



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Π.Μ.Σ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: “Παραγωγή βιοαερίου και κριτήρια E.S.G.”

ΣΑΚΕΛΛΑΡΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ –Α.Μ.:013022020

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ ΞΕΝΟΦΩΝ

ΛΑΡΙΣΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2025

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του εισηγητή

Η Εργασία εξετάστηκε επιτυχώς; από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<u>A/A</u>	<u>ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ</u>	<u>ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</u>
1	ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
2	ΚΑΚΑΒΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
3	ΣΠΗΛΙΩΤΗΣ ΞΕΝΟΦΩΝ	ΟΜ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αναζήτηση και η συγκέντρωση και συστηματοποίηση πληροφοριών σχετικά με τα κριτήρια E.S.G. που διέπουν τη βιομηχανία βιοαερίου. Στην σύγχρονη κοινωνία η αύξηση των απαιτήσεων οδηγεί στην αδιάκοπη αύξηση κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών προβλημάτων. Για την ομαλοποίηση των παραπάνω προβλημάτων υιοθετήθηκαν οι Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας που πρακτικά είναι ανεξάντλητες και δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στοιχεία για την παραγωγή βιοαερίου, τον τρόπο παραγωγής του, τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται αλλά και παραδείγματα εταιριών παραγωγής βιοαερίου σε Ελλάδα και εξωτερικό. Κίνητρο της εργασίας είναι ότι το βιοαέριο υ με τη βοήθεια της τεχνολογίας επιτρέπει την εκμετάλλευση απόβλητων κτηνοτροφικών μονάδων, γαλακτοβιομηχανιών, ελαιουργείων και γεωργικών προϊόντων με μικρές επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα. Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας και καυσίμων από βιοκαύσιμα μειώνει τα εισαγόμενα καύσιμα και επιπλέον η καύση τους δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με CO₂.

Στην συνέχεια αποσαφηνίζονται τα κριτήρια E.S.G. που αναφέρονται στη βιωσιμότητα, την κοινωνική ευθύνη και τον τρόπο διοίκησης μίας επιχείρησης. Αναλύονται οι τρεις καθοριστικοί παράγοντες του E.S.G. που αφορούν το περιβάλλον, την κοινωνία και την εταιρική διακυβέρνηση οι οποίοι τείνουν να επηρεάζουν το επενδυτικό περιβάλλον με θετικό ή αρνητικό τρόπο. Θίγεται η σημασία του E.S.G. παγκοσμίως αλλά και στην χώρα μας. Η εργασία εστιάζει στις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, ως προσαρμογές της βιομηχανίας βιοαερίου στα κριτήρια E.S.G.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βιοαέριο, Αναερόβια χώνευση, Περιβάλλον, Κοινωνία, Βιώσιμες Επενδύσεις, Εταιρική Διακυβέρνηση, Κυκλική Οικονομία

ABSTRACT

The purpose of this work is to search for, collect and systematize information regarding the E.S.G. criteria that govern the biogas industry. In modern society, the increase in demands leads to a continuous increase in energy consumption. This entails an unreasonable use of natural resources, which results in the creation of environmental, economic and social problems. To normalize the above problems, Renewable Energy Sources were adopted, which are practically inexhaustible and do not burden the environment.

This dissertation presents data on biogas production, its production method, the raw materials used and examples of biogas production companies in Greece and abroad. The motivation of the present work is that biogas, with the help of technology, allows the exploitation of waste from livestock units, dairies, oil mills and agricultural products with minor impacts on air quality. The production and use of energy and fuels from biofuels reduces the need for imported fuels and, in addition, their combustion does not burden the atmosphere with CO₂.

Additionally, a clarification of the E.S.G. criteria that refer to sustainability, social responsibility and the way a company is managed, is attempted. The three determining factors of E.S.G. are analyzed, which concern the environment, society and corporate governance, which tend to affect the investment environment in a positive or negative way. The importance of E.S.G. is touched upon worldwide and in our country. The present work focuses on the environmental and social impacts, as adaptations of the biogas industry to the E.S.G. criteria.

KEYWORDS: Biogas, Anaerobic Digestion, Environment, Society, Sustainable investments, Corporate Governance, Circular Economy

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, να αναφέρω πως αφορμή για να συμμετέχω στο συγκεκριμένο μεταπτυχιακό ήταν η παρακολούθηση ενός επιδοτούμενου σεμιναρίου όπου ομιλητής ήταν ο επιβλέπων καθηγητής μου, κύριος Ξενοφών Σπηλιώτης. Η απλότητα στον τρόπο μετάδοσης, οι γνώσεις του στο αντικείμενο μου δημιούργησαν το ενδιαφέρον να μελετήσω για την κυκλική οικονομία και γενικότερα ό,τι συνδέει οικονομία και περιβάλλον.

Δεύτερον, καθώς όπως λένε στην ζωή για πολλά πράγματα σημασία έχει το ταξίδι και όχι ο προορισμός έτσι και στην δική μου περίπτωση, στην επιλογή μου να κάνω αυτό το μεταπτυχιακό σε μία δύσκολη προσωπική κατάσταση, όλα έγιναν ευκολότερα μέσα από τις γνωριμίες με τους συμφοιτητές μου, τους σπουδαίους και υψηλά καταρτισμένους καθηγητές μου αλλά κυρίως και μέσα από την ανθρώπινη και φιλική προς εμάς πλευρά τους.

Η γνώση είναι δύναμη!

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	12
ΒΙΟΑΕΡΙΟ	12
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	12
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	12
2.3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ.....	13
2.4 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	14
2.4.1 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	16
2.5 ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	17
2.6 ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	19
2.6.1 ΧΡΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ.....	21
2.6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ.....	21
2.6.3 ΕΝΕΡΓΗ ΙΛΥΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	23
2.6.4 Η ΚΟΠΡΙΑ ΤΩΝ ΖΩΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	24
2.6.5 ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	25
2.7 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ.....	25
2.8 ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ...	29
2.9 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	32
2.9.1 ΧΡΟΝΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (HRT)	32
2.9.2 ΘΡΕΠΤΙΚΑ	33
2.9.3 ΤΟ pH ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ	33
2.9.4 Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	34
2.9.5 O.L.R. –ORGANIC LOADING RATE	34
2.10 ΟΦΕΛΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	37
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	37
3.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	37

3.1.1	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	38
3.1.2	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	39
3.1.3	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		41
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ		41
4.1	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ	41
4.2	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	43
4.3	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ Ε.Ε	45
4.4	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		49
ΚΡΙΤΗΡΙΑ E.S.G.		49
5.1	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΤΙ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΤΟ E.S.G.	49
5.2	ΟΙ ΑΡΧΕΣ E.S.G.	50
5.3	Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ E.S.G. ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	52
5.3.1	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΕΣ E.S.G.	54
5.3.2	ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	55
5.3.3	ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ E.S.G.....	58
5.4	ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.	61
5.4.1	ΟΦΕΛΗ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.	61
5.4.2	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.	63
5.4.3	ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ E.S.G.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....		68
ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ		68
ΣΤΟ E.S.G.		68
6.1	ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	68
6.1.1	Ο ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (EUTAXONOMY)	69
6.1.2	ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ E.S.G.ΚΑΙ ESRS ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....		73
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		73
Ευρωπαϊκή Νομοθεσία & Ρυθμιστικό Πλαίσιο.....		90

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύνθεση Βιοαερίου	12
Πίνακας 2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης	13
Πίνακας 3: Δείκτες E.S.G	56
Πίνακας 4: Προτεινόμενος πίνακας δεικτών E.S.G για μονάδα παραγωγής Βιοαερίου	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Βιοχημικά στάδια αναερόβιας χώνευσης	15
Εικόνα 2: Στάδια αναερόβιας χώνευσης για την διαδικασία παραγωγής βιοαερίου	16
Εικόνα 3: (a) Παραγωγή βιοαερίου από βιομάζα λιγνοκυτταρίνης, (b) διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας λιγνοκυτταρίνης, (c) μονοπάτια οργανικής ύλης για αναερόβια αποδόμηση	19
Εικόνα 4: Διαφορετικές πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαερίου	20
Εικόνα 5: Αναπαράσταση διάφορων τεχνικών αξιοποίησης απορριμάτων από την βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού.	22
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής διεργασιών για την παραγωγή βιοαερίου	24
Εικόνα 7: Ταξινόμηση διαφορετικών προηγμένων τεχνολογιών για την επεξεργασία πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου	26
Εικόνα 8: Διαφορετικές διαμορφώσεις για διεργασίες αλκαλικής αναερόβιας χώνευσης	28
Εικόνα 9: Τεχνολογίες αναβάθμισης βιοαερίου	30
Εικόνα 10: Ενεργειακό δυναμικό βιοαερίου	38
Εικόνα 11: Μονάδα παραγωγής Βιοαερίου Αγγλία	42
Εικόνα 12: Διάταξη δεξαμενής Βιοαερίου	42
Εικόνα 13: Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

Α.Π.Ε. – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Α.Χ. – Αναερόβια Χώνευση

ΑΔΜΗΕ – Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΔΑΠΠΕΠ – Διαχειριστής ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης

ΔΕΔΔΗΕ – Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

E.E. – Ευρωπαϊκή Ένωση

ΜμΕ – Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις

ΑΓΓΛΙΚΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

AD -Anaerobic Digestion

CHP – Combined Heat and Power

CSRD -Corporate Sustainability Reporting Directive

C.S.T.R–Continuous Stirred Tank Reactor

E.S.G. - Environmental, Social, Governance

E.S.R.S - European Sustainability Reporting Standards

GHG – Greenhouse Gases

HDB - Hellenic Development Bank

HRT – Hydraulic Retention Time

MSW- Municipal Solid Waste

MW– Megawatt

NECPs -National Energy and Climate Plans

O.L.R. –Organic Loading Rate

VFA - Volatile (Fatty Acids)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μελέτη της παραγωγής του βιοαερίου και των κριτηρίων E.S.G. στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την επισήμανση της αναγκαιότητας αντικατάστασης των μονάδων που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, με άλλες παραγωγικές μονάδες που κάνουν χρήση καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η αντικατάσταση αυτή στοχεύει στην εκμετάλλευση πλεονεκτημάτων τόσο οικονομικού αλλά και περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Στην εν λόγω εργασία, το άμεσο ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο βιοαέριο και πιο συγκεκριμένα στην λεπτομερή ανάλυσή του για τον εντοπισμό διαφόρων συστατικών και ιδιοτήτων του αλλά και την αξιολόγηση των ωφελειών του συγκριτικά με άλλα καύσιμα. Παράλληλα, ένα εξίσου σημαντικό σκέλος της εργασίας αποτελούν και τα κριτήρια E.S.G. και πως αυτά επιδρούν στο περιβάλλον, την κοινωνία και την διακυβέρνηση μιας επιχείρησης. Ο συνδυασμός τόσο της βιομηχανίας βιοαερίου όσο και των κριτηρίων E.S.G., εξετάζεται με απώτερο στόχο την μελέτη εφαρμογής των κριτηρίων αυτών στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου.

1.2 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο παρόν υποκεφάλαιο δίδεται μια σύντομη περιγραφή των στοιχείων που θα μελετηθούν σε κάθε κεφάλαιο της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Το κεφάλαιο 2 αποτελείται από το θεωρητικό υπόβαθρο, ορισμό και βασικά χαρακτηριστικά του βιοαερίου, διαδικασία παραγωγής του, χρήσεις του και περιβαλλοντικά οφέλη.

Κεφάλαιο 3: Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις του βιοαερίου και κυρίως στις περιβαλλοντικές.

Κεφάλαιο 4: Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο σε Ελλάδα και εξωτερικό καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις μονάδες βιοαερίου που βασίζεται σε πολυεπίπεδο πλαίσιο με στόχο την κυκλική οικονομία.

Κεφάλαιο 5: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής ανάλυση των κριτηρίων των E.S.G., τονίζεται η σημασία τους αλλά και η ξεχωριστή δυναμική που εμφανίζει η καθεμία πτυχή - E

(Environmental) περιβαλλοντική, S: (Social) κοινωνική και G: (Governance) Διακυβέρνηση. Παρουσιάζονται επίσης τα οφέλη υιοθέτησης κριτηρίων E.S.G. καθώς και οι οργανισμοί αξιολόγησης των κριτηρίων. Εντοπίζονται οι προκλήσεις που σημειώνονται στην ανάπτυξη των έργων του βιοαερίου σε διάφορους τομείς όπως είναι η οικονομία, η τεχνολογία κ.λπ.. Επιπρόσθετα, αναφέρονται και επεξηγούνται και όλα τα πιθανά τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή και οι ευκαιρίες ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 6: Γίνεται μία αναφορά στον ορισμό της βιώσιμης ανάπτυξης και στους τρόπους εφαρμογής κριτηρίων E.S.G. στις μονάδες βιοαερίου.

Κεφάλαιο 7: Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά όλα τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΟΑΕΡΙΟ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Πρωτίστως είναι σημαντικό να αναλυθεί ο ορισμός της βιομάζας η οποία αποτελεί μία σπουδαία πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να συμβάλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου. Η βιομάζα είναι ανανεώσιμη που σημαίνει μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται.

Με τον όρο βιομάζα υποδηλώνονται τα υποπροϊόντα και υπολείμματα της φυτικής, ζωικής και δασικής παραγωγής, τα προϊόντα που προέρχονται από την βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών, τα αστικά λύματα και σκουπίδια και τέλος τις φυσικές ύλες που προέρχονται από τα φυσικά οικοσυστήματα. Οι μέθοδοι της ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας είναι δύο: οι θερμομηχανικές (ξηρές) και σε βιοχημικές (υγρές).

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο παράγεται μέσω μιας εξελιγμένης τεχνολογίας και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την αξιοποίηση των οργανικών υπολειμμάτων (Kougias, Angelidaki, 2018). Είναι ένα άχρωμο, εύφλεκτο αέριο που παράγεται από τη βιολογική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, απουσία οξυγόνου (Umeghalu et.al., 2012). Στα βιοαποδομήσιμα υλικά, συμπεριλαμβάνεται η βιομάζα, τα απορρίμματα πράσινης κοπριάς βοοειδών και γεωργικά υπολείμματα. Είναι ένα μείγμα από διάφορα αέρια, με το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα να αποτελούν την πλειοψηφία, και το 1-5% να αποτελείται από άλλα αέρια όπως το υδρογόνο (H_2). Ο Πίνακας 1 απεικονίζει τη σύνθεση του βιοαερίου (Umeghalu et.al., 2012). Κατά τη διάρκεια της βιοαποικοδόμησης των οργανικών υλικών υπό αναερόβιες συνθήκες, τα βακτήρια παράγουν το αέριο (Sutaryo, 2012). Το βιοαέριο είναι μια ελκυστική πηγή ενέργειας λόγω της αυξημένης περιεκτικότητάς του σε μεθάνιο. Η ενέργεια που περιέχεται στο αέριο μετατρέπεται σε ηλεκτρική και θερμότητα χρησιμοποιώντας έναν αεριοστρόβιλο (Sorathia et.al., 2012).

Συστατικά	Συγκέντρωση %
Μεθάνιο	55-60
Διοξείδιο του άνθρακα	35-40
Υδρογόνο	2-7
Αμμωνία	0-0,05
Αζωτο	0-2
Υδρόθειο	2

Πίνακας 1.: Σύνθεση Βιοαερίου

Πηγή: Schnurer and Jarvis, 2010

2.3 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Το βιοαέριο είναι ένα υποπροϊόν της αναερόβιας σήψης (AD), μιας διαδικασίας κατά την οποία μια ποικιλία μικροοργανισμών αποσυνθέτουν την οργανική ύλη μέσω διακριτών μεταβολικών διεργασιών. Η ανάπτυξη εξελιγμένων εγκαταστάσεων βιοενέργειας έχει διευκολυνθεί από τις τεράστιες και καινοτόμες εξελίξεις στην παραγωγή βιοαερίου. Ως αποτέλεσμα, οι εγκαταστάσεις βιοαερίου χρησιμεύουν ως το θεμέλιο ενός οικονομικού μοντέλου που έχει σχεδιαστεί για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την ανακύκλωση θρεπτικών συστατικών και τη χρήση τους για σκοπούς βιοδιύλιστηρίου. Στο υποκεφάλαιο αυτό παρέχεται μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης της διαδικασίας και των μελλοντικών προοπτικών σχετικά με τη διαδικασία AD για την παραγωγή βιοαερίου. Απουσία οξυγόνου, η AD είναι μια μικροβιακή αποικοδόμηση των οργανικών υπολειμμάτων. Μια αναερόβια διαδικασία περιλαμβάνει τη μετατροπή της οργανικής ύλης σε αέρια CO₂ και CH₄, η οποία ακολουθείται από μια σειρά βιοχημικών αντιδράσεων (Bailey και Ollis, 1986). Κατά συνέπεια, οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί διευκολύνουν την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών κατά τη σήψη. Διαφορετικές κατηγορίες μικροοργανισμών οργανώνουν τις φάσεις της AD της οργανικής ύλης. Η πλειονότητα της βιοαποδομήσιμης οργανικής ύλης μετατρέπεται σε αέρια, ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό (περίπου 10%) μετατρέπεται σε νέα κυτταρική μάζα μέσω της μικροβιακής ανάπτυξης (Sprece, 1996). Η AD έχει ένα οικονομικό πλεονέκτημα έναντι της αερόβιας χώνευσης λόγω του γεγονότος ότι το μεθάνιο που παράγεται από την AD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός AD απεικονίζονται στον Πίνακα 2, ο οποίος εξετάζει το κόστος, τον χρόνο εκκίνησης, τη δημιουργία ιζήματος και την ικανότητα αποθήκευσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Το κόστος λειτουργίας για μια μονάδα αναερόβιας επεξεργασίας είναι σχετικά πολύ χαμηλό σε σύγκριση με μια μονάδα αερόβιας επεξεργασίας	Μακροχρόνια εκκίνηση: ο αργός ρυθμός ανάπτυξης προκαλεί μεγαλύτερη περίοδο εκκίνησης σε σύγκριση με τα αερόβια συστήματα
Κατανάλωση περιορισμένης ενέργειας και παραγωγή βιοαερίου για περαιτέρω εφαρμογές όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης το σύστημα δεν απαιτεί εξωτερική ενέργεια για τη λειτουργία του	Υψηλές απαιτήσεις ρυθμιστικού διαλύματος για τον έλεγχο του pH: Το απαιτούμενο pH για την AD θα πρέπει να είναι στην περιοχή 6,5–8. Επίσης, η χημική προσθήκη, κυρίως σε βιομηχανικά λύματα, μπορεί να είναι απαραίτητη για τον έλεγχο του pH με ανεπαρκή ρυθμιστική ικανότητα
Η ευελιξία ενός αναερόβιου συστήματος επιτρέπει την εφαρμογή της τεχνολογίας είτε σε μικρή είτε σε μεγάλη κλίμακα	Υψηλή ευαισθησία μικροοργανισμών: Τα μεθανογόνα είναι ευαίσθητα στο pH και τη θερμοκρασία, θεωρείται ότι έχουν μικρότερη αντίσταση στις τοξικές ενώσεις

Χαμηλή παραγωγή λάσπης σε σύγκριση με αερόβια συστήματα λόγω χαμηλότερου συντελεστή απόδοσης	Χαμηλή απομάκρυνση παθογόνων και θρεπτικών ουσιών: Τα λύματα που παράγονται από την AD χαρακτηρίζονται από χαμηλή απομάκρυνση παθογόνων και θρεπτικών ουσιών.
Η περίσσεια ιλύος σταθεροποιείται καλά με αποτέλεσμα περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Απαιτείται μια διαδικασία μετά την επεξεργασία, όπως η διήθηση με μεμβράνη, για να πληρούνται οι οδηγίες εκκένωσης με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος
Χαμηλή απαίτηση σε θρεπτικά και χημικά συστατικά: Αυτό οφείλεται στη μικρή παραγωγή βιομάζας κατά τη διάρκεια μιας αναερόβιας διαδικασίας. Κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά είναι αναλογικά μικρότερες	Η διαδικασία είναι πιο ευαίσθητη στην παρουσία τοξικών ενώσεων και στις αλλαγές της θερμοκρασίας από τα αερόβια συστήματα
Επιτρέπει την αποτελεσματική ανάκτηση πόρων και τη διατήρηση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	

Πίνακας 1.: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης

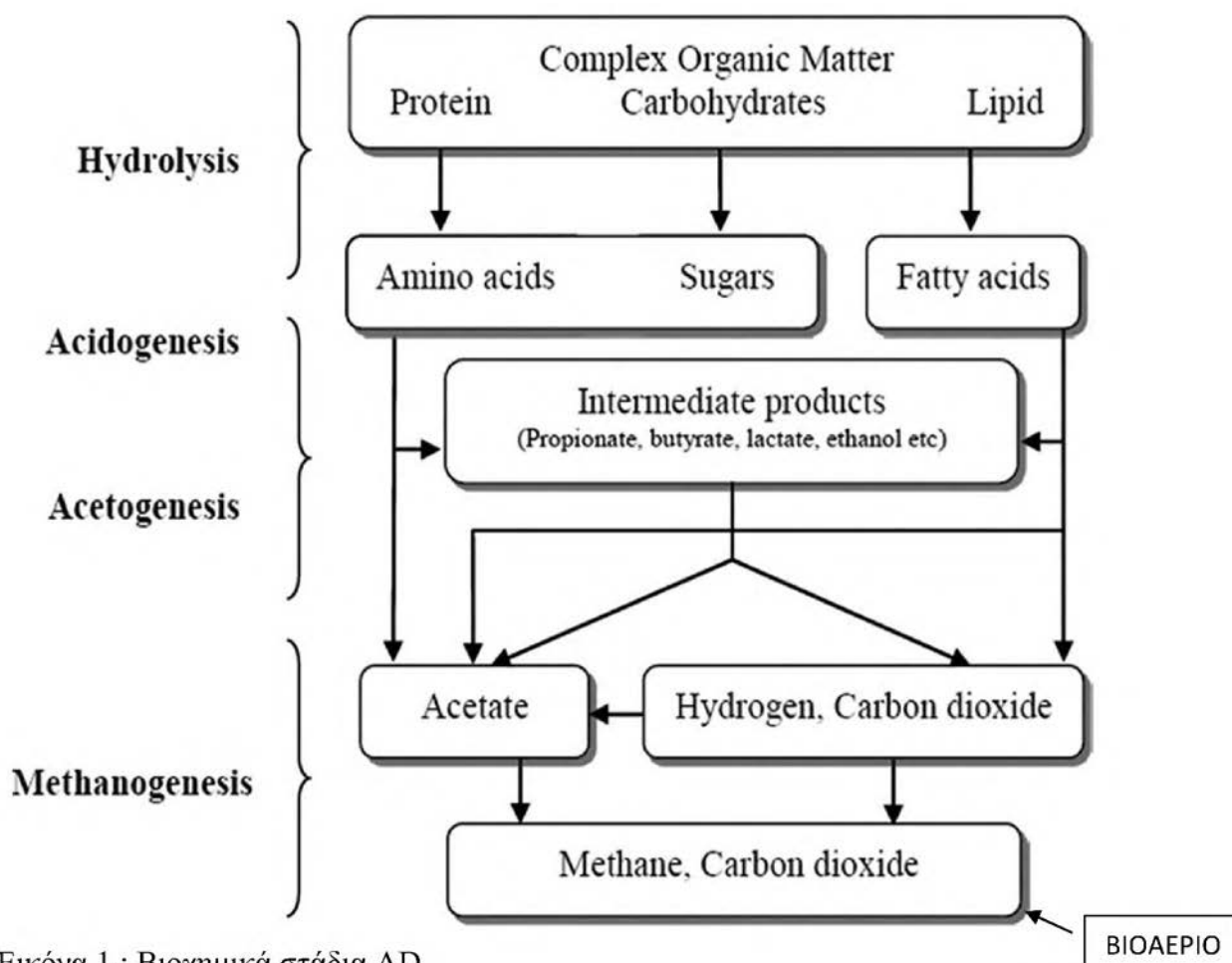
Πηγή: Lettinga et al., 1997, Lettinga, 1995

2.4 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος των ερευνητών και των βιομηχανιών για τα βιοκαύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του βιοαερίου. Αυτό οφείλεται κυρίως στις αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια, τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η τεχνολογία βιοαερίου είναι μια απλή και αποτελεσματική λύση για την επίτευξη στόχων για την προστασία του κλίματος και του περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα παράγει ενέργεια. Ιδιαίτερα όταν πρέπει να πληρούνται τα κριτήρια E.S.G., η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας για τη μετατροπή τέτοιων υποστρωμάτων είναι απαραίτητη.

Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου είναι αποτέλεσμα επιμέρους διεργασιών όπου το αρχικό υλικό αρχικά διασπάται σε μικρότερα μέρη με την βοήθεια μικροοργανισμών. Οι τέσσερις φάσεις παραγωγής βιοαερίου είναι: υδρόλυση, οξεογένεση, ακετογένεση ή οξικογένεση και μεθανογένεση (Tutuk, 2011) (Εικόνα 1).

Το αρχικό στάδιο στη διαδικασία της AD είναι η υδρόλυση. Επιτυγχάνεται με τη διαλυτοποίηση και αποικοδόμηση σωματιδιακών οργανικών ενώσεων βιοπολυμερών και κολλοειδών υπολειμμάτων σε διαλυτές μονομερείς ή олиγομερείς οργανικές ενώσεις (Gerardi, 2003). Αυτή η διαδικασία συνεπάγεται την αποσύνθεση περίπλοκων οργανικών πολυμερών υλικών, συμπεριλαμβανομένων υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπιδίων.



Εικόνα 1.: Βιοχημικά στάδια AD

Πηγή: Jewitt et al., 2009

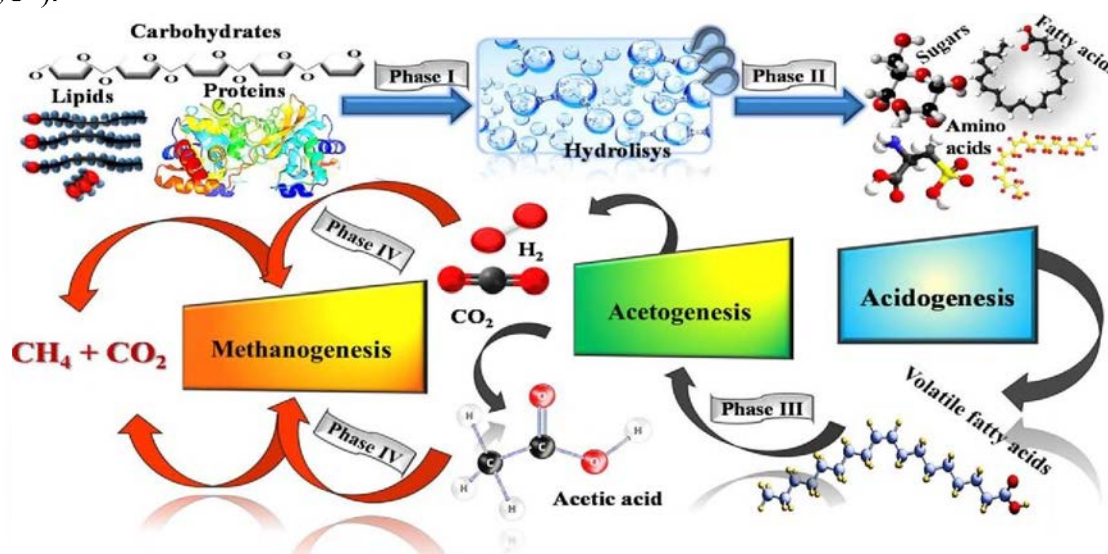
Η οξεογένεση είναι η διαδικασία με την οποία το οργανικό οξύ που παράγεται κατά το πρώτο στάδιο μετατρέπεται σε οξικό οξύ, παράγωγα οξέος, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Είναι επιτακτική ανάγκη το επίπεδο του H_2 να είναι χαμηλό προκειμένου οι οξινογόνες αντιδράσεις να είναι θερμοδυναμικά ευνοϊκές (Fang et al., 2010). Σε αυτή τη φάση της διαδικασίας AD, μια ποικιλία υποχρεωτικών και προαιρετικών ζυμωτικών μικροοργανισμών αποσυνθέτει περαιτέρω τα προϊόντα του σταδίου υδρόλυσης για να δημιουργήσουν ασθενή οξέα, κυρίως οργανικά οξέα, συμπεριλαμβανομένων οξικού οξέος, προπιονικού οξέος, βουτυρικού οξέος, γαλακτικού οξέος, αλκοόλες, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) (Kalyuzhnyi et al., 2000). Το στάδιο της οξεογένεσης είναι συνήθως η ταχύτερη φάση σε μια ισορροπημένη αναερόβια διεργασία και χαρακτηρίζεται από την παραγωγή υψηλής συγκέντρωσης υδρογόνου από βακτήρια που παράγουν οξύ, γνωστά ως οξινογόνοι μικροοργανισμοί.

Κατά την διεργασία της ακετογένεσης, τα προϊόντα της οξυγένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο, αποδομούνται περαιτέρω από οξικογενετικούς μικροοργανισμούς προς μεθανογενικά υποστρώματα όπως H_2 , CO_2 , οξικό οξύ, αλλά και φορμικό οξύ και μεθανόλη. (Ανδρεοπούλου Κ., 2023).

Η μεθανογένεση είναι μια κρίσιμη διαδικασία στην AD καθώς επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία (De Vrieze et al., 2012) λόγω του γεγονότος ότι περίπου το 70% του μεθανίου που χρησιμοποιείται στη AD παράγεται σε αυτό το στάδιο (Sutaryo, 2012). Τα μεθανογόνα (Archaea) παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιώντας οξικό, υδρογόνο και CO₂, καθώς και μεθανόλη, μεθυλαμίνες και μυρμηκικό σε μικρότερο βαθμό. Τα κύρια υποστρώματα για τα μεθανογόνα βακτήρια για την παραγωγή βιοαερίου είναι αυτά τα τελικά προϊόντα, τα οποία συνήθως περιέχουν 50-75% μεθάνιο (CH₄), 50-25% CO₂ και ίχνη αζώτου, υδρογόνου και υδρόθειου. Η κατάσταση του μεταβολισμού και η έκταση των βιολογικών δραστηριοτήτων σε ένα αναερόβιο σύστημα υποδεικνύονται και τα δύο από τη μεθανογένεση.

2.4.1 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Η διαδικασία AD αποτελείται από τέσσερις θεμελιώδεις φάσεις που συμβάλλουν στην παραγωγή βιοαερίου από μια ποικιλία οργανικών βιοϋλικών, συμπεριλαμβανομένων των ζωϊκών, βιομηχανικών, τροφίμων και αστικών στερεών αποβλήτων. Αυτά τα βιοϋλικά επεξεργάζονται σε χωνευτήρα για αναερόβια χώνευση. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.2, τα στάδια είναι η υδρόλυση, η οξεογένεση, η ακετογένεση και η μεθανογένεση (Tang et al., 2023a). Η υδρόλυση είναι το αρχικό στάδιο στο οποίο οι υψηλού μοριακού βάρους και αδιάλυτες οργανικές ενώσεις, συμπεριλαμβανομένων των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών και των λιπιδίων, μετατρέπονται σε χαμηλού μοριακού βάρους απλές ενώσεις. Αυτές οι ενώσεις περιλαμβάνουν προπιονικό, μυρμηκικό και βουτυρικό οξύ (πτυκτικά λιπαρά οξέα (VFAs), καθώς και CO₂, H₂ αλκοόλες και αλδεΐδες. Σαπροφυτικοί μικροοργανισμοί εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία ως αποτέλεσμα της εμπλοκής ορισμένων εξωκυτταρικών ενζύμων (Koniuszewska et al., 2020). Η υδρόλυση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη χημική διαδικασία που μετατρέπει τα μόρια του νερού σε ανιόντα (OH⁻) και κατιόντα (H₃O⁺).



Εικόνα 2.: Στάδια αναερόβιας χώνευσης (AD) (υδρόλυση, οξεογένεση, ακετογένεση και μεθανογένεση) για τη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου από βιομάζα.

Πηγή: (Tang et al., 2023a)

Απαιτείται ένας όξινος καταλύτης για τη διάσπαση των μεγάλων βιοπολυμερών σε υποστρώματα χαμηλού μοριακού βάρους προκειμένου να διευκολυνθεί αυτή η διαδικασία. Στο στάδιο της υδρόλυσης, τα ζυμωτικά βακτήρια (FB) όπως τα βακτηριοκτόνα, τα κλωστρίδια και τα *bifidobacteria* είναι υπεύθυνα για τη διάσπαση των προαναφερθέντων πολυμερών από τη βιομάζα, τα οποία περιλαμβάνουν υδατάνθρακες και λιπίδια υψηλού μοριακού βάρους, σε λιπαρά οξέα. Αυτά τα οξέα είναι στη συνέχεια διαλυτά συστατικά της διαδικασίας (Kouret.al., 2019). Τα κύρια προϊόντα της φάσης της υδρόλυσης είναι το υδρογόνο και το οξικό, τα οποία χρησιμοποιούνται σε επόμενα στάδια της αναερόβιας χώνευσης μέσω της δράσης των μεθανογόνων (Begumet.al., 2018). Τα οξινογόνα βακτήρια (Kouret.al., 2019) μετατρέπουν προϊόντα υδρόλυσης και υδατοδιαλυτές ενώσεις σε συστατικά όπως CO₂, μεθανόλη ή αιθανόλη (αλκοόλες), οργανικά οξέα με βραχεία αλυσίδα, H₂ και αλδεΐδες (Koniuszewskaet.al., 2020). Τα οξικά μικρόβια, *Syntrophomonas* και *Syntrophobacter*, διευκολύνουν τη μετατροπή των προϊόντων κατά την ακετογένεση. Σε αυτό το στάδιο, το προπιονικό, η γλυκόζη και η αιθανόλη μετατρέπονται σε οξικό, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως συστατικό υποστρώματος από μεθανογόνους μικροοργανισμούς (Koniuszewskaet.al., 2020). Το οξικό οξύ και τα προϊόντα CO₂ υφίστανται αναερόβια πέψη κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης για να δημιουργήσουν H₂. Αυτό το στάδιο διεξάγεται έως ότου τα μεθανογόνα έχουν την ικανότητα να επηρεάζουν τα προϊόντα της ακετογένεσης και άλλες διεργασίες AD προκειμένου να παράγουν CH₄ (Kabeyi και Olanrewaju, 2022). Τα μεθανογόνα είναι πιο ενεργά σε ένα μέτριο αλκαλικό περιβάλλον (6,8–7,2), και δεν μπορούν να επιβιώσουν σε pH κάτω από 6. Το pH του εναιωρήματος υφίσταται διακυμάνσεις σε όλες τις διάφορες φάσεις της AD. Κατά τη φάση της οξεογένεσης, εκπέμπεται σημαντική ποσότητα CO₂ και η τιμή του pH είναι περίπου 6. Η βιοαποδόμηση είναι εξαιρετικά αποτελεσματική και οι μικροοργανισμοί είναι ιδιαίτερα ενεργοί στην περιοχή pH 6,6–7,5, το οποίο συχνά ρυθμίζεται στο χωνεμένο υπόλειμμα (Koniuszewskaetal,2020). Τα μεθανογόνα ταξινομούνται ως χημειολιθοτροφικοί μικροοργανισμοί επειδή χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα ως πηγή άνθρακα (Bharti et.al., 2022).

