

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΣΚΕΥΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Συγγραφείς:	Dominik Rutz ² , Rainer Janssen ² , Patrick Reumerman ¹ , Jurjen Spekreijse ¹ , Doris Matschegg ³ , Dina Bacovsky ³ , Arne Gröngroft ⁴ , Stephanie Hauschild ⁴ , Niels Dögnitz ⁴ , Emmanouil Karampinis ⁵ , Dimitrios-Sotirios Kourkoumpas ⁵ , Panagiotis Grammelis ⁵ , Kristian Melin ⁶ , Heidi Saastamoinen ⁶ , Ana Isabel Susmozas Torres ⁷ , Raquel Iglesias ⁷ , Mercedes Ballesteros ⁷ , Göran Gustavsson ⁸ , Daniella Johansson ⁸ , Anes Kazagić ⁹ , Ajla Merzić ⁹ , Dino Trešnja ⁹ , Hans Dagevos ¹¹ , Siet J. Sijtsema ¹¹ , Machiel J. Reinders ¹¹ , Marieke Meeusen ¹¹ <i>(οι αριθμοί που είναι στον εκθέτη αναφέρονται στους εταίρους του έργου στη σελίδα 4)</i>
Κριτές:	Edgar Ahn (BDI Holding GmbH), Nicholas LaPointe ²
Μεταφράσεις:	Η πρωτότυπη γλώσσα του εγχειριδίου είναι τα αγγλικά. Η μετάφραση πραγματοποιήθηκε από το ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ. Το εγχειρίδιο διατίθεται επιπλέον στις ακόλουθες γλώσσες: Βοσνιακά, Ολλανδικά, Γερμανικά, Ισπανικά. Επιπλέον, ενδέχεται να ακολουθήσει μετάφραση σε περισσότερες γλώσσες.
ISBN:	978-3-936338-74-4
Δημοσίευση:	© 2020 από WIP Renewable Energies, Μόναχο, Γερμανία
Έκδοση:	1 ^η έκδοση
Επικοινωνία:	WIP Renewable Energies, Sylvensteinstr. 2, 81369 Μόναχο, Γερμανία Dominik.Rutz@wip-munich.de Τηλ.: +49 89 720 12 739 www.wip-munich.de
Εθνικό σημείο επαφής:	Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης/Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων (ΕΚΕΤΑ/ΙΔΕΠ), Αιγιαλείας 52, Μαρούσι, Αθήνα, Ελλάδα Δημήτριος-Σωτήριος Κουρκούμπας, kourkoumpas@certh.gr Μανώλης Καραμπίνης, karampinis@certh.gr Παναγιωτής Γραμμέλης, grammelis@certh.gr Τηλ: +30 2111069500, www.certh.gr
Ιστοσελίδα:	www.BIOFIT-h2020.eu

Πνευματικά δικαιώματα:

Όλα τα δικαιώματα διατηρούνται. Κανένα μέρος αυτού του βιβλίου δε μπορεί να αναπαραχθεί με οποιαδήποτε μορφή ή με οποιονδήποτε τρόπο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για εμπορικούς σκοπούς, χωρίς να έχει προηγηθεί γραπτή άδεια από τον εκδότη. Οι συγγραφείς δεν εγγυώνται την ορθότητα ή/και την πληρότητα των πληροφοριών και των δεδομένων που περιλαμβάνονται ή περιγράφονται σε αυτό το εγχειρίδιο.

Δήλωση αποποίησης ευθυνών:

Το παρόν έργο έχει λάβει χρηματοδότηση από το πρόγραμμα Έρευνας και Καινοτομίας «Ορίζοντας 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο πλαίσιο του συμβολαίου υπ' αριθμόν 817999. Την ευθύνη για το περιεχόμενο αυτού του εντύπου φέρουν αποκλειστικά οι συγγραφείς Δεν αντιπροσωπεύει, απαραίτητα, την άποψη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο Εκτελεστικός Οργανισμός Καινοτομίας και Δικτύων (ΕΟΚΔ) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν είναι υπεύθυνοι για την όποια χρήση των πληροφοριών που περιέχονται στο παρόν έντυπο.

Ευχαριστίες

Το παρόν εγχειρίδιο εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου BIOFIT. Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τη συμβολή της στην εκπόνηση του έργου. Εκφράζουν, επίσης, τις ευχαριστίες τους στις ακόλουθες εταιρίες και υποστηρικτές του έργου: Bioenergy Europe, KnowPulp database, C-Green Technology AB, Arbaflame, Yilkins, UPM Biofuels, που τους επέτρεψαν να χρησιμοποιήσουν πληροφορίες και γραφήματά τους. Τέλος, οι συγγραφείς ευχαριστούν τους εταίρους του έργου.

Το έργο BIOFIT

Η βιοενέργεια είναι εξαιρετικά σημαντική μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, καθώς αποτελεί περίπου το 60% της συνολικά παρεχόμενης ανανεώσιμης ενέργειας στις χώρες της EU28. Με άξονα την καινοτομία, οι τεχνολογίες παραγωγής βιοενέργειας γίνονται όλο και πιο προηγμένες, με ποικίλες δυνατότητες εφαρμογής, οδηγώντας σε ενεργειακά αποδοτικές λύσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ψύξης, και καυσίμων μεταφοράς. Η μετασκευή, δηλαδή η αντικατάσταση ενός τμήματος εξοπλισμού υπάρχουσας εγκατάστασης από εξοπλισμό τεχνολογίας αιχμής, μπορεί να αποτελέσει οικονομικά αποδοτική λύση στην εφαρμογή των τεχνολογιών βιοενέργειας στη βιομηχανία. Σημειώνεται ότι οι μετασκευές είναι μία από τις ταχύτερες μεθόδους αύξησης του ποσοστού ανανεώσιμης ενέργειας, καθιστώντας βιωσιμότερη την ήδη υπάρχουσα παραγωγή ενέργειας στις βιομηχανίες της Ευρώπης.

Το έργο BIOFIT, χρηματοδοτούμενο από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την έρευνα και την καινοτομία «Ορίζοντας 2020», αποσκοπεί στη προώθηση της ενσωμάτωσης τεχνολογικών λύσεων για βιοενεργειακές μετασκευές στις βιομηχανίες της Ευρώπης. Μέσω των μετασκευών επιτυγχάνονται συχνά χαμηλότερα κόστη επένδυσης, μικρότεροι χρόνοι κατασκευής, ταχύτερη εγκατάσταση, λιγότερες απώλειες χρόνου παραγωγής, και μείωση του επενδυτικού ρίσκου. Το έργο προωθεί τεχνολογικές λύσεις για βιοενεργειακές μετασκευές σε πέντε συγκεκριμένους τομείς¹, δηλαδή:

- Βιομηχανία βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς
- Βιομηχανία επεξεργασίας χαρτοπολλτού και χαρτιού
- Διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων
- Ηλεκτροπαραγωγή από ορυκτά καύσιμα
- Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Ειδικότερα, οι στόχοι του έργου BIOFIT είναι οι ακόλουθοι:

- Ανάπτυξη 10 συγκεκριμένων προτάσεων (μελέτες περιπτώσεων) για βιοενεργειακές μετασκευές σε κάθε εξεταζόμενο βιομηχανικό φορέα, σε συνεργασία με φορείς από τη βιομηχανία και την αγορά, οι οποίοι έχουν συμφωνήσει να εξετάσουν την εφαρμογή του έργου BIOFIT στις εγκαταστάσεις τους.
- Ακριβής και αναλυτική επισκόπηση των διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων για βιοενεργειακές μετασκευές, καθώς και εξέταση των συνθηκών που καθιστούν βιώσιμη κάθε είδος βιοενεργειακής μετασκευής, και κοινοποίησή τους στις ομάδες-στόχους.
- Συμμετοχή και υποστήριξη όλων των ενδιαφερόμενων φορέων και παραγόντων της αγοράς, κυρίως όσων προέρχονται από τη βιομηχανία, μέσω της επικοινωνίας και της διάχυσης των αποτελεσμάτων, της μεταφοράς τεχνογνωσίας, της προσφοράς ευκαιριών για διάλογο μεταξύ των ενδιαφερόμενων φορέων και της διαμόρφωσης των βέλτιστων πρακτικών και εργαλείων.
- Αξιολόγηση του ευρύτερου πλαισίου (νομικού, δημοσιονομικού και πολιτικού) για τον εντοπισμό γενικών, και ειδικών για τη βιομηχανία, εμποδίων και εργαλείων.
- Παροχή συμβουλών στους υπευθύνους χάραξης πολιτικής σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο, με στόχο τη συμβολή στη διαμόρφωση τεκμηριωμένων πολιτικών, καθώς και τη στήριξη της αγοράς και του οικονομικού πλαισίου.

¹ Η επιλογή των βιομηχανιών είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του κειμένου πρόσκλησης στο πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020», υπό το οποίο υποβλήθηκε το έργο BIOFIT στην πρόσκληση υποβολής προτάσεων.

Στις βασικές δράσεις του BIOFIT περιλαμβάνονται η διάδοση των υφιστάμενων βέλτιστων τεχνολογικών λύσεων μετασκευών και η ανάπτυξη 10 μελετών περιπτώσεων μετασκευών σε συνεργασία με βιομηχανικούς εταίρους. Για την υλοποίηση των δράσεων του έργου, συμμετέχουν φορείς από τους αντίστοιχους τομείς της βιομηχανίας, οι οποίοι υποστηρίζουν το έργο μέσα από πέντε ενεργές ομάδες εργασίας.

Το έργο είναι διάρκειας τριών ετών με έναρξη τον Οκτώβριο του 2018. Η κοινοπραξία του BIOFIT αποτελείται από δεκατέσσερις εταίρους οκτώ Ευρωπαϊκών χωρών: Σουηδία, Ολλανδία, Γερμανία, Ισπανία, Φινλανδία, Αυστρία, Βοσνία-Ερζεγοβίνη και Ελλάδα. Η σύμπραξη αποτελείται από τους φορείς στον τομέα της βιομηχανίας και της έρευνας.

Η κοινοπραξία του έργου και τα εθνικά σημεία επαφής:



BTG Biomass Technology Group BV, The Netherlands¹
Patrick Reurmerman reurmerman@btgworld.com
www.btgworld.com



WIP Renewable Energies, Germany²
Dominik Rutz Dominik.Rutz@wip-munich.de
www.wip-munich.de



BIOENERGY 2020+, Austria³
Dina Bacovsky Dina.bacovsky@bioenergy2020.eu



DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Germany⁴
Arne Gröngroft Arne.Groengroeft@dbfz.de
www.dbfz.de



Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ελλάδα⁵
Μανώλης Καραμπίνης karampinis@certh.gr, Δημήτριος Κουρκούμπας
kourkoumpas@certh.gr
www.certh.gr, www.cperi.certh.gr



VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Finland⁶
Heidi Saastamoinen heidi.saastamoinen@vtt.fi
www.vttresearch.com



Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Spain⁷
Mercedes Ballesteros m.ballesteros@ciemat.es
www.ciemat.es



ESS – Energikontor Sydost AB, Sweden⁸
Daniella Johansson daniella.johansson@energikontorsydost.se
www.energikontorsydost.se



JP Elektroprivreda BiH d.d.-Sarajevo, Bosnia and Herzegovina⁹
Anes Kazagic a.kazagic@epbih.ba
www.epbih.ba



Technip Benelux B. V., The Netherlands¹⁰
Mark Wanders mark.wanders@technipfmc.com
www.TechnipFMC.com



Stichting Wageningen Research, The Netherlands¹¹
Marieke Meeusen marieke.meeusen@wur.nl
www.wageningenur.nl/lei



Swedish Biofuels AB, Sweden¹²
Andrew Hull andrew.hull@swedishbiofuels.se
www.swedishbiofuels.se



Ελληνικά Πετρέλαια, Ελλάδα¹³
Σπυρίδων Κιαρτζής skiartzis@helpe.gr
www.helpe.gr



Biocarburantes de Castilla y León S.A., Spain¹⁴
Juan María García Alonso Juan.garcia@vertexbioenergy.com
www.vertexbioenergy.com

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Το έργο BIOFIT	4
1 Εισαγωγή.....	10
2 Η διαδικασία μετασκευής.....	11
2.1 Εμπλεκόμενοι φορείς	12
2.2 Οι ρόλοι των πολιτών και των καταναλωτών	14
2.3 Κίνητρα για μετασκευή	19
3 Προμήθεια βιοενέργειας για βιομηχανίες	21
3.1 Δυναμικό βιομάζας	21
3.2 Προϊόντα βιομάζας	26
3.3 Εφοδιαστικές αλυσίδες και αλυσίδες αξιών.....	32
3.4 Πολιτικές βιωσιμότητας και πιστοποίησης	33
4 Επισκόπηση των προοπτικών μετατροπής βιομάζας.....	36
5 Μετασκευή σε μονάδες βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς	38
5.1 Επισκόπηση του τομέα	38
5.2 Προσθήκη κυτταρινικής αιθανόλης στη βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς.....	40
5.3 Αλκοόλη για αερομεταφορές.....	42
5.4 Πρόσθετο βιοντίζελ πολλαπλών πρώτων υλών.....	43
5.5 Μετατροπή γλυκερόλης σε μεθανόλη	45
5.6 Το βιομεθάνιο ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου.....	47
5.7 Ηλεκτροκαύσιμα	47
5.8 Τελικές παρατηρήσεις	50
6 Μετασκευή διυλιστήριων ορυκτών καυσίμων	51
6.1 Ανασκόπηση του τομέα.....	51
6.2 Μείωση χρήσης άνθρακα στα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων	55
6.3 Ενσωμάτωση HVO.....	57
6.4 Ενσωμάτωση των ελαίων πυρόλυσης στα διυλιστήρια	61
6.5 Τελικές παρατηρήσεις	66
7 Μετασκευή μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα και ΣΗΘ	67
7.1 Ανασκόπηση του τομέα.....	67
7.2 Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στον τομέα	68
7.3 Άμεση σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας).....	74
7.4 Έμμεση σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας)	74
7.5 Παράλληλη σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας).....	75
7.6 Αλλαγής ενεργειακής πηγής –repowering- σε βιομάζα (πλήρης μετασκευή βιοενέργειας).....	76

7.7	Θερμική επεξεργασία βιομάζας	79
7.8	Τελικές παρατηρήσεις	81
8	Μετασκευή βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού.....	82
8.1	Ανασκόπηση του τομέα	82
8.2	Διαδικασία πολτοποίησης και υπολείμματα από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού.....	84
8.3	Αιθανόλη από μαύρο/καφέ υγρό	89
8.4	Αεριοποίηση μαύρου υγρού πολτοποίησης σε DME	90
8.5	Μεθανόλη από βιομηχανίες χαρτοπολτού	90
8.6	Αξιοποίηση ιλύος χαρτοπολτού και χαρτιού	91
8.7	Εξαγωγή λιγνίνης	93
8.8	Υδροθερμική υγροποίηση	94
8.9	Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας των χαρτοβιομηχανιών 95	
8.10	Εναλλακτικά καύσιμα στην ασβεστοκάμινο και στην αεριοποίηση του φλοιού	96
8.11	Ανανεώσιμο ντίζελ από υπολείμματα ταλλελαίου της βιομηχανίας χαρτοπολτού	97
8.12	Τελικές παρατηρήσεις	98
	Αναφορές.....	101

1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες καθίσταται όλο και πιο σαφές ότι τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων είναι περιορισμένα, πεπερασμένα, και η χρήση τους δύναται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κλίμα. Με την υιοθέτηση της Συμφωνίας του Παρισιού (2015), προβλέπεται ότι η αύξηση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές θα συμβάλει, εκτός από τη μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου, στην ενίσχυση της ασφάλειας της εφοδιαστικής αλυσίδας, στην ενθάρρυνση της καινοτομίας, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και στην οικονομική ανάπτυξη.

