



Τμήμα Περιβάλλοντος
Σχολή Τεχνολογίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Πτυχιακή εργασία:

Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

Ονοματεπώνυμο: Σαρακινλή Παρασκευή

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαπολυμέρου Γεώργιος



**Τμήμα Περιβάλλοντος – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας –
Σχολή Τεχνολογίας**

Λάρισα
2023-2024

Μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης βιομάζας

Methods of energy conversion from biomass

Περιεχόμενα

1. ΒΙΟΜΑΖΑ	7
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	7
1.2 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	8
1.3 ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.....	8
<i>1.3.1 ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ</i>	<i>9</i>
<i>1.3.2. ΚΥΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.3. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ</i>	<i>10</i>
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ	11
2. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	13
2.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ	14
<i>2.1.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ</i>	<i>14</i>
<i>2.1.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ</i>	<i>15</i>
<i>2.1.3. ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ</i>	<i>17</i>
2.2. ΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ - ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑΣ.....	20
<i>2.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ</i>	<i>21</i>
2.3. ΣΤΕΡΕΟΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΙ ΚΑΙ ΟΞΙΝΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	22
<i>2.3.1. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΛΚΑΛΙΩΝ</i>	<i>22</i>
<i>2.3.2. ΒΑΣΙΚΗ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ</i>	<i>22</i>
<i>2.3.3. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΟΣ.....</i>	<i>23</i>
<i>2.3.4. ΟΞΙΝΗ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ.....</i>	<i>24</i>
<i>2.3.5. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΞΙΝΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΗΣ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ.</i>	<i>25</i>
3. ΣΤΕΡΕΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ	25

3.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	27
3.2. ΒΙΟΕΛΑΙΟ/ΒΙΟ-ΟΙΛ	27
3.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΕΛΑΙΟΥ	28
3.2.2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΕΛΑΙΟΥ.....	28
3.2.3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ.....	29
3.3. ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	31
3.3.1 BIONTIZEΛ	32
3.3.2. ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	33
4. ΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ – ΜΟΝΙΜΑ ΑΕΡΙΑ	35
4.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ	36
4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.....	36
4.3. ΒΙΟΔΙΜΕΘΥΛΛΙΘΕΡΑΣ	36
4.3.1. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	37
4.3.2. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	39
4.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	39
4.4.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ	40
4.4.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	42
5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	43
5.1. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ	43
5.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	44
5.3. ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	45
5.3.1. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ.....	45
5.4. ΚΥΚΛΙΚΗ ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	47
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	54

Πίνακας περιεχομένων εικόνων

Εικόνα 1 Τύπος πυρόλυσης και πώς οι μεταβλητές της διεργασίας επηρεάζουν την μορφή του τελικού προϊόντος (Ewelina Pawelczyk 2022).....	18
Εικόνα 2 Βιοάνθρακας μετά την θερμική μετατροπή της βιομάζας	20
Εικόνα 3 Κανόλα - ποικιλία της ελαιοκράμβης	24
Εικόνα 4 Ακατέργαστη και επεξεργαζόμενη μορφή στερεής βιομάζας.....	25
Εικόνα 5 Δείγμα βιοελαίου από την πυρόλυση άχυρου σιταριού	27
Εικόνα 6 Σχεδιάγραμμα Ροής Βιομάζας στην παραγωγή βιοκαυσίμου (AgroEnergy n.d.)...	32
Εικόνα 7 Αεριοποιητής με καθοδική ροή αέρα και αεριοποιητής με ανοδική ροή αέρα.....	35

Εικόνα 8 Χρήση του διμεθυλαιθέρα ως καυσίμου για θερμότητα, μεταφορές και ηλεκτρική ενέργεια	37
Εικόνα 9 Διαδικασία προετοιμασίας αποβλήτων	40
Εικόνα 10 Διαχείριση και αξιοποίηση αποβλήτων βιομάζας.....	43
Εικόνα 11 Ανάκτηση φωσφόρου από λύματα.....	46

Πίνακας περιεχομένων πινάκων

Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας	13
Πίνακας 2Ιδιότητες του ελαίου της πυρόλυσης (Diebold 2000).....	16
Πίνακας 3 Περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα (%) (Stanislav V. Vassilev 2017).....	17
Πίνακας 4 Πιθανή προέλευση θρυμμάτων ξύλου και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα (wt%.) (Stanislav V. Vassilev 2017).....	17
Πίνακας 5Τα διαφορετικά είδη πυρόλυσης και η απόδοση των παραγόμενων προϊόντων τους (IZAMΠΕΛΑ-ΝΕΛΛΗ 2021).....	19
Πίνακας 6 Ο βιοάνθρακας ως βιώσιμο καταλυτικό μέσο (Xinni Xiong 2017).....	21
Πίνακας 8 Κατηγορίες στερεών βιοκαυσίμων και τα χαρακτηριστικά τους (ΜΑΤΣΙΟΣ 2012)	26
Πίνακας 9 Συνοπτική κατάσταση επεξεργασίας και τεχνολογική δυνατότητα των υφιστάμενων μεθόδων αναβάθμισης του βιοελαίου (Shuangning Xiu 2012).....	30
Πίνακας 10 Οι τύποι των συστημάτων συμπαραγωγής κύκλου αιχμής και η παραγωγή ενέργειας (Γρομυτσάρης Αλέξανδρος 2012)	42

Πίνακας περιεχομένων σχημάτων

Σχήμα 1 Η ιστορία της βιομάζας (Energy n.d.).....	7
Σχήμα 2 Ετήσιες εισαγωγές LNG στην Ευρώπη ανά χώρα εξαγωγής (2010-2023) (U.S. Energy Information Administration 2023)	9
Σχήμα 3 Κατανάλωση ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες ανά πηγή ενέργειας - 2022 (U.S. Energy Information Administration 2023)	10
Σχήμα 4 Λιγνίνη, ημικκυταρίνη, κυτταρίνη στο φυτικό κύτταρο (System/ORNL n.d.).....	14
Σχήμα 5 Τα προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση βιομάζας (ieabioenergy n.d.).....	15
Σχήμα 6 Συμπαραγωγή πλαστικών απορριμμάτων και βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας (Rahul Mishra a b 2023).....	41
Σχήμα 8 Κυκλική οικονομία (Medium n.d.)	47
Σχήμα 9 Γραμμική Οικονομία (διαΝΕΟσις n.d.)	48

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάσκοντα μου Παπαπολυμέρου Γεώργιο του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξή του κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας, καθώς και για την επίβλεψή της, με στόχο το καλύτερο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου θητείας και τις συνολικές τους προσπάθειες ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Τέλος, με μεγάλη εκτίμηση, ευχαριστώ όλα τα μέλη του τμήματος περιβάλλοντος καθώς και τους συμφοιτητές μου, που διανύσαμε τις στιγμές αυτές όλοι μαζί.

Περίληψη

Η ενέργεια αποτελεί βασική αξία στον κόσμο και η αντίληψη των προβλημάτων που σχετίζονται με αυτήν είναι απαραίτητη για την πρόβλεψη και πρόληψη των εξελίξεων του σύγχρονου βιομηχανικού πολιτισμού. Δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται ταυτόχρονα με τον όγκο κατανάλωσης φυσικού αερίου, άνθρακα και αργού πετρελαίου, έχει ως αποτέλεσμα την δύσκολη εξισορρόπηση μεταξύ αυτού και του πεπερασμένου δυναμικού της Γης. Ωστόσο, η αντιμετώπιση των τωρινών και των μελλοντικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών ζητημάτων, μπορούν να επιλυθούν με τη μετάβαση σε πράσινες, ανανεώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας.

Ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο είναι παραδείγματα ορυκτών καυσίμων που δεν είναι ανανεώσιμα και τελικά εξαντλούνται. Όταν τα ορυκτά καύσιμα καίγονται, απελευθερώνονται τοξικές χημικές ουσίες στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο προκαλεί υπερθέρμανση του πλανήτη και το λιώσιμο των πάγων στους δύο πόλους της Γης. Τα αέρια που παράγονται από την καύση αυτών των καυσίμων περιλαμβάνουν μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του αζώτου, διοξείδιο του θείου και μονοξείδιο του αζώτου, οι οποίες χημικές ουσίες βλάπτουν την ανάπτυξη των φυτών, και επηρεάζουν σημαντικά την ανθρώπινη υγεία.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες αναφέρονται σε πηγές ενεργείας που βρίσκονται σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον, όπως ο ήλιος, ο άνεμος και το νερό καλύπτουν το 14% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών (IEA 2023). Μπορούν να αυξήσουν το βιοτικό επίπεδο, να επιτρέψουν τη βιώσιμη ανάπτυξη σε απομακρυσμένες περιοχές, να εξασφαλίσουν την αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού, να αντιμετωπίσουν τοπικά ζητήματα ενεργειακού και υδάτινου εφοδιασμού αλλά και να ανταποκριθούν στις διεθνείς δεσμεύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος.

Άλλες βιώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την ενέργεια από βιομάζα, η οποία είναι η ενέργεια που συγκεντρώνεται από τη φωτοσύνθεση στους φυτικούς ιστούς. Αλλά με μια ευρύτερη έννοια, η βιομάζα αναφέρεται σε κάθε υλικό που προέρχεται από έμβια όντα και μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Η χρήση της μπορεί να αξιολογηθεί οικονομικά κατά περίπτωση, ενώ όσον αφορά το περιβάλλον, έχει θετικές επιδράσεις, όπως η διευκόλυνση αποκομιδής των σκουπιδιών, όσο και αρνητικές, καύση και η ατμοσφαιρική ρύπανση επιπτώσεις.

Λέξεις κλειδιά: βιομάζα, πυρόλυση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καύσιμα, βιοέλαιο, βιωσιμότητα, απόβλητα

Abstract

Energy is a fundamental good in the world, and predicting and averting the advancement of the contemporary industrial civilization requires an awareness of the issues surrounding it. There is a challenging balancing act to be done between the Earth's limited capacity and the growing production of energy and the volume of natural gas, coal, and crude oil used. By moving to green, renewable, and ecologically friendly energy sources, it is possible to resolve present and future energy and environmental problems.

Fossil fuels are nonrenewable energy sources that eventually run out, such as coal, gas, and oil. Fossil fuels send harmful substances into the atmosphere as they burn, including carbon dioxide, which contributes to global warming and the melting of ice at both poles. The gases that are released when these fuels are burned include carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and nitrous oxide. These pollutants harm plant development and have a negative impact on human health.

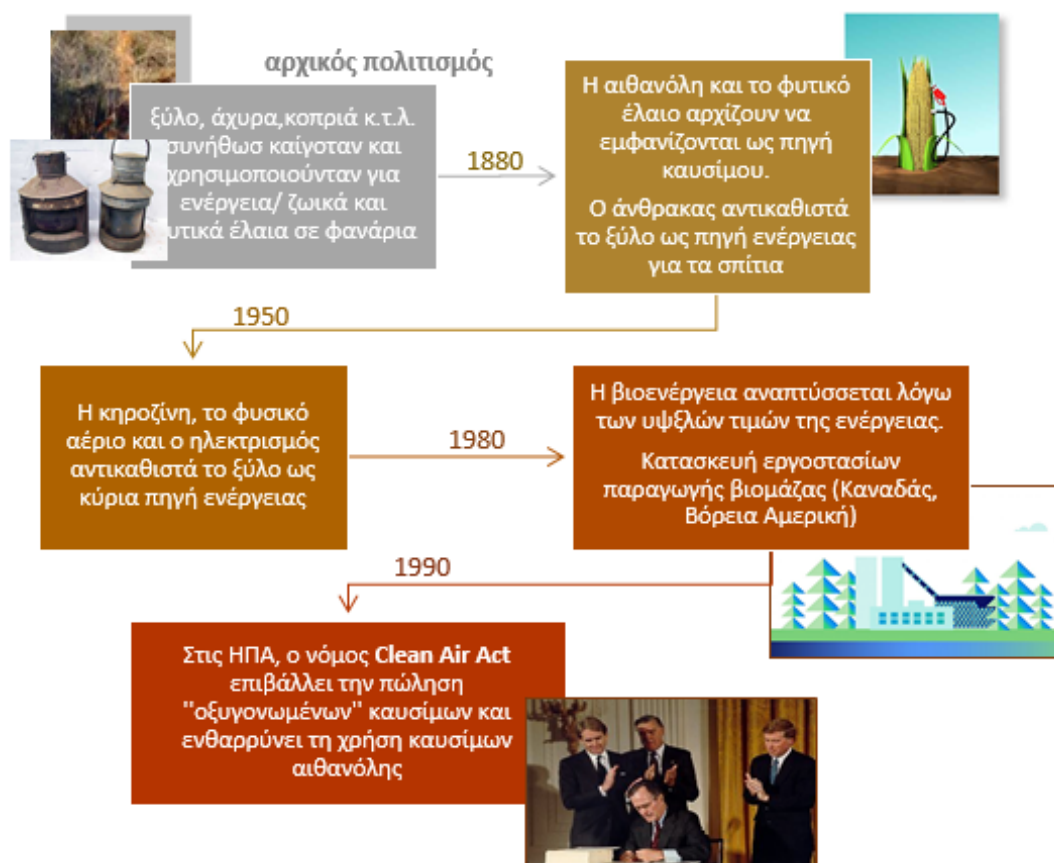
Thirteen percent of the world's energy needs are met by renewable energy sources (RES), which are energy sources that are abundant in the natural world, such as the sun, wind, and water (IEA 2023). They can improve living conditions, allow for sustainable development in isolated locations, guarantee the consistency of the energy supply, deal with regional problems related to the supply of water and energy, and fulfill global environmental protection obligations.

The energy obtained by photosynthesis in plant tissues is known as biomass energy, and it is one of the other sustainable energy sources. However, biomass also refers to any substance originating from living beings that can be used to produce energy in a larger sense. Its use can be assessed economically on an individual basis. In terms of the environment, it has both positive effects, such making rubbish collection easier, and bad effects, like air pollution and burning.

Key words: biomass, pyrolysis, renewable energy, fuels, bio-oil, sustainability, waste material

1. ΒΙΟΜΑΖΑ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ



Σχήμα 1 Η ιστορία της βιομάζας (Energy n.d.)

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τη βιομάζα, κυρίως με τη μορφή ξύλου, για την παραγωγή ενέργειας από τα πρώτα χρόνια. Ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η βιομάζα υπόσχεται πολλά τόσο για τις ανεπτυγμένες όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Ιστορικά, η άμεση καύση ήταν η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη χρήση της βιομάζας και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά μέρη του κόσμου. Η βιομάζα ήταν μια πηγή ενέργειας, η οποία συναντάται με διασκορπισμένες μορφές, χρειάζεται αρκετή δουλειά και απαιτεί μεγάλη έκταση γης για εισροή από άλλες παρόμοιες πηγές ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η βιομάζα έχει αντικατασταθεί από πιο συγκεντρωμένες και πρακτικές πηγές ενέργειας καθώς η εθνική βιομηχανική δραστηριότητα έχει αυξηθεί (Bascetincelik 2006).

1.2 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Συμφώνα με το νόμο *N. 5037/2023 (ΦΕΚ Α 78 - 28.03.2023)* βιομάζα αποτελεί το βιοαποικοδομήσιμο τμήμα των βιολογικά παραγόμενων προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων από τη δασοκομία, την αλιεία, την υδατοκαλλιέργεια και τη γεωργία, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο τμήμα των αποβλήτων από βιολογικές πηγές, όπως τα απορρίμματα, τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα. Ακολουθως ορίζει:

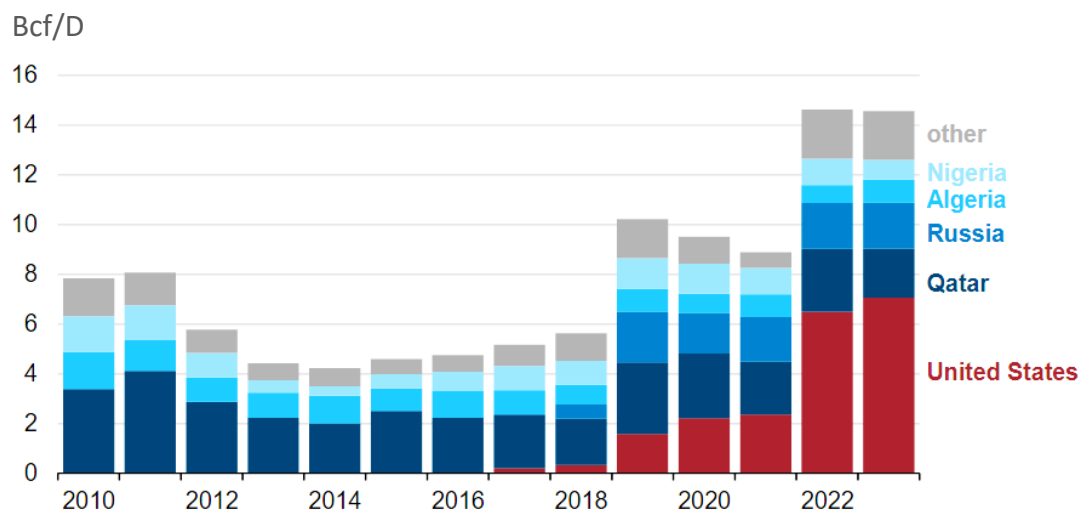
- Βιοκαύσιμα, τα υγρά καύσιμα μεταφορών που παράγονται από βιομάζα.
- Βιορευστά, τα υγρά καύσιμα από βιομάζα που χρησιμοποιούνται για δραστηριότητες που σχετίζονται με την ενέργεια, εκτός των μεταφορών όπως είναι η θέρμανση, η ψύξη και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Καύσιμα βιομάζας, τα αέρια και στερεά καύσιμα που παράγονται από βιομάζα.