2.5 ΑΝΑΔΥΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Μια βιώσιμη προσέγγιση για τον μετριασμό ενός από τα πιο σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου, το CO₂, και για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RES), είναι η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων (Luet.al., 2021). Οι κύριες περιβαλλοντικές ανησυχίες είναι το μεταβαλλόμενο παγκόσμιο κλίμα, το οποίο είναι αποτέλεσμα ρύπων όπως η πλαστική ρύπανση, η συσσώρευση φυτοφαρμάκων και τα βιολογικά απόβλητα (Mishraet.al., 2021). Στις μέρες μας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν αναπόσπαστο και πλεονεκτικό συστατικό του συστήματος παροχής ενέργειας (Ighravwe and Babatunde, 2018). Η παγκόσμια ανάπτυξη των ανανεώσιμων πόρων επιταχύνεται και το κόστος χρήσης τους έχει μειωθεί. Η δημιουργία ανανεώσιμων πόρων έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντική για τη διαχείριση της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα (Luet.al., 2021). Κατά συνέπεια, η ανάπτυξη και η εφαρμογή των

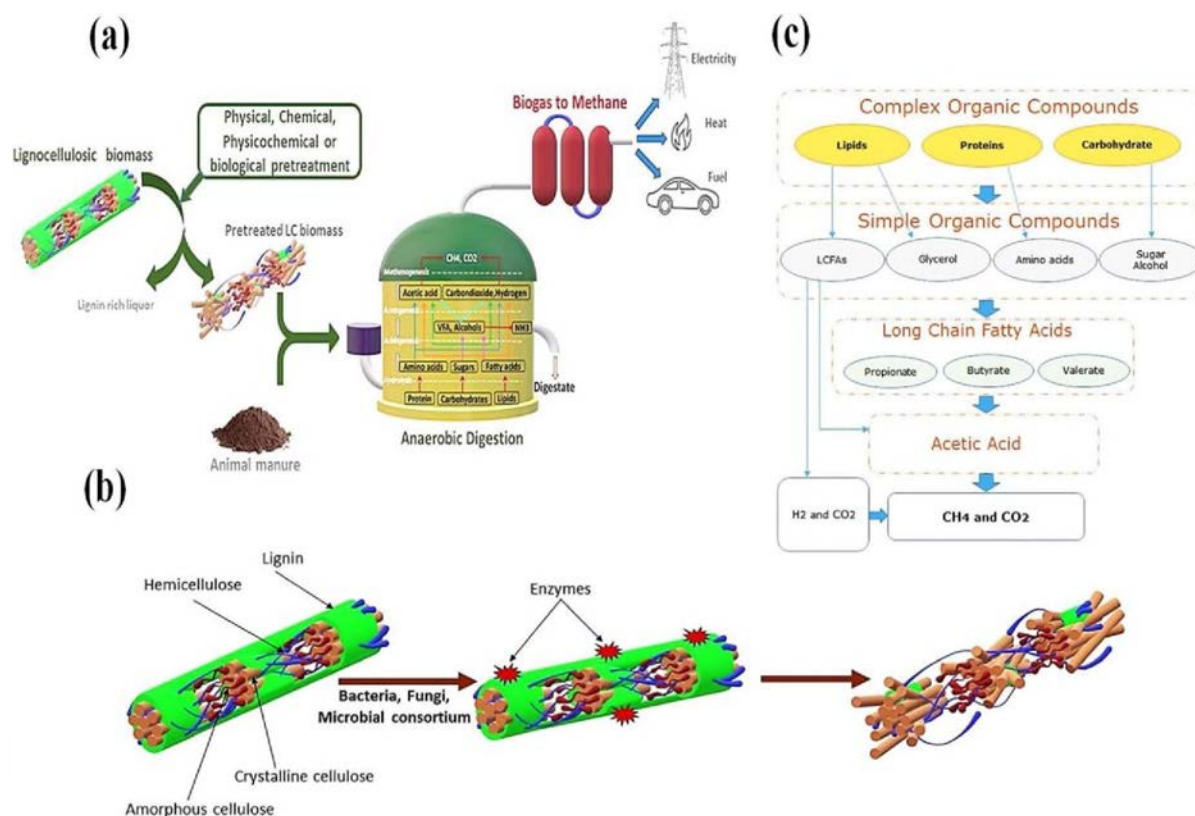
ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν αναδειχθεί ως ένας από τους πρωταρχικούς στόχους κάθε έθνους (Liet.al., 2024). Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια πρωταρχική, καθαρή και άπειρη πηγή ενέργειας, που είναι ο πρωταρχικός λόγος για αυτό. Η υδροηλεκτρική, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι οι πιο διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, περιλαμβάνεται και η βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια. Επί του παρόντος, αυτές οι πηγές είναι υπεύθυνες για την παραγωγή του 28% της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας (Zhaoet.al., 2022).

Η εστίαση των κρατών είναι στην προώθηση ανανεώσιμων πηγών που έχουν διευκολύνει την εμφάνιση εγκαταστάσεων βιοαερίου για την παραγωγή καθαρότερης ενέργειας, σύμφωνα με τις πολιτικές της EU σχετικά με τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Scarlatet.al., 2018). Η καθαρότητα του αέρα βελτιώνεται με τη δέσμευση του CO₂ μέσω της χρήσης βιοαερίου ως ανανεώσιμης ενέργειας (Francois et.al., 2023c). Η αναερόβια πέψη (AD) αξιοποιεί τη δυνατότητα του βιοαερίου να παράγει ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, εκτός από το ότι χρησιμεύει ως καύσιμο με πρόσθετες περιβαλλοντικές, οικονομικές και κλιματικές επιπτώσεις (Manciniet.al., 2024). Το βιοαέριο που παράγεται μετά την AD αποτελείται από CH₄ (55–70%) και CO₂ (30–45%) κατ’ όγκο, καθώς και ίχνη υδρογονανθράκων, H₂S, H₂O και μικροσκοπικές ποσότητες O₂ (Zabedet.al., 2020). Η λήψη βιοαερίου μέσω AD είναι σημαντικής περιβαλλοντικής σημασίας, καθώς παράγεται με τη χρήση γεωργικών και κτηνοτροφικών βιοαποβλήτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Shirzadet.al., 2019). Επί του παρόντος, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Γερμανία και η Κίνα είναι οι χώρες με την υψηλότερη παραγωγή βιοαερίου (Mollaet.al., 2024).

Η ετήσια παραγωγή βιοαερίου αναμένεται να ξεπεράσει τα 35 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) σύμφωνα με το σχέδιο REPower EU. Επί του παρόντος, η ποσότητα του παραγόμενου βιομεθανίου είναι μόνο 3 bcm, ενώ η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου είναι 15 bcm στην EE-27 (IAE, 2023). Οι διαδικασίες καθαρισμού και διύλισης που περιλαμβάνουν την απομάκρυνση του CO₂ από το βιοαέριο θα μπορούσαν να αυξήσουν περαιτέρω την ενεργειακή πυκνότητα αυξάνοντας τη συγκέντρωση του βιομεθανίου, αυξάνοντας έτσι την τιμή του παραγόμενου βιοαερίου (Mulu et.al., 2021). Οι σύγχρονες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του κρυογονικού διαχωρισμού (Tamilselvan and Selwynraj, 2024), της χημικής απορρόφησης (Lv et.al., 2024) και της διαδικασίας βιομετατροπής (Huanget.al., 2024), έχουν βρεθεί ότι χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό και τον εξευγενισμό βιοαερίου. Οι Archana et.al. (2024) τονίζουν ότι οι εν λόγω τεχνολογίες είναι σημαντικά υπερτιμημένες όσον αφορά τις επενδύσεις κεφαλαίου και τα λειτουργικά έξοδα.

Ως εκ τούτου, το παρόν υποκεφάλαιο αναφέρεται στα πιο κρίσιμα τμήματα της τεχνολογίας παραγωγής βιοαερίου. Ο πρωταρχικός στόχος είναι να παράσχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των πιο πρόσφατων αναδυόμενων τεχνολογιών για την παραγωγή, την προεπεξεργασία και την αναβάθμιση του βιοαερίου. Μια επισκόπηση των τεχνολογιών φυσικοχημικών, βιοχημικών, νανοτεχνολογιών και οικολογικών σύγχρονων τεχνολογιών περιλαμβάνεται στις τεχνολογίες αναβάθμισης. Οι πρωτογενείς πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαερίου συγκρίνονται, αξιολογούνται και συζητούνται. Επιπλέον, οι σχεδιασμοί του πρωτεύοντος αντιδραστήρα και οι λειτουργικές παράμετροι συνοψίστηκαν σε αυτό το

υποκεφάλαιο, καθώς η αναερόβια πέψη παραμένει η κυρίαρχη τεχνολογία για την παραγωγή βιοαερίου. Τελικά, αυτό το υποκεφάλαιο επιτρέπει την εξερεύνηση μιας ποικιλίας εφαρμογών χρήσης βιοαερίου, καθώς και τις τρέχουσες και μελλοντικές προοπτικές της παραγωγής βιοαερίου σε παγκόσμια κλίμακα. Η παροχή ενέργειας χαμηλού κόστους για σκοπούς θέρμανσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η μείωση του κόστους της ορυκτής ενέργειας, είναι απαραίτητη για την επίτευξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Αυτό οφείλεται στα πολυάριθμα πλεονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιομάζα και βιοαπόβλητα). Επιπλέον, παρέχει πρόσβαση σε εύκολη ενέργεια εκτός δικτύου.



Εικόνα3: (a) Παραγωγή βιοαερίου από βιομάζα λιγνοκυτταρίνης με διαδικασία αναερόβιας χώνευσης, (b) διαδικασία βιολογικής προεπεξεργασίας λιγνοκυτταρινικής βιομάζας και (c) μονοπάτια οργανικής ύλης για αναερόβια αποδόμηση.

Πηγή: Abrahamet.al. 2020, Rasapooret.al., 2020

2.6 ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Οι ερευνητές και η επέκταση των εγκαταστάσεων για την παραγωγή βιοαερίου έχουν τονωθεί από τις πολιτικές προστασίας του κλίματος και της ενέργειας, καθώς και από την αυξανόμενη ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Sicaet.al., 2023) σε παγκόσμια κλίμακα. Ο πρωταρχικός λόγος για αυτό είναι η απεριόριστη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η ταχεία αύξηση των τιμών των πηγών ενέργειας, η μεταβλητότητα της σταθερότητας της προσφοράς και η αξιοπιστία των αγορών (Kucheret.al., 2022).

Η βιομάζα ως εναλλακτική πηγή ενέργειας προσφέρει τη δυνατότητα αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προκλήσεων, συμπεριλαμβανομένης της ελεγχόμενης χρήσης των φυσικών πόρων και τον περιορισμό της ρύπανσης (Kory'set.al., 2019). Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας γενικός όρος για μια συλλογή προϊόντων υψηλής ποικιλίας που ικανοποιούν τα κοινά βιολογικά κριτήρια (Wiselogelet.al., 2018). Η προέλευση της βιομάζας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κατηγοριοποίησή της.

Ως εκ τούτου, οι ανανεώσιμες πηγές μπορούν να οριστούν ως:

- η ξυλώδης και γεωργική βιομάζα (υπολείμματα καλλιεργειών, δέντρων, ενεργειακών καλλιεργειών και μίσχων),
- βιομηχανικά απόβλητα,
- βιομάζα από θαλάσσιες πηγές (καλάμια, υδρόβια ζιζάνια και φύκια),
- απόβλητα πουλερικών,
- κτηνοτροφία και
- όλα τα εδάφη και τα οργανικά απόβλητα και η βλάστηση που έχουν βάση το νερό (Yaqoobet.al., 2021).

Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε βιομάζα που αποτελείται από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, ημικυτταρίνες και κυτταρίνη ως κύρια συστατικά της ως υπόστρωμα. Η αναμενόμενη απόδοση CH_4 και η σύνθεση βιοαερίου εξαρτώνται από το σύστημα πέψης, τον τύπο της πρώτης ύλης και τη διάρκεια κατακράτησης. Κατά συνέπεια, η βελτιστοποίηση του συστήματος είναι απαραίτητη (Ghoshet.al., 2020). Η Εικόνα 4 απεικονίζει τις πρωτογενείς πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιοαερίου.



Εικόνα 4.: Διαφορετικές πρώτες ύλες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582024006608>

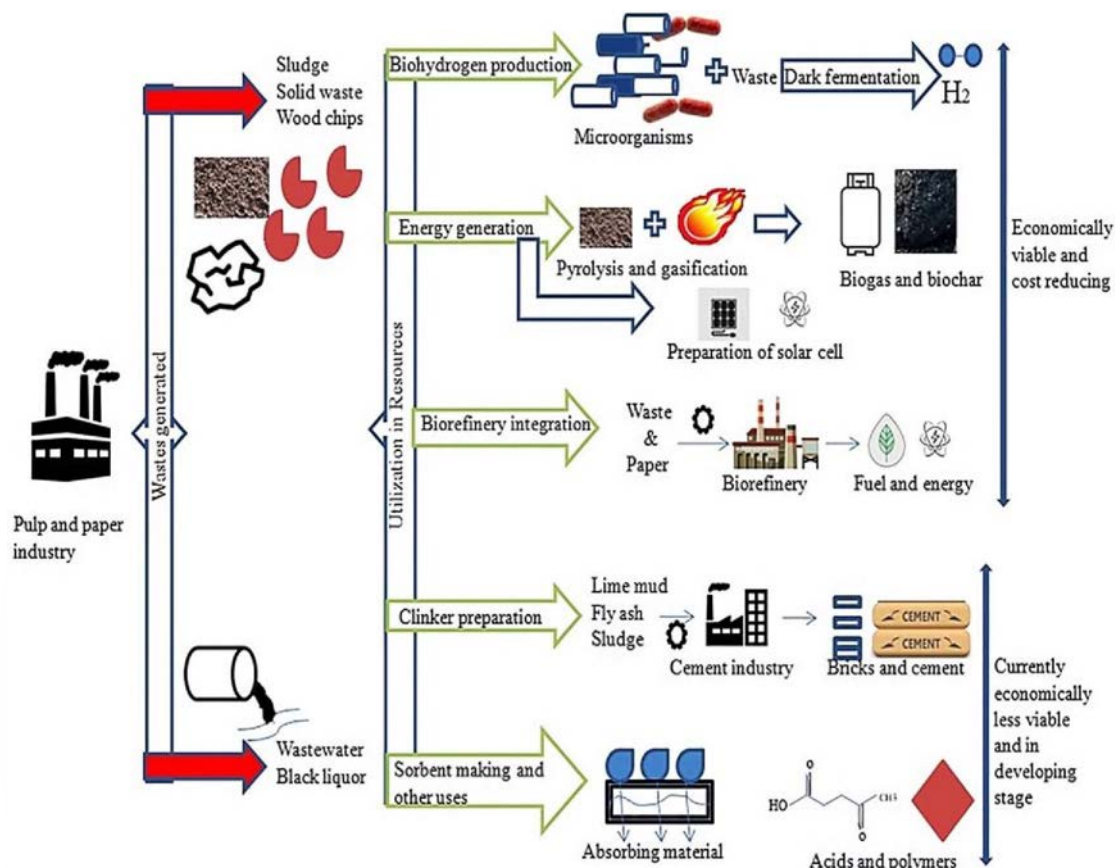
2.6.1 ΧΡΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Μία από τις κύριες παγκόσμιες ανησυχίες είναι η δημιουργία απορριμμάτων τροφίμων, η οποία είναι αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης διατροφής λόγω της συνεχιζόμενης πληθυσμιακής αύξησης (Mishra et al., 2021). Περίπου $1,3 \times 10^9$ τόνοι διαφόρων τροφίμων απορρίπτονται ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτός ο τύπος απορριμμάτων μπορεί να παραχθεί σε διάφορες τοποθεσίες, όπως κατοικίες, εστιατόρια, παντοπωλεία, καφετέριες και μπαρ (Chew et al., 2021). Τα απόβλητα τροφίμων αποτελούνται κυρίως από οργανική ύλη, συμπεριλαμβανομένων υδατανθράκων, πρωτεϊνών και λιπιδίων, τα οποία υφίστανται αποσύνθεση για να παράγουν ενώσεις όπως λιπαρά οξέα, γλυκόζη και οργανικά οξέα (Mishra et al., 2021). Η αναερόβια χώνευση έχει αναδειχθεί ως η προτιμώμενη μέθοδος για την επεξεργασία των απορριμμάτων τα τελευταία χρόνια λόγω της ευρείας χρήσης της στην παραγωγή βιοαερίου. Η μέθοδος αναερόβιας χώνευσης οδηγεί σε ελάχιστη ρύπανση του αέρα και περιορισμένα στερεά απόβλητα σε αντίθεση με άλλες μεθόδους επεξεργασίας, όπως η αποτέφρωση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση (Chew et al., 2021).

2.6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Σημαντική ποσότητα υπολειμμάτων, υποπροϊόντων και απορριμμάτων δημιουργείται από μια ποικιλία βιομηχανιών που επεξεργάζονται μια ποικιλία πρώτων υλών. Αυτά τα υλικά έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή βιοαερίου. Τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν μια ποικιλία παθογόνων παραγόντων, ρύπων και βαρέων μετάλλων που εξαρτώνται από τις μεθόδους παραγωγής που χρησιμοποιούνται από τις βιομηχανίες. Το περιβάλλον σε έναν βιοαντιδραστήρα θα μπορούσε να αλλοιωθεί από όλους αυτούς τους ρύπους, γεγονός που θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση ή ακόμα και τη διακοπή της διαδικασίας της αναερόβιας πέψης. Επιπλέον, η χρήση του χωνεμένου υπολείμματος ως λιπάσματος μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση του περιβάλλοντος και να θέσει κινδύνους για την υγεία τόσο για τον άνθρωπο όσο και για τα ζώα. Κατά συνέπεια, πολλά έθνη έχουν ήδη δεσμευτεί να εφαρμόσουν περιβαλλοντική νομοθεσία για τον μετριασμό της χρήσης των απορριμμάτων. Τα απόβλητα από βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των κλωστοϋφαντουργικών τομέων, των πετροχημικών απορριμμάτων, των βιομηχανικών απορριμμάτων χαρτοπολτού και χαρτιού και των αγροβιομηχανικών αποβλήτων, είναι γενικά, μια μορφή αποβλήτων (Atelge et al., 2020). Η χρήση των αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων και η διαδικασία αποδόμησής τους επηρεάζονται επίσης από μια ποικιλία χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων των θερμικών ιδιοτήτων, των φυσικών χαρακτηριστικών και της χημικής σύνθεσης (Deviet al., 2022). Η διαδικασία AD των βιομηχανικών αποβλήτων επηρεάζεται από μια ποικιλία παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένου του τύπου των πρώτων υλών, του pH, του ρυθμού οργανικής φόρτωσης και της θερμοκρασίας. Η έρευνα που έγινε από τους Kianiet al. (2022) αποκάλυψε ότι η απόδοση του βιοαντιδραστήρα βελτιώθηκε με την εφαρμογή μιας διαδικασίας χώνευσης δύο σταδίων. Αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα τη μέγιστη πρόσληψη COD (μεγαλύτερη από 80%) και παραγωγή CH_4 , με τιμή $0,329 \text{ L}_{\text{CH}_4}/\text{kg COD}$. Οι

διαμορφώσεις του αντιδραστήρα APBR και SBR χρησιμοποιήθηκαν για να επιτευχθεί υψηλός ρυθμός φόρτωσης 30 kg COD/m³d.



Εικόνα 5.: Αναπαράσταση διαφόρων τεχνικών αξιοποίησης απορριμμάτων από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού

Πηγή: Gupta and Shukla, 2020

Η βιομηχανία κυτταρίνης και χαρτιού γνώρισε άνοδο της παραγωγής τα τελευταία χρόνια. Κατά συνέπεια, αυτές οι βιομηχανίες παράγουν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της λάσπης ασβέστη, της ιπτάμενης τέφρας και του πολτού (Gupta and Shukla, 2020). Διάφορες τεχνολογίες για τη χρήση απορριμμάτων από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού απεικονίζονται στην Εικόνα 6. Τα απόβλητα που παράγονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής βιοϋδρογόνου, της παραγωγής ενέργειας (βιοαέριο και βιοκάρβουνο), την ενοποίηση βιοδιυλιστηρίου (καύσιμα και ενέργεια), την παρασκευή κλίνκερ (τούβλο και τσιμέντο) και την παρασκευή ροφητών (οξέα και πολυμερή) (Gupta and Shukla, 2020). Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην παραγωγή βιοϋδρογόνου μεταξύ των τεχνολογιών που αναφέρονται (Yellezuomeet.al., 2024).

Η αειφόρος ανάπτυξη των προϊόντων, η μείωση του κόστους διάθεσης βιοαποβλήτων και η εξέταση των περιβαλλοντικών κανονισμών διευκολύνονται από την παραγωγή βιοϋδρογόνου από μια ποικιλία βιοαποβλήτων (Yellezuomeet.al., 2024). Η παραγωγή του βασίζεται στην αντίδραση μιας διαδικασίας αναερόβιας ζύμωσης που συμβαίνει απουσία φωτός, το οποίο χρησιμοποιείται για την αποσύνθεση σύνθετων υδατανθράκων και την παραγωγή H₂ και άλλων προϊόντων. Αυτή η διαδικασία παραγωγής H₂ αναφέρεται επίσης ως διαδικασία

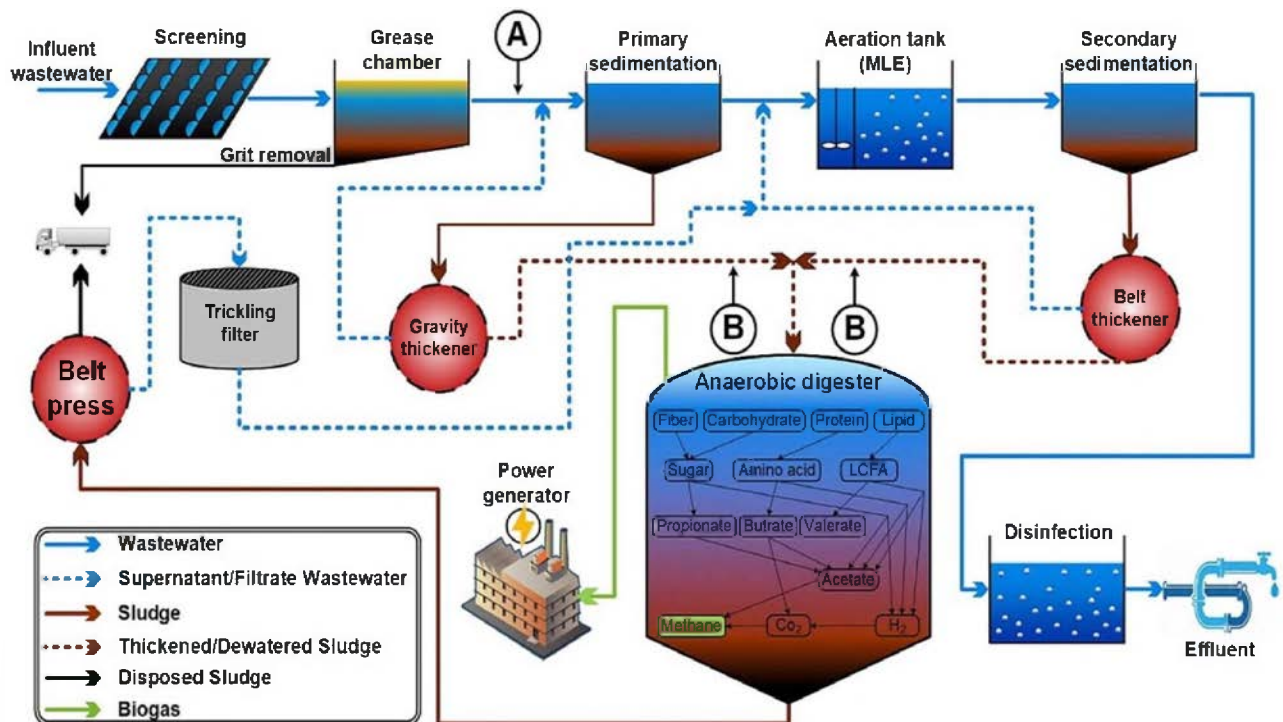
σκοτεινής ζύμωσης. Οι υδρατμοί είναι το υποπροϊόν της παραγωγής βιοϋδρογόνου, καθιστώντας το μια καθαρή πηγή ενέργειας που δεν δημιουργεί καμία ρύπανση (Tagneet.al., 2024).

2.6.3 ΕΝΕΡΓΗ ΙΛΥΣ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η διαδικασία της ενεργοποιημένης ιλύος, η οποία χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, παράγει σημαντική ποσότητα αποβλήτων ενεργού ιλύος. Το 2020, στην Ευρώπη παρήχθησαν και απορρίφθηκαν περίπου 9×10^6 μετρικοί τόνοι απόβλητης ενεργοποιημένης ιλύος. Η Γερμανία ήταν ο κύριος παραγωγός, η οποία παρήγαγε $1,8 \times 10^6$ μετρικούς τόνους ενεργοποιημένης ιλύος. Ακολούθησαν η Ισπανία και η Γαλλία, η καθεμία παρήγαγε $1,2 \times 10^6$ μετρικούς τόνους. Η ενεργοποιημένη ιλύς από απόβλητα έχει τη δυνατότητα να χρησιμεύσει ως υπόστρωμα για την παραγωγή ενέργειας (βιοαέριο) λόγω της σημαντικής οργανικής της περιεκτικότητας. Η βιομηχανία λυμάτων παράγει περίπου 120 m³ βιοαερίου ανά τόνο ιζήματος. Με την περαιτέρω βελτιστοποίηση της διαδικασίας αναερόβιας πέψης σε σχέση με την παραγωγή CH₄, το βιοαέριο από αυτή την πηγή θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως σημαντική πηγή ενέργειας (Kanellos et.al., 2024). Η Εικόνα 6 παρέχει μια σχηματική αναπαράσταση της παραγωγής βιοαερίου από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Το βιοαέριο έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων ή να ενσωματωθεί στην υποδομή των υπαρχόντων δικτύων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (Gas for Climate 2050, 2022). Επί του παρόντος, υπάρχουν πολυάριθμες μελέτες που επικεντρώνονται στη βελτίωση της παραγωγής βιοαερίου από ενεργοποιημένη ιλύ χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών προεπεξεργασίας, όπως η υπερηχητική επεξεργασία (Zhaoet.al., 2023), η ενζυματική και θερμική προεπεξεργασία (Moreira et.al., 2023) και η αξιοποίηση φυσικών ζεόλιθων (Tanget.al., 2023a).

Τα αστικά στερεά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από οργανικά οικιακά απόβλητα και υπολείμματα τροφίμων (Chewet.al., 2021). Σε παγκόσμιο πλαίσιο, αυτά τα απόβλητα παράγονται από τελικούς χρήστες προϊόντων από εμπορικές, ιατρικές, εμπορικές και οικιακές πηγές και περιέχουν σημαντική ποσότητα οργανικών θρεπτικών ουσιών (Mishraet.al., 2021). Αποτελούνται περίπου από 10% πλαστικό, 17% χαρτί, 46% υπολείμματα τροφίμων και απορρίμματα ποιότητας και 27% άλλα απορρίμματα. Η αναερόβια πέψη είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την παραγωγή βιοαερίου με τη διαδικασία διαχείρισης οργανικών βιοαποβλήτων. Η βελτίωση της διαδικασίας θα μπορούσε να επιτευχθεί αποτελεσματικά με το συνδυασμό της συν-πέψης με υποστρώματα όπως τα λιγνοκυτταρινικά απόβλητα και τα βιολογικά απόβλητα από τα σφαγεία, με αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση βιοαερίου. Επιπλέον, η παραγωγή CH₄ στη διαδικασία AD των απορριμμάτων τροφής θα μπορούσε να ενισχυθεί με μεθόδους προεπεξεργασίας (Chewet.al., 2021). Το κλάσμα της οργανικής ύλης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διαδικασία AD παραγωγής βιοαερίου είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγή βιοαερίου χρησιμοποιώντας αστικά στερεά απόβλητα (Parvez and Ahammed, 2024, Mittal et al., 2019). Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία, η ετήσια παραγωγή αυτών των απορριμμάτων είναι περίπου 1,7 δισεκατομμύρια τόνοι, με σταθερή ανοδική τάση καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται. Δυστυχώς,

το μολυσμένο έδαφος, το νερό και ο αέρας θα μπορούσαν να προκύψουν από την ακατάλληλη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων, θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και να έχουν πολλές δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για τον μετριασμό των αστικών στερεών αποβλήτων και την καθιέρωση πιο αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης είναι η χρήση τους ως πρωταρχικού υποστρώματος για την παραγωγή βιοενέργειας, διασφαλίζοντας ότι η διαδικασία είναι οικολογικά και οικονομικά βιώσιμη (Mishra et al., 2021).



Εικόνα6.: Διάγραμμα ροής διεργασιών για την παραγωγή βιοαερίου από μονάδα επεξεργασίας λυμάτων με διεργασία AD

Πηγή: Salamattalabet.al., 2024

2.6.4 Η ΚΟΠΡΙΑ ΤΩΝ ΖΩΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Η κοπριά των ζώων αποτελείται από οργανική ύλη που έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως ζωοτροφή για την παραγωγή βιοενέργειας (Wang et.al., 2021). Η ΕΥ των 27 και το Ηνωμένο Βασίλειο παράγουν έως και 1,4 δισεκατομμύρια κιλά ζωικής κοπριάς ετησίως, αλλά μόνο ένα μικρό μέρος αυτών των βιοαποβλήτων συλλέγεται (Koninger et.al., 2021). Τα ζωϊκά και τα ανθρώπινα απόβλητα είναι οργανικά υλικά που είναι βιοαποδομήσιμα και περιέχουν συστατικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή βιοαερίου. Κάθε οργανική ύλη που είναι υγρή είναι κατάλληλη για χρήση στη διαδικασία αναερόβιας πέψης. Γενικά, οι βιομάζες που είναι κατάλληλες για παραγωγή βιοαερίου περιλαμβάνουν οικιακά απόβλητα, κοπριά και ζωοτροφές και φυτικά απόβλητα (ζωοτροφές και άχυρο). Ο μετασχηματισμός και η χρήση υπολειμμάτων ζωικής κοπριάς για παραγωγή βιοαερίου είναι σημαντικές από ποικίλες προοπτικές. Ορισμένα από αυτά είναι ικανά να προστατεύουν το

περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς και να παρέχουν θερμική αξία, χρησιμεύοντας ως εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα (Zareei, 2018). Έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες για την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου μέσω της ενίσχυσης των ιδιοτήτων της ζωικής κοπριάς. Η απόδοση βιοαερίου και παραγωγής CH₄ βελτιώθηκε με αλκαλική προεπεξεργασία στη μελέτη που διεξήχθη από τους Chen et.al. (2023).

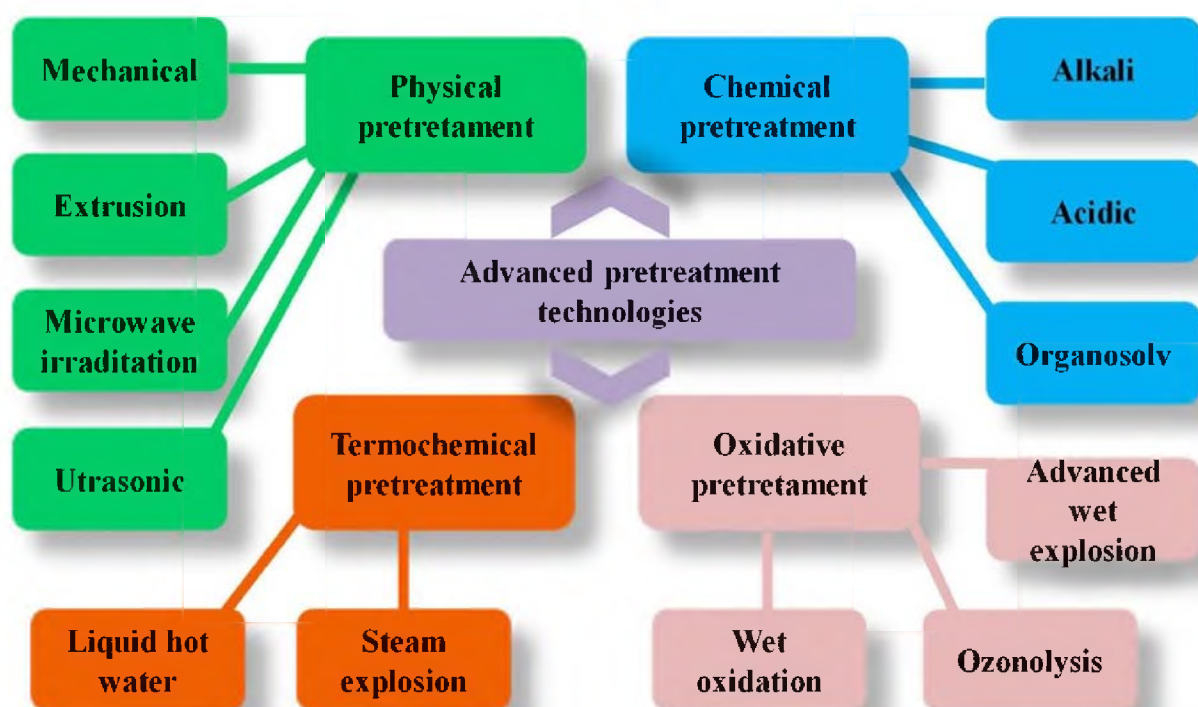
2.6.5 ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ

Μια άλλη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου είναι τα μικροφύκη. Η βιομάζα από τα φύκια είναι μια πολύτιμη πηγή πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου μέσω της διαδικασίας AD λόγω της μικρής ποσότητας λιγνίνης και κυτταρίνης που υπάρχει στη σύνθεσή της. Τα μικροφύκη ταξινομούνται ως μια εξαιρετικά αποτελεσματική πηγή παραγωγής βιοαερίου λόγω της υψηλής συγκέντρωσης πολυσακχαριτών και λιπιδίων. Επιπλέον, είναι εύκολο να καλλιεργηθούν, να επεκταθούν γρήγορα και να μετατραπούν αβίαστα σε βιοαέριο. Ωστόσο, η απόδοση βιοαερίου που λήφθηκε εξαρτάται από τα στελέχη των φυκών και τις συνθήκες λειτουργίας που χρησιμοποιήθηκαν (Ahmad et.al., 2022). Τα μικροφύκη *Spirulina platensis* χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου στη μελέτη που διεξήχθη από τους Kowthaman et.al. (2021). Χρησιμοποιώντας 6% NaOH για αλκαλική προεπεξεργασία, η έρευνα έδειξε ότι η βέλτιστη απόδοση βιοαερίου ήταν 740 mL/gVS στους 70°C και χρόνος αντίδρασης 4 ώρες. Επιπλέον, η μη επεξεργασμένη βιομάζα *Chlorella pyrenoidosa* απέδωσε 479 mL βιοαερίου και 147 mL/Vs (g) CH₄ στη μελέτη που διεξήχθη από Kumari et.al. (2021).

2.7 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Οι τεχνολογίες προεπεξεργασίας της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαερίου αποτελούνται από φυσικές προεπεξεργασίες (μηχανική, εξώθηση, ακτινοβολία μικροκυμάτων), θερμοχημικές προεπεξεργασίες (προεπεξεργασία υγρού ζεστού νερού και έκρηξης ατμού), χημικές προεπεξεργασίες (αλκάλια, όξινα και οργανοδιαλύματα) και οξειδωτικές προεπεξεργασίες (υγρή οξείδωση, προηγμένη υγρή έκρηξη και οζονόλυση) (Εικ. 8) (Abraham et.al., 2020).

Στις φυσικές προεπεξεργασίες, οι πρώτες ύλες επεξεργάζονται χωρίς τη χρήση μικροοργανισμών ή χημικών ουσιών. Το εύρος πολυμερισμού, το μέγεθος των πόρων, η επιφάνεια της βιομάζας, η κρυσταλλικότητα της κυτταρίνης και το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζονται από αυτήν την επεξεργασία. Μια ποικιλία τεχνολογιών άλεσης, λείανσης και τεμαχισμού χρησιμοποιούνται σε μηχανικές επεξεργασίες για την επεξεργασία της πρώτης ύλης πριν από την είσοδό της σε έναν αναερόβιο χωνευτήρα. Οι Dell'Omo και Spina (2020) διεξήγαγαν μια μελέτη βιομηχανικής κλίμακας για να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα ενός μύλου διπλού σταδίου στην προεπεξεργασία γιγάντιων στελεχών καλαμιών και άχυρου σίτου. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν μια αύξηση 137% στην απόδοση CH₄ σε σύγκριση με το μη επεξεργασμένο βιοϋλικό.



Εικόνα 7.: Ταξινόμηση διαφορετικών προηγμένων τεχνολογιών για την επεξεργασία πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου.

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582024006608>

Η εισαγωγή ενέργειας από τα μικροκύματα στη βιομάζα κατά την προεπεξεργασία με ακτινοβολία μικροκυμάτων εγγυάται την ταχεία θέρμανση της με χαμηλή θερμική κλίση, μειώνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος (Agiya et.al., 2021). Εκτός από την επεξεργασία με ακτινοβολία μικροκυμάτων, υπάρχουν επίσης μελέτες που στοχεύουν στην ενσωμάτωση της προεπεξεργασίας μέσω της χρήσης μεθόδων υπερήχων και της ακτινοβολίας μικροκυμάτων (Yueet.al., 2021). Οι Sidana και Yadav (2022) έχουν καθορίσει ότι η ενοποίηση αυτών των δύο μεθοδολογιών οδηγεί σε μείωση του μεγέθους των σωματιδίων βιομάζας και αύξηση της εκτεθειμένης επιφάνειας, καθώς και σε αύξηση της διαθεσιμότητας ολιγοσακχαριτών, κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επιπλέον, ο συνδυασμός αυτών των μεθόδων επιταχύνει τις διαδικασίες βιοαποδόμησης και υδρόλυσης υπολειμμάτων του αγροτικού τομέα και ιζημάτων λυμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου. Στη μελέτη τους του 2024, οι Hosseinzadeh et.al. ανακάλυψαν ότι η προεπεξεργασία με υπερήχους χαμηλής συχνότητας ήταν εφικτή για την ενίσχυση της παραγωγής μεθανίου από στραγγίσματα χωματερής στην αναερόβια χώνευση και ανάκτηση ενέργειας.