Η Οδηγία της ΕΕ (2009) «σχετικά με την προώθηση της χρήσης της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές», όρισε για κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ ως εθνικό στόχο το 20% της κατανάλωσης ενέργειας στη ΕΕ, έως το 2020, να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές. Έκτοτε, σε πολλά κράτη-μέλη έχει σημειωθεί ταχεία ανάπτυξη της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία συχνά υπερβαίνει τους στόχους, γεγονός που αναδεικνύει την ύπαρξη ευρείας συναίνεσης στην Ευρώπη σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές. Στο πακέτο «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» (2016), η επιλογή ανάπτυξης της ανανεώσιμης ενέργειας κατοχυρώθηκε περαιτέρω με το στόχο το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να ανέλθει, έως το 2030, τουλάχιστον στο 27% του συνολικού ποσού ενέργειας που καταναλώνεται στην Ευρώπη. Το 2018, ο στόχος αυτός αναθεωρήθηκε προς τα πάνω, σε ποσοστό τουλάχιστον 32% για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο στόχος αυτός συμβαδίζει με τους στόχους του ενεργειακού χάρτη πορείας της 32

ΕΕ για το 2050, για τη σταδιακή αντικατάσταση της χρήσης ορυκτών καυσίμων από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η βιοενέργεια αποτελεί εξαιρετικά σημαντική μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, αποτελώντας, το 2017², περίπου το 60% της συνολικά παρεχόμενης ανανεώσιμης ενέργειας στις χώρες της ΕΕ28. Η βιοενέργεια θα συνεχίσει να αποτελεί σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας μελλοντικά. Στον ενεργειακό χάρτη πορείας για το 2017³ του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, σημειώνεται ότι η βιοενέργεια διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο Σενάριο «2 βαθμοί Κελσίου» (2DS), παρέχοντας 20% της συνολικής εξοικονόμησης εκπομπών CO₂ έως το 2060. Η βιοενέργεια αποτελεί αποτέλεσμα περίπλοκο και, ενίοτε, αμφιλεγόμενο ζήτημα. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση της βιοενέργειας με βιώσιμο τρόπο μπορεί να συμβάλει σε ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Οι εφαρμογές με τεχνολογίες αιχμής της βιοενέργειας είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την παραγωγή θερμότητας από την καύση του ξύλου, σε συνδυασμό με την παραγωγή βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης, και την παραγωγή καυσίμων μεταφοράς. Με άξονα την καινοτομία, οι τεχνολογίες παραγωγής βιοενέργειας καθίστανται όλο και πιο προηγμένες, με ποικίλες δυνατότητες εφαρμογής, όπως η παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών (βιοαιθανόλη πρώτης και δεύτερης γενιάς, βιοντίζελ και βιο-κηροζίνη), η παραγωγή ενδιάμεσων φορέων βιοενέργειας υψηλής απόδοσης, η παραγωγή χαμηλών εκπομπών άνθρακα στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ψύξης.

Εκτός από την ανέγερση νέων μονάδων βιοενέργειας, η μετασκευή, δηλαδή η αντικατάσταση ενός τμήματος εξοπλισμού υπάρχουσας εγκατάστασης από εξοπλισμό τεχνολογίας αιχμής, δύναται να αποτελέσει εφικτή εναλλακτική λύση για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων ή την αναβάθμιση παρωχημένου εξοπλισμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μέσω της μετασκευής επιτυγχάνονται συχνά χαμηλότερα κόστη επένδυσης, μικρότεροι χρόνοι κατασκευής, ταχύτερη εγκατάσταση, λιγότερες απώλειες χρόνου παραγωγής και μείωση του επενδυτικού ρίσκου, συγκριτικά με την απόσυρση παλαιών μονάδων και την ανέγερση νέων μονάδων βιοενέργειας.

² <http://www.europeanbioenergyday.eu/>

³ http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf

Το έργο BIOFIT, το οποίο χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα Ορίζοντας 2020 της ΕΕ, επικεντρώνεται στην υποστήριξη και την προώθηση βιοενεργειακών μετασκευών στην Ευρώπη στους τομείς της βιομηχανίας βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, της βιομηχανίας επεξεργασίας χαρτοπολτού και χαρτιού, των δυλιστηρίων ορυκτών καυσίμων, των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα και των συστημάτων συνδυασμένης παραγωγής (συμπαραγωγής) ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Η επιλογή των προαναφερομένων βιομηχανιών είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του κειμένου πρόσκλησης υποβολής προτάσεων στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος «Ορίζοντας 2020», στο οποίο εντάχθηκε και το έργο BIOFIT.

Το παρόν εγχειρίδιο με θέμα «Τεχνικές λύσεις για τη μετασκευή βιομηχανιών με χρήση βιοενέργειας», συντάχθηκε από τα μέλη της κοινοπραξίας του BIOFIT για να παρουσιάσει τις τεχνικές δυνατότητες των μετασκευών. Στο εν λόγω εγχειρίδιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογικές λύσεις μετασκευών για τους βιομηχανικούς τομείς, οι οποίοι, αν και διαφέρουν σημαντικά, ενδέχεται να αντιμετωπίσουν παρόμοιες προκλήσεις. Στόχος είναι η παροχή πληροφοριών στους ενδιαφερόμενους φορείς, καθώς και στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στις σχετικές βιομηχανίες, οι οποίοι ενδέχεται να έχουν χαμηλό επίπεδο τεχνικών γνώσεων. Το εγχειρίδιο θα πρέπει να διευκολύνει την κατανόηση του τεχνικού μέρους των δυνατοτήτων χρήσης της βιοενέργειας στις βιομηχανίες τους. Έχει συνταχθεί σε απλή γλώσσα και περιλαμβάνει ένα σύνολο από κατανοητά διαγράμματα και εικόνες.

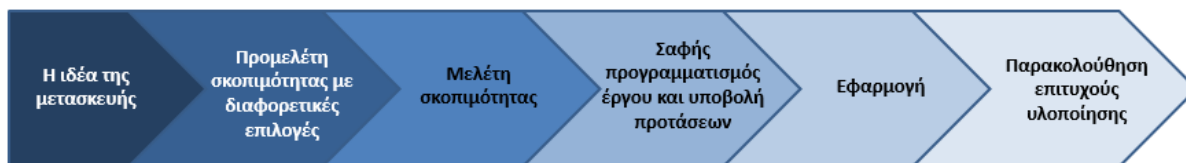
2 Η διαδικασία μετασκευής

Η βιοενεργειακή μετασκευή ορίζεται ως η αντικατάσταση ενός τμήματος εξοπλισμού υπάρχουσας εγκατάστασης από εξοπλισμό τεχνολογίας αιχμής. Με τον τρόπο αυτό, δύναται η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων ή η αναβάθμιση παρωχημένου εξοπλισμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εναλλακτική πρόταση στη μετασκευή θα μπορούσε να είναι η ανέγερση νέων μονάδων παραγωγής βιοενέργειας, η οποία όμως συνεπάγεται απεγκατάσταση του υπάρχοντος εξοπλισμού και κατεδάφιση των υπάρχοντων υποδομών. Στα πιθανά οφέλη της μετασκευής εντάσσονται τα χαμηλά κόστη επένδυσης, οι μικρότεροι χρόνοι κατασκευής, η ταχύτερη εγκατάσταση, οι λιγότερες απώλειες χρόνου παραγωγής και η μείωση του επενδυτικού ρίσκου.

Ωστόσο, στην πράξη, η μετασκευή εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το είδος της βιομηχανίας και τους στόχους που έχουν τεθεί. Η διαδικασία της μετασκευής χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- **Είδος και κλίμακα βιομηχανίας:** Το είδος και το μέγεθος της βιομηχανίας επηρεάζει πολλούς παράγοντες της μετασκευής, όπως τις τεχνολογίες, τη χρηματοδότηση, τους στόχους, κλπ.
- **Κύριο προϊόν της βιομηχανίας:** Η βιομάζα που χρησιμοποιείται στη μετασκευή μπορεί να ενσωματωθεί στις διεργασίες της βιομηχανίας (π.χ. στον τομέα επεξεργασίας χαρτοπολτού και χαρτιού) ή να αποτελέσει το προϊόν της ίδιας της βιομηχανίας (π.χ. βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς)
- **Αριθμός «βημάτων» εφαρμογής της μετασκευής:** Η διαδικασία της μετασκευής δύναται να υλοποιηθεί είτε σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα είτε σε πολλαπλά στάδια, τα οποία περιλαμβάνουν διάφορα μεμονωμένα έργα.
- **Πληρότητα της μετασκευής:** Η μετασκευή μπορεί να αποτελεί μετατροπή παλαιών μονάδων σε μονάδες αποκλειστικής καύσης βιομάζας ή σε μονάδες μερικής καύσης βιομάζας.
- **Το χρονοδιάγραμμα της μετασκευής:** Ανάλογα με το μέγεθος και το είδος της βιομηχανίας, η μετασκευή μπορεί να υλοποιηθεί είτε σε σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. εντός ενός έτους) είτε σε εκτενές χρονικό διάστημα (π.χ. αρκετά έτη).

Τα γενικά στάδια της διαδικασίας της μετασκευής παρουσιάζονται σε απλοποιημένη μορφή στην Εικόνα 1. Ανάλογα με το μέγεθός της, η διαδικασία της μετασκευής μπορεί να εξελιχθεί σε αρκετά χρονοβόρα, μακράς διάρκειας και μεγάλης έντασης κεφαλαίου, ειδικά όσον αφορά μεγάλης κλίμακας έργα.



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση απλοποιημένης διαδικασίας μετασκευής

2.1 Εμπλεκόμενοι φορείς

Για την υλοποίηση της μετασκευής μεγάλης κλίμακας βιομηχανιών εμπλέκονται φορείς που δραστηριοποιούνται στη βιομηχανία, αλλά και ενδιαφερόμενοι φορείς που είναι εκτός των δραστηριοτήτων της βιομηχανίας. Η συμμετοχή των ενδιαφερόμενων φορέων (εσωτερικών και εξωτερικών) στη διαδικασία της μετασκευής παρουσιάζεται στους Πίνακες 1 και 2. Ο ειδικός ρόλος των πολιτών και των καταναλωτών περιγράφεται στο κεφάλαιο 2.2. Σε κάθε διαδικασία μετασκευής, είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των ενδιαφερόμενων φορέων και της εμπλοκής τους στο κατάλληλο στάδιο υλοποίησης του έργου.

Πίνακας 1: Ο ρόλος των φορέων της βιομηχανίας στη διαδικασία της μετασκευής

<i>Εσωτερικά ενδιαφερόμενα μέρη</i>	<i>Ρόλος και ενδιαφέρον συμμετοχής στη διαδικασία μετασκευής</i>
Ανώτατη διοίκηση της εταιρείας	• Λαμβάνει τις κύριες αποφάσεις στην εταιρεία • Η διαχειριστική υποστήριξη του έργου μετασκευής εξαρτάται από τους συνολικούς στόχους της εταιρείας • Ίσως χρειαστεί να πεισθεί για τα οφέλη της μετασκευής • Η μετασκευή ενδέχεται να συμβάλει σε μία θετική εικόνα για την εταιρεία
Τμήμα έρευνας και ανάπτυξης	• Συνήθως έχει την ευθύνη για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση του εξοπλισμού της μετασκευής • Φέρει την ευθύνη προαγωγής της καινοτομίας στην εταιρεία
Άλλα τμήματα	• Ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μετασκευής, ενδέχεται να χρειασθεί η συμμετοχή άλλων τμημάτων της εταιρείας, όπως τα τμήματα χρηματοδότησης, προμηθειών, λειτουργίας, εξοπλισμού, διαχείρισης περιβαλλοντικών θεμάτων, κ.α.
Επιχειρησιακό και τεχνικό προσωπικό	• Το τεχνικό και επιχειρησιακό προσωπικό οφείλει να συνεισφέρει με τις επιστημονικές (τεχνικές) γνώσεις του και την επαγγελματική του εμπειρία

Πίνακας 2: Ο ρόλος των ενδιαφερόμενων φορέων (εκτός της βιομηχανίας) στη διαδικασία της μετασκευής

<i>Εξωτερικά ενδιαφερόμενα μέρη</i>	<i>Ρόλος και ενδιαφέρον συμμετοχής στη διαδικασία μετασκευής</i>
Φορείς χάραξης πολιτικής και πολιτικοί	- Καθορισμός πολιτικών στόχων και νομοθετικών διατάξεων που ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία της εταιρείας - Θετικό όφελος από τη βιομηχανική μετασκευή, καθώς συμβάλει στην επίτευξη των πολιτικών στόχων
Σύνδεσμοι βιομηχανίας και ομάδες 'λόμπι' της βιομηχανίας	- Άσκηση επιρροής στους πολιτικούς, καθώς επίσης και στη λήψη αποφάσεων της εταιρείας - Ενδέχεται να προωθήσουν ή αποθαρρύνουν την εφαρμογή της μετασκευής, ανάλογα με τους στόχους του συνδέσμου/ομάδας λόμπι της βιομηχανίας - Εκδήλωση ενδιαφέροντος για διαμόρφωση θετικής εικόνας της βιομηχανίας που εκπροσωπούν
Περιβαλλοντολόγοι, ΜΚΟ	- Η μετασκευή που συνεπάγεται σημαντικά οφέλη αναγνωρίζεται από τους περιβαλλοντολόγους - Η παραγωγή βιοενέργειας πρέπει να διασφαλιστεί ότι είναι βιώσιμη και αποτρέπει τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις - Η μετασκευή με χαμηλά οφέλη θεωρείται από ορισμένους περιβαλλοντολόγους ως «επίπλαστη οικολογική συνείδηση» ("greenwashing")
Τοπικές αρχές	- Υπεύθυνες για χορήγηση σχετικών αδειών, απαραίτητες για την υλοποίηση του έργου μετασκευής - Παροχή κινήτρων
Χρηματοοικονομικά ιδρύματα, τράπεζες	Παροχή χρηματοδότησης (δάνεια)
Πολίτες και καταναλωτές	- Εκδήλωση ενδιαφέροντος για χαμηλές τιμές σε φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα (π.χ. εταιρείες τηλεθέρμανσης επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στην παραγωγή θερμότητας από βιομάζα αντί άνθρακα, στοχεύοντας στη πιο βιώσιμη διανομή θερμότητας στους καταναλωτές) - Άσκηση επιρροής στη διαμόρφωση πολιτικών μέσω της εκλογής των κυβερνήσεων
Πάροχοι τεχνολογίας	- Πολύ σημαντική η συνεισφορά τους στην εγκατάσταση του εξοπλισμού μετασκευής - Επιθυμούν την πώληση των τεχνολογιών τους: αποσκοπούν στην παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών, με στόχο τη διασφάλιση καλής φήμης/αξιοπιστίας και την απρόσκοπτη λειτουργία τους.
Εξωτερικοί σύμβουλοι και εμπειρογνώμονες (εταιρείες, πανεπιστήμια, κλπ.)	- Σε περιπτώσεις χαμηλού επιπέδου εξειδίκευσης στη βιομηχανία ή κοστοβόρας παροχής - Εκδήλωση ενδιαφέροντος για την παροχή/πώληση συμβουλευτικών υπηρεσιών

	• Ενδέχεται να χρειασθούν ειδικοί σύμβουλοι για εγκρίσεις π.χ. σε θέματα ασφαλείας των τεχνολογιών
Δημόσιος τύπος και μέσα μαζικής ενημέρωσης	• Εκδήλωση ενδιαφέροντος για την καταγραφή των περιπτώσεων επιτυχών μετασκευών • Πληροφόρηση του κοινού με στόχο τη διαμόρφωση θετικής εικόνας

2.2 Οι ρόλοι των πολιτών και των καταναλωτών

Τα τελευταία έτη, η κλιματική αλλαγή, η απώλεια της βιοποικιλότητας και οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου βρίσκονται στο επίκεντρο του κοινωνικού, πολιτικού και δημοσιογραφικού ενδιαφέροντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού όσον αφορά στα μειονεκτήματα και τα όρια της οικονομίας που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα. Η εναλλακτική βιοοικονομία στοχεύει στη χρήση της βιομάζας έναντι των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή προϊόντων και ενέργειας. Στο ευρύτερο πλαίσιο της βιοοικονομίας, παρατηρείται μία τάση αλλαγής στους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης, οι οποίοι φαίνονται πιο ορθολογικοί και ανταποκρίνονται στη φέρουσα ικανότητα του πλανήτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο 12^{ος} Στόχος της Αειφόρου Ανάπτυξης (Sustainable Development Goal 12), που επικεντρώνεται στη διασφάλιση προτύπων βιώσιμης κατανάλωσης και παραγωγής, προωθεί, μεταξύ άλλων, την αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων και της ενέργειας.

