



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Εγκατάσταση και λειτουργία μονάδας  
παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση  
βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης:  
Οικονομοτεχνική Ανάλυση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ευάγγελος Μαμαλάκης**

Υπεύθυνος Καθηγητής

**Τσακανίκας Άγγελος, Αναπληρωτής Καθηγητής**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023



*«Τρώγε την πρόοδο  
και με τα φλούδια και με τα κουκούτσια της»*

*- Οδυσσέας Ελύτης*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία (ΔΕ) ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Άγγελο Τσακανίκα και εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας (ΕΒΕΟ) του τομέα Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η εργασία επιχειρεί μία πλήρη και ολιστική οικονομοτεχνική αξιολόγηση, μεθόδων και τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω παραγωγής και καύσης βιοαερίου, υπό το πρίσμα του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας.

Καθώς, όμως, τα λόγια χάνονται και τα γραπτά μένουν, θα ήθελα να παραθέσω λίγες γραμμές παραπάνω και να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π. και υπεύθυνο του θέματος, κ. Άγγελο Τσακανίκα που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα θέμα, που θίγει ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό ζήτημα, του οποίου η διερεύνηση, απαιτεί τη σύνθεση ενός κράματος γνώσεων τεχνολογίας, οικονομίας και επιχειρηματικότητας, όπου μόνο ένας Χημικός Μηχανικός ξέρει καλά να σμιλεύει.

Αμέσως μετά, θα ήθελα να αναφερθώ στον διδάκτορα *Ευάγγελο Σιώκα*. Η εξαιρετική κατάρτιση στο γνωστικό του αντικείμενο και το αδιάκοπο όραμά του, τον καθιστούν ως ένα καθηγητή – καθοδηγητή, ο οποίος πάντα θα αποτελεί ανεξάντλητη πηγή έμπνευσης. Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς το πρόσωπό του, καθότι, από τα πρώιμα μαθητικά μου χρόνια, παιδί ακόμα, οι συμβουλές του φάνηκαν πολύτιμες και πολλές φορές διαφώτισαν τον τρόπο σκέψης μου. Χαρακτηριστικό γεγονός, αποτελεί πως από εκείνον άκουσα για πρώτη φορά τον όρο Χημικός Μηχανικός. Και από εκείνη τη στιγμή ήταν πλέον, όλα ξεκάθαρα, για το «*τι ήθελα να κάνω όταν μεγαλώσω*».

Στην συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον διδάκτορα – μεταδιδάκτορα *Μάρκο Μαργαρίτη*, ο οποίος με τις ανεξάντλητες γνώσεις στο αντικείμενο της περιβαλλοντικής επιστήμης και μηχανικής, συνέβαλε τα μέγιστα για την κατανόηση του θέματος μου, στη διαμόρφωση του τρόπου σκέψης μου, δίνοντάς μου εφόδια σε κάθε βήμα της

ακαδημαϊκής μου πορείας. Η συνεχής και ουσιαστική καθοδήγηση, με τον δικό του ξεχωριστό τρόπο, η προσέγγιση του και η συναναστροφή μαζί του, από την πρώτη κιόλας μέρα, υπήρξε καθοριστικός, ενώ παράλληλα, μου τόνισε πόσο σημαντικός είναι ο προσωπικός ζήλος που εκφράζουμε στα πράγματα που κάνουμε, οι στόχοι που ο καθένας θέτει μόνος του και η τάση και αφοσίωσή μας να τους πραγματοποιήσουμε.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον υπ. διδάκτορα Πολιτικής Επιστήμης *Κώστα Τσίκα*, ο οποίος όλα αυτά τα χρόνια συνεχίζει να με βοηθάει και να μου συμπαραστέκεται, πάντα πρόθυμος να ακούσει τους προβληματισμούς μου. Κυρίως όμως τον ευχαριστώ απεριόριστα που από πολύ νωρίς, με εισήγαγε σε έναν δημιουργικό και συνάμα κριτικό – ορθολογικό τρόπο σκέψης, γκρεμίζοντας περιοριστικά όρια που είχα θέσει στο νου μου και επιτρέποντάς μου να δω πέρα από την εικόνα που είχα σχηματίσει τόσο για τον ίδιο μου τον εαυτό, όσο και για τους ανθρώπους και τον κόσμο που με περιβάλλουν.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και την οικογένεια μου, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου να με οπλίζουν με κουράγιο, ενώ μου συμπαραστάθηκαν ανιδιοτελώς, όποτε τους χρειάστηκα.

Πάνω από όλα, όμως, είμαι ευγνώμων για τους γονείς μου. Την μητέρα μου *Ηλιάννα Λυκούδη*, ακούραστος μαχητής, η οποία μου δίδαξε τι σημαίνει ευγένεια, σεβασμός και μου έμαθε να αντιμετωπίζω με επιμονή και δυναμισμό κάθε εμπόδιο και τον πατέρα μου *Στρατή Μαμαλάκη*, ο οποίος με τον δικό του μοναδικό τρόπο πρόλαβε να μου μάθει τι σημαίνει ανιδιοτέλεια και αισιοδοξία. Τους ευχαριστώ ιδιαιτέρως, γιατί με προσωπικές στερήσεις και κόπο, στήριξαν τις επιλογές μου και φρόντισαν να αφοσιωθώ απερίσπαστος σε αυτές.

*Στα πολύ όμορφα που πέρασαν και στα καλύτερα που έρχονται.*

*Ευάγγελος Μαμαλάκης*

*Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αξιοποιεί προηγμένες μεθόδους οικονομικής ανάλυσης, με απώτερο σκοπό να εξετάσει την οικονομική βιωσιμότητα και τη σκοπιμότητα της εφαρμογής τεχνολογιών που σχετίζονται με τη διαχείριση των βιοαποβλήτων και ευρύτερα την αξιοποίηση των απορριμμάτων, όπως αυτές εντάσσονται στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας.

Η εργασία εκτυλίσσεται, ευθείς εξ' αρχής, μνημονεύοντας το θεωρητικό υπόβαθρο της κυκλικής οικονομίας, όπου περιγράφονται οι έννοιες από τις οποίες ξεκίνησε η τάση για μετάβαση από την γραμμική στην κυκλική οικονομία, πως σε αυτήν ενσωματώνεται η διαχείριση των βιοαποβλήτων και ποια είναι η πρόοδος και ποιοι οι στόχοι, της υιοθέτησης του μοντέλου.

Εν συνεχεία περιγράφονται οι έννοιες που πλαισιώνουν την κυκλική οικονομία, που αφορούν την πράσινη οικονομία και ανάπτυξη και την πράσινη εργασία, περιλαμβάνοντας στατιστικά στοιχεία σχετικά για την υφιστάμενη κατάσταση.

Έπειτα, πραγματοποιείται εκτενής ανάλυση στο θεωρητικό υπόβαθρο των βασικότερων βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας, όπως της αναερόβιας και της αερόβιας επεξεργασίας (κομποστοποίηση) στερεών αποβλήτων, ως προς την περιγραφή της μεθόδου, τους παραμέτρους ελέγχου και τα είδη των συστημάτων.

Αναφορικά με την μεθοδολογική προσέγγιση, αναλύονται οι έννοιες που συνοδεύουν την μελέτη σκοπιμότητας και την οικονομοτεχνική αξιολόγηση των τεχνολογιών.

Πυρήνα της παρούσας διπλωματικής, αποτελεί η διερεύνηση της βιωσιμότητας και ανάλυση της δυνατότητας ανάπτυξης σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με αξιοποίηση πρώτων υλών, μέσω αναερόβιας χώνευσης παραπροϊόντων βιομηχανικής, κτηνοτροφικής και γεωργικής δραστηριότητας, και την παράλληλη επεξεργασία και αξιοποίηση του χωνέματος για την παραγωγή compost.

Ειδικότερα, η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τη γενική περιγραφή της προτεινόμενης επένδυσης, καθώς και όλες τις παραμέτρους βιωσιμότητας όπως: α) το κόστος επένδυσης βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών του, της τοποθεσίας, του απαιτούμενου εξοπλισμού, β) των λειτουργικών και των σταθερών εξόδων της επένδυσης και γ) τις πηγές εσόδων,

διαμορφώνοντας δύο διακριτά σενάρια Α και Β, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο χρηματοδότησης. Στο σενάριο Α, η επένδυση πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση ιδίων κεφαλαίων της επιχείρησης, ενώ στο σενάριο Β αξιολογείται η υλοποίηση της επένδυσης, μέσω δανεισμού του 80% του κεφαλαίου επιλέγοντας ισόποσες τοκοχρεολυτικές δόσεις χωρίς περίοδο χάριτος και με κεφαλαιοποίηση των τόκων.

Λέξεις Κλειδιά: κυκλική οικονομία, πράσινη οικονομία, βιοαπόβλητα, συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κομποστοποίηση, αναερόβια χώνευση, μελέτη σκοπιμότητας, χρηματοοικονομική ανάλυση



## ABSTRACT

The present thesis employs advanced techniques in economic analysis with the overarching goal of evaluating the economic feasibility and viability of implementing technologies associated with biowaste management and, more broadly, waste utilization within the context of the circular economy paradigm.

The paper unfolds systematically by elucidating the theoretical underpinnings of the circular economy, expounding upon the foundational concepts that catalyzed the transition from a linear to a circular economic model. It delves into the integration of biowaste management into this framework, detailing progress made and outlining the objectives associated with its adoption.

Subsequently, the paper elucidates the conceptual framework underpinning the circular economy, encompassing aspects related to the green economy, economic growth, and the creation of environmentally sustainable employment opportunities. Empirical data is also provided to offer insights into the current situation in this regard.

Following this, an extensive examination is undertaken concerning the theoretical foundations of primary biological treatment methodologies, specifically anaerobic and aerobic treatments (composting) for solid waste. This analysis encompasses methodological descriptions, control parameters, and the several types of systems employed in these treatment processes.

Concerning the methodological approach, this study scrutinizes the concepts underpinning the feasibility assessment, as well as the economic and technical evaluation of the relevant technologies.

At the heart of this thesis lies the examination and analysis of the feasibility of establishing an energy production facility that harnesses raw materials derived from industrial, livestock, and agricultural by-products. Concurrently, the processing and utilization of digestate for compost production are also investigated.

This paper provides a comprehensive overview of the proposed investment, encompassing various viability parameters such as: a) the investment cost, which considers technical specifications, geographical location, and required equipment; b) the operational and fixed

expenses associated with the investment; and c) the revenue sources. Two distinct scenarios, denoted as A and B, are presented, differing in their financing approaches. Scenario A entails financing the investment solely through the company's own capital, whereas scenario B evaluates the implementation of the investment by securing 80% of the capital through borrowing, with equal interest-bearing installments, no grace period, and interest capitalization.

Keywords: circular economy, green economy, bio-waste, cogeneration, composting, anaerobic digestion, feasibility study, financial analysis

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>iv</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>Πίνακας Περιεχομένων</b> .....	<b>x</b>
<b>Ευρετήριο Πινάκων</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>14</b>
<b>1. Κυκλική Οικονομία</b> .....	<b>17</b>
1.1 Και εγένετο.. κυκλική οικονομία.....	17
1.2 Η εξέλιξη και οι βασικές αρχές Κυκλικής Οικονομίας.....	20
1.2.1 Βασικές Αρχές Κυκλικής Οικονομίας.....	23
1.2.2 Οι δράσεις της Κυκλικής Οικονομίας και τα 9 R's.....	24
1.3 Διαχείριση Αποβλήτων .....	27
1.4 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων .....	29
1.4.1 Ευρωπαϊκή Ένωση και Στόχοι .....	29
1.4.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	30
1.4.3 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα .....	33
<b>2. Πράσινη Μεταβαση</b> .....	<b>36</b>
2.1 Πράσινη Ανάπτυξη: Η ολιστική προσέγγιση της βιωσιμότητας .....	36
2.2 Πράσινη Εργασία .....	38
2.3 Πράσινη Οικονομία.....	41
<b>3. Βιολογικές Μέθοδοι Διαχείρισης Στερεών Οργανικών Αποβλήτων</b> .....	<b>48</b>
3.1 Αναερόβια Χώνευση Οργανικού Κλάσματος Απορριμμάτων.....	49

3.1.1	Περιγραφή μεθόδου .....	49
3.1.2	Περιβαλλοντικοί παράγοντες της αναερόβιας χώνευσης .....	54
3.1.3	Συστήματα αναερόβιας χώνευσης.....	57
3.2	Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Κομποστοποίηση) .....	59
3.2.1	Στάδια της ολοκληρωμένης διεργασίας της κομποστοποίησης.....	60
3.2.2	Περιβαλλοντικοί παράγοντες και παράμετροι ελέγχου κομποστοποίησης.....	62
3.2.3	Συστήματα κομποστοποίησης .....	66
<b>4.</b>	<b>Μεθοδολογία .....</b>	<b>70</b>
4.1	Ορισμός Μελέτης Σκοπιμότητας.....	70
4.2	Αξιολόγηση Επενδύσεων .....	72
4.2.1	Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) .....	72
4.2.2	Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR).....	73
4.2.3	Ανάλυση Νεκρού Σημείου (Break Even Point) .....	74
4.2.4	Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis).....	75
4.2.5	Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (Cost – Benefit Analysis) .....	75
4.3	Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση Επενδυτικού Σχεδίου .....	76
4.3.1	Κόστος Επένδυσης .....	76
4.3.2	Κόστος Λειτουργίας .....	77
4.3.3	Χρηματοοικονομικές Καταστάσεις .....	78
<b>5.</b>	<b>Μελέτη Σκοπιμότητας.....</b>	<b>79</b>
5.1	Εισαγωγή.....	79
5.2	Χωροθέτηση της μονάδας παραγωγής βιοαερίου .....	79
5.3	Απαιτήσεις πρώτων υλών .....	81
5.3.1	Ποιοτικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών .....	81

5.3.2	Ποσοτικές απαιτήσεις πρώτων υλών.....	87
5.4	Τεχνική Περιγραφή του έργου .....	91
5.4.1	Μεταφορά και επεξεργασία πρώτων υλών.....	92
5.4.2	Σύστημα τροφοδοσίας αναερόβιου χωνευτή.....	93
5.4.3	Αποθήκευση και επεξεργασία βιοαερίου.....	94
5.4.4	Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP).....	94
5.4.5	Μονάδα παστερίωσης .....	97
5.4.6	Κομποστοποίηση χωνέματος.....	97
<b>6.</b>	<b>Χρηματοοικονομική Ανάλυση .....</b>	<b>99</b>
6.1	Βασικά Στοιχεία της Επένδυσης.....	99
6.2	Σενάριο Α – Μονάδα ισχύος 1MW με ίδια κεφάλαια .....	101
6.3	Σενάριο Β – Μονάδα ισχύος 1MW με 80% ξένα κεφάλαια.....	111
<b>7.</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>116</b>
	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>119</b>

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Εύρος βέλτιστων θερμοκρασιακών τιμών (°C) στο οποίο παρατηρείται μεγιστοποίηση του ρυθμού διάσπασης της οργανικής ουσίας .....	63
Πίνακας 2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης .....	86
Πίνακας 3. Ετήσιες ποσότητες πρώτων υλών στο ρεύμα εισόδου της μονάδας αναερόβιας χώνευσης .....	87
Πίνακας 4. Υπολογισμός του παραγόμενου βιοαερίου και της περιεκτικότητας σε μεθάνιο, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, ανά είδος πρώτης ύλης .....	90
Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP) J320F JENBACHER .....	95
Πίνακας 6. Τελική παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύς.....	97
Πίνακας 7. Πρώτες ύλες / Υπόστρωμα για παραγωγή 1MW ηλεκτρικής ενέργειας .....	99
Πίνακας 8. Ενδεικτικό κόστος επένδυσης για κατασκευή μονάδας ισχύος 1MW .....	100
Πίνακας 9. Χρηματοδοτικό σχήμα σεναρίου A.....	101
Πίνακας 10. Λειτουργικά κόστη σεναρίου A – Συνολικό κόστος παραγωγής .....	102
Πίνακας 11. Λοιπά κόστη σεναρίου A σε €, ανά έτος.....	104
Πίνακας 12. Υπολογισμός αποσβέσεων σεναρίου A .....	105
Πίνακας 13. Συνολικές προβλεπόμενες πωλήσεις .....	107
Πίνακας 14. Λογαριασμός εκμετάλλευσης σεναρίου A .....	107
Πίνακας 15. Αξιολόγηση επένδυσης σεναρίου A .....	108
Πίνακας 16. Χρηματοδοτικό σχήμα σεναρίου B.....	111
Πίνακας 17. Σταθμισμένο επιτόκιο σεναρίου B.....	111
Πίνακας 18. Αποπληρωμή μακροπρόθεσμου δανείου .....	112
Πίνακας 19. Λογαριασμός εκμετάλλευσης σεναρίου B.....	113
Πίνακας 21. Σύγκριση σωρευμένων ταμειακών υπολοίπων για τα σενάρια A και B, με ίδια κεφάλαια και με δανεισμό .....	114

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο περιβάλλον ορίζεται «το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων και στοιχείων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα της ζωής, την υγεία των κατοίκων την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες». Στην προσπάθεια κατανόησης και μετριασμού των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προκλήσεων, οι οποίες ολοένα και παρουσιάζονται, μοιάζει να είναι επιτακτική η ανάγκη της σύγχρονης κοινωνίας, να αντιμετωπίσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα, κατά αειφόρο τρόπο. Τα τεράστια προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί τις τελευταίες δεκαετίες με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου καθώς και πλήθος άλλων οικολογικών καταστροφών, έχουν «αναγκάσει» την παγκόσμια κοινότητα να θεωρεί τα θέματα σχετικά με το περιβάλλον υψίστης σημασίας. Προς επίρρωση της επιτακτικής αυτής ανάγκης, η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει θεσπίσει δέσμη μέτρων, με κύριο στόχο τη μετάβαση της οικονομίας, η οποία θα είναι περιβαλλοντικά βιώσιμη, μέχρι το 2050.

Υπό το πρίσμα των κλιμακούμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση των πόρων και η καταστροφή των οικοτόπων, η επιδίωξη μιας πράσινης οικονομίας και η δημιουργία πράσινων θέσεων εργασίας αποτελούν επιτακτικές στρατηγικές για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων και την προώθηση μιας αρμονικής συνύπαρξης μεταξύ της ανθρωπότητας και του φυσικού κόσμου. Η έννοια της «πράσινης οικονομίας» έχει αποκτήσει εξέχουσα σημασία τις τελευταίες δεκαετίες ως μια καίρια προσέγγιση για την αντιμετώπιση των αλληλένδετων προκλήσεων της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της οικονομικής ανάπτυξης. Ενσωματώνει την αλλαγή προς ένα οικονομικό μοντέλο που δίνει προτεραιότητα στην οικολογική ακεραιότητα, την αποδοτικότητα των πόρων και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Στο πλαίσιο αυτού του εξελισσόμενου οικονομικού τοπίου, η έννοια των «πράσινων θέσεων εργασίας» έχει αναδειχθεί ως κρίσιμη συνιστώσα, υποδηλώνοντας ευκαιρίες απασχόλησης που είναι περιβαλλοντικά υπεύθυνες, προωθούν την οικολογική ανθεκτικότητα και συμβάλλουν στον γενικότερο στόχο της βιώσιμης ανάπτυξης. Αυτή η δυναμική συνέργεια

μεταξύ της πράσινης οικονομίας και των πράσινων θέσεων εργασίας έχει γίνει σημείο εστίασης για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους ακαδημαϊκούς και τους επαγγελματίες, σηματοδοτώντας μια μετασχηματιστική πορεία προς ένα πιο βιώσιμο και δίκαιο μέλλον.

Στο πλαίσιο της μετάβασης προς μια πράσινη οικονομία, η αποτελεσματική εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων, όπως η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση, όχι μόνο ευθυγραμμίζεται με τους περιβαλλοντικούς στόχους, που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά έχει επίσης τη δυνατότητα να δημιουργήσει πράσινες θέσεις εργασίας, προωθώντας έτσι τόσο την οικονομική ανάπτυξη όσο και την οικολογική βιωσιμότητα. Η διαχείριση των οργανικών αποβλήτων είναι μια καίρια πτυχή της σύγχρονης περιβαλλοντικής διαχείρισης, η οποία απαιτεί μια διαφοροποιημένη διερεύνηση των βιώσιμων μεθόδων επεξεργασίας για την αντιμετώπιση τόσο των αναγκών ανάκτησης πόρων όσο και των αναγκών περιορισμού της ρύπανσης. Μεταξύ αυτών των μεθόδων, η αναερόβια χώνευση και η κομποστοποίηση έχουν αναδειχθεί ως εξέχουσες βιολογικά καθοδηγούμενες τεχνικές, καθεμία από τις οποίες προσφέρει ξεχωριστές οδούς για την αξιοποίηση των οργανικών υλικών, ενώ παράλληλα μετριάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διάθεσης των αποβλήτων. Μέσα σε αυτό το περιβάλλον, η παραγωγή βιοαερίου αποκτά κεντρικό ρόλο, όπου η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης όχι μόνο διευκολύνει τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε βιοαέριο, αλλά και παράγει χωνεμένο υπόλειμμα, έναν πολύτιμο πόρο για τον εμπλουτισμό του εδάφους.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιείται εκπόνηση μελέτης σκοπιμότητας για ένα επενδυτικό σχέδιο, που αφορά στη δημιουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 1MW, μέσω της καύσης βιοαερίου που προέρχεται από αναερόβια χώνευση, το οποίο συμβάλλει στην βιώσιμη παραγωγή ενέργειας και την διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων. Η παρούσα ανάλυση επιδιώκει να αξιολογήσει κριτικά την σκοπιμότητα και τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας επιχείρησης, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από τεχνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.



Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση βασίζεται σε μια ολοκληρωμένη σειρά βασικών δεικτών απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ), του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (IRR), της ανάλυσης νεκρού σημείου και της ανάλυσης ευαισθησίας, προκειμένου να διαπιστωθεί η οικονομική βιωσιμότητα της επιχειρηματικής επένδυσης, που πραγματοποιείται για δύο σενάρια, ήτοι της επένδυσης με ίδια κεφάλαια (σενάριο Α) και τη χρηματοδότηση κατά 80% (σενάριο Β).

Εν κατακλείδι, η δημιουργία αυτής της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω καύσης βιοαερίου, όπως αξιολογείται υπό το πρίσμα της κυκλικής οικονομίας, προσφέρει πληθώρα σημαντικών πλεονεκτημάτων. Από την άποψη της κυκλικής οικονομίας, συμβάλλει στην αρχή της βελτιστοποίησης των πόρων και της βιωσιμότητας, μετατρέποντας αποτελεσματικά τα οργανικά απόβλητα σε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μετριάζοντας τη διάθεση των αποβλήτων. Από την άποψη της χρηματοοικονομικής ανάλυσης, η επένδυση παρουσιάζει ισχυρές οικονομικές δυνατότητες, με τους χρηματοοικονομικούς δείκτες να επιβεβαιώνουν τη βιωσιμότητά του σε διαφορετικές οικονομικές συνθήκες.

## 1. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

### 1.1 Και εγένετο.. κυκλική οικονομία

Θέλοντας κανείς να εντοπίσει με σαφήνεια την εννοιολογική γενέτειρα του όρου «κυκλική οικονομία», θα παρατηρήσει πως δεν αποτελεί μία απλή επαγωγική διαδικασία, καθότι αρκετοί συγγραφείς παρουσιάζονται, κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, βαίνοντας κατά μήκος του άξονα του χρόνου. Αναδυόμενη στα τέλη του 20ου αιώνα, η κυκλική οικονομία μπορεί να αναχθεί στις ρίζες της βιομηχανικής οικολογίας και στο πλαίσιο “cradle to cradle”, που πρότειναν οι McDonough και Braungart το 2002 (McDonough και Braungart, 2002). Αυτή η αρχική προοπτική έδινε έμφαση στη ροή υλικών σε κλειστό κύκλο, εστιάζοντας στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων.

Τα επόμενα χρόνια, μελετητές και επαγγελματίες επέκτειναν αυτό το πλαίσιο, ενσωματώνοντας διάφορους κλάδους, όπως η οικονομία, η περιβαλλοντική επιστήμη και η διοίκηση επιχειρήσεων. Οι σημαίνουσες εκθέσεις του Ιδρύματος Ellen MacArthur στη δεκαετία του 2010 βελτίωσαν περαιτέρω την έννοια της κυκλικής οικονομίας, τονίζοντας αρχές όπως ο σχεδιασμός της απομάκρυνσης των αποβλήτων και της ρύπανσης, η διατήρηση των προϊόντων και των υλικών στην υψηλότερη δυνατή αξία τους και η αναγέννηση των φυσικών συστημάτων (Ellen MacArthur Foundation, 2012). Αυτή η εξελισσόμενη κατανόηση διαμορφώθηκε από παγκόσμιες προκλήσεις όπως η εξάντληση των πόρων και η κλιματική αλλαγή, καθώς και από την αυξανόμενη συνειδητοποίηση των περιορισμών των παραδοσιακών γραμμικών οικονομικών μοντέλων. Καθώς η έννοια της κυκλικής οικονομίας συνεχίζει να αναπτύσσεται, οι συνεχιζόμενες ερευνητικές και πολιτικές προσπάθειες υπογραμμίζουν τις δυνατότητές της για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την προώθηση ενός πιο ανθεκτικού και αποδοτικού ως προς τους πόρους μέλλοντος.

Η κυκλική οικονομία, συνεπώς, μπορεί να οριστεί ως ένα οικονομικό σύστημα, που στοχεύει στην απαγκίστρωση της οικονομικής δραστηριότητας από την κατανάλωση πεπερασμένων

πόρων, με τον περιορισμό των αποβλήτων και της ρύπανσης, τη διατήρηση των προϊόντων και των υλικών σε χρήση και την αναγέννηση των φυσικών συστημάτων (Ellen MacArthur Foundation, 2012).

Ευθείς εξ' αρχής, στον ορισμό της κυκλικής οικονομίας, γίνεται αντιληπτός ο μη-στατικός του χαρακτήρας, κατά τον οποίο η μεταβλητότητα αυτού, με ελάχιστη απόκριση, αντανακλά τις μεταβαλλόμενες κοινωνικές προοπτικές, σε συνάρτηση με την πάροδο του χρόνου.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια πιο ενδελεχής καταγραφή των βασικότερων εννοιολογικών σχολών, οι οποίες αποτέλεσαν δομικούς λίθους για την κυκλική οικονομία

#### Cradle to Cradle (λίκνο σε λίκνο)

Η έννοια "cradle to cradle" (C2C), που εισήχθη από τους McDonough και Braungart το 2002, αποτελεί μια καίρια αλλαγή στον αειφόρο σχεδιασμό και τη διαχείριση των πόρων, αμφισβητώντας τις συμβατικές αντιλήψεις για τα απόβλητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το πλαίσιο C2C εισάγει μια αναγεννητική στρατηγική στο σχεδιασμό και την παραγωγή προϊόντων, με στόχο την εξάλειψη της έννοιας των αποβλήτων συνολικά (McDonough & Braungart, 2002). Σε αντίθεση με το γραμμικό μοντέλο «παίρνω-φτιάχνω-απορρίπτω», το C2C υπογραμμίζει την κυκλική κίνηση των υλικών, κατηγοριοποιώντας τα σε βιολογικά θρεπτικά συστατικά, τα οποία μπορούν να επανενταχθούν με ασφάλεια στο περιβάλλον, και σε τεχνικά θρεπτικά συστατικά, σχεδιασμένα για συνεχή επαναχρησιμοποίηση εντός συστημάτων κλειστού κύκλου.

Βασικά ενσωματωμένη στη φιλοσοφία του C2C είναι η έννοια της «ανακύκλωσης», μια διαδικασία κατά την οποία τα υλικά ανακυκλώνονται συνεχώς σε ίσα ή υψηλότερα επίπεδα ποιότητας, περιορίζοντας έτσι την ανάγκη για νέους πόρους (McDonough & Braungart, 2002). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη συμβατική ανακύκλωση, η οποία συχνά καταλήγει σε ανακύκλωση προς τα κάτω, οδηγώντας σε απώλεια της ποιότητας και της αξίας των υλικών. Μέσω της προώθησης της ανακύκλωσης, η C2C προσπαθεί να περιορίσει τις εισροές ενέργειας

και πόρων που απαιτούνται για νέα προϊόντα, μετριάζοντας στη συνέχεια τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Μια άλλη ξεχωριστή πτυχή της έννοιας C2C έγκειται στην καινοτόμο προοπτική της για την τοξικότητα. Αντί να επικεντρώνεται αποκλειστικά στην ελαχιστοποίηση των δυσμενών συνεπειών, υποστηρίζει τη χρήση υλικών που είναι εγγενώς ασφαλή και επωφελή τόσο για την ανθρώπινη ευημερία όσο και για το οικοσύστημα. Αυτή η στρατηγική της «θετικής λίστας» επιδιώκει να τονώσει τη δημιουργικότητα στην επιλογή υλικών και στο σχεδιασμό προϊόντων, προωθώντας έναν ενάρετο κύκλο βιωσιμότητας (McDonough & Braungart, 2002).

Παρόλα αυτά, οι σκεπτικιστές έχουν εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής των αρχών C2C σε διάφορες βιομηχανίες και κατηγορίες προϊόντων. Υπογραμμίζουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την τεχνική βιωσιμότητα, την οικονομική σκοπιμότητα και τις περιπλοκές της μετάβασης από τα καθιερωμένα γραμμικά συστήματα (Berglund & Magnusson, 2019). Επιπλέον, η έμφαση του πλαισίου C2C στη συνεχή ανακύκλωση υλικών μπορεί να συναντήσει περιορισμούς σε κλάδους που χαρακτηρίζονται από εκτεταμένους κύκλους ζωής προϊόντων ή μεγάλη εξάρτηση από μη ανανεώσιμους πόρους.

Εν κατακλείδι, η έννοια Cradle to Cradle έχει επηρεάσει ουσιαστικά τις πρακτικές βιώσιμου σχεδιασμού, τις εταιρικές στρατηγικές βιωσιμότητας και τις πολιτικές προσπάθειες. Η έμφασή της στον επαναπροσδιορισμό των αποβλήτων, στο σχεδιασμό για διαρκή επαναχρησιμοποίηση και στην υποστήριξη της χρήσης ασφαλών υλικών έχει προκαλέσει συζητήσεις και πρωτοβουλίες προς μια πιο αναγεννητική και περιβαλλοντικά ευσυνείδητη προσέγγιση των βιομηχανικών διαδικασιών και των κύκλων ζωής των προϊόντων.

### Βιομηχανική Οικολογία (Industrial Ecology)

Η έννοια της βιομηχανικής οικολογίας παρουσιάζει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο, το οποίο αντλεί από διάφορους κλάδους, για την κατανόηση και την ενίσχυση της περίπλοκης δυναμικής μεταξύ των βιομηχανικών συστημάτων και του περιβάλλοντος. Η βιομηχανική οικολογία, η οποία αναδύθηκε ως απάντηση στις κλιμακούμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, επιδιώκει την

αναπροσαρμογή των βιομηχανικών πρακτικών προς την κατεύθυνση της βιωσιμότητας. Σύμφωνα με τον Chertow (2000), η βιομηχανική οικολογία μπορεί να οριστεί ως μια προσέγγιση που μοντελοποιεί τις βιομηχανικές διαδικασίες σύμφωνα με τα φυσικά οικοσυστήματα, με στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης πόρων, της παραγωγής αποβλήτων και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η κατανόηση αυτής της εννοίας απαιτεί συνεργατικές προσπάθειες σε διάφορους κλάδους, βιομηχανίες και τομείς. Υπό το πρίσμα αυτό, υπογραμμίζεται η σημασία της διεπιστημονικής έρευνας, καθώς και η συνεργασία μηχανικών, οικονομολόγων, οικολόγων και υπεύθυνων χάραξης πολιτικής προκειμένου να εξεταστούν διεξοδικά οι περίπλοκες διασυνδέσεις μεταξύ βιομηχανικών δραστηριοτήτων και περιβαλλοντικών συστημάτων. Μια τέτοια συνεργασία διευκολύνει τον εντοπισμό προοπτικών για τη μείωση των αποβλήτων, την επαναχρησιμοποίηση των υλικών και τον αειφόρο σχεδιασμό. (Ayres, 2002)

Παρά τις όποιες προκλήσεις, ενδέχεται να αντιμετωπίζει η εφαρμογή της βιομηχανικής οικολογίας, σε επίπεδο τεχνοοικονομικής ωριμότητας, έχει κερδίσει έδαφος και έχει επηρεάσει την πολιτική και τις επιχειρηματικές πρακτικές. Η έννοια αυτή ώθησε στην ανάπτυξη οικολογικών βιομηχανικών πάρκων, όπου οι βιομηχανίες εγκαθίστανται μαζί για να μοιράζονται πόρους και να ανταλλάσσουν απόβλητα, προωθώντας έτσι τη συνέργεια και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, οι εταιρικές πρωτοβουλίες που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής και την εκτεταμένη ευθύνη του παραγωγού ευθυγραμμίζονται με τις αρχές της βιομηχανικής οικολογίας.