Οι δράσεις της θερμικής και μηχανικής λειτουργίας συνήθως συνδυάζονται με προεπεξεργασία εξώθησης. Οι Karimipour-Fard et.al. (2024) διεξήγαγαν μια μελέτη που εξέτασε τη διαδικασία προεπεξεργασίας βιοαποβλήτων (δασοκομίας) για την παραγωγή βιομηχανικού βιοαερίου. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε έξι σχέδια βιδών με ποικίλες εντάσεις διάτμησης. Χρησιμοποιώντας βέλτιστα σχέδια βιδών σε σύγκριση με δείγματα αναφοράς, καθορίστηκε ότι η παραγωγή βιομεθανίου αυξήθηκε κατά 190%. Στη θερμοχημική

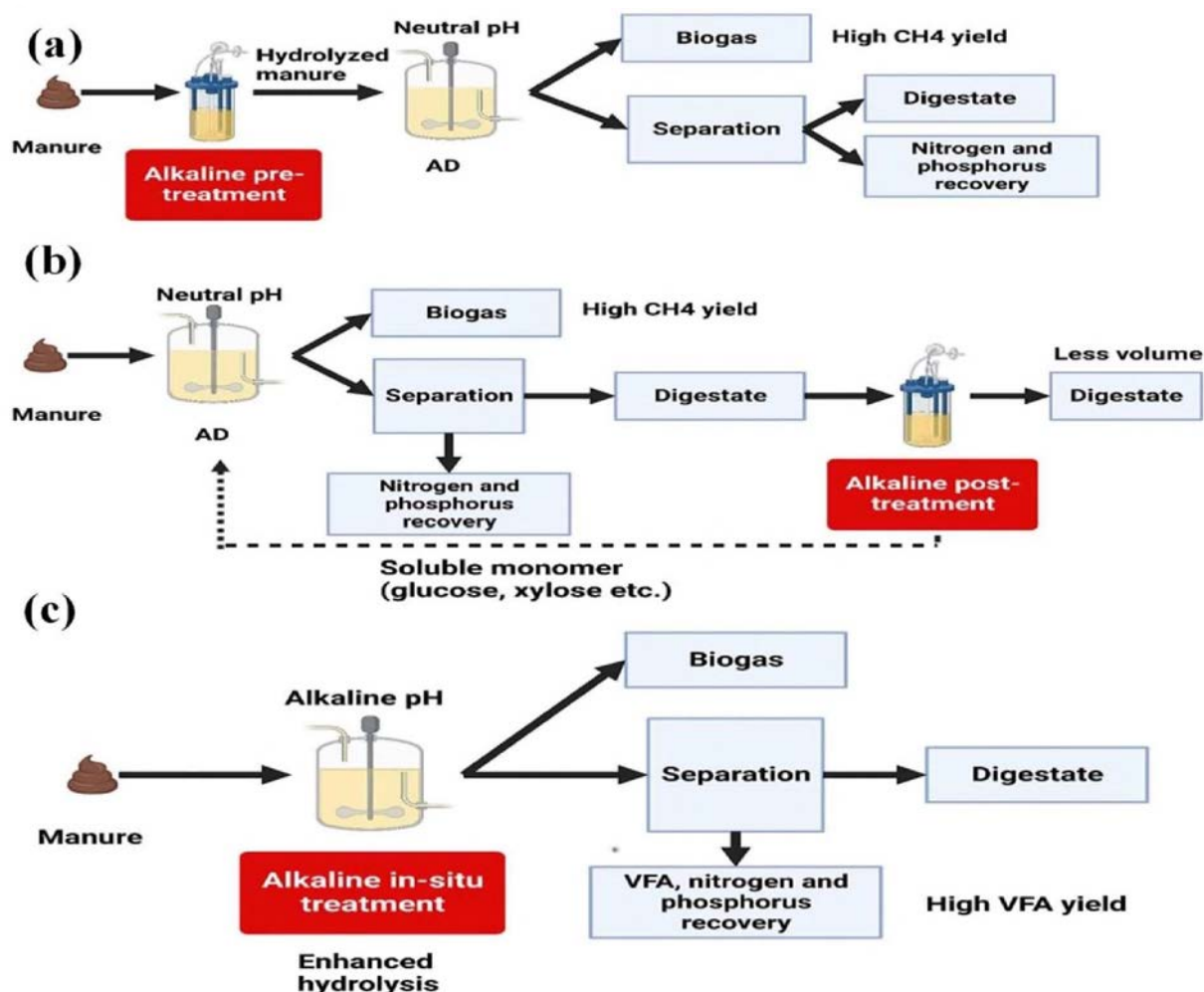
προεπεξεργασία, η οποία ορίζεται ως προεπεξεργασία υγρού ζεστού νερού, τα βιοαπόβλητα επεξεργάζονται σε υψηλή πίεση χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διατήρηση του νερού υψηλής πίεσης σε υγρή κατάσταση σε θερμοκρασία μεταξύ 140 και 220°C. Η υδρόλυση των οργανικών ουσιών (ημικυτταρίνη) συμβαίνει όταν αυτό το νερό υπό πίεση διεισδύει στα βιοαπόβλητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της επιφάνειας και την απομάκρυνση του κλάσματος λιγνίνης από τη βιομάζα (Chenet.al., 2022). Τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη από τους Lee et.al. (2020) δείχνουν ότι η υδροθερμική επεξεργασία του βιοϋλικού είχε ως αποτέλεσμα 87% αύξηση στην απόδοση μεθανίου. Οι μίσχοι ηλίανθου υποβλήθηκαν σε επεξεργασία σε διάφορες θερμοκρασίες για AD.

Σε μια έκρηξη ατμού (Εικ. 5.), το βιοϋλικοπροεπεξεργασίας θερμαίνεται για σύντομο χρονικό διάστημα υπό υψηλή πίεση και κορεσμένο ατμό. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται από ταχεία μείωση της πίεσης, η οποία οδηγεί στην καταστροφή του υλικού λιγνοκυτταρίνης. Η θερμοκρασία κυμαίνεται συνήθως από 160 έως 250°C και η πίεση κυμαίνεται συνήθως από 5 έως 50 bar. Το κλάσμα λιγνίνης υφίσταται μετασχηματισμό, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός υλικού λιγνοκυτταρίνης που είναι εύκολα αποικοδομήσιμο, όταν λαμβάνει χώρα υδρόλυση ημικυτταρίνης κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης ατμού (Yu et.al., 2022). Η έρευνα που έγινε από τους Hashemi et.al. (2021) απέδειξε ότι η παραγωγή βιοαερίου από ξύλο σημύδας αυξήθηκε κατά 155% μέσω της προεπεξεργασίας με έκρηξη ατμού. Επιπλέον, η απόδοση βιοαερίου αυξήθηκε κατά 25% μέσω ενζυματικής επεξεργασίας (Hashemi et.al., 2021).

Η ενεργοποίηση των εστερικών δεσμών σε οργανικά κλάσματα βιοαποβλήτων με βάση τη λιγνοκυτταρίνη επιτυγχάνεται τυπικά μέσω προεπεξεργασιών με αλκαλικά διαλύματα (π.χ. NaOH, KOH, ουρία και Ca(OH)₂). Τρεις διακριτές διαμορφώσεις για αλκαλική επεξεργασία απεικονίζονται στην Εικόνα 9. Αυτό το είδος επεξεργασίας ενισχύει τη διαδικασία ενζυματικής υδρόλυσης σε συστήματα AD, καθώς και το πορώδες και την επιφάνεια των βιοϋλικών, με αποτέλεσμα μειωμένο βαθμό πολυμερισμού (You et al., 2019). Η μελέτη που διεξήχθη από τους Xue et al. (2020) αποκάλυψε ότι ο συνδυασμός τεχνολογιών υδροθερμικής προεπεξεργασίας στους 175 °C και τεχνολογιών αλκαλικής προεπεξεργασίας (8 % NaOH) είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη παραγωγή βιοαερίου από miscanthus που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη. Η απόδοση βιοαερίου ενισχύθηκε κατά 52,96 % και η περίοδος AD μειώθηκε κατά 45,4 % σε σύγκριση με τον έλεγχο. Η θερμοκρασία, η συγκέντρωση αλκαλίων και ο χρόνος παραμονής είναι οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν αυτή τη διαδικασία. Τα HNO₃, H₃PO₄, H₂SO₄ και HCl είναι μεταξύ των ανόργανων οξέων που χρησιμοποιούνται στην προεπεξεργασία της πρώτης ύλης (Planidis et al., 2021). Αυτή η επεξεργασία διεξάγεται σε θερμοκρασίες 1000°C ή υψηλότερες και με συγκεντρώσεις οξέος που κυμαίνονται από 30% έως 70%. Οι Suthar et al. (2022) εξέτασαν την επίδραση της αραιής όξινης-θερμικής επεξεργασίας και της ενσωμάτωσης βιοξυλάνθρακα από κοπριά βοοειδών στην αναερόβια συν-πέψη της ενεργοποιημένης ιλύος αποβλήτων. Η παραγωγή βιοαερίου ενισχύθηκε κατά 98,7%, ενώ η απόδοση μεθανίου ενισχύθηκε κατά 77,4%. Η χρήση μιας ποικιλίας οργανικών διαλυτών, είτε με είτε χωρίς καταλύτες, είναι η μέθοδος με την οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία τα οργανικά υλικά. Η μελέτη που διεξήχθη από τους Jomnonkhaow et al. (2022) εξέτασε την προεπεξεργασία του γρασιδιού Napier και της ενσίρωσης με οργανικό διαλύτη.

Σε σύγκριση με μη τροποποιημένα βιοϋλικά, η απόδοση μεθανίου αυξήθηκε κατά δύο φορές μέσω της προεπεξεργασίας των χρησιμοποιημένων βιοϋλικών με έναν οργανικό διαλύτη και της επακόλουθης ενζυματικής υδρόλυσης. Επιπλέον, η απομάκρυνση της λιγνίνης έχει βελτιωθεί με αυτήν την προεπεξεργασία.

Στην προεπεξεργασία υγρής οξείδωσης, η πρώτη ύλη επεξεργάζεται με νερό και στη συνέχεια εισάγεται ένα οξειδωτικό αντιδραστήριο όπως το H_2O_2 . Το βιοϋλικό στη συνέχεια θερμαίνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 125 έως 300°C και πιέσεις από 0,5 έως 20 MPa. Η προεπεξεργασία υγρής οξείδωσης με H_2O_2 για άδειες δέσμες φρούτων φοινικέλαιου ως πρώτη ύλη βιοαερίου έχει αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στην ενίσχυση της απόδοσης μεθανίου από 19,7% σε 52,7% στη μελέτη που διεξήχθη από τους Lee et.al. (2021). Η θερμοκρασία της προεπεξεργασίας, η οποία αναφέρεται ως "προχωρημένη υγρή έκρηξη", κυμαίνεται από 140 έως 220°C, ενώ η πίεση είναι μεταξύ 0 και 3,5 MPa. Η πρώτη ύλη θερμαίνεται από 5 έως 120 λεπτά και το O_2 εκκενώνεται στον καθορισμένο



Εικόνα 8.: Διαφορετικές διαμορφώσεις για διεργασίες αλκαλικής αναερόβιας χώνευσης. (α) Προεπεξεργασία, (β) Μετά την επεξεργασία και (γ) για χρήση επί τόπου
Πηγή: Chen et al., 2023.

αντιδραστήρα μόλις επιτευχθεί η επιλεγμένη θερμοκρασία (Wang et.al., 2023). Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, η πίεση μειώνεται αμέσως και το βιοϋλικό εξάγεται. Η προηγμένη προεπεξεργασία υγρής οξείδωσης και έκρηξης ατμού της ιλύος λυμάτων εφαρμόστηκε στην έρευνα που διεξήχθη από τους Dutta et.al. (2022). Η έρευνά τους έδειξε αύξηση 94% στην απόδοση μεθανίου όταν η βέλτιστη μέση απόδοση CH_4 των 183 mL/g VS επιτεύχθηκε στους 165°C για 15 λεπτά και με οξυγόνο 10%.

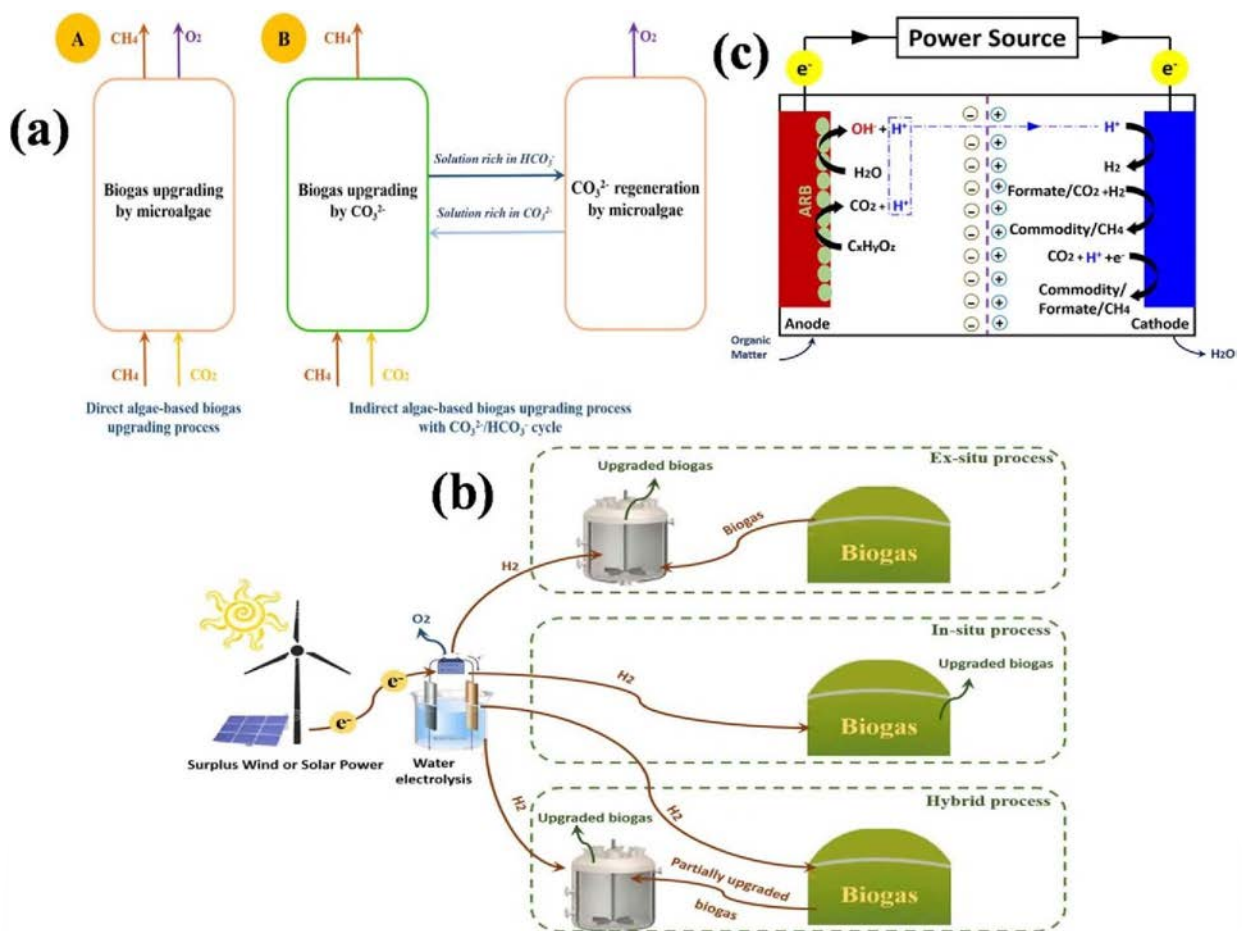
Το κλάσμα λιγνίνης επηρεάζεται από τη χρήση του όζοντος ως οξειδωτικού αντιδραστηρίου κατά τη διαδικασία προεπεξεργασίας στη διαδικασία της οζονόλυσης. Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εξαρτάται από τη συγκέντρωση του όζοντος, το μέγεθος των σωματιδίων του βιοϋλικού και την ποσότητα του νερού. Η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα το μη σχηματισμό ανασταλτικών ενώσεων, καθώς η βιομάζα επεξεργάζεται σε πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το νερό είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας στη διαδικασία, καθώς διευκολύνει τη διαλυτοποίηση των βιοϋλικών κατά τη φάση της προεπεξεργασίας (Zhou et.al., 2023). Χρησιμοποιώντας την οζονόλυση ως μέθοδο προεπεξεργασίας, οι Perrez-Barragan et.al. (2024) αξιολόγησαν την παραγωγή βιοϋδρογόνου και μεθανίου από δύο ποικιλίες βιοϋλικού. Ανακαλύφθηκε ότι η απόδοση βιοϋδρογόνου ενισχύθηκε κατά 78,2% και η απόδοση μεθανίου ήταν 260 NmL CH_4 /g με οζονισμένα ενζυματικά υδρολύματα.

Η αναερόβια χώνευση (AD) χρησιμοποιεί μια ποικιλία αποβλήτων ως υποστρώματα, καθένα από τα οποία προέρχεται από έναν από τους τρεις κύριους τύπους οργανικών αποβλήτων (Atelgeet.al., 2020). Επιπλέον, η βιβλιογραφία προτείνει ότι η λειτουργία μιας μονάδας βιοαερίου μπορεί να βελτιωθεί με τη βελτίωση του ρυθμού αναερόβιας χώνευσης ή την αύξηση της απόδοσης μεθανίου μέσω της επιλογής μιας ή περισσότερων κατάλληλων διαδικασιών προεπεξεργασίας (Chandel et.al., 2019). Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί ότι η σημαντική απόδοση όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου υπερβαίνει το λειτουργικό και κεφαλαιουχικό κόστος που σχετίζεται με την προεπεξεργασία. Από αυτή την άποψη, η εφαρμογή της συν-πέψης έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και να μειώσει το κόστος που σχετίζεται με την προεπεξεργασία (Gontardet.al., 2018). Τα τελευταία χρόνια, η μέθοδος αναερόβιας συν-πέψης (AcoD) έχει αναγνωριστεί ως μια πιο βιώσιμη τεχνολογία για την αύξηση της απόδοσης βιοαερίου σε σύγκριση με το μονο-υπόστρωμα AD (Rodríguez-Nunez and Castillo Baltazar, 2020).

2.8 ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η χρήση υδρογονοτροφικών μεθανογόνων είναι μια άλλη μέθοδος για τη διύλιση στην τεχνολογία βιοαερίου, η οποία περιλαμβάνει τη βιομετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο (Εικ. 9(β)). Η διαδικασία βιομετατροπής του CO_2 από χημειοαυτοτροφικά βακτήρια με βάση το H_2 περιλαμβάνει τη δέσμευση του CO_2 μέσω της μετατροπής του σε CH_4 μέσω της χρήσης υδρογόνου που παράγεται κατά την ηλεκτρόλυση του νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας γνωστής ως P2G (Power to Gas) (Zabranska and Pokorna, 2018). Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω της

προαναφερθείσας διαδικασίας προέρχεται κυρίως από πλεονάζουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Το τελικό βιοαέριο που λαμβάνεται θα περιέχει υψηλότερη συγκέντρωση μεθανίου λόγω της μετατροπής του bioCH_4 από τη μείωση του CO_2 . Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου που αργότερα διυλίζεται για χρήση ως καύσιμο μεταφοράς. Κατά συνέπεια, η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο CH_4 θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα την απλή αποθήκευση και διανομή ενέργειας. Σε αυτή τη διαδικασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις ποικιλίες μεθανογόνων: υδρογονοτροφικά, ακετοτροφικά και ομοακετογόνα (Wu et.al., 2021).



Εικόνα9.: Τεχνολογίες αναβάθμισης βιοαερίου. (a) Αξιοποίηση μικροφυκών (b) σχεδιασμοί διεργασιών αναβάθμισης βιοαερίου με βάση το H_2 , (c) Τεχνολογία μικροβιακών κυψελών ηλεκτρόλυσης

Πηγή: Wu et.al., 2021.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία του μεταβολισμού καθορίζουν τα πιθανά μεθανογόνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, τα συστήματα αναβάθμισης βιοαερίου μπορούν να ταξινομηθούν στους ακόλουθους τύπους: in- και ex-situ, καθώς και σύνθετα συστήματα (Εικ. 9 (b)) (Wu et.al., 2021). Αυτό είναι σύμφωνο με τις διαμορφώσεις

του συστήματος στις οποίες το υδρογόνο διευκολύνει τη βιομεθανίωση του CO₂. Τα επιτόπια συστήματα για τη διύλιση της τεχνολογίας βιοαερίου H₂ αποτελούνται από έναν αναερόβιο χωνευτήρα και ένα σύστημα για την ηλεκτρόλυση του νερού για την παραγωγή H₂. Σε αυτή τη διαδικασία, το H₂ εισάγεται στο σύστημα AD και συνδυάζεται με διοξείδιο του άνθρακα. Τα μεθανογόνα στη συνέχεια μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα σε μεθάνιο. Η μονάδα AD στα συστήματα ex-situ είναι υπεύθυνη για την παραγωγή μη επεξεργασμένου βιοαερίου, ενώ η δεύτερη αναερόβια μονάδα του αντιδραστήρα είναι υπεύθυνη για τη βιολογική αντίδραση του υδρογόνου που λαμβάνεται από την ηλεκτρόλυση του νερού για την απομάκρυνση του CO₂. Στην έρευνα που διεξήγαγαν οι Rafrafi et.al. (2021), η απόδοση CH₄ ενισχύθηκε σε πάνω από 97% μέσω της χρήσης της τεχνολογίας ex-situ H₂ για έναν πολτό που χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Η υβριδική διαδικασία για την αναβάθμιση του βιοαερίου περιλαμβάνει τη βιομείωση του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο σε ένα σύστημα AD και τη βιομεθανίωση του CO₂ σε έναν ξεχωριστό αντιδραστήρα (Zabranska and Pokorna, 2018).

Η μικροβιακή κυψέλη ηλεκτρόλυσης (MEC) είναι μια βιώσιμη και αποτελεσματική τεχνολογία που απαιτεί ελάχιστη ενέργεια για τη διύλιση του βιοαερίου (Gao et.al., 2021). Το H₂ παράγεται από τη MEC, ένα βιοηλεκτροχημικό σύστημα, κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, και το CO₂ μετατρέπεται σε CH₄. Τα βακτήρια που βρίσκονται στην άνοδο, έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν τις οργανικές ουσίες από τα λύματα σε ηλεκτρικό ρεύμα και να απελευθερώνουν H⁺. Το H⁺ στη συνέχεια μεταφέρεται στην κάθοδο, όπου ανάγεται σε H₂. Η διαδικασία αυτή είναι επίσης ικανή να παράγει ενώσεις πολλαπλών ανθράκων μέσω της χρήσης ακετογόνων μικροοργανισμών (Εικ. 15(c)) (Wu et.al., 2021). Η αντίδραση βιοηλεκτρομεθανογένεσης σε σωληνοειδές MEC χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη που διεξήχθη από τους Zeppilli et.al. (2020) για την αναβάθμιση του βιοαερίου. Κατά συνέπεια, προσδιορίστηκε ότι η αντίδραση βιοηλεκτρομεθανογένεσης έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση 13,2 gCO₂/ημέρα.

Τα μικροφύκη είναι υπεύθυνα για τη φωτοσυνθετική βιομόνωση του CO₂ για διύλιση βιοαερίου. Η ικανότητα των μικροφυκών να αναπτύσσονται κάτω από ποικίλες συνθήκες, οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξής τους και η ικανότητά τους να καταναλώνουν θρεπτικά συστατικά από διάφορα νερά τα καθιστούν βιώσιμη επιλογή. Η Εικόνα 15(α) απεικονίζει δύο προτεινόμενες διαμορφώσεις αυτής της τεχνολογίας (άμεσες και έμμεσες) (Wu et.al., 2021). Το CO₂ σταθεροποιείται από μικροφύκη μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.

Συγκεκριμένα, το φωτοσυνθετικό σύστημα αναβάθμισης βιοαερίου ξεκινά με την εισαγωγή μη επεξεργασμένου βιοαερίου στον αντιδραστήρα. Οι φωτοαυτότροφοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για την απομάκρυνση του CO₂ με τη χρήση ηλιακής ενέργειας και την παραγωγή βιομάζας μέσω της κατανάλωσης θρεπτικών ουσιών (Angeles et.al., 2020). Τα βακτήρια στον αντιδραστήρα που οξειδώνουν το θείο ή αντιδρούν με O₂ που είναι ανεπιθύμητο και λαμβάνεται από μικροφύκη, αφαιρούν το H₂S που παράγεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Σε αυτή τη διαδικασία, το CH₄ αναβαθμίζεται για να επιτευχθεί μια μέγιστη περιεκτικότητα σε CO₂ στο βιοαέριο που κυμαίνεται από 2 έως 6% (delRosarioRoderoet.al., 2020). Γενικά, αυτή η διαδικασία είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την εμπορική εφαρμογή της διαδικασίας αναβάθμισης βιοαερίου. Ενισχύει τη

βιωσιμότητα της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου σε μια κυκλική οικονομία διευκολύνοντας τη δέσμευση του άνθρακα και την επαναχρησιμοποίησή του (Bose et.al., 2019).

2.9 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Εξέχουσας σημασίας είναι οι συνθήκες που αρμόζουν στους αναερόβιους μικροοργανισμούς με σκοπό την βέλτιστη αποδοτικότητα της διεργασίας. Τα θρεπτικά συστατικά, το pH της πρώτης ύλης, η θερμοκρασία, ο ρυθμός ροής της τροφοδοσίας (ρυθμός φόρτωσης) και ο χρόνος κατακράτησης, ο υδραυλικός χρόνος αναμονής είναι μεταξύ των πολυάριθμων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή βιοαερίου. Εάν οι τιμές αυτών των παραγόντων δεν βρίσκονται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους, η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου μπορεί να επιβραδυνθεί ή να σταματήσει (Angelidaki et.al., 2009). Ακολουθεί σύντομη ανάπτυξη κάποιων από των προαναφερθέντων όρων με στόχο την διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί για την παραγωγή μεθανίου κατά την αναερόβια επεξεργασία.

2.9.1 ΧΡΟΝΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ (HRT)

Υδραυλικός χρόνος συγκράτησης θεωρείται το διάστημα κατά το οποίο το διαθέσιμο προς αποικοδόμηση υλικό παραμένει στον αντιδραστήρα. Περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$HRT = V/F$$

όπου, V: Ο λειτουργικός όγκος του αντιδραστήρα (m³),

F: Η ημερήσια ογκομετρική παροχή στον αντιδραστήρα (m³/ημέρα)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής χρειάζεται να είναι μεγάλος για να επιτρέπει στα αναερόβια βακτήρια να ολοκληρώσουν το μεταβολισμό τους και να πολλαπλασιαστούν.

Ο μέσος χρόνος παραμονής για τα στερεά και υγρά απόβλητα που παραμένουν σε έναν χωνευτήρα (αντιδραστήρα) για να αλληλεπιδράσουν τη μικροβιακή βιομάζα συμβολίζεται με HRT (Khanal, 2008a). Σε περιπτώσεις όπου τα εισερχόμενα ρεύματα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις στερεών, απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι κατακράτησης για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής βιοενέργειας (Khanal, 2008a). Ο HRT μπορεί να ερμηνευθεί ως η περίοδος επεξεργασίας για ένα απόβλητο που υφίσταται AD. Η απόδοση είναι ευθέως ανάλογη με το HRT, καθώς η βιομάζα έχει αρκετό χρόνο για να έρθει σε στενή επαφή με τα απόβλητα, απομακρύνοντας έτσι σημαντικές ποσότητες ρύπων. Σε αντιδραστήρες τύπου C.S.T.R. ο πιο συνήθης χρόνος παραμονής είναι 21 ημέρες. Μικρότεροι χρόνοι κατακράτησης.

2.9.2 ΘΡΕΠΤΙΚΑ

Η εφαρμογή χαμηλών οργανικών ρυθμών φόρτωσης και εκτεταμένων HRTs ήταν απαραίτητη σε περιπτώσεις παρουσίας ανεπαρκούς διαθεσιμότητας συγκέντρωσης θρεπτικών ουσιών, η οποία είχε ως αποτέλεσμα χαμηλές αποδόσεις μεθανίου, οξίνιση και αστάθεια διεργασίας στη σήψη των καλλιεργειών (Lebuhn et.al., 2008, Weiland, 2010) γεγονός που έχει αντίκτυπο στη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας AD (Hinken et.al., 2008; Lebuhn et.al., 2008; Scherer et.al., 2009).

Τα προαναφερθέντα εμπόδια υποδηλώνουν ότι η διαδικασία βιοαερίου απαιτεί επαρκείς ποσότητες τόσο μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών για να λειτουργεί συνεχώς (Bruni et.al., 2010). Τα θρεπτικά συστατικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι σε πρωτεύοντα που έχουν ανάγκη άμεσα οι μικροοργανισμοί για την δημιουργία των κυτταρικών τους δομών και σε αυτά εμπεριέχονται φώσφορος, άζωτο, κάλιο και άνθρακας. Ενώ η δεύτερη σε δευτερεύοντα συστατικά όπου εμπεριέχονται νικέλιο, σελήνιο, σίδηρος, ψευδάργυρος και κοβάλτιο.

2.9.3 ΤΟ pH ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ

Μία από τις κρίσιμες μεταβλητές είναι η τιμή pH του υλικού. Οι όξινες συνθήκες είναι επιζήμιες για τα μεθανογόνα βακτήρια (Arsova, 2011). Διάφορες βέλτιστες τιμές pH επιτυγχάνονται σε διάφορες φάσεις της διαδικασίας AD. Ο βιολογικός μετασχηματισμός, ο οποίος συμβαίνει κατά τις διάφορες φάσεις της διαδικασίας AD, είναι υπεύθυνος για αυτές τις τροποποιήσεις. Κατά το στάδιο της ακετογένεσης, το επίπεδο pH μπορεί να πέσει κάτω από 5 κατά τη σύνθεση οργανικών οξέων (Arsova, 2011). Το βέλτιστο εύρος pH για την επίτευξη της υψηλότερης απόδοσης βιοαερίου στην AD είναι 6,5–7,5, σύμφωνα με τους Liuet.al. (2008). Αυτό το εύρος pH είναι σχετικά ευρύ στα φυτά. Διάφοροι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της τεχνικής του υποστρώματος και της σήψης, θα μπορούσαν να επηρεάσουν την τιμή του pH και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό να διατηρηθεί ένα σταθερό επίπεδο pH. Ρυθμιστικά διαλύματα ισορροπίας, όπως ανθρακικό ασβέστιο ή άσβεστος, πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα για να επιτευχθεί αυτό.

Γενικά στις αναερόβιες διεργασίες, το pH είναι κρίσιμος δείκτης. Προσφέρει ακριβή αξιολόγηση της λειτουργικότητας του συστήματος, η οποία καθορίζει τη σταθερότητα της πέψης. Η πέψη μπορεί να παρεμποδιστεί από χαμηλότερο pH, το οποίο είναι ενδεικτικό της αστοχίας του συστήματος ή της ανεπαρκούς ρυθμιστικής ικανότητας. Τα υψηλά επίπεδα pH μπορούν επίσης να περιορίσουν τη διαδικασία της μεθανογένεσης. Η τιμή του pH επηρεάζεται από τη συγκέντρωση των VFA, τη συγκέντρωση διττανθρακικών, την αλκαλικότητα του συστήματος και την αναλογία CO₂ στο αέριο του χωνευτήρα. Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης διττανθρακικών και των VFA είναι απαραίτητη για το σύστημα να διατηρεί μια σταθερή τιμή pH, σύμφωνα με τους Liuet.al. (2008).

2.9.4 Η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η AD λειτουργεί τυπικά σε δύο διακριτές κλίμακες θερμοκρασίας, με το ένα βέλτιστο στους 35°C (μεσόφιλοι μικροοργανισμοί) και το άλλο στους 55°C (θερμόφιλοι μικροοργανισμοί) (Davidsson et al., 2008).

Αν και η θερμόφιλη χώνευση μπορεί να προσφέρει κάποια οφέλη σε σχέση με τη μεσόφιλη χώνευση, όπως αυξημένο ρυθμό αντίδρασης και μείωση των παθογόνων, οι μικροοργανισμοί στη μεσόφιλη αναερόβια χώνευση έχουν χαμηλότερη ανάγκη σε θρεπτικά συστατικά (Takashima et al., 2011). Επιπλέον, η μεσόφιλη χώνευση μπορεί να λειτουργήσει παρόμοια με τη θερμόφιλη (Ngeset al., 2012) όσον αφορά τη παραγωγή προϊόντων.

Ο ρυθμός των βιολογικών αντιδράσεων καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Είναι μια ευαίσθητη παράμετρος που απαιτεί συνεπή παρακολούθηση, ιδιαίτερα σε περιόδους διακυμάνσεων του καιρού. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα θα καθορίσει την επιλογή θερμοκρασίας (θερμοφιλική ή μεσόφιλη). Ωστόσο, η θερμοκρασία θα πρέπει να είναι κατάλληλη για τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία επεξεργασίας απορριμμάτων.

2.9.5 O.L.R. –ORGANIC LOADING RATE

Ο ρυθμός οργανικού φορτίου (O.L.R.) είναι ο ρυθμός με τον οποίο το οργανικό περιεχόμενο των λυμάτων τροφοδοτείται στο σύστημα. Αποτελεί κρίσιμη μέτρηση στο σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Λαμβάνει υπόψη τόσο τον όγκο όσο και την ισχύ των λυμάτων που υποβάλλονται σε επεξεργασία. Το O.L.R., το οποίο εκφράζεται συνήθως ως χημική ζήτηση οξυγόνου ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{ημέρα}$), πτητικά στερεά (VS), ολικά στερεά (TS)/ $\text{L} \cdot \text{ημέρα}$ ή $\text{VS/m}^3 \cdot \text{ημέρα}$, είναι η ποσότητα του υποστρώματος (βιομάζα) που έχει το σύστημα. Έχει αναφερθεί ότι η διαδικασία της αναερόβια σήψης των στερεών αποβλήτων σε ένα μόνο στάδιο μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα εάν το O.L.R. αυξηθεί πέρα από τις δυνατότητες του συστήματος. Επιπλέον, τα μεθανογόνα μπορεί να μην χρησιμοποιούν το υδρογόνο και τα VFA που σχηματίζονται από τα οξινογόνα βακτήρια με τον ίδιο ρυθμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η οξινογένος δράση και τα ενδιάμεσα VFA που παράγονται προκαλούν αύξηση των οξινογόνων βακτηρίων σε υψηλότερα O.L.R., αναστέλλοντας έτσι την ανάπτυξη του μεθανογόνου πληθυσμού. Η συσσώρευση οργανικών οξέων και η μείωση του pH και της παραγωγής αερίου μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της αύξησης του O.L.R. και της οξινογενούς δραστηριότητας (παραγωγή VFA, CO_2 και H_2). Αυτό, με τη σειρά του, επηρεάζει τη βιολογική δραστηριότητα των μεθανογόνων, καθώς η ανάπτυξή τους εμποδίζεται από ένα pH κάτω από 6,6, μειώνοντας έτσι την παραγωγή μεθανίου.

Κατά συνέπεια, η βελτιστοποίηση της απόδοσης του αντιδραστήρα και η μεγιστοποίηση της παραγωγής μεθανίου εξαρτώνται από τον προσδιορισμό του κατάλληλου O.L.R. για ένα συγκεκριμένο υπόστρωμα. Η ποσότητα αερίου που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα όγκου VS που περιέχεται, σε μια δεδομένη θερμοκρασία και σε συγκεκριμένες συνθήκες καθορίζεται από την απόδοση μεθανίου (Zhang, 2012). Η βιοαποδομησιμότητα του υποστρώματος υποδεικνύεται επίσης από την απόδοση μεθανίου, καθώς η πρώτη ύλη με

χαμηλή VS/TS, όπως η λιγνίνη, δεν αποικοδομείται εύκολα χρησιμοποιώντας αναερόβιες διεργασίες.

