



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

**«ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ»**

Βέλλα Αλεξάνδρα
Επιβλέπων: Μάρκου Γεώργιος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS



ΠΜΣ Βιοοικονομία
Κυκλική Οικονομία
Βιώσιμη Ανάπτυξη
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS
DEPARTMENT OF ECONOMICS
BIOECONOMY, CIRCULAR ECONOMY AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT

**«ANAEROBIC DIGESTION OF THE BY-PRODUCTS OF THE
BIODIESEL INDUSTRY FOR BIOGAS PRODUCTION»**

Vella Alexandra
Supervisor: Markou Giorgos

PIRAEUS, 2023

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Σημαντικοί Όροι: Βιομάζα, Βιοντίζελ, Βιοαέριο, Γλυκερόλη, Αναερόβια Χώνευση, Μονάδα Βιοαερίου, Ρυθμός Οργανικής Φόρτισης, Δυναμικό Βιοαερίου, Ηλεκτρική Ενέργεια, Καθαρή Παρούσα Αξία, Ανάλυση Ευαισθησίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της κυκλικής οικονομίας είναι να παράγει προϊόντα σε ένα «σύστημα κλειστού βρόχου» ελαχιστοποιώντας έτσι την παραγωγή αποβλήτων, όπου έρχεται σε αντίθεση με το πιο διαδεδομένο μη βιώσιμο γραμμικό μοντέλο «προμήθεια, παραγωγή και απόρριψη». Η γλυκερόλη αποτελεί ένα σημαντικό παραπροϊόν της βιομηχανίας βιοντίζελ καθώς αντιστοιχεί στο 10% της παραγόμενης ποσότητάς του. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη μεγάλη αύξηση παραγωγής της γλυκερόλης σε παγκόσμιο επίπεδο. Επειδή, η περίσσεια της γλυκερόλης δε μπορεί να ενσωματωθεί από τους βιομηχανικούς κλάδους που τη χρησιμοποιούν, μέσω βιοχημικών διεργασιών όπως είναι η αναερόβια χώνευση, μπορεί να μετατραπεί σε βιοαέριο.

Στην παρακάτω μελέτη πραγματοποιείται μια οικονομοτεχνική ανάλυση μίας μονάδας βιοαερίου η οποία παράγει γλυκερόλη μέσω της αναερόβιας χώνευσης. Αρχικά, μελετήθηκε η επίδραση του ρυθμού οργανικής φόρτισης της γλυκερόλης στο δυναμικό του βιοαερίου και στη συνέχεια, η επίδραση αυτών των δύο ξεχωριστά για τις παραμέτρους που αφορούν τον όγκο του βιοαντιδραστήρα, το κόστος της επένδυσης, την ενέργεια που παράγεται και την καθαρή παρούσα αξία. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση ευαισθησίας στην οποία παρατηρήθηκε η επίδραση της οργανικής φόρτισης και του δυναμικού του βιοαερίου στην καθαρή παρούσα αξία σε διάρκεια εικοσαετίας. Από τα αποτελέσματα της έρευνας, προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης και το δυναμικό του βιοαερίου, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας, αναδεικνύοντας τη συγκεκριμένη πρακτική ως οικονομικά βιώσιμη.

ANAEROBIC DIGESTION OF THE BY-PRODUCTS OF THE BIODIESEL INDUSTRY FOR BIOGAS PRODUCTION

Keywords: Biomass, Biodiesel, Biogas, Glycerol, Anaerobic Digestion, Biogas Plant, Organic Loading Rate, Biogas Potential, Electricity, Net Present Value, Sensitivity Analysis

ABSTRACT

The aim of the circular economy is to produce products in a "closed loop system," minimizing the production of waste, which is where it contrasts with the more widespread unsustainable linear model of "supply, production, and disposal." Glycerol is an important by-product of the biodiesel industry as it corresponds to 10% of its produced quantity. This fact led to a significant increase in glycerol production worldwide. Since excess glycerol cannot be incorporated by the industries that use it, it can be converted into biogas through biochemical processes such as anaerobic digestion. In the following study, an economic-technical analysis of a biogas plant that produces glycerol through anaerobic digestion is carried out. First, the effect of the organic loading rate of glycerol on the biogas potential was studied, and then, the impact of these two separately for the parameters related to the volume of the bioreactor, the cost of the investment, the energy produced, and the net present value. Then, a sensitivity analysis was carried out in which the effect of organic loading and biogas potential on the net current value over twenty years was observed. From the results of the research, it follows that the higher the rate of organic loading and the potential of biogas, the higher the value of the net present value, highlighting the specific practice as economically viable.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	7
1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	9
1.3 ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ.....	10
1.3.1 Η ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ	12
1.4 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΜΑΖΑ.....	16
2.1 ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	19
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	21
2.3 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ.....	23
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	23
3.2 ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ.....	24
3.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΙΟΑΕΡΙΟ.....	27
4.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	28
4.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	30
4.2.1 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	30
4.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	31
4.4 ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ.....	33
5.1 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	33
5.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ	36
6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗΣ	36
6.2 Η ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ ΩΣ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ).....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	38
7.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	41
B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΚΟΠΟΣ.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	42
9.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	42
9.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ.....	43
9.2.1 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (OLR)	43
9.2.2 ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ	44
9.2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	44
9.2.4 ΕΠΕΝΔΥΣΗ.....	45
9.2.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	45
9.2.6 ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (NPV)	45
9.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
10.1 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ – ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.....	47
10.2 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	47
10.3 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ.....	48
10.4 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	49
10.5 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ – ΕΠΕΝΔΥΣΗ	50
10.6 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ – ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	50
10.7 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ – ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ.....	52
11.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ORL – NPV	53
11.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ Biogas Potential – NPV.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62

A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μία σειρά προτάσεων με στόχο να προσαρμοστούν οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για το κλίμα, την ενέργεια, τις μεταφορές και τη φορολογία με σκοπό τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030, σε σύγκριση με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για το έτος 1990 (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el).

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση της εποχής μας. Ταυτόχρονα, όμως, αποτελεί ευκαιρία για τον σχεδιασμό ενός νέου οικονομικού μοντέλου. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία καθόρισε το σχέδιο στρατηγικής γι' αυτή τη μετασχηματιστική αλλαγή. Και τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ δεσμεύτηκαν να μετατρέψουν την ΕΕ στην πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030, απαιτεί υψηλότερα μερίδια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας ευθύνονται για περισσότερο από το 75 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ. Ως εκ τούτου, η εξάλειψη άνθρακα στο ενεργειακό σύστημα της ΕΕ είναι ζωτικής σημασίας για την εκπλήρωση των κλιματικών στόχων έως το 2030 και της μακροπρόθεσμης στρατηγικής της ΕΕ για την επίτευξη ουδέτερου ισοζυγίου διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050.

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία επικεντρώνεται σε 3 βασικές αρχές για τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια, οι οποίες θα συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των πολιτών (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el):

- ✓ Διασφάλιση ασφαλούς και οικονομικά προσιτού ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ.
- ✓ Δημιουργία πλήρους ολοκληρωμένης, διασυνδεδεμένης και ψηφιοποιημένης ενεργειακής αγοράς της ΕΕ.
- ✓ Προώθηση και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και ανάπτυξη ενός τομέα παραγωγής ενέργειας ο οποίος θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι κύριοι στόχοι της Επιτροπής για την επίτευξη αυτών είναι οι εξής:

- ✓ Δημιουργία διασυνδεδεμένων ενεργειακών συστημάτων και καλύτερα ολοκληρωμένων δικτύων, ώστε αυτά να υποστηρίζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- ✓ Προώθηση καινοτόμων τεχνολογιών και σύγχρονων υποδομών.
- ✓ Ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και του οικολογικού σχεδιασμού των προϊόντων.
- ✓ Απανθρακοποίηση του τομέα του φυσικού αερίου και προώθηση της διατομεακής έξυπνης ολοκλήρωσης.

- ✓ Ενδυνάμωση των καταναλωτών και παροχή βοήθειας στις χώρες της ΕΕ για την αντιμετώπιση της ενεργειακής φτώχειας.
- ✓ Αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων που προσφέρει η αιολική ενέργεια της Ευρώπης.

Η παγκόσμια ζήτηση ορυκτών καυσίμων αυξάνεται, όπως και οι περιβαλλοντικές ανησυχίες. Επομένως, είναι αναγκαία η ανάπτυξη τεχνολογίας βιοκαυσίμων και πρώτης ύλης και ιδιαίτερα τα βιοκαύσιμα που παράγονται από μη βρώσιμες πρώτες ύλες (Naik et al., 2010; Kamm et al., 2006; Eisentraut, 2010). Τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς, σε αντίθεση με τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, δεν ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες που προορίζονται για τροφή. Διότι, τα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς, λαμβάνονται από μία μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών όπως είναι τα οργανικά απόβλητα, οι πολυετείς καλλιέργειες, η ξυλώδη βιομάζα και οι μη τροφικές καλλιέργειες ελαιούχων σπόρων (Naik et al., 2010; Eisentraut, 2010). Ωστόσο, ενώ πολλοί ερευνητές ισχυρίζονται ότι οι καλλιέργειες βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς είναι βιώσιμες, άλλοι ερευνητές δηλώνουν ότι υπάρχει πιθανότητα ανταγωνισμού με τις καλλιέργειες τροφίμων εάν χρειάζονται την ίδια γη για καλλιέργεια (Eisentraut, 2010; Bender, 2000). Επίσης, πολλές έρευνες βρίσκονται σε εξέλιξη όσον αφορά τις στρατηγικές που θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη εφικτών προηγμένων μονάδων βιοκαυσίμων. Δηλαδή, σε μελέτες που αφορούν την βελτίωση της παραγωγικότητας της διαδικασίας, των χαρακτηριστικών της πρώτης ύλης και της διαθεσιμότητας, στην αποτελεσματική χρήση της γης, σε ένα ενθαρρυντικό περιβάλλον πολιτικής και στη βελτιωμένη περιβαλλοντική απόδοση (Eisentraut, 2010).

Σύμφωνα με μελέτες, οι λόγοι που οδηγούν στην αποτυχία των μονάδων βιοκαυσίμων είναι (González, 2016; Openshaw, 2000):

- Η έλλειψη κινήτρων
- Η έλλειψη πολιτικών αποφάσεων
- Η έλλειψη οικονομικής σκοπιμότητας
- Οι ανεπαρκείς αποδόσεις προϊόντων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εναλλακτικές ή ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, δηλαδή εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συγκαταλέγονται οι εξής (energy.gov/):

- Ηλιακή Ενέργεια (ενέργεια από φωτοβολταϊκά, εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πάρκων και θερμικά ηλιακά συστήματα)
- Αιολική Ενέργεια (μικρές ανεμογεννήτριες, αιολικά πάρκα)
- Γεωθερμική Ενέργεια

- Ενέργεια Κυμάτων
- Παλιρροϊκή Ενέργεια
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Ενέργεια από Βιομάζα

Πιο αναλυτικά, ως ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Δηλαδή, το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα, καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Ενώ, αιολική ενέργεια ονομάζεται η κινητική ενέργεια του ανέμου που κινεί τα πτερύγια τεράστιων ανεμοτουρμπινών, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με ανεμογεννήτριες και παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα (energy.gov/). Όσο αφορά την γεωθερμική ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως υψηλής ενθαλπίας, μέσης ενθαλπίας και χαμηλής ενθαλπίας. Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού σ' όλο τον κόσμο (Kagel et al., 2005). Οι χώρες με το μεγαλύτερο γεωθερμικό δυναμικό είναι: ΗΠΑ, Κίνα, Σουηδία, Ισλανδία.

Η θαλάσσια ενέργεια, είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αξιοποιείται από τη φυσική κίνηση του νερού, συμπεριλαμβανομένων των κυμάτων, της παλίρροιας και των ρευμάτων των ποταμών και των ωκεανών. Η θαλάσσια ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί και από τις θερμοκρασιακές διαφορές στο νερό μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως μετατροπής θερμικής ενέργειας των ωκεανών.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μία από τις παλαιότερες και μεγαλύτερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία χρησιμοποιεί τη φυσική ροή του κινούμενου νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών. Επιπροσθέτως, μία άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η βιομάζα. Βιομάζα, ονομάζεται κάθε οργανική ύλη που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και/ ή αέριων καυσίμων (Κορμάζος, 2018).

Όσο αυξάνονται σημαντικά οι βελτιώσεις στην ποιότητα ζωής, η εκβιομηχάνιση των αναπτυσσόμενων χωρών και η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αυξάνεται ανάλογα και η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων (Panwar et al., 2011). Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα, εκτός από την σημαντική μείωση των αποθεμάτων σε ορυκτά καύσιμα και τις σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον καθώς και στην υγεία των ανθρώπων, την υπερθέρμανση του πλανήτη από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα λόγω της αλόγιστης χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Γι' αυτόν τον λόγο απαιτείται η προώθηση καθαρής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθώς και η παρακολούθηση των εκπομπών τους (Hall DO et al., 1991).

1.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Παρακάτω αναγράφονται τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία είναι τα εξής (Maradin, 2021):

- a) Είναι πηγές ενέργειας πρακτικά ανεξάντλητες, ενώ συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι εξαντλούνται.
- b) Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- c) Οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αφού είναι γεωγραφικά διάσπαρτες. Με αυτόν τον τρόπο δίνουν τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.
- d) Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των αναγκών των χρηστών. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών και η αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή.
- e) Διαθέτουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- f) Οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν πολλές θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο.
- g) Μπορούν να αποτελέσουν πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο τοπικής ανάπτυξης, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- h) Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών έχουν σχεδιασθεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής και επιτρέπουν έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- i) Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

1.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εκτός από τα πολλά πλεονεκτήματα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εντοπίζονται ορισμένα μειονεκτήματα και περιορισμοί κατά την καθημερινή τους χρήση. Ο κύριος λόγος είναι εξαιτίας των φυσικών τους χαρακτηριστικών, καθώς οι ανανεώσιμες πηγές εξαρτώνται εξ ολοκλήρου από τη γεωγραφική τους θέση και τις καιρικές συνθήκες (Γιουλδούρη, 2021).

- a) Χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξεως του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης.

- b) Χαμηλός συντελεστής χωρητικότητας. Όπως προαναφέρθηκε, προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγάλα αστικά κέντρα για την κάλυψη των αναγκών.
- c) Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες. Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής.
- d) Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πτηνών.
- e) Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό συμβάλλοντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- f) Σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3 ΠΡΑΣΙΝΗ ΣΥΜΦΩΝΙΑ

Η ανακοίνωση της Επιτροπής για την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποτελεί τη νέα στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και των πολιτών της απέναντι στον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών εξελίξεων. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, η ραγδαία μεταβολή της θερμοκρασίας, ο αφανισμός ειδών της παγκόσμιας πανίδας, οι καταστροφές των δασών, η ρύπανση των ωκεανών και των οικοσυστημάτων τους, αποτελούν μόνο ένα μικρό δείγμα της ανερχόμενης περιβαλλοντικής κρίσης. Κάθε αποτύπωμα και καταστροφή στον πλανήτη έχει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην ζωή του ανθρώπου όσο και στην οικονομία. Στις περιπτώσεις ανθρώπινης αδράνειας και αμέλειας, το πλήγμα στην οικονομία θα είναι εξίσου σημαντικό με αυτό του πλανήτη. Επομένως, η δραστηριοποίηση των κρατών και η προσαρμογή της δημόσιας ζωής στις σύγχρονες περιβαλλοντικές απαιτήσεις αποτελεί μονόδρομο. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία αποσκοπεί στην διαμόρφωση μιας ευημερούσας και δίκαιης κοινωνίας που στηρίζεται σε μια σύγχρονη και ανεπτυγμένη οικονομία, με αποδοτικότερη χρήση των φυσικών πόρων διατηρώντας την ανταγωνιστικότητα στην αγορά, που όμως θα έχει εξασφαλίσει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και λοιπών περιβαλλοντικών ρύπων έως το 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019). Παράλληλα, αποσκοπεί στην προστασία της δημόσιας υγείας, στην προστασία της βιοποικιλότητας και στην ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της ΕΕ από τους κινδύνους του περιβάλλοντος (βλ. Εικόνα 1). Πρόκειται ουσιαστικά για την νέα αναπτυξιακή πολιτική της Επιτροπής για μια δίκαιη και χωρίς αποκλεισμούς μετάβαση της τρέχουσας, αλλά παρωχημένης οικονομικής ζωής, σε σύγχρονα και «πράσινα» μοντέλα. Κάθε μετάβαση απαιτεί και δαπάνες σε όλους τους τομείς. Το σχέδιο επίσης θα επιφέρει σημαντικές δομικές αλλαγές τόσο στις αγορές, όσο και στις διαδικασίες παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης, στην προμήθεια, στον εφοδιασμό και στην ενεργειακή ασφάλεια των κρατών. Παράλληλα εκτείνεται από το σύνολο της Ένωσης και τα κράτη μέλη, στις επιμέρους περιφερειακές και τοπικές αρχές και αναφέρεται σε όλους τους ευρωπαίους πολίτες. Προϋποθέτει την ύπαρξη συνεργατικού κλίματος της κοινωνίας με την βιομηχανία, το θεσμικό πλαίσιο για την ρύθμιση των διαδικασιών, τους μηχανισμούς και την χρηματοδότηση για την υλοποίηση της ασφαλέστερης μετάβασης στο «πράσινο» μοντέλο, υπό την ενιαία για όλα τα κράτη-μέλη ευρωπαϊκή

πολιτική. Το εγχείρημα για την απεξάρτηση της οικονομίας από την χρήση πόρων δεν είναι ούτε εύκολο, ούτε πάντοτε βιώσιμο. Για την κάλυψη των δαπανών για την ασφαλή μετάβαση, η Ένωση απαιτείται να ακολουθήσει μια πορεία εξαιρετικά μεγάλων δημόσιων επενδύσεων και αναδιάρθρωσης των αγορών. Με τη διοχέτευση ιδιωτικών κεφαλαίων σε δράσεις για το κλίμα, θα επιχειρήσει να υποστηρίξει την δράση της, αποφεύγοντας τις περιπτώσεις εκείνες που τα ιδιωτικά κεφάλαια θα αξιοποιούνταν σε συμβατικές επενδύσεις. Ο αγώνας της Επιτροπής για την απελευθέρωση των επιμέρους αγορών ενέργειας πρόκειται να μεταβληθεί εξαιτίας της διαδικασίας μεθόδευσης κεφαλαίων και στήριξης της Συμφωνίας σε βάρος των συμβατικών επενδύσεων, υιοθετώντας μια περισσότερο «κεϋνσιανή» προσέγγιση της οικονομίας. Καμία δομική αλλαγή τέτοιας κλίμακας δεν μπορεί να υλοποιηθεί χωρίς κρατική παρέμβαση. Τονίζεται ότι ο αγώνας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής θα είναι ευκολότερος αν διαδραματιστεί στο πλαίσιο μιας ενιαίας πολιτικής και συνεργασίας περισσότερων κρατών. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι πλήρως εναρμονισμένη με τις κατευθύνσεις και το Θεματολόγιο του ΟΗΕ για το 2030 και των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης (United Nations, 2015). Σύμφωνα με τις οδεύσεις της προέδρου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ursula von der Leyen, η ΕΕ θα πρέπει να επανεξετάσει τον μακροοικονομικό της σχεδιασμό, ενσωματώνοντας τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης, όπως αυτοί παρουσιάζονται από τον ΟΗΕ, με σκοπό τη βαθύτερη στόχευση στην βιωσιμότητα και ευημερία της οικονομικής πολιτικής της.



Εικόνα 1: Στόχοι Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el)

1.3.1 Η ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ

Στο πλαίσιο των κανόνων και οδηγιών και σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας, η Ελλάδα ανέπτυξε άμεσα το πλάνο δράσης της για την ενέργεια και το κλίμα. Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) είναι ο οδικός χάρτης πολιτικής και μέτρων στον ενεργειακό τομέα, με συγκεκριμένους ποσοτικούς και ποιοτικούς στόχους για το έτος 2030. Η γενική αρχή του σχεδίου αναπτύχθηκε υπό τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης του ΟΗΕ. Οι εθνικοί ενεργειακοί στόχοι, όπως αυτοί αποτυπώνονται στο ΕΣΕΚ, συστάθηκαν προς επίτευξη ενός ευρύ φάσματος στρατηγικών επιδιώξεων. Το Εθνικό σχέδιο εκτείνεται σε κάθε πτυχή της οικονομικής δραστηριότητας της χώρας, με κατεύθυνση τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, την ανάπτυξη των υποδομών και την επέκταση των εγχώριων δικτύων, την ενεργειακή ασφάλεια και την ανάδειξη της σε στρατηγικό ενεργειακό κόμβο για την Ευρώπη. Παράλληλα εστιάζει στην καινοτομία και στον τρόπο που οι νέες τεχνολογίες θα επιφέρουν θέσεις εργασίας με αποδέκτες τους πολίτες. Κύριος στόχος του ΕΣΕΚ είναι η ανάπτυξη των Μέτρων Πολιτικής που θα συντελέσουν στην επίτευξη των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων εθνικών στόχων που αποσκοπούν στην ανάπτυξη της εγχώριας οικονομίας, την ενδυνάμωση του ανταγωνισμού της αγοράς ενέργειας μέσω της μείωσης του κόστους και της σταθερότητας των τιμών για την ασφάλεια του τελικού καταναλωτή. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο ανάπτυξης των ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) στην Ελλάδα, το ΕΣΕΚ στοχεύει στην συμμετοχή τους για τουλάχιστον 35% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2030. Σήμερα, το συνολικό μερίδιο των ΑΠΕ στην αγορά ενέργειας εκτιμάται στο 18%. Ειδικότερα για την ηλεκτροπαραγωγή, αναμένεται μια συμμετοχή των ΑΠΕ μεγαλύτερη του 65%, έπειτα από την ραγδαία και ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών και αιολικών σταθμών στην χώρα την τελευταία δεκαετία. Για την διατήρηση της τρέχουσας δυναμικής των επενδύσεων ΑΠΕ, απαιτείται μια οργανωμένη και αυτοματοποιημένη διαδικασία αδειοδότησης προκειμένου να ενθαρρύνονται οι επενδύσεις και οι επιχειρηματικές πρωτοβουλίες. Η πλήρη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στους μηχανισμούς της αγοράς ενέργειας και του μοντέλου-στόχου θα επιτρέψει την βαθύτερη διείσδυση τους στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Στον τομέα των μεταφορών, το ΕΣΕΚ εστιάζει στην ηλεκτροκίνηση και τα βιώσιμα καύσιμα. Η ηλεκτροκίνηση θα συνδέεται άμεσα με την πολιτική των ΑΠΕ αφού η εδραίωση της στην εγχώρια αγορά θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη σταθμών ΑΠΕ. Οι μεταφορές αποτελούν σημαντικό πεδίο εφαρμογής της ενέργειας και η μετάβασή τους στον ηλεκτρισμό αποτελεί για το ΕΣΕΚ ειδική πρόνοια. Για το κλίμα, κύριος στόχος του ΕΣΕΚ είναι η μείωση των εκπομπών των Αερίων του Θερμοκηπίου κατά 56% για το 2030, σε σχέση με το 2005. Σε σύγκριση με τον ευρωπαϊκό στόχο για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου στο 36%. Η οριστική απομόνωση του μεριδίου του λιγνίτη από την ηλεκτροπαραγωγή και η αντικατάσταση αυτού από ΑΠΕ θα επιτρέψει την κατάκτηση του στόχου μεσοπρόθεσμα. Υπολογίζεται ότι η καθολική απεξάρτηση από την εκμετάλλευση του λιγνίτη θα πραγματοποιηθεί έως το 2028. Το έτος 2030 αποτελεί ορόσημο για την επέκταση των εγχώριων δικτύων. Επιπλέον, αναμένεται η διασύνδεση των κύριων νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με καταληκτικό έτος το 2029. Τα νησιά που δεν θα καταφέρουν να

ενταχθούν, είτε θα διασυνδεθούν σε δεύτερη φάση, είτε θα διατηρούν υβριδικές και καινοτόμες μονάδες παραγωγής ενέργειας ΑΠΕ για ίδια χρήση. Έτσι επιτυγχάνεται η άρση της απομόνωσης των νησιών από το ηπειρωτικό δίκτυο, η οποία όμως θα υλοποιηθεί με γνώμονα την ενεργειακή απόδοση του έργου και την ενεργειακή τους ασφάλεια. Αναφορικά με την ενεργειακή απόδοση, βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή αλλά και την επιτυχία του ΕΣΕΚ είναι να διασφαλίζεται η οικονομική βιωσιμότητα των μέτρων. Όλες οι κατευθύνσεις του ΕΣΕΚ θα πρέπει να ακολουθούν αυτόν τον άξονα και να τον εφαρμόζουν κατά τον βέλτιστο τρόπο για καλύτερα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, επιπρόσθετος στόχος του ΕΣΕΚ είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 38% έως το 2030. Βασικό χαρακτηριστικό της ενεργειακής απόδοσης είναι η εξοικονόμηση. Στον κτιριακό τομέα, το ΕΣΕΚ προβλέπει ειδική πρόνοια για την αναβάθμιση των δημόσιων κτιρίων και την ανανέωση αυτών που έχουν ξεπεράσει τον κύκλο της ζωής τους. Η ανακαίνιση θα πραγματοποιηθεί μέσω των ιδιωτικών εταιριών του μηχανισμού ESCO και ESPC (European Commission, 2017). Τέλος, μέχρι το 2030 αναμένεται η ενεργειακή αναβάθμιση 12-15% του κτιριακού αποθέματος της χώρας.