Αν και το ενδιαφέρον στις μετασκευές επικεντρώνεται στα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που αυτές συνεπάγονται, ωστόσο είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι οι βιομηχανίες δεν δραστηριοποιούνται μέσα σε ένα 'κοινωνικό κενό'. Το τρίπτυχο της βιώσιμης ανάπτυξης είναι «Άνθρωπος – Πλανήτης – Κέρδος» (Triple P: People – Planet – Profit). Η ιδέα του Triple P βασίζεται στο γεγονός ότι οι καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις μετασκευής, που κάνουν χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προάγουν τη βιωσιμότητα όχι μόνο από τεχνολογική και οικονομική σκοπιά. Πιο αναλυτικά, η διαδικασία της μετασκευής δεν περιορίζεται μόνο στην βελτίωση της επίδοσης της επιχείρησης και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, αποτελεί, επίσης, ζήτημα κοινωνικής ευθύνης και αποδοχής του κοινού. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί εάν και με ποιο τρόπο η μετασκευή εκπληρώνει τους στόχους αποδοτικότητας (Κέρδος) – βιωσιμότητας (Πλανήτης). Είναι, επίσης, σημαντικό να διερευνηθεί εάν και σε ποιο βαθμό οι πρωτοβουλίες για μετασκευές και οι σχετικές επενδύσεις είναι κοινωνικά αποδεκτές ή ερμηνεύονται από τους **πολίτες-καταναλωτές**⁴ ως κοινωνικά και ηθικά υπεύθυνες πρακτικές.

Αδιαμφισβήτητα, αυτή η κοινωνική προοπτική δεν έχει ενσωματωθεί ακόμη στη βιοοικονομία, και συχνά θεωρείται εξεζητημένη («Ποιά είναι η συσχέτιση του ευρύ κοινού με εφαρμογές μετασκευής σε εγκαταστάσεις με χρήση βιοενέργειας;»). Οι ακόλουθες ενότητες παραθέτουν πληθώρα επιχειρημάτων για να αναδείξουν τον ενεργό ρόλο των καταναλωτών στην

⁴ Σε αυτό το κεφάλαιο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ο όρος «καταναλωτής» και περιστασιακά εναλλάσσεται με τον όρο «πολίτης-καταναλωτής». Εδώ, η έννοια του καταναλωτή ταυτίζεται με εκείνη του πολίτη ή του ευρύ κοινού. Είναι αντιληπτό ότι οι όροι «καταναλωτής» και «πολίτης» είναι αλληλένδυτοι και προσδιορίζονται από διαφορετικά κίνητρα και μοτίβα συμπεριφοράς - οι καταναλωτές παρουσιάζονται ως πιο ατομικιστές και τους διακρίνει μία τάση βραχυπρόθεσμου προσανατολισμού, ενώ οι πολίτες έχουν συλλογική συνείδηση και λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις των επιλογών τους. Η έννοια του πολίτη-καταναλωτή χρησιμοποιείται στην επιστημονική βιβλιογραφία για να μειώσει ή εξαλείψει το διαχωρισμό μεταξύ των δύο προαναφερθέντων εννοιών. Στο παρόν κεφάλαιο, δεν θα γίνει αναφορά στα εν λόγω ζητήματα. Ωστόσο, σημειώστε πως όταν αναφερόμαστε στη δέσμευση του καταναλωτή, μπορείτε ελεύθερα να το μεταφράσετε ως δέσμευση των πολιτών ή του κοινού.

περαιτέρω ανάπτυξη της αναδυόμενης βιοοικονομίας, καθώς και στη μετασκευή με χρήση βιοενέργειας.

2.2.1 Η σημασία των καταναλωτών στη βιοοικονομία

Έχουν διατυπωθεί αρκετά επιχειρήματα για την ανάδειξη της σημασίας του ρόλου της κατανάλωσης και των καταναλωτών αναφορικά με την πράσινη οικονομία.

Ζούμε σε μια καταναλωτική κοινωνία, στην οποία η κατανάλωση φέρει οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική σημασία. Η οικονομική ανάπτυξη και η ευημερία εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τους **ρυθμούς κατανάλωσης**. Στη σημερινή εποχή, η κοινωνικο-πολιτισμική σημασία της κατανάλωσης αποτυπώνεται με την ιδιότητα και τη συμβολική αξία που έχουν τα αγαθά για τους ανθρώπους: «Είστε ό,τι αγοράζετε». Αν ληφθεί υπόψιν ο κρίσιμος ρόλος της κατανάλωσης στη σύγχρονη κοινωνία, γίνεται αντιληπτό ότι εάν κάποιος παραμελήσει την καταναλωτική του ιδιότητα ενδέχεται να βγει εκτός πραγματικότητας. Επομένως, προκειμένου να αναπτυχθεί η βιοοικονομία, δεν πρέπει να αγνοηθεί η υποστηρικτική δέσμευση των καταναλωτών. Ως αποτέλεσμα της κοινωνικής αποδοχής και της αξιοπιστίας, οι καταναλωτές και η κοινωνία επηρεάζουν ουσιαστικά την άδεια λειτουργίας των εταιρειών. Οι γενικές τάσεις, όπως το αυξανόμενο ενδιαφέρον από τις επιχειρήσεις προς την **Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη (ΕΚΕ)**, η αντιμετώπιση κοινωνικών προκλήσεων, καθώς και η αποδοχή από τον επιχειρηματικό κλάδο ότι η υποστήριξη της κοινωνίας είναι μείζονος σημασίας για την εξασφάλιση της οικονομικής βιωσιμότητας, παρουσιάζουν πιθανώς μεγαλύτερη θετική συσχέτιση με την ανάπτυξη μιας μη συμβατικής βιοοικονομίας, συγκριτικά με την οικονομία που βασίζεται σε ορυκτούς πόρους. Η δημιουργία μίας εναλλακτικής έναντι των συμβατικών, συνεπάγεται αντιπαράθεση και αντίδραση, η μετάβαση δεν είναι σε καμία περίπτωση απλή. Η έρευνα που εστιάζει στις θέσεις των καταναλωτών και στις επιλογές τους για μετάβαση προς τη βιοοικονομία είναι επομένως προστιθέμενης αξίας για την κατανόηση της συσχέτισης κοινωνίας και βιοοικονομίας. Η δέσμευση των καταναλωτών θα μπορούσε να λειτουργήσει ως καταλύτης ή σοβαρή πρόκληση για μία πιο «πράσινη» οικονομία, με τη βιοενεργειακή μετασκευή ως μέρος αυτής της μετάβασης.

Ένα πρόσθετο επιχείρημα, ώστε να μην παραβλέπουμε τις προτιμήσεις και τις προτεραιότητες των καταναλωτών, έγκειται στο ότι η μετάβαση δεν αποτελεί αποκλειστικά ζήτημα τεχνολογικής καινοτομίας, αλλά και κοινωνικής δέσμευσης και αλλαγής της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Vainio (Vainio, 2019), η έννοια «φύση της αλλαγής» διαχωρίζεται σε **αλλαγή στην τεχνολογία** και **αλλαγή στον τρόπο ζωής**. Οι αλλαγές στην τεχνολογία και στον τρόπο ζωής δεν είναι απαραίτητα αντίθετες έννοιες, συχνά θεωρούνται αλληλένδετες. Ωστόσο, η διάκριση μεταξύ αυτών των δύο εννοιών αναδεικνύει περισσότερο τις απόψεις των πολιτών-καταναλωτών αναφορικά με το τι πιστεύουν ότι μπορούν να επιτύχουν και τι μπορεί να σημαίνει η μετάβαση προς τη βιοοικονομία υπό το πρίσμα των τεχνολογικών δυνατοτήτων και συνεπειών. Το παρόν έντυπο προάγει τη σημασία της έρευνας με γνώμονα τον καταναλωτή για τη μετάβαση στη βιοοικονομία. Βοηθά στην ευρύτερη διερεύνηση της μετάβασης στη βιοοικονομία και στη συνειδητοποίηση πως αυτή η μετάβαση δεν αποτελεί μόνο προϋπόθεση λήψης αποτελεσματικών μέτρων, αλλά ο απώτερος στόχος της είναι να έχει θετικό αντίκτυπο στη δημιουργία ενός «πράσινου» συστήματος παραγωγής-κατανάλωσης συνολικά. Κατά συνέπεια, οι πολίτες-καταναλωτές συμμετέχουν στη διαδικασία μετάβασης, έχουν άποψη και προσδοκίες για αυτήν, και αποτελούν σημαντικά ενδιαφερόμενα μέρη στην προαγωγή της βιοοικονομίας μέσω της απαιτούμενης νομιμότητας και αρωγής.

Αν και οι ανωτέρω τοποθετήσεις αρχίζουν να γίνονται περισσότερο αποδεκτές, το επίκεντρο των συζητήσεων όσον αφορά στη βιοοικονομία και την κυκλική οικονομία, δεν βρίσκεται ακόμη στη **συμπεριφορά του καταναλωτή** και τη δέσμευσή του, αλλά στην τεχνολογία και την καινοτομία. Η μετάβαση από μία οικονομία που βασίζεται σε ορυκτούς πόρους σε μια πιο βιώσιμη οικονομία προσεγγίζεται ως ζήτημα βελτίωσης της παραγωγής ή/και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Έχοντας αναφέρει αυτό, μεταξύ των ακαδημαϊκών και των υπευθύνων χάραξης

πολιτικής, πρόσφατα έχει παρατηρηθεί ότι οι καταναλωτές αποτελούν επίσης μέρος αυτής της μετάβασης. Ο ρόλος των καταναλωτών στη μετάβαση προς μία πιο πράσινη οικονομία εξετάζεται υπό το πρίσμα της κοινωνικής βάσης, ή της αγοραστικής τους δύναμης στην απόκτηση «πράσινων» προϊόντων. Συνήθως οι καταναλωτές αντιμετωπίζονται ως παθητικοί φορείς και όχι ως φορείς που προάγουν την αλλαγή. Συνοψίζοντας, επικρατεί όλο και περισσότερο η άποψη ότι οι καταναλωτές έχουν να διαδραματίσουν ενεργό ρόλο στη διαδικασία μετάβασης, αλλά συνήθως παραμένει ασαφές ποια είναι ή ποια δύναται να είναι η πραγματική συμβολή τους σε αυτή τη διαδικασία (βλ. επίσης Kirchherr et al., 2017). Αυτό βέβαια δε συνεπάγεται υποτίμηση των πρόσφατων προσπάθειών ενσωμάτωσης των καταναλωτών και της κατανάλωσης συγκεκριμένα, στην κυκλική οικονομία (Sijtsma et al., 2020).

2.2.2 Αντιλήψεις και τμηματοποίηση των καταναλωτών

Πρόσφατες μελέτες για τους καταναλωτές στον τομέα της βιοοικονομίας έδειξαν ότι οι καταναλωτές δεν έχουν σαφείς και σταθερές αντιλήψεις για τη βιοοικονομία εν γένει, και ειδικά για αρκετά καταναλωτικά βιολογικά αγαθά (Onwezen et al., 2017; Pfau et al., 2017; Sijtsma et al., 2016). Τέτοιες μελέτες υποδηλώνουν ότι πολλοί καταναλωτές δεν είναι εξοικειωμένοι με την έννοια της βιοοικονομίας, την παρερμηνεύουν ή φέρουν αόριστες αμφιβολίες για αυτήν. Εν γένει, οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί έως σήμερα καταδεικνύουν την ύπαρξη χάσματος μεταξύ των αντιλήψεων των καταναλωτών και της μετάβασης στη βιοοικονομία. Από αυτή την άποψη, φαίνεται ότι τα ευρήματα των πρόσφατων μελετών δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από προηγούμενες έρευνες που καταδεικνύουν την «έλλειψη γνώσης και επαρκούς ροής πληροφοριών, την ανεπαρκή αντίληψη και αποδοχή» ως πρωταρχικές, μη τεχνικές προκλήσεις, στον τομέα της βιοοικονομίας (Rösch & Kaltschmitt, 1999: 347). Με δεδομένη τη σημερινή κατάσταση, στην οποία η βιοοικονομία φαίνεται να μην αποτελεί κύριο μέλημα των καταναλωτών, η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση εξακολουθούν να αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για τη δέσμευση των καταναλωτών. Η πληροφόρηση και η ενεργός συμμετοχή των καταναλωτών αποτελούν σημαντικά εφόδια για τη μετάβαση στη βιοοικονομία.

Οι καταναλωτές αναμένεται να διαφέρουν ως προς τη δέσμευση και τον ενθουσιασμό τους στο να υποστηρίξουν μια πιο «πράσινη» οικονομία. Οι άνθρωποι συχνά είναι διστακτικοί στην αλλαγή και έχουν την τάση να αφήνουν την κατάσταση ως έχει (βλ. π.χ. Kahneman & Tversky, 1979 ή Samuelson & Zeckhauser, 1988 για προηγούμενες μελέτες). Αυτή η αποκαλούμενη «**μεροληψία υπάρχουσας κατάστασης**» (**status quo bias**) είναι αρκετά κατανοητή, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αλλαγές ενέχουν περισσότερες αβεβαιότητες, απρόβλεπτα, κινδύνους, κόστη και προσπάθειες.

Σε αντίθεση με τη φυσική αρνητική αντίληψη, οι αλλαγές μπορούν επίσης να σχετίζονται με **θετικές αντιλήψεις**, όπως ελκυστικότητα, ενθουσιασμός, βελτίωση και αξία. Παράλληλα, οι καταναλωτές αρέσκονται στις καινοτομίες και πιστεύουν στην πρόοδο. Υπό αυτό το πρίσμα, οι κατηγορίες «υιοθετούντων» του Rogers (1962) εξακολουθούν να είναι διδακτικές. Διακρίθηκαν πέντε κατηγορίες: οι καινοτόμοι (innovators) και πρώιμοι υιοθετούντες (early adopters), η πρώιμη πλειοψηφία (early majority) και η όψιμη (ή ύστερη) πλειοψηφία (late majority) και, τέλος, οι αργοπορημένοι (laggards). Οι πρώτοι είναι δεκτικοί στις καινοτομίες. Οι καινοτόμοι και οι πρώιμοι υιοθετούντες είναι πρόθυμοι και έχουν την ικανότητα να διαχειρίζονται την αβεβαιότητα και τους κινδύνους που ενέχουν οι καινοτομίες. Σε αντίθεση με αυτούς τους πρωτοπόρους, η συμμετοχή και υποστήριξη των κατηγοριών όψιμης πλειοψηφίας και αργοπορημένων σε καινοτομίες είναι χαμηλή και αργή. Περαιτέρω διάκριση μπορεί να γίνει ανάμεσα στην έμφυτη καινοτομία, η οποία ορίζεται ως έμφυτο χαρακτηριστικό της προσωπικότητας του ατόμου να αναζητά νέες εμπειρίες (Hirschman, 1980), και την καινοτομία σε συγκεκριμένους τομείς, η οποία αποτυπώνει την προδιάθεση ενός ατόμου για συγκεκριμένους τομείς ενδιαφέροντος και αντικατοπτρίζει την τάση να υιοθετεί με γρήγορο ρυθμό ιδέες ή προϊόντα από τους εν λόγω τομείς (Bartels & Reinders, 2011; Goldsmith & Hofacker, 1991). Η καινοτομία σε συγκεκριμένους τομείς συχνά σχετίζεται με τη συμμετοχή και τη γνώση σε έναν συγκεκριμένο τομέα προϊόντων. Παραδείγματος χάριν,, ορισμένα άτομα

παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τεχνολογικά “gadgets”, ενώ άλλοι για τρόφιμα, αυτοκίνητα ή οικιακές συσκευές, και αυτές είναι μόνο μερικές από τις κατηγορίες.