1.3 ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Πολλές χώρες έχουν εφαρμόσει 48 μέτρα δημοσιονομικής εξυγίανσης για τη διαχείριση της κρίσης, όπως φάνηκε το 2008, τη χειρότερη οικονομική ύφεση στη σύγχρονη εποχή. Το 2017, η Ελλάδα, η Γαλλία, η Ισπανία, η Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο είχαν το υψηλότερο ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η οικονομική κρίση επηρεάζει τους πολίτες, τις κυβερνήσεις και τον επενδυτικό τομέα, ειδικότερα την τελευταία πενταετία, η Ευρώπη αντιμετώπισε μέτρια ανάπτυξη με ποσοστό ΑΕΠ περίπου 1,5%. Η βιωσιμότητα είναι πλέον κυρίαρχη, με τις χώρες να εστιάζουν σε καινοτόμες πολιτικές και πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος, τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και τη διασφάλιση ενός πιο πράσινου πλανήτη (Αντωνοπούλου 2023). Το 22% της ανανεώσιμης ενέργειας Ηνωμένων Πολιτειών προήλθε από βιομάζα, κυρίως από ξύλο και καύσιμα που παράγονται από ξύλο, με το 3% του συνόλου της χώρας να τροφοδοτούνται ενεργειακά από βιομάζα.

1.3.1 ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Σύμφωνα με το EIA (U.S. Energy Information Administration) σχεδόν το ήμισυ του συνόλου των εισαγωγών υγροποιημένου φυσικού αερίου (liquefied natural gas - LNG) στην Ευρώπη το 2023, όπως αναγράφεται στον , προήλθε από τις ΗΠΑ, καθώς ήταν ο κύριος προμηθευτής. Το 2024, η δυνατότητα της Ευρώπης να εισάγει υγροποιημένο φυσικό αέριο προβλέπεται να φθάσει τα 29,3 Bcf/D, αυξημένη κατά 33% φορές περισσότερο σε σχέση με το 2021. Αξίζει να σημειωθεί, οι επόμενες χώρες με την μεγαλύτερη προσθήκη δυναμικότητας LNG στην Ευρώπη αναμένονται από τη Γερμανία, ωστόσο οι Κάτω Χώρες, η Ισπανία, η Ιταλία, η Φινλανδία και η Γαλλία αυξάνουν την δυναμικότητά τους.



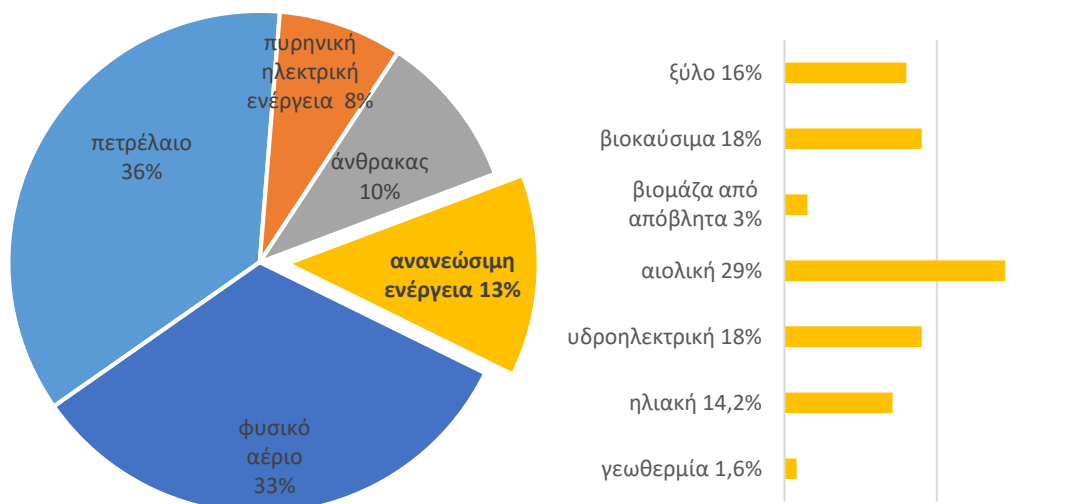
Σχήμα 2 Ετήσιες εισαγωγές LNG στην Ευρώπη ανά χώρα εξαγωγής (2010-2023) (U.S. Energy Information Administration 2023)

Σημειώσεις

- Αλλες/other: Αγκόλα, Αργεντινή, Αυστραλία, Καμερούν, Αίγυπτο, Ισημερινή Γουινέα, Ινδονησία, Λιβύη, Μοζαμβίκη, Νορβηγία, Ομάν, Παπούα Νέα Γουινέα, Περού, Τρινιντάντ και Τομπάγκο, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και την Υεμένη.
- Bcf/D (billion cubic feet per day) : μονάδα μέτρησης για μεγάλους ρυθμούς παραγωγής φυσικού αερίου

1.3.2. ΚΥΡΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΗΝΩΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΕΙΕΣ

Σε αντίθεση με την πρωτογενή ενέργεια, η οποία είναι η ενέργεια που αντλείται κατευθείαν από τους φυσικούς πόρους, η ενέργεια τελικής χρήσης είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται άμεσα από τον καταναλωτή. Το φυσικό αέριο, η βενζίνη και η ηλεκτρική ενέργεια αποτελούν παραδείγματα ενέργειας τελικής χρήσης (Energy education n.d.).



Σχήμα 3 Κατανάλωση ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες ανά πηγή ενέργειας - 2022 (U.S. Energy Information Administration 2023)

Περίπου το 96% του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθη στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2022 προερχόταν από τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας, σχεδόν το σύνολο της οποίας πωλήθηκε σε άλλες βιομηχανίες. Το πετρέλαιο συνέβαλε κατά 90% στην κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές, αλλά μόνο κατά 1% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην ηλεκτρική ενέργεια (U.S. Energy Information Administration 2023)

1.3.3. ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ

Η μελλοντική ζήτηση βιοενέργειας προβλέπεται να φθάσει σε αρκετά εκατοντάδες exajoules (10^{18} joules) ετησίως, λόγω παραγόντων όπως η ανταγωνιστικότητα των εναλλακτικών λύσεων ενεργειακού εφοδιασμού, οι δυνατότητες εφοδιασμού με

βιομάζα και η συνολική ενεργειακή ζήτηση. Οι μελέτες που επικεντρώνονται στους πόρους, ωστόσο, έχουν καταλήξει σε διαφορετικά αποτελέσματα σχετικά με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας, με μεγαλύτερη εκτίμηση για το 2050 να είναι συγκριτικά εννεαπλάσια από την αρχική ποσότητα. Τα συμβατικά βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη βραχυπρόθεσμων στόχων αντικατάστασης των καυσίμων πετρελαίου, προβλέποντας ότι το 90% των ανθρώπων στη Γη θα κατοικούν σε αναπτυσσόμενες χώρες μέχρι το 2050. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (**International Energy Agency - IEA**), δεδομένης της διαθέσιμης γεωργικής γης, οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι για αντικατάσταση του των πετρελαϊκών καυσίμων κυμαίνεται στο 6%. Για παράδειγμα, η αντικατάσταση της βενζίνης κατά 5% στην ΕΕ απαιτεί περίπου 5% των διαθέσιμων καλλιεργήσιμων εκτάσεων για την παραγωγή αιθανόλης, ενώ στις ΗΠΑ απαιτείται 8% σε αντίθεση με το 13% της γεωργίας των ΗΠΑ και 15% της καλλιεργήσιμης γης της ΕΕ όπου απαιτούνται για κάθε 5% υποκατάστασης του ντίζελ (DEMIRBAS1 2009).

1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ

Όταν πρόκειται για την παροχή περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ιδίως όταν πρόκειται για την ενίσχυση της ηλεκτρικής βιομηχανίας και την ανάπτυξη της εθνικής οικονομίας. Εκτός του ότι παρέχουν περισσότερες πηγές ενέργειας για να συμπληρώσουν τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι φιλικές προς το περιβάλλον (Maradin 2021). Η βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας:

Πλεονεκτήματα

- 1) Αφθονία και αναγνωσιμότητα: Η βιομάζα παράγεται από άφθονα και ανανεώσιμα οργανικά υλικά, όπως σκουπίδια, ξύλο και γεωργικά απόβλητα.
- 2) Ουδέτερη ως προς το αποτύπωμα άνθρακα: Όταν η διαχείρισή της γίνεται με βιώσιμο τρόπο, το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται κατά την καύση

εξισορροπείται από τον άνθρακα που απορροφάται κατά την ανάπτυξη της πρώτης ύλης.

- 3) Μείωση των αποβλήτων: Τα οργανικά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια από βιομάζα, γεγονός που προσφέρει έναν τρόπο μείωσης των αποβλήτων σε συνδυασμό με την προώθηση της ανακύκλωσης.
- 4) Ενεργειακή ανεξαρτησία: Με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα σε τοπικό επίπεδο, μπορεί κανείς να μειώσει τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και να αυξήσει την ενεργειακή ασφάλεια.
- 5) Αγροτική ανάπτυξη: Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα μπορεί να ενισχύσει τις τοπικές οικονομίες και να οδηγήσει στη δημιουργία θέσεων εργασίας στις αγροτικές περιοχές.
- 6) Ευελιξία: Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και καυσίμων για τις μεταφορές, μεταξύ άλλων ενεργειακών εφαρμογών.
- 7) Ισχύς βασικού φορτίου: Ως σταθερή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας από βιομάζα μπορούν να παράγουν σταθερή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.
- 8) Διατήρηση και βελτίωση του εδάφους: Οι ενεργειακές καλλιέργειες και τα πολυετή αγρωστώδη είναι δύο παραδείγματα καλλιεργειών βιομάζας που μπορούν να βοηθήσουν στη διατήρηση και βελτίωση του εδάφους.

Μειονεκτήματα

- 1) Χρήση γης: Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα συνήθως απαιτεί μεγάλη χρήση γης, η οποία θα μπορούσε να θέσει σε επιβάρυνση άλλες σημαντικές παροχές, όπως την παραγωγή τροφίμων και τα φυσικά οικοσυστήματα.
- 2) Εκπομπές: Παρόλο που η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη, η ακατάλληλη διαχείριση μπορεί ωστόσο να οδηγήσει στην καύση του υλικού αυτού παράγοντας μη επιτρεπτά αέρια προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση.
- 3) Εντατικότατη χρήση πόρων: Η καλλιέργεια, η συγκομιδή και η επεξεργασία της ενέργειας από βιομάζα χρειάζεται να είναι εντατική, καθώς χρειάζεται ενέργεια, λιπάσματα και νερό.

- 4) Κόστος που σχετίζεται με τη μεταφορά: Η μεταφορά της πρώτης ύλης είναι σημαντικός παράγοντας στη συνολική περιβαλλοντική επίπτωση της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.
- 5) Ζητήματα βιωσιμότητας: Η αποψίλωση των δασών, η διάβρωση του εδάφους και η απώλεια βιοποικιλότητας μπορεί να προκύψουν από την παραγωγή βιομάζας, εάν η διαχείρισή της δεν γίνεται με βιώσιμο τρόπο.

Υπάρχουν αναμφισβήτητα μακροπρόθεσμα περιβαλλοντικά οφέλη από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά υπάρχουν επίσης πραγματικές προκλήσεις για την ανάπτυξη της βιομάζας, οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν μέσω καινοτομίας και την τήρηση της νομοθεσίας.

Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

Πλεονεκτήματα βιομάζας	Μειονεκτήματα βιομάζας
Αφθονία και αναγνωσιμότητα	Μεγάλη χρήση γης
Ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα	Πιθανές εκπομπές αερίων
Μείωση αποβλήτων	Απαιτεί χρήση πόρων επιπλέον πόρων
Ενεργειακή ανεξαρτησία	Κόστος που σχετίζεται μεταφοράς
Αγροτική ανάπτυξη	Ζητήματα βιωσιμότητας
Ευελιξία στη χρησιμότητα	
Ισχύς βασικού φορτίου	
Διατήρηση και βελτίωση του εδάφους	

2. ΘΕΡΜΟΧΗΜΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η καύση είναι η πιο σημαντική και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος θερμικής μετατροπής της βιομάζας. Τα βιοκαύσιμα, εκτός από το να χρησιμοποιούνται μόνον

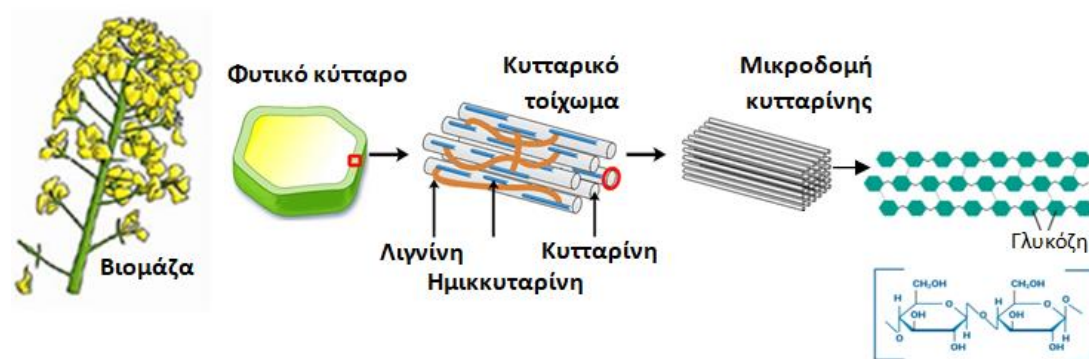
τους, μπορούν επίσης να πραγματοποιηθεί καύση περισσότερων του ενός καυσίμου για την παραγωγή ενέργειας, όπως ο άνθρακας ή και απόβλητα.

2.1 ΠΥΡΟΛΥΣΗ

Η πυρόλυση είναι η θερμική αποικοδόμηση οργανικών υλικών απουσία οξυγόνου, η οποία παράγει αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα. Η υδρογονάνθρακες μεγάλης αλυσίδας διασπώνται σε υδρογονάνθρακες μικρής αλυσίδας σε θερμοκρασίες μεταξύ 300 και 600 °C, η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι ενδόθερμη (N. G. Ayesha Tariq Sipra 2018).

2.1.1 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ

Τα προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση βιομάζας αποτελούνται από τα εξής: ένα στερεό υπόλειμμα (όπου το βασικό προϊόν είναι άνθρακας), ένα υγρό, το βιο-έλαιο, και μη συμπυκνωμένα αέρια. Όταν η βιομάζα θερμαίνεται γρήγορα σε αδρανή ατμόσφαιρα, παράγεται οργανικά αέρια από τα πολυμερή λιγνίνης της βιομάζας, θραύσματα κυτταρίνης και ημικυτταρίνης.



Σχήμα 4 Λιγνίνη, ημικυτταρίνη, κυτταρίνη στο φυτικό κύτταρο (System/ORNL n.d.)

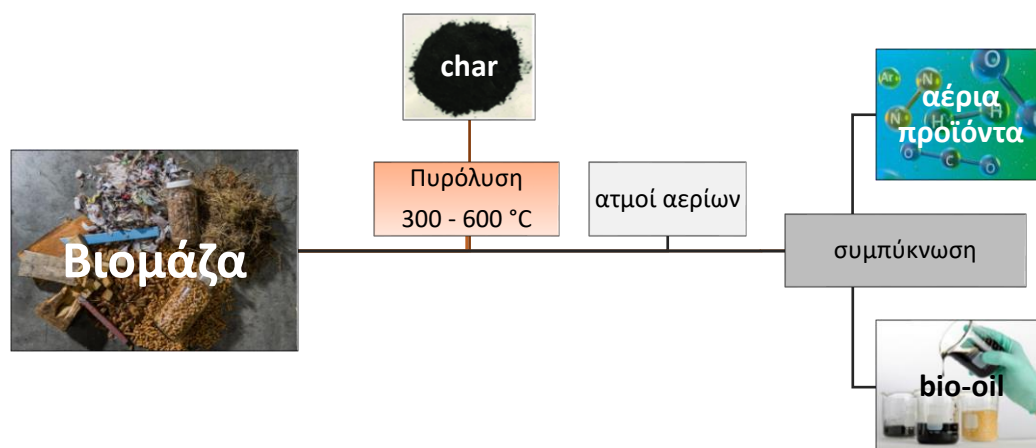
Από τις ιδιότητες πυρόλυσης διαπιστώθηκε ότι:

- Η ημικυτταρίνη διασπάται μεταξύ 220-315 βαθμών Κελσίου
- Η κυτταρίνη διασπάται στην περιοχή θερμοκρασιών 314-400 °C

- Η λιγνίνη διασπάστηκε σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών από 160-900 °C παράγοντας τη μεγαλύτερη ποσότητα στερεού υπολείμματος (40%).