## 1.2 Η εξέλιξη και οι βασικές αρχές Κυκλικής Οικονομίας

Τα επόμενα χρόνια, μελετητές και επαγγελματίες επέκτειναν αυτό το θεμέλιο, ενσωματώνοντας διάφορους κλάδους, όπως η οικονομία, η περιβαλλοντική επιστήμη και η διοίκηση επιχειρήσεων. Οι σημαίνουσες εκθέσεις του Ιδρύματος Ellen MacArthur στη δεκαετία του 2010 βελτίωσαν περαιτέρω την έννοια της κυκλικής οικονομίας, υπογραμμίζοντας αρχές όπως ο

σχεδιασμός της απομάκρυνσης των αποβλήτων και της ρύπανσης, η διατήρηση των προϊόντων και των υλικών στην υψηλότερη δυνατή αξία τους και η αναγέννηση των φυσικών συστημάτων. Αυτή η εξελισσόμενη κατανόηση διαμορφώθηκε από παγκόσμιες προκλήσεις όπως η εξάντληση των πόρων και η κλιματική αλλαγή, καθώς και από την αυξανόμενη συνειδητοποίηση των περιορισμών των παραδοσιακών γραμμικών οικονομικών μοντέλων. Καθώς η έννοια της κυκλικής οικονομίας συνεχίζει να αναπτύσσεται, οι συνεχιζόμενες ερευνητικές και πολιτικές προσπάθειες υπογραμμίζουν τις δυνατότητές της για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την προώθηση ενός πιο ανθεκτικού και αποδοτικού ως προς τους πόρους μέλλοντος.

Η κυκλική οικονομία θεωρείται ως το εναλλακτικό σχέδιο, απέναντι στην ηγεμονική, μέχρι πρότινος, προσέγγιση της γραμμικής οικονομίας. Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η αποτύπωση της πορείας της πρώτης ύλης στην παραγωγική διαδικασία, ενσωματώνει τα στάδια της παραγωγής, την χρήση-εκμετάλλευση του προϊόντος και τέλος την απόρριψη του, παρεκκλίνοντας ελάχιστα από αυτό.

Το μοντέλο αυτό ορίζεται ως γραμμικό μοντέλο και βασίζεται στην παραδοχή ότι οι πόροι είναι άφθονοι και διαθέσιμοι, ο πορισμός τους είναι εύκολος και η διάθεση των αποβλήτων τους είναι φθηνή.



Εικόνα 1. Σχηματική απεικόνιση Γραμμικής Οικονομίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014)



Εικόνα 2. Σχηματική απεικόνιση Κυκλικής Οικονομίας (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014)

Η κυκλική οικονομία αναφέρεται σε μια βιομηχανική οικονομία που αποκαθίσταται από πρόθεση, αποσκοπεί στην αξιοποίηση της ανανεώσιμης ενέργειας, ελαχιστοποιεί, παρακολουθεί και εξαλείφει τη χρήση τοξικών χημικών ουσιών, και διαχειρίζεται τα απόβλητα με τον βέλτιστο τρόπο. Ο όρος ξεπερνά τη μηχανική της παραγωγής και της κατανάλωσης αγαθών και υπηρεσιών στους τομείς που επιδιώκει να επαναπροσδιορίσει (παραδείγματα περιλαμβάνουν την ανακατασκευή του κεφαλαίου, συμπεριλαμβανομένου του κοινωνικού και του φυσικού, και τη μετάβαση από τον καταναλωτή στον χρήστη). Η έννοια της κυκλικής οικονομίας βασίζεται στη μελέτη των μη γραμμικών συστημάτων, ιδιαίτερα των ζωντανών. Μια σημαντική συνέπεια της απόκτησης γνώσεων από τα ζωντανά συστήματα είναι η έννοια της βελτιστοποίησης των συστημάτων και όχι των συστατικών, τα οποία μπορούν επίσης να αναφερθούν ως «σχεδιασμός που ταιριάζει». Περιλαμβάνει την προσεκτική διαχείριση των ροών υλικών, οι οποίες, στην κυκλική οικονομία, είναι δύο τύπωνόπως περιγράφονται από τους McDonough και Braungart (2010): βιολογικά θρεπτικά συστατικά, σχεδιασμένα να εισέρχονται με ασφάλεια στην βιόσφαιρα και να κατασκευάζουν φυσικό κεφάλαιο και τεχνικά θρεπτικά συστατικά να κυκλοφορούν σε υψηλή ποιότητα, χωρίς να εισέρχονται στη βιόσφαιρα.

Ως αποτέλεσμα, η κυκλική οικονομία κάνει μια σαφή διάκριση μεταξύ της κατανάλωσης και της χρήσης υλικών: η κυκλική οικονομία υποστηρίζει την ανάγκη για ένα μοντέλο «λειτουργικής υπηρεσίας», στο οποίο οι κατασκευαστές ή οι λιανοπωλητές διατηρούν όλο και περισσότερο την κυριότητα των προϊόντων τους και, όπου είναι δυνατόν, ενεργούν ως πάροχοι υπηρεσιών - που πωλούν τη χρήση των προϊόντων, και όχι την απλή κατανάλωσή τους. Η μετατόπιση αυτή έχει άμεσες επιπτώσεις στην ανάπτυξη αποδοτικών και αποτελεσματικών συστημάτων απόσυρσης και στη διάδοση πρακτικών σχεδιασμού προϊόντων και επιχειρηματικών μοντέλων, που παράγουν πιο ανθεκτικά προϊόντα, διευκολύνουν την αποσυρμολόγηση και την ανακαίνιση και εξετάζουν ενδεχόμενες μετατοπίσεις προϊόντων/ υπηρεσιών. Όπως εξηγεί ένας από τους βασικότερους στοχαστές της κυκλικής οικονομίας, Walter Stahel, το γραμμικό μοντέλο μετασχημάτισε τις υπηρεσίες σε προϊόντα που μπορούν να πωληθούν, δημιουργώντας μια σπάταλη προσέγγιση απόδοσης. Στο παρελθόν, η επαναχρησιμοποίηση και η επέκταση της διάρκειας υπηρεσίας ήταν συχνά στρατηγικές σε καταστάσεις έλλειψης ή φτώχειας και οδήγησαν σε προϊόντα κατώτερης ποιότητας. Σήμερα, είναι σημάδια καλής διαχείρισης των πόρων και έξυπνης αξιοποίησης αυτών. (MacArthur, 2013).

#### 1.2.1 Βασικές Αρχές Κυκλικής Οικονομίας

Η κυκλική οικονομία, η οποία βασίζεται σε πολύπλευρα θεωρητικά θεμέλια, ενσωματώνει μια υποδειγματική μετατόπιση από το συμβατικό γραμμικό οικονομικό μοντέλο. Αυτό το νέο πλαίσιο στηρίζεται σε μια θεμελιώδη τριάδα αρχών που ενορχηστρώνουν συνεργατικά ένα βιώσιμο κοινωνικοοικονομικό τοπίο.

Στον πυρήνα της, η αρχή των «**Συστημάτων Κλειστού Κύκλου**» (**Closed-Loop Systems**) σηματοδοτεί την ουσία της κυκλικής οικονομίας. Αυτή η αρχή προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση της εξόρυξης πόρων και της παραγωγής αποβλήτων μέσω της αέναης κυκλοφορίας των υλικών. Χρησιμοποιώντας στρατηγικές όπως η ανακύκλωση, η ανακατασκευή και η ανακαίνιση, η έννοια αυτή επιδιώκει να περιορίσει τη ροή των πόρων στις χωματερές, μετριάζοντας την οικολογική επιβάρυνση. (Geissdoerfer et al., 2017)



Παράλληλα, η αρχή της **«Ανθεκτικότητας και μακροζωίας των προϊόντων» (Product Durability and Longevity)** υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για τη σχεδίαση προϊόντων που είναι εγγενώς ανθεκτικά και αντέχουν στη φθορά. Αυτή η κλίση προς τη μακροζωία αντιστρατεύεται την κουλτούρα της αναλώσιμης χρήσης και ενισχύει τη συμπεριφορά των καταναλωτών που βασίζεται στη διατήρηση της αξίας. Αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων, η αρχή αυτή μειώνει τη συχνότητα κατανάλωσης και κατά συνέπεια μειώνει τις περιβαλλοντικές πιέσεις. (Geyer et al., 2017)

Επιπλέον, η έννοια των **«Υπηρεσιοποίησης και της κοινής χρήσης Πλατφόρμων» (Servitization and Sharing Platforms)** αποτελεί την επιτομή της μετάβασης από τα προϊόντοκεντρικά στα υπηρεσιοκεντρικά επιχειρηματικά μοντέλα. Μέσω συμφωνιών μίσθωσης, συνδρομής ή διαμοιρασμού, το δόγμα αυτό υποστηρίζει τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Με την άμβλυνση της απαίτησης για ατομική ιδιοκτησία, η αρχή αυτή περιορίζει τη ζήτηση για πρώτες ύλες, αμβλύνοντας έτσι τις ανησυχίες για τη σπανιότητα των πόρων. (Tukker et al., 2015)

Συνοπτικά, η κυκλική οικονομία σκιαγραφεί ένα ολιστικό σχέδιο που στηρίζεται στο τρίπτυχο των συστημάτων κλειστού κύκλου, της διάρκειας ζωής των προϊόντων και της εξυπηρέτησης. Αυτό το καινοτόμο πλαίσιο υπόσχεται να τονώσει τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη, καταλύοντας τη μεταμόρφωση των κυρίαρχων προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής. Μέσα σε αυτές τις αρχές ενσωματώνονται οι σπόροι του μετασχηματισμού, που κυοφορούν ένα μέλλον που χαρακτηρίζεται από αυξημένη αποδοτικότητα των πόρων, οικολογική ανθεκτικότητα και διαρκή ευημερία.

### 1.2.2 Οι δράσεις της Κυκλικής Οικονομίας και τα 9 R's

Τα 9 R's της κυκλικής οικονομίας αποτελούν την επιτομή μιας ολιστικής και στρατηγικής προσέγγισης για την επανάσταση του παραδοσιακού γραμμικού μοντέλου παραγωγής και κατανάλωσης. Με ρίζες στις αρχές της βιωσιμότητας και της αποδοτικότητας των πόρων, το πλαίσιο αυτό προσφέρει έναν οδικό χάρτη για τη μετάβαση προς μια αναγεννητική και λιγότερο

σπάταλη οικονομία. Περιλαμβάνοντας μια αλληλουχία δράσεων, από την επανεξέταση του τρόπου με τον οποίο σχεδιάζουμε τα προϊόντα έως την ανακύκλωση των υλικών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, τα 9 R παρουσιάζουν μια συνεκτική στρατηγική για τον μετασχηματισμό της σχέσης μας με τους πόρους. Κάθε "R" σηματοδοτεί ένα καίριο βήμα για την καλλιέργεια μιας πιο ανθεκτικής και περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένης κοινωνίας, προωθώντας την καινοτομία και την αλλαγή σε όλες τις βιομηχανίες και τους τομείς.

Πιο συγκεκριμένα, τα 9 R's της κυκλικής οικονομίας, αναλύονται ως εξής:

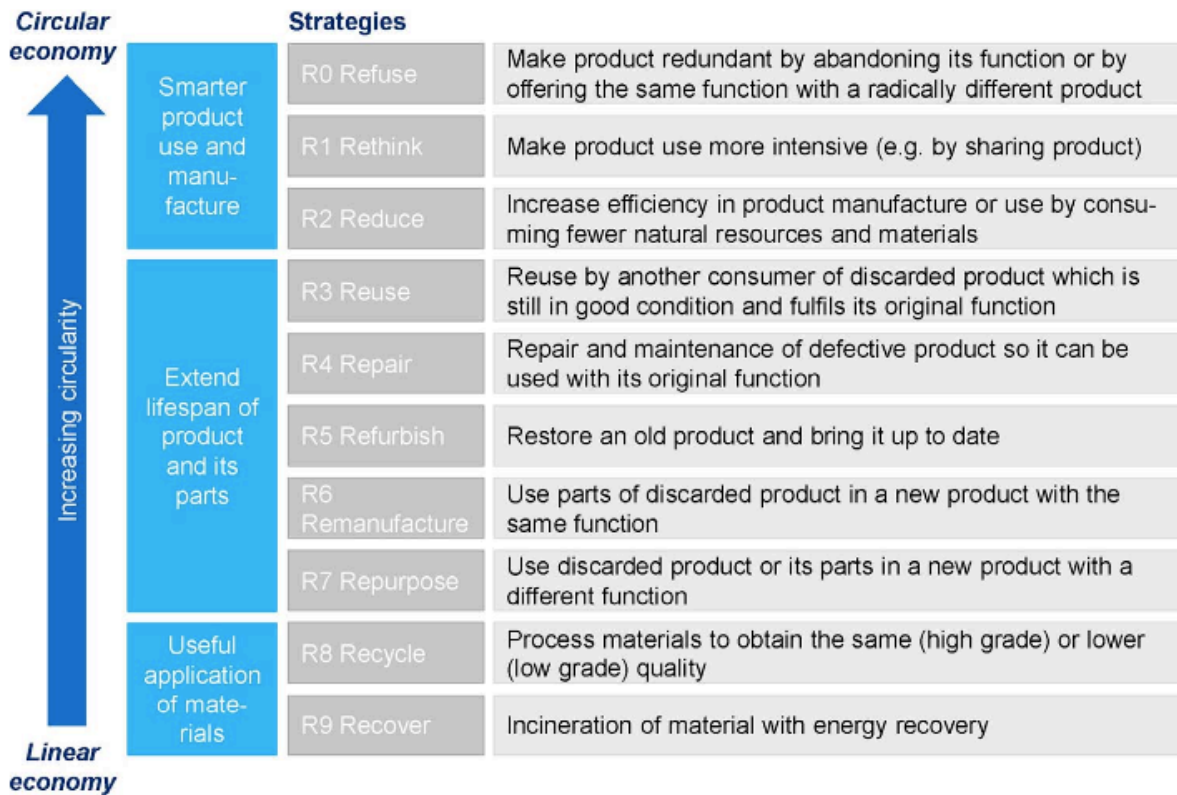
1. **Recover (Ανάκτηση):** Ο όρος αυτός υποδηλώνει την ανάκτηση ή την εξαγωγή πολύτιμων πόρων από απορριπτόμενα προϊόντα ή απόβλητα, συμβάλλοντας στην αναγέννηση των πρώτων υλών.
2. **Recycle (Ανακύκλωση):** Η ανακύκλωση περιλαμβάνει τη διαδικασία μετατροπής χρησιμοποιημένων υλικών σε νέα προϊόντα, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για νέους πόρους και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
3. **Repurpose (Προσαρμογή):** Η προσαρμογή συνεπάγεται την απόδοση νέας λειτουργίας ή σκοπού σε ένα αντικείμενο που διαφορετικά θα μπορούσε να απορριφθεί, επεκτείνοντας τη χρησιμότητά του και εκτρέποντάς το από το ρεύμα των αποβλήτων.
4. **Remanufacture (Ανακατασκευή):** Η ανακατασκευή περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση και την ανακατασκευή προϊόντων με τη χρήση ανακτημένων εξαρτημάτων, μειώνοντας τη ζήτηση για νέα υλικά και διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα.
5. **Refurbish (Ανακαίνιση):** Η ανακαίνιση αναφέρεται στην αποκατάσταση αντικειμένων σε ανανεωμένη κατάσταση, βελτιώνοντας την εμφάνιση και τη λειτουργικότητά τους και συμβάλλοντας στη συνέχεια της χρήσης τους.
6. **Repair (Επισκευή):** Η επισκευή περιλαμβάνει την επιδιόρθωση σπασμένων ή κατεστραμμένων αντικειμένων για την αποκατάσταση της αρχικής τους

λειτουργικότητας, μειώνοντας την ανάγκη για αντικατάσταση και ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα.

7. **Reuse (Επαναχρησιμοποίηση):** Η επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνει την επανειλημμένη χρήση αντικειμένων, είτε για τον ίδιο σκοπό είτε για διαφορετικές εφαρμογές, παρατείνοντας τον κύκλο ζωής τους και μειώνοντας την κατανάλωση νέων πόρων.
8. **Reduce (Μείωση):** Ο όρος αυτός τονίζει τη σημασία της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης πόρων και της παραγωγής αποβλήτων με τη χρήση λιγότερων υλικών και τη συνολική παραγωγή λιγότερων ποσοτήτων.
9. **Rethink (Επανεξέταση):** Η επανεξέταση περιλαμβάνει την κριτική εξέταση και αναθεώρηση των κυρίαρχων προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής, ενθαρρύνοντας πιο βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις.

Τέλος, ως ακόμα μία σημαντική δράση στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, η οποία διεκδικεί τη θέση για το δέκατο “R” είναι:

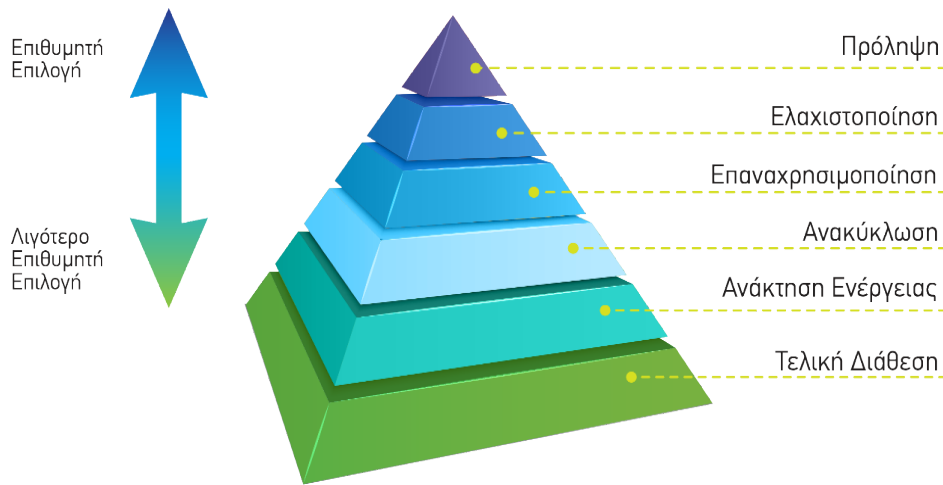
10. **Refuse (Άρνηση):** Η άρνηση συνεπάγεται τη συνειδητή απόφαση να απορρίψουμε ή να αποφύγουμε τα περιττά ή αναλώσιμα αντικείμενα, περιορίζοντας την υπερκατανάλωση και μειώνοντας τα απόβλητα.



Εικόνα 3. Σχηματική αποτύπωση των 9 R's δράσεων. (Potting et al., 2017)

### 1.3 Διαχείριση Αποβλήτων

Η διαχείριση των αποβλήτων παίζει έναν κεντρικό ρόλο στην κυκλική οικονομία, καθώς καθορίζει τον τρόπο πρακτικής εφαρμογής της ιεράρχησης αποβλήτων στην ΕΕ. Η ιεράρχηση των αποβλήτων προσδιορίζει μια σειρά προτεραιότητας της διαχείρισης στερεών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της ροής των βιοαποδομήσιμων υλικών, και αποτελεί μια πολιτική που ακολουθεί η Ε.Ε. και κατ' επέκταση τα Κράτη Μέλη. Η προτιμώμενη σειρά προτεραιότητας των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των αποβλήτων και η οποία έχει ενσωματωθεί στην εθνική νομοθεσία, περιλαμβάνει την πρόληψη, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση- ανάκτηση υλικών, ανάκτηση ενέργειας και βέλτιστη τελική διάθεση. Η γραφική απεικόνιση της ιεραρχίας της Διαχείρισης Αποβλήτων παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 4. Ιεράρχηση δράσεων διαχείρισης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2014)

Η έννοια της πρόληψης των απορριμμάτων συνίσταται στη μείωση της ποσότητας των παραγόμενων απορριμμάτων και κατά συνέπεια στη μείωση του όγκου και του βάρους αυτών που καταλήγουν στους χώρους τελικής διάθεσης, μέσω μιας σειράς τεχνικών επιλογών και νομοθετικών - οικονομικών ρυθμίσεων, καθώς και ένα πλαίσιο κοινωνικής συμπεριφοράς και ενεργής συμμετοχής των πολιτών.

Η πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων εξαρτάται από σειρά παραγόντων, όπως η οικονομική ανάπτυξη, η έκταση στην οποία οι επιχειρήσεις έχουν ήδη υιοθετήσει βέλτιστες πρακτικές για τη μείωση των αποβλήτων, κλπ. Η πρόληψη μπορεί να επιτευχθεί μόνον αν επηρεαστούν οι πρακτικές αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής και αφομοιωθούν αυτές της κυκλικής οικονομίας, δηλαδή πως σχεδιάζεται το προϊόν, πως παράγεται, πως διατίθεται στον καταναλωτή και πως χρησιμοποιείται τελικά.

Βασικό ζήτημα στην πρόληψη παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής νέων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης.

## 1.4 Νομοθετικό Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων

### 1.4.1 Ευρωπαϊκή Ένωση και Στόχοι

Πρωταρχικός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι η προώθηση των πρακτικών ανακύκλωσης, με ιδιαίτερη έμφαση στη σημαντική μείωση του όγκου των επικίνδυνων αποβλήτων, μετριάζοντας έτσι τις επακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στις 21 Δεκεμβρίου 2005, η ΕΕ ξεκίνησε μια ολοκληρωμένη προσπάθεια να θεσπίσει μέτρα και κανονισμούς που προσανατολίζονται στην ενίσχυση της πρόληψης των αποβλήτων, της ανακύκλωσης και της μετατροπής τους σε πολύτιμους πόρους.

Κατά συνέπεια, η ΕΕ ξεκίνησε μια διαδικασία που περιελάμβανε την επαναξιολόγηση της Οδηγίας – Πλαίσιο, που θεσπίστηκε το 1975 και αφορούσε τη διαχείριση των αποβλήτων και τη θέσπιση της Οδηγίας 2006/12, η οποία οριοθετούσε αυστηρά πρότυπα ανακύκλωσης, ενώ ανέθετε στα κράτη μέλη να εφαρμόζουν προληπτικά μέτρα και κανονισμούς που αποσκοπούσαν στην αποτροπή της δημιουργίας αποβλήτων και τη μείωση του μεγέθους τους. Η αναθεώρηση αυτή αποσκοπούσε στη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας μέσω της ενοποίησης και της απλούστευσης.

Οι στόχοι που θέτουν οι κανονισμοί αυτοί για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων είναι οι παρακάτω:

- Οι επιπτώσεις προς το περιβάλλον να είναι οι λιγότερο δυνατές.
- Η δημιουργία των αποβλήτων να είναι όσο το δυνατόν ελεγχόμενη.
- Οι δράσεις που αφορούν την ανακύκλωση να είναι σε έντονο ρυθμό.
- Να απλοποιηθεί η νομοθεσία που αφορά την αντιμετώπιση των αποβλήτων.
- Να είναι πιο αποτελεσματική η εφαρμογή των νόμων.

#### 1.4.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η συνολική ποσότητα αποβλήτων που παράγεται κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανέρχεται σε περίπου 2.000 εκατομμύρια τόνους. Η ΕΕ, έχει θεσπίσει ένα νομοθετικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση των ποσοτήτων αυτών των αποβλήτων και περιλαμβάνει μέτρα και δράσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και, ειδικότερα, για τη διαχείριση των αποβλήτων.

Η πρώτη συμφωνία που πραγματοποιήθηκε ήταν το έτος 1972, όταν η ΕΕ ονομαζόταν ΕΟΚ, και αφορούσε την προστασία του περιβάλλοντος και αυτό ήταν το πρώτο βήμα με το οποίο θεσπίστηκαν κανονισμοί και δράσεις.

Έτσι, την ίδια χρονιά, το έτος 1973, σχεδιάστηκε και νομοθετήθηκε η πρώτη δράση για την προστασία του περιβάλλοντος και αφορούσε την περίοδο από το έτος 1973 έως το έτος 1976. Από το έτος αυτό και μετά, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα άρχισε να διαθέτει κονδύλια, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν για την προστασία του περιβάλλοντος.

Το έτος 1987, δημιουργήθηκε η Ενιαία Ευρωπαϊκή Πράξη, η οποία περιελάμβανε άρθρα για την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και συγκεκριμένες δράσεις που υιοθετήθηκαν για την ενεργοποίηση-υποχρέωση των κρατών μελών να εφαρμόζουν τη νομοθεσία που αφορούσε το περιβάλλον, η οποία ψηφίστηκε από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα.

Η Συνθήκη της Λισαβόνας αποτελεί κομβικό σημείο στην αναγνώριση των ανησυχιών για την κλιματική αλλαγή και, κατά συνέπεια, οριοθετεί συγκεκριμένους στόχους περιβαλλοντικής πολιτικής εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Οι στόχοι αυτοί είναι:

1. Προτεραιότητα των προληπτικών μέτρων έναντι των διορθωτικών μέτρων.
2. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών αιτιών στην πηγή τους.
3. Επιβολή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει», διασφαλίζοντας ότι το κόστος των μέτρων βαρύνει τον ρυπαίνοντα.
4. Προώθηση της διακρατικής συνεργασίας μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ στις προσπάθειες προστασίας του περιβάλλοντος.

Συμπερασματικά, η ΕΕ υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη οι υπεύθυνοι για την περιβαλλοντική ζημία να επωμίζονται το οικονομικό βάρος της αποκατάστασης της ζημίας αυτής. Για την υλοποίηση αυτής της πολιτικής, η ΕΕ έχει θεσπίσει ολοκληρωμένα προγράμματα περιβαλλοντικής δράσης, τα οποία περιλαμβάνουν νομοθετικές οδηγίες, κανονισμούς και αποφάσεις, όπως ενδεικτικά αναφέρεται στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων του 2020 (ΕΣΔΑ, 2020).

Η προσέγγιση της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των αποβλήτων στηρίζεται σε πέντε βασικές αρχές:

1. **Πρόληψη και ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων:** Η έμφαση δίνεται στη λήψη προληπτικών μέτρων για την πρόληψη και τη μείωση της δημιουργίας αποβλήτων.
2. **Επαναχρησιμοποίηση των παραγόμενων προϊόντων:** Ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης προϊόντων και υλικών που προέρχονται από απόβλητα για την παράταση του κύκλου ζωής τους.
3. **Ανακύκλωση και ανάκτηση παραγόμενων προϊόντων:** Προώθηση της ανακύκλωσης και της ανάκτησης πολύτιμων υλικών από ρεύματα αποβλήτων.
4. **Αξιοποίηση των αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας:** Αξιοποίηση των αποβλήτων ως πόρου για την παραγωγή ενέργειας, συμβάλλοντας σε βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές.
5. **Ασφαλής διάθεση υπολειμματικών προϊόντων:** Εξασφάλιση της ορθής διάθεσης τυχόν εναπομεινάντων προϊόντων αποβλήτων με περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο.

Παρακάτω, παρατίθενται ορισμένες σημαντικές Αποφάσεις, Κανονισμοί και Οδηγίες, που σχετίζονται με την προώθηση και ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας:

1. **Σχέδιο δράσης για την κυκλική οικονομία (CEAP):** το οποίο περιγράφει διάφορες πρωτοβουλίες και νομοθετικές δράσεις για την προώθηση της κυκλικής οικονομίας,



συμπεριλαμβανομένου του βιώσιμου σχεδιασμού προϊόντων, της μείωσης των αποβλήτων και των στόχων ανακύκλωσης.

2. **Οδηγία-Πλαίσιο για τα απόβλητα (2008/98/ΕΚ):** Η οδηγία αυτή καθορίζει το νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση των αποβλήτων και ενθαρρύνει τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, προωθώντας την πρόληψη των αποβλήτων, την ανακύκλωση και τη μείωση της υγειονομικής ταφής.
3. **Οδηγία για τα πλαστικά μιας χρήσης (2019/904/ΕΕ):** Με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων των πλαστικών μιας χρήσης στο περιβάλλον, η οδηγία αυτή περιορίζει τη χρήση ορισμένων πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης και προωθεί εναλλακτικές λύσεις και την ανακύκλωση.
4. **Πρωτοβουλία για τα κυκλικά ηλεκτρονικά προϊόντα:** Ένα εξελισσόμενο σύνολο κανονισμών και δράσεων για την αντιμετώπιση των ηλεκτρονικών αποβλήτων (ηλεκτρονικά απόβλητα), συμπεριλαμβανομένης της οδηγίας για τον οικολογικό σχεδιασμό και μέτρων για την προώθηση της δυνατότητας επισκευής και ανακύκλωσης των ηλεκτρονικών συσκευών.
5. **Οδηγία για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασίας (94/62/ΕΚ):** Η οδηγία αυτή αναθεωρήθηκε για να θέσει φιλόδοξους στόχους ανακύκλωσης για τα υλικά συσκευασίας, να προωθήσει τον οικολογικό σχεδιασμό και να μειώσει τα απόβλητα συσκευασίας.
6. **Οδηγία για τις μπαταρίες (2006/66/ΕΚ):** Προωθεί τη συλλογή, την ανακύκλωση και την ορθή διάθεση των μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων, για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.
7. **Στρατηγική για τα πλαστικά και σχετικοί κανονισμοί:** Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη μείωση των πλαστικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων κανονισμών για την

εξαγωγή πλαστικών αποβλήτων, τα μικροπλαστικά και τη διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού για τις πλαστικές συσκευασίες.

8. **Στρατηγική για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα:** Πρωτοβουλίες για να γίνουν τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα πιο βιώσιμα και κυκλικά, συμπεριλαμβανομένων μέτρων για την ενίσχυση της ανακύκλωσης των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και της σήμανσης της βιωσιμότητας.
9. **Κανονισμοί για τη βιώσιμη χρηματοδότηση:** Ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και κυκλικής οικονομίας εκτιμήσεων στον χρηματοπιστωτικό τομέα για την προώθηση βιώσιμων επενδύσεων και πρακτικών δανεισμού.
10. **Ευρωπαϊκά κριτήρια για τις πράσινες δημόσιες συμβάσεις (GPP):** Κατευθυντήριες γραμμές για την προώθηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας στις δημόσιες συμβάσεις, ενθαρρύνοντας την αγορά προϊόντων με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη δυνατότητα ανακύκλωσης.
11. **Περιβαλλοντικό αποτύπωμα προϊόντος (PEF):** Μια μεθοδολογία για τη μέτρηση και την κοινοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων, η οποία υποστηρίζει την ανάπτυξη πιο βιώσιμων και κυκλικών προϊόντων.
12. **Νομοθεσία για τα χημικά προϊόντα (REACH):** Συνεχείς προσπάθειες για τη ρύθμιση των χημικών ουσιών και την προώθηση της χρήσης ασφαλέστερων και πιο βιώσιμων χημικών ουσιών στα προϊόντα, ενισχύοντας την κυκλικότητα των υλικών.

#### 1.4.3 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Η νομοθεσία στην Ελλάδα έχει ενσωματώσει τις νομοθετικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων, επιδεικνύοντας πιστή δέσμευση στις αρχές της ελαχιστοποίησης των αποβλήτων, της ανακύκλωσης και της βιώσιμης ανάκτησης των φυσικών πόρων.

Το πρώτο βήμα της Ελλάδας αναφορικά με την καθολική διαχείριση των αποβλήτων ξεκίνησε με την Υπουργική Απόφαση Ε1Β/301/64, η οποία επικεντρώθηκε στη συλλογή, συγκέντρωση και διάθεση των αποβλήτων, όπως τεκμηριώνεται στο ΦΕΚ 63/Β/14-2-64. Αντίθετα, το πιο πρόσφατο νομοθετικό ορόσημο είναι το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) για την περίοδο που εκτείνεται από το 2020 έως το 2030, το οποίο δημοσιεύθηκε επίσημα στις 29 Σεπτεμβρίου 2020. Το ΕΣΔΑ εξυπηρετεί τον γενικότερο σκοπό της χάραξης στρατηγικών στόχων, πλαισίων πολιτικής και μέτρων που αποσκοπούν στη διαφύλαξη τόσο του περιβάλλοντος όσο και της ανθρώπινης ευημερίας (Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), 2020).

### Νέο Σχέδιο Δράσης για την Κυκλική Οικονομία

Τον Μάρτιο 2020 Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το νέο Σχέδιο Δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κυκλική οικονομία, που αποτελεί έναν από τους κύριους πυλώνες της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Το νέο ευρωπαϊκό σχέδιο δράσης εστιάζει σε τομείς με αυξημένη χρήση πόρων και υψηλό δυναμικό κυκλικότητας, όπως, και μεταξύ άλλων, τα ηλεκτρονικά, οι μπαταρίες, τα οχήματα, οι συσκευασίες, τα πλαστικά, κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, οι κατασκευές, τα τρόφιμα, τα ύδατα και οι θρεπτικές ύλες.