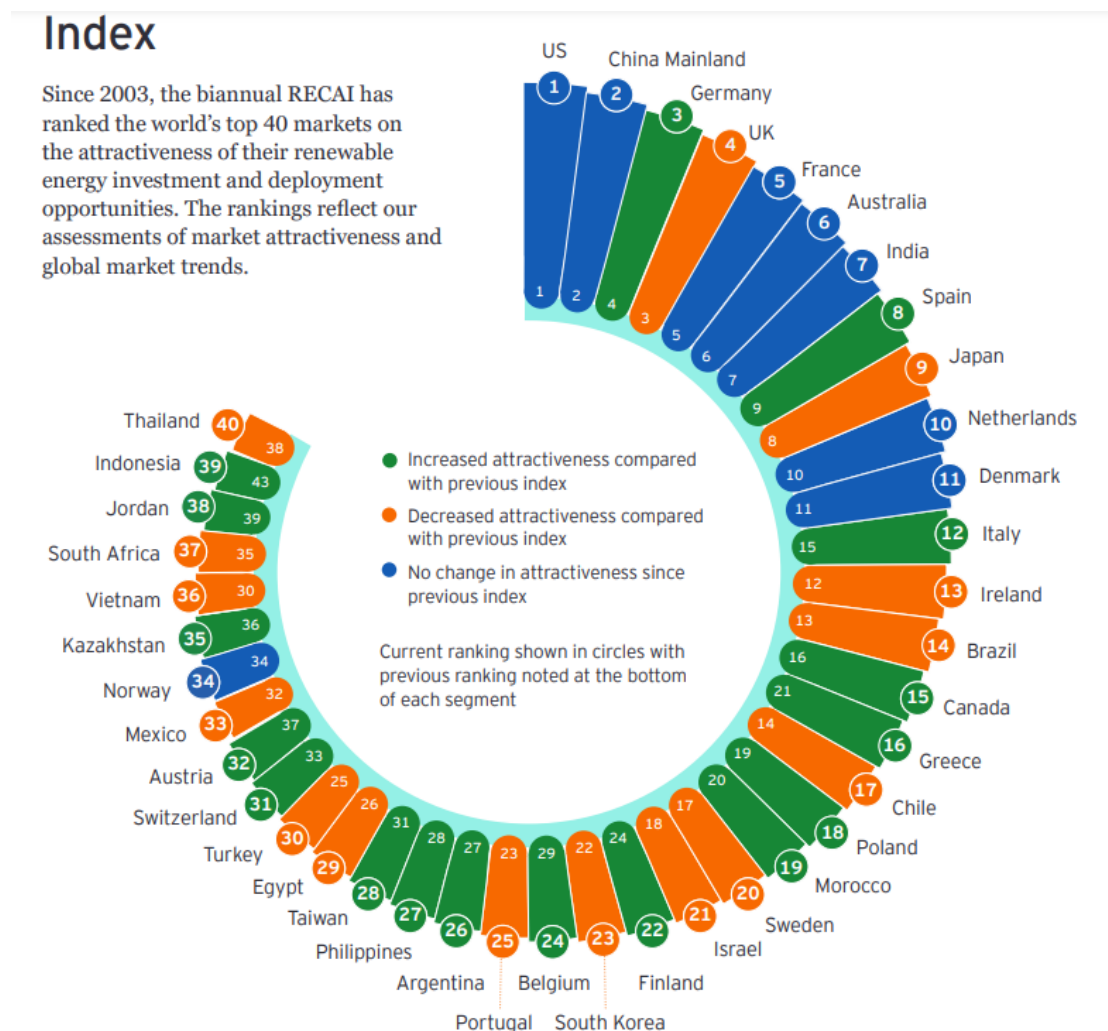
1.4 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τον Ιούνιο του 2022, ψηφίστηκε νομοθεσία για την επίσπευση της αδειοδότησης ενεργειακών έργων στην Ελλάδα. Γενικά, ο μέσος χρόνος για την αδειοδότηση πράσινων έργων είναι πέντε χρόνια. Σύμφωνα όμως με τη νέα νομοθεσία, αναμένεται να αλλάξει στους 14 μήνες, όπου θα υπάρχουν καθορισμένες προθεσμίες, κυρώσεις και πρόστιμα για την οποιαδήποτε καθυστέρηση της διαδικασίας αδειοδότησης. Επιπλέον, ο νέος νόμος απαιτεί την ανάπτυξη τουλάχιστον 3,5 GW αποθήκευσης ενέργειας έως το 2030 και αυξημένες συνδέσεις στο δίκτυο για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Buchsbaum, 2022). Σύμφωνα με την Energy Press, τα μέτρα αυτά θα αποτελέσουν βασικό ρόλο βοηθώντας την αγορά να επιτύχει τον στόχο της για τα 25 GW χωρητικότητας ανανεώσιμης ενέργειας μέχρι το 2030, χωρίς να υπολογίζεται η υδροηλεκτρική ενέργεια. Επιπροσθέτως, με την ψήφιση του πρώτου σχετικού νόμου, η Ελλάδα τον Ιούλιο του 2022 ξεκίνησε το πρόγραμμα υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Σήμερα, βρίσκεται σε εξέλιξη ο προσδιορισμός των υπεράκτιων ζωνών αιολικής ενέργειας καθώς και των κριτηρίων για τις δημοπρασίες. Επίσης, στα πλαίσια του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα, η Ελλάδα έχει θέσει ως στόχο την προσθήκη των 2GW υπεράκτιας αιολικής ενέργειας έως το 2030, όπου μεγάλο μέρος της οποίας θα προέρχεται από πλωτά υπεράκτια αιολικά πάρκα. Τέλος, παράλληλα βρίσκονται οι διαχειριστές των συστημάτων μεταφοράς ενέργειας στη διαδικασία εντοπισμού δυνατοτήτων σύνδεσης για μελλοντικά έργα ΑΠΕ (Wind Europe, 2022).

Τον Σεπτέμβριο του 2022, η Ελλάδα κατέθεσε 538,4 MW δυναμικότητας στον πιο πρόσφατο διαγωνισμό της για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με την ηλιακή ενέργεια από φωτοβολταϊκά να δίνει 372 MW για 14 αγροκτήματα με μέση τιμή 47,98 € (48,83 USD)/MWh. Τα έργα αιολικής ενέργειας εξασφάλισαν 166 MW με μέση τιμή 57,66 €/MWh και 56,9 δολάρια ΗΠΑ/MWh (Tsagas, 2022). Ωστόσο, η Ελλάδα συνεχίζει να προσελκύει μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον καθώς υπέγραψε την πρώτη της διμερή

συμφωνία αγοράς ενέργειας με τον Όμιλο Αχρo για ένα έργο ηλιακής ενέργειας 100 MW (Igor, 2022).

Σύμφωνα με την 60^η έκθεση RECAI, η Ελλάδα βρέθηκε στην 16^η θέση του δείκτη της ΕΥ που αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ΕΥ Renewable Energy Country Attractiveness Index (RECAI 60). Παράλληλα, κατατάσσεται τη δεύτερη θέση παγκοσμίως όσον αφορά τις επιδόσεις των χωρών, σύμφωνα με το μέγεθος του ΑΕΠ τους (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν). Η έρευνα αυτή, αξιολογεί τις 40 κορυφαίες οικονομίες του κόσμου και τις κατατάσσει ως προς την ελκυστικότητα των επενδυτικών ευκαιριών σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βλ. Εικόνα 2). Σημειώνεται ότι η 16^η θέση που ανέβηκε η Ελλάδα είναι η υψηλότερη που έχει καταλάβει μέχρι τώρα στην τριακονταετή ιστορία του δείκτη, έχοντας ανέβει πέντε θέσεις από την έκδοση του Απριλίου, η οποία είναι η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των χωρών του δείκτη και οκτώ θέσεις από την έκδοση του Οκτωβρίου του 2021.



Εικόνα 2: Οι 40 κορυφαίες οικονομίες του κόσμου, καταναμημένες ως προς την ελκυστικότητα των επενδυτικών ευκαιριών σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RECAI 60).

Ο παραπάνω δείκτης, ευνοεί τις ισχυρότερες οικονομίες του κόσμου, καθώς λόγω μεγέθους, έχουν και τις μεγαλύτερες αγορές ΑΠΕ. Έτσι λοιπόν, η έκθεση περιλαμβάνει και έναν δεύτερο δείκτη ο οποίος προσαρμόζει τις επιδόσεις κάθε χώρας με βάση το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ), για να διερευνήσει τις επιδόσεις των χωρών σε σχέση με το οικονομικό τους μέγεθος. Με βάση τον προσαρμοσμένο αυτόν δείκτη, η Ελλάδα κατατάσσεται στη δεύτερη θέση, μετά το Μαρόκο, και πάνω από την Δανία, την Ιορδανία, τη Χιλή και την Ιρλανδία (βλ. Εικόνα 3).

Market	Normalized ranking	RECAI ranking	Movement vs. RECAI ranking
Morocco	1	19	▲ 18
Greece	2	16	▲ 14
Denmark	3	11	▲ 08
Jordan	4	38	▲ 34
Chile	5	17	▲ 12
Ireland	6	13	▲ 07
Australia	7	6	▼ 01
Portugal	8	25	▲ 17
Finland	9	22	▲ 13
Germany	10	3	▼ 07
Netherlands	11	10	▼ 01
United Kingdom	12	4	▼ 08
France	13	5	▼ 08
Spain	14	8	▼ 06
India	15	7	▼ 08
Israel	16	21	▲ 05
Poland	17	18	▲ 01
Sweden	18	20	▲ 02
Philippines	19	27	▲ 08
Belgium	20	24	▲ 04

Εικόνα 3: Κατάταξη χωρών με βάση τις επιδόσεις τους σε σχέση με το οικονομικό τους μέγεθος (RECAI 60).

Η 60^η έκθεση RECAI, η οποία συνέπεσε με την Ημέρα Ενέργειας της Διάσκεψης των Μελών των Ηνωμένων Εθνών COP27, διαπιστώνει ότι οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο επιταχύνουν τα προγράμματά τους για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με σκοπό να συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησής τους από την εισαγόμενη ενέργεια, σε μία περίοδο συνεχιζόμενων γεωπολιτικών εντάσεων και οικονομικής αβεβαιότητας.

Όσον αφορά το βιοαέριο, στα 84,4 MW εγκατεστημένης ισχύος βιοαερίου στην Ελλάδα, προστίθενται και 21,1 MW εγκατεστημένης ισχύος από εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, που κατηγοριοποιούνται στο ίδιο πλαίσιο από τον Διαχειριστή ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης (ΔΑΠΕΕΠ). Βάσει των στοιχείων του ΔΑΠΕΕΠ, η κατανομή της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ τον Αύγουστο του 2021, ήταν (Στοιχεία 08/2021):

Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)

- Αιολικά: 4.059,9
- Φωτοβολταϊκά (διασυνδεδεμένο δίκτυο ΔΕΔΔΗΕ): 3.196,6
- Μικροί Υδροηλεκτρικοί σταθμοί: 247,2
- Βιοαέριο – Βιομάζα: 105,5

Ενεργειακή Παραγωγή (MWh)

- Αιολικά: 647.695
- Φωτοβολταϊκά (διασυνδεδεμένο δίκτυο ΔΕΔΔΗΕ): 510.367
- Μικροί Υδροηλεκτρικοί σταθμοί: 27.238
- Βιοαέριο – Βιομάζα: 32.682

Συνεπώς, το βιοαέριο/βιομάζα αποτελούν μόλις το 1,4% της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων Παραγωγής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, συνεισφέροντας στο 2,7% της παραγωγής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ (εξαιρούνται τα μη διασυνδεδεμένα νησιά). Ωστόσο, σχετικά με την κατανομή των πρώτων υλών για την παραγωγή βιοαερίου στην Ελλάδα, οι σταθμοί βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα (π.χ. κοπριές), ενώ ακολουθούν οι ενεργειακές καλλιέργειες αντιπροσωπεύοντας το 15,4% των υποστρωμάτων.

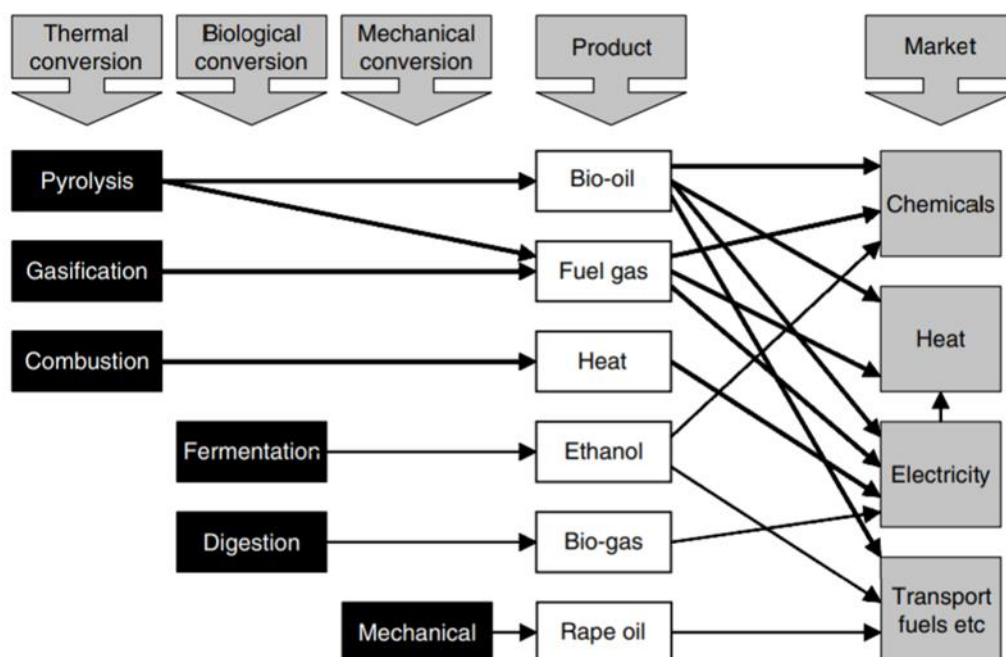
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΟΜΑΖΑ

Ως Βιομάζα θεωρείται κάθε οργανική ύλη που είναι διαθέσιμη σε ανανεώσιμη βάση και περιλαμβάνει τις ενεργειακές καλλιέργειες, τα υποπροϊόντα ή τα κατάλοιπα των δασικών προϊόντων, των παραπροϊόντων ή των υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών, των ζωικών αποβλήτων, του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων και των υδρόβιων φυτών. Η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα ονομάζεται βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια. Οι φυτικοί οργανισμοί με τη δράση του ήλιου και των θρεπτικών συστατικών του εδάφους, μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και το νερό σε σάκχαρα και οξυγόνο. Σχηματικά, η διεργασία αυτή διατυπώνεται ως εξής:



Η βιομάζα, θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς είναι μια αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που έχει δεσμευτεί από τα φυτά κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Δαβόρας, 2009). Επιπλέον, διαθέτει τις υψηλότερες δυνατότητες για να συμβάλει στις ενεργειακές ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας τόσο για τις ανεπτυγμένες όσο και για

τις αναπτυσσόμενες οικονομίες παγκοσμίως. Μέχρι και σήμερα υπάρχουν λαοί στην Αφρική και στην Ινδία που για την κάλυψη των βασικών τους αναγκών, χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Επίσης, κατέχει πρωταρχικό ρόλο καθώς είναι η μοναδική ανανεώσιμη πηγή σταθερού άνθρακα, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις για καύσιμα και καταναλωτικά αγαθά (Bridgwater, T.,2006). Τέλος, τόσο τα καύσιμα όσο και τα κατάλοιπα της βιομάζας, μετατρέπονται σε ενέργεια μέσω διάφορων διεργασιών, όπως είναι οι θερμικές, βιολογικές, μηχανικές ή φυσικές διεργασίες (βλ. Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Διαδικασίες μετατροπής, προϊόντα και εφαρμογές βιομάζας (Bridgwater, 2006).

Σε μία διαδικασία παραγωγής ενέργειας και προϊόντων καυσίμου από βιομάζα, περιλαμβάνεται ένα σύστημα παραγωγής βιομάζας, το οποίο διαθέτει πέντε στάδια μετατροπής (Bridgwater & Maniatis K., 2004):

- Παραγωγή και συγκομιδή βιομάζας, επεξεργασία όπως θρυμματισμός και μεταφορά στο εργοστάσιο μετατροπής.
- Παραλαβή, αποθήκευση και προεπεξεργασία τροφών για την προετοιμασία της βιομάζας για την επακόλουθη διαδικασία μετατροπής.
- Μετατροπή της στερεάς βιομάζας σε πιο εύχρηστη μορφή ενέργειας με μέσα όπως η αεριοποίηση ή η πυρόλυση.
- Διύλιση ή καθαρισμός πρωτογενούς προϊόντος.
- Μετατροπή του πρωτογενούς προϊόντος σε εμπορεύσιμο τελικό προϊόν όπως ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα, υγρά βιοκαύσιμα ή χημικά.

Τα παραπροϊόντα της βιομάζας είναι ο άνθρακας και το αέριο, τα οποία περιέχουν περίπου 25 και 5%, αντίστοιχα, της ενέργειας στο υλικό τροφοδοσίας. Ωστόσο, η ίδια διαδικασία της πυρόλυσης χρειάζεται το 15% περίπου της ενέργειας κατά την τροφοδοσία, ενώ από τα παραπροϊόντα, μόνο το απανθρακωμένο έχει αρκετή ενέργεια για να παρέχει αυτή τη θερμότητα. Τέλος, η θερμότητα μπορεί να προέλθει από την καύση του αερίου ή/και του υποπροϊόντος του άνθρακα (Czernik S. & Bridgwater, A., 2004).

Ο Πίνακας 1 συνοψίζει μερικά από τα κύρια προϊόντα που μπορούν να ληφθούν από την επεξεργασία της βιομάζας (Bridgwater & Maniatis K., 2004):

Πίνακας 1: Βασικά προϊόντα από τη μετατροπή βιομάζας

<i>Προϊόν</i>	<i>Βιολογική επεξεργασία</i>	<i>Φυσική επεξεργασία</i>	<i>Θερμική επεξεργασία</i>
Καύσιμα			
<i>Πρόσθετα</i>	✓	✓	✓
<i>Αλκοόλ</i>	✓		✓
<i>Κάρβουνο</i>			✓
<i>Καύσιμα τύπου Diesel</i>		✓	
<i>Υγρά καύσιμα και λιπαντικά μέσω της διαδικασίας Fischer-Tropsch</i>			✓
<i>Μαζούτ</i>			✓
<i>Αέριο</i>	✓		✓
<i>Βενζίνη</i>			✓
<i>Υδρογόνο</i>	✓		✓
Χημικά			
<i>Ακετόνη</i>	✓		
<i>Ενεργός Άνθρακας</i>			✓
<i>Βουτανόλη</i>	✓		
<i>Αιθανόλη</i>	✓		✓
<i>Λιπάσματα</i>	✓		✓
<i>Λεπτά Χημικά</i>	✓	✓	✓
<i>Πρόσθετα τροφίμων</i>	✓		✓
<i>Υδρογόνο</i>	✓		✓
<i>Μεθάνιο</i>	✓		✓

Μεθανόλη	✓
Ρητίνες	✓

Σημειώνεται ότι η αγορά βιομάζας αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, λόγω του ολοένα και μεγαλύτερου ενδιαφέροντος των επενδυτών για πράσινη ενέργεια, έχοντας και την συνεχή στήριξη από την Ευρωπαϊκή Ένωση και την Ελληνική Κυβέρνηση. Επίσης, με την αναμόρφωση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) της ΕΕ, προμολοδοτείτε η καλλιέργεια ειδικών αγροτικών προϊόντων για την παραγωγή βιοκαυσίμων (Hall, 1997).

2.1 ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα ως πρώτη ύλη, είτε για παραγωγή ενέργειας, είτε για παραγωγή βιοκαυσίμων, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες που είναι οι εξής:

- Βιομάζα υπολειμματικής μορφής (π.χ. ζωικά απόβλητα, φυτικά υπολείμματα και αστικά απορρίμματα).
- Βιομάζα που προέρχεται από ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. καλλιεργούμενα ή αυτοφυή φυτά).

Πιο συγκεκριμένα, οι βασικές πρώτες ύλες προέρχονται από μια πληθώρα δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη βιομάζα όπως είναι (Χρήστου et al., 2006):

- a) Γεωργικά απόβλητα και υπολείμματα. Δηλαδή, τα υπολείμματα από γεωργικές καλλιέργειες όπως είναι τα κλαδιά, άχυρο σιτηρών, φύλλα, στελέχη κ.α. αλλά και από την επεξεργασία των γεωργικών προϊόντων (πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.α.).
- b) Ενεργειακές καλλιέργειες. Δηλαδή, καλλιεργούμενα ή αυτοφυή φυτά για την παραγωγή βιομάζας όπως είναι ο ηλίανθος, σόργο, αγριαγκινάρα, καλαμπόκι, ελαιοκράμβη κ.α.
- c) Παραπροϊόντα βιομηχανικής διεργασίας. Η βιομηχανία βιοκαυσίμου παράγει συνεχώς τεράστιο όγκο ακατέργαστης γλυκερόλης ως παραπροϊόν (Διαμαντή, 2023).
- d) Δασικά υπολείμματα και απόβλητα στα οποία περιλαμβάνονται τα καυσόξυλα, πριονίδια και ξυλάνθρακες.
- e) Απόβλητα κτηνοτροφίας στα οποία περιλαμβάνονται τα απόβλητα από κτηνοτροφικές μονάδες όπως βουστάσια, χοιροστάσια, πτηνοτροφεία (π.χ. ζωικά περιττώματα, αχυροστρωμένη κ.α.) αλλά και αλιευτικά απόβλητα.
- f) Άλλα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα και υπολείμματα στα οποία ανήκουν τα απόβλητα από σφαγεία και από βιομηχανίες τροφίμων.
- g) Ελαιούχες ύλες, δηλαδή χρησιμοποιημένα φυτικά και ζωικά λίπη.
- h) Αστικά απόβλητα στα οποία ανήκει το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων, των βιομηχανικών λυμάτων και των αστικών αποβλήτων.

Τα αστικά λύματα που έχουν υποστεί δευτεροβάθμια επεξεργασία καθαρισμού, μπορούν να επεξεργαστούν με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην άρδευση δασικών εκτάσεων και η βιομάζα που θα συλλεχθεί, θα χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, εφόσον τα επεξεργασμένα αστικά λύματα θα διατεθούν για την άρδευση των δασικών εκτάσεων, θα πρέπει να τηρούν ορισμένες προδιαγραφές όσον αφορά την ποιότητα εκροή τους για να αποφευχθεί η πιθανότητα μόλυνσης του εδάφους, των υπόγειων νερών και των ατόμων που εργάζονται ή επισκέπτονται τις δασικές εκτάσεις. Τέλος, η διάθεση των αστικών λυμάτων στην δασοπονία πλεονεκτεί για τους παρακάτω λόγους (Αποστολάκης, 1987):

- Για την άρδευση δασικών εκτάσεων δεν είναι απαραίτητη η καλή ποιότητα εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων όσο απαιτείται για τις γεωργικές εκτάσεις.
- Δεν δημιουργούνται κοινωνικές αντιθέσεις για την άρδευση δασικών εκτάσεων όπως πιθανώς να συμβεί στην περίπτωση διάθεσής τους σε γεωργικές εκτάσεις.

Όσον αφορά την Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων διατίθεται σε υδάτινα περιβάλλοντα όπως είναι η θάλασσα, για τον κύριο λόγο ότι η Ελλάδα, ως παραθαλάσσια χώρα, διαθέτει μεγάλο μήκος ακτών. Επίσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 5, στην Ελλάδα η κύρια εκμετάλλευση των πρώτων υλών εξαρτάται από τις ενεργειακές καλλιέργειες, τα οργανικά υποπροϊόντα, από τα υπολείμματα διάφορων καλλιεργειών και από την καλλιέργεια ελαιόλαδου.

Κατηγορία	Γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας που έχουν υψηλό δυναμικό αυτής της συγκεκριμένης κατηγορίας βιομάζας
Καλλιέργεια ελαιολάδου, επεξεργασία και σχετικά προϊόντα	Λακωνία, Μεσσηνία, Ηλεία, Ηράκλειο
Καλλιέργεια αμπέλων - σταφυλιών	Κορινθία, Κρήτη
Καλλιέργεια δέντρων (υπολείμματα)	Ημαθία, Πέλλα, Αργολίδα
Δασοκομία (υπολείμματα)	Ευρυτανία, Ροδόπη
Υπολείμματα διάφορων καλλιεργειών	Βοιωτία, Λάρισα, Καρδίτσα, Αιτωλοακαρνανία, Έβρος
Υπολείμματα θερμοκηπίων	Κρήτη
Ενεργειακές καλλιέργειες	Σχεδόν σε όλες τις γεωργικές περιοχές
Οργανικά υποπροϊόντα	Θεσσαλονίκη, Τρίκαλα, Πρέβεζα, Εύβοια, Αιτωλοακαρνανία, Χαλκίδα

Εικόνα 5 : Οι κατηγορίες της βιομάζας ανάλογα με τις γεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας (Αποστολάκης, 1987).

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Παρακάτω διακρίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα βιομάζας, τα οποία είναι τα εξής (Vassilev et al., 2015):

- a) Η βιομάζα κατά τη χρήση της δεν επιβαρύνει το περιβάλλον καθώς δεν απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης, η ποσότητα που εκλύεται απορροφάται και πάλι από τα φυτά, δημιουργώντας έναν αέναο κύκλο ανανέωσης της ενέργειας.
- b) Μετάβαση στην οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή από τους υδρογονάνθρακες, στους υδατάνθρακες και τους πόρους H_2 .
- c) Χρήση μη βρώσιμης βιομάζας.
- d) Διατήρηση ορυκτών καυσίμων.
- e) Υψηλές συγκεντρώσεις πτητικής ύλης, Ca, H, Mg και P, δομικά οργανικά συστατικά, εκχυλίσματα, υδατοδιαλυτά θρεπτικά στοιχεία.
- f) Βιοαποικοδομήσιμος πόρος με μεγάλη αντιδραστικότητα και χαμηλές αρχικές θερμοκρασίες ανάφλεξης και καύσης κατά τη μετατροπή.
- g) Τεράστιος και φθηνός πόρος για την παραγωγή βιοκαυσίμων, προσροφητικών ουσιών, λιπασμάτων, αλκαλικών παραγόντων ασβεστοποίησης και εξουδετέρωσης, δομικών υλικών.
- h) Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για φυσική βιομάζα
- i) Ανάκτηση ορισμένων στοιχείων και ενώσεων
- j) Το φαινόμενο της όξινης βροχής που δημιουργείται λόγω του διοξειδίου του θείου (SO_2), το οποίο παράγεται από τη καύση των ορυκτών καυσίμων, περιορίζεται καθώς η βιομάζα περιέχει πολύ μικρές ποσότητες.
- k) Η βιομάζα παράγεται εγχώρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενεργειακή απεξάρτηση.
- l) Για την παραγωγή της βιομάζας είναι απαραίτητη η απασχόληση των αγροτικών περιοχών σε νέες εναλλακτικές καλλιέργειες και τομείς. Συνεπώς, αυξάνονται οι θέσεις εργασίας και τα κίνητρα για την απασχόληση ατόμων στις αγροτικές περιοχές.
- m) Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Ωστόσο, η χρήση της βιομάζας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία είναι:

- a) Καταλαμβάνει μεγαλύτερο όγκο και περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.
- b) Υψηλό κόστος επένδυσης.
- c) Παρουσιάζονται δυσκολίες όσο αφορά τη συλλογή, την αποθήκευση και τη μεταφορά στα κέντρα επεξεργασίας.
- d) Οι ειδικές εγκαταστάσεις που απαιτούνται για την αξιοποίηση της είναι αρκετά δαπανηρές.
- e) Η τροφοδοσία των μονάδων επεξεργασίας της είναι δύσκολη λόγω της εποχικότητας της αλλά και της μεγάλης διασποράς.

