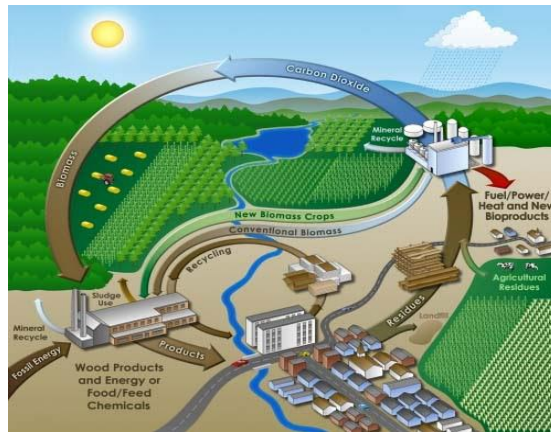




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Βιώσιμη παραγωγή βιομάζας από Γεωργικά και Δασικά Απόβλητα»

(Sustainable biomass production from Agricultural and Forest waste matters)

Ζήσης Νικόλαος – Μιλτιάδης

Επιβλέπων Καθηγητής:
Καθηγητής, Δρ. Ιωάννης Μανιάτης

Πειραιάς, 2024

ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του

Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο

“Βιώσιμη Παραγωγή Βιομάζας από Γεωργικά και Δασικά Απόβλητα”

καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και οι πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητός μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ζήσης Νικόλαος Μιλτιάδης, 2024, Πειραιώς

Υπογραφή Φοιτητή:

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενεργειακή βιωσιμότητα έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον στον απόηχο της κλιματικής αλλαγής και η ενέργεια από βιομάζα βρίσκεται στην πρώτη γραμμή. Στο παρόν έγγραφο αξιολογείται η δυνατότητα της Ελλάδας, που είναι πλούσια σε φυσικούς πόρους, να βρεθεί στην πρώτη γραμμή στην παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Η ετήσια εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας της Ελλάδας ανέρχεται σε 2,13 εκατομμύρια τόνους, κυρίως από τη γεωργία και τη δασοκομία, το οποίο μέχρι σήμερα δεν έχει αξιοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό. Γεγονός που την τοποθετεί σε ιδιαίτερα ευνοϊκή θέση σε ευρωπαϊκό επίπεδο για την παραγωγή βιοενέργειας. Το πραγματικό ενεργειακό δυναμικό όλων αυτών των γεωργικών υπολειμμάτων βρίσκεται υπό μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται η αποδοτικότητα στη διαδικασία μετατροπής και οι αντίστοιχες γεωγραφικές περιοχές κατανομής, με ιδιαίτερη έμφαση σε περιοχές με μεγάλη αφθονία βιομάζας, όπως η Κεντρική Μακεδονία, η Κρήτη και η Θεσσαλία. Επίσης, η παρούσα εργασία ερευνά τη σημασία που έχει η ανακύκλωση της βιομάζας με προέλευση από τα γεωργικά και δασικά απόβλητα καθώς στόχος αυτής είναι η διατήρηση και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Διενεργεί έναν πλήρη έλεγχο για τις προκλήσεις που θέτει η κλιμάκωση της παραγωγής των αποβλήτων, τις σοβαρές επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου και επιπλέον προτείνει ενδεχόμενες λύσεις για μια αποτελεσματική διαχείριση. Διότι η επιτυχής παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη συμπερίληψη βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων. Τέλος, αξιολογείται ο τρόπος με τον οποίο το σημερινό ελληνικό ρυθμιστικό πλαίσιο εντάσσεται στις οδηγίες της ΕΕ, ώστε η ελληνική βιομηχανία βιοενέργειας να εναρμονιστεί επαρκώς με τους γενικούς ευρωπαϊκούς στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: Ανακύκλωση βιομάζας, Γεωργικά απόβλητα, Δασικά απόβλητα, Διατήρηση Περιβάλλοντος, Ενέργεια από βιομάζα, Ελλάδα, Κλιματική αλλαγή, Υπολείμματα γεωργίας, Πολιτική ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Οδηγίες της ΕΕ, Αειφόρος ανάπτυξη, Ενεργειακή οικονομία.

Abstract

Energy sustainability has attracted much interest in the wake of climate change, and biomass energy is at the forefront. This paper assesses the potential for Greece, which is rich in natural resources, to be at the forefront of biomass energy production. Greece's annual biomass potential is estimated at 2.13 million tonnes, mainly from agriculture and forestry, which to date has not been fully exploited. This puts Greece in a particularly favourable position at European level for the production of bioenergy. The real energy potential of all these agricultural residues is currently being studied. More specifically, the efficiency in the conversion process and the corresponding geographical areas of distribution are analysed, with particular emphasis on regions with high biomass abundance, such as Central Macedonia, Crete and Thessaly. Also, this paper investigates the importance of recycling of biomass derived from agricultural and forestry waste as its aim is to preserve and sustain the environment. It conducts a comprehensive review on the challenges posed by the scaling up of waste production, its serious impacts on the environment and human health and further suggests possible solutions for an effective management. Because successful biomass energy production is inextricably linked to the inclusion of sustainable waste management practices. Finally, the way in which the current Greek regulatory framework is integrated with the EU directives is evaluated in order to ensure that the Greek bioenergy industry is adequately aligned with the general European renewable energy targets.

Keywords: Biomass recycling, Agricultural waste, Forestry waste, Environment preservation, Sustainability, Waste production, Biomass energy , Greece , Climate change , Climate change , Agricultural residues, Renewable energy policy , EU directives , Sustainable development , Energy economy.

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2. 1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	4
Εικόνα 2. 2: Ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας (ΚΑΠΕ & ΥΠΑΝ, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιομάζας)	8
Εικόνα 2. 3: Τύποι βιομάζας	9
Εικόνα 2. 4 : Ενεργειακές Καλλιέργειες για την Παραγωγή Υγρών Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.	13
Εικόνα 2. 5 Ενεργειακές Καλλιέργειες Ξηρής Βιομάζας στην Ελλάδα/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.....	14
Εικόνα 2. 6 : Απαιτούμενο Ποσοστό Έκτασης για Λειτουργία Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.....	15
Εικόνα 2. 7: Παραγόμενη Ενέργεια από Γεωργικά Υπολείμματα σε Όλο τον Κόσμο. /Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.	17
Εικόνα 2. 8: Παραγόμενη Ενέργεια από Εκμετάλλευση 25 kg Κτηνοτροφικών Αποβλήτων. /Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.....	20
Εικόνα 2. 9: Εργοστάσιο Παραγωγής Χαρτιού με Επεξεργασία Kraft & Ενεργειακή Αξιοποίηση του BLS./Πηγή: www.andritz.com	22
Εικόνα 2. 10: Τεχνολογία Black Liquor Gasification – BLG για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας./Πηγή: www.sciencedirect.com	23
Εικόνα 2. 11: Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια από Διαφορετικού Είδους Τροφικά Απόβλητα. /Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.	25
Εικόνα 2. 12: Μονάδες Παραγωγής και Συμπαγωγής Ηλεκτρικής - Θερμικής Ενέργειας με Εκμετάλλευση Τροφικών Αποβλήτων	26
Εικόνα 2. 13 Πίνακας 2.13/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμά 2022.	30
Εικόνα 2. 14: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (2017).....	39
Εικόνα 2. 15 : Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (τόνοι ξηρής ουσίας) (2017)	40
Εικόνα 2. 16 : Είδος Βιομάζας , Άχυρο Σιτηρών (2017)	40
Εικόνα 2. 17: Υπολείμματα Αραβοσίτου (2017)	41
Εικόνα 2. 18: Κλαδιά Ελιάς (2017)	41
Εικόνα 2. 19: Στελέχη Βαμβακιού (2017)	42

Εικόνα 2. 20: Χάρτης με τα δάση και τις δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα (2022).....	44
Εικόνα 2. 21: Κατανομή δασών στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο.(2011).....	45
Εικόνα 2. 22 Πίνακας 2.2.2.1 Δασική Ξυλεία/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμα 2022.	46
Εικόνα 2. 23: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό καυσόξυλων: 410.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος, Ενεργειακό δυναμικό: 7.7 PJ/έτος (2.1 TWh) (2017)	49
Εικόνα 2. 24: Κατηγοριοποίηση Δασικής Βιομάζας	52
Εικόνα 2. 25: Κίνηση των υλικών και των αερίων κατά τη διαδικασία αεριοποίησης.....	61
Εικόνα 2. 26: Thermochemical Conversion of Biomass.....	62

Εικόνα 4. 1: Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας και κατανάλωση στερεών βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2020 και το 2021 (σε Mtoe)	77
Εικόνα 4. 2:Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2020 και το 2021 (σε TWh).....	79
Εικόνα 4. 3:Το εργοστάσιο GoBiGas (πράσινο κτίριο) και ο περιβάλλον χώρος, συμπεριλαμβανομένου του προστατευόμενου δάσους Rya.....	93
Εικόνα 4. 4Värtaverket biofuelled CHP plant in Stockholm.....	95
Εικόνα 4. 5:Biogas/biomethane potential in bcm, by feedstock for Spain (inner pie gasification and outer circle AD) (source: Guidehouse: Gas for Climate Report, 2022)	101
Εικόνα 4. 6: Portugal monthly electricity balance (2021).....	105

Πίνακας 5. 1: Κατανομή της ετήσιας παραγωγής βιομάζας, σε τόνους, ανά κατηγορία γεωργικών αποβλήτων στην Ελλάδα (2013)	114
Πίνακας 5. 2: Ετήσιες ποσότητες βιομάζας ανά πηγή στην Ελλάδα (2017)	115
Πίνακας 5. 3: Δυναμικό ξυλώδους βιομάζας στην Ελλάδα ανά διοικητική περιφέρεια (ktonnes) (2017)	116
Πίνακας 5. 4: Δυναμικό ξυλώδους βιομάζας (δενδροφυτεύσεις και δάση) στην Ελλάδα ανά διοικητική περιφέρεια (ktonnes) (2017)	117

Πίνακας Περιεχομένων

<i>Περίληψη</i>	3
<i>1. Εισαγωγή</i>	1
<i>2. Βιομάζα ως Βιοενέργεια: Απόβλητα Γεωργίας Και Δασοκομίας</i>	3
2.1. Ιστορική Εξέλιξη της Βιοενέργειας και της Αξιοποίησης της Βιομάζας.....	6
2.2. Ταξινόμηση της Βιομάζας και πηγές Βιοενέργειας.....	9
2.2.1. Γεωργικά Απόβλητα: Τύποι και Ενεργειακό Δυναμικό	28
2.2.2. Δασικά Απόβλητα: Τύποι και Ενεργειακό Δυναμικό	43
2.3. Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας σε Ενέργεια και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις...53	
<i>3. Πολιτικές και Πρακτικές στη Διαχείριση Αποβλήτων</i>	63
<i>4. Το Ευρωπαϊκό τοπίο της Βιοενέργειας</i>	70
4.1. Τρέχουσα Κατάσταση της Βιοενέργειας στην Ευρώπη	73
4.2 Πολιτικές και Κανονιστικά Πλαίσια.	80
4.3 Μελέτες Περίπτωσης: Ιστορίες Επιτυχίας και Διδάγματα.....	86
4.3.1 Σουηδία & Φινλανδία.....	86
4.3.2 Γερμανία.....	96
4.3.3. Ισπανία	101
4.3.5 Πορτογαλία.....	105
<i>5. Η Βιομάζα στην Ελλάδα</i>	111
5.1. Επισκόπηση του Ελληνικού Ενεργειακού Τομέα	111
5.2. Διαχείριση Αποβλήτων Βιομάζας στην Ελλάδα	114
5.3. Αποδοτικότητα και Οικονομική Ανάλυση της Παραγωγής Βιοενέργειας.....	120
<i>6. Μελλοντικές Προοπτικές της Βιοενέργειας στην Ελλάδα</i>	125
6.1. Προοπτικές Εξέλιξης των Τεχνολογιών Βιοενέργειας	125
6.2. Επιπτώσεις για το Εθνικό Ενεργειακό Μείγμα και την Ενεργειακή Ασφάλεια	128
6.3. Κατευθύνσεις για Μελλοντική Έρευνα και Ανάπτυξη.....	131
<i>7. Συμπεράσματα</i>	134
<i>8. Βιβλιογραφικές Αναφορές</i>	138

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο επείγων χαρακτήρας της κλιματικής αλλαγής έχει επιφέρει καινοτόμες και βιώσιμες λύσεις σε σχέση με τη χρήση ενέργειας. Μεταξύ αυτών των παραγόντων που αποφέρουν διπλά οφέλη στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και στην αποτελεσματική επεξεργασία των αποβλήτων είναι η ενέργεια από βιομάζα. Σε αυτό το πλαίσιο, το έγγραφο εξετάζει τις τεράστιες δυνατότητες της Ελλάδας στη χρήση ενέργειας από βιομάζα γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων και τον τρόπο με τον οποίο η χώρα ωθείται προς την κατεύθυνση να γίνει πρότυπο ανανεώσιμης ενέργειας στην περιοχή της Μεσογείου.

Η διαχείριση των γεωργικών και δασικών αποβλήτων αποτελεί ένα από τα κορυφαία περιβαλλοντικά προβλήματα. Εάν δεν τύχουν κατάλληλης επεξεργασίας, τα υπολείμματα αποτελούν παράγοντα ρύπανσης και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα ίδια απόβλητα μπορούν, από την άλλη πλευρά, να αποτελέσουν σημαντική πηγή ενέργειας στο πλαίσιο μιας στρατηγικής διαχείρισης της αειφορίας, οδηγώντας έτσι την Ελλάδα πιο κοντά στους στόχους της για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα.

Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζεται κριτικά το δυναμικό βιομάζας της χώρας, εντοπίζοντας τυχόν περιοχές με υψηλή διαθεσιμότητα πόρων βιομάζας στην Ελλάδα: Κεντρική Μακεδονία, Κρήτη και Θεσσαλία. Οι περιοχές αυτές προσφέρουν μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια σταθερή βάση για την ανάπτυξη έργων βιοενέργειας. Σύγχρονες τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας Η παρούσα μελέτη εξετάζει θέματα αποδοτικότητας, περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οικονομικής σκοπιμότητας για να προτείνει τις πιο βιώσιμες μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Το συμπέρασμα είναι ότι ο τομέας της βιομάζας συνδέεται στενά με το ρυθμιστικό πλαίσιο. Το παρόν έγγραφο εξετάζει κριτικά την τρέχουσα κατάσταση του ελληνικού ρυθμιστικού πλαισίου σχετικά με τις οδηγίες της ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, στοχεύει στην εξέταση πιθανών κενών, προτείνοντας σχετικά μέτρα πολιτικής για τη δημιουργία ενός υποστηρικτικού πλαισίου για την περαιτέρω ανάπτυξη της βιομηχανίας βιομάζας στην Ελλάδα μέσω της κατάλληλης νομοθεσίας που ευνοεί την ανάπτυξη και την καινοτομία.

Τα πορίσματά της αποκαλύπτουν την πορεία προς τα εμπρός που πρέπει να ακολουθήσει η Ελλάδα για να καταστεί ηγετική χώρα στην ενεργειακή εκμετάλλευση της βιομάζας.

Στρατηγικά, με τεχνολογίες βιομάζας και πολιτική βούληση, η Ελλάδα μπορεί να εξασφαλίσει βιώσιμη ανάπτυξη από τους τεράστιους φυσικούς της πόρους.

Η διαχείριση των αποβλήτων, ιδίως όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν μπορεί να υπερτονιστεί σε αυτή την κρίσιμη στιγμή. Πράγματι, η Ελλάδα μπορεί κάλλιστα να πρωτοστατήσει σε θέματα βιωσιμότητας και να αποδειχθεί πρότυπο για άλλες χώρες. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική διαχείριση των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων καθίσταται στρατηγική προτεραιότητα όχι μόνο για λόγους διατήρησης του περιβάλλοντος αλλά και για τη σταθερή υποστήριξη της οικονομικής και ενεργειακής μετάβασης. Η παρούσα διατριβή πιστοποιεί το δυναμικό της ενέργειας από βιομάζα για ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μέλλον, ελπίζουμε όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και πέραν αυτής.

2. ΒΙΟΜΑΖΑ ΩΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΑΣΟΚΟΜΙΑΣ

Σύμφωνα με την ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ, ως βιομάζα ορίζεται το βιοαποδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και υπολλειμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, τη δασοκομία, τις σχετικές βιομηχανίες καθώς και τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα. Ουσιαστικά στη βιομάζα περιλαμβάνεται οργανική ύλη η οποία προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από ζωντανούς οργανισμούς. Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1450/2013 η βιομάζα περιλαμβάνει:

A) Προϊόντα που αποτελούνται από φυτικές ύλες από τη γεωργία ή τη δασοκομία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα

B) Διάφοροι τύποι απορριμμάτων

Φυτικά απόβλητα από τη γεωργία, τη δασοκομία και τις βιομηχανίες τροφίμων, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει ανάκτηση θερμότητας.

-Ινώδη φυτικά απόβλητα από παραγωγή παρθένου πολτού και χαρτιού.

- Απόβλητα φελλού.

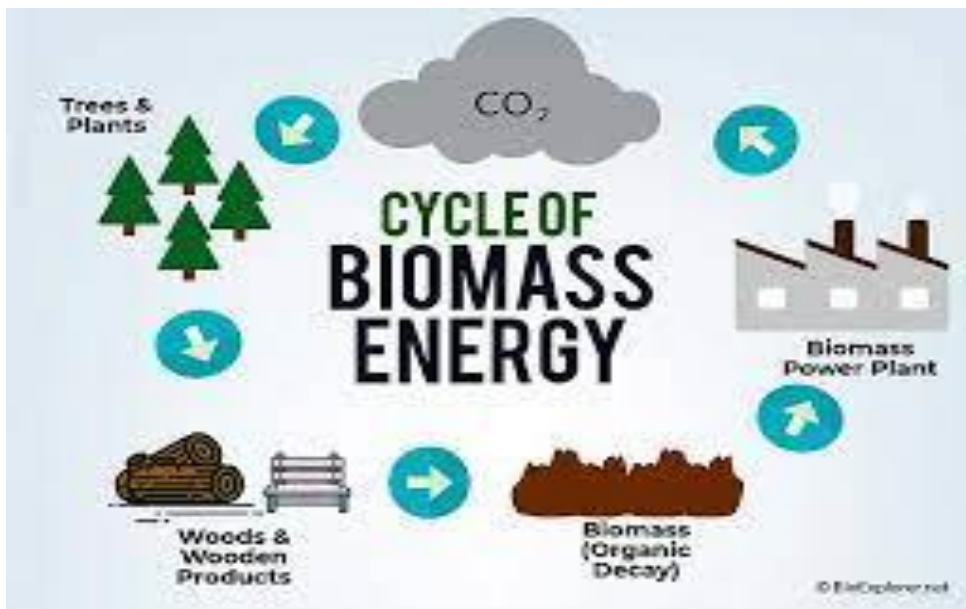
-Απορρίμματα ξύλου χωρίς οργανικές ενώσεις ή βαρέα μέταλλα.

Η βιομάζα ως αποτέλεσμα μιας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών έχει ως χρησιμότητα την αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια και την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας. Κύριο χαρακτηριστικό αποτελεί η γρήγορη αναπλήρωση με αποτέλεσμα να θεωρείται μια σημαντική πηγή ενέργειας. Η βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια αντιπροσωπεύει ουσιαστικά τη δευτερογενή ηλιακή ενέργεια. Προέλευση της βιομάζας είναι η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας μέσω της χλωροφύλλης στα φυτά, χρησιμοποιώντας ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα, νερό και ανόργανα συστατικά. Αφότου γίνεται ο μετασχηματισμός η βιομάζα γίνεται πλέον βιώσιμη πηγή ενέργειας και απελευθερώνει θερμική ενέργεια παρόμοια με αντίστροφη φωτοσύνθεση ενώ το διοξείδιο του άνθρακα επιστρέφει στην ατμόσφαιρα διατηρώντας την ισορροπία. Είναι ικανή να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα καθώς αποτελεί τη μοναδική φυσική πηγή ενέργειας με βάση τον άνθρακα. Σε παγκόσμιο επίπεδο παράγονται ετησίως περίπου 172 δισεκατομμύρια τόνοι ξηρής βιομάζας με ενεργειακό

περιεχόμενο το οποίο υπερβαίνει την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας κατά 10 φορές. Ωστόσο ένα πολύ μεγάλο μέρος αυτού του δυναμικού παραμένει αναξιοποίητο διότι μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης καλύπτεται από τη βιομάζα κυρίως για παραδοσιακούς σκοπούς. Όσον αφορά την Ελλάδα, τα δασικά και τα γεωργικά υπολείμματα σε ετήσια βάση είναι ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου.

5 βασικές ιδιότητες παρουσιάζονται στη βιομάζα:

1. Στοιχειακή ανάλυση: Αποτελεί τη σύνθεση της βιομάζας σε άνθρακα, υδρογόνο οξυγόνο, άζωτο και θείο, με παρόμοιες συνθέσεις σε διάφορες πηγές.
2. Θερμιδική ικανότητα: Αντιπροσωπεύει τη θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση ανά μονάδα μάζας, που χαρακτηρίζεται από Υψηλότερη Τιμή Θέρμανσης (HHV) και Χαμηλότερη τιμή θέρμανσης (LHV).
3. Περιεκτικότητα σε υγρασία: Υποδεικνύει την περιεκτικότητα σε νερό στη βιομάζα η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή τεχνολογίας.
4. Περιεκτικότητα σε τέφρα: Υποδηλώνει το ανόργανο κλάσμα της βιομάζας που επηρεάζει τη συμπεριφορά του σε υψηλές θερμοκρασίες.
5. Πυκνότητα: Αναφέρεται στη συμπαγή βιομάζα, κρίσιμη για την αξιολόγηση της ενεργειακής της πυκνότητας παράλληλα με την ικανότητα παραγωγής θερμότητας.



Εικόνα 2. 1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Πηγή : <https://www.bioexplorer.net/biomass-energy-pros-cons.html/>

Ο φυσικός ενεργειακός κύκλος της βιομάζας, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.1, λειτουργεί με την αξιοποίηση συνεχών φυσικών ροών ενέργειας. Ο κύκλος αυτός μιμείται τους οικολογικούς κύκλους που υπάρχουν στη Γη και αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών που εκλύονται στην ατμόσφαιρα, τα ποτάμια και τους ωκεανούς. Η πλειονότητα του άνθρακα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιομάζας προέρχεται από την ατμόσφαιρα και στη συνέχεια απελευθερώνεται ξανά σε αυτήν. Τα θρεπτικά συστατικά που απαιτούνται για τη δημιουργία της εξάγονται από το έδαφος και στη συνέχεια αναπληρώνονται ξανά σε αυτό. Τα υπολείμματα που προέρχονται από μια συγκεκριμένη φάση του κύκλου χρησιμεύουν ως εισροές για την επόμενη φάση. (Boutetsiou, 2010)

Όσον αφορά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας, το πρόσημο είναι θετικό. Η βιομάζα θεωρείται συνήθως ουδέτερη ως προς τον άνθρακα, δεδομένου ότι η ποσότητα CO₂ που εκπέμπεται κατά την καύση της είναι περίπου ισοδύναμη με την ποσότητα CO₂ που έλαβε το φυτό κατά την περίοδο ανάπτυξής του. Η διαδικασία αυτή βοηθά στη διατήρηση της ισορροπίας στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα που εκπέμπουν άνθρακα ο οποίος έχει δεσμευτεί για εκατομμύρια χρόνια (EnergySage)

2.1. Ιστορική Εξέλιξη Της Βιοενέργειας Και Της Αξιοποίησης Της Βιομάζας

Ενώ τα ορυκτά κυριαρχούν παραδοσιακά στην παραγωγή ενέργειας, η χρήση της βιομάζας δεν είναι σε καμία περίπτωση μια νέα έννοια. Στην πραγματικότητα, αποτελεί την πρώτη πηγή ενέργειας της ανθρωπότητας. Οι αρχαίοι πολιτισμοί βασίζονταν στη βιομάζα για διάφορους σκοπούς, χρησιμοποιώντας τη θερμότητα της καύσης για ζεστασιά, προστασία από την άγρια ζωή και το μαγείρεμα, ενώ το εκπεμπόμενο φως διευκόλυνε την ορατότητα, ιδιαίτερα τα βράδια. Σε όλη την ιστορία, η βιομάζα συνέχισε να διαδραματίζει διαφορετικούς ρόλους, εμφανής στη χρήση της για την κατασκευή σκαφών, εργαλείων, όπλων, καθώς και στη μεταλλουργία και στην κεραμική. Ακόμη και σήμερα, η βιομάζα παραμένει πρωταρχική πηγή ενέργειας για τους φτωχούς πληθυσμούς στις αναπτυσσόμενες περιοχές. Συγκεκριμένα, οι κοινότητες στην Ινδία, την Αφρική και τη Λατινική Αμερική χρησιμοποιούν άχυρο, φρούτα, κοπριά και άλλα οργανικά υπολείμματα για θέρμανση, μαγείρεμα και φωτισμό. Η εξερεύνηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο άνεμος και το νερό ξεκίνησε πολύ αργότερα στην ανθρώπινη ιστορία. Στο θεσμικό πλαίσιο, η βιομάζα έχει αναγνωριστεί ως βασική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας λόγω των πολλαπλών πλεονεκτημάτων παραγωγής και των ενεργειακών εφαρμογών της. Αυτή η αναγνώριση είναι εμφανής σε διάφορα επίσημα έγγραφα της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής, συμπεριλαμβανομένης της Λευκής Βίβλου (COM 1997) και του σχεδίου δράσης για τη βιομάζα.

Η έλευση της βιομηχανικής επανάστασης επέφερε σημαντική μετάβαση προς τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, οι πετρελαϊκές κρίσεις που εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 προκάλεσαν μια νέα γοητεία για τη βιομάζα ως βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική ενεργειακή λύση (Goldemberg, 1988). Κατά τη διάρκεια αυτής της συγκεκριμένης εποχής, υπήρξε μια αξιοσημείωτη αύξηση στην εξερεύνηση της βιοενέργειας, η οποία επικεντρώθηκε κυρίως γύρω από την πρόοδο των τεχνολογιών μετατροπής με στόχο την αποτελεσματική μετατροπή της βιομάζας σε πρακτικές πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της θερμότητας, της ηλεκτρικής ενέργειας και των καυσίμων (Faaij, 2006). Η αξιοποίηση της βιομάζας σε συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας αναδεικνύεται ως η πιο αποτελεσματική λύση για τη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων της. (ΚΑΠΕ)

Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ:

Η βιομάζα χρησιμεύει ως πολύτιμος πόρος για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας. Οι κύριες εφαρμογές της βιομάζας για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας απεικονίζονται στην Εικόνα 2.2.

- Η αξιοποίηση της βιομάζας ως πηγή καυσίμου σε κατάλληλους λέβητες με σκοπό τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί κοινή πρακτική σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν άφθονες ποσότητες βιομάζας εύκολα προσβάσιμες.
- Η αξιοποίηση της καύσης βιομάζας τόσο σε ατομικούς όσο και σε κεντρικούς λέβητες με σκοπό τη θέρμανση κτιρίων. Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται ατομικοί ή κεντρικοί λέβητες καυσόξυλων για τη θέρμανση κτιρίων.
- Η αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικούς τομείς στους οποίους η βιομάζα παράγεται ως σημαντικό υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και στους οποίους υπάρχει αυξημένη ανάγκη για θερμότητα. Τα εκκοκκιστήρια, τα πυρηνελαιουργεία, οι βιομηχανίες ρυζιού και οι βιομηχανίες κονσερβοποιίας χρησιμοποιούν την καύση των υπολειμμάτων τους (συγκεκριμένα, υπολείμματα εκκοκκιστηρίων, πυρηνόξυλο, φλοιούς και κουκούτσια) για να καλύψουν τις θερμικές ή/και μερικές ενεργειακές ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Η βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου χρησιμοποιεί τα υποπροϊόντα των εργασιών της, όπως πριονίδι, σκόνη και ροκανίδια ξύλου, για να καλύψει τόσο τις θερμικές απαιτήσεις της παραγωγικής διαδικασίας όσο και τις απαιτήσεις θέρμανσης των κτιρίων.
- Η τηλεθέρμανση αναφέρεται στην παροχή θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού για χρήση σε ένα σύνολο κτιρίων, όπως μια ομάδα κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, μέσω μιας κεντρικής μονάδας παραγωγής θερμότητας. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω ενός κλειστού συστήματος αγωγών, μεταφέροντάς την από τον κεντρικό σταθμό θέρμανσης στις καθορισμένες κατασκευές με σκοπό την παροχή θερμότητας.
- Παραγωγή ενέργειας εντός των εγκαταστάσεων και των χώρων βιολογικής επεξεργασίας. Οι χώροι υγειονομικής ταφής (XYTA), γνωστοί και ως χώροι διάθεσης αποβλήτων, είναι καθορισμένοι χώροι όπου εναποτίθενται και διαχειρίζονται στερεά απόβλητα.

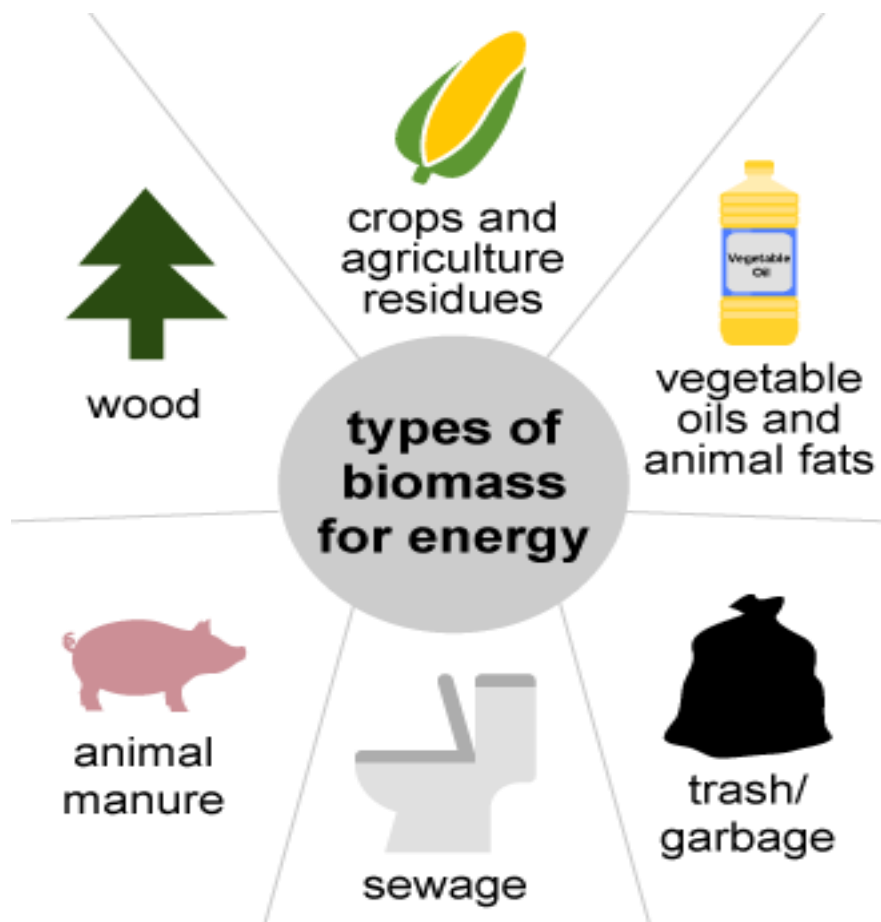
Σχήματα θέρμανσης με βιομάζα					
Μέγεθος	Εφαρμογές	Ετήσιες ανάγκες σε καύσιμο	Προμήθεια καυσίμου	Τεχνολογία	Φυσικό μέγεθος
Ουσακό 15KW/h	Οικία	5 ξηροί τόνοι	3 φορτία γεωργικού ελκυστήρα	Λέβητας	Μεγάλη τασάντα
360KW/h	Σχολείο	100 ξηροί τόνοι	40 φορτία γεωργικού ελκυστήρα	Λέβητας	Γκαράζ
Σταθμός παραγωγής ηλεκτρισμού με καύση βιομάζας					
Μέγεθος	Εφαρμογές	Ετήσιες ανάγκες σε καύσιμο	Προμήθεια καυσίμου	Τεχνολογία	Φυσικό μέγεθος
Μικρό 250KWe	Περίπου οικίες 250	1.500 ξηροί τόνοι	6 x 20 τόνους	Αεριοποίησης ή πυρολύτης ή μηχανή	Μικρή αποθήκη
Μεσαίο 5MWe	Περίπου οικίες 5.000	250.000 ξηροί τόνοι	60 x 38 τόνους	Αεριοποίησης ή πυρολύτης και μηχανή ή τουρμπίνα	Μεγάλη αποθήκη
Μεγάλο 30MWe	Περίπου οικίες 30.000	130.000 ξηροί τόνοι	250 x 38 τόνους	Αεριοποίησης ή πυρολύτης και τουρμπίνα (πιθανά συνδ. κύκλος) ή λέβητας και τουρμπίνα ατμού	Εργοστάσιο και προαύλιο
Σταθμός παραγωγής ηλεκτρισμού με ορυκτά καύσιμα					
Μέγεθος	Εφαρμογές	Ετήσιες ανάγκες σε καύσιμο	Προμήθεια καυσίμου	Τεχνολογία	Φυσικό μέγεθος
Συνδύας κλάδος τουρμπίνα αερίου 500MWe	Περίπου οικίες 500.000	800 εκατ. m ³ αερίου (ισοδύναμο με 1 εκατ. τόνους άνθρακα)	Δίκτυο αελίων (χωρίς μεταφορά)	Τουρμπίνα αερίου και τουρμπίνα ατμού	Μεγάλο εμπορικό κτήριο
Ενεργειακός σταθμός με άνθρακα 2000MWe	Περίπου οικίες 2.000.000	5 εκατ. τόνοι άνθρακα	Πάνω από 3.500 x 38 τόνους	Λέβητας και τουρμπίνα ατμού	Μεγάλος σταθμός παραγωγής ενέργειας

Εικόνα 2. 2: Ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας (ΚΑΠΕ & ΥΠΑΝ, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις βιομάζας)

Πηγή: https://www.arcmeletitiki.gr/images/uploads/pdf/arc_ape10.pdf

2.2. Ταξινόμηση Της Βιομάζας Και Πηγές Βιοενέργειας

Η βιομάζα προέρχεται από πολλά διαφορετικά μέρη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, γι' αυτό είναι σημαντικό να την κατηγοριοποιήσουμε σε: γεωργικά απόβλητα, κτηνοτροφικά απόβλητα, δασικά απόβλητα, ενεργειακές καλλιέργειες και αστικά στερεά απόβλητα.



Εικόνα 2. 3: Τύποι βιομάζας

Πηγή: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>

Πλεονεκτήματα της βιομάζας και της βιοενέργειας:

Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας: Η βιομάζα έχει χαρακτηριστεί ως η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, υπό την έννοια ότι προέρχεται από οργανική ύλη που ανανεώνεται συνεχώς και διαρκώς. (Marsh J, 2019)

Μείωση των αποβλήτων: Η παραγωγή ενέργειας με τη χρήση βιομάζας συμβάλλει στη μείωση των χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων με τη μετατροπή των οργανικών αποβλήτων, τα οποία διαφορετικά θα ήταν επιβλαβή, σε ενέργεια και εμποδίζει την απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. (Mcfarland, 2017).

Ουδέτεροτητα ως προς τον άνθρακα (Carbon Neutrality): Η βιομάζα θεωρείται συνήθως ουδέτερη ως προς τον άνθρακα, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις απελευθερώνει στον αέρα παρόμοια ποσότητα άνθρακα με αυτή που απορρόφησε κατά τη διάρκεια της ζωής του φυτού (Mcfarland, 2017).

Μειωμένη ανεξαρτησία από ορυκτά καύσιμα: Η βιομάζα παρέχει μια εναλλακτική λύση για τα ορυκτά καύσιμα που μειώνει την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Clean Energy Ideas, 2019).

Άλλες χρήσεις: Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ, είναι δυνατή η μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμο, καθώς και για την παραγωγή βιοαερίου (Clean Energy Ideas, 2019).

Μειονεκτήματα της βιομάζας και της βιοενέργειας:

Αποψίλωση των δασών: Η πιο συνηθισμένη ανησυχία που συνδέεται με την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι η αποψίλωση των δασών. Αυτό γίνεται ακόμη χειρότερο εάν τα δέντρα που συλλέγονται δεν έχουν γίνει με βιώσιμο τρόπο (Clean Energy Ideas, 2019)

Αποδοτικότητα και εκπομπές: Η ενέργεια από βιομάζα είναι λιγότερο αποδοτική σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Η καύση της βιομάζας μπορεί να εκπέμψει ανεπιθύμητα αέρια του θερμοκηπίου, όπως το μεθάνιο, συμβάλλοντας έτσι στη ρύπανση (Mcfarland, 2017).

Περιορισμός των υλικών βιομάζας λόγω εποχής: Τα υλικά βιομάζας μπορεί να μην είναι διαθέσιμα όλη τη διάρκεια του έτους και αυτό θα επηρέαζε αρνητικά την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Ζητήματα χρήσης γης: Η καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις μπορεί να ανταγωνίζεται για τη χρήση της γης, η οποία διαφορετικά θα μπορούσε να τεθεί υπό την παραγωγή τροφίμων. Αυτό, με τη σειρά του, εγείρει ένα ηθικό ζήτημα όσον αφορά τις προτεραιότητες χρήσης της γης.

Ο όρος ενεργειακές καλλιέργειες αναφέρεται σε καλλιέργειες παραγωγής προϊόντων που έχουν προορισμό τη χρήση στη δημιουργία βιοκαυσίμων και στον ενεργειακό τομέα. Ανάλογα τη διάρκεια του χρόνου που απαιτείται για τη συγκομιδή που περιλαμβάνει μια ποικιλομορφία φυτών- οι καλλιέργειες κατηγοριοποιούνται σε ετήσιες και πολυετείς. Η διάκριση των ενεργειακών καλλιεργειών από τις παραδοσιακές καλλιέργειες τροφίμων ή ζωοτροφών είναι πολύ σημαντική καθώς εξυπηρετούν έναν ξεχωριστό σκοπό και ανήκουν σε μια ξεχωριστή κατηγορία. Από τις ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται προϊόντα αποκλειστικά για βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς και παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Ωστόσο άξιο λόγου είναι ότι οι παραδοσιακές καλλιέργειες φυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά για παραγωγή ενέργειας μέσω της αξιοποίησης των γεωργικών απορριμμάτων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες περιλαμβάνουν διάφορα είδη, όπως:

1. Ελαιούχα φυτά: (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, ρετινολαδιά, σόγια)
2. Ινώδη φυτά: (κενάφ, λινάρι, ινώδη κάνναβη)
3. Λιγνινοκυτταρινικά φυτά: (καλάμι, μίσχναθος, switchgrass)
4. Δασικά είδη: (ευκάλυπτος, λεύκα, ιτιά, ψευδοκακία)
5. Ζαχαρόφυτα: (γλυκό σόργο, ζαχαρότευτλα, ζαχαροκάλαμο)

Στην παραγωγή βιοκαυσίμων θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, κρίσιμο ρόλο διαδραματίζει ο γεωργικός τομέας για την παροχή βιομάζας σε ενεργειακές καλλιέργειες. Εάν γίνουν κατανοητοί οι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση και τη σχέση του κόστους αποτελεσματικότητας των ενεργειακών αυτών καλλιεργειών τότε ευλόγως προκύπτει η επιτυχής παραγωγή βιομάζας. Στους βασικούς παραμέτρους που συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα της είναι η διαθέσιμη έκταση γης, η θερμογόνο δύναμη του φυτού, η προσαρμοστικότητά του σε συγκεκριμένες περιοχές και η ανάπτυξή του. Για την ταξινόμηση ενός φυτού σε ενεργειακή καλλιέργεια πρέπει να αποκλείεται η χρήση του για ανθρώπινη κατανάλωση να ευδοκιμεί σε απομακρυσμένες περιοχές ακατάλληλες για

παραγωγή τροφίμων, να απαιτεί ελάχιστο νερό, λιπάσματα και ζιζανιοκτόνα και κατά προτίμηση να είναι πολυετές φυτό που επιτρέπει τη συνεχή συγκομιδή. Επί του παρόντος οι μεγαλύτερες περιοχές ενεργειακών καλλιεργειών στον κόσμο αφορούν το ζαχαροκάλαμο με παραγωγή 1884 εκατομμυρίων τόνων κυρίως στην Βραζιλία και την Ινδία. Στην επόμενη θέση βρίσκεται το καλαμπόκι με παραγωγή 1.038 εκατομμυρίων τόνων με πάνω από το μισό να καλλιεργείται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Παρόλα αυτά μόνο ένα μικρό ποσοστό της συνολικής παραγωγής αφιερώνεται αποκλειστικά στη μετατροπή βιοκαυσίμων. Η βιώσιμη και αποδοτική παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών στον αγροτικό τομέα διασφαλίζεται με την έμφαση στην επιλογή των κατάλληλων καλλιεργειών και στη βελτιστοποίηση των πρακτικών καλλιέργειας. Κατάλληλες καλλιέργειες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους, μπορούν να περιλαμβάνουν μια ποικιλία ειδών όπως καλάμι, ευκάλυπτο, χλοοτάπητα και ξυλώδη φυτά σε μέσα σε μια βραχεία περιστροφική κλήση (Short Rotation Coppice – SRC), συμπεριλαμβανομένων των ειδών λεύκας και ιτιάς. Η βιομάζα που έχει προέλευση από αυτές τις εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε θερμοχημικές διεργασίες που περιλαμβάνουν άμεση καύση για παραγωγή ατμού σε λέβητα για την τροφοδοσία ενός ατμοστρόβιλου. Επιπλέον, αυτές οι μονάδες μπορούν να υποβληθούν σε διαδικασίες ξηρής αεριοποίησης σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας ή θερμοχημικές διεργασίες αναερόβιας χώνευσης, ειδικά για πράσινη βιομάζα όπως το γρασίδι, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου. Η πρόοδος στις αποτελεσματικές και οικονομικές μεθόδους αεριοποίησης σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα κινητήρων εσωτερικής καύσης προσαρμοσμένων σε διάφορα αέρια καύσιμα, έχει κάνει τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πολύ δημοφιλή.

Το τμήμα βιομάζας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) διεξήχθησε έρευνα η οποία εντοπίζει συγκεκριμένες ενεργειακές καλλιέργειες που είναι κατάλληλες για χρήση βιομάζας στην Ελλάδα. Λεπτομερείς πληροφορίες για αυτές τις καλλιέργειες, προσαρμοσμένες για ενεργειακούς σκοπούς, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-4 και στον Πίνακα 2-5

Είδος Καλλιέργειας	Βιοκαύσιμ ο	Απόδοση σε Προϊόν (κγ/στρέμμα)	Απόδοση σε Βιοκαύσιμο (κγ/στρέμμα)	Απόδοση σε Βιοκαύσιμο (λτ/στρέμμα)
Ελαιοκράμβη- Ηλίανθος	Βιοντίζελ	150 - 300	50 - 100	58 - 116
Αγριαγκινάρα	Βιοντίζελ	100 - 150	24 - 36	28 - 41
Βαμβάκι	Βιοντίζελ	120 - 160	17 - 23	20 - 27
Σόγια	Βιοντίζελ	160 - 240	27 - 41	32 - 48
Σιτάρι	Βιοαιθανό λη	150 - 800	36 - 192	46 - 243
Αραβόσιτος	Βιοαιθανό λη	800 - 1200	189 - 284	240 - 360
Τεύτλα	Βιοαιθανό λη	5,500 - 7,000	435 - 554	550 - 700
Σόργο	Βιοαιθανό λη	7,000 - 9,000	553 - 711	700 - 900

Εικόνα 2.4 : Ενεργειακές Καλλιέργειες για την Παραγωγή Υγρών Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμα 2022.

Είδος Καλλιέργειας	Θερμογόνος Δύναμη (ΜΤ/κγ)	Μέση Απόδοση σε Ξηρή Βιομάζα (τόν./στρ./έτος)	Απόδοση σε Ενέργεια (GJ/τόν. στρ./έτος)
Καλάμι	18	1,0 – 2,0	18,0 – 36,0
Αγριαγκινάρα	18	1,0 – 1,5	18,0 – 27,0

Switchgrass	18	1,0 – 2,0	18,0 – 36,0
Μίσχανθος	18	1,0 – 1,5	18,0 – 27,0
Κενάφ	18,6	0,8 – 1,8	14,9 – 33,4
Σόργο	18	2,0 – 3,5	36,0 – 63,0
Ευκάλυπτος	19,4	1,8 – 3,0	34,8 – 58,0
Ψευδακακία	17,8	0,8 – 1,3	14,3 – 23,2

Εικόνα 2.5 Ενεργειακές Καλλιέργειες Ξηρής Βιομάζας στην Ελλάδα/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμα 2022.

Το 30 έως 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που προέρχεται από το πετρέλαιο στη χώρα μας περιλαμβάνεται από το δυναμικό που είναι εγγενές στις ενεργειακές καλλιέργειες στο ελληνικό πλαίσιο. Το δυναμικό αυτό έχει τη δυνατότητα να προσπεράσει την ενεργειακή απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί μέσω των γεωργικών και δασικών θεμάτων που κυμαίνονται σε 3 έως 4 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμα πετρελαίου. Οι ενεργειακές καλλιέργειες έχουν τη δυνατότητα να αποφέρουν σημαντικά οφέλη εάν καλλιεργηθούν στρατηγικά. Παρ όλα αυτά Η ιστορική καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών στον ελληνικό χώρο έχει κατευθυνθεί σε μεγάλο μέρος τους στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων όπως βιοθανόλη και το βιοντίζελ, αντί στη ξηρή βιομάζα που απαιτείται για εφαρμογή σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής εγκατάσταση συμπαραγωγής και παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη διασφάλιση σταθερού ενεργειακού εφοδιασμού σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής η καλύτερη πρόταση αποτελεί μια συνεργιστική προσέγγιση που συγκεντρώνει μορφές της υπολειμματικής βιομάζας με ενεργειακές καλλιέργειες. Ο πίνακας 2.6 πλαισιώνει μια ενδεικτική απαιτούμενη χερσαία έκταση για τη λειτουργικότητα μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριλαμβάνοντας τις διάφορες 1e1 ακτίνες μεταφοράς για το συγκομιζόμενα υλικό και τις διαφορετικές αποδόσεις βιομάζας. Σε αυτό το σημείο κρίνεται εύλογο να σημειωθεί ότι η παραγωγή MW ηλεκτρικής ενέργειας από ενεργειακές καλλιέργειες χρειάζεται περίπου 6000 τόνους ξηρής βιομάζας.

Μονάδα 10 MW

Απόδοση	2 τόνοι/στρέμμα	2,5%	1,1%	0,63%
Απόδοση	3 τόνοι/στρέμμα	1,67%	0,74%	0,42%

Μονάδα 20 MW

Απόδοση	2 τόνοι/στρέμμα	5%	2,2%	1,25%
Απόδοση	3 τόνοι/στρέμμα	3,3%	1,48%	0,83%

Μονάδα 30 MW

Απόδοση	2 τόνοι/στρέμμα	7,5%	3,33%	1,88%
Απόδοση	3 τόνοι/στρέμμα	5%	2,2%	1,25%

Εικόνα 2.6 : Απαιτούμενο Ποσοστό Έκτασης για Λειτουργία Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμα 2022.

Ευνοϊκό περιβάλλον για την ίδρυση και τη λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε αγροτικές περιοχές παρέχεται από το θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο που εξαρτάται από την αποκλειστική δέσμευση για την αξιοποίηση πόρων βιομάζας από κοντινές περιοχές. Το άρθρο 26 του Ν. 4496/2017, που αφορά « Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας με χρήση βιομάζας βιοαερίου ή βιοπετρελαίου», προσδίδει την δυνατότητα να εγκατασταθεί σύστημα συνδεδεμένης θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP) τα οποία τροφοδοτούνται από βιομάζα βιοαέριο ή βιο-λάδια σε παρόμοιες εκτάσεις εκτός νομού Αττικής. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί η ελευθερία επιλογής του συγκεκριμένου φυτού για την καλλιέργεια που ανήκει αποκλειστικά στον παραγωγό χωρίς να δεσμεύεται από κανένα προκαθορισμένο κριτήριο. Συμπερασματικά, η παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών διαθέτει ουσιαστικά πλεονεκτήματα όχι μόνο ως προς το όφελος του περιβάλλον δηλαδή η μόχλευση

λιγότερο γόνιμων εδαφών και η πρόληψη διάβρωσης του εδάφους. Έχει κοινωνικά και οικονομικά οφέλη στις αγροτικές κοινωνίες καθώς και δημιουργούνται νέες ευκαιρίες απασχόλησης. Κατά συνέπεια δίνει μια πνοή ελευθερίας στις αγροτικές περιοχές οι οποίες είναι φανερά παραμελημένες λόγω της αστικής μετανάστευσης. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται επί του παρόντος κυρίως για την παραγωγή βιοντίζελ και βιοαιθανόλης στον ελληνικό χώρο. Αντίθετα οι ειδικές καλλιέργειες για άμεση παραγωγή ενέργειας βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Κατασταλτικοί παράγοντες αξιοσημείωτης απουσίας ενεργειακών καλλιεργειών και η αξιοποίηση τους σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι οι παρακάτω:

1. Εποχιακή παραγωγή και μεγάλες απαιτήσεις γης: απαιτώντας εκτάσεις γης για την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών είναι εγγενώς εποχιακή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος για τους παραγωγούς. Συμπεριλαμβανομένων των δαπανών που σχετίζονται με τη συγκομιδή τη μεταφορά και την αποθήκευση.
2. Οικονομική απόδοση και εγγύτητα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής: Η επίτευξη υψηλής οικονομικής απόδοσης από τις ενεργειακές καλλιέργειες εξαρτάται από την ελαχιστοποίηση της απόστασης για τη μεταφορά ξηρής βιομάζας στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η ανάγκη για εγγύτητα προσθέτει υλικοτεχνική πολυπλοκότητα στη συνολική διαδικασία.
3. Πολιτικές κινήτρων και Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ): οι πολιτικές κινήτρων που διέπουν τις ενεργειακές καλλιέργειες περιορίζονται σημαντικά από τις διατάξεις της κοινής αγροτικής πολιτικής (ΚΑΠ). Κατά συνέπεια αυτές οι πολιτικές διαμορφώνονται κατά κύριο λόγο από τις ευρύτερες γεωργικές πολιτικές της ευρωπαϊκής ένωσης.
4. Περιορισμένη διάδοση πληροφοριών: Έλλειψη διάδοσης πληροφοριών στους εμπλεκόμενους φορείς, συμπεριλαμβανομένων των αγροτών, των γεωργικών συνεταιρισμών και των επενδυτών, σχετικά με την αποτελεσματικότητα και τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενεργειακών καλλιεργειών για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η απουσία ευαισθητοποίησης εμποδίζει την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων και την πιθανή συμμετοχή σε τέτοιες πρωτοβουλίες.

Η αξιοποίηση των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων αποτελεί σημαντικό και συχνά υποτιμημένο παράγοντα που συμβάλλει στην παραγωγή ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, τα αγροτικά υπολείμματα περιλαμβάνουν την ξηρή ή πράσινη βιομάζα που παραμένει μετά τη συγκομιδή και την επεξεργασία των γεωργικών προϊόντων, ενώ τα δασικά υπολείμματα

έρχονται από τις βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου και υλοτομίας. Αυτή η βιομάζα περιλαμβάνει υλικά όπως άχυρο, πυρήνες ελαιούχων σπόρων, φύλλα, μίσχους φυτών, φλοιό και ρίζες δέντρων, κλαδιά και άλλα στερεά υπολείμματα που βρίσκονται στη γη. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών, η παγκόσμια παραγωγή γεωργικών υπολειμμάτων κυμαίνεται από 3,6 έως 17,2 δισεκατομμύρια τόνους. Μεταξύ αυτών, τα υπολείμματα καλαμποκιού, ρυζιού δημητριακών και ζαχαροκάλαμου αποτελούν την πλειοψηφία. Υποθέτοντας ότι η συλλογή βιομάζας από γεωργικά υπολείμματα μπορεί να φτάσει σε τέτοια σημαντικά επίπεδα σε παγκόσμια κλίμακα, η ενέργεια που παράγεται από τη χρήση της εκτιμάται ότι κυμαίνεται από 14,6 έως 123 exajoules (EJ). Αυτές οι διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας επηρεάζονται από παράγοντες όπως η ποσότητα των υπολειμμάτων (που συλλέγονται από τις καλλιέργειες, τα ποσοστά περιεκτικότητας σε υγρασία που κυμαίνονται από 20% έως 70% κατά βάρος) και η χαμηλή θερμογόνος δύναμη που είναι ειδική για κάθε φυτικό υπόλειμμα. Ο πίνακας 2.7 παρέχει θεωρητικές τιμές για την ποσότητα και την παραγωγή ενέργειας διαφόρων φυτικών ειδών παγκοσμίως, μαζί με τη συνολική ποσότητα, λαμβάνοντας υπόψη άλλες καλλιέργειες που συνεισφέρουν μικρότερες ποσότητες υπολειμμάτων.