Ήδη από τον Δεκέμβριο του 2018 το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας δημοσίευσε την Εθνική Στρατηγική για την Κυκλική Οικονομία και το Εθνικό Επιχειρησιακό Σχέδιο Δράσης 2018-2019. Τον Νοέμβριο 2021, το εθνικό σχέδιο δράσης αναθεωρήθηκε και συγκεκριμενοποιήθηκε με το νέο Σχέδιο Δράσης της χώρας για την κυκλική οικονομία, το οποίο:

- εναρμονίζεται πλήρως με τους στόχους και τις δεσμεύσεις του νέου ευρωπαϊκού σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία,
- είναι συμβατό με τις νέες Ευρωπαϊκές οδηγίες και θεσμικές πρωτοβουλίες,
- λαμβάνει υπόψη όλες τις νέες νομοθετικές εξελίξεις στην Ελλάδα όπως το νέο νομοθετικό πλαίσιο για τα απόβλητα, την εναλλακτική διαχείριση, τα πλαστικά μιας χρήσης και τις συναφείς αναπτυξιακές πολιτικές σε τομεακό και εθνικό επίπεδο, καθώς και τα Εθνικά

σχέδια δράσης για τα απόβλητα και το Εθνικό πρόγραμμα πρόληψης δημιουργίας αποβλήτων.

Το εν λόγω σχέδιο δράσης αποτελεί έναν οδικό χάρτη με τετραετή διάρκεια (2021-2025) και περιλαμβάνει 71 δράσεις που θα επιτρέψουν να καταστεί η οικονομία της χώρας βιώσιμη και ταυτόχρονα ανταγωνιστική.

Οι πρώτες εγχώριες δράσεις προς την κατεύθυνση της κυκλικής οικονομίας είναι:

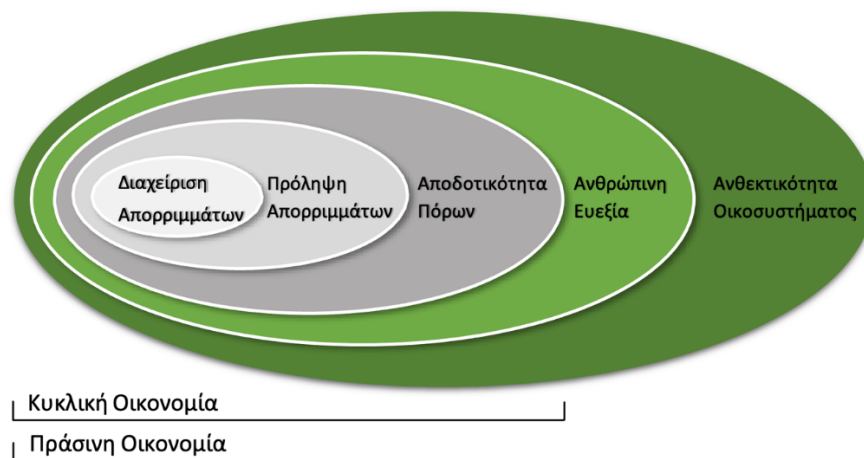
- Η έκδοση του Νόμου 4736/2020 για την εναρμόνιση της Οδηγίας 904/2019 που αφορά στη μείωση των επιπτώσεων ορισμένων πλαστικών προϊόντων μιας χρήσης.
- Η έγκριση του Σχεδίου Δράσης για τις Πράσινες Δημόσιες Συμβάσεις από το Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας το Φεβρουάριο του 2021.
- Η απονομή Οικολογικού Σήματος για προϊόντα από διάφορες κατηγορίες (διευρύνονται και σε χρηματοοικονομικές υπηρεσίες).
- Η έκδοση προδιαγραφών για ένταξη έργων που προωθούν την κυκλική οικονομία σε διάφορα χρηματοδοτικά προγράμματα ΕΣΠΑ κ.ά.

Το νέο σχέδιο δράσης υποστηρίζει τη μετάβαση προς ένα μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης με σαφείς στόχους και δράσεις που θα οδηγήσουν στην επίτευξή τους. Με συμμάχους τις περιφερειακές και τοπικές αρχές, τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές, συντονίζουμε τις προσπάθειες της χώρας να μειώσει τις ποσότητες αποβλήτων, να αυξήσει την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των προϊόντων, να δημιουργήσει αγορά δευτερογενών υλικών και αποβλήτων ως παραγωγικών πόρων, να αυξήσει τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, να μειώσει τη χρήση επικίνδυνων ουσιών και να προωθήσει την κυκλικότητα στις παραγωγικές διαδικασίες.

## 2. ΠΡΑΣΙΝΗ ΜΕΤΑΒΑΣΗ

### 2.1 Πράσινη Ανάπτυξη: Η ολιστική προσέγγιση της βιωσιμότητας

Οι έννοιες της Κυκλικής Οικονομίας (ΚΟ) και της Πράσινης Ανάπτυξης (ΠΑ) έχουν συγκεντρώσει σημαντική προσοχή στη σύγχρονη συζήτηση για την αειφόρο ανάπτυξη και την περιβαλλοντική οικονομία. Ενώ και οι δύο στοχεύουν στον μετριασμό της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και στην προώθηση της αποδοτικότητας των πόρων, αντιπροσωπεύουν διακριτά παραδείγματα με διαφοροποιημένες επιπτώσεις στην οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η παρούσα ανάλυση εμβαθύνει στα θεωρητικά θεμέλια, τις βασικές αρχές και τις πολιτικές επιπτώσεις της Κυκλικής Οικονομίας και της Πράσινης Ανάπτυξης, υπογραμμίζοντας τη διασύνδεσή τους και τη δυναμική συμβολή τους σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον.



Εικόνα 5. Η πράσινη οικονομία ως πλαίσιο ενσωμάτωσης για πολιτικές σχετικά με τη χρήση υλικών

Η Πράσινη Ανάπτυξη έχει τις ρίζες της στην ιδέα ότι η οικονομική ευημερία μπορεί να επιτευχθεί παράλληλα με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, σε αντίθεση με την επικρατούσα πεποίθηση ότι η οικονομική ανάπτυξη οδηγεί αναπόφευκτα σε περιβαλλοντική υποβάθμιση (Παγκόσμια Τράπεζα, 2012). Δίνει έμφαση στην αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από την εξάντληση

των πόρων και την περιβαλλοντική βλάβη, δίνοντας έμφαση στις βιώσιμες πρακτικές και τις καθαρές τεχνολογίες. Το παράδειγμα αυτό αναγνωρίζει ότι τα παραδοσιακά μοντέλα ανάπτυξης που βασίζονται σε βιομηχανίες έντασης πόρων δεν είναι μακροπρόθεσμα βιώσιμα.

Ορισμένες από τις βασικές αρχές της Πράσινης Ανάπτυξης περιλαμβάνουν την απαλλαγή από τον άνθρακα, την ενεργειακή απόδοση και τη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Acemoglu et al., 2012). Οι αρχές αυτές αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της κατανάλωσης πόρων, ενώ παράλληλα προωθούν την οικονομική ανάπτυξη. Με την ενθάρρυνση της υιοθέτησης καθαρότερων τεχνολογιών και βιώσιμων πρακτικών σε διάφορους τομείς, η Πράσινη Ανάπτυξη επιδιώκει να επιτύχει ισορροπία μεταξύ της οικονομικής ευημερίας και της διατήρησης του περιβάλλοντος.

Παράλληλα, οι πολιτικές που ευθυγραμμίζονται με την Πράσινη Ανάπτυξη απαιτούν επενδύσεις σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βιώσιμα συστήματα μεταφορών και πράσινες τεχνολογίες (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, 2011). Οι κυβερνήσεις εκείνες, εν τέλει, διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για τις επενδύσεις αυτές μέσω ρυθμιστικών μέτρων, φορολογικών κινήτρων και συμπράξεων δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Επιπλέον, η προώθηση της έρευνας και της ανάπτυξης πράσινων τεχνολογιών και η προώθηση της καινοτομίας αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο για την αξιοποίηση του δυναμικού της πράσινης ανάπτυξης.

Συμπερασματικά, η Πράσινη Ανάπτυξη αποτελεί μια ολιστική προσέγγιση της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, η οποία επιδιώκει να συνδυάσει την οικονομική ευημερία με τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αποσυνδέοντας την οικονομική ανάπτυξη από την εξάντληση των πόρων και τη ρύπανση, η Πράσινη Ανάπτυξη μπορεί να συμβάλει σε μια πιο βιώσιμη και ανθεκτική παγκόσμια οικονομία. Σε συνδυασμό με την κυκλική οικονομία, προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη πορεία προς την επίτευξη ενός βιώσιμου μέλλοντος. Η συνεργασία μεταξύ των φορέων χάραξης πολιτικής, των ενδιαφερόμενων μερών της βιομηχανίας και των ερευνητών είναι υψίστης σημασίας για την αξιοποίηση του πλήρους

δυναμικού της Πράσινης Ανάπτυξης και την προώθηση της μετάβασης σε έναν πιο βιώσιμο και ευημερούντα κόσμο.

## 2.2 Πράσινη Εργασία

Η επιδίωξη μιας βιώσιμης και φιλικής προς το περιβάλλον οικονομίας έχει οδηγήσει σε μια αυξανόμενη έμφαση στη δημιουργία πράσινων θέσεων εργασίας. Οι πράσινες θέσεις εργασίας, που συχνά συνδέονται με κλάδους και επαγγέλματα που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, έχουν συγκεντρώσει την προσοχή των πολιτικών κύκλων και του ακαδημαϊκού λόγου, με σημείο καμπής, την πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ζήτηση πράσινων θέσεων εργασίας (GJD) για το τρέχον έτος (2023), αναλύοντας παράλληλα, την έννοια, τη σημασία τους, καθώς και τις επιπτώσεις τους στην ευρωπαϊκή αγορά εργασίας.

Οι πράσινες θέσεις εργασίας είναι θέσεις που συμβάλλουν άμεσα ή έμμεσα στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την αποδοτικότητα των πόρων και τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και περιβαλλοντικά υπεύθυνη (ILO, 2008). Οι ρόλοι αυτοί καλύπτουν διάφορους τομείς, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η ενεργειακή απόδοση, η διαχείριση αποβλήτων και η βιώσιμη γεωργία, μεταξύ άλλων. Περιλαμβάνουν επαγγέλματα που μειώνουν την περιβαλλοντική βλάβη, προωθούν φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές και ευθυγραμμίζονται με τους ευρύτερους στόχους μιας πράσινης και κυκλικής οικονομίας.

Συνεπώς, οι πράσινες θέσεις εργασίας διαθέτουν πολλά βασικά πλεονεκτήματα στο πλαίσιο των σύγχρονων προκλήσεων. Πρώτον, ανταποκρίνονται στην επείγουσα ανάγκη καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής, προωθώντας την ανάπτυξη βιομηχανιών που μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2020). Δεύτερον, συμβάλλουν στην οικονομική ανάπτυξη, προσφέροντας ευκαιρίες για καινοτομία, αύξηση της παραγωγικότητας και της ανταγωνιστικότητας. Τρίτον, οι πράσινες θέσεις εργασίας μπορούν να ενισχύσουν την κοινωνική

ένταξη, δημιουργώντας ευκαιρίες για περιθωριοποιημένες κοινότητες και προωθώντας μια δίκαιη μετάβαση σε μια βιώσιμη οικονομία (ILO, 2020).

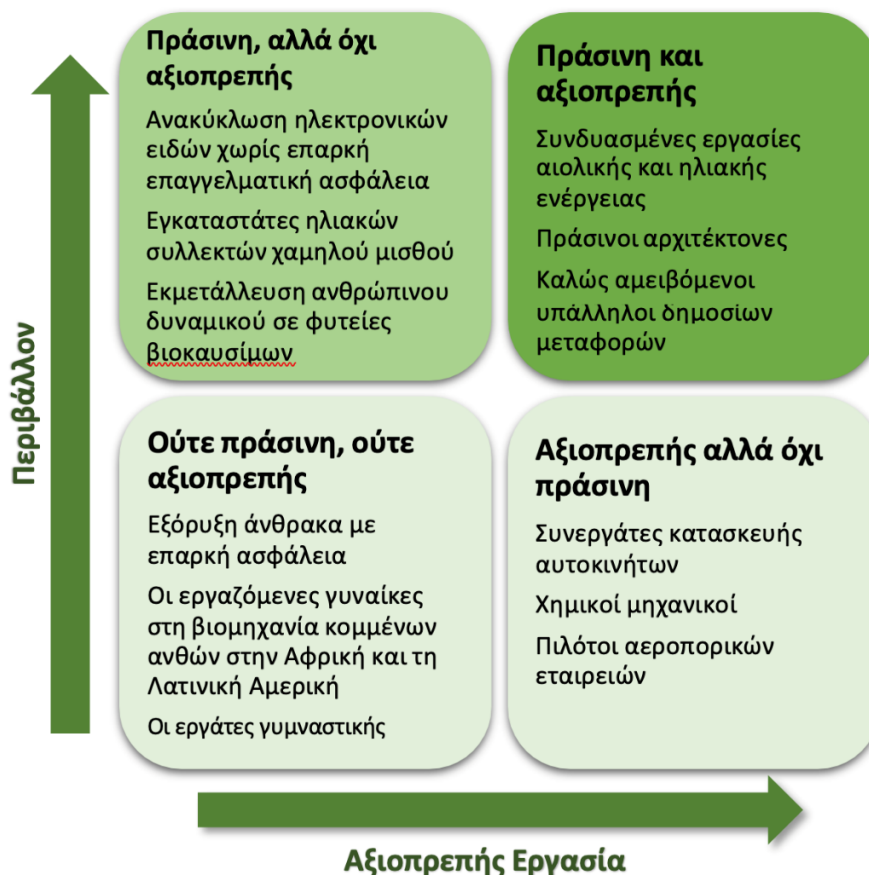
Επιπρόσθετα, και όπως απορρέει από τα παραπάνω, οι πράσινες θέσεις εργασίας καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα δεξιοτήτων, εκπαιδευτικού περιβάλλοντος και επαγγελματικών προφίλ. Εμφανίζονται στην έρευνα και την ανάπτυξη, σε επαγγελματικούς τομείς όπως η μηχανική και η αρχιτεκτονική, στον σχεδιασμό και τη διαχείριση έργων, στον έλεγχο, στη διαχείριση, στην εμπορία, λιανική και εξυπηρέτηση πελατών και σε πολλούς παραδοσιακούς εργατικούς τομείς, όπως υδραυλικές εγκαταστάσεις ή ηλεκτρικές καλωδιώσεις. Επίσης, οι πράσινες θέσεις εργασίας δεν υπάρχουν μόνο σε ιδιωτικές επιχειρήσεις αλλά και σε κυβερνητικά γραφεία (πρότυπα, κανονισμοί, άδειες, παρακολούθηση και επιβολή, προγράμματα υποστήριξης κλπ.), στην επιστήμη και ακαδημαϊκή κοινότητα, σε επαγγελματικές ενώσεις και οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών (ομάδες παρακολούθησης, κοινοτικές οργανώσεις κ.λπ.).

Ένας στενός ορισμός των πράσινων θέσεων εργασίας μπορεί να επικεντρωθεί αποκλειστικά στα πράσινα διαπιστευτήρια μιας εργασίας. Ωστόσο, υπογραμμίζεται από φορείς και σωματεία εργαζομένων, πως ότι οι πράσινες θέσεις εργασίας πρέπει επίσης να είναι αξιοπρεπείς θέσεις απασχόλησης - συνδυάζοντας ανησυχίες όπως η αποτελεσματικότητα και οι χαμηλές εκπομπές με παραδοσιακές ανησυχίες για την εργασία, συμπεριλαμβανομένων των μισθών, των προοπτικών σταδιοδρομίας, της ασφάλειας εργασίας, της επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας, και τα δικαιώματα των εργαζομένων. Φυσικά, η ακριβής φύση και η ποιότητα των θέσεων εργασίας σε ολόκληρο τον πλανήτη ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Ενώ είναι επιθυμητό, δεν θα υπάρχει ενιαίο παγκόσμιο πρότυπο για το προβλεπόμενο μέλλον. Αλλά ακόμη και αν δεχτεί κανείς το αναπόφευκτο των διαφορών στην αμοιβή και άλλα χαρακτηριστικά, πρέπει να τηρηθούν ορισμένα πρότυπα. Τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης, τα δικαιώματα και η αίσθηση της αξιοπρέπειας συνδέονται στενά με τις δουλειές τους. Οι θέσεις εργασίας πρέπει να παρέχουν ίσες ελπίδες για το περιβάλλον και τον κάτοχο της θέσης εργασίας. Μια εργασία που είναι



εκμεταλλευτική, επιβλαβής ή αποτυγχάνει να πληρώσει ένα δίκαιο μισθό (ή χειρότερα, καταδικάζει τους εργαζόμενους σε μια ζωή φτώχειας) δύσκολα μπορεί να ονομαστεί πράσινη.

Η πρωτοβουλία των πράσινων θέσεων εργασίας, ωστόσο, επιδιώκει την αντιμετώπιση των προκλήσεων της ανεργίας, ιδίως μετά τις οικονομικές διαταραχές που προκάλεσε η πανδημία COVID-19. Με την προώθηση της δημιουργίας πράσινων θέσεων εργασίας, η ΕΕ μπορεί να μετριάσει τις απώλειες θέσεων εργασίας σε παραδοσιακούς τομείς, ενώ παράλληλα να προωθήσει την ανάπτυξη σε αναδυόμενες πράσινες βιομηχανίες.

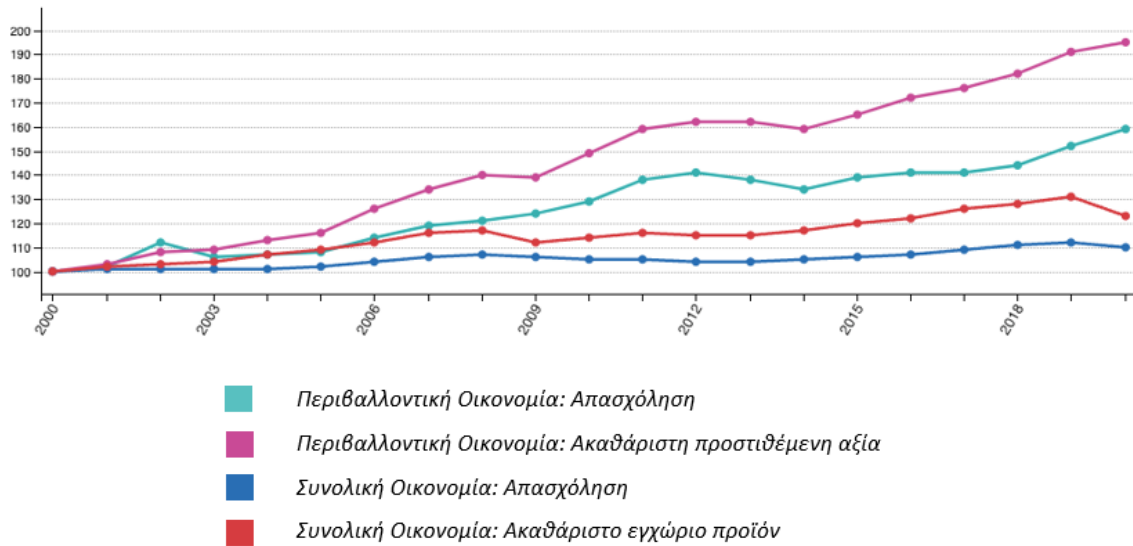


Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση με τις Πράσινες και Αξιοπρεπείς Εργασίες (Renner et al., 2008)

Συμπερασματικά, οι πράσινες θέσεις εργασίας αποτελούν μια καίρια διάσταση της σύγχρονης αγοράς εργασίας, με πολύπλευρη σημασία για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ένταξη. Η πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη ζήτηση πράσινων θέσεων εργασίας για το 2023 αποτελεί παράδειγμα της δέσμευσης για την προώθηση των πράσινων ευκαιριών απασχόλησης με παράλληλη αντιμετώπιση των προκλήσεων της ανεργίας. Η πρωτοβουλία αυτή, μαζί με συμπληρωματικές πολιτικές και επενδύσεις στην ανάπτυξη δεξιοτήτων, μπορεί να καταλύσει τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και ανθεκτική ευρωπαϊκή αγορά εργασίας.

### 2.3 Πράσινη Οικονομία

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της Eurostat, η απασχόληση στον περιβαλλοντικό τομέα της Ευρωπαϊκής Ένωσης σημείωσε ιδιαίτερη αύξηση, καθώς από 3,2 εκατομμύρια θέσεις πλήρους απασχόλησης το 2000 αυξήθηκε σε 5,1 εκατομμύρια θέσεις πλήρους απασχόλησης κατά το έτος 2020. Το 2020, η περιβαλλοντική οικονομία συνεισέφερε 828 δισ. ευρώ σε παραγωγή και 341 δισ. ευρώ σε ακαθάριστη προστιθέμενη αξία. Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά την περίοδο 2000-2020, τόσο η απασχόληση όσο και η ακαθάριστη προστιθέμενη αξία παρουσίασαν ταχύτερη ανάπτυξη στον περιβαλλοντικό τομέα σε σύγκριση με την πρόοδο που παρατηρήθηκε στην ευρύτερη οικονομία, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 1.



**Διάγραμμα 1. Ανάπτυξη βασικών δεικτών για την περιβαλλοντική οικονομία και τη συνολική οικονομία, EU-28, 2000 - 2020 (Eurostat)**

Σύμφωνα με τις μετρήσεις της Eurostat, μεταξύ του 2000 και του 2020, υπήρξε μέση ετήσια αύξηση της απασχόλησης κατά 2,4%. Τα πρώτα δέκα χρόνια της νέας χιλιετίας παρατηρήθηκε συνεχής δημιουργία θέσεων εργασίας στον περιβαλλοντικό τομέα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2003 σημειώθηκε μείωση της απασχόλησης, η οποία αποτέλεσε ανωμαλία σε μια περίοδο που κατά τα άλλα ήταν προσανατολισμένη στην ανάπτυξη. Αυτή η αναπτυξιακή πορεία σταμάτησε το 2012, όταν η απασχόληση μειώθηκε για δύο συνεχόμενα έτη. Στη συνέχεια, η απασχόληση άρχισε να αυξάνεται και πάλι και μέχρι το 2020 είχε φθάσει στο υψηλότερο σημείο της τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου από το 2000 έως το 2020, ο περιβαλλοντικός τομέας σημείωσε καλύτερες επιδόσεις από την ευρύτερη οικονομία όσον αφορά τόσο την απασχόληση όσο και την προστιθέμενη αξία. Το 2020, παρά τη συνολική οικονομική συρρίκνωση, ο περιβαλλοντικός τομέας της ΕΕ σημείωσε αύξηση της απασχόλησης κατά 4,5% και αύξηση της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας κατά 1,9%, ενώ η συνολική απασχόληση μειώθηκε κατά 1,4% και το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν της ΕΕ μειώθηκε κατά 5,7%. Ακόμη και κατά τη διάρκεια της

παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης του 2009, η οποία οδήγησε σε συρρίκνωση του ΑΕΠ κατά 4,3%, η μείωση της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας από την παραγωγή περιβαλλοντικών αγαθών και υπηρεσιών ήταν οριακή, 0,5%. Μετά την κρίση, ο περιβαλλοντικός τομέας παρουσίασε ισχυρή ανάπτυξη μέχρι το 2011. Αν και η απασχόληση στον περιβαλλοντικό τομέα μειώθηκε πιο έντονα από ό,τι στη συνολική οικονομία μεταξύ 2012 και 2014, ανέκαμψε γρήγορα. Από το 2014, ο περιβαλλοντικός τομέας παρουσίασε νέα ανάπτυξη, με την ακαθάριστη προστιθέμενη αξία να αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 3,5%.

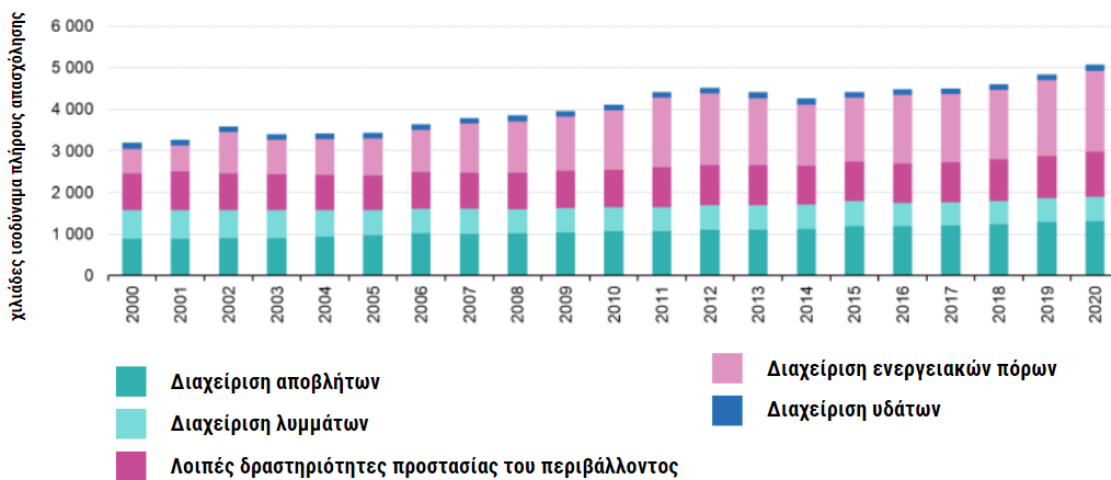
#### Απασχόληση ανά περιβαλλοντικό τομέα

Η απασχόληση στους περιβαλλοντικούς τομείς μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με βάση τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος και τη διαχείριση των πόρων, ευθυγραμμισμένη με τις ταξινομήσεις των δραστηριοτήτων προστασίας του περιβάλλοντος (CEPA) και των δραστηριοτήτων διαχείρισης των πόρων (CReMA). Το Διάγραμμα 2, παρουσιάζει την κατανομή σε τρεις δραστηριότητες προστασίας του περιβάλλοντος (διαχείριση αποβλήτων, διαχείριση υγρών αποβλήτων, άλλες δραστηριότητες προστασίας του περιβάλλοντος) και δύο δραστηριότητες διαχείρισης πόρων (διαχείριση ενεργειακών πόρων, συνδυάζοντας την ενεργειακή απόδοση και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, και διαχείριση υδάτων).

Η απασχόληση που σχετίζεται με τη διαχείριση των ενεργειακών πόρων σημείωσε σημαντική αύξηση, καθώς αυξήθηκε κατά 3,3 φορές από το 2000. Στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων, η απασχόληση παρουσίασε επίσης αύξηση, αν και με ρυθμό μικρότερο από το μισό του ρυθμού που παρατηρήθηκε στη διαχείριση ενεργειακών πόρων. Ωστόσο, η απασχόληση στη διαχείριση αποβλήτων παρουσίασε μείωση, ενώ ο αριθμός των θέσεων πλήρους απασχόλησης στους υπόλοιπους δύο τομείς παρέμεινε σχετικά σταθερός.

Η αύξηση της απασχόλησης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης προέρχεται από διάφορες πτυχές, όπως η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, η κατασκευή εξοπλισμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης, καθώς και η

παροχή υπηρεσιών εγκατάστασης, μηχανικής και έρευνας. Η απασχόληση σε αυτόν τον τομέα αυξήθηκε από 0,6 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης το 2000 σε 1,9 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης το 2020, γεγονός που σημαίνει τη δημιουργία πάνω από ένα εκατομμύριο θέσεων εργασίας πλήρους απασχόλησης στην ΕΕ μεταξύ 2000 και 2020, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε πρωτοβουλίες για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση. Η δεύτερη σημαντικότερη συνεισφορά στην περιβαλλοντική απασχόληση το 2020 προέρχεται από τη διαχείριση αποβλήτων, με τον αριθμό των θέσεων εργασίας να αυξάνεται από 0,9 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης το 2000 σε 1,3 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης το 2020, γεγονός που αντανακλά συνολική αύξηση 49%. Αντίθετα, η απασχόληση που σχετίζεται με τη διαχείριση λυμάτων παρουσίασε μείωση 14% κατά την ίδια περίοδο, μειούμενη από 0,7 εκατομμύρια σε 0,6 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης. Ενώ η προστασία του περιβάλλοντος αντιπροσώπευε πάνω από τα τρία τέταρτα (78%) της απασχόλησης στον τομέα του περιβάλλοντος το 2000, το μερίδιο αυτό μειώθηκε στο 59% το 2020, κυρίως λόγω της εμφάνισης θέσεων εργασίας που σχετίζονται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις προσπάθειες ενεργειακής απόδοσης.



Διάγραμμα 2. Απασχόληση στην περιβαλλοντική οικονομία, ανά τομέα, EU-28, 2000 - 2020 (Eurostat)

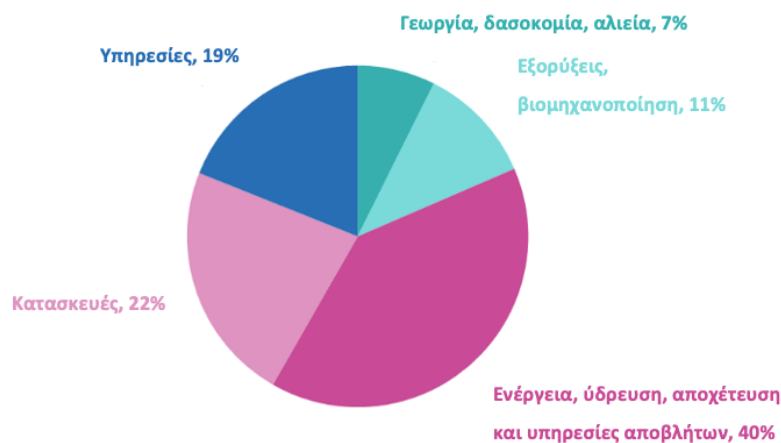
### Απασχόληση, παραγωγή και προστιθέμενη αξία στην πράσινη οικονομία

Παράλληλα, η εξέταση της περιβαλλοντικής οικονομίας μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της ανάλυσης των μονάδων παραγωγής με τη χρήση της στατιστικής ταξινόμησης των οικονομικών δραστηριοτήτων (NACE). Δεδομένου ότι οι μονάδες που ασχολούνται με την παραγωγή περιβαλλοντικών αγαθών και υπηρεσιών συχνά συμμετέχουν σε διάφορες δραστηριότητες, μια ανάλυση με βάση την οικονομική δραστηριότητα προσφέρει μια συμπληρωματική προοπτική στην αξιολόγηση που επικεντρώνεται στους περιβαλλοντικούς τομείς. Η εναλλακτική αυτή προσέγγιση, καταδεικνύει ότι η πλειονότητα της απασχόλησης στην περιβαλλοντική οικονομία της ΕΕ το 2020 σχετίζεται με την παροχή ενέργειας και νερού, την αποχέτευση, τη διαχείριση αποβλήτων και τις δραστηριότητες αποκατάστασης (κατηγορίες Δ και Ε της NACE), συνολικά 1,6 εκατομμύρια ισοδύναμα πλήρους απασχόλησης. Στη συνέχεια, ο κατασκευαστικός τομέας (κατηγορία ΣΤ της NACE) αντιπροσώπευε 1,4 εκατομμύρια θέσεις πλήρους απασχόλησης. Επιπλέον, η περιβαλλοντική οικονομία συνεισέφερε 1,0 εκατομμύρια θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης που συνδέονται με άλλες δραστηριότητες υπηρεσιών, 0,6 εκατομμύρια θέσεις πλήρους απασχόλησης στη γεωργία, τη δασοκομία και την αλιεία και 0,5 εκατομμύρια θέσεις πλήρους απασχόλησης στα ορυχεία, τα λατομεία και τη μεταποίηση.

Το έτος 2020, οι δραστηριότητες που περιλαμβάνουν την παροχή ενέργειας και νερού, την αποχέτευση, τη διαχείριση αποβλήτων και την αποκατάσταση συνεισφέρουν περίπου 136 δισεκατομμύρια ευρώ, που ισοδυναμεί με το 40% της συνολικής προστιθέμενης αξίας στην περιβαλλοντική οικονομία, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3. Ο κατασκευαστικός τομέας συνεισέφερε 78 δισεκατομμύρια ευρώ σε προστιθέμενη αξία, που αντιστοιχεί στο 23% της συνολικής ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας εντός της περιβαλλοντικής οικονομίας. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως η ενεργειακή αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων, η κατασκευή ενεργειακά αποδοτικών κατασκευών, οι πρωτοβουλίες ηχομόνωσης και η συντήρηση και επισκευή δικτύων ύδρευσης, εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων, καθώς και συστημάτων αποχέτευσης. Συνολικά 65 δισεκατομμύρια ευρώ προστιθέμενης αξίας, που αποτελούν το 19% του συνολικού αριθμού, παρήχθησαν από

διάφορες υπηρεσίες στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής οικονομίας. Οι υπόλοιποι τομείς, συμπεριλαμβανομένων των ορυχείων, των λατομείων, της μεταποίησης (11%) και της γεωργίας, της δασοκομίας και της αλιείας (7%), συνέβαλαν στο 11% και 7% της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας εντός της περιβαλλοντικής οικονομίας, αντίστοιχα.