2.3 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού και μεταφορών μέσω της παραγωγής βιοκαυσίμων. Ανάλογα με την πρώτη ύλη της βιομάζας, θα πρέπει να γίνεται και η απαραίτητη επεξεργασία ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ενεργειακή της απόδοση. Συνήθως απαιτείται και προκατεργασία πριν τις βασικές μετατροπές, με εξαίρεση την απευθείας καύση βιομάζας προς παραγωγή θερμότητας. Οι βασικές μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες (Bauen et al., 2009):

- **Θερμοχημικές:** Περιλαμβάνει την καύση, την αεριοποίηση και την πυρόλυση.
- **Φυσικοχημικές:** Η βιομάζα μετατρέπεται σε βιοκαύσιμα υψηλής πυκνότητας. Περιλαμβάνει την μετεστεροποίηση και την υδρογόνωση.
- **Βιοχημικές:** Είναι περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον σε σχέση με τις θερμοχημικές, ενώ θεωρούνται διεργασίες αντίστροφες της φωτοσύνθεσης. Περιλαμβάνει την αναερόβια χώνευση και τη ζύμωση.

Σημειώνεται ότι η ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί την πιο αποδοτική τεχνολογία και ως αποτέλεσμα επιλέγεται περισσότερο η καύση στερεής βιομάζας, ενώ έπειτα αξιοποιείται το βιοαέριο που παράγεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης (ΥΠΕΚΑ).

Όσον αφορά τις χρήσεις της βιομάζας είναι οι εξής (www.cres.gr):

- a) Κάλυψη των αναγκών για θέρμανση ή ψύξη και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες. Όταν πραγματοποιείται η συμπαραγωγή, δηλαδή ο συνδυασμός παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, γίνεται εξοικονόμηση μεγάλου ποσοστού ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται σημαντική μείωση στις εκπομπές ρύπων ενώ παράλληλα οι απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά των καυσίμων ελαχιστοποιούνται. Η απόδοση για τα συστήματα συμπαραγωγής φτάνει το 75-85% σε σύγκριση με τα συμβατικά των οποίων η απόδοση είναι της τάξεως του 15-40%.
- b) Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών. Μέσω δικτύου αγωγών μεταφέρεται θερμότητα από τα σημεία παραγωγής προς τα θερμαινόμενα κτίρια. Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: υψηλή απόδοση, αντιμετώπιση της ρύπανσης του πλανήτη και η ελαχιστοποίηση χρήσης συμβατικών καυσίμων.
- c) Θέρμανση θερμοκηπίων. Στην Ελλάδα το 10% των θερμαινόμενων θερμοκηπίων αξιοποιούν κάποια μορφή βιομάζας.
- d) Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας. Αφορά κυρίως τη παραγωγή βιοαιθανόλης (οινοπνεύματος) μέσω της βιοχημικής διεργασίας. Ενώ η βιοαιθανόλη είναι αισθητά πιο ακριβή από την βενζίνη, παρατηρείται ότι προτιμάται περισσότερο, διότι αποτελεί πιο καθαρό καύσιμο και επίσης δίνει λύση σε αρκετά γεωργικά προβλήματα.
- e) Βιοαέριο. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

Όταν τα στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα προέρχονται από βιομάζα, ονομάζονται βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα περιέχουν τουλάχιστον 80% κατά όγκο υλικά τα οποία προέρχονται από ζωικούς ή φυτικούς οργανισμούς. Επίσης, μπορούν να μειώσουν σε σημαντικό βαθμό τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) καθώς χρησιμοποιούνται στις μεταφορές, αλλά και να μειώσουν την εξάρτηση από εισαγόμενες πηγές ενέργειας. Τα πιο συνηθισμένα είδη βιοκαυσίμων είναι (Δαβόρας, 2009):

- a) Βιοντίζελ. Παράγεται από φυτικά έλαια και ζωικά λίπη, ενώ αποτελεί ένα πολύ καλό υποκατάστατο του συμβατικού ντίζελ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο ή σε μίγματα με αυτό στους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες.
- b) Βιοαιθανόλη. Παράγεται από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μίγματα με βενζίνη.
- c) Βιοαέριο. Παράγεται από τα οργανικά αγροτοβιομηχανικά και άλλα απόβλητα και υπολείμματα, αλλά και από ενεργειακά φυτά.
- d) Τα pellets και οι briquettes που παράγονται από αγροτικά υπολείμματα.
- e) Βιοκαύσιμα νέας γενιάς (βιοντίζελ, βιοαιθανόλη, πράσινο ντίζελ, βιοϋδρογόνο, βιοαέριο, αέριο σύνθεσης, συνθετικά βιοκαύσιμα κ.α.). Παράγονται από απόβλητη και υπολειμματική βιομάζα με λιγότερα προβλήματα.

3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα βιοκαύσιμα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής (Jeffrey & Goettemoeller, 2007):

- Βιοκαύσιμα 1ης γενιάς: Δημιουργούνται από δύο τύπους βρώσιμων πρώτων υλών, όπου οι πρώτες ύλες είναι με βάση το άμυλο (πατάτες, κριθάρι, καλαμπόκι, σιτάρι) και τη ζάχαρη (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα). Οι πρώτες ύλες καλλιεργούνται σε μονοκαλλιέργειες. Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένας τύπος πρώτης ύλης καλλιεργείται στον ίδιο χώρο την ίδια στιγμή. Οι πιο κοινές πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι το καλαμπόκι, το ζαχαροκάλαμο και το σιτάρι. Τέλος, η μετατροπή της πρώτης ύλης σε βιοκαύσιμα, γίνεται μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης.
- Βιοκαύσιμα 2ης γενιάς: Ο σκοπός δημιουργίας τους ήταν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς. Παράγονται από μη εδώδιμες καλλιέργειες όπως είναι: το ξύλο, τα οργανικά απόβλητα, απόβλητα καλλιεργειών από τρόφιμα και συγκεκριμένες καλλιέργειες βιομάζας.
- Βιοκαύσιμα 3ης γενιάς: Τα βιοκαύσιμα τρίτης γενιάς παρασκευάστηκαν με στόχο να βελτιωθεί η παραγωγή της βιομάζας. Προέρχονται από τα μικροφύκη (Αλγη), τα οποία καλλιεργούνται ώστε να λειτουργούν με χαμηλό κόστος υψηλής ενέργειας και πλήρως ανανεώσιμη ύλη. Επίσης, τα φύκη καλλιεργούνται σε γη ή νερό τα οποία είναι ακατάλληλα για την παραγωγή τροφίμων. Τέλος, παρασκευάζεται ένα ευρύ φάσμα καυσίμων όπως είναι το ντίζελ, η βενζίνη αλλά και καύσιμα αεριοθούμενων.

- Βιοκαύσιμα 4 ης γενιάς: Τα βιοκαύσιμα της τέταρτης γενιάς δημιουργήθηκαν όχι μόνο για την παραγωγή πράσινης ενέργειας αλλά και για τον τρόπο σύλληψης και αποθήκευσης του διοξειδίου του άνθρακα. Η διαδικασία παραγωγής βιοκαυσίμων τέταρτης γενιάς, διαφέρει απ' αυτήν της δεύτερης και της τρίτης αφού σε όλα τα στάδια παραγωγής, το διοξείδιο του άνθρακα δεσμεύεται χρησιμοποιώντας διαδικασίες όπως η καύση με καθαρό οξυγόνο (oxygen fuel combustion). Στη συνέχεια, το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απομακρυνθεί αποθηκευοντάς το σε εξαντλημένους θύλακες άντλησης πετρελαίου και φυσικού αερίου ή αλατούχους υδροφόρους.

3.2 BIONTIZEΛ

Το βιοντίζελ, αν και είναι 12% λιγότερο ενεργειακά αποδοτικό σε σχέση με ένα συμβατικό ντίζελ, έχει μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Mahabir et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα έχει 31 έως 83% λιγότερες εκπομπές αερίων από τα ορυκτά καύσιμα και 7% υψηλότερη απόδοση καύσης, χωρίς διάφορες προσαρμογές που χρειάζονται για τους κινητήρες εσωτερικής καύσης (Demirbas, 2009). Η παραγωγή του βιοντίζελ γίνεται μέσω της μετεστεροποίησης λιπαρών οξέων με τη μεθανόλη ή την αιθανόλη παρουσία καταλύτη με ποικιλία πρώτων υλών όπως: φυτικό λάδι, ζωικό λίπος, μη βρώσιμο φυτικό λάδι και χρησιμοποιημένο μαγειρικό λάδι (UCO), τα οποία είναι διαθέσιμα στην παραγωγή (Gebremariam & Marchetti, 2018). Τέλος, οι μεθυλικοί ή αιθυλικοί εστέρες των λιπαρών οξέων μπορούν να καούν άμεσα χωρίς τροποποιήσεις στις μηχανές diesel, με τον πολύ χαμηλό σχηματισμό και σχηματίζοντας ένα υποπροϊόν (γλυκερίνη) που έχει εμπορική αξία (Danalatos et al., 2004).

Το βιοντίζελ αποτελεί καύσιμο καθαρής καύσης, το οποίο είναι ανανεώσιμο αλλά και βιοδιασπώμενο. Άλλα φυτικά έλαια από τα οποία μπορεί να δημιουργηθεί το βιοντίζελ είναι (Puhan et al., 2005), (Ramadhass et al., 2005), (Naik, et al., 2008):

- a) Λάδι Mahua
- b) έλαιο από καουτσούκ
- c) έλαιο Pongamia pinnata
- d) φοινικέλαιο
- e) Jatropha curcas
- f) καστορέλαιο

Το πιο κοινό προϊόν είναι ο μεθυλεστέρας ελαιοκράμβης (RME). Στην Ελλάδα, ο ηλίανθος και η ελαιοκράμβη είναι τα δυο πιο κοινά ενεργειακά φυτά που καλλιεργούνται για την παραγωγή βιοντίζελ. Πιο συγκεκριμένα, η καλλιέργεια του ηλίανθου πραγματοποιείται κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα της χώρας, ενώ της ελαιοκράμβης στην κεντρική και ανατολική Μακεδονία.

Παρ' όλα αυτά, η απόδοση φυτικού ελαίου ανά μονάδα επιφάνειας γης είναι πολύ χαμηλή σε περίπου 1–2 τόνους $ha^{-1} y^{-1}$ και συνοδεύεται από περίπου 5–8 τόνους ha^{-1}

γ^{-1} στερεών υπολειμμάτων όπως το άχυρο κράμβης, το οποίο συνήθως δεν χρησιμοποιείται. Γι' αυτό το λόγο και το κόστος του προϊόντος είναι υψηλό. Τέλος, ενώ υπάρχει περιορισμένη διαθεσιμότητα πρώτων υλών και περιορίζοντας το πεδίο εφαρμογής, τα ζωικά λίπη και τα απόβλητα από τα μαγειρικά έλαια, μπορούν με την κατάλληλη επεξεργασία να προσφέρουν σημαντικές οικονομικές ευκαιρίες καθώς τα απόβλητα συνεχίζουν να διατίθενται με χαμηλό κόστος (Bridgwater, T., 2006).

Μία μελέτη που έλαβε χώρα στην Ινδία, έδειξε ότι εάν το 10% της συνολικής παραγωγής καστορέλαιου μετατραπεί σε βιοντίζελ, τότε μπορούν να εξοικονομηθούν περίπου 79.782 τόνοι εκπομπής CO₂ σε ετήσια βάση. Το CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση του βιοντίζελ, έχει τη δυνατότητα να ανακυκλωθεί μέσω της επόμενης φυτικής παραγωγής, που συνεπάγεται ότι δε θα χρειαστεί κάποια επιπρόσθετη επιβάρυνση για το περιβάλλον (Panwar et al., 2010). Το βιοντίζελ μπορεί να μειώσει τις εκπομπές από τη βιομηχανία μεταφορών, που αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, μειώνονται σε σημαντικό βαθμό και τα διάφορα σωματίδια που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση καυσίμων. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται και η ανθρώπινη υγεία (Beer T et al., 2007).

Η παγκόσμια επέκταση της αγοράς βιοντίζελ έχει οδηγήσει στην αύξηση της παραγωγής του κύριου υποπροϊόν του, δηλαδή της ακατέργαστης γλυκερόλης (Wen, 2012). Ως επακόλουθο είναι η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων από τα υπολείμματά της ακατέργαστης γλυκερόλης, τα λύματα πλύσης. Όμως, στη συμβατική διεργασία βιοντίζελ είναι αδύνατη η επαναχρησιμοποίησή τους (Plácido & Capareda, 2016). Η γλυκερίνη μετά τον καθαρισμό της αποτελεί ένα προϊόν υψηλής αξίας και με πολλές χρήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φαρμακευτικά προϊόντα και τρόφιμα (Abdul Raman et al., 2019). Παρ' όλα αυτά, η διαδικασία του καθαρισμού της ακατέργαστης γλυκερίνης είναι ακριβή σε μικρή κλίμακα και η αυξημένη παραγωγή βιοντίζελ την έχει μετατρέψει σε ροή αποβλήτων (Almeida et al., 2012). Όμως, η ακατέργαστη γλυκερόλη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή βιοαερίου. Συνεπώς, η αποτελεσματική χρήση της απόβλητης ακατέργαστης γλυκερόλης συμβάλλει στην ενίσχυση της οικονομικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της διαδικασίας βιοντίζελ, μέσω της έλευσης μίας κυκλικής οικονομίας (Rodrigues et al., 2017; Miałodzyeva & Brandt 2013).

Όσον αφορά την επεξεργασία των αποβλήτων της ακατέργαστης γλυκερόλης, χρησιμοποιείται ο θερμοχημικός και ο βιοχημικός μετασχηματισμός. Κατά τον θερμοχημικό μετασχηματισμό, διοχετεύεται ενέργεια για τη μετατροπή της ακατέργαστης γλυκερόλης σε προϊόντα που παρουσιάζουν υψηλότερη αξία, όπως είναι το αέριο σύνθεσης και οι βιοπολύδες, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο να γίνει η διαδικασία βιοντίζελ οικονομικά πιο ανταγωνιστική (Kaur et al., 2020). Επίσης, στη διαδικασία βιοντίζελ παράγονται υγρά απόβλητα πλύσης τα οποία χρησιμοποιούνται για συγχώνευση (co-digestion) και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αραίωση για την αποφυγή της οργανικής υπερφόρτωσης αλλά και αύξηση στην παραγωγή μεθανίου (Ma et al., 2008). Τέλος, η συγχώνευση (co-digestion), αποτελεί ένα μέσο επεξεργασίας και αξιοποίησης των δύο αποβλήτων που δημιουργούνται από την παραγωγή βιοντίζελ (Siles et al., 2010).

3.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

Το βιοντίζελ έχει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα που διακρίνουν το βιοντίζελ είναι τα εξής:

- a) Το βιοντίζελ, όπως και τα υπόλοιπα βιοκαύσιμα, δεν αυξάνει τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), άρα δεν επιδεινώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς το CO_2 που παράγεται από την καύση του βιοντίζελ, είναι το ίδιο σε ποσότητα όσο έχουν απορροφήσει προηγουμένως από την ατμόσφαιρα τα φυτά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του.
- b) Είναι βιοαποικοδομήσιμο. Δηλαδή, σε περίπτωση που προκληθεί κάποια διαρροή, δε μολύνει το έδαφος, το υπέδαφος και τον υδροφόρο ορίζοντα.
- c) Δεν παράγονται σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του θείου (αέριο υπεύθυνο για την όξινη βροχή). Μέγιστη ποσότητα 10 mg / kg.
- d) Λόγω καλύτερης καύσης, τα καυσαερίά του περιέχουν λιγότερο αιθάλη και αιωρούμενα σωματίδια.
- e) Μεγάλη λιπαντική ικανότητα, συνεπώς συμβάλει στη καλύτερη λίπανση του κινητήρα.
- f) Έχει "απορρυπαντικές" ιδιότητες καθώς μειώνει τα κατάλοιπα της καύσης, τις επικαθίσεις δηλαδή στον κινητήρα.
- g) Συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης μίας χώρας από εισαγόμενα καύσιμα και στη βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, όπως και τα υπόλοιπα βιοκαύσιμα.
- h) Συμβάλει στην τόνωση και ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας μέσω των ενεργειακών καλλιεργειών.
- i) Με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να μετατραπούν σε βιοντίζελ απόβλητα έλαια και λίπη (π.χ. τηγανέλαια, χαμηλής ποιότητας ζωικά λίπη, λίπη από λιποσυλλέκτες) τα οποία έως σήμερα κατέληγαν και μόλυναν τον υδροφόρο ορίζοντα (Yusuf et al., 2011).

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα του βιοντίζελ, σχετίζονται περισσότερο με οικονομικές παραμέτρους, όπως:

- a) Υψηλό κόστος τελικού βιοκαυσίμου (βιοντίζελ) σε σχέση με το αρκετά φθηνότερο ντίζελ. Σε αυτό συμβάλει το υψηλό κόστος της πρώτης ύλης (ελαίων και λιπών).
- b) Καταστροφή οικοσυστημάτων με σκοπό την καλλιέργεια φτηνών τροπικών ελαιούχων φυτών όπως π.χ. φοινικέλαιο.
- c) Παραγωγή γλυκερίνης ως παραπροϊόν.
- d) Κατανάλωση μεθανόλης για την παραγωγή του.
- e) Η μικρότερη θερμογόνος δύναμη κατά 6% και το μεγαλύτερο ιξώδες σε σχέση με του συμβατικού ντίζελ (agroenergy.g)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΙΟΑΕΡΙΟ

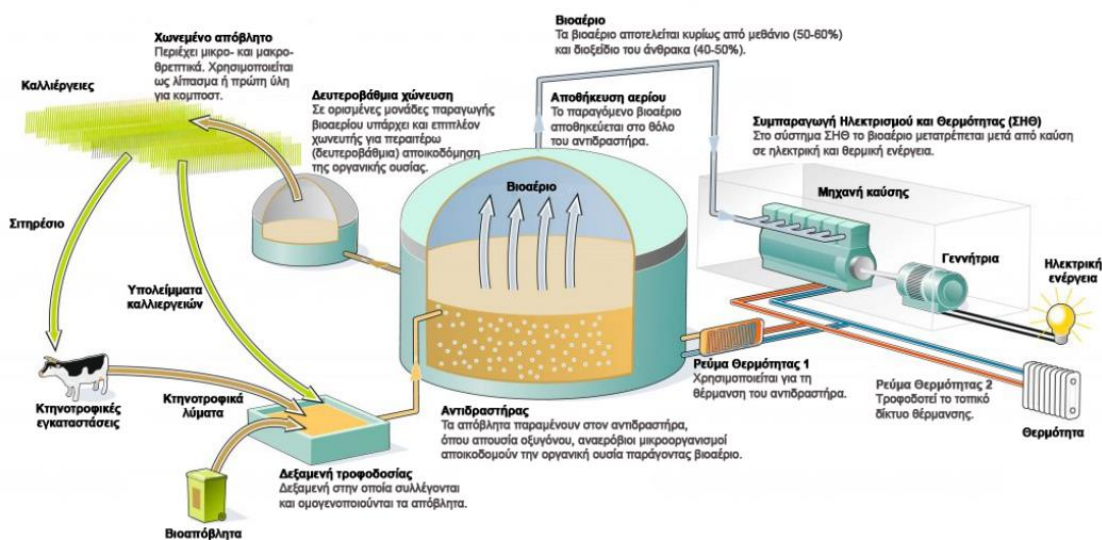
Καθώς οι ορυκτοί πόροι εξαντλούνται ολοένα και περισσότερο και λόγω του ότι είναι υπεύθυνοι για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η παραγωγή βιοαερίου από βιομάζα αποτελεί πεδίο επιστημονικού και πολιτικού ενδιαφέροντος (T. Dong et al, 2018). Ωστόσο, ένα μέσο κάλυψης ενεργειακών αναγκών και ελαχιστοποίησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος αποτελεί η επεξεργασία αποβλήτων. Η συλλογή και η ενεργειακή αξιοποίηση υλικών όπως ζωικές κοπριές, οργανικά υγρά απόβλητα κ.α., μειώνει τα φαινόμενα ρύπανσης βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής (EBA, 2021).

Το βιοαέριο είναι ένα μείγμα αερίων και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (CH_4) 55–70%, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) 30–45% και άλλα αέρια σε μικρότερες ποσότητες (1–5%) όπως είναι το άζωτο και το οξυγόνο, αλλά και υδρατμοί, ίχνη υδρογόνου, αμμωνία και υδρόθειο. Παράγεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης και η θερμογόνος δύναμή του κυμαίνεται στα 16–20 MJ m⁻³ (Kurchania et al., 2010). Επιπλέον, σε σύγκριση και με άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας, το βιοαέριο έχει πολλά πλεονεκτήματα και θεωρείται ως μία από τις πιο αποδοτικές ενεργειακά και περιβαλλοντικά τεχνολογίες για την παραγωγή βιοενέργειας (Weiland P, 2010). Μπορεί να παραχθεί άμεσα και έχει εύκολη αποθήκευση, καθώς η διανομή του μπορεί να γίνει μέσω των υπαρχόντων υποδομών φυσικού αερίου και έχει τις ίδιες εφαρμογές με αυτό. Όσον αφορά τις χρήσεις του βιοαερίου, ορισμένες απ' αυτές είναι για οικιακή χρήση όπως είναι το μαγείρεμα, ως καύσιμο μεταφοράς ή διανομή στο δίκτυο φυσικού αερίου για τελική εφαρμογή (Börjesson & Berglund, 2006). Τέλος, η ζύμωση μεθανίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, η οποία μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις: υδρόλυση, οξεογένεση, ακετογένεση/αφυδρογόνωση και μεθανίωση.

Επιγραμματικά, ένα σύστημα παραγωγής βιοαερίου (βλ. Εικόνα 6) περιλαμβάνει (Börjesson & Berglund, 2006):

- Εκπομπές από την εισροή ενέργειας σε ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής βιοαερίου (χειρισμός ακατέργαστων υλικών).
- Χώνευση πρώτων υλών σε αγροτική κλίμακα και εργοστάσια μεγαλύτερης κλίμακας παραγωγής βιοαερίου.
- Τελική χρήση των χωνευμάτων και του βιοαερίου.

Συνοπτική παρουσίαση μονάδας παραγωγής βιοαερίου



Εικόνα 6: Σύστημα βιοαερίου. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τις ροές υλικών και τις ροές ενέργειας (biogasup.gr).

Τα βιοαποδομήσιμα συστατικά των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) και των εμπορικών και βιομηχανικών αποβλήτων είναι επίσης σημαντικοί πόροι βιοενέργειας, αν και ιδιαίτερα στην περίπτωση των ΑΣΑ, ενδέχεται να απαιτούν εκτεταμένη επεξεργασία πριν από τη μετατροπή.

4.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Όσον αφορά την πρώτη ύλη για την παραγωγή του βιοαερίου, υπάρχει πληθώρα οργανικών υλικών τα οποία είναι κατάλληλα για την αναερόβια χώνευση. Ωστόσο, η πρώτη ύλη που θα χρησιμοποιηθεί θα έχει καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση του αερίου αλλά και στην ποσότητα μεθανίου που θα έχει στο αέριο (Dong et al, 2018). Έτσι λοιπόν, ως πρώτη ύλη μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω:

- A. **Ζυμώσιμα υπολείμματα** (υπολειμματική λάσπη, βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα, λάσπη, απορρίμματα τροφών, λύματα επεξεργασίας τροφίμων κα).

Πιο αναλυτικά, στα υλικά ζύμωσης, το είδος των φυτών που χρησιμοποιούνται ποικίλει και περιλαμβάνει το άχυρο καλλιέργειας, τα υδρόβια φυτά καθώς και τα απόβλητα φύλλων από γεωργικά και δασικά προϊόντα. Ωστόσο, σημειώνεται ότι το είδος των φυτών διαφέρει κάθε φορά καθώς εξαρτάται τόσο από τον τόπο όσο και από τη διάρκεια του χρόνου. Επίσης, όσον αφορά τα απορρίμματα τροφών, το 2011 ο Διεθνής Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών δημοσίευσε μια έκθεση, ότι περίπου το ένα τρίτο των τροφίμων που παράγονται για ανθρώπινη κατανάλωση χάνεται ή σπαταλάται παγκοσμίως, υπερβαίνοντας με αυτόν τον τρόπο τους 1,3 δισεκατομμύρια τόνους ανά έτος (Al Seadi et al., 2013). Επομένως, αυτό μπορεί να καταλήξει ως ένας μεγάλος πόρος πρώτων υλών για την παρασκευή βιοαερίου.

B. Κτηνοτροφικά απόβλητα (κοπριά μονάδων εκτροφής ζώων και πουλερικών)

Η κύρια πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου είναι η κοπριά και οι ροές οργανικών αποβλήτων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν πάνω από 1500 μύλοι παραγωγής ζωικού λιπάσματος ετησίως για την παραγωγή βιοαερίου. Η κοπριά κατέχει ρυθμιστικό ρόλο και συμβάλλει στη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου, ενώ μπορεί να βοηθήσει στον εμπλουτισμό άλλων πρώτων υλών, όπως των αποβλήτων επεξεργασίας τροφίμων, να βελτιώσουν τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών μειώνοντας την οξύτητά τους (Sawatdeenarunat et al, 2015). Αυτό συμβαίνει λόγω του φυσικού μείγματος μικροβίων και θρεπτικών στοιχείων που διαθέτει η κοπριά. Επομένως, καθώς η κοπριά μπορεί να δημιουργηθεί σε μεγάλες ποσότητες και με μικρό κόστος, θεωρείται ένας πολύτιμος πόρος ανανεώσιμης ενέργειας αλλά και πηγή θρεπτικών συστατικών στη γεωργία. Ωστόσο, όταν προκύπτει πλεόνασμα κοπριάς ζώων με κακή επεξεργασία και διαχείριση, τότε μετατρέπεται σε πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Γενικά, ο τομέας ζωικής παραγωγής ευθύνεται για το:

- i. 18% των συνολικών εκπομπών GHGs εκφρασμένες σε ισοδύναμο (Holm-Nielsen et al, 2009).
- ii. 37% του ανθρωπογενικού μεθανίου, το οποίο έχει 23 φορές το δυναμικό υπερθέρμανσης του CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο (Holm-Nielsen et al, 2009).
- iii. 65% των ανθρωπογενών οξειδίων του αζώτου (Steinfeld et al., 2006).
- iv. 64% των ανθρωπογενών εκπομπών αμμωνίας (Steinfeld et al., 2006).

C. Αχρησιμοποίητα φυτά και υπολείμματα ή μέρη φυτών

Τα απόβλητα όπου εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες τσιπς ξύλου ή πριονίδι, χρησιμοποιούνται και αυτά στην αναερόβια χώνευση, αφού ένα μεγάλο μέρος των ΑΠΕ προέρχεται από την γεωργία και την δασοκομία (Holm-Nielsen et al, 2009).