Υπολείμματα Καλλιέργειας	Ελάχιστη Ποσότητα (106 τόνοι)	Μέγιστη Ποσότητα (106 τόνοι)	Ελάχιστη Ποσότητα (106 τόνοι)	Μέγιστη Ποσότητα (106 τόνοι)
Καλαμπόκι	1453	7399	5,05	60,9
Ρύζι	460	3196	2,05	23,5
Ζαχαρότευτλα	188	2186	0,29	11,9
Σιτάρι	510	1312	2,46	9,47
Σόγια	307	1208	1,61	6,35
Σόργο	62	510	0,33	2,68
Συνολικά	3582	17166	14,6	123

Εικόνα 2. 7: Παραγόμενη Ενέργεια από Γεωργικά Υπολείμματα σε Όλο τον Κόσμο. /Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμα 2022.

Υπάρχουν δυο κύριοι μέθοδοι που περιλαμβάνεται στη χρήση γεωργικών υπολειμμάτων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη συσχετίζεται με την άμεση καύση του λέβητα την παραγωγή ατμού για τροφοδοσία ατμοστρόβιλων και η αερόβια χώνευση για παραγωγή βιοαερίου για χρήση σε αεριοστρόβιλους. Η άμεση καύση διαθέτει συγκεκριμένα αρνητικά στοιχεία που ελαχιστοποιούν την ελκυστικότητα της για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα ενός σημαντικού όγκου βιομάζας δημιουργεί προκλήσεις για την εισαγωγή στο λέβητα και της αυξημένης περιεκτικότητας σε υγρασία και τέφρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η πιο λειτουργική προσέγγιση για την χρησιμότητα της βιομάζας από τα γεωργικά υπολείμματα να συσχετίζεται με τη μετατροπή της σε βιοαέριο που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Στον τομέα της υλοτομίας καθώς και στις βιομηχανίες επεξεργασίας χαρτιού και ξύλου παραμένει ένας σημαντικός όγκος υποπροϊόντων στερεάς βιομάζας προσφέροντας ευέλικτες εφαρμογές που κυμαίνονται από την παραγωγή pellet και μπρικέτας έως την άμεση παραγωγή ενέργειας τα δασοκομικά υπολείμματα. Αυτά κατηγοριοποιούνται ως μη εμπορεύσιμη ξυλεία περιλαμβάνουν ρίζες κλαδιά φλοιό πριονίδι ροκανίδια μικρά κομμάτια ξύλου και υποπροϊόντα που έχουν απομείνει σε υλοτομημένες δασικές εκτάσεις παγκοσμίως ο συνολικός όγκος ξυλώδους βιομάζας που χρησιμοποιείται ανέρχεται σε 5.267 mm³ με το 68% να προέρχεται απευθείας από δάση συμπεριλαμβανομένου του ξύλου και των δασικών υπολειμμάτων. Το 31% από εναλλακτικές πηγές όπως υποπροϊόντα από βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου στο πλαίσιο των εργασιών υλοτομίας η καθαρή ποσότητα ξύλου που εξάγεται από ένα δέντρο για εμπορική επεξεργασία αντιπροσωπεύει το 45% της βιομάζας του δέντρου αφήνοντας το υπόλοιπο 55% ως υπολείμματα που περιλαμβάνει 23% κλαδιά και κορυφές δέντρων 10% ρίζες δέντρων 5% πριονίδι από διαδικασίες κοπής δέντρων 7,5% πριονίδι και κομμάτια ξύλου από επακόλουθη επεξεργασία ξύλου 5 %φλοιός και περίπου 4% θεωρούνται μη συλλέξιμα.

Εντός του συνολικού μεριδίου ξυλώδους βιομάζας το 55 αφιερώνεται σε ενεργειακές εφαρμογές κυρίως μέσω καύσης σε συσκευές όπως τζάκια και φούρνοι ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες ξύλου και χαρτιού. Αν και το συγκεκριμένο τμήμα που διατίθεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν προσδιορίζεται ο ρόλος του στον ενεργειακό τομέα είναι καθοριστικός.

Κατά κύριο λόγο η ξυλώδης βιομάζα χρησιμοποιείται μέσω της καύσης σε συνδυασμό με τον άνθρακα σε σύγχρονες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Στη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θερμότητας είναι συχνά εξοπλισμένες με προηγμένα συστήματα καθαρισμού καυσαερίων. Τα

υπολείμματα της γεωργίας και της δασοκομίας αναδεικνύονται ως ζωτικής σημασίας πόρος για συνύπαρξη στους σύγχρονους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα. Πρόσφατα ευρήματα από τον διεθνή οργανισμό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας IRENA δείχνουν ότι τα υπολείμματα των δασών έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα που ανέρχεται σε 21 EJ/έτος. Ενώ τα γεωργικά υπολείμματα θα μπορούσαν να παρέχουν 13 EJ/έτος. Η συνδυασμένη ενέργεια που προέρχεται από δασικά και γεωργικά υπολείμματα αντιπροσωπεύει σημαντικό μερίδιο αποτελώντας το 33 της προβλεπόμενης προσφοράς βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας. Στο μέλλον όσον αφορά το 2030 ο IRENA υπολογίζει τη διαθεσιμότητα 37 έως 66 EJ/έτος γεωργικών υπολειμμάτων και αποβλήτων σε συνδυασμό με 27 έως 43 EJ/έτος δασικών υπολειμμάτων.

Η επίτευξη των στόχων του 2030 απαιτεί βελτιώσεις στις πρακτικές συγκομιδής τις αποδόσεις των καλλιεργειών τη διαχείριση της γης και τη δασοκομία ξεκλειδώνοντας τεράστιες ποσότητες αναξιοποίητης βιομάζας που δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί πλήρως. Η χρήση των απορριμμάτων για την παραγωγή ενέργειας έχει αποκτήσει αυξανόμενη δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια. Τα υποπροϊόντα που προκύπτουν από τη βιομηχανική επεξεργασία χαρτιού τροφίμων αστικών στερεών και υγρών αποβλήτων καθώς και κοπριάς ζώων αποτελούν παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο τα φαινομενικά ασήμαντα υλικά μπορούν να μετατραπούν σε καύσιμο ικανό να τροφοδοτήσει μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή συμπαραγωγής. Η κύρια μέθοδος μετατροπής βασίζεται στην αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης όπως αεριοστρόβιλοι για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή αναβαθμίζεται σε καθαρότερο και πιο αποδοτικό καύσιμο γνωστό ως βιομεθάνιο ή tng ανανεώσιμο φυσικό αέριο.

Τα ζωικά απόβλητα που είναι κατάλληλα για μετατροπή βιοαερίου και περιλαμβάνουν κυρίως κοπριά από εκτρεφόμενα ζώα όπως μοσχάρια χοίρους και πουλερικά. Η κοπριά που προέρχεται από περιττώματα ζώων μπορεί να καεί απευθείας είτε να υποστούν αναερόβια χώνευση. Βέβαια, η άμεση καύση ευνοείται λιγότερο καθώς η εκμετάλλευση ενέργειας είναι σχεδόν η μισή από αυτήν που επιτυγχάνεται μέσω της μετατροπής σε βιοαέριο. Ο πίνακας 2.8 παρέχει μια συγκριτική επισκόπηση της εκμεταλλεύσιμης ενέργειας από την επεξεργασία 25 kg νωπών ζωικών απορριμμάτων

Παράμετροι	Απευθείας Καύση	Αναερόβια Χώνευση
Ακαθάριστη Ενέργεια	43,76 MJ	19,71 MJ
Αποτελεσματικότητα Μετατροπής	10%	55%
Χρήσιμη Ενέργεια	4,37 MJ	10,84 MJ
Λίπασμα	0	10 kg (Dried)

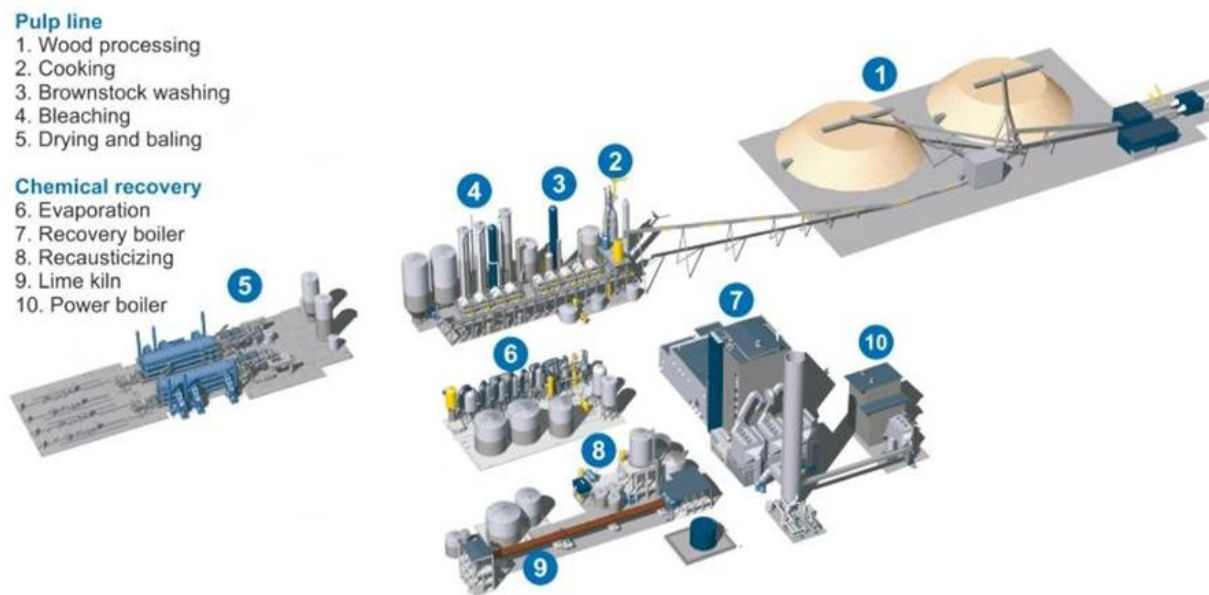
Εικόνα 2. 8: Παραγόμενη Ενέργεια από Εκμετάλλευση **25 kg** Κτηνοτροφικών Αποβλήτων. /Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμα 2022.

Η ασφαλής διαχείριση των περιττωμάτων από κτηνοτροφικές δραστηριότητες είναι απαραίτητη λόγω της μόλυνσης που προκαλείται από νιτρικά ιόντα, τα οποία μπορούν να διεισδύσουν και να μολύνουν τους υδροφόρους ορίζοντες. Ο Υφυπουργός Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων εξέδωσε το 2015 σαφή οδηγία για τον «Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από Νιτρορύπανση Αγροτικής Προέλευσης», τονίζοντας την αναγκαιότητα σωστής διαχείρισης των κτηνοτροφικών απορριμμάτων από τους παραγωγούς. Συνοπτικά, τα απόβλητα στερεά με περιεκτικότητα σε υγρασία < 80% κατά βάρος, μαζί με ημιστερεά και υγρά με περιεκτικότητα σε υγρασία > 85%, μπορούν να συλλεχθούν ή να εξαχθούν μηχανικά. Αυτά τα υλικά αποθηκεύονται σε ειδικές δεξαμενές μέχρι να ομογενοποιηθούν και στη συνέχεια να μεταφέρονται καθημερινά σε μηχανικό διαχωριστή. Μετά την ομογενοποίηση μεταφέρονται σε ανοιχτή δεξαμενή αναερόβιας χώνευσης (ADH), όπου αποθηκεύονται για διάστημα 120 - 180 ημερών. Αυτή η διαδικασία παράγει βιοαέριο πλούσιο σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Μια επιπλέον πηγή βιομάζας είναι τα απόβλητα που παράγονται από βιομηχανικές διεργασίες. Μεταξύ αυτών των βιομηχανιών, ο κλάδος του χαρτοπολτού και του χαρτιού αναγνωρίζεται ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στη ρύπανση, καταναλώνοντας σημαντικές ποσότητες ενέργειας και νερού σε διάφορες μονάδες. Δεδομένου ότι το μαύρο υγρό -τα ρευστά υποπροϊόντα που απορρίπτονται από τη βιομηχανία- είναι άφθονο και ποικίλλει σε σύνθεση, καθώς περιέχει ημικυτταρίνες, λιγνίνη ξύλου και ανόργανα χημικά που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία, μεταξύ άλλων θειούχες ενώσεις, που έχουν

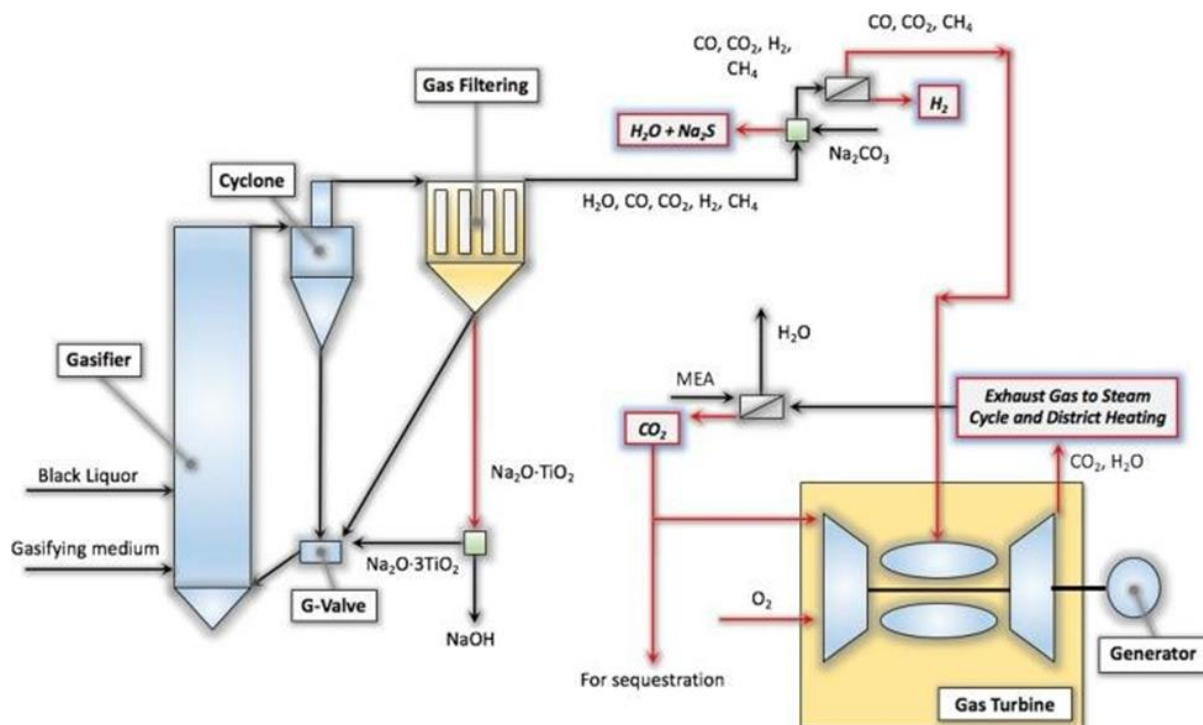
ήδη εισαχθεί στο στάδιο της πολτοποίησης. Στην παραγωγή χαρτιού, η ξυλώδης βιομάζα αλέθεται μηχανικά σε υδατικό ομογενοποιημένο πολτό χρησιμοποιώντας οριζόντιους μύλους, με στόχο την περαιτέρω επεξεργασία για τη δημιουργία χαρτιού. Τα υγρά παραπροϊόντα που απορρίπτονται από τη βιομηχανία, γνωστά ως μαύρο υγρό, είναι ιδιαίτερα ποικίλα, καθώς περιέχουν λιγνίνη και ημικυτταρίνη που προέρχονται από ξύλο, επεξεργασμένες ανόργανες χημικές ουσίες, καθώς και ενώσεις θείου που εισάγονται κατά το στάδιο της πολτοποίησης. Αυτό το συμπυκνωμένο μαύρο υγρό (> 60% στερεά) παρουσιάζει ιδιότητες καύσης παρόμοιες με το μαζούτ και αποτελεί κρίσιμη πηγή ενέργειας από βιομάζα.

Το μαύρο υγρό πολτού, ιδιαίτερα μέσω της διαδικασίας kraft, αντιπροσωπεύει μια πηγή ενέργειας που κυμαίνεται από 250 έως 500 MW για κάθε μύλο. Περίπου 19 GJ ενέργειας μπορούν να παραχθούν από μαύρο υγρό για κάθε τόνο πολτού που υποβάλλεται σε επεξεργασία με τη μέθοδο kraft, συμβάλλοντας στην παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας. Αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας Kraft είναι η ανάκτηση των χημικών ουσιών που εισάγονται κατά τη δημιουργία του πολτού, οι οποίες παραμένουν στο μαύρο υγρό. Το υπολειμματικό μαύρο υγρό, κυρίως χωρίς υγρασία (70-80% στερεά), μετατρέπεται σε μια μαύρη ημι-υγρή μάζα που ονομάζεται BLS (Black Liquor Solids). Στη συνέχεια, το BLS καίγεται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας Tomlinson για την παραγωγή ατμού σε ένα σύστημα συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος, καλύπτοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις της βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού. Σύμφωνα με τον FAO το 2009, πάνω από 215 εκατομμύρια τόνοι BLS παρήχθησαν, με συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο 2 EJ με χαμηλότερη θερμογόνο δύναμη (LHV) 12,3 MJ/kg.



Εικόνα 2. 9: Εργοστάσιο Παραγωγής Χαρτιού με Επεξεργασία Kraft & Ενεργειακή Αξιοποίηση του BLS./Πηγή: www.andritz.com

Εκτός από τη συμβατική εσωτερική χρήση του στη βιομηχανία μέσω καύσης σε αποκλειστικούς λέβητες για παραγωγή ατμού, το Black Liquor Solids (BLS) μπορεί επίσης να υποβληθεί σε μια εναλλακτική θερμοχημική διαδικασία γνωστή ως αεριοποίηση. Η εφαρμογή της τεχνολογίας Black Liquor Gasification (BLG) αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στις σύγχρονες χαρτοποιίες. Ο πρωταρχικός στόχος του BLG είναι να παράγει ένα συνθετικό αέριο καύσιμο, που συνήθως αναφέρεται ως syngas, υποβάλλοντας μαύρο υγρό που περιέχει βιομάζα σε έναν αντιδραστήρα αεριοποίησης. Αυτό το αέριο που προκύπτει, μετά τον καθαρισμό για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων συστατικών, βρίσκει εφαρμογή σε λέβητες ή ενσωματώνεται σε συστήματα συνδυασμένου κύκλου με αεριοστρόβιλους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε σύγκριση με την άμεση καύση BLS σε λέβητα, η χρήση αερίου σύνθεσης εκπέμπει λιγότερα αέρια θερμοκηπίου και δείχνει υψηλότερο συντελεστή απόδοσης θερμότητας-ηλεκτρισμού σε συστήματα συνδυασμένου κύκλου από το σύστημα ατμοστρόβιλου που χρησιμοποιεί BLS.



Εικόνα 2. 10: Τεχνολογία Black Liquor Gasification – BLG για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας./Πηγή: www.sciencedirect.com

Τα οργανικά απόβλητα που προέρχονται από οικιακή χρήση, εγκαταστάσεις εστίασης, σφαγεία και βιομηχανίες τροφίμων, ταξινομώντας τα σε δύο διακριτές κατηγορίες με βάση τις μεθόδους συλλογής: Α. Διαχωρισμένα απόβλητα, και Β. Μη Διαχωρισμένα Απόβλητα.

Α. Διαχωρισμένα απόβλητα:

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα απόβλητα τροφίμων που μπορούν να διαχωριστούν και να συλλεχθούν ευδιάκριτα ανάλογα με τον τύπο τους χρησιμοποιώντας καθορισμένους κάδους ανακύκλωσης. Μεταξύ αυτών, θα επισημάνουμε τα χρησιμοποιημένα τηγανέλαια (όπως ηλιέλαιο, ελαιόλαδο, φοινικέλαιο) και ζωικά λίπη, παράλληλα με τα βιολογικά απόβλητα τροφίμων που είναι άφθονα σε σάκχαρα και άμυλο, συμπεριλαμβανομένων των αποσυντεθειμένων φρούτων και λαχανικών.

Μεταχειρισμένα τηγανέλαια και ζωικά λίπη: Αυτά τα υλικά μπορούν να υποστούν θερμοχημική μετατροπή σε καύσιμο βιοντίζελ μέσω δύο βασικών μεθόδων. Το πρώτο περιλαμβάνει την εισαγωγή αλκοόλης (συνήθως μεθανόλης) και ενός καταλύτη (υδροξείδιο

του νατρίου NaOH ή υδροξείδιο του καλίου KOH) στα έλαια, με αποτέλεσμα την παραγωγή βιοντίζελ και γλυκερόλης. Η δεύτερη μέθοδος συνεπάγεται τη μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδικών συστατικών των ελαίων με αλκοόλη, χρησιμοποιώντας έναν καταλύτη (NaOH ή KOH) για την παραγωγή βιοντίζελ (Μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων - FAME) και γλυκερόλης. Επί του παρόντος, η πλειοψηφία της παραγωγής βιοντίζελ χρησιμοποιεί ομοιογενή επεξεργασία αλκαλικής μετεστεροποίησης βρώσιμων φυτικών ελαίων. Το βιοντίζελ βρίσκεται εφαρμογές, ειδικά σε κινητήρες ντίζελ, συχνά ως μείγμα με ορυκτέλαιο. Ειδικότερα, η Elin Biofuels, που βρίσκεται στη 2η Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) Βόλου, λειτουργεί μονάδα παραγωγής βιοντίζελ μέγιστης συνεχούς δυναμικότητας 80.000 τόνων.

Οργανικά απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη και άμυλο: Εκτός από τις διαδικασίες κομποστοποίησης που παράγουν λίπασμα πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία (N, P, K), αυτός ο τύπος οργανικών αποβλήτων μπορεί να υποβληθεί σε αναερόβια χώνευση για να παράγει βιοαέριο πλούσιο σε μεθάνιο. Αυτό το βιοαέριο μπορεί να καεί απευθείας σε λέβητες, κινητήρες εσωτερικής και εξωτερικής καύσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο, ένα αέριο βιοκαύσιμο υψηλότερης ενέργειας. Οι ενδεικτικές τιμές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατηγορία αποβλήτων παρουσιάζονται στους Πίνακας 2.11

Πηγή Πρώτης Ύλης	Παραγωγή Βιοαερίου (m ³ /wet tn)	Παραγόμενη ΗΕ (MWh/tn)	Μείωση εκπομπών GHG (kg CO ₂ e)
Πατάτες	100 - 120	0,27	1,976
Ψωμί	400 - 500	1,09	2,631
Τυρί	> 600	1,45	2,920
Λαχανικά	50 - 80	0,16	1,890
Ανάμεικτα Τρόφιμα	75 - 140	0,26	1,972
Μελάσσα	460 - 579	1,24	2,756

Απόβλητα Ζυθοποιίας	60 - 100	0,19	1,919
Απόβλητα Σφαγείων	120 - 160	0,34	2,034

*Εικόνα 2. 11: Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια από Διαφορετικού Είδους Τροφικά Απόβλητα.
/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμα 2022.*

B. Μη διαχωρίσιμα απόβλητα:

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τόσο τα τρόφιμα όσο και τα μη διαχωρίσιμα απόβλητα που δεν μπορούν να διαχωριστούν ευδιάκριτα σε κατηγορίες, που συνήθως συλλέγονται ως μικτή μάζα από κατοικίες, ξενοδοχεία, εστιατόρια, σφαγεία και βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων. Αυτά τα απόβλητα μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσω των ακόλουθων διαδικασιών:

Αεριοποίηση: Σε θερμοκρασίες άνω των 700°C σε εξειδικευμένους αντιδραστήρες, η αεριοποίηση περιλαμβάνει την εισαγωγή οξυγόνου, αέρα ή ατμού για την παραγωγή ενός αερίου καυσίμου γνωστό ως συνθετικό αέριο ή αέριο σύνθεσης. Το Syngas αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο, αφήνοντας ίχνη πίσσας και τέφρας κατά τη δημιουργία του. Η σύνθεση του αερίου σύνθεσης και η παρουσία ανεπιθύμητων συστατικών (πίσσα, σκόνη, τέφρα) εξαρτώνται από την περιεκτικότητα σε υγρασία βιομάζας, τον τύπο του αντιδραστήρα και άλλες θερμοχημικές μεταβλητές της διαδικασίας, όπως η θερμοκρασία και η πίεση. Το αέριο σύνθεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή θερμότητας σε λέβητες, επεκτείνοντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή να μετατραπεί σε βιομεθανόλη ή βιομεθάνιο μέσω καταλυτικής επεξεργασίας.

Πυρόλυση βιομάζας: Πραγματοποιημένη χωρίς την προσθήκη οξυγόνου, η πυρόλυση βιομάζας στοχεύει στην παραγωγή διαφόρων βιοκαυσίμων ανάλογα με τη σύνθεση της βιομάζας και τις θερμοκρασίες που εμπλέκονται στην πυρολυτική διαδικασία εντός του αντιδραστήρα.

Οι επενδύσεις κεφαλαίου που απαιτούνται για μια μονάδα αξιοποίησης βιομάζας από τα απόβλητα τροφίμων είναι σημαντικές, φθάνοντας συχνά τα δεκάδες εκατομμύρια ευρώ. Ο Πίνακας 2.12 παρέχει ενδεικτικές πληροφορίες για τις μονάδες επεξεργασίας κυρίως στην Ευρώπη και την Αμερική που χρησιμοποιούν τα απόβλητα τροφίμων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Όνομα Μονάδας	Χώρα	Χωρητικότητα (τν/έτος)	Χρήση	Κεφάλαιο Επένδυσης (USD)	Έτος Ίδρυσης
Harvest Energy Garden	USA	130,000	Συμπααραγωγή (CHP)	30,000,000	2014
Ganser Umwelt	GER	30,500	Ηλεκτροπαραγωγή	3,600,000	1997
Agrivert	UK	50,000	Ηλεκτροπαραγωγή	15,000,000	2014
Tamar	UK	66,000	Ηλεκτροπαραγωγή	19,500,000	2015
Skrzatusz	PL	33,600	Συμπααραγωγή (CHP)	6,200,000	2012

Εικόνα 2. 12: Μονάδες Παραγωγής και Συμπααραγωγής Ηλεκτρικής - Θερμικής Ενέργειας με Εκμετάλλευση Τροφικών Αποβλήτων

Μια επιπλέον πηγή παραγωγής βιοαερίου είναι τα αέρια χωματερής (LFG). Ως συνέπεια του σημαντικού όγκου αστικών, γεωργικών και ζωικών αποβλήτων, η ανάγκη διαχείρισης και αποθήκευσης αυτών των αποβλήτων έχει καταστεί επιτακτική. Πέρα από τα οικονομικά πλεονεκτήματα, η χρήση αυτών των αποβλήτων συνεπάγεται περιβαλλοντικά οφέλη, ιδιαίτερα στην αποτροπή εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα, που θα προέκυπταν εάν το LFG αφεθεί χωρίς συλλογή. Οι εκπομπές μεθανίου, που προκύπτουν από τη φυσική βακτηριακή αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων υπό αναερόβιες συνθήκες σε χώρους υγειονομικής

ταφής, εγκαταστάσεις βιοαποκατάστασης ή χώρους διάθεσης αποβλήτων, αντιπροσωπεύουν τον δεύτερο μεγαλύτερο παράγοντα που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπερβαίνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ως προς τη συμβολή της θερμότητας έως και 25. Φορές. Το μεθάνιο αποτελεί το 50% του (LFG), με το υπόλοιπο μέρος να αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα και ίχνη άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το υδρογόνο.

Η διαδικασία σύλληψης (LFG) συνεπάγεται τη μερική κάλυψη του χώρου υγειονομικής ταφής και την εισαγωγή συστημάτων συλλογής με κάθετες ή οριζόντιες διαμορφώσεις, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Καθώς το αέριο διασχίζει το σύστημα συλλογής, το συλλεγόμενο παγιδευμένο υγρό συμπύκνωμα υφίσταται επεξεργασία. Για εφαρμογές σε λέβητες ή στα περισσότερα συστήματα εσωτερικής καύσης απαιτείται ελάχιστη επεξεργασία. Ωστόσο, πιο εξελιγμένες διεργασίες, όπως απορροφητικές κλίνες και βιολογικοί καθαριστές, είναι απαραίτητες για άλλα συστήματα εσωτερικής καύσης, όπως αεριοστρόβιλοι, ειδικά για την εξάλειψη ουσιών όπως το υδρόθειο. Για να αποφευχθεί η παραγωγή τοξικών παραπροϊόντων μέσω ατελούς καύσης, είναι επιτακτική η συνεχής παρακολούθηση της διαδικασίας καύσης από την έναρξη έως την ολοκλήρωση. Η αναβάθμιση του LFG (Landfill Gas) σε υψηλής ενεργειακής ποιότητας αέριο κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας αυξάνει την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο και μειώνει το περιεχόμενό του σε διοξείδιο του άνθρακα, αζώτο και υδρογόνο. Το αναβαθμισμένο φυσικό αέριο RNG (ή αναβαθμισμένο φυσικό αέριο RNG) αποτελεί ένα ισοδύναμο καύσιμο με το φυσικό αέριο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) ή υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG). Οι μελέτες του διαθέσιμου LFG που εφαρμόζονται με επιτυχία περιλαμβάνουν:

- Εισαγωγή του αναβαθμισμένου LFG στο δίκτυο φυσικού αερίου μετά την επεξεργασία.
- Χρήση ως καύσιμο σε μονάδες θερμοηλεκτρικής συν-παραγωγής ενέργειας.
- Άμεση χρήση του αερίου ως καυσίμου σε μέσα μεταφοράς.
- Παραγωγή θερμότητας σε θερμοχημικές διαδικασίες για την παραγωγή νέων βιοκαυσίμων, όπως το βιοντίζελ.

2.2.1. Γεωργικά Απόβλητα: Τύποι Και Ενεργειακό Δυναμικό

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ένα σημαντικό υποπροϊόν των γεωργικών πρακτικών εμφανίζεται με τη μορφή γεωργικών αποβλήτων, τα οποία παράγουν υπολείμματα όπως υπολείμματα καλλιεργειών, ζωική κοπριά και αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα. Τα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν υπολείμματα καλλιεργειών και ζωικά υποπροϊόντα. Τα υπολείμματα των καλλιεργειών, που ορίζονται ως γεωργικά απόβλητα, περιλαμβάνουν όλα τα μη χρησιμοποιημένα φυτικά συστατικά που έχουν εγκαταλειφθεί στα αγροκτήματα μετά τη συγκομιδή. Επιπλέον, περιλαμβάνει απόβλητα που παράγονται κατά τη διάρκεια των εργασιών συσκευασίας ή απορρίπτονται κατά την επεξεργασία σε γεωργικές εγκαταστάσεις. Συνήθως, αυτά τα υπολείμματα είναι ογκώδη και θέτουν προκλήσεις στη μεταφορά, ειδικά όταν προορίζονται για τοποθεσίες μακριά από τον τόπο παραγωγής τους. Επιπλέον, τα αγροτικά απόβλητα παρουσιάζουν έντονη εποχικότητα, τόσο ως προς τη σύνθεση όσο και ως προς την ποσότητα, γεγονός που απαιτεί εκτεταμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης για διαθεσιμότητα όλο το χρόνο. Η εγγενής δυσκολία έγκειται στο μη πρακτικό της συλλογής ολόκληρου του φάσματος των αποβλήτων, με ορισμένα υπολείμματα να παραμένουν στο έδαφος για να μετριάσουν τη διάβρωση και να ενισχύσουν τη μακροπρόθεσμη παραγωγικότητα του εδάφους (Γεωργακάκης, 2003). Ο Πίνακας 2.13 παρέχει μια ταξινόμηση των γεωργικών αποβλήτων με βάση τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων. Κατά συνέπεια, τα γεωργικά απόβλητα εκδηλώνονται είτε ως οργανική είτε ως μη οργανική ύλη (όπως πλαστικό, μέταλλο, παλαιωμένα αντικείμενα και αγροχημικά). Η ετερογενής φύση της σύνθεσής τους περιπλέκει τις ομοιόμορφες πρακτικές διαχείρισης.

Κωδικός Ε.Κ.Α.	Κατηγορίες αποβλήτων
0201	Απόβλητα γεωργίας, κηπευτικής, υδατοκαλλιεργειών, δασοκομίας, θήρας και αλιείας

020101	Λάσπες που προέρχονται από καθαρισμό και πλύση
020102	Ζωικοί ιστοί
020103	Φυτικοί ιστοί
020104	Πλαστικά απόβλητα (με εξαίρεση τη συσκευασία)
020106	Ζωικά περιττώματα (στα οποία περιλαμβάνεται και αλλοιωμένη χορτονομή), υγρά εκροής που συλλέγονται χωριστά και επεξεργάζονται εκτός του σημείου όπου παράγονται
020107	Απόβλητα δασοκομίας
020108*	Απόβλητα αγροχημικά, που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
020109	Απόβλητα αγροχημικά πλην όσων περιλαμβάνονται στο σημείο 02 01 08
020110	Μεταλλικά απόβλητα
020199	Απόβλητα μη προδιαγραφόμενα αλλιώς
02 03	Απόβλητα που προέρχονται από την προπαρασκευή και από την επεξεργασία λαχανικών, φρούτων, καπνού βρώσιμων ελαίων, δημητριακών, καφέ, τσαγιού και κακάο
02 03 01	Λάσπες που προέρχονται από το πλύσιμο, από τον καθαρισμό, από την αποφλοιώση, από τη φυγοκέντριση και από το διαχωρισμό

02 03 02	Απόβλητα από συντηρητικά υλικά
02 03 03	Απόβλητα εκχύλισης με διαλύτη
02 03 04	Υλικά ακατάλληλα για κατανάλωση ή για επεξεργασία
02 03 05	Λάσπες από την επιτόπια επεξεργασία, υγρών εκροής

Εικόνα 2. 13 Πίνακας 2.13/Πηγή : *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογραμμα 2022.*

- **Εν δυνάμει επικίνδυνο απόβλητο**

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός ενός συστήματος διαχείρισης γεωργικών αποβλήτων, με έμφαση στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, απαιτεί την πλήρη κατανόηση των εγγενών χαρακτηριστικών του. Τα γεωργικά απόβλητα μπορούν να οριοθετηθούν με βάση τη φυσική, χημική και βιολογική τους σύνθεση. Αρχικά, γίνεται κατηγοριοποίηση σχετικά με τη φύση τους, ταξινομώντας τα σε στερεά, υγρά ή αέρια.

- **Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά:**

Η κατανόηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων. Παράμετροι όπως το χρώμα, η οσμή, η περιεκτικότητα σε στερεά κλάσματα και η θερμοκρασία παίζουν κρίσιμους ρόλους καθώς επηρεάζουν σημαντικά τη χημική και βιολογική σύνθεση των αποβλήτων. Οι φυσικές ιδιότητες των γεωργικών αποβλήτων συνδέονται εγγενώς με την προέλευσή τους, με αποτέλεσμα διακριτικά προφίλ χρώματος και οσμής. Για παράδειγμα, τα απόβλητα από την καλλιέργεια καλαμποκιού διαφέρουν ως προς το χρώμα και τη μυρωδιά σε σύγκριση με τα απόβλητα που παράγονται στην παραγωγή ελαιολάδου (Γεωργακάκης, 2003). Το νερό είναι κυρίαρχο συστατικό των γεωργικών αποβλήτων, παρόμοιο με άλλους τύπους αποβλήτων. Τα απόβλητα που περιέχουν λιγότερο από 80% περιεκτικότητα σε νερό ταξινομούνται ως στερεά απόβλητα, που σχηματίζουν σωρούς στο έδαφος λόγω της μη αντλούμενης φύσης τους. Αυτός ο τύπος

απορριμμάτων συναντάται συνήθως σε κτηνοτροφικά απόβλητα. (Γεωργακάκης 2003, Barker 1996).

Σε περιπτώσεις όπου η περιεκτικότητα σε νερό ξεπερνά το 95%, τα απόβλητα μετατρέπονται σε υγρή μορφή. Τα υγρά απόβλητα, με την υψηλότερη ρευστότητά τους, μπορούν να μεταφερθούν μέσω αγωγών χρησιμοποιώντας αντλίες ή μέσω φυσικής ροής τόσο σε κλειστά όσο και σε ανοιχτά συστήματα. Παραδείγματα υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν πλύσεις από χοιροστάσια, αποχετεύσεις κοπροσόρου από κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, λύματα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας απορριμμάτων (πριν την τελική απόρριψη) και απόβλητα που παράγονται στη βιομηχανία τροφίμων (Γεωργακάκης, 2003). Στα αγροτικά απόβλητα υπάρχουν δύο ενδιάμεσες κατηγορίες: ημιστερεά και ημίρευστα. Τα ημιστερεά απόβλητα χαρακτηρίζονται από τη λασπώδη, παχιά υφή τους και περιλαμβάνουν 75-80% περιεκτικότητα σε νερό. Αυτός ο τύπος απορριμμάτων σχηματίζει μια λεπτή απόθεση στο έδαφος, απαιτώντας εξειδικευμένους φορτωτές για το χειρισμό. Τα ημιστερεά απόβλητα που βρίσκονται κυρίως σε θαμνώδεις εκτάσεις προέρχονται από τον μηχανικό διαχωρισμό στερεών από υγρά μετά τη διαβροχή τους. Επιπρόσθετα, μπορεί να προκύψει από οποιοδήποτε τύπο στερεών αποβλήτων αφού υποβληθεί σε διαδικασία εμποτισμού (Μάνιος, 2016).

Από την άλλη πλευρά, τα ημι-υγρά έχουν περιεκτικότητα σε νερό που κυμαίνεται από 85-95%. Σε αντίθεση με τα ημι-στερεά, τα ημι-υγρά απόβλητα δεν έχουν την ικανότητα να ρέουν φυσικά μέσα στους αγωγούς και δεν μπορούν να εναποτεθούν απευθείας στο έδαφος. Κατά συνέπεια, τα υλικά αυτά τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους όπου υφίστανται αφυδάτωση, μετατρέποντας σε στερεά απόβλητα. Παραδείγματα ημι-υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν τα ζωικά απόβλητα από γεωργικές εγκαταστάσεις, όπως κουάμπι και χοιροστάσια. Τα απόβλητα αυτά προέρχονται από ούρα και κοπριά ζώων ή με αραίωση με νερό (πλύσιμο). Επιπλέον, μπορεί να προέρχεται από τα ιζήματα που υπάρχουν σε δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση υγρών αποβλήτων (Γεωργακάκης, 2003).

Πέρα από το νερό, σημαντικό συστατικό των γεωργικών αποβλήτων είναι η περιεκτικότητα σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά συστατικά. Τα διαλυτά στερεά συνήθως περιλαμβάνουν βασικά θρεπτικά συστατικά, άλατα και διάφορα ιχνοστοιχεία. Αντίθετα, τα αδιάλυτα στερεά συστατικά περιλαμβάνουν οργανική ύλη, χονδροειδή σωματίδια, καθώς και συσσωματώματα μικροοργανισμών ή κολλοειδών. Αυτά τα αδιάλυτα συστατικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το ειδικό βάρος και το ηλεκτρικό τους φορτίο, οδηγώντας σε ταξινομήσεις όπως καθίζηση, αιώρηση και αιώρηση. Ειδικότερα, στις κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις, όπου η

οργανική ουσία υπερβαίνει το 70%, τα απόβλητα παρουσιάζουν καθημερινές διακυμάνσεις σε μορφή, σύνθεση και όγκο. Αυτά τα απόβλητα που προέρχονται κυρίως από οργανικές πηγές περιλαμβάνουν νερό, κοπριά και ούρα εκτρεφόμενων ζώων. Επιπλέον, τα συστατικά των ζωοτροφών συμβάλλουν στα απόβλητα, τα οποία συχνά διαφεύγουν κατά τη διανομή. Η ουσιαστική παρουσία οργανικής ύλης σε αυτά τα απόβλητα, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη παρουσία μικροοργανισμών από ζώα, οδηγεί συνήθως στη δημιουργία δύσοσμων ουσιών όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υδρόθειο και η αμμωνία (Γεωργακάκης, 2003).

Η χημική σύνθεση των γεωργικών αποβλήτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση τους-ως εκ τούτου, πρέπει να πραγματοποιείται μελέτη κατά περίπτωση. Ωστόσο, υπό μια ευρεία έννοια, οι χημικοί αυτοί ρύποι μπορούν να ταξινομηθούν. Ένα υψηλό ποσοστό υδρογονανθράκων (24-50%) και φαινολών βρίσκεται συχνά στα γεωργικά απόβλητα. Τα ελαιούχα απόβλητα σπόρων έχουν περιεκτικότητα σε λίπος γύρω στο 10%, ενώ τα κτηνοτροφικά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες που ανέρχεται σε 40-60%. Η ουρία, από την άλλη πλευρά, είναι μια άλλη σημαντική οργανική ένωση που περιέχεται στα γεωργικά απόβλητα. Η συνάφεια με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας παρατηρείται μέσω της παρουσίας φυτοφαρμάκων, αγροχημικών, επιφανειοδραστικών ουσιών, βαρέων μετάλλων, αζώτου, χλωριόντων, θείου και φωσφόρου. Σε αυτό προστίθεται ότι, κάθε χρόνο που περνάει, θα μπορούμε να βλέπουμε συνεχή προσθήκη νέων, συνθετικών ενώσεων στο σκηνικό, προσθέτοντας στην ετερογένεια του ρεύματος αποβλήτων. Η ύπαρξη τέτοιων ενώσεων αποτελεί σημαντική πρόκληση για την επεξεργασία των αποβλήτων, καθώς οι περισσότερες από αυτές είναι ανθεκτικές στην αποικοδόμηση ή έχουν αργή βιοαποικοδομησιμότητα. Μια άλλη σημαντική πρόκληση σε σχέση με αυτές είναι η βιοαποικοδόμηση των μεγάλων οργανικών ενώσεων. Καλές ουσιαστικές πτυχές, ειδικά με τους αέριους ρύπους, είναι οι πτητικές οργανικές ενώσεις, το υδρόθειο και το μεθάνιο. Θα μπορούσαν να είναι νεκρά ζώα, μικροοργανισμοί και ιοί με κάποιους πιθανούς κινδύνους εξάπλωσης σε ένα περιβάλλον, ειδικά αυτοί που ζουν στα ζωικά απόβλητα. Σε περίπτωση που δεν επεξεργαστούν και διοχετευτούν απευθείας στο περιβάλλον ή μετά τη βιολογική σταθεροποίηση, μπορεί να αναπτυχθούν σηπτικές συνθήκες που μειώνουν το οξυγόνο. Οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται υπό αυτές τις συνθήκες, η θερμοκρασία και το pH συμβάλλουν στο σχηματισμό δυσάρεστων οσμών. Αυτή η οσφρητική ενόχληση αποδίδεται κυρίως στην παραγωγή υδρόθειου, αμμωνίας, μεθανίου και αμινών, τα οποία μπορούν όλα να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η ένταση αυτών των οσμών εξαρτάται από τις συνθήκες στις οποίες αποθηκεύονται τα απόβλητα (Κερατιώτης, 2017).

Επιπλέον, υπάρχει κίνδυνος μετάδοσης μεταδοτικών ασθενειών μέσω παθογόνων οργανισμών που υπάρχουν στα γεωργικά απόβλητα, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τόσο τα ζώα όσο και τον άνθρωπο (ζωονόσοι). Ο όρος απόβλητα γεωργικών φαρμάκων, ή αγροχημικά, αναφέρεται κυρίως στην άδεια συσκευασία των φυτοπροστατευτικών προϊόντων και στο πλεονάζον διάλυμα ψεκασμού. Ωστόσο, περιλαμβάνει επίσης σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με τα στερεά απόβλητα που παράγονται από μονάδες παραγωγής γεωργικών φαρμάκων. Αυτά τα στερεά απόβλητα μπορεί να περιλαμβάνουν:

1. Σκόνες που προκύπτουν από τον καθαρισμό μηχανημάτων, τις συσκευασίες και την παραγωγή σκονών.
2. Σκόνες που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό δαπέδων.
3. Κατεστραμμένα δοχεία συσκευασίας.
4. Σκόνες που παράγονται από τυχαίες εκκενώσεις ή σφάλματα χειρισμού μηχανημάτων.
5. Μη κατάλληλες παρτίδες πρώτων υλών ή προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων αυτών που έχουν αλλοιωθεί ή έχουν λήξει.
6. Εξαντλημένα φίλτρα συγκράτησης σκόνης.
7. Χρησιμοποιείται ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός, όπως ρούχα και μάσκες.
8. Υγρά απόβλητα καθαρισμού και πλυσίματος βαρελιών, χώρων και μηχανημάτων. Αυτά τα υγρά απόβλητα συχνά περιέχουν τόσο οργανικά όσο και ανόργανα συστατικά, όπως οργανικές δραστικές ουσίες και ενώσεις νατρίου.
9. Διάφορα άλλα στερεά απόβλητα, όπως αναλωμένος ενεργός άνθρακας που προορίζεται για την προσρόφιση οργανικών ουσιών, ενώσεων και υπολειμμάτων από την προεπεξεργασία, καθώς και ιλύς από την πρωτογενή επεξεργασία αποβλήτων.

Τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα πωλούνται συνήθως σε συσκευασίες κατασκευασμένες από διάφορα υλικά και διατίθενται σε διάφορα μεγέθη, που καθορίζονται από τους αντίστοιχους κανονισμούς αδειοδότησης. Τα υλικά συσκευασίας συνήθως περιλαμβάνουν αλουμίνιο, γυαλί, χαρτί και διάφορα πλαστικά όπως PE (πολυαιθυλένιο), HDPE (πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας), PET, COEX, πλαστικοποιημένα υλικά κ.λπ. Η πρόκληση της διάθεσης αυτών των απορριμμάτων, μαζί με τα υλικά συσκευασίας τους, επηρεάζεται άμεσα από την τοξικότητά τους. Η κοινή πρακτική για την απόρριψη των συσκευασιών φυτοφαρμάκων, συχνά

μετά την εκκένωση στο σημείο χρήσης τους, περιλαμβάνει την ταφή όταν συσσωρεύεται σημαντική ποσότητα. Ωστόσο, μια ακόμη πιο προβληματική πρακτική είναι η επιτόπια καύση. Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών, συμπεριλαμβανομένων φουρανίων, αρωματικών υδρογονανθράκων, διοξινών και αιωρούμενων σωματιδίων, θέτοντας κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον (Μενκίσογλου-Σπυρούδης). Σε ευθυγράμμιση με την ισχύουσα ευρωπαϊκή και ελληνική νομοθεσία, δίνεται έμφαση στην πρόληψη των απορριμμάτων, στην προώθηση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης. Καταβάλλονται προσπάθειες για την αντιμετώπιση της ανεξέλεγκτης απόρριψης των συσκευασιών και τη διασφάλιση της ασφαλούς διαχείρισης όταν η εκμετάλλευση δεν είναι εφικτή.

Επιπλέον, ως μέρος του ρυθμιστικού πλαισίου, όλοι οι επαγγελματίες χρήστες φυτοφαρμάκων, συμπεριλαμβανομένων των παραγωγών και των ψεκαστών, υποχρεούνται να υποβάλλονται σε εκπαίδευση —είτε μέσω ιδιωτικών ή δημόσιων εκπαιδευτικών κέντρων— εστιασμένη στη σωστή και υπεύθυνη χρήση αυτών των ουσιών, τηρώντας τις αντίστοιχες οδηγίες. Ένας κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το υπολειμματικό περιεχόμενο των συσκευασιών γεωργικών φαρμάκων. Όταν η περιεκτικότητα σε αυτές τις ουσίες σε άδειες συσκευασίες πέσει κάτω από 0,1%, τα απόβλητα θεωρούνται μη επικίνδυνα. Ωστόσο, εάν πολλές συσκευασίες υπερβαίνουν αυτό το όριο, ταξινομούνται ως επικίνδυνα απόβλητα, με αποτέλεσμα να απαιτείται η μεταφορά τους για επεξεργασία εκτός Ελλάδας σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις. Επομένως, είναι απαραίτητο να ξεπλένετε τα δοχεία τριπλό μετά τη χρήση. Οι εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης πακέτων περιλαμβάνουν μηχανική ανακύκλωση, χημική ανακύκλωση, καύση, αποτέφρωση και υγειονομική ταφή, καθεμία με τα δικά της μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος και ο κίνδυνος ρύπανσης (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας).

Κάθε δραστηριότητα που διεξάγεται από ζώα, και ιδιαίτερα ανθρώπους, δημιουργεί απόβλητα που συσσωρεύονται και συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Τα προηγούμενα χρόνια, η περιορισμένη και διάσπαρτη παραγωγή αποβλήτων επέτρεπε σε φυσικούς μηχανισμούς, κυρίως μέσω μικροοργανισμών, να διευκολύνουν την αποδόμησή τους. Ωστόσο, τους τελευταίους αιώνες, ιδιαίτερα μετά τη βιομηχανική επανάσταση, παράγοντες όπως η πληθυσμιακή αύξηση, η εύκολη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, ο υπερκαταναλωτισμός και η ανάπτυξη συνθετικών ουσιών έχουν οδηγήσει στην υπερβολική παραγωγή αποβλήτων. Αυτά τα απόβλητα, τα οποία δεν μπορούν φυσικά να υποβαθμιστούν με την πάροδο του

χρόνου, δημιουργούν σημαντικές προκλήσεις για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Όταν αναφερόμαστε στον όρο «περιβάλλον», καλύπτουμε όλα τα φυσικά και ανθρωπογενή στοιχεία και παράγοντες που αλληλεπιδρούν, επηρεάζοντας την ποιότητα ζωής, τις αισθητικές αξίες και την υγεία των κατοίκων. Επιπλέον, περιλαμβάνει εκτιμήσεις πολιτιστικών και ιστορικών παραδόσεων, καθώς και οικολογική ισορροπία σε κάθε περιοχή (Κουλούρη, 2018).

Η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή συμβάλλει σημαντικά στη συσσώρευση απορριμμάτων και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον γίνονται πιο έντονες σε περιοχές με μεγαλύτερη πυκνότητα γεωργικών και κτηνοτροφικών μονάδων. Οι προκλήσεις αυτές εντείνονται περαιτέρω όταν οι μονάδες αυτές συνυπάρχουν με άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή μεγάλους οικισμούς. Τα γεωργικά απόβλητα περιλαμβάνουν διάφορα στοιχεία με βάση την προέλευσή τους, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων καλλιεργειών, ούρων, κοπριάς, υπολειμμάτων ζωοτροφών και όμβριων υδάτων, καθώς και νερό που χρησιμοποιείται για πλύσιμο χώρων (Μάνιος, 2016). Η ρύπανση σε μια περιοχή μπορεί να εκδηλωθεί ως απελευθέρωση δυσάρεστων οσμών, τόσο ανόργανης όσο και οργανικής ρύπανσης, αισθητική υποβάθμιση της περιοχής και πιθανότητα μόλυνσης. Οι λοιμώξεις προκαλούνται κυρίως από μικροοργανισμούς και η ανάπτυξή τους εξαρτάται από την καθαριότητα και την υγιεινή των χώρων διαβίωσης, ιδιαίτερα στα αγροκτήματα.

Ένα ανεπαρκώς διαχειριζόμενο σύστημα γεωργικών αποβλήτων ή η απουσία τέτοιου συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε ρύπανση του εδάφους, του υδάτινου οικοσυστήματος και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Όσον αφορά τη ρύπανση του εδάφους, ένας σημαντικός παράγοντας είναι η απώλεια βασικών θρεπτικών στοιχείων του εδάφους όπως ο φώσφορος και τα νιτρικά άλατα, που συχνά συμβαίνει μέσω της έκπλυσης και της απορροής των επιφανειακών υδάτων. Η σωστή εφαρμογή και διαχείριση της κοπριάς παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόληψη αυτών των απωλειών θρεπτικών συστατικών. Η ακατάλληλη διαχείριση της κοπριάς μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά θρεπτικών συστατικών στον υδροφόρο ορίζοντα. Ανόργανη ρύπανση μπορεί επίσης να συμβεί λόγω της παρουσίας ανόργανων στοιχείων στα απόβλητα, όπως άζωτο, άλατα ασβεστίου, νάτριο, μαγνήσιο, κάλιο, φώσφορος και βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός, ο σίδηρος, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος (Κουλούρη, 2018).

Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στην αύξηση της αλατότητας και της τοξικότητας του εδάφους, που προέρχονται κυρίως από την υπερβολική συγκέντρωση συγκεκριμένων συστατικών. Η ρύπανση του νερού που προκύπτει από τα γεωργικά απόβλητα περιλαμβάνει ανόργανα στοιχεία που υπάρχουν στα απόβλητα, όπως φώσφορο, κάλιο, άζωτο, μαγνήσιο,

άλατα ασβεστίου, νάτριο, καθώς και βαρέα μέταλλα όπως μαγγάνιο, χαλκός, σίδηρος και ψευδάργυρος (Κουλούρη, 2018). Ο ευτροφισμός είναι μια κοινή συνέπεια, ιδιαίτερα σε στάσιμα υδατικά συστήματα, αλλά μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αυξημένη αλατότητα και τοξικότητα του νερού λόγω της υπερβολικής συγκέντρωσης συγκεκριμένων συστατικών (Κερατιώτης, 2017).