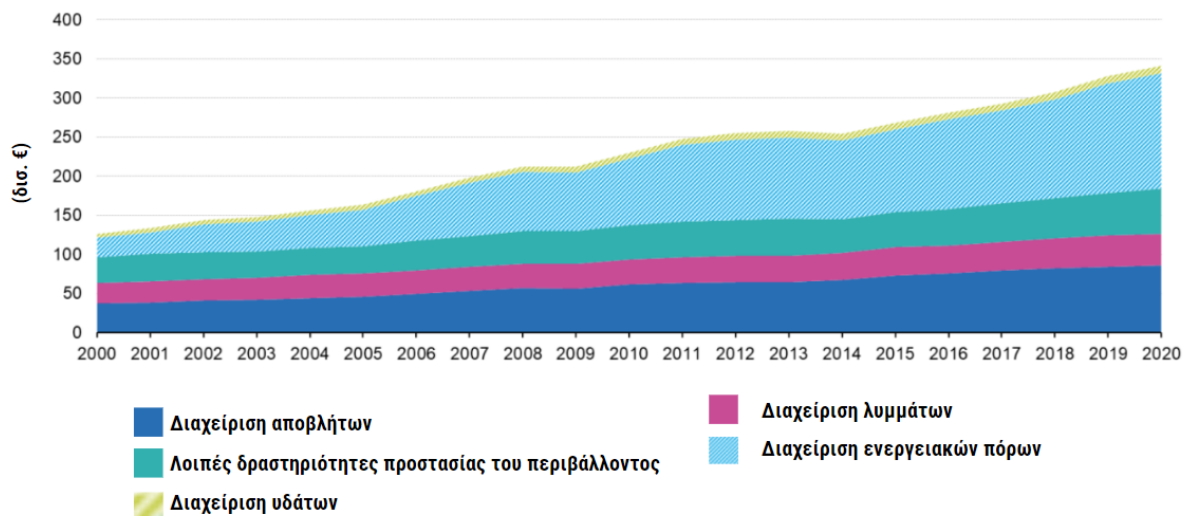
Κατά την αξιολόγηση της παραγωγικότητας της εργασίας, ποσοτικοποιημένη ως προστιθέμενη αξία ανά ισοδύναμη θέση εργασίας πλήρους απασχόλησης, τα υψηλότερα επίπεδα παρατηρήθηκαν στην ενέργεια και την ύδρευση, την αποχέτευση, τη διαχείριση αποβλήτων και τις δραστηριότητες αποκατάστασης. Οι δραστηριότητες αυτές παρήγαγαν κατά μέσο όρο 84.200 ευρώ ανά ισοδύναμη θέση εργασίας πλήρους απασχόλησης, αντιπροσωπεύοντας το 40% της συνολικής προστιθέμενης αξίας εντός της περιβαλλοντικής οικονομίας, ενώ αντιστοιχούσαν στο 32% της εισροής εργασίας. Αντίθετα, η παραγωγικότητα της εργασίας ήταν η χαμηλότερη στη γεωργία και τη δασοκομία, με μέσο όρο 41.000 ευρώ ανά ισοδύναμη θέση πλήρους απασχόλησης. Παρά τη συνεισφορά του 7% της συνολικής προστιθέμενης αξίας εντός της περιβαλλοντικής οικονομίας, ο τομέας αυτός αντιπροσώπευε το 12% της εισροής εργασίας. Για λεπτομερέστερες πληροφορίες σχετικά με την παραγωγικότητα, οι αναγνώστες ενθαρρύνονται να ανατρέξουν στο άρθρο σχετικά με τους λογαριασμούς ροής υλικών και την παραγωγικότητα των πόρων.



Διάγραμμα 3. Ακαθάριστη προστιθέμενη αξία της περιβαλλοντικής οικονομίας, ανά δραστηριότητα, ΕΕ-28, 2020 (Eurostat)

### Εξέλιξη της ακαθάριστης προστιθέμενης αξίας της περιβαλλοντικής οικονομίας

Η ακαθάριστη προστιθέμενη αξία στην περιβαλλοντική οικονομία παρουσίασε ανοδική πορεία, εκτοξεύοντας την αξία της από 127 δισεκατομμύρια ευρώ το 2000 σε 341 δισεκατομμύρια ευρώ το 2020, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τάση αυτή βασίζεται σε τρέχουσες τιμές, δεδομένου ότι δεν είναι διαθέσιμοι οι αλυσιδωτοί όγκοι για όλες τις περιβαλλοντικές δραστηριότητες και τις δραστηριότητες διαχείρισης πόρων. Επιπλέον, η συμβολή της περιβαλλοντικής οικονομίας στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) σημείωσε επίσης αύξηση, από 1,6% το 2000 σε 2,5% το 2020. Η ακαθάριστη προστιθέμενη αξία ειδικά στις δραστηριότητες προστασίας του περιβάλλοντος παρουσίασε σημαντική αύξηση, από 96 δισ. ευρώ το 2000 σε 184 δισ. ευρώ το 2020. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η συμβολή της προστασίας του περιβάλλοντος στο ΑΕΠ παρέμεινε σχετικά σταθερή, κυμαινόμενη μεταξύ 1,2% και 1,3%. Αντίθετα, οι δραστηριότητες διαχείρισης πόρων ξεκίνησαν με χαμηλότερη τιμή βάσης το 2000, ύψους 31 δισ. ευρώ (που αντιστοιχεί σε 0,4% του ΑΕΠ). Ωστόσο, παρουσίασαν ταχύτερη αύξηση, φθάνοντας τα 158 δισ. ευρώ (ή 1,2% του ΑΕΠ) το 2020. Η σημαντική αυτή αύξηση οφείλεται κυρίως στην επέκταση του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Διάγραμμα 4. Ακαθάριστη προστιθέμενη αξία της περιβαλλοντικής οικονομίας, ανά τομέα, EU-28, 2000 - 2020 (Eurostat)



### 3. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι μέθοδοι βιολογικής διαχείρισης αποβλήτων βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε βιοαποδομήσιμα ή οργανικά απόβλητα. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται μια μεγάλη ποικιλία αγροτικών αποβλήτων και υπολειμμάτων (κοπριές, φυτικά υπολείμματα καλλιεργειών, απόβλητα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, ελαιοπυρήνα κλπ.), πολλά στερεά απόβλητα και ιλύες από βιομηχανίες τροφίμων, η ιλύς βιολογικών καθαρισμών αστικών λυμάτων καθώς και το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών αποβλήτων (BAA). Το τελευταίο, υπόκειται περιορισμούς της Οδηγίας για την Υγειονομική Ταφή (1999/31/ΕΕ) που επιβάλλουν τη σταδιακή εκτροπή του από τη διάθεση σε Χ.Υ.Τ.Α., από το 2010 έως το 2020 για την Ελλάδα. Όσον αφορά τα βιοαποδομήσιμα αστικά απόβλητα, οι μονάδες βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να δεχθούν:

- Το βιοαποδομήσιμο κλάσμα μετά από διαλογή στην πηγή, το οποίο μετά από μια αερόβια φάση βιοσταθεροποίησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως «κομπόστ» και χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων και πολλές διεξόδους αξιοποίησης (π.χ. ως εδαφοβελτιωτικό, υλικό επικάλυψης λατομείων)
- Ένα εμπλουτισμένο σε βιοαποδομήσιμα υλικά κλάσμα, που προέρχεται από εγκαταστάσεις μηχανικής διαλογής. Δεδομένου ότι η μηχανική διαλογή (δηλαδή οι μηχανικοί διαχωρισμοί με χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού όπως κόσκινα, μαγνήτες, κ.λπ.), εφαρμόζεται σε σύμμεικτα απορρίμματα όπως αυτά έρχονται με τα απορριμματοφόρα, η ποιότητα του εμπλουτισμένου αυτού κλάσματος και κατ' επέκταση του προϊόντος μετά τη βιολογική επεξεργασία, εξαρτάται από τις επιμέρους διεργασίες της μηχανικής διαλογής. Σε κάθε περίπτωση όμως η ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του κομπόστ που περιεγράφηκε παραπάνω, γι' αυτό και συνήθως αναφέρεται ως υλικό «τύπου κομπόστ».

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας βασίζονται στην ελεγχόμενη ανάπτυξη και δράση των μικροοργανισμών, οι οποίοι επεξεργάζονται τα βιοαποδομήσιμα απορρίμματα. Σκοπός της βιολογικής επεξεργασίας είναι η εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών εντός της εγκατάστασης οι οποίες θα ευνοούν το μέγιστο δυνατό ρυθμό αναπαραγωγής των μικροοργανισμών και διάσπασης των αποβλήτων.

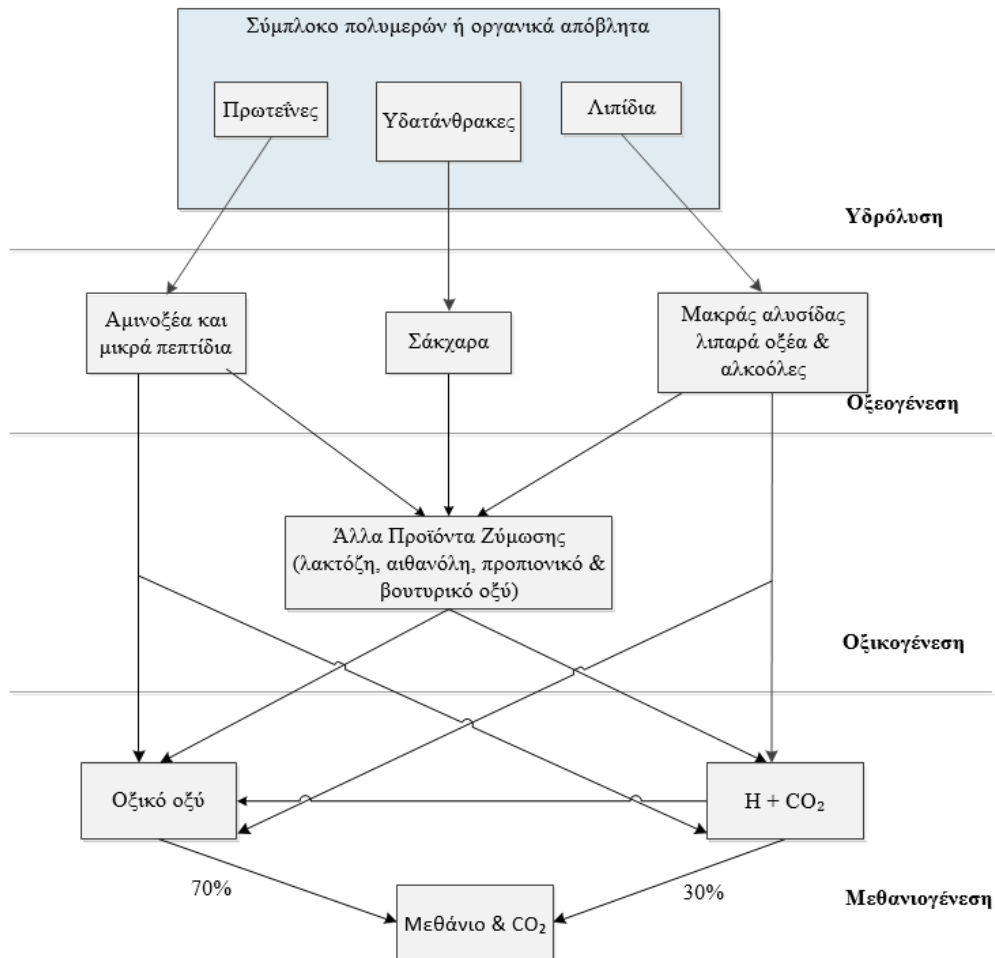
Οι βασικές μορφές βιολογικής επεξεργασίας των οργανικών βιοαποδομήσιμων απορριμμάτων περιλαμβάνουν την αναερόβια χώνευση και την αερόβια επεξεργασία (κομποστοποίηση ή βιολογική ξήρανση), οι οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

### 3.1 Αναερόβια Χώνευση Οργανικού Κλάσματος Απορριμμάτων

#### 3.1.1 Περιγραφή μεθόδου

Η αναερόβια χώνευση είναι διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται η ελεγχόμενη βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων με τη βοήθεια μικροοργανισμών σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου. Προϊόν αυτής της μεθόδου είναι η παραγωγή βιοαερίου και ενός υδαρούς υπολείμματος (χωνεμένη ιλύς). Τα κύρια συστατικά του βιοαερίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) ενώ ταυτόχρονα παράγονται μικρής σημασίας ποσότητες αζώτου, υδρογόνου, αμμωνίας και υδρόθειου (συνήθως λιγότερο από το 1% του συνολικού όγκου αερίου) (Angelidaki et al., 2003). Το βιοαέριο κατά τη διεργασία αυτή, μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, ενώ το υδαρές υπόλειμμα μπορεί να διατεθεί απευθείας στο έδαφος ή να υποστεί περαιτέρω αερόβια επεξεργασία για τη σταθεροποίηση του και να μετατραπεί σε κομπόστ, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό υλικό.

Η αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται από ένα σύνολο μικροοργανισμών που λειτουργούν μαζί. Περιλαμβάνει βιολογικές διεργασίες που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις διακριτές φάσεις:



Διάγραμμα 5. Παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα από πολύπλοκα πολυμερή και οργανικές ενώσεις (Arsova, 2010)

### Υδρόλυση

Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται η διάσπαση με υδρόλυση των πολυμερών οργανικών ενώσεων και των κολλοειδών αποβλήτων σε υδατοδιαλυτά προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους όπως είναι τα αμινοξέα, τα σάκχαρα, τα πεπτίδια, η αμμωνία και το διοξείδιο του άνθρακα. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των μεταβολικών ενζύμων των μικροοργανισμών τα οποία είναι κυρίως η κυτταρινάση, η αμυλάση και η πρωτεάση. Οι πολυσακχαρίτες μεταβολίζονται σε μόρια γλυκόζης. Η κυτταρίνη διασπάται σε μόρια γλυκόζης από την κυτταρινάση. Η ημικυτταρίνη μεταβολίζεται κυρίως σε γλυκόζη, γαλακτόζη και ξυλόζη.

Τα λιπίδια μεταβολίζονται από τη λιπάση και τη φωσφολιπάση σε λιπαρά οξέα μακράς και βραχείας αλυσίδας και γλυκερόλη (Sutaryo, 2012).

### Οξεογένεση

Στη δεύτερη φάση πραγματοποιείται η διαδικασία της οξεογένεσης. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, τα μονομερή που σχηματίστηκαν στο στάδιο της υδρόλυσης (σάκχαρα, μακράς αλυσίδας λιπαρά οξέα και αμινοξέα) χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα, το οποίο απορροφάται και αποδομείται από οξεογενή βακτήρια, παράγοντας άλλα οργανικά οξέα όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα, το οξικό, το προπιονικό και το η-βουτυρικό οξύ, καθώς και αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (Nayono, 2010).

Η παρουσία αυτών των βακτηρίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την απομάκρυνση όλου του οξυγόνου που μπορεί να εισάγεται στο σύστημα, για παράδειγμα μαζί με την περίσσεια ιλύος. Τα οξεογενή βακτήρια είναι σε θέση να μεταβολίσουν το οργανικό υλικό σε συνθήκες πολύ χαμηλού pH (περίπου 4) (Gujer and Zehnder, 1983).

Η οξεογένεση αποτελεί την ταχύτερη αντίδραση κατά την αναερόβια χώνευση υγρής φάσης και έχει ως τελικά προϊόντα οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, τα οποία αποτελούν μεθανιογενή υποστρώματα και μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο (Schink, 1997). Αντίθετα, τα λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες πρέπει να περάσουν από το επόμενο στάδιο της ακετογένεσης καθώς, οι μεγάλες συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων μπορούν να προκαλέσουν αναστολή των βιολογικών διεργασιών, αφού σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά προς τους μεθανιογόνους μικροοργανισμούς.

### Οξικογένεση

Τα προϊόντα από την οξεογένεση που δεν μετατράπηκαν στο προηγούμενο στάδιο σε μεθανογενή υποστρώματα, μετατρέπονται σε αυτό το στάδιο της οξικογένεσης με την επέμβαση οξικογόνων μικροοργανισμών. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται

σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αισθητή πτώση του pH των λυμάτων.

Οι οξικογενείς μικροοργανισμοί είναι αρκετά ευαίσθητοι στα υψηλά οργανικά φορτία και σε μεταβολές στις περιβαλλοντικές παραμέτρους, λόγω της αργής ανάπτυξής τους και είναι πιθανό να μεσολαβήσει μεγάλο χρονικό διάστημα για να προσαρμοστούν στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες (Parawira, 2004).

Οι οξικογενείς μικροοργανισμοί είναι οι συνδετικοί κρίκοι μεταξύ της οξίνισης και του σχηματισμού μεθανίου. Για λόγους κινητικών αντιδράσεων και για να μην παρεμποδίζονται από το προϊόν έκκρισής τους (υδρογόνο), οι μικροοργανισμοί κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης πρέπει να συνυπάρχουν με τους μεθανιογόνους μικροοργανισμούς. Κατά τη διάρκεια αυτών των αντιδράσεων οι πρώτες ύλες προετοιμάζονται για το τελευταίο βήμα της αναερόβιας αποδόμησης, τη μεθανιογένεση.

#### Μεθανιογένεση

Αποτελεί το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης μέσω του οποίου παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από μία κατηγορία βακτηρίων γνωστά ως μεθανιογενή. Οι μικροοργανισμοί αυτοί χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες: i) στα βακτήρια που καταναλώνουν το οξικό οξύ για παραγωγή μεθανίου (acetoclastic), τα οποία ανήκουν στα γένη *Methanosaeta* και *Methanosarcina* και ii) στα βακτήρια που χρησιμοποιούν το υδρογόνο για να ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα προς μεθάνιο (hydrogen utilizers), τα οποία ανήκουν σε διάφορα γένη. Ορισμένα είδη βακτηρίων που ανήκουν στο γένος *Methanosarcina* μπορούν να μετασχηματίσουν, εξίσου καλά, τόσο το οξικό οξύ όσο και το υδρογόνο σε μεθάνιο (Tommasi et al., 2015).

Το 70% του παραγόμενου μεθανίου προέρχεται από οξικό οξύ, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από την αναγωγή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα.

Τα μεθανιογενή βακτήρια παρουσιάζουν το βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης (περίπου το 20% του ρυθμού ανάπτυξης των οξεογενών βακτηρίων) από όλους τους αναερόβιους μικροοργανισμούς στη διεργασία. Είναι αποκλειστικά αναερόβιοι και πολύ ευαίσθητοι στις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών. Συγκεκριμένα, οι μεθανιογενείς μικροοργανισμοί που αποικοδομούν το οξικό οξύ για παραγωγή μεθανίου είναι οι πιο ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές συνθήκες με αποτέλεσμα να αποτελούν περιοριστικό παράγοντα της ταχύτητας της αναερόβιας χώνευσης στην περίπτωση υδρολυόμενων αποβλήτων (Parawira, 2004).

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι στην αναερόβια χώνευση συμμετέχει ένας μεγάλος αριθμός ειδών μικροοργανισμών, τα οποία παράγουν και καταναλώνουν ένα μεγάλο πλήθος ενώσεων με σύνθετες αντιδράσεις ενώ παράλληλα, υπάρχουν συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροοργανισμών. Η όλη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από την καλή ισορροπία και συνύπαρξη των παραπάνω ομάδων μικροοργανισμών, καθώς καμία από τις ομάδες δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνη της.

Για τη βέλτιστη αναερόβια επεξεργασία αποβλήτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες: θερμοκρασία, pH, θρεπτικά, τοξικές ουσίες και άλλοι. Σε σχέση με τα υπόλοιπα βακτήρια, τα μεθανιογενή είναι πιο ευαίσθητα στην αλλαγή ενός από τους παραπάνω παράγοντες (Yu et al., 2002). Μια αλλαγή σε κάποια από αυτές τις συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση των πτητικών οξέων, η οποία προκαλεί ελάττωση στην τιμή του pH και στην απόδοση της εγκατάστασης και τελικά μπορεί να σταματήσει τελείως η διεργασία της χώνευσης.

Οι μικροοργανισμοί που παράγουν μεθάνιο είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές του pH. Η βέλτιστη τιμή του pH ισούται με 6.2, ενώ εάν το pH μειωθεί κάτω από αυτή την τιμή τότε είναι πιθανή η διακοπή της παραγωγής μεθανίου και αυξάνεται η συγκέντρωση των οξέων με αποτέλεσμα την παραγωγή ιλύος δυσάρεστης οσμής.

### 3.1.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες της αναερόβιας χώνευσης

Η αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζεται από κάποιους βασικούς παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται με προσοχή καθώς υποδηλώνουν κατά πόσο λειτουργούν ορθά και βέλτιστα οι αναερόβιοι αντιδραστήρες. Τέτοιες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, το pH, η αλκαλικότητα, ο λόγος C/N, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, ο χρόνος παραμονής των στερεών, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, οι διάφορες θρεπτικές ουσίες, οι τοξικές ουσίες, ο λόγος υπόστρωμα/ μικροβιακή μάζα και άλλοι ανασταλτικοί παράγοντες. Όλες οι παράμετροι παρουσιάζουν σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

#### Θερμοκρασία

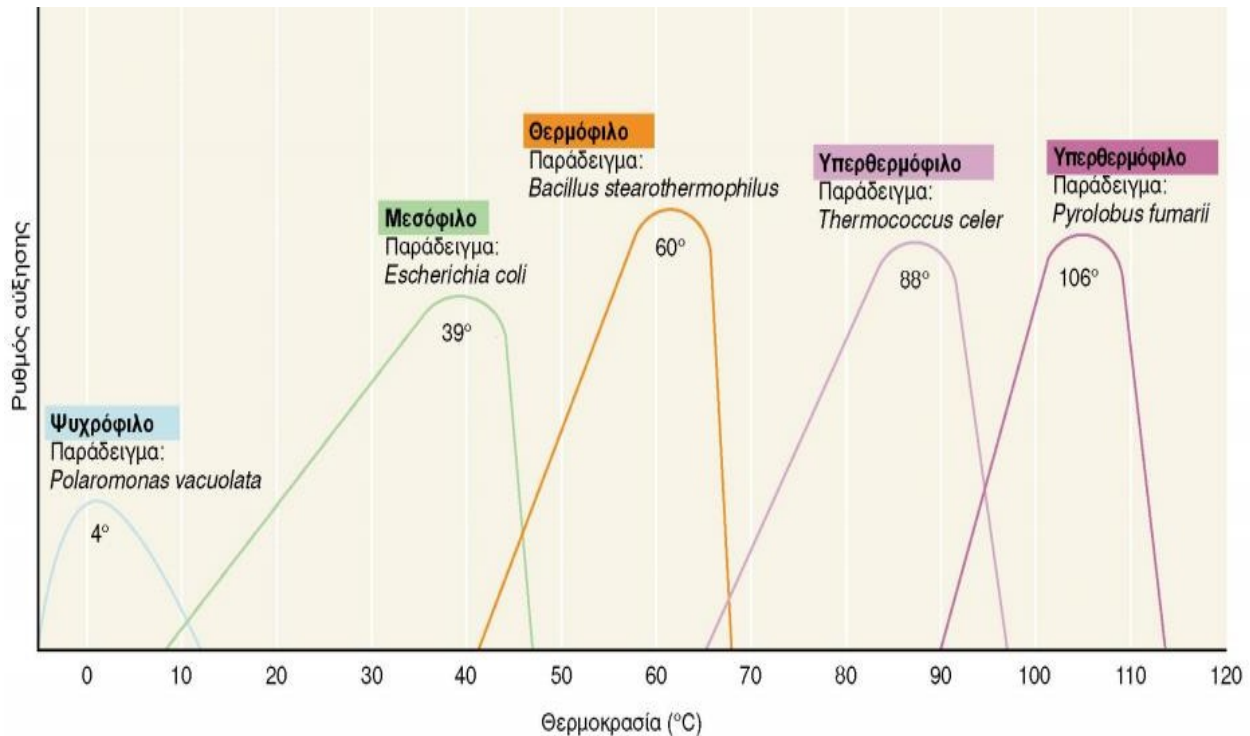
Η θερμοκρασία είναι μία από τις κυριότερες και σημαντικότερες παραμέτρους στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Αποτελεί ένα από τους βασικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των βακτηρίων. Οι ρυθμοί ανάπτυξης τους συχνά αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ένα ορισμένο όριο, καθώς αν η θερμοκρασία πλησιάσει το επιτρεπτό αυτό, για την επιβίωση των βακτηρίων, όριο τότε η δομή των κυτταρικών συστατικών μπορεί να αλλάξει, καθιστώντας πλέον τα κύτταρα ανενεργά (Angelidaki et al., 2003) .

Η αναερόβια χώνευση μπορεί να λειτουργήσει σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ωστόσο διακρίνονται τρεις θερμοκρασιακές περιοχές για τη βέλτιστη ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Parawira, 2004):

- α) η ψυχρόφιλη όπου  $T < 20^{\circ}\text{C}$
- β) η μεσόφιλη με εύρος από 20 έως  $45^{\circ}\text{C}$  με βέλτιστη θερμοκρασία τους  $35^{\circ}\text{C}$  και
- γ) η θερμόφιλη περιοχή με εύρος από 45 έως  $65^{\circ}\text{C}$  και βέλτιστη θερμοκρασία τους  $55^{\circ}\text{C}$ .

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή μεθανίου από αναερόβια χώνευση οργανικού υλικού, υπήρξε αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές στο παρελθόν, όπως και η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας των αναερόβιων χωνευτηρίων. Έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός παραγωγής μεθανίου αυξάνει σημαντικά με τη θερμοκρασία, συγκεκριμένα η παραγωγή

μεθανίου στους 25°C είναι κατά 25% μικρότερη από αυτή που επιτυγχάνεται στους 60°C (Stronach et al., 2012). Ταυτόχρονα, παρατηρείται αύξηση του ρυθμού καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών. Στο Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ βακτηριακής ανάπτυξης και της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 6. Ρυθμός βακτηριακής αύξησης συναρτήσει θερμοκρασίας (Madigan et al., 2007)

## pH

Έχει αποδειχθεί ότι η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται σε πολύ στενό εύρος pH και αυτό γιατί τα μεθανιογενή βακτήρια είναι πολύ ευαίσθητα σε μεγάλες διαφοροποιήσεις στο pH του περιβάλλοντός τους. Τα περισσότερα βακτήρια αναπτύσσονται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών pH που κυμαίνεται μεταξύ 6.7 και 7.4, με βέλτιστο pH από 7.0 έως 7.2, ενώ για pH μικρότερο του 6.3 ή μεγαλύτερο του 7.8 η δραστηριότητα των μεθανιογόνων μικροοργανισμών μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα την ελάττωση του ρυθμού παραγωγής μεθανίου (Lay et al., 1997).



Κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης δύναται να σημειωθούν αποκλίσεις από την περιοχή του βέλτιστου pH λόγω της μεγάλης παραγωγής και συσσώρευσης των όξινων ή βασικών προϊόντων, όπως είναι τα πτητικά λιπαρά οξέα και η αμμωνία, αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει όταν οι οξικογόνοι και οι μεθανιογενείς μικροοργανισμοί παρεμποδίζονται με αποτέλεσμα τα οξέα να μην καταναλώνονται αλλά να συσσωρεύονται στον χωνευτήρα. Αυτό προκαλεί μια σημαντική μείωση στο pH του μέσου και κατά συνέπεια η παραγωγή μεθανίου παρεμποδίζεται ή μπορεί ακόμη και να διακοπεί. Οι παράγοντες που επιδρούν στον καθορισμό της τιμής του pH ενός χωνευτήρα είναι η συγκέντρωση των πτητικών λιπαρών οξέων, όπως προαναφέρθηκε, και η αλκαλικότητα.

#### Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να εξουδετερώνει ισχυρά οξέα και να καθορίζει τη ρυθμιστική ικανότητα ενός διαλύματος, δηλαδή πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορεί να αλλάξει το pH. Είναι σημαντικό ότι οι αντιδραστήρες παρέχουν αρκετή ρυθμιστική ικανότητα ώστε να εξουδετερώνουν οποιαδήποτε πιθανή συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων σε αυτούς με σκοπό τη διατήρηση του pH στην απαιτούμενη τιμή για μια σταθερή λειτουργία (Parawira, 2004).

#### Λόγος C/N

Ο λόγος C/N εκφράζει τη συγκέντρωση του οργανικού άνθρακα (C) σε σχέση με αυτή του αζώτου (N) που υπάρχουν στη σύνθεση των αποβλήτων και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός είδους απορρίμματος, ως υποστρώματος για την αναερόβια χώνευση. Είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η κατάλληλη σύνθεση της πρώτης ύλης για την αποτελεσματική λειτουργία της εγκατάστασης, ώστε η αναλογία C/N να παραμένει εντός των επιθυμητών ορίων. Οι ερευνητές Kayhanian και Rich (1995) οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι μία τιμή του λόγου C/N (βάσει βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα και αζώτου) μεταξύ 20-30 θεωρείται ότι είναι κατάλληλη για έναν αναερόβιο χωνευτήρα. Πρόσφατες μελέτες όμως, έδειξαν ότι η βέλτιστη αναλογία C/N βρίσκεται μεταξύ 15-20 (Zhang et al., 2013). Υψηλές τιμές λόγου C/N γενικά έχουν

σαν αποτέλεσμα την ανεπάρκεια του αζώτου, γεγονός που οφείλεται στο ότι οι μεθανιογενείς μικροοργανισμοί καταναλώνουν γρήγορα το άζωτο για την κάλυψη των αναγκών τους σε πρωτεΐνες. Ως αποτέλεσμα, ο ρυθμός παραγωγής βιοαερίου και η διαδικασία αποδόμησης των στερεών μειώνονται. Σε αντίθεση, αν το αρχικό οργανικό υλικό παρουσιάζει χαμηλές τιμές λόγου C/N, τότε αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη εκπομπή αζώτου με τη μορφή αέριας αμμωνίας, η συγκέντρωση της οποίας μπορεί να αποβεί τοξική για τον μικροβιακό πληθυσμό. Οι βέλτιστες τιμές του λόγου C/N επιτυγχάνονται με την κατάλληλη μίξη των συστατικών των αποβλήτων, η οποία θα επιταχύνει τη διαδικασία της αποικοδόμησης.

### 3.1.3 Συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Στην αναερόβια χώνευση σημαντικό ρόλο παίζει και η επιλογή του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί. Τα αναερόβια συστήματα βιολογικής επεξεργασίας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα συμβατικά συστήματα και τα συστήματα υψηλής ταχύτητας. Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται κυρίως στην ταχύτητα επεξεργασίας και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων.

#### Συμβατικά συστήματα αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας

1. **Αναερόβιες δεξαμενές (lagoons):** Οι αναερόβιες δεξαμενές είναι ανοικτές, ρηχές λεκάνες όπου λαμβάνουν χώρα αναερόβιες μικροβιακές διεργασίες με φυσικό τρόπο. Είναι οικονομικά αποδοτικές και χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, βιομηχανικών αποβλήτων και γεωργικών λυμάτων. Οι αναερόβιες λιμνοθάλασσες βασίζονται σε συνθήκες περιβάλλοντος και σε μικροβιακή δραστηριότητα με σχετικά αργούς ρυθμούς.
2. **Συμβατικοί αναερόβιοι χωνευτήρες:** Οι συμβατικοί αναερόβιοι χωνευτήρες είναι κλειστοί αντιδραστήρες σχεδιασμένοι για επεξεργασία μέτριας ταχύτητας. Λειτουργούν με μεσόφιλες ή θερμοφίλες συνθήκες και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές,

συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας αστικών λυμάτων και οργανικών αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ελεγχόμενα περιβάλλοντα για μικροβιακή χώνευση.