Η συμπίκνωση αυτών των ατμών δημιουργεί το βιοελαίου (bio-oil), ενός οργανικού υγρού που ρέει ελεύθερα. Μετά την έξοδο από το σύστημα αντίδρασης, τα μη συμπτυνώσιμα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή θερμότητας για την πυρόλυση. Ο βιο-άνθρακας είναι το υπολειμματικό υλικό πλούσιο σε άνθρακα που εξακολουθεί να υπάρχει. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε λιγνοκυτταρίνη καθορίζει κυρίως την κατανομή των προϊόντων του βιοελαίου (R. Mythili 2013).

Από ενεργειακή άποψη, αποδείχθηκε ότι η κυτταρίνη υπέστη ενδοθερμική πυρόλυση, ενώ η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη υπέστησαν εξώθερμη πυρόλυση. Κατά την πυρόλυση των τριών συστατικών παράγονται παρόμοια αέρια προϊόντα, όπως CO₂, CO, CH₄ και ορισμένες οργανικές ουσίες.



Σχήμα 5 Τα προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση βιομάζας (ieabioenergy n.d.)

2.1.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

Ο τύπος της πρώτης ύλης, το σύστημα του αντιδραστήρα, η θερμοκρασία, ο ρυθμός θέρμανσης, ο χρόνος παραμονής του αερίου, η πίεση, ο καταλύτης (εάν υπάρχει), το περιβάλλον και η παρουσία αερίου υδρογόνου ή υδρογονογόνων ενώσεων,

επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά (απόδοση και σύνθεση) των προϊόντων (Williams 2007). Ως εκ τούτου, οι συνθήκες πυρόλυσης μπορούν να αλλάξουν με βάση τον τύπο του προϊόντος που ζητείται. Επιπλέον, ο τύπος της παραγόμενης βιομάζας εξαρτάται από το επιθυμητό προϊόν που πρόκειται να παραχθεί, καθώς τα χημικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του τελικού προϊόντος καθορίζονται από τη σύνθεση της αρχικής βιομάζας.

Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στους Πίνακες 2, Πίνακας 3 οι ιδιότητες του βιοελαίου, όπως η τιμή της υγρασίας και της τέφρας, καθορίζονται από τον τύπο και την προέλευση της βιομάζας. Δηλαδή, τα θρύμματα ξύλου μπορεί να προέρχονται (Πίνακας 4) από οξιά, έλατο, πεύκο, ερυθρελάτη και να έχουν διαφορετική περιεκτικότητα σε τέφρα. Αντίστοιχα, για εξανθρακώματα (char) και μη-συμπυκνωμένα αέρια οι τιμές των ιδιοτήτων αλλάζουν ανάλογα με το είδος της βιομάζας που θα χρησιμοποιηθεί.

Πίνακας 2 Ιδιότητες του ελαίου της πυρόλυσης (Diebold 2000)

<i>Ιδιότητες</i>	<i>Τιμή</i>
<i>Υγρασία</i>	25%
<i>Πυκνότητα (kg/l)</i>	1,15-1,2
<i>Ιξώδες (cP) at 40 °C</i>	40-100
<i>Ποσότητα νερού(%-wt.)</i>	20-30
<i>Οξύτητα (pH)</i>	2-3
<i>Σημείο ανάφλεξης(°C)</i>	40-65
<i>Χημική σύνθεση (%-wt.)</i>	C~52 H~6,4, O~40 N~0,2
<i>Τέφρα (%-wt.)</i>	0,1
<i>Θερμική αξία (MJ/kg)</i>	13-19
<i>Εμφάνιση</i>	Συνήθως σκουρόχρωμο υγρό

Ο προσδιορισμός των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών κάθε βιομάζας είναι απαραίτητος για την αξιολόγησή της ως καύσιμο, τόσο για την απόδοση του καυσίμου όσο και για την ίδια τη βιομάζα. Επηρεάζει επίσης, τις τεχνικές εγκατάστασης παραγωγής και των προδιαγραφών στην χρησιμοποίηση της ως καύσιμο. Η περιεκτικότητα υγρασίας, η τέφρας και της θερμογόνου δύναμης της βιομάζας είναι τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για τον σκοπό αυτό.

Πίνακας 3 Περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα (%) (Stanislav V. Vassilev 2017)

Πηγή Βιομάζας	Περιεκτικότητα σε υγρασία(wb%)	Περιεκτικότητα σε τέφρα (wt%.)
<i>Θρύμματα ξύλου</i>	10 - 60	1,2
<i>Πελλέτες ξύλου</i>	8 - 12	1,1
<i>Άχυρό</i>	20 - 30	7,9
<i>Πριονίδι</i>	15 - 60	4,3
<i>Υπολείμματα βαμβακιού</i>	10 - 20	6,6

Πίνακας 4 Πιθανή προέλευση θρυμμάτων ξύλου και η περιεκτικότητά τους σε τέφρα (wt%.) (Stanislav V. Vassilev 2017)

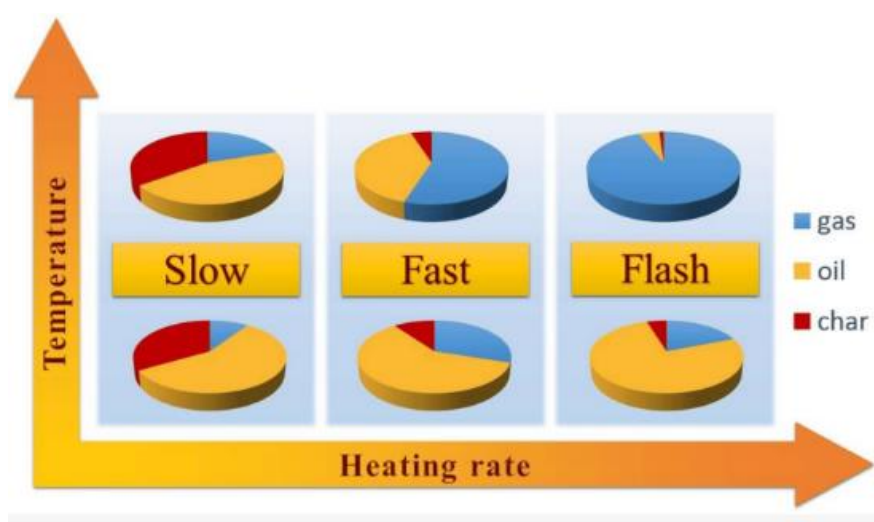
Προέλευση θρυμμάτων ξύλου	Περιεκτικότητα σε τέφρα (wt%.)
<i>οξιά</i>	1
<i>έλατο</i>	0,2
<i>πέυκο</i>	0,1
<i>ερυθρελάτη</i>	0,4

2.1.3. ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ

Λόγω δευτερογενών αντιδράσεων, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι σύντομοι χρόνοι παραμονής προωθούν τη σύνθεση συμπυκνωμένων προϊόντων, ενώ οι υψηλές

θερμοκρασίες και οι μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής ενθαρρύνουν το σχηματισμό μη συμπυκνωμένων αέριων προϊόντων. Σε χαμηλές θερμοκρασίες προτιμώνται συνήθως τα στερεά προϊόντα (Bridgwater 2011).

Οι ακόλουθες κατηγορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ομαδοποίηση της διεργασίας πυρόλυσης ανάλογα με τις συνθήκες της



Εικόνα 1 Τύπος πυρόλυσης και πώς οι μεταβλητές της διεργασίας επηρεάζουν την μορφή του τελικού προϊόντος (Ewelina Pawelczyk 2022)

Η αργή (slow pyrolysis) πυρόλυση λαμβάνει χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες με μεγάλους χρόνους παραμονής των ατμών και παράγει κυρίως άνθρακα και άλλα υγρά. Ο χρόνος παραμονής των ατμών είναι υπερβολικά μεγάλος (5 έως 30 λεπτά) και τα συστατικά στην αέρια φάση συνεχίζουν να αντιδρούν μεταξύ τους με αποτέλεσμα το σχηματισμό στερεού άνθρακα και άλλων υγρών. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά τεχνολογικά μειονεκτήματα που την καθιστούν απίθανη για την παραγωγή βιοελαίου υψηλής ποιότητας. Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής και η ελάχιστη μετάδοση θερμότητας καθιστούν επίσης αναγκαία τη χρήση πρόσθετης ενέργειας (Demirbaş 2005).

Η γρήγορη (fast pyrolysis) πυρόλυση συμβαίνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες με σύντομους χρόνους παραμονής, παράγοντας 60-75% βιοέλαιο, 15-25% στερεά (βιοκάρβουνο) και 10-20% αέρια. Έχει οφέλη όπως υψηλή ενεργειακή απόδοση και χαμηλό κόστος. Δυνατότητες για ανανεώσιμο καύσιμο στις βιομηχανικές

δραστηριότητες, παραγωγή ενέργειας, λέβητες, κινητήρες και τουρμπίνες, χρήση αποβλήτων και πρώτων υλών για βιοέλαιο (όπως δασικά υπολείμματα και βιομηχανικά και αστικά απόβλητα). (Demibas και Arin 2002).

Η ακαριαία (flash pyrolysis) πυρόλυση στοχεύει σε έως και 75% απόδοση βιοελαίου. Τα χαρακτηριστικά αυτής της διεργασίας είναι η ταχεία απαεροποίηση σε αδρανές περιβάλλον, ο υψηλός ρυθμός θέρμανσης των σωματιδίων, οι υψηλές θερμοκρασίες αντίδρασης μεταξύ 450 °C και 1000 °C και ο πολύ σύντομος χρόνος παραμονής των αερίων (λιγότερο από 1s). Ωστόσο, τα τεχνολογικοί περιορισμοί μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου, όπως η χαμηλή θερμική σταθερότητα και η διαβρωτικότητα του πετρελαίου, στερεά στο λάδι, η καταλυτική δράση του άνθρακα που αυξάνει το ιξώδες με την πάροδο του χρόνου και η δημιουργία πυρολυτικού νερού, οδηγούν σε κακή θερμική σταθερότητα του λαδιού (T. Cornelissen a 2008).

Πίνακας 5Τα διαφορετικά είδη πυρόλυσης και η απόδοση των παραγόμενων προϊόντων τους (ΙΖΑΜΠΕΛΑ-ΝΕΛΛΗ 2021)

Είδος πυρόλυσης	Συνθήκες	Υγρό	Στερεό	Αέριο
<i>αργή πυρόλυση</i>	✓ χαμηλές θερμοκρασίες ✓ πολύ μεγάλους χρόνους παραμονής	30%	35%	35%
<i>γρήγορη πυρόλυση</i>	✓ υψηλότερες θερμοκρασίες ✓ σύντομους χρόνους παραμονής	75%	12%	13%
<i>ακαριαία πυρόλυση</i>	✓ υψηλές θερμοκρασίες ✓ ταχεία απαεροποίηση	5%	10%	85%

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5, ανάλογα το είδος της πυρόλυσης επιτυγχάνεται διαφορετικά η απόδοση στα παραγόμενα προϊόντα. Επομένως, η επιλογή των συνθηκών και των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται καταλήγουν στο να προτιμάται για την παραγωγή bio-char την αργή πυρόλυση, ενώ για bio-oil την γρήγορη και ακαριαία πυρόλυση.

2.2. ΑΝΘΡΑΚΟΠΟΙΗΣΗ - ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑΣ

Ο βιοάνθρακας, γνωστός και ως μαύρος άνθρακας, δημιουργείται μέσω της αργής πυρόλυσης της βιομάζας. Μπορεί να αποθηκευτεί στο έδαφος για περισσότερο από έναν αιώνα, ενώ προτάθηκε ως πιθανός στο να δεσμεύει άνθρακα για την επιβράδυνση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Τα τελευταία δέκα χρόνια έχει γνωρίσει εκτεταμένη χρήση σε διάφορες εφαρμογές, όπως αποθήκευση ενέργειας, κατάλυση χημικών αντιδράσεων, προσρόφηση ρύπων, τροποποίηση του εδάφους και καθαρισμό (Lijian Leng 2022).



Εικόνα 2 Βιοάνθρακας μετά την θερμική μετατροπή της βιομάζας

2.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ

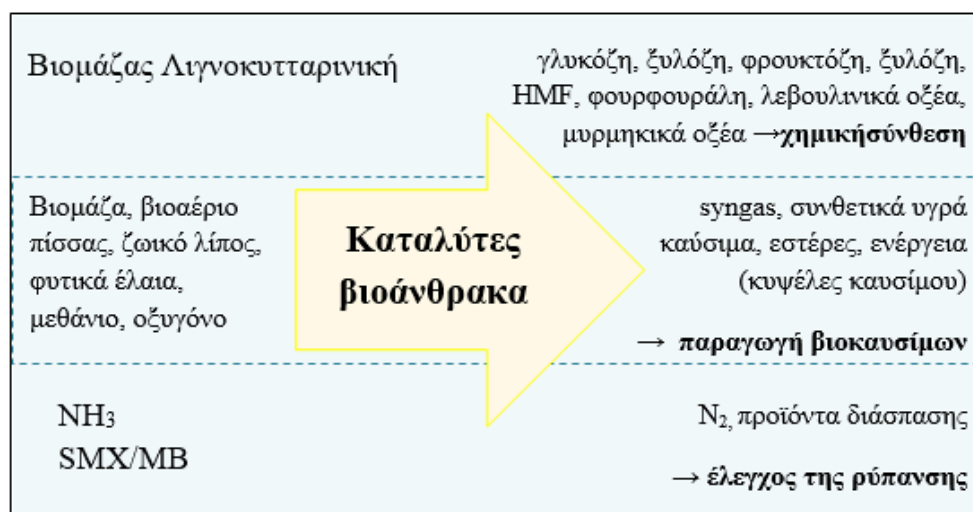
Σε γενικές γραμμές, ο βιοάνθρακας έχει περιεκτικότητα σε άνθρακα 45-60 τοις εκατό κατά βάρος, η οποία είναι μικρότερη από εκείνη του ενεργού άνθρακα που παράγεται από άνθρακα (80-95%) και της αιθάλης (>95%). Ο βιοάνθρακας περιέχει επίσης μια σημαντική ποσότητα συστατικών οξυγόνου και υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων

των K, Na, Ca, Mg, Si, Al, Fe. Η φυσική κατάσταση της ακατέργαστης βιομάζας έχει σημαντικό αντίκτυπο τόσο στην ποσότητα όσο και στη σύνθεση των ανόργανων ουσιών. Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι, σε σύγκριση με το καύσιμο ντίζελ κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 78%, καθώς μπορεί να δημιουργηθεί από έναν ανανεώσιμο πόρο, όπως τα φυτικά έλαια. Τέλος, το βιοντίζελ δεν παράγει SOx, πρόδρομη ουσία της όξινης βροχής, επειδή δεν περιέχει θείο, είναι πιο λιπαντικό από το κανονικό καύσιμο ντίζελ, γεγονός που μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του κινητήρα (Amir Mehdi Dehkhoda 2010).

Ορισμένα χαρακτηριστικά του βιοάνθρακα, όπως η παρουσία ανόργανων ειδών και επιφανειακών λειτουργικών ομάδων, το καθιστούν πλεονεκτικό στη χρήση του ως καταλύτη ή φορέα καταλύτη. Οι καταλύτες με βάση τον βιοάνθρακα υπόσχονται πολλά ως υποκατάστατο των δαπανηρών ή μη ανανεώσιμων συμβατικών καταλυτών και κατά συνέπεια, ένα πιο ολοκληρωμένο και βιώσιμο σύστημα βιοδιύλισης (Leea, 2017).

2.2.2. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ

Πίνακας 6 Ο βιοάνθρακας ως βιώσιμο καταλυτικό μέσο (Xinni Xiong 2017)



Η προέλευση της βιομάζας (οι βασικές μεταβλητές της), οι συνθήκες κατά την παραγωγή βιοάνθρακα (π.χ. θερμοκρασία, χρόνος και αέριο αντιδραστήριο), οι προ-

και μετα-επεξεργασίες (π.χ. φυσική, χημική ή συν-ενεργοποίηση), έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις ιδιότητες των καταλυτών βιοάνθρακα, όπως η λειτουργικότητα της επιφάνειας, η επιφάνεια, το πορώδες και η οξύτητα.

2.3. ΣΤΕΡΕΟΙ ΑΛΚΑΛΙΚΟΙ ΚΑΙ ΟΞΙΝΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

Οι καταλύτες στερεών οξέων και οι καταλύτες στερεών αλκαλίων για την παραγωγή βιοντίζελ παρασκευάζονται με τη χρήση βιοάνθρακα, ο οποίος τροποποιείται με διάφορες τεχνικές για την αύξηση των καταλυτικών του ιδιοτήτων ή των ιδιοτήτων του ως φορέα καταλύτη. Μια διαδικασία που υλοποιείται με την βοήθεια ύπαρξης τοπικών κρυσταλλικών δομών με βάση τα υψηλά συζευγμένα αρωματικά φύλλα, τις ανόργανες ουσίες και τις επιφανειακές λειτουργικές ομάδες (FengCheng, 2018).