Ένας σημαντικός ρύπος στον αγροτικό τομέα είναι τα νιτρικά άλατα, που συμβάλλουν στη νιτρορύπανση. Τα νιτρικά άλατα μπορούν να οδηγήσουν σε ευτροφισμό, θέτοντας προκλήσεις για την αναπαραγωγή και την επιβίωση των οργανισμών σε υδάτινα περιβάλλοντα. Η νιτρορύπανση παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στη διαχείριση του πόσιμου νερού, καθιστώντας αναγκαία τη θέσπιση υψηλότερων νομοθετικών ορίων για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Η αζωτούχα ρύπανση εμπλέκεται επίσης σε διάφορα προβλήματα υγείας, όπως η μεθαιμοσφαιριναιμία και ο καρκίνος (Γεωργιάδης, 2003). Η ποιότητα του αέρα επηρεάζεται σημαντικά από τις γεωργικές και, ιδιαίτερα, τις κτηνοτροφικές μονάδες μέσω της απελευθέρωσης διαφόρων αερίων. Τα βασικά αέρια που εκπέμπονται από τα γεωργικά απόβλητα περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το όζον (O₃), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), την αμμωνία (NH₄) και το μεθάνιο (CH₄). Αυτά τα αέρια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου», με την αμμωνία, που προέρχεται κυρίως από κτηνοτροφικές δραστηριότητες, και συμβάλλει στο 60-70% περίπου της ατμοσφαιρικής απελευθέρωσής της. Η αμμωνία είναι συστατικό της όξινης βροχής και ενισχύει τη μετατροπή του διοξειδίου του θείου (SO₂) σε θειικό αμμώνιο ((NH₄)₂SO₄), αυξάνοντας την οξύτητα του εδάφους (Κουλούρη, 2018).

Το μεθάνιο είναι ένας σημαντικός αέριος ρύπος, καθώς είναι περίπου 24 φορές πιο ισχυρό στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» σε σύγκριση με το διοξείδιο του άνθρακα. Οι κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις συμβάλλουν στο 20% περίπου των παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου. Επιπλέον, το οξείδιο του νατρίου, που παράγεται σε πολύ υψηλότερη ισχύ από το διοξείδιο του άνθρακα και προέρχεται από κοπριά, συμβάλλει ουσιαστικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση (FAO). Αυτοί οι αέριοι ρύποι μπορούν να θέτουν κινδύνους για την υγεία τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για τα ζώα, προκαλώντας προβλήματα όπως ερεθισμό και ανορεξία στα ζώα (Ziomas, 2003).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος πηγάζει κυρίως από τις κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, τα απόβλητα που παράγονται από αυτές τις υποδομές εμπίπτουν στη γενική κατηγορία 18, η οποία περιλαμβάνει απόβλητα από την

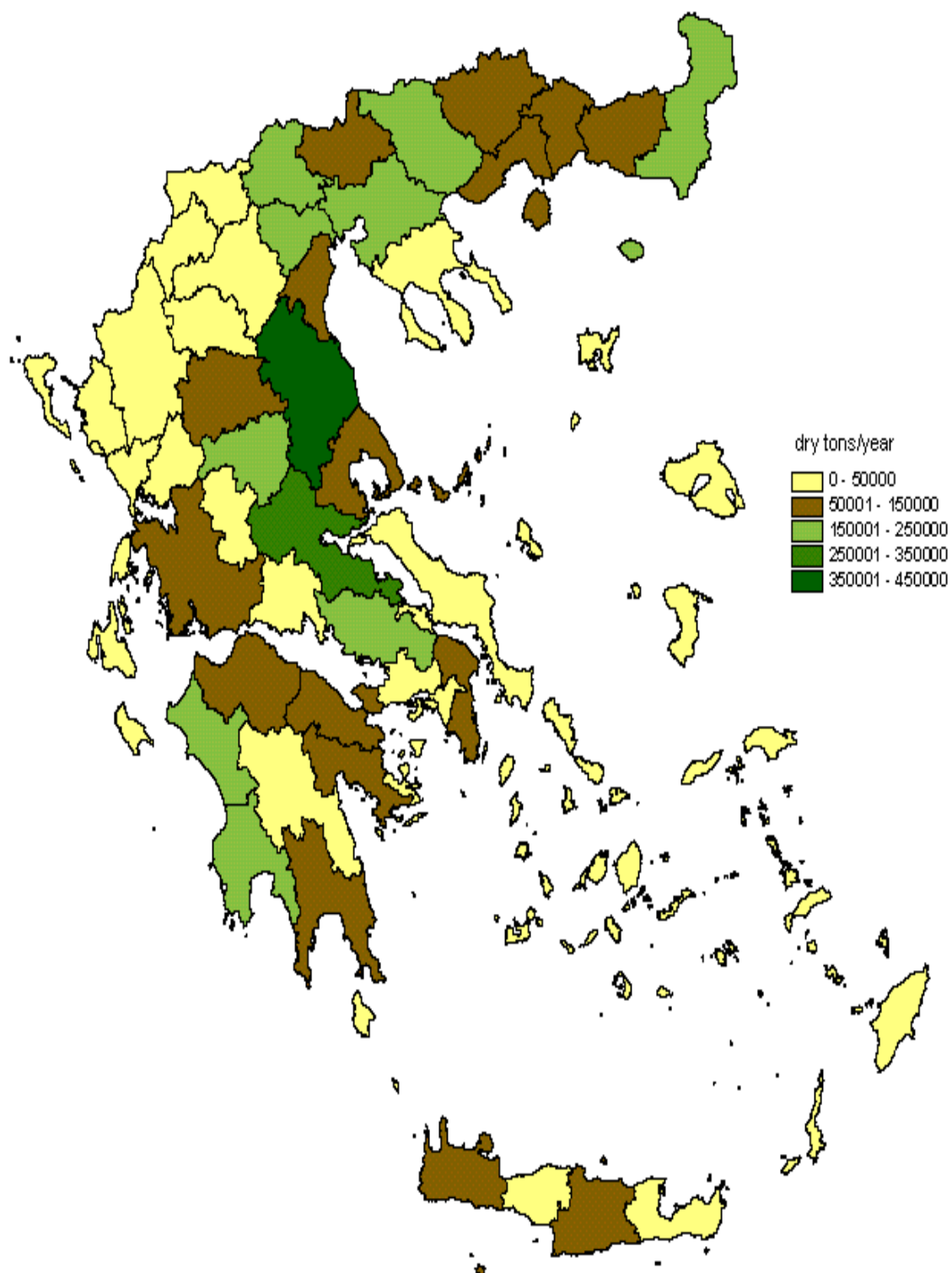
υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων ή ζώων ή/και σχετική έρευνα. Οι συνθήκες υγιεινής τόσο των εγκαταστάσεων όσο και των ζώων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διάδοση μολυσματικών ασθενειών. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, που ευδοκιμούν στα απόβλητα, στα ζώα ή στο περιβάλλον περιβάλλον, συμβάλλουν στην εξάπλωση ασθενειών όπως η ηπατίτιδα, η τουλαραϊμία, η λεπτοσπείρωση, η χολέρα, η πανώλη των χοίρων και ο αφθώδης πυρετός, μεταξύ άλλων. Τα κολοβακτηρίδια χρησιμεύουν ως δείκτες του μικροβιακού φορτίου που υπάρχει στα απόβλητα, με τους παθογόνους μικροοργανισμούς να αποτελούν απειλή κυρίως για την υγεία των ζώων και όχι για την ανθρώπινη ευημερία. Η μείωση της πιθανότητας μόλυνσης περιλαμβάνει την εφαρμογή φυσικών μεθόδων όπως ο σωστός αερισμός, η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών και η διασφάλιση της κατάλληλης επεξεργασίας των ζωικών περιττωμάτων.

Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χημικά μέσα, όπως απολύμανση με χρήση ουσιών όπως το χλώριο και το ασβέστιο. Όταν τα απόβλητα απορρίπτονται σε έναν αποδέκτη νερού, συνιστάται συνδυασμός φυσικών και χημικών μεθόδων (Γεωργακάκης, 2003). Η ακατάλληλη διάθεση των αγροτικών απορριμμάτων έχει αναπόφευκτα ως αποτέλεσμα την αισθητική υποβάθμιση των γύρω περιοχών. Αυτή η αισθητική παρακμή δεν επεκτείνεται μόνο στις τοποθεσίες που έχουν καθοριστεί για τη διάθεση των γεωργικών απορριμμάτων, αλλά περιλαμβάνει επίσης την εμφάνιση χώρων εντός των κτηνοτροφικών μονάδων και των περιοχών τους. Οι συνέπειες αυτής της υποβάθμισης, που περιλαμβάνει την ακατάλληλη εναπόθεση νεκρών ζώων και απορριμμάτων σε απεριόριστους χώρους και την εκπομπή δυσάρεστων οσμών, οδηγούν σε δημόσια δυσαρέσκεια μεταξύ των γειτόνων. Επιπλέον, αμαυρώνει την εικόνα της χώρας μας στα μάτια των τουριστών. Αν και η αισθητική υποβάθμιση μπορεί να μην αποτελεί άμεσο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, τόσο των ανθρώπων όσο και των ζώων, έχει εκτεταμένες επιπτώσεις στον κοινωνικό ιστό και την πολιτιστική κληρονομιά των πληγείσων περιοχών. Το περιβάλλον, σε αυτό το πλαίσιο, θεωρείται ως ένα σύστημα που περιλαμβάνει άμεσα αλληλεξαρτώμενους παράγοντες και συνδέσμους (Καλτσούνη, 2010).

Η μόλυνση που προκύπτει από τα φυτοφάρμακα, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, συνδέεται περίπλοκα με την κατάλληλη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, σε συνδυασμό με την επακόλουθη υποβάθμιση και ρύπανση των υπόγειων υδάτων παράλληλα με τη διάβρωση του εδάφους. Η υπερβολική εφαρμογή χημικών λιπασμάτων οδηγεί στη διάδοση φωσφορικών και νιτρικών αλάτων στο περιβάλλον, συμβάλλοντας στον εμπλουτισμό των υδάτινων σωμάτων

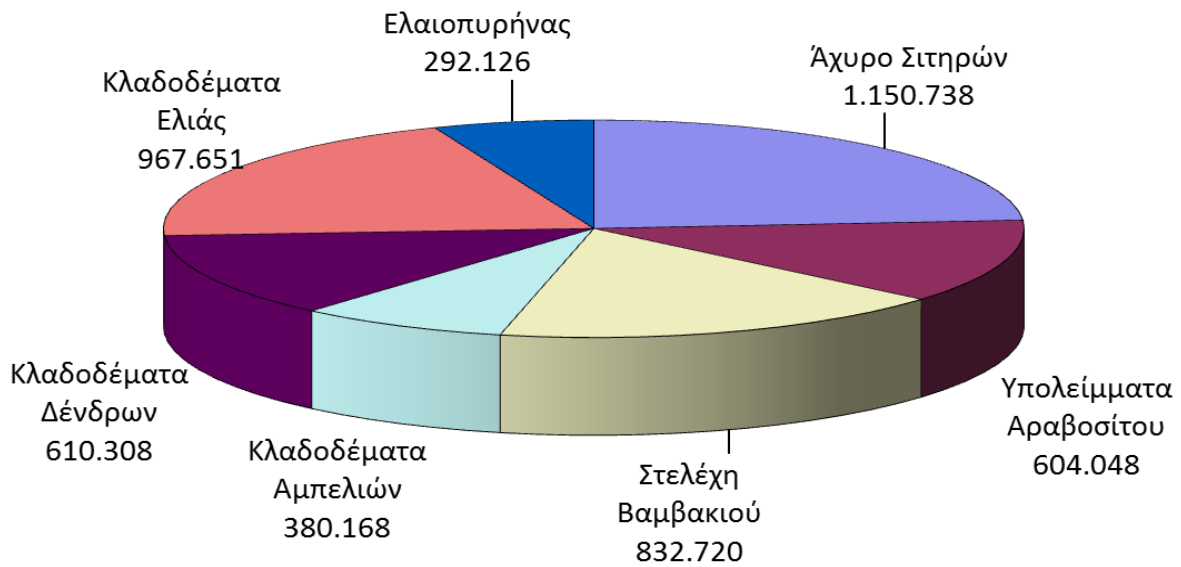
και τον επακόλουθο ευτροφισμό. Επιπλέον, η αδιάκριτη χρήση φυτοφαρμάκων έχει ως αποτέλεσμα την ευρεία διασπορά σημαντικών ποσοτήτων τοξικών ουσιών στο περιβάλλον, προκαλώντας έτσι ρύπανση τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό οδηγώντας σε φυσικά τοξικά φαινόμενα που επηρεάζουν διάφορους οργανισμούς. Η έκταση και η ένταση της ρύπανσης από φυτοφάρμακα εξαρτάται από την παραμονή την παραμονή και τη μεταφορά αυτών των ουσιών μέσω του εδάφους, καθώς και από τις φυσικές και χημικές διεργασίες που διέπουν τη μοριακή τους μεταφορά. Οι ενώσεις με αυξημένη διαλυτότητα παρουσιάζουν αντοχή τόσο σε βιολογικές όσο και σε φωτοχημικές σχάσεις, διεισδύοντας γρήγορα και σημαντικά στα οικοσυστήματα, θέτοντας έτσι μια διάχυτη απειλή για εκτεταμένες περιοχές. Τα φυτοφάρμακα, καθώς διασχίζουν την τροφική αλυσίδα, αποτελούν σημαντική απειλή τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη υγεία, προκαλώντας ένα φάσμα θεμάτων.

Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν μια σειρά από ανησυχίες για την υγεία, όπως εγκαύματα, γαστρεντερικές διαταραχές, δερματίτιδα, ήπιες δηλητηριάσεις, αδυναμία, παράλυση κάτω άκρων, ζάλη, βλάβες του αναπνευστικού συστήματος, ηπατική και νεφρική βλάβη, μεταλλάξεις, καρκίνο, ακόμη και δυσμενείς επιπτώσεις σε το κεντρικό νευρικό σύστημα. Συγκεκριμένα, τα εντομοκτόνα ξεχωρίζουν ως ιδιαίτερα επικίνδυνα, καθώς η εφαρμογή τους μπορεί να οδηγήσει σε ακούσια διασπορά στον αέρα, που στη συνέχεια μεταφέρεται από το νερό της βροχής. Αυτή η ακούσια διασπορά έχει τη δυνατότητα να μολύνει όχι μόνο κοντινές περιοχές αλλά και να επεκτείνει τις δυσμενείς επιπτώσεις της σε πιο απομακρυσμένες περιοχές. Σύμφωνα με τον Υπουργική Απόφαση Πράξη 39 της 31.8.2020/2020 (ΦΕΚ 185/Α΄ 29.9.2020) «Έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Α.)» η προβλεπόμενη διαθεσιμότητα βιομάζας στην Ελλάδα αναμένεται να φτάσει συνολικά τους 2.681.832 μετρικούς τόνους μέχρι το έτος 2030. Παρακάτω επισυνάπτεται η Εικόνα 2.13 και 2.14 με το διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων στην Ελλάδα. Η σημαντική αυτή ποσότητα καθιστά αναγκαία τη χρήση εξειδικευμένων πρακτικών διαχείρισης προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που συνδέονται με τη χρήση της βιομάζας. Η πρακτική της διαχείρισης περιλαμβάνει τα καθήκοντα της διατήρησης της γονιμότητας του εδάφους και του μετριασμού των πιθανών συγκρούσεων που προκύπτουν από τη χρήση των υπολειμμάτων για γεωργικές ή βιομηχανικές δραστηριότητες.

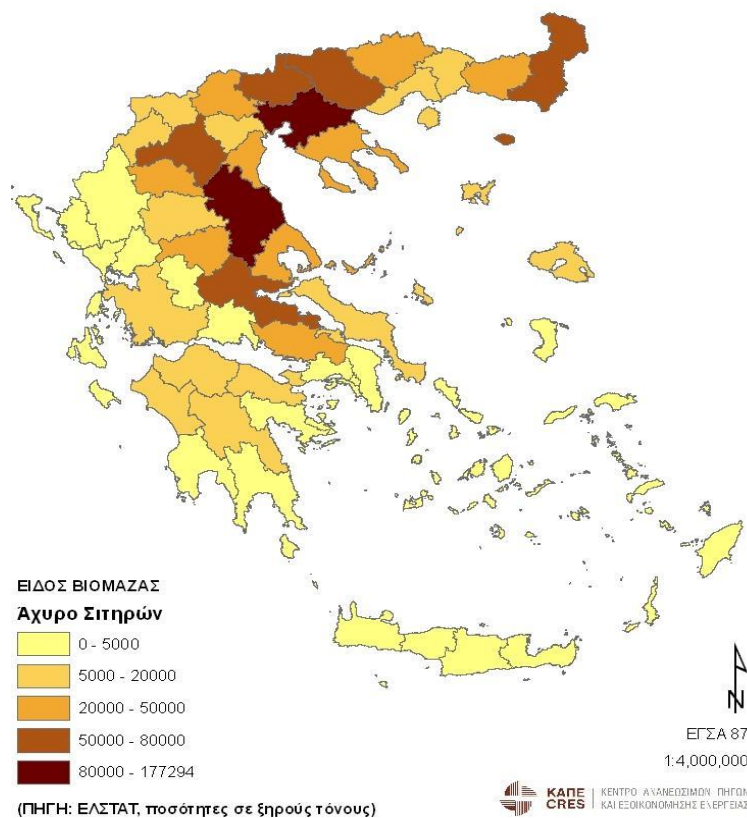


Εικόνα 2. 14: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (2017)

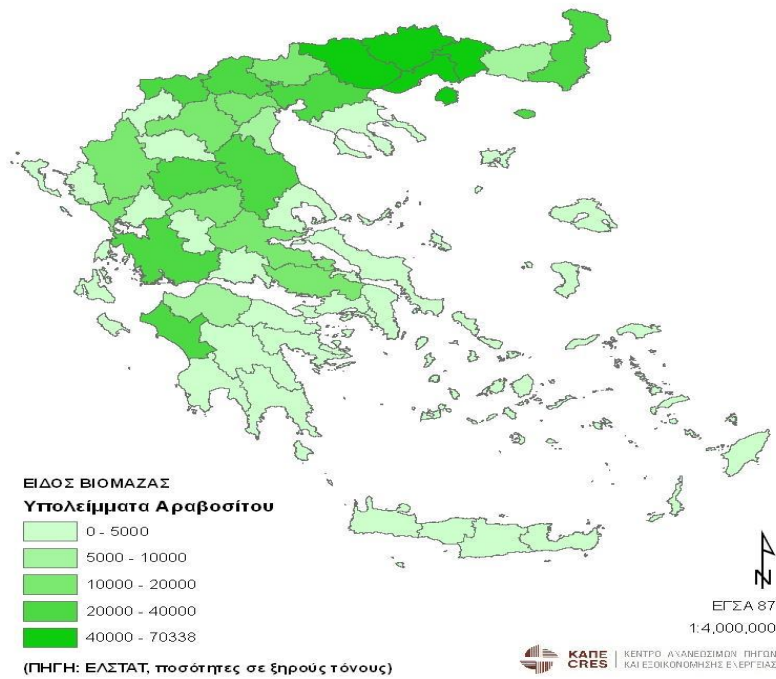
Πηγή: http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/3_20170407_Biomass%20Day_XPHΣΤΟΥ.pdf



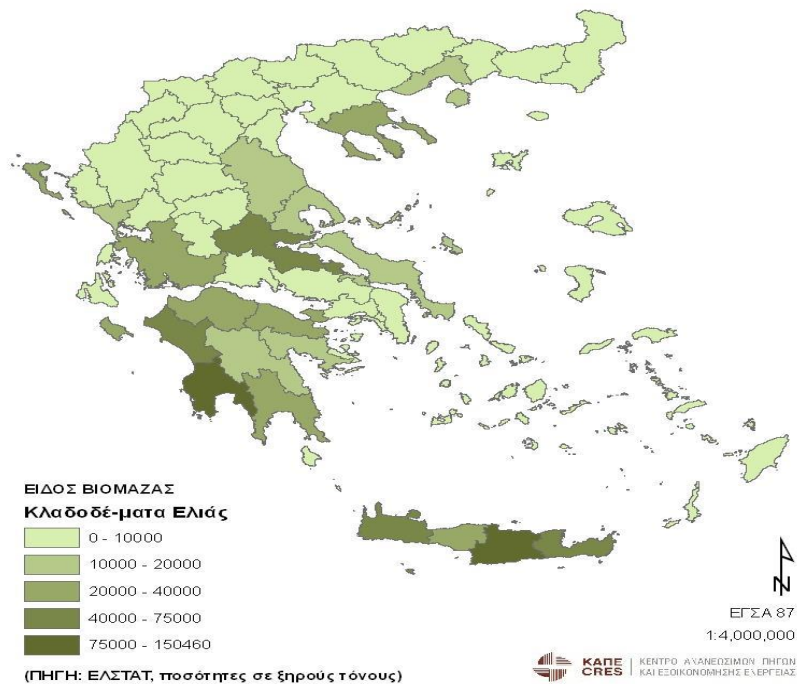
Εικόνα 2. 15 : Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό των γεωργικών υπολειμμάτων (τόνοι ξηρής ουσίας) (2017)



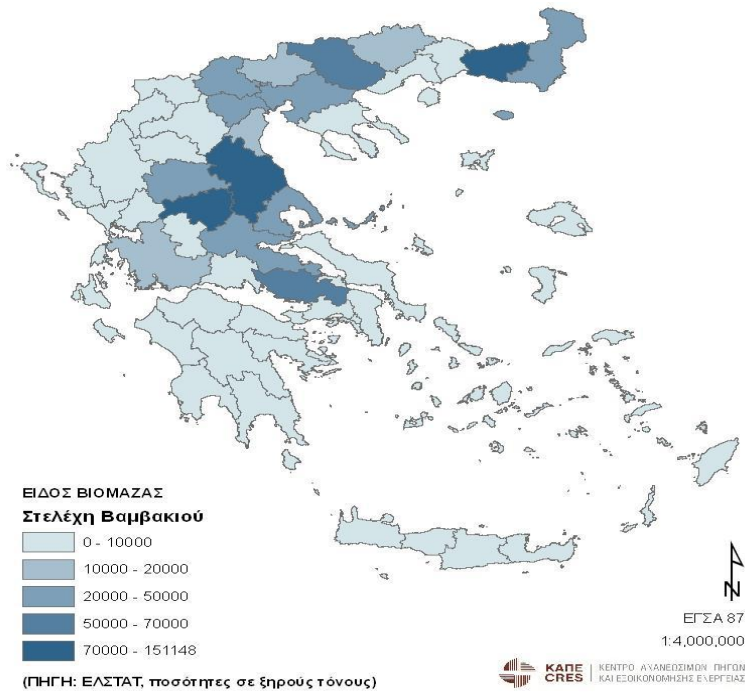
Εικόνα 2. 16 : Είδος Βιομάζας , Άχυρο Σιτηρών (2017)



Εικόνα 2. 17: Υπολείμματα Αραβοσίτου (2017)



Εικόνα 2. 18: Κλαδιά Ελιάς (2017)



Εικόνα 2. 19: Στελέχη Βαμβακιού (2017)

Η αξιοποίηση των γεωργικών αποβλήτων, που προέρχονται κυρίως από τα υπολείμματα των καλλιεργειών και την κτηνοτροφία, έχει σημαντικές προοπτικές για την παραγωγή ενέργειας. Στη χώρα του Μαυροβουνίου, προβλέπεται ότι υπάρχει ετήσια διαθεσιμότητα περίπου 9490 τόνων ξηρής ύλης που προέρχονται από υπολείμματα που παράγονται από την καλλιέργεια γεωργικών φυτών. Από τον προαναφερθέντα υπολογισμό προκύπτει ένα τεχνικό ενεργειακό δυναμικό περίπου 142,283 γιγατζάουλ (39,56 γιγαβατώρες). Επιπλέον, τα απόβλητα που παράγονται από την εντατική κτηνοτροφία, τα οποία ανέρχονται σε 107.675 τόνους, συμβάλλουν σε ένα εκτιμώμενο ενεργειακό δυναμικό περίπου 298.552 γιγατζάουλ (82,93 γιγαβατώρες). Σύμφωνα με τον Čurović (2016), το εκτιμώμενο ετήσιο τεχνικό ενεργειακό δυναμικό των γεωργικών αποβλήτων στο Μαυροβούνιο ανέρχεται σε περίπου 440.835 GJ (122,49 GWh).

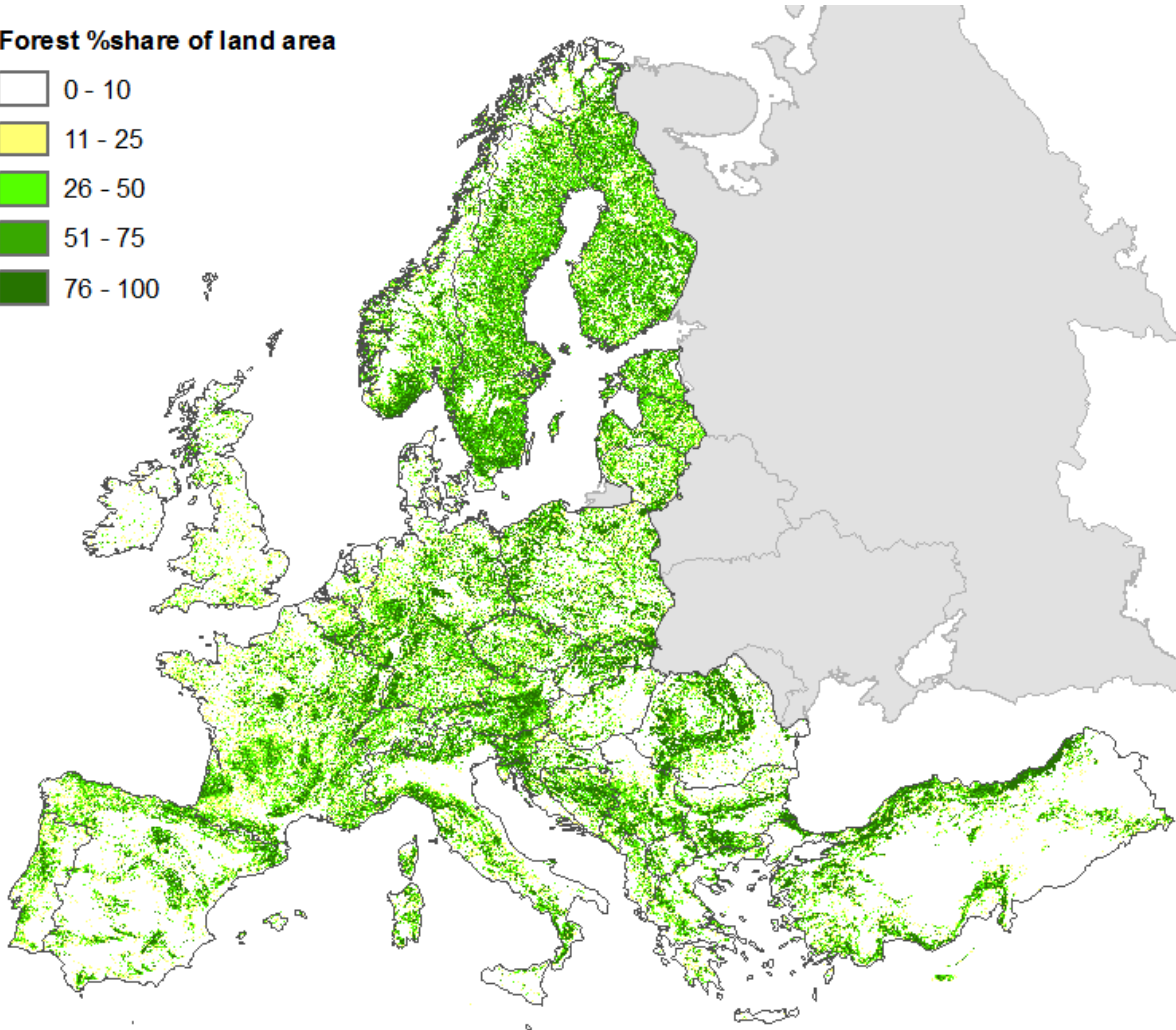
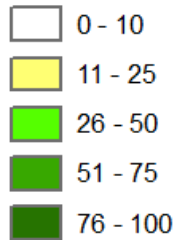
2.2.2. Δασικά Απόβλητα: Τύποι Και Ενεργειακό Δυναμικό

Τα δάση, που καλύπτουν συνολικά περισσότερο από το ένα τρίτο της έκτασης της γης, εκτελούν ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για την εξυπηρέτηση της κοινωνίας. Από οικονομική άποψη, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία εισοδήματος. Μέσω της οικολογικής τους φύσης, διατηρούν τη βιοποικιλότητα και χρησιμεύουν στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Από κοινωνική και πολιτιστική άποψη, οι οντότητες αυτές είναι πολύ σημαντικές για έναν πληθυσμό και ταυτόχρονα αποτελούν πηγή τροφής και βιοπορισμού. Τα δάση χρησιμεύουν ως μία από τις σημαντικές πηγές ενέργειας από τη μετατροπή της δασικής βιομάζας σε διάφορες μορφές καυσίμων. Η συμβολή τους στην παγκόσμια προσφορά ενέργειας ανέρχεται σήμερα στο 14%, γεγονός που σημαίνει ότι θα μπορούσαν εύκολα να καλύψουν έως και το 50% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. (ΚΑΠΕ) Τα ευρωπαϊκά δάση καλύπτουν έκταση περίπου 117 εκατομμυρίων εκταρίων, δηλαδή περίπου το 42% της χερσαίας έκτασης (Σχήμα 2.20), και πιστεύεται ότι δεσμεύουν περίπου το 10% των ετήσιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ήπειρο (Nabuurs et al., 2003). Η Ευρώπη παρουσιάζει αξιοσημείωτη αύξηση της δασικής κάλυψης σε σύγκριση με άλλες γεωγραφικές περιοχές. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα, η καταγεγραμμένη έκταση στο κράτος ανέρχεται σε περίπου 12 εκατομμύρια εκτάρια (Σχήμα 2.19), συμπεριλαμβανομένων των δασών και των δασικών εκτάσεων, εκ των οποίων το 53% προορίζεται για την παραγωγή ξυλείας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μια οντότητα που αποτελείται από 27 κράτη μέλη και είναι η μεγαλύτερη στο καθεστώς της που διαθέτει έκταση σχετικά μεγάλης δασικής γης, η οποία χαρακτηρίζεται από συνδυασμό ιδιωτικών και δημόσιων εκτάσεων. Η σημασία της αφθονίας των πόρων ξύλου για την παραγωγή ενέργειας οδηγεί στην επέκταση της χρήσης στερεάς βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η Γερμανία, η Σουηδία και η Φινλανδία κυριαρχούν στην ενέργεια από δασική βιομάζα. Περιλαμβάνουν όλα τα οργανικά προϊόντα των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη διαχείριση, τη συντήρηση και τη χρήση της δασικής γης. Τα υλικά αυτά, τα οποία συνήθως θεωρούνται υποπροϊόντα ή υπολείμματα των δασικών δραστηριοτήτων, παρουσιάζουν υψηλό δυναμικό για την παραγωγή ενέργειας, πολύ περισσότερο σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, όπου η δασοκομία αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην ποικιλία των δασικών αποβλήτων και αξιολογείται το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από αυτά, με ιδιαίτερη έμφαση στην περίπτωση της Ελλάδας.



Εικόνα 2. 20: Χάρτης με τα δάση και τις δασικές εκτάσεις στην Ελλάδα (2022)

Πηγή: <https://www.ktimatologio.gr/el/page/dasika/dasi-kai-dasikes-ektaseis-stin-ellada-etoys-2022>

Forest %share of land area

Εικόνα 2. 21: Κατανομή δασών στην Ευρωπαϊκή Ήπειρο.(2011)

Πηγή: <https://efi.int/knowledge/maps/forest>

Η παραγωγή ξύλου από τα δάση διαδραματίζει κεντρικό ρόλο ως βιώσιμη πηγή βιομάζας, συμβάλλοντας σημαντικά στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η δασική ξυλεία, που προέρχεται από διάφορες δασικές εργασίες, αποτελεί ζωτικό συστατικό της αξιοποίησης της βιομάζας. Αυτές οι εργασίες περιλαμβάνουν δραστηριότητες όπως η εκκαθάριση δασών, η υλοτομία και η επεξεργασία ξύλου, η παραγωγή υπολειμμάτων που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή δασικής βιομάζας (Markowski et al., 2012; Lauri et al., 2014; Stasko et al., 2011; Schwarzbau. 2013). Ο Πίνακας 2.21 παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των δασικών προϊόντων που αποτελούν δασική ξυλεία, ζωτικής σημασίας για σκοπούς παραγωγής ενέργειας. Τα υπολείμματα ξύλου αναδεικνύονται ως η κύρια πηγή βιοκαυσίμων παγκοσμίως, με το ενεργειακό τους δυναμικό να ποσοτικοποιείται σε τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (TOE).

Δασική Ξυλεία	
Καυσόξυλα	Υλοτόμηση δασών
Προϊόντα καλλιέργειας και καθαρισμού των δασών	Κλαδέματα δέντρων Δασικά απόβλητα όπως νεκρά δέντρα και αποψίλωση δασών για σκοπούς αντιτυρικής προστασίας ή αναγέννησης δασών
Υπολείμματα δασικής υλοτομίας	Κοπή, αποφλοίωση, πριονίδια (50% της

Εικόνα 2. 22 Πίνακας 2.2.2.1 Δασική Ξυλεία/Πηγή : Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), εργογράμμο 2022.

Δύο κύριες κατηγορίες ξυλείας ανακτώνται κυρίως από δασικούς πόρους:

A. Βιομηχανική ξυλεία:

1. Ξυλεία κατασκευών ή στρογγυλή ξυλεία: Αυτή η κατηγορία, που αναφέρεται επίσης ως τεχνική ξυλεία, περιλαμβάνει σχετικά μεγάλους κορμούς, συνήθως μήκους έως 15 μέτρα με διάμετρο άνω των 20 εκατοστών. Αυτά τα κούτσουρα βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευών, της εξόρυξης, της συσκευασίας, του δαπέδου, της παραγωγής σπέρτων και της κατασκευής πόλων χρησιμότητας.

2. Βιομηχανικό ξύλο ή πελεκημένο ξύλο: Αυτός ο τύπος ξύλου υφίσταται μετατροπή σε μικρότερα κομμάτια μέσω διαδικασιών θρυμματισμού, κατάλληλο για εφαρμογές σε μοριοσανίδες, ινοσανίδες και κατασκευή χαρτιού. Μετά την επεξεργασία, το ξύλο είναι είτε σε στρογγυλή μορφή με διάμετρο που κυμαίνεται από 6 έως 35 εκατοστά είτε σχισμένο, με μήκη συνήθως μεταξύ 0,80 και 1,20 μέτρα.

B. Καυσόξυλα:

Τα καυσόξυλα αποτελούνται από στρογγυλά ή σπασμένα κομμάτια ξύλου, που συνήθως κυμαίνονται από 0,80 έως 1,5 μέτρα σε μήκος, με διάμετρο μεγαλύτερη από 5 εκατοστά. Αυτή η κατηγορία εξυπηρετεί κυρίως οικιακούς σκοπούς, όπως θέρμανση και μαγείρεμα.

Εκτός από την ξυλεία που λαμβάνεται από δραστηριότητες υλοτόμησης, η δασική ξυλεία περιλαμβάνει αχρησιμοποίητα υπολείμματα όπως νεκρόξυλο, μη εμπορεύσιμα δέντρα και δέντρα που απαιτούν απομάκρυνση για την πρόληψη πυρκαγιών σε πυκνά ή εξασθενημένα

δάση. Επιπλέον, σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων ξύλου παράγονται από τις προσπάθειες αποψύλωσης των δασών που στοχεύουν στην αποκατάσταση των δασικών οικοσυστημάτων στη φυσική τους κατάσταση. Αυτά τα υπολείμματα, συμπεριλαμβανομένων των δασικών υπολειμμάτων και των υποπροϊόντων, αποτελούν σημαντικές πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας σε προσπάθειες παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας.

Ένα σημαντικό μέρος του ελληνικού τοπίου χαρακτηρίζεται από υποβαθμισμένα δάση και δάση, ενώ η έκταση των δασικών εκτάσεων παραμένει ανεπαρκής. Αυτή η υποβάθμιση των δασών επηρεάζει άμεσα την παραγωγή ξύλου και προϊόντων ξύλου εντός της χώρας, οδηγώντας σε έντονη ανεπάρκεια. Κατά συνέπεια, η Ελλάδα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις εισαγωγές για να καλύψει τη ζήτηση της για στρογγυλή ξυλεία, πριστή ξυλεία, χαρτοπολτό και άλλα συναφή προϊόντα, που ανέρχονται σε περίπου 2.000.000 κυβικά μέτρα ισοδύναμης στρογγυλής ξυλείας ετησίως. Τα βιομηχανικά δάση, που καλύπτουν το 25,4% της έκτασης της χώρας, αντιπροσωπεύουν ένα σχετικά μέτριο ποσοστό για ένα έθνος με ορεινό ανάγλυφο. Η σύνθεση των δασών της Ελλάδας χαρακτηρίζεται κυρίως από πλατύφυλλα είδη (57%) και κωνοφόρα (43%). Επιπλέον, ένα αξιοσημείωτο ποσοστό της δασικής έκτασης (23,9%) περιλαμβάνει μη βιομηχανικά δάση, τα οποία δεν συμβάλλουν στην παραγωγή ξύλου και αποτελούνται κυρίως από πλατύφυλλα αειθαλή.

Η έννοια του ανακυκλωμένου ξύλου περιλαμβάνει υλικά που προέρχονται από πριονίδι, υπολείμματα δέντρων και υπολείμματα αστικού ξύλου, με στόχο τη χρησιμοποίησή τους για ενεργειακούς σκοπούς. Το πριονίδι, που προέρχεται από πριονιστήρια, τη βιομηχανία χαρτιού/πολτού και άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες επεξεργασίας ξύλου, αποτελεί σημαντικό μέρος των πόρων της ανακυκλωμένης ξυλείας. Δεδομένης της σχετικά καθαρής φύσης τους, το πριονίδι χρησιμοποιείται συνήθως ως καύσιμο σε διάφορα συστήματα βιομάζας σε ενέργεια, συμβάλλοντας σε πρωτοβουλίες βιώσιμης παραγωγής ενέργειας. Τα αστικά υπολείμματα περιλαμβάνουν μια ποικιλία απορριμμάτων που προέρχονται από αστικά περιβάλλοντα, βιομηχανίες, βιοτεχνίες, κατασκευαστικές δραστηριότητες, υλικά συσκευασίας και έργα κατεδάφισης, τα οποία αποτελούν συλλογικά αστικά απόβλητα. Αυτά τα υλικά υποβάλλονται σε διαδικασίες διαλογής σε εξειδικευμένες εγκαταστάσεις ανάκτησης ξύλου, όπου διαχωρίζονται σε καθαρό ξύλο και σε άλλα μη ξύλινα υλικά. Στην κατηγορία του καθαρού ξύλου, γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός με βάση την περιεκτικότητα σε υγρασία, διάκριση μεταξύ ξύλου υψηλής και χαμηλής υγρασίας. Το ξύλο χαμηλής υγρασίας, που

συνήθως περιέχει περίπου 5% περιεκτικότητα σε υγρασία, συλλέγεται ειδικά για χρήση ως καύσιμη βιομάζα σε διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

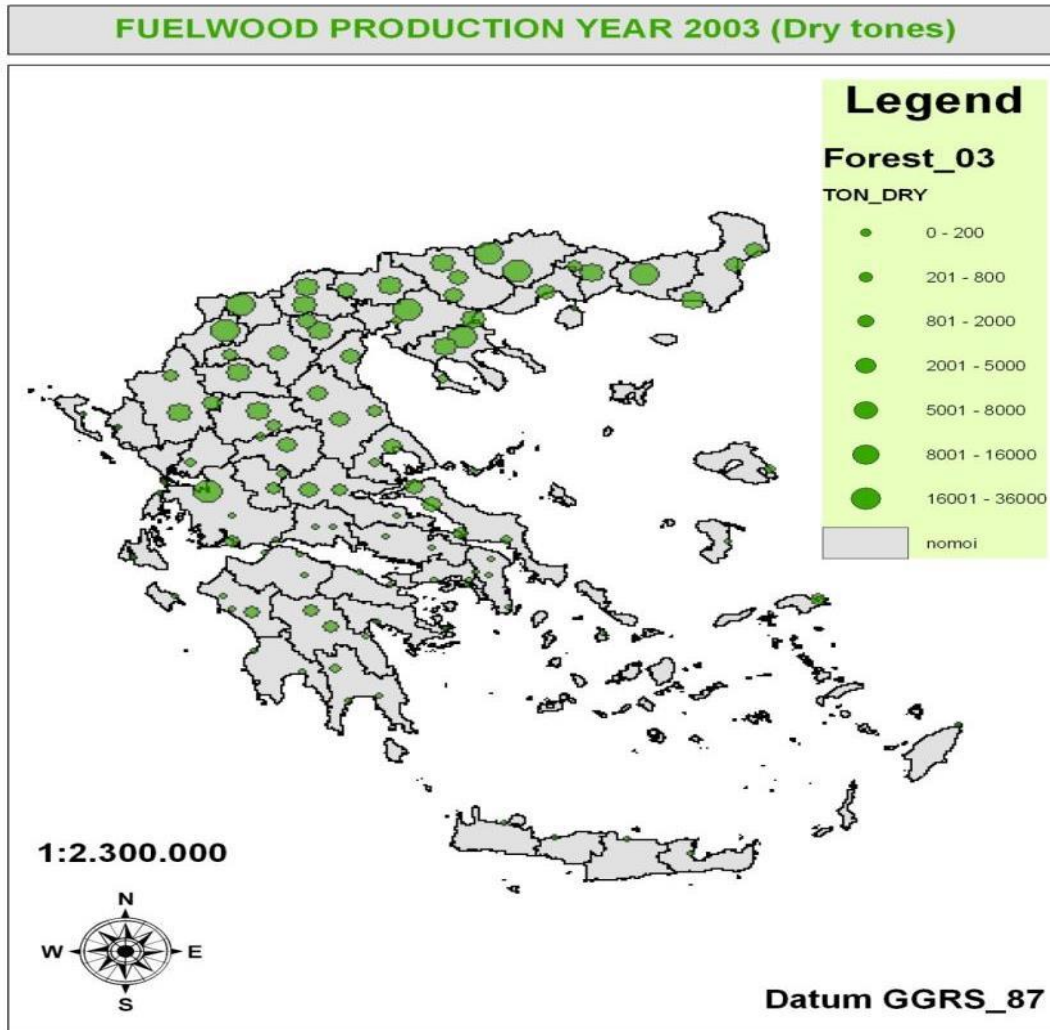
Επιπρόσθετα, υπολείμματα δέντρων, συμπεριλαμβανομένων υλικών από κοψίματα δέντρων κοντά σε πλευρές δρόμων, όπως πεζοδρόμια και πάρκα, μαζί με υπολείμματα ξύλων από κήπους, αντιπροσωπεύουν πολύτιμους πόρους για σκοπούς παραγωγής ενέργειας. Αυτά τα υλικά, όταν διαχειρίζονται σωστά και υποβάλλονται σε επεξεργασία, συμβάλλουν σε πρωτοβουλίες βιώσιμης παραγωγής ενέργειας, χρησιμεύοντας ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα.

Η δασική βιομάζα παρουσιάζεται σε διάφορες μορφές, με τα καυσόξυλα, τους πέλλετες και το πελεκημένο ξύλο να είναι οι κύριες κατηγορίες. Επιπλέον, το ανακυκλωμένο ξύλο και η τύρφη αποτελούν εναλλακτικές μορφές, αν και σε μικρότερες ποσότητες. Η δασική βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως σε δύο καταστάσεις: ακατέργαστη, με παράδειγμα καυσόξυλα, και επεξεργασμένη, που περιλαμβάνει ροκανίδια και σφαιρίδια ξύλου.

Το καυσόξυλο, γνωστό και ως ξυλόξυλο, περιλαμβάνει κομμάτια συμπαγούς ξύλου με ποικίλα χαρακτηριστικά ανάλογα με τον τύπο, το μήκος και τη μορφή του ξύλου. Συνήθως, τα καυσόξυλα είναι στρογγυλά ή σπασμένα, με μήκος από 0,80 έως 1,50 μέτρα και διάμετρο που υπερβαίνει τα 5 εκατοστά. Ιστορικά, τα καυσόξυλα χρησίμευαν ως μια πανταχού παρούσα πηγή ενέργειας πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση και την ευρεία υιοθέτηση των ορυκτών καυσίμων. Ακόμη και σήμερα, παραμένει μια θεμελιώδης πηγή θέρμανσης, ιδιαίτερα σε οικιακά περιβάλλοντα. Ωστόσο, η χρήση καυσόξυλων παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων των προκλήσεων που σχετίζονται με την αποθήκευση και τη μεταφορά λόγω του ογκώδους χαρακτήρα τους. Επιπλέον, η απόδοση της καύσης καυσόξυλων, που φτάνει έως και το 75%, μπορεί να μειωθεί σημαντικά παρουσία υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία. Το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας από την καύση καυσόξυλων κυμαίνεται από 3 έως 70 κιλοβάτ. Στην Ελλάδα, η Δασική Υπηρεσία αναδεικνύεται ως ο μεγαλύτερος παραγωγός καυσόξυλων, διαχειριζόμενος σημαντικό μέρος των δασών της χώρας, τα οποία ανήκουν κατά κύριο λόγο στο ελληνικό δημόσιο (64%), με το υπόλοιπο 36% να ανήκει σε ιδιώτες, που συχνά αφορούν σε διάφορους βαθμούς δημόσιας συνιδιοκτησίας. (Stidham, et al 2011, Verkerk et al 2011, Wilnhammer et al 2012).

Στην Ελλάδα, η Δασική Υπηρεσία είναι ο κύριος παραγωγός καυσόξυλων, δεδομένης της ουσιαστικής ιδιοκτησίας δασικών εκτάσεων. Περίπου το 64% των δασών στην Ελλάδα είναι

υπό την ιδιοκτησία του ελληνικού κράτους. Αντίθετα, ιδιώτες κατέχουν περίπου το 36% αυτών των δασικών εκτάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, το κοινό εμπλέκεται σε αυτές τις ιδιωτικές εκμεταλλεύσεις μέσω διαφόρων μορφών συνιδιοκτησίας, διαφοροποιώντας έτσι περαιτέρω το τοπίο ιδιοκτησίας και διαχείρισης δασών στη χώρα. Ακολουθεί το σχήμα του διαθέσιμου δυναμικού ξύλου στην Ελλάδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8 παρακάτω.



Εικόνα 2. 23: Τεχνικά διαθέσιμο δυναμικό καυσόξυλων: 410.000 τόνοι ξηρής ουσίας/έτος, Ενεργειακό δυναμικό: 7.7 PJ/έτος (2.1 TWh) (2017)

Πηγή:

http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/3_20170407_Biomass%20Day_XPHSTOY.pdf

Οι πέλλετες ξύλου αντιπροσωπεύουν μια τυποποιημένη μορφή κυλινδρικού βιοκαυσίμου που διατίθεται σε διάφορα μεγέθη, που συνήθως παράγεται με συμπίεση ξηρού προιονιδιού που

προέρχεται από υπολείμματα δασικής και γεωργικής βιομάζας, καθώς και απόβλητα από βιοτεχνίες και βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου. Οι πέλλετες που παράγονται σε εγκαταστάσεις παραγωγής βιομάζας ξύλου, κατασκευάζονται χωρίς τη χρήση χημικών πρόσθετων, χρησιμοποιώντας υψηλή πίεση και ατμό κατά τη διαδικασία παρασκευής τους. Η καύση των πελλετών τείνει να είναι σχεδόν τέλεια, δημιουργώντας ελάχιστα υπολείμματα και καπνό, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών CO₂. Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι ιδιαίτερα υψηλή λόγω της συμπίεσης όγκου, διευκολύνοντας την οικονομική αποθήκευση και μεταφορά. Με θερμιδική αξία που κυμαίνεται από 17 έως 21 megajoules ανά κιλό και περιεκτικότητα σε υγρασία κατά μέσο όρο περίπου 8-10%, η επεξεργασία των πελλετών ποικίλλει ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία του αρχικού ξύλου, με τις διαδικασίες ξήρανσης να προσαρμόζονται ανάλογα. Τα στάδια επεξεργασίας των πελλετών περιλαμβάνουν συνήθως: παραλαβή και προεπεξεργασία της πρώτης ύλης, ξήρανση, άλεση, σφαιροποίηση, ψύξη και συσκευασία, ακολουθούμενη από αποθήκευση. Η χρησιμότητα των πελλετών ως πηγή καυσίμου καλύπτει διάφορες εφαρμογές, που κυμαίνονται από τη θέρμανση κατοικιών και εμπορικών ακινήτων έως τη θέρμανση θερμοκηπίων και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Επιπλέον, βρίσκουν χρήση στην παραγωγή βιο-υδρογόνου και βιοαερίου, καθώς και ως καύσιμο σε μονάδες συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας και δίκτυα τηλεθέρμανσης.

Στην Ελλάδα, η υιοθέτηση πελλετών για θέρμανση, ιδιαίτερα σε οικιακά περιβάλλοντα, έχει σημειώσει ταχεία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, επηρεασμένη σε μεγάλο βαθμό από οικονομικούς παράγοντες όπως η ύφεση. Ενώνοντας κράτη στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη, η Ελλάδα αξιοποιεί πλέον οι πέλλετες ως σημαντική πηγή θέρμανσης. Ενισχυμένα από σύγχρονους τεχνολογικούς καυστήρες που διαθέτουν υψηλή απόδοση και μειωμένες εκπομπές CO₂, σε συνδυασμό με ανταγωνιστική τιμολόγηση σε σχέση με το πετρέλαιο, οι πέλλετες αναδεικνύονται ως εναλλακτική λύση δασικής βιομάζας που όχι μόνο μειώνει τους ρύπους αλλά παρέχει και οικονομικά οφέλη στους καταναλωτές.

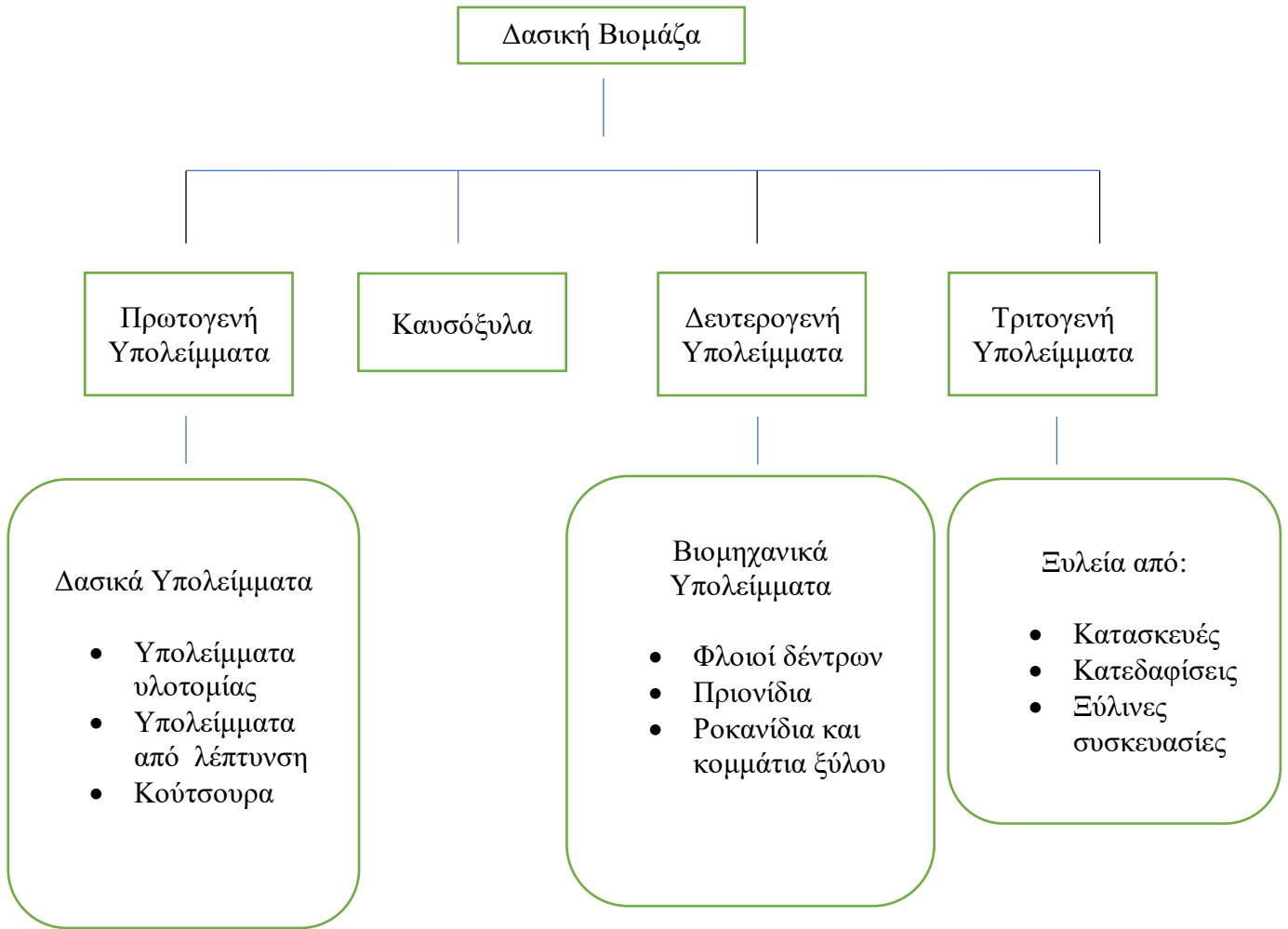
Το πελεκημένο ξύλο, γνωστό και ως θρυμματισμένο ξύλο, αποτελεί επεξεργασμένο ξύλο που χαρακτηρίζεται από μικρά μήκη, που κυμαίνονται συνήθως από 0,80 έως 1,20 μέτρα. Αυτά τα τσιπ μπορεί να είναι είτε στρογγυλά, με διαμέτρους που εκτείνονται από 6 έως 35 εκατοστά, είτε σπασμένα. Τα ρινίσματα ξύλου, από την άλλη πλευρά προέρχονται από το άλεσμα διαφόρων πηγών, συμπεριλαμβανομένων απορριπτόμενων δασικών προϊόντων, βιομηχανικών υποπροϊόντων, καυσόξυλων, ξυλείας που ανακτάται από ληγμένα ξύλινα προϊόντα π.χ.