#### Ταχύρρυθμα συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας

1. **Αντιδραστήρες αναερόβιας ιλύος ανερχόμενης ροής (UASB):** Οι αντιδραστήρες UASB είναι συμπαγή αναερόβια συστήματα υψηλής ταχύτητας, γνωστά για την αποτελεσματικότητά τους και τους ταχύτερους ρυθμούς επεξεργασίας. Είναι κατάλληλοι για την επεξεργασία συμπυκνωμένων βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων. Οι αντιδραστήρες UASB έχουν μικρότερο αποτύπωμα σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα.
2. **Αναερόβιοι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (AnMBRs):** Οι AnMBRs συνδυάζουν αναερόβια χώνευση με διήθηση μεμβρανών για τον διαχωρισμό της βιομάζας από τα επεξεργασμένα λύματα. Προσφέρουν αυξημένη ταχύτητα επεξεργασίας, υψηλής ποιότητας εκροή και μειωμένες απαιτήσεις χώρου σε σύγκριση με τους συμβατικούς χωνευτήρες.
3. **Αναερόβιοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης:** Οι αναερόβιοι αντιδραστήρες ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμοποιούν μια ανοδική ροή λυμάτων για την αιώρηση των σωματιδίων βιομάζας, ενισχύοντας την επαφή μεταξύ μικροοργανισμών και υποστρώματος. Παρέχουν αποτελεσματική επεξεργασία σε υψηλότερες ταχύτητες και είναι κατάλληλοι για τον χειρισμό κυμαινόμενων φορτίων.
4. **Αναερόβια υβριδικά συστήματα:** Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν αναερόβιες και αερόβιες διεργασίες επεξεργασίας για τη βελτιστοποίηση της απομάκρυνσης της οργανικής ύλης και της απομάκρυνσης των θρεπτικών συστατικών. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την αναερόβια-ανοξική-οξική (A2O) διαδικασία και την αναερόβια ακολουθούμενη από αερόβια επεξεργασία. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν ευελιξία για την επίτευξη αυστηρών προτύπων ποιότητας των λυμάτων.

Συνοπτικά, η ταξινόμηση των συστημάτων αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας σε συμβατικά και συστήματα υψηλής ταχύτητας αντικατοπτρίζει τις διαφορετικές ταχύτητες επεξεργασίας,

την αποτελεσματικότητα και τις εφαρμογές αυτών των συστημάτων. Τα συμβατικά συστήματα είναι οικονομικά αποδοτικά αλλά λειτουργούν με μέτριες ταχύτητες, ενώ τα συστήματα υψηλής ταχύτητας προσφέρουν αυξημένες ταχύτητες επεξεργασίας και αποδοτικότητα, καθιστώντας τα κατάλληλα για εξειδικευμένες εφαρμογές και καταστάσεις με περιορισμούς χώρου. Η επιλογή μεταξύ αυτών των κατηγοριών εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των λυμάτων και τους στόχους επεξεργασίας.

### 3.2 Αερόβια Βιολογική Επεξεργασία (Κομποστοποίηση)

Η κομποστοποίηση αναφέρεται στην ελεγχόμενη αερόβια διαδικασία βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών αποβλήτων, η οποία τα μετατρέπει σταδιακά σε ένα βιολογικά σταθεροποιημένο τελικό προϊόν που αποκαλείται ευρέως κομπόστ. Ο ορισμός αυτός διακρίνει την κομποστοποίηση ως «αερόβια διαδικασία βιολογικής αποικοδόμησης», διαχωρίζοντάς την από εναλλακτικές τεχνικές διαχείρισης οργανικών κλασμάτων, όπως η αναερόβια χώνευση, η θερμική επεξεργασία και η διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ο όρος «οργανικά απόβλητα» περιλαμβάνει υλικά ικανά για βιοαποικοδόμηση, ενώ οι «ελεγχόμενες συνθήκες» διαφοροποιούν την κομποστοποίηση με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του αερισμού καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, σε αντίθεση με τη φυσική, ανεξέλεγκτη μικροβιακή αποικοδόμηση που συμβαίνει στη φύση. Το σημείο στο οποίο το τελικό προϊόν θεωρείται βιολογικά σταθεροποιημένο είναι όταν δεν υπόκειται πλέον σε έντονη μικροβιακή δραστηριότητα. Οι δυνητικές εφαρμογές του κομπόστ είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν την επεξεργασία του εδάφους, την αποκατάσταση του εδάφους, την αποκατάσταση του εδάφους και τη λειτουργία του ως φυσικό βελτιωτικό του εδάφους (Μαργαρίτης Μ., 2012)

Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης, οι αερόβιοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν οξυγόνο για την επίτευξη της οξειδωτικής διάσπασης των σύνθετων οργανικών ενώσεων που βρίσκονται στο υπόστρωμα. Αυτή η διάσπαση οδηγεί στην παραγωγή παραπροϊόντων όπως διοξείδιο του άνθρακα, ανόργανες ενώσεις αζώτου, νερό και θερμότητα, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο όγκος και η μάζα του αρχικού υποστρώματος. Παράλληλα με τη βιοαποδόμηση της οργανικής ουσίας

συντελούνται και διεργασίες χουμοποίησης οι οποίες περιλαμβάνουν τον πολυμερισμό ενώσεων από τους μικροοργανισμούς ή/και το σχηματισμό απλούστερων ενώσεων προερχόμενα από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας. Επομένως, το βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό μετατρέπεται μέσω διαδοχικών μικροβιακών δραστηριοτήτων και βιοχημικών αντιδράσεων σε σταθερότερη οργανική ουσία η οποία έχει κοινά χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά με τις χουμικές ενώσεις.

### 3.2.1 Στάδια της ολοκληρωμένης διεργασίας της κομποστοποίησης

Η κομποστοποίηση ως ολοκληρωμένη διεργασία διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων χαρακτηρίζεται από μια σειρά αναπόσπαστων σταδίων τα βασικότερα από τα οποία παρουσιάζονται στην Εικόνα 7. Το πρώτο στάδιο αποτελεί την ανάκτηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων το οποίο περιλαμβάνει την εποπτεία του συλλεχθέντος οργανικού υλικού και την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών. Στα ανεπιθύμητα υλικά συμπεριλαμβάνονται ουσίες οι οποίες δεν είναι ζυμώσιμες καθώς και κάθε άλλου είδους ουσία που δύναται να επηρεάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η διεργασία αυτή διαφοροποιείται σημαντικά ανά είδος βιοαποδομήσιμου στερεού αποβλήτου. Ροές όπως είναι η ιλύς από αστικά υγρά απόβλητα, η κοπριά ζώων, τα δασοκομικά και γεωργικά απόβλητα έχουν σαφέστατα πιο ομοιόμορφη και ομοιογενής σύσταση συγκριτικά με τα οργανικά αστικά στερεά απορρίμματα, ο βαθμός ανάκτησής των οποίων εξαρτάται σημαντικά από την εκάστοτε πολιτική διαχείρισής τους (π.χ. διαλογή στην πηγή, σύστημα συλλογής κ.α.). Αξίζει να αναφερθεί ότι τα προγράμματα διαλογής του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών στερεών αποβλήτων παρουσιάζουν σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά πλεονεκτήματα (USEPA, 1995). Επιπλέον, ο βαθμός της ομοιογένειας ως προς τη σύστασή τους εξαρτάται από το σχεδιασμό των προγραμμάτων διαλογής στην πηγή και στο βαθμό στον οποίο υφίσταται ξεχωριστή συλλογή των διαφορετικών οργανικών ροών των αστικών στερεών αποβλήτων (υπολείμματα τροφών, πράσινα υπολείμματα κλπ.)

Στάδιο 1	• Συλλογή και ανάκτηση βιοαποδομήσιμων οργανικών αποβλήτων
Στάδιο 2	• Προετοιμασία υλικού τροφοδοσίας
Στάδιο 3	• Αερόβια βιολογική επεξεργασία οργανικού υλικού
Στάδιο 4	• Ωρίμανση κομπόστ
Στάδιο 5	• Κοσκίνισμα και ραφινάρισμα κομπόστ
Στάδιο 6	• Αποθήκευση και συσκευασία κομπόστ

Εικόνα 7. Τυπικά στάδια της ολοκληρωμένης διαχείρισης των βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων με τη μέθοδο της κομποστοποίησης (Μαργαρίτης, 2012)

Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας της κομποστοποίησης περιλαμβάνει την προετοιμασία του υλικού τροφοδοσίας για τη διαμόρφωση κατάλληλων φυσικοχημικών συνθηκών στο αρχικό υπόστρωμα για την ενίσχυση της απόδοσης της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Η προετοιμασία αυτή δύναται να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων (α) την επαρκή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε θρεπτικά συστατικά (π.χ. άνθρακα, άζωτο, φώσφορο) με την προσθήκη ενός ή περισσότερων ζυμώσιμων οργανικών υλικών, (β) τη ρύθμιση του μεγέθους και του πορώδους του υποστρώματος για τη διευκόλυνση της διάχυσης του οξυγόνου στην οργανική μάζα (π.χ. τεμαχισμός, χρήση διογκωτικών υλικών), (γ) τη ρύθμιση της περιεχόμενης υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα και (δ) την ομογενοποίηση του οργανικού προς κομποστοποίηση υλικού.

Το τρίτο στάδιο αποτελεί το βιολογικό μέρος της κομποστοποίησης στο οποίο συντελείται η βιοαποδόμηση του οργανικού υλικού με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων. Έπειτα πραγματοποιείται η ωρίμανση του οργανικού υλικού και η περαιτέρω σταθεροποίησή του. Σε επόμενο στάδιο διεξάγεται το κοσκίνισμα και ραφινάρισμα του παραγόμενου κομπόστ για την απομάκρυνση μη επιθυμητών υλικών (π.χ. ογκώδη και αδρανή υλικά) ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται το απαιτούμενο μέγεθος και η κατάλληλη υφή του κόμποστ για τις διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την τελική του χρήση. Τέλος το κόμποστ αποθηκεύεται και συσκευάζεται

καθώς η εποχική ζήτηση κόμποστ δεν συμπίπτει πάντοτε με τη διαθεσιμότητα σε οργανικά απόβλητα για επεξεργασία.

### 3.2.2 Περιβαλλοντικοί παράγοντες και παράμετροι ελέγχου κομποστοποίησης

Οι παράμετροι ελέγχου της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν το σύνολο των μεγεθών που υπόκεινται σε μεταβολές κατά τα εξελικτικά στάδια της διεργασίας και δύναται, τις περισσότερες περιπτώσεις, να ρυθμιστούν από εξωτερικές παρεμβάσεις στοχεύοντας στην αύξηση του ρυθμού βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Τα μεγέθη ελέγχου και ρύθμισης των διεργασιών της κομποστοποίησης περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές παραμέτρους.

#### Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που καθορίζει την επιτυχία και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας κομποστοποίησης, καθώς επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μικροβιακή δραστηριότητα και τους ρυθμούς αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Η κομποστοποίηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε μεσόφιλη, θερμόφιλη και φάση ωρίμανσης με βάση τα εύρη θερμοκρασιών (Haug, 1993). Αρχικά επικρατούν μεσόφιλες συνθήκες, με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20°C έως 45°C. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, μια ποικιλόμορφη κοινότητα μεσόφιλων μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων και μυκήτων, αποσυνθέτει ενεργά τα οργανικά υλικά. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, το κόμποστ εισέρχεται στη θερμόφιλη φάση (45°C έως 70°C), η οποία χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία των θερμόφιλων μικροοργανισμών. Οι θερμόφιλοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβολική δραστηριότητα, επιταχύνοντας τη διάσπαση πολύπλοκων οργανικών ενώσεων και την καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών και σπόρων ζιζανίων (Haug, 1993).

Η σημασία της θερμοκρασίας στην κομποστοποίηση υπογραμμίζεται από την άμεση συσχέτισή της με τους ρυθμούς αποσύνθεσης. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντός του θερμόφιλου εύρους διευκολύνουν την ταχύτερη διάσπαση της οργανικής ύλης (Bernal et al., 2009). Επιπλέον, οι

αυξημένες θερμοκρασίες συμβάλλουν στην εξυγίανση του κομπόστ, καθιστώντας το ασφαλέστερο για γεωργικές και κηπευτικές εφαρμογές (Haug, 1993). Ωστόσο, οι υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να είναι επιζήμιες, οδηγώντας σε απώλεια πολύτιμων θρεπτικών συστατικών και οργανικής ύλης. Η αποτελεσματική διαχείριση της θερμοκρασίας, η οποία επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου αερισμού, του ελέγχου της υγρασίας και του γυρίσματος, είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του σωρού κομπόστ εντός του βέλτιστου θερμοφιλικού εύρους (Erstein, 1997).

**Πίνακας 1.** Εύρος βέλτιστων θερμοκρασιακών τιμών (°C) στο οποίο παρατηρείται μεγιστοποίηση του ρυθμού διάσπασης της οργανικής ουσίας

Εύρος θερμοκρασίας	Σχόλιο	Βιβλιογραφία
52 - 60°C	Μεγιστοποίηση της αποσύνθεσης	Bach et al. (1984), McKinley and Vestal (1984), MacGregor et al. (1981)
≤55°C	-	McKinley and Vestal (1984).
50 - 55°C	Η μικροβιακή δραστηριότητα παρεμποδίζεται σε υψηλότερα θερμοκρασιακά επίπεδα	Diaz and Savage (2007a)
45 - 55°C	Μεγιστοποίηση του ρυθμού βιοαποδόμησης	Pagans et al. (2005), Stentiford (1996), De Bertoldi et al. (1983)
43 - 65°C	Αποδοτική κομποστοποίηση	EA (2001)
55 - 65°C	Αποδοτική λειτουργία της διεργασίας της κομποστοποίησης	Shammas and Wang (2007)

Συμπερασματικά, η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι μια καίρια πτυχή της επιτυχημένης κομποστοποίησης, καθορίζοντας τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και επηρεάζοντας το ρυθμό και την ταχύτητα και την ποιότητα της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Οι διαχειριστές του κομπόστ πρέπει να χρησιμοποιούν ακριβείς στρατηγικές ελέγχου της θερμοκρασίας για να αξιοποιήσουν τα οφέλη τόσο της μεσόφιλης όσο και της θερμόφιλης φάσης, με αποτέλεσμα την



παραγωγή κομπόστ υψηλής ποιότητας, κατάλληλου για διάφορες γεωργικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές.

### Υγρασία

Η υγρασία, είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στη διαδικασία κομποστοποίησης, επηρεάζοντας άμεσα τις δραστηριότητες των μικροοργανισμών, τους ρυθμούς αποσύνθεσης και τη συνολική επιτυχία της κομποστοποίησης. Η επαρκής υγρασία είναι απαραίτητη για τη μικροβιακή ανάπτυξη και τις μεταβολικές διεργασίες, καθώς οι μικροοργανισμοί χρειάζονται νερό για να λειτουργήσουν (Bernal et al., 2009). Τα ανεπαρκή επίπεδα υγρασίας μπορούν να αναστείλουν τη μικροβιακή δραστηριότητα και να επιβραδύνουν την αποσύνθεση, οδηγώντας σε αδιέξοδο ή αναποτελεσματική διαδικασία κομποστοποίησης. Η σωστή διαχείριση, διατηρώντας την υγρασία εντός του βέλτιστου εύρους περίπου 40% έως 60%, είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική κομποστοποίηση (Bernal et al., 2009).

Η υγρασία επηρεάζει επίσης τα φυσικά χαρακτηριστικά του σωρού κομποστοποίησης. Τα καλά ενυδατωμένα οργανικά υλικά διατηρούν τη δομική ακεραιότητα, εξασφαλίζοντας επαρκείς χώρους πόρων για τη διάχυση οξυγόνου και τον αερισμό (Maeda et al., 2010). Ο αποτελεσματικός αερισμός είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών, οι οποίες είναι ευνοϊκές για τη μικροβιακή δραστηριότητα και την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάζει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εντός του σωρού κομπόστ. Το νερό χρησιμεύει ως απαγωγέας θερμότητας, συμβάλλοντας στη μετρίαση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και στην αποφυγή της υπερθέρμανσης (Dai et al., 2012).

### Αερισμός

Αποτελεί αναγκαίο παράγοντα, καθώς εξασφαλίζει την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών μέσω των αναπνευστικών και μεταβολικών διεργασιών τους. Ο αερισμός κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης επιτυγχάνεται με ανάδευση ή με παροχή αέρα μέσω εμφύσησης ή αναρρόφησης ή με συνδυασμό των παραπάνω τρόπων. Μέσω αυτού, διαμορφώνονται αποδοτικότερες συνθήκες βιοαποδόμησης των οργανικών αποβλήτων όπως

(α) η επαρκής παροχή οξυγόνου στο οργανικό προς κομποστοποίηση μίγμα, (β) ο έλεγχος της θερμοκρασίας του συστήματος και (γ) η απομάκρυνση και ο έλεγχος της υγρασίας καθώς και των αερίων εκπομπών (π.χ. CO<sub>2</sub>). (Μαργαρίτης, 2012)

#### pH

Οι τιμές του pH επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες της κομποστοποίησης, αφού από τις τιμές αυτές εξαρτάται το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτύσσονται για την βιοαποδόμηση του οργανικού κλάσματος. Η διεργασία της κομποστοποίησης είναι αποτελεσματική σε ένα ευρύ φάσμα τιμών του pH στο οποίο κυμαίνεται η πλειονότητα των προς επεξεργασία οργανικών αποβλήτων.

#### Φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος

Περιλαμβάνουν το πορώδες, το μέγεθος, τη δομή και την υφή των σωματιδίων του υποστρώματος και επηρεάζουν τη διεργασία της κομποστοποίησης επιδρώντας στις συνθήκες αερισμού και διάχυσης του οξυγόνου στην οργανική μάζα. Η ρύθμιση των φυσικών ιδιοτήτων του υποστρώματος επιτυγχάνεται μέσω διεργασιών θρυμματισμού, κοκκοποίησης και τεμαχισμού, καθώς και με επιλογή και ανάμιξη κατάλληλων πρώτων υλών που ορίζονται ως διογκωτικά υλικά (bulking agent).

#### Θρεπτικά συστατικά

Η διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της κομποστοποίησης, επηρεάζοντας σημαντικά τη μικροβιακή δραστηριότητα, τους ρυθμούς αποσύνθεσης και την ποιότητα του τελικού προϊόντος κομποστοποίησης. Η κομποστοποίηση είναι ουσιαστικά ένας βιολογικός μετασχηματισμός που διαμεσολαβείται από μια ποικιλόμορφη μικροβιακή κοινότητα, η οποία αποτελείται κυρίως από βακτήρια και μύκητες. Αυτοί οι μικροοργανισμοί απαιτούν βασικά θρεπτικά συστατικά, όπως άνθρακα (C), άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K), μεταξύ άλλων, για να πολλαπλασιαστούν και να αποδομήσουν αποτελεσματικά την οργανική ύλη (Bernal et al., 2009). Το άζωτο, με τη μορφή οργανικών

ενώσεων όπως οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα, είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τη μικροβιακή ανάπτυξη και την παραγωγή ενζύμων (Zhang et al., 2019). Μια ισορροπημένη αναλογία C:N εντός του σωρού κομποστοποίησης είναι επιβεβλημένη, καθώς η περίσσεια οποιουδήποτε συστατικού μπορεί να εμποδίσει τη μικροβιακή δραστηριότητα. Για παράδειγμα, μια υψηλή αναλογία C:N μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκεια αζώτου, επιβραδύνοντας την αποσύνθεση, ενώ μια χαμηλή αναλογία C:N μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική απώλεια αζώτου ως αέριο αμμωνίας, προκαλώντας δυσοσμία και δυσοσμία θρεπτικών συστατικών (Bernal et al., 2009- Zhang et al., 2019). Ο φώσφορος και το κάλιο είναι απαραίτητα για τη λειτουργία των ενζύμων και τον κυτταρικό μεταβολισμό στους μικροοργανισμούς, υπογραμμίζοντας περαιτέρω τη σημασία της επαρκούς διαθεσιμότητας θρεπτικών στοιχείων (Zhang et al., 2019). Ως εκ τούτου, η προσεκτική διαχείριση της περιεκτικότητας και των αναλογιών των θρεπτικών συστατικών στην πρώτη ύλη κομποστοποίησης είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της βέλτιστης μικροβιακής δραστηριότητας, την προώθηση της αποτελεσματικής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και την παραγωγή υψηλής ποιότητας κομπόστ που μπορεί να ενισχύσει αποτελεσματικά τη γονιμότητα και τη δομή του εδάφους (Bernal et al., 2009; Zhang et al., 2019).

### 3.2.3 Συστήματα κομποστοποίησης

Οι τεχνικές κομποστοποίησης μπορούν σε γενικές γραμμές να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες: ανοικτά συστήματα, κλειστά συστήματα και μικτά συστήματα. Κριτήριο της κατηγοριοποίησης είναι η διεξαγωγή σε ανοιχτούς χώρους (ανοικτά συστήματα) ή σε ειδικά σχεδιασμένους βιοαντιδραστήρες και στεγασμένα κτίρια (κλειστά συστήματα), όπου είναι εφικτή η απαγωγή και επεξεργασία του αέρα και των οσμών. Κάθε κατηγορία παρουσιάζει ξεχωριστά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα, συμβάλλοντας στην ευελιξία και την ικανότητα εφαρμογής των μεθοδολογιών κομποστοποίησης.

### Ανοικτά συστήματα σειραδίων

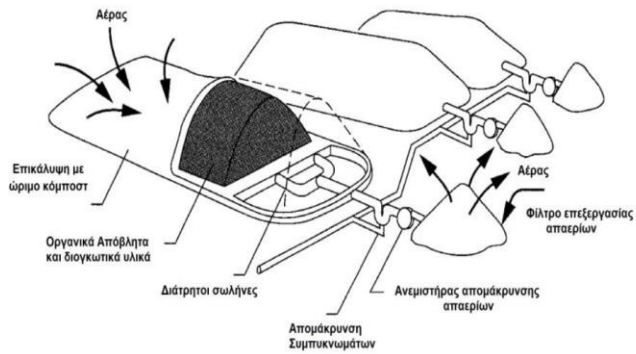
Τα ανοικτά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη μέθοδο αερισμού του υποστρώματος σε αναστρεφόμενα σειράδια (windrows) και σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile- ASP) και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τα κλειστά συστήματα. (Μαργαρίτης 2012)

Στα **συστήματα αναστρεφόμενων σειραδίων** το οργανικό υλικό τοποθετείται σε παράλληλες σειρές μεγάλου μήκους (γραμμικές σωροί). Ο αερισμός του υποστρώματος επιτυγχάνεται αποκλειστικά με την περιοδική αναμόχλευση της σωρού με τη χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ενώ παράλληλα γίνεται ομογενοποίηση και μείωση του μεγέθους της οργανικής ουσίας (Shammas and Wang, 2009). Το ύψος, το πλάτος και το σχήμα των γραμμικών σωρών ρυθμίζονται σύμφωνα με το είδος του προς επεξεργασία υλικού και από τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάδευση. Η βέλτιστη αναλογία πλάτους προς ύψος της σωρού είναι ίση με 2. Σε μεγαλύτερες αναλογίες παρουσιάζονται μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας με συνεπακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας στο υπόστρωμα (μη επίτευξη κρίσιμου όγκου) ενώ σε μικρότερους λόγους δύναται να διαμορφωθούν αναερόβιες συνθήκες εξαιτίας της ελλιπούς διάχυσης του αέρα. Η επιφάνεια που καταλαμβάνεται από τα σειράδια πρέπει να είναι επιστρωμένη και να υπάρχει σύστημα αποχέτευσης και ύδρευσης. Οι αναφερόμενοι παράμετροι συμπεριλαμβανομένου και του τρόπου αερισμού των σειραδίων (με ανάδευση ή εμφύσηση- απορρόφηση αέρα) επηρεάζουν το κόστος κεφαλαίου.



Εικόνα 8. Τυπική διάταξη οριζόντιου ανοιχτού συστήματος κομποστοποίησης, τύπου αναστρεφόμενων σειραδίων (Diaz et al., 2002)

Στα συστήματα των αεριζόμενων στατικών σωρών, το οργανικό υλικό τοποθετείται όπως και στην περίπτωση των αναστρεφόμενων σειραδίων, ενώ το υπόστρωμα δεν αναδεύεται κατά τη διάρκεια του κύκλου κομποστοποίησης με αποτέλεσμα οι σωροί να πρέπει να διαμορφώνονται από την αρχή της διεργασίας. Το οργανικό υπόστρωμα συνήθως εμπλουτίζεται με διογκωτικό υλικό, ώστε να παρέχεται η κατάλληλη δομική σταθερότητα για τη διάχυση του οξυγόνου στην οργανική μάζα ενώ ο αερισμός της πραγματοποιείται με θετική (εμφύσηση) ή αρνητική πίεση (αναρρόφηση) (Shammas and Wang, 2009). Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους, όπως και οι αναστρεφόμενοι σωροί, απαιτεί μικρότερο χώρο και δεν υπάρχει περιοδική ανάδευση των σειραδίων με όλα τα μειονεκτήματα που τη συνοδεύουν (π.χ. οσμές, σκόνη στον αέρα που πιθανόν να είναι βακτηριακά βεβαρημένα). Τα συστήματα αυτά μπορούν να είναι εντελώς ανοικτά (γεγονός που με βάση την ευρωπαϊκή νομοθεσία δεν επιτρέπεται για απόβλητα που περιέχουν υπολείμματα κρέατος - συμπεριλαμβανομένων και των αποβλήτων κουζίνας) ή στεγασμένα. Όσον αφορά τα ΑΣΑ και τις συνιστώσες τους, τα συστήματα αυτά προσφέρονται για την επεξεργασία των αποβλήτων κήπου, που προκαλούν χαμηλή όχληση κατά την επεξεργασία τους, ενώ δεν απαιτούν ακριβές τεχνολογίες υψηλού επιπέδου για τον έλεγχο των παραμέτρων της κομποστοποίησης.



Εικόνα 9. Τυπική διάταξη οριζόντιου ανοιχτού συστήματος κομποστοποίησης, τύπου αεριζόμενων στατικών σωρών (Diaz et al., 2002)

## 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Ορισμός Μελέτης Σκοπιμότητας

Η μελέτη σκοπιμότητας είναι η ανάλυση μιας επενδυτικής ιδέας, η οποία συνήθως διεξάγεται πριν από την έναρξη ενός νέου έργου ή επιχειρηματικού εγχειρήματος και αποσκοπεί στην αξιολόγηση της πρακτικότητας και της βιωσιμότητάς του. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση περιλαμβάνει την εξέταση μιας πληθώρας κρίσιμων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών, οικονομικών, λειτουργικών και οργανωτικών παραμέτρων. Πρωταρχικός στόχος είναι να διαπιστωθεί, κατά πόσον το προτεινόμενο εγχείρημα ευθυγραμμίζεται με τις τρέχουσες τεχνολογικές δυνατότητες, μπορεί να αποφέρει κέρδη, μπορεί να ενσωματωθεί απρόσκοπτα στις υφιστάμενες λειτουργίες και να είναι σε αρμονία με την αποστολή και τους στρατηγικούς στόχους της επιχείρησης. Με τη σωστή στάθμιση των οφελών έναντι των προκλήσεων και των κινδύνων, η μελέτη σκοπιμότητας εφοδιάζει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων με τις πληροφορίες που απαιτούνται για να καθορίσουν αν αξίζει να συνεχιστεί ένα έργο, εξασφαλίζοντας την κατανομή των πόρων και τη στοχοθέτηση για την επιτυχή υλοποίηση της επένδυσης.

Στο πλαίσιο της υλοποίησης των μελετών σκοπιμότητας, η διενέργεια ενδελεχούς αξιολόγησης είναι απαραίτητη για την διερεύνηση της πιθανής επιτυχίας ενός προτεινόμενου έργου ή επιχειρηματικής επένδυσης. Για να διευκολυνθεί η λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, είναι επιτακτική ανάγκη να αναλυθεί διεξοδικά μια σειρά κρίσιμων παραγόντων.

1. **Τεχνική αρτιότητα:** Η μελέτη σκοπιμότητας θα πρέπει να εξετάζει σχολαστικά την τεχνική αρτιότητα του έργου. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κατά πόσον η απαιτούμενη τεχνολογία, ο εξοπλισμός και η υποδομή είναι άμεσα διαθέσιμα ή μπορούν να αναπτυχθούν με εφικτό τρόπο (Muller, 2020). Οι τεχνικοί περιορισμοί μπορεί να θέσουν σημαντικά εμπόδια στην εκτέλεση του έργου, καθιστώντας την αξιολόγηση αυτή κρίσιμη για τον προσδιορισμό της σκοπιμότητας του έργου.

2. **Οικονομική αξιολόγηση:** Μια ισχυρή χρηματοοικονομική ανάλυση είναι επιβεβλημένη για να διαπιστωθεί η οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Αυτό περιλαμβάνει την πρόβλεψη του κόστους, των εσόδων και των πιθανών αποδόσεων της επένδυσης. Μεγέθη όπως η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR) χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας του έργου (Brealey, Myers, & Allen, 2017). Η ενδελεχής εξέταση των χρηματοοικονομικών πτυχών βοηθά στην εκτίμηση της κερδοφορίας του έργου και των πιθανών επιπτώσεών του στην οικονομική βιωσιμότητα της επιχείρησης.
3. **Λειτουργική σκοπιμότητα:** Η μελέτη θα πρέπει να εμβαθύνει στη λειτουργική σκοπιμότητα, αξιολογώντας πώς το έργο μπορεί να ενσωματωθεί στην υφιστάμενη λειτουργία της επιχείρησης. Πρέπει να εξεταστούν παράγοντες όπως οι δυνατότητες του εργατικού δυναμικού, οι υλικοτεχνικές απαιτήσεις και η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, ώστε να διασφαλιστεί ότι το έργο μπορεί να εκτελεστεί αποτελεσματικά χωρίς να προκαλέσει διαταραχές (Schwalbe, 2018). Η αποτυχία εξέτασης των λειτουργικών πτυχών μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρές εμπλοκές και αδυναμία υλοποίησης.
4. **Ανάλυση της αγοράς:** Για να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα της αγοράς, η μελέτη πρέπει να αναλύσει το μέγεθος της αγοράς-στόχου, τις τάσεις της ζήτησης και τον ανταγωνισμό (Kotler & Armstrong, 2016). Μια ενδελεχής αξιολόγηση της αγοράς παρέχει πληροφορίες σχετικά με το κατά πόσον υπάρχει πραγματική ζήτηση για το προτεινόμενο προϊόν ή υπηρεσία και κατά πόσον ο οργανισμός μπορεί να κατακτήσει μερίδιο της εν λόγω αγοράς. Η παραμέληση της δυναμικής της αγοράς μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένες προσφορές και πιθανές αποτυχίες.
5. **Ανάλυση ρίσκου:** Η ολοκληρωμένη ανάλυση ρίσκου είναι αναπόσπαστο στοιχείο για την βέλτιστη κατάρτιση μιας μελέτης σκοπιμότητας ενός έργου (Harrison & Lock, 2017). Οι δυνητικοί κίνδυνοι, τόσο οι εσωτερικοί όσο και οι εξωτερικοί, πρέπει να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν. Θα πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές μετριασμού των κινδύνων για την



προληπτική αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Η αποτυχία πρόβλεψης και μετριασμού των κινδύνων μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία του έργου και οικονομικές απώλειες.

## 4.2 Αξιολόγηση Επενδύσεων

Η απόφαση υλοποίησης μιας επένδυσης επηρεάζεται σημαντικά από τα οφέλη που θα προκύψουν μελλοντικά. Η πρόβλεψη όμως των μελλοντικών εξελίξεων δεν είναι ασφαλής, με αποτέλεσμα να απαιτείται πολύ προσεχτική μελέτη όλων των δυνατών προτεινόμενων εναλλακτικών λύσεων που αφορούν στην επένδυση (πλήθος, είδος, καθαρότητα προϊόντων, παραγωγή κλπ). Το πιο σημαντικό στην αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων είναι η συλλογή των κατάλληλων στοιχείων, έτσι ώστε η ανάλυση να είναι ρεαλιστική.

Η αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης μιας σειράς κριτηρίων. Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο είναι η Ανάλυση Προεξοφλημένων Ταμειακών Ροών που εφαρμόζεται με τα παρακάτω κριτήρια:

- το κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value Method- NPV)
- το κριτήριο της Εσωτερικής Αποδοτικότητας ( Rate of Return Method) με χρήση του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (Internal Rate of Return-IRR)

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, από επιχειρηματικής πλευράς, η ανάλυση του Σημείου Μηδενικών Κερδών ή Νεκρού Σημείου Παραγωγής ή πιο απλά ανάλυση νεκρού σημείου. Στις επόμενες παραγράφους παρατίθενται ορισμένα βασικά στοιχεία για τις παραμέτρους αυτές.

### 4.2.1 Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Η Καθαρά Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) ορίζεται ως η τιμή που προκύπτει από την αφαίρεση του συνόλου των προεξοφλημένων ταμειακών εκροών μιας επένδυσης από το σύνολο των αντίστοιχων εισροών. Υπολογίζεται από την ακολουθία των μελλοντικών ροών (εισροές- εκροές) που εξάγονται από τον λογαριασμό ταμειακών ροών και όχι από τα καθαρά κέρδη.