2.10 ΟΦΕΛΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της τεχνολογίας του βιοαερίου τονίζονται συχνά, ως έγκυρη και βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα. Μαζί με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), το βιοαέριο μπορεί να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια, χάρη στο υψηλό ενεργειακό δυναμικό του. Κύριος στόχος της βιομηχανίας βιοαερίου είναι η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, με τελικό στόχο τη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ωστόσο, η αναερόβια χώνευση σχετίζεται με την παραγωγή διαφόρων αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και νιτρώδους οξειδίου του αζώτου. Σύμφωνα με τα κύρια μέτρα για τη βελτίωση του δυναμικού μείωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου από τις μονάδες βιοαερίου είναι: η χρήση φωτοβολίδας που αποφεύγει την απόρριψη μεθανίου, η κάλυψη των δεξαμενών, η αύξηση της απόδοσης των μονάδων συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ), η βελτίωση της στρατηγικής εκμετάλλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, η αξιοποίηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης θερμικής ενέργειας και η αποφυγή διαρροών

Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, επιτρέπει την εκμετάλλευση γεωργικών και ζωοτεχνικών προϊόντων και αστικών αποβλήτων, με μικρότερες επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα σε σύγκριση με τις στρατηγικές καύσης αυτών των βιομαζών. Επιπλέον, ενώ η τέφρα από την καύση βρίσκει σπάνιες γεωργικές εφαρμογές, το παραπροϊόν της αναερόβιας χώνευσης, δηλαδή το χωνεμένο υπόλειμμα, φαίνεται ως αξιόπιστο υλικό για γεωργικές χρήσεις πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά όπως άζωτο, κάλλιο και φώσφορο. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας του βιοαερίου είναι η εύκολη επεκτασιμότητα της, που επιτρέπει την εκμετάλλευση του ενεργειακού δυναμικού των αποκεντρωμένων πηγών βιομάζας. Επίσης το βιοαέριο μπορεί να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο, να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα ως καύσιμο οχημάτων ή να εγχυθεί στα εθνικά δίκτυα φυσικού αερίου.

Αδιαμφισβήτητα, ένα ακόμη όφελος από την χρήση βιοαερίου είναι η αποτελεσματικότητα και συμβολή του στους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων (Παναγούλη Μ., 2022). Φυσικά αξιοσημείωτη είναι και η μείωση των αποβλήτων που θα επιδείνωναν το περιβάλλον σε περίπτωση που δεν γινόταν η αξιοποίηση τους για την παραγωγή βιοαερίου.

Αξίζει να σημειωθούν και τα οφέλη για τους γεωργούς καθώς ο συνδυασμός γεωργικών εργασιών και παραγωγής βιοαερίου μπορεί να επιφέρει οικονομικά οφέλη όπως η αύξηση στο εισόδημα τους μέσα από την αξιοποίηση των αποβλήτων με βιώσιμο τρόπο και την παραγωγή ενέργειας αλλά και περιβαλλοντικά οφέλη. Συγκεκριμένα, μπορεί να επέλθει επιπλέον εισόδημα από την πώληση γεωργικών υπολειμμάτων (καλαμπόκι, κοπριές ζώων) ως πρώτη ύλη στα εργοστάσια παραγωγής βιοαερίου. Επίσης το υπόλειμμα των μονάδων βιοαερίου μπορεί να αξιοποιηθεί ως βιολογικό λίπασμα υψηλής ποιότητας, μειώνοντας έτσι και το κόστος αγοράς χημικών λιπασμάτων.

Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα οφέλη των εργοστασίων παραγωγής βιοαερίου είναι η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Η λειτουργία αυτών των μονάδων απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό για διαδικασίες όπως η συλλογή και διαλογή βιομάζας, η λειτουργία βιοαντιδραστήρων, η παρακολούθηση της αναερόβιας διάσπασης και η διαχείριση του παραγόμενου βιοαερίου και του υπολείμματος. Αυτό δημιουργεί άμεσες θέσεις εργασίας σε τομείς όπως η μηχανική, η βιοτεχνολογία και οι περιβαλλοντικές επιστήμες. Επιπλέον, αναπτύσσονται έμμεσες ευκαιρίες σε συναφείς κλάδους: γεωργούς που παρέχουν πρώτες ύλες (π.χ. γεωργικά υπολείμματα), εταιρείες logistics για τη μεταφορά υλικών, και ειδικούς για τη συντήρηση εξοπλισμού. Σε περιοχές με υψηλή ανεργία, τα εργοστάσια παραγωγής βιοαερίου μπορούν να αποτελέσουν κέντρα οικονομικής αναγέννησης, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των αγροτικών κοινοτήτων. Σύμφωνα με μελέτες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2020), κάθε MW παραγόμενης ενέργειας από βιοαέριο μπορεί να δημιουργήσει έως 25 νέες θέσεις εργασίας, γεγονός που υπογραμμίζει τη στρατηγική σημασία του κλάδου για την πράσινη οικονομία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

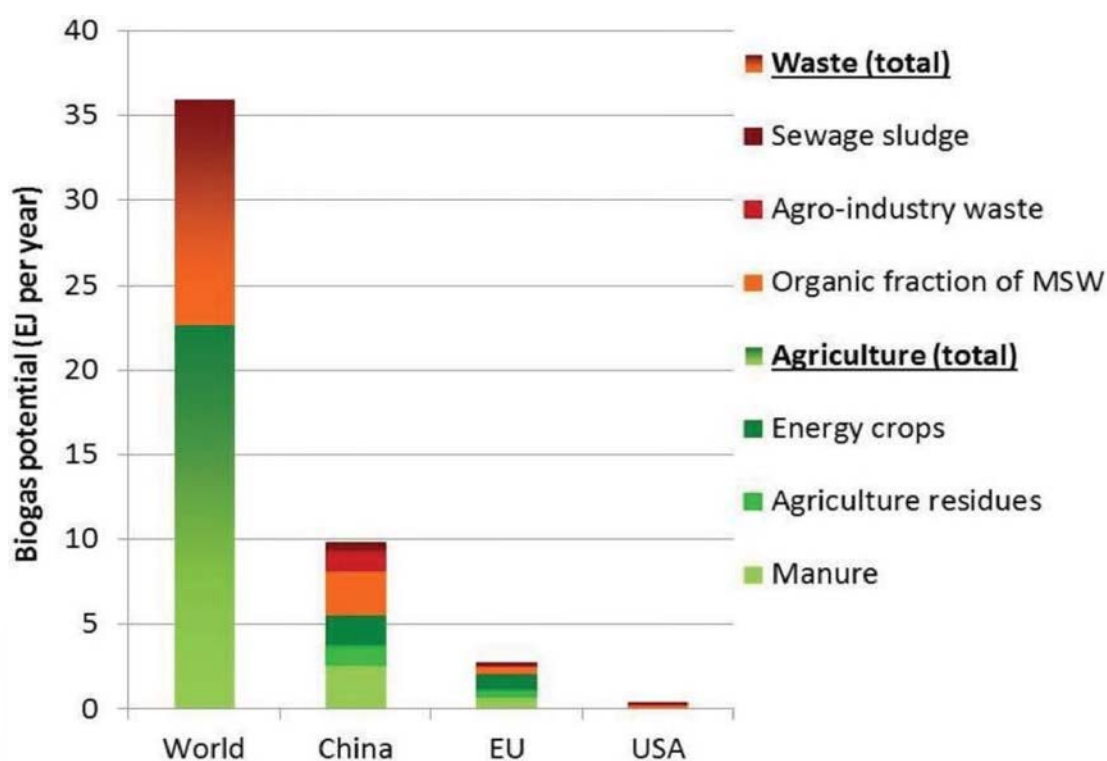
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

3.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας βιοαερίου τονίζονται συχνά κατατάσσοντάς το ως βιώσιμο υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων (Cecchi, Cavinato 2015). Σε συνδυασμό με τον μετριασμό των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), το βιοαέριο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ενεργειακή ασφάλεια λόγω του υψηλού ενεργειακού του δυναμικού (Steininger, Voraberger 2003, Tricase, Lombardi 2009, Angelidaki, et.al. 2009). Σε σύγκριση με τις στρατηγικές που βασίζονται στην καύση για τις βιομάζες, επιτρέπει την εκμετάλλευση των γεωργικών και ζωοτεχνικών υπολειμμάτων και των αστικών αποβλήτων ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, με μειωμένο αντίκτυπο στην ποιότητα του αέρα (Fruegaard, et.al. 2010, Giovanis, 2015, Domingoet.al. 2015). Επιπλέον, το χωνεμένο υπόλειμμα, ένα υποπροϊόν της αναερόβιας χώνευσης (Freire, et.al. 2015, Vakalis, et.al. 2017), φαίνεται να είναι ένα αξιόπιστο υλικό για γεωργικές εφαρμογές, σε αντίθεση με τις λίγες γεωπονικές εφαρμογές της χόβολης από την καύση (Tambone, et.al. 2015). Το ενεργειακό δυναμικό των αποκεντρωμένων πηγών βιομάζας μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω της απλής επεκτασιμότητας της τεχνολογίας βιοαερίου (Delzeit, Kellner 2013, Sarkilahti, et.al. 2017) και αυτό είναι ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα. Τελικά, το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί σε βιομεθάνιο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή να εγχυθεί στην εθνική υποδομή φυσικού αερίου (Yangetal 2014, Bekkeringetal 2015).

Με βάση τα δεδομένα από την Παγκόσμια Ένωση Βιοενέργειας (WBA 2016), η Εικόνα 10 απεικονίζει το ενεργειακό δυναμικό του βιοαερίου. Οι ακόλουθες πηγές αναφέρονται λεπτομερώς στα δεδομένα για την Ευρώπη, την Κίνα και τις Ηνωμένες Πολιτείες: κοπριά, υπολείμματα γεωργίας, οργανικό κλάσμα αστικών στερεών αποβλήτων (MSW), απορρίμματα αγροτοβιομηχανίας και λυματολάσπη είναι οι μόνες κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται το συνολικό παγκόσμιο δυναμικό βιοαερίου.

Παρά τα προαναφερθέντα οφέλη, οι εγκαταστάσεις βιοαερίου αποτελούν συχνά αντικείμενο κοινωνικής αντίθεσης, η οποία συνήθως υποκινείται από περιβαλλοντικές ανησυχίες και ανησυχίες για την υγεία (Capodaglio, et.al. 2016). Η συχνότητα αυτών των φαινομένων αντίθεσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι στρατηγικές ένταξης και η υπό εξέταση χώρα (Wallquist, et.al. 2012, Soland, et.al. 2013). Η ακριβής και ολοκληρωμένη εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των διεργασιών είναι ζήτημα σημαντικής επιστημονικής και τεχνικής σημασίας προκειμένου να ξεπεραστούν τα κοινωνικά και πολιτιστικά εμπόδια που εμποδίζουν την ευρεία διάδοση του βιοαερίου.



Εικόνα.10.: Ενεργειακό δυναμικό βιοαερίου

Πηγή: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10934529.2018.1459076#d1e226>

3.1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο πρωταρχικός στόχος της βιομηχανίας βιοαερίου είναι η μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, με απώτερο στόχο τη μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ωστόσο, η αναερόβια χώνευση συνδέεται με την παραγωγή πολλών αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου και του υποξειδίου του αζώτου. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η εφαρμογή στοχευμένων στρατηγικών για τον μετριασμό αυτών των εκπομπών. Οι κύριες στρατηγικές για την ενίσχυση του δυναμικού μείωσης της υπερθέρμανσης του πλανήτη μέσω των μονάδων βιοαερίου, σύμφωνα με τους Hijazi et.al. (2016), περιλαμβάνουν τα ακόλουθα: τη χρήση φωτοβολίδας που αποτρέπει την εκκένωση μεθανίου, την κάλυψη δεξαμενών, τη βελτιστοποίηση των μονάδων της συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP), τη βελτιστοποίηση της στρατηγικής χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, την αξιοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερης θερμικής ενέργειας και την πρόληψη διαρροών. Ο Buratti και οι συνεργάτες του (2013) κατέληξαν σε συγκρίσιμα συμπεράσματα σχετικά με μια συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης των προϊόντων δημητριακών στην Ούμπρια της Ιταλίας. Η αλυσίδα βιομεθανίου ξεπερνά την ελάχιστη τιμή εξοικονόμησης αερίων του θερμοκηπίου (35%), κυρίως ως αποτέλεσμα της ανοιχτής αποθήκευσης του χωνεμένου υπολείμματος. Οι συμβατικές μέθοδοι για τη βελτίωση της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (έως 68,9%) περιλαμβάνουν τη χρήση θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα GHG βιοαερίου, καθώς και την κάλυψη δοχείων αποθήκευσης υπολειμμάτων.

Ο αντίκτυπος των μονάδων βιοαερίου στην υπερθέρμανση του πλανήτη απαιτεί εξέταση κατά περίπτωση. Ο αντίκτυπος του GHG δέκα γεωργικών εγκαταστάσεων βιοαερίου προσδιορίστηκε από τον Bachmaier και τους συνεργάτες του (2010). Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου που ερευνήθηκαν παρήγαγαν εκπομπές GHG που κυμαίνονταν από 85 έως 251g CO₂-eq/kWh_{el} κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντίστοιχη εξοικονόμηση GHG ήταν 2,31 έως 3,16 kWh/kWh_{el}. Τα αποτελέσματα υπογράμμισαν επίσης ότι αξιόπιστες εκτιμήσεις των εκπομπών GHG στο πλαίσιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο μπορούν να γίνουν μόνο με βάση μεμονωμένα δεδομένα παρακολούθησης. Για παράδειγμα, η μείωση της άμεσης εκπομπής και διαρροής μεθανίου, η εκμετάλλευση της θερμότητας που λαμβάνεται από τη συμπαραγωγή, η ποσότητα και η φύση του εισερχόμενου υλικού, η εκπομπή υποξειδίου του αζώτου. Σε μια μελέτη περίπτωσης ενός εντατικού γαλακτοκομικού αγροκτήματος που βρίσκεται στην κοιλάδα του Πάδου (Ιταλία), ο Battini και οι συνεργάτες του (2014) προσδιόρισαν ότι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης κυμαινόνταν από -23,7% έως -36,5%, ανάλογα με τη διαχείριση του χωνεμένου υπολείμματος. Η μείωση της απελευθέρωσης GHG από γαλακτοπαραγωγικές αγελάδες, χοιρομητέρες και χοιροτροφικές εκμεταλλεύσεις υπολογίστηκε ότι ήταν 177,0, 87,7 και 125,6 Mg ισοδύναμου CO₂ έτος⁻¹ σε μια φινλανδική μελέτη περίπτωσης (Kaparaju, Rintala 2011). Άλλο παράδειγμα αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης για την επεξεργασία λυμάτων που έδειξε ότι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση των εκπομπών κατά 1.103 kg CO₂eq/d για το N₂O, 256 kg CO₂eq/d για το CO₂ και 87 kg CO₂eq/d για το CH₄ (Mikosz, 2016). Επομένως, φαίνεται ότι η βελτιστοποίηση όλων των παραμέτρων της διαδικασίας είναι ζωτικής σημασίας όσον αφορά τις τελικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

3.1.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Κατά την παραγωγή και τη χρήση του βιοαερίου, επιβλαβείς ενώσεις και ατμοσφαιρικοί ρύποι εισάγονται στο περιβάλλον τόσο μέσω των διαδικασιών καύσης όσο και μέσω των εκπομπών διάχυσης. Η καύση του βιοαερίου έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματική οξείδωση και μετατροπή του μεθανίου σε διοξείδιο του άνθρακα, με ρυθμό 83,6 kg ανά GJ (με βάση ένα βιοαέριο με 65% CH₄ και 35% CO₂ (Nielsen, et.al. 2014)). Πρόσθετες εκλύσεις αυτής της ρύπανσης σχετίζονται με τη μεταφορά και αποθήκευση βιομάζας, καθώς και με τη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος. Στην περίπτωση τόσο της καύσης βιοαερίου όσο και της εκπομπής βιομάζας/χωνεμάτων, το CO₂ θεωρείται βιογενές και εκτιμάται ότι έχει ουδέτερη επίδραση στο κλίμα. Λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση των ορυκτών καυσίμων, είναι προφανές ότι η παραγωγή βιοαερίου συμβάλλει στον παγκόσμιο μετριασμό των επιπτώσεων των ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου στο περιβάλλον. Ο Poeschl και οι συνεργάτες του (2012) εξέτασαν τις εκπομπές CO₂ που συνδέονται με την παραγωγή βιοαερίου από μια ποικιλία πρώτων υλών, καθώς και τις σχετικές συνεισφορές της προμήθειας πρώτης ύλης, της λειτουργίας και της υποδομής της μονάδας βιοαερίου, της χρήσης βιοαερίου και της διαχείρισης των υπολειμμάτων. Αυτή η μελέτη υποστηρίζει ότι η χρήση βιοαερίου οδηγεί σε αρνητικό ισοζύγιο CO₂ λόγω του γεγονότος ότι ο τίτλος του CO₂ είναι σταθερά υψηλότερος

σε απόλυτη τιμή από τις θετικές εκπομπές από την προμήθεια πρώτης ύλης και τη λειτουργία της μονάδας βιοαερίου. Όπως αναμενόταν, η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών, όπως το ενσίρωμα φυτών ολικής αλέσεως, είναι λιγότερο βιώσιμη από την παραγωγή βιοαερίου από υποπροϊόντα. Επιπλέον, η διαχείριση των υπολειμμάτων συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των συνολικών εκπομπών όταν χρησιμοποιείται με συγκεκριμένες πρώτες ύλες, όπως τα αστικά στερεά απόβλητα.

3.1.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

Αν και η έκθεση σε μείγματα υδρογονανθράκων μπορεί να έχει ορισμένες δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο (Simmons, 1994), δεν υπάρχουν ενδείξεις σχετικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μεθανίου και βιολογικών συστημάτων (Prasad, et.al. 2011). Κατά συνέπεια, το μεθάνιο που απελευθερώνεται από διεργασίες βιοαερίου δεν θεωρείται επιβαρυντικό για θέματα υγείας.

Ωστόσο, το μεθάνιο είναι ένα αέριο θερμοκηπίου με δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη που εκτιμάται ότι είναι 28-36 φορές μεγαλύτερο από αυτό του CO₂ σε μια περίοδο 100 ετών. Κατά συνέπεια, είναι το δεύτερο πιο σημαντικό συστατικό των ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου (IPCC 2013). Ως εκ τούτου, οι εκπομπές μεθανίου αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την αξιολόγηση της επίδρασης της βιομηχανίας βιοαερίου στην κλιματική αλλαγή. Η ατελής καύση βιοαερίου μπορεί να οδηγήσει στην απελευθέρωση μεθανίου. Ωστόσο, ένα σημαντικό μέρος αυτής της ρύπανσης αποδίδεται σε διαχυτικές εκπομπές που σχετίζονται με την αποθήκευση βιομάζας και τη διαχείριση των χωνεμένων ουσιών. Ωστόσο, για να μετριαστούν οι εκπομπές που σχετίζονται με το βιογενές μεθάνιο, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν εναλλακτικές στρατηγικές διαχείρισης βιομάζας. Οι εκπομπές μεθανίου εξετάστηκαν επίσης στην προαναφερθείσα μελέτη που διεξήχθη από τον Poeschl και τους συνεργάτες του (2012). Τα ποσοστά εκπομπών σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ήταν μικρότερα από 5 g kg⁻¹.

Η επεξεργασία και ο χειρισμός του χωνεμένου υπολείμματος είναι σημαντικοί παράγοντες για τη μείωση των εκπομπών μεθανίου από την κοπριά βοοειδών. Αυτός ο τύπος βιομάζας είναι γνωστός για το υψηλό ποσοστό εκπομπής μεθανίου όταν διανέμεται στο χωράφι χωρίς καμία προεπεξεργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

4.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ

Η διαχείριση των οργανικών αποβλήτων και της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τη βιώσιμη περιβαλλοντική ανάπτυξη. Η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης (anaerobic digestion) προσφέρει μία αποδοτική λύση, καθώς συνδυάζει τη μείωση του οργανικού φορτίου με την παραγωγή βιοαερίου και, κατ’ επέκταση, ενέργειας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται δύο εμβληματικά παραδείγματα μονάδων βιοαερίου: η ιστορική μονάδα Davyhulme Sewage Works στο Ηνωμένο Βασίλειο και η σύγχρονη μονάδα της Γερμανίας BioEnergie Park Gustrow:

- *Davyhulme Sewage Works (Μ.Βρετανία)*

Το Davyhulme Sewage Works είναι το κύριο εργοστάσιο επεξεργασίας λυμάτων για την πόλη του Μάντσεστερ της Αγγλίας και ένα από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη. Λειτουργεί από το 1894 και έχει πρωτοπορήσει στη βελτίωση των διαδικασιών επεξεργασίας. Χρησιμοποιεί αναερόβια χώνευση (anaerobic digestion) για τη μετατροπή οργανικών αποβλήτων (ιλύος από λύματα) σε βιοαέριο.

Το βιοαέριο που παράγεται αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας μέσω συστημάτων συμπαραγωγής (CHP). Η μονάδα παράγει έως και 5MW ηλεκτρικής ενέργειας, αρκετή για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών του εργοστασίου και την παροχή σε τοπικό δίκτυο.

Βοηθά στη μείωση των εκπομπών CO_2 με την αξιοποίηση του μεθανίου που διαφορετικά θα απελευθερωνόταν στην ατμόσφαιρα. Η μονάδα Davyhulme είναι μέρος προσπαθειών της United Utilities (UU) η οποία είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες υδροδότησης και αποχέτευσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, με έδρα το Βόρειο Δυτικό Αγγλία, για βιωσιμότητα και κυκλική οικονομία. Εκτός από βιοαέριο, η μονάδα παράγει υπολείμματα (digestate), τα οποία χρησιμοποιούνται ως λίπασμα στη γεωργία. Δεν υπάρχουν δημόσια διαθέσιμα αναλυτικά στοιχεία για την ετήσια παραγωγή της συγκεκριμένης μονάδας, αλλά μπορούμε να βασιστούμε σε γενικά δεδομένα της United Utilities: Συνολική Παραγωγή Βιοαερίου από την United Utilities (2022-2023).

Η εταιρεία παράγει 130 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως από βιοαέριο (συμπεριλαμβανομένων όλων των μονάδων της).

Το Davyhulme είναι μια από τις μεγαλύτερες μονάδες με εκτιμώμενη παραγωγή 20-30 GWh/έτος (περίπου 5 MW ισχύος). Το 2023, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (βιοαέριο) αυξήθηκε κατά 7% σε σχέση με το 2022 (σύμφωνα με εταιρικές εκθέσεις).

Εικόνα



11.:

Davyhulme WWTW

Πηγή: <https://waterprojectsonline.com/case-studies/davyhulme-2019/>



Εικόνα 12.: Primary settlement tank arrangement

Πηγή: <https://waterprojectsonline.com/case-studies/davyhulme-2019/>

- BioEnergiePark Güstrow (Γερμανία)

Η μονάδα BioEnergiePark Güstrow αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες και πιο σύγχρονες μονάδες παραγωγής βιοαερίου στη Γερμανία. Πρόκειται για μονάδα αναερόβιας χώνευσης με συμβατικούς χωνευτήρες. Ιδρύθηκε το 2009 και αρχικά λειτούργησε ως μονάδα αναβάθμισης βιοαερίου για τροφοδοσία του κεντρικού δικτύου φυσικού αερίου. Η πρώτη φάση λειτουργίας της βασιζόταν κυρίως στη χρήση ενεργειακών καλλιεργειών (όπως το καλαμπόκι), με δυναμικότητα επεξεργασίας περίπου 400.000 τόνων βιομάζας ετησίως παράγοντας βιοαέριο για την σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου.

Ωστόσο, από το 2022, η μονάδα υπέστη σημαντική μετατροπή και αναβάθμιση της λειτουργίας της. Πλέον επικεντρώνεται:

- στην παραγωγή υγροποιημένου βιομεθανίου (Bio-LNG)
- στην ανάκτηση και υγροποίηση διοξειδίου του άνθρακα (LCO_2)
- και στη χρήση γεωργικών αποβλήτων (όπως υπολείμματα σιτηρών, ζωικά λύματα κ.λπ.), αποφεύγοντας την εξάρτηση από καλλιέργειες αποκλειστικά για ενεργειακή χρήση.

Η τρέχουσα δυναμικότητα ανέρχεται σε περίπου 150.000 τόνους πρώτων υλών ετησίως. Η μονάδα λειτουργεί με συσκευές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ), με συνολική ηλεκτρική ισχύ 3,1 MW. Ετησίως παράγει:

- περίπου 9.600 τόνους βιομεθανίου, που επαρκούν για να καλύψουν πάνω από 50 εκατομμύρια χιλιόμετρα βαρέων οχημάτων,
- και 15.000 τόνους υγροποιημένου CO_2 (LCO_2), οι οποίοι μπορούν να αξιοποιηθούν σε βιομηχανικές εφαρμογές, θερμοκήπια ή την παραγωγή τροφίμων.

Η εγκατάσταση αποτελείται από πολλαπλούς χωνευτήρες αναερόβιας χώνευσης (μεγάλου όγκου), συστήματα καθαρισμού και ξήρανσης του βιοαερίου, καθώς και μονάδα υγροποίησης τόσο για το μεθάνιο όσο και για το CO_2 . Οι χωνευτήρες φιλοξενούν βακτηριακές ζυμώσεις κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και pH.

4.2 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στα τέλη του προηγούμενου αιώνα πραγματοποιήθηκαν έργα για την ενεργειακή εκμετάλλευση από πρώτες ύλες. Μερικά από αυτά τα έργα στην αρχή είχαν παρουσιάσει επιστημονικό ενδιαφέρον, αργότερα σταμάτησαν την λειτουργία τους λόγω έλλειψης τόσο των κτιριακών δομών, όσο και των οικονομικών κονδυλίων (Κουτσούρης, 2015). Τα τελευταία χρόνια όμως, η παραγωγή βιοαερίου στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη, καθώς εντάσσεται στο πλαίσιο της μετάβασης σε πιο βιώσιμες και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Η ποσότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από το σύνολο της εσωτερικής ζήτησης φυσικού αερίου του Βελγίου, της Δανίας και της Ιρλανδίας μαζί και αντιπροσωπεύει το 7% της κατανάλωσης φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2023.

Σύμφωνα με δεδομένα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (P.A.E) αλλά και από τον Ελληνικό Σύνδεσμο Παραγωγών Βιοαερίου (Ε.Σ.ΠΑ.Β.), έως το 2024 λειτουργούν περισσότερες από 70 μονάδες βιοαερίου, κυρίως σε περιοχές με έντονη αγροτική και κτηνοτροφική δραστηριότητα, όπως η Κεντρική Μακεδονία, η Θεσσαλία και η Ήπειρος.

Ενδεικτικά, μερικές από τις μεγαλύτερες επιχειρήσεις του κλάδου είναι:

- Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε.

Η μονάδα ξεκίνησε την λειτουργία της το 2016, βρίσκεται στο Κολχικό Λαγκαδά και αποτελεί μία καινοτόμα μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιώντας αγροτικά, κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα. Σύμφωνα με δημοσιεύσεις της εταιρίας

τόσο οι υγρές, όσο και οι στερεές πρώτες ύλες, σύμφωνα με το πρόγραμμα τροφοδοσίας και σε 24 ημερήσιες δόσεις, οδηγούνται στο πρωτεύον χωνευτήρα, χωρητικότητας 4.000m^3 όπου παραμένουν για περίπου 30 ημέρες υπό συνεχή ανάδευση και σε θερμοκρασία 44°C παράγοντας περίπου το 60-65% του περιεχόμενου βιοαερίου. Στη συνέχεια, τα υλικά οδηγούνται στον δευτερεύον χωνευτήρα, χωρητικότητας, επίσης, 4.000m^3 , όπου παραμένουν για ακόμη 60 ημέρες αποδίδοντας και το υπόλοιπο 35-40% του βιοαερίου.

Το παραγόμενο βιοαέριο μέσω συστήματος σωληνώσεων οδηγείται στο συγκρότημα αφύγρανσης και αποθείωσης και στη συνέχεια τροφοδοτεί μια μηχανή συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού η οποία παρέχει το ηλεκτρικό ρεύμα (998kW ανά ώρα) που διατίθεται στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, καθώς και θερμική ενέργεια (1064kW ανά ώρα) σε μορφή ζεστού νερού στους 95°C που αξιοποιείται στις λειτουργίες της μονάδας.



Εικόνα 13.: Βιοαέριο Λαγκαδά Α.Ε

Πηγή: <https://www.biogaslagada.gr/>

- **Βιοαέριο Αφοί Σεΐτη Α.Ε**

Πρόκειται για την λειτουργία μονάδας παραγωγής και εκμετάλλευσης βιοαερίου με σκοπό την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η μονάδα βρίσκεται στο Αργυροπούλι Λάρισας ξεκίνησε την λειτουργία της το 2016. Η παραγωγή βιοαερίου γίνεται μέσω αναερόβιας χώνευσης μη επικίνδυνων οργανικών αποβλήτων, ενσπρώματος, διάφορων καλλιεργειών και γλυκερίνης.

Τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας είναι τα εξής:

- Παραλαβή , προσωρινή αποθήκευση και προετοιμασία των πρώτων υλών
- Αναερόβια συγχώνευση των οργανικών αποβλήτων και του ενσιρώματος και παραγωγή βιοαερίου
- Διαχείριση βιοαερίου (καθαρισμός, έλεγχος ποιότητας, προσωρινή αποθήκευση)
- Αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου (κινητήρας ανάφλεξης αερίου με σπινθήρα για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας)
- Επεξεργασία, προσωρινή αποθήκευση και διάθεση χωνεμένου υπολείμματος
- Έλεγχος της συνολικής διεργασίας.

Κάποιες από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγική διαδικασία του βιοαερίου είναι η κοπριά χοίρων, βοοειδών και πτηνών, κατσίγαρος, υπολείμματα πατάτας, λάσπη τηγανέλαιων , τυρόγαλα και γλυκερίνη.

Σύμφωνα με την υπ’ αριθμόν 250/16058/ΠΕ2016 Α.Ε.Π.Ο., εκτιμάται ότι στην μονάδα θα παράγεται 8.859.500 Nm³βιοαερίου ανά έτος με την προϋπόθεση ότι το ωράριο λειτουργίας είναι 360 μέρες το χρόνο. Από την καύση του βιοαερίου υπολογίζεται ότι θα παράγονται 7.499.520 kWh/έτος ηλεκτρικής ενέργειας και 9.060.257 kWh/έτος θερμικής ενέργειας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα διοχετεύεται στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ Ε.Ε

Το νομοθετικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις μονάδες βιοαερίου βασίζεται σε πολυεπίπεδη ρύθμιση κα διαμορφώνεται από μία σειρά οδηγιών με στόχο την κυκλική οικονομία, την μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου, την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και την διασφάλιση προσιτών ενεργειακών τιμών . Ακολουθούν κάποιοι κύριοι Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί και Οδηγίες.

- Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (REDII -2018/2001)

Η RED II καθορίζει δεσμευτικούς στόχους για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, με στόχο το 32% της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. μέχρι το 2030. Η οδηγία εισάγει επίσης κριτήρια βιωσιμότητας, απαιτώντας μείωση εκπομπών CO₂ κατά 65%-80% σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Παράλληλα η επικαιροποιημένη οδηγία REDIII αυξάνει το δεσμευτικό στόχο για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα της ΕΕ ως το 2030, στο 42,5% της τελικής ενεργειακής ζήτησης, από 32%. Προβλέπει επίσης ως εθελοντικό στόχο για τα κράτη- μέλη ένα επιπλέον 2,5% από τον δεσμευτικό στόχο, που σημαίνει ότι εν δυνάμει κάποιες χώρες θα μπορούσαν να επιτύχουν διείσδυση ΑΠΕ στο 45%.

- Οδηγία Αποβλήτων (Waste Framework Directive – 2008/98/EC)

Ενθαρρύνει την ανακύκλωση οργανικών αποβλήτων μέσω ανακύκλωσης (π.χ. σε μονάδες βιοαερίου).

- Κανονισμός για τις Βιομηχανικές Εκπομπές (IED – 2010/75/EU)

Ρυθμίζει τις εκπομπές από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων μεγάλων μονάδων βιοαερίου.

- Ευρωπαϊκό Πράσινο Δελτίο (European Green Deal)

Εστιάζει στην αποκαρβονικοποίηση και τη χρήση βιοαερίου ως εναλλακτικής ενέργειας, με στόχο την ουδετερότητα κλίματος έως το 2050.

- Κανονισμός για τη Χρηματοδότηση των Διευρωπαϊκών Δικτύων Ενέργειας (TEN-E Regulation)

Διευκολύνει επενδύσεις σε υποδομές για το βιοαέριο και το ανανεώσιμο αέριο γενικά.

Σε εθνική εφαρμογή κάθε κράτος μέλος αναπτύσσει εθνικά σχέδια ενέργειας και κλίματος (NECPs), προσαρμόζοντας τους ευρωπαϊκούς στόχους. Για παράδειγμα, η Γερμανία και η Δανία έχουν ισχυρά κίνητρα για βιοαέριο. Συγκεκριμένα η Δανία επενδύει σε έρευνα και καινοτομία καθώς από εκεί προέρχονται δύο τεχνολογικοί γίγαντες που αναπτύσσουν προηγμένες τεχνολογίες βιοαερίου που είναι η Novozymes και Haldor Topsøe καθώς επίσης δίνει και φορολογικά κίνητρα σε αγρότες που επενδύουν σε βιοαντλίες. Από την άλλη η Γερμανία έχει στόχο να εγκαταλείψει τα ορυκτά καύσιμα και τα πυρηνικά εργοστάσια, με έμφαση στις ΑΠΕ και επίσης από το 2000 η Γερμανία παρέχει εγγυημένες τιμές αγοράς (feed-in tariffs) για παραγωγούς βιοαερίου.

4.4 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο που να σχετίζεται με το βιοαέριο. Λόγω όμως της προσαρμογής του στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εντάσσεται στο αντίστοιχο πλαίσιο για να αξιοποιηθεί η λειτουργία του. Το Συνταγματικό Δίκαιο στην Ελλάδα περιλαμβάνει ένα σύνολο διατάξεων αναφορικά με την ενέργεια και τις Α.Π.Ε ειδικότερα (Παυλόπουλος, 2020, Κωτσοπούλου & Αθανασοπούλου, 2021). Το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο για τις Α.Π.Ε περιγράφεται στην συνέχεια:

- Νόμος 3423/2005 (ΦΕΚ 304/Α/05) «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των βιοκαυσίμων και άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων». Με το νόμο αυτό υφίσταται η ένταξη της οδηγίας 2003/30/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο για προώθηση βιοκαυσίμων στην παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε.
- Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ 129/Α/06) «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις». Ο συγκεκριμένος νόμος τοποθετεί νέες

διοικητικές διαδικασίες για την προώθηση των Α.Π.Ε έχοντας ως κύριο μέλημα την απλοποίηση των αδειοδοτήσεων και θέτει νέο σύστημα θέσπισης τιμολόγησης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

- Νόμος 3851/2010 (ΦΕΚ 85/Α/2010) «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής». Τρία από τα βασικά σημεία του νόμου είναι ότι η ΡΑΕ χορηγεί τις άδειες παραγωγής και δεν απαιτείται η χορήγηση άδειας παραγωγής για έργα βιομάζας μέχρι 1 MW, αιολικών μέχρι 100MWκ.α. Τέλος υπογράφηκε ο νέος Κανονισμός αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε και μέσω Σ.Η.Θ.Υ.Α (Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης).
- Νόμος 4414/2016 (ΦΕΚ Α' 149) «Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης – Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις». Στόχος του νόμου είναι η ανάπτυξη νέου καθεστώτος στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε και από Σ.Η.Θ.Υ.Α.
- Νόμος 4710/2020 (ΦΕΚ Α' 142) «Προώθηση της ηλεκτροκίνησης και άλλες διατάξεις». Με το άρθρο 47 γίνεται αναφορά στην «Συμμετοχή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε και Σ.Η.Θ.Υ.Α που έχουν συνάψει Σ.Ε.Δ.Π στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας Τροποποίηση του άρθρου 5 του Ν.4414/2016»

Το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος (Ε.Σ.Ε.Κ) που εγκρίθηκε με την Απόφαση 4/2019 (ΦΕΚ Β' 4893), είναι το βασικό εργαλείο πολιτικής για την ενεργειακή και κλιματική δράση της Ελλάδας. Παρουσιάζει:

Βραχυπρόθεσμους στόχους (2030): Αύξηση των ΑΠΕ, μείωση εκπομπών, ενεργειακή απόδοση.

Μακροπρόθεσμη στρατηγική (2050): Μετάβαση σε οικονομία μηδενικών εκπομπών, σε συνεργασία με την ΕΕ.