οικοδομικά υλικά, έπιπλα, συσκευασίες καθώς και ξύλο που προκύπτει από την καλλιέργεια δέντρων και θάμνων για ενεργειακούς σκοπούς. Η δασική βιομάζα, με τη μορφή θρυμμάτων ξύλου, προσφέρει αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα όπως χαμηλό κόστος, ευκολία συλλογής, φόρτωσης και αποθήκευσης καθώς και απλή απόρριψη. Ωστόσο, ένα σημαντικό μειονέκτημα που σχετίζεται με το θρυμματισμένο ξύλο έγκειται στα ποικίλα ποσοστά υγρασίας που μπορεί να περιέχει, θέτοντας προκλήσεις στη διασφάλιση συνεπούς ποιοτικού ελέγχου.

Τα δασικά απόβλητα, εν γένει, είναι υποπροϊόν των δασικών δραστηριοτήτων και έχουν μεγάλες δυνατότητες να χρησιμεύσουν ως πηγή ενέργειας. Τα δασικά απόβλητα αποτελούνται κυρίως από υπολειμματικά υλικά από δασικές εργασίες και περιλαμβάνουν κλαδιά δέντρων, φλοιό, φύλλωμα και πρέμνα. Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε από τους Rukomajnikon και Sergeeva (2021), η υπολειμματική βιομάζα είναι ένας όρος που ορίζει τα οργανικά υλικά που παραμένουν μετά την υλοτομία και στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύει ένα ευρύ φάσμα ουσιών. Αυτό οδηγεί τελικά τα υλικά αυτά, τα οποία υπό κανονικές συνθήκες κατατάσσονται στα υποπροϊόντα με μικρή εμπορική αξία, στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. Τα υπολείμματα υλοτομίας αναφέρονται στις εργασίες συγκομιδής των δέντρων με τη μορφή των κορυφών των δέντρων (ανώτερα μέρη), των κλαδιών και των μη εμπορεύσιμων δέντρων που απομένουν μετά τις εργασίες υλοτομίας.
2. Υπολείμματα αραίωσης είναι τα υπολείμματα που συγκομίζονται κατά την αραίωση.
3. Τα υπολείμματα οργανικής ύλης που παρέμειναν μετά τη διαδικασία της υλοτομίας και στο δάσος- αποτελούνται από το φύλλωμα, τα κλαδιά και το φλοιό.

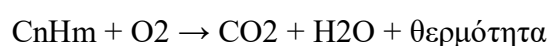
Τα δασικά απόβλητα, επομένως, αποτέλεσαν μια σημαντική κατηγορία βιομάζας που περιλαμβάνει όλα τα συστατικά όπως κλαδιά, φύλλα, φλοιό και πριονίδι που παράγονται ως παραπροϊόντα των δασικών δραστηριοτήτων και της επεξεργασίας ξύλου. Ο (Berndes, 2001) διαίρεσε τη δασική βιομάζα (Σχήμα 2.23) σε πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή υπολείμματα υλοτομίας.



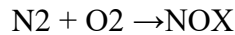
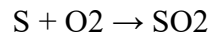
Εικόνα 2. 24: Κατηγοριοποίηση Δασικής Βιομάζας

2.3. Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας Σε Ενέργεια και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι πρωτογενείς τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας από βιομάζα περιλαμβάνουν θερμικές μετατροπές που στοχεύουν στην παραγωγή θερμότητας και επακόλουθης ηλεκτρικής ενέργειας, παράλληλα με βιολογικές διεργασίες που διευκολύνουν τη μετατροπή της βιομάζας σε εναλλακτικές μορφές όπως το βιοαέριο, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μέθοδοι θερμικής μετατροπής περιλαμβάνουν την άμεση καύση, την πυρόλυση και την αεριοποίηση, καθεμία από τις οποίες προσφέρει ξεχωριστές προσεγγίσεις για την αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού που είναι εγγενές στους πόρους βιομάζας. Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης. Αυτή η αξιολόγηση, όπως σημειώνει ο Χρήστου (ΚΑΠΕ 2017), περιλαμβάνει ζητήματα όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία και το ειδικό βάρος, με το ενεργειακό δυναμικό να εκφράζεται συνήθως σε μονάδες GWh, MJ ή kcal ανά τόνο ξηρής ουσίας. Το ενεργειακό δυναμικό που περιέχεται στη φυτική βιομάζα ποσοτικοποιείται πάντα είτε κατά βάρος είτε κατά όγκο, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία. Σε αυτή τη γραμμή, επομένως, πρόκειται για μια σημαντική μέτρηση που δίνει μια από τις θεμελιώδεις παραμέτρους για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενεργειακών έργων βιομάζας. Τέλος, οι περισσότερες χρήσεις των κτηνοτροφικών αποβλήτων και των αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων και ποτών περιλαμβάνουν κυρίως την παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης. Το βιοαέριο από τη διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας ή ακόμη και ηλεκτρικής ενέργειας, αντιμετωπίζοντας έτσι το προϊόν των αποβλήτων με πιο βιώσιμο τρόπο, μετατρέποντας οργανικά υλικά σε βιοαέριο και παρέχοντας μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας πλούσια σε μεθάνιο. Με άλλα λόγια, άμεση καύση σημαίνει καύση, η οποία είναι μια εξώθερμη οξείδωση της βιομάζας με περίσσεια αέρα και πραγματοποιείται με την αντίδραση όπως ακολουθεί στην εξίσωση:



Παράλληλα με τους υδρογονάνθρακες, κατά τη διάρκεια της αντίδρασης καύσης, προκειμένου να αναπτυχθεί η ενέργεια, υποστούν οξείδωση και άλλες ενώσεις ή στοιχεία που περιέχονται στη βιομάζα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία οξειδίων όπως:



Ιδανικά, η αναλογία αυτή είναι αυτή που αντιστοιχεί στη στοιχειομετρική απαίτηση της αντίδρασης καύσης. Δηλαδή πλήρης οξείδωση. Η τέλεια στοιχειομετρία είναι δύσκολα εφικτή. Αυτό οδηγεί σε διαφορετικές συνθέσεις των καυσαερίων:

Με περίσσεια οξυγόνου στο μείγμα: $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Με μειωμένη παρουσία οξυγόνου στο μείγμα: $2C + O_2 \rightarrow 2CO$

Αυτή η διαδικασία μετατρέπει αποτελεσματικά τη θερμική ενέργεια που προέρχεται από την καύση βιομάζας σε ηλεκτρική ενέργεια. Σύμφωνα με τους Burger et al., 2014, τα συστατικά στοιχεία του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας άμεσης καύσης περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Χώροι παραλαβής και αποθήκευσης βιομάζας: Ειδικοί χώροι για την παραλαβή και αποθήκευση της πρώτης ύλης βιομάζας, εξασφαλίζοντας συνεχή και αξιόπιστη παροχή στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Σύστημα μεταφοράς: Μηχανισμοί μεταφοράς βιομάζας από τους χώρους αποθήκευσης στα επόμενα στάδια επεξεργασίας και καύσης εντός της μονάδας.

3. Εξοπλισμός μείωσης μεγέθους βιομάζας: Εξοπλισμός όπως τεμαχιστές, μύλοι και ομογενοποιητές σχεδιασμένοι να μειώνουν το μέγεθος των σωματιδίων βιομάζας, διευκολύνοντας την αποτελεσματική καύση.

4. Καυστήρας: Ο θάλαμος καύσης όπου η βιομάζα αναφλέγεται και καίγεται, απελευθερώνοντας θερμική ενέργεια.

5. Λέβητας: Ένα δοχείο όπου το νερό θερμαίνεται για την παραγωγή ατμού μέσω της μεταφοράς θερμότητας από τη διαδικασία καύσης.

6. Στρόβιλος: Μια περιστροφική μηχανική συσκευή που κινείται από τη διαστολή του ατμού που παράγεται στο λέβητα. Η περιστροφική κίνηση του στροβίλου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

7. Γεννήτρια: Συσκευή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια από τον στρόβιλο σε ηλεκτρική μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

8. Μετατροπέας τάσης και εξοπλισμός σύνδεσης δικτύου: Εξαρτήματα υπεύθυνα για τη μετατροπή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην κατάλληλη τάση και τη διευκόλυνση της σύνδεσής της με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

9. Σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης: Συστήματα και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών ρύπων όπως τα σωματίδια, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

10. Καμινάδα: Μια δομή για την εξαέρωση των καυσαερίων που παράγονται κατά την καύση με ασφάλεια στην ατμόσφαιρα, ενώ χρησιμεύει επίσης ως μέσο ελέγχου του ρεύματος εντός του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Πράγματι, η ενεργειακή πυκνότητα της βιομάζας είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Σύμφωνα με τον Fanchi (2004), οι ενεργειακές πυκνότητες είναι περίπου:

- Μαζούτ: 42 MJ/kg
- Άνθρακας: 32 MJ/kg
- Βιομάζα ξύλου: 12,5 MJ/kg

Ως συνέπεια αυτής της χαμηλότερης ενεργειακής πυκνότητας, η απόδοση της παραγωγής ενέργειας από την καύση βιομάζας τείνει να είναι χαμηλότερη. Οι τυπικές αποδόσεις των μονάδων καύσης βιομάζας κυμαίνονται από 5 έως 50 MW, με απόδοση που συνήθως πέφτει μεταξύ 20 και 35%. Το κόστος τέτοιων μονάδων κυμαίνεται από 1500 έως 4000 ευρώ, όπως αναφέρουν οι Burger et al. (2014), με αναμενόμενη διάρκεια ζωής που κυμαίνεται από 20 έως 30 χρόνια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της χημικής ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση σε ηλεκτρική ενέργεια μπορούν συχνά να παράγουν ταυτόχρονα θερμότητα. Επομένως, αυτά τα συστήματα αναφέρονται ως μονάδες συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP). Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση μεγιστοποιεί τη χρήση της ενέργειας που προέρχεται από

βιομάζα, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση και μειώνοντας τα απόβλητα. Οι τεχνολογίες συμπαραγωγής που καλύπτονται από την Οδηγία 27/2012 της ΕΕ περιλαμβάνουν:

- α) Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου με ανάκτηση θερμότητας
- β) Ατμοστρόβιλος αντίθλιψης
- γ) Ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης-εξάτμισης
- δ) Αεριοστρόβιλος με ανάκτηση θερμότητας
- ε) Μηχανή εσωτερικής καύσης
- στ) Μικροστρόβιλοι
- ζ) Μηχανές Stirling
- η) Κυψέλες καυσίμου
- θ) Ατμομηχανές
- ι) Κύκλοι Rankine για βιομάζα

Οι μονάδες συμπαραγωγής ταξινομούνται σε:

- Μικρής κλίμακας: Όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη από 1 MW.
- Πολύ μικρή κλίμακα: Εγκατεστημένη ισχύς μικρότερη από 50 KW.
- Υψηλή απόδοση: Αυτές οι μονάδες τηρούν αυστηρότερα κριτήρια όσον αφορά την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Στην τεχνική αεριοποίησης, ένα μέρος της βιομάζας υφίσταται μερική οξείδωση, όπου το μείγμα αέρα που παρέχεται περιέχει ποσότητες μικρότερες από τις στοιχειομετρικά απαιτούμενες. Η προκύπτουσα θερμότητα και ατμός μετατρέπουν την εναπομένουσα βιομάζα σε αέρια και οργανικούς ατμούς (KOPE – GR28 – 2001). Αυτά τα αέρια αποτελούν μείγματα που περιλαμβάνουν COx, CxHy, H₂, NOx και SOx (Sabonnadière, 2009), που απαιτούν καθαρισμό πριν τροφοδοτηθούν σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Αφού καθαριστούν, τα αέρια μπορούν να κατευθυνθούν είτε απευθείας στον λέβητα, επωφελούμενοι από την αυξημένη θερμοκρασία τους, είτε πρώτα σε έναν καυστήρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός στροβίλου, μαζί με θερμότητα, παρόμοια με την καύση. Τα υποπροϊόντα της αεριοποίησης περιλαμβάνουν τέφρα, πίσσα, αέριους ρύπους κ.λπ., που υπάρχουν στα καυσαέρια.

Το παραγόμενο αέριο έχει χαμηλή θερμογόνο δύναμη, που τυπικά κυμαίνεται από 4,5 έως 58 MJ/Nm³ (Sabonnadière, 2009), λόγω της παρουσίας άκαυστων αερίων όπως το NO_x και το CO₂. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις χαμηλής ηλεκτρικής ενέργειας, έως 500 MW, αυτά τα συστήματα διαθέτουν απόδοση 70 – 80%, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία της πρώτης ύλης. Η Αναερόβια Χώνευση (AX) τώρα, όπως περιγράφεται από τους Luque et al. (2016), είναι μια βιοχημική διαδικασία που διευκολύνεται από μια κοινοπραξία μικροοργανισμών. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μεταβολίζουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων υλικών, μετατρέποντάς τα σε ένα αέριο μείγμα που αποτελείται από μεθάνιο αλλά και από διοξείδιο του άνθρακα, που συλλογικά αναφέρεται ως βιοαέριο. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα υπό αναερόβιες συνθήκες, δηλαδή απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία μπορεί να αναπαρασταθεί από την ακόλουθη αντίδραση (Λυμπεράτος, 2003):

1. Οργανική ύλη + H₂O → CH₄ + CO₂ + NH₃ + H₂S + νέα κύτταρα + θερμότητα
2. Το παραγόμενο βιοαέριο έχει την ακόλουθη σύσταση:
3. 40-70% κ.ο. CH₄
4. 30-60% κ.ο. CO₂
5. 1-5% κ.ο. άλλα αέρια (0-1% H₂ και 0-3% H₂S)

Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται ευρέως ως μια οικονομικά αποδοτική τεχνική κατάλληλη για την επεξεργασία διαφόρων ροών οργανικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης της ιλύος αστικών λυμάτων, οργανικών κλασμάτων αστικών αποβλήτων, ζωικών αποβλήτων και λιγνοκυτταρινικής βιομάζας. Υπολογίζεται ότι η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής βιοαερίου έφτασε τα 29,5 GW μέχρι το 2022.

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι πολύπλευρη και περιλαμβάνει διάφορα στάδια, συμπεριλαμβανομένης της αποσύνθεσης (που περιλαμβάνει το διαχωρισμό και την αποσάθρωση φάσεων), την υδρόλυση, την οξεογένεση, την ακετογένεση και τη μεθανογένεση (Luque et al., κεφάλαιο 10, 2016). Αυτά τα στάδια περιλαμβάνουν μια σειρά βιοχημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται από διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών, οδηγώντας τελικά στην παραγωγή βιοαερίου.

Αποσύνθεση: Κατά την αποσύνθεση, η βιομάζα υφίσταται διάσπαση σε οργανικά πολυμερή όπως λιπίδια, πρωτεΐνες και υδρογονάνθρακες. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσω

πολλών σταδίων, συμπεριλαμβανομένης της μη ενζυματικής αποσύνθεσης, του διαχωρισμού φάσεων και της φυσικής διάλυσης.

Υδρόλυση: Στο στάδιο της υδρόλυσης, τα οργανικά πολυμερή αποσυντίθενται περαιτέρω στα συστατικά οργανικά μονομερή τους, όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπίδια. Αυτή η διαδικασία είναι ενζυματική αλλά συμβαίνει εξωκυτταρικά. Η βελτιωμένη απόδοση αυτής της διαδικασίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προεπεξεργασίας βιομάζας, η οποία καθιστά τα μόρια πιο ευαίσθητα σε μικροβιακή και ενζυμική δράση.

Οξυγένωση: Τα οργανικά μονομερή και oligομερή υφίστανται περαιτέρω διάσπαση, που διευκολύνεται από μικροοργανισμούς, σε δικαρβοξυλικά οξέα, λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και άλλα μικρά μοριακά οργανικά συστατικά. Διάφορα οξυγονωτικά βακτήρια χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διαδικασία, που χαρακτηρίζονται από υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και αντοχή σε όξινα επίπεδα pH (συνήθως γύρω στο 5-6). Η ταχεία ανάπτυξη αυτών των βακτηρίων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του pH, επηρεάζοντας δυνητικά την αποτελεσματικότητα της αναερόβιας πέψης εάν τα όξινα προϊόντα συσσωρευτούν πέρα από τη μεταβολική τους ικανότητα.

Εάν το οργανικό υπόστρωμα περιέχει επαρκείς υδρογονάνθρακες, η παραγωγή υδρογόνου κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης μπορεί να είναι σημαντική. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορεί να είναι επωφελής η συλλογή και η χρήση του παραγόμενου υδρογόνου ως βιοκαύσιμο.

Οξικογένωση: Κατά τη διάρκεια της οξυγένωσης, τα οξυνογόνα βακτήρια μεταβολίζουν λιπαρά οξέα και άλλα οργανικά συστατικά, μετατρέποντάς τα σε οξικά, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Αυτή η διαδικασία συνήθως διαρκεί αρκετές ημέρες λόγω του σχετικά αργού ρυθμού πολλαπλασιασμού των οξυνογόνων βακτηρίων. Ένα πιθανό ζήτημα για επακόλουθη μεθανογένωση είναι ο πιθανός μη μεταβολισμός του υδρογόνου κατά τη φάση της οξυγόνωσης.

Μεθανογένωση: Η μεθανογένωση περιλαμβάνει δύο διαφορετικούς τύπους μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Ο πρώτος τύπος, οι οξυκλαστικοί μεθανογόνοι μικροοργανισμοί, έχουν αργούς ρυθμούς ανάπτυξης (ημέρες) και είναι ευαίσθητοι σε παράγοντες όπως οι συνθήκες pH, η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών και οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων. Αυτοί οι μικροοργανισμοί τρέφονται κυρίως με οξικό οξύ για την παραγωγή μεθανίου. Ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιεί υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα για την παραγωγή μεθανίου. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε

μεθάνιο εξαρτάται από τη σύνθεση του υποστρώματος. Γενικά, μικρότερα μόρια υδρογονανθράκων αποδίδουν υψηλότερες αποδόσεις μεθανίου.

Η αποτελεσματικότητα της αναερόβιας χώνευσης (ΑΧ) επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως περιγράφεται από τους Luque et al. (2016), συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, του pH, της ελεύθερης αμμωνίας, των πτητικών οργανικών οξέων και της σύνθεσης υποστρώματος. Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη μικροβιακή ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των ενζύμων. Οι μεσόφιλες συνθήκες, που κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 35 – 37°C, είναι κοινές στις συμβατικές διεργασίες ΑΧ. Ενώ οι θερμοφιλες διεργασίες μπορούν να αποδώσουν καλύτερες αποδόσεις μεθανίου, συνοδεύονται από υψηλότερο λειτουργικό κόστος και η απόδοση των θερμοφίλων είναι πιο ευαίσθητη στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

Οι μεταβολές του pH έχουν ως εξής: στα επόμενα στάδια της ΑΧ, το pH διαφέρει- δεδομένου ότι το απαιτούμενο εύρος του pH είναι γενικά στο 7 - 8, οι μεταβολές του pH οφείλονται σε αυξημένο βαθμό συγκέντρωσης ελεύθερης αμμωνίας, η οποία αυξάνει το pH, και σε πτητικά λιπαρά οξέα που μειώνουν το pH. Η σύνθεση των υποστρωμάτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του χωνευτήρα, ιδίως την οξειδωτική ικανότητα που προέρχεται από το μέγεθος των μορίων υδρογονανθράκων που περιέχονται. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η αναλογία άνθρακα προς άζωτο (C/N) 20 - 30, η οποία είναι πολύ δύσκολο να γίνει τέτοια αναλογία στο σωρό κομποστοποίησης. Αυτό μπορεί να διορθωθεί με τη συνεπεξεργασία των αποβλήτων. Η υπόλοιπη οργανική ύλη με τη μορφή ζωικής κοπριάς περιέχει υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη της μεθανογένεσης, ενώ τα γεωργικά υπολείμματα έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άζωτο, ενώ παράλληλα έχουν εποχιακή παραγωγή.

Τα απόβλητα σφαγείων, με τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας και την περιεκτικότητά τους σε άζωτο, δημιουργούν προκλήσεις για την ΑΔ. Κατά συνέπεια, η πρόσφατη επιστημονική έρευνα έχει επικεντρωθεί στη μελέτη της συνεπεξεργασίας απορριμμάτων από διάφορες πηγές για τη σταθεροποίηση της ποσότητας, την αντιστάθμιση της εποχικότητας και την επίτευξη της βέλτιστης ποιότητας υποστρώματος.

Η επιλογή του τύπου αντιδραστήρα επηρεάζει επίσης την απόδοση ΑΧ. Ο αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης δεξαμενής (CSTR) είναι ο πιο κοινός τύπος λόγω της απλότητάς του, αν και απαιτεί μεγάλους χρόνους παραμονής και μεγάλους όγκους. Άλλοι τύποι περιλαμβάνουν τον αντιδραστήρα αναερόβιας κουβέρτας λάσπης ανόδου (UASB) και τον αναερόβιο

αντιδραστήρα με διάφραγμα (ABR). Η κατάλληλη προεπεξεργασία υποστρώματος μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της AX. Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανικές τεχνικές για τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και την ομογενοποίηση του υποστρώματος, θερμικές μεθόδους για τη διευκόλυνση της διάσπασης των μακρομορίων, χημικές μεθόδους με την προσθήκη ισχυρών βάσεων, οξέων ή οξειδωτικών για την επιτάχυνση της υδρόλυσης, βιολογικές μεθόδους με προσθήκη ενζύμων για την αύξηση της διαλυτότητας ή συνδυασμό αυτών .

Το παραγόμενο βιοαέριο τυπικά περιέχει μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και μικρές ποσότητες υδρόθειου, αμμωνία, άζωτο και άλλες ενώσεις, καθώς και υγρασία. Η περαιτέρω χρήση απαιτεί καθαρισμό για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών. Περίπου το 30 – 40% των συνολικών στερεών μετατρέπεται σε βιοαέριο κατά τη διάρκεια της AX, ενώ παράγονται επίσης άπεπτα υπολείμματα και υδατοδιαλυτές ουσίες. Κατά μέσο όρο, η παραγωγικότητα βιοαερίου κυμαίνεται από 0,2 έως 0,3 m³ βιοαερίου ανά kg ξηρών στερεών. Οι Zhang et al. (2016) τονίζουν διάφορες δυνατότητες παραγωγής ενέργειας από απόβλητα που παράγονται από βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων και κτηνοτροφία. Αυτά περιλαμβάνουν:

1. **Βιοαέριο**: Παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας χώνευσης μετά από προεπεξεργασία αποβλήτων.

Παραγωγή υδρογόνου (H₂): Η πειραματική παραγωγή υδρογόνου παρουσιάζει ενδιαφέρον λόγω της υψηλής ενεργειακής του πυκνότητας και της παραγωγής μόνο νερού ως υποπροϊόντος. Ωστόσο, οι τρέχουσες μέθοδοι αποδίδουν χαμηλές αποδόσεις υδρογόνου.

Παραγωγή βιο-υδροθανίου (βιουθάνιο): Πρόκειται για την παραγωγή ενός αερίου μίγματος μεθανίου (CH₄) με υδρογόνο (H₂) σε συγκεντρώσεις 10-25%. Είναι μια διαδικασία δύο σταδίων, η οποία επιδεικνύει επιτυχή αποτελέσματα σε ερευνητικό επίπεδο, ιδιαίτερα με απόβλητα από την παραγωγή χυμού και υγρά απόβλητα που περιέχουν άμυλο.

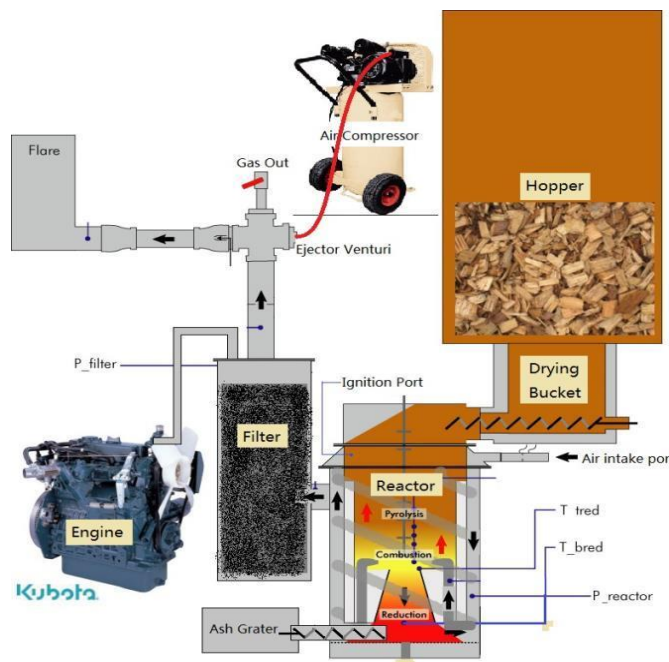
2. Υγρά βιοκαύσιμα:

Αιθανόλη: Η αιθανόλη παράγει λιγότερη απόδοση από το μεθάνιο. Ωστόσο, γι' αυτό, ευεργετικό είναι το γεγονός ότι είναι ευνοϊκό να είναι υγρό και απαιτείται μόνο μικρή προσαρμογή στο σύστημα του οχήματος για την κατανάλωση.

Βουτανόλη: Βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς με βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση.

Βιοντίζελ από μικροβιακά έλαια: Πρόκειται για την παραγωγή βιοντίζελ από έλαια που προέρχονται από μικροβιακές πηγές.

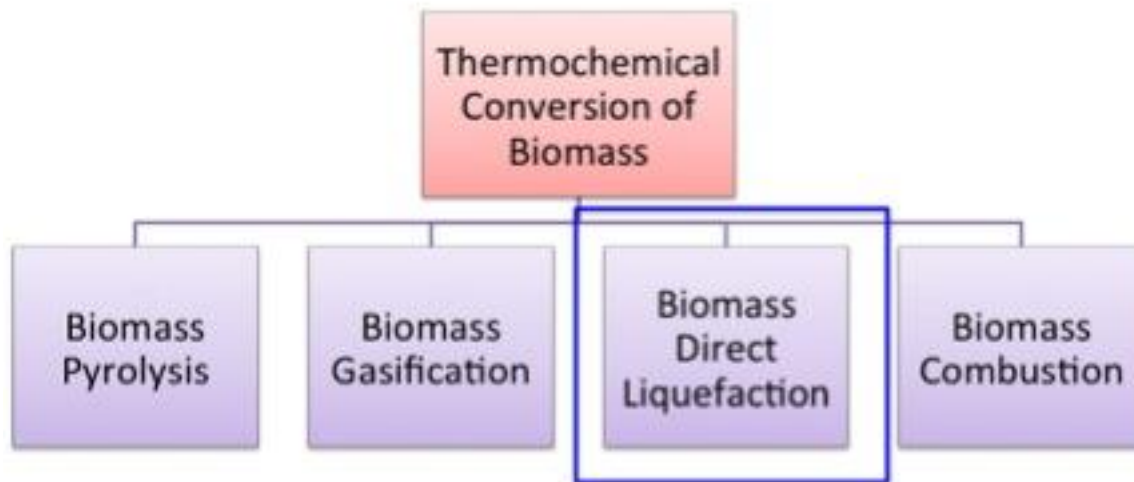
Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με την παροχή διαφόρων προσεγγίσεων για τη χρήση των αποβλήτων από την παραγωγή τροφίμων και την κτηνοτροφία, συμβάλλοντας έτσι στην παραγωγή ενέργειας, ενώ παράλληλα αγκαλιάζει την πρόκληση της διαχείρισης των αποβλήτων. Οι Burger κ.ά., 2014, παρατηρούν ότι σε παγκόσμιο επίπεδο, η αγορά αυτή κυριαρχείται από τρεις κύριους παραγωγούς - τις ΗΠΑ, τη Βραζιλία και ακολουθεί η Ευρώπη. Ωστόσο, υπογραμμίζουν επίσης ένα σημαντικό δίλημμα που σχετίζεται με την παραγωγή ενέργειας από γεωργικά προϊόντα: τη διάθεση γης και γεωργικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας, ενδεχομένως σε βάρος της παραγωγής τροφίμων και ζωοτροφών. Αυτό το δίλημμα εγείρει περίπλοκα ερωτήματα σχετικά με την ιεράρχηση των πόρων και τις πιθανές επιπτώσεις στην επισιτιστική ασφάλεια και τη γεωργική βιωσιμότητα.



Εικόνα 2. 25: Κίνηση των υλικών και των αερίων κατά τη διαδικασία αεριοποίησης

Πηγή: https://www.eiu.edu/energy/gasification_system_process_flow.pdf

Το γράφημα απεικονίζει την κίνηση των υλικών και των αερίων κατά τη διαδικασία αεριοποίησης, δίνοντας έμφαση στις κρίσιμες φάσεις του μετασχηματισμού και στις ειδικές συνθήκες που οδηγούν στην παραγωγή syngas.



Εικόνα 2. 26: Thermochemical Conversion of Biomass

Πηγή: <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/676>

3. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Η εκθετική αύξηση του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού τους τελευταίους αιώνες υπογράμμισε την επιτακτική ανάγκη αύξησης της γεωργικής παραγωγής. Επιπλέον, η ταχεία πρόοδος της τεχνολογίας έχει αποδειχθεί καθοριστική για τη διευκόλυνση οικονομικά αποδοτικών και σχολαστικά ρυθμιζόμενων διαδικασιών για την παραγωγή τροφίμων υψηλής ποιότητας. Ωστόσο, αυτή η επέκταση έχει οδηγήσει ταυτόχρονα σε αύξηση των παραγόμενων αποβλήτων. Η διάθεση αυτών των αποβλήτων συνεχίστηκε για πολλά χρόνια χωρίς ολοκληρωμένη στρατηγική, παραβλέποντας τις εκτιμήσεις για τις επιπτώσεις της τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη ευημερία. Η διάθεση αυτών των αποβλήτων πραγματοποιήθηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς συστηματικό σχεδιασμό και αγνοώντας τις πιθανές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Επί του παρόντος, η κλιμάκωση της παραγωγής αποβλήτων συνεχίζεται αμείωτη και αναγνωρίζεται παγκοσμίως ότι μία από τις πρωταρχικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα είναι το διάχυτο ζήτημα της ρύπανσης και της μόλυνσης του περιβάλλοντος, που προέρχεται κυρίως από την απόρριψη αποβλήτων. Στο πλαίσιο της κλιμάκωσης της περιβαλλοντικής συνείδησης, η δύσκολη θέση της σημαντικής παραγωγής αποβλήτων έχει γίνει σημείο εστίασης για μια διευρυνόμενη ομάδα επιστημόνων τις τελευταίες δεκαετίες. Το παράδειγμα της «πράσινης» διαχείρισης της ανάπτυξης, προσανατολισμένο στην προώθηση της βιωσιμότητας της Γης, θέτει όχι μόνο την επιτακτική ανάγκη περιορισμού του όγκου των παραγόμενων αποβλήτων, αλλά υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισης αποβλήτων (Δέλιος, 2014).

Ως εκ τούτου, υπάρχει επιτακτική ανάγκη να επινοηθούν αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων. Αυτή η επιτακτική ανάγκη ώθησε τους ρυθμιστικούς φορείς να επιβάλουν σταδιακά αυστηρούς περιορισμούς στη διάθεσή τους, απαιτώντας κατά συνέπεια την εφαρμογή συστημάτων επεξεργασίας αποβλήτων, που περιλαμβάνουν τόσο στερεά όσο και υγρά απόβλητα, για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η οδηγία 2008/98/ΕΚ, που θεσπίστηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο στις 19 Νοεμβρίου 2008, παρέχει έναν ολοκληρωμένο ορισμό των αποβλήτων ως «κάθε ουσία ή αντικείμενο που ο κάτοχος απορρίπτει, σκοπεύει να απορρίψει ή καλείται να απορρίψει». Τα απόβλητα κατηγοριοποιούνται με βάση τις θεμελιώδεις φάσεις τους σε υγρά,

στερεά και αέρια, που προέρχονται από διάφορες πηγές όπως οικιακές, γεωργικές, βιομηχανικές-επαγγελματικές και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Μια κρίσιμη πτυχή της διαχείρισης αποβλήτων περιλαμβάνει την υποβολή όλων των τύπων αποβλήτων σε επεξεργασία πριν από τη διάθεση τους στο υπέδαφος ή τους φυσικούς δέκτες νερού (π.χ. ποτάμια, λίμνες και θάλασσες). Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη και πρέπει να συμμορφώνεται με καθορισμένα κριτήρια για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη βιοαποικοδόμηση.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ με την υπ' αριθμ. Υ.Π. 50910/2727 του 2003, ως μη επικίνδυνα στερεά απόβλητα ορίζεται «κάθε ουσία ή αντικείμενο που εμπίπτει στις κατηγορίες αποβλήτων που αναφέρονται στα παραρτήματα ΙΑ και ΙΒ της προαναφερθείσας νομοθεσίας, το οποίο ο κάτοχος απορρίπτει, προτίθεται να απορρίψει ή υποχρεούται να απορρίψει». Οι εξαιρέσεις από αυτόν τον ορισμό αφορούν απόβλητα που σημειώνονται με αστερίσκο στον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Παράρτημα ΙΒ) και εκείνα που προσδιορίζονται ως δυνητικά επικίνδυνα απόβλητα, όπως υποδείχθηκε από την Δέλιος το 2014.

Στη χώρα μας, έχουν θεσπιστεί από αρμόδιες ελληνικές αρχές κανονισμοί που αφορούν τη διαχείριση των απορριμμάτων, εναρμονισμένοι με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, δεδομένης της ένταξης της Ελλάδας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ωστόσο, το θέμα της διάθεσης των απορριμμάτων απαιτεί εξέταση όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά απαιτεί εξέταση σε πανευρωπαϊκή ή και παγκόσμια κλίμακα. Αυτή η προσέγγιση δικαιολογείται λόγω της δυναμικής φύσης του φυσικού περιβάλλοντος, όπου οι επιπτώσεις των πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων μπορούν να επεκταθούν σε σημαντικές αποστάσεις, επηρεάζοντας περιοχές πολύ πέρα από τα τοπικά σύνορα. Η περιβαλλοντική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης βασίζεται σε μια διττή αρχή. Πρώτον, ενστερνίζεται την πεποίθηση ότι τα αυστηρά περιβαλλοντικά πρότυπα μπορούν να χρησιμεύσουν ως καταλύτες για την καινοτομία και τις εμπορικές ευκαιρίες. Ταυτόχρονα, υποστηρίζει την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».

Για την αντιμετώπιση της πρόκλησης της διαχείρισης των απορριμμάτων, υπάρχει στόχος να επιτευχθεί μείωση κατά 50% του τελικού όγκου απορριμμάτων έως το έτος 2050 (Τεχλεμτζής, 2012). Για την επίτευξη αυτού του στόχου, έχει εφαρμοστεί μια πολύπλευρη προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει στρατηγικό σχεδιασμό για βιώσιμη διαχείριση πόρων. Αυτό το σχέδιο οριοθετεί συγκεκριμένες προτεραιότητες με στόχο τον περιορισμό της κατανάλωσης πόρων. Συγκεκριμένα, έχουν αναληφθεί πρωτοβουλίες για την εξάλειψη των επιδοτήσεων που ενδέχεται να ενθαρρύνουν τη μη βιώσιμη εκμετάλλευση των πόρων, με

ταυτόχρονη διερεύνηση φορολογικών μηχανισμών για την παροχή κινήτρων για αποτελεσματικότερη χρήση των φυσικών πόρων. Τα κρίσιμα μέτρα περιλαμβάνουν τη βελτίωση των υφιστάμενων συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, την έμφαση στην αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης και μια προορατική στάση για τη μείωση των απορριμμάτων, ιδίως όσον αφορά τις χημικές ουσίες. Αυτές οι συντονισμένες προσπάθειες συμβάλλουν συλλογικά στον πρωταρχικό στόχο της ελαχιστοποίησης του συνολικού όγκου των αποβλήτων και της προώθησης πιο υπεύθυνων πρακτικών χρήσης των πόρων (Τεχλεμετζής, 2012).

Η ευρωπαϊκή κοινότητα έχει θεσπίσει μια σειρά από οδηγίες που αφορούν ειδικά τα στερεά απόβλητα και τη διαχείρισή τους. Συγκεκριμένα, οι οδηγίες αυτές περιλαμβάνουν:

- Κανονισμός 2012/601/ΕΕ, ο οποίος ορίζει ότι η βιομάζα περιλαμβάνει το βιοαποδομήσιμο συστατικό προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων βιολογικής προέλευσης που προέρχονται από τη γεωργία (φυτικές και ζωικές ουσίες), τη δασοκομία, τις σχετικές βιομηχανίες, την αλιεία, την υδατοκαλλιέργεια και τα βιοαποδομήσιμα τμήμα των βιομηχανικών και αστικών απορριμμάτων. Αυτό περιλαμβάνει επίσης τα βιορευστά και τα βιοκαύσιμα.
- Η οδηγία 2008/98/ΕΚ του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 (που τροποποιεί την οδηγία 2006/12/ΕΚ) επικεντρώνεται στην παραγωγή και διαχείριση στερεών αποβλήτων. Δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (N 312/3, 22/11/2008).
- Η οδηγία 2000/76/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 4ης Δεκεμβρίου 2000 (που τροποποιεί την οδηγία 75/439/ΕΟΚ), αφορά την αποτέφρωση αποβλήτων και δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (L 332). /91, 28/12/2000).
- Η οδηγία 1999/31/ΕΚ του Συμβουλίου της 26ης Απριλίου 1999, αφορά την υγειονομική ταφή των απορριμμάτων και δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (L 182/1, 16/07/1999).

Αυτές οι οδηγίες αποτελούν συλλογικά ένα κανονιστικό πλαίσιο με στόχο την καθοδήγηση και την τυποποίηση πρακτικών που σχετίζονται με τη διαχείριση στερεών αποβλήτων εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το νομοθετικό πλαίσιο που επικρατεί στην Ελλάδα για όλες τις κατηγορίες απορριμμάτων βασίζεται θεμελιωδώς στις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη διαχείριση των απορριμμάτων και τις πρακτικές υγειονομικής ταφής. Συγκεκριμένα, ο νόμος 4042/2012, που ισχύει σήμερα σύμφωνα με το ΦΕΚ της 24/Α/13-2-2012, ενσωματώνει την ευρωπαϊκή οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα. Αυτή η νομοθεσία, η οποία αφορά τη συνολική διαχείριση όλων των τύπων αποβλήτων, διευκρινίζει βασικές έννοιες και διατάξεις.

Συγκεκριμένα, παρέχει σαφείς ορισμούς και αντιμετωπίζει τον αποχαρακτηρισμό των «απόβλητων». Είναι σημαντικό ότι ο νόμος δίνει σημαντική έμφαση στις αρχές του «ορυπαίνων πληρώνει» και της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού». Επιπλέον, ο νόμος 4042/2012 θεσπίζει διακριτές παραμέτρους για τη διαχείριση των απορριμμάτων, προωθώντας ενεργά πρωτοβουλίες για την πρόληψη της δημιουργίας απορριμμάτων, τις προετοιμασίες για επαναχρησιμοποίηση, την αυξημένη ανακύκλωση και την ανάκτηση απορριμμάτων. Η νομοθεσία υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισης των πόρων και συνηγορεί υπέρ της προώθησης μιας κυκλικής οικονομίας, ευθυγραμμισμένης με τους σύγχρονους στόχους βιωσιμότητας.

Στην Ελλάδα, η διαχείριση των απορριμμάτων αντιμετωπιζόταν ιστορικά κυρίως σε τοπικό επίπεδο μέχρι πριν από λίγα χρόνια. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είχε ως αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη διάθεση των απορριμμάτων σε διάφορα περιβάλλοντα, οδηγώντας σε εκτεταμένα ζητήματα. Όπως φαίνεται, τα απόβλητα απορρίπτονταν αλόγιστα σε μη ελεγχόμενους χώρους υγειονομικής ταφής και υδάτινα σώματα, όπως ρέματα και ποτάμια. Αυτή η μη βιώσιμη πρακτική όχι μόνο συνέβαλε στην υποβάθμιση των γύρω περιοχών αλλά και αύξησε τους κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Αναγνωρίζοντας τη σοβαρότητα της κατάστασης και υπό την επιρροή των κανονισμών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η ελληνική κυβέρνηση ανταποκρίθηκε διαμορφώνοντας μια ολοκληρωμένη στρατηγική – το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ). Το σχέδιο αυτό, που αναπτύχθηκε σύμφωνα με τα άρθρα 22 και 35 του Ν. 4042/2012 (Α' 24), αποσκοπούσε στην εφαρμογή του άρθρου 28 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ. Το σχέδιο, με ορίζοντα για το 2020, παρείχε σχολαστικές κατευθυντήριες γραμμές για ένα στενά συνδεδεμένο δίκτυο προγραμμάτων, δράσεων, σχεδίων και έργων. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιδίωξε να εφαρμόσει

αποτελεσματικά μια πολιτική βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων, ευθυγραμμισμένη με τους εθνικούς και ευρωπαϊκούς στόχους που επιβάλλονται από τη νομοθεσία.

Ο πρωταρχικός στόχος του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης είναι η μείωση των δυσμενών συνεπειών της παραγωγής και της ακατάλληλης διαχείρισης των απορριμμάτων. Φιλοδοξεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης των πόρων, μετριάζοντας ταυτόχρονα τον συνολικό αντίκτυπο της κατανάλωσής τους. Εστιάζοντας σε αυτούς τους στόχους, το πρόγραμμα προσπαθεί να προωθήσει ένα πιο βιώσιμο πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων και να συμβάλει στους ευρύτερους στόχους της διατήρησης του περιβάλλοντος και της αποδοτικότητας των πόρων. Για την αποτελεσματική εκτέλεση των στόχων που περιγράφονται στο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων, έχουν εκπονηθεί σχολαστικά τα αντίστοιχα Περιφερειακά ή Τοπικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΔΑ). Τα σχέδια αυτά είναι προσαρμοσμένα στις μοναδικές ανάγκες συγκεκριμένων γεωγραφικών ενοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Η υλοποίηση των σχεδίων αυτών ανατίθεται στον αρμόδιο Περιφερειακό Φορέα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (Φο.Δ.Σ.Α.) ή στην αντίστοιχη Περιφερειακή Αρχή. Τα Τοπικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΤΣΔΑ) επικεντρώνονται ιδιαίτερα στην ιεράρχηση της διαχείρισης αποβλήτων εντός της δικαιοδοσίας τους, με αρχική έμφαση στην πρόληψη των αποβλήτων. Αυτά τα σχέδια υποστηρίζουν στρατηγικές όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση. Επιπρόσθετα, προτείνονται μέτρα για την ενίσχυση των δημοτικών υπηρεσιών καθαριότητας, μαζί με συμπληρωματικές δράσεις που περιλαμβάνουν διάχυση πληροφοριών και κοινωνική ευαισθητοποίηση. Συγκεκριμένα, ένα TSDA μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά από δραστηριότητες, όπως (www.esdak.gr):

- Εφαρμογή οργανωμένου συστήματος συλλογής και μεταφοράς απορριμμάτων, που περιλαμβάνει οχήματα, χώρους στάθμευσης και σταθμούς φόρτωσης.
- Παροχή κάδων για την προδιαλογή οργανικών, ανακυκλώσιμων υλικών και απορριμμάτων κήπου (π.χ. κλάδεμα).
- Δημιουργία «πράσινων σημείων» σχεδιασμένων για τη συλλογή υλικών ακατάλληλων για απόρριψη σε κανονικούς κάδους, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρονικών συσκευών, ελαστικών, μπαταριών και μεγάλων ποσοτήτων ανακυκλώσιμων υλικών.
- Προώθηση πρωτοβουλιών επαναχρησιμοποίησης υλικού και ανταλλαγής, όπως ανταλλαγές ρούχων.

- Υλοποίηση δράσεων για την προώθηση της συμμετοχής των πολιτών, συμπεριλαμβανομένης της δημόσιας διαβούλευσης, των πρωτοβουλιών ευαισθητοποίησης, των εκστρατειών ενημέρωσης και της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.

Αυτές οι προσπάθειες στοχεύουν στην εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τις σωστές πρακτικές που σχετίζονται με τη διαλογή στην πηγή, την ανακύκλωση, την κομποστοποίηση και τον διαχωρισμό των απορριμμάτων σε επίπεδο δήμου ή ομάδας δήμων. Το Υπουργείο και συγκεκριμένα το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης (υπό το Υπουργείο Οικονομικών), διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση και εφαρμογή Εθνικών Σχεδίων Διαχείρισης Αποβλήτων που αφορούν συγκεκριμένες κατηγορίες αποβλήτων. Αυτά τα σχέδια χρησιμεύουν για τη συνολική ρύθμιση της διαχείρισης αποβλήτων σε κρατικό επίπεδο, αντιμετωπίζοντας τόσο συγκεκριμένους τύπους αποβλήτων όσο και γενικές στρατηγικές. Οι πρωτοβουλίες του Υπουργείου αφορούν την αντιμετώπιση διαχρονικών ζητημάτων όπως η ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων σε Ανεξέλεγκτους Χώρους Διάθεσης Απορριμμάτων (ΧΑΔΑ).

Επιπρόσθετα, το Υπουργείο αντιμετωπίζει δυσλειτουργίες σε εγκαταστάσεις που είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση των απορριμμάτων, αναγνωρίζοντας τις πιθανές επιζήμιες επιπτώσεις τόσο στους φυσικούς όσο και στους οικονομικούς πόρους καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη της χώρας. Ο πρωταρχικός στόχος της διαχείρισης απορριμμάτων, όπως περιγράφεται από το Υπουργείο, είναι η υιοθέτηση συνολικής και ενιαίας προσέγγισης. Αυτή η προσέγγιση δίνει προτεραιότητα σε δραστηριότητες που βασίζονται στην πρόληψη, την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση, την ανάκτηση ενέργειας και πόρων και, τελικά, τη σωστή τελική διάθεση των απορριμμάτων. Δίνοντας έμφαση σε αυτές τις βασικές πτυχές, το Υπουργείο στοχεύει στην προώθηση πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης απορριμμάτων που συμβάλλουν στη διατήρηση των φυσικών πόρων και υποστηρίζουν τη συνολική ανάπτυξη της χώρας. Σύμφωνα με την εθνική πολιτική, η ευθύνη για τη διαχείριση των απορριμμάτων βαρύνει τον παραγωγό και η παραβατική συμπεριφορά αντιμετωπίζεται ανάλογα. Πολλά βασικά στοιχεία στηρίζουν αυτήν την προσέγγιση, ευθυγραμμισμένα με τις αρχές της Εκτεταμένης Ευθύνης Παραγωγού:

- Αποκέντρωση δραστηριοτήτων σε δημοτικό επίπεδο.
- Ποιοτική και ποσοτική ενίσχυση της ανακύκλωσης, με μεγάλη έμφαση στον διαχωρισμό της πηγής.
- Εφαρμογή μεθόδων διαλογής και επεξεργασίας για το οργανικό κλάσμα αποβλήτων.
- Έμφαση στον δημόσιο χαρακτήρα της διαχείρισης απορριμμάτων.
- Ίδρυση μονάδων επεξεργασίας και ανάκτησης μικρής κλίμακας.
- Ενθάρρυνση της κοινωνικής συμμετοχής μέσω της συμμετοχής των πολιτών και των εκστρατειών ενημέρωσης.

Με βάση αυτό το πλαίσιο, η εθνική πολιτική έχει σκιαγραφήσει συγκεκριμένους στόχους και ορόσημα για το έτος 2020, εστιάζοντας κυρίως στα αστικά απόβλητα:

- Μείωση της κατά κεφαλήν παραγωγής απορριμμάτων.
- Εφαρμογή προετοιμασίας για επαναχρησιμοποίηση όπου αυτό είναι εφικτό.
- Επίτευξη της ανακύκλωσης με χωριστή συλλογή ανακυκλώσιμων και βιοαποβλήτων, με στόχο να αποτελούν το ήμισυ του συνόλου των αστικών στερεών αποβλήτων.
- Περιορισμός της ανάκτησης ενέργειας σε συμπληρωματική μορφή χορήγησης, μόνο όταν έχουν εξαντληθεί όλες οι άλλες επιλογές ανάκτησης.
- Ο περιορισμός της χρήσης των ΧΥΤΑ ως η τελική λύση, αντιπροσωπεύοντας λιγότερο από το 30% των συνολικών Αστικών Στερεών Αποβλήτων (ΑΣΑ).

Αυτοί οι στόχοι υπογραμμίζουν τη δέσμευση για βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων, δίνοντας έμφαση στη μείωση των αποβλήτων, στην ανάκτηση των πόρων και στην ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από τη διάθεση των χωματερών. Για την αντιμετώπιση των επικίνδυνων αποβλήτων, έχει καταρτιστεί αντίστοιχο Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (ΕΣΔΕΑ). Το σχέδιο αυτό ευθυγραμμίζεται με τους στόχους που περιγράφονται στη στρατηγική «Ευρώπη 2020» και την πρόταση για το 7ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον, καθώς και με τον Οδικό Χάρτη για την αποδοτικότητα των πόρων.

4. ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΟΠΙΟ ΤΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η βιομάζα και τα απόβλητα αποτελούν βασικές παγκόσμιες πηγές ενέργειας αποτελώντας συλλογικά πάνω από το 70% της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Το 2015, η συμβολή τους στην τελική κατανάλωση ενέργειας ήταν παράλληλη με αυτή του άνθρακα. Παρά τη σημασία τους, η κυρίαρχη χρήση της βιομάζας και των αποβλήτων παραμένει εδραιωμένη σε παραδοσιακές εφαρμογές που συχνά θεωρούνται μη βιώσιμες. Κατά συνέπεια, ο όρος «βιοενέργεια» υποδηλώνει τυπικά σύγχρονες λύσεις βιοενέργειας, διαφορετικές από τις παραδοσιακές αντίστοιχες βιομάζας. Η σύγχρονη βιοενέργεια βρίσκεται πρωταρχική εφαρμογή στον τομέα της θέρμανσης, αν και η χρήση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα βιοκαύσιμα για τις μεταφορές γνωρίζει ταχεία επέκταση, σε μεγάλο βαθμό λόγω των αυξημένων επιπέδων πολιτικής υποστήριξης για τα βιοκαύσιμα μεταφορών (World Energy Statistics and Balances 2017).

Το 2016, η παγκόσμια παραγωγή συμβατικών βιοκαυσίμων έφτασε τα 136,5 δισεκατομμύρια λίτρα (που ισοδυναμεί με 79 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου), αποτελώντας περίπου το 4% της παγκόσμιας ενέργειας καυσίμου για οδικές μεταφορές. Ωστόσο, η αναπτυξιακή τροχιά της παραγωγής βιοκαυσίμων έχει επιβραδυνθεί από το 2010 λόγω οικονομικών και διαρθρωτικών προκλήσεων, που επιδεινώνονται από την αβεβαιότητα πολιτικής σε βασικές αγορές. Κατά συνέπεια, ο μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης επιβραδύνθηκε στο 4% κατά την περίοδο 2010-2016. Οι συνθήκες που επικρατούν στην αγορά υποδηλώνουν περαιτέρω επιβράδυνση της παγκόσμιας αύξησης της παραγωγής συμβατικών βιοκαυσίμων στο άμεσο μέλλον (World Energy Statistics and Balances 2017).