Η προκύπτουσα τιμή, θα δώσει στον επενδυτή τα παρακάτω στοιχεία:

- Σε περίπτωση που η ΚΠΑ>0, δηλαδή η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, η επένδυση γίνεται αποδεκτή δηλ. μπορεί να πραγματοποιηθεί. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως η επένδυση παράγει σε παρούσες αξίες μεγαλύτερες από αυτές που αρχικά δεσμεύτηκαν στην επένδυση.
- Σε περίπτωση που η ΚΠΑ=0, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος σύμφωνα με αυτό το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η ΚΠΑ<0, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

#### 4.2.2 Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR)

Όσον αφορά τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης (IRR), ισούται με την τιμή που πρέπει να λάβει το προεξοφλητικό επιτόκιο ώστε η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης να λαμβάνει τη μηδενική τιμή. (Αραβώσης et al., 2012) Ο δείκτης IRR εκφράζει το μεγαλύτερο δυνατό επιτόκιο με το οποίο θα μπορούσε ο επενδυτής να δανειστεί όλα τα κεφάλαια που αφιερώνονται στην επένδυση και να μην έχει ζημία. Με την υπόθεση φυσικά, ότι η εξυπηρέτηση του δανείου θα πραγματοποιείται από τις καθαρές χρηματικές ροές της επένδυσης. (Παπαδάμου et al., 2015:57)

Ο υπολογισμός του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης υλοποιείται ως εξής:

1. Καθορισμός του ποσού που απαιτείται σήμερα για την επένδυση
2. Καθορισμός του ποσοστού του κόστους του κεφαλαίου
3. Καθορισμός των αναμενόμενων ετήσιων καθαρών ταμειακών εισροών μετά τους φόρους
4. Υπολογισμός του εσωτερικού βαθμού απόδοσης εξισώνοντας την παρούσα αξία των εισροών με την παρούσα αξία των εκροών μετρητών.
5. Σύγκριση του 4 με το 2

Στη περίπτωση που ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος ή ίσος με την απαιτούμενη απόδοση, η επένδυση γίνεται αποδεκτή. Στην αντίθετη περίπτωση, η πρόταση απορρίπτεται. Σύμφωνα με το κριτήριο αποδοχής, εάν η επιχείρηση αποδεχτεί ένα πρόγραμμα με εσωτερικό βαθμό απόδοσης ο οποίος υπερβαίνει το κόστος των κεφαλαίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την χρηματοδότηση του συγκεκριμένου προγράμματος, το πλεόνασμα το οποίο απομένει μετά την αποπληρωμή των κεφαλαίων το καρπώνονται οι μέτοχοι της επιχείρησης. Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται η χρηματιστηριακή τιμή της μετοχής της επιχείρησης και επομένως και η αξία των μετοχών της. (Hazen, 2003). Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη απόδοση ονομάζεται και συντελεστής απόρριψης (hurdle rate or cutoff rate).

#### 4.2.3 Ανάλυση Νεκρού Σημείου (Break Even Point)

Η έννοια του νεκρού σημείου αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης και του επιχειρηματικού σχεδιασμού. Αντιπροσωπεύει το επίπεδο πωλήσεων ή εσόδων στο οποίο το συνολικό κόστος ισούται με το συνολικό έσοδο, με αποτέλεσμα να μην προκύπτει ούτε κέρδος ούτε ζημία. Σε αυτό το σημείο, μια επιχείρηση καλύπτει όλα τα σταθερά και μεταβλητά έξοδά της, καθιστώντας το κρίσιμο ορόσημο για τη χρηματοοικονομική βιωσιμότητα. Η ανάλυση νεκρού σημείου παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με το ελάχιστο επίπεδο δραστηριότητας που απαιτείται για να παραμείνει μια επιχείρηση φερέγγυα και καθοδηγεί τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στον καθορισμό στρατηγικών τιμολόγησης, στόχων παραγωγής και κατανομής πόρων. Επιπλέον, η έννοια αυτή είναι καθοριστική για την αξιολόγηση του κινδύνου και βοηθά τις επιχειρήσεις να κατανοήσουν το περιθώριο ασφαλείας τους, επιτρέποντάς τους να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές σχετικά με την επέκταση, τον έλεγχο του κόστους και τη συνολική οικονομική υγεία.

Για να υπολογισθεί το σημείο νεκρού σημείου, διαιρείται το συνολικό σταθερό κόστος με τη διαφορά μεταξύ της τιμής πώλησης ανά μονάδα και του μεταβλητού κόστους ανά μονάδα. Το αποτέλεσμα καταδεικνύει τον αριθμό των μονάδων (ή το επίπεδο των πωλήσεων) που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των σταθερών και μεταβλητών δαπανών, με αποτέλεσμα

ούτε κερδοφορία, αλλά ούτε και ζημία. Πέρα από το νεκρό σημείο, κάθε επιπλέον μονάδα που πωλείται συμβάλλει στο κέρδος.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η ανάλυση νεκρού σημείου μπορεί να διεξαχθεί για διαφορετικές χρονικές περιόδους (π.χ. μηνιαία, ετήσια) και μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα επιχειρηματικά σενάρια, όπως η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος, η αλλαγή της στρατηγικής τιμολόγησης.

#### 4.2.4 Ανάλυση Ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)

Η ανάλυση ευαισθησίας είναι μια βασική τεχνική στη χρηματοοικονομική προσομοίωση και την αξιολόγηση κινδύνων, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της μεταβολής βασικών παραμέτρων ή παραδοχών στα οικονομικά αποτελέσματα ενός έργου ή μιας επιχείρησης. Η μέθοδος αυτή υπολογίζεται με τη συστηματική προσαρμογή μεταβλητών όπως οι προβλέψεις πωλήσεων, το κόστος παραγωγής ή τα επιτόκια για να παρατηρηθούν οι επιπτώσεις τους σε χρηματοοικονομικές μετρήσεις όπως η **καθαρή παρούσα αξία (NPV)** ή ο **εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR)**. Με τη διενέργεια ανάλυσης ευαισθησίας, οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη αποτύπωση του εύρους των πιθανών αποτελεσμάτων και των συναφών κινδύνων υπό διαφορετικά σενάρια. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εντοπίζουν κρίσιμους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικά την κερδοφορία ή τη σκοπιμότητα του έργου, βοηθώντας έτσι στην τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, στον μετριασμό των κινδύνων και στον στρατηγικό σχεδιασμό.

#### 4.2.5 Ανάλυση Κόστους – Οφέλους (Cost – Benefit Analysis)

Η Ανάλυση Κόστους-Οφέλους (Cost-Benefit Analysis – CBA) ορίζεται ως μια τεχνική αξιολόγησης και παρακολούθησης που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των αναμενόμενων οφελών από προτεινόμενες επενδύσεις/ έργα, με τα σχετικά μεγέθη κόστους, με στόχο να βοηθήσει τους χρήστες στον προσδιορισμό της εναλλακτικής λύσης με το μέγιστο καθαρό όφελος (οφέλη μείον

κόστος). Πραγματοποιείται κυρίως μέσω του υπολογισμού του κόστους ανά μονάδα οφέλους. Όσο περισσότερο τα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος, τόσο περισσότερο θα ωφεληθούν οι τελικοί χρήστες (η κοινωνία) από τη δραστηριότητα του Έργου ή από τη σχετική απόφαση πολιτικής.

### 4.3 Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση Επενδυτικού Σχεδίου

Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση ενός επενδυτικού σχεδίου αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και των πιθανών αποδόσεων των προτεινόμενων επενδύσεων ή έργων. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη εξέταση των οικονομικών πτυχών, η οποία συνήθως επικεντρώνεται σε μετρήσεις όπως η απόδοση της επένδυσης (ROI), η περίοδος αποπληρωμής, η καθαρή παρούσα αξία (NPV) και ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (IRR). Με την ενδελεχή εξέταση των οικονομικών επιπτώσεων, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή των πόρων και τη βιωσιμότητα της επένδυσης. Η απόδοση επένδυσης, για παράδειγμα, υπολογίζει την αποδοτικότητα μιας επένδυσης συγκρίνοντας τα κέρδη της με το αρχικό κόστος. Η περίοδος απόσβεσης προσδιορίζει πόσος χρόνος θα χρειαστεί για να αποσβεστεί η αρχική επένδυση από τις ταμειακές ροές του έργου. Η ΚΠΑ και η IRR συνυπολογίζουν τη χρονική αξία του χρήματος, παρέχοντας πληροφορίες για τη συνολική οικονομική ελκυστικότητα του έργου. Μια στιβαρή χρηματοοικονομική αξιολόγηση όχι μόνο καθοδηγεί τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στην επιλογή των πιο οικονομικά ορθών επενδύσεων, αλλά διασφαλίζει επίσης ότι το κεφάλαιο κατανέμεται αποτελεσματικά, μεγιστοποιώντας τις δυνατότητες οικονομικής ανάπτυξης και βιωσιμότητας.

#### 4.3.1 Κόστος Επένδυσης

Η ανάλυση κόστους επένδυσης είναι μια ουσιαστική διαδικασία για την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας προτεινόμενων έργων ή επενδύσεων. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει μια σχολαστική εξέταση των διαφόρων δαπανών που συνδέονται με την έναρξη, την εκτέλεση και τη διατήρηση της επένδυσης. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν συνήθως τόσο τις αρχικές κεφαλαιουχικές δαπάνες (CapEx) όσο και τις τρέχουσες λειτουργικές δαπάνες (OpEx).

Κατά τη διάρκεια της Ανάλυσης Κόστους Επένδυσης, εντοπίζονται και ποσοτικοποιούνται όλες οι σχετικές δαπάνες. Αυτό περιλαμβάνει άμεσες δαπάνες όπως εξοπλισμός, υλικά, εργασία και κατασκευή, καθώς και έμμεσες δαπάνες όπως άδειες και νομικά έξοδα. Η ακριβής εκτίμηση αυτών των δαπανών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού προϋπολογισμού και οικονομικών προβλέψεων.

Επιπλέον, η ανάλυση μπορεί να περιλαμβάνει την εξέταση πιθανών κλιμακώσεων του κόστους με την πάροδο του χρόνου, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό για μακροπρόθεσμα έργα. Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να εφαρμοστεί για να εκτιμηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι διακυμάνσεις του κόστους ενδέχεται να επηρεάσουν την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

#### 4.3.2 Κόστος Λειτουργίας

Η Ανάλυση Κόστους Λειτουργίας είναι μια καίρια διαδικασία οικονομικής αξιολόγησης που επικεντρώνεται στην ολοκληρωμένη αξιολόγηση των τρεχουσών δαπανών που σχετίζονται με τη συντήρηση και τη λειτουργία ενός έργου, μιας επιχείρησης ή ενός περιουσιακού στοιχείου. Η ανάλυση αυτή είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική κατάρτιση του προϋπολογισμού, τον οικονομικό προγραμματισμό και τη βιώσιμη λειτουργία. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό, την ποσοτικοποίηση και τη διαχείριση των διαφόρων λειτουργικών δαπανών που πραγματοποιεί μια επιχείρηση ή ένα έργο κατά τη διάρκεια των τακτικών δραστηριοτήτων της.

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης κόστους λειτουργίας, εξετάζονται και ποσοτικοποιούνται σχολαστικά δαπάνες όπως η εργασία, οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, η συντήρηση, οι πρώτες ύλες, τα γενικά διοικητικά έξοδα και άλλες καθημερινές δαπάνες. Οι δαπάνες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε σταθερές και μεταβλητές δαπάνες, ανάλογα με το αν παραμένουν σταθερές ή αυξομειώνονται με τις μεταβολές στην παραγωγή ή στα επίπεδα δραστηριότητας.

Η ανάλυση αυτή διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο να βοηθήσει τους οργανισμούς να προβλέψουν και να διαχειριστούν τα λειτουργικά τους έξοδα, εξασφαλίζοντας έτσι την

οικονομική σταθερότητα και κερδοφορία. Επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κάνουν τεκμηριωμένες επιλογές σχετικά με τις στρατηγικές μείωσης του κόστους, τις βελτιώσεις των διαδικασιών και την κατανομή των πόρων. Επιπλέον, η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι αλλαγές στα λειτουργικά έξοδα μπορούν να επηρεάσουν τις οικονομικές επιδόσεις της επιχείρησης ή του έργου με την πάροδο του χρόνου.

#### 4.3.3 Χρηματοοικονομικές Καταστάσεις

Οι χρηματοοικονομικές καταστάσεις περιλαμβάνουν τις εισπράξεις και τις πληρωμές. Οι εισπράξεις ή εισροές μετρητών προέρχονται από ποικίλες πηγές. Για κάθε πηγή σημειώνεται για κάθε μήνα (ή άλλο χρονικό διάστημα) το προβλεπόμενο/αναμενόμενο ποσό είσπραξης. Οι πληρωμές ή εκροές μετρητών περιλαμβάνουν δαπάνες για πληρωμή, όπως είναι η μισθοδοσία, οι δόσεις των δανείων και οι πληρωμές των προμηθευτών. Επίσης, οι δαπάνες περιλαμβάνουν την κάλυψη των μεταχρονολογημένων επιταγών, τις εργοδοτικές εισφορές, τις πληρωμές υπηρεσιών, όπως ενέργειας, τηλεπικοινωνιών και ύδρευσης, καθώς και το ΦΠΑ και τις άλλες φορολογικές υποχρεώσεις της επιχείρησης. Σημειώνεται ότι για κάθε στοιχείο δαπάνης γίνεται μηνιαίος προγραμματισμός.

Ωστόσο, σημαντικό στοιχείο για τη σύνταξη ενός προγράμματος ταμειακών ροών είναι η διαφορά εισπράξεων – πληρωμών, όπου, αν η διαφορά είναι θετική σημαίνει ότι οι τρέχουσες υποχρεώσεις της επιχείρησης αναμένεται να καλυφθούν. Αντίθετα, αν η διαφορά είναι αρνητική χρειάζεται έγκαιρη πρόβλεψη για την κάλυψη της διαφοράς μέσω εξασφάλισης μετρητών, όπως μέσω δανεισμού και έκτακτων εισπράξεων. Ακόμα, σε μηνιαία βάση προκύπτουν ανάγκες σε κεφάλαιο κίνησης. (Καλογήρου, 2015)

## 5. ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το πλέον σημαντικό της παρούσας εργασίας, καθώς αξιολογούνται επιλεγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας βιοαποβλήτων που παρουσιάστηκαν αναλυτικά παραπάνω, καθώς και οι λοιπές μεταβλητές ελέγχου, οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εκτίμηση της σκοπιμότητας και της μετέπειτα χρηματοοικονομικής βιωσιμότητας.

Η μελέτη σκοπιμότητας, που αφορά στο επενδυτικό σχέδιο για τη δημιουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της καύσης βιοαερίου που προέρχεται από αναερόβια χώνευση αποτελεί ένα κομβικό εγχείρημα για βιώσιμης παραγωγής ενέργειας και της διαχείρισης των περιβαλλοντικών πόρων. Η παρούσα ενότητα επιδιώκει να αξιολογήσει με γνώμονα την πρακτική και τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας επιχείρησης, λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από τεχνικούς, οικονομικούς, ρυθμιστικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Τέλος, πραγματοποιείται διαστασιολόγηση της προτεινόμενης τεχνικής λύσης, με στόχο την παραγωγή 1 MW ηλεκτρικής ισχύος, από τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας παραγωγής βιοαερίου, ενώ υπολογίζεται το στερεό υπόλειμμα που προκύπτει από την διεργασία και αποτελεί το ρεύμα εισόδου της διεργασίας της κομποστοποίησης.

### 5.2 Χωροθέτηση της μονάδας παραγωγής βιοαερίου

Ο καθορισμός της βέλτιστης τοποθεσίας για μια μονάδα βιοαερίου είναι μια πολύπλευρη απόφαση που απαιτεί λεπτομερή εξέταση διαφόρων κοινωνικών, τεχνοοικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Με μία πρώτη ανάγνωση, φαίνεται πως η εγκατάσταση της μονάδας παραγωγής βιοαερίου σε μια εύφορη τοποθεσία στο ηπειρωτικό τμήμα της χώρα, δύναται να προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για τις γεωργικές και αγροτικές περιοχές.



Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η άφθονη διαθεσιμότητα γεωργικών πρώτων υλών σε αυτές τις περιοχές. Οι εύφορες ηπειρωτικές περιοχές χαρακτηρίζονται συχνά από εντατική γεωργική δραστηριότητα, η οποία παράγει σημαντικές ποσότητες οργανικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων καλλιεργειών, της κοπριάς και των γεωργικών υποπροϊόντων. Η εγκατάσταση μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου σε μια τέτοια περιοχή επιτρέπει την αξιοποίηση μιας άμεσα διαθέσιμης πρώτης ύλης.

Παράλληλα, η απόσταση από τις πηγές πρώτων υλών είναι υψίστης σημασίας, καθώς το κόστος μεταφοράς και η εφοδιαστική επηρεάζουν σημαντικά την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας παραγωγής βιοαερίου (Karaaj et al., 2009).

Επιπλέον, η προσβασιμότητα σε μια αξιόπιστη πηγή νερού είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της βέλτιστης περιεκτικότητας σε υγρασία στον χωνευτήρα (Kaluzhnyi et al., 1997). Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ηλιακή ακτινοβολία, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίδραση της κινητικής της διαδικασίας χώνευσης, καθώς επηρεάζουν τη μικροβιακή δραστηριότητα (Achinas et al., 2018). Επιπλέον, η γειτνίαση της μονάδας με υποσταθμούς του ηλεκτρικού δικτύου είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την βέλτιστη διανομή ενέργειας (Miglietta et al., 2019).

Εξίσου σημαντική είναι και η εξέταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ιδίως η απόσταση από ευαίσθητα οικοσυστήματα και κατοικημένες περιοχές, ώστε να μετριαστούν οι πιθανές οσμές και ο θόρυβος (Echavarren et al., 2019). Επιπλέον, το ρυθμιστικό και αδειοδοτικό πλαίσιο της επιλεγμένης τοποθεσίας θα πρέπει να ευνοεί την κατασκευή και λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου. Θα πρέπει να διενεργείται ενδελεχής εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ) για την αξιολόγηση των πιθανών οικολογικών και κοινωνικών συνεπειών (Cossu et al., 2018).

### 5.3 Απαιτήσεις πρώτων υλών

Στο παρόν υποκεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα για τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των πρώτων υλών που πρόκειται να αποτελέσουν το μείγμα τροφοδοσίας.

#### 5.3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών

Σύμφωνα με το άρθρο 2 της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, ως βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα ορίζονται τα απόβλητα που είναι σε θέση να υποστούν αναερόβια ή αερόβια αποσύνθεση. Τα οργανικά αυτά απόβλητα δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε έξι διακριτές κατηγορίες σύμφωνα με την πηγή και τη δραστηριότητα από την οποία προέρχονται. Οι ροές των διαφορετικών αυτών οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

1. τα υπολείμματα από βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων
2. τα κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά παραπροϊόντα
3. τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών
4. τα δασοκομικά υπολείμματα και απόβλητα δασοκομικών προϊόντων
5. τα φύκια
6. την ιλύ
7. το οργανικό κλάσμα των αστικών στερεών αποβλήτων

#### Υπολείμματα από μονάδες επεξεργασίας τροφίμων

Τα υπολείμματα που προέρχονται από μονάδες επεξεργασίας τροφίμων, τα οποία συνήθως αναφέρονται ως αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα, παρουσιάζουν αξιοσημείωτα ποιοτικά χαρακτηριστικά που τα καθιστούν πολύτιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης, μιας βιώσιμης και περιβαλλοντικά φιλικής διαδικασίας μετατροπής

βιοενέργειας (Angelidaki et al., 2011- Demirel & Scherer, 2008). Τα υπολείμματα αυτά διαθέτουν υψηλή οργανική περιεκτικότητα, που περιλαμβάνει υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια, παρέχοντας έτσι μια πλούσια πηγή υποστρωμάτων για τις μικροβιακές ομάδες που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση (Angelidaki et al., 2011). Επιπλέον, περιέχουν συνήθως σχετικά χαμηλά επίπεδα λιγνοκυτταρινικών συστατικών σε σύγκριση με την παραδοσιακή λιγνοκυτταρινική βιομάζα, διευκολύνοντας την ταχύτερη κινητική αποικοδόμησης και αυξάνοντας την απόδοση βιοαερίου (Bauer & Fein, 2010). Επιπλέον, τα εν λόγω υπολείμματα διαθέτουν συχνά μια καλά ισορροπημένη σύνθεση θρεπτικών συστατικών, η οποία ευνοεί τη σταθερή μικροβιακή δραστηριότητα εντός του αναερόβιου αντιδραστήρα και συμβάλλει έτσι στην αποτελεσματική παραγωγή βιοαερίου (Sawatdeenarunat et al., 2016). Επιπλέον, η αξιοποίηση των υπολειμμάτων επεξεργασίας τροφίμων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της αποδοτικότητας των πόρων, καθώς αξιοποιεί τα ρεύματα αποβλήτων και μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Mendes et al., 2017).

#### Κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά απόβλητα

Τα κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά οργανικά απόβλητα αποτελούν υποπροϊόν ή παράγωγο των διεργασιών εκτροφής αγροτικών ζώων και πτηνών. Τα απόβλητα των πτηνο- κτηνοτροφικών μονάδων ποικίλλουν σε σύσταση, μορφή και όγκο, ανάλογα με τις συνθήκες εκτροφής, το σιτηρέσιο, την εποχικότητα (κλιματολογικές συνθήκες), την ηλικία και το είδος των εκτρεφόμενων ζώων. Είναι, γενικώς, απόβλητα οργανικής προέλευσης και περιέχουν κοπριές, και υπολείμματα ζωοτροφών που αναμειγνύονται με τα απόβλητα. Επομένως, τα απόβλητα αυτού του τύπου μπορεί να είναι σε υγρή, υδαρή, ημιστερεή ή στερεή κατάσταση. Η σημαντικότερη ροή βιοαποδομήσιμων στερεών αποβλήτων των πτηνο-κτηνοτροφικών μονάδων είναι η κοπριά.

Ωστόσο, δεν πρέπει να αγνοείται το γεγονός ότι τα απόβλητα αυτά προέρχονται από πολλές μονάδες μικρού έως μεσαίου μεγέθους παραδοσιακού τύπου, που δυσχεραίνεται τη συλλογή

και τη μεταφορά τους. Τα απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων είναι γενικά πυκνά απόβλητα, μικρού σχετικά όγκου και μεγάλου οργανικού φορτίου, συγκρινόμενα με τα απόνερα των λοιπών βιομηχανιών τροφίμων ή τα υγρά αστικά απόβλητα. Εν τούτοις, είναι γενικά μικρότερου ρυπαντικού φορτίου και μεγαλύτερου ημερήσιου όγκου από τα διάφορα υποπροϊόντα των γεωργικών βιομηχανιών, όπως το τυρόγαλο των τυροκομείων, το ορό στραγγιστού γιαουρτιού των εργοστασίων γάλακτος και των ελαιοτριβείων. Τα υγρά απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων χαρακτηρίζονται από μεγάλη συγκέντρωση αιωρούμενων (καθιζήσιμων και επιπλεόντων) στερεών, που εκδηλώνεται με το σχηματισμό ιζήματος στον πυθμένα και κρούστας στην επιφάνεια των δεξαμενών συλλογής και αποθήκευσης.

#### Γεωργικά υπολείμματα καλλιεργειών

Τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών αποτελούν το μη βρώσιμο μέρος του φυτού, το οποίο απομένει στον αγρό ύστερα από την απομάκρυνση και συλλογή του παραγόμενου καρπού. Οι παραγόμενες ποσότητες αγροτικών υπολειμμάτων εξαρτώνται από πληθώρα παραμέτρων, όπως το είδος των καλλιεργειών, την αμειψισπορά, το μίγμα των καλλιεργειών, καθώς και από το μέγεθος της παραγωγής καρπών, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από τη σοδειά και την αρόσιμη έκταση. Ο συνηθέστερος τρόπος για την εκτίμηση των ποσοτήτων των παραγόμενων αγροτικών υπολειμμάτων πραγματοποιείται με τη χρήση του λόγου των υπολειμμάτων προς το παραγόμενο προϊόν (Residue to Product Ratio – RPR) για κάθε είδος καλλιέργειας.

#### Δασοκομικά υπολείμματα και απόβλητα

Στην κατηγορία των δασοκομικών υπολειμμάτων και των αποβλήτων δασοκομικών προϊόντων περιλαμβάνονται τα βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα τα οποία προέρχονται, κυρίως, από τις δραστηριότητες της υλοτομίας και της συγκομιδής των δασών, καθώς και από τις διεργασίες επεξεργασίας και μεταποίησης (πρωτογενής και δευτερογενής) του ξύλου. Επιπλέον, δασοκομικά απόβλητα προέρχονται και από τομείς που αφορούν στην εμπορία των δασοκομικών προϊόντων, τις δραστηριότητες κατασκευών και κατεδαφίσεων, καθώς και τμήματος των αστικών στερεών αποβλήτων.

Η πλειονότητα των υπολειμμάτων ξυλείας είναι ακατέργαστο ξύλο και κατ' επέκταση τα χαρακτηριστικά της ροής αυτής των οργανικών αποβλήτων εξαρτώνται από το είδος του προς επεξεργασία ξύλου. Το ξύλο αποτελείται, κυρίως, από σύνθετες χημικές ενώσεις, όπως η κυτταρίνη, λιγνίνη και η ημικυτταρίνη, ενώ εμπεριέχονται σε μικρότερες ποσότητες πολυσακχαρίτες και ανόργανες ενώσεις (στερεό υπόλειμμα). Η σχετική περιεκτικότητα των ενώσεων αυτών διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του δέντρου και τις συνθήκες ανάπτυξής του.

Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία δασοκομίας μεταποίησης και εμπορίας δασοκομικών προϊόντων, στις αναπτυγμένες κυρίως χώρες, επικεντρώνεται στην εκτροπή των υπολειμμάτων ξυλείας από την τελική διάθεση. Ο στόχος αυτός υλοποιείται με την αύξηση της ανάκτησης υλικών, την ενσωμάτωση των υπολειμμάτων στην παραγωγική διαδικασία και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής αποβλήτων με την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνολογιών οι οποίες είναι οικονομικά βιώσιμες και περιβαλλοντικά φιλικές.

### Φύκια

Τα φύκια της θάλασσας είναι κατάλληλα για όλες τις καλλιέργειες και τα πλεονεκτήματά τους είναι πολλαπλά. Περιέχουν θρεπτικά στοιχεία, ιχνοστοιχεία, υδατάνθρακες, αλγινικό οξύ και μαννιτόλη, καθώς και φυσικά διεγερτικά ανάπτυξης, όπως οι κυττοκινίνες, οι αυξίνες και τα αμινοξέα. Τα φύκια προστατεύουν τα φυτά από θερμοπληξίες και παγοπληξίες και ενισχύουν παράλληλα την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Συντελούν στη βελτίωση της αντοχής των φυτών απέναντι στις προσβολές από έντομα και παράσιτα. Επιπλέον, βοηθούν στην καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά, ενώ διεγείρουν και προωθούν το φύτρωμα των σπόρων. Τέλος, η προσθήκη φυκιών συντελεί στην αύξηση της καρπόδεσης και βελτίωση της ποιότητας και της γεύσης των καρπών. Τα φύκια δύνανται να αποτελέσουν ένα πρώτης τάξης υλικό, ως υπόστρωμα, μαζί με άλλα ζωικά υπολείμματα, για τη λίπανση των καλλιεργειών είτε βασικό συστατικό του κόμποστ, αναδεικνύοντας και εμπλουτίζοντας αυτό το πολύτιμο φυσικό υλικό θρέψης.

### Ιλύς μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων

Η ιλύς αστικών υγρών αποβλήτων αποτελεί παραπροϊόν των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κυρίως σε Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων (ΜΕΛ). Πιο συγκεκριμένα η ιλύς στις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων, παράγεται από την πρωτοβάθμια (φυσική ή χημική καθίζηση), τη δευτεροβάθμια (βιολογική επεξεργασία) και, πιθανότατα, την τριτοβάθμια επεξεργασία. Η ιλύς των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων εμπίπτουν στην κατηγορία 190805 του ΕΚΑ. Η παραγόμενη ιλύς μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με τα στάδια των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων σε πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια ιλύ. Η πρωτοβάθμια ιλύς παράγεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων και περιλαμβάνει τη φυσική και/ή χημική επεξεργασία των λυμάτων στοχεύοντας στη μείωση της αιωρούμενης ύλης και του οργανικού φορτίου. Η δευτεροβάθμια ιλύς προκύπτει από την βιολογική οξείδωση του οργανικού φορτίου από τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων. Η τριτοβάθμια ιλύς παράγεται από τη διεργασία της διήθησης της δευτεροβάθμιας εκροής των λυμάτων δια μέσου φίλτρων και μεμβρανών υπερδιήθησης, ενώ οι ποσότητες είναι σημαντικά μικρότερες από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια ιλύ.

### Οργανικό κλάσμα αστικών στερεών αποβλήτων

Ως Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) ορίζονται όλα τα απόβλητα τα οποία συλλέγονται από τους Δήμους και τις Κοινότητες. Συνεπώς, στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, καθώς και άλλα απόβλητα τα οποία λόγω της φύσης ή της σύνθεσής τους είναι παρόμοια με τα οικιακά, όπως απόβλητα από εμπορικές και συναφείς δραστηριότητες, κτίρια γραφείων και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία, κυβερνητικά κτίρια) (Οδηγία 1999/31/ΕΚ). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται, επίσης, ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.) και απόβλητα κήπων, φύλλα, κλαδιά, κηπευτικά, καθώς και απόβλητα από καθαρισμό δρόμων (ΕΕΑ- European Environment Agency, (2003) “Europe’s Environment: The Third Assessment, Copenhagen”). Η παραγωγή ΑΣΑ διαφοροποιείται μεταξύ των χωρών ενώ σημαντικές

διακυμάνσεις παρουσιάζονται τόσο μεταξύ των διαφορετικών πηγών παραγωγής αποβλήτων όσο και με βάση το πληθυσμιακό εύρος. Τα ΑΣΑ περιέχουν διαφορετικές ροές υλικών όπως τα ζυμώσιμα, το χαρτί, το ξύλο, τα υφάσματα, τα πλαστικά, τα μέταλλα, το γυαλί κ.α. Η ποσοστιαία σύνθεση των παραπάνω ροών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως οι συνθήκες ζωής του πληθυσμού, το βιοτικό επίπεδο, οι καταναλωτικές συνήθειες καθώς και το επίπεδο της τεχνολογικής προόδου της εκάστοτε χώρας. Ένα σημαντικό μέρος της σύστασης των ΑΣΑ αποτελείται από βιοαποδομήσιμα στερεά απόβλητα. Ανάλογα με τις μεθόδους διαχείρισης που εφαρμόζονται στην εκάστοτε χώρα και περιοχή το βιοαποδομήσιμο οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ υπόκειται σε διαχωρισμό στην πηγή ή/και σε διαχωρισμό από τα σύμμικτα αστικά απόβλητα. Στην τελευταία περίπτωση τα χαρακτηριστικά του οργανικού κλάσματος διαφοροποιείται παρουσιάζοντας υψηλότερα επίπεδα σε προσμίξεις αδρανών (π.χ. πλαστικά, γυαλί, πέτρες) και υψηλότερες συγκεντρώσεις σε βαρέα μέταλλα και οργανικούς ρυπαντές.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των κυριότερων κατηγοριών πρώτων υλών. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται το ποσοστό ξηρού περιεχομένου, το βιοχημικά μεθανογόνο δυναμικό (BMP) και τέλος, ο λόγος άνθρακα προς άζωτο.

Πίνακας 2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών αναερόβιας χώνευσης

Απόβλητα	Ξηρό περιεχόμενο (DM) (%)	BMP (Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t oDM)	C/N
Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	70	300	6
Απόβλητα σφαγείων	25	420	16
Κοπριά από βοοειδή	10	210	15
Απόβλητα ελαιολιτριβείων	10	450	70
Απόβλητα τυροκομικών μονάδων	5	400	60
Πτηνοτροφικές μονάδες	35	340	15
Κοπριά από αιγοπρόβατα	50	230	17
Οινοποιεία	20	180	30

Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N) είναι σημαντικός στην αναερόβια χώνευση επειδή οι μικροοργανισμοί χρειάζονται μια καλή ισορροπία άνθρακα και αζώτου (που κυμαίνεται από 25 έως 35) για να παραμείνουν ενεργοί. Οι υψηλές αναλογίες C/N μπορούν να οδηγήσουν σε παρατεταμένη διάρκεια αναερόβιας χώνευσης και οι χαμηλές αναλογίες C/N ενισχύουν την απώλεια αζώτου. Για το λόγο αυτό, το τελικό μείγμα θα πρέπει να αποτελείται από πρώτες ύλες με μέσο όρο λόγου άνθρακα προς άζωτο που να κυμαίνεται στο εύρος 25-35.

Το βιομηχανικά μεθανογόνο δυναμικό (Biochemical Methane Potential (BMP) ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t oDM}$ ) και το ξηρό περιεχόμενο κάθε πρώτης ύλης αποτελούν πολύ σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, καθώς ο συνδυασμός τους δίνει την τελική ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου των μιγμάτων τροφοδοσίας.