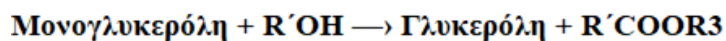
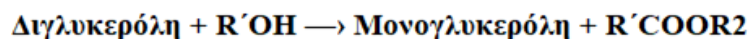
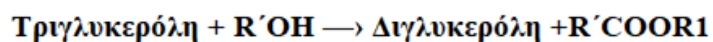
2.3.1. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΛΚΑΛΙΩΝ

Οι αλκαλικοί καταλύτες που υποστηρίζονται από βιοάνθρακα, γνωστοί και ως στερεοί αλκαλικοί καταλύτες προερχόμενοι από βιομάζα, είναι ένα πρόσθετο είδος καταλύτη με βάση τον βιοάνθρακα που χρησιμοποιείται στη σύνθεση βιοντίζελ. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά οξέα, η καταλυόμενη με βάση μετεστεροποίηση χρησιμοποιείται συχνότερα στη βιομηχανική παραγωγή από ό,τι η καταλυόμενη με οξύ μετεστεροποίηση.

2.3.2. ΒΑΣΙΚΗ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

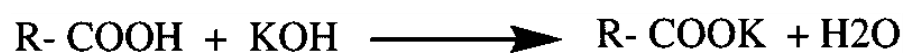
Ως μετεστεροποίηση ορίζεται η διεργασία κατά την οποία τριακυλογλυκερίδια από διάφορες πρώτες ύλες, όπως μη βρώσιμοι ελαιούχοι σπόροι, φυτικά έλαια, ζωικά λίπη ή λίπος, απόβλητα μαγειρικών ελαίων και μικροβιακά λιπίδια ή μονοκύτταρα έλαια (από φύκια, ελαιογόνους ζυμομύκητες, νηματοειδείς μύκητες και βακτήρια) μετατρέπονται σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (βιοντίζελ) παρουσία αλκοόλης (μεθανόλης ή αιθανόλης) (PritamBardhan, 2022)

Εξίσωση 1 Μετατροπή τριακυλογλυκεριδίων σε μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων παρουσία αλκοόλης



Επειδή η καταλυόμενη με βάση μετεστεροποίηση αποδίδει περισσότερους μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων σε μικρότερο χρονικό διάστημα από την καταλυόμενη με οξύ μετεστεροποίηση, χρησιμοποιείται ευρύτερα στη βιομηχανική παραγωγή. (Karthik Velusamy 2021). Τα συστατικά των ελαίων που επηρεάζουν την αντίδραση είναι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, που σε αλκαλικό περιβάλλον αντιδρούν με τον καταλύτη και σχηματίζουν σάπωνες. Η περιεκτικότητα των ελαίων σε νερό είναι ένας άλλος παράγοντας για τη δημιουργία σαπουνιού.

Εξίσωση 2 Σχηματισμός σαπουνιού από ελεύθερα λιπαρά οξέα



Fatty acid

Pottassium soap

Με την σαπωνοποίηση μειώνεται η απόδοση της αντίδρασης, καταναλώνεται ο καταλύτης, μειώνεται η αποτελεσματικότητα της αντίδρασης, αυξάνεται το ιξώδες, δημιουργούνται γαλακτώματα, τα οποία δυσχεραίνουν το διαχωρισμό της γλυκερίνης από τους εστέρες και προκαλούν μειωμένη καθαρότητα του προϊόντος (Σμέτη 2013)

2.3.3. ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΟΣ

Συμπυκνωμένα ή πυρακτωμένα θειικά οξέα χρησιμοποιήθηκαν για τη σουλφονοποίηση του άνθρακα πυρόλυσης προκειμένου να δημιουργηθούν δύο καταλύτες στερεών οξέων με βάση τον άνθρακα. Εάν περιέχονται στο έλαιο πολλά ελεύθερα λιπαρά οξέα θα πρέπει να γίνει μια διαδικασία εστεροποίησης πριν την διαδικασία της μετεστεροποίησης. Ενώ παρουσίασε μικρή δραστηριότητα

μετεστεροποίησης, ο καταλύτης που σουλφονίστηκε με το πυκνό θειικό οξύ παρουσίασε σημαντική μετατροπή στην εστεροποίηση ελεύθερων λιπαρών οξέων.

2.3.4. ΟΞΙΝΗ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Η μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων σε εστέρες είναι η πρωταρχική διεργασία που λαμβάνει μέρος. Το ποσοστό των ελεύθερων λιπαρών οξέων σε όξινα έλαια, χρησιμοποιημένα ή έλαια αποβλήτων, κυμαίνεται από 3% έως 40%. Ταυτόχρονα με τη διαδικασία μετεστεροποίησης, το ελεύθερο λιπαρό οξύ εστεροποιείται άμεσα (J.M. Marchetti 2008).

Παρουσία μεθανόλης ως αντιδραστήριο, ο καταλύτης με τη μεγαλύτερη επιφάνεια και πυκνότητα οξέος αποδείχθηκε ότι είχε τη μέγιστη καταλυτική δραστηριότητα για τη σύνθεση βιοντίζελ από έλαιο κανόλα.



Εικόνα 3 Κανόλα - ποικιλία της ελαιοκράμβης (BASF n.d.)

Επιπλέον, μεταξύ καταλυτών με συγκρίσιμες πυκνότητες οξέων, ο καταλύτης με τη μεγαλύτερη επιφάνεια παρουσίασε καλύτερη δραστηριότητα μετεστεροποίησης. Η μετατροπή του ελεύθερου λιπαρού οξέος (FreeFattyAcids - FFA) αυξήθηκε όσο αυξανόταν η δοσολογία καταλύτη, ο χρόνος αντίδρασης και οι επιδράσεις της μοριακής αναλογίας μοριακή αναλογία αλκοόλης/ελαίου. Η μετεστεροποίηση και η άμεση εστεροποίηση των FFA συμβαίνουν ταυτόχρονα όταν το βιοντίζελ παράγεται

από όξινα έλαια (υποπροϊόν της διαδικασίας της γλυκερίνης). Ο καταλύτης υπόσχεται πολλά για εφαρμογή στη διαδικασία μετατροπής μιας πρώτης ύλης με υψηλή περιεκτικότητα σε FFA σε βιοντίζελ (Feng Cheng 2018).

2.3.5. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΟΞΙΝΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΗΣ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η βασική κατάλυση παράγει εξαιρετική κινητική με υψηλή δραστικότητα και με μεγάλη απόδοση σε πολύ μικρό χρόνο. Οι όξινοι καταλύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την εστεροποίηση όσο και για τη μετεστεροποίηση- η βασική κατάλυση είναι 4000 φορές ταχύτερη από την όξινη καταλυτική μετεστεροποίηση, ενώ τα βασικά μεθοξείδια είναι πιο αποτελεσματικά από τα υδροξείδια. Τέλος οι όξινοι καταλύτες προτιμώνται για έλαια χαμηλής ποιότητας που δεν επηρεάζονται από την περιεκτικότητα σε νερό και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα (Σμέτη 2013).

3. ΣΤΕΡΕΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ



Εικόνα 4 Ακατέργαστη και επεξεργαζόμενη μορφή στερεής βιομάζας (Agroenergy n.d.)

Υπάρχουν τόσο οικιακές όσο και εμπορικές χρήσεις της καύσης στερεών βιοκαυσίμων, όπως συνδυαστικά η παραγωγή θερμότητας με ηλεκτρική ενέργεια (θέρμανση/ψύξη) και η θέρμανση κατοικιών μικρής κλίμακας. Για παράδειγμα τέτοιου είδους τεχνολογίες είναι οι ξυλόσομπες, θερμοπομποί, οι λέβητες και οι κλίβανοι με μηχανικό ή πεπιεσμένου αέρα σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου. Οι χημικές ιδιότητες των στερεών βιοκαυσίμων επηρεάζουν τη θερμική αξιοποίηση των

τεχνολογιών καύσης και καθαρισμού των καυσαερίων. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα και τα χαμηλά επίπεδα N, S και Cl, με εξαίρεση τις υψηλές ποσότητες στο άχυρο, στα σιτηρά, στα χόρτα και στα υπολείμματα φρούτων οι οποίες επηρεάζουν τις εκπομπές NO_x, HC₁, PCDD/F, εκπομπές SO_x καθώς και διάβρωση, χαρακτηρίζουν τα καύσιμα ξύλου (Ingwald Obernberger 2006).

Πίνακας 7 Κατηγορίες στερεών βιοκαυσίμων και τα χαρακτηριστικά τους (ΜΑΤΣΙΟΣ 2012)

Κατηγορίες στερεών βιοκαυσίμων	Χαρακτηριστικά
Συσσωματώματα βιομάζας (Pellets)	Κυλινδρικό σχήμα και γυαλιστερή επιφάνεια, κατάλληλα για τεχνολογίες μεταφοράς, αυτόματης τροφοδοσίας και καύσης λόγω της υψηλής ενεργειακής τους πυκνότητας και της χαμηλής περιεκτικότητάς σε υγρασία.
Μπρικέττες	Παραλληλόγραμμο τούβλο/ πολύγωνη ράβδος (με ή χωρίς οπή στο κέντρο), προσφέρουν θερμογόνο δύναμη ανά μονάδα όγκου, εύκολη αποθήκευση και η ελάχιστη περιεκτικότητα σε υγρασία.
Αγροτικά υπολείμματα	1) πρωτογενή βιοκαύσιμα: άμεσα υπολείμματα γεωργικών προϊόντων, δεν υπόκεινται σε ειδική επεξεργασία μειώνοντας τον όγκο και επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα (π.χ. επεξεργασία της ελιάς) 2) δευτερογενή βιοκαύσιμα, τα οποία υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία από τον εκάστοτε κατασκευαστή
Αστικά απορρίμματα → RDF (Refused Derived Fuel)	Η σύνθεσή του αποτελείται από 65-85% χαρτί/χαρτόνι, 10-13% πλαστικό/αδρανή υλικά. Η θερμογόνος δύναμή του είναι διπλάσια από εκείνη των οικιακών απορριμμάτων (12-20 MJ/kg).
Κτηνοτροφικά απόβλητα	Οι διαδικασίες καύσης χρησιμοποιούν κυρίως κοπριά, ωστόσο παρατηρούνται εκπομπές αερίων. Η κοπριά πουλερικών είναι το πιο αποτελεσματικό και δυνητικό καύσιμο λόγω της χαμηλότερης θερμογόνου δύναμης και της χαμηλής περιεκτικότητας σε τέφρα.

3.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ

Η στερεής βιομάζας χωρίζεται σε ακατέργαστη (π.χ. κουκούτσια, καυσόξυλα) και επεξεργαζόμενη μορφή (π.χ. μπρικέττες, pellet) αναλόγως την χρήση της, αναφορά στις κατηγορίες και τα χαρακτηριστικά γίνεται στον Πίνακα 7. Η διαφορά είναι ότι στην επεξεργαζόμενη μορφή βιομάζας περιλαμβάνεται ένα σύνολο απαραίτητων διεργασιών για την μετατροπή της πρώτης ύλης, δηλαδή του ανεπεξέργαστου αγροτικού υπολείμματος, σε αξιοποιήσιμο με βελτιωμένη αποτελεσματικότητα και θετική επίπτωση στην ενεργειακή του απόδοση (Αλεξάνδρα 2021).

3.2. ΒΙΟΕΛΑΙΟ/BIO-OIL

Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε διάφορα συστήματα, όπως καυστήρας/καμίνι, καυστήρας/λέβητας και κινητήρες ντίζελ. Ωστόσο, η διαβρωτική του φύση και η χαμηλή θερμική του σταθερότητα καθιστούν δύσκολη την αποθήκευση και τη χρήση του ως υγρό καύσιμο. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποθήκευση και η χρήση του, χρησιμοποιούνται στρατηγικές αναβάθμισης. Τα βιοέλαια μπορούν επίσης να αναμιχθούν, όχι απευθείας λόγω της μη αναμειξιμότητάς τους, στα συμβατικά καύσιμα, όπως μεθάνολη, για να βελτιωθούν οι ιδιότητες του καυσίμου (Anamaria Paiva Pinheiro Pires 2019).



Εικόνα 5 Δείγμα βιοελαίου από την πυρόλυση άχνηρου σιταριού (Heydenrych n.d.)

3.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΙΟΕΛΑΙΟΥ

Το υγρό προϊόν της βιομάζας, το οποίο προέρχεται από την πυρόλυση, είναι ένα πολύπλοκο μείγμα οργανικών ενώσεων και νερού. Η περιεκτικότητα σε νερό κυμαίνεται συνήθως από 15 έως 35 τοις εκατό του βάρους, ενώ υπάρχουν αναφορές και σε ποσότητες εκτός αυτού του εύρους. Το νερό μειώνει τη θερμογόνο δύναμη και τη θερμοκρασία φλόγας, αλλά βελτιώνει ταυτόχρονα τη ρευστότητα και μειώνει το ιξώδες, επιταχύνοντας με αυτόν τον τρόπο καύση του βιοελαίου σε κινητήρες. Περιέχει επίσης, εκατοντάδες οξυγονωμένες ενώσεις και μεγάλο όγκο νερού. Το υψηλό ποσοστό οξυγόνου (35-40%) μειώνει την ενεργειακή πυκνότητα και την ανάμιξη με τα καύσιμα υδρογονανθράκων. Το ιξώδες του bio-oil ποικίλλει ευρέως (10-100 cP στους 401C), ανάλογα με τις πρώτες ύλες της βιομάζας και τις πυρολυτικές διεργασίες. Τέλος, η προσθήκη μεθανόλης μειώνει το σημείο ανάφλεξης του μίγματος, ενώ αυξάνει τη σταθερότητα μειώνοντας το ιξώδες και την πυκνότητα (Vamvuka 2011).

3.2.2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΕΛΑΙΟΥ

Έχουν εφαρμοστεί πολλές τεχνικές για να βελτιώσουν τις ιδιότητες και τα διάφορα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά (υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, χαμηλή θερμογόνο δύναμη, όξινο pH, διαβρωτικότητα, περιορισμένη σταθερότητα κ.λπ.) του βιοελαίου, οι οποίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: χημική και φυσική επεξεργασία.

Οι φυσικές προσεγγίσεις παραγωγής βιοελαίου, έχουν ως αποτέλεσμα την ομογενοποίηση του, τη μείωση του ιξώδους του και την αποτροπή της γήρανσης κατά την αποθήκευση. Ο διαχωρισμός, το φιλτράρισμα και η προσθήκη διαλυτών και αντιοξειδωτικών είναι οι πιο μακροχρόνιες διαδικασίες. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνικές χημικής αναβάθμισης περιλαμβάνουν μια πιο διεξοδική μεταβολή του βιοελαίου, βελτιώνοντας τόσο τη χημική όσο και τη φυσική του σύνθεση, δίνοντας ένα μείγμα που μπορεί να συνδυαστεί με καύσιμα που παράγονται από ορυκτά καύσιμα (Javier Fermoso 2017).

3.2.3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

Ο σκοπός αυτών των έξι επεξεργασιών, που θα αναφερθούν στον Πίνακα 8, είναι να μειωθεί η συγκέντρωση οξυγόνου στο βιοέλαιο και σε ορισμένες περιπτώσεις, να αυξηθεί το μοριακό μέγεθος των ειδών που υπάρχουν, ώστε να μπορούν ενδεχομένως να αναμιχθούν με βενζίνη και καύσιμα ντίζελ.

- 1) Καταλυτική υδρογονοεπεξεργασία (Hydrotreating - HDT) είναι μια διεργασία υδρογόνωσης και διάσπασης των δεσμών CC των υδρογονανθράκων με τη χρήση αερίου υδρογόνου και καταλύτη, με αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε ενώσεις χαμηλότερου μοριακού βάρους (EmmanuelRodríguez, 2018).
- 2) Οι καταλύτες υδρογονοπυρόλυσης είναι καταλύτες διπλής λειτουργίας, που περιέχουν μια λειτουργία υδρογόνωσης, η οποία παρέχεται από ενεργό(-ά) μέταλλο(-α) και μια όξινη λειτουργία που προέρχεται από τον φορέα, συνήθως άμορφη πυριτία-αλουμίνα ή κρυσταλλική πυριτία-αλουμίνα, δηλαδή ζεόλιθους (L.P. Dancuart, 2004).
- 3) Υπερκρίσιμο ρευστό (SupercriticalFluid- SCF) είναι ένα υλικό που μπορεί να είναι είτε υγρό είτε αέριο, το οποίο χρησιμοποιείται σε κατάσταση πάνω από την οριακή πίεση θερμοκρασία, όπου τα αέρια και τα υγρά μπορούν να συνυπάρχουν (E. Fortunati 2016).
- 4) Η προσθήκη διαλύτη επιτυγχάνει την μείωση του ρυθμού της αντίδρασης μέσω μοριακής αραίωσης ή μέσω της μεταβολής της μικροδομής του πετρελαίου και προκαλεί φυσική αραίωση χωρίς να επηρεάζονται οι ρυθμοί των χημικών αντιδράσεων.
- 5) Η γαλακτωματοποίηση είναι η διαδικασία ανάμιξης δύο φάσεων, οι οποίες δεν αναμιγνύονται (π.χ. λάδι και νερό) με τη βοήθεια ενός

επιφανειοδραστικού παράγοντα (γαλακτωματοποιητή) σε ομοιογενή διασπορά ή γαλάκτωμα (T.S. Awad 2012).