Τα βιοκαύσιμα μεταφορών ασκούν σημαντική επιρροή, αλλά συγκεντρώνονται σε περιορισμένο αριθμό δικαιοδοσιών. Το 2016, μόνο έξι χώρες υπερηφανεύτηκαν για την παραγωγή αιθανόλης που ξεπέρασε το 1 δισεκατομμύριο λίτρα, με την παγκόσμια αγορά να κυριαρχείται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Βραζιλία, που αντιπροσωπεύουν από κοινού περίπου το 85% των 101 δισεκατομμυρίων λίτρων παραγωγής παγκοσμίως. Η παραγωγή βιοντίζελ, αντίθετα, παρουσιάζει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ των αγορών, με δέκα δικαιοδοσίες να ξεπερνούν το όριο παραγωγής του 1 δισεκατομμυρίου λίτρων, συμβάλλοντας σε μια παγκόσμια παραγωγή λίγο κάτω από τα 36 δισεκατομμύρια λίτρα.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το κυρίαρχο πλαίσιο που διέπει την παραγωγή βιοκαυσίμων περιστρέφεται γύρω από πολιτικές, που εκδηλώνονται κυρίως μέσω εντολών που ορίζουν

ελάχιστα επίπεδα συμμετοχής. Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις για μια ευρύτερη αγκαλιά τεχνολογικά ουδέτερων πλαισίων, που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες μειώσεις στην ένταση άνθρακα των καυσίμων μεταφοράς καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Παραδείγματα τέτοιων πλαισίων περιλαμβάνουν πρωτοβουλίες στην Καλιφόρνια και τη Γερμανία, με παρόμοιες προσεγγίσεις που αναπτύσσονται επί του παρόντος στον Καναδά. Ενώ οι εντολές έχουν ουσιαστικά θωρακίσει τα βιοκαύσιμα από τον αντίκτυπο των χαμηλών τιμών του πετρελαίου, η επικράτηση των μειωμένων τιμών του πετρελαίου δημιουργεί ξεχωριστές προκλήσεις στην αγορά. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν ένα λιγότερο ευνοϊκό επενδυτικό κλίμα και περιορισμένες ευκαιρίες διακριτικής ευχέρειας όσον αφορά την ανάμειξη όγκων πέραν των υποχρεωτικών ορίων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση ένα συντριπτικό 92% των βιοκαυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν το 2015 συμμορφωνόταν με υποχρεωτικά κριτήρια βιωσιμότητας αποτελώντας τη συντριπτική πλειονότητα της κατανάλωσης ανανεώσιμης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Βέβαια, η εξασφάλιση της βιωσιμότητας είναι ένα σημαντικό μέλημα ιδιαίτερα στις αναδυόμενες αγορές όπου τα πλαίσια διακυβέρνησης δεν έχουν ακόμη καθιερωθεί πλήρως (World Energy Statistics and Balances 2017).

Ο Διεθνής οργανισμός ενέργειας (IEA) ορίζει τα προηγμένα βιοκαύσιμα ως βιώσιμα καύσιμα που προέρχονται από μη εδωδιμες πρώτες ύλες, ικανά να μειώσουν ουσιαστικά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής σε σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις ορυκτών καυσίμων, χωρίς να ανταγωνίζονται άμεσα τις καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών ή να θέσουν σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα. Επί του παρόντος, τα επίπεδα παραγωγής νέων προηγμένων βιοκαυσίμων παραμένουν μέτρια, και ακόμη και με την αναμενόμενη ανάπτυξη τα επόμενα πέντε χρόνια, προβλέπεται ότι θα αντιπροσωπεύουν μόνο το 1-2% περίπου της συνολικής παραγωγής βιοκαυσίμων (περίπου 1,5 έως 3 δισεκατομμύρια λίτρα). Σημαντική πρόοδος παρατηρείται στην παραγωγή αιθανόλης κυτταρίνης, με πολυάριθμα εργοστάσια εμπορικής κλίμακας να λειτουργούν και να γίνονται προσπάθειες για να αυξηθεί η παραγωγή. Ωστόσο, η περαιτέρω ανάπτυξη είναι επιτακτική για τον περιορισμό των επενδύσεων και του κόστους παραγωγής (World Energy Statistics and Balances 2017).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοενέργεια βασίζεται σε μια ποικιλία καυσίμων βιομάζας και αποβλήτων που διατίθενται σε στερεές υγρές και αέριες μορφές, που συνήθως υπαγορεύονται από τη διαθεσιμότητα των εθνικών πόρων. Για παράδειγμα, στην Κίνα, η παραγωγή βιοενέργειας χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο ενέργεια από απόβλητα (EfW) και

γεωργικά υπολείμματα καυσίμων όπως το άχυρο, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες και τις σκανδιναβικές χώρες, τα υπολείμματα των δασών είναι πιο διαδεδομένα. Η στερεή βιομάζα και τα απόβλητα αποτελούν τους κύριους συνεισφέροντες στις περισσότερες αγορές, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 70% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοενέργεια στις χώρες μέλη του ΟΟΣΑ κατά μέσο όρο το 2015.

Το 2016, η βιοενέργεια συνεισέφερε περίπου 500 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το 2% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, η σωρευτική ηλεκτρική ισχύς βιοενέργειας έφτασε τα 110 GW, παρουσιάζοντας μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 6,5% από το 2010, με ετήσια προσθήκες ισχύος κατά μέσο όρο περίπου 5 GW κατά την περίοδο 2010-2016. Κοιτάζοντας το μέλλον, η Ασία είναι έτοιμη να αναδυθεί ως η μεγαλύτερη αγορά παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη βιοενέργεια, εκτοπίζοντας την Ευρώπη, με γνώμονα τις κλιμακούμενες ενεργειακές απαιτήσεις, τα οικονομικά αποδοτικά απόβλητα βιομάζας και τους πόρους υπολειμμάτων και τους μακροπρόθεσμους στόχους σε αναδυόμενες οικονομίες όπως η Κίνα, η Ινδία και την Ταϊλάνδη. Ωστόσο, η βιοενέργεια παραμένει εξέχουσα θέση στα χαρτοφυλάκια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μόνο σε περιορισμένο αριθμό χωρών, με το 90% της συνολικής παραγωγής να συγκεντρώνεται σε μόλις 26 χώρες το 2016. Ενώ η παραγωγή βιοενέργειας αυξάνεται στις υπάρχουσες αγορές, δεν έχει επεκταθεί σημαντικά σε νέες χώρες, παρά τη διαθεσιμότητα πόρων βιομάζας (World Energy Statistics and Balances 2017). Η καθιέρωση της χρήσης της βιοενέργειας σε νέες αγορές θα είναι επιτακτική ανάγκη για την εκπλήρωση των μακροπρόθεσμων κλιματικών σεναρίων που περιγράφονται από τον διεθνή οργανισμό ενέργειας (IEA).

Αν και η βιοενέργεια αντιπροσώπευε μόνο το 4% των προσθηκών στη χωρητικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2016, παραμένει καθοριστικός παράγοντας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, αποτελώντας το 8% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το ίδιο έτος. Αυτό αποδίδεται στους γενικά υψηλότερους συντελεστές χωρητικότητας των μονάδων βιοενέργειας σε σύγκριση με τις τεχνολογίες μεταβλητής ανανεώσιμης ενέργειας (VRE). Στις χώρες του ΟΟΣΑ, ο μέσος συντελεστής δυναμικότητας βιοενέργειας το 2015 ήταν σημαντικά υψηλότερος στο 50%, σε σύγκριση με 13% για τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (ΦΒ) και 26% για τις χερσαίες ανεμογεννήτριες (World Energy Statistics and Balances 2017). Παρά το υψηλότερο κόστος παραγωγής σε σύγκριση με τις τεχνολογίες VRE, η βιοενέργεια

προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας αποστολής και της δυνατότητας για ευρύτερα κοινωνικοοικονομικά οφέλη, όπως η αγροτική ανάπτυξη, η βελτιωμένη διαχείριση απορριμμάτων και η δημιουργία θέσεων εργασίας σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού καυσίμων.

Οι μηχανισμοί υποστήριξης πολιτικής οδηγούν την περισσότερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται στη βιοενέργεια, με μια στροφή που παρατηρείται προς ανταγωνιστικές δημοπρασίες με βάση το κόστος σε πολλές αγορές. Ο σχεδιασμός αυτών των δημοπρασιών, λαμβάνοντας υπόψη τις ευέλικτες παραγωγικές δυνατότητες και τα ευρύτερα οφέλη που παρέχει η βιοενέργεια, θα είναι καθοριστικής σημασίας για τη διαμόρφωση ευκαιριών ανάπτυξης στο μέλλον.

4.1. Τρέχουσα κατάσταση της βιοενέργειας στην Ευρώπη

Το ζήτημα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και οι συνακόλουθες επιπτώσεις τους στην κλιματική αλλαγή βρίσκεται στην πρώτη γραμμή των σύγχρονων περιβαλλοντικών ανησυχιών. Στο πλαίσιο της στρατηγικής βιώσιμης ανάπτυξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής αναδεικνύεται ως πρωταρχική δέσμευση. Οι εκδηλώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη αντιληπτές και αναμένεται να ενταθούν με την άνοδο της θερμοκρασίας. Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, οι παγκόσμιες μέσες θερμοκρασίες παρουσίασαν αύξηση περίπου 0,6 tC, με την Ευρώπη να σημειώνει μια πιο έντονη άνοδο που ξεπερνά τους 0,9 tC (The Kyoto Protocol). Προβολές από υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα υποδηλώνουν περαιτέρω κλιμάκωση των μέσων παγκόσμιων θερμοκρασιών κατά 1,4 tC σε 5,8 tC κατά τη διάρκεια του τρέχοντος αιώνα (United Nations Framework Convention on Climate Change).

Επί του παρόντος, η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τις εισαγωγές ενέργειας ανέρχεται στο 50%, ποσοστό που αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια εάν δεν ληφθούν διορθωτικά μέτρα (COM, 1997). Η αντιμετώπιση αυτής της εξάρτησης υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στη στρατηγική παραγωγής ενέργειας της Ευρώπης για βιωσιμότητα. Ωστόσο, η χρήση των ΑΠΕ εντός της ΕΕ παραμένει ανόμοια και ανεπαρκής. Παρά την αφθονία και το σημαντικό οικονομικό δυναμικό τους, οι ΑΠΕ αντιπροσώπευαν μόλις το 6% της συνολικής ακαθάριστης εσωτερικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ το 2023, που ανέρχεται σε 103 Mtoe (4 320 PJ)

(COM, 1997, Eurostat 2022-23). Η βιομάζα, η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η γεωθερμική ενέργεια αντιπροσωπεύουν τους πρωτογενείς τομείς στο τοπίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2023, η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας εντός της ΕΕ25 έφτασε τα 885 Mtoe (37,2 EJ) (Eurostat 2022-23). Συγκεκριμένα, η παραγωγή βιομάζας και αποβλήτων αντιπροσώπευε 68 Mtoe (2 850 PJ), που αποτελούν το 66% όλων των απαιτούμενων πρωτογενών ενέργειας ΑΠΕ στην ΕΕ. Η βιοενέργεια συνεισέφερε συγκεκριμένα το 9% της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και σχεδόν το 98% της θερμότητας από ΑΠΕ (Eurostat 2022-23).

Η βιομάζα ξεχωρίζει ως ένας άφθονος ανανεώσιμος πόρος βαθιά εδραιωμένος στον ιστορικό ιστό πολλών πολιτισμών. Κατέχει μοναδική θέση μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω της ευελιξίας του στην κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών, συμπεριλαμβανομένης της θερμότητας, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των υγρών καυσίμων για μεταφορά. Επιπλέον, η βιομάζα χρησιμεύει ως κρίσιμο μέσο για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Η παραγωγή του είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τους φυσικούς οικολογικούς κύκλους, και σε ολόκληρο τον κόσμο, υπάρχει εκτεταμένη εμπειρία τόσο στην παραγωγή βιομάζας μεγάλης κλίμακας όσο και στη χρήση της για ενεργειακούς σκοπούς.

Η ταξινόμηση της βιομάζας, όπως περιγράφεται στη Λευκή Βίβλο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (COM, 1997), περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα υλικών. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο ξυλώδη βιομάζα και υπολείμματα από βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου, αλλά επεκτείνεται και σε ενεργειακές καλλιέργειες, γεωργικά υπολείμματα, λύματα αγροδιατροφικών προϊόντων, κοπριά και οργανικά συστατικά αστικών στερεών αποβλήτων ή χωριστά συλλεγόμενων οικιακών απορριμμάτων και λυματολάσπης. Η ξυλώδης βιομάζα περιλαμβάνει τόσο παραπροϊόντα δασοκομικών εργασιών όσο και ειδικά καλλιεργούμενες ενεργειακές φυτείες, όπως πρεμνοφυτείες βραχείας περιστροφής ή ιτιά. Συνήθως, η ξυλώδης βιομάζα υφίσταται διαδικασίες καύσης ή αεριοποίησης για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη, καλλιεργούνται ενεργειακές καλλιέργειες με στόχο την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, όπως βιοντίζελ από ελαιοκράμβη ή ηλιάνθο και βιοαιθανόλη από σιτάρι ή ζαχαρότευτλα. Επιπλέον, το οργανικό κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή βιοαερίου μέσω αναερόβιας ζύμωσης σε ειδικές εγκαταστάσεις ή χώρους υγειονομικής ταφής. Η κλίμακα των μονάδων παραγωγής

βιοενέργειας εκτείνεται από μικρής κλίμακας λειτουργίες έως μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Δεδομένων των κλιμακούμενων ανησυχιών σχετικά με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η βιοενέργεια έχει γίνει επίκεντρο του πολιτικού λόγου. Οι πιθανές οδοί για την επέκταση της χρήσης της βιοενέργειας περιλαμβάνουν τη βελτίωση και επέκταση των υφιστάμενων βάσεων πόρων, τη διαμόρφωση υποστηρικτικών πολιτικών και κανονισμών και τις εξελίξεις στην τεχνολογία, που όλα λειτουργούν ως καταλύτες για την προώθηση της βιοενέργειας. Ωστόσο, πολλά εμπόδια εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτηση της βιοενέργειας. Αυτά τα εμπόδια περιλαμβάνουν παράγοντες όπως η τοπική διαθεσιμότητα βιομάζας, τα ρυθμιστικά πλαίσια, οι κοινωνικοοικονομικοί προβληματισμοί και οι τεχνολογικοί περιορισμοί. Η αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων απαιτεί μια συντονισμένη προσπάθεια εντοπισμού και υπέρβασής τους. Αυτό το χειρόγραφο προσπαθεί να παρέχει μια ολοκληρωμένη εξέταση των ευκαιριών και των προκλήσεων που σχετίζονται με την ανάπτυξη της βιοενέργειας στην Ευρώπη. Ερευνώντας τα τοπία πολιτικής της ΕΕ, τη δυναμική της διαθεσιμότητας βιομάζας και τις τεχνολογικές προόδους, στοχεύει να οριοθετήσει πιθανούς στόχους έρευνας, τεχνολογίας και ανάπτυξης (ΕΤΑ) που στοχεύουν στην υπέρβαση αυτών των εμποδίων. Οι γνώσεις που παρουσιάζονται εδώ έχουν συγκεντρωθεί υπό την αιγίδα του Δικτύου Αριστείας «Ξεπερνώντας τα Εμπόδια στη Βιοενέργεια».

Η έναρξη του Δικτύου Αριστείας «Ξεπερνώντας τα Εμπόδια στη Βιοενέργεια» (Bioenergy NoE) σηματοδότησε την αγωγή του 2024 ως μια νέα πρωτοβουλία έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης (ΕΤΑ) στο πλαίσιο του 6ου Προγράμματος Πλαισίου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Αποτελώντας μια κοινοπραξία οκτώ αξιόλογων ιδρυμάτων βιοενέργειας, η Bioenergy NoE στοχεύει να συγχωνεύσει τη συλλογική τους τεχνογνωσία και τις προσπάθειες να καλλιεργήσει την αριστεία στις ευρωπαϊκές προσπάθειες βιοενέργειας (COM, 1997). Τα ιδρύματα βιοενέργειας που απαρτίζουν περιλαμβάνουν το VTT Τεχνικό Ερευνητικό Κέντρο της Φινλανδίας (VTT), που λειτουργεί ως συντονιστική οντότητα, μαζί με εταίρους όπως το Joanneum Research (JR), το Energy Research Center of the Netherlands (ECN), το Forschungszentrum Karlsruhe (FZK), το Διεθνές Ινστιτούτο Βιομηχανικής Περιβαλλοντικής Οικονομίας (IIIIE), Πανεπιστήμιο Aston (AU), EC Baltic Renewable Energy Center (EC BREC) και το Εθνικό Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας (INRA). Κεντρική θέση στην εντολή της Bioenergy NoE είναι η απρόσκοπτη ενσωμάτωση των δραστηριοτήτων των εταίρων, η

προώθηση μιας βαθιάς και διαρκούς συνεργασίας που εκτείνεται πέρα από τη διάρκεια του έργου και διαρκεί πέρα από την περίοδο οικονομικής υποστήριξης από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το απόλυτο όραμα συνεπάγεται τη δημιουργία ενός Εικονικού Κέντρου Έρευνας και Ανάπτυξης Βιοενέργειας που θα αξιοποιεί τις συλλογικές δυνάμεις των μελών της κοινοπραξίας για την καλλιέργεια ενός ζωντανού και ευημερούντος τοπίου βιοενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη.

Το Bioenergy NoE περιλαμβάνει ολόκληρο το φάσμα των προσπαθειών βιοενέργειας. Η αντιμετώπιση των εμποδίων που εμποδίζουν την ανάπτυξη της βιοενέργειας απαιτεί μια ολοκληρωμένη εξέταση ολόκληρης της αλυσίδας αξίας, από την εξόρυξη πόρων έως τις αγορές τελικής χρήσης, συμπεριλαμβανομένων όλων των ανταγωνιστικών εναλλακτικών λύσεων. Η πρωτοβουλία ξεκίνησε με την οριοθέτηση των Πακέτων Εργασίας (WP), με στόχο τον έλεγχο μιας ποικιλίας φραγμών που αντιμετωπίζει η βιοενέργεια. Ωστόσο, αυτό το αρχικό πλαίσιο WP υποβλήθηκε σε αναθεώρηση, τώρα προσανατολισμένο προς την υπέρβαση επιλεγμένων φραγμών που ευθυγραμμίζονται με αναγνωρισμένες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Η αρχική φάση του έργου περιελάμβανε τη χαρτογράφηση των δραστηριοτήτων των εταίρων, θέτοντας τις βάσεις για επακόλουθη ανάλυση φραγμών και τη διατύπωση στόχων ETA, ανοίγοντας έτσι το δρόμο για την ενοποίηση κοινών ερευνητικών δραστηριοτήτων. Τα εμπόδια που εντοπίστηκαν καλύπτουν μια σειρά τεχνολογικών, κοινωνικοοικονομικών, περιβαλλοντικών και θεμάτων διαθεσιμότητας πρώτων υλών, ενσωματώνοντας τις πολύπλευρες προκλήσεις που εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτηση λύσεων βιοενέργειας.

Το παρακάτω γράφημα προσφέρει μια πολύτιμη εικόνα για τη χρήση των στερεών βιοκαυσίμων σε ολόκληρη την ΕΕ, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας. Τα στοιχεία για την Ελλάδα καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου, τα οποία αποκαλύπτουν ένα επίπεδο παραγωγής 0,787 Mtoe και ένα επίπεδο κατανάλωσης 0,816 Mtoe το 2021, υποδηλώνουν ότι η βιοενέργεια διαδραματίζει σταθερό αν και μέτριο ρόλο στην ενεργειακή σύνθεση της χώρας. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν σημαντικές ευκαιρίες για επέκταση στον κλάδο αυτό. Για το ποιες είναι αυτές, θα τις αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

	2018		2019		2020		2021	
	Production	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption	Production	Consumption
Germany	12.420	12.790	12.778	12.922	12.659	12.635	13.972	14.044
France***	10.246	10.341	10.194	10.411	9.765	9.820	10.745	10.888
Sweden	9.223	9.312	9.458	9.583	9.502	9.487	10.264	10.199
Finland	8.852	8.881	8.949	9.006	7.935	8.402	9.040	9.541
Poland	6.147	6.347	6.208	6.596	8.964	9.330	8.880	9.081
Italy	7.066	8.511	7.256	8.741	7.124	8.353	7.590	8.874
Spain	5.441	5.441	5.528	5.528	5.049	5.049	5.278	5.278
Austria	4.617	4.633	4.621	4.568	4.993	4.856	5.357	5.247
Denmark	1.631	3.094	1.554	3.049	1.439	3.073	1.527	3.712
Czechia	3.070	2.981	3.370	3.247	3.522	3.367	3.913	3.689
Romania	3.443	3.463	3.443	3.447	3.401	3.395	3.625	3.639
Netherlands	1.342	1.199	1.440	1.553	1.531	2.252	1.725	2.741
Portugal	2.648	2.429	2.830	2.537	2.904	2.645	2.922	2.700
Hungary	2.132	2.151	2.058	2.068	2.036	2.053	2.068	2.075
Belgium	1.228	2.000	1.198	1.880	1.182	1.852	1.320	1.895
Bulgaria	1.524	1.441	1.620	1.524	1.680	1.609	1.812	1.783
Latvia	2.445	1.494	2.451	1.489	2.282	1.407	2.312	1.505
Croatia	1.496	1.259	1.572	1.331	1.511	1.312	1.791	1.477
Lithuania	1.286	1.285	1.247	1.262	1.273	1.284	1.396	1.419
Slovakia	0.908	0.889	0.884	0.884	1.321	1.313	1.363	1.363
Estonia	1.648	1.036	1.803	1.084	1.706	1.135	1.788	1.125
Greece	0.782	0.834	0.771	0.810	0.741	0.787	0.787	0.816
Slovenia	0.567	0.567	0.565	0.565	0.545	0.545	0.602	0.602
Ireland	0.250	0.273	0.237	0.262	0.225	0.270	0.248	0.293
Luxembourg	0.106	0.107	0.128	0.124	0.173	0.167	0.183	0.180
Cyprus	0.023	0.024	0.023	0.024	0.023	0.027	0.025	0.029
Malta	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002
Total EU 28	95.285	100.371	96.896	102.596	93.487	96.427	100.533	104.193
Total EU 27 (from 2020)	90.540	92.782	92.186	94.498				
<i>*Excluding charcoal. **Estimate. ***Overseas departments included for France.</i>								
Source: EurObserv'ER 2020.								

Εικόνα 4. 1: Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας και κατανάλωση στερεών βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2020 και το 2021 (σε Mtoe)

Πηγή: <https://www.eurobserv-er.org/solid-biomass-barometer-2022/>

Ο παρακάτω πίνακας μελετά τον αξιοσημείωτο ρόλο που διαδραματίζουν τα στερεά βιοκαύσιμα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά τα έτη 2020 και 2021. Προκύπτει μια ακριβής μέτρηση της συνολικής ποσότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά βιοκαύσιμα, υπογραμμίζοντας έτσι τον αυξανόμενο ρόλο αυτών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα στοιχεία αυτά δεν αποδεικνύουν μόνο την τάση της ΕΕ για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά υποδεικνύουν την αυξανόμενη ανάγκη για στερεά βιοκαύσιμα στο ενεργειακό κοκτέιλ της περιοχής. Αν και αποτελεί μικρό μερίδιο στην εθνική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο τομέας της βιοενέργειας στην Ελλάδα εξακολουθεί να είναι πολλά υποσχόμενος από άποψη δυνατοτήτων ανάπτυξης. Το 2020, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της βιοενέργειας στην Ελλάδα ανήλθε σε 0,050 τεραβατώρες (TWh), με κύριους συντελεστές τις μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ("CHP"). Ωστόσο, το 2021, αυτό μειώθηκε οριακά σε 0,042 TWh. Η γενική δέσμευση της Ελλάδας για την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υποδηλώνει δυναμική σημαντική επέκταση της παραγωγής βιοενέργειας, παρά το γεγονός ότι τα σημερινά στατιστικά στοιχεία είναι μικρά: για παράδειγμα, ο στόχος να διπλασιαστεί η εγκατεστημένη ισχύς σε 20 GW μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Η επέκταση είναι ένα από τα στοιχεία που πρόκειται να διαμορφώσουν μια ευρύτερη στρατηγική για την αλλαγή του ενεργειακού τομέα της Ελλάδας στο σύνολό του, συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου μεταρρυθμίσεων μέσω του νόμου και των μεγάλων επενδύσεων.

	2020			2021		
	Electricity only plants	CHP plants	Total	Electricity only plants	CHP plants	Total
Finland	0.000	10.760	10.760	0.000	12.668	12.668
Sweden	0.000	9.501	9.501	0.000	11.243	11.243
Germany	5.230	6.075	11.305	5.060	5.850	10.910
Netherlands	1.012	4.773	5.785	2.453	5.406	7.860
Denmark	0.000	4.302	4.302	0.000	7.133	7.133
Poland	1.557	5.376	6.933	1.446	4.991	6.437
Spain	3.646	0.895	4.541	4.116	0.979	5.095
Italy	2.180	2.291	4.470	2.385	2.144	4.529
France	0.459	3.396	3.854	0.691	3.623	4.314
Austria	1.090	2.872	3.962	0.928	2.950	3.878
Portugal	1.454	1.753	3.207	1.346	2.046	3.392
Belgium	2.034	1.285	3.319	1.458	1.306	2.763
Czechia	0.002	2.497	2.499	0.001	2.663	2.665
Bulgaria	0.173	1.300	1.472	0.278	2.094	2.373
Hungary	0.563	1.101	1.664	0.601	1.174	1.775
Estonia	0.320	1.426	1.746	0.314	1.400	1.714
Slovakia	0.000	1.120	1.120	0.000	1.071	1.071
Croatia	0.000	0.559	0.559	0.000	0.713	0.713
Romania	0.061	0.433	0.494	0.032	0.548	0.580
Latvia	0.000	0.520	0.520	0.000	0.570	0.570
Ireland	0.408	0.022	0.430	0.447	0.024	0.471
Lithuania	0.000	0.373	0.373	0.000	0.387	0.387
Luxembourg	0.000	0.266	0.266	0.000	0.285	0.285
Slovenia	0.000	0.155	0.155	0.000	0.169	0.169
Greece	0.012	0.038	0.050	0.016	0.026	0.042
Total EU 27	20.199	63.087	83.286	21.573	71.463	93.036

**Excluding charcoal. **Estimate. Source: EurObserv'ER 2022.*

Εικόνα 4. 2: Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά βιοκαύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2020 και το 2021 (σε TWh)

Πηγή: <https://www.eurobserv-er.org/solid-biomass-barometer-2022/>

4.2 Πολιτικές και κανονιστικά πλαίσια.

Σε μια προσπάθεια να προωθήσει τη χρήση βιοκαυσίμων στον ευρωπαϊκό τομέα μεταφορών, η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε την Κοινοτική Οδηγία 2003/30/EK. Αυτή η οδηγία ορίζει τα βιοκαύσιμα ως κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο που προέρχεται από βιομάζα, όπου η βιομάζα περιλαμβάνει το βιοαποδομήσιμο κλάσμα γεωργικών, δασοκομικών και συναφών βιομηχανικών προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων, μαζί με το βιοαποδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Η οδηγία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τύπων βιοκαυσίμων, όπως βιοαιθανόλη, βιοντίζελ, βιοαέριο, βιομεθανόλη, βιομεθυλαιθέρα, βιο-ETBE, βιο-MTBE, συνθετικά βιοκαύσιμα, βιοϋδρογόνο και καθαρά φυτικά έλαια. Επιπλέον, η νομοθεσία επιβάλλει στα κράτη μέλη να διασφαλίζουν ότι ένα ελάχιστο ποσοστό βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων διατίθεται στις αγορές τους, με στόχο να ορίζεται στο 2% του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου ντίζελ που διατίθενται για χρήση στις μεταφορές έως το τέλος του 2005. Αυτός ο στόχος επρόκειτο να αυξηθεί στο 5,75% μέχρι το τέλος του 2010. Η Ελλάδα μετέφερε αυτήν την οδηγία στο εθνικό δίκαιο το καλοκαίρι του 2005, αν και δεν κατάφερε να επιτύχει τον στόχο του 2% μέχρι το τέλος του έτους.

Οι χώρες της Βόρειας Ευρώπης αντιμετωπίζουν εδώ και καιρό το ζήτημα της διαχείρισης οργανικών και βιοαποδομήσιμων αποβλήτων, εστιάζοντας κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και πράσινης παραγωγής CO₂. Αντίθετα, οι χώρες της Νότιας Ευρώπης, ιδιαίτερα η Ελλάδα, συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν ανεπίλυτες προκλήσεις διαχείρισης απορριμμάτων. Η ετήσια έκθεση των έργων της Υπηρεσίας Επενδυτών για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής για το 2010 ρίχνει φως στην κατάσταση της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Μετά τη ψήφιση του Ν. 3851/2010, εισήχθησαν σημαντικές ρυθμιστικές αλλαγές που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα. Εκδόθηκε απόφαση σχετικά με την προβλεπόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και τη διαχρονική κατανομή της, με τη θέσπιση ορίων ισχύος για μονάδες βιομάζας στα 200 MW και 350 MW για τα έτη 2014 και 2020, αντίστοιχα. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικά βιώσιμο δυναμικό βιομάζας στη χώρα και τον ουσιαστικό ρόλο των σταθμών «βάσης» στη διασφάλιση της αξιοπιστίας

της ισχύος και της σταθερότητας του συστήματος, αυτά τα όρια κρίθηκαν υπερβολικά περιοριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη το αναμενόμενο επενδυτικό ενδιαφέρον και τις δυνατότητες βιώσιμης ανάπτυξης, ειδικά στις αγροτικές περιοχές, υπάρχουν εικασίες ότι ενδέχεται να εξεταστούν στο μέλλον εξαιρέσεις από αυτά τα όρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η αρμοδιότητα χορήγησης αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) μεταβιβάστηκε στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η αρμοδιότητα για τη χορήγηση ενιαίας άδειας παραγωγής και διανομής θερμικής ενέργειας από συμπαραγωγή παραμένει στην Υπουργός Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, με την επιφύλαξη γνώμης της ΡΑΕ. Μέχρι το τέλος του 2010 υποβλήθηκαν συνολικά 124 αιτήσεις αδειών παραγωγής, συνολικής ισχύος 1.462 MW, με 37 άδειες παραγωγής που εκδόθηκαν με συνολική ισχύ 443 MW.

Η σημαντική κλιμάκωση των εγγυημένων τιμών πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και απορροφάται από το σύστημα έχει πυροδοτήσει το επενδυτικό ενδιαφέρον για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας. Συγκεκριμένα, η νέα δομή τιμολόγησης οριοθετεί ποικίλες τιμές αγοράς για ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από βιοαέριο και άλλες μορφές βιομάζας, ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του σταθμού και την προέλευση του καυσίμου. Αυτό το ανανεωμένο καθεστώς τιμολόγησης, που δημιουργήθηκε με παραμέτρους που επηρεάζουν το λειτουργικό κόστος των μονάδων βιομάζας, παρέχει τώρα κίνητρα για επενδύσεις που προηγουμένως ήταν αβάσιμες υπό την ενιαία τιμή αγοράς για όλες τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σύμφωνα με τις νομοθετικές διατάξεις, η επαυξημένη τιμολόγηση συνοδεύει επενδύσεις αξιοποίησης ενέργειας από βιομάζα που πραγματοποιούνται χωρίς δημόσια επιχορήγηση (+15%, εξαιρουμένων των περιπτώσεων χρήσης ενέργειας από το βιοαποδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων). Επιπλέον, το νέο πλαίσιο τιμολόγησης θεωρείται ως καταλύτης για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών ανησυχιών που σχετίζονται με την ασφαλή διαχείριση των οργανικών αποβλήτων.

Η τεχνολογία για τη χρήση βιοαερίου, που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση ενός μείγματος πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένης της πράσινης βιομάζας, του καλαμποκιού και των απορριμμάτων πουλερικών-κτηνοτροφικών ζώων, είναι από καιρό διαδεδομένη στις ξένες χώρες και επί του παρόντος προσελκύει σημαντικό επενδυτικό ενδιαφέρον στο εσωτερικό. Ωστόσο, η διαφορά τιμολόγησης μεταξύ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

από βιοαέριο με βάση το καλαμπόκι (120 €/MWh) και των απορριμμάτων πουλερικών-κτηνοτροφικών αποβλήτων (220 €/MWh) αποθαρρύνει τις επενδυτικές πρωτοβουλίες για ενεργειακή χρήση ταυτόχρονα με την ασφαλή διάθεση τέτοιων αποβλήτων. Δεδομένης της απουσίας σχετικών διατάξεων τιμολόγησης για σταθμούς βιοαερίου που χρησιμοποιούν διαφορετικές πρώτες ύλες που εμπίπτουν σε διακριτές κατηγορίες τιμολόγησης, κρίνεται επιτακτική η θέσπιση σχετικής νομοθεσίας μετά από επαναξιολόγηση της τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας βιοαερίου.

Με τις ρυθμίσεις που ορίζονται στο Ν. 3851/2010, αυξήθηκε το όριο εγκατεστημένης ισχύος για μονάδες βιομάζας που δεν απαιτούν άδεια παραγωγής, εξορθολογίζοντας έτσι σημαντικά τη διαδικασία αδειοδότησης. Επιπρόσθετα, εισήχθησαν διατάξεις για εξαίρεση περιβαλλοντικής αδειοδότησης υπό ειδικούς όρους για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας με εγκατεστημένη ισχύ <0,5MW. Παρά τον εξορθολογισμό της διαδικασίας αδειοδότησης, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη ρυθμιστικού πλαισίου περιβαλλοντικής αδειοδότησης για τους εξαιρούμενους σταθμούς, γεγονός που καθιστά αναγκαία μια συνολική νομοθετική προσέγγιση για τη βιομάζα στην Ελλάδα. Για να οριοθετηθεί το νομοθετικό καθεστώς για τη βιομάζα στην Ελλάδα, πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες. Το υφιστάμενο πλαίσιο αδειοδότησης, όπως ορίζεται από διάφορους νόμους και υπουργικές αποφάσεις, προβλέπει ειδικές περιβαλλοντικές διαδικασίες αδειοδότησης σταθμών παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και βιοαέριο, ταξινομημένες σε κατηγορίες A1, A2 και B3 με βάση τον τύπο του καυσίμου και την εγκατεστημένη ισχύ. Ωστόσο, δεν έχει γίνει καμία τροποποίηση στις κατηγορίες ταξινόμησης των σχετικών έργων για να διευκολυνθεί η απλοποίηση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Επιπλέον, ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1069/2009 οριοθετεί κανόνες για τα κράτη μέλη σχετικά με την παραγωγή βιοαερίου από ζωικά υποπροϊόντα και την επεξεργασία των αποβλήτων, καθιστώντας αναγκαία τη συμμόρφωση από τις σχετικές εταιρείες. Επίσης, ο νόμος 3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με τον νόμο 3851/2010, εξαιρεί τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν βιομάζα, βιοαέριο και βιοκαύσιμα με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ που δεν υπερβαίνει τα 0,5 MW από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος (ΕΠΟ), με την επιφύλαξη συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Τα έργα αξιοποίησης ενέργειας βιομάζας και βιοαερίου αποτελούν βιομηχανικές εγκαταστάσεις που περιλαμβάνουν διάφορα στοιχεία όπως εγκαταστάσεις υποδοχής, συγκέντρωσης, επεξεργασίας και αποθήκευσης πρώτων υλών καυσίμων βιομάζας,

παράλληλα με εξοπλισμό για τροφοδοσία πρώτων υλών και μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα έργα μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν βοηθητικές εγκαταστάσεις όπως συστήματα βιολογικού καθαρισμού ή εγκαταστάσεις αποθήκευσης υποπροϊόντων. Σε περιπτώσεις που απαιτείται Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση, ακολουθούμενη από απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Συνθηκών σύμφωνα με το Ν. 1650/1986, είναι απαραίτητο να εκδοθεί αντίστοιχη εγκύκλιος για τη σαφήνεια στις αρμόδιες αρχές και τον εξορθολογισμό της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης, για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ΑΠΕ με εγκατεστημένη ισχύ που εμπίπτουν στις εξαιρέσεις που προβλέπονται στο Ν. 3851/2010. Επιπλέον, είναι σημαντικό να οριοθετηθεί η σειρά των εγκρίσεων που απαιτούνται για την περιβαλλοντική αδειοδότηση μονάδων βιομάζας/βιοαερίου που συνδέονται με τη διαχείριση μη επικίνδυνων αποβλήτων, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τις διατάξεις του Ν. 3851/2010 σχετικά με την ολοκλήρωση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης πριν από την εξέταση των προσφορών σύνδεσης για σχετικούς σταθμούς.

Τα προκαθορισμένα όρια εγκατεστημένης ισχύος, που απαλλάσσουν τους σταθμούς από την υποχρέωση έκδοσης αδειών παραγωγής και εγκρίσεων περιβαλλοντικών όρων, έχουν συγκεντρώσει σημαντικό επενδυτικό ενδιαφέρον. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποβολές στο φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου που αναζητούν τμηματοποίηση ισχύος, με στόχο είτε την παράκαμψη της διαδικασίας αδειοδότησης μέσω της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (<1MW) είτε την απόκτηση εξαιρέσεων από εγκρίσεις περιβαλλοντικών συνθηκών (<0,5MW), σε συνδυασμό με τη δυνατότητα για υψηλότερες τιμολόγηση για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας, εξαιρουμένου του βιοαερίου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των αστικών απορριμμάτων ($\leq 1\text{MW}$).

Δεδομένης της απουσίας νομοθετικών διατάξεων για την αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων καταστρατήγησης του ευνοϊκού καθεστώτος αδειοδότησης και τιμολόγησης, είναι επιτακτική η θέσπιση κανόνων σε συνεργασία με τον διαχειριστή του δικτύου και η θέσπιση νομοθετικών ρυθμίσεων. Η πρωτοβουλία αυτή θα πρέπει να αντιμετωπίσει ανησυχίες σχετικά με τον καταμερισμό ισχύος, ο οποίος όχι μόνο επιδεινώνει περιβαλλοντικά ζητήματα αλλά και εμποδίζει την υλοποίηση μεγαλύτερων έργων με ευνοϊκότερες συνθήκες βιωσιμότητας της επιχείρησης λόγω οικονομικών κλίμακας, επηρεάζοντας τελικά δυσμενώς την εθνική οικονομία. Σύμφωνα με την ίδια Έκθεση, τον Δεκέμβριο του 2010, υπήρχαν 445 MW έργα βιομάζας εγγεγραμμένα με άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου 43 MW με

προσφορά Σύνδεσης στο Δίκτυο, 22 MW με άδεια εγκατάστασης και λιγότερα από 1 MW με Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας Συμφωνία με τον Διαχειριστή του Δικτύου. Τα λειτουργικά έργα βιομάζας ανήλθαν συνολικά σε περίπου 44 MW, υποδηλώνοντας οριακή αύξηση σε σύγκριση με το τέλος του 2009 (443 MW).

- Η Ελληνική Νομοθεσία.

Το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τις εφαρμογές βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας ευνοεί την ανάπτυξη. Η ισχύουσα νομοθεσία, συμπεριλαμβανομένου του αναπτυξιακού νόμου, προσφέρει σημαντικές επιδοτήσεις για προσπάθειες παραγωγής ενέργειας με βάση τη βιομάζα. Οι κανονισμοί που αφορούν την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από βιομάζα στη ΔΕΗ περιγράφονται στο Ν. 2244/94, με συμπληρωματικές διατάξεις που αναφέρονται αναλυτικά στην Υπουργείο Απάντησης 8295/95, οι οποίες αφορούν τις διαδικασίες αδειοδότησης και συναφή θέματα.

Πρόσφατες πρωτοβουλίες του Υπουργείου Ανάπτυξης, που διευκολύνθηκαν μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας, έχουν παράσχει οικονομική υποστήριξη για πολυάριθμες επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης βιομάζας. Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τις επιχειρήσεις που επιδοτούνται βάσει της δεύτερης προκήρυξης του Α.Π.Ε. για επενδύσεις αξιοποίησης ενέργειας από βιομάζα, παράλληλα με τα αντίστοιχα επίπεδα επενδύσεων και επιδοτήσεων. Επιπλέον, το Υπουργείο Γεωργίας επεκτείνει τις επιδοτήσεις για εφαρμογές βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης θερμοκηπίου και της επεξεργασίας των κτηνοτροφικών αποβλήτων μέσω αναερόβιας χώνευσης.

Στο πλαίσιο της Ε.Π.Ε. πλαίσιο, επενδύσεις που εμπίπτουν σε κατηγορίες όπως η συμπαραγωγή βιομάζας, η τηλεθέρμανση και η παραγωγή βιοκαυσίμων επιδοτήθηκαν σε ποσοστό 50%. Οι μέγιστες επιλέξιμες δαπάνες για τεχνολογίες βιομάζας οριοθετήθηκαν ως εξής: 1.467 €/kWe εγκαταστήσαμε για τη συμπαραγωγή βιομάζας, 734 €/kWh εγκατεστημένα για τηλεθέρμανση με βιομάζα και 411 €/τόνο για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

Επιπλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση παρέχει βοήθεια για την υλοποίηση ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας, μέσω διαφόρων προγραμμάτων που είναι αφιερωμένα στην έρευνα και ανάπτυξη, πιλοτικές εφαρμογές και εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες. Τα

προγράμματα της ΕΕ που προσφέρουν οικονομική στήριξη σε αυτούς τους τομείς περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα Altener, Save-Joule και Thermie. Ερευνητικές επιχορηγήσεις διατίθενται επίσης μέσω προγραμμάτων που διαχειρίζεται η Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, όπως η ΠΑΒΕ και η ΠΕΝΕΔ, που στοχεύουν κυρίως στην προώθηση των ερευνητικών στόχων.

Τα βιοκαύσιμα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης ρυθμίζονται από ορισμένες οδηγίες. Αυτές περιλαμβάνουν την οδηγία 2015/1513/ΕΕ για την ILUC, την οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την οδηγία 2009/28/ΕΚ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED) και την οδηγία 2009/30/ΕΚ για την ποιότητα των καυσίμων. Μεταξύ των σημαντικών νομοθετικών πράξεων σε αυτόν τον τομέα είναι η οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εκδόθηκε στις 11 Δεκεμβρίου 2018. Η εν λόγω οδηγία προβλέπει, εντός του θεμελιώδους πλαισίου της, ειδικές διατάξεις όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 35% και η ελάχιστη συμμετοχή του 35% της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, με ελάχιστη συμμετοχή 12% από ανανεώσιμες πηγές στον τομέα των μεταφορών έως το έτος 2030. (ETIP Bioenergy)

Η REPowerEU είναι μια νέα πρωτοβουλία που δημιουργήθηκε το 2022 και προωθείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αποσκοπεί στην πλήρη ενεργειακή ανεξαρτησία έως το 2030 από τους ρωσικούς ορυκτούς πόρους. Η προτεινόμενη στρατηγική θα περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας και την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας με την ταχεία ανάπτυξη τεχνολογιών καθαρής ενέργειας. Εξέχουσα θέση κατέχει εδώ η πρόβλεψη για την παροχή κινήτρων για την παραγωγή υδρογόνου και βιομεθανίου. (European Commission, 2022)

Κανονισμός (ΕΥ/2023/1640)

Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα, ο οποίος δημοσιεύθηκε στις 18 Αυγούστου 2023, προσφέρει μια ολοκληρωμένη πολιτική όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προωθούνται και χρησιμοποιούνται εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (European Commission).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συμπεριέλαβε την απαίτηση βιωσιμότητας για τη βιοενέργεια στην αναδιατύπωση της οδηγίας της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, πολλοί επικριτές υποστηρίζουν ότι είναι απαραίτητη μια πιο ισχυρή ρύθμιση για να διασφαλιστεί ότι η χρήση της βιοενέργειας θα προσφέρει πράγματι πραγματικό όφελος για το κλίμα όταν υποκαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. (WWF, 2017)

4.3 Μελέτες Περίπτωσης: Ιστορίες Επιτυχίας Και Διδάγματα

4.3.1 Σουηδία & Φινλανδία.

Οι συζητήσεις για την ενεργειακή πολιτική στη φινλανδία και τη σουηδία ήταν ιστορικά αμφιλεγόμενες, ωστόσο η συνολική διαδικασία χάραξης πολιτικής τείνει να είναι σχετικά διαφανής και να βασίζεται στη συναίνεση και στις δύο χώρες. Ενώ ο ενεργειακός τομέας ανήκει κατά κύριο λόγο σε εθνικές και τοπικές κυβερνήσεις η επίσημη ρύθμιση ήταν γενικά ελάχιστη, επιτρέποντας έμμεση ρυθμιστική επιρροή μέσω της ιδιοκτησίας (Nilsson, 2002). Η σημασία της πυρηνικής ενέργειας στη διαμόρφωση των σουηδικών ενεργειακών πολιτικών δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί, ιδιαίτερα αν ληφθούν υπόψη οι συγκρούσεις γύρω από την υιοθέτησή της που χρονολογούνται από το 1973. Αρχικά, η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε ως εναλλακτική λύση, η πυρηνική ενέργεια αργότερα εμφανίστηκε ως βιώσιμο υποκατάστατο του πετρελαίου, οδηγώντας σε αύξηση της ηλεκτρικής θέρμανσης στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και της δεκαετίας του 1980. Αντίθετα η Φινλανδία γνώρισε μια πιο μέτρια επέκταση της πυρηνικής ενέργειας, επιτρέποντας την ταυτόχρονη ανάπτυξη της συμπαραγωγής. Ωστόσο, η συμπαραγωγή στη σουηδία αντιμετώπισε σκληρό ανταγωνισμό από την πυρηνική ενέργεια, δημιουργώντας προκλήσεις για την ανάπτυξή της (Vedung, 2001, Kaijser 2001).

Τόσο η Φινλανδία όσο και η Σουηδία έχουν δώσει προτεραιότητα στη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο από την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Ως απάντηση στις υψηλότερες τιμές του πετρελαίου, έχουν εφαρμοστεί διάφορα προγράμματα στήριξης για την προώθηση της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, άνθρακα, τύρφης και βιομάζας, παράλληλα με την εισαγωγή του φυσικού αερίου ως εναλλακτικής πηγής ενέργειας. Ωστόσο, οι ανησυχίες για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής, οδήγησαν σε μια μετατόπιση από τον άνθρακα και την τύρφη προς καθαρότερες εναλλακτικές λύσεις, με το φυσικό αέριο να κερδίζει έδαφος ως βιώσιμη επιλογή (Statistics Finland, 2002, Σουηδικός Οργανισμός Ενέργειας 2002 α).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα η αιολική και η βιομάζα, έχουν λάβει σημαντική υποστήριξη από την έναρξη των ενεργειακών προγραμμάτων και στις δύο χώρες κατά τη δεκαετία του 1970. Οι μεταγενέστερες πολιτικές επικεντρώθηκαν σε πρωτοβουλίες έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης, με την επέκταση της αιολικής ενέργειας να υποστηρίζεται μέσω επενδυτικών επιχορηγήσεων και επιδοτήσεων παραγωγής. Επιπλέον, τα προγράμματα

ενεργειακής απόδοσης αποτελούν αναπόσπαστα στοιχεία των εθνικών ενεργειακών πολιτικών, σε σχέση με άλλες χώρες (Blok et al., 1996).

Η αναδιάρθρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 στη Φινλανδία και τη Σουηδία είχε βαθιές επιπτώσεις στις πολιτικές για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη βιοενέργεια. Η απελευθέρωση της αγοράς έχει αλλάξει τον ρόλο των ηλεκτρικών επιχειρήσεων κοινής ωφελείας στη στήριξη της μη κερδοφόρας ανάπτυξης της βιοενέργειας, απαιτώντας προσαρμογές πολιτικής ώστε να ευθυγραμμιστεί με τη δυναμική της αγοράς χωρίς να στρεβλώνεται ο ανταγωνισμός. Η Σουηδία, για παράδειγμα, εισάγει ένα σύστημα βάσει ποσοτώσεων με εμπορία πιστοποιητικών για την προώθηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ η Φινλανδία εξακολουθεί να βασίζεται σε παραδοσιακά συστήματα επιδοτήσεων (CEC, 2001).

Επιπλέον, η ένταξη στην ΕΕ από το 1995 επηρέασε τις εθνικές ενεργειακές πολιτικές, αν και με διαφορετικές επιπτώσεις στην προώθηση της βιοενέργειας στη Φινλανδία και τη Σουηδία. Ενώ οι οδηγίες της ΕΕ παρέχουν ένα ευρύτερο πλαίσιο, οι εθνικές πολιτικές για την προώθηση της βιοενέργειας ήταν γενικά ισχυρότερες και στις δύο χώρες σε σύγκριση με άλλα κράτη μέλη της ΕΕ. Ωστόσο, η ΕΕ έχει επισημάνει τη σημασία της ενέργειας από βιομάζα για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, με οδηγίες που στοχεύουν στην αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κατανάλωση ενέργειας (European Commission, 1996, 1997, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο 2001).

Οι κυβερνητικές πολιτικές στη Φινλανδία και τη Σουηδία υποστηρίζουν από καιρό την ανάπτυξη της βιοενέργειας, χρησιμοποιώντας διάφορα οικονομικά, διοικητικά και ρυθμιστικά μέσα για την προώθηση της ανάπτυξής της. Συγκεκριμένα, οι επιχορηγήσεις επενδύσεων, η υποστήριξη E&A και οι ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί φόροι υπήρξαν βασικά εργαλεία για την παροχή κινήτρων για την υιοθέτηση τεχνολογιών βιοενέργειας. Επιπλέον, διοικητικά μέτρα, όπως η παρακολούθηση του δασικού τομέα και η επιβολή της νομοθεσίας, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ανάπτυξης της βιοενέργειας.

Για παράδειγμα, το Εθνικό Συμβούλιο Δασών της Σουηδίας έχει εκδώσει κατευθυντήριες γραμμές από το 1986 για τη ρύθμιση της εξόρυξης βιομάζας, ενώ νομοθεσία όπως ο νόμος περί στερεών καυσίμων όριζε ότι οι νέες εγκαταστάσεις που παράγουν σημαντική θερμική ενέργεια χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα. Τέτοιοι κανονισμοί πιθανότατα διευκόλυναν τη μετάβαση προς τη χρήση βιομάζας, αν και με ποικίλες επιπτώσεις στη δυναμική της βιομηχανίας. Ωστόσο, το επίκεντρο αυτής της συζήτησης παραμένει στα οικονομικά κίνητρα και στις

προτεραιότητες E&A. Και οι δύο χώρες έχουν εφαρμόσει προγράμματα στήριξης επενδύσεων και παραγωγής παράλληλα με φορολογικούς μηχανισμούς. Αρχικά, οι προσπάθειες στη δεκαετία του 1970 στόχευαν να μειώσουν την εξάρτηση από το πετρέλαιο μέσω επιχορηγήσεων για μονάδες άνθρακα, τύρφης και βιομάζας. Ωστόσο, από το 1985 περίπου στη Σουηδία και το 1990 στη Φινλανδία, υπήρξε μια αξιοσημείωτη στροφή προς την προώθηση της βιομάζας, που οδήγησε σε μειωμένη υποστήριξη για τον άνθρακα και την τύρφη.

Στη Σουηδία η επενδυτική υποστήριξη για σταθμούς συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) με βάση τη βιομάζα εισήχθη το 1991 και προσαρμόστηκε με την πάροδο του χρόνου ώστε να ευθυγραμμιστεί με τις εξελισσόμενες συνθήκες της αγοράς. Ομοίως, η Φινλανδία παρείχε επιδοτήσεις τόσο για έργα τύρφης όσο και για έργα βιομάζας, με αυξανόμενη έμφαση στη βιομάζα τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι επιδοτήσεις κυμαίνονταν συνήθως από 10-30% του επενδυτικού κόστους, ανάλογα με τον τύπο του έργου. Επιπλέον, το πρόγραμμα στήριξης της Σουηδίας μεταβαίνει σε ένα σύστημα που βασίζεται σε ποσοτώσεις με εμπορία πιστοποιητικών, με στόχο τη σημαντική αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτή η μετατόπιση αναμένεται να ευνοήσει τη βιομάζα έναντι της αιολικής ενέργειας λόγω της αντιληπτής ανταγωνιστικότητάς της. Επιπλέον, έχουν εφαρμοστεί διάφορες άλλες επιδοτήσεις, όπως αυτές για την αραίωση και το θρυμματισμό του ξύλου, για την περαιτέρω υποστήριξη πρωτοβουλιών για τη βιοενέργεια.

Οι προσπάθειες έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης (RD&D) έπαιξαν επίσης κρίσιμο ρόλο στην προώθηση των τεχνολογιών βιοενέργειας. Οι επενδύσεις της κυβέρνησης και της βιομηχανίας στην E&A ήταν σημαντικές από τη δεκαετία του 1980, με τη Φινλανδία και τη Σουηδία να διαθέτουν σημαντικό μέρος των συνολικών ενεργειακών δαπανών E&A στη βιοενέργεια. Παρά τη σημαντική πρόοδο στην E&A, οι εμπορικές εφαρμογές προηγμένων τεχνολογιών όπως η ενζυματική υδρόλυση για την παραγωγή αιθανόλης ή τα συστήματα συνδυασμένου κύκλου αεριοποίησης ολοκληρωμένης βιομάζας (BIGCC) παραμένουν περιορισμένες. Ενώ η τεχνολογία αεριοποίησης έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον, οι επενδυτές έχουν προτιμήσει τις εμπορικά αποδεδειγμένες τεχνολογίες καύσης λόγω των μεταρρυθμίσεων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των αντιληπτών τεχνολογικών κινδύνων που συνδέονται με την αεριοποίηση. Ωστόσο, οι συνεργατικές προσπάθειες μεταξύ των φορέων της βιομηχανίας και στις δύο χώρες έχουν αποφέρει πολύτιμες γνώσεις και έχουν συμβάλει στην πρόοδο των τεχνολογιών βιοενέργειας.