D. Λύματα από υδατοκαλλιέργειες

E. Αστικά λύματα και αστικά στερεά απόβλητα (με ιδιαίτερη αύξηση την τουριστική περίοδο στην Ελλάδα).

F. Ενεργειακές καλλιέργειες (ζαχαροκάλαμου, σιτηρών, σόργου και δενδροκαλλιέργειες).

G. Οργανικά παραπροϊόντα μονάδων βιοκαυσίμων (γλυκερόλη – λιπαρά οξέα).

Οι πιο συνηθισμένες από τις ενεργειακές καλλιέργειες είναι η καλλιέργεια σιτηρών, και ο αραβόσιτος (Holm-Nielsen et al, 2009). Κατά την χρήση των ενεργειακών φυτών, όπως είναι το καλαμπόκι, για την παραγωγή βιοαερίου, με το υπόλειμμα της χώνευσης να ανακυκλώνεται, δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση συνθετικών λιπασμάτων. Τέλος, τα υγρά απόβλητα που δημιουργούνται από την επεξεργασία μιας ενεργειακής καλλιέργειας, όπως είναι το καλαμπόκι, το ζαχαρότευτλο για την παραγωγή αιθανόλης

ή ελαιογόνες καλλιέργειες για την παράγωγή βιοντίζελ, μπορούν και αυτά να μετατραπούν σε αέριο.

Οι χώρες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ από μονάδες βιοαερίου στην Ευρώπη, είναι η Γερμανία με 10.849 μονάδες και 4.635 MWe και η Ιταλία με σύνολο 1.555 μονάδες και ισχύ 1.171 MWe. Μόνο στην Κίνα κατασκευάστηκαν 26,5 εκατομμύρια μονάδες βιοαερίου έως το 2007 με απόδοση 10,5 δισεκατομμυρίων m³, τα οποία και αυξήθηκαν στα 248 δισεκατομμύρια m³ (ετησίως) έως το 2010 (Mao C. et al, 2015).

4.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το βιοαέριο, όπως και τα υπόλοιπα είδη βιοκαυσίμων που προαναφέρθηκαν και στα προηγούμενα κεφάλαια, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα ως προς την παραγωγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμότητας με μικρή επεξεργασία, ή για παραγωγή ενέργειας σε κινητήρες ή στροβίλους και (μετά από αναβάθμιση σε ποιότητα μεθανίου με αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα και άλλων συστατικών) σε κυψέλες καυσίμου ή ως αέριο καύσιμο για εφαρμογές μεταφοράς. Αυτό απαιτεί ολοένα και πιο αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας (Holm-Nielsen JB et al., 2009). Επιπλέον, χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε λέβητες, ατμολέβητες, αποτεφρωτήρες καθώς και για παραγωγή ψύχους. Ωστόσο, το βιοαέριο χρησιμοποιείται και ως συνδυασμός θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP), καυσίμων οχημάτων ή να εγχυθεί στο δίκτυο αερίου μετά την αναβάθμιση, ενώ το χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί να ανακυκλωθεί πίσω στις καλλιεργούμενες περιοχές ως λίπασμα (Pöschl et.al, 2010). Τέλος, βιοαέριο παράγεται και στους ΧΥΤΑ (Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων) και έχει ανάλογη ποιότητα με εκείνου που παράγεται σε βιοαντιδραστήρες. Στους ΧΥΤΑ έχουν δημιουργηθεί συστήματα άντλησης και συλλογής του βιοαερίου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.

Η παραγωγή θερμότητας από βιοαέριο μπορεί να καλύψει μέρος ή το σύνολο των ενεργειακών αναγκών μιας βιομηχανίας ή βιοτεχνίας καθώς και μονάδων πρωτογενούς παραγωγής, όπως π.χ. πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, κλπ. Επίσης, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), ώστε να καλύψει ανάγκες κάποιας μονάδας ή και τα δύο. Τέλος, η παραγωγή ψύχους γίνεται από ψυκτικές μονάδες που χρησιμοποιούν είτε την εκλύομενη θερμική ενέργεια από το συγκρότημα συμπαραγωγής είτε το ίδιο το βιοαέριο ως πηγή ενέργειας.

4.2.1 ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Κατά τη δεκαετία του '80, πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσπάθειες ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαερίου από την επεξεργασία των ζωικών και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών, αλλά κυρίως αποβλήτων από ελαιουργεία. Παρ' όλα αυτά, η πλειοψηφία των έργων κατέληξε σε αποτυχία λόγω της έλλειψης

πληροφόρησης, της κατάλληλης υποδομής, του κρατικού ενδιαφέροντος και των οικονομικών κινήτρων.

Αντιθέτως, ένας αριθμός έργων βιοαερίου έχουν ήδη συμπεριληφθεί σε εθνικά προγράμματα για την ενέργεια. Στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων έχει πραγματοποιηθεί μία επένδυση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου, εγκατεστημένης ισχύος 23,5 MW (www.helektor.gr). Επιπλέον, υπάρχει ήδη εγκατεστημένο αντίστοιχο έργο της ΕΥΔΑΠ στην Ψυττάλεια για την ενεργειακή αξιοποίηση της παραγόμενης ισχύος από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, με συμπαραγωγή, εγκατεστημένης ισχύος 11,4 MW.

Με βάση τα στοιχεία της ΕΒΑ, που υποβλήθηκαν από τον Ελληνικό Σύνδεσμο Παραγωγών Βιοαερίου (ΕΣΠΑΒ) για το 2020, στην Ελλάδα βρίσκονται εν λειτουργία συνολικά 55 εγκαταστάσεις από τις οποίες οι 43 αφορούν στη διαχείριση αγροτοκτηνοτροφικών αποβλήτων (βλ. Πίνακα 2). Οι 4 εγκαταστάσεις βρίσκονται σε Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων ενώ οι υπόλοιπες 7 αφορούν εκμετάλλευση κορεσμένων περιοχών σε ΧΥΤΑ. Τέλος, έχει ενεργοποιηθεί και η πρώτη εγκατάσταση βιοαερίου από στερεά απόβλητα (Ιωάννινα).

Πίνακας 2: Κατανομή των εγκαταστάσεων βιοαερίου ανάλογα με την προέλευση των πρώτων υλών (ΕΣΠΑΒ, 2021)

	Αγροτοκτηνοτροφικές μονάδες	Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων	ΧΥΤΑ	Στερεά Απόβλητα	Σύνολο
ΑΡΙΘΜΟΣ	43	4	7	1	55
MW	32,8	14,9	35,1	1,6	84,4

4.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Εκτός από τα γενικότερα οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η προστασία του περιβάλλοντος και η μείωση της χρήσεως των ορυκτών καυσίμων, το βιοαέριο διαθέτει ορισμένα ξεχωριστά πλεονεκτήματα όπως είναι τα εξής (Zafiris et al., 2001):

- Δυνατότητα επιδοτήσεων για κατασκευή μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Οι εγγυημένες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να προσφέρουν στους αγρότες μια επιπλέον πηγή εσόδων. Επομένως, ενισχύεται η βιωσιμότητα του αγροτικού πληθυσμού.
- Η συλλογή και η ενεργειακή αξιοποίηση υλικών όπως ζωικές κοπριές, οργανικά υγρά απόβλητα κ.α., προσφέρει πράσινη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επιπλέον, μειώνει τα φαινόμενα ρύπανσης βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής της τοπικής κοινωνίας.
- Οι διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης καταναλώνουν πολύ μικρά ποσά ενέργειας σε αντίθεση με τις μονάδες αερόβιας χώνευσης.

- d) Διευκολύνεται η διαχείριση και η τελική διάθεση των οργανικών αποβλήτων λόγω της μείωσης του όγκου τους που πραγματοποιείται στον αναερόβιο χώνευτήρα.
- e) Κατά την χρήση των ενεργειακών φυτών, όπως είναι ο αραβόσιτος, για την παραγωγή βιοαερίου, με το υπόλειμμα της χώνευσης να ανακυκλώνεται, δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση συνθετικών λιπασμάτων. Επομένως, επιτυγχάνεται ένας κλειστός κύκλος θρεπτικών συστατικών και πολύτιμων ιχνοστοιχείων, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ρύπανση των υπογείων υδάτων.
- f) Κατά την αποθήκευση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης, εκλύονται σημαντικά λιγότερες οσμές από ότι κατά τη διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων στα χωράφια.
- g) Σημαντική ελάττωση ή και πλήρης εξαφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών στο υγρό υπόλειμμα. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή την απευθείας χρήση του υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού στα χωράφια.
- h) Αποφυγή κινδύνων επιβολής προστίμων, τόσο από την Ελλάδα όσο και από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για ακατάλληλη διάθεση αποβλήτων.
- i) Η υγρή ζωική κοπριά είναι πιο αραιωμένη μετά την αναερόβια χώνευση από ότι ανεπεξέργαστη. Ως εκ τούτου εμφανίζει μεγαλύτερη δυνατότητα διείσδυσης στο έδαφος, οπότε παρέχεται καλύτερη λίπανση στο χωράφι με περισσότερο οικολογικό τρόπο.

4.4 ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Το βιοαέριο, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, εισέρχεται στην οικονομία και καθώς αξιοποιείται για την παραγωγή ενέργειας, συμμετέχει παράλληλα σε μία κυκλική διαδικασία η οποία είναι η εξής:

- παραγωγή προϊόντων – παραγωγής ενέργειας για την παραγωγή προϊόντων ή
- παραγωγή προϊόντων – χρήση – απόρριψη – διαχείριση - παραγωγή ενέργειας για την παραγωγή προϊόντων

Συνεπώς, οι εταιρείες αναμένεται να διαθέτουν διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα σχετικά με τα ενεργειακά προϊόντα με βάση το βιοαέριο (Clodnițchi & Nedelcu, 2018). Τα εργοστάσια βιοαερίου, εκτός από την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διαθέτουν και άλλα πλεονεκτήματα τα οποία ακόμα δεν έχουν αξιοποιηθεί ώστε να αποφέρουν εμπορικό όφελος, όπως είναι η βελτίωση της διαχείρισης κοπριάς και η χρήση θρεπτικών συστατικών κοπριάς στις εκμεταλλεύσεις (Raven & Gregersen, 2007; Yiridoe et al., 2009).

Με την είσοδο του βιοαερίου στην κυκλική οικονομία, μπορεί να αναπτυχθεί μία τοπική οικονομία σε έναν αναπτυξιακό μετασχηματισμό. Δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, ενισχύεται η μικρομεσαία επιχειρηματικότητα, η δημιουργία νέων επαγγελματιών και η κοινωνική οικονομία. Οι κλάδοι αυτοί στην Ελλάδα, βρίσκονται ακόμα σε αρκετά χαμηλό επίπεδο ανάπτυξης και ειδικά στις αγροτικές περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

Ως αναερόβια χώνευση θεωρείται η μικροβιακή μετατροπή οργανικών υλικών σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, με απουσία οξυγόνου (Bridgwater, T., 2006). Αποτελεί μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας σε ενέργεια και λαμβάνει χώρα σε κλειστά συστήματα, πετυχαίνοντας με τον τρόπο αυτό μείωση των οσμών και των παθογόνων οργανισμών στα απόβλητα (Chen Y. et al, 2008). Παράλληλα, συμβάλει στην παραγωγή βιοαερίου και στην μείωση του συνολικού όγκου των οργανικών αποβλήτων (Čater et al., 2015). Σε περίπτωση όμως που οι συνθήκες λειτουργίας δεν εφαρμοστούν σωστά, η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να παρουσιάσει αστάθεια και να μειωθεί η παραγωγή βιοαερίου (Holm-Nielsen et al, 2009). Τέλος χρησιμοποιείται ευρέως στον κόσμο, η εφαρμογή της αναερόβιας χώνευσης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας διαφόρων ροών αποβλήτων, όπως είναι η αστική λάσπη ή τα ζωικά και βιομηχανικά απόβλητα.

5.1 ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Η αναερόβια χώνευση (AX) πραγματοποιείται στην υγρή φάση σε υπόστρωμα χαμηλής συγκέντρωσης στερεών όπου στη συνέχεια γίνεται διαχωρισμός των υποστρωμάτων, διαχωρίζοντας το υγρό από το στερεό κλάσμα. Αυτό επιτυγχάνεται προτού ξεκινήσει η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, η οποία διακρίνεται σε τέσσερα στάδια που είναι τα εξής (Ziemiński, K. & Frac M., 2012):

- a) **Υδρόλυση:** Σύνθετες οργανικές ενώσεις όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη αποσυντίθενται σε διαλυτά μονομερή όπως τα σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα αντίστοιχα. Η διάσπαση αυτή γίνεται από τα ένζυμα που παράγονται (αμυλάσες, πρωτεάσες, λιπάσες) από κατάλληλα στελέχη υδρολυτικών βακτηρίων και αποτελεί μία εξωκυτταρική διαδικασία (Parawira W. et al, 2008). Το μέγεθος των σωματιδίων, το pH, η παραγωγή ενζύμων κ.α. επηρεάζουν την διαδικασία (Ziemiński, K. & Frac M., 2012).
- b) **Οξεγένεση:** Τα προϊόντα της υδρόλυσης με τη βοήθεια οξεογόνων βακτηριδίων μετατρέπονται σε οργανικά οξέα βραχείας αλυσίδας (μυρμηκικό, οξικό, προπιονικό, βουτυρικό, πεντανοϊκό), αλκοόλες (μεθανόλη, αιθανόλη), αλδεΐδες, CO₂ και H₂. Χωρίζεται σε δύο τύπους, ανάλογα με τους μικροοργανισμούς που επιδρούν, στην υδρογόνωση και στην αφυδρογόνωση (Conrad R, 1999).
- c) **Οξικογένεση:** Τα οξικογόνα βακτήρια μετατρέπουν, τα λιπαρά οξέα και τις αλκοόλες που παρήχθησαν κατά την οξεογένεση σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα που με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται στο στάδιο της μεθανογένεσης (Γούμενος, 2018).
- d) **Μεθανογένεση:** Παραγωγή μεθανίου από υποστρώματα προϊόντων προηγούμενων σταδίων (π.χ. οξικό οξύ, H₂, CO₂). Σημειώνεται ότι μόνο το 30% του μεθανίου που παράγεται σε αυτή τη διαδικασία προέρχεται από μείωση CO₂ και από τη μετατροπή του H₂ που πραγματοποιείται από

αυτοτροφικά βακτήρια μεθανίου (Κοντίνης, 2015). Τέλος, κατά την μεθανογένεση εξαντλείται το H_2 και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των βακτηριδίων που είναι υπεύθυνα για την παραγωγή του οξικού οξέος (Ziemiński, K. & Frac, M. 2012).

Η οξικογένεση όσο και η μεθανογένεση, συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα και λειτουργούν ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών. Στην οξικογένεση, η παραγωγή H_2 εμποδίζει τον μεταβολισμό των οξικογενών βακτηρίων, ενώ κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, γίνεται μετατροπή του H_2 σε CH_4 (Κοντίνης, 2015).

Όσον αφορά τις παραμέτρους που επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω (Mao C. et al, 2015):

- a) **Θερμοκρασία:** Διακρίνεται στην:
 - Ψυχρόφιλη $<20^{\circ}C$, 70 -80 ημέρες παραμονής
 - Μεσόφιλη $30 - 42^{\circ}C$ και 30 έως 40 ημέρες
 - Θερμόφιλη $43 -55^{\circ}C$, 15 έως 20 ημέρες χρόνος παραμονής.Η σταθερότητα της θερμοκρασίας ή η επιλογή της, εξαρτάται άμεσα από την πρώτη ύλη που θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ευαισθησίας που παρουσιάζουν οι μεθανιογόνοι οργανισμοί στις εκάστοτε θερμοκρασιακές μεταβολές.
- b) **pH:** Επηρεάζει την αύξηση των μεθανιογόνων μικροοργανισμών με πιθανές επιπτώσεις στον διαχωρισμό μερικών ενώσεων (αμμωνία, σουλφίδιο, οργανικά οξέα) που είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Το ιδανικό εύρος pH, ώστε να αναπτυχθούν οι περισσότεροι αναερόβιοι μικροοργανισμοί κυμαίνεται από 6,8 έως 7,4.
- c) **Ο λόγος Άνθρακα/ Αζώτου (C/N):** Η αναλογία αυτή εκφράζει τα επίπεδα των θρεπτικών ουσιών του υποστρώματος με σκοπό να οριστεί η καταλληλότητα του και να χρησιμοποιηθεί στην αναερόβια χώνευση. Η βέλτιστη τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 15 έως 20 (Zhang et al, 2013). Ωστόσο, οι τιμές αυτές επηρεάζονται από παράγοντες όπως είναι η σύσταση του υποστρώματος, η τεχνολογία της ΑΧ, η παρουσία τοξικών ουσιών κ.α. (Πούμπουρας, 2015).
- d) **Θρεπτικές ουσίες, ιχνοστοιχεία και τοξικές ενώσεις:** Για να δημιουργηθεί η κυτταρική δομή απαιτείται ένα σύνολο θρεπτικών συστατικών αλλά και η παρουσία ιχνοστοιχείων, όπως είναι το κάλιο, ο σίδηρος, το νικέλιο κ.α. Ο άνθρακας πρέπει να είναι σε σχέση με θρεπτικά όπως το άζωτο, το θείο και ο φώσφορος με βέλτιστη αναλογία 600:15:5:1.
- e) **Πτητικά λιπαρά οξέα (Volatile Fatty Acids):** Ο βαθμός σταθερότητας της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης, επηρεάζεται εξίσου από την συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων όπως οξικό, βουτυρικό ή γαλακτικό οξύ, τα οποία είναι ενδιάμεσα προϊόντα της διαδικασίας (Lukitawesa et al, 2020). Τόσο η συνολική συγκέντρωση όσο και ο τύπος των VFA που παράγονται εξαρτώνται από: τη σύνθεση του υποστρώματος, τις λειτουργικές παραμέτρους, τη διαθέσιμη μικροβιακή κοινότητα, τον τύπο του αντιδραστήρα και τον σχεδιασμό της διαδικασίας (KhanMA et al., 2016).
- f) **Αμμωνία (NH_3):** Η αμμωνία αποτελεί παράγοντα παρεμπόδισης της διεργασίας εξαιτίας της τοξικότητας της απέναντι στα μεθανογενή βακτήρια (Κοντίνης, 2015). Η συμπεριφορά αυτή γίνεται έντονα κατά την διαδικασία της

ΑΧ ζωικής κοπριάς, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης αμμωνίας εξαιτίας της ουρίας, αλλά και των πρωτεϊνών. Επομένως, η συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας πρέπει να είναι κάτω από 80 mg/l (Κοντίνης, 2015).

- g) Ο ρυθμός οργανικής φόρτισης (OLR):** Είναι ένα μέτρο της ποσότητας του υποστρώματος που εισέρχεται στον χωνευτήρα ανά μονάδα χρόνου (g / L-d). Παρουσιάζει σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό της διαδικασίας επεξεργασίας λυμάτων με αναερόβια χώνευση και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη σταθερότητά της. Το εύρος του, εξαρτάται τόσο από τη φύση των οργανικών υποστρωμάτων που θα προστεθούν όπως επίσης και από τον τύπο των λυμάτων που θα υποστούν επεξεργασία (Bhattacharya, J. et al , 2017). Εάν ο ρυθμός φόρτισης είναι υψηλός, τότε αυτό μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση VFA ή άλλων παρεμποδιστών, έχοντας ως αποτέλεσμα την αστοχία της διεργασίας (Κοντίνης, 2015).
- h) Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των στερεών (Solids Retention Time):** Είναι ο απαιτούμενος μέσος χρόνος παραμονής του περιεχομένου στο εσωτερικό του χωνευτήρα και ο καθορισμός του είναι σημαντικός ώστε να ολοκληρωθεί η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Ο υπολογισμός του συνδέεται με τον μικροβιακό ρυθμό ανάπτυξης και εξαρτάται από την θερμοκρασία διατήρησης του συστήματος, τα πτητικά λιπαρά οξέα και τη σύνθεση του υποστρώματος.

5.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Παρακάτω, αναγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης τα οποία είναι (Náthia-Neves et al, 2018):

- Λόγω του ότι δεν χρειάζεται αερισμός, δεν απαιτείται υψηλή κατανάλωση ενέργειας για την επεξεργασία αποβλήτων.
- Παράγονται μικρές ποσότητες ιλύος (για 90% βιοαέριο, η ιλύς είναι 10%).
- Από την αναερόβια χώνευση, παράγεται υπόλειμμα το οποίο διαθέτει καλές εδαφοβελτιωτικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που το υλικό αυτό σταθεροποιηθεί περαιτέρω (μέσω κομποστοποίησης ή με απλό αερισμό), είναι κατάλληλο για τη λίπανση των γεωργικών εδαφών.
- Το CO₂ προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, οπότε δεν λαμβάνεται υπόψιν στο ισοζύγιο των αερίων θερμοκηπίου.

Ωστόσο, η διαδικασία αυτή διαθέτει και κάποια μειονεκτήματα κατά την χρήση της τα οποία είναι (Náthia-Neves et al, 2018):

- Χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία των συνθετικών υλικών, προτού εισέλθουν στον χωνευτήρα.
- Η καταγραφή είναι πολύ σημαντική και απαραίτητη, ωστόσο όταν γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, επηρεάζονται οι παράμετροι όπως είναι το pH, η θερμοκρασία, κ.α.
- Η διαδικασία σταθεροποίησης των μικροοργανισμών στον χωνευτήρα, είναι χρονοβόρα

- d) Χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό για όλα τα στάδια της διαδικασίας (σχεδίαση, κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗΣ

Η γλυκερόλη ή γλυκερίνη ή 1,2,3-προπανοτριόλη είναι μία τρισθενής αλκοόλη με χημικό τύπο $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$. Ο όρος γλυκερίνη αναφέρεται κυρίως στα εμπορικά σκευάσματα της γλυκερόλης με νερό. Αποτελεί μία ημίρρευστη σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας, διαυγής, άχρωμη, σχεδόν άοσμη, με γλυκιά γεύση, από όπου και πήρε την ονομασία της. Το ειδικό της βάρος είναι περίπου 1,26 g/mL, το σημείο τήξης είναι 17,8 °C και το σημείο βρασμού είναι στους 290 °C. Ωστόσο, όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες των 17 °C, βρίσκεται σε κατάσταση ιξώδους μορφής (δηλαδή πυκνόρρευστη). Επίσης, είναι διαλυτή στο νερό και στις αλκοόλες, ενώ αναμιγνύεται με τους περισσότερους κοινούς οργανικούς διαλύτες όπως είναι ο αιθέρας. Παρ' όλα αυτά, είναι αδιάλυτη στους υδρογονάνθρακες (Agarwal, 1990; Gupta & Kumar, 2012). Τέλος, η γλυκερόλη αντιστοιχεί στο 10% της παραγόμενης ποσότητας του βιοντίζελ.

Η παραγωγή της γλυκερόλης μπορεί να πραγματοποιηθεί κυρίως σύμφωνα με τρεις μεθόδους:

- A. Μέσω μικροβιακών ζυμώσεων από πληθώρα μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ζύμες, μύκητες και άλγη (Wang et al., 2001; Taherzadeh et al., 2002).
- B. Μέσω χημικής σύνθεσης από την βιομηχανία πετροχημικών.
- C. Μπορεί να ανακτηθεί ως παραπροϊόν της υδρόλυσης λιπών και ελαίων κατά την παραγωγή σαπώνων ή λιπαρών οξέων (Behr et al., 2008).

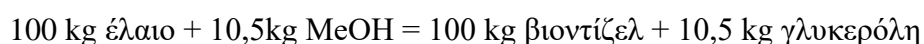
Επιπλέον, τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ραγδαία αύξηση των διαθέσιμων ποσοτήτων ακάθαρτης γλυκερόλης, διότι αποτελεί το κύριο παραπροϊόν της παραγωγής του βιολογικού πετρελαίου (βιοντίζελ) (Yazdani & Gonzalez, 2007; Gupta & Kumar, 2012).

Η γλυκερόλη, λόγω του συνδυασμού των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της, διαθέτει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, χρησιμοποιώντας την είτε άμεσα ως πρόσθετο είτε έμμεσα ως πρώτη ύλη. Στη βιομηχανία καλλυντικών χρησιμοποιείται ως μαλακτικός ή ενυδατικός παράγοντας σε ευρύ φάσμα προϊόντων όπως είναι οι οδοντόπαστες, τα σαπούνια, οι αφροί ξυρίσματος και τα προϊόντα περιποίησης μαλλιών. Επιπλέον η προσθήκη της στις κόλλες βοηθά σε μεγάλο βαθμό ώστε να αποφεύγεται το γρήγορο στέγνωμα, ενώ βρίσκει εφαρμογή και στην βιομηχανία λιπαντικών. Επίσης, η γλυκερόλη είναι μη τοξική, βρίσκοντας έτσι εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων ως πρόσθετο με τον κωδικό E422. Σαν γλυκαντικό είναι 60% πιο γλυκιά συγκριτικά με την σουκρόζη, και δεν αυξάνει τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα. Επιπροσθέτως, βρίσκει εφαρμογές στην βιομηχανία φαρμάκων, καπνού, καθώς επίσης στην παρασκευή βερνικιών, μελανιών, λιπαντικών, πλαστικών και εκρηκτικών υλών (νιτρογλυκερίνη). Αποτελεί ακόμη μία από τις σημαντικότερες πρώτες ύλες στην παραγωγή πολυολών

και πολυουρεθάνης, ενώ χρησιμοποιείται ως μαλακτικό μέσο στις ρητίνες, αλλά και ως πλαστικοποιητής για να προσδώσει ευελιξία, ευκαμψία και αντοχή στις βαφές (Claude, 1999; Pagliaro et al., 2007; Pagliaro & Rossi, 2010).

6.2 Η ΓΛΥΚΕΡΟΛΗ ΩΣ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (BIONTIZEL)

Το βιοντίζελ παράγεται μέσω μετεστεροποίησης λιπαρών υλών (φυτικής ή ζωικής προέλευσης) με μεθανόλη ή αιθανόλη σε αλκαλικό περιβάλλον, με συνηθέστερους χρησιμοποιούμενους καταλύτες το NaOH ή KOH, αντίδραση κατά την οποία παράγεται γλυκερόλη σύμφωνα με την αντίδραση (Mu et al., 2006; Da Silva et al., 2009):



Τα τρία βασικά απόβλητα που προκύπτουν κατά την παραγωγή βιοντίζελ είναι η γλυκερόλη ή γλυκερίνη, το νερό (που παραλαμβάνεται μετά τον καθαρισμό του βιοντίζελ) και η μεθανόλη. Η διαχείριση της μεθανόλης είναι απλή, αφού μπορεί εύκολα να ανακτηθεί με μεθόδους απόσταξης και να επαναχρησιμοποιηθεί (Varanda et al., 2011). Επίσης, η γλυκερόλη που προκύπτει κατά την παραγωγή βιοντίζελ ονομάζεται ακατέργαστη γλυκερόλη (crude glycerol) και παράγεται από την αντίδραση της μετεστεροποίησης (Dobroth et al., 2011). Η ακατέργαστη γλυκερόλη περιέχει υπολείμματα οργανικού διαλύτη, εστέρες ή μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Αν και τα υπολείμματα αυτά δύνανται να απομακρυνθούν, η εξυγίανση της γλυκερόλης δεν είναι οικονομικά βιώσιμη για τη βιομηχανία εξαιτίας του κόστους καθαρισμού (Sabourin-Prévost et al., 2009; Ngo et al., 2011). Γι' αυτό το λόγο, η παραγόμενη γλυκερόλη προορίζεται για τρεις χρήσεις:

- a) Την παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας (bioproducts).
- b) Την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (βιομεθάνιο).
- c) Ως πηγή άνθρακα για καλλιέργειες μικροοργανισμών (Plácido et al., 2016).

