 2024).

### Μετατροπή του LFG σε Ανανεώσιμο Φυσικό Αέριο (Renewable Natural Gas, RNG)

Για τη μετατροπή του LFG σε ανώτερο ποιοτικά RNG απαιτείται η αφαίρεση του CO<sub>2</sub> και διαφόρων άλλων ουσιών που περιέχει. Το RNG έχει καλύτερα θερμικά χαρακτηριστικά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου και μπορεί να μεταφερθεί είτε με αγωγούς, είτε σε συμπιεσμένη και υγροποιημένη μορφή. Το κόστος κεφαλαιακού εξοπλισμού για την επεξεργασία LFG σε RNG είναι περίπου \$6.200 έως \$8.300 ανά cfm ενώ οι απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι συχνά ένα πολύ σημαντικό μέρος του κόστους λειτουργίας και συντήρησης και ανέρχονται σε 0,009 kWh ανά κυβικό

πόδι (cf). Το συνολικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης κυμαίνεται από \$1,4 εκ. για ένα έργο που μετατρέπει ροή LFG 1.000 cfm σε NRG, έως τα \$7,4 εκ. για έργο που μετατρέπει αντίστοιχη ροή LFG 6.000 cfm σε NRG. Στις ΗΠΑ η αφαίρεση του CO<sub>2</sub> από το LFG γίνεται με τις 4 παρακάτω μεθόδους οι οποίες έχουν δοκιμασθεί και έχουν εμπορική εφαρμογή:

### **Πλύσιμο με νερό (Water Scrubbing)**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί νερό για να καθαρίσει αέριο LFG που διοχετεύεται με τέτοια πίεση ώστε να διαλύεται το CO<sub>2</sub>, αλλά όχι το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) που έχει μικρότερη διαλυτότητα, ενώ με τον τρόπο αυτό απομακρύνονται και άλλες ακαθαρσίες όπως το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S). Η μέθοδος επανακυκλώνει το νερό που χρησιμοποιεί και έτσι δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις, ενώ παράλληλα δεν χρησιμοποιεί χημικά. Πάραυτα δεν απομακρύνει το οξυγόνο και το άζωτο που μπορεί να υπάρχει στο LFG αυτό περιορίζει το εύρος χρήσης του RNG που παράγεται.

### **Πλύσιμο με διαλυτικά (Solvent Scrubbing)**

Εδώ αντί για νερό χρησιμοποιούνται χημικοί διαλύτες όπως το Selexol για τον καθαρισμό του LFG από CO<sub>2</sub> και από H<sub>2</sub>S, με χρήση θερμοκρασίας και πίεσης για το διαχωρισμό οργανικών ενώσεων διαφορετικών του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) που γενικά είναι 15 φορές πιο διαλυτές από αυτό.

### **Προσρόφηση ταλάντευσης πίεσης (Pressure Swing Adsorption, PSA)**

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιεί διαδοχικά συμπίεση, απομάκρυνση υγρασίας και αφαίρεση H<sub>2</sub>S, αλλά βασίζεται ουσιαστικά σε ένα είδος μοριακού κόσκινου για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα μαζί με ακαθαρσίες χαμηλού επιπέδου. Οι διαφορές στο μέγεθος του μορίου επιτρέπουν στο μεθάνιο να περάσει μέσα στο RNG, ενώ δεσμεύονται το διοξείδιο του άνθρακα, ακαθαρσίες χαμηλού επιπέδου και σε μικρότερο βαθμό, άζωτο.

### **Συστήματα μεμβράνης**

Τα συστήματα αυτά εφαρμόζουν πίεση, απομάκρυνση υγρασίας και αφαίρεση H<sub>2</sub>S, αλλά βασίζονται σε ενεργό άνθρακα για την απομάκρυνση των υπολοίπων οργανικών ουσιών εκτός από το μεθάνιο και σε μεμβράνες για να απομακρύνουν το διοξείδιο του άνθρακα. Στηρίζονται στις φυσικές ιδιότητες των αερίων που σε ίδιες συνθήκες περνούν μέσα από πολυμερείς μεμβράνες με διαφορετικό ρυθμό σύμφωνα με τις οποίες, το διοξείδιο του

άνθρακα περνά μέσα από τις μεμβράνες περίπου 20 φορές πιο γρήγορα από το μεθάνιο. Ανάλογα με το πόσο καθαρό RNG θέλουμε μπορούν να γίνουν ένα ή διάφορα περάσματα.

Για την απομάκρυνση του οξυγόνου και του αζώτου υπάρχουν επίσης διάφορες μέθοδοι που στηρίζονται στον ενεργό άνθρακα, τη συμπίεση, μεμβράνες αλλά και τεχνολογίες κρυογενικής απόσταξης, όπως αυτή της κρυογενικής απόσταξης χαμηλής πίεσης κατά την οποία η θερμοκρασία πέφτει σε τόσο χαμηλό επίπεδο που το μεθάνιο υγροποιείται αλλά το οξυγόνο και το άζωτο παραμένουν αέρια.

Η παραγωγή RNG από LFG με ταλάντευση πίεσης και συστήματα μεμβρανών είναι οικονομικότερη σε μικρότερες κλίμακες από τις πλύσεις με νερό ή χημικά και ως εκ τούτου το RNG από αυτές τις μεθόδους είναι περισσότερο πιθανό να συμπιεστεί σε συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και το ετήσιο κόστος κατασκευής σε ισοδύναμο γαλονιού βενζίνης κυμαίνεται από \$1,93 έως \$3,28 (δηλαδή κόστος παραγωγής: 0,469 € έως 0,797 € ανά λίτρο με ισοτιμία 1 \$ = 0,92 € και 1 US gallon = 3,785 lt).

Το παραγόμενο CNG μπορεί να υγροποιηθεί σε υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το διοξείδιο του άνθρακα παγώνει σε υψηλότερη θερμοκρασία από το μεθάνιο και έτσι για να αποφευχθεί η δημιουργία πάγου θα πρέπει το CNG να έχει τη μικρότερη δυνατή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης οι εγκαταστάσεις υγροποίησης φυσικού αερίου συνήθως φτιάχνονται κατά παραγγελία για τεράστιες ποσότητες LNG. Λίγοι είναι οι κατασκευαστές που προσφέρουν σχεδίαση τέτοιας εγκατάστασης για «μικρές» ποσότητες της τάξης των 10.000 γαλονιών (45.500 lt) ημερησίως. Γενικά, οι κατασκευαστές τέτοιων εγκαταστάσεων επιθυμούν αέριο με περιεκτικότητα σε οξυγόνο μικρότερη του 0,5% εξαιτίας του κινδύνου εκρήξεων. Συναφώς, επιθυμούν περιορισμένο άζωτο στο τελικό προϊόν και περιεκτικότητα του σε μεθάνιο γύρω στο 96%, ενώ το κόστος της υγροποίησης για μία εγκατάσταση που παράγει 15.000 γαλόνια ανά ημέρα είναι περίπου \$0,65 ανά γαλόνι. Συνολικά, μία εγκατάσταση που παράγει 15.000 γαλόνια LNG ανά ημέρα χρειάζεται ροή LFG περίπου 3.000 cfm (κυβικά πόδια το λεπτό) και απαιτεί αρχική επένδυση σε κεφάλαιο περί τα \$20 εκ.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.