### 5.3.2 Ποσοτικές απαιτήσεις πρώτων υλών

Οι πρώτες ύλες που πρόκειται να αξιοποιηθούν στη μονάδα έχουν προκύψει έπειτα από έρευνα βασικών πρώτων υλών, τα οποία συνήθως απαντώνται σε μία τυπική πεδινή έκταση, υπολογίζοντας παράλληλα τα ισοζύγια μάζας και το ενεργειακό τους περιεχόμενο, όπως αναλύεται παρακάτω. Τέλος, υπολογίζεται η μέση ετήσια ποσότητα, ανά κατηγορία πρώτης ύλης. Οι πρώτες ύλες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ετήσιες ποσότητες πρώτων υλών στο ρεύμα εισόδου της μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Πρώτη ύλη	Ετήσια Ποσότητα [tn/y]
Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	2.000
Κοπριά από βοοειδή	10.000
Κοπριά από αιγοπρόβατα	12.000
Απόβλητα τυροκομικών μονάδων	5.000
Απόβλητα ελαιοτριβείων	5.000
<b>Σύνολο</b>	<b>34.000</b>



Στον διάγραμμα, παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες ποσότητες του μείγματος πρώτων υλών, τα οποία πρόκειται να αποτελέσουν το ρεύμα εισόδου στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης, προς παραγωγή βιοαερίου.



Διάγραμμα 7. Ποσοστιαίες ποσότητες πρώτων υλών στο ρεύμα εισόδου της μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Σε περίπτωση που κάποια από τις παραπάνω πρώτες ύλες δεν είναι διαθέσιμη, υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης κάποιας από αυτές από κάποιο άλλο οργανικό απόβλητο που είναι διαθέσιμο στην ευρύτερη περιοχή της εγκατάστασης, χωρίς να δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα δυσλειτουργίας στη μονάδα.

Με βάση τις παραπάνω ποσότητες, οι οποίες πρόκειται να αποτελέσουν το μείγμα του ρεύματος εισόδου, της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, υπολογίζονται οι ποσότητες παραγωγής βιοαερίου και η περιεκτικότητα σε μεθάνιο.

Το βιοχημικά μεθανογόνο δυναμικό (BMP), εκφράζεται ως κανονικά κυβικά μέτρα μεθανίου ανά τόνο οργανικής ξηρής βάσης ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t oDM}$ ).

Στη συνέχεια, οι ποσότητες παραγωγής βιομεθανίου υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας την ετήσια ποσότητα εισροών με το βιοχημικά μεθανογόνο δυναμικό BMP. Ειδικότερα, για κάθε κατηγορία πρώτης ύλης ισχύει:

$$\text{Ετήσια Παραγωγή Βιομεθανίου}_i = F_i \times \text{oDM}_i \times \text{BMP}_i$$

Όπου,

- $i=1, 2, \dots, n$  το πλήθος των διαφορετικών πρώτων υλών
- $F$  η ετήσια παροχή υγρής βάσης (t/y)
- $\text{oDM}$  το ποσοστό της οργανικής ξηρής βάσης (%)
- $\text{BMP}$  το βιοχημικά μεθανογόνο δυναμικό ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4 / \text{t oDM}$ )

Τέλος, υπολογίζονται οι συνολικές ποσότητες παραγόμενου βιοαερίου, οι οποίες προκύπτουν από τις ποσότητες παραγωγής βιομεθανίου, αφού ληφθούν υπόψη η περιεκτικότητα σε μεθάνιο στο βιοαέριο και οι συντελεστές μετατροπής. Σε ένα τυπικό σύστημα αναερόβιας χώνευσης οργανικών αποβλήτων η περιεκτικότητα μεθανίου στο παραγόμενο βιοαέριο κυμαίνεται από 50% έως 60%. Επομένως, θεωρώντας την μέση τιμή 55% υπολογίζεται

$$\text{Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου}_i = \frac{\text{Ετήσια Παραγωγή Βιομεθανίου}_i}{\text{Περιεκτικότητα σε μεθάνιο}}$$

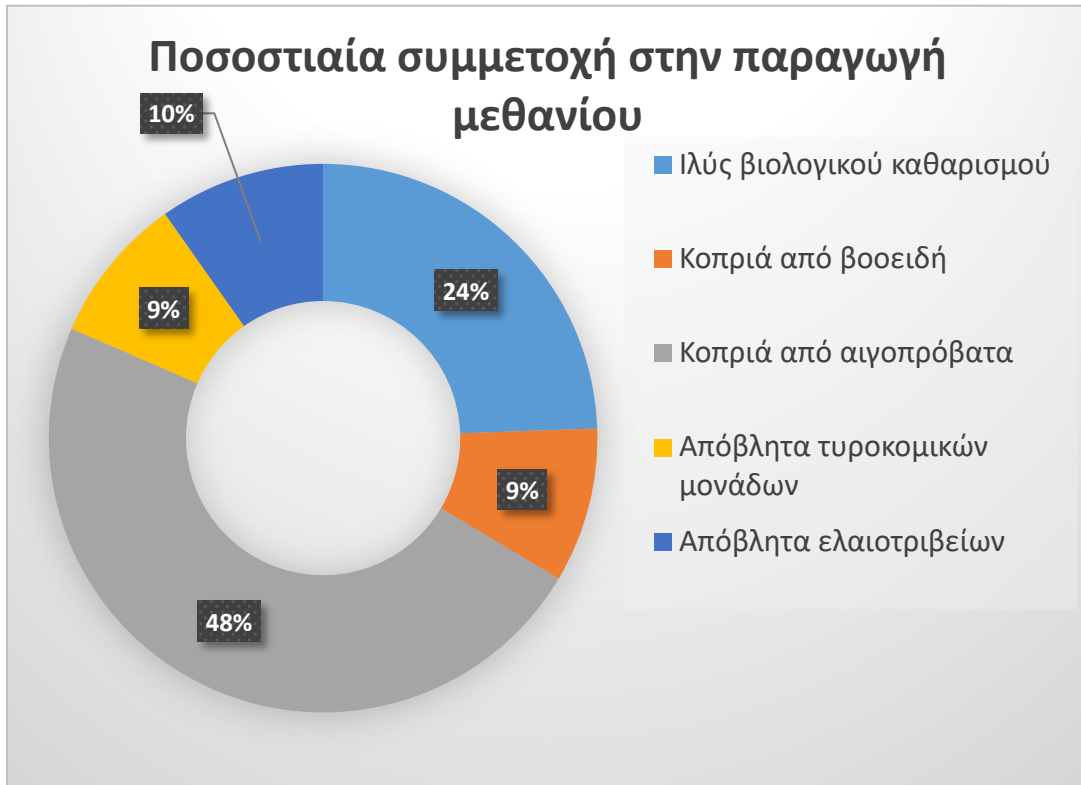
**Πίνακας 4. Υπολογισμός του παραγόμενου βιοαερίου και της περιεκτικότητας σε μεθάνιο, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, ανά είδος πρώτης ύλης**

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ		ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΥΓΡΗΣ ΒΑΣΗΣ (FM)	ΞΗΡΑ ΒΑΣΗ (DM)	ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΞΗΡΑ ΒΑΣΗ (oDM)	Βιοχημικά Μεθανογόνο Δυναμικό (BMP)	Ετήσια Παραγωγή Βιομεθανίου	Ετήσια Παραγωγή Βιοαερίου
A/A	Κατηγορία	[t/y]	[%]	[%]	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t oDM]	[Nm <sup>3</sup> /y]	[Nm <sup>3</sup> /y]
1	Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	2.000	75%	75%	300	450.000	818.182
2	Κοπριά από βοοειδή	10.000	10%	8%	210	168.000	305.455
3	Κοπριά από αιγοπρόβατα	12.000	40%	32%	230	883.200	1.605.818
4	Απόβλητα τυροκομικών μονάδων	5.000	10%	8%	400	160.000	290.909
5	Απόβλητα ελαιοτριβείων	5.000	10%	8%	450	180.000	327.273
<b>Σύνολο</b>		<b>34.000</b>	<b>24%</b>	<b>20%</b>	<b>285,6</b>	<b>1.841.200</b>	<b>3.347.636</b>

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, υπολογίζεται πως η ετήσια παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω καύσης υπολογίζεται σε 3.347.636 Nm<sup>3</sup>/y.

Ακολούθως, υπολογίζεται πως η ετήσια παραγωγή μεθανίου, που εμπεριέχεται στο βιοαέριο αντιστοιχεί σε 1.841.200 Nm<sup>3</sup>/y.

Στο Διάγραμμα 8, παρουσιάζεται η ποσοστιαία συμμετοχή στην συνολική παραγωγή μεθανίου, ανά είδος πρώτης ύλης. Είναι εμφανές, πως η ποσοστιαία συμμετοχή στην συνολική παραγωγή μεθανίου, δεν ταυτίζεται με τις ποσοστιαίες ποσότητες πρώτων υλών στο ρεύμα εισόδου, τονίζοντας την διαφορετική δυναμική μεθανογένεσης, η οποία εκφράζεται μέσω του βιοχημικά μεθανογόνου δυναμικού (BMP). Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η ιλύς βιολογικού καθαρισμού, η οποία ενώ αποτελεί μόλις το 6% του ρεύματος εισόδου, είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μεθανίου σε ποσοστό 24%.



Διάγραμμα 8. Ποσοστιαία συμμετοχή στην παραγωγή μεθανίου ανά είδος πρώτης ύλης

#### 5.4 Τεχνική Περιγραφή του έργου

Σκοπός του προτεινόμενου έργου είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 1MW, από καύση βιοαερίου το οποίο παράγεται μέσω αναερόβιας χώνευσης, από μη επικίνδυνα οργανικά απόβλητα. Τα κύρια προϊόντα του έργου θα είναι το βιοαέριο και το οργανικό λίπασμα, το οποίο θα παράγεται μέσω κομποστοποίησης του στερεού υπολείμματος της αναερόβιας χώνευσης της οργανικής ύλης.

Αρχικά, τα οργανικά απόβλητα θα συλλέγονται από τους παραγωγούς με φορτηγά και θα μεταφέρονται στην εγκατάσταση, όπου και θα αποθηκεύονται σε δεξαμενές ή σιλό. Μέσω συστήματος αντλιών ή φορτωτή θα οδηγούνται προς επεξεργασία, και στη συνέχεια στο σύστημα τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτή, προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία

αναερόβιας χώνευσης, η οποία θα λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 30-55 °C (μεσόφιλη) κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες υγιεινής.

Τα προϊόντα της Αναερόβιας Χώνευσης είναι: α) το βιοαέριο, το οποίο οδηγείται σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο και αφού υποστεί διαδικασίες καθαρισμού και αφύγρανσης, τροφοδοτεί μηχανές εσωτερικής καύσης για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, και β) το χωνευμένο υπόλειμμα το οποίο θα οδηγείται στη μονάδα παστερίωσης για την υγειονομοποίηση του και στη συνέχεια θα διαχωρίζεται σε δυο φάσεις, τη στερεή και την υγρή.

Η ηλεκτρική ενέργεια η οποία θα παράγεται, θα πωλείται στο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. και θα τροφοδοτεί το δίκτυό του, μέρος της παραγόμενης θερμικής ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί στη μονάδα για ιδιοκατανάλωση, ενώ το πλεόνασμα της θερμότητας μπορεί μελλοντικά να αξιοποιηθεί από γειτονικές εγκαταστάσεις.

#### 5.4.1 Μεταφορά και επεξεργασία πρώτων υλών

Τα οργανικά απόβλητα, τα οποία θα αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου, θα συλλέγονται από τον χώρο παραγωγής τους με κατάλληλα οχήματα και θα μεταφέρονται χύδην ή συσκευασμένα στο χώρο της εγκατάστασης. Στην εγκατάσταση θα τοποθετηθούν δεξαμενές για την αποθήκευση των υγρών πρώτων υλών και σιλό με σκοπό την αποθήκευση των στερεών πρώτων υλών. Πιο αναλυτικά, για την αποθήκευση των υγρών πρώτων υλών προτείνεται η κατασκευή δύο δεξαμενών όγκου 250 m<sup>3</sup>, κατασκευασμένη από σπλισμένο σκυρόδεμα για την αποθήκευση των υγρών και στερεών αποβλήτων αντίστοιχα.

Πριν την είσοδο των πρώτων υλών στη δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης, θα πρέπει να εξασφαλιστεί, πως το μέγεθος των σωματιδίων θα πρέπει να εναρμονίζεται με τις προδιαγραφές της συγκεκριμένης μονάδας. Η μη τήρηση της απαίτησης αυτής μπορεί να οδηγήσει σε φθορά του εξοπλισμού και μείωση της απόδοσής του. Για το σκοπό αυτό, ενδέχεται να πρέπει να τοποθετηθεί στο σύστημα τροφοδοσίας της στερεάς πρώτης ύλης, μονάδα

προεπεξεργασίας, με σκοπό να μειωθεί το μέγεθος των ευμεγεθών σωματιδίων που εισέρχονται στη διάταξη. Ενδεικτικό εξοπλισμό, για την συγκεκριμένη κατεργασία αποτελεί ο σφυρόμυλος. Μια ακόμη παράμετρος που θα πρέπει να ελέγχεται στις πρώτες ύλες είναι η ύπαρξη βλαβερών, για τη διαδικασία της ζύμωσης, ουσιών, όπως για παράδειγμα χημικές ουσίες, λάδια κινητήρα, απορρυπαντικά, απολυμαντικά, φαρμακευτικά προϊόντα κ.λπ. Η μη τήρηση αυτών των απαιτήσεων μπορεί να οδηγήσει σε μερική ή ολική αναστολή της διαδικασίας. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται να έχουν παραχθεί με βάση τα εγκεκριμένα πρότυπα, για την κάθε βιομηχανική δραστηριότητα.

#### 5.4.2 Σύστημα τροφοδοσίας αναερόβιου χωνευτή

Η τροφοδότηση του αναερόβιου χωνευτή πραγματοποιείται μέσω του συστήματος τροφοδοσίας, στο οποίο μεταφέρονται οι υγρές πρώτες ύλες, μέσω του κεντρικού αντλιοστασίου και οι στερεές πρώτες, μέσω φορτωτή.

Οι στερεές πρώτες ύλες θα μεταφέρονται από το σιλό αποθήκευσης στο σύστημα τροφοδοσίας του αναερόβιου χωνευτή, με φορτωτή. Η τροφοδοσία του συστήματος συνήθως πραγματοποιείται μία με δυο φορές τη μέρα και στη συνέχεια το υλικό θα μεταφέρεται μέσω κοχλιών στον χωνευτή.

#### Αναερόβια χώνευση

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, η αναερόβια χώνευση είναι μια σύνθετη βιοχημική διεργασία κατά την οποία, απουσία οξυγόνου, αναερόβιοι μικροοργανισμοί αποδομούν τις πρώτες ύλες – υπόστρωμα σε τέσσερα κύρια βήματα:

1. Υδρόλυση: μείωση υψηλού μοριακού βάρους οργανικών ενώσεων και οι αδιάλυτες οργανικές ενώσεις μετατρέπονται σε υδατοδιαλυτές μικρού μοριακού βάρους.

2. Οξυγένεση: μετατροπή των μικρού μοριακού βάρους οργανικών ενώσεων σε λιπαρά οξέα, με ταυτόχρονη παραγωγή διοξειδίου άνθρακος (CO<sub>2</sub>), υδρογόνου, αμμωνίας και αμμωνιακού αζώτου.
3. Ακετογένεση: μετατροπή των λιπαρών οξέων και του μείγματος υδρογόνου – οξυγόνου σε οξικό οξύ.
4. Μεθανογένεση: Μετατροπή του οξικού οξέος και του μείγματος διοξειδίου του άνθρακα – υδρογόνου σε μείγμα μεθανίου – διοξειδίου του άνθρακα και μικρού ποσοστού θειωδών ενώσεων με ποσοστό μεθανίου 55 % κατά μέσον όρο.

#### 5.4.3 Αποθήκευση και επεξεργασία βιοαερίου

Μέσω της αναερόβιας χώνευσης των πρώτων υλών παράγεται βιοαέριο, το οποίο μεταφέρεται και αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκιο. Η λειτουργία της εγκατάστασης πραγματοποιείται μέσω ενός φυσητήρα αέρα, ο οποίος διασφαλίζει ότι η μεμβράνη του αεριοφυλακίου παραμένει σταθερή, καθώς διατηρεί σταθερή πίεση στο αεριοφυλάκιο, παρόλες τις διακυμάνσεις στην παροχή και έξοδο του βιοαερίου από τη μονάδα.

Το στάδιο της αποθείωσης πραγματοποιείται μέσω μερικού αερισμού κατά την έξοδό του από τον αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης. Η φυσική αποθείωση του βιοαερίου πραγματοποιείται με τη βοήθεια βακτηρίων που σταθεροποιούν το θείο κατά τη διαδικασία χώνευσης. Τα βακτήρια χρειάζονται θρεπτικά συστατικά, τα οποία λαμβάνουν από τον πολτό βιοαερίου, και οξυγόνο. Το οξυγόνο παρέχεται μέσω μιας μικρής ένεσης ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό του χωνευτήρα.

#### 5.4.4 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP)

Μετά την επεξεργασία και αποθήκευσή του, το βιοαέριο, αφού ψυχθεί μέσω εναλλάκτη, οδηγείται ως καύσιμο σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (Combined

Heat and Power – CHP), η οποία αποτελείται από μια μονάδα εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) συνδεδεμένη με γεννήτρια.

Έπειτα από έρευνα αγοράς, για την προτεινόμενη επένδυση, που αφορά στην εγκατάσταση και λειτουργία μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 1MW, προτείνεται η μονάδα συμπαραγωγής (CHP) J320F της JENBACHER.

Τα χαρακτηριστικά της μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (CHP) J320F JENBACHER

Περιγραφή	Τιμή
$P_{el}$ (kW)	1.067
$n_{el}$ (%)	42,0 %
$P_{th}$ (kW)	1.104
$n_{th}$ (%)	43,5 %
$n_{tot}$ (%)	85,5 %

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, λαμβάνοντας υπόψη την ετήσια παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου με βάση τις αρχικές ποσότητες πρώτων υλών, την ηλεκτρική απόδοση του CHP και τις ετήσιες ώρες λειτουργίας του CHP. Πιο συγκεκριμένα, η παραγόμενη ετήσια ποσότητα μεθανίου προέκυψε 1.841.200 Nm<sup>3</sup>/γ.

Για τον υπολογισμό του ετήσιου ενεργειακού περιεχομένου που παράγεται από τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης ισχύει ότι

Το ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου είναι

$$55 \frac{MJ}{kg CH_4}$$



Το μοριακό βάρος του μεθανίου είναι

$$MW_{CH_4} = 16 \frac{g}{mol}$$

Άρα, σε 1kg μεθανίου σε κανονικές συνθήκες,

$$\frac{1 \text{ kg } CH_4}{16 \frac{g}{mol}} = 62,5 \text{ mol } CH_4 \times 22,4 \frac{L}{mol} = 1400 \text{ L } CH_4 = 1,4 \text{ m}^3 \text{ } CH_4$$

Επομένως,

$$55 \frac{MJ}{kg \text{ } CH_4} \xrightarrow{1MJ \cong 0,27 \text{ kWh}} 55 \frac{0,27kWh}{1,4 \text{ m}^3 \text{ } CH_4} = 10 \frac{kWh}{m^3}$$

Άρα, σε  $1Nm^3 \text{ } CH_4 = 10 \text{ kWh}$

Το ετήσιο ενεργειακό περιεχόμενο που παράγεται από τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης είναι

$$\frac{kWh}{y} = \frac{1.841.200 \text{ Nm}^3}{y} \times 10 \frac{kWh}{m^3} = 18.412.000 \frac{kWh}{y}$$

Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η παραγόμενη ισχύς, με βάση μία μέση ετήσια λειτουργία της μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, 8.000 ωρών. Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς υπολογίζεται 966,63 kW.

Πίνακας 6. Τελική παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ισχύς

<b>ΣΥΝΟΨΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	
<b>Ρυθμοί Παραγωγής Βιομεθανίου</b>	
<i>CH<sub>4</sub>/y (Nm<sup>3</sup>/y)</i>	1.841.200
<i>Συντ. μετατροπής Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> σε kWh</i>	10
<i>kWh/y</i>	18.412.000
<i>ηλεκτρική απόδοση CHP</i>	<b>42,0%</b>
<i>Ηλεκτρική Ενέργεια (kWh/y)</i>	7.733.040
<i>Ετήσιες ώρες λειτουργίας CHP</i>	8.000
<i>kW el</i>	<b>966,63</b>

#### 5.4.5 Μονάδα παστερίωσης

Ορισμένες από τις πρώτες ύλες, οι οποίες προέρχονται από ζωικά υποπροϊόντα ή παράγωγα προϊόντα, στα οποία εντάσσονται οι κοπριές των ζώων, είναι απαραίτητο να παστεριωθούν. Γι' αυτό το σκοπό η μονάδα θα πρέπει να διαθέτει μονάδα παστερίωσης, όπου θα οδηγείται το χώνεμα μετά την έξοδο του από τον αναερόβιο χωνευτή.

#### 5.4.6 Κομποστοποίηση χωνέματος

Σε συνέχεια της αναερόβιας χώνευσης, το χώνεμα που παράγεται μετά την αποικοδόμηση της πρώτης ύλης, έχει χαμηλότερο ποσοστό ξηράς ουσίας σε σύγκριση με το υλικό εισόδου. Η στερεά φάση του χωνέματος θα μεταφέρεται στην πλατεία κομποστοποίησης, προκειμένου να μετατραπεί σε compost.

Η στερεά φάση του χωνέματος θα μεταφέρεται σε πλατεία κομποστοποίησης, όπου θα αναμειγνύεται με πρόσθετα υλικά, όπως κλαδέματα ή άλλα φυτικά υλικά, με σκοπό να διασφαλιστεί ότι ο σωρός κομποστοποίησης έχει το κατάλληλο ποσοστό συμπύκνωσης. Η διαδικασία της κομποστοποίησης διαρκεί συνολικά περίπου 6 – 8 εβδομάδες.

Τα πρόσθετα υλικά οδηγούνται σε τεμαχιστή, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι ξυλώδεις ίνες ανοίγουν, ώστε να υπάρχουν ευνοϊκές επιφάνειες για την εγκατάσταση των μικροοργανισμών.

Συνολικά, η ποσότητα που θα οδηγείται προς επεξεργασία προκύπτει πως θα είναι έως 8.000 t/y. Το υλικό θα διαστρώνεται σε σειράδια τραπεζοειδούς διατομής, τα οποία θα αναστρέφονται, με χρήση αναστροφέα, σε τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να αποφεύγεται η καθίζηση των υλικών. Συνολικά, θα παράγονται έως 4.000 t/y compost υψηλής αγρονομικής αξίας.

## 6. ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

### 6.1 Βασικά Στοιχεία της Επένδυσης

Η προς αξιολόγηση επένδυση, αφορά στην εγκατάσταση και λειτουργία σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος περίπου 1MW από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση βιοαποβλήτων. Οι πρώτες ύλες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την αδιάλειπτη λειτουργία της μονάδας, αποτελούνται από οργανικά απόβλητα, τα οποία πρώτα θα έχουν αξιολογηθεί ως προς την καταλληλότητα τους ως υπόστρωμα της αναερόβιας χώνευσης. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθενται οι ποσότητες των πρώτων υλών που πρόκειται να αποτελέσουν υπόστρωμα προς χώνευση, προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 1MW. Συνολικά, προβλέπεται να αξιοποιηθούν 34.000 τόνοι πρώτης ύλης ετησίως.

Πίνακας 7. Πρώτες ύλες / Υπόστρωμα για παραγωγή 1MW ηλεκτρικής ενέργειας.

Πρώτη ύλη	Ετήσια Ποσότητα [tn/y]
Ιλύς βιολογικού καθαρισμού	2.000
Κοπριά από βοοειδή	10.000
Κοπριά από αιγοπρόβατα	12.000
Απόβλητα τυροκομικών μονάδων	5.000
Απόβλητα ελαιοτριβείων	5.000
<b>Σύνολο</b>	<b>34.000</b>

Αρχικά, παρουσιάζεται το ενδεικτικό κόστος της επένδυσης για την κατασκευή της μονάδας. Το κόστος της επένδυσης ανέρχεται σε 4.150.000€, ο επιμερισμός του οποίου δίνεται στον Πίνακας 8.

Πίνακας 8. Ενδεικτικό κόστος επένδυσης για κατασκευή μονάδας ισχύος 1MW

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΑΠΑΝΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (σε €)
Αγορά Οικοπέδου	40.000
Μηχανολογικός εξοπλισμός	2.000.000
Εξοπλισμός Κομποστοποίησης	600.000
Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση	300.000
Εξαρτήματα συντήρησης	60.000
Έργα μηχανικών	1.000.000
Αδειοδοτήσεις (Οικοδομική, ΑΕΠΟ, ΔΕΔΔΗΕ)	150.000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>4.150.000</b>

Ακόμα, στο κόστος επένδυσης θα πρέπει να υπολογιστεί και το αρχικό κεφάλαιο κίνησης, το οποίο αφορά στην κάλυψη ενός μέρους των λειτουργικών δαπανών, κατά την αρχική λειτουργία της μονάδας και μέχρι την πραγματοποίηση των πρώτων εισπράξεων από την πώληση των προϊόντων. Αυτό, υπολογίζεται περίπου 50.000 €, μετατρέποντας το συνολικό κόστος της δαπάνης σε 4.200.000 €.

Στην δαπάνη για το μηχανολογικό εξοπλισμό συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα άντλησης και ανάδευσης της δεξαμενής και του αντιδραστήρα, το σύστημα τροφοδοσίας, το σύστημα διαχείρισης και καύσης του αερίου, η μονάδα συμπαραγωγής, το σύστημα θέρμανσης του αντιδραστήρα, οι σωληνώσεις και τα συστήματα επεξεργασίας του χωνέματος.

Στην δαπάνη για τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό συμπεριλαμβάνονται οι μετρητές θερμοκρασίας και πίεσης, μετρητές στάθμης, ηλεκτρολογικοί πίνακες, ο πίνακας ελέγχου του αντιδραστήρα και του συστήματος τροφοδοσίας και η καλωδίωση.

Στα έργα μηχανικού συμπεριλαμβάνονται δαπάνες για το σχεδιασμό, την επίβλεψη, την εκπαίδευση και τη θέση σε λειτουργία της μονάδας.

Στη δαπάνη του εξοπλισμού κομποστοποίησης συμπεριλαμβάνεται το κόστος προμήθειας κατάλληλου παρελκόμενου αναστροφέα, τεμαχιστή, κόσκινου και μονάδας ενσάκισης.

Στα εξαρτήματα για τη συντήρηση περιλαμβάνεται η δαπάνη για την προμήθεια μίας σειράς ανταλλακτικών και εξαρτημάτων φθοράς για τη συντήρηση διαφόρων μερών του εξοπλισμού της μονάδας, όπως λιπαντικά και λάδια, σκοινιά, τσιμούχες, πτερωτές, φυσίγγια στεγανοποίησης, ελαστομερή, αισθητήρες, ηλεκτρόδια, αντλίες, και φίλτρα.

## 6.2 Σενάριο Α – Μονάδα ισχύος 1MW με ίδια κεφάλαια

Στο σενάριο Α, η επένδυση πραγματοποιείται αποκλειστικά με ίδια κεφάλαια του επενδυτή, όπως φαίνεται στον Πίνακας 9 .

Πίνακας 9. Χρηματοδοτικό σχήμα σεναρίου Α

ΠΗΓΗ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ	%	€
Ίδια συμμετοχή	100%	4.200.000
Εξ' αυτών αρχικό κεφάλαιο κίνησης		50.000
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>4.200.000</b>

Τα λειτουργικά κόστη της επένδυσης αποτελούνται από το κόστος μεταφοράς της πρώτης ύλης, το κόστος αγοράς νερού και ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας, το κόστος του προσωπικού, και τα λοιπά κόστη, όπως το κόστος ασφάλισης της μονάδας, το κόστος συντήρησης και αναλωσίμων και το κόστος τυποποίησης και διάθεσης του compost.

Το κόστος μεταφοράς της πρώτης ύλης από τις εγκαταστάσεις των προμηθευτών στη μονάδα, ανέρχεται περίπου σε 6 € ανά τόνο πρώτης ύλης, λαμβάνοντας υπόψη μία μέση απόσταση από τις πρώτες ύλες.

Αναφορικά με την κατανάλωση της μονάδας σε νερό, οι μέγιστες ημερήσιες απαιτήσεις της μονάδας υπολογίζονται σε 10m<sup>3</sup> νερό. Οι υπολογισμοί της παρούσας ανάλυσης βασίζονται στην τιμή του κυβικού μέτρου του νερού στα 0,83€, σύμφωνα με την τιμολογιακή πολιτική των εταιρειών ύδρευσης.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας ισχύος 1MW αποτελεί ποσοστό περίπου 8% της παραγόμενης ενέργειας της μονάδας, δηλαδή περίπου 80kW/ώρα. Οι υπολογισμοί της παρούσας ανάλυσης βασίζονται στην τιμολογιακή πολιτική των εταιρειών παροχής ρεύματος του Ιανουαρίου του 2023, στην οποία συμπεριλαμβάνονται και οι κρατικές επιδοτήσεις, δίνοντας τιμή ηλεκτρικού ρεύματος για τη βιομηχανία 107,4€/MWh.

Για την διασφάλιση της λειτουργικότητας της μονάδας, στον υπολογισμό του κόστους προσωπικού έχουν υπολογιστεί οι δαπάνες για την πλήρη απασχόληση εννέα (9) υπάλληλοι

Το συνολικό κόστος παραγωγής στο οποίο συμπεριλαμβάνεται το ετήσιο κόστος του προσωπικού και το ετήσιο κόστος των υπολοίπων προαναφερθέντων λειτουργικών εξόδων της υπό μελέτη μονάδας, παρουσιάζεται στον Πίνακας 10. Στον υπολογισμό των εν λόγω λειτουργικών εξόδων έχει συμπεριληφθεί προσαύξηση 2% ετησίως για πληθωριστικούς λόγους.

Πίνακας 10. Λειτουργικά κόστη σεναρίου Α – Συνολικό κόστος παραγωγής

	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ΥΛΙΚΑ</b>										
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	251.286	335.048	341.749	348.584	355.555	362.666	369.920	377.318	384.864	392.562
<b>ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ</b>	199.047	265.397	270.704	276.119	281.641	287.274	293.019	298.880	304.857	310.954
<b>ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ</b>	2.407	3.209	3.273	3.339	3.406	3.474	3.543	3.614	3.686	3.760
<b>Κατανάλωση Ενέργειας</b>	49.831	66.442	67.771	69.126	70.509	71.919	73.357	74.824	76.321	77.847

	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ΕΡΓΑΣΙΑ</b>										
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>107.500</b>	<b>109.650</b>	<b>111.843</b>	<b>114.080</b>	<b>116.361</b>	<b>118.689</b>	<b>121.062</b>	<b>123.484</b>	<b>125.953</b>	<b>128.472</b>
<b>ΜΟΝΙΜΟΙ</b>	100.000	102.000	104.040	106.121	108.243	110.408	112.616	114.869	117.166	119.509
Εξειδικευμένος τεχνικός	40.000	40.800	41.616	42.448	43.297	44.163	45.046	45.947	46.866	47.804
Χειριστής	36.000	36.720	37.454	38.203	38.968	39.747	40.542	41.353	42.180	43.023
Ανειδίκευτος εργάτης	24.000	24.480	24.970	25.469	25.978	26.498	27.028	27.568	28.120	28.682
<b>ΜΕΡΙΚΗΣ ΑΠΑΣΧΟΛΩΣΗΣ</b>	7.500	7.650	7.803	7.959	8.118	8.281	8.446	8.615	8.787	8.963
Διοικητικό προσωπικό - Λογιστής	7.500	7.650	7.803	7.959	8.118	8.281	8.446	8.615	8.787	8.963



Στον Πίνακα 11, παρουσιάζονται τα λοιπά κόστη της επένδυσης, τα οποία αποτελούνται από την ασφάλιση, τα αναλώσιμα και το service της μονάδας παραγωγής βιοαερίου και τα έξοδα για την τυποποίηση και τη διάθεση του παραγόμενου compost. Πιο συγκεκριμένα, στη δαπάνη των αναλωσίμων συμπεριλαμβάνονται τα καύσιμα που απαιτούνται για τη λειτουργία του εξοπλισμού, των αναλωσίμων συντήρησης της μονάδας (π.χ. συντήρηση αντλιών και φίλτρων, κ.α.) και των εργαστηριακών αναλύσεων που απαιτούνται για τη διασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών αναερόβιας χώνευσης.