Αρμόδια υπηρεσία για την χορήγηση άδειας παραγωγής βιοαερίου είναι η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε) και εν συντομία η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

- ΣΤΑΔΙΟ 1: Χορήγηση βεβαίωσης παραγωγού ή Άδεια παραγωγής με αρμόδια υπηρεσία την Ρ.Α.Ε.

- ΣΤΑΔΙΟ 2: Χορήγηση Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων με αρμόδιες Υπηρεσίες την Αποκεντρωμένη Διοίκηση ή την Περιφέρεια που ανήκει το έργο ή το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠ.ΕΝ).
- ΣΤΑΔΙΟ 3: Χορήγηση Οριστικής Προσφοράς Σύνδεσης. Αρμόδια Υπηρεσία Α.Δ.Μ.Η.Ε./Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.
- ΣΤΑΔΙΟ 4: Χορήγηση Άδειας Εγκατάστασης. Αρμόδια υπηρεσία και πάλι η Αποκεντρωμένη Διοίκηση ή την Περιφέρεια που ανήκει το έργο ή το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠ.ΕΝ.).
- ΣΤΑΔΙΟ 5: Πώληση Ηλεκτρικής Ενέργειας/ Συμμετοχή στην αγορά. Εδώ ακολουθείται η διαδικασία σύναψης σύμβασης με ΔΑΠΠΕΠ/ΔΕΔΔΗΕ.
- ΣΤΑΔΙΟ 6: Χορήγηση Άδειας Λειτουργίας. Αρμόδια Υπηρεσία η Αποκεντρωμένη Διοίκηση ή την Περιφέρεια που ανήκει το έργο ή το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠ.ΕΝ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΡΙΤΗΡΙΑ E.S.G.

5.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΤΙ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΤΟ E.S.G.

Το 2004, η πρωτοβουλία «**WhoCaresWins**», που εγκρίθηκε από το Παγκόσμιο Σύμφωνο των Ηνωμένων Εθνών (UNGC), εισήγαγε τις Αρχές E.S.G. (Περιβάλλον, Κοινωνία και Διακυβέρνηση), οι οποίες έχουν γίνει βασικά σημεία αναφοράς για την αξιολόγηση της αφοσίωσης των οργανισμών στη βιώσιμη ανάπτυξη, την κοινωνική υπευθυνότητα και τις αποτελεσματικές πρακτικές της εταιρικής διακυβέρνησης. Πρόκειται στην ουσία για ένα σύνολο αρχών οι οποίες ρυθμίζουν την λειτουργία μιας επιχείρησης (Ζαφειρόπουλος, 2024). Αυτές οι αρχές υπαγορεύουν ότι οι επιχειρήσεις πρέπει να δημιουργήσουν διαδικασίες που ενισχύουν την εταιρική διακυβέρνηση, μετριάζοντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων τους και ενθαρρύνοντας την κοινωνική ανάπτυξη (Freitas, 2021). Το 2015, το Ινστιτούτο Εταιρικής Διακυβέρνησης της Βραζιλίας εισήγαγε τον Κώδικα Βέλτιστων Πρακτικών Εταιρικής Διακυβέρνησης, ο οποίος υπογραμμίζει την ανάγκη συμπερίληψης όλων των ενδιαφερομένων και αντιμετώπισης κοινωνικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων εντός του οργανωτικού πλαισίου, αναγνωρίζοντας έτσι τον ουσιαστικό ρόλο της εταιρικής διακυβέρνησης στην προώθηση του βέλτιστου περιβαλλοντικού σχεδιασμού και των κοινωνικών πρακτικών (Blanchet, 2021).

Παρόλο που το πλαίσιο E.S.G. (Environmental, Social, Governance) δεν αποτελεί καινοφανές σχέδιο, η πανδημία COVID-19 συνέβαλε καθοριστικά στην άνοδο της σημασίας του. Σύμφωνα με σύγχρονες έρευνες, οι επενδυτές δίνουν αυξανόμενη προτεραιότητα σε κριτήρια E.S.G. κατά την αξιολόγηση επενδυτικών ευκαιριών. Παράλληλα, εμπειρικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι οι εταιρείες με εφαρμοσμένες πρακτικές E.S.G. καταγράφουν υψηλότερες οικονομικές αποδόσεις σε σύγκριση με αυτές που τις αγνοούν.

Αυτό οφείλεται εν μέρει στην αυξανόμενη κοινωνική ευαισθητοποίηση, με τους καταναλωτές να προτιμούν οικολογικά προϊόντα, βιώσιμες υπηρεσίες και παραγωγικές διαδικασίες χαμηλής περιβαλλοντικής επίπτωσης. Παράλληλα, η ακαδημαϊκή κοινότητα εστιάζει όλο και περισσότερο στην ανάγκη εφαρμογής ηθικών επιχειρηματικών μοντέλων, ενώ αναδεικνύει τον ρόλο της εσωτερικής τεχνολογικής καινοτομίας ως καταλυτικού παράγοντα για την ανάπτυξη πράσινων λύσεων. Αυτές οι λύσεις στοχεύουν στην εξυγίανση των βιομηχανικών διαδικασιών και στην ελαχιστοποίηση της αρνητικής τους περιβαλλοντικής υπογραφής.

Η έρευνα για την εφαρμογή των αρχών E.S.G. έχει επικεντρωθεί κυρίως στην εφαρμογή τους σε ιδιωτικούς φορείς με στόχο να συμμορφωθούν με μια προϋπάρχουσα τάση στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Σημαντικοί επενδυτές, συμπεριλαμβανομένων των συνταξιοδοτικών ταμείων και των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, έχουν αρχίσει να επιμένουν στην ενσωμάτωση των παραμέτρων του E.S.G στις επενδυτικές επιλογές, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο ένα ευνοϊκό θεσμικό περιβάλλον για ηθικές επενδύσεις σε πολλούς κλάδους (Augusto & Petiz, 2020).

Η αυξανόμενη σημασία των πρακτικών E.S.G. αντικατοπτρίζεται της σπουδαιότητα του ρόλου τους, δηλαδή την στρατολόγηση των επενδυτών αλλά και την χρήση τους ως σημείο αναφοράς ή πιστοποίησης με στόχο την προώθηση υγιών εταιρικών πρακτικών. Το γεγονός αυτό επιδρά τόσο στις επενδυτικές αποφάσεις και στις συνεργασίες όσο και στη συμπεριφορά των καταναλωτών (Blanchet, 2021). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ελέγχου κάνοντας χρήση των πρακτικών E.S.G., αποτελούν οι ΗΠΑ, όπου κάποιες ανεξάρτητες ελεγκτικές εταιρείες της έχουν αρχίσει να ενσωματώνουν σημαντικά ζητήματα που αφορούν τον έλεγχο πρακτικών E.S.G.στις εκθέσεις τους, καθιστώντας τις ως ένα ζωτικό στοιχείο για την αξιολόγηση της επιχειρηματικής απόδοσης (Freitas, 2021).

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί πως οι δραστηριότητες E.S.G. ενδέχεται να επηρεάσουν τις επενδυτικές επιλογές καθώς επίσης και την κατανομή των επιδοτήσεων αλλά και της χρηματοδότησης με βάση την αξιολόγηση των εταιρικών πρακτικών. Για τον λόγο αυτό, χρίζεται επιτακτικής ανάγκης ο περαιτέρω έλεγχος των δραστηριοτήτων E.S.G. από την κυβέρνηση (Freitas, 2021). Πιο συγκεκριμένα, η αγορά μέσω της προοδευτικής ενσωμάτωσης διαφόρων κοινωνικών και, περιβαλλοντικών ηθικών και αξιών διακυβέρνησης, χρησιμοποιώντας τα ως μέτρα του σκοπού ενός οργανισμού, επιτυγχάνει την περαιτέρω αξιολόγηση της αξίας των οργανισμών, συμπληρωματική με τις χρησιμοποιούμενες συμβατικές οικονομικές μετρήσεις (Blanchet, 2021· Augusto & Petiz, 2020).

Τη δεκαετία του '90, η Κοινωνική Ευθύνη των Επιχειρήσεων (Corporate Social Responsibility-CSR) κέρδισε έδαφος, καθώς οι εταιρείες συνειδητοποίησαν ότι οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές πρακτικές επηρέαζαν τόσο τη δημόσια εικόνα τους όσο και την οικονομική τους απόδοση (Mackey, 2005). Με τη στροφή του 21ου αιώνα, οι επενδυτές άρχισαν να επιδιώκουν βιώσιμες επενδύσεις, ισορροπώντας κέρδη με θετικές κοινωνικο-περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Σήμερα, τα E.S.G. κριτήρια (Περιβάλλον, Κοινωνία, Διακυβέρνηση) έχουν καθιερωθεί ως βασικό εργαλείο αξιολόγησης τόσο για επενδυτές όσο και για εταιρείες. Ταυτόχρονα, έχουν αναπτυχθεί πρότυπα και πιστοποιήσεις που μετρούν συστηματικά την απόδοση των οργανισμών σε αυτούς τους τομείς, αντανακλώντας την αυξανόμενη ζήτηση για διαφάνεια και υπευθυνότητα.

5.2 ΟΙ ΑΡΧΕΣ E.S.G.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, οι αρχές E.S.G. αποτελούν ένα σύγχρονο πλαίσιο με τάσεις αύξησης κατά τα τελευταία χρόνια. Αποτελούν ουσιαστικά κριτήρια για την αξιολόγηση των βιώσιμων επενδύσεων και αποσκοπούν στην βιώσιμη ανάπτυξη και στην προώθηση μιας πιο υπεύθυνης επιχειρηματικής δράσης (Ungaretti, 2020). Τα κριτήρια του E.S.G.εστιάζουν σε τρεις βασικούς άξονες και κυρίως στην περιβαλλοντική υπευθυνότητα, στην θετική κοινωνική επίδραση και στην ηθική και δίκαιη εταιρική διακυβέρνηση. Μέσα από την ορθή εφαρμογή των κριτηρίων αυτών, οι επιχειρήσεις αναπτύσσουν αξίες για την κοινωνία και το περιβάλλον στο πλαίσιο της διαφάνειας, της ηθικής και της βιωσιμότητας.

Η έννοια E.S.G. αντιπροσωπεύει μία ουσιαστική στρατηγική για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και διακυβερνητικών πτυχών στις επενδυτικές αποφάσεις. Ως επενδυτική έννοια που επικεντρώνεται στην αξιολόγηση βιώσιμης ανάπτυξης των εταιριών και οργανισμών, τα τρία θεμελιώδη στοιχεία E.S.G. αποτελούν βασικά σημεία που πρέπει να

λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση των επενδύσεων και την διαδικασία λήψης αποφάσεων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και διακυβερνητικές διαστάσεις μπορεί να έχουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομική απόδοση και σταθερότητα μίας οντότητας, ενός κυρίαρχου κράτους ή ενός ατόμου (Liet.al., 2021).

Όσον αφορά τα Περιβαλλοντικά (Environmental) κριτήρια, στοχεύουν στην κάλυψη ενός μεγάλου φάσματος θεμάτων γύρω από την βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν ζητήματα όπως η επιλογή της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, η ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων μέσω της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης, η αποδοτική χρήση των πόρων και η μείωση των εκπομπών άνθρακα, δηλαδή η ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των επιχειρήσεων. Παράλληλα, εστιάζει στην προστασία του περιβάλλοντος μέσα από την προώθηση και την υιοθέτηση των πρακτικών της κυκλικής οικονομίας. Οι εταιρείες που εφαρμόζουν μια περιβαλλοντικά υπεύθυνη στρατηγική E.S.G. στοχεύουν στη μείωση των λειτουργικών τους επιπτώσεων στο περιβάλλον, βοηθώντας έτσι στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών κριτηρίων στις επιχειρηματικές στρατηγικές προωθεί και την ανάπτυξη για «πράσινων καινοτομιών», δηλαδή συμβάλλει στην δημιουργία πιο φιλικών και βιώσιμων υλικών και προϊόντων. Οι εταιρείες που επενδύουν σε τεχνολογίες που προάγουν την χαμηλότερη εκπομπή ρύπων και σε μεθόδους προώθησης της κυκλικής οικονομίας, έχουν καταφέρει να αποκτήσουν ένα σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα σε μια αγορά, όπου κατά τα τελευταία χρόνια εστιάζει ολοένα και περισσότερο στην σημασία της βιωσιμότητας. Τέλος, η ανάπτυξη συνεργασιών με προμηθευτές που εφαρμόζουν περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές εξασφαλίζει μια πιο «πράσινη» εφοδιαστική αλυσίδα, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική περιβαλλοντική απόδοση της επιχείρησης.

Σύμφωνα με τα Κοινωνικά (Social) κριτήρια, οι εταιρείες δίνουν έμφαση σε θέματα που σχετίζονται με τις εργασιακές σχέσεις, την δημιουργία ενός ασφαλούς και δίκαιου εργασιακού περιβάλλοντος, καθώς επίσης και την ένταξη και προώθηση της διαφορετικότητας. Η ισότητα των δικαιωμάτων όλων των εργαζομένων, η εξάλειψη κάθε μορφής διάκρισης και η δημιουργία ίσων ευκαιριών ανέλιξης για όλους αποτελούν τους βασικούς στόχους των κοινωνικών κριτηρίων του E.S.G.. Για την επίτευξη των στόχων αυτών, οι εταιρείες συμμετέχουν σε διάφορες κοινοτικές πρωτοβουλίες, κοινωνικά προγράμματα και σε δράσεις εταιρικής κοινωνικής ευθύνης, προσφέροντας υποστήριξη στις τοπικές κοινότητες και καλλιεργώντας μια ευνοϊκή φήμη και ενισχύουν τη σύνδεσή τους με τις περιοχές όπου δραστηριοποιούνται. Παράλληλα, οι εταιρείες όπου εφαρμόζουν τις στρατηγικές του E.S.G. και πιο συγκεκριμένα στις πρακτικές που επικεντρώνονται στην προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, τόσο στην εσωτερική λειτουργία τους όσο και στην εφοδιαστική αλυσίδα τους, διασφαλίζουν πως και οι συνεργάτες – προμηθευτές τους θα τηρούν και θα προωθούν τις ίδιες αξίες και πρακτικές. Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν στην συλλογική προώθηση και δημιουργία ενός εργασιακού περιβάλλοντος κοινωνικής υπευθυνότητας.

Το τελευταίο κριτήριο που περιλαμβάνεται στο E.S.G. είναι αυτό της Διακυβέρνησης (Governance). Το κριτήριο αυτό αφορά το εσωτερικό πλαίσιο λειτουργίας των οργανισμών και κατέχει σημαντικό ρόλο στο πλαίσιο της διαφάνειας, της λογοδοσίας αλλά και της ηθικής συμπεριφοράς. Κύρια θεμέλια του κριτηρίου της διακυβέρνησης είναι η ανεξαρτησία του διοικητικού συμβουλίου, η εκπροσώπηση των διαφορετικών απόψεων και η ύπαρξη μελών με ποικίλα προσόντα και εμπειρία. Επιπλέον, βασικό ρόλο στο κριτήριο κατέχει και η οργάνωση και λειτουργία διαφόρων επιτροπών όπως είναι η επιτροπή ελέγχου, η επιτροπή των αμοιβών και η επιτροπή της εταιρικής διακυβέρνησης. Μέσα από τις επιτροπές αυτές διασφαλίζεται ένας ορθός και πλήρης έλεγχος θέτοντας τις βάσεις για λήψη αντικειμενικότερων αποφάσεων. Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας της αποτελεσματικής διακυβέρνησης αποτελεί και η καθιέρωση πιο δίκαιων πρακτικών αμοιβών τόσο για τα στελέχη όσο και για τα μέλη του διοικητικού συμβουλίου. Η διαφορετικά που παρατηρείται μέσα σε ένα διοικητικό συμβούλιο προωθεί την δημιουργικότητα και την καινοτομία στις στρατηγικές αποφάσεις. Όλα όσα ειπώθηκαν παραπάνω ως προς την δημιουργία μια ισχυρότερης εταιρικής διακυβέρνησης συμβάλλουν στην ενίσχυση της διαφάνειας, της ηθικής συμπεριφοράς και της τήρησης της νομοθεσίας (Tafla, 2021).

Η ορθή εφαρμογή των κριτηρίων του E.S.G., που αποτελεί μια επένδυση που στηρίζεται στην υπευθυνότητα, σημειώνει μια θεμελιώδη μέθοδο και πρακτική για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών παραγόντων αλλά και παραγόντων διακυβέρνησης, τόσο στις επενδυτικές αποφάσεις όσο και στη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων. Αυτά τα κριτήρια χρησιμοποιούνται ευρέως ως σημείο αναφοράς από τους επενδυτές, διευκολύνοντας την αξιολόγηση της εταιρικής συμπεριφοράς και της μελλοντικής οικονομικής απόδοσης των οργανισμών. Η επενδυτική ιδέα που επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της βιώσιμης ανάπτυξης των επιχειρήσεων βασίζεται στα τρία βασικά στοιχεία του E.S.G., τα οποία είναι κρίσιμοι παράγοντες στην ανάλυση των επενδύσεων και στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Οι περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί και οι παράγοντες διακυβέρνησης μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την οικονομική απόδοση και τη σταθερότητα μιας επιχείρησης, ενός κράτους ή ενός ατόμου, αποφέροντας τόσο θετικά όσο και αρνητικά αποτελέσματα (Liet.al., 2021). Με λίγα λόγια, η επιτυχής εφαρμογή των αρχών E.S.G. απαιτεί την ανάπτυξη μιας κατάλληλης οργανωτικής δομής, τη διαμόρφωση διαδικασιών λήψης αποφάσεων που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες απαιτήσεις, τη διαθεσιμότητα ικανού προσωπικού και μια κουλτούρα που ενσωματώνει την εταιρική διακυβέρνηση ως βασική αξία.

5.3 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ E.S.G. ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Περισσότερο από το 90% των δημόσιων επενδυτών παγκοσμίως είτε έχουν ήδη υιοθετήσει επενδυτικές στρατηγικές, που λαμβάνουν υπόψη συγκεκριμένους παράγοντες E.S.G. ή βρίσκονται σε διαδικασία ανάπτυξής τους, σύμφωνα με μια έρευνα που διενεργήθηκε από την BNY Mellon και το Official Monetary and Financial Institutions Forum (OMFIF).

Στην Ευρώπη, σύμφωνα με έρευνα της Deloitte, το ενδιαφέρον για τις E.S.G. επενδύσεις είναι πιο έντονο από οπουδήποτε αλλού στον κόσμο και αντιστοιχεί στο τεράστιο ποσό των 14,1 τρισεκατομμυρίων δολαρίων. Στις ΗΠΑ, το ίδιο μέγεθος αντιστοιχεί σε 12

τρισεκατομμύρια δολάρια και εκτιμάται ότι μέχρι το 2025 θα αφορά τα μισά περιουσιακά στοιχεία. Όταν ένα οικοσύστημα αναπτύσσεται τόσο πολύ μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, είναι φυσικό να αναπτύσσονται το ίδιο γρήγορα πολλές λειτουργίες γύρω από αυτό. Αντίστοιχα, πολλές επιχειρήσεις, πρότυπα και οργανισμοί ανταγωνίζονται για ένα κομμάτι της αγοράς στην κάθε λειτουργία.

Επίσης, σε ευρωπαϊκό πλαίσιο, νέοι κανονισμοί όπως:

- Ο Κανονισμός για τη Διαφάνεια στη Βιώσιμη Χρηματοδότηση (SFDR)
- Η Εταιρική Οδηγία Αναφοράς Βιωσιμότητας (CSRD)

αναβαθμίζουν τις απαιτήσεις διαφάνειας, υποχρεώνοντας εταιρείες να δημοσιεύουν λεπτομερείς εκθέσεις βιωσιμότητας με βάση τυποποιημένα πρότυπα. Μάλιστα, περίπου 50.000 μεγάλες εισηγμένες επιχειρήσεις, τράπεζες και ασφαλιστικές με περισσότερους από 500 εργαζόμενους είναι υποχρεωτικό να δημοσιεύσουν αναλυτικές εκθέσεις βιωσιμότητας με βάση συγκεκριμένα πρότυπα για τη χρήση του 2024. Από το 2025 η υποχρέωση επεκτείνεται και σε μικρότερες επιχειρήσεις. Στην Ευρώπη τα κριτήρια E.S.G. συνδέονται άμεσα με την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και αναμένεται να αποκτήσουν στο άμεσο μέλλον ακόμη μεγαλύτερη σημασία και χρηστικότητα. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) είναι μια στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης που στοχεύει να καταστήσει την Ευρώπη την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050. Οι βασικοί στόχοι της περιλαμβάνουν:

- Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030.
- Μετάβαση σε καθαρή ενέργεια και βιώσιμη κινητικότητα.
- Κυκλική οικονομία και περιορισμός ρύπανσης.
- Προστασία βιοποικιλότητας και βιώσιμη γεωργία.
- Κοινωνική δικαιοσύνη και «δίκαιη μετάβαση» για όλους τους πολίτες.

Στην Ελλάδα, όπως διαπιστώνει η έκθεση, η ανταπόκριση στα E.S.G. κριτήρια προχωράει αργά. Ωστόσο, έχουν γίνει και εδώ κάποια βήματα. Στο πλαίσιο και των ευρωπαϊκών κανονισμών, τα ελληνικά συνταξιοδοτικά ταμεία, οι τράπεζες και άλλοι θεσμικοί επενδυτές αρχίζουν να εντάσσουν τα E.S.G. κριτήρια στις στρατηγικές τους. Αντίστοιχα, το 2018 το Χρηματιστήριο Αθηνών εντάχθηκε στην πρωτοβουλία Sustainable Stock Exchanges (SSE) του ΟΗΕ. Έναν χρόνο αργότερα εξέδωσε "Οδηγό Δημοσιοποίησης Πληροφοριών E.S.G." για τις εισηγμένες εταιρείες, ενώ το 2021 ανακοίνωσε τη δημιουργία του νέου δείκτη ATHEX E.S.G., που παρακολουθεί την απόδοση των εισηγμένων που υιοθετούν E.S.G. κριτήρια. Επιπλέον, η Ελληνική Αναπτυξιακή Τράπεζα (HDB) έχει αναπτύξει πλατφόρμα καταγραφής

του E.S.G. αποτυπώματος των επιχειρήσεων. Κάποιες εταιρείες που τηρούν τα κριτήρια εισαγωγής στον δείκτη Athex E.S.G. περιλαμβάνουν τη Coca-Cola, την OTE, την Alpha Bank, τη Eurobank, την Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε, την Εθνική Τράπεζα, την ΓΡ. Σαράντης Α.Ε.Β.Ε, τη JUMBO, την Τράπεζα Πειραιώς, την Titan, τη Motor Oil, η Αεροπορία Αιγαίου Α.Ε (ΑEGEAN) και άλλες. Το 2020 ανατέθηκε στο Εργαστήριο Επενδυτικών Εφαρμογών του ΕΚΠΑ η διενέργεια μελέτης για το βαθμό αναγνώρισης από πλευράς εισηγμένων εταιρειών της E.S.G. τάσης στην βάση των δημοσιευμένων στοιχείων μη χρηματοοικονομικής πληροφόρησης. Επιπρόσθετα, το συγκεκριμένο Εργαστήριο συνέταξε και το Χρηματιστήριο Αθηνών διακίνησε τον Δεκέμβριο του 2020 προς τις εισηγμένες εταιρείες, σχετικό ερωτηματολόγιο για τις E.S.G. δράσεις τους. Από την μελέτη προέκυψε ότι:

- Η πλειονότητα των εταιρειών (μεγάλες και ΜμΕ) κατανοεί τα κριτήρια E.S.G. αλλά μόνο το 1/3 τα εφαρμόζει ενώ πολλές είναι σε διαδικασία ανάπτυξης της στρατηγικής E.S.G..
- Από το σύνολο των εταιρειών, μόνο 29 (κυρίως μεγάλες) δημοσιεύουν σε ξεχωριστή έκθεση τη συμμόρφωσή τους στα κριτήρια E.S.G..
- Υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στην τήρηση των κριτηρίων E.S.G. μεταξύ των εταιρειών τόσο ως προς αυτά που δηλώνουν στο ερωτηματολόγιο όσο και σε αυτά που δημοσιοποιούν στις οικονομικές εκθέσεις.
- Ακόμη, η πλειονότητα των εταιρειών θεωρεί ότι η κλιματική αλλαγή συνοδεύεται από αύξηση του επιχειρηματικού κινδύνου, καθώς και ότι τα κέρδη τους θα επηρεαστούν λίγο ή πολύ θετικά από την εφαρμογή της στρατηγικής E.S.G..

5.3.1 ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΕΣ E.S.G.

Οι βαθμολογίες E.S.G. (Environmental, Social, Governance) εκδίδονται από ειδικευμένους φορείς αξιολόγησης. Ωστόσο, η τρέχουσα διαδικασία βαθμολόγησης χαρακτηρίζεται από υποκειμενικότητα, λόγω της απουσίας ενοποιημένων και καθολικά αποδεκτών κριτηρίων για τη μέτρηση και αξιολόγηση των δεικτών E.S.G.. Παρά αυτή την ασάφεια, τα κριτήρια E.S.G. διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στις χρηματοπιστωτικές αγορές, γεγονός που επιταχύνει την ανάγκη δημιουργίας και εφαρμογής κοινών προτύπων.

Το σύνολο των κριτηρίων E.S.G. οργανώνεται με βάση μια ιεραρχική δομή που περιλαμβάνει τους τρεις βασικούς πυλώνες: Περιβάλλον (Environmental), Κοινωνία (Social) και Διακυβέρνηση (Governance). Οι αξιολογητές εκχωρούν διαφοροποιημένα βάρη σε κάθε πυλώνα, με βάση τον συγκεκριμένο κλάδο δραστηριότητας της εταιρείας που αξιολογείται.

- Η βαθμολογία του περιβαλλοντικού πυλώνα βασίζεται σε τρεις βαθμολογίες:

α) Χρήση πόρων που δείχνει την ικανότητα μιας εταιρείας να μειώσει τη χρήση ενέργειας, νερού, υλικών και να βρουν εναλλακτικές λύσεις που είναι πιο οικολογικά αποδοτικές.

β) Μείωση εκπομπών που μετρά την αποτελεσματικότητα της εταιρείας στη μείωση των περιβαλλοντικών εκπομπών και

γ) Καινοτομία που αντανάκλα την ικανότητα μιας εταιρείας να μειώσει το περιβαλλοντικό κόστος μέσω νέων τεχνολογιών ή προϊόντων οικολογικού σχεδιασμού.

➤ Η βαθμολογία του κοινωνικού πυλώνα λαμβάνει υπόψη τέσσερις βαθμολογίες κατηγορίας:

α) Η βαθμολογία εργατικού δυναμικού αποτελεί μέτρο για την αξιολόγηση της ικανότητας μίας εταιρείας να διασφαλίζει υγιείς και ασφαλείς συνθήκες εργασίας διατηρώντας παράλληλα την ικανοποίηση των εργασιακών ευκαιριών για τους υπαλλήλους της.

β) Ανθρώπινα δικαιώματα που αναφέρονται στα δικαιώματα της εταιρείας, συμμόρφωση με τις συμβάσεις για τα θεμελιώδη ανθρώπινα δικαιώματα.

γ) η κοινοτική βαθμολογία η οποία δείχνει τη δέσμευση της εταιρείας στον σεβασμό της επιχειρηματικής ηθικής και της δημόσιας υγείας και

δ) ευθύνη προϊόντος που αντικατοπτρίζει την ικανότητα μιας εταιρείας να παράγει ποιοτικά αγαθά και ποιοτικές υπηρεσίες.

➤ Η βαθμολογία του πυλώνα διακυβέρνησης συνδυάζει τρεις διαστάσεις:

α) η βαθμολογία διαχείρισης δείχνει την αποτελεσματικότητα ως προς την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών της εταιρικής διακυβέρνησης.

β) η βαθμολογία των Μετόχων, υπογραμμίζει την ίση μεταχείριση των μετόχων, συμπεριλαμβάνοντας την άμυνα κατά την εξαγορά.

5.3.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τον Οδηγό Δημοσιοποίησης Πληροφοριών E.S.G. 2022 του χρηματιστηρίου Αθηνών, οι προτεινόμενοι δείκτες E.S.G. περιλαμβάνουν τους γενικούς δείκτες οι οποίοι σχετίζονται με το σύνολο της οικονομίας και χωρίζονται σε βασικούς και προηγμένους, και τους κλαδικούς δείκτες.

Περιβάλλον	E32	Ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραγόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα
	E33	Συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης
	E34	Πράσινα έσοδα, έρευνα και ανάπτυξη (E&A) και το κεφάλαιο δαπάνες
	E35	Βιώσιμη συσκευασία
	E36	Κίνδυνος αλλαγής του κλίματος
	E37	Φυσικοί κίνδυνοι
	E38	Φυσικό κεφάλαιο
Κοινωνία	S1	Συμμετοχή ενδιαφερόμενων μερών
	S2	Γυναίκες εργαζόμενες
	S3	Γυναίκες εργαζόμενες σε διευθυντικές θέσεις
	S4	Κινητικότητα προσωπικού
	S5	Κατάρτιση εργαζομένων
	S6	Πολιτική ανθρωπίνων δικαιωμάτων
	S7	Συλλογικές συμβάσεις εργασίας
	S8	Λξιολόγηση προμηθευτών
	S9	Βιώσιμη οικονομική δραστηριότητα
	S10	Δαπάνες κατάρτισης εργαζομένων
	S11	Μισθολογική διαφορά μεταξύ των δύο φύλων
	S12	Αναλογία αμοιβής διευθύνοντος συμβούλου – εργαζομένων
	S13	Ποιότητα και ασφάλεια προϊόντων
	S14	Απόρρητο πελατών
	S15	Νομικά αιτήματα για δεδομένα χρηστών
	S16	Παραβιάσεις εργατικού δικαίου
	S17	Πρόστιμα παραβίασης ασφάλειας δεδομένων και απορρήτου
	S18	Επίδοση σε θέματα υγείας και ασφάλειας
	S19	Πρακτικές μάρκετινγκ
	S20	Ικανοποίηση πελατών
	S21	Μηχανισμός διαχείρισης παραπόνων πελατών
	S22	Ενσωμάτωση παραγόντων ESG στις επιχειρηματικές δραστηριότητες
	S23	Υγιεινή και Ασφάλεια
	S24	Ανάπτυξη Ανθρώπινου Κεφαλαίου
	S25	Διαχείριση Εργασίας
	S26	Οικονομική Προστασία των Καταναλωτών
	S27	Απόρρητο & Ασφάλεια Δεδομένων
	S28	Ασφάλεια & Ποιότητα Προϊόντος
	S29	Υπεύθυνη Επένδυση
	S30	Αμφιλεγόμενη προμήθεια
	S31	Πρόσβαση στις Επικοινωνίες
	S32	Πρόσβαση στη χρηματοδότηση
	S33	Πρόσβαση στην Υγεία
	S34	Προώθηση των εργασιακών σχέσεων
	S35	Διαχείριση προσωπικού
	S36	Υπεύθυνη διαχείριση των αναδιαρθρώσεων
	S37	Διαχείριση καριέρας και προώθηση της απασχολησιμότητας
	S38	Συνθήκες εργασίας

	S39	Σεβασμός και διαχείριση του ωραρίου εργασίας
	S40	Σχέσεις με τον καταναλωτή
	S41	Πληροφορίες στους πελάτες
	S42	Υπεύθυνες σχέσεις με τους πελάτες
	S43	Βιώσιμες σχέσεις με προμηθευτές
	S44	Ένταξη κοινωνικών παραγόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα
	S45	Προώθηση της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης
	S46	Επιπτώσεις στην κοινωνία
	S47	Κοινωνικές επιπτώσεις των προϊόντων/υπηρεσιών της εταιρείας
	S48	Φιλανθρωπία
	S49	Ανθρώπινα δικαιώματα στο χώρο εργασίας
	S50	Σεβασμός στην ελευθερία του συνεταιρισμού και το δικαίωμα στις συλλογικές διαπραγματεύσεις
	S51	Μη διάκριση και διαφορετικότητα
	S52	Σεβασμός των προτύπων ανθρωπίνων δικαιωμάτων και πρόληψη παραβιάσεων
	S53	Υπεύθυνο μάρκετινγκ
	S54	Ποιότητα προϊόντος
	S55	Ιδιωτικότητα δεδομένων
	S56	Ποικιλομορφία και ενσωμάτωση
	S57	Επαγγελματική ανάπτυξη και εκπαίδευση
	S58	Κοινωνικό κεφάλαιο
Διακυβέρνηση	G1	Σύνθεση Διοικητικού Συμβουλίου
	G2	Εποπτεία βιώσιμης ανάπτυξης
	G3	Ουσιαστικά θέματα
	G4	Πολιτική βιωσιμότητας
	G5	Πολιτική επιχειρηματικής δεοντολογίας
	G6	Πολιτική ασφάλειας δεδομένων
	G7	Επιχειρηματικό μοντέλο
	G8	Παραβιάσεις επιχειρηματικής δεοντολογίας
	G9	Στόχοι ESG
	G10	Μεταβλητές αμοιβές
	G11	Εξωτερική διασφάλιση
	G12	Πολιτική καταγγελίας δυσλειτουργιών
	G13	Διαχείριση κρίσιμων κινδύνων
	G14	Διαχείριση συστηματικών κινδύνων
	G15	Ιδιοκτησία & Έλεγχος
	G16	Λογιστική
	G17	Επιχειρηματική Ηθική
	G18	Φορολογική Διαφάνεια
	G19	Παράτυπες πρακτικές
	G20	Πρόληψη της διαφθοράς και της νομιμοποίησης εσόδων από παράνομες δραστηριότητες
	G21	Πρόληψη ανταγωνιστικών πρακτικών
	G22	Διαφάνεια, ακεραιότητα των στρατηγικών και πρακτικών επιρροής
	G23	Έλεγχος και Εσωτερικοί έλεγχοι
	G24	Μέτοχοι

G25	Αμοιβές στελεχών
G26	Οικονομική στρατηγική και διαχείριση κινδύνων
G27	Αξιοπιστία της διοίκησης και ιστορικό
G28	Οργανωτική δομή
G29	Συμμόρφωση και υποβολή εκθέσεων
G30	Δομή και πολιτικές του διοικητικού συμβουλίου
G31	Στρατηγική CSR
G32	Αποζημίωση
G33	Δικαιώματα μετόχων
G34	Άμυνας εξαγοράς

Πίνακας 3: Δείκτες E.S.G

Πηγή: <https://www.athexgroup.gr/el/more-options/E.S.G./reporting-guide>

5.3.3 ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ E.S.G.

Το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τα E.S.G. (Περιβαλλοντικά, Κοινωνικά και Διακυβέρνησης κριτήρια) εξελίσσεται διαρκώς σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, κομβικό ρόλο διαδραματίζει ο Κανονισμός Ταξινόμησης της ΕΕ (EU Taxonomy), ο οποίος θεσπίζει ένα κοινό σύστημα ταξινόμησης για τον προσδιορισμό βιώσιμων οικονομικών δραστηριοτήτων. Η Οδηγία 2013/34/ΕΕ αποτέλεσε την αρχική βάση για την δημοσίευση χρηματοοικονομικών και μη χρηματοοικονομικών πληροφοριών από επιχειρήσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Με την μεταρρύθμιση που επήλθε το 2022 μέσω της οδηγίας (ΕΕ) 2022/2464, γνωστή και ως Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) έγινε εισαγωγή ενός νέου καθεστώτος ενισχυμένης διαφάνειας για θέματα βιωσιμότητας. Παράλληλα, ο Κανονισμός για τη Γνωστοποίηση Βιώσιμων Χρηματοδοτήσεων (SFDR) και η Οδηγία Εταιρικής Βιωσιμότητας (CSRD) ενισχύουν τη διαφάνεια και τη λογοδοσία των επιχειρήσεων. Η CSRD επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής της αρχικής οδηγίας καθιστώντας υποχρεωτική την αναφορά E.S.G. για:

- ✓ Μικρές επιχειρήσεις με ισολογισμό (5 εκατομμύρια ευρώ, ή μέχρι και 7,5 εκατομμύρια ευρώ κατά τη διακριτική ευχέρεια του κράτους μέλους), καθαρό ύψος κύκλου εργασιών (10 εκατομμύρια ευρώ, ή μέχρι και 15 εκατομμύρια ευρώ), εργαζόμενοι (50).
- ✓ Μεσαίες επιχειρήσεις με ισολογισμό (25 εκατομμύρια ευρώ), καθαρό ύψος κύκλου εργασιών (50 εκατομμύρια ευρώ), εργαζόμενοι (250).
- ✓ Μεγάλες επιχειρήσεις που υπερβαίνουν τουλάχιστον δύο από τα τρία ακόλουθα κριτήρια: ισολογισμός (25 εκατομμύρια ευρώ), καθαρό ύψος κύκλου εργασιών (50 εκατομμύρια ευρώ), εργαζόμενοι (250).