Η Σουηδία κατέχει ηγετική θέση σε ευρωπαϊκό επίπεδο στη χρήση της βιοενέργειας με υψηλή ενσωμάτωση πηγών ενέργειας από γεωργικά και δασικά υποπροϊόντα. Έχει επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τις γεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες, που συμπληρώνονται από την προώθηση προοδευτικών πολιτικών και τεχνολογιών. Η σύγχρονη βιοενέργεια της Σουηδίας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970, όταν η σύγχρονη βιοενέργεια ριζώσε πραγματικά στη χώρα, γεγονός που αντιστοιχεί στην ευρύτερη ανάπτυξη της βιοενέργειας στην Ευρώπη. Ακολούθησαν δεκαετίες συνεχούς και σταδιακής επέκτασης της χρήσης τεχνολογιών βιοενέργειας, ιδίως της χρήσης ξυλώδους βιομάζας.

Ένα παράδειγμα είναι η ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοαερίου στη Σουηδία. Το βιοαέριο συνέβαλε κατά 17,1% στη συνολική παροχή φυσικού αερίου της Σουηδίας, αυξάνοντας τη συνολική παροχή φυσικού αερίου κατά 0,2 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) το 2021. Στη Σουηδία, το βιοαέριο καταναλώνεται κυρίως στον τομέα των μεταφορών, με το 41% του παραγόμενου βιοαερίου να χρησιμοποιείται στον τομέα αυτό. Αυτό υπογραμμίζει τη δέσμευση της χώρας για την υιοθέτηση βιώσιμων πηγών καυσίμων. Ένα επιπλέον 20% του βιοαερίου διατίθεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε μέσω εξειδικευμένων μονάδων είτε μέσω συστημάτων συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού (CHP). Συνεπώς, αυτό ενισχύει περαιτέρω την αφοσίωση της Σουηδίας στον τομέα αυτό, όπως υποστηρίζεται από την έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης Βιοαερίου (EBA), η οποία προώθησε μια σημαντική παραγωγή βιοαερίου ύψους 0,2 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm). Όλα αυτά κατέστησαν δυνατά χάρη στην ύπαρξη 207 μονάδων βιοαερίου και ενός καλά συνδεδεμένου δικτύου 72 μονάδων βιομεθανίου., Η Σουηδία θα επιτύχει τον στόχο της παραγωγής 10 TWh βιομεθανίου έως το έτος 2030. Επί του παρόντος, το 73% του βιομεθανίου που παράγεται στη Σουηδία χρησιμοποιείται στον τομέα των μεταφορών, λόγω της ύπαρξης φορολογικών κινήτρων. (European Commission, 2021)

Σύμφωνα με τις προβλέψεις, η Σουηδία είναι έτσι μια από τις δύο πιο ελκυστικές χώρες για τη βιώσιμη παραγωγή βιομεθανίου στην ΕΕ των 27 αμέσως μετά τη Γερμανία. Αυτό θα έδινε στη Σουηδία τη δυνατότητα παραγωγής 1,1 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm) βιομεθανίου έως το έτος 2030 μέσω των διαδικασιών αναερόβιας χώνευσης (AD) και αεριοποίησης. Η Σουηδία είναι, επομένως, ένα από τα πέντε κορυφαία κράτη όσον αφορά την επιρροή της αγοράς στην ΕΕ27 και, ως εκ τούτου, πρόκειται να κερδίσει σημαντικά σε εθνικό επίπεδο από αυτόν τον τομέα. Η χρήση λιπασμάτων στη χώρα ανέρχεται σε 215 kt αζώτου και 17 kt φωσφόρου. Αποτελεί ευκαιρία για τη χώρα να υποκαταστήσει τα λιπάσματα, εν

μέρει, με χωνεμένο υπόλειμμα από δραστηριότητες βιοαερίου, με επακόλουθη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG). Όσον αφορά τις πηγές, οι συνεισφορές λαμβάνουν το δεύτερο μεγαλύτερο μέρος από τη μεταποίηση και τους τομείς της γεωργίας, της δασοκομίας και της αλιείας, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν συνολικά το 55% του μεριδίου. Το ποσοστό αυτό μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω της στρατηγικής διαχείρισης της κοπριάς, όπως στην αναερόβια χώνευση και τη μετέπειτα χρήση της ως εργαλείο διαχείρισης της γης με χωνεμένα υπολείμματα. Η Σουηδία καταβάλλει προσπάθειες για να αντικαταστήσει ενεργά περίπου το 85% των σημερινών εισαγωγών φυσικού αερίου αξιοποιώντας το σημαντικό δυναμικό που οφείλεται στη χρήση βιομεθανίου. Η χώρα χρησιμεύει ως παράδειγμα για το πώς το βιομεθάνιο ενσωματώνεται στις μεταφορές. Η ενσωμάτωση της παραγωγής βιομεθανίου με τη χρήση του βιομεθανίου στις βιομηχανικές εφαρμογές και την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και τις βιομηχανίες γεωργικών προϊόντων διατροφής αποτελούν σαφή παραδείγματα της ισχυρής δέσμευσης για τη δημιουργία μιας ιδιαίτερα βιώσιμης αλυσίδας εφοδιασμού και την αξιοποίηση του βιογενούς CO₂. Άλλες μελέτες έχουν διερευνήσει περαιτέρω τις δυνατότητες του βιοαερίου της Σουηδίας που βασίζεται στην αεριοποίηση στη μείωση του άνθρακα μέσω της παραγωγής βιοάνθρακα. (European Commission, 2021)

Ο ρόλος του τομέα του βιοαερίου είναι προφανές ότι εντάσσεται στο πλαίσιο των φινλανδικών πρωτοβουλιών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και το κλίμα, οι οποίες μπορούν να ενισχυθούν περαιτέρω εάν η χώρα αξιοποιήσει αποτελεσματικά τον τομέα του βιοαερίου για να αποφέρει σημαντικά εθνικά οφέλη και συνεισφορά στον εφοδιασμό της χώρας με φυσικό αέριο. Η παροχή αερίου ως παραγωγή βιοαερίου το 2021 έφτασε τα 0,2 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) στη Φινλανδία, αντιπροσωπεύοντας 9,1%. Αξίζει να σημειωθεί το υψηλό δυναμικό αυτού του βιοαερίου, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του (47%) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ειδικές μονάδες και συστήματα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΘ), ενώ μόνο το 53% χρησιμοποιείται για την τελική κατανάλωση ενέργειας, κυρίως στον βιομηχανικό τομέα (40%). (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση Βιοαερίου (EBA), το 2021, η Φινλανδία είχε παράγει 0,09 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) βιοαερίου. Η ποσότητα αυτή αντιπροσώπευε το 83% του συνόλου που είχε παραχθεί και σε αυτό συνέβαλαν 108 μονάδες βιοαερίου.

Διαβάστε περισσότερα Αυτό συνάδει με τη στρατηγική της Φινλανδίας για την ενέργεια και το κλίμα, καθώς το παραγόμενο βιομεθάνιο χρησιμοποιείται κυρίως ως καύσιμο μεταφορών, περίπου το 3% του συνολικού παραγόμενου βιοαερίου. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Το 2022, ο συνολικός αριθμός των σταθμών συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) στη Φινλανδία ήταν μικρός, με μόλις 41 σε σύγκριση με το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EE27). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του κλάδου, περίπου 0,7 δισ. κυβικά μέτρα φυσικού αερίου θα μπορούσαν δυνητικά να παραχθούν από τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης (AD) και αεριοποίησης το 2030. Η πρωτοβουλία αυτή, όταν υλοποιηθεί, θα μειώσει δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), ιδίως αυτές που παράγονται από τις βασικές πηγές βιομηχανίας και ενέργειας στη Φινλανδία. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Η χρήση αζωτούχων και φωσφορούχων λιπασμάτων στη Φινλανδία, που ενδεχομένως να αντικατασταθεί εν μέρει από χωνεμένα υπολείμματα που λαμβάνονται από την παραγωγή βιοαερίου, αποτελεί μια τεχνικά εφικτή ευκαιρία για την υψηλότερη ενσωμάτωση της παραγωγής βιομεθανίου στον αγροδιατροφικό τομέα. Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την παραγωγή και χρήση καυσίμων ενέργειας μπορεί να συντομεύσει τις αλυσίδες εφοδιασμού, να αυξήσει τη χρήση ανανεώσιμου CO₂ και βιομεθανίου στη βιομηχανία και να προωθήσει τη διεύθυνση των βαρέων οχημάτων όσον αφορά τις βιομηχανικές διαδικασίες. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Η Φινλανδία έχει τη δυνατότητα να υποκαταστήσει περίπου το 30% της τρέχουσας κατανάλωσης φυσικού αερίου (NG) με βιομεθάνιο. Άλλες διατάξεις στο πλαίσιο του σχεδίου σταδιακής κατάργησης του φυσικού αερίου προβλέπουν ότι η Φινλανδία είναι σε θέση να αντικαταστήσει το 100% του φυσικού αερίου με βιομεθάνιο έως το 2030. Αυτή η τροποποίηση δεν θα επιτρέψει μόνο στη χώρα αυτή να υιοθετήσει μια φιλική προς το περιβάλλον πρακτική, αλλά θα της επιτρέψει επίσης να ανακτήσει πολύτιμα θρεπτικά συστατικά από τα χωνεμένα υπολείμματα και να δημιουργήσει καινοτόμες αλυσίδες αξίας στο πλαίσιο μιας κυκλικής και βιώσιμης βιοοικονομίας. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Τα φινλανδικά αγροκτήματα διαθέτουν ανεξερεύνητη ικανότητα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (ΑΠΕ) λόγω των άφθονων πόρων βιομάζας και των μεγάλων εκτάσεων που είναι κατάλληλες για ενεργειακή καλλιέργεια. Στη μελέτη τους, οι Rikkonen κ.ά. (2019) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο Delphi για να προβλέψουν ότι μέχρι το 2030, το ξύλο, το βιοαέριο και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά θα αναδειχθούν ως οι πλέον προτιμώμενες και πιθανές

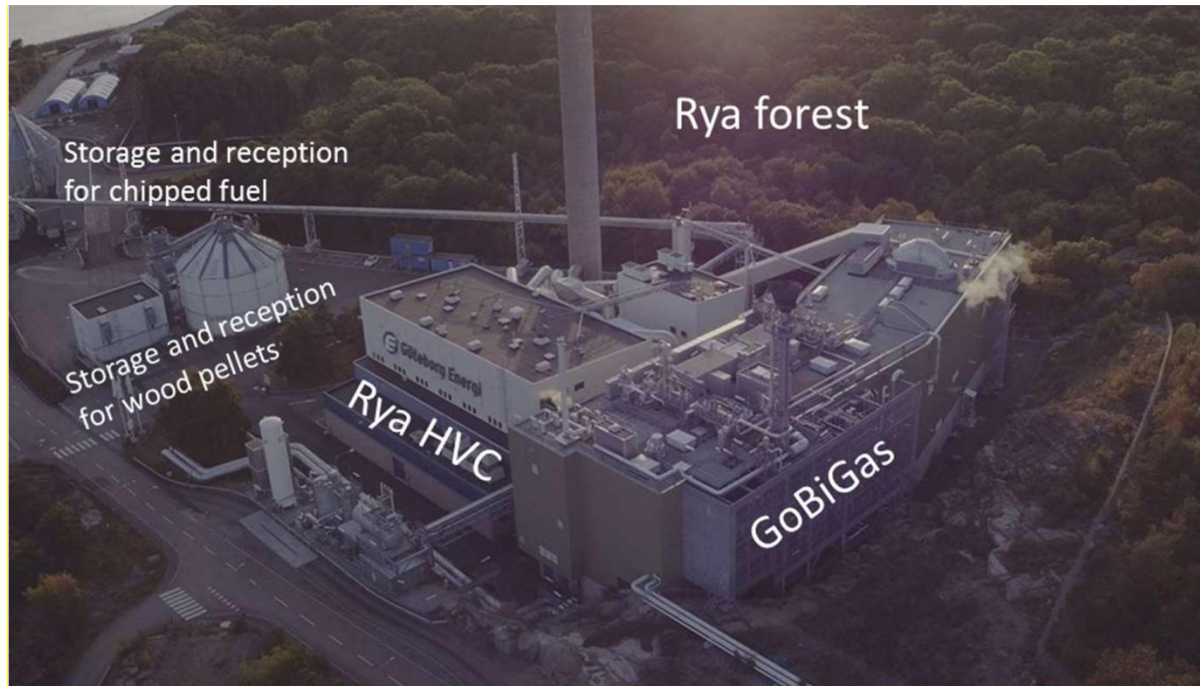
πηγές για την επέκταση των εργασιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε γεωργικά περιβάλλοντα. Το όραμα υπογραμμίζει ότι η γεωργία είναι μόνο ένα στοιχείο του μελλοντικού ενεργειακού τοπίου της Φινλανδίας, με έμφαση στη διασφάλιση της προσβασιμότητας των ενεργειακών υποδομών και στην παροχή κινήτρων για τους μικρούς παραγωγούς.

Αξιοσημείωτες ιστορίες επιτυχίας

1. GoBiGas

Το έργο GoBiGas, που βρίσκεται στο Γκέτεμποργκ, είναι ένα κλασικό παράδειγμα που εκφράζει την καινοτομία της Σουηδίας όσον αφορά τη χρήση των δασικών αποβλήτων. Το έργο κατάφερε να μετατρέψει βιομάζα σε βιομεθάνιο μέσω αεριοποίησης και συνέβαλε σημαντικά στον τομέα του βιοαερίου στη Σουηδία. (IEA, n.d) Η μονάδα GoBiGas στο Γκέτεμποργκ της Σουηδίας μπορεί να παράγει 20 MW βιομεθανίου και να το διοχετεύει στο δίκτυο φυσικού αερίου. Την κατασκευή της μονάδας ανέλαβε η Göteborg Energi AB, με την υποστήριξη της Σουηδικής Υπηρεσίας Ενέργειας. Το έργο ξεκίνησε το 2005. Το έργο GoBiGas μπόρεσε να αποδείξει ότι η ποιότητα του προϊόντος αερίου που παράγεται από έναν αεριοποιητή βιομάζας μπορεί να ρυθμιστεί με τη χρήση διαφόρων πρώτων υλών, όπως πέλλετ ξύλου, ροκανίδια ξύλου και ανακτημένο ξύλο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι δυνατόν να επιτευχθούν αποδόσεις βιομάζας προς βιομεθάνιο έως και 70%, λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου, μείον την ξηρή τέφρα. Επιπλέον, η τεχνική αυτή έχει τη δυνατότητα να παράγει βιομεθάνιο με συντελεστή μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που υπερβαίνει το 80%. Τέτοια υψηλή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μεγάλη ξήρανση της πρώτης ύλης και, ως εκ τούτου, με σταθεροποίηση της όλης διαδικασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ποιότητα του αερίου με ευρωπαϊκές απαιτήσεις θα μπορούσε να αξιοποιηθεί επωφελώς για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου, υποδεικνύοντας τη δυνατότητα παραγωγής βιομεθανίου σε μεγάλη κλίμακα και παροχής του μέσω έγχυσης στο δίκτυο φυσικού αερίου. Το έργο θεωρήθηκε ότι αποδεικνύει ότι η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας σε μεγάλο μέγεθος με τη βοήθεια της τεχνολογίας παρουσιάζει σημαντικές επιδόσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τις σημερινές χρήσεις των δασικών υπολειμμάτων ως πρώτη ύλη και τις σημερινές λειτουργικές διαδικασίες,

σύμφωνα με οικονομικά στοιχεία της GoBiGas, το κόστος παραγωγής εκτιμήθηκε για μια μονάδα 200 MW σε περίπου 600 SEK (53 EUR) ανά μεγαβατώρα (MWh) (Larsson et al. n.d.).



Εικόνα 4. 3: Το εργοστάσιο GoBiGas (πράσινο κτίριο) και ο περιβάλλον χώρος, συμπεριλαμβανομένου του προστατευόμενου δάσους Rya.

Πηγή:

https://www.goteborgenergi.se/Files/Webb20/Kategoriserad%20information/Forskningsprojekt/The%20GoBiGas%20Project%20-%20Demonstration%20of%20the%20Production%20of%20Biomethane%20from%20Biomass%20v%2020230507_6_0.pdf

2. KVV8

Η μονάδα συμπαραγωγής με καύση βιομάζας Fortum Värme που βρίσκεται στο λιμάνι της Στοκχόλμης, στη Σουηδία, είναι ένα τέλειο παράδειγμα φιλικής προς το περιβάλλον παραγωγής ενέργειας. Η μονάδα, KVV8 στο Värtaverket, αποτελεί μέρος των μεγαλύτερων μονάδων συμπαραγωγής με καύση βιομάζας στον κόσμο, επιφέροντας έτσι ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στα βιώσιμα αστικά ενεργειακά συστήματα. Το έργο δείχνει την ικανότητα της Σουηδίας να προωθεί την ανάπτυξη τεχνολογιών βιοενέργειας και είναι μοναδικό μεταξύ των μεγαλύτερων μονάδων συμπαραγωγής βιομάζας στον κόσμο. Εκτός από άλλες μορφές χρήσης βιομάζας, η εγκατάσταση λειτουργεί με δασικά υπολείμματα και είναι η μεγαλύτερη σε παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας για την περιοχή της Στοκχόλμης. (IEA, 2018)

Τα βασικά στοιχεία του έργου περιλαμβάνουν:

1. Η εγκατάσταση είναι σε θέση να παράγει 280 MW θερμότητας και 130 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Κάθε χρόνο, η εγκατάσταση παράγει 750 γιγαβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας και 1.700 γιγαβατώρες θερμότητας - αρκετές για να παρέχουν θέρμανση σε περίπου 200.000 διαμερίσματα.
2. Το έργο βρίσκεται σε συγχρονισμό με την κατεύθυνση που έχει ως στόχο η Στοκχόλμη να πραγματοποιήσει πλήρη εξάρτηση από ανανεώσιμες και ανακτημένες πηγές ενέργειας μέχρι το έτος 2030. Η εκτιμώμενη μείωση των εκπομπών CO₂, χάρη στην παροχή θερμότητας από τη Στοκχόλμη, ανέρχεται σε περίπου 126.000 τόνους CO₂ ετησίως. Η μείωση αυτή έχει ευρύτερο αντίκτυπο στη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ κατά 650.000 τόνους ετησίως.
3. Η κύρια πηγή καυσίμου για τη μονάδα είναι τα σκουπίδια και τα απόβλητα από τον δασικό τομέα, που μεταφέρονται στο Värtahamnen κυρίως μέσω πλοίων και τρένων. Η μονάδα είναι ένας τεράστιος χρήστης βιομάζας, καθώς χρειάζεται 12 000 m³ ημερησίως και 3 εκατομμύρια m³ ετησίως.

4. Η εγκατάσταση πληροί τις αυστηρότερες περιβαλλοντικές απαιτήσεις και δεσμεύεται να διασφαλίσει ότι όλα τα καύσιμα πληρούν τα κριτήρια του Συμβουλίου Δασικής Διαχείρισης (FSC) για την ελεγχόμενη ξυλεία. Σημαντικό μέρος των καυσίμων που θα χρησιμοποιεί η εταιρεία θα προέρχεται από δασικές εκμεταλλεύσεις που έχουν πιστοποίηση FSC.
5. Το ύψος της επένδυσης στο έργο φτάνει περίπου τα 500 εκατ. ευρώ, γεγονός που υποδηλώνει το τεράστιο μέγεθος του εγχειρήματος και τις τεχνολογίες που ενσωματώνονται. Βρίσκεται στη βιομηχανική περιοχή του λιμανιού και πρέπει να συμμορφώνεται με αυστηρούς δημοτικούς κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές ρύπων, τον θόρυβο, την ασφάλεια και τις μεταφορές. Επιδιώκει έναν συμβιβασμό μεταξύ της βιομηχανικής της δράσης και των κατοίκων της περιοχής (IEA, 2018).



Εικόνα 4. 4Värtaverket biofuelled CHP plant in Stockholm

Πηγή: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/8-LargeCHP-Värtaverket_SE_Final.pdf

4.3.2 Γερμανία

Η Γερμανία κατέχει ηγετική θέση μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών με την προηγμένη θέση της στον τομέα της βιοενέργειας και έχει επιδείξει θαυμάσια πρόοδο στη χρήση γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Πράγματι, η κατεύθυνση της βιοενέργειας στη Γερμανία έχει αλλάξει μέσα σε μερικές δεκαετίες, ιδίως μετά την ψήφιση του νόμου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (EEG) το 2000. Ο νόμος αυτός προκάλεσε, ως εκ τούτου, την αναζωπύρωση των δραστηριοτήτων βιοενέργειας, οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της εκμετάλλευσης των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων για την παραγωγή ενέργειας.

Σύμφωνα με τη Eurostat (2021), η Γερμανία παρήγαγε 8,35 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) βιοαερίου, τα οποία συνέβαλαν έτσι κατά 9,6% στον εφοδιασμό της χώρας με φυσικό αέριο. Βέβαια, η ανάλυση δεν κάνει διάκριση μεταξύ βιοαερίου και βιομεθανίου. Η συνολική χρήση εντός του τομέα του βιοαερίου ανήλθε στο 78%, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε σε ειδικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε σε μονάδες συμπαραγωγής. Η τελική κατανάλωση ενέργειας που καλύπτεται από τον τομέα του βιοαερίου εκτιμάται σε 15%. Κύριοι χρήστες αυτών ήταν ο γεωργικός και δασικός τομέας με 7%, οι εμπορικές και δημόσιες υπηρεσίες με 4% και οι κατοικίες με 3% (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Βιοαερίου (EBA) δήλωσε ότι φέτος παρήχθησαν συνολικά 7,9 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) βιομεθανίου. Από αυτό, το 85% δημιουργήθηκε από μονάδες βιοαερίου. Έτσι, το βιομεθάνιο χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμπληρωμένο από ασήμαντη χρήση στις μεταφορές, που δεν υπερβαίνει το 1%, δεδομένης της έλλειψης οχημάτων που λειτουργούν με συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG). Σύμφωνα με την NGVA Europe, το 2020 το 60% της βενζίνης που προμηθεύτηκε για τις μεταφορές στα 821 πρατήρια CNG της χώρας ήταν βιομεθάνιο (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021). Πιο σημαντικά, η χώρα κατάφερε να υποκαταστήσει εν μέρει τα λιπάσματα αζώτου και φωσφόρου με χωνεμένα υπολείμματα, εισάγοντας βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές προς την κατεύθυνση της βιωσιμότητας. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2021)

Η παραγωγικότητα και οι ιδιότητες του *Miscanthus × giganteus*, όπως έχει ήδη περιγραφεί, υποδεικνύουν μια πολύ παραγωγική καλλιέργεια ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιομάζας στη Γερμανία. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία γεωγραφικών πληροφοριών, (GIS) ήταν

δυνατόν να υπολογιστεί η έκταση που είναι κατάλληλη για την καλλιέργεια του *Miscanthus × giganteus* στη Γερμανία σε 4 εκατομμύρια εκτάρια. Πρόκειται για ένα μεγάλο δυναμικό για τη βιώσιμη παραγωγή βιομάζας (Schorling et al., 2015).

Η αναερόβια χώνευση είναι μία από τις ευρέως υιοθετημένες διεργασίες στη διαδικασία της βιολογικής γεωργίας. Ο συνολικός αριθμός των μονάδων βιοαερίου που καλύπτει η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει 144 μονάδες βιοαερίου που έχουν δημιουργηθεί σε βιολογικές εκμεταλλεύσεις σε όλη τη χώρα με τη χρήση της αναερόβιας χώνευσης. Οι μονάδες αυτές αθροίζουν σε μια συνολική συνδυασμένη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ 30,8 MW_{el}. Το 2013, αντιστοιχούσε σε 3.068 θέσεις εργασίας πλήρους και μερικής απασχόλησης, με βάση μια συνολική δυναμικότητα βιοαερίου 85 MW_{el}. Η δυναμικότητα αυτή αντιπροσωπεύει μόλις το 0,8% της συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος στον γερμανικό τομέα βιοαερίου, γεγονός που σηματοδοτεί την εξειδικευμένη αλλά αυξανόμενη σημασία της βιολογικής γεωργίας στον κλάδο του βιοαερίου (Blumenstein et al., 2015).

Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με καύση ορυκτών καυσίμων κυριαρχούν ιστορικά στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας στη Γερμανία, με τον άνθρακα να συνεισφέρει σε πάνω από 45% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2013. Αν και το φυσικό αέριο σημείωσε αύξηση στη συμβολή του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το επόμενο έτος, καλύπτοντας περίπου το 10% της ζήτησης, παραμένει σημαντική πηγή εκπομπών CO₂. Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση λόγω των σχετικών εκπομπών CO₂.

Ωστόσο, η βιομάζα παρουσιάζει μια βιώσιμη λύση για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκπομπών CO₂. Με την αντικατάσταση των εγκαταστάσεων που τροφοδοτούνται με ορυκτά καύσιμα με την παραγωγή τηλεθέρμανσης με βάση τη βιομάζα συνδυασμένης θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP), μπορούν να επιτευχθούν σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές CO₂. Συγκεκριμένα, η αντικατάσταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη με μονάδες βιομάζας μπορεί να οδηγήσει σε ουσιαστικές μειώσεις των εκπομπών CO₂, ακόμη και σε σχετικά χαμηλές ηλεκτρικές αποδόσεις. Οι μονάδες συμπαραγωγής βιομάζας διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως αν ληφθεί υπόψη η κυρίαρχη εξάρτηση από τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, ιδιαίτερα στη Γερμανία. Τα πλεονεκτήματα της υποκατάστασης της βιομάζας εκτείνονται πέρα από τις μειώσεις των εκπομπών CO₂ για να συμπεριλάβουν τον μετριασμό άλλων

δυσμενών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας από άνθρακα, όπως η οξίνιση των λιμνών και των ωκεανών και οι εκπομπές υδραργύρου. Επιπλέον, η αντικατάσταση του φυσικού αερίου με βιομάζα προσφέρει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης της εξάρτησης από τις εισαγωγές αερίου. Ωστόσο, η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας απαιτεί υψηλή απόδοση, ιδιαίτερα σε αποκεντρωμένες μονάδες συμπαραγωγής, οι οποίες προσφέρουν ισορροπία μεταξύ απόδοσης και λογικών αποστάσεων μεταφοράς καυσίμου. Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τεχνολογίες ΣΗΘ μικρής κλίμακας που τροφοδοτούνται με βιομάζα, ικανές να χρησιμοποιούν τοπικά καύσιμα ξύλου αξιοποιώντας τη σημαντική διαθέσιμη βάση πόρων. Τα πλεονεκτήματα των αποκεντρωμένων συστημάτων συμπαραγωγής ειδικά εκείνων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κάτω των 2 MW.

Η θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας σε μονάδες συμπαραγωγής, ιδιαίτερα πάνω από 2 MW ηλεκτρικής ισχύος, συνήθως χρησιμοποιεί ατμοστρόβιλους. Ενώ οι τεχνολογίες συμπαραγωγής με βάση τη βιομάζα κάτω από αυτό το εύρος ισχύος είναι λιγότερο ανεπτυγμένες, παρουσιάζουν πολλά υποσχόμενα χαρακτηριστικά. Οι κινητήρες Stirling, τα συστήματα αεριοποίησης, οι οργανικές μονάδες Rankine και οι ατμοστρόβιλοι μικρής κλίμακας αντιπίεσης αποτελούν τις κύριες τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας που βασίζονται στη θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας. Οι κινητήρες Stirling και οι μονάδες αεριοποίησης, ειδικότερα, παρουσιάζουν υψηλές ηλεκτρικές αποδόσεις, αυξάνοντας το ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίησή τους. Η αεριοποίηση, παρά την υπόσχεσή της, αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με την τυποποίηση, εμποδίζοντας την ευρεία υιοθέτησή της. Συμπερασματικά, οι μονάδες αεριοποίησης αντιπροσωπεύουν τα πιο ανεπτυγμένα και αποδοτικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη βιομάζα, ιδιαίτερα σε εφαρμογές μικρής κλίμακας κάτω των 500 kWel. Ενώ οι προκλήσεις εξακολουθούν να υφίστανται, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης και οι αποτελεσματικοί μηχανισμοί επιδοτήσεων είναι ζωτικής σημασίας για την απελευθέρωση του πλήρους δυναμικού του κλάδου του βιοαερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θερμότητας και έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο.

Η πεπερασμένη φύση των ορυκτών καυσίμων υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη να εξερευνηθούν εναλλακτικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα βιοκαύσιμα προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αντικατάσταση της συμβατικής βενζίνης και ντίζελ στα σημερινά πρότυπα οδήγησης μέσα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Τα βιοκαύσιμα

που περιλαμβάνουν κυρίως βιοαιθανόλη και βιοντίζελ, προέρχονται από βιομάζα και αποτελούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα. Το βιοντίζελ ειδικότερα, ξεχωρίζει ως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο βιογενές καύσιμο στη Γερμανία. Είναι ένας μεθυλεστέρας που προέρχεται από φυτικό έλαιο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του καυσίμου ντίζελ σε κινητήρες ντίζελ.

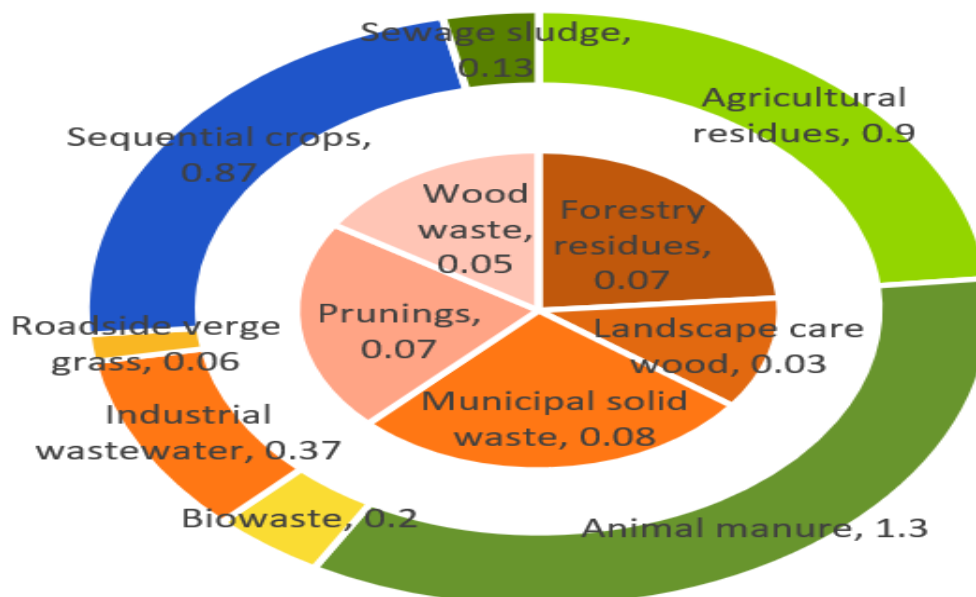
Η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνει μια χημική αντίδραση μεταξύ φυτικού ελαίου ή ζωικού λίπους και αλκοόλης, με αποτέλεσμα ένα καύσιμο που μπορεί να ενσωματωθεί απρόσκοπτα στην υπάρχουσα υποδομή που έχει σχεδιαστεί για καύσιμα με βάση τα ορυκτέλαια. Συγκεκριμένα το βιοντίζελ διαθέτει σχεδόν ουδετερότητα άνθρακα στη χρήση του και μπορεί να συντεθεί τόσο από βρώσιμα όσο και από μη βρώσιμα έλαια, προσφέροντας έτσι ευελιξία στην εφαρμογή του. Επιπλέον, οι πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ είναι μη τοξικές, βιοαποδομήσιμες και ανανεώσιμες, ενισχύοντας περαιτέρω την απήχησή της ως βιώσιμης ενεργειακής επιλογής. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα που σχετίζονται με την παραγωγή βιοντίζελ, συμπεριλαμβανομένης της σχετικά υψηλής ενεργειακής ζήτησης της παραγωγικής διαδικασίας και της παραγωγής γλυκερίνης ως υποπροϊόντος στα βιοδιυλιστήρια. Επιπλέον οι ανησυχίες σχετικά με τον πιθανό αντίκτυπο στις τιμές των τροφίμων, σε συνδυασμό με το σχετικά υψηλό κόστος παραγωγής και τις εκπομπές άνθρακα, έχουν οδηγήσει σε μειωμένη υποστήριξη για την ανάπτυξη του ευρωπαϊκού τομέα βιοκαυσίμων. Παράγοντες όπως οι υψηλές τιμές φυτικών ελαίων, οι αυξημένοι φόροι και η ανταγωνιστική τιμολόγηση των ορυκτών καυσίμων περιορίζουν περαιτέρω την ευρεία υιοθέτηση των βιοκαυσίμων. Παρά αυτές τις προκλήσεις, τα υγρά βιοκαύσιμα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλειας, της μη τοξικότητας και της βιοδιασπασιμότητάς τους, τοποθετώντας τα ως σημαντικές εναλλακτικές λύσεις στα ορυκτά καύσιμα. Ο γερμανικός τομέας βιοκαυσίμων αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα στην ευρωπαϊκή αγορά βιοενέργειας, ιδίως όσον αφορά την ενσωμάτωση των βιορευστών στον ενεργειακό τομέα. Οι βασικές προτεραιότητες της πολιτικής για τα βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς και τη θέσπιση κριτηρίων πιστοποίησης για βιώσιμη παραγωγή βιοκαυσίμων. Τα υγρά βιοκαύσιμα αναμένεται να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα στον τομέα των μεταφορών, στον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην τόνωση των τοπικών οικονομιών. Ενώ προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τομείς που εξαρτώνται από υγρά καύσιμα, όπως η

αεροπορία, το βιομεθάνιο και το υδρογόνο μπορεί να προσφέρουν μεγαλύτερα πλεονεκτήματα για τεχνολογίες όπως οι ηλεκτρικοί κινητήρες και οι δημόσιες μεταφορές, λόγω κριτηρίων βιωσιμότητας.

Παρά τις προόδους αυτές, προκλήσεις όπως το υψηλό κόστος παραγωγής και οι νομοθετικοί περιορισμοί στο πλαίσιο των πολιτικών για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εμποδίσει την πλήρη χρήση των δυνατοτήτων παραγωγής βιοντίζελ στη Γερμανία. Παρά την κυριαρχία του βιοντίζελ στον γερμανικό τομέα βιοκαυσίμων, η ανάμειξη βιοντίζελ με συμβατικό καύσιμο ντίζελ έχει αναδειχθεί ως σημαντική πρακτική στην αλυσίδα εφοδιασμού βιοκαυσίμων. Αυτή η στρατηγική συνδυασμού, αν και πολλά υποσχόμενη για τη μείωση της εξάρτησης του τομέα των μεταφορών από τα ορυκτά καύσιμα, αντιμετωπίζει προκλήσεις από την ανταγωνιστική τιμολόγηση των καυσίμων με βάση το πετρέλαιο. Ωστόσο, οι αβεβαιότητες γύρω από τα αποθέματα πετρελαίου και τις μελλοντικές τιμές ορυκτελαίων υπογραμμίζουν τη σημασία του βιοντίζελ ως κρίσιμης εναλλακτικής λύσης για τον ευρωπαϊκό τομέα μεταφορών τα επόμενα χρόνια.

4.3.3. Ισπανία

Μια άλλη χώρα που έρχεται να διαδραματίσει σημαντική θέση στην αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εντός της Ευρώπης είναι η Ισπανία, λόγω της ισχυρής δέσμευσής της στη βιοενέργεια, ιδίως στη χρήση γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Η ποσότητα των οργανικών αποβλήτων, σε συνδυασμό με τα διάφορα γεωγραφικά τοπία και τα ποικίλα κλίματα της χώρας, υποστηρίζει τις ενεργειακές μεταβάσεις και την κυκλική οικονομία στην Ισπανία. Η Ισπανία έχει επιδείξει τεράστια επέκταση στον τομέα της βιοενέργειας, όπου ο αριθμός των πρωτοβουλιών που προσπαθούν να αξιοποιήσουν τις δραστηριότητες της αγροδιατροφικής χώρας και τις σημαντικές δασικές περιοχές της έχουν επεκταθεί σημαντικά. Η Ισπανία διεξάγει ευρεία έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της βιοενέργειας, τονίζοντας έτσι τη δέσμευσή της προς την προώθηση της παραγωγής καθαρής ενέργειας. Τα ενεργειακά ισοζύγια (Eurostat) καταγράφουν παραγωγή 0,36 δισ. κ.μ. βιοαερίου. Τα 0,36 δισ. κ.μ. βιοαερίου χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (68%). Η βιομηχανία εκτιμά το δυναμικό της Ισπανίας σε 4,1 δισ. κ.μ. (3,8 δισ. κ.μ. από ΑΔ και 0,3 από αεριοποίηση) έως το 2030 (Σχήμα 4.5).



Εικόνα 4. 5: Biogas/biomethane potential in bcm, by feedstock for Spain (inner pie gasification and outer circle AD) (source: Guidehouse: Gas for Climate Report, 2022)

Πηγή: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-09/Biomethane_fiche_ES_web.pdf

Η Ισπανία συγκαταλέγεται μεταξύ των 5 πρώτων χωρών της ΕΕ27 όσον αφορά το δυναμικό βιώσιμου βιομεθανίου. Η Ισπανία καταναλώνει 1.059 kt και 212 kt λιπασμάτων αζώτου και φωσφόρου, τα οποία θα μπορούσαν να αντικατασταθούν εν μέρει από χωνεμένο υπόλειμμα. Η μεταποίηση και η γεωργία, η δασοκομία και η αλιεία είναι οι 2 κύριες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά οικονομική δραστηριότητα με 47% (126 MtCO₂eq) στην Ισπανία, οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν τόσο με τη διαχείριση της κοπριάς σε AD, την εφαρμογή του χωνεμένου υπολείμματος στο έδαφος (διαχείριση γης) όσο και με τη χρήση βιομεθανίου και βιογενούς CO₂ στη βιομηχανία (τομέας ETS). Η Ισπανία έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει περίπου το 13% της σημερινής κατανάλωσης φυσικού αερίου με βιομεθάνιο. Η τρέχουσα παραγωγή βιοαερίου/βιομεθανίου μπορεί να αυξηθεί κατά 10 φορές για να επιτευχθεί το βιώσιμο δυναμικό βιομεθανίου. (European Commission, 2021)

Η ευρωπαϊκή επιτροπή (ΕΚ) έχει αναγνωρίσει την ανάγκη μετάβασης του ευρωπαϊκού παραγωγικού μοντέλου προς μια πιο βιώσιμη οικονομία. Το 2012, η ΕΚ εισήγαγε μια «Στρατηγική για μια Βιοοικονομία», δίνοντας έμφαση στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που βασίζονται στη βιο, ενισχύοντας ανταγωνιστικούς τομείς και ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ των δημόσιων φορέων για την προώθηση πολιτικών φιλικών προς τη βιοοικονομία. Σε ευθυγράμμιση με αυτό το όραμα, η ισπανική κυβέρνηση, μέσω του PER 2011e2020, έχει περιγράψει στρατηγικούς στόχους για την προώθηση και τη διασφάλιση της παραγωγής βιοενέργειας με χρήση στερεών και υγρών βιοκαυσίμων καθώς και βιοαερίου. Μέχρι το 2014, η Ισπανία παράγαγε 17 εκατομμύρια τόνους πρωτογενούς ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με την ηλεκτρική ενέργεια να αντιπροσωπεύει το 69%, τη θερμική παραγωγή το 25% και τα βιοκαύσιμα περίπου το 6%. Οι νομοθετικές εντολές περιλαμβάνουν τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, τη διασφάλιση συνεισφοράς 20% από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τον έλεγχο της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας έως το 2020. Ο τομέας της βιοενέργειας κατέχει σημαντική πολιτική και οικονομική σημασία στην Ισπανία συνεισφέροντας περίπου το 6,5% στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) και απασχολώντας περίπου το 9% του ενεργού πληθυσμού. Επιπλέον, οι εξαγωγές που σχετίζονται με τη βιοοικονομία αποτελούσαν πάνω από το 17% των συνολικών εξαγωγών της Ισπανίας το 2014.

Παρά τις συνεισφορές αυτές, η τρέχουσα έμφαση στη βιοενέργεια στην Ισπανία φαίνεται δευτερεύουσα σε σύγκριση με τομείς όπως τα αγροδιατροφικά υπογραμμίζοντας μια πιθανή

διαφορά στη στρατηγική ιεράρχηση. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, υπάρχει μια αυξανόμενη έκκληση για ανάπτυξη μιας ισπανικής στρατηγικής βιοοικονομίας ευθυγραμμισμένη με το πλαίσιο της ΕΕ. Ωστόσο, ο σημερινός ρόλος της βιοενέργειας στην Ισπανία δεν συνάδει με τη στρατηγική της σημασία ως εκ τούτου υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η μετατροπή της βιομάζας στον ενεργειακό τομέα μέσω βιοδιυλιστηρίων, διασφαλίζοντας τον πρωταρχικό της ρόλο στη διαμόρφωση των δημόσιων πολιτικών που σχετίζονται με την οικονομία της βιομάζας. Το 2016, η EC πρότεινε την αναθεώρηση της Οδηγίας 2009/28/EK για την επιβολή τουλάχιστον 27% χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως το 2030. Αυτή η αναθεώρηση στοχεύει στη διασφάλιση της βιωσιμότητας σε στερεά αέρια και υγρά καύσιμα, προσαρμοσμένη στους διαθέσιμους πόρους και τις αγορές ενέργειας. Η υιοθέτηση ενός μοντέλου κυκλικής οικονομίας, το οποίο δίνει προτεραιότητα στη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση των απορριμμάτων, είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και της χρήσης των πόρων, ιδιαίτερα στην παραγωγή ενέργειας με βάση τη βιομάζα. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις για την επίτευξη σημαντικής υποκατάστασης καυσίμου λόγω των αποδόσεων βιομάζας και των τεχνολογικών περιορισμών. Στην Ισπανία, οι θερμικές εφαρμογές της βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης και της ψύξης, έχουν λάβει λιγότερη προσοχή σε σύγκριση με τα καύσιμα μεταφοράς και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά την ταχεία ανάπτυξη στην αγορά στερεάς βιομάζας, η έρευνα για τα αγροσφαιρίδια και τα μέτρα μείωσης του κόστους παραμένει σε εξέλιξη. Η κατανάλωση πέλλετ κυρίως στη θέρμανση κατοικιών αυξάνεται, αν και σημαντικό μέρος εξάγεται σε γειτονικές χώρες. Οι προσπάθειες τυποποίησης και οι πρωτοβουλίες πιστοποίησης στοχεύουν στη διασφάλιση της ποιότητας των καυσίμων και στη διευκόλυνση της ανάπτυξης της αγοράς. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στις θερμικές μηχανές οδήγησαν σε πιο αποδοτικούς λέβητες και σόμπες μειώνοντας τις εκπομπές και ενισχύοντας την αυτοματοποίηση.

Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομάζα συμβάλλει σημαντικά, αν και οι κανονιστικές πολυπλοκότητες και οι οικονομικές προκλήσεις έχουν εμποδίσει το πλήρες δυναμικό της. Οι νομοθετικές μεταρρυθμίσεις έχουν ως στόχο την αντιμετώπιση των ελλειμμάτων των τιμολογίων και τη σταθεροποίηση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά απαιτούνται περαιτέρω μέτρα για την πλήρη αξιοποίηση του ρόλου της βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Συνολικά, η βιομάζα υπόσχεται ως βιώσιμη πηγή ενέργειας στην Ισπανία με πιθανά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Ωστόσο, απαιτούνται συντονισμένες προσπάθειες για να ξεπεραστούν τα υπάρχοντα εμπόδια και να μεγιστοποιηθεί η συμβολή της στην ενεργειακή μετάβαση και την οικονομική ανάπτυξη της Ισπανίας.

Αξιοσημείωτες ιστορίες επιτυχίας

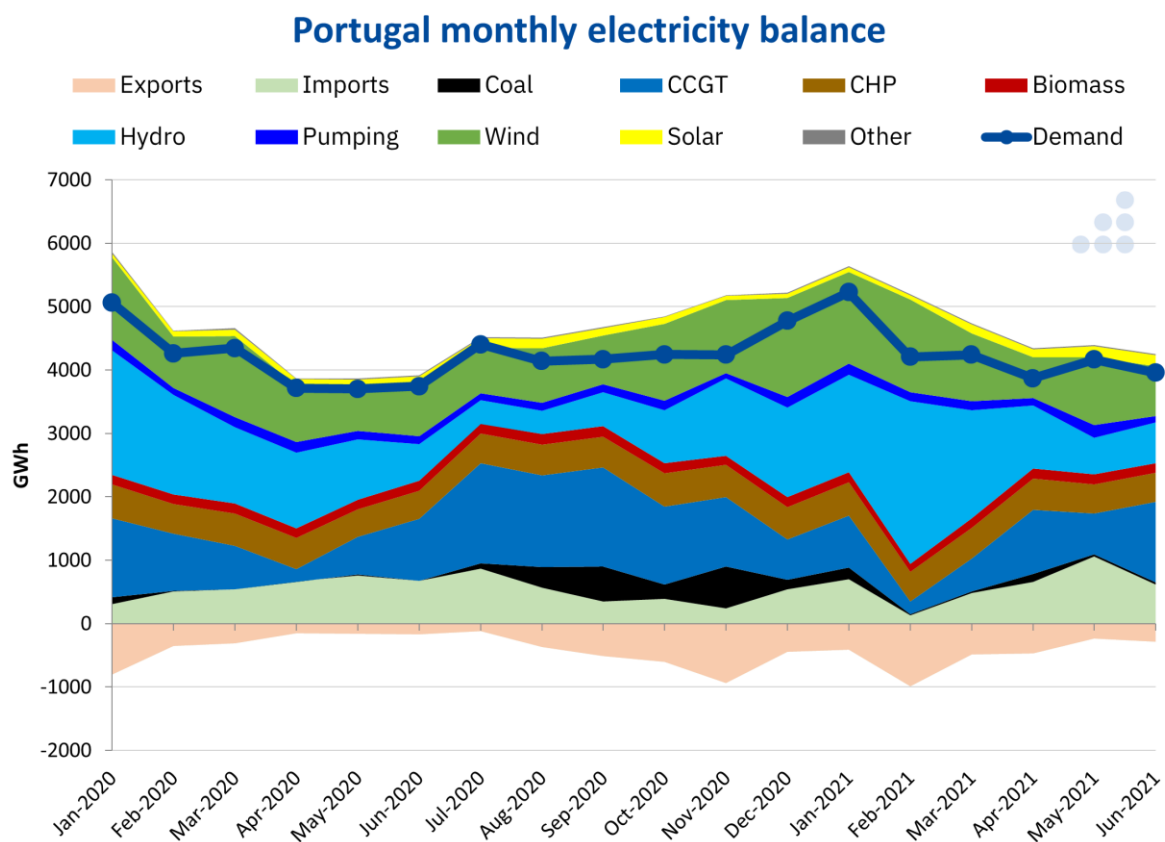
1. Naturgy

Η Naturgy, μαζί με τις εταιρείες Compost Segrià, Sitra και Servei de Gestió Ramadera, εγκαινίασε την πρώτη μονάδα ανανεώσιμου αερίου στην Torrefarrera (Lleida), μια από τις κορυφαίες περιοχές της Ισπανίας όσον αφορά την παραγωγή γεωργικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων. Αναφέρεται ότι η συνολική επένδυση στη μονάδα ανέρχεται σε 18 εκατομμύρια ευρώ. Η μονάδα αυτή, η οποία προβλέπεται να λειτουργήσει από το 2025, θα επεξεργάζεται 140.000 τόνους/έτος αγροτοβιομηχανικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων της περιοχής με δυνατότητα παραγωγής 60 GWh ανανεώσιμου αερίου ετησίως. Πρόκειται για ποσότητα που αντιστοιχεί στην ετήσια κατανάλωση 16.000 νοικοκυριών και έτσι θα εξοικονομήσει περίπου 15.000 τόνους εκπομπών CO₂, που εκλύονται στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο, που ισοδυναμεί με τη φύτευση 25.000 δέντρων (Naturgy, 2023). Το έργο αυτό αποτελεί παράδειγμα ορθολογικής χρήσης των γεωργικών και κτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή περιβαλλοντικά ασφαλούς πετρελαίου στην περιοχή (Bioenergy news, 2022).

Πιο συγκεκριμένα, από την άποψη της νομοθεσίας, ο νόμος 7/2021 για την κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντική συμβολή στο τοπίο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Ισπανίας, στο βαθμό που ενσωματώνει στη νομοθεσία τους στόχους που καθορίζονται στο Εθνικό Ολοκληρωμένο Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος της Ισπανίας (PNIEC). Στο πλαίσιο αυτού του στόχου, η Ισπανία αναμένεται να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, εισάγοντας το 42% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2030 (Fieldfisher, 2021). Το βασιλικό διάταγμα-νόμος 6/2022 θα συμβάλει επίσης στη βελτίωση της διαχείρισης των εγκαταστάσεων αιολικών και φωτοβολταϊκών (Φ/Β) κατά τη διαδικασία αδειοδότησής τους, υποστηρίζοντας με αυτόν τον τρόπο τους στόχους που τέθηκαν με το νόμο 7/2021.

4.3.5 Πορτογαλία

Η Πορτογαλία έχει καταβάλει τεράστιες προσπάθειες για την κινητοποίηση των γεωργικών και δασικών της πόρων για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Το παρόν υποκεφάλαιο ξεδιπλώνει την πορτογαλική εμπειρία στην παραγωγή ενέργειας από βιομάζα και περιλαμβάνει επιτυχημένα έργα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα καθώς και το κανονιστικό πλαίσιο που επιτρέπει τα έργα αυτά.



Εικόνα 4. 6: Portugal monthly electricity balance (2021)

Πηγή: <https://aleasoft.com/renewable-energies-leded-electricity-production-portugal/>

Η Πορτογαλία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εισαγωγές ενέργειας και ως εκ τούτου, η ύπαρξη δασικών εκτάσεων συνεπάγεται ότι η βιομάζα είναι μια καλή επιλογή για ανανεώσιμη ενέργεια. Οι σημερινοί πόροι βιομάζας στην Πορτογαλία ανέρχονται σε μια συλλογική δυναμικότητα 42.489,7 γιγαβατώρες ετησίως. (Ferreira et al., 2017).

Η πορτογαλική ενεργειακή αγορά βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα εισαγόμενα καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, με την εγχώρια παραγωγή ενέργειας να προέρχεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική και η αιολική ενέργεια, που αποτελεί περίπου το 88% της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Το 2005, η συνολική ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας της Πορτογαλίας έφτασε τις 104 TWh, σημειώνοντας αύξηση 6,8% σε σύγκριση με το 2000. Οι απαιτήσεις άνθρακα και πετρελαίου παρέμειναν σχετικά σταθερές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας, με την αύξηση της ζήτησης ενέργειας να καλύπτεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Παρά το γεγονός ότι ήταν το τέταρτο μεγαλύτερο κράτος μέλος όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές το 2005, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσώπευαν μόνο το 12,8% της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας.

Σύμφωνα με το EuroObserv'ER, οι βιολογικοί πόροι συνέβαλαν σε παραγωγή ενέργειας 9750 GWh το 2005, με τη δασική βιομάζα να αντιπροσωπεύει 9360 GWh, τα αστικά στερεά απόβλητα (MSW) για 355 GWh και το βιοαέριο για 35 GWh. Επιπλέον, η παραγωγή βιοκαυσίμων, συμπεριλαμβανομένων 1000 τόνων βιοντίζελ, ανήλθε σε 11,14 GWh σε όρους ενέργειας, ανεβάζοντας τη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από βιοενέργεια στην Πορτογαλία σε 9760 GWh το 2005.

Η βιομάζα περιλαμβάνει μη απολιθωμένα και βιοαποδομήσιμα οργανικά υλικά που προέρχονται από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων, προϊόντων, υποπροϊόντων υπολειμμάτων και αποβλήτων από γεωργικές, δασικές βιομηχανικές και δημοτικές πηγές. Όταν χρησιμοποιείται για ενεργειακούς σκοπούς, η βιομάζα αναφέρεται ως καύσιμο βιομάζας. Σε όλη την ιστορία, η βιομάζα έχει χρησιμεύσει ως θεμελιώδης πηγή ενέργειας για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας, της θέρμανσης, των καυσίμων μεταφοράς και των βιομηχανικών διεργασιών. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει εμφανιστεί αυξημένο ενδιαφέρον για τη βιομάζα ως πρωτογενή πηγή ενέργειας, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στις διαδικασίες μετατροπής, των εξελίξεων του γεωργικού τομέα και των αυξανόμενων ανησυχιών για την κλιματική αλλαγή. Η δυνατότητα της βιομάζας για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την παροχή ασφαλούς και εγχώριου ενεργειακού εφοδιασμού, τη δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης και την προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας έχει τροφοδοτήσει περαιτέρω αυτό το ενδιαφέρον. Επιπλέον, το ποικίλο φάσμα των πόρων βιομάζας που διατίθενται για την παραγωγή ενέργειας υπογραμμίζει τη σημασία της

αξιολόγησης του δυναμικού βιομάζας με βάση την προέλευση των πόρων, όπως αναλύεται στις επόμενες ενότητες.