Πίνακας 11. Λοιπά κόστη σεναρίου Α σε €, ανά έτος

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΑΠΑΝΗΣ	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ασφαλίσεις	15.000	15.300	15.606	15.918	16.236	16.561	16.892	17.230	17.575	17.926
Αναλώσιμα	40.000	40.800	41.616	42.448	43.297	44.163	45.046	45.947	46.866	47.804
Συντήρηση	80.000	81.600	83.232	84.897	86.595	88.326	90.093	91.895	93.733	95.607
Τυποποίηση Compost	20.000	20.400	20.808	21.224	21.649	22.082	22.523	22.974	23.433	23.902
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>166.000</b>	<b>169.320</b>	<b>172.706</b>	<b>176.161</b>	<b>179.684</b>	<b>183.277</b>	<b>186.943</b>	<b>190.682</b>	<b>194.495</b>	<b>198.385</b>



Στην παρούσα ανάλυση έχει ληφθεί υπόψη ότι τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της μονάδας, η δυναμικότητα της, όσον αφορά στην παραγωγή βιοαερίου και κατ' επέκταση ηλεκτρικής ενέργειας, θα ανέρχεται στο 75%. Η μείωση της δυναμικότητας είναι αποτέλεσμα του αρχικού χρόνου που απαιτείται για την χώνευση της πρώτης ύλης, και του χρονικού διαστήματος των τριών (3) μηνών που εκτιμάται να διαρκέσει η πιλοτική λειτουργία της μονάδας. Για τα επόμενα έτη έχει υπολογιστεί 100% δυναμικότητα. Συνεπώς, τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της μονάδας εκτιμάται η παραγωγή 5.800 Mwh και 3.000 tn compost, ενώ τα επόμενα έτη οι παραγόμενες ποσότητες ανέρχονται στις 7.733 MWh και τους 4.000 tn compost ετησίως.

Αναφορικά με τον υπολογισμό των πωλήσεων, όπου τα παραγόμενα προϊόντα της μονάδας είναι η ηλεκτρική ενέργεια και το compost, οι τιμές που λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό της παρούσας χρηματοοικονομικής ανάλυσης είναι 219 €/MWh ηλεκτρικού ρεύματος και 70 €/τόνο compost. Η τιμή της αγοράς του ηλεκτρικού ρεύματος ορίζεται από το Ν. 4414/2016 στα 219 €/MWh για βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση βιομάζας (ενεργειακών καλλιεργειών, ενσιρωμάτων χλωρής νομής γεωργικών καλλιεργειών, κτηνοτροφικών και αγροτοβιομηχανικών οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων, αποβλήτων βρώσιμων ελαίων και λιπών, ληγμένων τροφίμων) και αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ <1MW.

Στον Πίνακα 13, δίνονται οι συνολικές πωλήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας και του compost που εκτιμώνται σε βάθος δεκαετίας.

Τα έσοδα από την πώληση της ενέργειας αναμένονται σταθερά σε βάθος δεκαετίας και ανέρχονται σε 1.973.527 € ετησίως. Παράλληλα, τα έσοδα που θα προκύψουν από την πώληση του compost, ανέρχονται σε 280.000 € ετησίως.

Ο Πίνακας 14, αποτυπώνει τις πραγματικές ροές χρήματος στη διάρκεια της διαχειριστικής περιόδου και επομένως αποδίδει μια ρεαλιστική εικόνα της ρευστότητας της επιχείρησης, δηλαδή τα πραγματικά διαθέσιμα κεφάλαια. Παρατηρείται ότι για όλα τα χρόνια της διαχειριστικής περιόδου σημειώνεται σημαντική ρευστότητα.

Πίνακας 13. Συνολικές προβλεπόμενες πωλήσεις

ΠΡΟΪΟΝΤΑ	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΠΩΛΗΣΕΩΝ</b>										
Παραγόμενη Ενέργεια (€)	1.270.145	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527	1.693.527
Εδαφοβελτιωτικό (€)	210.000	280.000	280.000	280.000	280.000	280.000	280.000	280.000	280.000	280.000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.480.145</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>

Πίνακας 14. Λογαριασμός εκμετάλλευσης σεναρίου Α

	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ</b>	<b>1.480.145</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>	<b>1.973.527</b>
Μείον : Κόστος πωληθέντων	458.786	546.698	557.632	568.784	580.160	591.763	603.598	615.670	627.984	640.543
<b>ΜΙΚΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ</b>	<b>1.021.359</b>	<b>1.426.829</b>	<b>1.415.895</b>	<b>1.404.743</b>	<b>1.393.367</b>	<b>1.381.764</b>	<b>1.369.929</b>	<b>1.357.857</b>	<b>1.345.543</b>	<b>1.332.984</b>
Μείον : Εξοδα Διοίκησης	15.000	15.300	15.606	15.918	16.236	16.561	16.892	17.230	17.575	17.926
Μείον : Εξοδα διάθεσης	40.000	40.800	41.616	42.448	43.297	44.163	45.046	45.947	46.866	47.804
<b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ</b>	<b>966.359</b>	<b>1.370.729</b>	<b>1.358.673</b>	<b>1.346.376</b>	<b>1.333.833</b>	<b>1.321.039</b>	<b>1.307.990</b>	<b>1.294.679</b>	<b>1.281.102</b>	<b>1.267.253</b>
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ &amp; ΦΟΡΩΝ</b>	<b>966.359</b>	<b>1.370.729</b>	<b>1.358.673</b>	<b>1.346.376</b>	<b>1.333.833</b>	<b>1.321.039</b>	<b>1.307.990</b>	<b>1.294.679</b>	<b>1.281.102</b>	<b>1.267.253</b>
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ &amp; ΦΟΡΩΝ</b>	<b>966.359</b>	<b>1.370.729</b>	<b>1.358.673</b>	<b>1.346.376</b>	<b>1.333.833</b>	<b>1.321.039</b>	<b>1.307.990</b>	<b>1.294.679</b>	<b>1.281.102</b>	<b>1.267.253</b>
Μείον : Αποσβέσεις (μη επιχορηγούμενου μέρους επένδυσης)	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ</b>	<b>816.359</b>	<b>1.220.729</b>	<b>1.208.673</b>	<b>1.196.376</b>	<b>1.183.833</b>	<b>1.171.039</b>	<b>1.157.990</b>	<b>1.144.679</b>	<b>1.131.102</b>	<b>1.117.253</b>
Μείον: Φόρος εισοδήματος	204.090	305.182	302.168	299.094	295.958	292.760	289.497	286.170	282.775	279.313
<b>ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ</b>	<b>612.270</b>	<b>915.547</b>	<b>906.505</b>	<b>897.282</b>	<b>887.875</b>	<b>878.280</b>	<b>868.492</b>	<b>858.509</b>	<b>848.326</b>	<b>837.940</b>
<b>ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΑΘΑΡΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΙΚΟ</b>	<b>612.270</b>	<b>915.547</b>	<b>906.505</b>	<b>897.282</b>	<b>887.875</b>	<b>878.280</b>	<b>868.492</b>	<b>858.509</b>	<b>848.326</b>	<b>837.940</b>
Συντελεστής φορολόγησης κερδών	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%

Για την αξιολόγηση της επένδυσης χρησιμοποιούνται ο δείκτης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) και ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR). Ειδικότερα, για τον υπολογισμό της ΚΠΑ χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα προ τόκων, αποσβέσεων και φόρων, καθώς και οι δαπάνες επένδυσης και το αρχικό κεφάλαιο κίνησης. Η τιμή της ΚΠΑ με βάση τα παραπάνω και με το επιτόκιο προεξόφλησης στο 6%, φτάνει τα 5.242.842 €, που αποτελεί το καθαρό όφελος που προκύπτει από ολόκληρο τον κύκλο ζωής της επένδυσης, ανηγμένο στον παρόντα χρόνο που λαμβάνεται η απόφαση. Συνεπώς, με βάση τον δείκτη ΚΠΑ η επένδυση είναι κερδοφόρα.

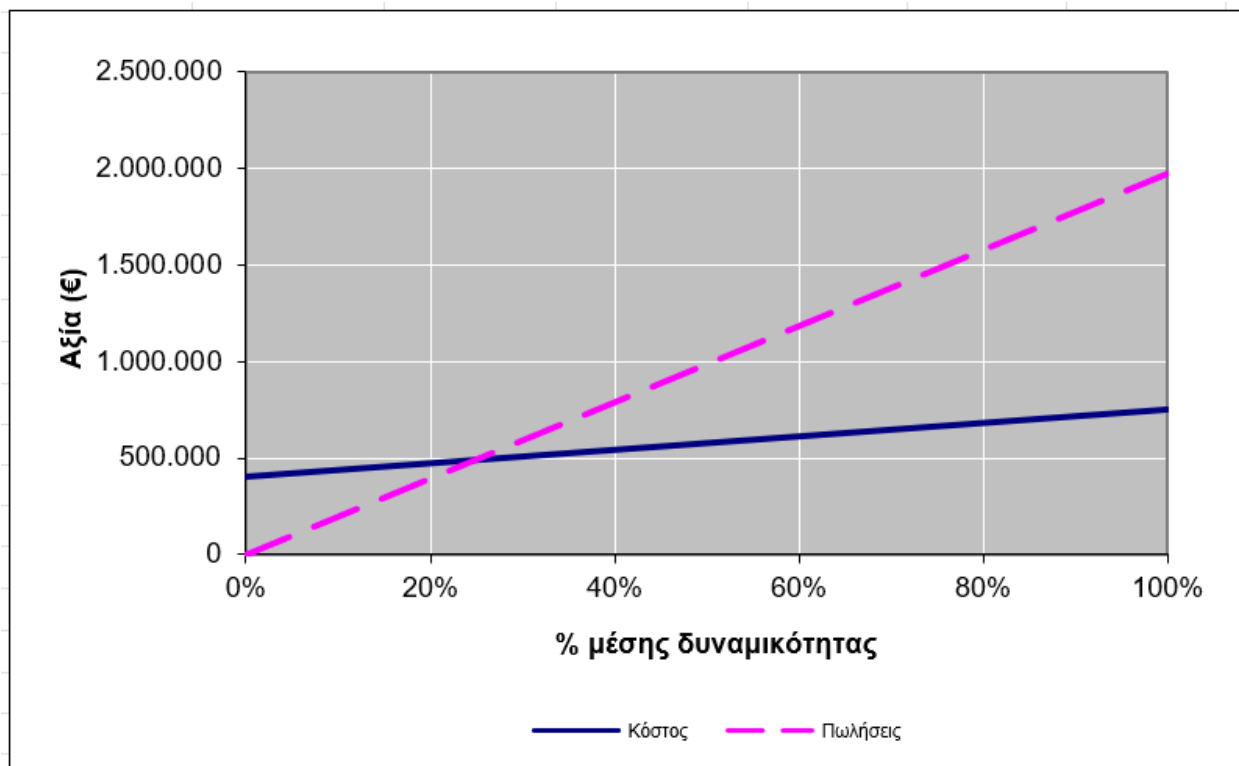
Για τον υπολογισμό του IRR, χρησιμοποιούνται οι ίδιες χρηματοροές και το ίδιο επιτόκιο προεξόφλησης (6%). Με βάση αυτά, το IRR της επένδυσης φτάνει το 27,1%, το οποίο ξεπερνάει κατά πολύ το επιτόκιο προεξόφλησης και επομένως δηλώνει ότι η απόδοση της επένδυσης είναι ιδιαίτερα υψηλή. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 15. Αξιολόγηση επένδυσης σεναρίου Α

ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΕΙΑΚΩΝ ΡΟΩΝ	ΕΤΟΣ										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>ΕΙΣΡΟΕΣ</b>											
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ &amp; ΦΟΡΩΝ</b>	0	966.359	1.370.729	1.358.673	1.346.376	1.333.833	1.321.039	1.307.990	1.294.679	1.281.102	1.267.253
<b>ΕΚΡΟΕΣ</b>											
Δαπάνες επένδυσης	4.150.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Αρχικό κεφάλαιο κίνησης	50.000										-50.000
Υποσύνολο	4.200.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-50.000
<b>ΚΑΘΑΡΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ (Εισροές-Εκροές)</b>	<b>-4.200.000</b>	<b>966.359</b>	<b>1.370.729</b>	<b>1.358.673</b>	<b>1.346.376</b>	<b>1.333.833</b>	<b>1.321.039</b>	<b>1.307.990</b>	<b>1.294.679</b>	<b>1.281.102</b>	<b>1.317.253</b>

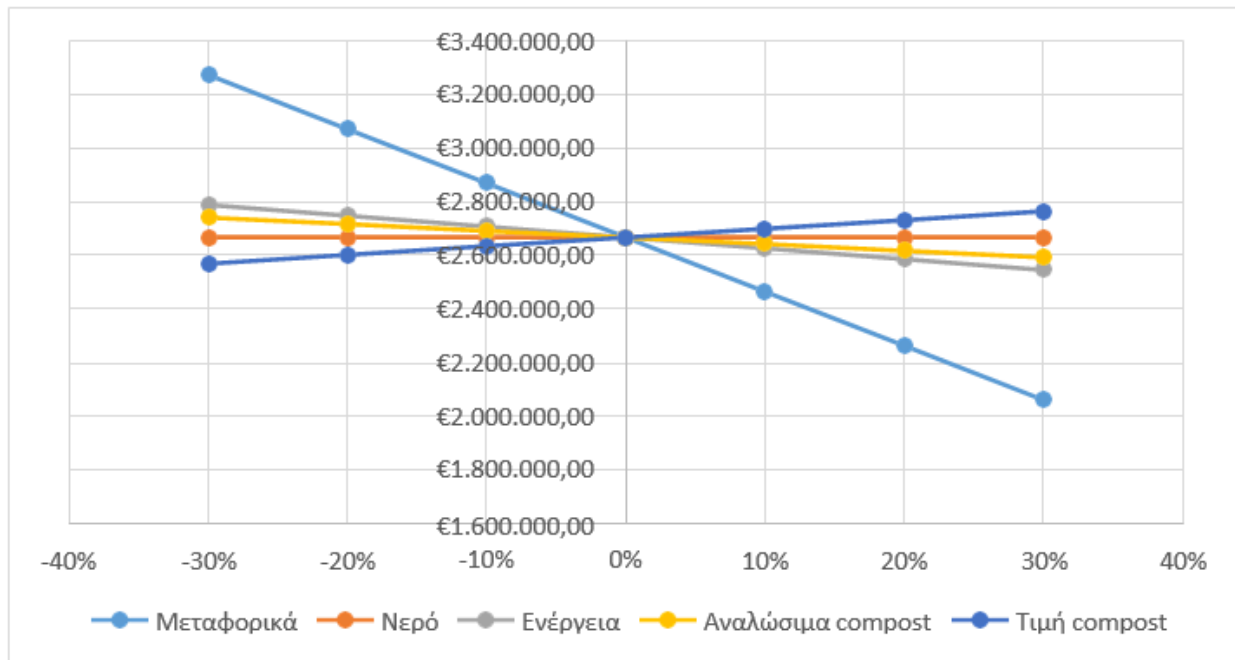
ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (Κ.Π.Α., NPV)	<b>€ 5.242.842</b>
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (Ε.Β.Α., IRR)	<b>27,1%</b>
ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (ε)	<b>6,0%</b>

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το Νεκρό Σημείο της Επένδυσης, όπου με μπλε σημειώνεται η γραμμή κόστους και με διακεκομμένες, οι πωλήσεις. Όπως παρατηρείται το Νεκρό Σημείο αντιστοιχεί σε χαμηλό ποσοστό της δυναμικότητας, γύρω στο 24,9 %, το οποίο είναι θεμιτό, καθώς έτσι η επιχείρηση αποκτά μεγαλύτερη ευελιξία λειτουργίας και μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους.



Διάγραμμα 9. Νεκρό σημείο σεναρίου A

Για την αξιολόγηση της ευελιξίας της λειτουργίας της επένδυσης αλλά και τη διερεύνηση της αβεβαιότητας ως προς τη μελλοντική διαμόρφωση των παραμέτρων που επηρεάζουν την απόφαση, πραγματοποιείται, μια ανάλυση ευαισθησίας, ως προς τις τιμές που δύναται να επηρεάσουν την επένδυση. Ειδικότερα, επιλέγεται η ανάλυση ευαισθησίας ως προς το κόστος των πρώτων και βοηθητικών υλών (μεταφορικά, νερό, ενέργεια), τα αναλώσιμα που απαιτούνται για τη δημιουργία του compost, καθώς και την τιμή του compost. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 10. Ανάλυση ευαισθησίας σεναρίου A

Ανάμεσα στις παραμέτρους που επιλέχθηκαν, φαίνεται ότι τα έξοδα για τη μεταφορά της πρώτης ύλης από τους προμηθευτές έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην απόδοση της επένδυσης. Συνεπώς, για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας, κρίνεται σκόπιμο να διαμορφωθούν κατάλληλες συμφωνίες με τους προμηθευτές, καθώς και με μεταφορικές εταιρείες, ώστε να εξασφαλιστεί η σταθερή τιμή για τη μεταφορά της πρώτης ύλης. Προς τον σκοπό αυτό, προτείνεται και η εναλλακτική των ιδιόκτητων οχημάτων για την μεταφορά της πρώτης ύλης προς την μονάδα παραγωγής βιοαερίου.

### 6.3 Σενάριο Β – Μονάδα ισχύος 1MW με 80% ξένα κεφάλαια

Το δεύτερο σενάριο αφορά στην αξιοποίηση ενός δανείου για την κάλυψη του 80% του κόστους επένδυσης, ενώ το υπόλοιπο 20% καλύπτεται από ίδια συμμετοχή, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 16. Χρηματοδοτικό σχήμα σεναρίου Β

ΠΗΓΗ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ	%	€
Ίδια συμμετοχή	20%	830.000
Ξένα κεφάλαια		3.320.000
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>4.200.000</b>

Στον Πίνακα 17, παρουσιάζονται τα επιτόκια προεξόφλησης για την ίδια συμμετοχή και τα ξένα κεφάλαια. Το επιτόκιο που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς στη συνέχεια, είναι το σταθμισμένο επιτόκιο, το οποίο υπολογίζεται από τις επιμέρους τιμές του πίνακα. Λόγω της ύπαρξης δανεισμού στο συγκεκριμένο σενάριο, το σταθμισμένο επιτόκιο λαμβάνει την τιμή 4,4%.

Πίνακας 17. Σταθμισμένο επιτόκιο σεναρίου Β

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	%
Ίδια συμμετοχή	6,00%
Ξένα κεφάλαια (μακροπρόθεσμα δάνεια)	4,00%
<b>Σταθμισμένο ε</b>	<b>4,40%</b>



Ο Πίνακας 18 παρουσιάζει το σχήμα αποπληρωμής του δανείου. Για τον υπολογισμό, έχει επιλεγεί η μέθοδος ισόποσων τοκοχρεολυτικών δόσεων χωρίς περίοδο χάριτος και με κεφαλαιοποίηση των τόκων.

Πίνακας 18. Αποπληρωμή μακροπρόθεσμου δανείου

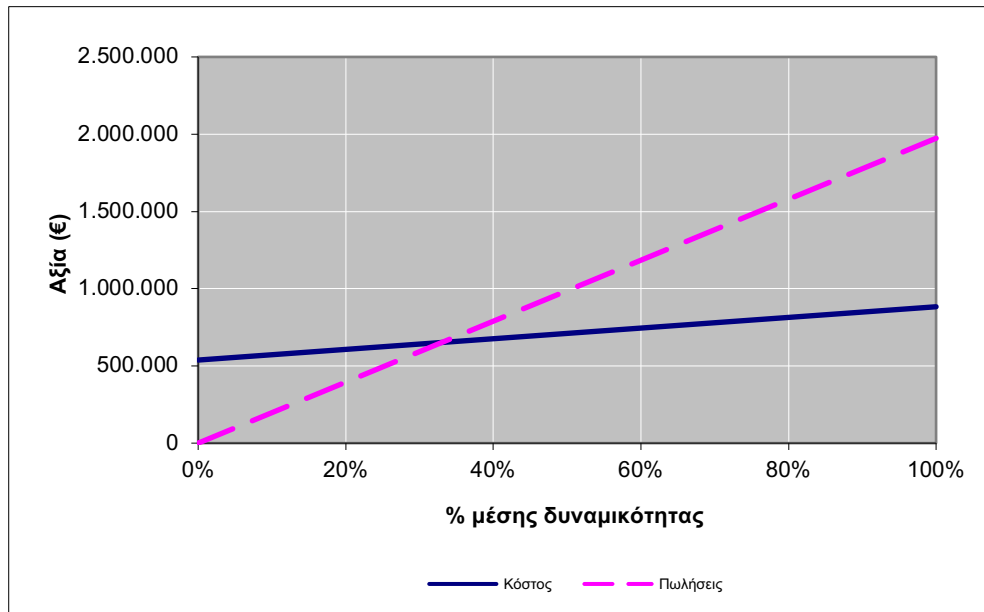
ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΔΑΝΕΙΟΥ	Σταθερό Ετήσιο Τοκοχρεολύσιο = 409.325,9 €											
	ΕΤΟΣ											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Τοκοχρεολύσιο		409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326	409.326
Χρεολύσιο		276.526	287.587	299.090	311.054	323.496	336.436	349.894	363.889	378.445	393.583	
Τόκοι		132.800	121.739	110.235	98.272	85.830	72.890	59.432	45.437	30.881	15.743	
Υπόλοιπο Δανείου	3.320.000	3.043.474	2.755.887	2.456.797	2.145.743	1.822.246	1.485.810	1.135.917	772.027	393.583	0	



Πίνακας 20. Σύγκριση σωρευμένων ταμειακών υπολοίπων για τα σενάρια Α και Β, με ίδια κεφάλαια και με δανεισμό

	ΕΤΟΣ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΤΑΜΕΙΑΚΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΣΕΝΑΡΙΟΥ Α	€ 745.395	€ 1.801.536	€ 2.858.262	€ 3.905.769	€ 4.943.874	€ 5.972.388	€ 6.991.119	€ 7.999.872	€ 8.998.447	€ 9.986.640
ΣΩΡΕΥΜΕΝΟ ΤΑΜΕΙΑΚΟ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΣΕΝΑΡΙΟΥ Β	€ 369.269	€ 1.046.519	€ 1.721.477	€ 2.384.227	€ 3.034.463	€ 3.671.873	€ 4.296.137	€ 4.906.923	€ 5.503.892	€ 6.086.696

Στο Διάγραμμα 11, παρουσιάζεται το Νεκρό Σημείο της Επένδυσης για το σενάριο Β. Όπως παρατηρείται, το Νεκρό Σημείο αντιστοιχεί σε σχετικά χαμηλό ποσοστό της δυναμικότητας (γύρω στο 33,0 %), το οποίο είναι θεμιτό, καθώς έτσι η επιχείρηση αποκτά μεγαλύτερη ευελιξία λειτουργίας και μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι υπάρχει σημαντική διαφορά σε σχέση με το σενάριο Α, λόγω της επίδρασης του δανείου.



Διάγραμμα 11. Νεκρό σημείο σεναρίου Β

Συνεπώς, με τη χρήση δανείου για την κάλυψη του κόστους επένδυσης, παρατηρείται ότι η απόδοση της επένδυσης συνεχίζει να είναι θετική, έχοντας αξιοποιήσει μικρότερη ίδια συμμετοχή και έχοντας αποπληρώσει τις δόσεις του δανείου.

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης τοπικών γεωργικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων, καθώς και βιομηχανικών παραπροϊόντων των εργοστασίων της περιοχής αποτελεί την πλέον ώριμη και αποτελεσματική τεχνολογία για την αξιοποίηση της βιομάζας και τη μετατροπή της σε πολύτιμα προϊόντα. Αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή βιοαερίου που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας (θερμική, ηλεκτρική) και ενός χωνεμένου υπολείμματος που δύναται να χρησιμοποιηθεί με μία μικρή επεξεργασία ως οργανικό λίπασμα και εδαφοβελτιωτικό.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται χρηματοοικονομική ανάλυση της βιωσιμότητας της επένδυσης, προκειμένου να διερευνηθεί το κόστος επένδυσης και η βιωσιμότητα του επενδυτικού σχεδίου, ώστε να αξιολογηθεί η επιτυχία και η αποδοτικότητα του και να διαπιστωθεί αν το σχέδιο μπορεί να σχεδιαστεί και να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη βιωσιμότητας εκπονείται λαμβάνοντας υπόψη ενδεικτική διαθέσιμη πρώτη ύλη καθώς και λειτουργικά και πάγια κόστη της επένδυσης, καθώς και όλα τα κόστη για τον σχεδιασμό και την αδειοδότησή της.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μία σύντομη περιγραφή της επιχειρηματικής επένδυσης και των τεχνικών χαρακτηριστικών, καθώς και της ενδεικτικής χωροθέτησης της μονάδας. Παράλληλα, αναλύονται δύο διακριτά σενάρια της συγκεκριμένης επένδυσης, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο χρηματοδότησης της μονάδας.

Αρχικά, η αξιολόγηση της επένδυσης, που αφορά στην εγκατάσταση μονάδας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 1MW και την παράλληλη επεξεργασία και αξιοποίηση του χωνέματος για την παραγωγή compost, πραγματοποιείται μέσω δύο σεναρίων, Α και Β, τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο χρηματοδότησης. Στο σενάριο Α, η επένδυση πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση ιδίων κεφαλαίων της επιχείρησης, ενώ στο σενάριο Β, αξιολογείται η υλοποίηση της επένδυσης μέσω δανεισμού του 80% του κεφαλαίου

επιλέγοντας ισόποσες τοκοχρεολυτικές δόσεις χωρίς περίοδο χάριτος και με κεφαλαιοποίηση των τόκων.

Αρχικά, αναλύονται οι κεφαλαιακές, λειτουργικές και λοιπές δαπάνες, καθώς και το χρηματοδοτικό σχήμα, υπολογίζονται οι αποσβέσεις του εξοπλισμού και εκτιμώνται οι συνολικές πωλήσεις. Στη συνέχεια, αξιολογείται η επένδυση μέσω του δείκτη Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ) και του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR), ενώ παράλληλα υπολογίζεται το νεκρό σημείο της επένδυσης και διεξάγεται μία ανάλυση ευαισθησίας της ευελιξίας λειτουργίας της επένδυσης λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που δύναται να επηρεάσουν την επένδυση.

Αναφορικά με τη μονάδα, οι κεφαλαιακές δαπάνες ανέρχονται στα 4.200.000€, συμπεριλαμβανόμενου του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού για την κατασκευή της μονάδας, των κατασκευαστικών έργων, των εξαρτημάτων συντήρησης της μονάδας, των υπηρεσιών μηχανικού, των μελετών και των αδειοδοτήσεων, καθώς και ενός αρχικού κεφαλαίου κίνησης για την κάλυψη ενός μέρους των λειτουργικών δαπανών, κατά την αρχική λειτουργία της μονάδας.

Αξιολογώντας την επένδυση, όταν πραγματοποιείται αποκλειστικά με τη χρήση ίδιων κεφαλαίων της επιχείρησης, με σταθμισμένο κόστος κεφαλαίου 6%, παρουσιάζεται ιδιαίτερα υψηλή απόδοση, με IRR ίσο με 27,1 %, και υψηλή κερδοφορία. Η τιμή της ΚΠΑ φτάνει τα 5.242.842 €, αποτελώντας το καθαρό όφελος που προκύπτει από ολόκληρο τον κύκλο ζωής της επένδυσης, ανηγμένο στο χρόνο που λαμβάνεται η απόφαση.

Το Νεκρό Σημείο αντιστοιχεί σε χαμηλό ποσοστό της δυναμικότητας (γύρω στο 34,9 %), προσφέροντας στην επιχείρηση σημαντική ευελιξία λειτουργίας και περιθώρια κέρδους. Η ευελιξία της λειτουργίας της επένδυσης αξιολογείται μέσω μίας ανάλυσης ευαισθησίας, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους που δύναται να επηρεάσουν την επένδυση, όπως το κόστος μεταφοράς της πρώτης ύλης, το κόστος προμήθειας του νερού και της απαιτούμενης ενέργειας, και την τιμή πώλησης του compost. Η ανάλυση ευαισθησίας αναδεικνύει ότι τη μεγαλύτερη

επίδραση στην απόδοση της επένδυσης την ασκούν τα έξοδα μεταφοράς της πρώτης ύλης, από τις εγκαταστάσεις των προμηθευτών στη μονάδα. Συνεπώς, για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας, κρίνεται σκόπιμη η διαμόρφωση κατάλληλων συμφωνιών με τους προμηθευτές, καθώς και με μεταφορικές εταιρείες, ώστε να εξασφαλιστεί σταθερή τιμή για τη μεταφορά της πρώτης ύλης. Προς τον σκοπό αυτό, προτείνεται να ληφθεί υπόψη η εναλλακτική των ιδιόκτητων οχημάτων για την μεταφορά της πρώτης ύλης.

Αναφορικά με την αξιοποίηση δανείου για την κάλυψη του 80% του κόστους επένδυσης για την κατασκευή μονάδας ισχύος 1MW, δηλαδή το Σενάριο Β, παρατηρείται ότι η απόδοση της επένδυσης συνεχίζει να είναι θετική, έχοντας αξιοποιήσει μικρότερη ίδια συμμετοχή και έχοντας αποπληρώσει τις δόσεις του δανείου. Αξιολογώντας τις ροές χρήματος, παρατηρείται ότι τα χρόνια της διαχειριστικής περιόδου σημειώνεται σημαντική ρευστότητα. Το νεκρό σημείο αντιστοιχεί σε σαφώς μεγαλύτερο ποσοστό της δυναμικότητας, σε σχέση με το σενάριο Α, ήτοι 33,0%. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η σημαντική αυτή διαφορά σε σχέση με το σενάριο Α, προκύπτει λόγω της επίδρασης του δανείου.

## Βιβλιογραφία

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hémous, D. (2012). *The environment and directed technical change*. *American Economic Review*, 102(1), 131-166.
- Allenby, B. R., & Richards, D. J. (1994). *The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy Press.
- Ayres, R. U. (2002). *Industrial metabolism: Theory and policy*. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7229-7236.
- Benyus, J.M., 1997. *Biomimicry: Innovation inspired by nature*.
- Berglund, E., & Magnusson, T. (2019). *Circular Economy in the Built Environment: An Analysis of Four Cradle-to-Cradle Projects*. *Resources, Conservation and Recycling*, 149, 145-154.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453.
- Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2016). "A Literature and Practice Review to Develop Sustainable Business Model Archetypes". *Journal of Clean Production*, 16, 114-121.
- Boldrin, A. Møller, J., and Christensen, T.H., 2009. *Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution*. *Waste management & research*, 27(8), pp.813-824.
- Cadena, E., Ruggieri, L., Martínez-Blanco, J., Gasol, C.M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Gea, T., Sort, X. and Sánchez, A., 2009. *Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry*.
- Cárdenas, I.C., Al-Jibouri, S.S., Halman, J.I. and Tol, F.A., 2014. *Modeling Risk-Related Knowledge in Tunneling Projects*. *Risk analysis*, 34(2), pp.323-339.



- Charter, M. (2009). "Sustainable Solutions: Developing Products and Services for the Future". *Business Strategy and the Environment*, 18(3), 125-138.
- Chertow, M. R. (2000). *Industrial symbiosis: Literature and taxonomy*. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313-337.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Opportunities for the Consumer Goods Sector*. Ellen MacArthur Foundation.
- Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. CRC Press.
- EURES. (2023). Demand for Green Jobs 2023.
- European Commission. (2020). The European Green Deal.
- European Environment Agency. (2018). Greening the economy in the European Union
- European Parliament. (2019). Resolution on the European Green Deal.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). "The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm?". *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made". *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (1998). *Industrial Ecology*. Prentice Hall.
- Haug, W. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. CRC Press.
- International Labour Organization (ILO). (2008). *Skills for Green Jobs - A Global View*.
- International Labour Organization (ILO). (2020). *Skills for a Resilient Youth*.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

Organization for Economic Co-operation and Development. (2011). Towards Green Growth.

*Technical, economic and environmental analyses of the composting process*. Journal of cleaner production, 17(9), pp.830-838.

Tukker, A., Bocken, N. M., & de Pauw, I. (2015). "Product Services for a Resource-Efficient and Circular Economy – A Review". Journal of Clean Production, 97, 76-91.

World Bank. (2012). Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development.

Zhang, W., Zhang, L., & Li, G. (2019). *Effects of C/N ratio and aeration rate on greenhouse gas emissions during composting of organic waste*. Waste Management, 87, 482-490.

Αβανίδης, Ν., 2017. *Η κυκλική οικονομία των προϊόντων και η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων τους*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

Αραβώσης Κ., Αθ. Καραμπέρης, Αν. Σωτήραρχος, 2012. In: *Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Επενδύσεων*.

Καλογήρου, Γ., Μαυρωτάς, Γ., Πρωτόγερου, Α., Σιώκας, Ε. and Τσακανίκας, Ά., 2015. *Οργάνωση και Διοίκηση Επιχειρήσεων για Μηχανικούς*.

Μαργαρίτης, Μ.Ι., 2012. *Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου*.

Παπαδάμου, Σ., Συριόπουλος, Κ., Παπαδάμου, Σ. και Συριόπουλος, Κ., 2015. *Βασικές αρχές αξιολόγησης επενδύσεων: Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική προσέγγιση*