- 6) Η αναμόρφωση ατμού περιγράφει την τη θερμική μετατροπή των κλασμάτων πετρελαίου σε πιο ρευστά προϊόντα με υψηλότερο αριθμό οκτανίων και αντιπροσώπευε τα συνολικά αποτελέσματα πολλών ταυτόχρονων αντιδράσεων, όπως η πυρόλυση. Ακόμα, αναφέρεται στην μετατροπή των αέριων υδρογονανθράκων και των ατμοποιημένων οργανικών ενώσεων σε αέρια που περιέχουν υδρογόνο (Shuangning Xiu 2012).
- 7) Η εκχύλιση με διαλύτη, η απόσταξη ή η χημική τροποποίηση. Ορισμένες τεχνικές εκχύλισης/εξαγωγής, όπως η εκχύλιση με νερό, το υπερκρίσιμο CO₂ (μη εύφλεκτο και φιλικό προς το περιβάλλον) και η προσρόφηση. Η εκχύλιση στερεάς φάσης είναι ένας τύπος προσρόφησης που είναι αποτελεσματικός στην απομάκρυνση ορισμένων ενώσεων από ένα μείγμα με τη χρήση ενός στερεού προσροφητικού υλικού (Yi Herng Chan 2020).

Πίνακας 8 Συνοπτική κατάσταση επεξεργασίας και τεχνολογική δυνατότητα των υφιστάμενων μεθόδων αναβάθμισης του βιοελαίου (Shuangning Xiu 2012)

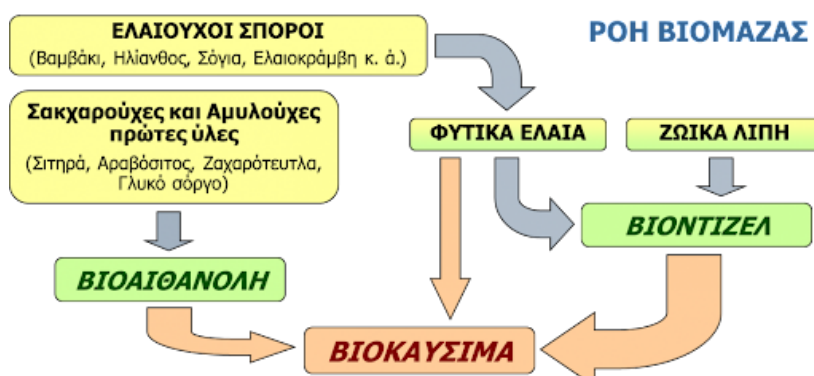
Τεχνικές βελτίωσης ιδιοτήτων	Συνθήκη επεξεργασίας/ προϋπόθεση	Πλεονεκτήματα Μειονεκτήματα
Υδρογονο-επεξεργασία (HDT)	Ήπιες συνθήκες (~500 °C/χαμηλή πίεση) Απαιτείται: H ₂ /CO, καταλύτης (CoMo, HDS, NiMo, HZSM-5)	Π: Φθηνότερη και εμπορευματοποιημένη μέθοδος Μ: Υψηλή κοκκοποίηση (8-25%), κακή ποιότητα λαμβανόμενων καυσίμων
υδρογονόλυση /	Σοβαρές συνθήκες (>350 °C, 100 -2000Ps)	Π: δημιουργία ήπιων προϊόντων

καταλυτική πυρόλυση	Απαιτείται: H ₂ /CO ή διαλύτες δότες H ₂ , καταλύτης (Ni/Al ₂ O ₃ -TiO ₂)	M: περίπλοκο εξοπλισμό, υψηλό κόστος, απενεργοποίηση καταλύτη, απόφραξη αντιδραστήρα
Υπο-υπερκρίσιμορευστό(SCFs)	Ήπιες συνθήκες, οργανικοί διαλύτες (αλκοόλη, ακετόνη, γλυκερίνη)	Π: Υψηλότερη απόδοση πετρελαίου, ποιοτικό καυσίμου M: ακριβός διαλυτής
Προσθήκη διαλύτη	Ήπιες συνθήκες, πολικοί διαλύτες (νερό, μεθανόλη, αιθανόλη, φουρφουράλη)	Π: Πρακτικότερη προσέγγιση (απλότητα, χαμηλό κόστος ορισμένων διαλυτών, ευνοϊκό στις ιδιότητες πετρελαίου) M: Μηχανισμοί στην προσθήκη διαλύτη δεν είναι αρκετά κατανοητοί ακόμη
γαλακτωματοποίηση/ γαλακτώματα	Ήπιες συνθήκες, χρειάζονται επιφανειοδραστική ουσία (π.χ. CANMET)	Π: Απλό, λιγότερο διαβρωτικό M: Απαιτεί υψηλή ενέργεια για την παραγωγή
Αναμόρφωση ατμού	Υψηλή θερμοκρασία (800-900 °C), Χρειάζεται καταλύτης (π.χ. Ni)	Π: Παράγει H ₂ ως καθαρή πηγή ενέργειας M: Περίπλοκη, απαιτεί σταθερότητα και πλήρους ανεπτυγμένους αντιδραστήρες
Χημική ουσίες από τα βιοέλαια	Ήπιες συνθήκες	Π: Εξαγωγή πολύτιμων χημικών ουσιών M: Αναζητούνται ακόμα τεχνικές διύλισης

3.3. ΚΙΝΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το βιοέλαιο είναι μια ανανεώσιμη πρώτη ύλη για ενέργεια, καύσιμα, χημικά και ανθρακούχα υλικά (π.χ. γραφίτης). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο λέβητα,

βιοκαύσιμο ή χημικά προϊόντα υψηλής αξίας. Άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν καύσιμα που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές και μοιάζουν με το πετρέλαιο είναι το "πράσινο ντίζελ" και το "ανανεώσιμο ντίζελ". Η λέξη "πράσινο" μπορεί να περιγράφει την προέλευση του καυσίμου και τις μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά δεν καλύπτει πάντα όλα τα ζητήματα όπως η βιοδιασπασιμότητα, η οποία επηρεάζεται από σύνθεση του καυσίμου που αναπαριστάνει το πετρέλαιο. Ωστόσο, ο όρος "ανανεώσιμο ντίζελ" δεν φαίνεται να κάνει καμία αναφορά στη σύνθεση του καυσίμου, παρά μόνο στο γεγονός ότι προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (Knothe 2009).



Εικόνα 6 Σχεδιάγραμμα Ροής Βιομάζας στην παραγωγή βιοκαυσίμου (AgroEnergy n.d.)

Τα δύο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα βιοκαύσιμα σήμερα είναι η αιθανόλη, η οποία αντικαθιστά τη βενζίνη, και το βιοντίζελ, το οποίο αντικαθιστά το ντίζελ. Μια ποικιλία πρώτων υλών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή τόσο του βιοντίζελ όσο και της βιοαιθανόλης.

3.3.1 BIONTIZEA

Το βιοντίζελ είναι ένας μεθυλεστέρας που παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη κ.λπ.). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες ντίζελ μόνο του ή με συνδυασμό σε πετρελαιοκινητήρες. Υπάρχουν συγκεκριμένα στάδια που πρέπει να πραγματοποιηθούν κατά τη διαδικασία καλλιέργειας, προκειμένου να παραχθεί βιοντίζελ από πρώτη φυτική ύλη. Εκτός από την μετεστεροποίηση των φυτικών ελαίων, η οποία αναφέρθηκε προηγούμενος, ο φθηνότερος και πιο απλός

τρόπος για την εξαγωγή ακατέργαστου πετρελαίου είναι η ψυχρή σύνθλιψη του σπόρου του. Μόλις παραχθεί το έλαιο, φιλτράρεται, αποθηκεύεται σε δεξαμενές και στη συνέχεια αντλείται περιοδικά σε έναν αντιδραστήρα αναταραχής (Τζανίδης 2008).

Το προφίλ λιπαρών οξέων του βιοντίζελ αντιστοιχεί σε αυτό του μητρικού ελαίου ή των λιπαρών από το οποίο παράγεται. Έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, μηδενική περιεκτικότητα σε αρωματικά, υψηλό σημείο ανάφλεξης (δηλαδή ο αριθμός κετανίου), εγγενή λιπαντικότητα, βιοδιασπασιμότητα, μείωση των περισσότερων ρυθμιζόμενων εκπομπών καυσαερίων, αναμιξιμότητα με πετροντίζελ σε όλες τις αναλογίες μίγματος και συμβατότητα με την υπάρχουσα υποδομή διανομής καυσίμων. Οι τεχνικές δυσκολίες που σχετίζονται με το βιοντίζελ περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών NOx και τη βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας, η οποία μπορεί να υποστεί οξειδωτική αποικοδόμηση σε στάδια της επεξεργασίας (αποθήκευση, παραγωγή, χρήση) και των ιδιοτήτων ψυχρής ροής (Mukesh Kumar 2015).

Λόγω των οικονομικών του χαρακτηριστικών, το βιοντίζελ χρειάζεται συχνά επιδοτήσεις, φορολογικές ελαφρύνσεις ή άλλους κανόνες προκειμένου να είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο. Για να βελτιωθούν τόσο τα επιχειρηματικά όσο και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, θα ήταν επίσης σημαντικό να αναπτυχθούν εναλλακτικά προϊόντα με χρήση συστατικών που δεν προέρχονται από το πετρέλαιο, τα οποία μπορούν να είναι τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά ανταγωνιστικά. Παρά το γεγονός ότι οι νέες τεχνολογίες παραγωγής έχουν πολλά οφέλη, η βιομηχανία βιοντίζελ δυσκολεύεται να τις εφαρμόσει λόγω οικονομικών περιορισμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές από αυτές τις τεχνολογίες απαιτούν σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες. Επομένως, ακόμη και αν το βιοντίζελ έχει αποκτήσει δημοτικότητα ως εναλλακτικό καύσιμο, υπάρχουν ακόμη πολλά εμπόδια στην ευρύτερη εφαρμογή του (Gerhard Knothe a 2016).

3.3.2. ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

Η πρωταρχική διαδικασία για τη δημιουργία βιοαιθανόλης περιλαμβάνει τη ζύμωση αμυλούχων, ζαχαρούχων συστατικών για την παραγωγή αιθανόλης και στη συνέχεια,

την απόσταση των υπόλοιπων συστατικών για το διαχωρισμό μεταξύ τους. Σε σύγκριση με την κανονική βενζίνη, η βιοαιθανόλη έχει περίπου 115 οκτάνια περισσότερα, ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μόνο σε συνδυασμούς με τη συνηθισμένη βενζίνη (γνωστή ως βενζόλιο) σε κινητήρες αντί να χρησιμοποιείται όπως συμβαίνει με τα παραδοσιακά καύσιμα. Η πλειονότητα των σύγχρονων κινητήρων που παράγονται μπορεί να λειτουργήσει με μείγματα βιοαιθανόλης χωρίς καμία τροποποίηση (Τζανίδης 2008).

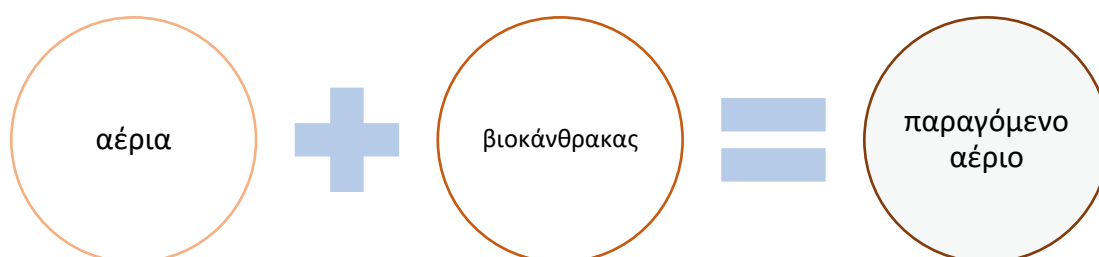
Τα μείγματα αιθανόλης καυσίμου ντίζελ προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, εκπομπών σωματιδίων και αιθάλης, καθώς και ελάττωση στις εκπομπές NOx. Περιέχουν επίσης, λιγότερα οξείδια του θείου και αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Η αιθανόλη, που προστίθεται στο 15% περίπου των καυσίμων, δεν προκαλεί φθορά στον κινητήρα. Αυτό μειώνει την ανάγκη της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τα ορυκτά καύσιμα, οδηγώντας στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού στον τομέα των μεταφορών. Νέες και υφιστάμενες καλλιέργειες μπορούν να χαρακτηριστούν ως ενεργειακές καλλιέργειες για τη γεωργική παραγωγή, στηρίζοντας τη γεωργική παραγωγή στην Ελλάδα (Ρακόπουλος 2007).

Ωστόσο, υπάρχουν μειονεκτήματα, όπως αυξημένοι υδρογονάνθρακες, εκπομπές αλδεϋδών, περιορισμένη δυνατότητα αναμιξιμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες, μειωμένη λιπαντική ικανότητα (φθορά στην αντλία καυσίμου), χαμηλότερη συνεκτικότητα και θερμογόνο δύναμη, χαμηλά επίπεδα αριθμού κετανίου και μεγαλύτερη πιθανότητα σχηματισμού ατμών σε περιορισμένους χώρους (χαμηλό σημείο ανάφλεξης). Αυτοί οι παράγοντες απαιτούν τροποποιήσεις στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου, πρόσθετες βελτιώσεις αριθμού κετανίου και μέτρα ασφαλούς χειρισμού, ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη ισχύς και η επιτάχυνση της ισχύος σε σύγκριση με το καθαρό καύσιμο ντίζελ (Ρακόπουλος 2007).

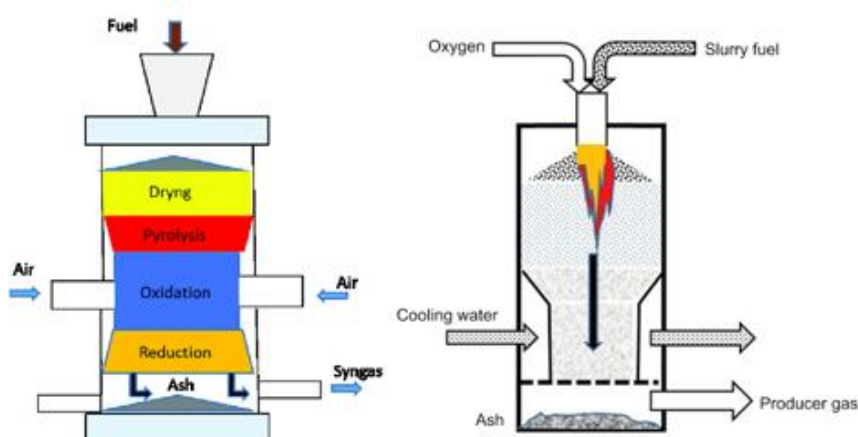
Πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι, η βελτίωση των εκπομπών καυσαερίων που παρέχουν τα οξυγονούχα καύσιμα εξαρτάται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την περιεκτικότητα των καυσίμων σε οξυγόνο, ανεξάρτητα από τις αναλογίες μίγματος οξυγονούχων προς καύσιμο ντίζελ ή τον τύπο του οξυγονούχου. Πολλές μεταβλητές, όπως η ηλικία του κινητήρα, το ιστορικό συντήρησης, οι συνθήκες δοκιμής, η διαδικασία δοκιμής και η τεχνολογία ελέγχου των καυσαερίων και μέτρησης του

καυσίμου, επηρεάζουν τα συγκριτικά δεδομένα εκπομπών. Τα μείγματα αιθανόλης και ντίζελ προσφέρουν τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των χαρακτηριστικών έγχυσης για τη μείωση των εκπομπών σε όλο το φάσμα των επιδόσεων του κινητήρα. Εντούτοις, απαιτούνται εκτεταμένες δοκιμές αυτών των τύπων καυσίμου σε παλαιότερους και όψιμους κινητήρες ντίζελ για την ακριβή αξιολόγηση των επιδόσεων (Alan C. Hansen a 2004).

4. ΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΑ ΑΕΡΙΑ – ΜΟΝΙΜΑ ΑΕΡΙΑ



Μετά τη διαδικασία καύσης, ο βιοάνθρακας είτε θα αντιδράσει με το οξυγόνο και τον ατμό που παράγεται από την υγρασία της βιομάζας (αεριοποιητές που έχουν ροή αέρα από κάτω προς τα πάνω) είτε με τα άλλα παραπροϊόντα της καύσης (αεριοποιητές με ροή αέρα από κάτω προς τα πάνω) (Κυπριωτάκης 2008). Οι ατμοί πίσσας, οι οποίοι παράγονται πρώτα από το στερεό, μπορεί να αντιδράσουν περαιτέρω για να παράγουν υγρά ή αέρια γνωστά ως παραπροϊόντα.



Εικόνα 7 Αεριοποιητής με καθοδική ροή αέρα και αεριοποιητής με ανοδική ροή αέρα (wastetoenergysystems n.d.)

4.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Στις αντιδράσεις αέριας φάσης, ο συμπυκνωμένος ατμός διασπάται σε μικρότερα μη συμπυκνώσιμα μόνιμα μόρια αερίου, τα οποία παραμένουν στην αέρια φάση και δεν μπορούν να συμπυκνωθούν σε υγρό. Μεταξύ αυτών είναι αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο και σε μικρότερες ποσότητες άλλα οργανικά αέρια. Οι συνθήκες πυρόλυσης καθορίζουν τη σύνθεση και τη θερμογόνο δύναμη των μη συμπυκνωμένων αερίων. Με την χαμηλότερη τιμή σε θερμογόνο δύναμη να κυμαίνεται 11 MJ/m^3 , τα πρωταρχικά αέρια πυρόλυσης (που παράγονται σε λιγότερο από 5% βάρος της τροφοδοσίας) περιέχουν περίπου 53% CO_2 , 39% CO , 6,7% υδρογονάνθρακες και 0,8% H_2 , ενώ κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, η πιο έντονη δευτερογενής πυρόλυση των οργανικών ατμών οδηγεί σε αέρια με υψηλότερη τιμή σε θερμογόνο δύναμη 20 MJ/m^3 , τα οποία περιέχουν 27% υδρογονάνθρακες, 63% άνθρακα και 9% διοξείδιο του άνθρακα (Vamvuka 2011).

4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Στους αεριοποιητές, η πυρόλυση είναι ουσιαστικά ένα πρόδρομο στάδιο και συμβαίνει αρκετά γρήγορα, ειδικά σε αντιδραστήρες ταχείας ανάμιξης. Ο συμπυκνωμένος ατμός συμπυκνώνεται σε βιο-έλαιο ή έλαιο πυρόλυσης, ενώ ο ατμός που αποτελείται από βαρύτερα μόρια συμπυκνώνεται κατά την ψύξη, αυξάνοντας την απόδοση πυρόλυσης των υγρών προϊόντων (ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΥ 2021).

Τα μη συμπυκνωμένα αέρια μπορούν να προετοιμαστούν κατάλληλα για την χρησιμοποίησή τους ως καύσιμα. Εκτός από το να παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της διαδικασίας πυρόλυσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά την πυρόλυση, τα αέρια συνήθως καίγονται ή υποβάλλονται σε πρόσθετη επεξεργασία για να πληρούν τους κανονισμούς και τον έλεγχο εκπομπών στην ατμόσφαιρα.

4.3. ΒΙΟΔΙΜΕΘΥΛΑΙΘΕΡΑΣ

Ο διμεθυλαιθέρας (DME) θεωρείται πολλά υποσχόμενο καύσιμο για κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση λόγω των χαμηλών εκπομπών και του υψηλού αριθμού

κετανίου του. Το βιοαέριο είναι ένα ενδιαφέρον βιοκαύσιμο, εναλλακτικό του φυσικού αερίου λόγω των χαμηλών εκπομπών CO₂. Παράγεται από αναερόβια χώνευση οργανικής ύλης και έχει υψηλότερη συγκέντρωση μεθανίου από το φυσικό αέριο. Ωστόσο, η καύση του βιοαερίου έχει χαμηλή απόδοση λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε CO₂. Για τη μείωση των εκπομπών CO₂, το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης πλούσιο σε υδρογόνο μέσω διεργασιών αναμόρφωσης, όπως η αναμόρφωση με ατμό, η μερική οξείδωση και η ξηρή αναμόρφωση (Dang Saebea a b 2019).



Εικόνα 8 Χρήση του διμεθυλαιθέρα ως καυσίμου για θερμότητα, μεταφορές και ηλεκτρική ενέργεια (AZOCLEANTECH n.d.)

4.3.1. ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η αναερόβια χώνευση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία στην Ευρώπη, ιδίως σε γεωργικές εγκαταστάσεις και σε μονάδες επεξεργασίας στερεών αστικών αποβλήτων. Η τεχνολογία χαρακτηρίζεται από την ικανότητά της να παράγει ενέργεια, η οποία μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ως ηλεκτρική ενέργεια ή να χρησιμοποιηθεί στη μονάδα ως θερμική ενέργεια. Κύριο πλεονέκτημα αποτελεί την υψηλή περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά, ενώ η ποιότητα του προϊόντος

χαρακτηρίζεται από χημικές, βιολογικές και φυσικές παραμέτρους. Τα τέσσερα στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι τα εξής (Σανδάλης 2012):

- 1) Η υδρόλυση, η σύνθετη οργανική ύλη διασπάται σε μικρότερα μονο- και ολιγομερή. Στη διαδικασία αυτή εμπλέκεται μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών, οι οποίοι εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα για τη μετατροπή των βιοπολυμερών σε απλούστερες, διαλυτές ενώσεις. Τα προϊόντα της υδρόλυσης αποδομούνται περαιτέρω από αυτούς τους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις μεταβολικές τους διεργασίες.
- 2) Κατά την οξεογένεση, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο, πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες. Η οξικογένεσης μετατρέπει προϊόντα που δεν μετατρέπονται άμεσα σε μεθάνιο σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Η μερική πίεση του υδρογόνου αυξάνεται καθώς παράγεται. Πρόκειται για ένα "υπόλειμμα" της οξεογένεσης που αναστέλλει τον μεταβολισμό των οξεογόνων βακτηρίων.
- 3) Η μεθανογένεση είναι το τελικό στάδιο της παραγωγής μεθανίου, όπου τα μεθανογόνα αρχαιοβακτήρια παράγουν βιοαέριο. Αυτοί οι μικροοργανισμοί χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: υδρογονοτροφικοί, ακετοτροφικοί και μεθυλοτροφικοί. Η υδρογονοτροφική μεθανογένεση χρησιμοποιεί χαμηλές συγκεντρώσεις υδρογόνου, ενώ η ακετοτροφική μεθανογένεση χρησιμοποιεί οξικό οξύ. Η μεθανογενετική δραστηριότητα βοηθά στην υδρόλυση των λιπών και των πρωτεϊνών. Η επιτυχία της απομάκρυνσης θρεπτικών συστατικών εξαρτάται από τον έλεγχο της μεθανογενούς ανάπτυξης. Η μεθανογένεση είναι μια κρίσιμη φάση στη συνολική διαδικασία της είναι μια σημαντική φάση στη διαδικασία της χώνευσης, καθώς είναι η πιο αργή βιολογική αντίδραση. Οι συνθήκες λειτουργίας έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη μεθανογενετική δραστηριότητα (Πατέρα 2016).

Το βιοαέριο, που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση, αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, με ίχνη υδρόθειου και αμμωνίας, στο οποίο μπορεί να περιέχονται ίχνη υδρογόνου, αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, κορεσμένων ή αλογονωμένων υδατανθράκων και οξυγόνου. Το αέριο μείγμα είναι συνήθως κορεσμένο με υδρατμούς και μπορεί να περιέχει σωματίδια σκόνης και πυριτίου. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις εφαρμογές φυσικού αερίου, αλλά ενδέχεται να απαιτείται αναβάθμιση λόγω των διαφορετικών απαιτήσεων των συσκευών αερίου. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε λέβητες για εγκατάσταση ή βιομηχανική παραγωγή ατμού (Σανδάλης 2012).

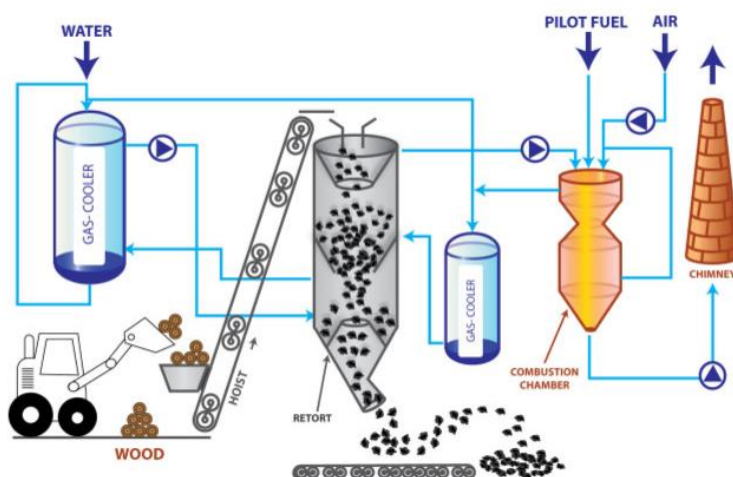
4.3.2. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι εξειδικευμένες αγροενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να αποτελέσουν μια αποτελεσματική επιλογή για τις γεωργικές επιχειρήσεις που επιθυμούν να αποφύγουν τις κρίσεις της αγοράς και να βελτιώσουν τις οικονομικές τους επιδόσεις. Η νέα μεθοδολογία για την ανάλυση του ενεργειακού δυναμικού του γεωργικού τομέα λαμβάνει υπόψη τη διαθεσιμότητα βιομάζας, τις εισροές των καλλιεργειών και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Το βιοαέριο δημιουργείται χρησιμοποιώντας μια ποικιλία πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών υπολειμμάτων, των ενεργειακών καλλιεργειών, των αγροτικών αλυσίδων και των οργανικών αποβλήτων. Η διαδικασία παραγωγής βιομάζας συνεισφέρει πάνω από το 87,4% της συνολικής κατανάλωσης νερού, με την παραγωγή βιοαερίου να κατατάσσεται ο δεύτερος σημαντικότερος συντελεστής. Η διαδικασία παραγωγής βιοαερίου, ιδίως η αναερόβια χώνευση, έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στη διαχείριση της, καθώς και στις αλλαγές που συνδέονται με τη χρήση της στη γεωργία, τη βιοποικιλότητα και τις εκπομπές αερίων (Samson Nnaemeka Ugwu a c d 2022).

4.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η Chemviron Carbon, παγκόσμιος κατασκευαστής ενεργού άνθρακα, φίλτρων άνθρακα και συστημάτων καθαρισμού στη Γερμανία, χρησιμοποιεί τη μέθοδο Reichert για την παραγωγή περίπου 24.000 τόνων ξυλάνθρακα από 70 000 τόνους ξύλου οξιάς ετησίως. Η διεργασία Reichert είναι μια διαδικασία προετοιμασίας

αποβλήτων τριών βημάτων, όπως αναπαριστάνει η Εικόνα 9, την ξήρανση, την πυρόλυση στους 500-550 °C, τον διαχωρισμό και άλεση μετάλλων. Ως εισροή λαμβάνει μια ποικιλία υλικών τροφοδοσίας, όπως υλικά συσκευασίας, επικίνδυνα σκουπίδια, παλιά ελαστικά, υπολείμματα τεμαχισμού αυτοκινήτων και λυματολάσπη.



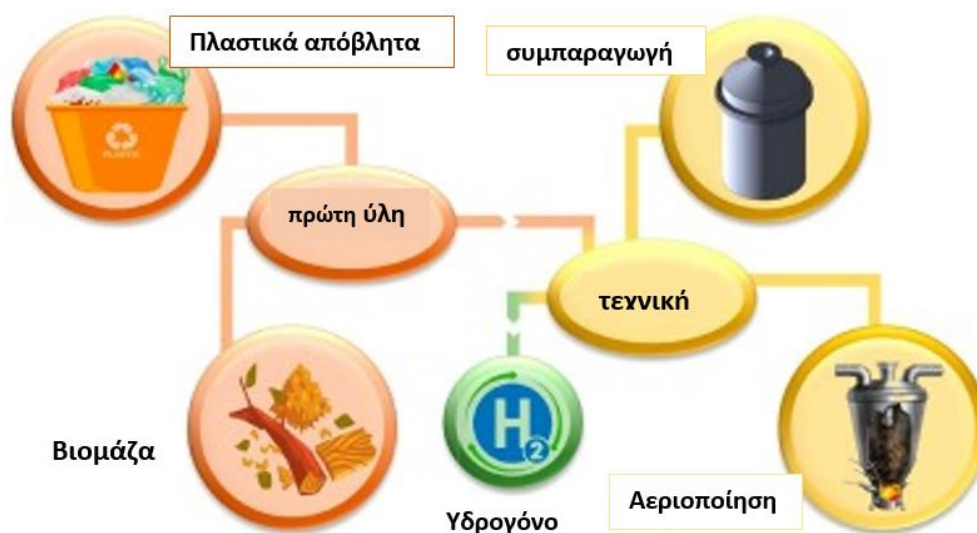
Εικόνα 9 Διαδικασία προετοιμασίας αποβλήτων (Vamvuka 2011)

Μετά τη θερμική πυρόλυση του προκύπτοντος αερίου πυρόλυσης, την αεριοποίηση και την επαφή του άνθρακα με το αέριο, παράγεται ένα καθαρό αέριο καύσιμο που μπορεί να παράγει θερμότητα και ενέργεια. Στη συνέχεια, το αέριο καίγεται σε υψηλή θερμοκρασία και καταστρέφεται με σκοπό την αποφυγή από οργανικούς ρύπους. Ο άνθρακας επεξεργάζεται σε έναν αεριοποιητή (άλεση και διαχωρισμό μετάλλων) αλλά και περνιέται από έναν υγρό καθαριστή για την εξάλειψη τυχόν ανόργανων οξέων. θερμογόνο δύναμη περίπου 4000 kJ m⁻³, το καθαρό αέριο μπορεί να διανεμηθεί σε διάφορους καταναλωτές ή να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα (Vamvuka 2011).

4.4.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΒΙΟΜΑΖΑ

Συμπαγωγή είναι η διαδικασία ταυτόχρονης παραγωγής θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας από την ίδια πηγή. Σημαντικά ποσά θερμότητας εκπέμπονται στο περιβάλλον κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού σταθμού

παραγωγής θερμοηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυκλωμάτων ψύξης, όπως συμπτυκνωτές ατμού, πύργοι ψύξης, ψύκτες νερού, κινητήρες ντίζελ κ.λπ. Επιπλέον, θερμότητα εκλύεται από τα καυσαέρια, κάτι που συμβαίνει μεταξύ άλλων στους αεριοστρόβιλους, στους κινητήρες ντίζελ και στους κινητήρες Otto (Ρουμελιώτης 2020).



Σχήμα 6 Συμπαγωγή πλαστικών απορριμμάτων και βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας (Rahul Mishra a b 2023)

Ο όρος "συμπαγωγή αιχμής" αναφέρεται στην κύρια λειτουργία του κύριου κινητήρα, ενώ το σύστημα κύκλου "βάσης" παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την θερμική ενέργεια που απορρίπτεται. Υπάρχουν τέσσερις τύποι συστημάτων συμπαγωγής κύκλου αιχμής (Γρομισάρης Αλέξανδρος 2012):

- 1) συνδυασμένος κύκλος
- 2) ατμός υψηλής πίεσης
- 3) αιχμή κοπής αεριοστρόβιλου
- 4) κύκλος βάσης

Τα συστήματα κύκλου βάσης, σε αντίθεση με τα συστήματα αιχμής, είναι λιγότερο συνηθισμένα, αλλά χρησιμεύουν σε βαριές βιομηχανίες (π.χ. γυαλού, μεταλλουργία) όπου χρησιμοποιούνται κλίβανοι υψηλής θερμοκρασίας.