Οι δύο αυτές μορφές καινοτομίας μπορούν να θεωρηθούν ως δύο θεμελιώδεις ανθρώπινες τάσεις: **νεοφοβία** (ο φόβος για καινοτομία) και **νεοφιλία** (η επιθυμία για καινοτομία). Ως αποτέλεσμα, οι άνθρωποι εναλλάσσονται μεταξύ αποδοχής και απόρριψης καινοτομιών. Μια τέτοια εναλλαγή δύναται να προκαλέσει αντικρουόμενα συναισθήματα στα άτομα, που επηρεάζουν, για παράδειγμα, την ευαισθησία τους στους σε αντιληπτούς κινδύνους ή σε αφύσικα καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής ή την πρόθεσή τους να αγοράσουν και να καταναλώσουν προϊόντα τα οποία παράγονται μέσω τεχνολογικών καινοτομιών. Αυτό αφορά άμεσα μια πρόσθετη πτυχή των απόψεων και των αντιδράσεων των καταναλωτών στις καινοτομίες.

Εκτός από τη διάκριση μεταξύ της νεοφοβίας και της νεοφιλίας, μία περαιτέρω διάκριση θα μπορούσε να γίνει μεταξύ των **καινοτόμων διαδικασιών παραγωγής** και της **καινοτομίας που ενσωματώνεται σε νέα καταναλωτικά αγαθά**. Η δεύτερη κατηγορία είναι πιο σαφής για τους καταναλωτές και τους δίνει την ευκαιρία να αγοράσουν και να χρησιμοποιήσουν τα νέα προϊόντα. Η πρώτη κατηγορία, που αφορά στις καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής, αποτελεί πιο αφηρημένη έννοια για τους καταναλωτές ή/και τους δίνει την εντύπωση ότι ο ρόλος που καλούνται να διαδραματίσουν είναι λιγότερο σημαντικός καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής/ Η ανωτέρω διάκριση είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη όσον αφορά στη δέσμευση των καταναλωτών και στην αποδοχή της μετασκευής. Η μετασκευή, εξάλλου, αφορά κυρίως στις καινοτόμες διαδικασίες παραγωγής και όχι στα καινοτόμα καταναλωτικά προϊόντα. Κατά κανόνα, αυτό εμποδίζει τους καταναλωτές να πάρουν πρωτοβουλίες για την μετασκευή.

Ευρύτερος στόχος της μετασκευής είναι η βιωσιμότητα και, ως εκ τούτου, η συμμετοχή των καταναλωτών πρέπει να εξεταστεί από την πλευρά της **βιώσιμης κατανάλωσης**. Αυτός ο ανεπτυγμένος τομέας της έρευνας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επιλογή των καταναλωτών δεν καθοδηγείται μόνο από εγωκεντρικά κίνητρα που έχουν ως γνώμονα την τιμή και την ευκολία, αλλά ότι οι καταναλωτές συχνά έχουν επίγνωση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων που επιφέρουν οι συμπεριφορικές επιλογές τους, λαμβάνουν συνειδητά υπόψη τις περιβαλλοντικές ή κοινωνικές ανησυχίες και προσπαθούν να υιοθετήσουν αντίστοιχο «πράσινο» καταναλωτικό στυλ.

Είναι κοινά αποδεκτό ότι η δέσμευση των διάφορων καταναλωτών για βιωσιμότητα διαφέρει, ειδικότερα διακρίνονται διάφορα τμήματα καταναλωτών. Παραδείγματος χάριν, στη μελέτη Περιβαλλοντικής Τμηματοποίησης του Defra (2008), οι καταναλωτές κατηγοριοποιούνται σε επτά ομάδες, ανάλογα με τις πεποιθήσεις τους όσον αφορά σε περιβαλλοντικά ζητήματα και συμπεριφορές. Οι εν λόγω ομάδες διακρίνουν τους «Φιλοπεριβαλλοντικούς» (Positive greens consumers) και τους «Ενδιαφερόμενους» (Concerned consumers) καταναλωτές όσον αφορά στο φάσμα των «πράσινων» καταναλωτών, και τους «Ειλικρινά απαθείς» (Honestly disengaged), όσον αφορά στο φάσμα των «μη πράσινων» καταναλωτών.

2.2.3 Διερεύνηση του ρόλου των καταναλωτών στη διαδικασία της μετασκευής

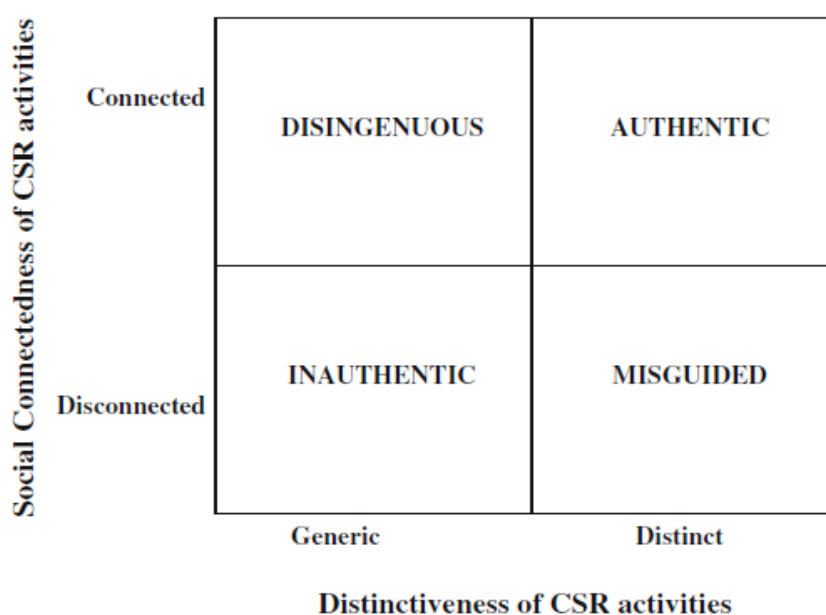
Η παρούσα ενότητα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο διερευνάται το ενδιαφέρον του καταναλωτή και η συνεισφορά του στη δημιουργία μίας πιο «πράσινης» οικονομίας, ειδικότερα όσον αφορά στις διαδικασίες μετασκευής με χρήση βιοενέργειας. Η προσέγγιση βασίζεται στις προτιμήσεις και προτεραιότητες των ατόμων στη βιωσιμότητα, στην τεχνολογική καινοτομία και στην ευθύνη των βιομηχανιών στην «πρασινολογία» της οικονομίας. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί η προσωπική άποψη των καταναλωτών αναφορικά με τί θεωρούν σημαντικό και πολύτιμο (Πόσο «πράσινο» είναι οι ίδιοι οι καταναλωτές;), και τί προσδοκούν από τις βιομηχανίες, καθώς επίσης και εάν εμπιστεύονται τις μεθόδους εταιρικής κοινωνικής ευθύνης που εφαρμόζουν οι επιχειρήσεις (Πόσο υπεύθυνες και αξιόπιστες θέλουν οι καταναλωτές τις εταιρείες στο πλαίσιο της πράσινης οικονομίας;).

Η έγκριση και η αποδοχή από την πλευρά των καταναλωτών μπορεί να διερευνηθεί αξιολογώντας την εμπιστοσύνη και τη δυσπιστία τους, αλλά και την αντίληψή τους ως προς

την «**επίπλαστη οικολογική συνείδηση**» (greenwashing) μιας εταιρείας (Cho, 2006; Leonidou & Skarmas, 2017). Οι καταναλωτές μπορεί να κληθούν να απαντήσουν σε δηλώσεις όπως:

- Οι εταιρείες παραπλανούν (λεκτικά ή οπτικά) όσον αφορά στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των διαδικασιών παραγωγής ή των τελικών προϊόντων τους.
- Οι εταιρείες παρέχουν ασαφείς ή φαινομενικά αβάσιμους περιβαλλοντικούς ισχυρισμούς για τις μεθόδους παραγωγής που εφαρμόζουν.
- Οι εταιρείες υπερεκτιμούν ή υπερβάλλουν όσον αφορά στα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των διαδικασιών παραγωγής τους.
- Οι εταιρείες αγνοούν ή αποκρύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τα πραγματικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των διαδικασιών παραγωγής τους.
- Οι εταιρείες προωθούν τα οφέλη των καταναλωτών, καθώς επίσης και τα δικά τους.
- Οι εταιρείες λειτουργούν τις επιχειρήσεις τους με υπεύθυνο και αξιόπιστο τρόπο.

Αυτό μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψη το πλαίσιο των Mazutis & Slawinski (2015) στο οποίο καθορίζονται οι δύο διαστάσεις της γνησιότητας των δραστηριοτήτων της ΕΚΕ, η διακριτικότητα και η κοινωνική σύνδεση (Εικόνα 2). Αυτές περιγράφουν τις αντιλήψεις των ενδιαφερομένων για την Εταιρική Κοινωνική Ευθύνη (ΕΚΕ).



Εικόνα 2: Αντιλήψεις για την γνησιότητα των προσπαθειών ΕΚΕ (Mazutis and Slawinski, 2015: 144)

Για την **αποδοχή του κοινού** και τη δέσμευση των καταναλωτών φαίνεται να έχει μεγάλη σημασία εάν ένας κλάδος **επικοινωνεί** ή όχι – και αποδεικνύει στην πράξη - με σαφή τρόπο ότι οι μετασκευές αποτελούν μέρος της κοινωνικής ευθύνης μιας βιομηχανίας, και εκτείνονται πέρα από το δικό της επιχειρηματικό συμφέρον. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς ότι η αποδοχή και η υποστήριξη των καταναλωτών στην προσπάθεια μετασκευών μιας βιομηχανίας διευκολύνεται από επιχειρηματική στρατηγική, όταν αυτή είναι σαφής όσον αφορά στη δέσμευση και στη συμβολή της στην επίλυση των κοινωνικών προκλήσεων. Από αυτή την προοπτική, μια βιομηχανία θα θεωρηθεί πιο αξιόπιστη εάν οι εταιρικές κοινωνικές ευθύνες αποτελούν μέρος της ταυτότητας της εταιρείας και εκφράζονται

ως επιχειρηματικές αποφάσεις (αυθεντική). Οι πρωτοβουλίες για μετασκευές με χρήση βιοενέργειας που δεν περιλαμβάνουν επικοινωνία με τους καταναλωτές θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κυνισμό και υποψίες μεταξύ των καταναλωτών (ανειλικρινείς). Επιχειρησιακές δραστηριότητες που δεν είναι δίκαιες, αμερόληπτες, διαφανείς ή βιώσιμες στο κοινωνικό πλαίσιο θεωρούνται ανέντιμες αν ανήκουν στις βασικές αξίες και στο σκοπό μιας εταιρείας (άστοχες/εσφαλμένες). Εταιρεία που σχετίζεται ρητά με την ΕΚΕ χωρίς να το λαμβάνει σοβαρά υπόψιν στην επιχειρηματική πρακτική, εκτός από τη λήψη μεμονωμένων αποφάσεων για τη διαφύλαξη της φήμης της ή της «φιλανθρωπικής φύσης» της, θα κριθεί αυστηρά από τους καταναλωτές όσον αφορά στην επίπλαστη οικολογική συνείδηση (μη-αυθεντική).

Η αντίληψη των καταναλωτών εξαρτάται επίσης από την **ανωνυμία** έναντι της **εξοικείωσης** με τη βιομηχανία που εφαρμόζει τη μετασκευή βιοενέργειας. Οι καταναλωτές που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση και εξαρτώνται ίσως ακόμη και οικονομικά από τη βιομηχανική μονάδα στην οποία έχει εφαρμοστεί η μετασκευή βιοενέργειας, μπορεί να ανταποκριθούν διαφορετικά από εκείνους για τα οποίους η μετασκευή αποτελεί αφηρημένο και μακρινό φαινόμενο. Επιπλέον, η αντίληψη των καταναλωτών εξαρτάται από το εάν και σε ποιο βαθμό οι αντιλήψεις και οι προτεραιότητές τους διαφέρουν σε σχέση με τους διάφορους εμπλεκόμενους κλάδους της βιομηχανίας. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές έχουν υψηλότερες προσδοκίες όσον αφορά στη βιομηχανία επεξεργασίας χαρτοπολτού και χαρτιού ή πιστεύουν ότι τα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων οφείλουν να έχουν ηγετικό ρόλο στη δημιουργία μιας πιο «πράσινης» οικονομίας;

2.3 Κίνητρα για μετασκευή

Τα κίνητρα των βιομηχανιών για επενδύσεις στη μετασκευή είναι ποικίλα. Οι βιομηχανίες πρέπει να συμμορφώνονται με τη νομοθεσία και να είναι είτε οικονομικά κερδοφόρες, ή τουλάχιστον να μην έχουν ζημία. Μερικές φορές δεν επιτρέπεται στις δημόσιες εταιρείες να δημιουργούν κέρδη, ενώ οι ιδιωτικές εταιρείες συνήθως θέλουν να δημιουργούν κέρδη τα οποία μοιράζονται μεταξύ των ιδιοκτητών της εταιρείας ή επανεπενδύονται για την περαιτέρω ανάπτυξη της εταιρείας.

Επιπλέον, οι ακόλουθοι στρατηγικοί στόχοι δύνανται να είναι σημαντικοί για τις αποφάσεις της εταιρείας στη μετασκευή βιοενέργειας:

- Μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της αγοράς
- Ηγετικός ρόλος στον τομέα της τεχνολογίας
- Βραχυπρόθεσμο κέρδος
- Οικονομικά κέρδη για τους ιδιοκτήτες
- Ασφάλεια στην εφοδιαστική αλυσίδα
- Περιβαλλοντικά ζητήματα

2.3.1 Συμμόρφωση με τη νομοθεσία

Δεδομένου ότι οι βιομηχανίες πρέπει να συμμορφώνονται με τη νομοθεσία, οποιοδήποτε νομικό μέτρο δύναται να αποτελέσει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο παρακίνησης των βιομηχανιών να εφαρμόσουν βιοενεργειακές μετασκευές. Σύμφωνα με ευρήματα μελετών, **η νομοθεσία αποτελεί τον κύριο λόγο για μετασκευή** (Nuhoff-Isakhanyan et al., 2019). Νομικές πιυχές για τη βιοενεργειακές μετασκευές περιγράφονται στο έντυπο του έργου BIOFIT «Όροι-πλαίσιο για τη μετασκευή των βιομηχανιών στην Ευρώπη με χρήση βιοενέργειας» (Rutz et al., 2019).

Εάν δε ληφθεί **υπόψιν η εξωτερική οικονομία (ή αλλιώς εξωτερικότητες)**, η χρήση ορυκτών καυσίμων είναι συνήθως οικονομικά αποδεκτή. Στο παρελθόν, αλλά ακόμη και σήμερα, οι συμβατικές πηγές ενέργειας υποστηρίζονται συχνά, είτε άμεσα είτε έμμεσα, παραβλέποντας

τις εξωτερικότητες. Οι κυβερνήσεις οφείλουν να διασφαλίσουν την ενσωμάτωση των εξωτερικοτήτων στις τελικές τιμές των βιομηχανικών υπηρεσιών και προϊόντων. Έτσι, θα μπορούσαν να θεσπίσουν κατάλληλη νομοθεσία, η οποία είτε θα απαγορεύει τη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας, είτε θα περιλαμβάνει το εξωτερικό κόστος, π.χ. μέσω φόρων CO₂, είτε θα υποστηρίζει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με την υιοθέτηση της Συμφωνίας του Παρισιού για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, αρκετές κυβερνήσεις στην Ευρώπη ανέπτυξαν πρόσφατα τέτοια νομοθεσία για τη σταδιακή μετάβαση προς μια οικονομία με ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα. Είναι κοινά αποδεκτό ότι σημαντικά βήματα προς μεγαλύτερη βιωσιμότητα συνδέονται συνήθως με τη θέσπιση κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου.

Συγκεκριμένο παράδειγμα θέσπισης κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου είναι η **φορολόγηση των εκπομπών CO₂**. Οι τιμές της βιομάζας δύναται να είναι χαμηλότερες συγκριτικά με τις τιμές του άνθρακα, λόγω των χαμηλότερων εκπομπών CO₂. Άλλο παράδειγμα είναι η σταδιακή απαγόρευση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, όπως η σταδιακή απανθρακοποίηση, η οποία επιβάλλεται από ορισμένες ευρωπαϊκές κυβερνήσεις.