Οι μέθοδοι αξιοποίησης της γλυκερόλης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής:

- Χημικές Διεργασίες
- Βιοχημικές διεργασίες (αναερόβια χώνευση, ζύμωση και μικροβιακή κυψελίδα καυσίμου). Οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν την γλυκερόλη σε άλλες χημικές ουσίες.

Η ακατέργαστη γλυκερόλη μπορεί με την καύση της να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Ωστόσο, η καλύτερη επιλογή τόσο από άποψη οικονομικής αξίας, όσο και βιωσιμότητας αυτού του προϊόντος είναι τα βιοδιυλιστήρια που παράγουν προϊόντα υψηλότερης οικονομικής αξίας και τα βιοκαύσιμα (Yazdani & Gonzalez, 2007). Υπάρχουν έρευνες, οι οποίες έχουν μελετήσει την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης και έχουν προτείνει λύσεις όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των ευρέως

παραγόμενων αποβλήτων (Nazareth et al., 2018). Σε αυτές τις μελέτες, έχει χρησιμοποιηθεί η γλυκερόλη ως μοναδική πηγή άνθρακα μέσω αναερόβιας χώνευσης (Paulista et al., 2020) και μέχρι σήμερα οι συνθήκες που έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο είναι οι εξής (Selma et al., 2010 ; Vasquez, & Nakasaki, 2016; Bezerra et al., 2011):

- Χαμηλοί ρυθμοί οργανικής φόρτισης.
- Μεσόφιλες θερμοκρασίες (30–39 °C).
- Μεγάλοι χρόνοι συγκράτησης υδραυλικού συστήματος (> 4 ημέρες).
- Διαμορφώσεις αντιδραστήρων χαμηλής ταχύτητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΟΝΑΔΕΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Για την λειτουργία μίας μονάδας βιοαερίου είναι απαραίτητη η αξιοποίηση οργανικών υλικών όπως είναι τα υπολείμματα τροφίμων, τα λίπη, η κοπριά κ.α., τα οποία τροφοδοτούν την μονάδα βιοαερίου ως υπόστρωμα. Οι μικροοργανισμοί της μονάδας θα πρέπει να «τραφούν» με φυτικές πρώτες ύλες (καλαμπόκι, γρασίδι κ.α.). Μία μονάδα βιοαερίου διαθέτει δύο χρονοβόρες, αλλά ταυτόχρονα πολύ σημαντικές, διαδικασίες για την παραγωγή βιοαερίου που είναι η αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και η υποβάθμιση των υπολειμμάτων. Στην αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, απαιτούνται συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες και πληθυσμός βακτηρίων.

Πρώτα απ' όλα, συγκεντρώνονται όλα τα υλικά σε μία αποθήκη υποδοχής η οποία έχει χωρητικότητα ποσότητας 2 έως 3 ημέρες. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός κυλιόμενου πατώματος, τα οργανικά υλικά οδηγούνται στους βιδωτούς μεταφορείς όπου με τη σειρά τους μεταφέρουν τα υλικά εισαγωγής στο δοχείο ανάμιξης. Όπως προαναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η ποικιλία των ειδών του υποστρώματος, καθορίζει εκτός από το σύστημα τροφοδοσίας και τον τρόπο με τον οποίο θα εισέρχονται αυτά στο σύστημα. Πιο αναλυτικά, όσον αφορά την υγρή βιομάζα, χρειάζονται δεξαμενές με αντλιοστάσια και αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση η μεταφορά της στην εγκατάσταση βιοαερίου γίνεται με αντλίες και αγωγούς, ενώ σε μία μακρινή απόσταση γίνεται μέσω οχημάτων. Για τη βιομάζα στερεάς μορφής, χρειάζονται κοχλιομεταφορείς και οχήματα. Επίσης, μπορεί να εισέλθει στο σύστημα τροφοδοσίας και μέσω άλλων συστημάτων, όπως είναι οι κάθετοι αναμκτήρες (Γιουλδούρη, 2021).

Τα υγρά υλικά εισόδου (π.χ. υγρή κοπριά) αντλούνται στη δεξαμενή αποθήκευσης όπου και παραμένουν έως ότου χρησιμοποιηθούν. Αν όμως γίνει χρήση αποβλήτων από στερεά υποστρώματα, τότε θα πρέπει να ακολουθήσουν την διαδικασία παστερίωσης με θέρμανση πάνω από 70 βαθμούς επί μία ώρα, ώστε να σκοτωθούν τα επιβλαβή βακτήρια. Όσον αφορά την αποθήκευση των υγρών υλικών πραγματοποιείται σε δεξαμενές προ-επεξεργασίας, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα ολόκληρης της εγκατάστασης. Μέσω της μονάδας άντλησης, τα υγρά μεταφέρονται στο δοχείο ανάμιξης στις απαιτούμενες ποσότητες. Το σύστημα ζύγισης που βρίσκεται

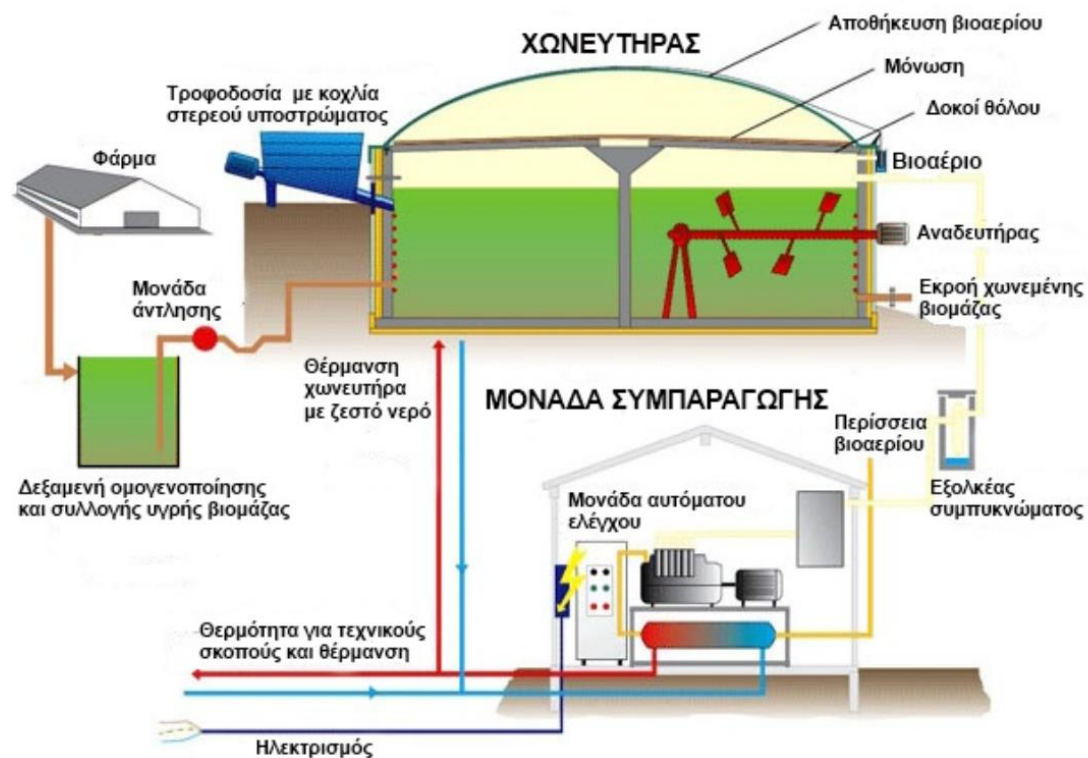
κάτω από το δοχείο ανάμιξης, έχει την ιδιότητα να ζυγίζει με ακρίβεια τις ποσότητες, ώστε να υπάρχει ένα ισορροπημένο μείγμα υποστρώματος σταθερής ποσότητας. Σε αυτό το στάδιο, με την βοήθεια του αναδευτήρα, τα υλικά αναμιγνύονται ομοιογενώς με την διαδικασία να επαναλαμβάνεται τακτικά. Για να φτάσει όμως το μείγμα στην επιθυμητή θερμοκρασία, τα υλικά ομογενοποιούνται με ψύξη ή με θέρμανση. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας ανάδευσης, το υπόστρωμα αντλείται στον χωνευτήρα, ο οποίος διασφαλίζει την ομοιογένεια του μείγματος. Στη συνέχεια, ο βιοαντιδραστήρας θα αποτελέσει μία αεριο-στεγανή δεξαμενή κατασκευασμένη από σκυρόδεμα με αντιδιαβρωτική προστασία ή μέταλλο με επίτηξη γυαλιού (Μητρούλια, 2016). Τέλος, ο υπολογισμός της κατάλληλης θερμομόνωσης του αντιδραστήρα, εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής και γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να διαμορφωθούν κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας που να επιτρέπουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η πιο σύνηθες επιλογή είναι η διατήρηση μιας μεσόφιλης κατάστασης και σπανίως γίνεται η επιλογή θερμοφίλων συνθηκών (Μητρούλια, 2016).

Σε ότι αφορά τις κύριες υποδομές μίας μονάδας αντιδραστήρων, αποτελούνται από ανεξάρτητες μονάδες, οι οποίες παρουσιάζουν ένα εύρος διαμέτρου από 8 έως 24 μέτρα και ύψος 9 μέτρων. Επίσης, το πλήθος των αντιδραστήρων εξαρτάται από την ποσότητα της εισερχόμενης βιομάζας (Μητρούλια, 2016). Ο χωνευτήρας αποτελεί το μέρος όπου αναμειγνύεται η βιομάζα και θερμαίνεται μέσω ενός συστήματος παροχής θερμότητας. Το σύστημα παροχής θερμότητας, διαθέτει ένα δίκτυο σωληνώσεων και μπορεί να κατασκευαστεί εντός των τοίχων του αντιδραστήρα ή να τοποθετηθεί στην εσωτερική πλευρά των τοίχων. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο, στην περίπτωση που η μονάδα είναι εφοδιασμένη με μονάδα συμπαραγωγής, η θέρμανση γίνεται από το νερό ψύξης της γεννήτριας ενώ είναι ερμητικά κλειστός, για να επιτευχθούν οι αναερόβιες συνθήκες (Κωστίδου, 2019).

Το υλικό κατασκευής ποικίλει (πχ. τσιμέντο, μέταλλο κ.α.), γιατί εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως είναι ο τεχνικός σχεδιασμός, η οικονομική ανάλυση κ.α., ενώ είναι απαραίτητο να έχει τις προδιαγραφόμενες διαστάσεις (Kristoferson, & Bokalders, 2013). Επιπλέον, η ανάμιξη γίνεται μέσω των αναδευτήρων, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από υλικά τα οποία διαθέτουν υψηλή αντοχή στις χημικές συνθήκες των αντιδραστήρων και είναι σχεδιασμένοι για να μπορούν να διαχειρίζονται με τον καλύτερο τρόπο το υπόστρωμα σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Οι καλύτερες αποδόσεις όσο έχει να κάνει με την ανάδευση, οφείλονται στην ακριβή γωνία τοποθέτησης τους σε συνδυασμό με τον κατάλληλο σχεδιασμό των πτερυγίων. Μπορούν να είναι είτε επικλινείς όπου σχεδιάζονται έτσι ώστε να προσφέρουν αποδοτική ανάδευση, επιτρέποντας την εύκολη απελευθέρωση του παραγόμενου βιοαερίου και αποφεύγοντας την καθίζηση του υποστρώματος, είτε υποβρύχιοι όπου έχουν την ικανότητα να περιστρέφονται και να ανεβοκατεβαίνουν. Οι υποβρύχιοι είναι τοποθετημένοι συνήθως στο κάτω μέρος όπου αναδεύουν τα λύματα περιοδικά, ανεβαίνοντας στην επιφάνεια για να διαλύσουν την κρούστα που δημιουργείται (Παγούνας, 2013).

Τον πιο βασικό ρόλο, κατά τη διαδικασία της χώνευσης, έχουν οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί, οποίοι εισέρχονται στον χωνευτήρα μόνο κατά την εκκίνηση λειτουργίας. Το χωνευμένο υπόλειμμα οδηγείται στην τελική δεξαμενή αποθήκευσης υπολειμμάτων χώνευσης και έχει τη δυνατότητα να ανακτηθεί για περαιτέρω χρήση

ενώ τα υπολείμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα υψηλής ποιότητας. Το βιοαέριο που παράγεται, αποθηκεύεται στην οροφή της δεξαμενής (βλ. Εικόνα 7) σε ένα σύστημα προσωρινής αποθήκευσης, στο οποίο πραγματοποιείται εξισορρόπηση τόσο της πίεσης όσο και της σύνθεσης του. Στη συνέχεια, μεταφέρεται με την βοήθεια ενός συστήματος τροφοδοσίας. Σε ένα σύστημα διαχείρισης βιοαερίου υπάρχουν ενσωματωμένες διατάξεις για την απομάκρυνση της υγρασίας και του υδρόθειου. Οι μεγάλες μονάδες βιοαερίου διαθέτουν πυρσούς καύσης για την περίσσεια παραγόμενη ποσότητα, σε περίπτωση που το παραγόμενο βιοαέριο δεν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, απαιτείται η παρουσία εξειδικευμένου προσωπικού, καλύπτοντας τις ανάγκες ενός 24ωρου προκειμένου να διατηρείται η εύρυθμη λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της μονάδας (Γιουλδούρη, 2021).



Εικόνα 7: Λειτουργία μονάδας βιοαερίου (www.envima.gr).

Η σχέση μεταξύ της βιοοικονομίας, της κυκλικής οικονομίας και των μονάδων βιοαερίου είναι ισχυρή. Διότι, η παραγωγή βιοαερίου ταυτίζεται με το τελικό στάδιο σε ένα σύστημα βιομάζας, όπου το βιοαέριο, που αποτελεί φορέα ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, παράγεται ταυτόχρονα με παστεριωμένο βιολίπασμα. Επίσης, η αναερόβια χώνευση αποτελεί μία διαδικασία η οποία αξιοποιεί τα απόβλητα. Με αυτόν τον τρόπο, οι μονάδες βιοαερίου επιτυγχάνουν την παραγωγή δυο πολύ χρήσιμων προϊόντων (την βιοενέργεια και το βιολίπασμα) και κάνουν αντιληπτό ότι τα παραγόμενα απόβλητα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να δώσουν αξία. Τέλος, το πρόβλημα απόρριψης αποβλήτων μετατρέπεται μέσω της ανακύκλωσης, σε ροή προϊόντων υψηλής αξίας από μία μονάδα παραγωγής βιοαερίου (Sharma et al., 2020; Martin & Parsapour, 2012).

Σε σχέση με μια τυπική εγκατάσταση βιοαερίου, η χρήση ακατέργαστης γλυκερόλης στην αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου είναι καλύτερη λόγω της αποδεδειγμένης βελτίωσης της απόδοσης του βιοαερίου και της δυναμικής μείωσης του κόστους μεταφοράς. Ωστόσο, η υπερφόρτωση της μπορεί να προκαλέσει ανισορροπίες στον χωνευτή, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα και αποτυχίες. Γενικά, η υψηλή φόρτιση γλυκερόλης είναι αποδεκτή εάν οι προσθήκες ελέγχονται προκειμένου να επιτραπεί η βακτηριακή ανάπτυξη. Επίσης, η αξιοποίηση της ακατέργαστης γλυκερόλης αποτελεί μία βιώσιμη μέθοδο με τη μετατροπή της σε υψηλής προστιθέμενης αξίας προϊόντα, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες στις βιομηχανίες βιοντίζελ στην Ε.Ε., αυξάνοντας την απόδοση των βιοκαυσίμων και μειώνοντας το κόστος παραγωγής βιοντίζελ. Τέλος, η αναερόβια χώνευση της γλυκερόλης έχει διπλό όφελος καθώς χρησιμοποιείται τόσο στην παραγωγή προϊόντων βιοτεχνολογικού ενδιαφέροντος, αλλά και ως μέσο απορρύπανσης της απόβλητης βιομηχανικής γλυκερόλης προερχόμενης από βιοντίζελ (Yazdani & Gonzalez, 2007).

7.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η παραγωγή του βιοαερίου είναι μία διαδικασία που αποφέρει πολλαπλά οφέλη τόσο στο περιβάλλον όσο και στην κοινωνία γενικότερα. Τα πλεονεκτήματα που διαθέτει είναι τα εξής:

- a) Αξιοποιεί μια περιβαλλοντικά καλή πηγή ενέργειας (βιομάζα).
- b) Μειώνει σημαντικά τα απορρίμματα.
- c) Διαθέτει τις μικρότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- d) Ως μέσο διαχείρισης των απορριμμάτων, αποτελεί μια οικονομικά και περιβαλλοντικά αποδεκτή λύση.
- e) Μειώνει την όχληση από οσμές, ζώφια κ.α.
- f) Μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης παθογόνων οργανισμών.
- g) Παράγει, ως δευτερογενές προϊόν, οργανικό λίπασμα, μειώνοντας την ανάγκη για παραγωγή ανόργανων λιπασμάτων.
- h) Ελαχιστοποιεί τις φυτοτοξίνες στο υπολειμματικό προϊόν της.
- i) Τα υπολείμματα της μονάδας βιοαερίου, βοηθούν την σταθεροποίηση και βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους.
- j) Δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

Η παραγωγή βιοαερίου, ενώ μπορεί να παρουσιάζεται ως μια προφανής επιλογή για την μείωση τόσο των αποβλήτων, όσο και τις εκπομπές άνθρακα, δεν είναι τέλεια. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχουν νέες τεχνολογίες για την απλοποίηση και τη βελτίωση της διαδικασίας παραγωγής βιοαερίου, επομένως δεν είναι ένα απολύτως αποτελεσματικό σύστημα (Spyridonidis et al, 2020).

B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΚΟΠΟΣ

Η προβλεπόμενη αλματώδη αύξηση της παραγωγής βιοντίζελ στο προσεχώς μέλλον οδηγεί στην αναγκαιότητα της ανακάλυψης διαφόρων ολοκληρωμένων διεργασιών βιο-επεξεργασίας για την αξιοποίηση της ακατέργαστης γλυκερόλης, καθώς είναι το κύριο υπόλειμμα που προκύπτει από την σύνθεση των βιοκαυσίμων. Συγκεκριμένα, για κάθε 10kg βιοντίζελ παράγεται 1kg γλυκερόλης. Η γλυκερόλη, έχει τη δυνατότητα να μετατρέπεται μέσω της αναερόβιας χώνευσης σε μεθάνιο. Σκοπός, λοιπόν, αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η τεχνοοικονομική ανάλυση μίας μονάδας βιοαερίου, η οποία χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη την γλυκερόλη (παραπροϊόν παραγωγής βιοντίζελ) και μέσω της αναερόβιας χώνευσης, την μετατρέπει σε βιοαέριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του πεδίου μελέτης της εργασίας, δηλαδή της μονάδας βιοαντιδραστήρα, καθώς επίσης και των τεχνικών που αναπτύχθηκαν. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις που αντλήθηκαν από την παραπάνω μονάδα που αφορούν τον ρυθμό οργανικής φόρτισης, τη δυναμική του βιοαερίου, την ηλεκτρική ενέργεια της μονάδας, τον όγκο του βιοαντιδραστήρα, καθώς επίσης την επένδυση και την καθαρά παρούσα αξία, αναπαρίστανται σε διαγράμματα όπου εξετάζεται και οι μεταξύ τους σχέσεις. Τέλος, πραγματοποιείται μία ανάλυση ευαισθησίας όπου με βάση αυτή, δημιουργείται ένα βέλτιστο σενάριο για την λειτουργία της μονάδας.

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα του συστήματος που λαμβάνονται υπόψιν για τις οικονομικές αναλύσεις που θα ακολουθήσουν, αντλήθηκαν από την έρευνα των Markou et al., 2017 όπου αφορά την παραγωγή βιοαερίου από ενεργειακές καλλιέργειες στη βόρεια Ελλάδα.

9.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Η παρακάτω μελέτη αφορά μία μονάδα βιοαντιδραστήρα, όπου μέσω της αναερόβιας χώνευσης παράγει ηλεκτρική και θερμική ενέργεια ισχύος 0,500 MWel (500KW) και λειτουργεί 350 ημέρες τον χρόνο. Για την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη η γλυκερόλη σε θερμοκρασία 35 °C (μεσόφιλη) και η εισροή πρώτης ύλης είναι 8,57 t/d. Επίσης, η ποσότητα πτητικών στερεών είναι 90,3%, ο όγκος της βιομάζας 3000 t και η περιεκτικότητα σε μεθάνιο είναι 55% (Markou et al., 2017).

Όσον αφορά τις οικονομικές παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψιν αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (βλ. Πίνακα 3):

Πίνακας 3: Οικονομικοί παράμετροι.

Τιμή Καυσίμου (diesel) (€/L)	1,15
Προσωπικό	3
Κόστος Εργασίας (€/h)	10
Λοιπά Έξοδα (%)	10 (συμπεριλαμβανομένης της ασφάλισης, δηλαδή 5% του συνολικού κόστους)
Κόστος Γλυκερόλης (€/t)	200
Απόσβεση επένδυσης (y)	20
Επιτόκιο (%)	6
Φόροι (%)	26
Χρηματοδότηση (%)	0
Επιτόκιο Δανείου (%)	6
Δανεισμός (%)	75
Πληθωρισμός (%)	2

9.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

9.2.1 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (OLR)

Για μια συγκεκριμένη συγκέντρωση υποστρώματος και χρόνο υδραυλικής παραμονής (HRT), το OLR (Organic Loading Rate) υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση (Labatut, & Pronto, 2018):

$$OLR = \frac{S_o}{HRT} = S_o \times Q / V$$

Όπου:

OLR = οργανικός ρυθμός φόρτισης, βάσει των πτητικών στερεών (VS) ή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) (g / L-d)

S_o = συγκέντρωση υποστρώματος εισροής, βάσει VS ή COD (g / L)

Q = ρυθμός ροής (L / d)

HRT = χρόνος υδραυλικής συγκράτησης (d)

V = όγκος αναερόβιου χωνευτήρα (L)

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε ο χρόνος οργανικής φόρτισης για την παρούσα εργασία. Οι ρυθμοί οργανικής φόρτισης που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή αντλήθηκαν από βιβλιογραφία και είναι οι εξής: 0,5 , 1, 1,5 , 2, 2,5, 3,75 (kg/m³/d).

9.2.2 ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Ο όγκος του βιοαντιδραστήρα (Digester Volume), υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Όγκος Βιοαντιδραστήρα (m}^3\text{)} = \left\{ \frac{\text{Μάζα βιομάζας} \times 1000}{\text{Χρόνος οργανικής φόρτισης}} \right\} / \text{Πτητικά στερεά}$$

Σημειώνεται ότι η μάζα της βιομάζας θεωρήθηκε σταθερή στους 3000t (τόνους), ο χρόνος λειτουργίας ήταν 350 μέρες και τα πτητικά στερεά 90,3% .

9.2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η ηλεκτρική ενέργεια μονάδας βιοαερίου (Electrical power of biogas plant) υπολογίστηκε με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Ηλεκτρική ενέργεια μονάδας βιοαερίου (kWel)} = \text{Βιομάζα 1} \times \text{Ηλεκτρική απόδοση} \times 1000$$

Όπου ως Βιομάζα 1 έχουμε το αποτέλεσμα της εξίσωσης:

$$\text{Βιομάζα 1} = \text{Μάζα Βιομάζας} \times \text{Πτητικά συστατικά} \times \text{Δυναμικό μεθανίου} \times 1000000$$

Όπου η μάζα της βιομάζας είναι 3000t (τόνοι) και τα πτητικά στερεά 90,3%.

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής απόδοσης χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$\text{Ηλεκτρική απόδοση} = 5572 \times \log_{10} (PEE) + 22,43 \times kpl$$

Όπου PEE (Ηλεκτρική ισχύς κινητήρα)=1,64 MWh/h και kpl (Συντελεστής λειτουργίας μερικού φορτίου)= 97%.

Τέλος, το δυναμικό μεθανίου υπολογίστηκε από την εξής σχέση:

$$\text{Δυναμικό μεθανίου} = \text{Περιεκτικότητα σε μεθάνιο} \times \text{Δυναμικό βιοαερίου}$$

Η περιεκτικότητα μεθανίου είναι ίση με 55%.

9.2.4 ΕΠΕΝΔΥΣΗ

Η επένδυση (specific investment) υπολογίστηκε μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\text{Επένδυση (ευρώ/kW)} = \left(\frac{\text{Κόστος Βιοαντιδραστήρα}}{\text{Κόστος Εξοπλισμού}} \right) / \text{Ηλεκτρική ενέργεια μονάδας βιοαερίου}$$

Το κόστος του βιοαντιδραστήρα και του εξοπλισμού αλλάζουν ανάλογα με την οργανική φόρτιση, την εισροή πρώτης ύλης και τη δυναμική του βιοαερίου.

9.2.5 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το παραγόμενο βιοαέριο μετρήθηκε μέσω της μεθόδου εκτόπισης υγρού. Το βιοαέριο ασκούσε πίεση στην επιφάνεια του ελαίου και αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μετακίνησή του. Η μετακίνηση του ελαίου, η οποία είχε προσδιοριστεί σε μονάδες όγκου, ανύψωνε μέχρι ενός συγκεκριμένου υψομετρικού σημείου έναν πλαστικό δίσκο (φλοτέρ), όπου γινόταν η εκτόνωση του βιοαερίου μέσω ενός συστήματος βαλβίδων. Στο σημείο όπου γινόταν η εκτόνωση, με έναν ψηφιακό μετρητή γινόταν η καταγραφή. Επομένως, ο υπολογισμός του βιοαερίου προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού των εκτονώσεων με τον σταθερό όγκο της μετακίνησης του υγρού.

Σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές, οι τιμές των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη όσον αφορά τη δυναμική του βιοαερίου είναι: 1096, 923, 808, 779, 715, 523 m³/tVS.

9.2.6 ΚΑΘΑΡΑ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ (NPV)

Ο υπολογισμός των ετήσιων ταμειακών ροών πραγματοποιήθηκε με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$NPV = \sum_{i=1}^t \frac{Ct}{(1+r)^t} - C_0$$

Όπου:

t = Το επιτόκιο ανά περίοδο ανατοκισμού. Σε αυτή την περίπτωση είναι 6 % (0,06).

Ct = Καθαρές ταμειακές εισροές κατά τη διάρκεια της περιόδου.

C₀ = Συνολικό αρχικό επενδυτικό κόστος.