Εκτός από τη χρήση υπολειμμάτων και αποβλήτων, η βιομάζα μπορεί να καλλιεργηθεί σε ειδικές καλλιέργειες ειδικά για σκοπούς παραγωγής ενέργειας. Η έκθεση MADRP, εξετάζει την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών στην Πορτογαλία, αξιολογώντας παράγοντες όπως η εθνική ικανότητα πρώτης ύλης, η ανταγωνιστικότητα και η βιωσιμότητα της παραγωγής. Η αξιολόγηση θεωρεί μόνο τις καλλιέργειες κατάλληλες για καλλιέργεια στην Πορτογαλία, λαμβάνοντας υπόψη περιοχές με ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες και το οικονομικό δυναμικό για μετατροπή των βιοκαυσίμων.

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης, οι πιθανές καλλιέργειες περιλαμβάνουν καλαμπόκι, γλυκό σόργο, διάφορα δημητριακά (όπως σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι και τριτικάλε) ζαχαρότευτλα και πατάτα. Για την παραγωγή βιοντίζελ λαμβάνονται υπόψη καλλιέργειες όπως η σόγια, η ελαιοκράμβη, ο ηλίανθος και ο φοίνικας. Ωστόσο, στην Πορτογαλία, μόνο ο ηλίανθος, τα ζαχαρότευτλα και η σόγια είναι βιώσιμες επιλογές λόγω της περιορισμένης καλλιεργούμενης έκτασης η οποία εμποδίζει την εκτίμηση του δυναμικού παραγωγής πρώτης ύλης.

Η πΠορτογαλία διαθέτει περίπου 380.000 εκτάρια δυνητικά χρησιμοποιήσιμης γης για καλλιέργειες όπως σιτάρι, καλαμπόκι, κτηνοτροφικά φυτά αραβοσίτου, κτηνοτροφικές καλλιέργειες, βιομηχανικές ντομάτες, ζαχαρότευτλα και πατάτες, επιπλέον της καλλιεργούμενης έκτασης περίπου 50.000 εκταρίων για καλλιέργεια ηλίανθου. Ο ηλίανθος εξετάστηκε ειδικά λόγω της εμπειρίας της Πορτογαλίας με την καλλιέργειά του. Ενώ υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί γεωργική γη που βρίσκεται επί του παρόντος σε καθεστώς αγρανάπαυσης για την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών, η απουσία σαφούς ευρωπαϊκής στρατηγικής για το θέμα αυτό έχει οδηγήσει σε συνεχείς συζητήσεις σχετικά με την κατανομή των επιφανειών γης για παραγωγή βιοενέργειας. Ωστόσο, η καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών κρίνεται απαραίτητη για την επίτευξη των φιλόδοξων στόχων βιοενέργειας της Πορτογαλίας.

Οι τεχνολογίες μετατροπής για τη βιομάζα ποικίλλουν ανάλογα με παράγοντες όπως η επιθυμητή τελική μορφή ενέργειας, τα περιβαλλοντικά πρότυπα, η διαθεσιμότητα βιομάζας, οι ειδικές εκτιμήσεις για το έργο και οι κυβερνητικές πολιτικές. Γενικά, οι διαδικασίες μετατροπής βιομάζας κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες τεχνολογίες. Οι διαδικασίες θερμοχημικής αποσύνθεσης, κατάλληλες για ποώδη υλικά χαμηλής υγρασίας και απόβλητα ξυλουργικής βιομηχανίας, περιλαμβάνουν την καύση, την πυρόλυση την αεριοποίηση και την

υγροποίηση. Οι διαδικασίες βιοχημικής μετατροπής, κατάλληλες για ποώδη φυτά υψηλής υγρασίας, θαλάσσιες καλλιέργειες και κοπριά, περιλαμβάνουν την πέψη (βιοαέριο) και τη ζύμωση (αιθανόλη). Αυτές οι τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας προσφέρουν ποικίλες επιλογές για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων, διευκολύνοντας την επίτευξη των στόχων που έθεσαν τα ευρωπαϊκά έθνη για τη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρακάτω, συζητάμε μερικές από τις τελευταίες εξελίξεις στις τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας.

Η διαδικασία της πυρόλυσης περιλαμβάνει τη μετατροπή της βιομάζας σε υγρά, αέρια και στερεά κλάσματα σε θερμοκρασίες περίπου 500°C απουσία οξυγόνου ή σε μερική καύση με περιορισμένη παροχή οξυγόνου. Αυτή η ευέλικτη διαδικασία μπορεί να προσαρμοστεί για την παραγωγή άνθρακα, πυρολυτικού ελαίου, αερίου ή μεθανόλης με αξιοσημείωτη απόδοση καυσίμου προς τροφοδοσία 95,5%. Ειδικότερα, η τεχνική γρήγορης πυρόλυσης, γνωστή και ως πυρόλυση φλας, επιτρέπει την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων υγρού καυσίμου υποβάλλοντας τη λεπτώς διαιρεμένη βιομάζα σε υψηλές θερμοκρασίες για σύντομο χρονικό διάστημα, συνήθως λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, ακολουθούμενη από ταχεία ψύξη. Τα βασικά χαρακτηριστικά της γρήγορης πυρόλυσης περιλαμβάνουν πολύ υψηλούς ρυθμούς θέρμανσης και μεταφοράς θερμότητας που απαιτούν λεπτή άλεση τροφοδοσίας βιομάζας, ελεγχόμενες θερμοκρασίες αντίδρασης πυρόλυσης γύρω στους 500°C και ταχεία ψύξη των ατμών πυρόλυσης για την παραγωγή βιοελαίου ως κύριο προϊόν, που συχνά επιτυγχάνει αποδόσεις έως και 80 wt% σε ξηρή τροφή. Παρά τις σημαντικές προόδους, η πυρόλυση παραμένει λιγότερο ανεπτυγμένη σε σύγκριση με την αεριοποίηση, με μερικά μόνο επιτυχημένα πιλοτικά προγράμματα να έχουν εφαρμοστεί μέχρι στιγμής. Επί του παρόντος, η πυρόλυση χρησιμοποιείται κυρίως ως στάδιο προεπεξεργασίας για τη μεταφορά βιοελαίου σε μεγάλες αποστάσεις που προορίζεται για περαιτέρω μετατροπή, όπως η αποδοτική παραγωγή ενέργειας ή η αεριοποίηση πετρελαίου για την παραγωγή αερίου σύνθεσης.

Στην Πορτογαλία, η εφαρμογή της τεχνολογίας πυρόλυσης αποτελεί παράδειγμα από δύο πιλοτικά σχήματα. Ένα πιλοτικό πρόγραμμα, με την υποστήριξη της Παγκόσμιας Τράπεζας, εφαρμόστηκε κοντά στη Λισαβόνα σε μια βιομηχανία χαρτιού που χρησιμοποιεί πηγές βιομάζας, όπως ροκανίδια, φλοιούς ρυζιού και καλαμποκιού και φλοιό ζαχαροκάλαμου για την παραγωγή 5 τόνων/ώρα ατμού και 3 τόνων/έτος ξυλάνθρακα. Ένα άλλο παράδειγμα, που υποστηρίζεται από την ΕΚ, απέδιδε 1,4 τόνους άνθρακα/έτος και περιλάμβανε καύση αερίου για τη μετατροπή 14.000 τόνων/έτος ασβεστούχου υλικού σε 7.000 τόνους/έτος καυστικού

ασβέστη. Η καύση, μια άλλη ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία μετατροπής βιομάζας, συνεπάγεται τη μετατροπή της χημικής ενέργειας που αποθηκεύεται στη βιομάζα σε θερμότητα, μηχανική ισχύ ή ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας διάφορους εξοπλισμούς διεργασίας όπως σόμπες, φούρνους, λέβητες και τουρμπίνες. Τυπικά, η καύση βιομάζας παράγει θερμά αέρια σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 800-1000°C κατάλληλα για καύση διαφόρων τύπων βιομάζας με περιεκτικότητα σε υγρασία κάτω του 50%. Οι εφαρμογές της καύσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μικρής κλίμακας και μεγάλης κλίμακας με ποικίλες αποδόσεις και απώλειες μεταφοράς θερμότητας ανάλογα με την κλίμακα και την εφαρμογή.

Στην πΠορτογαλία, η καύση βρίσκει παραδοσιακές εφαρμογές στην οικιακή θέρμανση, κυρίως μέσω της χρήσης ξύλου στα τζάκια και των μικρών κλιβάνων στα νοικοκυριά. Ενώ αυτές οι παραδοσιακές μέθοδοι παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση οι εξελίξεις στην τεχνολογία θέρμανσης οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων με καταλυτικό καθαρισμό αερίου επιτρέποντας την τυποποιημένη χρήση καυσίμου, όπως πέλλετ και την επίτευξη απόδοσης 70-90% με χαμηλές εκπομπές. Επιπλέον, αναδύονται συστήματα τηλεθέρμανσης με καύση βιομάζας, αν και όχι ευρέως διαδεδομένα, που απαντώνται κυρίως σε βιομηχανίες, όπως το χαρτί, το ξύλο, τα τρόφιμα και τα ποτά συμβάλλοντας μέτρια στο μείγμα παραγωγής ενέργειας της Πορτογαλίας. Η συνδυασμένη καύση βιομάζας με άνθρακα σε παραδοσιακούς λέβητες με καύση άνθρακα κερδίζει δημοτικότητα ως αποτελεσματική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών και τη χρήση της υπάρχουσας υποδομής. Στην Πορτογαλία, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα, όπως το Sines και το Pego, έχουν αρχίσει να διερευνούν επιλογές συνδυασμένης καύσης για να κεφαλαιοποιήσουν τις υπάρχουσες επενδύσεις με ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών. Η ταυτόχρονη καύση επιτρέπει σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις στην υπάρχουσα υποδομή, καθιστώντας την ελκυστική επιλογή για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επιπλέον, η κυβέρνηση της Πορτογαλίας σχεδιάζει να κατασκευάσει 22 νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας με στόχο την παραγωγή 250 MWe από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας έως το 2010, τοποθετώντας την καύση και τη συν-καύση ως ισχυρούς ανταγωνιστές έναντι των Ολοκληρωμένης Αεριοποίησης/Συνδυασμένου Κύκλου Βιομάζας (BIG/CC).

Συνοπτικά, ενώ η πυρόλυση και η καύση αντιπροσωπεύουν εξέχουσες οδούς μετατροπής βιομάζας, η Πορτογαλία διερευνά και εφαρμόζει ενεργά διάφορες στρατηγικές χρήσης

βιομάζας για να επιτύχει τους ενεργειακούς στόχους της και να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η συμβολή του κλάδου στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας το 2021 ήταν 0,1 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm), που ισοδυναμεί με το 1,8% του συνολικού εφοδιασμού σε φυσικό αέριο. Ο βέλτιστος τομέας για την εφαρμογή του είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω άμεσης χρήσης και εγκαταστάσεων συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας ("CHP"). Παρόλο που δεν υπάρχουν υφιστάμενα στοιχεία σχετικά με την παραγωγή βιομεθανίου ή τη χρήση του στις μεταφορές, προβλέπεται ότι η Πορτογαλία θα έχει θεωρητική δυνατότητα παραγωγής βιομεθανίου έως και 0,6 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων (bcm) έως το 2030, με βάση τις βιώσιμες προσπάθειες στον τομέα αυτό. Η εξέλιξη αυτή θα τοποθετούσε την Πορτογαλία ως έναν από τους πρωταγωνιστές στην αγορά βιομεθανίου εντός της ΕΕ των 27, με σημαντικές συνέπειες για το ενεργειακό τοπίο της χώρας. Επιπλέον, η χώρα καταναλώνει 105 κιλোটόνους λιπασμάτων αζώτου και 18 κιλोटόνους λιπασμάτων φωσφόρου. Αυτό αποτελεί μια πιθανή ευκαιρία για τη μερική αντικατάσταση αυτών των λιπασμάτων με χωνεμένο υπόλειμμα από τις επιχειρήσεις βιοαερίου. Μια τέτοια υποκατάσταση θα μπορούσε να συμβάλει στην ανάπτυξη του μετριασμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) (European Commission, 2021). Λαμβάνοντας υπόψη τη στρατηγική σημασία του βιοαερίου και του βιομεθανίου, είναι δυνατόν να υποκατασταθεί έως και το 11% της τρέχουσας κατανάλωσης φυσικού αερίου στην Πορτογαλία με βιομεθάνιο. Η υποκατάσταση αυτή θα συνέβαλε στην αύξηση της ενεργειακής αυτάρκειας. Ωστόσο, η υπάρχουσα ποσότητα σταθμών ανεφοδιασμού CNG δεν επαρκεί για να καλύψει μια μεγαλύτερη χρήση στον τομέα των μεταφορών. Σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές τάσεις, η παραγωγή βιομεθανίου από διάφορες πρώτες ύλες και η επεξεργασία βιομηχανικών λυμάτων έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν αποτελεσματικές αλυσίδες εφοδιασμού για βιογενές CO₂ και βιομεθάνιο. Η εφαρμογή της ιταλικής έννοιας BiogasDoneRight στην πορτογαλική οικονομία παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη δυνατότητα για την ενίσχυση της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και τη διευκόλυνση μιας βιώσιμης μετάβασης για τις αγροδιατροφικές επιχειρήσεις. (European Commission, 2021)

5. Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1. Επισκόπηση του ελληνικού ενεργειακού τομέα

Βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της Μεσογείου Θάλασσας, η Ελλάδα περιλαμβάνει μια έκταση 131.957 τετραγωνικών χιλιομέτρων και φιλοξενεί περίπου 10,6 εκατομμύρια ανθρώπους. Οι ενεργειακές απαιτήσεις της Ελλάδας αυξάνονται σταθερά, ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, με την κατανάλωση να σημειώνει μια εκπληκτική αύξηση 170% τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ωστόσο, η περιορισμένη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανάγκασε τη χώρα να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στις εισαγωγές, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν το 70% της ετήσιας ενεργειακής της ζήτησης με τη μορφή ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Η Ευρωπαϊκή οδηγία 2001/77/EK αναφέρει την υποχρεωτική συνεισφορά των ανανεώσιμων καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ύψους 20,1%, η Ελλάδα απαιτεί επιπλέον 14 TWh ενέργειας από μη συμβατικές πηγές, συμπεριλαμβανομένης της υδροηλεκτρικής δραστηριότητας. Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας μετά από ευρωπαϊκή οδηγία τον Φεβρουάριο του 2001 έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αν και γραφειοκρατικά και οικονομικά εμπόδια παρεμπόδισαν την πρόοδο.

Η ποικιλότητα τοπογραφία, το εύκρατο κλίμα και το αγροτικό τοπίο της Ελλάδας προσφέρουν άφθονες ευκαιρίες για την αξιοποίηση διαφόρων μορφών ανανεώσιμης ενέργειας. Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε πολλά ελληνικά νησιά, ενώ η καύση γεωργικών και ζωικών απορριμμάτων χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό σε αγροτικές περιοχές για την παραγωγή θερμότητας για μαγείρεμα και θέρμανση.

Έχουν εισαχθεί πολιτικές πρωτοβουλίες που στοχεύουν στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων φορολογικών απαλλαγών και δημόσιας χρηματοδότησης που καλύπτει έως και το 40% των επενδύσεων, για να δοθούν κίνητρα για τη χρησιμοποίησή τους (Dong L 2009). Το Εθνικό Κέντρο Πηγών Ενέργειας αναφέρει μια αυξανόμενη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην εγχώρια παραγωγή, με τη βιομάζα να παίζει σημαντικό ρόλο. (Boukis et al 2009). Έχουν δημιουργηθεί μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν βιομάζα, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων από επεξεργασία βαμβακιού, ελιάς, ξύλου και ρυζιού, παράλληλα με τις προσπάθειες αξιοποίησης των γεωργικών υπολειμμάτων και των ζωικών υποπροϊόντων για

την παραγωγή ενέργειας. (Dong,L, 2009). Ωστόσο, το πλήρες δυναμικό αυτών των πόρων παραμένει σε μεγάλο βαθμό αναξιοποίητο, με μόνο ένα μικρό ποσοστό να χρησιμοποιείται επί του παρόντος μέσω συμβατικών μεθόδων καύσης. Η μόχλευση των βιολογικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας δεν έχει μόνο οικονομική σημασία, αλλά προσφέρει και περιβαλλοντικά οφέλη, καθιστώντας τον τομέα με σημαντικό ενδιαφέρον στην περιοχή της Μεσογείου. Η Ελλάδα έχει κάνει πολλά υποσχόμενα βήματα προς την υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη των περιβαλλοντικών της στόχων. Η αξιοποίηση των άφθονων εγχώριων αποθεμάτων βιομάζας της αποτελεί μια βιώσιμη οδό για την Ελλάδα να κεφαλαιοποιήσει διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας και να μειώσει την εξάρτησή της από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα (Boukis et al 2009).

Η Ελλάδα στοχεύει στη μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% έως το 2030 και στην ουδετερότητα ως προς τον άνθρακα έως το 2050. Έμφαση για την υλοποίηση αυτών των στόχων δίνεται στη μείωση της εξάρτησης από τον λιγνίτη. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη θα καταργηθεί επίσης σταδιακά πλήρως έως το 2028, λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερή δέσμευση.

Οι εθνικές προσπάθειες για την αποτελεσματική υλοποίηση έργων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές έρχονται σε συμφωνία με την αντίστοιχη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σημαντικά δεδομένα για την προώθηση της αγοράς των συστημάτων αυτών από βιομάζα, αποτελούν οι ετήσιοι πόροι βιομάζας της χώρας, οι οποίοι ανέρχονται σε περίπου 2.132.286 τόνους. Ως εκ τούτου, αυτή η στρατηγική ευθυγράμμιση για την οποία η Ελλάδα είναι έτοιμη όσον αφορά τη μείωση της εξάρτησης από το λιγνίτη και την αύξηση της χρήσης βιώσιμης ενέργειας από εναλλακτικές πηγές, με τη βοήθεια της βιομάζας. Όσον αφορά τη συνολική παραγωγή γεωργικών υπολειμμάτων, η Κρήτη αποδίδει 1.959.124 τόνους ετησίως, ενώ η Θεσσαλία 1.759.457 τόνους ετησίως. Τα σημαντικότερα ρεύματα που εντοπίστηκαν είναι τα υπολείμματα ελαιοπυρήνα, τα κλαδέματα ελιάς και τα εκκοκκιστήρια βαμβακιού, τα οποία ξεπερνούν τους 100.000 τόνους ετησίως. (Alatzas et al, 2019)

Μαζί με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να έχει πρόσβαση στο βιοαέριο/βιομεθάνιο ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αποτελεί περίπου το 2,3% της συνολικής παροχής φυσικού αερίου στην Ελλάδα. Το 2021 παρήχθησαν 0,1 δισ. κυβικά μέτρα βιοαερίου, με το μεγαλύτερο μέρος του να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας ("CHP"),

όπως αναφέρεται στα ενεργειακά ισοζύγια. Ωστόσο, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος, αν και υπάρχουν ακόμη εμπόδια. Τα σημαντικότερα εμπόδια που εντοπίστηκαν αποδόθηκαν στην πρωταρχική χρήση ορυκτών καυσίμων και στην ανάγκη να διπλασιαστούν οι προσπάθειες για ενεργειακή απόδοση. Τα ακόλουθα εμπόδια εντοπίστηκαν ως υπεύθυνα για τη μετατροπή του ελληνικού συστήματος τηλεθέρμανσης από λιγνιτικές μονάδες σε πιο βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις:

Τεχνικές προκλήσεις και προκλήσεις υποδομής: Σύμφωνα με τους Margaritis et al. (2015), επί του παρόντος, το σύστημα τηλεθέρμανσης που βασίζεται κυρίως στις λιγνιτικές μονάδες στην Ελλάδα αντιμετωπίζει μια σειρά από σοβαρά προβλήματα. Αυτά περιλαμβάνουν αυστηρότερους κανονισμούς όσον αφορά τη ρύπανση, μικρότερη απόδοση λόγω της γήρανσης των υποδομών και αυξημένο λειτουργικό κόστος. Λόγω του γεγονότος ότι αρκετές λιγνιτικές μονάδες βρίσκονται στα σκαριά για παροπλισμό, ο εναλλακτικός ενεργειακός εφοδιασμός κατατάσσεται ως επείγουσα προτεραιότητα, συμπεριλαμβανομένης της ενσωμάτωσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η βιομάζα. Ωστόσο, υπάρχουν διάφορα τεχνικά εμπόδια και εμπόδια υποδομής για το σκοπό αυτό.

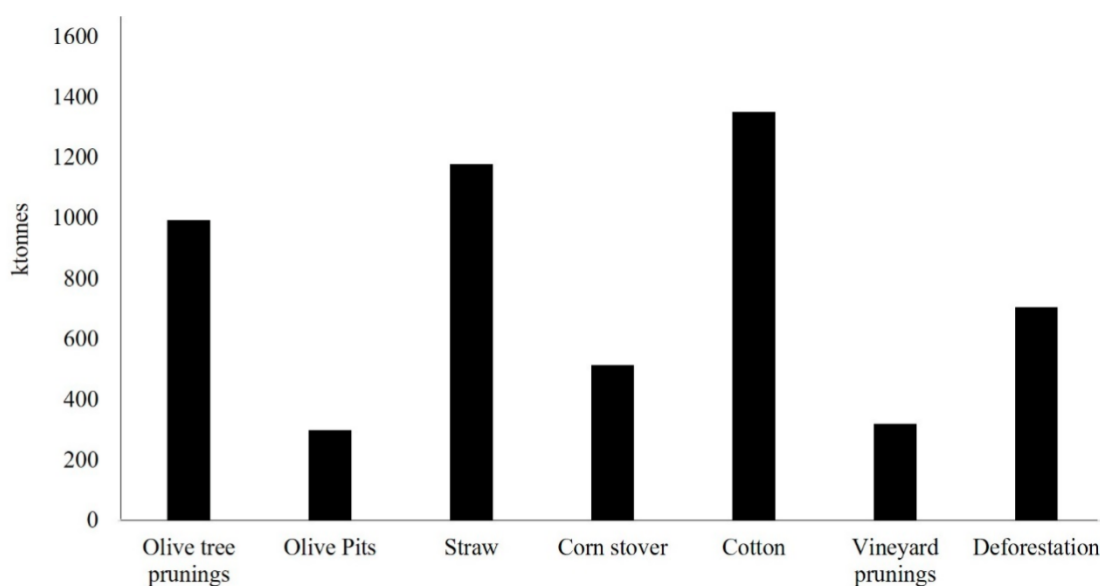
Οικονομικά θέματα και θέματα αγοράς: Ένα μείζον ζήτημα στην Ελλάδα είναι η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών με σκοπό την παραγωγή βιοκαυσίμων ή τη διατροφή του ανθρώπου. Αν και έχει ορισμένα μειονεκτήματα και επιπτώσεις όσον αφορά την οικολογία και την έλλειψη γης για μη διατροφικές χρήσεις, η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών για βιοκαύσιμα δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας και αυξάνει τον αριθμό των πηγών ενέργειας (Paschalidou et al, 2016). Ωστόσο, η εξάρτηση της Ελλάδας από τα ορυκτά καύσιμα και η μη ευθυγράμμιση με την παγκόσμια πρωτοβουλία για την κλιματική αλλαγή αποτελούν σοβαρά εμπόδια για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό της παραγωγής βιοενέργειας.

Εκτός από ορισμένα ερευνητικά έργα και συνεργασίες, ο κλάδος της βιοενέργειας στην Ελλάδα δεν έχει γνωρίσει σημαντικές εξελίξεις σε βιομηχανική κλίμακα. Προβλέπεται, ωστόσο, να συμβεί και οι μόνοι λόγοι είναι οι πολιτικές και ρυθμιστικές προκλήσεις που φαίνεται να εμποδίζουν την πορεία της. Σύμφωνα με τους Tsita et al. (2020), η πρόοδος στην ενσωμάτωση της επεξεργασίας της βιομάζας σε βιοδιυλιστήρια έχει δυνατότητες με φυτικά υλικά όπως το σιτάρι, ο αραβόσιτος, το κριθάρι, τα δασικά υπολείμματα για ενέργεια και πολύτιμα υποπροϊόντα. Η βιοενέργεια, αν και γεμάτη υποσχέσεις στην Ελλάδα, είναι κάτι που δεν μπορεί ποτέ να υλοποιηθεί αν δεν υπάρξει πολύ μεγάλη πολιτική στήριξη

Τέλος, η Ελλάδα πρόκειται να γίνει μάρτυρας μιας αλλαγής παλίνρροιας όσον αφορά τους περιβαλλοντικούς στόχους στον ενεργειακό της τομέα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό. Το πρόγραμμα μετάβασης της Ελλάδας προς την ενεργειακή πρόοδο απαιτεί τη συνεργασία της πολιτικής, των επενδύσεων και της τεχνολογικής καινοτομίας.

5.2. Διαχείριση αποβλήτων βιομάζας στην Ελλάδα

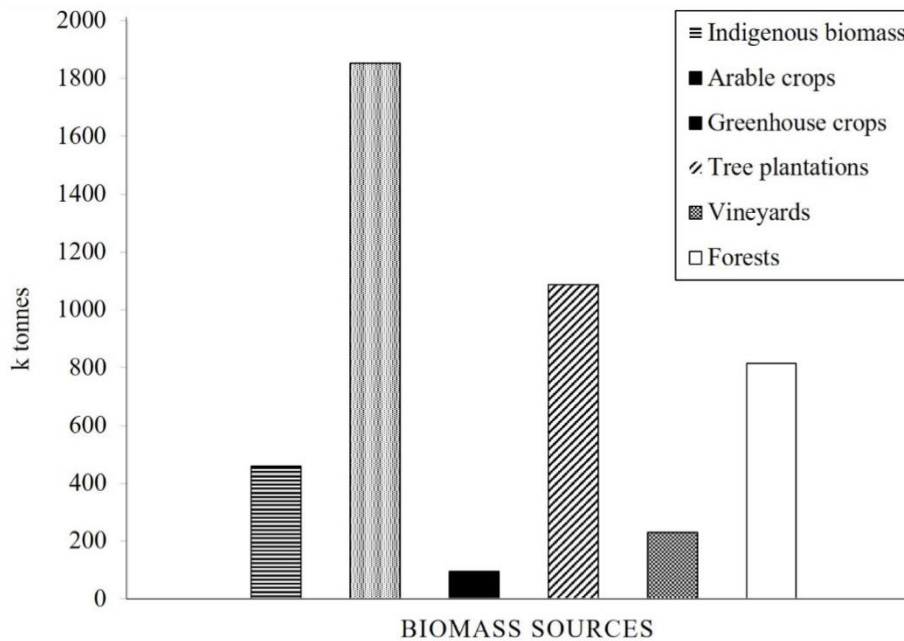
Όπως αναφέρει το Υπουργείο Ανάπτυξης (2007), στην Ελλάδα περίπου ένα εκατομμύριο τόνοι υπολειμμάτων κάθε χρόνο είναι διαθέσιμοι για ενεργειακή χρήση και ισοδυναμούν με γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Άλλες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η συνολική ποσότητα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα από γεωργικές καλλιέργειες φτάνει περίπου τους 7.500.000 τόνους και από τη συγκομιδή των δασών περίπου τους 2.700.000 τόνους. Τα σχήματα 5.1 και 5.2 απεικονίζουν την κατανομή των ετήσιων γεωργικών καλλιεργειών και των 2.700.000 τόνων υπολειμμάτων συγκομιδής δασών, αντίστοιχα.



Πίνακας 5. 1: Κατανομή της ετήσιας παραγωγής βιομάζας, σε τόνους, ανά κατηγορία γεωργικών αποβλήτων στην Ελλάδα (2013)

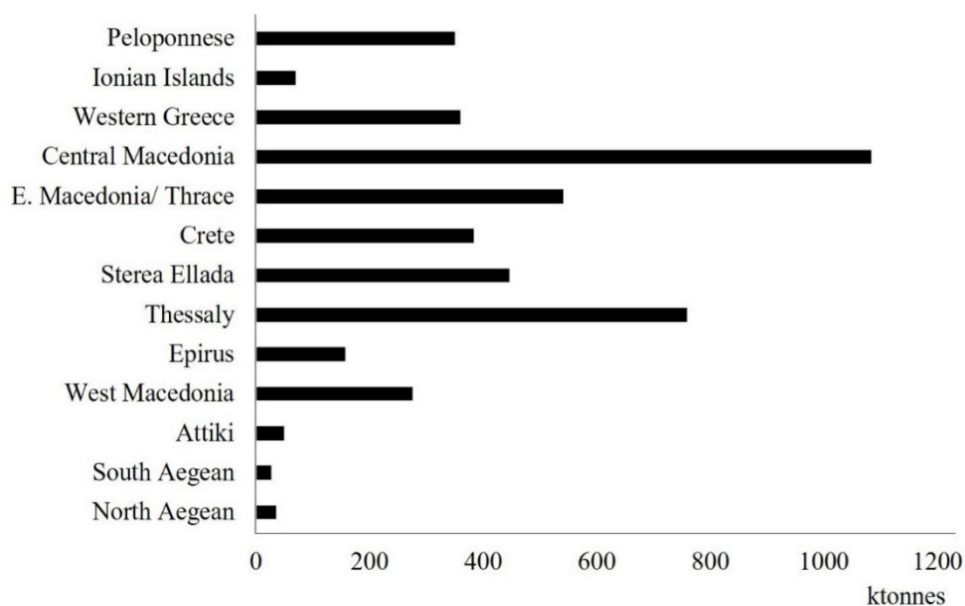
Πηγή: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1095>

Στην εικόνα 5.2 απεικονίζονται οι ετήσιες ποσότητες βιομάζας από τις διάφορες πηγές στην Ελλάδα. Οι καλλιέργειες αποτελούν την κύρια πηγή βιομάζας, ακολουθούμενη στενά από τη βιομάζα από τις δενδροφυτείες που εκτιμάται ότι παράγει 1 εκατομμύριο τόνους ετησίως. Ο εκτιμώμενος ετήσιος όγκος της δασικής λιγνοκυτταρινούχου βιομάζας είναι περίπου 2.132.286 τόνοι, συμπεριλαμβανομένων τόσο των δενδροφυτειών και των αμπελώνων, όσο και των δασών.



Πίνακας 5. 2: Ετήσιες ποσότητες βιομάζας ανά πηγή στην Ελλάδα (2017)

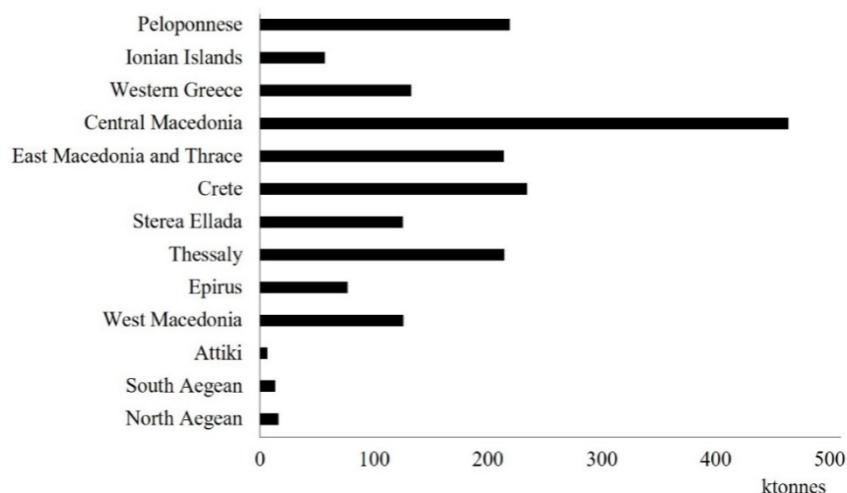
Πηγή: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1095>



Πίνακας 5. 3: Δυναμικό ξυλώδους βιομάζας στην Ελλάδα ανά διοικητική περιφέρεια (ktonnes) (2017)

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1095>

Το Σχήμα 5.3 παρουσιάζει τη συνολική ποσότητα ξυλώδους υλικού κατηγοριοποιημένη ανά γεωγραφική περιοχή, αλλά το Σχήμα 5.4 προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση της συνδυασμένης βιομάζας που προέρχεται τόσο από δενδροφυτείες όσο και από δάση σε κάθε διοικητική περιοχή. Με βάση αυτά τα στατιστικά στοιχεία, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η Κεντρική Μακεδονία είναι η κύρια περιοχή για την παραγωγή ξυλώδους βιομάζας, με ετήσια παραγωγή 1.083.272 τόνων. Ακολουθεί η Θεσσαλία με 759.654 τόνους και η Ανατολική Μακεδονία & Θράκη με 54.792 τόνους. Η Κεντρική Μακεδονία κατέχει την πρώτη θέση στις ποσότητες βιομάζας που συλλέγονται από δενδρώδεις καλλιέργειες και δάση, με ετήσια παραγωγή 463.849 τόνους. Ακολουθεί η Κρήτη με 234.741 τόνους και η Πελοπόννησος με 219.595 τόνους.



Πίνακας 5. 4: Δυναμικό ξυλώδους βιομάζας (δενδροφυτεύσεις και δάση) στην Ελλάδα ανά διοικητική περιφέρεια (ktonnes) (2017)

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1095>

Το αυξανόμενο κόστος των συμβατικών καυσίμων, κυρίως του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σε συνδυασμό με την διαφαινόμενη απειλή της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, ώθησαν την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) να υποστηρίξει τη χρήση βιομάζας και βιοκαυσίμων. Αυτή η ώθηση στοχεύει στην ενίσχυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές, ενώ παράλληλα αντικαθιστά ένα σημαντικό μέρος της βενζίνης και του ντίζελ με υγρά βιοκαύσιμα. Ως μέλος της ΕΕ, η Ελλάδα επιδιώκει ενεργά στρατηγικές για την ενίσχυση της συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από βιομάζα, ενώ παράλληλα μεταβαίνει προς τα υγρά βιοκαύσιμα. Ωστόσο, οι προκλήσεις που εμποδίζουν την ευρεία χρήση της βιομάζας στην Ελλάδα πηγάζουν κυρίως από μη τεχνικά εμπόδια, συμπεριλαμβανομένων των νομοθετικών περιπλοκών εντός των κρατών μελών της ΕΕ και της απουσίας μιας συνεκτικής εθνικής προσέγγισης για τη χρήση της βιομάζας. Τα αγροτικά υπολείμματα, ιδιαίτερα η καύση ξύλου σε αγροτικές περιοχές, παραμένουν πρωταρχική πηγή ενέργειας στο αγροτικό τοπίο της Ελλάδας (Dong, L, 2009). Τα πλεονεκτήματα της βιομάζας ως πηγής ενέργειας περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών CO_2 και SO_2 , τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, τη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, την προώθηση της αποκεντρωμένης απασχόλησης και την προώθηση των στόχων παραγωγής πράσινης ενέργειας. Παρά τα οφέλη αυτά, προκλήσεις όπως υλικοτεχνικές δυσκολίες στη συλλογή και μεταφορά, η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία που μειώνει την ενεργειακή απόδοση, η εποχιακή παραγωγή και οι διακυμάνσεις στην ποιότητα της βιομάζας δημιουργούν σημαντικά εμπόδια.

Οι πρόσφατες επενδύσεις στην παραγωγή βιοντίζελ υπογραμμίζουν τη δέσμευση της Ελλάδας να τηρήσει τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Η αξιολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας γεωργικής βιομάζας εξαρτάται από παράγοντες όπως η περιεκτικότητα σε υγρασία και η στοιχειομετρική αναλογία C/N. Μέθοδοι θερμοχημικής μετατροπής όπως η άμεση καύση, η πυρόλυση ή η αεριοποίηση είναι κατάλληλες για βιομάζα με περιεκτικότητα υγρασίας και αναλογίες C/N άνω του 30, ενώ βιοχημικές διεργασίες όπως αερόβια ή αναερόβια χώνευση προτιμώνται για χαμηλότερες αναλογίες (Dong, L, 2009). Οι περιφέρειες της Θεσσαλίας, της ανατολικής Μακεδονίας, της Πελοποννήσου και της Κρήτης είναι σημαντικοί παραγωγοί αγροτικών υπολειμμάτων, ωστόσο δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή οργανωμένη προσπάθεια για την αντιμετώπιση αυτού του δυναμικού. Η κυρίαρχη πρακτική της καύσης υπολειμμάτων στα χωράφια εγκυμονεί κινδύνους ανεξέλεγκτη πυρκαγιών και ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αν και ορισμένες αγροτικές βιομηχανίες χρησιμοποιούν αυτόνομα τα υπολείμματα για την παραγωγή θερμότητας (Skoulou, V, & Zabaniotou, A, 2007).

Στην ελληνική κτηνοτροφία, η οποία παράγει σημαντικά απόβλητα, έχουν θεσπιστεί αυστηρότεροι κανονισμοί σχετικά με την ασφαλή συλλογή, μεταφορά αποθήκευση και διάθεση ζωικών υποπροϊόντων. Τα ζωικά απόβλητα, που περιέχουν παθογόνους οργανισμούς, απαιτούν προσεκτική επεξεργασία για τον μετριασμό των κινδύνων για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Διεργασίες όπως η αναερόβια χώνευση υπόσχονται μονάδες μεσαίας και μεγάλης κλίμακας όπου συγκεντρώνεται η παραγωγή αποβλήτων, προσφέροντας σημαντική δυνατότητα παραγωγής μεθανίου. Πρόσφατες οδηγίες της ΕΕ έχουν επιβάλει αυστηρότερους όρους για την επεξεργασία των ζωικών αποβλήτων, απαγορεύοντας τη συμπερίληψη οστών και κρέατος ζώων στις ζωοτροφές, αυξάνοντας έτσι τον όγκο των ζωικών απορριμμάτων στην Ελλάδα. Αυτά τα μέτρα αντικατοπτρίζουν τις συνεχιζόμενες προσπάθειες για την προώθηση πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων και τον μετριασμό των περιβαλλοντικών κινδύνων που συνδέονται με την κτηνοτροφία (Skoulou, V, & Zabaniotou, A, 2007)

Θερμοχημική επεξεργασία ζωικής κοπριάς: η ζωική κοπριά που συνήθως αποθηκεύεται κοντά σε κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, δημιουργεί σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της μόλυνσης των υπόγειων υδάτων και της απελευθέρωσης αερίων και οσμών. Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί υποστηρίζουν πλέον πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων όπως η κομποστοποίηση ή η παραγωγή βιοαερίου. Ωστόσο, στην Ελλάδα, η συμβατική προσέγγιση ήταν η χρήση της κοπριάς ως φυσικό λίπασμα. Η

ημερήσια παραγωγή κοπριάς στην Ελλάδα υπολογίζεται σε 38.000 τόνους, με δυνατότητα παραγωγής περίπου 1,4 εκατομμυρίων m³ μεθανίου, που ισοδυναμεί με 1,2 τγρ ενέργειας.

Ζωικά υποπροϊόντα σφαγής : Τα παραπροϊόντα ζώων περιλαμβάνουν όλα τα μέρη των σφαγίων που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και μπορούν να φιλοξενούν ασθένειες. Συνήθως, αυτά τα υποπροϊόντα αποτεφρώνονται, αν και υπάρχει ενδιαφέρον για τη διερεύνηση του ενεργειακού τους περιεχομένου για θερμοχημική μετατροπή. Η Ελλάδα διαθέτει σήμερα περίπου 140 αποτεφρωτήρες για το σκοπό αυτό και ορισμένα υπολείμματα κρέατος μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε καλλυντικές ή φαρμακευτικές εφαρμογές. Απαιτούνται αυστηρές συνθήκες επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας τουλάχιστον 133°C για διάρκεια 20 λεπτών, για την εξασφάλιση ασφαλούς χειρισμού. Άλλα υποπροϊόντα περιλαμβάνουν οστά, δέρμα, διάφορους ιστούς και υπολείμματα νεκρών ζώων. Περίπου το 68% των πουλερικών, το 62% του χοιρινού κρέατος, το 54% των βοοειδών και το 52% των αιγοπροβάτων συμβάλλουν σε αυτή την κατηγορία. (Skoulou, V & Zabaniotou, A, 2007)

Ενεργειακές καλλιέργειες: Οι ενεργειακές καλλιέργειες αναφέρονται σε είδη φυτών που καλλιεργούνται για παραγωγή βιομάζας, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαυσίμων (στερεά σφαιρίδια ή υγρό βιοντίζελ και βιοαιθανόλη). Κατηγοριοποιούνται σε γεωργικές και δασικές ενεργειακές καλλιέργειες, περαιτέρω υποδιαιρούμενες σε ετήσιες και πολυετείς ποικιλίες. Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου του κλίματος και του αγροτικού τοπίου της χώρας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση προσδιορίζει αρκετές ενεργειακές καλλιέργειες κατάλληλες για χώρες της Νότιας Ευρώπης όπως η Ελλάδα. Αυτά περιλαμβάνουν:

1. Δασικές Ενεργειακές Καλλιέργειες:

- Δύο τύποι ευκαλύπτου (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *E. globulus* Labill.)
- Ροβίνια ψευδοακακία

2. Αγροτικές Ενεργειακές Καλλιέργειες:

- Ετήσια: Ζάχαρο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L. Moench), kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), canola (*Brassica napus* L.), αιθιοπικό brassica (*Brassica carinata* L. Braun)
- Πολυετή φυτά: Άγρια αγκινάρα (*Cynara cardunculus*), καλάμι (*Arundo donax* L.), μισκάνθος (*Miscanthus x giganteus*), γρασίδι (*Panicum virgatum*)

5.3. Αποδοτικότητα και οικονομική ανάλυση της παραγωγής βιοενέργειας

Σε κάθε γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας, η διαθεσιμότητα βιομάζας για παραγωγή ενέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:

- Διακυμάνσεις λόγω καιρικών συνθηκών
- Αγροτικές πρακτικές ειδικές για κάθε περιοχή
- Επιδότησεις καλλιεργειών τόσο σε τοπικό όσο και σε διεθνές επίπεδο
- Συμμόρφωση με ευρωπαϊκούς και διεθνείς κανονισμούς, όπως οι συμφωνίες για την Κοινή Αγροτική Πολιτική και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Εμπορίου
- Διαγωνισμός για πόρους βιομάζας μεταξύ διαφόρων τοπικών χρήσεων

Ως αποτέλεσμα, η ακριβής εκτίμηση της διαθεσιμότητας κατάλληλης βιομάζας για παραγωγή ενέργειας σε σταθερά σταθερή βάση, λαμβάνοντας υπόψη τα καθαρά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά, είναι πρόκληση. Ωστόσο, η χρήση μιας καλά δομημένης και επικυρωμένης μεθοδολογίας μπορεί να επιτρέψει τη δημιουργία αξιόπιστων ετήσιων εκτιμήσεων των τεχνικά και οικονομικά διαθέσιμων ποσοτήτων βιομάζας κατάλληλης για ενεργή χρήση.

Ένα πλεονεκτικό χαρακτηριστικό των μονάδων βιομάζας και συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP) είναι η ικανότητά τους να χρησιμοποιούν διάφορους τύπους βιομάζας ταυτόχρονα. Αυτή η ευελιξία ενισχύει την τεχνοοικονομική βιωσιμότητα αυτών των εγκαταστάσεων, μεγιστοποιώντας έτσι τόσο τα οικονομικά όσο και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Ιδιαίτερα στις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η δυνατότητα προσαρμογής των δυνατοτήτων πολλαπλής τροφοδοσίας είναι ζωτικής σημασίας. Χρησιμοποιώντας τη βιομάζα που είναι διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή, αυτές οι εγκαταστάσεις μπορούν να μετριάσουν την εξάρτηση από συγκεκριμένα πετροχημικά αέρια και προμηθευτές, ελαχιστοποιώντας έτσι τα λειτουργικά έξοδα. Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα πρωτογενών αερίων βιομάζας μπορούν να λειτουργήσουν με επιτυχία χάρη στις θερμοχημικές διεργασίες που διεξάγονται σε εξειδικευμένο εξοπλισμό. Οι τεχνολογίες θερμοχημικής μετατροπής, όπως η καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση, έχουν σχεδιαστεί για να προσαρμόζουν τις παραλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του καυσίμου. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στις εγκαταστάσεις να διαχειρίζονται αποτελεσματικά την ποικιλόμορφη ποιότητα των εισροών βιομάζας χωρίς σημαντικές λειτουργικές διακοπές.

Ωστόσο, οι συμβατικές εγκαταστάσεις που παράγουν βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, όπως η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ, απαιτούν σταθερή ποιότητα πρώτης ύλης λόγω αυστηρών

κανονιστικών προτύπων και απαιτήσεων διεργασίας. Κατά συνέπεια, η σταθερή παροχή ρεύματος είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ομοιομορφίας των διαδικασιών μετατροπής ή της τήρησης των προδιαγραφών του προϊόντος. Για τη διευκόλυνση πρακτικών εφαρμογών και μελετών σχεδιασμού για επενδύσεις βιομάζας, είναι απαραίτητη η ακριβής κατηγοριοποίηση των πόρων βιομάζας. Λεπτομερείς αναλύσεις της διαθεσιμότητας και των χαρακτηριστικών της βιομάζας διεξάγονται στο στάδιο της μελέτης καυσίμων, αποτελώντας τη βάση για οικονομικά ενεργειακά σχέδια. Κάθε κατηγορία βιομάζας απαιτεί μια προσαρμοσμένη προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές και εποχιακές πτυχές που σχετίζονται με τη μελλοντική ενεργειακή εκμετάλλευση. Η διαφοροποίηση των πηγών βιομάζας ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ελλείψεων εφοδιασμού και διακυμάνσεων των τιμών, διασφαλίζοντας τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων τυπικά βασίζεται σε ένα στενότερο εύρος πηγών βιομάζας για τη διατήρηση της συνέπειας στην ποιότητα των προϊόντων και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας.

Η αποτελεσματικότητα των μονάδων βιοενέργειας στην Ελλάδα είναι ένα τμήμα σε συνεχή ανάπτυξη, με καλά αποτελέσματα που παρουσιάζονται τα τελευταία χρόνια. Ακολουθεί μια λεπτομερής αξιολόγηση με βάση προσβάσιμα στοιχεία και μελέτες περιπτώσεων:

Ο πολλαπλασιασμός των μονάδων βιοαερίου στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια είχε θετικό οικονομικό αντίκτυπο. Παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης σε σχέση με την απόδοση μιας μονάδας βιοαερίου 500 kW σε μακροπρόθεσμη βάση σε συνδυασμό με την παρακολούθηση της λειτουργίας της για περίοδο ενός έτους. Η κύρια πρώτη ύλη για τη μονάδα αυτή ήταν τα περιττώματα βοοειδών, ενίοτε εμπλουτισμένα με διάφορες οργανικές ουσίες. Ο ρυθμός οργανικού φορτίου (OLR) εκτιμήθηκε σε $3,42 \pm 0,23$ kg COD m⁻³ day⁻¹, επιτυγχάνοντας σταθερή απόδοση για τον ειδικό ρυθμό παραγωγής βιοαερίου, την απόδοση βιοαερίου και τον ρυθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η μελέτη περίπτωσης είναι ενδεικτική της δυναμικότητας και της απόδοσης των μονάδων βιοαερίου στην Ελλάδα, κυρίως λόγω της χρήσης γεωργικών αποβλήτων στην παραγωγή βιοενέργειας. (Spyridonidis et al, 2020)

Η ελληνική εθνική νομοθεσία βρίσκεται σε διαδικασία εναρμόνισης με τη νομοθεσία της ΕΕ, η οποία αναμένεται να λειτουργήσει επιταχυντικά στις εθνικές πρωτοβουλίες για έργα συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας ("CHP") από ανανεώσιμες

πηγές. Σημαντικό λοιπόν είναι να προσδιοριστούν οι πόροι βιομάζας που είναι τώρα προσβάσιμοι και να εκτιμηθεί το δυναμικό τους για τις προσπάθειες αυτές. Η ευθυγράμμιση υπογραμμίζει την αναγνώριση και τη χρήση της βιομάζας για ενέργεια στην Ελλάδα. Η μελέτη των (Rozakis et al., 2012) παρουσιάζει ότι οι γεωργικές πολιτικές είναι μια πολύ κρίσιμη πτυχή της αποδοτικότητας του άνθρακα στη βιοαιθανόλη. Οι πολιτικές αυτές επηρεάζουν όχι μόνο τις εκπομπές από την επεξεργασία της βιοαιθανόλης αλλά και τις εκπομπές από την παραγωγή της πρώτης ύλης. Περισσότερο από το 50% του συνολικού κόστους οφείλεται στην παραγωγή πρώτης ύλης. Η άμεση μετατροπή της χρήσης γης για ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να υποδηλώνει χαμηλές εκπομπές κατά την περίοδο φύτευσης. Ωστόσο, οι υπολογισμοί αυτοί θα πρέπει να μετριαστούν, ιδίως στην περίπτωση που οι καλλιέργειες τροφίμων αντικαθίστανται από ενεργειακές καλλιέργειες στο ίδιο κομμάτι γης, με έναν απολογισμό της αλλαγής της χρήσης γης που δεν εμπλέκεται άμεσα. Η εξοικονόμηση κόστους κυμαίνεται γύρω στα 160 ευρώ ανά τόνο ισοδύναμου CO₂ για το τυπικό σενάριο γεωργικής πολιτικής. Αυτό υπογραμμίζει τη μεγάλη ανάγκη για ρυθμιστικά πλαίσια που θα διευκολύνουν τις πρακτικές της βιώσιμης γεωργίας και τη χρήση βιοενεργειακών καλλιεργειών, οι οποίες αποτελούν το κλειδί για την οικονομική βιωσιμότητα και την οικολογική βιωσιμότητα της παραγωγής βιοενέργειας. Σύμφωνα με τις εξελίξεις, ο αεριοποιητής PyroX TYPE P850 CHP είναι ένας προτεινόμενος αεριοποιητής που λειτουργεί σαν μια μικρή μονάδα συμπαραγωγής, όπου η κύρια πηγή καυσίμου περιλαμβάνει τεμάχια ξύλου. Αυτά θερμαίνονται μέσω της θερμοχημικής διαδικασίας για να μετατραπούν, μετά από καθαρισμό και ψύξη, σε κατάλληλο καύσιμο για καύση σε κινητήρα. Η τεχνολογία θα παράγει κατά μέσο όρο 6630 μεγαβατώρες ηλεκτρικής ενέργειας και 8580 μεγαβατώρες θερμικής ενέργειας χρησιμοποιώντας 7956 μετρικούς τόνους βιομάζας ετησίως. Το κόστος της τεχνολογίας εκτιμάται σε 4,3 εκατ. ευρώ. Οι προαναφερθείσες εξελίξεις είναι ενδεικτικές της ενσωμάτωσης τεχνολογιών βιοενέργειας αιχμής στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη τόσο οικονομικές όσο και περιβαλλοντικές πτυχές. (Alatzas et al, 2019)

Μια περαιτέρω διεξοδική εξέταση των οικονομικών επιδόσεων της μονάδας αεριοποίησης έδωσε πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Τα ακαθάριστα έσοδα της μονάδας εκτιμήθηκαν σε 0,13 ευρώ ανά κιλό βιομάζας και το κόστος επεξεργασίας αναμενόταν να ανέλθει σε 0,09 ευρώ ανά κιλό βιομάζας. Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης της επένδυσης ήταν 9%,

γεγονός που σημαίνει ότι η μονάδα αεριοποίησης είχε δυνατότητες ως μια τεχνικά εφικτή και φιλική προς το περιβάλλον πρόταση βιώσιμης παραγωγής ενέργειας. Τα στοιχεία αποκαλύπτουν την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης στην τεχνολογία αεριοποίησης στην ελληνική αγορά και αναδεικνύουν την πιθανή κερδοφορία της παραγωγής βιοενέργειας. Η κερδοφορία αυτή είναι πολύ σημαντική για την προσέλκυση περαιτέρω επενδύσεων και την προώθηση της ανάπτυξης του τομέα αυτού. (Manthos et al, 2023)

Το σημείωμα περιλαμβάνει ότι "το βιομεθάνιο, ένα από τα βασικότερα υποπροϊόντα της παραγωγής βιοαερίου, έχει εξαιρετικές δυνατότητες στην αγορά ενέργειας στην Ελλάδα". Αυτό το 9% της ικανότητας αντικατάστασης του βιομεθανίου στις τρέχουσες εισαγωγές φυσικού αερίου είναι ένας σημαντικός ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει το βιομεθάνιο στην ενεργειακή πολιτική της χώρας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι ο μικρός αριθμός σταθμών ανεφοδιασμού CNG (συμπιεσμένου φυσικού αερίου) δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τη ζήτηση που θα δημιουργούσε μια σημαντική αύξηση της χρήσης βιομεθανίου στην αγορά ενέργειας για τις μεταφορές. Μια άλλη εκτίμηση του κλάδου υποστηρίζει ότι η Ελλάδα έχει τη δυνατότητα να παράγει 0,53 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα βιομεθανίου μέχρι το 2030. Αυτό σίγουρα προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες για την Ελλάδα να μειώσει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές φυσικού αερίου. Αυτές περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση στο πλαίσιο της σημαντικής δυνητικής παραγωγής συνθετικών λιπασμάτων για την από κοινού ανάπτυξη και εμπορία χωνεμένου υπολείμματος, ή την εξαγωγή μακροθρεπτικών συστατικών για βιολιπάσματα. (European Commission, 2023)

Η αγορά βιοενέργειας στην Ελλάδα επηρεάστηκε κυρίως από τις δυνάμεις της αγοράς και τα εγχώρια έργα, καθώς και από τις εντολές της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι νόμοι διαθέτουν οικονομικά κίνητρα για τη σωστή ανάπτυξη και κατεύθυνση του τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της βιοενέργειας. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) που θεσπίστηκε στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), η οποία επηρεάζει τον γεωργικό τομέα στην Ελλάδα, ιδίως όσον αφορά την παραγωγή βιοενέργειας.