2.3.2 Οικονομικά ζητήματα

Τα **άμεσα οικονομικά οφέλη** μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό κίνητρο για τις βιοενεργειακές μετασκευές. Αυτό συμβαίνει εάν τα κόστη επένδυσης (CAPEX) και λειτουργίας (OPEX) της τεχνολογίας μετασκευής με χρήση βιομάζας είναι χαμηλότερα από τα αντίστοιχα κόστη της υπάρχουσας τεχνολογίας σε όλη τη διάρκεια ζωής της. Τα οικονομικά αυτά οφέλη είναι απόρροια της αύξησης της απόδοσης του νέου εξοπλισμού ή των χαμηλότερων τιμών πρώτων υλών.

Τροχοπέδη στις βιοενεργειακές μετασκευές αποτελούν οι σχετικά **υψηλές κεφαλαιουχικές δαπάνες** του εξοπλισμού βιοενέργειας σε σύγκριση με του εξοπλισμού ορυκτών καυσίμου. Αυτό μπορεί να μετριαστεί μέσω της παροχής οικονομικών κινήτρων από τις εκάστοτε κυβερνήσεις.

Το κόστος λειτουργίας (OPEX) εξαρτάται από τις τιμές των ορυκτών και των ανανεώσιμων πρώτων υλών, επομένως είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Σύμφωνα με ευρήματα μελέτης (Nuhoff-Isakhanian et al., 2019), η χαμηλότερη φορολόγηση της βιομάζας σε σύγκριση με τον άνθρακα αποτελεί κίνητρο για την εφαρμογή βιοενεργειακών μετασκευών. Στην εν λόγω μελέτη αναφέρεται, επίσης, ότι η υλοποίηση ορισμένων έργων δε θα ήταν εφικτή χωρίς την υιοθέτηση φορολόγησης εκπομπών CO₂.

Τα **έμμεσα οικονομικά οφέλη** σχετίζονται με την αυξημένη ζήτηση βιώσιμων προϊόντων ή τη βελτίωση της εικόνας της βιομηχανίας λόγω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συνεπώς, για σκοπούς μάρκετινγκ, είναι σημαντικό να πραγματοποιείται χρήση μετασκευών με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Διαφορετικά, η μετασκευή θα μπορούσε να θεωρηθεί μία διαδικασία «επίπλαστης οικολογικής συνείδησης», με αντίθετο αντίκτυπο, δημιουργώντας αρνητική εικόνα για τη βιομηχανία.

2.3.3 Στρατηγικές μετριασμού του κινδύνου

Οποιαδήποτε αλλαγή στον εξοπλισμό δύναται να επιφέρει αύξηση ή μείωση των κινδύνων. Στη λίστα που ακολουθεί, αναφέρονται μερικοί από τους κινδύνους που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη σε οποιοδήποτε έργο αναβάθμισης υφιστάμενου εξοπλισμού:

- **Κυμαινόμενες τιμές βιομάζας:** Όσο μεγαλύτερη ποσότητα βιομάζας βιομάζα χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοενέργειας, τόσο αυξάνεται ο ανταγωνισμός για τη βιομάζα. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση των τιμών της βιομάζας στο μέλλον. Από την άλλη πλευρά, η αυξημένη χρήση βιομάζας σχετίζεται θετικά με τη βελτίωση της εφοδιαστικής της αλυσίδας, και, ως εκ τούτου, με μείωση των τιμών.
- **Κυμαινόμενες τιμές συμβατικών πηγών ενέργειας:** Οι ορυκτοί πόροι (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας) μειώνονται λόγω της εντατικής χρήσης τους.

Μακροπρόθεσμα, αναμένεται συνεχής αύξηση των τιμών τους, ωστόσο με την ανακάλυψη νέων πόρων, οι βραχυπρόθεσμες τιμές ενδέχεται να παραμείνουν σταθερές ή ακόμη και να μειωθούν.

- **Ασφάλεια εφοδιασμού βιομάζας:** Η προμήθεια βιομάζας ως πρώτης ύλης πρέπει να διασφαλίζεται, όσο το δυνατόν περισσότερο, με μακροπρόθεσμα συμβόλαια.
- **Ασφάλεια εφοδιασμού ορυκτής ενέργειας:** Η εξάντληση των ορυκτών πόρων ν ενδέχεται να αυξήσει τον κίνδυνο εφοδιασμού ορυκτών καυσίμων.
- **Αντίληψη και αξιοπιστία της τεχνολογίας:** Οι τεχνολογίες βιομάζας μπορούν να είναι εξίσου αξιόπιστες με τις συμβατικές τεχνολογίες, ωστόσο αυτό είναι συνάρτηση της ίδιας της ίδιας της τεχνολογίας, και πρέπει να αξιολογείται ξεχωριστά για κάθε τεχνολογία.
- **Εφεδρικός εξοπλισμός:** Για οποιεσδήποτε ενεργειακές εγκαταστάσεις, ενδέχεται να απαιτούνται εφεδρικά συστήματα για τη μείωση του κινδύνου βλάβης.
- **Αλλαγές στην ασφάλεια:** Τα θέματα ασφάλειας πρέπει να είναι υψηλής προτεραιότητας σε οποιοδήποτε έργο αναβάθμισης. Ανάλογα με τον εξοπλισμό που έχει αντικατασταθεί και το νέο εξοπλισμό βιομάζας, οι κίνδυνοι ασφάλειας (π.χ. κίνδυνος έκρηξης) ενδέχεται να αυξηθούν ή να μειωθούν.
- **Εξάρτηση από άλλες βιομηχανίες:** Τυχόν εξάρτηση από ανάντη ή κατόντη βιομηχανίες παλαιών τεχνολογιών ή τεχνολογιών μετασκευής ενδέχεται να ενέχουν διαφορετικούς κινδύνους.
- **Εξέταση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δε βασίζονται σε πρώτες ύλες:** Οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν εξαρτάται από υλικά ως πρώτη ύλη, όπως ηλιοθερμικά συστήματα, φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια ή ενέργεια περιβάλλοντος, θα πρέπει να θεωρείται συμπληρωματική των τεχνολογιών βιομάζας.
- **Αλλαγές πολιτικής:** Οι πολιτικές διαμορφώνονται, προς το παρόν, περισσότερο υπέρ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Συνεπώς, σε γενικές γραμμές, η μετασκευή βιομηχανιών με χρήση βιομάζας αποτελεί, επί του παρόντος, ένα μέτρο για τη μείωση του κινδύνου αλλαγών πολιτικής.

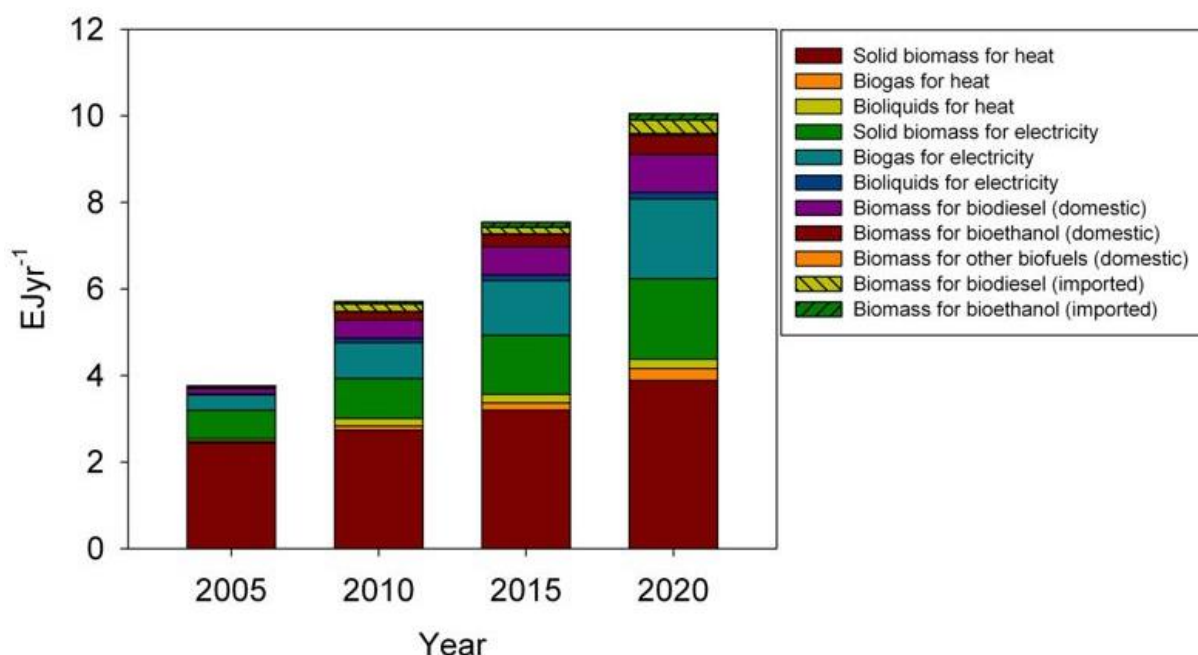
3 Προμήθεια βιοενέργειας για βιομηχανίες

3.1 Δυναμικό βιομάζας

Στην ΕΕ-28, ο **γεωργικός τομέας** καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής βιομάζας⁵, το οποίο ανέρχεται σε ποσοστό 65% (κυμαίνεται από 13% στη Φιλανδία έως 90% στην Ελλάδα, τη Μάλτα, την Ουγγαρία και την Κύπρο), ακολουθούμενος από τον δασικό τομέα με περιεκτικότητα 34% σε ξηρό υλικό (από 8% στη Μάλτα έως 87% στη Φιλανδία). Ο τομέας της **αλιείας** καλύπτει ένα μικρό ποσοστό παραγωγής βιομάζας (<1%). Όσον αφορά στον γεωργικό τομέα, οι γεωργικές καλλιέργειες αντιστοιχούν σε ποσοστό περίπου 62% της συνολικά παραγόμενης βιομάζας, εκ του οποίου ένα ποσοστό 23% προέρχεται από τα διαθέσιμα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών και ένα ποσοστό 15% από τα υπολείμματα βοσκής. Οι τιμές των ποσοστών αυτών (23% και 15%), δεν διαφέρουν σημαντικά ανά μονάδα μάζας βιομάζας, αλλά αντιστοιχούν σε πολύ μικρότερες ποσότητες ανά μονάδα όγκου. Η κυρίαρχη πηγή **δασικής** βιομάζας είναι η πρωτογενής ξυλώδης βιομάζα, που αντιπροσωπεύει σχεδόν το 70% του συνόλου (Gurría et al. 2017). Σύμφωνα με τη μελέτη των Scott Bentsen & Felby

⁵ συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας για τρόφιμα, ζωοτροφές, προϊόντα και ενέργεια

(2012), η εκτίμηση της ζήτησης βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στις χώρες της ΕΕ27 παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Εκτιμώμενη ζήτηση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στις χώρες της ΕΕ27 (Scott Bentsen & Felby, 2012)

Η συνολική παραγωγή γεωργικής βιομάζας στην Ευρώπη ανέρχεται σε περίπου 765 εκατομμύρια τόνους ξηρού υλικού, οι οποίοι κατανέμονται ως εξής (Gurría et al. 2017):

- Στην ΕΕ28, η συγκομιδή παραγωγής βιομάζας εκτιμάται σε 478 εκατομμύρια τόνους ξηρού υλικού (t_{dm}) για το έτος 2013 (δηλαδή, περίπου 2 δισεκατομμύρια τόνοι υγρής βιομάζας).
- Τα συλλεχθέντα υπολείμματα καλλιεργειών παρέχουν επιπλέον 100 εκατομμύρια τόνους ξηρής βιομάζας (t_{dm}).
- 19 εκατομμύρια τόνοι βιομάζας προέρχονται από βοσκότοπους και λιβάδια.
- Περίπου 10 εκατομμύρια πρόσθετοι τόνοι (ξηρού υλικού) υπολειμμάτων καλλιεργειών θα μπορούσαν να συλλεχθούν χωρίς τη διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος, όπως διατήρηση αποθεμάτων άνθρακα στο έδαφος, διατήρηση γονιμότητας, κατακράτηση νερού, κλπ.
- Εισαγωγή περίπου 67τόνων ξηρής βιομάζας, 53% στη μορφή φυτικών προϊόντων (μη μεταποιημένων), 25% στη μορφή τροφίμων, και το υπόλοιπο ποσοστό στη μορφή βιοϋλικών προϊόντων (περίπου 22%).

Στη γεωργία, οι βασικότερες πηγές πρωτογενούς βιομάζας προέρχονται από αροτραίες καλλιέργειες στη μορφή αχύρου, και από τη συντήρηση μόνιμων φυτειών, π.χ. οπωροφόρα δέντρα, καρποί, ελιές, αμπελώνες και εσπεριδοειδή. Το **άχυρο** - ως υποπροϊόν της παραγωγής σιτηρών - αποτελεί πιθανή πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Το άχυρο συνήθως αφήνεται στο χωράφι ως λίπασμα ή χρησιμοποιείται ως απλο κατάλοιπο και στη συνέχεια ως λίπασμα υπό τους όρους της κυκλικής οικονομίας. Η απόρριψη του αχύρου στο χωράφι προσφέρει πολλαπλά οφέλη, μεταξύ άλλων, την παροχή θρεπτικών συστατικών και το σχηματισμό χούμου. Ωστόσο, όταν η παραγωγή σιταριού ακολουθείται από παραγωγή κραμβέλαιου, η συγκομιδή αχύρου δύναται να είναι επωφελής, καθώς αφήνεται να σαπίσει

μικρότερη ποσότητα υλικού στον αγρό. Επομένως, για κάθε μεμονωμένη περίπτωση, είναι απαραίτητο να κριθεί η σκοπιμότητα αξιοποίησης του αχύρου. Επιπλέον, η ισορροπία των θρεπτικών συστατικών θα μπορούσε να βελτιωθεί με ανακυκλοφορία αχύρου-τέφρας ή τη χρήση τέφρας ξύλου ως λίπασμα, εάν αυτό επιτρέπεται νομικά (π.χ. στη Σουηδία).



Εικόνα 4: Ξυλεία βραδείας εναλλαγής με λεύκες (Πηγή: Rutz D.)