Το 2026 οι υποχρεώσεις επεκτείνονται και μικρομεσαίες επιχειρήσεις, μη εισηγμένες στο χρηματιστήριο, να παρέχουν πληροφορίες μέσω σταδιακής εφαρμογής. Η CSRD καθιστά υποχρεωτικό από τις επιχειρήσεις να παρέχουν πληροφορίες για τις επιπτώσεις, τους

κινδύνους και τις ευκαιρίες που σχετίζονται με περιβαλλοντικά, κοινωνικά και θέματα διακυβέρνησης, χρησιμοποιώντας κοινά πρότυπα αναφοράς.

Για την υλοποίηση της CSRD, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέπτυξε τα European Sustainability Reporting Standards (ESRS) τα οποία αποτελούν το θεσμοθετημένο πλαίσιο αναφοράς για την δημοσίευση στοιχείων E.S.G. και εφαρμόζονται υποχρεωτικά από τις επιχειρήσεις που υπάγονται στην CSRD όπως αναφερθήκαμε παραπάνω.

Τα πρότυπα ESRS χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

A) Οριζόντια πρότυπα

B) Θεματικά πρότυπα (περιβαλλοντικά, κοινωνικά και σχετικά με διακυβέρνηση πρότυπα)

Γ) Ειδικά τομεακά πρότυπα

Τα οριζόντια πρότυπα πλαισιώνονται από το ESRS 1, γενικές απαιτήσεις και από το ESRS 2, γενικές γνωστοποιήσεις και εφαρμόζονται στα θέματα βιωσιμότητας που καλύπτονται από θεματικά και ειδικά τομεακά πρότυπα. Συγκεκριμένα το ESRS 1 περιγράφει την αρχιτεκτονική των προτύπων ESRS, εξηγεί τις συμβάσεις σύνταξης και τις θεμελιώδεις έννοιες και καθορίζει γενικές απαιτήσεις για την κατάρτιση και παρουσίαση πληροφοριών σχετικά με την βιωσιμότητα. Το ESRS 2 θεσπίζει απαιτήσεις γνωστοποίησης σχετικά με τις πληροφορίες που παρέχει η επιχείρηση σε γενικό επίπεδο για όλα τα σημαντικά θέματα βιωσιμότητας σχετικά με την διακυβέρνηση των τομέων υποβολής εκθέσεων, την στρατηγική, τον αντίκτυπο, την διαχείριση κινδύνων και ευκαιριών καθώς και τους δείκτες μέτρησης και τους στόχους.

Τα θεματικά πρότυπα καλύπτουν ένα θέμα βιωσιμότητας και διαρθρώνονται σε θέματα και υποθέματα και κατά περίπτωση σε επιμέρους θέματα.

Τα ειδικά τομεακά πρότυπα εφαρμόζονται σε όλες τις επιχειρήσεις ενός τομέα. Καλύπτουν τις επιπτώσεις, τους κινδύνους και τις ευκαιρίες που είναι πιθανό να είναι σημαντικά για όλες τις επιχειρήσεις ενός συγκεκριμένου τομέα και που δεν καλύπτονται επαρκώς από θεματικά πρότυπα.

Η περίοδος αναφοράς για τη δήλωση βιωσιμότητας της επιχείρησης είναι συνεπής με εκείνη των οικονομικών της καταστάσεων.

Σε εθνικό επίπεδο, τα κράτη μέλη ενσωματώνουν τις ευρωπαϊκές ρυθμίσεις στο δικό τους θεσμικό πλαίσιο, διαμορφώνοντας επιπλέον κανόνες και κίνητρα για την ενίσχυση της βιώσιμης ανάπτυξης. Παγκοσμίως, πρωτοβουλίες όπως οι κατευθυντήριες αρχές του ΟΗΕ και τα πρότυπα του ISSB ενισχύουν τη σύγκλιση των E.S.G. πλαισίων. Το πλαίσιο αυτό καθίσταται όλο και πιο δεσμευτικό, επιδρώντας ουσιαστικά στις στρατηγικές των επιχειρήσεων και στις επενδυτικές αποφάσεις.

Η Ταξινόμηση της ΕΕ αποτελεί ένα επιστημονικά τεκμηριωμένο σύστημα ταξινόμησης που καθορίζει ποιες οικονομικές δραστηριότητες θεωρούνται περιβαλλοντικά βιώσιμες, με στόχο την ενίσχυση της πράσινης χρηματοδότησης. Βασίζεται σε έξι περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η βιώσιμη χρήση υδάτινων πόρων και η

κυκλική οικονομία. Για να ενταχθεί μια δραστηριότητα στην Ταξινόμια, πρέπει να συμβάλλει ουσιαστικά σε έναν από αυτούς τους στόχους, χωρίς να προκαλεί σημαντική βλάβη στους υπόλοιπους ("Do No Significant Harm"), και να συμμορφώνεται με ελάχιστες κοινωνικές εγγυήσεις. Η εφαρμογή της δημιουργεί ένα κοινό λεξιλόγιο για επενδυτές, επιχειρήσεις και κυβερνήσεις, μειώνοντας το φαινόμενο του "πράσινου ξεπλύματος" (greenwashing) και ενισχύοντας τη διαφάνεια στις αγορές. Ειδικά στον τομέα της ενέργειας, η Ταξινόμια επηρεάζει άμεσα τον χαρακτηρισμό επενδύσεων ως «πράσινων», επηρεάζοντας τις στρατηγικές και τις χρηματοδοτικές ροές στον κλάδο.

Στον τομέα της ενέργειας, και ειδικότερα στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών όπως το βιοαέριο, το ρυθμιστικό πλαίσιο των E.S.G. αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Η Ταξινόμια της ΕΕ περιλαμβάνει αυστηρά κριτήρια για να χαρακτηριστεί μια ενεργειακή δραστηριότητα ως περιβαλλοντικά βιώσιμη, όπως είναι η σημαντική συμβολή στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η παραγωγή και χρήση βιοαερίου μπορεί να πληροί αυτές τις προϋποθέσεις, εφόσον βασίζεται σε βιώσιμες πρώτες ύλες και συμμορφώνεται με τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και κυκλικής οικονομίας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση E.S.G. παραμέτρων αποτελεί πλέον προαπαιτούμενο για την πρόσβαση σε χρηματοδοτήσεις μέσω "πράσινων" επενδυτικών εργαλείων και ταμείων. Έτσι, οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή βιοαερίου καλούνται όχι μόνο να συμμορφώνονται με τις ρυθμίσεις, αλλά και να αποδεικνύουν την κοινωνική και περιβαλλοντική αξία της λειτουργίας τους, ενισχύοντας τη θέση τους στη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης. Στην Ελλάδα, το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο που αφορά τα κριτήρια E.S.G. βρίσκεται σε φάση ταχείας ανάπτυξης, κυρίως λόγω της εναρμόνισης με τις ευρωπαϊκές οδηγίες και κανονισμούς. Η χώρα έχει ενσωματώσει βασικές διατάξεις του Κανονισμού SFDR (Sustainable Finance Disclosure Regulation) και της Οδηγίας CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive), η οποία αντικαθιστά σταδιακά την παλαιότερη μη χρηματοοικονομική οδηγία (NFRD). Σύμφωνα με τη CSRD, όλο και περισσότερες ελληνικές επιχειρήσεις –ιδίως εισηγμένες και μεγάλες– υποχρεούνται να δημοσιοποιούν εκθέσεις βιωσιμότητας, ακολουθώντας τα ευρωπαϊκά πρότυπα (ESRS). Παράλληλα, η Αρχή Κεφαλαιαγοράς έχει εκδώσει οδηγίες για την ενσωμάτωση E.S.G. παραμέτρων στη λειτουργία θεσμικών επενδυτών και εταιρειών διαχείρισης κεφαλαίων. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας προωθεί πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης που συνδέονται με τα E.S.G., ειδικά στον ενεργειακό τομέα, ενώ οι ελληνικές τράπεζες αρχίζουν να ενσωματώνουν E.S.G. κριτήρια στις διαδικασίες χρηματοδότησης. Αν και η εφαρμογή βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, η τάση είναι σαφής: οι ελληνικές επιχειρήσεις και επενδυτές καλούνται να ευθυγραμμιστούν με το ενιαίο ευρωπαϊκό E.S.G. πλαίσιο.

5.4 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.

5.4.1 ΟΦΕΛΗ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.

- ΑΥΞΗΣΗ ΕΤΑΙΡΙΚΗΣ ΦΗΜΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΛΚΥΣΗ ΝΕΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

Ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη που προκαλούνται από την υιοθέτηση των αρχών του E.S.G. από τις επιχειρήσεις είναι η αύξηση της εταιρικής τους φήμης. Πιο αναλυτικά, η υιοθέτηση πρακτικών που στόχο έχουν την υπευθυνότητα απέναντι στους τομείς όπως είναι το περιβάλλον, η κοινωνία και η διακυβέρνηση, έχει δείξει πως μπορεί να ενισχύσει σε μεγάλο βαθμό την συνολική εικόνα μια επιχείρησης. Η προσήλωση σε πρακτικές του E.S.G. δημιουργεί τόσο στους καταναλωτές όσο και στους επενδυτές την εντύπωση πως η επιχείρηση δεν αποσκοπεί μόνο το οικονομικό της κέρδος αλλά κατέχει αίσθημα ευθύνης και για άλλα ζητήματα όπως για παράδειγμα το περιβάλλον. Το γεγονός αυτό τις περισσότερες φορές συνδέεται άμεσα και δημιουργεί και ένα αίσθημα εμπιστοσύνης, ενδυναμώνοντας με αυτόν τον τρόπο την φήμη της εταιρείας. Με λίγα λόγια, οι εταιρείες οι οποίες δρουν με γνώμονα την υπευθυνότητα απέναντι και σε άλλους τομείς θεωρούνται από πολλούς σε μεγάλο βαθμό πιο αξιόπιστες και βιώσιμες, γεγονός που συμβάλλει θετικά και στην προσέλκυση νέων ευκαιριών με πιθανές χρηματοδοτήσεις αλλά και στην αύξηση της προσέλκυσης νέων επενδύσεων. Επομένως, η εφαρμογή των πρακτικών αυτών δεν αποτελεί μόνο μια αρεστή ιδέα από ηθικής πλευράς, αλλά παράλληλα αποτελεί ένα μέσο δημιουργίας σχέσεων εμπιστοσύνης ανάμεσα στους πελάτες και στους εργαζόμενους.

Έρευνα του Παγκόσμιου Ινστιτούτου McKinsey έδειξε ότι οι πελάτες δηλώνουν πρόθυμοι να πληρώσουν για να γίνουν «πράσινοι». Αν και μπορεί να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στην πράξη, συμπεριλαμβανομένων των πελατών που αρνούνται να πληρώσουν ακόμη και 1% περισσότερο, διαπιστώνεται ότι πάνω από το 70% των καταναλωτών που συμμετείχαν σε έρευνα για αγορές σε πολλούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των κατηγοριών αυτοκινήτων, κατασκευών, ηλεκτρονικών ειδών και συσκευασίας, δήλωσαν ότι θα πλήρωναν επιπλέον 5% για ένα πράσινο προϊόν, εάν αυτό πληρούσε τα ίδια πρότυπα επιδόσεων με μια μη πράσινη εναλλακτική λύση. Σε μια άλλη μελέτη, σχεδόν οι μισοί (44%) των εταιρειών που ερευνήσαμε προσδιόρισαν τις επιχειρηματικές και αναπτυξιακές ευκαιρίες ως το έναυσμα για την έναρξη των προγραμμάτων βιωσιμότητάς τους.

Όταν η Unilever ανέπτυξε το Sunlight, μια μάρκα υγρού πλύσης πιάτων που χρησιμοποιούσε πολύ λιγότερο νερό από τις άλλες μάρκες της, οι πωλήσεις του Sunlight και των άλλων προϊόντων εξοικονόμησης νερού της Unilever προχώρησαν να ξεπεράσουν την ανάπτυξη της κατηγορίας κατά περισσότερο από 20% σε μια σειρά από αγορές με έλλειψη νερού. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους. Μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων, η αποτελεσματική εκτέλεση της E.S.G. μπορεί να βοηθήσει στην καταπολέμηση των αυξανόμενων λειτουργικών δαπανών (όπως το κόστος των πρώτων υλών και το πραγματικό κόστος του νερού ή του διοξειδίου του άνθρακα), τα οποία, σύμφωνα με έρευνα της McKinsey, μπορούν να επηρεάσουν τα λειτουργικά κέρδη έως και κατά 60%.

- ΜΕΙΩΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Μια εξίσου σημαντική θετική επίδραση της εφαρμογής των κριτηρίων του E.S.G. αποτελεί και η μείωση του επιχειρηματικού κινδύνου. Συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση περιβαλλοντικά πιο υπεύθυνων πρακτικών, όπως η ορθολογική διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων, οι εταιρείες μειώνουν τον κίνδυνο αντιμετώπισης κυρώσεων είτε από κυβερνητικούς φορείς είτε από την οποιαδήποτε περιβαλλοντική επιβάρυνση προκύψει. Επίσης, προωθώντας αρχές που στηρίζονται στην κοινωνική ευημερία και πιο συγκεκριμένα σε ένα δίκαιο εργασιακό περιβάλλον, μπορούν να αποφύγουν κινδύνους όπως για παράδειγμα διάφορες κοινωνικές αναταραχές ή διαμαρτυρίες που εμποδίζουν την εύρυθμη λειτουργία τους. Τέλος, με γνώμονα την καλή διακυβέρνηση και την διαφάνεια αυτής ελαχιστοποιούν περιπτώσεις κινδύνων που μπορεί να προέλθουν κυρίως από νομικά προβλήματα, διατηρώντας την φήμη τους σε ένα άριστο επίπεδο.

- ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Στο πλαίσιο της εξέλιξης και την τεχνολογικής άνθισης, μέσα από την υιοθέτηση των αρχών του E.S.G., μπορεί να ενισχυθεί σε μεγάλο βαθμό και η ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων αλλά και να εμπλουτίσουν τις διαδικασίες τους έχοντας ως γνώμονα την καινοτομία. Επεξηγηματικότερα, στον τομέα του περιβάλλοντος, η επιχείρηση εφαρμόζοντας αυτές τις μεθόδους μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά θεμέλια ανάπτυξης βιώσιμων προϊόντων και τεχνολογιών, που θα την βοηθήσει να διαφοροποιηθεί από άλλες ενισχύονται και εντείνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανταγωνιστικότητά τους. Επίσης, ως προς την κοινωνία, η υιοθέτηση κοινωνικών πρωτοβουλιών μπορεί να βοηθήσει μια επιχείρηση στην ανάπτυξη νέων λύσεων με στόχο την μεγαλύτερη κάλυψη των αναγκών σε προϊόντα και υπηρεσίες, βελτιώνοντας έτσι τον τρόπο ζωής των πολιτών και συνεπώς την συνολική κοινωνική ευημερία. Τέλος, οι εταιρείες που ενδιαφέρονται για την προστασία και ανάδειξη άλλων τομέων έχει δείξει πως συχνά αναπτύσσουν πιο εύκολα συνεργασίες με άλλους οργανισμούς. Η δημιουργία των συνεργασιών και η μεταφορά ιδεών, λύσεων, τεχνολογίας είναι γνωστό πως επιφέρει γρηγορότερη και καινοτόμα ανάπτυξη για νέες ιδέες, ανάγκες και λύσεις.

- ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΕΡΓΑΤΙΚΗΣ ΗΘΙΚΗΣ

Η υιοθέτηση στρατηγικών E.S.G. μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το εργασιακό περιβάλλον και κυρίως την ηθική μεταξύ των εργασιακών σχέσεων που συνεπάγεται την αύξηση της συνολικής απόδοσης και αποτελεσματικότητας μιας επιχείρησης. Οι εταιρείες που δρουν με γνώμονα την ισότητα μεταξύ των υπαλλήλων, έχουν δείξει πως δημιουργούν πιο βελτιωμένες συνθήκες εργασίας. Η προτεραιότητα στην καλή διακυβέρνηση, στην ασφάλεια και στην ισότητα των εργαζομένων ενισχύει την εργατική ηθική τους, γεγονός που τους παρέχει κίνητρο για την δημιουργία ενός αισθήματος σκοπού και αποστολής των εργαζομένων. Με αυτόν τον τρόπο, οι εργαζόμενοι λαμβάνουν όλα τα απαραίτητα εφόδια γεγονός που τους ωθεί στην επίτευξη ενός μεγαλύτερου σκοπού, δηλαδή στην αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους. Τέλος, η εστίαση σε κοινές αξίες ενδυναμώνει και την

συνεργασία μεταξύ των εργαζομένων, δηλαδή γίνονται πιο συνεργάσιμοι και πρόθυμοι στο να προσφέρουν περισσότερα προς όφελος της επιχείρησης.

- **ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ**

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η υιοθέτηση των πρακτικών του E.S.G. πηγάζει και έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα σε πολλά νομοθετικά πλαίσια. Οι επιχειρήσεις που συμμορφώνονται με τα πλαίσια αυτά παρουσιάζουν λιγότερες πιθανότητες να βρεθούν αντιμέτωπες με κινδύνους ρυθμιστικών ή νομικών θεμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι πρακτικές αυτές συμβάλλουν στην συμμόρφωση των επιχειρήσεων με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς κανονισμούς, όπως είναι η βιώσιμη διαχείριση των πόρων, αποφεύγοντας έτσι πιθανές κυρώσεις που προκύπτουν από την κείμενη νομοθεσία. Παράλληλα, εξειδικεύοντας πρακτικές που προωθούν την ισότητα, την ένταξη και την κοινωνική ευθύνη, οι εταιρείες σέβονται τα εργασιακά δικαιώματα και την προστασία των εργαζομένων τους ελαχιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο τον κίνδυνο νομικών προσφυγών ή κατηγοριών. Τέλος, η συμμόρφωση με τα κανονιστικά πλαίσια κατέχει σημαντικό ρόλο στην σωστή διακυβέρνηση μιας επιχείρησης. Η διαφάνεια, η κοινωνική εταιρική ευθύνη και η χρηματοοικονομική αναφορά αποτελούν δράσεις και αρχές στις οποίες μπορεί να στηριχτεί μια εταιρεία προκειμένου να μειώσει τον κίνδυνο της λανθασμένης διαχείρισης και να ενισχύσει ένα σημαντικό αίσθημα εμπιστοσύνης με τις ρυθμιστικές αρχές.

5.4.2 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ E.S.G.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η υιοθέτηση των κριτηρίων E.S.G., κατά τα τελευταία κυρίως χρόνια, αποτελεί ολοένα και πιο σημαντική προτεραιότητα για τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο. Η υιοθέτηση των κριτηρίων E.S.G. αφορά κυρίως την διαμόρφωση μια στρατηγικής που θα στηρίζεται στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και θα δρα με γνώμονα την προστασία της κοινωνίας αλλά και του περιβάλλοντος. Παρόλα αυτά, η διαμόρφωση της στρατηγικής αυτής, δεν χαρακτηρίζεται μια εύκολη, καθώς υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις και εμπόδια που την καθιστούν δύσκολη. Όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, το αρχικό υψηλό κόστος εφαρμογής, η περιορισμένη διαθεσιμότητα δεδομένων και η αντίσταση στην αλλαγή, αποτελούν ορισμένες από τις πιο σημαντικές προκλήσεις που δυσχεραίνουν την υιοθέτηση των κριτηρίων E.S.G. από τις επιχειρήσεις.

- **Περιορισμένη διαθεσιμότητα και ποιότητα δεδομένων**

Η εφαρμογή των κριτηρίων E.S.G., αντιμετωπίζει ένα πολύ σημαντικό εμπόδιο λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας αλλά και της ποιότητας των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί πως οι εταιρείες, στο πλαίσιο εφαρμογής των κριτηρίων E.S.G., χρησιμοποιούν διαφορετικά πλαίσια και μεθοδολογίες. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την σύγκριση των χρησιμοποιούμενων στοιχείων E.S.G. αλλά και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Παράλληλα, τις περισσότερες φορές, πολλές εταιρείες

παρουσιάζουν κολλήματα ως προς τη δημοσίευση των δεδομένων που προκύπτουν από την εφαρμογή των κριτηρίων, καθώς είτε εμφανίζονται αρνητικές πληροφορίες που δεν ευνοούν την εικόνα της εταιρείας είτε δεν έχουν όλους τους απαραίτητους πόρους αλλά και την ικανότητα συλλογής και παρουσίασης των στοιχείων αυτών. Η επιλογή των κατάλληλων δεικτών μέτρησης σε συνδυασμό με την έλλειψη της κατάλληλης τεχνογνωσίας καθιστά την διαδικασία της συλλογής και αξιολόγησης ιδιαίτερα δύσκολή, κυρίως για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (Ζαφειρόπουλος, 2024). Το γεγονός αυτό δημιουργεί το φαινόμενο της ελλιπούς αλλά και επιλεκτικής αναφοράς δεδομένων που συντελεί στην δυσχέρεια της ορθής εφαρμογής των κριτηρίων. Επίσης, τα δεδομένα που προκύπτουν από τα E.S.G. δεν υπόκεινται σε πλήρη και ανεξάρτητο έλεγχο, γεγονός που οδηγεί σε παραπλανητικές ή ανακριβείς αναφορές και δημιουργούνται θέματα αναξιοπιστίας. Παράλληλα, στο πλαίσιο της διαθεσιμότητας των δεδομένων, παρουσιάζονται δυσκολίες ως προς την επικαιροποίηση των E.S.G. στοιχείων. Τα E.S.G. δεδομένα, δημοσιεύονται από τις περισσότερες εταιρείες στο τέλος κάθε έτους, γεγονός που εμφανίζει μεγάλη χρονική απόκλιση σε σχέση με τη δημοσίευση άλλων δεδομένων, όπως είναι τα οικονομικά τα οποία παρουσιάζονται ανά τρίμηνο. Τέλος, δυσχέρεια εφαρμογής αλλά και μέτρησης των αποτελεσμάτων εμφανίζεται και λόγω της αδυναμίας ορισμένων δεδομένων να ποσοτικοποιηθούν, όπως είναι ο κοινωνικός αντίκτυπος. Συνεπώς, τόσο η πολυπλοκότητα των δεδομένων σε συνδυασμό με την έλλειψη τυποποίησης αυτών αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εμπόδιο στην συλλογή και αξιολόγηση των στοιχείων που προκύπτουν από την εφαρμογή των κριτηρίων E.S.G. (Ζαφειρόπουλος, 2024).

▪ **Περιορισμένος αριθμός πόρων και υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης**

Ένα εξίσου σημαντικό εμπόδιο που προκύπτει για την εφαρμογή των κριτηρίων E.S.G. στις επιχειρήσεις αποτελεί η περιορισμένη ύπαρξη πόρων σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος που απαιτείται κυρίως κατά την αρχική επένδυση της εφαρμογής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ενσωμάτωση και υιοθέτηση των κριτηρίων E.S.G. σε μια επιχείρηση απαιτεί την λήψη και εφαρμογή σημαντικών πρακτικών, όπως είναι η δημιουργία στρατηγικών σχεδίων εφαρμογής. Οι πρακτικές αυτές, τις περισσότερες φορές και κυρίως κατά το στάδιο της αρχικής εφαρμογής, χρήζουν απαιτητικές επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες, στην εκπαίδευση του προσωπικού κ.λπ.. Πολλές εταιρείες και ιδιαίτερα οι μικρότερες, παρουσιάζουν ανεπάρκεια ως προς την τεχνογνωσία ή το εξειδικευμένο προσωπικό που απαιτεί η υιοθέτηση των κριτηρίων αυτών. Παράλληλα, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, η συλλογή, η καταγραφή και η αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν θεωρείται μια ιδιαίτερη χρονοβόρα και απαιτητική διαδικασία η οποία τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να εφαρμοστεί δίχως την χρήση νέων τεχνολογιών και εργαλείων. Το γεγονός αυτό καθιστά τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις να βρίσκονται συνήθως σε μειονεκτική θέση έναντι άλλων μεγαλύτερων ανταγωνιστών τους λόγω της αδυναμίας διάθεσης όλων των απαραίτητων πόρων (Ζαφειρόπουλος, 2024). Πέρα από το υψηλό κόστος που απαιτείται για τα υλικά μέσα εφαρμογής των κριτηρίων, τις περισσότερες φορές οι επιχειρήσεις θα πρέπει να καλύψουν και επιπλέον δαπάνες σε συμβούλους και νομικές

υπηρεσίες προκειμένου να επιτύχουν της ορθή εφαρμογή και την πλήρη συμμόρφωση με τα κριτήρια.

▪ **Δυσκολία στην καταγραφή και στην παρακολούθηση δεδομένων και επαλήθευση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων**

Αναφορικά με ανωτέρω, η έλλειψη διαφάνειας σε συνδυασμό με την δυσκολία στην καταγραφή και την επαλήθευση των δεδομένων αποτελούν εξίσου σημαντικές προκλήσεις υιοθέτησης των κριτηρίων E.S.G.. Πιο αναλυτικά, η πολυπλοκότητα των δεδομένων λόγω του ότι περιλαμβάνουν ποσοτικούς και ποιοτικούς δείκτες καθιστά δύσκολη την τυποποιημένη καταγραφή τους. Επίσης, η κάθε επιχείρηση μπορεί να χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σύστημα ή μεθοδολογία καταγραφής των στοιχείων E.S.G., γεγονός που δημιουργεί διάφορες προσεγγίσεις κατά τη φάση της αξιολόγησής τους. Παράλληλα, όπως έχει ήδη γίνει αναφορά, πολλές επιχειρήσεις παρουσιάζουν πολλές φορές δεδομένα που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, καθώς θέλουν να δημιουργήσουν μια πιο «πράσινη» εικόνα, γεγονός που ενισχύει το φαινόμενο του greenwashing (Ζαφειρόπουλος, 2024). Συνεπώς, παρουσιάζεται έντονη η έλλειψη υιοθέτησης και εφαρμογής παγκοσμίως αποδεκτών ενοποιημένων συστημάτων ελέγχου και καταγραφής για την ορθή συλλογή και την αξιολόγηση των δεδομένων αυτών.

▪ **Αντίσταση στην αλλαγή**

Η υιοθέτηση των κριτηρίων του E.S.G. σε μια επιχείρηση αποτελεί μια καινοτόμα πρωτοβουλία που συνεπάγεται σε μεγάλο βαθμό την εφαρμογή μεθόδων και διαδικασιών διαφορετικής προσέγγισης σε σχέση με τις μέχρι πρόσφατες εφαρμοζόμενες πρακτικές. Η εφαρμογή αυτή εστιάζει πλέον όχι μόνο στην επίτευξη της αύξησης του κέρδους σε μια επιχείρηση, αλλά την καθιστά υπεύθυνη στην προστασία και ανάπτυξη και άλλων τομέων όπως είναι το περιβάλλον και η κοινωνία. Πολλές επιχειρήσεις, κυρίως λόγω του φόβου για αλλαγή προς το άγνωστο, δυσκολεύονται να υιοθετήσουν τα κριτήρια αυτά. Οι βασικοί λόγοι της αντίστασης αυτής που εμφανίζεται επικεντρώνεται κυρίως στην νοοτροπία των επιχειρήσεων, στην έλλειψη των επαρκών γνώσεων επί του θέματος και στην αβεβαιότητα που παρουσιάζει το ενδεχόμενο εφαρμογής μιας αλλαγής. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα οφέλη του E.S.G. δεν είναι άμεσα εμφανή δυσκολεύει σε μεγάλο βαθμό την εφαρμογή τους από τις εταιρείες.

▪ **Πολυπλοκότητα κανονισμών**

Σημαντικό στοιχείο παρότρυνσης των επιχειρήσεων για υιοθέτηση των κριτηρίων E.S.G. αποτελεί και το κείμενο κανονιστικό πλαίσιο. Τα κριτήρια E.S.G. και η εφαρμογή τους αποτελούν μια σχετικά πρόσφατη δράση η οποία όμως βρίσκεται σε ένα συνεχώς εξελισσόμενο επίπεδο. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η απουσία ενιαίων παγκοσμίως συστημάτων αναφοράς E.S.G. δημιουργεί ασάφεια και μπερδεύει την όλη διαδικασία της ορθής εφαρμογής τους. Οι περισσότερες χώρες, λόγω της απουσίας ενιαίου πλαισίου, έχουν αναπτύξει τα δικά τους πρότυπα, με συνέπεια η κάθε επιχείρηση να πρέπει να

συμμορφώνεται με τους διαφορετικούς κανονισμούς ανάλογα με την χώρα στην οποία επικεντρώνεται. Το γεγονός αυτό προκαλεί σύγχυση και ως προς την απαιτούμενη γραφειοκρατία αλλά και ως προς τις διαφορετικές ερμηνείες που σημειώνονται μεταξύ των κανονισμών των διαφόρων χωρών. Συνεπώς, η έλλειψη ενός επαρκούς και ενιαίου κανονιστικού πλαισίου δημιουργεί αισθήματα αβεβαιότητας προς τις επιχειρήσεις.

5.4.3 ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ E.S.G.

Οι αξιολογήσεις E.S.G. αποτελούν βασικό εργαλείο για επενδυτές και οργανισμούς, με στόχο τη μέτρηση της βιωσιμότητας επιχειρήσεων σε τρεις τομείς: Περιβάλλον, Κοινωνία, Διακυβέρνηση. Η χρήση τους καθορίζει από επενδυτικές αποφάσεις έως πολιτικές εταιρικής κοινωνικής ευθύνης. Αυτό συμβάλλει στην προώθηση της βιωσιμότητας και της υιοθέτησης πρακτικών, που ευνοούν το περιβάλλον και την κοινωνία (Viehs & Clark, 2014).

Σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζονται οργανισμοί που έχουν ως στόχο να μετρήσουν την βιωσιμότητα και την κοινωνικο-οικονομική ευθύνη των εταιριών. Αυτοί οι οργανισμοί αξιολογούν τριών ειδών κριτήρια:

- Περιβαλλοντικά (E): Εκπομπές CO₂, διαχείριση αποβλήτων, χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Κοινωνικά (S) : Εργασιακές συνθήκες, ασφάλεια, αντίκτυπος σε τοπικές κοινωνίες.
- Διακυβέρνηση (G) : Διαφάνεια, ανεξαρτησία διοίκησης, ηθική επιχειρηματικών πρακτικών

Δέκα οργανισμοί Αξιολόγησης E.S.G.:

1. MSCI E.S.G. Research: Αξιολογεί εταιρείες με βάση κλιματικούς κινδύνους, διαχείριση αποβλήτων και κοινωνική ευθύνη. Συνήθως χρησιμοποιείται από επενδυτές για μετοχές/εταιρείες ενέργειας.
2. S&P Global E.S.G. Scores (πρώην RobecoSAM): Έχει αναπτύξει ένα εργαλείο αξιολόγησης E.S.G., που ονομάζεται «E.S.G. Evaluation», όπου παρέχει αξιολογήσεις για τη στρατηγική E.S.G. μιας εταιρείας και την ικανότητα προετοιμασίας για πιθανούς μελλοντικούς κινδύνους και ευκαιρίες. Εστιάζει σε βιωσιμότητα κλάδου, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης μονάδων βιοαερίου ως προς την αποκαρβονικοποίηση και την κοινωνική επίδραση.
3. CDP (Carbon Disclosure Project) : Ειδικεύεται στην μέτρηση εκπομπών CO₂ και τη διαφάνεια περιβαλλοντικών δεδομένων. Κρίσιμο για εργοστάσια βιοαερίου που διεκδικούν χρηματοδότηση για μείωση ρύπων.
4. Sustainalytics (Morningstar) :Μετρά E.S.G. κινδύνους, π.χ. πώς μια μονάδα βιοαερίου διαχειρίζεται θέματα απορριμμάτων, νερού και εργατικών δικαιωμάτων.

5. FTSE Russell (FTSE4Good Index): Αξιολογεί εταιρείες με δείκτες όπως ανανεώσιμη ενέργεια, κυκλική οικονομία και διακυβέρνηση.
6. GRESB (Global Real Estate Sustainability Benchmark): Σχετικό για μονάδες βιοαερίου που συνδέονται με αγροτικές εκμεταλλεύσεις (π.χ. αξιολόγηση ακινήτων/εργοστασίων).
7. GRI (Global Reporting Initiative): Παρέχει πρότυπα για E.S.G. reports, βοηθώντας εταιρείες να καταγράψουν την επίδρασή τους στην τοπική κοινωνία και το περιβάλλον.
8. SASB (Sustainability Accounting Standards Board): Ορίζει ειδικά πρότυπα (π.χ. για ενέργεια), με έμφαση σε μετρήσιμα αποτελέσματα όπως η μείωση των αποβλήτων.
9. ISS E.S.G. (Institutional Shareholder Services): Αναλύει διακυβερνητικές πρακτικές και περιβαλλοντική στρατηγική, σχετικό για μετόχους βιοαερίου.
10. Bloomberg E.S.G. DataService: Παρέχει συγκριτικά δεδομένα για εταιρείες ενέργειας, με δείκτες όπως αποδοτικότητα πόρων και κοινωνική εμπλοκή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ E.S.G.

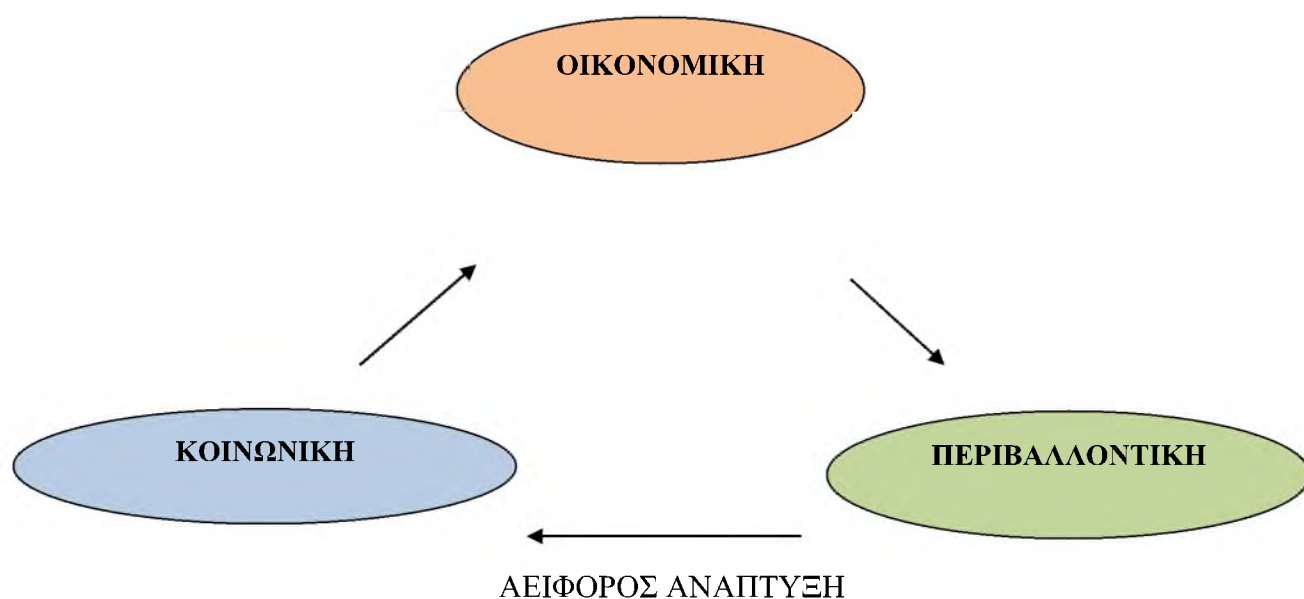
6.1 ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η ιδέα της βιώσιμης ανάπτυξης δεν είναι πρόσφατη, αφού γεννήθηκε στα μεταπολεμικά χρόνια ως αντίδραση στους κινδύνους που δημιουργεί η απεριόριστη οικονομική εξέλιξη για τη φύση. Συγκεκριμένα, η οικονομική πρόοδος στηρίχτηκε ιστορικά στη μαζική εκμετάλλευση φυσικών πόρων και ενεργειακών πηγών, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι συνέπειες για το περιβάλλον και την κλιματική αλλαγή. Σήμερα, όμως, είναι προφανές ότι η φυσική προστασία πρέπει να γίνει αναπόσπαστο στοιχείο της κοινωνικής προόδου και της ανθρώπινης ευζωίας. Η συμβολή των επιχειρήσεων στην κοινωνία άρχισε να θεωρείται κρίσιμη τη δεκαετία του 1950, με την έννοια της «εταιρικής υπευθυνότητας» να εισάγεται στο διαπραγματευτικό πεδίο. Βασική αρχή αυτής της προσέγγισης ήταν η υποχρέωση των εταιριών να λογοδοτούν για τις επιπτώσεις των πράξεων τους τόσο στην κοινότητα όσο και στη φύση. Σταδιακά, εδραιώθηκε η αντίληψη ότι οι επιχειρήσεις δεν θα πρέπει να επικεντρώνονται αποκλειστικά στα οφέλη των μετόχων, αλλά και στα αιτήματα άλλων ενδιαφερομένων ομάδων (Freeman, 1984).