Επιπλέον, με βάση την παρακάτω εξίσωση υπολογίζεται η περίοδος αποπληρωμής (Payback Period):

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = 1 + Yn - \frac{V}{P}$$

Όπου:

YN = Ο αριθμός ετών μετά την αρχική επένδυση κατά την οποία εμφανίζεται η τελευταία αρνητική τιμή της σωρευτικής ταμειακής ροής.

v= Η αξία των σωρευτικών ταμειακών ροών κατά το έτος με την τελευταία αρνητική τιμή των σωρευτικών ταμειακών ροών.

p= Η τιμή της ετήσιας ταμειακής ροής στο έτος με την πρώτη θετική τιμή της σωρευτικής ταμειακής ροής.

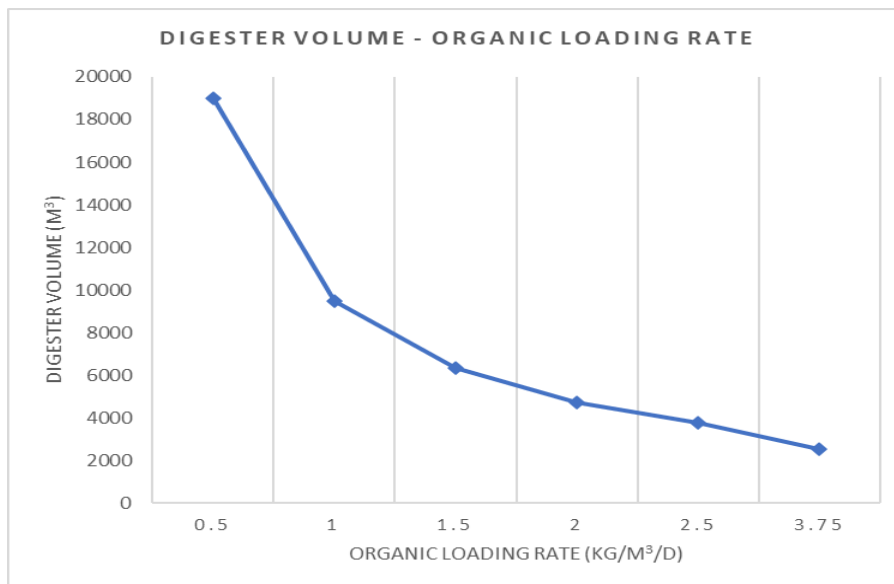
9.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Ο υπολογισμός των δεδομένων αλλά και των παραπάνω εξισώσεων καθώς και η διεκπεραίωση των διαγραμμάτων έγινε με τη χρήση του Microsoft Excel.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

10.1 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ – ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

Το παρακάτω διάγραμμα (βλ. Γράφημα 1) διερευνά τη σχέση του ρυθμού οργανικής φόρτισης με τον όγκο του βιοαντιδραστήρα. Όπως διακρίνεται, η σχέση μεταξύ τους είναι αντιστρόφως ανάλογη καθώς όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός της οργανικής φόρτισης, τόσο αυξάνεται ο όγκος του βιοαντιδραστήρα και αντίστροφα. Πιο συγκεκριμένα, αν προστεθούν στον βιοαντιδραστήρα $0,5 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ οργανικού φορτίου, τότε ο όγκος του αυξάνεται στα 18.995 m^3 . Αντιθέτως, εάν προστεθούν στον βιοαντιδραστήρα $3,75 \text{ kg/m}^3/\text{d}$, ο όγκος του μειώνεται στα 2.533 m^3 . Αυτό διακρίνεται και από την υπερβολή που αναπαριστά η παρακάτω γραφική παράσταση.

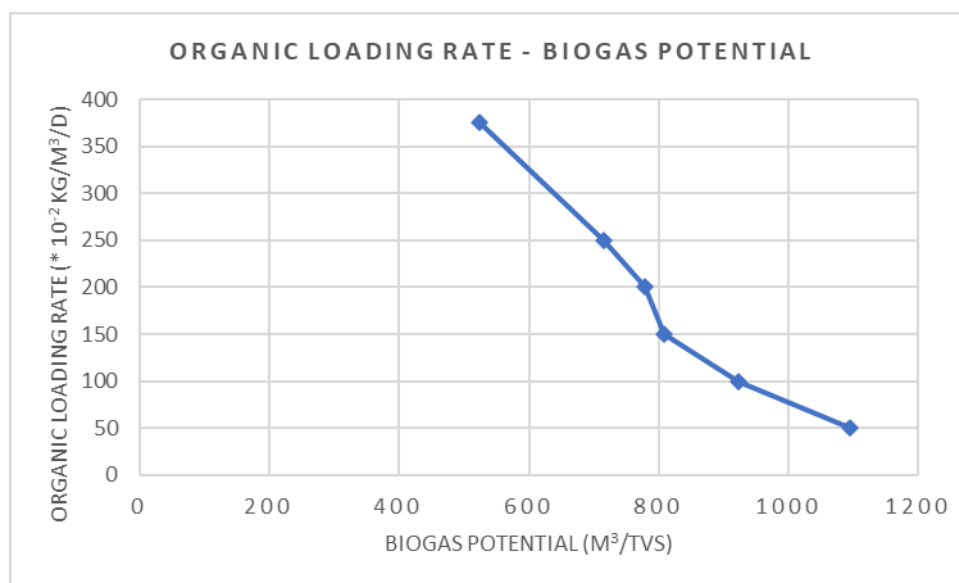


Γράφημα 1: Γραφική παράσταση ρυθμού οργανικής φόρτισης με τον όγκο του βιοαντιδραστήρα.

10.2 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Στο γράφημα 2, απεικονίζεται η σχέση του βιοαερίου με τον ρυθμό οργανικής φόρτισης. Η σχέση αυτή μεταξύ τους, όπως διακρίνεται, είναι αντιστρόφως ανάλογη. Δηλαδή, σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, τόσο μικρότερη είναι και η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται. Πιο αναλυτικά, όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι $0,5 \text{ kg/m}^3/\text{d}$, η ποσότητα βιοαερίου που παράγεται είναι $1.096 \text{ m}^3/\text{tVS}$. Επίσης, όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι $3,75 \text{ kg/m}^3/\text{d}$, η ποσότητα βιοαερίου που παράγεται είναι $523 \text{ m}^3/\text{tVS}$. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι πιθανόν επειδή όταν σε έναν βιοαντιδραστήρα το οργανικού υλικό, στην συγκεκριμένη περίπτωση η γλυκερόλη, αυξηθεί κατά πολύ τότε παρατηρείται συσσώρευση των πτητικών λιπαρών οξέων, μείωση του pH και στη συνέχεια απενεργοποίηση των μεθανιογόνων μικροοργανισμών. Συνεπώς, όσο μικρότερη είναι

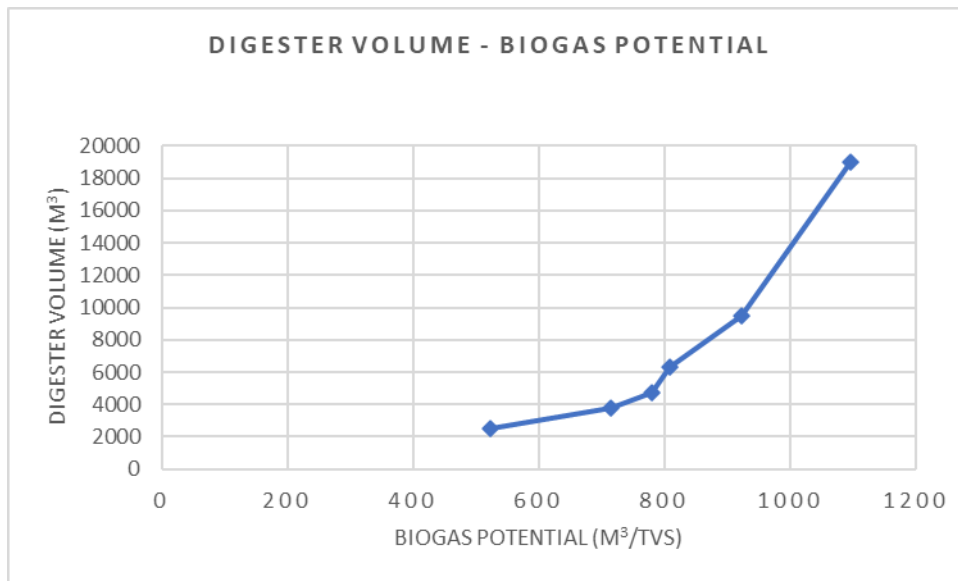
η συγκέντρωση των μεθανιογόνων μικροοργανισμών, τόσο λιγότερο βιοαέριο παράγεται.



Γράφημα 2: Γραφική παράσταση ρυθμού οργανικής φόρτισης και δυναμικό βιοαερίου.

10.3 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΟΓΚΟΣ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ

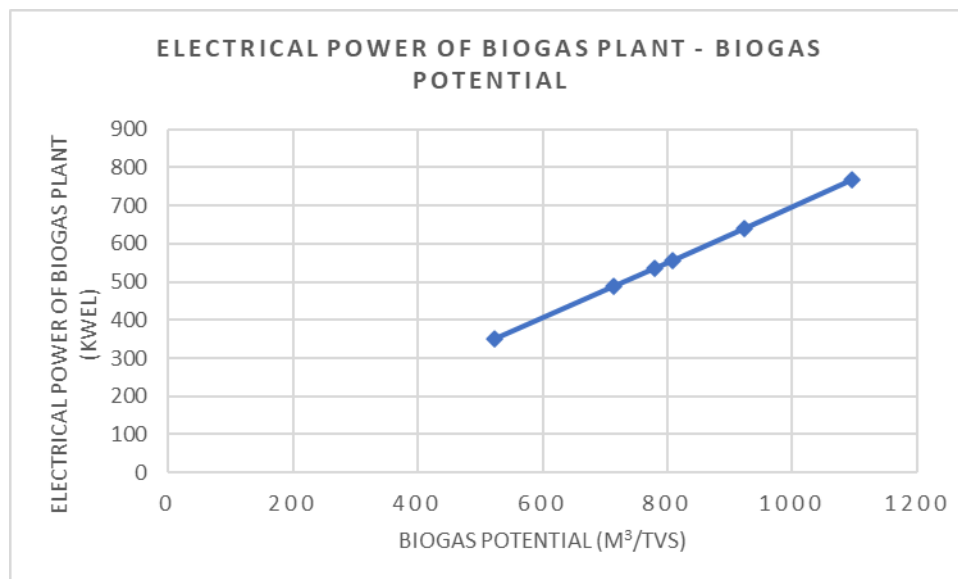
Η παρακάτω γραφική παράσταση (βλ. Γράφημα 3), δείχνει μία σταθερή άνοδο του όγκου του βιοαντιδραστήρα όσο αυξάνεται το βιοαέριο. Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων είναι ανάλογη και διαπιστώνεται με την παρακάτω γραφική παράσταση καθώς όταν η τιμή του βιοαερίου είναι 1.096 m³/tVS, η τιμή του βιοαντιδραστήρα αυξάνεται στα 18.995 κυβικά. Στη συνέχεια, παρατηρείται ότι για 923 m³/tVS βιοαερίου, ο όγκος του βιοαντιδραστήρα μεταβάλλεται στα 9.497 m³, ενώ για τις τιμές το βιοαερίου 808 m³/tVS, 779 m³/tVS, 715 m³/tVS, 523 m³/tVS, ο όγκος του βιοαντιδραστήρα κυμαίνεται στα 6.332, 4.749, 3.799 και 2.533 κυβικά αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των τιμών εντοπίζεται μεταξύ του πέμπτου με έκτου ζεύγους τιμών καθώς στο σημείο αυτό διακρίνεται μία απότομη αύξηση σε ποσοστό 59%, η οποία μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες που οφείλονται στις συνθήκες του βιοαερίου μέσα στον βιοαντιδραστήρα που στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται να είναι ευνοϊκότερες. Πιο συγκεκριμένα, όπως προαναφέρθηκε και στα παραπάνω γραφήματα (βλ. Γράφημα 1 και 2), όσο μειώνεται το οργανικό φορτίο, τόσο αυξάνεται το δυναμικό παραγωγής του βιοαερίου, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του βιοαντιδραστήρα.



Γράφημα 3: Γραφική παράσταση του δυναμικού του βιοαερίου και του όγκου του βιοαντιδραστήρα.

10.4 ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

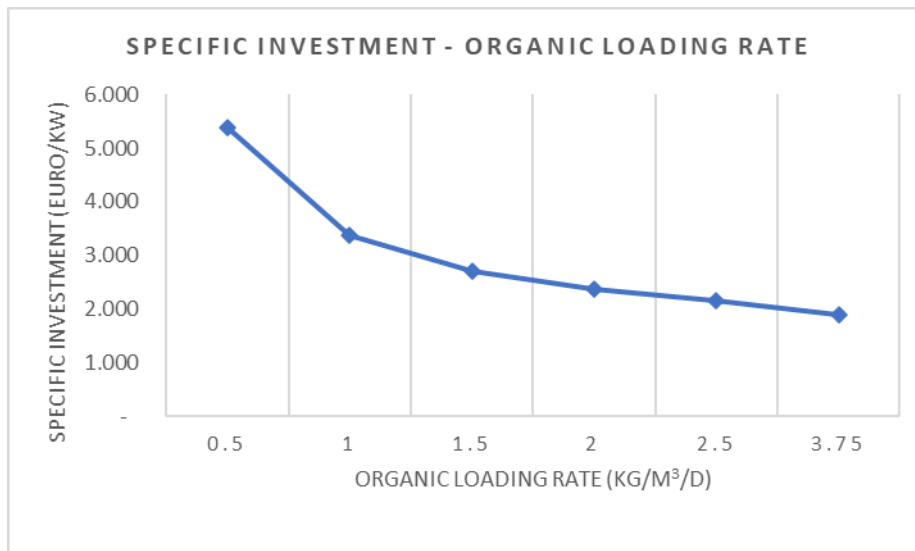
Στο γράφημα 4, μελετάται η σχέση μεταξύ του βιοαερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον βιοαντιδραστήρα. Η σχέση μεταξύ αυτών των δύο είναι ανάλογη, που σημαίνει ότι όσο περισσότερο βιοαέριο εκλύεται τόσο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια που παράγεται. Γι' αυτό το λόγο και η παρακάτω γραφική παράσταση παρουσιάζει μία εκθετική πορεία.



Γράφημα 4: Γραφική παράσταση ηλεκτρικής ενέργειας μονάδας βιοαντιδραστήρα και δυναμικό βιοαερίου.

10.5 ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ – ΕΠΕΝΔΥΣΗ

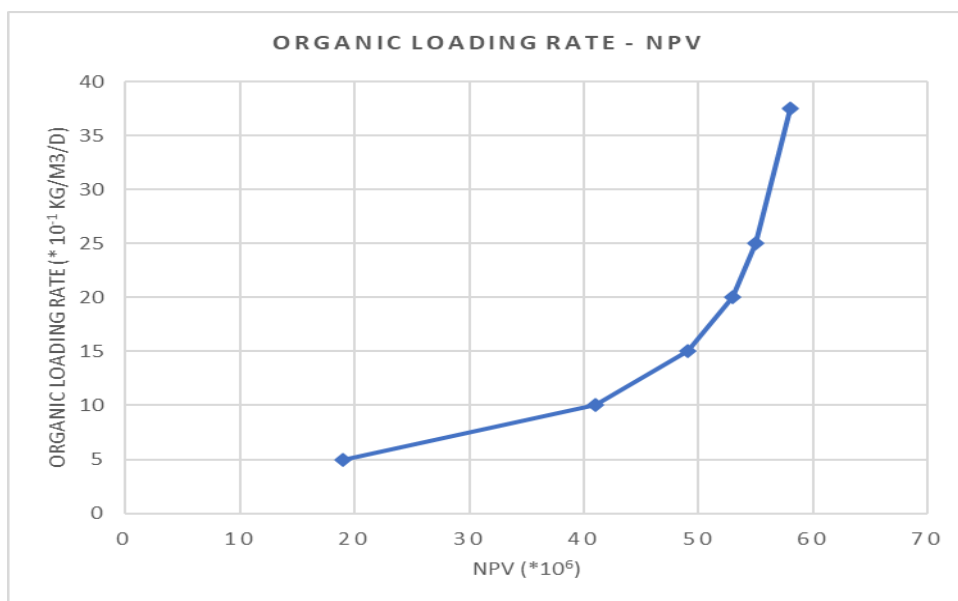
Στο γράφημα 5, η επένδυση με τον ρυθμό οργανικού φορτίου έχουν μία αντιστρόφως ανάλογη συμπεριφορά καθώς όσο λιγότερο είναι το οργανικό φορτίο, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος της επένδυσης. Αναλυτικότερα, όταν ο ρυθμός του οργανικού φορτίου είναι 0,5 kg/m³/d, το κόστος των επενδύσεων υπολογίζεται στα 5376 euro/kW. Επίσης, όταν ο ρυθμός οργανικού φορτίου είναι 1, 1,5, 2, 2,5 και 3,75 kg/m³/d, το κόστος των επενδύσεων μειώνεται στα 3.367, 2.697, 2.362, 2.161 και 1.893 euro/kW. Η μείωση αυτή οφείλεται στην άμεση σχέση που παρουσιάζουν οι δύο αυτοί παράγοντες με άλλες παραμέτρους. Συγκεκριμένα, η αύξηση του ρυθμού οργανικής φόρτισης θα προκαλέσει μείωση του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου, δηλαδή μείωση του όγκου του βιοαντιδραστήρα και κατά συνέπεια μείωση του κόστους της επένδυσης.



Γράφημα 5: Γραφική παράσταση ειδικών επενδύσεων με ρυθμό οργανικής φόρτισης

10.6 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ – ΡΥΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

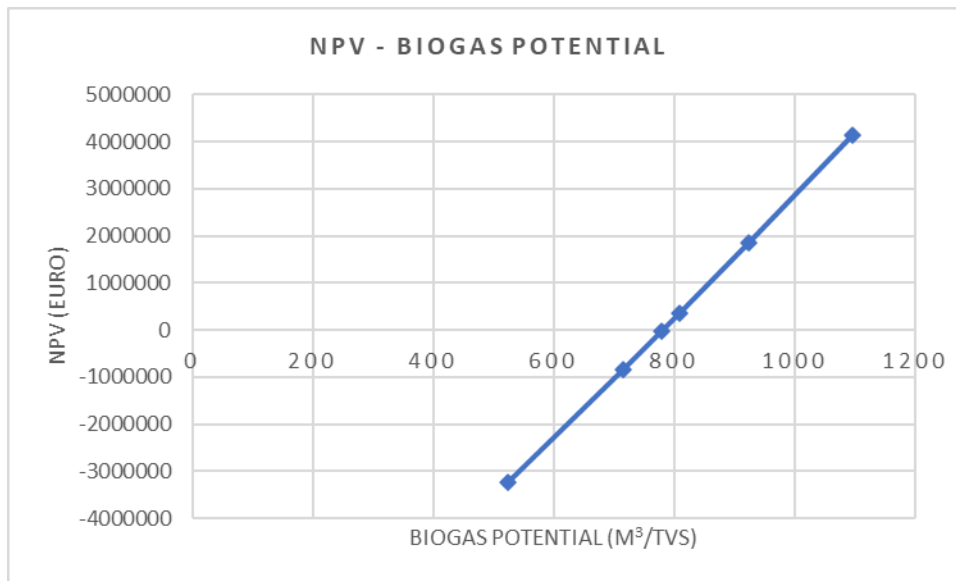
Στη γραφική παράσταση που ακολουθεί (βλ. Γράφημα 6) διακρίνεται η σχέση μεταξύ του ρυθμού οργανικής φόρτισης του βιοαντιδραστήρα και της καθαρής παρούσας αξίας. Η σχέση μεταξύ αυτών των δύο είναι ανάλογη, αφού όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης τόσο μεγαλύτερη είναι η καθαρή παρούσα αξία της παραγωγής βιοαερίου. Όπως προαναφέρθηκε και στο γράφημα 3, όταν το οργανικό φορτίο αυξάνεται, ακολουθεί μείωση των μεθανιογόνων μικροοργανισμών και κατά συνέπεια μείωση του βιοαερίου. Επομένως, στην μικρότερη παραγωγή βιοαερίου το κόστος του βιοαντιδραστήρα μειώνεται, όπως επίσης και τα κόστη που προκύπτουν για τη λειτουργία του. Έχοντας λοιπόν μικρότερα κόστη και ένα σταθερό επιτόκιο (6%), η καθαρή παρούσα αξία θα αυξάνεται.



Γράφημα 6: Γραφική παράσταση οργανικής φόρτισης και καθαρής παρούσας αξίας.

10.7 ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ – ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το γράφημα 7, αντιπροσωπεύει τη σχέση της καθαρής παρούσας αξίας και του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου. Η σχέση μεταξύ τους είναι ανάλογη, ωστόσο για τις μικρές τιμές του βιοαερίου, οι τιμές της καθαρής παρούσας αξίας είναι αρνητικές. Πιο αναλυτικά, για το πρώτο δείγμα όπου το δυναμικό του βιοαερίου υπολογίστηκε στα 523 m³/tVS, η καθαρή παρούσα αξία ήταν -3.240.037 ευρώ, ενώ στην επόμενη μέτρηση βιοαερίου που ήταν στα 715 m³/tVS, η καθαρή παρούσα αξία είχε πάλι αρνητικό πρόσημο στα -834.558 ευρώ. Παρατηρείται λοιπόν, το μειωμένο δυναμικό παραγωγής βιοαερίου και συνεπώς ηλεκτρικής ενέργειας, όπου όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα γραφήματα, οφείλεται στο μεγάλο ρυθμό οργανικής φόρτισης. Συγκεκριμένα, στις τιμές δυναμικού βιοαερίου 523 m³/tVS και 715 m³/tVS, αντιστοιχούν οι τιμές οργανικής φόρτισης 3,75 και 2,5 kg/m³/d αντίστοιχα. Αντιθέτως, όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι μικρός π.χ. 0,5 kg/m³/d, το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου είναι 1096 m³/tVS και η καθαρά παρούσα αξία στα 4.136.172 ευρώ.



Γράφημα 7: Γραφική παράσταση καθαρής παρούσας αξίας και δυναμικό βιοαερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πραγματοποιηθούν δύο αναλύσεις ευαισθησίας. Στην πρώτη εξετάζεται ο βαθμός επίδρασης του ρυθμού οργανικής φόρτισης (ORL) στην καθαρά παρούσα αξία σε διάρκεια εικοσαετίας και στη δεύτερη το δυναμικό βιοαερίου (Biogas Potential) στην καθαρά παρούσα αξία (NPV). Με την ανάλυση ευαισθησίας, θα διαπιστωθεί πόσο επηρεάζει την καθαρά παρούσα αξία η αύξηση του ρυθμού οργανικής φόρτισης και το δυναμικό του βιοαερίου αντίστοιχα, καταλήγοντας σε ένα βέλτιστο σενάριο (βλ. Κεφάλαιο 12) με στόχο την κερδοφορία της επένδυσης. Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι δύο παραπάνω παράμετροι είναι διότι όπως διαπιστώθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 11), επηρεάζουν άμεσα την καθαρή παρούσα αξία αλλά και τις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με αυτή.

Πιο συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Επιλογή συγκεκριμένων παραμέτρων της επένδυσης που θεωρούνται ευμετάβλητοι και σημαντικοί για την επένδυση καθώς και άλλων παραμέτρων που θεωρούνται σταθεροί.
- Υπολογισμός των μεταβαλλόμενων παραμέτρων (π.χ. κόστος κεφαλαίου, χρηματικές ροές).
- Υπολογισμός της καθαρής παρούσας αξίας σε διάρκεια εικοσαετίας με βάση τα δεδομένα.
- Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης της καθαρής παρούσας αξίας με την εκάστοτε μεταβλητή παράμετρο.

11.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ORL – NPV

Στον παρακάτω πίνακα (βλ. Πίνακα 4) διερευνάται ο βαθμός επίδρασης του ρυθμού οργανικής φόρτισης (ORL) στην καθαρά παρούσα αξία σε διάρκεια εικοσαετίας. Το κόστος της πρώτης ύλης (γλυκερόλης) θεωρήθηκε σταθερό, όπως επίσης η αναερόβια χώνευση (AD), η λειτουργία του βιοαντιδραστήρα (Operation), τα έσοδα (Income), τα κόστη (Costs) και το δυναμικό βιοαερίου το οποίο ήταν στα 923 m³/tVS.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις τιμές των χρηματοροών που διακρίνονται στον πίνακα 4, διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός της οργανικής φόρτισης, μειώνεται το κόστος κεφαλαίου (Capital Cost), το κόστος της αρχικής επένδυσης (Initial Investment) καθώς και ο βαθμός απόσβεσης της επένδυσης (Depreciation). Αντίθετα, αυξάνονται οι ταμειακές ροές (Cash flow).

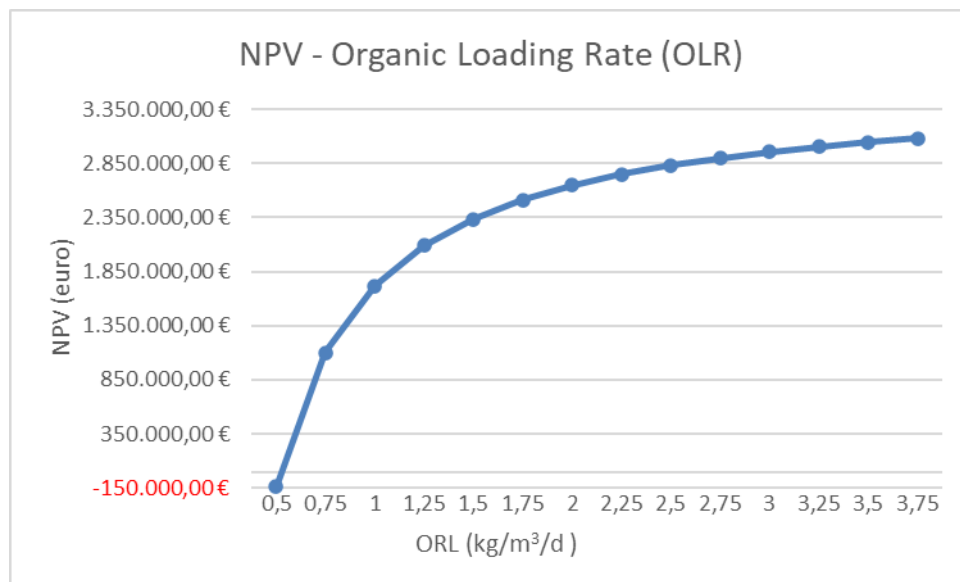
Πίνακας 4: Ανάλυση ευαισθησίας μίας μονάδας βιοαερίου με βάση τον ρυθμό οργανικής φόρτισης.