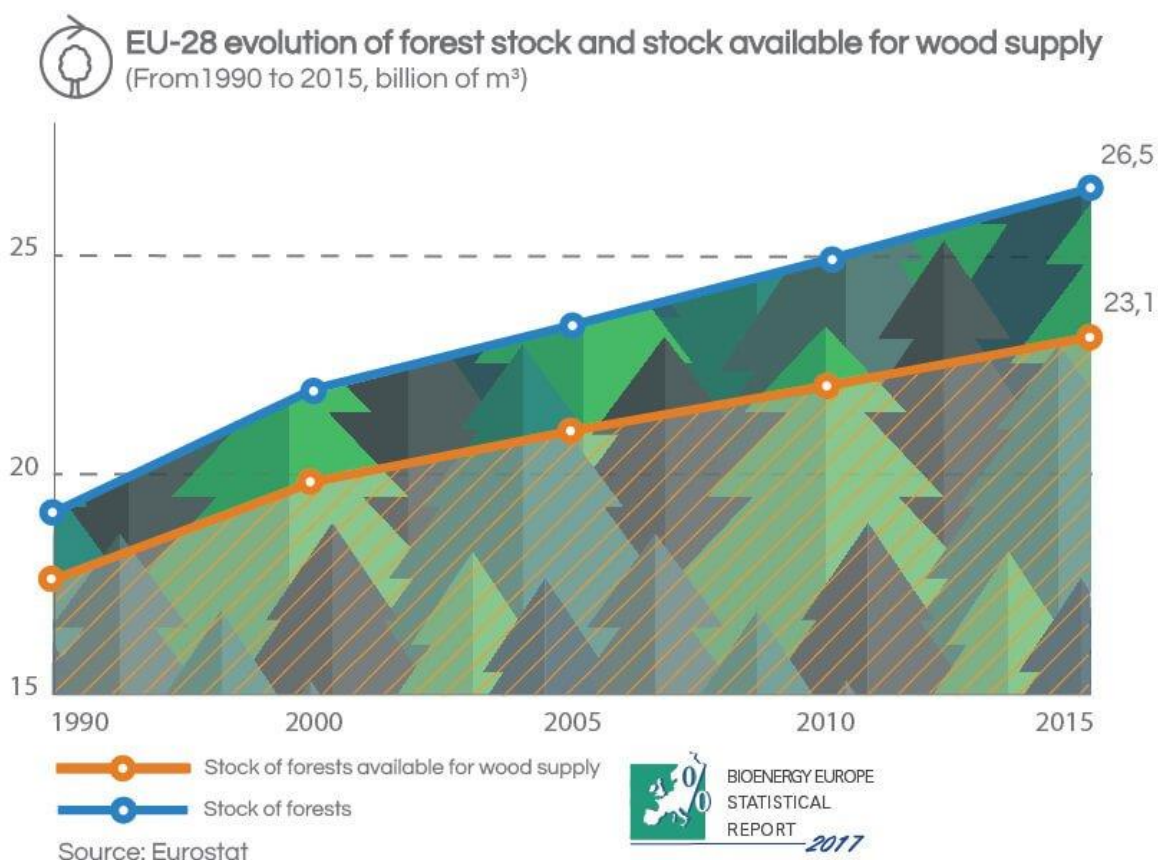
Επιπλέον, οι Φυτείες Ξυλωδών Ειδών Μικρού Περίτροπου Χρόνου (SRC) (Εικόνα 4) και οι ενεργειακές καλλιέργειες δύνανται να αποτελέσουν πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας. Η διαχείριση του SRC σε αρόσιμη γη επιτρέπει την εκτενή χρήση της γης, λόγω της χαμηλής ζήτησης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, συγκριτικά με άλλες καλλιέργειες. Τα ταχέως αναπτυσσόμενα είδη δέντρων (π.χ., ιτιές, λεύκες, παουλώνια ή παυλώνια, ψευδοακακία, κ.λπ.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενεργειακές καλλιέργειες, λόγω της ικανότητάς τους να συγκομίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (πολυετή κύκλοι συγκομιδής). Η περίοδος συγκομιδής εξαρτάται από την ομάδα φύτευσης, την ένταση χρήσης, την προβλεπόμενη χρήση της πρώτης ύλης και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Όταν τα δέντρα είναι έτοιμα για συγκομιδή (μετά από δύο έως οκτώ χρόνια), θα κοπούν, θα τεμαχιστούν και θα μεταφερθούν. Ορισμένα είδη θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε περιθωριακά εδάφη για την εκ νέου καλλιέργεια πρώην ανθρακωρυχείων. Για παράδειγμα, η ψευδοακακία (*Robinia pseudoacacia*) ευδοκimeί σε ξηρά εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Οι **ενεργειακές καλλιέργειες** όπως ο μίσχανθος (*Miscanthus*), έχουν επίσης πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε λίπασμα. Οι τρόποι καλλιέργειας και συγκομιδής τους είναι αντίστοιχες άλλων γεωργικών καλλιεργειών. Ωστόσο, οι υφιστάμενες εκτάσεις των πολυετών ενεργειακών καλλιεργειών στην ΕΕ28 περιορίζονται σε 117,401 εκτάρια, και περιλαμβάνουν κυρίως λεύκες, ιτιές και μίσχανθο (Bioenergy Europe, 2019).

Η **δασική βιομάζα** στην ΕΕ28 υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε περίπου 370 εκατομμύρια τόνους ξηρού υλικού (t_{dm}). Στην ΕΕ28, οι συνολικές ποσότητες δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας

ανέρχονται σε 252 εκατομμύρια t_{dm} , ενώ η καθαρή εισαγωγή στρογγυλής ξυλείας εκτιμάται σε περίπου 6.8 εκατομμύρια t_{dm} . Τα δασικά υπολείμματα αποτελούνται σε ποσοστό 78.6% από βιομηχανική στρογγυλή ξυλεία και σε ποσοστό 21.4% από καυσόξυλα. Τα καυσόξυλα εκτιμάται ότι αποτελούνται σε ποσοστό 33% από μίσχο δέντρων και σε ποσοστό 67% από άλλα συστατικά του ξύλου (κλαδιά, κορυφές υλοτομημένων δέντρων, υπο-εμπορεύσιμοι καρποί). Εκτός της πρωτογενούς παραγωγής ξυλείας (καυσόξυλα), σύμφωνα με το ισοζύγιο πρώτων υλών ξυλώδους βιομάζας, η συνολική ποσότητα των πηγών ξυλώδους βιομάζας που δύναται να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας, περιλαμβάνει, επίσης, υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου, υποπροϊόντα βιομηχανικών διεργασιών (μαύρο υγρό), υπολείμματα περιοχών εκτός δασών, εισαγωγές δευτερογενών υπολειμμάτων και συσσωματώματα ξύλου (πέλλετ), απόβλητα ξυλείας που παράγει ο καταναλωτής, και, τέλος, μέρος του ξυλοπολλτού που ταξινομείται ως βιομηχανική στρογγυλή ξυλεία. Η καθαρή εισαγωγή υποπροϊόντων και παραπροϊόντων (συμπεριλαμβανομένων των πελλετών ξύλου) ανέρχεται σε περίπου 8 εκατομμύρια τόνους ξηρού υλικού, ενώ η καθαρή εισαγωγή ξυλοπολλτού εκτιμάται σε 13 εκατομμύρια τόνους (Gurría et al. 2017).

Το 2015, το **δάσος** και η **δασική έκταση** στην ΕΕ28 ανήλθε σε περίπου 181 εκατομμύρια εκτάρια, που αντιστοιχεί στο 42% της συνολικής έκτασης της. Αυτή η δασική έκταση ισοδυναμεί σχεδόν με τη γεωργική έκταση στην ΕΕ28. Η δασική έκταση που διατίθεται για εφοδιασμό ξύλου ανέρχεται σε 134 εκατομμύρια εκτάρια. Τα ακόλουθα 7 από τα 28 κράτη μέλη της ΕΕ αξιοποίησαν τουλάχιστον το ήμισυ των δασικών τους εκτάσεων το 2015: Πορτογαλία, Ισπανία, Λετονία, Εσθονία, Σλοβενία, Σουηδία και Φινλανδία. Κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες η δασική έκταση στην ΕΕ28 αυξήθηκε: Μεταξύ των ετών 1990 και 2015, σημειώθηκε αύξηση του ποσοστού δασικής έκτασης κατά 5.2%. Αυτό γίνεται εμφανές και από την αύξηση του όγκου των αποθεμάτων δασικών εκτάσεων στην Εικόνα 5. Κατά μέσο όρο, χρησιμοποιείται περίπου μόνο το 63% της αύξησης των δασών ετησίως (Bioenergy Europe, 2019).



Εικόνα 5: Η εξέλιξη των δασικών αποθεμάτων και των αποθεμάτων για προμήθεια ξύλου στην ΕΕ-28 (Πηγή: Bioenergy Europe, 2017)

Το καθεστώς ιδιοκτησίας της δασικής περιοχής διαφέρει σε κάθε χώρα. Τα δάση της ΕΕ28 κατηγοριοποιούνται σε μικρές οικογενειακές ιδιοκτησίες, δασικές εκτάσεις του δημοσίου και μεγάλες ιδιωτικές εκτάσεις που ανήκουν σε εταιρείες. Το 2010, περίπου το 60% των δασών της ΕΕ28 συνολικά, ανήκε σε ιδιώτες. Αυτό το ποσοστό είναι υψηλότερο στην Πορτογαλία (98.4%) και χαμηλότερο στη Βουλγαρία (13.2%) (Bioenergy Europe, 2019).

Το ξύλο που συλλέγεται απευθείας από τα δάση αντιπροσωπεύει περίπου το 38% της στερεής βιομάζας που μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας στην ΕΕ28. Επιπλέον, ο κλάδος της ξυλείας (βιομηχανικά υποπροϊόντα και πέλλετ) παρέχει πάνω από το 50% της στερεής βιομάζας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοενέργειας (Bioenergy Europe, 2019). Η προμήθεια ξυλώδους βιομάζας από τη δασική βιομηχανία εξαρτάται από την οικονομική κατάσταση της αγοράς. Για παράδειγμα, όσο περισσότερη πριστή ξυλεία παράγεται, τόσο περισσότερα υποπροϊόντα είναι διαθέσιμα.

Επιπρόσθετα, οι **εισαγωγές στερεών καυσίμων βιομάζας** έχουν αυξηθεί την τελευταία δεκαετία, και το 2016 ανήλθαν σε 8.5% της συνολικής παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας από στερεά βιοκαύσιμα. Ιδιαίτερα τα πέλλετ, που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, εισάγονται από χώρες εκτός της ΕΕ28, συγκεκριμένα από τις Ηνωμένες Πολιτείες, τον Καναδά και τη Ρωσία (Bioenergy Europe, 2019).

Υπάρχει σαφώς **δυνατότητα εντατικοποίησης της αξιοποίησης των δασών για παραγωγή ενέργειας** στην ΕΕ28, καθώς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μόνο το 60-70% της ετήσιας αύξησης των δασών στην ΕΕ υλοτομείται/συλλέγεται. Προς το παρόν, περίπου το 42% της συγκομιδής χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας· υπολείμματα υψηλότερης αξίας που προκύπτουν από επεξεργασία υψηλότερης αξίας έχουν σημαντικό μερίδιο. Σύμφωνα με πρόσφατες προβλέψεις για το 2030, το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ξυλώδους δασικής βιομάζας για παραγωγή ενέργειας ανέρχεται σε 675 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (146 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου) ετησίως, υπό την προϋπόθεση ότι καταβάλλονται εντατικές προσπάθειες αξιοποίησης του ξύλου (European Commission, 2019).

Οι ζωτροφές και τα τρόφιμα είναι οι πιο σημαντικές κατηγορίες όσον αφορά τη **χρήση βιομάζας**, καλύπτοντας άνω του 60% της συνολικής βιομάζας. Η βιοενέργεια αντιπροσωπεύει περίπου το 19% της συνολικής βιομάζας στην ΕΕ-28. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το βιοαέριο και η βιοηλεκτρική ενέργεια δεν έχουν ληφθεί υπόψη. Τα βιοϋλικά είναι η τρίτη μεγαλύτερη κατηγορία (Gurría et al. 2017).

Η βιομάζα που χρησιμοποιείται για **ζωτροφές και τρόφιμα** είναι σχεδόν εξ ολοκλήρου γεωργικής προέλευσης. Το 71% της συνολικής παραγόμενης γεωργικής βιομάζας (εκφραζόμενη σε ξηρό υλικό) χρησιμοποιείται ως τροφή και ζωτροφή: το 69% χρησιμοποιείται ως ζωτροφή και υπόστρωμα για την παραγωγή ζωτροφής, ενώ το υπόλοιπο καταναλώνεται άμεσα ως φυτική τροφή (Gurría et. 2017).

Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας που χρησιμοποιείται για παραγωγή βιοενέργειας προέρχεται από δασικά προϊόντα. Το 2013, εκτιμήθηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν 178.7 t_{dm} ξύλου για παραγωγή ενέργειας, που συλλέχθηκαν - είτε άμεσα είτε έμμεσα - από το δάσος. Μόνο το 2% των γεωργικών υπολειμμάτων της ΕΕ μετατρέπεται σε βιώσιμα βιοκαύσιμα για τις μεταφορές. Τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται είτε ως βιοϋλικά είτε ως απόβλητα. Το 2013, η χρήση βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών της ΕΕ ανήλθε σε 12.0 ktoe (εκφραζόμενη σε ενέργεια). Το 2013, η συνολική βιομάζα που χρησιμοποιήθηκε στον τομέα των μεταφορών προήλθε στο μεγαλύτερο ποσοστό της (άνω του 90%) από τις αροτραίες καλλιέργειες. Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία, το έτος 2013, η παραγωγή των εγχώριων αροτραίων καλλιεργειών που αξιοποιήθηκε στον τομέα των μεταφορών ανήλθε σε 15 εκατομμύρια t_{dm} . Η Γερμανία ήταν ο κύριος προμηθευτής με 12 εκατομμύρια t_{dm} , ακολουθούμενη από τη Σλοβακία (με 668 χιλιάδες t_{dm}) και τη Ρουμανία (με 475 χιλιάδες t_{dm}) (Gurría et al. 2017).

Σχεδόν όλα τα **βιοϋλικά** προέρχονται από δασικές δραστηριότητες, με το μεγαλύτερο μερίδιο να είναι προϊόντα συμπαγούς (μασίφ) ξύλου. Το 2013, χρησιμοποιήθηκαν 189.9 εκατομμύρια τόνοι ξύλου (ξηρά ύλη) για παραγωγή βιοϋλικών. Η ΕΕ-28 είναι επίσης καθαρός εξαγωγέας (14.3 εκατομμύρια t_{dm}) προϊόντων συμπαγούς (μασίφ) ξύλου.

Το έργο Biomass Energy Europe (BEE)⁶ συνέκρινε περισσότερες από 70 εκτιμήσεις δυναμικού βιομάζας. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι εκτιμήσεις διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό λόγω διαφορετικών ορισμών του δυναμικού και λόγω διαφορετικών μεθόδων που εφαρμόζονται. Ωστόσο, οι περισσότερες από τις μελέτες συμφωνούν ότι **το δυναμικό της βιομάζας που προέρχεται από τη δασοκομία και τα απόβλητα είναι σχετικά σταθερό** με την πάροδο του χρόνου. Σημαντική αβεβαιότητα πηγάζει από το ερώτημα, πόση βιομάζα θα μπορούσε να προσφέρει ο τομέας της γεωργίας στην ΕΕ για παραγωγή ενέργειας; Η γεωργία φαίνεται λοιπόν να είναι το κλειδί για πραγματική, μεγάλης κλίμακας επέκταση του εφοδιασμού βιομάζας (European Commission, 2019).

Οι εκτιμήσεις για το **δυναμικό ενεργειακών καλλιεργειών** κυμαίνονται από 79 έως 377 Mtoe (3.3-15.8 EJ). Το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό εξαρτάται από τη γη που εξετάζεται για την παραγωγή, από την ποικιλομορφία των καλλιεργειών και την επιλογή των ειδών καθώς και από την ένταση των πρακτικών γεωργικής διαχείρισης. Εξετάστηκε επίσης η επισιτιστική ασφάλεια και ο αποκλεισμός περιοχών ενδιαφέροντος για τη διατήρηση της προστασίας της φύσης (Faaij, 2018).

Το δυναμικό των **γεωργικών υπολειμμάτων** κυμαίνεται μεταξύ 45 και 67 Mtoe (1.9 - 2.8 EJ) και εξαρτάται από τον τύπο των υπολειμμάτων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας (άχυρο και αραβόσιτος ή μοσχεύματα και υπολείμματα κλαδεμάτων), από τις επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών και των μέτρων προστασίας του εδάφους (Faaij, 2018).

Όσον αφορά στη δασική βιομάζα, οι εκτιμήσεις σχετικά με την ενεργητική πολιτική αιφόρου διαχείρισης των δασών, και την αποδοτική χρήση των υπολειμμάτων βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου ανέρχονται 174 Mtoe (7,3 EJ) (Faaij, 2018).

Το διαθέσιμο δυναμικό των **βιοαποικοδομήσιμων αποβλήτων** εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονται οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων στους αντίστοιχους τομείς· κυμαίνεται από 40 έως 119 Mtoe (1,7-5 EJ) (Faaij, 2018).

3.2 Προϊόντα βιομάζας

Πέλλετ

Το συσσωμάτωμα ξύλου (πέλλετ), με ή χωρίς πρόσθετα, παράγεται από τη διαδικασία συμπίεσης βιομάζας. Είναι συνήθως κυλινδρικό σωματίδιο, με σπασμένα άκρα, και έχει τυπικό μήκος 5-40 mm και μέγιστη διάμετρο 25 mm. Η περιεκτικότητα των πέλλετ σε υγρασία είναι συνήθως μικρότερη του 10%, ενώ η περιεκτικότητα σε τέφρα εκτιμάται έως 3%. Τα πέλλετ παράγονται συνήθως σε μύλο πελλετών.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης συσσωματώματος ξύλου/πέλλετ, σε σύγκριση με τον κόρμιο δέντρου ή τα θρύμματα ξύλου, είναι, μεταξύ άλλων, η δυνατότητα βελτιστοποίησης της διαδικασίας καύσης λόγω της ομοιομορφίας του καυσίμου, το μειωμένο κόστος μεταφοράς λόγω της αυξημένης χύδην πυκνότητας του καυσίμου, και η βελτίωση των θερμικών ιδιοτήτων και των ιδιοτήτων καύσης.