Ο όρος αειφορία εμφανίστηκε αρχικά στον οικολογικό χώρο, όπου χαρακτήριζε την ικανότητα ενός οικοσυστήματος να διατηρείται χρονικά με ελάχιστες διαταραχές. Ωστόσο, όταν συνδέθηκε με την έννοια της ανάπτυξης, η εστίαση μετατοπίστηκε από το περιβαλλοντικό πλαίσιο προς τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις.

Συγκεκριμένα, η βιωσιμότητα ορίζεται ως ιδιότητα μιας διαδικασίας ή κατάστασης που μπορεί να συνεχίζεται αδιάκοπα, ενώ η ανάπτυξη συνδέεται με δραστικές αλλαγές στο περιβάλλον και την καταναλωτική εκμετάλλευση των πόρων. Αυτή η διπλή σχέση οδηγεί σε μια διχοτόμηση: η αειφορία λειτουργεί ως περιβαλλοντικό εγχείρημα, ενώ η ανάπτυξη ως οικονομικό αφήγημα (Jabareen, Y., 2008).

Ο κύριος στόχος της βιώσιμης ανάπτυξης είναι η διασφάλιση μακροπρόθεσμης ισορροπίας μεταξύ των αναγκών της κοινωνίας και του περιβάλλοντος. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ο χρηματοπιστωτικός τομέας καλείται να υποστηρίξει μια οικονομία που είναι ταυτόχρονα πιο πράσινη και βιώσιμη. Όπως επισημαίνουν οι Busch, Bauer και Orlitzky (2015), οι χρηματοπιστωτικές αγορές μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο σε αυτήν τη μετάβαση, υιοθετώντας μια μακροπρόθεσμη στρατηγική που προωθεί βιώσιμες επενδύσεις ως απαραίτητη προϋπόθεση.



Εικόνα 6.1.: Οι συνιστώσες της αειφόρου ανάπτυξης

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Η εφαρμογή της ιδέας της αειφόρου ανάπτυξης αποτελεί μια ισορροπία τριών κύριων τομέων και συγκεκριμένα την προστασία του περιβάλλοντος, την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ανάπτυξη. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ έχει τρεις κύριους στόχους (Baumgartner & Quaas, 2010):

- διασφάλιση της ασφάλειας στον ενεργειακό εφοδιασμό.
- διασφάλιση ανταγωνιστικών τιμών για τους καταναλωτές ενέργειας μέσω της αύξησης του ανταγωνισμού στις αγορές ενέργειας.
- μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του ενεργειακού συστήματος στο περιβάλλον.

6.1.1 Ο ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ (EUTAXONOMY)

Ο Κανονισμός (ΕΕ) 2020/852 για την ταξινόμηση των βιώσιμων Δραστηριοτήτων (EU Taxonomy Regulation) εισάγει ένα σύστημα για τον καθορισμό των οικονομικών δραστηριοτήτων που μπορούν να θεωρηθούν «περιβαλλοντικά βιώσιμες». Η ταξινόμηση αυτή δεν είναι μόνο εργαλείο αξιολόγησης E.S.G, αλλά επηρεάζει και την πρόσβαση σε χρηματοδοτικά εργαλεία της Ε.Ε.

6.1.2 ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ E.S.G.ΚΑΙ ESRS ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

- ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Κάποιες πρακτικές για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επίπτωσης της μονάδας είναι η παρακολούθηση και μείωση εκπομπών GHG (κυρίως μεθάνιο και CO₂), η

βελτιστοποίηση της χρήσης πρώτων υλών (για παράδειγμα χρήση οργανικών αποβλήτων αντί φυτικών καλλιεργειών), επεξεργασία και αξιοποίηση υποπροϊόντων ως λίπασμα και χρήση συστημάτων παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως για παράδειγμα ποιότητα νερού, αέρα και εδάφους. Ο έλεγχος εκπομπών CO₂ ανά παραγόμενη κιλοβατώρα, η ετήσια ποσότητα αποβλήτων που ανακυκλώνονται και η κατανάλωση νερού ανά τόνο πρώτης ύλης μπορεί να γίνει με παρακολούθηση δεικτών.

▪ ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Για να επιτευχθεί η διασφάλιση θετικών κοινωνικών επιδράσεων και αποδοχή της μονάδας κάποιες από τις πρακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν είναι η δημιουργία θέσεων εργασίας με προτεραιότητα κατοίκους της περιοχής, συνεργασία με αγρότες και τοπικές επιχειρήσεις για την προμήθεια πρώτων υλών και υγιεινή και ασφάλεια εργαζομένων και εφαρμογή πολιτικών ισότητας. Ανά διαστήματα να διοργανώνει ενημερωτικές δράσεις για την αειφορία και να υποστηρίζει περιβαλλοντικά σχολικά προγράμματα. Εξέχουσας σημασίας είναι η συμμετοχή των εργαζομένων σε επιμορφωτικά σεμινάρια για τη παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων και όχι μόνο. Σε δείκτες μπορούν μετρηθούν ο αριθμός συμβάντων υγείας και ασφάλειας ανά έτος ή ο δείκτης απουσιών λόγω ατυχημάτων, ο αριθμός εργαζομένων από την τοπική κοινότητα ακόμη και ο αριθμός δράσεων σε σχέση με την ενημέρωση του κοινού.

Οι αρχές E.S.G. έχουν αποκτήσει εξέχουσα θέση ως θεμελιώδεις παράμετροι στην αξιολόγηση βιώσιμων επενδύσεων (Ungaretti, 2020). Όπως έχει προαναφερθεί αυτά τα κριτήρια περιέχουν διάφορες πτυχές που αντικατοπτρίζουν την δέσμευση των επιχειρήσεων στην κοινωνική και περιβαλλοντική ευθύνη και στις ορθές πρακτικές εταιρικής διακυβέρνησης.

Η παραγωγή βιοαερίου συνεισφέρει στην βιωσιμότητα μέσω της ανακύκλωσης οργανικών αποβλήτων και της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Ωστόσο απαιτείται προσοχή στην διαχείριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της κατανάλωσης νερού και της επίδρασης στις τοπικές κοινωνίες. Οι βασικές προκλήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για τεχνολογικές καινοτομίες, τη διασφάλιση της κοινωνικής αποδοχής και την αντιμετώπιση των οικονομικών και ρυθμιστικών εμποδίων.

Η εφαρμογή προτύπων Αναφοράς Βιωσιμότητας (E.S.R.S.) στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου απαιτεί ένα συστηματικό πλαίσιο συλλογής και παρακολούθησης δεδομένων E.S.G. Οι επιχειρήσεις του κλάδου οφείλουν να αναπτύξουν μηχανισμούς μέτρησης και τεκμηρίωσης που να καλύπτουν όχι μόνο περιβαλλοντικές επιδόσεις αλλά και τους κοινωνικούς και διακυβερνητικούς άξονες. Η συμμόρφωση ενδέχεται να απαιτεί επενδύσεις σε συστήματα παρακολούθησης, εκπαίδευση προσωπικού και προσαρμογή στρατηγικών, αλλά προσφέρει επίσης ευκαιρίες για βελτίωση της φήμης και προσέλκυση επενδύσεων.

Από περιβαλλοντικής σκοπιάς είναι αναγκαία η εγκατάσταση κατάλληλων αισθητήρων και μετρητικών συστημάτων, όπως για παράδειγμα μετρητές εκπομπών αερίων CO₂, CH₄. Επίσης, ύπαρξη καταγραφικών ενεργειακής κατανάλωσης και παραγωγής και συστήματα παρακολούθησης νερού και διαχείρισης αποβλήτων. Η καταγραφή κοινωνικών δεικτών όπως

ώρες εκπαίδευσης , αριθμός παραπόνων απαιτεί την οργάνωση εσωτερικών αρχείων και την διενέργεια τακτικών εσωτερικών ερευνών. Τα δεδομένα E.S.G. πρέπει να αποτυπώνονται σε ετήσιες εκθέσεις βιωσιμότητας οι οποίες ακολουθούν τη δομή και τους δείκτες των ESRS. Αυτές οι εκθέσεις χρειάζεται να είναι διαφανείς , με αναφορά τόσο σε επιτυχίες όσο και σε αδυναμίες, συγκρίσιμες με προηγούμενα έτη και προσβάσιμες σε επενδυτές, δημόσιες υπηρεσίες και τοπικές κοινωνίες.

▪ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ

Τα κριτήρια εταιρικής διακυβέρνησης σε μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου έχουν ως στόχο να πληροί προδιαγραφές που σχετίζονται με την διοίκηση, τη διαφάνεια, τη συμμόρφωση και την ηθική λειτουργία. Ενισχύει την αξιοπιστία, μειώνει τους επενδυτικούς κινδύνους και διευκολύνει την χρηματοδότηση μέσω των προγραμμάτων στήριξης από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι πρακτικές που χρειάζεται να εφαρμόσει η επιχείρηση είναι να κάνει σαφή κατανομή των ρόλων και αρμοδιοτήτων στο Διοικητικό Συμβούλιο, να δημοσιεύει οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία προς τους επενδυτές. Επιπροσθέτως, να συμμορφώνεται με κανονισμούς με την τήρηση της ευρωπαϊκής και εθνικής νομοθεσίας για την ενέργεια το περιβάλλον και την υγεία και ασφάλεια. Σημαντική κρίνεται και η καταπολέμηση της διαφθοράς και δωροδοκίας και η υπεύθυνη διαχείριση κινδύνου όπως για παράδειγμα μία διαρροή ή αστοχία εξοπλισμού καθώς εξέχουσας σημασίας είναι και η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών σε όλα τα θέματα εφαρμόζοντας μηχανισμούς διαχείρισης παραπόνων ή καταγγελιών και η επικοινωνίας με τον δήμο ή τοπικές κοινότητες. Δείκτες μέτρησης μπορεί να είναι οι παραβιάσεις συγκεκριμένων κανονισμών και σε τι ποσοστό αξιολογήθηκαν ετησίως οι E.S.G. στόχοι.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας προτεινόμενος πίνακας με δείκτες E.S.G.ειδικά για μία μονάδα βιοαερίου χωρισμένους σε Περιβάλλον, Κοινωνία και Διακυβέρνηση.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΣΤΟΧΟΣ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΚΡΙ*	ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ/ΜΕΤΡΑ
Περιβάλλον	Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	Τόνοι CO ₂ eq που αποφεύγονται ανά έτος	Καύση βιοαερίου αντί φυσικού αερίου, χρήση κατάλληλων φίλτρων
	Διαχείριση αποβλήτων και υπολειμμάτων	Ποσοστό ανακυκλώσιμων υλικών / Υγρά υπολείμματα σε %	Επαναχρησιμοποίηση χωνεμένου υπολείμματος ως λίπασμα
	Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης	kWh παραγόμενης ενέργειας ανά τόνο πρώτης ύλης	Ανάλυση απόδοσης εξοπλισμού, έξυπνοι αισθητήρες

Κοινωνία	Υγεία & Ασφάλεια εργαζομένων	Αριθμός ατυχημάτων/έτος	Εκπαίδευση, εξοπλισμός ατομικής προστασίας, σχέδια έκτακτης ανάγκης
	Ανάπτυξη προσωπικού	Ωρες εκπαίδευσης/εργαζόμενο ετησίως	Πρόγραμμα συνεχούς κατάρτισης, συμμετοχή σε σεμινάρια
	Εργασιακά δικαιώματα & ισότητα	Ποσοστό συμβολαίων πλήρους απασχόλησης, ισότητα φύλων	Πολιτικές μη διάκρισης, κώδικας δεοντολογίας
	Τοπική κοινωνική αποδοχή	Ποσοστό θετικών αντιδράσεων σε δημόσιες διαβουλεύσεις	Δημόσιες ενημερώσεις, ανοικτές ημέρες, διάλογος με κοινότητες
Διακυβέρνηση	Διαφάνεια και λογοδοσία	Τακτικές αναφορές E.S.G. / οικονομικές	Δημοσίευση reports, εξωτερικοί έλεγχοι
	Αντιμετώπιση διαφθοράς	Ύπαρξη και εφαρμογή πολιτικής κατά της δωροδοκίας	Εσωτερικός κανονισμός, εκπαιδεύσεις, ανώνυμη καταγγελία
	Συμμόρφωση με κανονισμούς	Αριθμός παραβάσεων ή προστίμων	Συνεχής νομική παρακολούθηση, ISO 14001

Πίνακας 4: Πίνακας δεικτών E.S.G.

*(Key Performance Indicator): Είναι ένας μετρήσιμος δείκτης που δείχνει πόσο καλά αποδίδει ένας οργανισμός σε σχέση με έναν συγκεκριμένο στόχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως αναλύθηκε στην παρούσα εργασία η επέκταση του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη για την υλοποίηση ενός βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να ληφθεί υπόψη κάθε φάση του κύκλου ζωής αυτών των τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της διασποράς τους. Προκειμένου η ανανεώσιμη ενέργεια να παραμείνει οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμη, είναι επιτακτική ανάγκη να εφαρμοστούν προληπτικές στρατηγικές για τη διατήρηση των πόρων, τη διαχείριση των απορριμμάτων και την ανακύκλωση. Επιπλέον, η αποτελεσματική διαχείριση της τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τέλος του κύκλου ζωής είναι κρίσιμη συνιστώσα μιας πραγματικά πράσινης και φιλικής προς το περιβάλλον ενεργειακής μετάβασης, η οποία αποτελεί περιβαλλοντική ανησυχία (Melloet.al. 2022).

Οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου αποτελούν μια καινοτόμα και βιώσιμη λύση στον τομέα της ενέργειας, αξιοποιώντας οργανικά απόβλητα και γεωργικά υπολείμματα για την παραγωγή καθαρής ενέργειας. Η συμβολή τους στην κυκλική οικονομία είναι ουσιαστική, καθώς συνδυάζουν την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας με τη μείωση των περιβαλλοντικών φορτίων, προσφέροντας λύσεις σε προβλήματα όπως η διαχείριση αποβλήτων και η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

Η αξιολόγηση των μονάδων αυτών μέσα από τα κριτήρια E.S.G. επιτρέπει μια πιο ολιστική θεώρηση της βιωσιμότητάς τους. Στον περιβαλλοντικό τομέα (Environmental), καταγράφονται σημαντικά οφέλη όπως η μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και η ανακύκλωση υλικών. Στο κοινωνικό σκέλος (Social), ενισχύεται η τοπική απασχόληση και αναβαθμίζεται η σχέση με τις τοπικές κοινότητες, ενώ η ασφαλής λειτουργία και η επιμόρφωση του προσωπικού παραμένουν βασικές προτεραιότητες. Όσον αφορά τη διακυβέρνηση (Governance), η εφαρμογή διαφανών διαδικασιών και η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια διασφαλίζουν την υπεύθυνη λειτουργία των μονάδων.

Συνολικά, γίνεται σαφές ότι η ενσωμάτωση των E.S.G. κριτηρίων στον σχεδιασμό και τη λειτουργία μονάδων βιοαερίου δεν αποτελεί απλώς μια υποχρέωση, αλλά και μια στρατηγική επιλογή για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία και αποδοχή τους. Οι μονάδες αυτές μπορούν να αποτελέσουν βασικό πυλώνα της πράσινης μετάβασης, υπό την προϋπόθεση ότι θα λειτουργούν με σεβασμό προς το περιβάλλον, την κοινωνία και τις αρχές της καλής διακυβέρνησης.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κωτσοπούλου Λ., Αθανασοπούλου Μ., (2021), «Αξιοποίηση αγροτικών υπολειμμάτων προς παραγωγή βιοαερίου» Εφαρμογή στην ΠΕ Αχαΐας ΠΔΕ
2. Ζαφειρόπουλος Β., 2024, «Ανάλυση των κριτηρίων E.S.G.», Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής, Θεσσαλονίκη.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abanades S. et al., “A conceptual review of sustainable electrical power generation from biogas,” *Energy Science and Engineering*, vol. 10, no. 2. 2022. doi: 10.1002/ese3.1030.
2. Abd, A.A., Shabbani, H.J.K., Helwani, Z., Othman, M.R., 2022. Experimental study and static numerical optimization of scalable design of non-adiabatic and non-isothermal pressure swing adsorption for biogas upgrading. *Energy* 257, 124781.
3. Abraham, A., Mathew, A.K., Park, H., Choi, O., Sindhu, R., Parameswaran, B., Pandey, Ashok, Park, Jung Han, Sang, B.I., 2020. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 301.
4. Adebisi, J. A. I. H. Denwigwe, and O. M. Babatunde, “Hydrogen storage for micro-grid application: a framework for ranking fuel cell technologies based on technical parameters,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, no. 2, 2023, doi: 10.11591/ijece. v13i2.pp1221-1230.
5. ADEBISI, J.O. Amusan, P. Olawoore, and others, “Technical comparison of hybrid renewable energy systems for Information Technology services,” *Journal of Digital Food, Energy & Water Systems*, vol. 3, no. 2, 2022.
6. Adebisi, J.P. Ibili, M. Emezirinwune, and K. Abdulsalam, “Comparative Study of Hybrid Solar Photovoltaic - Diesel Power Supply System,” *African Journal of Inter/Multidisciplinary Studies*, vol. 5, no. 1, 2023, doi: 10.51415/ajims. v5i1.1217.
7. Agbejule, A., Shamsuzzoha, A., Lotchi, K., Rutledge, K., 2021. Application of multicriteria decision-making process to select waste-to-energy technology in developing countries: the case of Ghana. *Sustainability* 13 (22), 12863.
8. Ahmad, A., Banat, F., Alsafar, H., Hasan, S.W., 2022. Algae biotechnology for industrial wastewater treatment, bioenergy production, and high-value bioproducts. *Sci. Total Environ.* 806, 150585.
9. Alborno, S., Wyman, V., Palma, C., Carvajal, A., 2018. Understanding of the contribution of the fungal treatment conditions in a wheat straw biorefinery that produces enzymes and biogas. *Biochem. Eng. J.* 140, 140–147.
10. Ali, S., Dar, M.A., Liaqat, F., Sethupathy, S., Rani, A., Khan, M.I., Rehan, M., Zhu, D., 2024. Optimization of biomethane production from lignocellulosic biomass by a developed microbial consortium. *Process Saf. Environ. Prot.*
11. Alsaidan, I. A. Alanazi, W. Gao, H. Wu, and A. Khodaei, “State-of-The-Art in microgrid-integrated distributed energy storage sizing,” *Energies (Basel)*, vol. 10, no. 9, 2017, doi: 10.3390/en10091421.
12. Angeles, R., Arnaiz, E., Gutiérrez, J., Sepúlveda-Muñoz, C.A., Fernandez-Ramos, O., Munoz, R., Lebrero, R., 2020. Optimization of photosynthetic biogas upgrading in closed photobioreactors combined with algal biomass production. *J. Water Process Eng.* 38, 101554.

13. Angelidaki, A.; Alves, M.; Bolzonella, D.; Borzacconi, L.; Campos, J. L.; Guwy, A. J.; Kalyuzhnyi, S.; Jenicek, P.; van Lier, J. B. Defining the Biomethane Potential (BMP) of Solid Organic Wastes and Energy Crops: A Proposed Protocol for Batch Assays. *Water Sci. Technol.* 2009, 59(5), 927–934. DOI:10.2166/wst.2009.040.
14. Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J., Guwy, A., Kalyuzhnyi, S., Jenicek, P., Lier, J.V. (2009), Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: A proposed protocol for batch assays. *Water Science and Technology*, 59, 927-934
15. Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., Kougias, P.G., 2018. Biogas upgrading and utilization: current status and perspectives. *Biotechnol. Adv.* 36 (2), 452–466.
16. Archana, K., Viskram, A., Kumar, P.S., Manikandan, S., Saravanan, A., Natrayan, L., 2024. A review on recent technological breakthroughs in anaerobic digestion of organic biowaste for biogas generation: challenges towards sustainable development goals. *Fuel* 358, 130298.
17. Arena, U. F. Ardolino, and F. di Gregorio, “Technological, environmental and social aspects of a recycling process of post-consumer absorbent hygiene products,” *J Clean Prod*, vol. 127, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.164.
18. Arpia, A.A., Chen, W.-H., Lam, S.S., Rousset, P., De Luna, M.D.G., 2021. Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave assisted heating: a comprehensive review. *Chem. Eng. J.* 403, 126233.
19. Arsova, L. (2011), *Anaerobic Digestion of Food Waste: Current Status, Problems and an Alternative Product*. MSc Degree, Thesis Columbia University.
20. Asdrubali, F. G. Baldinelli, F. D’Alessandro, and F. Scrucca, “Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42. 2015. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.082.
21. Ata, B.D. Lee, and M. H. Tongarlak, “Optimizing organic waste to energy operations,” *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 14, no. 2, 2012, doi: 10.1287/msom.1110.0359.
22. Atelge, M., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D.D., Chang, S.W., Atabani, A., Al-Muhtaseb, A.H., Unalan, S.J.W., Valorization, B., 2020. Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. *Waste Biomass-Valoriz.* 11 (3),1019–1040.
23. AUGUSTO, N. C. A revolução E.S.G. e o papel do compliance público. (2020, December 8). Jota Info. <https://www.jota.info/coberturas-especiais>
24. Ayu, O., Dyan, A.V. (2010), *Biogas Production Using Anaerobic Biodigester from Cassava Starch Effluent with Ruminant Bacteria as Biocatalyst*. Conference or Workshop Item.
25. Azam M.et al., “Status, characterization, and potential utilization of municipal solid waste as renewable energy source: Lahore case study in Pakistan,” *Environ Int*, vol. 134, 2020, doi: 10.1016/j.envint.2019.105291.
26. Babatunde B. O, O. Ayoninuoluwa, A. Ayodele, and O. Rowland, “IMPACT OF GLOBALISATION ON THE INDUSTRIAL GROWTH IN NIGERIA (1981-2014): IMPLICATION TO PSYCHOLOGIST AND ECONOMIST,” *European Journal of Business, Economics and Accountancy*, vol. 5, no. 5, 2017, [Online]. Available: www.idpublications.org

27. Babatunde, D.E., Babatunde, O.M., Akinbulire, T.O., Oluseyi, P.O. (2018), Hybrid energy systems model with the inclusion of energy efficiency measures: A rural application perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(4), 310-323.
28. Bachmaier, J.; Effenberger, M.; Gronauer, A. Greenhouse Gas Balance and Resource Demand of Biogas Plants in Agriculture. *Eng. Life Sci.* 2010, 10(6), 560–569. DOI:10.1002/elsc.201000073.
29. Bailey, J., Ollis, D. (1986), *Applied enzyme catalysis. Biochemical Engineering Fundamentals*, 2, 157-227
30. Battini, F.; Agostini, A.; Boulamanti, A. K.; Giuntoli, J.; Amaducci, S. Mitigating the Environmental Impacts of Milk Production Via Anaerobic Digestion of Manure: Case Study of a Dairy Farm in the Po Valley. *Sci. Total Environ.* 2014, 481, 196–208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.038.
31. Begum, S., Anupoj, G.R., Sridhar, S., Bhargava, S.K., Jegatheesan, V., Eshtiaghi, N., 2018. Evaluation of single and two stage anaerobic digestion of landfill leachate: effect of pH and initial organic loading rate on volatile fatty acid (VFA) and biogas production. *Bioresour. Technol.* 251, 364–373.
32. Bekkering; J.; Hengeveld; E. J.; van Gemert; W. J. T.; Broekhuis; A. A. Will Implementation of Green Gas into the Gas Supply be Feasible in the Future? *Appl. Energ.* 2015, 140, 409–417. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.071.
33. Bharti, R.K., Singh, A., Dhar, D.W., Kaushik, A., 2022. Biological carbon dioxide sequestration by microalgae for biofuel and biomaterials production. *Biomass, Biofuels, Biochemicals.* Elsevier, pp. 137–153.
34. BLANCHET, G. E.S.G. In: Carvalho, A. C. et al. *Manual de Compliance* (3. ed). Rio de Janeiro: Forense, p. 69-84, 2021
35. Bose, A., Lin, R., Rajendran, K., O’Shea, R., Xia, A., Murphy, J.D., 2019. How to optimize photosynthetic biogas upgrading: a perspective on system design and microalgae selection. *Biotechnol. Adv.* 37 (8), 107444.
36. Bruni, E., Jensen, A.P., Pedersen, E.S., Angelidaki, I. (2010), Anaerobic digestion of maize focusing on variety, harvest time and pretreatment. *Applied Energy*, 87, 2212-2217
37. Buratti, C.; Barbanera, M.; Fantozzi, F. Assessment of GHG Emissions of Biomethane from Energy Cereal Crops in Umbria; Italy. *Appl. Energy* 2013, 108, 128–136. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.03.011.
38. Capodaglio, A. G.; Callegari; A.; Lopez, M. V. European Framework for the Diffusion of Biogas Uses: Emerging Technologies; Acceptance; Incentive Strategies; and Institutional-Regulatory Support. *Sustainability* 2016, 8, 298–315. DOI:10.3390/su8040298.
39. Carbone C., D. Ferrario, A. Lanzini, S. Stendardo, and A. Agostini, “Evaluating the Carbon Footprint of Cement Plants Integrated with the Calcium Looping CO₂ Capture Process,” *Frontiers in Sustainability*, vol. 3, 2022, doi: 10.3389/frsus.2022.809231.
40. Carranza-Abaid, A., Wanderley, R.R., Knuutila, H.K., Jakobsen, J.P., 2021. Analysis and selection of optimal solvent-based technologies for biogas upgrading. *Fuel* 303,121327.
41. Cecchi, F.; Cavinato, C. Anaerobic Digestion of Bio-Waste: A Mini- Review Focusing on Territorial and Environmental Aspects. *Waste Manage. Res.* 2015, 33, 429–438. DOI:10.1177/0734242X14568610.

42. Chandel, A.K., Albarelli, J.Q., Santos, D.T., Chundawat, S.P., Puri, M., Meireles, M.A.A., 2019. Comparative analysis of key technologies for cellulosic ethanol production from Brazilian sugarcane bagasse at a commercial scale. *Biofuels*, Bioprod. Bioref. 13(4), 994–1014.
43. Chandra, R., Takeuchi, H., Hasegawa, T. (2012), Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1462-1476.
44. Chen, B., Azman, S., Dewil, R., Appels, L., 2023. Alkaline anaerobic digestion of livestock manure: unveiling mechanisms, applications, and perspective. *Chem. Eng. J.*, 146852
45. Chen, W.-H., Nižetić, S., Sirohi, R., Huang, Z., Luque, R., Papadopoulos, A.M., Sakthivel, R., Nguyen, X.P., Hoang, A.T., 2022. Liquid hot water as sustainable biomass pretreatment technique for bioenergy production: a review. *Bioresour. Technol.* 344, 126207.
46. Chew, K.R., Leong, H.Y., Khoo, K.S., Vo, D.V.N., Anjum, H., Chang, C.K., Show, P.L., 2021. Effects of anaerobic digestion of food waste on biogas production and environmental impacts: a review. *Environ. Chem. Lett.* 19 (4), 2921–2939.
47. Chuenchart, W., Karki, R., Shitanaka, T., Marcelino, K.R., Lu, H., Khanal, S.K., 2021. Nanobubble technology in anaerobic digestion: a review. *Bioresour. Technol.* 329, 124916.
48. Cózar, J. M. L. “Energía Solar Térmica,” *Manuales de Energías Renovables*, vol. 4, 2006.
49. Davidsson, Å., Lövestedt, C., La Cour Jansen, J., Gruvberger, C., Aspegren, H. (2008), Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. *Waste Management*, 28, 986-992.
50. De Vrieze, J., Hennebel, T., Boon, N., Verstraete, W. (2012), Methanosarcina: The rediscovered methanogen for heavy duty biomethanation. *Bioresource Technology*, 112, 1-9.
51. del Rosario Roderio, M., Carvajal, A., Arbib, Z., Lara, E., de Prada, C., Lebrero, R., Munoz, R., 2020. Performance evaluation of a control strategy for photosynthetic biogas upgrading in a semi-industrial scale photobioreactor. *Bioresour. Technol.* 307, 123207.
52. Dell’Omo, P.P., Spena, V.A., 2020. Mechanical pretreatment of lignocellulosic biomass to improve biogas production: comparison of results for giant reed and wheat straw. *Energy* 203, 117798.
53. Delzeit, R.; Kellner, U. The Impact of Plant Size and Location on Profitability of Biogas Plants in Germany Under Consideration of Processing Digestates. *Biomass Bioenergy* 2013, 52, 43–53. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.02.029.
54. Denwigwe, I. H. J. D. Akinde-Peters, O. M. Babatunde, O. Samson Adedaja, I. A. Taiwo, and T. B. Adedaja, “An Android-based mobile platform for understanding Residential PV system sizing,” *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 2021, doi: 10.1080/20421338.2021.1959280.
55. Deshavath, N.N., Goud, V.V., Veeranki, V.D., 2021. Liquefaction of lignocellulosic biomass through biochemical conversion pathway: a strategic approach to achieve an industrial titer of bioethanol. *Fuel* 287, 119545.
56. Devi, M.K., Manikandan, S., Oviyapriya, M., Selvaraj, M., Assiri, M.A., Vickram, S., Awasthi, M.K., 2022. Recent advances in biogas production using Agro-Industrial

- Waste: a comprehensive review outlook of Techno-Economic analysis. *Bioresour. Technol.* 363.
57. Domingo, J. L.; Rovira, J.; Vilavert, L.; Nadal, M.; Figueras, M. J.; Schuhmacher, M. Health Risks for the Population Living in the Vicinity of an Integrated Waste Management Facility: Screening Environmental Pollutants. *Sci. Total Environ.* 2015, 518–519, 363–370. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.010.
58. Dutta, N., Garrison, R., Usman, M., Ahring, B.K., 2022. Enhancing methane production of anaerobic digested sewage sludge by advanced wet oxidation & steam explosion pretreatment. *Environ. Technol. Innov.* 28, 102923.
59. Eastman, J., Ferguson, J. (1981), Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion. *Journal Water Pollution Control Federation*, 8, 352-366.
60. Elele E. C. and I. N. Subanda, “Residents Social Behavior in The Implementation of Denpasar City Waste Management Policy,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi Publik*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.26858/jiap. v10i1.10990.
61. Ernst and Young LLP, “Technical Study of Electric Vehicles and Charging Infrastructure,” Bureau of Energy Efficiency (BEE), no. March 2019.
62. Escrig-Olmedo, E.M. ángeles Fernández-Izquierdo, I. Ferrero-Ferrero, J. M. Rivera-Lirio, and M. J. Muñoz-Torres, “Rating the raters: Evaluating how E.S.G. rating agencies integrate sustainability principles,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 3, 2019, doi: 10.3390/su11030915.
63. Esposito, E., Dellamuzia, L., Moretti, U., Fuoco, A., Giorno, L., Jansen, J.C., 2019. Simultaneous production of biomethane and food grade CO₂ from biogas: an industrial case study. *Energy Environ. Sci.* 12 (1), 281–289.
64. Fang, C., Angelidaki, I., Boe, K. (2010), Biogas Production from Food- Processing Industrial Wastes by Anaerobic Digestion, Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering. PhD Thesis.
65. Forday, W., Greenfield, P.F. (1983), Anaerobic digestion. *Effluent and Water Treatment Journal*, 23, 405-413.
66. François, M., Lin, K.-S., Rachmadona, N., Khoo, K.S., 2023. Advancement of nanotechnologies in biogas production and contaminant removal: a review. *Fuel* 340, 127470.
67. François, M., Lin, K.S., Rachmadona, N., Khoo, K.S., 2023. Advancement of biocharaided with iron chloride for contaminants removal from wastewater and biogas production: a review. *Sci. Total Environ.* 874, 162437.
68. François, M., Lin, K.-S., Rachmadona, N., Khoo, K.S., 2023. Utilization of carbon-based nanomaterials for wastewater treatment and biogas enhancement: a state-of-the-art review. *Chemosphere*, 141008.
69. Freire, M.; Lopes, H.; Tarelho; L. A. C. Critical Aspects of Biomass Ashes Utilization in Soils: Composition; Leachability; PAH and PCDD/F. *Waste Manage.* 2015, 46, 304–315. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.08.036.
70. FREITAS, V. P. Reflexos da E.S.G. nas atividades da advocacia empresarial e ambiental. *Consultor Jurídico*, 2021.
71. Fruergaard, T.; Hyks, J.; Astrup, T. Life-Cycle Assessment of Selected Management Options for Air Pollution Control Residues from Waste Incineration. *Sci. Total Environ.* 2010, 10(15), 4672–4680. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.05.029.
72. Fu X., X. Wu, C. Zhang, S. Fan, and N. Liu, “Planning of distributed renewable energy systems under uncertainty based on statistical machine learning,” *Protection*

- and Control of Modern Power Systems, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.1186/s41601-022-00262-x.
73. Gao, T., Zhang, H., Xu, X., Teng, J., 2021. Integrating microbial electrolysis cell based on electrochemical carbon dioxide reduction into anaerobic osmosis membrane reactor for biogas upgrading. *Water Res.* 190, 116679.
74. Gas for climate 2050, A.G. f C. r, 2022 Gas for climate 2050, A Gas for Climate report, 2022.
75. Gerardi, M. (2003), *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Inc.
76. Ghosh, P., Shah, G., Sahota, S., Singh, L., Vijay, V.K.J.B., 2020. Biogas production from waste: technical overview, progress, and challenges. *Bioreactors* 89–104.
77. Giovanis, E. Relationship Between Recycling Rate and Air Pollution: Waste Management in the State of Massachusetts. *Waste Manage.* 2015, 40, 192–203. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.03.006.
78. GISSI, Elena; GAGLIO, Mattias; REHO, Matelda. Sustainable energy potential from biomass through ecosystem services trade-off analysis: The case of the Province of Rovigo, 2016.
79. Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M., Majone, M., Bolzonella, D., Celli, A., Angellier- Coussy, H., Jang, G.-W., Verniquet, A., Broeze, J., 2018. A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Crit.Rev. Environ. Sci. Technol.* 48 (6), 614–654.
80. Gupta, G.K., Shukla, P., 2020. Insights into the resources generation from pulp and paper industry wastes: challenges, perspectives and innovations. *Bioresour. Technol.* 297.
81. Hashemi, S., Joseph, P., Mialon, A., Moe, S., Lamb, J.J., Lien, K.M., 2021. Enzymatic pretreatment of steam-exploded birch wood for increased biogas production and lignin degradation. *Bioresour. Technol. Rep.* 16, 100874.
82. Hendiani S. and G. Walther, “Sustainability performance evaluation of renewable energy systems using a new multi-expert multi-criteria interval type-2 fuzzy distance to ideal solution approach,” *Appl Energy*, vol. 347, 2023, doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121436.
83. Hijazi, O.; Munro, S.; Zerhusen, B.; Effenberger, M. Review of Life Cycle Assessment for Biogas Production in Europe. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2016, 54, 1291–1300. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.013.
84. Hinken, L., Urban, I., Haun, E., Weichgrebe, D., Rosenwinkel, K. (2008), The valuation of malnutrition in the mono-digestion of maize silage by anaerobic batch tests. *Water Science and Technology*, 58, 1453-1459.
85. Hosseinzadeh, A., Gitipour, S., Mehrdadi, N., 2024. The biogas upgrading from landfill leachate pretreated with low-frequency ultrasonic: anaerobic digestion performances and energy balance. *Sci. Rep.* 14 (1), 652.
86. Hoyer E. M. et al., “Preliminary safety analyses in the high-level radioactive waste site selection procedure in Germany,” *Advances in Geosciences*, vol. 56, 2021, doi: 10.5194/adgeo-56-67-2021.
87. Huang, J.-H., Fan, X.-L., Li, R., Sun, M.-T., Zou, H., Zhang, Y.-F., Guo, R.-B., Fu, S.-F., 2024. Biogas upgrading by biotrickling filter: effects of temperature and packing materials. *Chem. Eng. J.* 481, 148367.
88. IAE, I. E. A. (2023). *Renewables 2023 Analysis and forecast to 2028*

89. Ighravwe, D., Om, B., Adedaja, O., Okharedia, T. (2018), Evaluation and Selection of Hybrid Renewable Energy Systems for Healthcare Centres In Rural Areas: A Techno-economic Approach. IEEE: IEEE 7th International Conference on Adaptive Science and Technology (ICAST). p1-7.
90. Ighravwe, D.E., Babatunde, M.O. (2018), Determination of a suitable renewable energy source for mini-grid business: A risk-based multicriteria Approach. *Journal of Renewable Energy*, 2018, 20.
91. Ighravwe, D.E., Babatunde, M.O., 2018. Determination of a suitable renewable energy source for mini-grid business: a risk-based multicriteria approach. *J. Renew. Energy*.
92. Ilanidis, D., Wu, G., Stagge, S., Martín, C., Jönsson, L.J., 2021. Effects of redox environment on hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass under acidic conditions. *Bioresour. Technol.* 319, 124211.
93. IPCC (International Panel on Climate Change). Climate Change 2013; Contribution to the Fifth Assessment Report of the Working Group I; The Physical Science Basis; Available at <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (Last access January 2018).
94. Jewitt, G., Wen, H., Kunz, R., Rooyen, A.V. (2009), Scoping Study on Water Use of Crops/Trees for Biofuels in South Africa. WRC Report.
95. Jomnonkhaow, U., Sittijunda, S., Reungsang, A., 2022. Assessment of organosolv, hydrothermal, and combined organosolv and hydrothermal with enzymatic pretreatment to increase the production of biogas from Napier grass and Napier silage. *Renew. Energy* 181, 1237–1249.
96. Jyothi, B.B. Pabbuleti, and B. Thirumala Rao, “Significance of Renewable Energy Sources for Future Technologies Built on Geographical Conditions and Period of Seasons,” *ECS Trans*, vol. 107, no. 1, 2022, doi: 10.1149/10701.1537ecst.
97. Kabeyi, M.J.B., Olanrewaju, O.A., 2022. Biogas production and applications in the sustainable energy transition. *J. Energy*. 2022, 1–43.
98. Kainthola, J., Kalamdhad, A.S., Goud, V.V., Goel, R., 2019. Fungal pretreatment and associated kinetics of rice straw hydrolysis to accelerate methane yield from anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 286, 121368.
99. Kainthola, J., Podder, A., Fechner, M., Goel, R., 2021. An overview of fungal pretreatment processes for anaerobic digestion: applications, bottlenecks and future needs. *Bioresour. Technol.* 321, 124397.
100. Kalyuzhnyi, S., Veeken, A., Hamelers, B. (2000), Two-particle model of anaerobic solid-state fermentation. *Water Science and Technology*, 41, 43-40
101. Kanellos, G., Tremouli, A., Arvanitakis, G., Lyberatos, G., 2024. Boosting methane production and raw waste activated sludge treatment in a microbial electrolysis cellanaerobic digestion (MEC-AD) system: the effect of organic loading rate. *Bioelectrochemistry* 155, 108555.
102. Kaparaju, P.; Rintala, J. Mitigation of Greenhouse Gas Emissions by Adopting Anaerobic Digestion Technology on Dairy; Sow and Pig Farms in Finland. *Renewable Energy* 2011, 36, 31–41. DOI: 10.1016/j.renene.2010.05.016.
103. Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S.S., Vijay, V., Kumar, V., Vijay, V.K., Pant, D.J.B.T., 2020. Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: a research outlook. *Bioresour. Technol.* 304, 123036.
104. Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V.K., Vijay, V., Thakur, I.S., Kamyab, H., Nguyen, D.D., Kumar, A., 2020. Advances in biogas valorization and utilization systems: a comprehensive review. *J. Clean. Prod.* 273, 123052.