ORL	Initial Investment	depreciation	Glycerol cost	AD	Operation	Capital Cost	Costs	Income	Cash Flow
1	1.272.178	196.584	600.000	94.658	34.733	54.022	729.391	1.286.399	321.098
0,5	2.459.357	354.875	600.000	94.658	34.733	79.898	743.250	1.286.399	250.539
0,75	1.667.905	249.348	600.000	94.658	34.733	62.647	743.250	1.286.399	290.741
1	1.272.178	196.584	600.000	94.658	34.733	54.022	743.250	1.286.399	310.843
1,25	1.034.743	164.926	600.000	94.658	34.733	48.847	743.250	1.286.399	322.903
1,5	876.452	143.821	600.000	94.658	34.733	45.396	743.250	1.286.399	330.944
1,75	763.388	128.745	600.000	94.658	34.733	42.932	743.250	1.286.399	336.687
2	678.589	117.439	600.000	94.658	34.733	41.084	743.250	1.286.399	340.994
2,25	612.635	108.645	600.000	94.658	34.733	39.646	743.250	1.286.399	344.345
2,5	559.871	101.610	600.000	94.658	34.733	38.496	743.250	1.286.399	347.025
2,75	516.701	95.854	600.000	94.658	34.733	37.555	743.250	1.286.399	349.218
3	480.726	91.057	600.000	94.658	34.733	36.771	743.250	1.286.399	351.045
3,25	450.286	86.998	600.000	94.658	34.733	36.108	743.250	1.286.399	352.591
3,5	424.194	83.520	600.000	94.658	34.733	35.539	743.250	1.286.399	353.917
3,75	401.581	80.505	600.000	94.658	34.733	35.046	743.250	1.286.399	355.065

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-2.478.503	327.958	334.949	342.073	349.331	356.728	364.266	371.946	379.773	387.748	395.875
-3.665.682	256.422	262.418	268.527	274.753	281.096	287.560	294.147	300.860	307.699	314.669
-2.874.229	297.146	303.673	310.323	317.100	324.006	331.043	338.214	345.521	352.966	360.553
-2.478.503	317.508	324.300	331.222	338.274	345.461	352.784	360.247	367.851	375.600	383.496
-2.241.068	329.725	336.677	343.760	350.979	358.334	365.829	373.467	381.249	389.180	397.261
-2.082.777	337.870	344.928	352.120	359.448	366.916	374.526	382.280	390.182	398.233	406.438
-1.969.712	343.688	350.821	358.091	365.498	373.046	380.738	388.575	396.562	404.700	412.993
-1.884.914	348.051	355.242	362.569	370.035	377.644	385.396	393.297	401.347	409.550	417.909
-1.818.960	351.445	358.679	366.052	373.564	381.219	389.020	396.969	405.069	413.322	421.733
-1.766.196	354.160	361.430	368.838	376.387	384.080	391.919	399.907	408.046	416.340	424.792
-1.723.026	356.381	363.680	371.118	378.697	386.421	394.291	402.310	410.482	418.809	427.295
-1.687.051	358.232	365.555	373.018	380.622	388.371	396.267	404.313	412.512	420.867	429.380
-1.656.610	359.798	367.142	374.625	382.251	390.021	397.939	406.008	414.230	422.608	431.145
-1.630.519	361.141	368.502	376.003	383.647	391.436	399.373	407.461	415.702	424.100	432.658
-1.607.906	362.304	369.681	377.197	384.857	392.662	400.615	408.720	416.978	425.394	433.969

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	NPV
404.156	412.594	421.193	429.956	438.884	447.983	457.254	466.701	476.328	486.138	1.848.932,10 €
321.771	329.008	336.382	343.897	351.555	359.357	367.309	375.411	383.667	392.080	-136.011,88 €
368.285	376.163	384.191	392.371	400.707	409.202	417.857	426.677	435.665	444.823	1.099.811,24 €
391.542	399.741	408.095	416.609	425.284	434.124	443.131	452.310	461.664	471.195	1.717.722,80 €
405.496	413.887	422.438	431.151	440.029	449.077	458.296	467.690	477.263	487.018	2.088.469,74 €
414.799	423.318	431.999	440.846	449.860	459.046	468.406	477.944	487.663	497.567	2.335.634,36 €
421.443	430.054	438.829	447.771	456.882	466.166	475.627	485.268	495.091	505.102	2.512.180,52 €
426.427	435.107	443.951	452.964	462.148	471.507	481.043	490.760	500.662	510.753	2.644.590,14 €
430.303	439.036	447.936	457.004	466.244	475.660	485.255	495.033	504.996	515.148	2.747.575,40 €
433.404	442.180	451.123	460.235	469.521	478.983	488.625	498.450	508.462	518.664	2.829.963,61 €
435.941	444.752	453.730	462.879	472.202	481.702	491.382	501.247	511.298	521.541	2.897.372,15 €
438.056	446.896	455.904	465.083	474.436	483.968	493.680	503.577	513.662	523.938	2.953.545,92 €
439.845	448.709	457.742	466.947	476.327	485.885	495.624	505.549	515.662	525.967	3.001.077,58 €
441.378	450.264	459.318	468.545	477.947	487.528	497.291	507.239	517.376	527.706	3.041.819,00 €
442.707	451.611	460.684	469.930	479.352	488.952	498.735	508.704	518.862	529.213	3.077.128,24 €

Στο γράφημα 8, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η τιμή της οργανικής φόρτισης, τόσο περισσότερο μεγαλώνει η καθαρή παρούσα αξία (NPV) καθιστώντας την επένδυση ιδιαίτερα κερδοφόρα κυρίως για τις τιμές 2,5 έως 3,75 kg/m³/d όπου η καθαρή παρούσα αξία κυμαίνεται από 2.829.963,61 € έως 3.077.128,24 €. Πιο αναλυτικά, η καθαρή παρούσα αξία σημειώνει μία σημαντική αύξηση όταν το οργανικό φορτίο φτάνει στα 2,5 kg/m³/d, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό. Επομένως, με βάση την καμπύλη που δημιουργείται στο παρακάτω διάγραμμα, το μεγαλύτερο όφελος για την επένδυση είναι όταν η μέγιστη τιμή της καθαρής παρούσας αξίας είναι στα 3.077.128,24 € και ο ρυθμός οργανικής φόρτισης στα 3,75 kg/m³/d, καθώς στη συνέχεια αναμένεται η σταθεροποίηση ή η σταδιακή μείωση της NPV.



Γράφημα 8: Απεικόνιση της μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει της τιμής οργανικής φόρτισης.

11.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ Biogas Potential – NPV

Για την ανάλυση ευαισθησίας του δυναμικού παραγωγής του βιοαερίου και της καθαρής παρούσας αξίας, θεωρήθηκαν ως σταθερές ο ρυθμός οργανικής φόρτισης ($1 \text{ kg/m}^3/\text{d}$) και το κόστος της γλυκερόλης.

Με βάση τον Πίνακα 5, παρατηρείται ότι αυξάνοντας το δυναμικό του βιοαερίου, αυξάνονται: τα λειτουργικά κόστη της αναερόβιας χώνευσης (AD) και της λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα, το κόστος κεφαλαίου, οι ταμειακές ροές, τα έσοδα και η καθαρή παρούσα αξία.

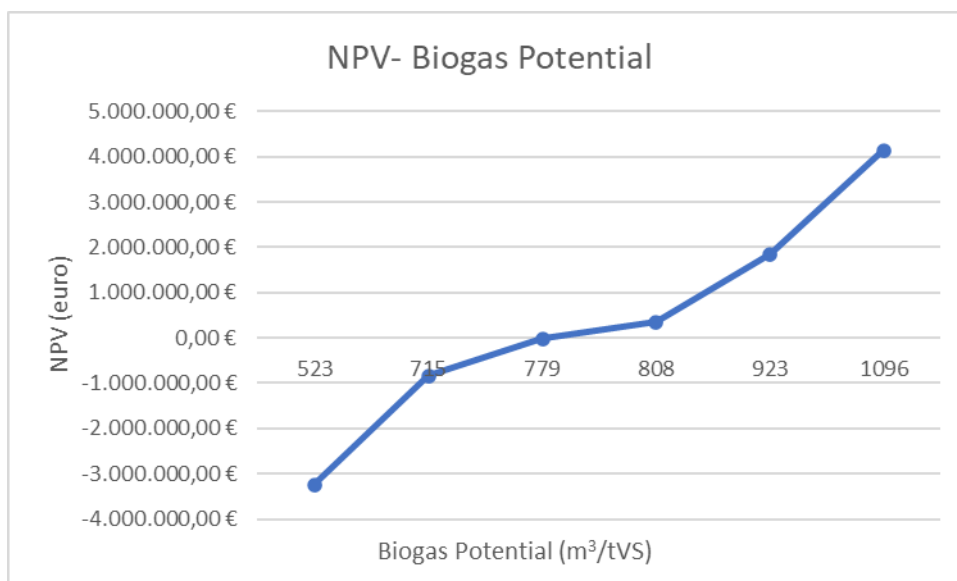
Πίνακας 5: Ανάλυση ευαισθησίας μίας μονάδας βιοαερίου με βάση το δυναμικό βιοαερίου.

Biogas potential	Initial Investment	depreciation	Glycerol cost	AD	Operation	Capital Cost	Costs	Income	Cash Flow
1096	2.585.834	200.093	600.000	95.962	34.798	56.361	730.760	1.543.254	507.514
923	2.478.503	196.584	600.000	94.658	34.733	54.022	729.391	1.286.399	321.098
808	2.396.160	193.892	600.000	93.799	34.690	52.227	728.489	1.117.132	198.536
779	2.374.048	193.169	600.000	93.583	34.679	51.745	728.263	1.074.656	167.816
715	2.323.376	191.513	600.000	93.109	34.655	50.641	727.765	981.241	100.305
523	2.156.491	186.057	600.000	91.702	34.585	47.003	726.287	704.073	-99.595

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-2.585.834	517.949	528.583	539.418	550.460	561.711	573.176	584.859	596.763	608.894	621.256	633.852
-2.478.503	327.958	334.949	342.073	349.331	356.728	364.266	371.946	379.773	387.748	395.875	404.156
-2.396.160	203.043	207.635	212.314	217.082	221.941	226.892	231.938	237.079	242.318	247.656	253.096
-2.374.048	171.732	175.723	179.789	183.932	188.155	192.457	196.841	201.309	205.861	210.500	215.227
-2.323.376	102.923	105.591	108.309	111.079	113.901	116.778	119.708	122.695	125.738	128.839	131.999
-2.156.491	-100.827	-102.082	-103.360	-104.663	-105.991	-107.344	-108.723	-110.128	-111.559	-113.018	-114.504

12	13	14	15	16	17	18	19	20	NPV
646.688	659.767	673.095	686.676	700.516	714.618	728.988	743.631	758.553	4.136.171,51 €
412.594	421.193	429.956	438.884	447.983	457.254	466.701	476.328	486.138	1.848.932,10 €
258.639	264.287	270.043	275.908	281.885	287.975	294.181	300.504	306.948	355.893,44 €
220.044	224.952	229.954	235.051	240.244	245.536	250.929	256.424	262.024	-16.992,67 €
135.219	138.500	141.844	145.251	148.722	152.260	155.865	159.539	163.282	-834.558,10 €
-116.019	-117.563	-119.136	-120.738	-122.371	-124.036	-125.731	-127.459	-129.220	-3.240.036,55 €

Όπως διακρίνεται στο γράφημα 9, αυξάνοντας το δυναμικό του βιοαερίου αυξάνεται και η καθαρή παρούσα αξία φτάνοντας τα 4.136.172 ευρώ όταν το βιοαέριο ανέρχεται στα $1096 \text{ m}^3/\text{tVS}$. Στο σημείο αυτό η επένδυση χαρακτηρίζεται ως πιο κερδοφόρα, ενώ παρουσιάζεται ως πιο ζημιογόνα στις χαμηλές τιμές του βιοαερίου και συγκεκριμένα για τις τιμές $523 - 779 \text{ m}^3/\text{tVS}$. Σε αντίθεση με το προηγούμενο γράφημα (βλ. Γράφημα 8), όσο και να αυξηθεί το δυναμικό του βιοαερίου, θα αυξηθεί και η NPV χωρίς να σημειωθεί κάποια μείωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αυξάνοντας το βιοαέριο, αυξάνονται και τα έσοδα τα οποία υπερκαλύπτουν τα λειτουργικά κόστη (π.χ. κόστος κεφαλαίου και κόστος επένδυσης).



Γράφημα 9: Απεικόνιση της μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του δυναμικού του βιοαερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

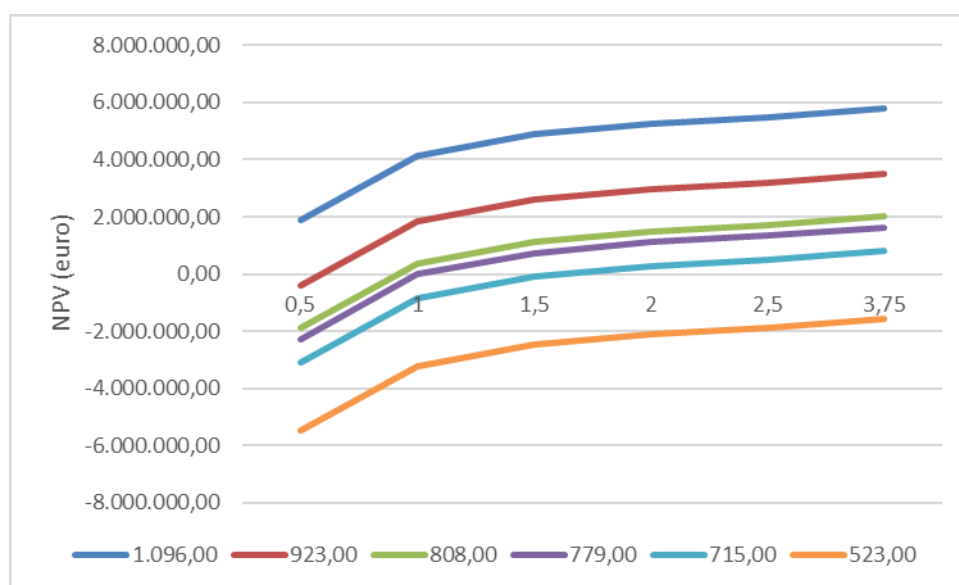
Με βάση την ανάλυση ευαισθησίας που έλαβε χώρα στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκύπτει ο πίνακας 6, όπου υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία με βάση τις διάφορες τιμές του ρυθμού οργανικής φόρτισης και του δυναμικού του βιοαερίου που όπως διαπιστώθηκε έχουν μεγάλο βαθμό επίδρασης πάνω σε αυτή. Έτσι λοιπόν, προκύπτει ένα βέλτιστο σενάριο μεταξύ των τριών αυτών παραγόντων.

Πίνακας 6: Ανάλυση δεδομένων της μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του δυναμικού του βιοαερίου και του ρυθμού οργανικής φόρτισης.

Biogas Potential	Organic Loading Rate					
	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,75
1.096,00	1.884.284,05	4.136.171,51	4.886.800,67	5.262.115,24	5.487.303,99	5.787.555,65
923,00	-402.955,37	1.848.932,10	2.599.561,25	2.974.875,83	3.200.064,58	3.500.316,24
808,00	-1.895.994,03	355.893,44	1.106.522,59	1.481.837,17	1.707.025,92	2.007.277,58
779,00	-2.268.880,14	-16.992,67	733.636,48	1.108.951,06	1.334.139,80	1.634.391,47
715,00	-3.086.445,57	-834.558,10	-83.928,95	291.385,63	516.574,37	816.826,04
523,00	-5.491.924,01	-3.240.036,55	-2.489.407,39	-2.114.092,81	-1.888.904,07	-1.588.652,41

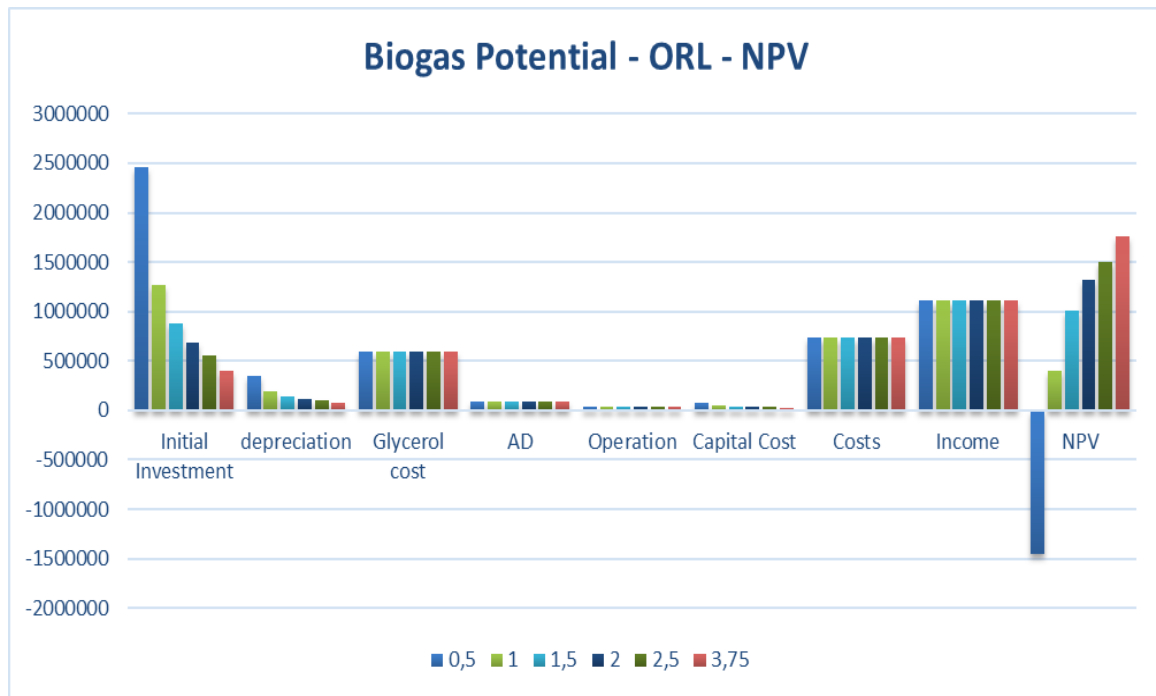
Σύμφωνα με το γράφημα 10, το βέλτιστο σενάριο είναι όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι στα 3,75 kg/m³/d και το βιοαέριο στα 1096 m³/tVS. Τότε η καθαρή παρούσα αξία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή που είναι στα 5.787.556 ευρώ και η μονάδα υπολογίζεται στα 768 kW. Αντιθέτως, όσο μικρότερες είναι οι τιμές της οργανικής φόρτισης και του βιοαερίου, τόσο μικρότερη είναι η καθαρή παρούσα αξία όπου για τις τιμές 0,5 kg/m³/d και 523 m³/tVS αντίστοιχα, παρουσιάζει αρνητική τιμή

η οποία είναι στα -5.491.924 ευρώ χαρακτηρίζοντας την επένδυση ως ζημιογόνα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί το βιοαέριο, όπως προαναφέρθηκε και στα παραπάνω οικονομικά στοιχεία, αυξάνει τα έσοδα τα οποία προέρχονται από την ενέργεια που παράγεται. Σημειώνεται, ότι ο αυξημένος ρυθμός οργανικής φόρτισης και βιοαερίου παρουσιάζει μεγαλύτερα κόστη όσον αφορά τα λειτουργικά κόστη της μονάδας του βιοαντιδραστήρα, του εξοπλισμού και γενικότερα της επένδυσης. Παρ' όλα αυτά, τα έσοδα που προκύπτουν από την παραγωγή βιοαερίου είναι μεγαλύτερα από τα έξοδα κάνοντας πιο κερδοφόρα την επένδυση. Τέλος, στο βέλτιστο αυτό σενάριο, ο χρόνος που απαιτείται για την ανάκτηση των κεφαλαίων που δαπανήθηκαν στην επένδυση (Payback Period) είναι περίπου στα 4 χρόνια.



Γράφημα 10: Απεικόνιση της μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του δυναμικού βιοαερίου και του ρυθμού οργανικής φόρτισης.

Συνοψίζοντας, στο γράφημα 11, γίνεται γραφική απεικόνιση όλων των παραμέτρων που αναλύθηκαν παραπάνω (βλ. Πίνακα 4, 5 και 6) συναρτήσει του ρυθμού οργανικής φόρτισης και του δυναμικού του βιοαερίου. Σε αυτό το γράφημα διακρίνεται η έντονη μεταβολή των τιμών της αρχικής επένδυσης και της καθαρής παρούσας αξίας, με την τελευταία να είναι υψηλότερη όταν το οργανικό φορτίο είναι στα 3,75 και το δυναμικό του βιοαερίου στα 1096 m³/tVS. Τέλος, παρατηρείται ότι όσο πιο μεγάλη είναι η αρχική επένδυση, η οποία περιλαμβάνει τα κόστη του βιοαντιδραστήρα και των παραμέτρων της αναερόβιας χώνευσης, τόσο μικρότερη είναι η καθαρή παρούσα αξία, διαγράφοντας μία σχέση αντιστρόφως ανάλογη.



Γράφημα 11: Απεικόνιση της μεταβολής της αρχικής επένδυσης, της απόσβεσης, το κόστους της γλυκερόλης, της αναερόβιας χώνευσης, της λειτουργίας της μονάδας, του κόστους κεφαλαίου, εξόδων, εσόδων και της καθαρής παρούσας αξίας συναρτήσει του δυναμικού βιοαερίου και του ρυθμού οργανικής φόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αναερόβια χώνευση της γλυκερόλης για την παραγωγή βιοαερίου σε μία μονάδα βιοαντιδραστήρα. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε στα πρώτα κεφάλαια, το βιοαέριο, αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μπορεί να δώσει πολλαπλές λύσεις στο πρόβλημα της περιβαλλοντικής καταστροφής αλλά και στην οικονομία. Πιο συγκεκριμένα, κατά την παραγωγή βιοντίζελ παράγονται κάποια παραπροϊόντα όπως είναι η γλυκερόλη. Παίρνοντας την γλυκερόλη ως «απόβλητο», μέσω της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης, μετατρέπεται σε βιοαέριο το οποίο παράγει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια καθώς και λιπάσματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικό επίπεδο. Συνεπώς, οι διεργασίες αυτές είναι συμβατές με την έννοια της κυκλικής οικονομίας, η οποία αποτελεί ένα οικονομικό μοντέλο αειφόρου ανάπτυξης, παρά το γεγονός ότι το επενδυτικό τους κόστος είναι ακόμα αρκετά υψηλό. Επίσης, τόσο το βιοαέριο ως μορφή ενέργειας όσο και η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης και συγκεκριμένα των στόχων: 1 (Μηδενική Φτώχεια), 2 (Μηδενική Πείνα), 3 (Καλή Υγεία και Ευημερία), 6 (Καθαρό νερό και Αποχέτευση), 7 (Φτηνή και Καθαρή Ενέργεια), 8 (Αξιοπρεπής Εργασία και Οικονομική Ανάπτυξη), 9 (Βιομηχανία Καινοτομία και Υποδομές), 11 (Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες), 12 (Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή), 13 (Δράση για το Κλίμα), 14 (Ζωή στο Νερό), 15 (Ζωή στη Στεριά) και 17 (Συνεργασία για τους Στόχους).

Όσον αφορά το πειραματικό μέρος της εργασίας, με βάση τις τιμές που μελετήθηκαν, αλλά και την ανάλυση ευαισθησίας, διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης της γλυκερόλης και το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την τιμή της καθαρής παρούσας αξίας. Πιο συγκεκριμένα, όσο οι τιμές της οργανικής φόρτισης ήταν χαμηλές, δηλαδή 0,5 , 1 και 1,5 kg/m³/d, το δυναμικό παραγωγής βιοαερίου ήταν 1.096, 923, 808 m³/tVS αντίστοιχα. Λόγω της αύξησης της παραγωγής βιοαερίου, στις προαναφερθείσες τιμές, προκύπτει η αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα 768, 640, 556 kWel και συνεπώς της καθαρής παρούσας αξίας με τιμές 1.884.284, 1.848.932 και 1.106.523 ευρώ αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, σε αυτή την περίπτωση ο όγκος του βιοαντιδραστήρα και το κόστος της επένδυσης λειτουργεί αρνητικά καθώς όσο αυξάνεται το δυναμικό του βιοαερίου, τόσο μεγαλώνει ο όγκος του βιοαντιδραστήρα σε 18.995, 9.497, 6.332 m³ και συνεπώς αυξάνεται το κόστος της επένδυσης στα 5.376, 3.367 και 2.697 euro/kW αντίστοιχα. Έτσι λοιπόν, οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την επένδυση είναι τα αυξημένα λειτουργικά κόστη λόγω κάποιας βλάβης του εξοπλισμού ή η διακοπή της συνεχούς λειτουργίας της μονάδας που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή του βιοαερίου. Επιπλέον, αρνητική επίδραση θα παρουσιάσει και η αύξηση του κόστους της γλυκερόλης που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη.

Τέλος, βάσει των αποτελεσμάτων των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, προκύπτει ένα βέλτιστο σενάριο όπου σε μία μονάδα 768 kW, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι στα 3,75 kg/m³/d, το δυναμικό βιοαερίου στα 1096 m³/tVS, η καθαρή παρούσα αξία 5.787.556 ευρώ και η ανάκτηση των κεφαλαίων που δαπανήθηκαν πραγματοποιείται στα 4 χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι Fountoulakis et al., 2010, στην έρευνά τους, εφάρμοσαν ακατέργαστη γλυκερόλη (υποπροϊόν της παραγωγής βιοντίζελ) με λύματα βοοειδών γαλακτοπαραγωγής για πειράματα συγχώνευσης σε μεσόφιλες συνθήκες. Τα αποτελέσματα που εξήγαγαν έδειξαν ότι με την προσθήκη 1% ακατέργαστης γλυκερόλης αυξήθηκε η παραγωγή μεθανίου κατά 112%. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, όπου με την προσθήκη 1% ακατέργαστης γλυκερόλης μειώθηκε η παραγωγή μεθανίου κατά 15,8%. Επίσης, στη μελέτη των Castrillón et al. 2011 χρησιμοποιήθηκε ως πρώτη ύλη ένα μείγμα υπερήχων κοπριάς βοοειδών και ακατέργαστης γλυκερόλης από παραγωγή βιοντίζελ, για πειράματα συγχώνευσης σε μεσόφιλες συνθήκες. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η παραγωγή βιοαερίου ήταν 235,1 και 168,9 m³/tVS για τα δείγματα με προσθήκη 2 και 4% ακατέργαστης γλυκερόλης, αντίστοιχα. Συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, διαπιστώθηκε ότι και στη συγκεκριμένη παραγωγή βιοαερίου μειώθηκε καθώς από 779 πήγε στα 523 m³/tVS με την προσθήκη 2 και 3,75 kg/m³/d ακατέργαστης γλυκερόλης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι μεταξύ των μονάδων, οι παράμετροι όπως είναι ο ρυθμός οργανικής φόρτισης και το δυναμικό του βιοαερίου, παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις. Επίσης, διακρίνεται ότι οι μονάδες με αρκετά υψηλό ρυθμό οργανικής φόρτισης, έχουν ως αποτέλεσμα το μειωμένο δυναμικό βιοαερίου από αυτό που θα περίμεναν. Δηλαδή, πετυχαίνοντας

υψηλό OLR, προκαλείται αύξηση στην απόδοση του συστήματος αλλά και των VFAs. Επομένως, ενώ μπορεί να αυξάνεται η απόδοση της αναερόβιας χώνευσης, μειώνεται η παραγωγή σε μεθάνιο και συνεπώς σε βιοαέριο. Για παράδειγμα, η μονάδα βιοαερίου που μελετήθηκε από τους Cavinato et al., 2010, παρουσίασε υψηλό ρυθμό οργανικής φόρτισης $5,39 \text{ kgVS/m}^3$, όπου το δυναμικό βιοαερίου ήταν στα $450 \text{ m}^3/\text{tVS}$. Αντίθετα, στην μελέτη των Mattioli et al., 2017, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης ήταν χαμηλότερος, δηλαδή στα $1,38 \text{ kgVS/m}^3$ και το δυναμικό βιοαερίου μεγαλύτερο, δηλαδή στα 500 kgVS/m^3 . Στην παρούσα έρευνα, όταν ο ρυθμός οργανικής φόρτισης ήταν στο $1,5 \text{ kg/m}^3/\text{d}$, το δυναμικό βιοαερίου ήταν στα 808 kgVS/m^3 . Τέλος, η μελέτη των Nartker et al. (2014), έδειξε ότι ο αυξημένος ρυθμός παραγωγής αερίου οφείλεται στην αυξημένη φόρτιση της γλυκερόλης. Ωστόσο, όταν ο ρυθμός οργανικού φορτίου αυξήθηκε 70%, ο αντιδραστήρας παρουσίασε αστάθεια και δεν παρήγαγε βιοαέριο λόγω της συσσώρευσης προπιονικού οξέος και έγινε ανασταλτικός.