Οι οικονομικές μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι τα προηγμένα βιοκαύσιμα και τα ανανεώσιμα αέρια δεν είναι σήμερα οικονομικά ανταγωνιστικά σε σύγκριση με τα ορυκτά. Ωστόσο, ορισμένα κυβερνητικά μέτρα θα μπορούσαν να βελτιώσουν την οικονομική βιωσιμότητα αυτής της επιλογής. Τα παραδείγματα εφαρμόσιμων τροποποιήσεων περιλαμβάνουν τις ασταθείς τιμές του αργού πετρελαίου, μια μεγαλύτερη εισφορά στους χώρους υγειονομικής

ταφής, αυξημένες τιμές άνθρακα, φορολογικά κίνητρα και άμεσες επιδοτήσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα τόσο των βιοκαυσίμων όσο και των ανανεώσιμων αερίων. Δεύτερον, με την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα, η προσοχή μετατοπίστηκε σε τομείς που είναι εύρωστοι και έχουν προοπτικές ανάπτυξης, όπως για παράδειγμα η βιοενέργεια. Η μετατόπιση της προσοχής επέφερε την επιβολή οικονομικών μέτρων που αποσκοπούν στην προώθηση των τομέων που είναι σε θέση να δουν οικονομική αναζωογόνηση και ανάπτυξη. (Voulgaris et al., 2015)

Σε γενικές γραμμές, η ανάπτυξη της βιοενέργειας στην Ελλάδα σχετίζεται με τη συνεργιστική ανάπτυξη των εγχώριων πολιτικών, των κανονισμών εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των οικονομικών κινήτρων, καθώς και της χρηματοδοτικής στήριξης. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά μαζί επηρεάζουν τη βιωσιμότητα του τομέα για το δυναμικό ανάπτυξης και την ικανότητά του να διατηρηθεί μακροπρόθεσμα. Η παραγωγή βιοενέργειας στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει ένα εξελισσόμενο τοπίο που χαρακτηρίζεται από αύξηση της αποδοτικότητας και της ολοκλήρωσης. Οι πρόοδοι αυτές υπογραμμίζονται με τεχνολογικές βελτιώσεις, συμμόρφωση με τις οδηγίες της ΕΕ και βιώσιμη διαχείριση των πόρων.

6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

6.1. Προοπτικές εξέλιξης των τεχνολογιών βιοενέργειας

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των διαφόρων πρώτων υλών βιομάζας διαφέρουν σημαντικά από αυτές των ορυκτών καυσίμων και επηρεάζονται από τις μεθόδους συλλογής που χρησιμοποιούνται. Επομένως, τα συστήματα για τη χρήση της βιομάζας πρέπει να είναι προσαρμοσμένα ώστε να προσαρμόζονται αυτά τα χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης. Η προεπεξεργασία της βιομάζας είναι συχνά απαραίτητη πριν από τη μετατροπή της σε ενέργεια για βελτιστοποίηση της απόδοσης και της οικονομικής βιωσιμότητας. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τρία κύρια στάδια:

1. Προετοιμασία καυσίμου: Αυτό το στάδιο μεταβάλλει τη φυσική κατάσταση των πρώτων υλών για να ενισχύσει την ομοιογένεια, την ευκολία χειρισμού και τη μεταφορά, ενώ παράλληλα βελτιώνει την ενεργειακή τους πυκνότητα.
2. Προεπεξεργασία: Εδώ, η χημική φύση των πρώτων υλών τροποποιείται για την παραγωγή ενδιάμεσων προϊόντων πιο επιδεκτικών μετατροπής σε χρησιμοποιήσιμα τελικά προϊόντα.
3. Μετατροπή: Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει την πραγματική παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμων μεταφοράς, συχνά σε συνδυασμό με την παραγωγή άλλων πολύτιμων προϊόντων.

Πολλές τεχνολογίες βιοενέργειας είναι ήδη ώριμες και εμπορικά διαθέσιμες, ενώ άλλες με δυνητικούς ρόλους στην επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης βρίσκονται ακόμη σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Η συνεχής βελτίωση της απόδοσης και η μείωση του κόστους παραμένει μια συνεχής ευκαιρία, ιδιαίτερα για τις ώριμες τεχνολογίες. Ωστόσο, οι τρέχοντες ρυθμοί ανάπτυξης της βιοενέργειας στους τομείς της θερμότητας, της ηλεκτρικής ενέργειας και των μεταφορών υπολείπονται εκείνων που απαιτούνται για το Σενάριο Βιώσιμης Ανάπτυξης (2DS) τα επόμενα χρόνια (IEA, 2017b). Η μελλοντική επέκταση της βιοενέργειας κατά τη διάρκεια αυτής της κρίσιμης περιόδου εξαρτάται σημαντικά από την αυξημένη χρήση τεχνικά ώριμων λύσεων, που διευκολύνονται από ευνοϊκές πολιτικές και συνθήκες αγοράς. Πολλές από αυτές

τις ευκαιρίες περιστρέφονται γύρω από την ενισχυμένη χρήση των απορριμμάτων και των υπολειμμάτων ως πρώτες ύλες, προσφέροντας άμεσα οφέλη στη διαχείριση των απορριμμάτων, την αποδοτικότητα των πόρων και την ελαχιστοποίηση των αλλαγών στη χρήση γης. Πολλές τέτοιες λύσεις είναι επί του παρόντος διαθέσιμες και έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορες χώρες, οδηγώντας σε εξοικονόμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα και συμβάλλοντας σε ευρύτερους κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς στόχους όπως η αγροτική ανάπτυξη, η ασφάλεια εφοδιασμού και η διαχείριση απορριμμάτων.

Η κλιμάκωση της υιοθέτησης λύσεων βιοενέργειας υψηλής απόδοσης θα μπορούσε να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ των τρεχουσών αναπτυξιακών τροχιών και των επιπέδων που απαιτούνται για την επίτευξη του 2DS. Επιπλέον, η ευρεία υιοθέτηση αυτών των λύσεων θα δημιουργούσε ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την παράδοση τεχνολογιών βιοενέργειας επί του παρόντος σε χαμηλότερα επίπεδα τεχνολογικής ετοιμότητας, τα οποία είναι απαραίτητα για την επίτευξη των στόχων του 2DS. Οκτώ τεχνολογικές λύσεις βιοενέργειας έχουν προσδιοριστεί με βάση διάφορα κριτήρια επιλογής:

- Τεχνολογική ωριμότητα και εμπορική επεκτασιμότητα.
- Οικονομική βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα έναντι εναλλακτικών.
- Συμβολή σε ευρύτερους στόχους πολιτικής πέρα από την ενέργεια.
- Αποδεδειγμένη εξοικονόμηση αερίων θερμοκηπίου (GHG) σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Ικανότητα αντιμετώπισης προβλημάτων αειφορίας, συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων έναντι των καυσίμων.
- Αξιοποίηση πόρων βιομάζας και αποβλήτων με βιώσιμη επεκτασιμότητα.
- Παγκόσμια εφαρμογή, ιδιαίτερα σε χώρες με αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις.
- Ευνοϊκό περιβάλλον για άλλες τεχνολογίες βιο- ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ενώ αυτές οι οκτώ λύσεις χρησιμεύουν ως ενδεικτικά παραδείγματα, είναι απαραίτητη μια ευρύτερη σειρά ώριμων τεχνολογιών βιοενέργειας για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των σεναρίων βιώσιμης ανάπτυξης (2DS). Διάφορες πολιτικές έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της ανάπτυξης αυτών των λύσεων. Η ταχεία πρόοδος προς τους στόχους του 2DS,

αξιοποιώντας αυτές και άλλες τεχνολογίες βιοενέργειας, εξαρτάται από τη δημιουργία υποστηρικτικών πλαισίων πολιτικής και μηχανισμών αγοράς για την παροχή κινήτρων για επενδύσεις στην ανάπτυξη έργων. Οι υποστηρικτικές πολιτικές και τα πλαίσια αγοράς που σχετίζονται με τις προσδιορισμένες λύσεις περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή πολιτικών για την ένταση του άνθρακα στον κύκλο ζωής, όπως τα πρότυπα καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα, που δημιουργούν ζήτηση για καύσιμα μεταφοράς με χαμηλότερες εκπομπές.
- Παροχή μέτρων μετριασμού του χρηματοοικονομικού κινδύνου, όπως εγγυήσεις δανείων ή πολιτικές που διασφαλίζουν τη μακροπρόθεσμη ζήτηση για βιοκαύσιμα.
- Ενεργή υποστήριξη από τις δημοτικές αρχές, ιδίως όσον αφορά τις στρατηγικές διαχείρισης απορριμμάτων και τις δημόσιες συμβάσεις.
- Επέκταση της αγοράς βιοενέργειας υπό ισχυρά πλαίσια διακυβέρνησης βιωσιμότητας, συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων έναντι αναγνωρισμένων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών δεικτών.

Αναφέρονται οι δυνατότητες παραγωγής βιομεθανίου από διεργασίες αναερόβιας χώνευσης (AX) και αεριοποίησης στην Ελλάδα. Η δυνητική παραγωγή βιομεθανίου για την Ελλάδα μέχρι το έτος 2030 εκτιμάται σε 0,53 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm). Αυτό όχι μόνο βοηθάει στην παραγωγή βιομεθανίου, αλλά και στη σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και συμβάλλει περαιτέρω στο να κινηθεί η Ελλάδα προς πιο βιώσιμες επιλογές όσον αφορά την ενέργεια. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2023)

Αυτή η διακυβέρνηση θα πρέπει να περιλαμβάνει αξιολογήσεις του κύκλου ζωής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων εκείνων από την αλλαγή χρήσης γης, επιτρέποντας στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να συγκρίνουν τη βιοενέργεια με άλλες επιλογές πολιτικής. Αυτή η διακυβέρνηση είναι ζωτικής σημασίας για την οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, ειδικά όσον αφορά τα υπολείμματα των δασών και τις ανησυχίες για τη βιωσιμότητα των πρώτων υλών, που σχετίζονται με διάφορες λύσεις που έχουν εντοπιστεί. Εκτός από τις οκτώ επισημασμένες λύσεις, πολλές άλλες τεχνολογίες βιοενέργειας μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην παροχή κοινωνικοοικονομικών οφελών. Απαιτείται περαιτέρω εξερεύνηση για τον εντοπισμό πρόσθετων ώριμων τεχνολογιών και εκείνων σε χαμηλότερα επίπεδα ετοιμότητας που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν με συνεχείς επενδύσεις και υποστήριξη.

6.2. Επιπτώσεις για το εθνικό ενεργειακό μείγμα και την ενεργειακή ασφάλεια

Αυτή η μελέτη ανέλαβε μια ολοκληρωμένη ανάλυση SWOT (Δυνατά σημεία, Αδυναμίες, Ευκαιρίες και Απειλές) για να αξιολογήσει τη χρήση της βιομάζας στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα ρίχνουν φως τόσο στα πιθανά πλεονεκτήματα όσο και στα εμπόδια που συνδέονται με τη βιομάζα και προσφέρουν πληροφορίες για την ενίσχυση της θέσης της στο ενεργειακό μείγμα της χώρας.

Δυνατά σημεία:

- Αφθονία πόρων βιομάζας: Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό βιομάζας, ιδιαίτερα σε υπολείμματα γεωργίας και δασοκομίας, καθώς και ζωικής κοπριάς, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας.
- Ευνοϊκές κλιματολογικές και γεωγραφικές συνθήκες: Το κλίμα και η γεωγραφία της Ελλάδας ευνοούν την καλλιέργεια ενεργειακών καλλιεργειών και την παραγωγή βιομάζας.
- Διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος: Μειώνοντας την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα μέσω της χρήσης βιομάζας, η Ελλάδα μπορεί να διαφοροποιήσει τις πηγές ενέργειας της, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή ασφάλεια.
- Αγροτική ανάπτυξη και δημιουργία θέσεων εργασίας: Η χρήση της βιομάζας μπορεί να ενισχύσει την αγροτική ανάπτυξη και να δημιουργήσει ευκαιρίες απασχόλησης σε όλους τους τομείς της γεωργίας, της δασοκομίας και της ενέργειας.

Αδυναμίες:

- Περιορισμένη υποδομή: Η τρέχουσα υποδομή της Ελλάδας για συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά βιομάζας είναι ανεπαρκής και απαιτεί επενδύσεις.
- Έλλειψη ευαισθητοποίησης του κοινού: Η ανεπαρκής ευαισθητοποίηση και κατανόηση της βιομάζας και των πλεονεκτημάτων της εμποδίζουν την ευρεία υιοθέτησή της.
- Κατακερματισμένη ιδιοκτησία γης: Η μικρή και κατακερματισμένη φύση της ιδιοκτησίας γης στην Ελλάδα θέτει προκλήσεις για την αποτελεσματική και μεγάλης κλίμακας παραγωγή βιομάζας.

- **Ανεπαρκής υποστήριξη πολιτικής:** Η έλλειψη υποστηρικτικών πολιτικών λειτουργεί ως εμπόδιο στην ανάπτυξη και τη χρήση των πόρων βιομάζας.

Ευκαιρίες:

- **Στόχοι και υποστήριξη της ΕΕ:** Οι στόχοι της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι ευκαιρίες χρηματοδότησης μπορούν να τονώσουν την ανάπτυξη του τομέα της βιομάζας στην Ελλάδα.
- **Τεχνολογικές εξελίξεις:** Η συνεχής ανάπτυξη τεχνολογιών μετατροπής βιομάζας μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας.
- **Ενσωμάτωση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η βιομάζα μπορεί να ενσωματωθεί με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια για τη δημιουργία υβριδικών συστημάτων, βελτιώνοντας τη σταθερότητα του δικτύου.
- **Διαχείριση απορριμμάτων και κυκλική οικονομία:** Η χρήση βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση των πρακτικών διαχείρισης απορριμμάτων και να προωθήσει τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Απειλές:

- **Ανταγωνισμός για πόρους:** Ο ανταγωνισμός για πόρους βιομάζας για μη ενεργειακούς σκοπούς μπορεί να επηρεάσει τη διαθεσιμότητά τους για παραγωγή ενέργειας.
- **Περιβαλλοντικές ανησυχίες:** Οι μη βιώσιμες πρακτικές παραγωγής βιομάζας θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της υποβάθμισης της γης, της ρύπανσης των υδάτων και της απώλειας βιοποικιλότητας.
- **Κυμαινόμενες τιμές ορυκτών καυσίμων:** Η αστάθεια στις τιμές των ορυκτών καυσίμων μπορεί να επηρεάσει την ανταγωνιστικότητα της βιομάζας ως πηγής ενέργειας.
- **Κλιματική αλλαγή:** Η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα και την παραγωγικότητα των πόρων βιομάζας, θέτοντας μακροπρόθεσμες προκλήσεις βιωσιμότητας.

Με βάση την ανάλυση SWOT, η μελέτη συνιστά στην Ελλάδα να επικεντρωθεί στη βελτίωση των υποδομών βιομάζας, στην ενίσχυση της ευαισθητοποίησης του κοινού, στην εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών και στην προώθηση βιώσιμων πρακτικών παραγωγής. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων μπορεί να επιτρέψει στη βιομάζα να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας και να συμβάλει στην επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης.

6.3. Κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη

Η θέση της Ελλάδας ως η 13η μεγαλύτερη παραγωγός βιοαερίου μεταξύ των 28 ευρωπαϊκών χωρών είναι αξιοσημείωτη. Τα επίσημα στατιστικά στοιχεία της Ελληνικής Εταιρείας Ανάπτυξης Βιομάζας (2017) αποκαλύπτουν μια πολλά υποσχόμενη τάση: αύξηση των αιτήσεων για νέους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας, υποδηλώνοντας σημαντικό αναξιοποίητο δυναμικό. Το 2017, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδότησε τη μελέτη ISABEL στο πλαίσιο του προγράμματος HORIZON 2020, με επίκεντρο την Έρευνα και την Καινοτομία. Αυτή η πρωτοβουλία υπογραμμίζει τις ευκαιρίες απασχόλησης και τα οικονομικά οφέλη που συνδέονται με τη χρήση βιοαερίου, τονίζοντας τον ρόλο της στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και στη βελτίωση της συνολικής ευημερίας. Η Ελλάδα, με 19 καταγεγραμμένες μονάδες βιοαερίου συνολικής ισχύος περίπου 50 MW, συμπεριλαμβανομένων χώρων υγειονομικής ταφής και Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων, διαθέτει ευνοϊκές συνθήκες για να ανέβει στην ενεργειακή ιεραρχία, μετατρέποντας έτσι τη βιομάζα σε πολύτιμο κοινωνικό αγαθό (Enetpress, 2017). Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει, όπως οι παρατεταμένες επιπτώσεις της χρηματοπιστωτικής κρίσης, ο τομέας της βιοενέργειας στην Ελλάδα παρουσιάζει το πιο υποσχόμενο αναπτυξιακό δυναμικό σε σύγκριση με άλλους τομείς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Ibbk-biogas, 2021).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι ο μεγαλύτερος παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), με τριπλάσια κατά κεφαλήν παραγωγή από οποιαδήποτε άλλη περιοχή του κόσμου. Αυτό που έχει σημασία είναι ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση διαθέτει μια μεγάλη εσωτερική αγορά και επίσης μια πολύ μεγάλη εξωτερική οικονομική επιρροή, καθώς πωλεί ανανεώσιμη ενέργεια στο εξωτερικό για 35 δισεκατομμύρια ευρώ κάθε χρόνο. Ένα τέτοιο επίτευγμα οφείλεται στις υποκείμενες πολιτικές που θα μπορούσαν να αναχθούν στην επικύρωση της οδηγίας 2001/77/EK, η οποία, στην πραγματικότητα, παρείχε ένα πλαίσιο για την προώθηση της βιομάζας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Alatzas et al, 2019). Ο τομέας της βιοενέργειας μπορεί να προωθήσει την οικονομική ανάπτυξη, να δημιουργήσει θέσεις εργασίας και να προωθήσει την ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών. Η χρήση γεωργικών και δασικών αποβλήτων για βιοενέργεια, υπό κατάλληλη διαχείριση, θα μπορούσε να συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στις στρατηγικές διαχείρισης αποβλήτων και στον μετριασμό των εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου. (IEA, 2023) Η καινοτομία στην τεχνολογία είναι επίσης δυνατή, εάν η έρευνα και η ανάπτυξη προωθούνται στον τομέα της βιοενέργειας προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης αποδοτικότητας και κόστους-αποτελεσματικότητας στην παραγωγή βιοενέργειας. (Πανούτσου, 2008). Ο τομέας της βιοενέργειας μπορεί να προσφέρει οποιοδήποτε από τα ακόλουθα είδη κοινωνικών οφελών, συμπεριλαμβανομένων της ενεργειακής ασφάλειας, της συμμετοχής της κοινότητας και της κοινωνικής δικαιοσύνης, μέσω της παροχής προσιτών και οικονομικά αποδοτικών εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την αντικατάσταση των φιλικών προς το περιβάλλον ορυκτών καυσίμων

Τα παραπάνω θα σήμαιναν, να κατανοήσουμε πώς το συγκεκριμένο γεωπολιτικό και οικονομικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η Ελλάδα θέτει συγκεκριμένες προκλήσεις και ευκαιρίες. Αναλυτικότερα, το σχέδιο της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη βιωσιμότητα εισάγει μια πολύτιμη ευκαιρία για την ανάπτυξη του τομέα της βιοενέργειας στην Ελλάδα. Ωστόσο, η Ελλάδα έχει αδυναμίες όπως οι οικονομικοί περιορισμοί και η έλλειψη ανάπτυξης υποδομών. Μέσω των αναλύσεων της επιτυχημένης ενσωμάτωσης της βιοενέργειας σε συγκρίσιμες συνθήκες της ΕΕ, η Ελλάδα θα είναι σε θέση να προσδιορίσει τρόπους υπέρβασης αυτών των εμποδίων. Για παράδειγμα, εάν οι εθνικές πολιτικές ευθυγραμμιστούν με τις οδηγίες της ΕΕ, τότε οι χρηματοδοτικοί μηχανισμοί της ΕΕ θα διευκολύνουν μια βιώσιμη για τη βιοενέργεια ανάπτυξη. Η συνεργασία με κράτη μέλη της ΕΕ που ανέπτυξαν με επιτυχία τους τομείς της βιοενέργειας παρέχει στην Ελλάδα έναν οδικό χάρτη για την αποτελεσματική αξιοποίηση του δυναμικού της βιοενέργειας.

Οι μελλοντικές προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της βιοενέργειας που προέρχεται από γεωργικά και δασικά απόβλητα στην Ελλάδα θα πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην επίτευξη ενός πιο ολοκληρωμένου και αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων βιομάζας. Αυτό συνεπάγεται τη βελτίωση της υποδομής για τη συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά βιομάζας για τη διευκόλυνση της αποτελεσματικής χρήσης των γεωργικών και δασικών αποβλήτων. Η πρόοδος τέτοιων υποδομών θα πρέπει να συμπληρωθεί με την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων που επιτρέπουν την αποτελεσματική μετατροπή της βιομάζας σε χρησιμοποιήσιμες μορφές ενέργειας. Μια άλλη κρίσιμη εστίαση για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες είναι η ενίσχυση της ευαισθητοποίησης και της κατανόησης του κοινού σχετικά με τα οφέλη και τις δυνατότητες της βιοενέργειας. Οι πρωτοβουλίες ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην αποσαφήνιση των περιβαλλοντικών και οικονομικών

πλεονεκτημάτων της βιοενέργειας, ενώ υποστηρίζουν επίσης πρακτικές βιώσιμης παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Επιπλέον, τα μελλοντικά ερευνητικά προγράμματα θα πρέπει να περιλαμβάνουν την εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών και κανονισμών. Αυτές οι πολιτικές θα πρέπει να δίνουν κίνητρα για την ανάπτυξη του τομέα της βιοενέργειας, να ενισχύουν την έρευνα και την καινοτομία και να διασφαλίζουν τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική συμβατότητα των διαδικασιών παραγωγής και χρήσης της βιοενέργειας. Τέλος, οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να επιδιώξουν την προώθηση βιώσιμων πρακτικών παραγωγής βιοενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στην ολοκληρωμένη διαχείριση απορριμμάτων και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της διαδικασίας μετατροπής. Η προτεραιότητα στην εξερεύνηση νέων πηγών βιομάζας, η διύλιση των τεχνολογιών μετατροπής και η αξιοποίηση των συνεργειών μεταξύ των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι υψίστης σημασίας για την ενίσχυση του ρόλου της βιοενέργειας στο εθνικό ενεργειακό τοπίο της Ελλάδας και τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κλιματική αλλαγή επιβάλλει επείγουσα δέσμευση για βιώσιμες ενεργειακές λύσεις. Το παρόν έγγραφο, ως εκ τούτου, δίνει έμφαση στον κρίσιμο ρόλο που πρέπει να διαδραματίσει η βιομάζα ως πρωτογενής πηγή ενέργειας, ιδίως στην Ελλάδα. Τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, που είναι διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες, φέρνουν τη χώρα σε ιδανική θέση για να καταστήσουν δυνατή την ενεργειακή αυτάρκεια και την περιβαλλοντική ασφάλεια. Μέσω της λεπτομερούς ανάλυσης του αντικειμένου των τομέων της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, συμπεριλαμβανομένης της ιστορικής εξέλιξης, της βελτίωσης της τεχνολογίας, της οικονομικής βιωσιμότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, άλλες σχετικές περιοχές που αναφέρθηκαν κατάφεραν να ενισχύσουν τη σημασία της. Ένα μεγάλο κομμάτι του δυναμικού βιομάζας στην Ελλάδα ξεπερνά τους 2,13 εκατομμύρια τόνους ετησίως, που προέρχονται κυρίως από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Υπό αυτές τις συνθήκες, η Ελλάδα φαίνεται να βρίσκεται σε ιδανική θέση για να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία υπό τις παρούσες συνθήκες είναι απαραίτητα για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Επιπλέον, η εκθετική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού τους τελευταίους αιώνες υπογραμμίζει την ανάγκη ενίσχυσης της γεωργικής παραγωγής. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας αποδείχθηκε ότι αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα ώθησης των οικονομικών και προσαρμοσμένων διαδικασιών για την παραγωγή ποιοτικών τροφίμων. Από την άλλη πλευρά, αυτό αύξησε την ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται λόγω αυτού του τομέα, με ολέθριες συνέπειες τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη ευημερία. Αυτή η αύξηση της παραγωγής αποβλήτων εντείνεται και καθίσταται μια από τις σημαντικές προκλήσεις σε ολόκληρο τον κόσμο. Η ρύπανση και η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι σημαντικές εκδηλώσεις μέσω των οποίων εκφράζεται αυτή η πρόκληση. Είναι τέτοια η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση των οργανικών αποβλήτων που έχουν επιβληθεί αυστηροί περιορισμοί και καινοτόμες τεχνολογίες για την επεξεργασία των αποβλήτων ώστε να μειωθεί η ποσότητα/όγκος και ο χώρος που απαιτείται για τη διάθεσή τους, παράλληλα με την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει εκδώσει αρκετές οδηγίες που αξιοποίησαν τα στερεά απόβλητα και τη διαχείρισή τους, ώστε να αποτελέσουν μέρος του κανονιστικού πλαισίου με το οποίο καθοδηγούνται και τυποποιούνται οι πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων εντός της Ένωσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αποσκοπούν στην παρακίνηση μιας πιο βιώσιμης διαχείρισης των

αποβλήτων, με συγκεκριμένους στόχους που αποσκοπούν στη μείωση της παραγωγής αποβλήτων και στην ενθάρρυνση της ανακύκλωσης και της βιώσιμης χρήσης των υλικών. Δεδομένων των προκλήσεων που αφορούν τη διαχείριση των αποβλήτων και την εναρμόνιση σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ελλάδα έχει ενσωματώσει την ευρωπαϊκή νομοθεσία στο εθνικό της κανονιστικό πλαίσιο, ακολουθώντας μια ολοκληρωμένη και βιώσιμη προσέγγιση στη διαχείριση των αποβλήτων. Βασικός στόχος της εθνικής στρατηγικής είναι η προώθηση της κυκλικής οικονομίας και η ανάπτυξη εφαρμογών για την αποδοτική χρήση των πόρων, υποστηρίζοντας τη συμμετοχή και την ενεργό ενημέρωση των πολιτών σε πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων. Οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες θα πρέπει να προσανατολιστούν στην αύξηση των πρακτικών βιώσιμης παραγωγής ενέργειας από βιομάζα μέσω της σημαντικής συμμετοχής στη διαχείριση των αποβλήτων και της μεγιστοποίησης της απόδοσης στις διαδικασίες μετατροπής. Θα πρέπει να αναζητηθούν νέες πηγές βιομάζας και να βελτιστοποιηθούν νέες τεχνολογίες μετατροπής, καθώς και συνέργειες μεταξύ διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτού του είδους η προσπάθεια απαιτείται προκειμένου να ενισχυθεί η συμβολή της βιοενέργειας στο εθνικό ενεργειακό τοπίο και να πραγματοποιηθεί η ενεργειακή ασφάλεια στην Ελλάδα.

Η βιοενέργεια αποτελεί κρίσιμο συστατικό στο ολοκληρωμένο χαρτοφυλάκιο μέτρων και τεχνολογιών που απαιτούνται για την επίτευξη του Σεναρίου Βιώσιμης Ανάπτυξης (2DS), που προβλέπεται να παρέχει το 17% της σωρευτικής εξοικονόμησης εκπομπών έως το 2060. Η σημασία της είναι ιδιαίτερα έντονη σε τομείς όπου υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Οι λύσεις είναι περιορισμένες ή όπου μπορεί να συμπληρώσει άλλες επιλογές χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Συγκεκριμένα, η βιοενέργεια διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων (συμπεριλαμβανομένων των αεροπορικών και διεθνών μεταφορών και των βαρέων εμπορευμάτων), στις βιομηχανικές εφαρμογές και στην παροχή ευέλικτης παραγωγής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα για τη συμπλήρωση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο πλαίσιο του Σεναρίου Πέρα από τους 2 βαθμούς Κελσίου (B2DS), ο ρόλος της Βιοενέργειας με δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (BECCS) γίνεται κρίσιμος, δεδομένης της δυνατότητάς της να μεγιστοποιεί τα οφέλη του άνθρακα. Παρά τις πολλές εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες, ο τρέχων ρυθμός ανάπτυξης της βιοενέργειας όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και τη μεταφορά υπολείπεται των απαιτήσεων του 2DS. Για να επιταχυνθεί η βιώσιμη ανάπτυξη της βιοενέργειας, έχουν προσδιοριστεί τέσσερις βασικοί τομείς δράσης:

1. Επιτάχυνση της ανάπτυξης αποδεδειγμένων λύσεων βιοενέργειας: Υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για ευρεία ανάπτυξη εμπορικών τεχνολογιών βραχυπρόθεσμα, αποφέροντας άμεση εξοικονόμηση CO₂, ενεργειακή ασφάλεια και πρόσθετα οφέλη. Ωστόσο, η επίτευξη αυτής της επιτάχυνσης απαιτεί ένα ευνοϊκό πολιτικό και ρυθμιστικό περιβάλλον για τη διευκόλυνση της χρηματοδότησης και της ανάπτυξης έργων.
2. Διευκόλυνση της ανάπτυξης νέων τεχνολογιών βιοενέργειας: Η επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων βιοενέργειας του 2DS απαιτεί συνδυασμό ώριμων και νέων τεχνολογιών προσαρμοσμένων στις απαιτήσεις της αγοράς. Έχει σημειωθεί πρόσφατη πρόοδος σε τεχνολογίες όπως το HVO από απόβλητα και υπολείμματα, η κυτταρινική αιθανόλη, η αεριοποίηση και η πυρόλυση, αλλά η συνεχής υποστήριξη και οι συγκεκριμένες πολιτικές είναι απαραίτητες για τη συνεχή ανάπτυξη και ανάπτυξή τους.
3. Κινητοποίηση βιώσιμου εφοδιασμού βιομάζας: Η επίτευξη της προβλεπόμενης αύξησης της προσφοράς βιομάζας απαιτεί πενταπλάσια επέκταση, που περιλαμβάνει κινητοποίηση διαφόρων πόρων βιομάζας και αποβλήτων. Αυτό συνεπάγεται τη χρήση μέτρων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης της γης και των πόρων, την προώθηση της καινοτομίας για τη μεγιστοποίηση των οφελών του άνθρακα και την ενίσχυση της αποδοτικότητας του άνθρακα στους βιολογικούς πόρους μέσω ολοκληρωμένων συστημάτων.
4. Ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας για τη βιοενέργεια: Η αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ διεθνών οργανισμών είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό ευκαιριών περιφερειακής ανάπτυξης, τη δημιουργία τεχνικής και ρυθμιστικής ικανότητας και την κινητοποίηση επενδύσεων σε βιώσιμη βιοενέργεια. Η διευρυμένη συνεργασία που περιλαμβάνει φορείς ανάπτυξης, περιβάλλοντος και χρηματοδότησης είναι απαραίτητη για την κλιμάκωση των επενδύσεων σε βιώσιμη βιοενέργεια, με στόχο να φθάσουν περίπου τα 200 δισεκατομμύρια USD ετησίως μέχρι το τέλος των περιόδων του σεναρίου.

Με άλλα λόγια, η παραγωγή βιομάζας θα αποτελέσει τη βασική στρατηγική για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αξιοποιώντας τα σημαντικά γεωργικά και δασικά υπολείμματα της Ελλάδας για την ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της περιβαλλοντικής ασφάλειας. Από την άλλη πλευρά, η επιτυχής παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη συμπερίληψη βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης

αποβλήτων. Η αποτελεσματική διαχείριση και αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων ελαχιστοποιεί την επιβλαβή για το περιβάλλον ρύπανση και μεγιστοποιεί το δυναμικό βιομάζας για ανανεώσιμη ενέργεια. Από την άποψη αυτή, θα πρέπει να προωθηθεί περαιτέρω η κυκλική οικονομία, οι καινοτόμες τεχνολογίες για την επεξεργασία των αποβλήτων και η ενεργός συμμετοχή των πολιτών. Η ενσωμάτωση της βιώσιμης διαχείρισης των αποβλήτων με τις σύγχρονες τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας μπορεί, επομένως, να υποστηρίξει την επίτευξη των παγκόσμιων κλιματικών στόχων θέτοντας την πορεία για ένα ισχυρό και βιώσιμο ενεργειακό μέλλον για την Ελλάδα.

8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξένη βιβλιογραφία.

- Anton Larsson, Ingemar Gunnarsson, & Freddy Tengberg. (n.d.). *The GoBiGas Project Demonstration of the Production of Biomethane from Biomass via Gasification*. Retrieved from https://www.goteborgenergi.se/Files/Webb20/Kategoriserad%20information/Forskningssprojekt/The%20GoBiGas%20Project%20-%20Demonstration%20of%20the%20Production%20of%20Biomethane%20from%20Biomass%20v%20230507_6_0.pdf
- Berndes, G. 1966-. (2001). Biomass in the the Energy System: Resource Requirements and Competition for Land. *Gupea.ub.gu.se*. Retrieved from <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/14726>
- Blumenstein, B., Siegmeier, T., Bruckhaus, C., Anspach, V., & Möller, D. (2015). Integrated Bioenergy and Food Production—A German Survey on Structure and Developments of Anaerobic Digestion in Organic Farming Systems. *Sustainability*, 7(8), 10709–10732. <https://doi.org/10.3390/su70810709>
- Boukis, I., Vassilakos, N., Kontopoulos, G., & Karellas, S. (2009). Policy plan for the use of biomass and biofuels in Greece Part I: Available biomass and methodology. *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 971–985. <https://doi.org/xxxxxxxxxx>
- Burger, M., Graeber, B., & Schindlmayr, G. (2014). Chapter 2: Renewable Energy – Managing. In *Energy Risk: A Practical Guide for Risk Management in Power, Gas and Other Energy Markets* (2nd ed.). West Sussex, UK: John Wiley & Sons Inc.
- Čurović. (2016). Agriculture and Forestry. Retrieved from www.agricultforest.ac.me website: <http://www.agricultforest.ac.me/paper.php?id=2608>
- Dong, L., Liu, H., & Riffat, S. (2009). Development of small-scale and micro-scale biomass-fuelled CHP systems – A literature review. *Elsevier Applied Thermal Engineering*, 29(11), 2119–2126. <https://hal.science/hal-00521087/document>
- Faaij, A. P. C. (2006). Bio-energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34(3), 322–342. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.026>

- Fanchi, J. (2004). *Energy: Technology and Directions for the Future - Chapter 14: Energy Economics and the Environment*. Elsevier Inc., USA.
- Ferreira, S., Monteiro, E., Brito, P., & Vilarinho, C. (2017). Biomass resources in Portugal: Current status and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1221–1235. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.140>
- Gomes, J., Puna, J., Marques, A., Gominho, J., Lourenço, A., Galhano, R., & Ozkan, S. (2022). Clean Forest—Project Concept and Early Results. *Energies*, 15(24), 9294. <https://doi.org/10.3390/en15249294>
- Jacob Marsh. (2019, December 24). Pros And Cons of Biomass | EnergySage. Retrieved from www.energysage.com website: <https://www.energysage.com/about-clean-energy/biomass/pros-and-cons-biomass/>
- Lauri, P., Havlík, P., Kindermann, G., & Forsell, N. (2014). Woody biomass energy potential in 2050. *Energy Policy*, 66, 19-31.
- Lauri, P., Maarit, A., Kallio, I., Schneider, U., Uçkun, K., Stamatelatos, K., Antonopoulou, G., & Lyberatos, G. (2012). Price of CO2 emissions and use of wood in Europe. *Forest Policy and Economics*, 15, 123-131.
- Luque, R., Lin, C. S. K., Wilson, K., & Clark, J. (2016). *Handbook of Biofuels Production Processes and Technologies*.
- Markowski-Lindsay, M., Catanzaro, P., Damery, D., Kittredge, D., Butler, B., & Stevens, T. (2012). Forest-based biomass supply in Massachusetts: How much is there and how much is available. *Journal of Environmental Management*, 106, 1-7.
- Mcfarland, K. (2017, October 24). Biomass Advantages and Disadvantages. Retrieved from SynTech Bioenergy website: <https://www.syntechbioenergy.com/blog/biomass-advantages-disadvantages>
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00118-3)
- Nabuurs, G.-J., Schelhaas, M.-J., Mohren, G. frits M. J., & Field, C. B. (2003). Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology*, 9(2), 152–160. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00570.x>

- Panoutsou, C., Perakis, C., Elbersen, B., Zheliezna, T., & Staritsky, I. (2017, January 1). Chapter 7 - Assessing Potentials for Agricultural Residues (C. Panoutsou, Ed.). Retrieved February 11, 2024, from ScienceDirect website: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128123034000070?via%3Dihub>
- К.Р. Rukomojnikov, & Татьяна Игоревна Сергеева. (2021). Modeling of the bioenergetic potential of forest plots. *IOP Conference Series*, 876(1), 012066–012066. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/876/1/012066>
- Rikkonen, P., Tapio, P., & Rintamäki, H. (2019). Visions for small-scale renewable energy production on Finnish farms – A Delphi study on the opportunities for new business. *Energy Policy*, 129, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.004>
- Rozakis, S., Haque, Md. I., Natsis, A., Borzecka-Walker, M., & Mizak, K. (2012). Cost-effectiveness of bioethanol policies to reduce carbon dioxide emissions in Greece. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(2), 306–318. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0471-2>
- Sabonnadière, J.-C. (2009). *Renewable Energies*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Stasko, T., Conrado, R., Wanklerl, A., & Labatut, R. (2011). Mapping woody-biomass supply costs using forest inventory and competing industry data. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 263-271.
- Skoulou, V., & Zabaniotou, A. (2007). Investigation of agricultural and animal wastes in Greece and their allocation to potential application for energy production. *Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(8), 1698–1719. <https://doi.org/xxxxxxxxxx>
- Stidham, M., & Simon-Brown, V. (2011). Stakeholder perspectives on converting forest biomass to energy in Oregon, USA. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 203-213
- Schorling, M., Enders, C., & Voigt, C. A. (2014). Assessing the cultivation potential of the energy crop *Miscanthus × giganteus* for Germany. *GCB Bioenergy*, 7(4), 763–773. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12170>
- Voulgaris, F., Agiomirgianakis, G., & Papadogonas, T. (2014). Job creation and job destruction in economic crisis at firm level: the case of Greek manufacturing

sectors. *International Economics and Economic Policy*, 12(1), 21–39.
<https://doi.org/10.1007/s10368-014-0287-6>

- Verkerk, P., Anttila, P., Eggers, J., Lindner, M., & Asikainen, A. (2011). The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 2007-2015.
- Verkerk, P., Levers, C., & Kuemmerle, T. (2015). Mapping wood production in European forests. *Forest Ecology and Management*, 357, 228-238.
- Wilnhammer, M., Rothe, A., Weis, W., & Wittkopf, S. (2012). Estimating forest biomass supply from private forest owners: A case study from Southern Germany. *Biomass and Bioenergy*, 47, 177-187.
- Zhang, Z., O’Hara, I. M., Mundree, S., Gao, B., Ball, A. S., Zhu, N., Bai, Z., & Jin, B. (2016). Biofuels from food processing wastes. *Current Opinion in Biotechnology*, 38, 97-105.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Alatzas, S., Moustakas, K., Malamis, D., & Vakalis, S. (2019). Biomass Potential from Agricultural Waste for Energetic Utilization in Greece. *Energies*, 12(6), 1095.
<https://doi.org/10.3390/en12061095>
- Δέλιος, Κ., Κουτρούλης, Α., & Χηνητήρη, Ε. (2014). Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας. ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Τμήμα Μηχανολογικών Εργασιών.
- Γεωργακάκης, Δ. (2003). Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων Τόμος Γ’ - Στερεά Γεωργικά Απόβλητα. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Γεωργιάδης, Θ., Ζιώμας, Ι., Ιγνατιάδου, Α., Καλλέργης, Γ., Καμπεζίδης, Χ., Κομνίτσας, Κ., Παπαθεοδώρου, Γ., Ρεμουντάκη, Ε., Σκορδίλης, Α., & Φερεντίνος, Γ. (2003). Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση, Τόμος Δ’ Διάθεση Αποβλήτων και οι Επιπτώσεις τους στο Περιβάλλον. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Δενδρινός, Γ., Ράπτης, Γ. , & Σκανδαλάρος, Γ. (2015). Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής για την Προστασία των Νερών από τη Νιτρορύπανση Γεωργικής Προέλευσης | Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Retrieved from [www.opengov.gr website: http://www.opengov.gr/minenv/?p=6540](http://www.opengov.gr/minenv/?p=6540)

- Καλτσούνη, Β. (2010). Διαχείριση αποβλήτων αγελαδοτροφικών μονάδων. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων & ΤΕΙ Ηπείρου, Ιούνιος 2010.
- Κερατιώτης, Χ. (2017). Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων στην Περιφέρεια Κρήτης. ΕΜΠ, Οκτώβριος 2017.
- Κουλούρη, Ο. (2018). Διαχείριση γεωργικών-κτηνοτροφικών αποβλήτων σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. ΕΑΠ, Ιούλιος 2018.
- Μανιός, Θ. (2016). Διαχείριση Γεωργικών Αποβλήτων Τόμος Α & Β. ΑΤΕΙ Κρήτης, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ηράκλειο.
- Manthos, G., Zagklis, D., Ali, S. S., Zafiri, C., & Kornaros, M. (2023). Techno-Economic Evaluation of the Thermochemical Energy Valorization of Construction Waste and Algae Biomass: A Case Study for a Biomass Treatment Plant in Northern Greece. *Processes*, 11(5), 1549. <https://doi.org/10.3390/pr11051549>
- Margaritis, N., Rakopoulos, D., Mylona, E., & Grammelis, P. (2015). Introduction of renewable energy sources in the district heating system of Greece. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 4, 43–56. <https://doi.org/10.5278/IJSEPM.2014.4.5>
- Moustakas, K., Parmaxidou, P., & Vakalis, S. (2020). Anaerobic digestion for energy production from agricultural biomass waste in Greece: Capacity assessment for the region of Thessaly. *Energy*, 191, 116556. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116556>
- Μπουτέτσιου, Ε. Γ., & Boutetsiou, Ε. Γ. (2010, October 20). Ενεργειακή αξιοποίηση δασικής βιομάζας - Η περίπτωση του Μετσόβου. Retrieved from dspace.lib.ntua.gr website: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/3648>
- Panoutsou, C. (2008). Bioenergy in Greece: Policies, diffusion framework and stakeholder interactions. *Energy Policy*, 36(10), 3674–3685. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.012>
- Paschalidou, A., Tsatiris, M., & Kitikidou, K. (2016). Energy crops for biofuel production or for food? - SWOT analysis (case study: Greece). *Renewable Energy*, 93, 636–647. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.040>
- Σκαράκης. (2006). ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ. Ευκαιρία για την ελληνική γεωργία ; Γ. Ν. Σκαράκης Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών - PDF ΔΩΡΕΑΝ Λήψη. Retrieved from

docplayer.gr website: <https://docplayer.gr/16559609-Energeiaka-fyta-eykairia-gia-tin-elliniki-georgia-g-n-skarakis-geoponiko-panepistiuiio-athinon.html>

- 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. <https://doi.org/10.3390/w12113074>
- Tsita, K. G., Kiartzis, S. J., Ntavos, N. K., & Pilavachi, P. A. (2020). Next generation biofuels derived from thermal and chemical conversion of the Greek transport sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 17, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.100387>
- Χρήστου, Μ. (2006). *Ενεργειακές καλλιέργειες στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο*. Retrieved from http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/EKDHLVSEIS/EKDHLWSEIS_2004-2006/BIOKAYSIMA/Tab/11.pdf

Νομολογία.

- Ελληνική Δημοκρατία. (2006). Νόμος 3468/2006: Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις. ΦΕΚ 129/Α/27-6-2006.
- Ελληνική Δημοκρατία. (2010). Νόμος 3851/2010: Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. ΦΕΚ 85/Α/4-6-2010.
- Ελληνική Δημοκρατία. (2011). Νόμος 4014/2011: Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος. ΦΕΚ 213/Α/8-9-2011.
- Ελληνική Δημοκρατία. (2013). Νόμος 4203/2013: Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις. ΦΕΚ 235/Α/28-10-2013.
- Ελληνική Δημοκρατία. (2014). Νόμος 4254/2014: Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις ('New Deal'). ΦΕΚ 85/Α/7-4-2014.

- Ελληνική Δημοκρατία. (2016). Νόμος 4414/2016: Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις. ΦΕΚ 159/Α/9-8-2016.
- Ελληνική Δημοκρατία (2020). Υ.Α. Πράξη 39 της 31.8.2020 (ΦΕΚ 185/Α` 29.9.2020) Έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ. (2020). ΠΡΑΞΕΙΣ ΥΠΟΥΡΓΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ. Retrieved from <https://www.nomotelia.gr/photos/File/185a-20.pdf>
- Ελληνική Δημοκρατία. (2017). Νόμος 4496/2017: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας με αξιοποίηση βιομάζας, βιοαερίου ή βιορευστών. ΦΕΚ 167/Α/1-9-2017.
- Ελληνική Δημοκρατία (2006). Νόμος 3468/2006 (Κωδικοποιημένος) - ΦΕΚ Α 129/27.06.2006. [online] Available at: <https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/11708/nomos-3468-2006>.
- (Οδηγία 2000/76/ΕΚ) Available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0076:20081211:EL:PDF>
- Ελληνική Δημοκρατία. (2018). Νόμος 4513/2018: Ενεργειακές Κοινότητες και άλλες διατάξεις. ΦΕΚ 5/Α/17-1-2018.
- Ευρωπαϊκή Ένωση. (2008). Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Συμβουλίου της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και για την κατάργηση ορισμένων οδηγιών. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 312/3, 22/11/2008.
- Ευρωπαϊκή Ένωση. (2012). Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 601/2012 της Επιτροπής της 21ης Ιουνίου 2012 για την παρακολούθηση και την αναφορά εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 181/30, 12/7/2012.

Ηλεκτρονικές Πηγές

- Eurostat. (2022-2023). Eurostat Statistics. Ανακτήθηκε από <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/>

- International Energy Agency. (2017). World Energy Statistics and Balances 2017. Ανακτήθηκε από <https://www.iea.org/statistics/>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (n.d.). Feeling the heat. Ανακτήθηκε από http://unfccc.int/essential_background/feeling_the_heat/items/2903.php
- European Commission. (2014). Ανακοίνωση 2014/C 200/01. Ανακτήθηκε από [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014XC0628\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014XC0628(01))
- Kyoto Protocol. (n.d.). The Kyoto Protocol. Ανακτήθηκε από https://unfccc.int/kyoto_protocol
- Bioenergy Europe. (2020). Statistical Report 2021. Retrieved from www.bioenergyeurope.org website: <https://www.bioenergyeurope.org/article.html/303#:~:text=Since%20its%20debut%20in%202007%2C>
- Desk, E. (2023, June 15). Agricultural Waste: Types, Impacts and Sustainable Management of Agricultural Waste. Retrieved February 11, 2024, from Scale Climate Action website: <https://scaleclimateaction.org/agriculture/agricultural-waste-types-impacts-and-sustainable-management/#:~:text=Learn%20about%20agricultural%20waste%2C%20its>
- ETIP Bioenergy. (n.d.). Policy & Legislation about Bioenergy. Retrieved from www.etipbioenergy.eu website: <https://www.etipbioenergy.eu/markets-policies/biofuels-policy-legislation>
- EurObserv'ER. (2022, December 22). Solid biofuels barometer 2022. Retrieved February 11, 2024, from EurObserv'ER website: <https://www.eurobserv-er.org/solid-biomass-barometer-2022/>
- European Commission. (n.d.). Bioenergy. Retrieved from research-and-innovation.ec.europa.eu website: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/energy/bioenergy_en
- EUROPEAN COMMISSION. (2022, May 18). REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition. Retrieved from European Commission website: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131
- European Commission. (2021a). *BIOMETHANE FICHE -Finland (2021)*. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-09/Biomethane_fiche_FI_web.pdf

- European Commission. (2021b). *BIOMETHANE FICHE -Germany (2021)*. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-09/Biomethane_fiche_DE_web.pdf
- European Commission. (2021c). *BIOMETHANE FICHE -Portugal (2021)*. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-09/Biomethane_fiche_PT_web.pdf
- European Commission. (2021d). *BIOMETHANE FICHE -Sweden (2021)*. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/system/files/2023-09/Biomethane_fiche_SE_web.pdf
- European Commission. (2023). Bioenergy report outlines progress being made across the EU. Retrieved from energy.ec.europa.eu website: https://energy.ec.europa.eu/news/bioenergy-report-outlines-progress-being-made-across-eu-2023-10-27_en#:~:text=Bioenergy%20produced%20from%20agricultural%2C%20forestry
- European Commission. (n.d.). Biofuels. Retrieved from energy.ec.europa.eu website: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biofuels_en#:~:text=The%20Delegated%20Regulation%20
- Energysage. (2019) “Environmental Impacts of Biomass | EnergySage.” Www.energysage.com, 24 Dec. 2019, www.energysage.com/about-clean-energy/biomass/environmental-impacts-biomass/.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2023). Bioenergy | Knowledge for policy. Retrieved from knowledge4policy.ec.europa.eu website: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/biodiversity/bioenergy_en#:~:text=Bioenergy
- Ideas, C. E. (2019, May 30). Pros and Cons of Biomass Energy. Retrieved from Clean Energy Ideas website: <https://www.clean-energy-ideas.com/biomass/bioenergy/pros-and-cons-of-biomass-energy/>
- IEA. (2023a). Greece 2023 – Analysis. Retrieved from IEA website: <https://www.iea.org/reports/greece-2023>
- IEA. (2023b). Greece 2023: Energy Policy Review - Event. Retrieved from IEA website: <https://www.iea.org/events/greece-2023-energy-policy-review>
- IEA Bioenergy. (2005). *Success Stories of Advanced Biofuels for Transport CHEMREC/HALDOR TOPSOE/VOLVO BIO-DME PROJECT Year of plant start-up: Chemrec gasifier without downstream BioDME plant in operation from*. Retrieved from

<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/11/19-AFF IEABio SuccessStories CHEMREC BioDME.pdf>

- IEA Bioenergy. (2018). Success Stories | Bioenergy. Retrieved from <https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/success-stories/>
- IEA Bioenergy. (2021). IEA Bioenergy Countries' Report – Update 2021 | Bioenergy. Retrieved from <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/iea-bioenergy-countries-report-update-2021/> website: <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/iea-bioenergy-countries-report-update-2021/>
- <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/02/2-BioPower2Gas DE Final.pdf>
- IEA Bioenergy. (n.d.). *Success Stories of Advanced Biofuels for Transport THE GOBIGAS PROJECT Year of plant start-up: 2013*. Retrieved from <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/11/13-AFF IEABio SuccessStories GoBiGas biomethane.pdf>
- International Energy Agency. (2023, July 11). Bioenergy. Retrieved from IEA website: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>
- National Geographic. (2022, May 20). Biomass Energy. Retrieved from National Geographic website: <https://education.nationalgeographic.org/resource/biomass-energy/>
- <https://www.naturgy.com/en/press-release/naturgy-will-build-its-fourth-biomethane-plant-in-lleida-to-generate-renewable-gas-using-agricultural-and-livestock-waste/>
- Naturgy to invest €1.5 million in biomethane plant in Spain. (2022, July 18). Retrieved from Bioenergy Insight Magazine website: <https://www.bioenergy-news.com/news/naturgy-to-invest-e1-5-million-in-biomethane-plant-in-spain/>
- Southern Environmental Law Center. (n.d.). Biomass energy threatens forests and communities. Retrieved from Southern Environmental Law Center website: <https://www.southernenvironment.org/topic/biomass-energy-threatens-southern-forests-and-communities/>
- Spain: Construction of the largest agro-industrial biogas plant almost completed | European Biogas Association. (n.d.). Retrieved from www.europeanbiogas.eu website:

<https://www.europeanbiogas.eu/spain-construction-of-the-largest-agro-industrial-biogas-plant-almost-completed/>

- Spain's Climate Change Act 7/2021: Key points. (2021). Retrieved from Fieldfisher website: <https://www.fieldfisher.com/en/insights/spain-s-climate-change-act-7-2021-key-points#:~:text=Act%207%2F2021%20amends%20the>
- U.S. Energy Information Administration. (2022, November 7). Biomass and the environment - U.S. Energy Information Administration (EIA). Retrieved from Eia.gov website: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/biomass-and-the-environment.php>
- U.S. Energy Information Administration. (2023, June 30). Biomass explained. Retrieved from Eia.gov website: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>
- WWF. (2017). EU bioenergy policy - position paper. Retrieved from www.wwf.eu website: <https://www.wwf.eu/?302612/EU-bioenergy-policy---position-paper#:~:text=WWF%27s%20briefing%20paper%20argues%20that>