Πίνακας 9 Οι τύποι των συστημάτων συμπαραγωγής κύκλου αιχμής και η παραγωγή ενέργειας (Γρομτσάρης Αλέξανδρος 2012)

Συστήματα συμπαραγωγής	Κατανάλωση από	Παραγωγή ενέργειας
Συνδυασμένος κύκλος	Αεριοστρόβιλο ή μηχανή diesel	ηλεκτρικής ή μηχανικής ισχύος
Ατμός υψηλής πίεσης	ατμού υψηλής πίεσης	ηλεκτρική ενέργεια
Αιχμή κοπής αεριοστρόβιλου	καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο, ντίζελ, ξύλο)	θέρμανση χώρων
Κύκλος βάσης	αεριοστροβιλικό σύστημα αιχμής	ατμός και θερμότητα

4.4.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Μέσα από μελέτη που έγινε, με σκοπό την αξιολόγηση οικονομικής βιωσιμότητας της συμπαραγωγής παραγωγής δικτύου θερμότητας και καυσίμων σε μελλοντικές μονάδες, αναφέροντας την παραγωγή συνθετικών καυσίμων από βιομάζα, διοξείδιο του άνθρακα και την ηλεκτρική ενέργεια. Διαπιστώθηκε ότι το χαμηλότερο κόστος παρουσιάζεται στην θερμοχημική παραγωγή από δασικά υπολείμματα, ενώ το υψηλότερο κόστος στην ηλεκτροχημική παραγωγή από διοξείδιο του άνθρακα και την ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμη, τα υβριδικά εργοστάσια βρέθηκαν να είναι πιο οικονομικά από τα αμιγώς ηλεκτροχημικά εργοστάσια αλλά όχι χαμηλότερα από τα αμιγώς θερμοχημικά εργοστάσια, ως αποτέλεσμα το φυσικό αέριο να ήταν το φθηνότερο καύσιμο για παραγωγή, ακολούθως η μεθανόλη και η βενζίνη. Ωστόσο, η βενζίνη είναι το μόνο καύσιμο που μπορεί να καταναλωθεί εύκολα στις τρέχουσες υποδομές μεταφορών. Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι έννοιες ισχύος προς καύσιμα έχουν υψηλό συνολικό κόστος υπό πρακτικές οικονομικές παραδοχές, ωστόσο η θερμοχημική οδός από τη βιομάζα βρέθηκε να είναι πιο εφικτή από την ηλεκτροχημική, δηλαδή από το διοξείδιο του άνθρακα και την ηλεκτρική ενέργεια (Hannula 2015).

5. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι θερμογόνοι αξίες των ομάδων βιομάζας δήμων είναι συχνά μικρότερες από αυτές του άνθρακα και κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: αστικά στερεά απόβλητα, αστικά λύματα και αστική βιομάζα ξύλου.



Εικόνα 10 Διαχείριση και αξιοποίηση αποβλήτων βιομάζας (generizon n.d.)

Οι κατηγορίες για τις αναπτυσσόμενες και τις ανεπτυγμένες χώρες ποικίλλουν, με υψηλότερα ποσοστά χαρτιού, μετάλλου, γυαλιού, σκουπιδιών κουζίνας και πλαστικού να βρίσκονται στις ευρωπαϊκές περιοχές, πιο συγκεκριμένα (Υ. Li 2017):

- 1) Η βιομάζα του αστικού ξύλου έχει υψηλότερη θερμογόνο δύναμη λόγω του χαμηλότερου ποσοστού τέφρας και της υψηλότερης μέσης αναλογίας πτητικής ύλης και σταθερού άνθρακα.
- 2) Η ιλύς αστικών λυμάτων έχει μέσο επίπεδο τέφρας που είναι κάπως μεγαλύτερο από άλλους τύπους βιομάζας

5.1. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα αστικά στερεά απόβλητα αποτελούνται από αντικείμενα καθημερινής χρήσης, όπως απορρίμματα τροφίμων, χαρτί, πλαστικά, ξύλο, υφάσματα, μέταλλα και γυαλί.

Η διαχείρισή τους γίνεται συνήθως με συστήματα απόθεσης σε χωματερές , οι οποίες προκαλούν σοβαρά προβλήματα υγείας και περιβαλλοντικά ζητήματα.

Τα αστικά στερεά απόβλητα αποτελούν σημαντικό παγκόσμιο ζήτημα, καθώς η ετήσια παραγωγή κυμαίνεται μεταξύ 1-2 δισεκατομμυρίων τόνων. Επιπλέον, η Παγκόσμια Τράπεζα προβλέπει ότι μέχρι το 2050 η παραγωγή αποβλήτων θα φθάσει τους 3-4 δισεκατομμύρια τόνους. Η θερμοχημική μετατροπή των ΑΣΑ, με θερμογόνο δύναμη να κυμαίνεται $17-36 \text{ MJ kg}^{-1}$, παρέχει δυνατότητα μετατροπής της αποθηκευμένης χημικής ενέργειας από τον άνθρακα σε θερμική, μηχανική και ηλεκτρική ενέργεια, συνεπώς να χρησιμεύουν ως ανανεώσιμο καύσιμο για διεργασίες καύσης και αεριοποίησης (Kabir Abogunde Abdulyekeen 2021).

5.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η ανάκτηση ενέργειας από απόβλητα περιλαμβάνει τη μετατροπή μη ανακυκλώσιμων υλικών σε αξιοποιήσιμη θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια ή καύσιμα μέσω διεργασιών, όπως η καύση, η αεριοποίηση, η πυρόλυση, η αναερόβια χώνευση και η ανάκτηση αερίου από χώρους υγειονομικής ταφής. Το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων χωρίζεται σε τρεις τεχνικές επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, τη βιολογική επεξεργασία, τη θερμική επεξεργασία και την πυρόλυση με τη βοήθεια μικροκυμάτων (N. G. Ayesha Tariq Sipra 2018):

- 1) *Βιολογική επεξεργασία:* περιλαμβάνει την κομποστοποίηση, η οποία είναι η αναερόβια χώνευση των οργανικών αποβλήτων σε βιοαέριο πλούσιο σε μεθάνιο με τη χρήση μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια. Η διαδικασία αυτή είναι αποτελεσματική για υγρά οργανικά απόβλητα όπως απόβλητα τροφίμων, υλός λυμάτων, γεωργικά υπολείμματα ή ενεργειακές καλλιέργειες.
- 2) *Θερμική επεξεργασία:* περιλαμβάνει διεργασίες καύσης (αποτέφρωση), αεριοποίησης και πυρόλυσης. Η αποτέφρωση παράγει τέφρα πυθμένα και ιπτάμενη τέφρα ως παραπροϊόντα, ενώ η αεριοποίηση οξειδώνει μερικώς τα οργανικά απόβλητα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, παράγοντας βιοαέριο ως πολύτιμο προϊόν.

- 3) *Πυρόλυση*: περιλαμβάνει την αποσύνθεση των οργανικών υλικών απουσία οξυγόνου/αέρα σε σημαντικά εύρη θερμοκρασιών, δηλαδή διεργασίες καύσης, αεριοποίησης και πυρόλυσης. Η αργή πυρόλυση μειώνει την αποδοτικότητα της επεξεργασίας, γι' αυτό προτιμάται ως επί το πλείστον η γρήγορη πυρόλυση. Η βοήθεια των μικροκυμάτων επιτρέπει την εξάλειψη για τεμαχισμό της πρώτης ύλης και βελτιώνει την ποιότητα θέρμανσης, καθιστώντας την κατάλληλη για εμπορική αξιοποίηση σε μεγάλη κλίμακα.

5.3. ΑΣΤΙΚΑ ΛΥΜΑΤΑ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η ανάκτηση ωφέλιμων στοιχείων από τα υγρά απόβλητα μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη λιπασμάτων με απαιτούμενα επίπεδα N, P και K, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για γεωργικούς σκοπούς. Η βιομάζα που λαμβάνεται μετά την ανάκτηση των θρεπτικών στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας, δεδομένου ότι αποτελεί πλούσια πηγή οργανικής ύλης. Το νερό, ένας πολύτιμος πόρος στην εποχή της υδατικής κρίσης, μπορεί να ληφθεί από τα απορριπτόμενα λύματα για διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, για παράδειγμα άρδευση και ιχθυοκαλλιέργειες. Οι τεχνολογίες ανάκτησης πόρων κατηγοριοποιούνται σε χημικές-καταλυτικές τεχνολογίες, θερμοχημικές τεχνολογίες, τεχνολογίες διαχωρισμού και βιολογικές τεχνολογίες (Asfak Patel a 2021).

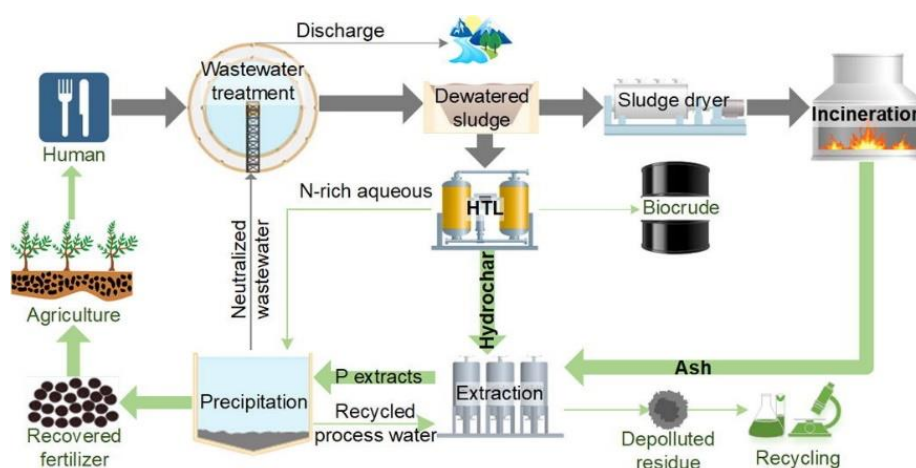
5.3.1. ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ

Σε μια στρατηγική κυκλικής οικονομίας, η ανάκτηση και η ανακύκλωση φωσφόρου είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση της έλλειψης του, τη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, τη μείωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων και τη διατήρηση της τοπικής παραγωγής τροφίμων.

Οι θερμοχημικές διεργασίες, όπως η αποτέφρωση και η υδροθερμική υγροποίηση (HTL), αποτελούν σημαντικές εναλλακτικές λύσεις στις συμβατικές οδούς διάθεσης στερεών αποβλήτων, όπως η αστική ύλη. Προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως υψηλή

απόδοση, μείωση του όγκου των αποβλήτων, καταστροφή οργανικών ρύπων και η απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών. Η τέφρα και υδρογονάνθρακας, που παράγονται από την αποτέφρωση και το HTL, είναι συμπυκνωμένα με P. Η τέφρα της ιλύος θα μπορούσε να είναι μια πιο υποσχόμενη πηγή από τα λύματα και τη δημοτική ιλύ για την ανάκτηση φωσφόρου (Huan Liu a 2021).

Η θερμοχημική επεξεργασία της αστικής ιλύος (Εικόνα 11), περιλαμβάνει την αποτέφρωση, η οποία εξουδετερώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς και την οργανική ύλη με πλήρη καύση στους 750-900 °C. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει ξήρανση της ιλύος, καύση σε αποτεφρωτήρα, παραγωγή θερμότητας, συλλογή τέφρας και καθαρισμό των καυσαερίων.



Εικόνα 11 Ανάκτηση φωσφόρου από λύματα

Ο περισσότερος P συγκεντρώνεται στην τέφρα από την αποτέφρωση, αλλά είναι απίθανο να εφαρμοστεί ευρέως λόγω των υψηλών επενδύσεων σε εγκαταστάσεις αποτέφρωσης. Η υδροθερμική επεξεργασία (HTL) είναι μια υδροθερμική διεργασία που ταιριάζει σε υγρά απόβλητα βιομάζας με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, εξοικονομώντας το υψηλό κόστος ξήρανσης της πρώτης ύλης. Η HTL μετατρέπει τη βιομάζα ιλύος σε βιορευστό, ένα υγρό μείγμα ελαφρά οξυγονωμένων υδρογονανθράκων, με υψηλότερη θερμογόνο δύναμη 30-38 MJ/kg (Huan Liu a 2021).

Η πηγή και τα χαρακτηριστικά των λυμάτων παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Για την επιτυχή ανάκτηση απαιτείται μια πλήρης σειρά

επεξεργασίας που περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες. Η επιλογή της επεξεργασίας θα πρέπει να βασίζεται στην οικονομική σκοπιμότητα, την ανθεκτικότητα της διαδικασίας, τη σταθερότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Ακόμη, πρέπει να αναπτυχθούν πολιτικές για τη μέγιστη ανάκτηση πόρων, την παραγωγή ενέργειας και την επεξεργασία λυμάτων, ώστε να δημιουργηθούν εργοστάσια διαχείρισης υδάτινων πόρων και επεξεργασίας λυμάτων, με στόχο να προωθηθεί μια κυκλική βιοοικονομία.

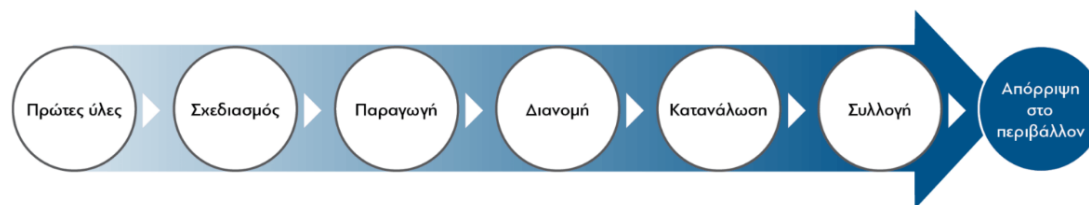
5.4. ΚΥΚΛΙΚΗ ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ



Σχήμα 7 Κυκλική οικονομία (Medium n.d.)

Η μετάβαση του κόσμου από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία είναι ζωτικής σημασίας για την εξισορρόπηση της κλιμακούμενης επιβάρυνσης των υδάτινων πόρων. Οι προηγμένες τεχνολογίες στην επεξεργασία και διαχείριση των λυμάτων προσφέρουν διάφορους τρόπους ανάκτησης/μετατροπής των πόρων από τα λύματα ως πηγή παραγωγής εσόδων με την παραγωγή θρεπτικών ουσιών, λιπασμάτων και ενέργειας. Η καθιέρωση μιας κυκλικής ροής πόρων μπορεί να βοηθήσει τον τομέα

των υδάτων να συμβάλει στην επίτευξη των εθνικών και διεθνών στόχων βιώσιμης ανάπτυξης (Debajyoti Kundu a 2022).



Σχήμα 8 Γραμμική Οικονομία (διαΝΕΟσις n.d.)

Μια καλά σχεδιασμένη πλατφόρμα ανάκτησης πόρων μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη του τομέα της αποχέτευσης και των λυμάτων με βιώσιμο τρόπο. Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές έχουν μειονεκτήματα, όπως η υψηλή ποσότητα κατανάλωσης μαγνησίου και το λειτουργικό κόστος παρ' όλα αυτά, όλες έχουν υψηλό βαθμό ανάκτησης των θρεπτικών στοιχείων (Asfak Patel a 2021).

Ένας βασικός στόχος των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης για το νερό για το 2030 είναι η μείωση της ρύπανσης, η εξάλειψη της απόθεσης σε χωματερή, η ελαχιστοποίηση έκλυσης επικίνδυνων χημικών ουσιών, η μείωση των ανεπεξέργαστων λυμάτων στο μισό σε παγκόσμια κλίμακα και η αύξηση της ανακύκλωσης και της ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης. Τα υγρά απόβλητα μπορούν να θεωρηθούν άφθονη πηγή πολύτιμων και βιώσιμων πόρων στο πλαίσιο μιας κυκλικής οικονομίας, η οποία εξισορροπεί την οικονομική ανάπτυξη με τη διατήρηση των φυσικών πόρων (Debajyoti Kundu a 2022).

Η κυκλική οικονομία επικεντρώνεται στην αποτελεσματική χρήση των πόρων και την ανακύκλωση για τη μείωση των αποβλήτων και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Τα βιοκαύσιμα είναι ανανεώσιμα και μπορούν να χρησιμοποιούνται επανειλημμένα χωρίς να εξαντλούνται οι πηγές τους, μειώνοντας την εξάρτηση από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εισαγωγές καυσίμων. Η παραγωγή βιοκαυσίμων βελτιώνει επίσης, τη βιωσιμότητα στη γεωργία και τη δασοκομία, καθώς μειώνει την κατανάλωση παραδοσιακών καυσίμων και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος,

συμβάλλει στην ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στον γεωργικό τομέα, επιτρέποντας στους αγρότες να καλλιεργούν καλλιέργειες βιοενέργειας και να παράγουν βιοκαύσιμα (ΚΟΚΚΙΝΟΣ 2023).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενέργεια ως κρίσιμο και παγκόσμιο αγαθό, αποτελεί πρόκληση στην εξισορρόπηση μεταξύ της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται και της περιορισμένης δυναμικότητας της Γης για παραγωγή ενέργειας. Οι πράσινες, ανανεώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας μπορούν να αντιμετωπίσουν τα σημερινά και μελλοντικά ενεργειακά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Τα μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα εκπέμπουν επιβλαβείς ρύπους, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στο λιώσιμο των πάγων. Η ενέργεια από βιομάζα, που λαμβάνεται μέσω της φωτοσύνθεσης, είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με θετικές και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, μειώνει τα απόβλητα, είναι ενεργειακά ανεξάρτητη και είναι ουδέτερη ως προς το αποτύπωμα άνθρακα. Εκτός από την παροχή καυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση και τη διατήρηση της γης. Απαιτεί, ωστόσο, χρήση γης και εντατική σε πόρους καλλιέργειας, στην συγκομιδή, στην επεξεργασία, καθώς και στα έξοδα μεταφοράς, τα οποία μπορούν να ενισχύσει τόσο την τοπική οικονομία όσο και να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας.