Τέλος, η έρευνα των Achinas et al., 2019 αναφέρεται σε μια εγκατάσταση συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας όπου εξετάστηκε η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης, με βάση το βιοαέριο που επεξεργάζεται κοπριά αγελάδας, άχυρα και πολύ ζαχαρότευτλων, σε μεσόφιλες συνθήκες (35°C). Η απόσβεση της επένδυσης είναι 25 χρόνια, λειτουργεί 335 ημέρες τον χρόνο με πλήρη δυναμικότητα και ο πληθωρισμός είναι στο 4%, ενώ το επιτόκιο στο 5%. Σημειώνεται ότι η διάθεση άχυρου είναι δωρεάν χωρίς να περιλαμβάνεται στο ετήσιο λειτουργικό κόστος το οποίο είναι 1.086.000 ευρώ και το προσωπικό αποτελείται από δύο άτομα με αμοιβή 7,90/h. Επιπλέον, ο ρυθμός εισόδου οργανικού υλικού είναι στα $1243,8 \text{ kg/h}$. Με βάση τα αποτελέσματά τους, η καθαρή παρούσα αξία των μονάδων επεξεργασίας βιοαερίου που είχαν ως πρώτη ύλη την κοπριά αγελάδας και τον πολύ ζαχαρότευτλων ήταν αρνητική και η επιδότηση δεν επαρκούσε ώστε να γίνει κερδοφόρα η επένδυση. Όμως, ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής βιοαερίου που επεξεργάζεται το άχυρο έδειξε θετική καθαρή παρούσα αξία ακόμη και χωρίς την επιδότηση. Σύμφωνα με την έρευνα, αφορούσε μία μόνο μονάδα επεξεργασίας άχυρου όπου η καθαρή παρούσα αξία της ήταν 192.000 € και 1.935.000 € χωρίς και με επιδότηση αντίστοιχα, ενώ η περίοδος απόσβεσης είναι στα 14 χρόνια. Σε σύγκριση με την παρούσα μελέτη, αν και διακρίνονται κάποιες διαφορές που επηρεάζουν την καθαρή παρούσα αξία όπως π.χ. είναι το επιτόκιο το οποίο ανέρχεται στο 6% (αντί για 5%) και ο πληθωρισμός 2% (αντί για 4%), προκύπτει ότι είναι πιο κερδοφόρα η παραγωγή βιοαερίου έχοντας ως πρώτη ύλη την γλυκερόλη, καθώς η καθαρή παρούσα αξία με οργανική φόρτιση $3,75 \text{ kg/m}^3/\text{d}$, ανέρχεται στα 3.077.128,24 €.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Η εκμετάλλευση της γλυκερόλης, που αποτελεί παραπροϊόν της παραγωγής βιοντίζελ, μέσω της αναερόβιας χώνευσης, παράγει ενέργεια σε αντίθεση με την απαίτηση ενέργειας που εμφανίζεται σε άλλες μεθόδους επεξεργασίας των απορριμμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο σαν ηλεκτρική ενέργεια και να χρησιμοποιηθεί στην ίδια την εγκατάσταση ως θερμική ενέργεια. Έτσι, λοιπόν, μία άλλη επιστημονική προσέγγιση, βασισμένη σε μία τεχνικοοικονομική μελέτη, θα μπορούσε να εστιάζει στη μελέτη διάφορων πρώτων υλών για παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης σε σύγκριση με τη γλυκερόλη, καθώς και να προσδιοριστεί το αντίκτυπο που έχει η κάθε μία απ' αυτές τις πρώτες ύλες στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και παραγωγής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αποστολάκης, Κ., Κυρίτσης, Σ., & Σούτερ, Χ. (1987). Το ενεργειακό δυναμικό της βιομάζας γεωργικών και δασικών υποπροϊόντων. ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα.

Γιακουμέλος, Λ. “Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου” Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), 2012.

Γιουλδούρη, Σ. (2021). Το Βιοαέριο στην Κυκλική Οικονομία.

Γούμενος, Α. (2018). Παραγωγή βιοαερίου από ζυμώσιμα οικιακά απορρίμματα μέσω αναερόβιας χώνευσης σε πιλοτικής κλίμακας περιοδικό αναερόβιο χωνευτήρα με ανακλαστήρες (PABR). Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ. Ανακτήθηκε από: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/46235/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%98%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%93%CE%BF%CF%8D%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%82.pdf?sequence=1>

Δαβόρας Β., “Βιοκαύσιμα Βιοαιθανόλη συμβάλλουν στη βιώσιμη λύση του ενεργειακού προβλήματος”, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης τμήμα Χημείας, 2009, Θεσσαλονίκη.

ΔΑΠΕΕΠ (2021), Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο Α.Π.Ε. & ΣΗΘΥΑ Αύγουστος 2021. Ανακτήθηκε από https://www.dapeep.gr/wpcontent/uploads/DAPE/Ενημερωτικό_Δελτίο_Αύγουστος_2021.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Ανακοίνωση της Επιτροπής, Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, COM(2019) 640 final, σ. 2-3.

Μητρούλια, Σ. (2016). Χρήση περιβαλλοντικών και οικονομοτεχνικών δεικτών για την μελέτη της σκοπιμότητας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών νησιωτικών περιοχών με συστήματα μετατροπής του περιεχομένου βιομάζας των αστικών απορριμμάτων σε βιοαέριο.

Παγούνας, Α. (2013). Οικονομοτεχνική μελέτη μονάδας παραγωγής βιοαερίου και ενεργειακή αξιοποίηση του με πρώτη ύλη απόβλητα χοιροστασίου και υπολείμματα αραβοσίτου.

Πούμπουρας, Γ. (2015). Σχεδίαση, κατασκευή και λειτουργία πρότυπης εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου από μίγμα ενσιρωμένου αραβοσίτου και υγρών μηχανικού διαχωρισμού αποβλήτων βουστασίου γαλακτοπαραγωγής. Μεταπτυχιακή διατριβή, Αθήνα. Ανακτήθηκε από:

http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/6606/Poumpouras_G.pdf?sequence=3

Κοντίνης, Ν. Σ. (2015). Βιοαέριο–Εκμετάλλευση/Παραγωγή στο Δήμο Αμυνταίου (No. GRI-2016-17439). Μεταπτυχιακή εργασία, ΑΠΘ. Ανακτήθηκε από: <http://ikee.lib.auth.gr/record/285103/files/GRI-2016-17439.pdf>

Κορμάζος, Β. Γ. (2018). Παραγωγή ενέργειας απο βιομάζα.

Κωστίδου, Α. (2019). Ανάλυση Επικινδυνότητας και Ασφάλειας σε Εργοστάσιο Παραγωγής Ενέργειας από Βιοαέριο. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

Χρήστου, Μ., Αλεξοπούλου, Ε., Λυγαράς, Β., Νάματοβ, Ε., & Βιομάζας, Τ. (2006). Ενεργειακές καλλιέργειες στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο. *ΚΑΠΕ, Τμήμα Βιομάζας*.

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdul Raman, A. A., Tan, H. W., & Buthiyappan, A. (2019). Two-step purification of glycerol as a value added by product from the biodiesel production process. *Frontiers in chemistry*, 7, 774.

Achinas, S., Martherus, D., Krooneman, J., & Euverink, G. J. W. (2019). Preliminary assessment of a biogas-based power plant from organic waste in the North Netherlands. *Energies*, 12(21), 4034.

Agarwal GP. (1990) Glycerol. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 41:95-127.

Al Seadi, T., Owen, N., Hellström, H., & Kang, H. (2013). Source separation of MSW: an overview of the source separation and separate collection of the digestible fraction of household waste, and of other similar wastes from municipalities, aimed to be used as feedstock for anaerobic digestion in biogas plants. *IEA Bioenergy*, 37, 4-50.

Almeida, J. R., Fávares, L. C., & Quirino, B. F. (2012). Biodiesel biorefinery: opportunities and challenges for microbial production of fuels and chemicals from glycerol waste. *Biotechnology for biofuels*, 5(1), 1-16.

Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., Vuille, F., Ball, R., ... & Mozaffarian, H. (2009). Bioenergy: a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects. *Bioenergy: a sustainable and reliable energy source. A review of status and prospects*.

Beer, T., Grant, T., & Campbell, P. K. (2007). The greenhouse and air quality emissions of biodiesel blends in Australia. CSIRO Marine and Atmospheric Research.

Behr A, Eilting J, Irawadi K, Leschinski J, Lindner F. (2008) Improved utilisation of renewable resources: New important derivatives of glycerol. In: RSC Publishing. *Green Chemistry* 10(1) p:1-140.

- Bender, M. H. (2000). Potential conservation of biomass in the production of synthetic organics. *Resources, Conservation and Recycling*, 30(1), 49-58.
- Bezerra, R. A., Rodrigues, J. A. D., Ratusznei, S. M., Canto, C. S. A., & Zaiat, M. (2011). Effect of organic load on the performance and methane production of an AnSBBR treating effluent from biodiesel production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 165(1), 347-368.
- Bhattacharya, J., Dev, S., & Das, B. (2017). *Low cost wastewater bioremediation technology: innovative treatment of sulfate and metal-rich wastewater*. Butterworth-Heinemann.
- Börjesson, P., & Berglund, M. (2006). Environmental systems analysis of biogas systems—Part I: Fuel-cycle emissions. *Biomass and Bioenergy*, 30(5), 469-485.
- Bridgwater, A. V., & Maniatis, K. (2004). The production of biofuels by the thermochemical processing of biomass, in molecular to global photosynthesis.
- Bridgwater, T. (2006). Biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(12), 1755-1768.
- Buchsbaum, Michael, "Hellenic hope: Rapid solar build-out transforms Greece's coal-laden valley of tears, "Europe Beyond Coal, 27 July 2022, beyond-coal.eu/2022/07/27/hellenic-hope-rapid-solar-build-outtransforms-greeces-coal-laden-valley-of-tears.
- Čater, M., Fanedl, L., Malovrh, Š., & Logar, R. M. (2015). Biogas production from brewery spent grain enhanced by bioaugmentation with hydrolytic anaerobic bacteria. *Bioresource technology*, 186, 261-269.
- Castrillón, L., Fernández-Nava, Y., Ormaechea, P., & Marañón, E. (2011). Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. *Bioresource technology*, 102(17), 7845-7849.
- Cavinato, C., Fatone, F., Bolzonella, D., & Pavan, P. (2010). Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: comparison of pilot and full scale experiences. *Bioresource technology*, 101(2), 545-550.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource technology*, 99(10), 4044-4064.
- Claude S. (1999) Research of new outlets for glycerol—recent developments in France. *Fett/Lipid* 101(3):101–104.
- Clodnițchi, R., & Nedelcu, A. C. (2018, May). Key elements of an entrepreneurial (business) model in the biogas sector. Insights from Romania. In *Proceedings of the International Conference on Business Excellence* (Vol. 12, No. 1, pp. 209-228).
- Conrad, R. (1999). Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. *FEMS microbiology Ecology*, 28(3), 193-202.

- Crosse, A. J., Brady, D., Zhou, N., & Rumbold, K. (2020). Biodiesel's trash is a biorefineries' treasure: The use of "dirty" glycerol as an industrial fermentation substrate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(1), 1-5.
- Czernik, S., & Bridgwater, A. V. (2004). Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy & fuels*, 18(2), 590-598.
- da Silva GP, Mack M, Contiero J. (2009) Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. *Biotechnology Advances*, 27:30-39.
- Danalatos, N. G., & Archontoulis, S. V. (2004, May). Potential growth and biomass productivity of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under central Greek conditions: II. The influence of variety, sowing time and plant density. In *2nd world conference on biomass for energy, industry and climate protection* (pp. 10-14).
- Demirbas, A. (2009). Combustion efficiency impacts of biofuels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(7), 602-609.
- Dobroth Z. T., Hu S., Coats E. R., McDonald A. G., Polyhydroxybutyrate synthesis on biodiesel wastewater using mixed microbial consortia. *Bioresource technology*, 102:3352-9 (2011).
- EBA-European Biogas Association. (2021). The role of biogas production from industrial wastewaters in reaching climate neutrality by 2050
- Eisentraut, A. (2010). Sustainable production of second-generation biofuels: potential and perspectives in major economies and developing countries.
- European Commission, Energy Service Companies in the EU, Status review and recommendations for further market development with a focus on Energy Performance Contracting, (2017), p. 3-13. Διαθέσιμο στο: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106624/kjna28716enn.pdf>
- Fountoulakis, M. S., Petousi, I., & Manios, T. (2010). Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste management*, 30(10), 1849-1853.
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 168, 74-84.
- González, N. F. C. (2016). International experiences with the cultivation of *Jatropha curcas* for biodiesel production. *Energy*, 112, 1245-1258.
- Gupta M, Kumar N. (2012) Scope and opportunities of using glycerol as an energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:4551-4556.
- Hall, D. O. (1991). Cooling the greenhouse with bioenergy. *Nature*, 353(6339), 11-12.
- Hall, D. O. (1997). Biomass energy in industrialised countries—a view of the future. *Forest ecology and management*, 91(1), 17-45.

- Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, *100*(22), 5478-5484.
- Igor, Todorovic, "Cero signs Greece's first utility-scale corporate PPA for solar power," Balkan Green Energy News, 14 July 2022, balkangreenenergynews.com/cero-signs-greeces-first-utility-scale-corporate-ppa-for-solar-power.
- Jeffrey, G., & Goettemoeller, A. (2007). *Sustainable Ethanol: Biofuels, Biorefineries, Cellulosic Biomass, Flex-Fuel Vehicles, and Sustainable Farming for Energy Independence*. Missouri: Praire Oak Publishing.
- Kagel, A., Bates, D., & Gawell, K. (2005). *A guide to geothermal energy and the environment*.
- Kamm, B., Gruber, P. R., & Kamm, M. (Eds.). (2006). *Biorefineries-industrial processes and products (Vol. 2)*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Kgathi, D. L., Mmopelwa, G., Chanda, R., Kashe, K., & Murray-Hudson, M. (2017). A review of the sustainability of *Jatropha* cultivation projects for biodiesel production in southern Africa: Implications for energy policy in Botswana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *246*, 314-324.
- Khan, M. A., Ngo, H. H., Guo, W. S., Liu, Y., Nghiem, L. D., Hai, F. I., ... & Wu, Y. (2016). Optimization of process parameters for production of volatile fatty acid, biohydrogen and methane from anaerobic digestion. *Bioresource technology*, *219*, 738-748.
- Kaur, J., Sarma, A. K., Jha, M. K., & Gera, P. (2020). Valorisation of crude glycerol to value-added products: Perspectives of process technology, economics and environmental issues. *Biotechnology Reports*, *27*, e00487.
- Kristoferson, L. A., & Bokalders, V. (2013). *Renewable energy technologies: their applications in developing countries*. Elsevier.
- Kurchania, A. K., Panwar, N. L., & Pagar, S. D. (2010). Design and performance evaluation of biogas stove for community cooking application. *International journal of sustainable energy*, *29*(2), 116-123.
- Labatut, R. A., & Pronto, J. L. (2018). Sustainable waste-to-energy technologies: Anaerobic digestion. In *Sustainable food waste-to-energy systems* (pp. 47-67). Academic Press.
- Lukitawesa, Patinvoh, R. J., Millati, R., Sarvari-Horvath, I., & Taherzadeh, M. J. (2020). Factors influencing volatile fatty acids production from food wastes via anaerobic digestion. *Bioengineered*, *11*(1), 39-52.
- Ma, J., Van Wambeke, M., Carballa, M., & Verstraete, W. (2008). Improvement of the anaerobic treatment of potato processing wastewater in a UASB reactor by co-digestion with glycerol. *Biotechnology letters*, *30*(5), 861-867.

- Mahabir, J., Koylass, N., Samaroo, N., Narine, K., & Ward, K. (2021). Towards resource circular biodiesel production through glycerol upcycling. *Energy Conversion and Management*, 233, 113930.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and sustainable energy reviews*, 45, 540-555.
- Maradin, D. (2021). Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. 670216917.
- Markou, G., Brulé, M., Balafoutis, A., Kornaros, M., Georgakakis, D., & Papadakis, G. (2017). Biogas production from energy crops in northern Greece: economics of electricity generation associated with heat recovery in a greenhouse. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19, 1147-1167.
- Martin, M., & Parsapour, A. (2012). Upcycling wastes with biogas production: An exergy and economic analysis. In *Venice 2012: International Symposium on Energy from Biomass and Waste*.
- Mattioli, A., Gatti, G. B., Mattuzzi, G. P., Cecchi, F., & Bolzonella, D. (2017). Co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste and sludge improves the energy balance of wastewater treatment plants: Rovereto case study. *Renewable Energy*, 113, 980-988.
- Miafodzyeva, S., & Brandt, N. (2013). Recycling behaviour among householders: Synthesizing determinants via a meta-analysis. *Waste and Biomass Valorization*, 4(2), 221-235.
- Mu Y, Teng H, Zhang DJ, Wang W, Xiu ZL. (2006) Microbial production of 1,3-propanediol by *Klebsiella pneumoniae* using crude glycerol from biodiesel preparation. *Biotechnology Letters*, 28:1755-1759.
- Mungodla, S. G., Liganiso, L. Z., Mlambo, S., & Motaung, T. (2019). Economic and technical feasibility studies: technologies for second generation biofuels. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 17(4), 670-704.
- Naik, M., Meher, L. C., Naik, S. N., & Das, L. M. (2008). Production of biodiesel from high free fatty acid Karanja (*Pongamia pinnata*) oil. *Biomass and bioenergy*, 32(4), 354-357.
- 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(2), 578-597.
- Nartker, S., Ammerman, M., Aurandt, J., Stogsdil, M., Hayden, O., & Antle, C. (2014). Increasing biogas production from sewage sludge anaerobic co-digestion process by adding crude glycerol from biodiesel industry. *Waste management*, 34(12), 2567-2571.
- Náthia-Neves, G., Berni, M., Dragone, G., Mussatto, S. I., & Forster-Carneiro, T. (2018). Anaerobic digestion process: technological aspects and recent

developments. *International journal of environmental science and technology*, 15(9), 2033-2046

Nazareth, T. C., de Oliveira Paranhos, A. G., Ramos, L. R., & Silva, E. L. (2018). Valorization of the crude glycerol for propionic acid production using an anaerobic fluidized bed reactor with grounded tires as support material. *Applied biochemistry and biotechnology*, 186(2), 400-413.

Ngo, T. A., Kim, M. S., & Sim, S. J. (2011). High-yield biohydrogen production from biodiesel manufacturing waste by *Thermotoga neapolitana*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(10), 5836-5842

Openshaw, K. (2000). A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and bioenergy*, 19(1), 1-15.

Pagliari M, Ciriminna R, Kimura H, Rossi M, Della Pina C. (2007). From Glycerol to Value-added Products. *Angewandte Chemie International Edition*, 46:4434-4440.

Pagliari M, Rossi M. (2008). The Future of glycerol: New Uses of a Versatile Raw Material. In: *RSC Green Chemistry Book Series Chapters: 1-2*, p:1-35

Panwar, N. L., Shirame, H. Y., & Bamniya, B. R. (2010). CO₂ mitigation potential from biodiesel of castor seed oil in Indian context. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(5), 579-582.

Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1513-1524

Parawira, W., Read, J. S., Mattiasson, B., & Björnsson, L. (2008). Energy production from agricultural residues: high methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and bioenergy*, 32(1), 44-50.

Paulista, L. O., Boaventura, R. A., Vilar, V. J., Pinheiro, A. L., & Martins, R. J. (2020). Enhancing methane yield from crude glycerol anaerobic digestion by coupling with ultrasound or *A. niger*/*E. coli* biodegradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1461-1474.

Plácido, J., & Capareda, S. (2016). Conversion of residues and by-products from the biodiesel industry into value-added products. *Bioresources and Bioprocessing*, 3(1), 1-12.

Pöschl, M., Ward, S., & Owende, P. (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied energy*, 87(11), 3305-3321.

Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., & Ram, B. V. B. (2005). Performance and emission study of Mahua oil (*Madhuca indica* oil) ethyl ester in a 4-stroke natural aspirated direct injection diesel engine. *Renewable energy*, 30(8), 1269-1278.

- Ramadhas, A. S., Muraleedharan, C., & Jayaraj, S. (2005). Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renewable energy*, 30(12), 1789-1800.
- Raven, R. P., & Gregersen, K. H. (2007). Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(1), 116-132.
- Rodrigues, A., Bordado, J. C., & Galhano dos Santos, R. (2017). Upgrading the glycerol from biodiesel production as a source of energy carriers and chemicals—A technological review for three chemical pathways. *Energies*, 10(11), 1817.
- Sabourin-Provost G., Hallenbec, P. C., High yield conversion of a crude glycerol fraction from biodiesel production to hydrogen by photofermentation. *Bioresource technology*, 100:3513-7 (2009).
- Sawatdeenarunat, C., Surendra, K. C., Takara, D., Oechsner, H., & Khanal, S. K. (2015). Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: challenges and opportunities. *Bioresource technology*, 178, 178-186.
- Selma, V. C., Cotrim, L. H., Rodrigues, J. A., Ratusznei, S. M., Zaiat, M., & Foresti, E. (2010). ASBR applied to the treatment of biodiesel production effluent: effect of organic load and fill time on performance and methane production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162(8), 2365-2380.
- Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., Kamali, M., Walvekar, P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Waste-to-energy nexus: A sustainable development. *Environmental Pollution*, 267, 115501.
- Siles, J. A., Martín, M. A., Chica, A. F., & Martín, A. (2010). Anaerobic co-digestion of glycerol and wastewater derived from biodiesel manufacturing. *Bioresource technology*, 101(16), 6315-6321.
- Spyridonidis, A., Vasiliadou, I. A., Akrotos, C. S., & Stamatelatou, K. (2020). Performance of a full-scale biogas plant operation in Greece and its impact on the circular economy. *Water*, 12(11), 3074.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Food & Agriculture Org..
- ting Dong, X., Chen, W., qi Li, J., & Zhang, S. (2018). Research on biogas fermentation raw materials. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 53, p. 01030). EDP Sciences.
- Taherzadeh M, Adler L, Liden G. (2002) Strategies for enhancing fermentative production of glycerol—a review. *Enzyme and Microbial Technology*, 31:53–66.
- Tsagas, Ilias, “Greece’s renewables tender awards 372MW of PV at average of €47.98/MWh,” PV Magazine, 13 September 2022, www.pv-magazine.com/2022/09/13/greeces-renewables-tender-awards-372-mw-of-pv-ataverage-of-e47-98-mwh.

United Nations, ‘Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development’. Διαθέσιμο στο: <http://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

van Bennekom, J. G., Venderbosch, R. H., & Heeres, H. J. (2012). Biomethanol from glycerol. *Biodiesel—Feedstocks, production and applications*.

Varanda M. G., Pinto G., Martins F., Life cycle analysis of biodiesel production. *Fuel processing technology*, 251:249- 258 (2011).

Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, 330-350.

Vasquez, J., & Nakasaki, K. (2016). Effects of shock loading versus stepwise acclimation on microbial consortia during the anaerobic digestion of glycerol. *Biomass and Bioenergy*, 86, 129-135.

Viana, Q. M., Viana, M. B., Vasconcelos, E. A. F., Santaella, S. T., & Leitão, R. C. (2014). Fermentative H₂ production from residual glycerol: a review. *Biotechnology letters*, 36(7), 1381-1390.

Vicente, G., Martinez, M., Aracil, J., 2004. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalyst systems. *Bioresour. Technol.*92, 297–305.

Wang ZX, Zhugea J, Fanga H, Prior BA. (2001) Glycerol production by microbial fermentation: A review. *Biotechnology Advances*, 19:201–223.

Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860.

Wen, Z. (2012). New uses for crude glycerin from biodiesel production. *eXtension Farm Energy*, June, 18.

Wind Europe , “First Greek offshore wind law seeks 2GW by 2030,” 3 August 2022, windeurope.org/newsroom/news/first-greek-offshore-wind-law-seeks-2-gw-by-2030.

Yazdani, S.S., Gonzalez, R., 2007. Anaerobic fermentation of glycerol: a path to economic viability for the biofuels industry. *Curr. Opin. Biotech.* 18, 213–219.

Yiridoe, E. K., Gordon, R., & Brown, B. B. (2009). Nonmarket cobenefits and economic feasibility of on-farm biogas energy production. *Energy policy*, 37(3), 1170-1179.

Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., & Yaakub, Z. (2011). Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy conversion and management*, 52(7), 2741-2751.

Zafiris, C., Boukis, I., Choudalis, P., CHATZIATHANASSIOU, A., HOLM-NIELSEN, J. B., & Baadstorp, L. (2001). Greek biogas production from pig manure and co-digestions. In *Renewable energy for Europe: campaign for take-off (Toulouse, 23-25 October 2000)* (pp. 407-410).

Zhang, T., Liu, L., Song, Z., Ren, G., Feng, Y., Han, X., & Yang, G. (2013). Biogas production by co-digestion of goat manure with three crop residues. *PloS one*, 8(6), e66845.

Ziemiński, K., & Fraç, M. (2012). Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4127-4139.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<https://www.biogasup.gr/biogas-upgrade-pretreatment/>

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el

https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/diethneis_diapragmatefseis/protokollou-kyoto/

<http://ypeka.gr>

http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_biomass.htm

<https://www.energy.gov/>

<https://unric.org/el/>

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_el