105. Kardooni, R.S. B. Yusoff, and F. B. Kari, “Renewable energy technology acceptance in Peninsular Malaysia,” *Energy Policy*, vol. 88, 2016, doi: 10.1016/j.enpol.2015.10.005.
106. Karimipour-Fard, P., Chio, C., Brunone, A., Marway, H., Thompson, M., Abdehagh, N., Qin, W., Yang, T.C., 2024. Lignocellulosic biomass pretreatment: industrial oriented high-solid twin-screw extrusion method to improve biogas production from forestry biomass resources. *Bioresour. Technol.* 393, 130000.
107. Keay, G. (1981), *Anaerobic digestion: Design and upgrading*. In: *Sewage Treatment Plants, Design, Operation and Upgrading*. Lancaster, PA: University of Pretoria. p1-18.
108. Khan, M.U., Lee, J.T.E., Bashir, M.A., Dissanayake, P.D., Ok, Y.S., Tong, Y.W., Shariati, M.A., Wu, S., Ahring, B.K., 2021. Current status of biogas upgrading for direct biomethane use: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 149, 111343.
109. Khanal, S.K. (2008a), *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Principles and Applications*. USA: A John Wiley and Sons, Ltd. Publication
110. Kılıçarslan, B.I. Bozyel, D. Gökçen, and C. Bayram, “Sustainable Macromolecular Materials in Flexible Electronics,” *Macromolecular Materials and Engineering*, vol. 307, no. 6. 2022. doi: 10.1002/mame.202100978.
111. Klass, D. L. “A critical assessment of renewable energy usage in the USA,” *Energy Policy*, vol. 31, no. 4, 2003, doi: 10.1016/S0301-4215(02)00069-1.
112. Koninger, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., Briones, M.J., 2021. Manure management and soil biodiversity: towards more sustainable food systems in the EU. *Agric. Syst.* 194, 103251.
113. Koniuszewska, I., Korzeniewska, E., Harnisz, M., Czatowska, M., 2020. Intensification of biogas production using various technologies: a review. *Int. J. Energy Res.* 44 (8), 6240–6258.
114. Koryś, K.A., Latawiec, A.E., Grotkiewicz, K., Kuboń, M.J.S., 2019. The review of biomass potential for agricultural biogas production in Poland. *Sustainability* 11 (22), 6515.
115. Kougiass, P., Angelidaki, I. (2018), *Biogas and its opportunities-a review*. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 12, 14.
116. Kour, D., Rana, K.L., Yadav, N., Yadav, A.N., Rastegari, A.A., Singh, C., Negi, P., Singh, K., Saxena, A.K., 2019. Technologies for biofuel production: current development, challenges, and future prospects. *Prospects Renew. Bioprocess. Future Energy Syst.* 1–50.
117. Kowthaman, C., Selvan, V.A.M., Kumar, P.S., 2021. Optimization strategies of alkaline thermo-chemical pretreatment for the enhancement of biogas production from deoiled algae. *Fuel* 303, 121242.
118. Kucher, O., Hutsol, T., Glowacki, S., Andreitseva, I., Dibrova, A., Muzychenko, A., Szelaż-Sikora, A., Szparaga, A., Kocira, S.J.E., 2022. Energy potential of biogas production in Ukraine. *Energies* 15 (5), 1710.
119. Lebuhn, M., Liu, F., Heuwinkel, H., Gronauer, A. (2008), *Biogas production from mono-digestion of maize silage-long-term process stability and requirements*. *Water Science and Technology*, 58,1645-1650.
120. LEBUHN, Michael; MUNK, Bernhard; EFFENBERGER, Mathias. *Agricultural biogas production in Germany-from practice to microbiology basics*. *Energy, Sustainability and Society*, v. 4, p. 1-21, 2014.

121. Lee, J., Hong, J., Jeong, S., Chandran, K., Park, K.Y., 2020. Interactions between substrate characteristics and microbial communities on biogas production yield and rate. *Bioresour. Technol.* 303, 122934.
122. Lee, J.T., Khan, M.U., Dai, Y., Tong, Y.W., Ahring, B.K., 2021. Influence of wet oxidation pretreatment with hydrogen peroxide and addition of clarified manure on anaerobic digestion of oil palm empty fruit bunches. *Bioresour. Technol.* 332, 125033.
123. Lettinga, G. (1995), *Anaerobic digestion and wastewater treatment systems*. Antonie Van Leeuwenhoek, 67, 3-28.
124. Lettinga, G., Field, J., Van Lier, J., Zeeman, G., Pol, L.H. (1997), *Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future*. *Water Science and Technology*, 35, 5-12.
125. Levenda, A. M. I. Behrsin, and F. Disano, “Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies,” *Energy Research and Social Science*, vol. 71. 2021. doi: 10.1016/j.erss.2020.101837.
126. Li, B., Amin, A., Nureen, N., Saqib, N., Wang, L., Rehman, M.A., 2024. Assessing factors influencing renewable energy deployment and the role of natural resources in MENA countries. *Resour. Policy* 88, 104417.
127. Li, D.G. Heimeriks, and F. Alkemade, “Knowledge flows in global renewable energy innovation systems: the role of technological and geographical distance,” *Technol Anal Strateg Manag*, vol. 34, no. 4, 2022, doi: 10.1080/09537325.2021.1903416.
128. Liew, Y.X., Chan, Y.J., Manickam, S., Chong, M.F., Chong, S., Tiong, T.J., Lim, J.W., Pan, G.T., 2020. Enzymatic pretreatment to enhance anaerobic bioconversion of high strength wastewater to biogas: a review. *Sci. Total Environ.* 713, 136373.
129. Liu, C.F., Yuan, X.Z., Zeng, G.M., Li, W.W., Li, J. (2008), Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 99,882-888.
130. Lu, J., Gao, X.J.B., *Bioenergy*, 2021. Biogas: potential, challenges, and perspectives in a changing China. *Biomass-.- Bioenergy* 150, 106127.
131. Lv, S., Zhang, R., He, Y., Ma, Z., Ma, X., 2024. Efficient reactive adsorption of hexamethyldisiloxane on MCM-41 supported sulfuric acid. *Renew. Energy*, 120174.
132. Lyilade, Y. (2009), *An Investigation into the Mechanical Biological Pretreatment of Garden Waste using Forced Aeration and its Impact on Carbon Emissions Reduction Potential*. Durban: MSc Eng, UKZN.
133. MAGHANAKI, M. Mohammadi et al. Potential of biogas production in Iran. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 28, p. 702-714, 2013.
134. Mancini, G., Lombardi, L., Luciano, A., Bolzonella, D., Viotti, P., Fino, D., 2024. A reduction in global impacts through a waste-wastewater-energy nexus: a life cycle assessment. *Energy* 289, 130020.
135. Mara, D., Horan, N.J. (2003), *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. Amsterdam: Elsevier.
136. Massoud, M.G. Vega, A. Subburaj, and J. Partheepan, “Review on recycling energy resources and sustainability,” *Heliyon*, vol. 9, no. 4. 2023. doi: 10.1016/j.heliyon. 2023.e15107.
137. Mccarty, P.L. Smith, D.P. (1986), *Anaerobic wastewater treatment*. *Environmental Science and Technology*, 20, 1200-1206.
138. Mckendry, P. (2002), *Energy production from biomass (part 2): Conversion technologies*. *Bioresource Technology*, 83, 47-54.

139. Mello, G.M. Ferreira Dias, and M. Robaina, “Evaluation of the environmental impacts related to the wind farms end-of-life,” *Energy Reports*, vol. 8, 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.01.024.
140. Mikosz, J. Analysis of Greenhouse Gas Emissions and the Energy Balance in a Model Municipal Wastewater Treatment Plant. *Desalination Water Treat.* 2016, 57(59), 28551–28559. DOI:10.1080/19443994.2016.1192491.
141. Milousi, M.M. Souliotis, G. Arampatzis, and S. Papaefthimiou, “Evaluating the environmental performance of solar energy systems through a combined life cycle assessment and cost analysis,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 9, 2019, doi: 10.3390/su11092539.
142. Mishra, A., Kumar, M., Bolan, N.S., Kapley, A., Kumar, R., Singh, L.J.B.T., 2021. Multidimensional approaches of biogas production and up-gradation: opportunities and challenges. *Bioresour. Technol.* 338, 125514.
143. Mittal, S., Ahlgren, E.O., Shukla, P.J., 2019. Future biogas resource potential in India: a bottom-up analysis. *Renew. Energy* 141, 379–389.
144. Moeller W. et al., “Creating an Engineering for Developing Communities Emphasis in Environmental Engineering,” 2020. doi: 10.18260/1-2--15545.
145. Molino, A., Larocca, V., Chianese, S., Musmarra, D. (2018), Biofuels production by biomass gasification: A review. *Energies*, 11, 811-820.
146. Molino, A., Migliori, M., Ding, Y., Bikson, B., Giordano, G., Braccio, G. (2013a), Biogas upgrading via membrane process: Modelling of pilot plant scale and the end uses for the grid injection. *Fuel*, 107, 585-592.
147. Molino, A., Nanna, F., Ding, Y., Bikson, B., Braccio, G. (2013b), Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel*, 103, 1003-1009.
148. Molla, S., Farrok, O., Alam, M.J., 2024. Electrical energy and the environment: Prospects and upcoming challenges of the World’s top leading countries. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 191, 114177.
149. Moreira, A.J.G., de Sousa, T.A.T., Franco, D., Lopes, W.S., de Castilhos Junior, A.B., 2023. Kinetic modeling and interrelationship aspects of biogas production from waste activated sludge solubilized by enzymatic and thermal pre-treatment. *Fuel* 347, 128452.
150. Mozhiarasi V. and T. S. Natarajan, “Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value-added products,” *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. doi: 10.1007/s13399-022-02352-0.
151. Mukoro, V. A. Gallego-Schmid, and M. Sharmina, “Life cycle assessment of renewable energy in Africa,” *Sustainable Production and Consumption*, vol. 28. 2021. doi: 10.1016/j.spc.2021.08.006.
152. Mulu, E., Arimi, M.M.M., Ramkat, R.C., 2021. A review of recent developments in application of low-cost natural materials in purification and upgrade of biogas. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 145, 111081.
153. Naik, S.N., Goud, V.V., Rout, P.K. Dalai, A.K. (2010), Production of first- and second-generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 578-597.
154. Neiva de Figueire do J. and S. F. Mayerle, “A systemic approach for dimensioning and designing anaerobic bio-digestion/energy generation biomass supply networks,” *Renew Energy*, vol. 71, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.06.031.

155. Nges, I.A., Lovisa, B., Hinrich, U. (2012), *Anaerobic Digestion of Crop and Waste Biomass: Impact of Feedstock Characteristics on Process Performance*. Denmark: Lund University
156. Nguyen, L.N., Kumar, J., Vu, M.T., Mohammed, J.A., Pathak, N., Commault, A.S., Sutherland, D., Zdarta, J., Tyagi, V.K., Nghiem, L.D., 2021. Biomethane production from anaerobic co-digestion at wastewater treatment plants: a critical review on development and innovations in biogas upgrading techniques. *Sci. Total Environ.* 765, 142753.
157. Nielsen, M.; Nielsen, O. K.; Plejdrup, M. Danish emission inventory for stationary combustion plants. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy; No. 102; 2014. Available at <http://dce2.au.dk/pub/SR102.pdf> (Last access January 2018).
158. Nurika, I., Eastwood, D.C., Barker, G.C., 2018. A comparison of ergosterol and PLFA methods for monitoring the growth of ligninolytic fungi during wheat straw solid state cultivation. *J. Microbiol. Methods* 148, 49–54.
159. Omenge, P. M. G. W. Eshiamwata, S. M. Makindi, and G. O. Obwoyere, “Public participation in environmental impact assessment and its substantive contribution to environmental risk management: Insights from EIA practitioners and other stakeholders in Kenya’s renewable energy sub-sector,” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 237, 2019, doi: 10.2495/ESUS190121.
160. OYEDOTUN T. D. T. and S. MOONSAMMY, “Linking national policies to beneficiaries: Geospatial and statistical focus to waste and sanitation planning,” *Environmental Challenges*, vol. 4, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100142.
161. Ozgur, C., 2024. The analytic hierarchy process method to design applicable decision making for the effective removal of 2-MIB and geosmin in water sources. *Environ.Sci. Pollut. Res.* 31 (8), 12431–12445.
162. Parvez, K., Ahammed, M.M., 2024. Effect of composition on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid wastes: a review. *Bioresour. Technol.* Rep., 101777
163. Perez-Barragán, J., García-Depraet, O., Maya-Yescas, R., Vallejo-Rodríguez, R., Palacios-Hinestroza, H., Coca, M., Castro-Muñoz, R., León-Becerril, E., 2024. Solid and liquid fractionation of sugarcane and Agave bagasse during ozonolysis and enzymatic hydrolysis: Impact on biohydrogen and biogas production. *Ind. CropsProd.* 210, 118175.
164. Persoon, P. G. J. R. N. A. Bekkers, and F. Alkemade, “The knowledge mobility of Renewable Energy Technology,” *Energy Policy*, vol. 161, 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2021.112670.
165. PIRELLI, Tiziana et al. Environmental sustainability of the biogas pathway in Italy through the methodology of the Global Bioenergy Partnership. *Journal of Cleaner Production*, 2021.
166. Poeschl, M.; Ward, S.; Owende, P. Environmental Impacts of Biogas Deployment e Part I: Life Cycle Inventory for Evaluation of Production Process Emissions to Air. *J. Cleaner Product.* 2012, 24, 168–183. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.039.
167. Prasad, S.; Zhao, L.; Gomes, J. Methane and Natural Gas Exposure Limits. *Epidemiology* 2011, 22(1), S251. DOI: 10.1097/01.ede.0000392463.93990.1e.
168. Qazi A. et al., “Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions,” *IEEE Access*, vol. 7, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2906402.

169. Rafrafi, Y., Laguillaumie, L., Dumas, C., 2021. Biological methanation of H₂ and CO₂ with mixed cultures: current advances, hurdles and challenges. *Waste Biomass-Valoriz.* 12, 5259–5282.
170. Richards D. and H. Yabar, “Potential of Renewable Energy in Jamaica’s Power Sector: Feasibility Analysis of Biogas Production for Electricity Generation,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 11, 2022, doi: 10.3390/su14116457.
171. Rodríguez-Núñez, J.R., Castillo Baltazar, O.S., 2020. Anaerobic digestion technology for management of organic wastes: Latin American context. *Biogas Prod.: Anaerob. Dig. ASustain. Bioenergy Ind.* 39–55.
172. Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., Vijay, V., Sahay, A., Vijay, V.K., Thakur, I.S.J., 2018. Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresour. Technol. Rep.* 1, 79–88.
173. SAHOTA, Shivali et al. Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, v. 1, p. 79-88, 2018.
174. Salnikova, A.Y. Chepurko, N. Starkova, and H. N. Hoàng, “External effects of renewable energy projects: Life cycle analysis-based approach,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 9, no. 4, 2019, doi: 10.32479/ijee.7959.
175. Sandin, G. G. M. Peters, and M. Svanström, “Life cycle assessment of construction materials: The influence of assumptions in end-of-life modelling,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 19, no. 4, 2014, doi: 10.1007/s11367-013-0686-x.
176. Sarkilahti, M.; Kinnunen, V.; Kettunen, R.; Jokinen, A.; Rintala, J. Replacing Centralised Waste and Sanitation Infrastructure with Local Treatment and Nutrient Recycling: Expert Opinions in the Context of Urban Planning. *Technological Forecasting Soc. Change* 2017, 118, 195–204. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.02.020.
177. Scarlat, N., Dallemand, J.F., Fahl, F., 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renew. Energy* 129, 457–472.
178. SCARLAT, Nicolae; DALLEMAND, Jean-François; FAHL, Fernando. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable energy*, v. 129, p. 457-472, 2018.
179. Scherer, P., Neumann, L., Demirel, B., Schmidt, O., Unbehauen, M. (2009), Long term fermentation studies about the nutritional requirements for biogasification of fodder beet silage as monosubstrate. *Biomass and Bioenergy*, 33, 873-881.
180. Schnurer, A., Jarvis, A. (2010), *Microbiological handbook for biogas plants*. Swedish Waste Management U, 2009, 1-74.
181. Shaktawat A. and S. Vadhera, “Sustainability Assessment of Renewable Energy Technologies in Context to India Using Multicriteria Analysis with and without Incorporating Risk Analysis,” *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, vol. 23, no. 3 3 4, 2021, doi: 10.1142/S146433322250020X.
182. Sheoran M. and D. das Gupta, “International best practices for e-waste take back and policy interventions for India,” *Facilities*. 2023. doi: 10.1108/F-03-2023-0027.
183. Shirzad, M., Panahi, H.K.S., Dashti, B.B., Rajaeifar, M.A., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M. J.R., Reviews, S.E., 2019. A comprehensive review on electricity generation and GHG emission reduction potentials through anaerobic digestion of agricultural and livestock/slaughterhouse wastes in Iran. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 111, 571–594.

184. Sica, D., Esposito, B., Supino, S., Malandrino, O., Sessa, M.R., 2023. Biogas-based systems: An opportunity towards a post-fossil and circular economy perspective in Italy. *Energy Policy* 182, 113719
185. Sidana, A., Yadav, S.K., 2022. Recent developments in lignocellulosic biomass pretreatment with a focus on eco-friendly, non-conventional methods. *J. Clean. Prod.* 335, 130286.
186. Siksnylyte-Butkiene, I. E. K. Zavadskas, and D. Streimikiene, “Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: A review,” *Energies*, vol. 13, no. 5. 2020. doi: 10.3390/en13051164.
187. Simmons, J. E. Nephrotoxicity Resulting from Multiple Chemical Exposures and Chemical Interactions. *Toxicology of Chemical Mixtures*; Academic Press: San Diego (USA), 1994; pp 335–360.
188. Smith, J. A. Apsley, L. Avery, E. Baggs, B. Balana, and K. Yongabi, “The potential of small-scale biogas digesters to alleviate poverty and improve long term sustainability of ecosystem services in Sub-Saharan Africa,” *1st World Sustain. Forum*, vol. 5, no. 10, 2013.
189. Soccol, C.R., Faraco, V., Karp, S., Vandenberghe, L.P., Thomaz-Soccol, V., Woiciechowski, A., Pandey, A. (2011), *Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Future Perspectives*. Europe: Elsevier.
190. Soland, M.; Steimer, N.; Walter, G. Local Acceptance of Existing Biogas Plants in Switzerland. *Energy Policy* 2013, 61, 802–810. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.06.111.
191. Sorathia, H.S., Rathod, P.P., Sorathiya, A.S. (2012), Bio-gas generation and factors affecting the bio-gas generation—a review study. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 3, 72-78.
192. Speece, R.E. (1996), *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Nashville: Archaea Press.
193. Srivastava, S. “An Overview on Recycling of Photovoltaic Modules at the End of Life (EoL),” *INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 06, no. 05, 2022, doi: 10.55041/ijrsrem16386.
194. Steininger, K. W.; Voraberger, H. Exploiting the Medium-Term Biomass Energy Potentials in Austria. A Comparison of Costs and Macroeconomic Impact. *Environ. Resour. Econ.* 2003, 24, 359–377. DOI:10.1023/A:1023680125027.
195. Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., Yu, X., 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilization. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 51, 521–532.
196. Sutaryo, S. (2012), *Optimization and Inhibition of Anaerobic Digestion of Livestock Manure*. Denmark: Aarhus Universitet Science and Technology, Institut for Ingeniørvidenskab Department of Engineering.
197. Suthar, S., Sharma, B., Kumar, K., Banu, J.R., Tyagi, V.K., 2022. Enhanced biogas production in dilute acid-thermal pretreatment and cattle dung biochar mediated biomethanation of water hyacinth. *Fuel* 307, 121897.
198. Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Panahi, H.K.S., Nizami, A.-S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., 2020. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, part 1: upstream strategies. *Renew. Energy* 146, 1204–1220.
199. TAFLA, Lior Lichtensztejn. An adequação aos princípios E.S.G. em companhias abertas e aplicabilidade dos artigos 116 e 154 da lei das SA. 2021.

200. Tagne, R.F.T., Costa, P., Casella, S., Favaro, L., 2024. Optimization of biohydrogen production by dark fermentation of African food-processing waste streams. *Int. J. Hydrogen Energy* 49, 266–276.
201. Takashima, M., Shimada, K., Speece, R.E. (2011), Minimum requirements for trace metals (iron, nickel, cobalt, and zinc) in thermophilic and mesophilic methane fermentation from glucose. *Water Environment Research*, 83, 339-346.
202. Tambone, F.; Terruzzi, L.; Scaglia, B.; Adani, F. Composting of the Solid Fraction of Digestate Derived from Pig Slurry: Biological Processes and Compost Properties. *Waste Manage.* 2015, 35, 55–61. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.10.014.
203. Tamilselvan, R., Selwynraj, A.I., 2024. Model development for biogas generation, purification and hydrogen production via steam methane reforming. *Int. J. Hydrog. Energy* 50, 211–225.
204. Tang, C.-C., Zhang, B.-C., Yao, X.-Y., Sangeetha, T., Zhou, A.-J., Liu, W., Ren, Y.-X., Li, Z., Wang, A., He, Z.-W., 2023. Natural zeolite enhances anaerobic digestion of waste activated sludge: Insights into the performance and the role of biofilm. *J. Environ. Manag.* 345, 118704.
205. Tang, S., Wang, Z., Lu, H., Si, B., Wang, C., Jiang, W., 2023. Design of stage-separated anaerobic digestion: principles, applications, and prospects. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 187.
206. Tricase, C.; Lombardi, M. State of the Art and Prospects of Italian Biogas Production from Animal Sewage: Technical-Economic Considerations. *Renewable Energy* 2009, 34, 477–485. DOI: 10.1016/j.renene.2008.06.013.
207. Tshikovhi, A., Motaung, T.E., 2023. Technologies and innovations for biomass energy production. *Sustainability* 15 (16), 12121
208. Tukangan, W., Hupauf, S., Gómez-Brandón, M., Insam, H., Salvenmoser, W., Prasertsan, P., Cheirsilp, B., Sompong, O., 2021. Symbiotic bacteroides and clostridium-rich methanogenic consortium enhanced biogas production of high-solid anaerobic digestion systems. *Bioresour. Technol. Rep.* 14, 100685.
209. Tutuk, D.K. (2011), Biogas production from cassava starch effluent using microalgae as biostabilisator. *International Journal of Science and Engineering*, 2, 4-8.
210. Tyagi, V.K., Fdez-Güelfo, L., Zhou, Y., Álvarez-Gallego, C., Garcia, L.R., Ng, W.J., 2018. Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): progress and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 93, 380–399.
211. Umeghalu, C., Chukwuma, E., Okonkwo, I., Umeh, S. (2012), Potentials for biogas production in Anambra State of Nigeria using cow dung and poultry droppings. *International Journal of Veterinary Science*, 1, 26-30.
212. UNGARETTI, M. E.S.G. de A Z: Tudo o que você precisa saber. *EXPERT XP*, 2-29. 2020.
213. Vakalis, S.; Boschiero, M.; Moustakas, K.; Sotiropoulos, A.; Malamis, D.; Zerbe, S.; Baratieri, M. Assessing the Suitability of Biomass Ashes from Combustion in Boilers as Soil Fertilizers: Statistical Entropy Analysis and Introduction of the Potassium Utilization Potential Factor. *Waste Biomass Valorization* 2017, 8(5), 1569–1576. DOI:10.1007/s12649-017-9852-x.
214. Vijayakumar, P., Ayyadurai, S., Arunachalam, K.D., Mishra, G., Chen, W.-H., Juan, J.C., Naqvi, S.R., 2022. Current technologies of biochemical conversion of food waste into biogas production: a review. *Fuel* 323, 124321.
215. Vourdoubas J., “Review of Sustainable Energies Use in Greenhouses in Greece,” *Journal of Agricultural Studies*, vol. 5, no. 4, 2018, doi: 10.5296/jas.v6i2.12973.

216. Wallquist, L.; L’Orange Seigo, S.; Visschers, V. H. M.; Siegrist, M. Public Acceptance of CCS System Elements: A Conjoint Measurement. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 2012, 6, 77–83. DOI: 10.1016/j.ijggc.2011.11.008.
217. Wang, D., Yang, X., Tian, C., Lei, Z., Kobayashi, N., Kobayashi, M., Adachi, Y., Shimizu, K., Zhang, Z., 2019. Characteristics of ultra-fine bubble water and its trials on enhanced methane production from waste activated sludge. *Bioresour. Technol.* 273, 63–69.
218. Wang, J., Ma, D., Lou, Y., Ma, J., Xing, D., 2023. Optimization of biogas production from straw wastes by different pretreatments: progress, challenges, and prospects. *Sci. Total Environ.*, 166992.
219. Wang, Y., Zhang, Y., Li, J., Lin, J.G., Zhang, N., Cao, W., 2021. Biogas energy generated from livestock manure in China: current situation and future trends. *J. Environ. Manag.* 297, 113324.
220. WBA (World Bioenergy Association). Global bioenergy statistics. 2016. available at <http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20Global%20Bioenergy%20Statistics%20016.pdf> (Last access January 2015).
221. Weiland, P. (2010), Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 849-860.
222. White, J. (2011), Biogas Generation Potential of Coconut Copra in the Anaerobic Digestion Process. New Zealand: University of Canterbury
223. Whitelock, V. G. “Multidimensional environmental social governance sustainability framework: Integration, using a purchasing, operations, and supply chain management context,” *Sustainable Development*, vol. 27, no. 5, 2019, doi: 10.1002/sd.1951.
224. Wiselogle, A., Tyson, S., Johnson, D., 2018. Biomass feedstock resources and composition. *Handbook on bioethanol*. Routledge, pp. 105–118.
225. Wood, D. A. “Sustainability challenges for the upstream sectors of the natural gas industry,” in *Sustainable Natural Gas Reservoir and Production Engineering: Volume 1*, vol. 1, 2021. doi: 10.1016/B978-0-12-824495-1.00007-3.
226. Wu, D., Peng, X., Li, L., Yang, P., Peng, Y., Liu, H., Wang, X., 2021. Commercial biogas plants: review on operational parameters and guide for performance optimization. *Fuel* 303, 121282
227. Wu, L., Wei, W., Song, L., Woźniak-Karczewska, M., Chrzanowski, Ł., Ni, B.-J., 2021. Upgrading biogas produced in anaerobic digestion: biological removal and bioconversion of CO₂ in biogas. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 150, 111448.
228. Xue, Y., Li, Q., Gu, Y., Yu, H., Zhang, Y., Zhou, X., 2020. Improving biodegradability and biogas production of miscanthus using a combination of hydrothermal and alkaline pretreatment. *Ind. Crops Prod.* 144, 111985.
229. Yang, L.; Ge, X.; Wan, C.; Yu, F.; Li, Y. Progress and Perspectives in Converting Biogas to Transportation Fuels. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2014, 40, 1133–1152. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.008.
230. Yang, Z. H. Huang, and F. Lin, “Sustainable Electric Vehicle Batteries for a Sustainable World: Perspectives on Battery Cathodes, Environment, Supply Chain, Manufacturing, Life Cycle, and Policy,” *Adv Energy Mater.*, vol. 12, no. 26, 2022, doi: 10.1002/aenm.202200383.
231. Yaqoob, H., Teoh, Y.H., Din, Z.U., Sabah, N.U., Jamil, M.A., Mujtaba, M., Abid, A., 2021. The potential of sustainable biogas production from biomass waste for power generation in Pakistan. *J. Clean. Prod.* 307, 127250.

232. Yellezuome, D., Zhu, X., Liu, X., Liu, R., Sun, C., Abd-Alla, M.H., Rasmey, A.H.M., 2024. Effects of organic loading rate on hydrogen and methane production in a novel two stage reactor system: performance, enzyme activity and microbial structure. *Chem. Eng. J.* 480.
233. Yeom, I. T. V. G. Sharmila, R. Y. Kannah, P. S. Sivashanmugam, and J. R. Banu, “Municipal waste management,” in *Municipal and Industrial Waste: Sources, Management Practices and Future Challenges*, 2018. doi: 10.1201/9781003171126-27.
234. You, Z., Pan, S.-Y., Sun, N., Kim, H., Chiang, P.-C., 2019. Enhanced corn-stover fermentation for biogas production by NaOH pretreatment with CaO additive and ultrasound. *J. Clean. Prod.* 238, 117813.
235. Yue, L., Cheng, J., Tang, S., An, X., Hua, J., Dong, H., Zhou, J., 2021. Ultrasound and microwave pretreatments promote methane production potential and energy conversion during anaerobic digestion of lipid and food wastes. *Energy* 228, 120525.
236. Zabeed, H.M., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Zhang, Y., Qi, X.J.R., Reviews, S.E., 2020. Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 117, 109503.
237. Zabranska, J., Pokorna, D., 2018. Bioconversion of carbon dioxide to methane using hydrogen and hydrogenotrophic methanogens. *Biotechnol. Adv.* 36 (3), 707–720.
238. Zareei, S.J.R. e, 2018. Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. *Renew. Energy* 118, 351–356.
239. Zeppilli, M., Cristiani, L., Dell’Armi, E., Majone, M., 2020. Bioelectromethanogenesis reaction in a tubular Microbial Electrolysis Cell (MEC) for biogas upgrading. *Renew. Energy* 158, 23–31.
240. Zhao, J., Patwary, A.K., Qayyum, A., Alharthi, M., Bashir, F., Mohsin, M., Hanif, I., Abbas, Q.J.E., 2022. The determinants of renewable energy sources for the fueling of green and sustainable economy. *Energy* 238, 122029.
241. Zhao, Y., Xu, C., Ai, S., Wang, H., Gao, Y., Yan, L., Mei, Z., Wang, W., 2019. Biological pretreatment enhances the activity of functional microorganisms and the ability of methanogenesis during anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 290, 121660.
242. Zhou, S.P., Ke, X., Jin, L.Q., Xue, Y.P., Zheng, Y.-G., 2024. Sustainable management and valorization of biomass wastes using synthetic microbial consortia. *Bioresour. Technol.*, 130391.
243. Zhou, Z., Ouyang, D., Liu, D., Zhao, X., 2023. Oxidative pretreatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis: progress and challenges. *Bioresour. Technol.* 367.
244. Zinder, S.H., Koch, M. (1984), Non-aceticlastic methanogenesis from acetate: Acetate oxidation by a thermophilic syntrophic coculture. *Archives of Microbiology*, 138, 263-272.
245. Zsembinszki G.et al., “Life cycle assessment (LCA) of an innovative compact hybrid electrical-thermal storage system for residential buildings in mediterranean climate,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 9, 2021, doi: 10.3390/su13095322.
246. Jabareen, Yosef. "A new conceptual framework 2021], sustainable development." *Environment, development and sustainability* 10 (2008): 179-192.
247. Busch, T., Bauer, R., & Orlitzky, M. (2015). Sustainable Development and Financial Markets: Old Paths and New Avenues. *Business & Society*, 55, 303-329.

248. Freeman, R. (1984) Strategic Management: A Stakeholder Approach. Ballinger, Boston.
249. Mackey A., Mackey T. (2005), pp.817-835: Corporate Social Responsibility and Firm Performance: Investor Preferences and Corporate Strategies, Academy of Management Review, 32(3)
250. Jabareen, Yosef. "A new conceptual framework 2021], sustainable development." Environment, development and sustainability 10 (2008): 179-192.

Ευρωπαϊκή Νομοθεσία & Ρυθμιστικό Πλαίσιο

1. **Οδηγία 2013/34/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου**
 - ο Σχετικά με τις ετήσιες οικονομικές καταστάσεις, τις ενοποιημένες οικονομικές καταστάσεις και συναφείς εκθέσεις.
 - ο [EUR-Lex Link \(EL\)](#)
2. **Οδηγία (ΕΕ) 2022/2464 (CSRD)**
 - ο Τροποποίηση της 2013/34/ΕΕ για την ενίσχυση της διαφάνειας βιωσιμότητας.
 - ο [EUR-Lex Link \(EN/EL\)](#)
3. **Κανονισμός (ΕΕ) 2020/852 – EU Taxonomy Regulation**
 - ο Για τη δημιουργία πλαισίου για τη βιώσιμη επενδυτική ταξινόμηση.
 - ο [EUR-Lex Link](#)
4. **Κανονισμός (ΕΕ) 2019/2088 – SFDR**
 - ο Για την υποχρέωση χρηματοπιστωτικών οργανισμών να αποκαλύπτουν E.S.G. πληροφορίες.
 - ο [EUR-Lex Link](#)

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <https://www.dianeosis.org/2023/12/ta-E.S.G.-kritiria-stin-ellada-kai-ston-kosmo/>
2. e-forologia (2022). Τα E.S.G. κριτήρια και οι ελληνικές επιχειρήσεις. Διαθέσιμο από: <https://www.e-forologia.gr/cms/viewContents.aspx?id=226535>
3. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας <https://ypen.gov.gr/>
4. Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου <https://habio.gr/>
5. Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου Λαγκαδά <https://www.biogaslagada.gr/>
6. DELOITTE INSIGHTS Advancing Environmental Social and Governance Investing διαθέσιμο στο: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/5073_Advancing-E.S.G.-investing/DI_Advancing-E.S.G.-investing_UK.pdf
7. McKinsey “Five ways that E.S.G. creates Value” διαθέσιμο στο: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Strategy%20and%20Corporate%20Finance/Our%20Insights/Five%20ways%20that%20E.S.G.%20creates%20value/Five-ways-that-E.S.G.-creates-value.ashx>
8. <https://www.dianeosis.org/2023/12/ta-E.S.G.-kritiria-stin-ellada-kai-ston-kosmo/>
9. Οδηγός Δημοσιοποίησης Πληροφοριών E.S.G. <https://www.athexgroup.gr/el/more-options/E.S.G./reporting-guide>
10. <https://waterprojectsonline.com/case-studies/davyhulme-2019/>