Μια από τις πολλές χρήσεις του βιοελαίου, μια από τις ανανεώσιμες πρώτες ύλες, είναι η οικιακή θέρμανση μικρής κλίμακας αλλά και η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Η μέθοδος μέτρησης του καυσίμου, η ηλικία του κινητήρα και το ιστορικό συντήρησης είναι μερικά από τα στοιχεία που επηρεάζουν το κόστος του βιοελαίου. Σε σύγκριση με την ηλεκτροχημική μέθοδο, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια και διοξείδιο του άνθρακα, η θερμοχημική προσέγγιση από βιομάζα είναι πιο πρακτική. Το βιοαέριο, μια εναλλακτική λύση χαμηλού CO₂ σε σχέση με το φυσικό αέριο, παράγεται μέσω αναερόβιας χώνευσης της οργανικής ύλης με υψηλότερη συγκέντρωση μεθανίου. Ωστόσο, η απόδοση της καύσης είναι χαμηλή λόγω της περιεκτικότητας του CO₂. Για τη μείωση των

εκπομπών, το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης πλούσιο σε υδρογόνο μέσω διεργασιών αναμόρφωσης. Τα λύματα, τα οποία περιέχουν ευεργετικά συστατικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία λιπασμάτων, παραγωγή ενέργειας και χρήσεις νερού για βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η ιχθυοκαλλιέργεια και η άρδευση.

Η κυκλική οικονομία επικεντρώνεται στην αποτελεσματική χρήση των πόρων και την ανακύκλωση για τη μείωση των αποβλήτων και τη βελτίωση στην ποιότητας ζωής. Η παραγωγή βιοκαυσίμων από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα περιττώματα φυτών, τα απόβλητα τροφίμων και η κοπριά ζώων μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα παραδοσιακά καύσιμα, να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να βελτιώσει τη βιωσιμότητα στη γεωργία και τη δασοκομία. Τέλος, επιτρέποντας στους αγρότες να καλλιεργούν παραγωγές βιοενέργειας και να δημιουργούν βιοκαύσιμα, συμβάλλει στην προώθηση της αγροτικής οικονομίας και στη δημιουργία θέσεων εργασίας στον γεωργικό τομέα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AgroEnergy. n.d. <http://www.agroenergy.gr>.

al, Gary et. *Computer Aided Chemical Engineering*. 1994.

Alan C. Hansen a, Qin Zhang a, Peter W.L. Lyne b. *Ethanol–diesel fuel blends — a review*. 15 June 2004.

Amir Mehdi Dehkhoda, Alex H. West, Naoko Ellis. «Biochar based solid acid catalyst for biodiesel production.» *Applied Catalysis A: General*, 25 Μάιος 2010: 197–204.

Anamaria Paiva Pinheiro Pires, Jesus Arauzo, Isabel Fonts, Marcelo E. Domine, Alberto Fernández Arroyo, Marta Estrella Garcia-Perez, Jorge Montoya, Farid Chejne, Peter Pfromm, and Manuel Garcia-Perez. *Challenges and Opportunities for Bio-oil Refining: A Review*. 22 April 2019.

Asfak Patel a, Ambika Arkatkar a, Srishti Singh b, Alija Rabbani b, Juan David Solorza Medina b, Ee Shen Ong b, Mahmoud M. Habashy b, Dipak A. Jadhav c, Eldon R. Rene b, Alka A. Mungray a, Arvind Kumar Mungray. *Physico-chemical and biological treatment strategies for converting municipal wastewater and its residue to resources*. 22 May 2021.

Ayesha Tariq Sipra, Ningbo Gao, , Haris Sarwar. «Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts.» *Fuel Processing Technology*, 15 Ιουλίου 2018: 131-147.

- Ayesha Tariq Sipra, Ningbo Gao, Haris Sarwar. *Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts*. 13 April 2018.
- AZOCLEANTECH. n.d. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=713>.
- Bascetincelik, H. Huseyin Ozturk and Ali. *Energy Exploitation of Agricultural Biomass Potential in Turkey*. Άδανα, 2006.
- BASF. *BASF Corporation*. n.d. <https://agriculture.basf.us/crop-protection/crops/rape-canola.html>.
- Bridgwater, A.V. «Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.» *Biomass and Bioenergy*, 3 Μάρτιος 2011: 68-94.
- Dang Saebea a b, Suthida Authayanun c, Amornchai Arpornwichanop d. *Process simulation of bio-dimethyl ether synthesis from tri-reforming of biogas: CO2 utilization*. 20 March 2019.
- Debajyoti Kundu a, Deblina Dutta a, Palas Samanta b, Sukhendu Dey c, Knawang Chhunji Sherpa d, Sunil Kumar a, Brajesh Kumar Dubey. *Valorization of wastewater: A paradigm shift towards circular bioeconomy and sustainability*. 29 July 2022.
- Demibas, A., και G. Arin. « An overview of biomass pyrolysis.» *Energy Source Part A* , 2002: 471–482.
- Demirba\$, A. Hilal. «Yields and Heating Values of Liquids and Chars from Spruce Trunkbark Pyrolysis.» *Energy Source Part A*, 20 Αύγουστος 2005: 1367-1373.
- DEMIRBAS1, A. *Global Renewable Energy Projections*. 14 Απρίλιος 2009.
- Diebold, J.P. *A Review of the Chemical and Physical Mechanisms of the Storage Stability of Fast Pyrolysis Bio-Oils*. Ιανουάριος 2000.
- E. Fortunati, F. Luzi, D. Puglia, L. Torre. *Chapter 1 - Extraction of Lignocellulosic Materials From Waste Products*. 22 Ιούλιος 2016.
- Emmanuel Rodríguez, Guillermo Félix, Jorge Ancheyta, Fernando Trejo. *Modeling of hydrotreating catalyst deactivation for heavy oil hydrocarbons*. 2018.
- Energy education*. n.d. https://energyeducation.ca/encyclopedia/End_use_energy.
- Energy, Department of. n.d. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioenergizeme-virtual-science-fair-history-biomass>.
- Ewelina Pawelczyk, Izabela Wysocka, Jacek Gębicki. *Pyrolysis Combined with the Dry Reforming of Waste Plastics as a Potential Method for Resource Recovery—A Review of Process Parameters and Catalysts*. 23 Μάρτιος 2022.
- Feng Cheng, Xiuwei Li. *Preparation and Application of Biochar-Based Catalysts for Biofuel Production*. 24 Αύγουστος 2018.
- generizon. n.d. <https://generizon.com/biomass-organic-matter-energy-africa/>.
- Gerhard Knothe a, Luis F. Razon. *Biodiesel fuels*. 9 November 2016.

- Hannula, Ilkka. *Co-production of synthetic fuels and district heat from biomass residues, carbon dioxide and electricity: Performance and cost analysis*. 22 January 2015.
- Heydenrych, Mike. *Research Gate*. n.d. www.researchgate.net.
- Huan Liu a, Guangji Hu b, Ibrahim Alper Basar a, Jianbing Li c d, Nathalie Lyczko e, Ange Nzihou e, Cigdem Eskicioglu. *Phosphorus recovery from municipal sludge-derived ash and hydrochar through wet-chemical technology: A review towards sustainable waste management*. 17 March 2021.
- IEA. *International Energy Agency*. 2023. www.iea.org.
- ieabioenergy. n.d. <https://task34.ieabioenergy.com/bio-oil/>.
- Ingwald Obernberger, Thomas Brunner, Georg Baernthaler. *Chemical properties of solid biofuels—significance and impact*. 20 September 2006.
- J.M. Marchetti, A.F. Errazu. *Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presence of triglycerides*. 4 Μάρτιος 2008.
- Javier Feroso, Patricia Pizarro, Juan M. Coronado, David P. Serrano. *Advanced biofuels production by upgrading of pyrolysis bio-oil*. 23 February 2017.
- Kabir Abogunde Abdulyekeen, Ahmad Abulfathi Umar a, Muhamad Fazly Abdul Patah a, Wan Mohd Ashri Wan Daud a. *Torrefaction of biomass: Production of enhanced solid biofuel from municipal solid waste and other types of biomass*. 12 July 2021.
- Karthik Velusamy, Jamunarani Devanand, Ponnusamy Senthil Kumar, Kalaivani Soundarajan, Veena Sivasubramanian, Jaisankar Sindhu, Dai-Viet N. Vo. «A review on nano-catalysts and biochar-based catalysts for.» *Fuel*, 15 Δεκέμβριο 2021.
- Knothe, Gerhard. *Biodiesel and renewable diesel: A comparison*. Peoria, 24 December 2009.
- L.P. Dancuart, R. de Haan, A. de Klerk. *Chapter 6 - Processing of Primary Fischer-Tropsch Products*. 2004.
- Leea, Jechan. *Biochar as a Catalyst*, Ki-Hyun Kimb, Eilhann E. Kwon. 7 April 2017.
- Lijian Leng, Lihong Yang, Xinni Lei, Weijin Zhang, Zejian Ai, Zequn Yang, Hao-Yue Zhan, Jianping Yang, Xingzhong Yuan, Haoyi Peng, Hailong Li. «Machine learning predicting and engineering the yield, N content, and specific surface area of biochar derived from pyrolysis of biomass.» *Biochar*, 29 Νοέμβριος 2022.
- Maradin, Dario. *Advantages and disadvantages of renewable energy*. 2021.
- Medium. n.d. <https://medium.com/@rjbcgxmkw/circular-economy-the-pathway-to-sustainable-consumption-80b234b385f9>.
- Mukesh Kumar, M.P. Sharma. *Assessment of potential of oils for biodiesel production*. 28 January 2015.
- Pritam Bardhan, Anuron Deka, Satya S. Bhattacharya, Manabendra Mandal, Rupam Kataki. «Chapter 18 - Economical aspect in biomass to biofuel production.» *Value-Chain of Biofuels*, 12 Νοέμβριος 2022: 395-427.

- R. Mythili, P. Venkatachalam, P. Subramanian, D. Uma. «Characterization of bioresidues for biooil production through pyrolysis.» *Bioresource Technology*, 1 Απρίλιος 2013: 71-78.
- Rahul Mishra a b, Hwai Chyuan Ong b, Chi-Wen Lin a c. «Energy Conversion and Management.» 2023.
- Samson Nnaemeka Ugwu a c d, Kevin Harding b, Christopher Chintua Enweremadu a. *Comparative life cycle assessment of enhanced anaerobic digestion of agro-industrial waste for biogas production*. 2 March 2022.
- Shuangning Xiu, Abolghasem Shahbazi. *Bio-oil production and upgrading research: A review*. 20 Ιούνιος 2012.
- Stanislav V. Vassilev, Christina G. Vassileva, Yun-Cai Song, Wen-Ying Li, Jie Feng. *Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion*. 18 July 2017.
- System/ORNL, Genome Management Information. n.d.
- T. Cornelissen a, J. Yperman, G. Reggers a, S. Schreurs, R. Carleer. «Flash co-pyrolysis of biomass with polylactic acid. Part 1: Influence on bio-oil yield and heating value.» *Fuel*, Ιούλιος 2008: 1031-1041.
- T.S. Awad, H.A. Moharram, O.E. Shaltout, D. Asker, M.M. Youssef. *Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review*. October 2012.
- U.S. Energy Information Administration, Monthly Energy Review. 2023.
<https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>.
- Vamvuka, D. *Bio-oil, solid and gaseous biofuels from biomasspyrolysis processes—An overview*. Crete, Hania, 3 Ιανουάριος 2011.
- wastetoenergysystems. n.d. <https://www.wastetoenergysystems.com/types-of-gasification-which-is-the-best-process/>.
- Williams, Paul T. «Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures.» *Resources, Conservation and Recycling*, Οκτώβριος 2007: 754-769.
- Xinni Xiong, Iris K.M. Yu, Leichang Cao, Daniel C.W. Tsang, Shicheng Zhang, Yong Sik Ok. *A review of biochar-based catalysts for chemical synthesis, biofuel production, and pollution control*. 3 July 2017.
- Y. Li, L.W. Zhou, R.Z. Wang. *Urban biomass and methods of estimating municipal biomass resources*. 2 June 2017.
- Yi Heng Chan, Soh Kheang Loh, Bridgid Lai Fui Chin, Chung Loong Yiin, Bing Shen How, Kin Wai Cheah f, Mee Kee Wong, Adrian Chun Minh Loy, Yong Ling Gwee, Shirleen Lee Yuen Lo, Suzana Yusup, Su Shiung Lam. *Fractionation and extraction of bio-oil for production of greener fuel and value-added chemicals: Recent advances and future prospects*. 1 Οκτώβριος 2020.
- Agroenergy. n.d. <http://www.agroenergy.gr/categories>.

- Αλεξάνδρα, Διαμαντή. *Η εφοδιαστική αλυσίδα διαχείρισης βιομάζας για παραγωγή θερμικής ενέργειας σε βιομηχανική μονάδα*. Θεσσαλονίκη, Μάιος 2021.
- Αντωνοπούλου, Γεωργία. *Ένα Σχέδιο Υποκατάστασης των Ενεργειακών Πηγών στην Ελλάδα από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023.
- Γρομτσάρης Αλέξανδρος, Πίνης Αθανάσιος. *Αξιοποίηση της Βιομάζας για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμικής Ενέργειας (Σ.Η.Θ.Ε)*. Αθήνα, Ιούνιος 2012.
- διαΝΕΟσις, ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ. n.d.
<https://www.dianeosis.org/2022/10/mia-kykliki-oikonomia-gia-tin-ellada/>.
- ΙΖΑΜΠΕΛΑ-ΝΕΛΛΗ, ΣΙΔΕΡΗ. *Ολοκληρωμένη χρήση της πυρόλυσης για την αξιοποίηση της βιομάζας στην παραγωγή καυσίμων*. Αθήνα , 2021.
- ΚΟΚΚΙΝΟΣ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ. *ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΣΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ : ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ*. ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2023.
- Κυπριωτάκης, Γιώργος. *Η ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*. ΑΘΗΝΑ, 2008.
- ΜΑΤΣΙΟΣ. *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ*. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2012.
- ΠΑΠΑΠΕΤΡΟΥ, ΒΑΣΙΛΙΚΗ. *Παραγωγή ενεργού άνθρακα μέσω διεργασίας*. ΙΩΑΝΝΙΝΑ , 2021.
- Πατέρα, Αιμιλία. *Πειραματική διερεύνηση της απόδοσης διβάθμιων συστημάτων αναερόβιας υδρόλυσης πρωτοβάθμιας ιλύος*. Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016.
- Ρακόπουλος, Δημήτριος. *Καύση και εκπομπή ρύπων υγρών βιοκαυσίμων σε κινητήρες diesel*. Αθήνα, 2007.
- Ρουμελιώτης, Στυλιανός. *ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ*. Θεσσαλονίκη, Αύγουστος 2020.
- Σανδάλης, Ιωάννης Κ. *Παραγωγή βιοερίου στην αναερόβια χώνευση απορριμμάτων*. Αθήνα, Μάρτιος 2012.
- Σμέτη, Χριστίνα Χ. *Παραγωγή Μεθυλεστέρων (FAME) με τη Χρήση Βασικών*. 29 Ιανουάριος 2013.
- Τζανίδης, Ανέστης-Μάριος. *Αξιολόγηση ποικιλιών ελαιοκράμβης και εκτίμηση γενετικών παραμέτρων που αφορούν τα συστατικά απόδοσης και την ποιότητα του παραγόμενου βιοελαίου*. Βόλος, 2008.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

https://www.researchgate.net/figure/Solid-bio-char-obtained-from-slow-pyrolysis-of-rice-husk_fig4_317798247

https://www.researchgate.net/figure/The-chemical-reaction-equation-for-catalyzed-biodiesel-production-Transesterification_fig1_221915066

https://www.researchgate.net/figure/Soap-formation-from-free-fatty-acids_fig3_288263622

<https://task34.ieabioenergy.com/bio-oil/>

<http://www.agroenergy.gr/categories/%cf%83%cf%84%ce%b5%cf%81%ce%b5%ce%ae-%ce%b2%ce%b9%ce%bf%ce%bc%ce%ac%ce%b6%ce%b1>

<https://www.airproducts.de/gases>

<https://www.csiro.au/en/research/technology-space/energy/Energy-in-the-circular-economy/Biomass-to-energy>

https://www.researchgate.net/figure/Post-pyrolysis-char-obtained-after-the-separation-of-the-solid-fraction_fig2_350335214

<https://agriculture.basf.us/crop-protection/crops/rape-canola.html>

<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/17/3615>

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-the-microstructure-of-a-cellulosic-fiber-a-Plant-wood-fiber_fig1_348816588

<https://www.mdpi.com/2073-4344/12/4/362>

https://www.researchgate.net/figure/Sample-of-bio-oil-obtained-from-pyrolysis-of-wheat-straw_fig1_332176130

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423003291>

<https://medium.com/@rjbcgxmkw/circular-economy-the-pathway-to-sustainable-consumption-80b234b385f9>

<https://www.dianeosis.org/2022/10/mia-kykliki-oikonomia-gia-tin-ellada/>

<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=713>

<https://generizon.com/biomass-organic-matter-energy-africa/>

<https://www.wastetoenergysystems.com/types-of-gasification-which-is-the-best-process/>

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/entrained-flow-gasifier>

<https://www.allperfectstories.com/renewable-energy/>