Ένα τυπικό πέλλετς **κατασκευάζεται από ξυλώδη βιομάζα**, όπως πριονίδι, θρύμματα ξύλου ή δασικά υπολείμματα. Ωστόσο, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6, είναι δυνατή η κατασκευή των πέλλετ και από άλλα υλικά. Μερικά παραδείγματα είναι τα προϊόντα χαρτιού, τα απόβλητα βιομάζας, το καλαμπόκι, οι βαμβακόσποροι, η κάνναβη, ο μίσχανθος, το καλάμι, το άχυρο, τα υπολείμματα σιτηρών, το σανό χαμηλής ποιότητας, κ.λπ. Οι ιδιότητες καυσίμου των πέλλετ που κατασκευάζονται από **εναλλακτικές πρώτες ύλες** διαφέρουν από τις αντίστοιχες των πέλλετ που κατασκευάζονται από ξυλώδη βιομάζα, λόγω υψηλότερης περιεκτικότητας σε τέφρα. Ορισμένες ιδιότητες καυσίμου μπορούν να βελτιωθούν με ανάμιξη διαφορετικών πρώτων υλών σε κατάλληλες ποσότητες.

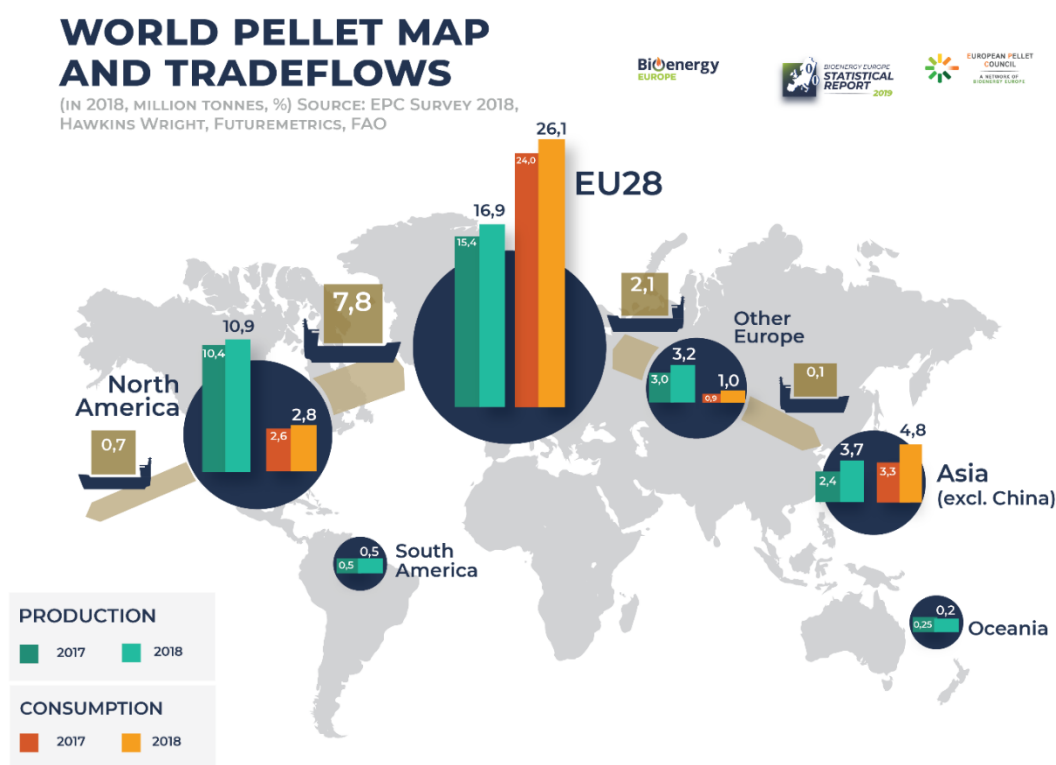
⁶ <http://www.eu-bee.eu/>

Το Διεθνές πρότυπο (ISO 17225-2: 2014 "Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets") καθορίζει τα πρότυπα ποιότητας πέλλετ ξύλου. Πέλλετς διακρίνονται τρεις ποιοτικές κλάσεις: A1, A2 και B, ανάλογα με την πρώτη ύλη και την ποιότητά τους. Πέλλετ Η ποιοτική κατηγορία A1 χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές μικρής κλίμακας (οικιακός τομέας), ενώ οι κατηγορίες χαμηλότερης ποιότητας χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερης δυναμικότητας συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Ένα άλλο διεθνές πρότυπο (ISO 17225-6: 2014 "Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 6: Graded non-woody pellets") καθορίζει τις ποιοτικές κλάσεις για τα **πέλλετ αγρο-βιομάζας**.

Η ΕΕ-28 είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός και καταναλωτής πελετών ξύλου παγκοσμίως (Εικόνα 7). Η κατάσταση διαφέρει ανά χώρα. Η Ιταλία, η Γερμανία και η Γαλλία χρησιμοποιούν πέλλετ ξύλου κυρίως σε εφαρμογές οικιακής θέρμανσης, ενώ η Δανία και η Σουηδία σε μονάδες ΣΗΘ, ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και η Ολλανδία ως επί το πλείστον σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα (βλ. Ενότητα 7.6). Η Βόρεια Αμερική (ΗΠΑ, Καναδάς) είναι καθαρός εξαγωγέας πελετών ξύλου στην Ευρώπη, ενώ είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι παρατηρείται αύξηση της ζήτησης σε χώρες της Ανατολικής Ασίας όπως η Ιαπωνία και η Νότια Κορέα.



Εικόνα 6: Παραδείγματα πελετών που κατασκευάζονται από διαφορετικά υλικά και διαδικασίες (Πηγή: DBFZ)



Εικόνα 7: Διεθνής παραγωγή και εμπόριο πελετών ξύλου (Πηγή: Bioenergy Europe)

Θρύμματισμένη και τεμαχισμένη ξυλεία

Για την παραγωγή θρυμμάτων ξύλου (ροκανίδια), τεμαχίζεται η ξυλώδης βιομάζα, με σκοπό την μετέπειτα καύση της. Η **διαδικασία τεμαχισμού** εξασφαλίζει την ομοιομορφία των θρυμμάτων ξύλου, τα οποία μπορεί να ρέουν και να τροφοδοτούνται αυτόματα σε λέβητα. Το μέσο μήκος των θρυμμάτων ξύλου κυμαίνεται από 16-45 mm. Λόγω της υψηλής αναλογίας επιφάνειας προς όγκο, μπορούν να έχουν αποτελεσματική καύση. Ωστόσο, συγκριτικά με τους κορμούς ξύλου, τα θρύμματα ξύλου έχουν χαμηλότερη χύδην πυκνότητα, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη ανάγκη χώρου κατά τη μεταφορά και αποθήκευση. Η ποιότητα των θρυμματισμένων ξύλων εξαρτάται από την πρώτη ύλη και τη διαδικασία τεμαχισμού.

Το **τεμαχισμένο ξύλο** είναι ξύλο ακανόνιστου μεγέθους και σχήματος. Σε αντίθεση με τα θρύμματα ξύλου, το τεμαχισμένο ξύλο παράγεται από **θρυμματισμό** με αμβλεία εργαλεία, όπως κυλίνδρους, σφυριά ή κόπανους.

Όσον αφορά στην πρώτη ύλη, τα θρύμματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (ETIP Bioenergy, 2019):

- **Θρύμματα από δασικά υπολείμματα** (παράγονται από κορμούς, ολόκληρα δέντρα, υπολείμματα υλοτομίας ή πρέμνα)
- **Θρύμματα υπολειμμάτων ξύλου** (παράγονται από υπολείμματα ξύλου που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία, ανακυκλωμένο ξύλο, τεμάχια ξύλου)
- **Υπολείμματα πριονίσματος** (υπολείμματα από πριονιστήρια)
- **Θρύμματα ξύλου από δασικά υπολείμματα σύντομης αμειψισποράς**

Ένα ήδη δημοσιευμένο πρότυπο (ISO 17225-4: 2014 “Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 4: Graded wood chips”) παρουσιάζει τις προδιαγραφές θρυμμάτων ξύλου για συστήματα μικρής κλίμακας (ιδιότητες καυσίμου υψηλής ποιότητας), ενώ ένα πρότυπο υπό ανάπτυξη (ISO 17225-9) αναφέρει τις προδιαγραφές καυσίμου και τις ποιοτικές κλάσεις για τις περιπτώσεις θρυμμάτων ξύλου και τεμαχισμένου ξύλου, που προορίζονται για βιομηχανική χρήση. Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται θρύμματα κύλου και τεμαχισμένα ξύλα από κλαδέματα.



Εικόνα 8: Αριστερά - θρύμματα ξύλου από το δάσος (Πηγή: Rutz D.), Δεξιά – τεμαχισμένο ξύλο από κλάδεμα ελιάς (Πηγή: Καραμπίνης Ε.)

Θερμικά προ-επεξεργασμένη βιομάζα

Ο όρος «θερμικά προ-επεξεργασμένη βιομάζα» χρησιμοποιείται για να καλύψει ένα διαφορετικό σύνολο τεχνολογιών, που αποσκοπούν στην αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και της υδρόφοβης φύσης της βιομάζας. Ο κύριος στόχος είναι η παραγωγή ενός υλικού με ιδιότητες ανάλογες των ιδιοτήτων του άνθρακα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για να αντικαταστήσει τον άνθρακα σε ενεργειακές εφαρμογές.

Οι πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνολογίες για την παραγωγή θερμικά προ-επεξεργασμένης βιομάζας είναι η **ήπια πυρόλυση (torrefaction)**, η έκρηξη ατμού (steam explosion) και η υδροθερμική ανθρακοποίηση (hydrothermal carbonization).⁷ περισσότερες λεπτομέρειες για τις εν λόγω τεχνολογίες δίνονται στην Ενότητα 7.7 του παρόντος Εγχειριδίου. Συνήθως, η θερμικά επεξεργασμένη βιομάζα πελλετοποιείται, με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής της πυκνότητας και την παραγωγή ομοιογενούς τελικού προϊόντος.

Υπάρχει Διεθνής τεχνική προδιαγραφή (ISO/TS 17225-8:2016⁷) που καθορίζει τις εφαρμογές και τις προδιαγραφές των πελλετών βιομάζας που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία.

Παρά τα οφέλη που απορρέουν από τα θερμικά προ-επεξεργασμένα πέλλετ βιομάζας, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι πολλοί τεχνολογικοί φορείς έχουν σχεδιάσει μονάδες παραγωγής εμπορικής κλίμακας, η εδραίωση στην αγορά αυτών των ενδιάμεσων φορέων βιοενέργειας δεν έχει επιτευχθεί ακόμη. Το έργο «MUSIC» (Market Uptake Support for Intermediate Bioenergy Carriers)⁸ σκοπεύει να επεκτείνει περαιτέρω την αγορά των ενδιάμεσων μεταφερόμενων προϊόντων, συμπεριλαμβανομένου του ελαίου πυρόλυσης και τους μικροβιακού ελαίου.

Στην Εικόνα 9 απεικονίζονται πελλέτες που έχουν επεξεργαστεί με τη διαδικασία της ήπιας πυρόλυσης.



Εικόνα 9: Θερμικά επεξεργασμένα πέλλετ βιομάζας. Αριστερά: ξύλο Arbacore μετά από έκθεση σε ζεστό ατμό (Πηγή: Arbaflame). Δεξιά: πέλλετ ξύλου μετά από φρύξη (Πηγή: Yilkins)

Βιο-έλαιο

Πληθώρα ερευνών, ργα επίδειξης-πειραματικής ανάπτυξης και εταιρείες αναπτύσσουν καινοτόμες διαδικασίες για τη μετατροπή, μέσω της πυρόλυσης/θερμοχημικής μετατροπής, ποικίλων πηγών βιομάζας (υπολείμματα δασοκομίας, υπολείμματα καλλιεργειών, απορρίμματα χαρτιού και οργανικά απόβλητα) σε σταθερό, συμπυκνωμένο βιο-έλαιο (βιο-αργό πετρέλαιο) (Εικόνα 10) ή βιο-πολύ (έλαιο με τέφρα) που είναι συμβατό με τις υφιστάμενες τεχνολογίες διυλιστηρίου και μπορεί να μετατραπεί σε προηγμένα βιοκαύσιμα (ETIP Bioenergy, 2019). Περισσότερες πληροφορίες αναφορικά με τη διαδικασία πυρόλυσης δίνονται στο Κεφάλαιο 5.

⁷ DIN EN ISO 17225-8:2016 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 8: Graded thermally treated and densified biomass fuels

⁸ www.music-h2020.eu



Εικόνα 10: Βιο-έλαιο, βιολογικά απόβλητα, δεμάτια αχύρου (Πηγή: Rutz D.)

Βιο-απόβλητα

Τα βιο-απόβλητα ορίζονται ως βιο-αποικοδομήσιμα απόβλητα κήπων και πάρκων, απόβλητα τροφίμων και κουζίνας νοικοκυριών, εστιατορίων, καταστημάτων εστίασης και λιανικής, και συναφή απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων. Στα βιο-απόβλητα δεν περιλαμβάνονται δασικά ή γεωργικά υπολείμματα, κοπριά, λυματολάσπη ή άλλα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα, όπως φυσικά υφάσματα, χαρτί ή επεξεργασμένο ξύλο. Εξαιρούνται, επίσης, τα υποπροϊόντα της παραγωγής τροφίμων που δεν μετατρέπονται ποτέ σε απόβλητα (European Commission, 2019c).

Οποιαδήποτε οργανικά υπολείμματα/βιολογικά απόβλητα δύναται να μετατραπούν σε προηγμένα βιοκαύσιμα μέσω θερμοχημικών, βιοχημικών ή χημικών διεργασιών. Όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας για τη μετατροπή της βιομάζας σε οικοδομικά υλικά, χαρτί και άλλα βιολογικά προϊόντα, ακολουθούν τη λειτουργία των βιοδιυλιστηρίων, μεγιστοποιώντας τη μετατροπή πρώτων υλών και ροών αποβλήτων σε υποπροϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, ενέργεια και βιοκαύσιμα. Ωστόσο, και τα αστικά στερεά απόβλητα μπορούν να μετατραπούν σε υγρά και αέρια βιοκαύσιμα για παραγωγή θερμότητας και ενέργειας ή να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα μεταφοράς. Τα απόβλητα ξύλου και τα δασικά υπολείμματα αποτελούν επίσης υποσχόμενες πρώτες ύλες για την παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων (ETIP Bioenergy, 2019).

Δεμάτια αχύρου

Το άχυρο -ως υποπροϊόν της παραγωγής σιτηρών- αποτελεί πιθανή πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Το άχυρο συνήθως αφήνεται στο χωράφι ως λίπασμα ή χρησιμοποιείται ως απόρριμμα και στη συνέχεια ως λίπασμα υπό τους όρους της κυκλικής οικονομίας. Για τη διασφάλιση της ποιότητας του αχύρου, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του κόστους εφοδιασμού, απαιτείται βελτιστοποίηση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας (από το χωράφι έως και την αποθήκευση του αχύρου). Λόγω του μεγάλου όγκου του αχύρου, η επιλογή του κατάλληλου επιπέδου συμπύκνωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μείωση του χώρου αποθήκευσης (δεμάτια αχύρου). Με τα τυπικά συστήματα συμπίεσης, η πυκνότητα του αχύρου κυμαίνεται από 80 έως 160 kg m⁻³. Ενδεικτικό σύστημα τροφοδοσίας αχύρου παρουσιάζεται στην Εικόνα 11



Εικόνα 11: Σύστημα τροφοδοσίας αχύρου για δίκτυο τηλεθέρμανσης στην Δανία (Πηγή: D.Rutz)

Φυτικά έλαια

Οι καλλιέργειες ελαίου αποτελούν σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ. Στην Ευρώπη, η ελαιοκράμβη είναι η πιο διαδεδομένη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντίζελ. Το φυτικό έλαιο παράγεται με συμπίεση ή εκχύλιση από τους ελαιούχους σπόρους/καρπούς (π.χ. ελαιοκράμβη, ηλιόσποροι, κ.λπ.), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη είτε ακατέργαστοι είτε κατόπιν επεξεργασίας, χωρίς όμως μεταβολή της χημικής τους σύστασης (ETIP Bioenergy, 2019).

Χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο και λίπη

Το χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο, το λίπος πρόβειου κρέατος, το λαρδί, το κίτρινο έλαιο μετά από τηγάνισμα, το λίπος κοτόπουλου, τα απόβλητα από τις ελαιοπαγίδες και τα υποπροϊόντα της παραγωγής ωμέγα-3 λιπαρών οξέων από ιχθυέλαιο χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως πρώτες ύλες για παραγωγή βιοντίζελ (ETIP Bioenergy, 2019).

Ενεργειακές καλλιέργειες (σιτηρά, ζαχαρότευτλο, λιγνοκυτταρίνη)

Οι **πρώτες ύλες με βάση το άμυλο** περιλαμβάνουν σιτηρά, όπως καλαμπόκι ή σιτάρι, και βολβούς, όπως γλυκόπατάτες και μανιόκα. Αυτές οι πρώτες ύλες περιέχουν πολύπλοκες μακρές αλυσίδες μορίων σακχάρου. Το άμυλο μετατρέπεται εύκολα σε ζυμώσιμα σάκχαρα. Τα σάκχαρα μπορούν να μετατραπούν στη συνέχεια σε αιθανόλη ή σε υποκατάστατα του συμβατικού πετρελαίου ντίζελ - π.χ. βιοντίζελ, καύσιμα για στροβιλοκινητήρες (jet fuels) - γνωστά ως “drop-in-fuels”. Το ινώδες τμήμα των φυτών (π.χ. άχυρο σίτου ή καλαμπόκι) μπορεί να μετατραπεί σε προηγμένα βιοκαύσιμα. Στην Ευρώπη, έως σήμερα, το σιτάρι είναι η κύρια πηγή πρώτης ύλης με βάση το άμυλο για την παραγωγή βιοαιθανόλης (ETIP Bioenergy, 2019).

Οι **καλλιέργειες ζάχαρης**, όπως το ζαχαροκάλαμο, το ζαχαρότευτλο και το γλυκό σόργο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες τόσο για την παραγωγή συμβατικών (αιθανόλη

μέσω ζύμωσης των σακχάρων) ή/και προηγμένων βιοκαυσίμων. Για την παραγωγή κυτταρινικής αιθανόλης (βιοκαύσιμο), δύναται να χρησιμοποιηθούν υπολείμματα από την παραγωγή ζάχαρης, όπως πολλοί τεύτλων, και υπολείμματα εκχύλισης σακχάρου (βαγάση). Τα ζυμώσιμα σάκχαρα μπορούν επίσης να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα υποκατάσταστα ντίζελ (“drop-in-fuels”) μέσω της βιοτεχνολογίας ή της χημικής κατάλυσης (ETIP Bioenergy, 2019).

Η **λιγνοκυτταρινική βιομάζα** περιλαμβάνει ξύλο από δασικά υπολείμματα, από υπολείμματα δασών βραχυχρόνιας αμειψισποράς και λιγνοκυτταρινικές ενεργειακές καλλιέργειες, όπως τα αγγρωστώδη φυτά και το καλάμι (π.χ. μίσχανθος). Γενικά, η λιγνοκυτταρινική βιομάζα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή ή ζωοτροφή, γεγονός που σημαίνει ότι είτε δεν υπάρχει ή υπάρχει και είναι περιορισμένος ο ανταγωνισμός όσον αφορά στην τελική χρήση των τροφίμων/ζωοτροφών. Τα λιγνοκυτταρινικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προηγμένου ντίζελ και συμβατών βιοκαυσίμων (μέσω θερμοχημικής μετατροπής), καθώς και για την παραγωγή κυτταρινικής αιθανόλης (μέσω βιοχημικής μετατροπής). Ωστόσο, η διείσδυση αυτών των τεχνολογιών στην αγορά είναι σχετικά περιορισμένη. Οι λιγνοκυτταρινικές καλλιέργειες έχουν γενικά υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από τις εναλλασσόμενες αροτραίες καλλιέργειες, δεδομένου ότι έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις σε εισροές υλικών και η ενεργειακή απόδοση ανά εκτάριο είναι πολύ υψηλότερη (ETIP Bioenergy, 2019).

3.3 Εφοδιαστικές αλυσίδες και αλυσίδες αξιών

Η εφοδιαστική της βιομάζας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της βιομάζας και τον τρόπο προ-επεξεργασίας (στην περίπτωση π.χ. ελαίων, πέλλετ, κ.λπ.). Η βιομάζα έχει συχνά **χαμηλή χύδην πυκνότητα** (π.χ. θρύμματα ξύλου, άχυρο) και συνεπώς απαιτούνται μεγάλοι όγκοι. Η τυπική αλυσίδα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια διαδικασίας: φύτευση, καλλιέργεια, συγκομιδή, επεξεργασία, αποθήκευση, μεταφορά εντός του χωραφιού/δάσους, οδικές μεταφορές και χρήση του καυσίμου στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής/διυλιστήριο. Οι διεργασίες που απαιτούνται για την τροφοδοσία της βιομάζας από το σημείο παραγωγής της στο σταθμό παραγωγής ενέργειας είναι οι ακόλουθες (Rentizelas et al., 2009):

- **Συγκομιδή/συλλογή** βιομάζας στο χωράφι/δάσος.
- Διαχείριση βιομάζας στο χωράφι/δάσος και **μεταφορά** σε σημείο όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν οχήματα οδικής μεταφοράς.
- **Αποθήκευση**. Πολλοί τύποι βιομάζας χαρακτηρίζονται από εποχιακή διαθεσιμότητα, καθώς συλλέγονται μια συγκεκριμένη περίοδο του έτους, αν και υπάρχει ζήτηση σε ετήσια βάση. Ο χώρος αποθήκευσης μπορεί να βρίσκεται σε ένα αγρόκτημα/δάσος, στο σταθμό επεξεργασίας ή σε έναν ενδιάμεσο χώρο.
- **Μεταφορά** συμπεριλαμβανομένης της φόρτωσης και της εκφόρτωσης: Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τοποθεσίες των πηγών βιομάζας (δηλαδή σε αγροκτήματα ή δάση), η υποδομή μεταφορών είναι συνήθως τέτοια ώστε η οδική μεταφορά να είναι ο μόνος πιθανός τρόπος συλλογής και μεταφοράς. Άλλα μέσα μεταφοράς, όπως πλοίο ή τρένο, μπορούν να ληφθούν υπόψη όταν εξετάζεται η μεταφορά βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις.
- **Επεξεργασία** βιομάζας για βελτιστοποίηση της διαχείρισης και της ποσότητας που μπορεί να μεταφερθεί. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει την αύξηση της χύδην πυκνότητας της βιομάζας (π.χ. επεξεργασία δασικής ξυλείας ή μίσχων πρεμνοφυούς μορφής σε θρύμματα ξύλου) ή ενοποίηση της βιομάζας (π.χ. δεματοποίηση άχυρου ή). Η επεξεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, ωστόσο συχνά προηγείται του σταδίου μεταφοράς και, εν γένει, είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά όταν γίνεται στο στάδιο συγκομιδής.

Η εφοδιαστική αλυσίδα βιομάζας έχει αρκετά διακριτά χαρακτηριστικά, σε αντίθεση με άλλες εφοδιαστικές αλυσίδες. Οι τύποι γεωργικής βιομάζας συνήθως χαρακτηρίζονται από **εποχιακή διαθεσιμότητα**. Ως εκ τούτου, σε περίπτωση ετήσιας ζήτησης βιοενέργειας, είναι αναγκαία η **αποθήκευση** σημαντικών ποσοτήτων βιομάζας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας είναι τα **υλικά χαμηλής πυκνότητας**. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει αυξημένη ανάγκη για εξοπλισμό μεταφοράς και χειρισμού, καθώς και αποθηκευτικός χώρος. Αυτό το πρόβλημα ενισχύεται από τη **χαμηλή θερμογόνο ικανότητα**, λόγω της στην υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία των περισσότερων πηγών γεωργικής βιομάζας. Η χαμηλή πυκνότητα της βιομάζας αυξάνει περαιτέρω το κόστος συλλογής, επεξεργασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης της βιομάζας (Rentizelas et al., 2009). Αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν **σημαντικά εμπόδια στη μεταφορά εφοδιασμού πρώτων υλών βιομάζας σε μεγάλες αποστάσεις**. Ωστόσο, αυτές οι προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν είτε με: (1) σχεδιασμό κατάλληλων συστημάτων μεταφοράς, επεξεργασίας και αποθήκευσης που μπορούν να προσαρμοστούν στα διάφορα είδη και μορφές ακατέργαστης βιομάζας ή (2) τη μορφοποίηση της βιομάζας ώστε να είναι συμβατή με τις υπάρχουσες υποδομές (Searcy et al., 2014). Η μορφή στην οποία συλλέγεται η βιομάζα καθορίζει συχνά το κόστος επένδυσης και λειτουργίας του αντίστοιχου συστήματος παραγωγής βιοενέργειας, καθώς επηρεάζει τις απαιτήσεις και το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας (Rentizelas et al., 2009).

Εκτός από αυτήν την τυπική αλυσίδα αξιών της συγκομιδής βιομάζας, η εφοδιαστική αλυσίδα των αποβλήτων βιομάζας συνήθως διαφέρει κατά πολύ. Για χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο (UCO) ή οργανικά αστικά στερεά απόβλητα (ΑΣΑ), βασική εφοδιαστική πρόκληση είναι η **διαχείριση των αποβλήτων** και ο τρόπος συλλογής τους. Με αυτόν τον τρόπο, η ευαισθητοποίηση και η συμπεριφορά των βιομηχανιών ή ιδιωτικών καταναλωτών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση της δημιουργίας μιας τέτοιας αλυσίδας αξίας βιομάζας. Τέλος, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη πτυχές ασφάλειας και υγιεινής.

3.4 Πολιτικές βιωσιμότητας και πιστοποίησης

Η **πρώτη Οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** (2009/28/EK) θέσπισε κανονιστικό πλαίσιο για την παραγωγή και την προώθηση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ΕΕ. Η ΕΕ δεσμεύεται να καλύψει τουλάχιστον το 20% των συνολικών ενεργειακών αναγκών της με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2020 –μέσω της επίτευξης μεμονωμένων εθνικών στόχων. Όλες οι χώρες της ΕΕ πρέπει επίσης να διασφαλίσουν ότι τουλάχιστον το 10% των καυσίμων μεταφοράς τους προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020. Η Οδηγία 2009/28/EK καθορίζει εθνικούς στόχους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το 2020 για κάθε κράτος-μέλος, λαμβάνοντας υπόψη το σημείο εκκίνησης και το συνολικό δυναμικό για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτοί οι στόχοι κυμαίνονται από 10% για την Μάλτα έως 49% για την Σουηδία. Οι χώρες της ΕΕ καθορίζουν τους τρόπους επίτευξης των στόχων του 2020 και την εφαρμογή πολιτικής τους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα εθνικά σχέδια δράσης. Η πρόοδος για την επίτευξη των εθνικών στόχων αξιολογείται ανά δύο έτη με τη δημοσίευση των εθνικών εκθέσεων προόδου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάθε κράτους-μέλους (European Commission, 2019b).

Τον Δεκέμβριο του 2018, τέθηκε σε ισχύ η **τροποποιημένη οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** 2018/2001/ΕΕ (RED II), ως μέρος της δέσμης μέτρων «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», με στόχο να παραμείνει η ΕΕ παγκόσμιος ηγέτης στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η νέα οδηγία καθόρισε έναν νέο δεσμευτικό στόχο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ΕΕ για το 2030 σε τουλάχιστον 32%, με υποπρόταση για πιθανή ανοδική τροποποίηση έως το 2023 (European Commission, 2019b).

Η RED II καθορίζει επίσης μια σειρά **κριτηρίων αειφορίας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου** που πρέπει να πληρούν τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές. Μερικά από αυτά τα κριτήρια είναι τα ίδια με την αρχική RED, ενώ άλλα είναι νέα ή επαναδιατυπωμένα. Επιπλέον, η RED II εισάγει κριτήρια αειφορίας και εξοικονόμησης

εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για στερεά και αέρια καύσιμα βιομάζας, καθώς και ειδικές απαιτήσεις για ηλεκτροπαραγωγή από καύσιμα βιομάζας (European Commission, 2019b).

Τα βιοκαύσιμα, τα βιορευστά και τα καύσιμα βιομάζας που προέρχονται από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών δεν πρέπει να παράγονται από πρώτες ύλες που προέρχονται από (European Commission, 2019b):

- **Εδάφη υψηλής βιοποικιλότητας** (από τον Ιανουάριο του 2008), συμπεριλαμβανομένων των πρωτογενών δασών· περιοχές προστασίας της φύσης ή σπάνιων και απειλούμενων οικοσυστημάτων ή ειδών· και λιβάδια υψηλής βιοποικιλότητας.
- **Εδάφη υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα** στα οποία, από το 2008, πραγματοποιήθηκε αλλαγή χρήσης από υγρότοπους, συνεχώς δασωμένες περιοχές ή άλλες δασικές περιοχές με δέντρα ύψους άνω των 5 μέτρων και ποσοστό δασοκάλυψης μεταξύ 10% και 30%.
- **Τυρψώδη εδάφη** τον Ιανουάριο του 2008.

Τα κριτήρια αειφορίας ισχύουν για εγκαταστάσεις συνολικής ονομαστικής θερμικής ισχύος άνω των 20 MW για εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, θέρμανσης, ψύξης ή καυσίμων από στερεά καύσιμα βιομάζας, και μεγαλύτερης ή ίσης των 2 MW για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αέρια καύσιμα βιομάζας (European Commission, 2019b).

Η RED II εισήγαγε νέα κριτήρια αειφορίας για δασικά υπολείμματα και δεσμεύσεις ότι η συγκομιδή πρέπει να πραγματοποιείται με νόμιμες άδειες, το επίπεδο συγκομιδής δεν πρέπει υπερβαίνει το ρυθμό ανάπτυξης του δάσους και ότι πραγματοποιείται αναγέννηση του δάσους. Επιπλέον, τα βιοκαύσιμα και η βιοενέργεια από δασικά υλικά πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις που αντικατοπτρίζουν τις αρχές που περιλαμβάνονται στον κανονισμό της ΕΕ για τη **χρήση γης, την αλλαγή της χρήσης γης και τη δασοκομία (LULUCF)**. Τα κριτήρια «δασοκομίας» ισχύουν είτε σε επίπεδο χώρας είτε σε επίπεδο δασικών εκτάσεων: η Επιτροπή θα καθορίσει κατευθυντήριες γραμμές εφαρμογής έως τις 31 Ιανουαρίου 2021 (European Commission, 2019b).

Στο πλαίσιο του επιμέρους στόχου (14%) για τις μεταφορές, εντάσσεται και ο στόχος για προηγμένα βιοκαύσιμα που παράγονται από συγκεκριμένες πρώτες ύλες. Αυτά τα καύσιμα πρέπει να παρέχουν κατ' ελάχιστον 0.2% της ενέργειας μεταφοράς το 2022, 1% το 2025 και τουλάχιστον 3.5% έως το 2030. Τα βιοκαύσιμα και η βιοενέργεια από απόβλητα και υπολείμματα πρέπει να συμμορφώνονται αποκλειστικά με το κριτήριο αειφορίας, που αφορά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (European Commission, 2019b).

Η μέγιστη συνεισφορά βιοκαυσίμων που παράγονται από καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών θα παγώσει στα επίπεδα κατανάλωσης του 2020 συν 1% επιπλέον με ανώτατο όριο 7% των καυσίμων οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών σε κάθε κράτος μέλος. Εάν το συνολικό μερίδιο των συμβατικών βιοκαυσίμων είναι μικρότερο του 1% έως το 2020 σε οποιοδήποτε κράτος μέλος, το ανώτατο όριο για αυτές τις χώρες θα εξακολουθήσει να είναι 2% το 2030. Επιπλέον, εάν το ανώτατο όριο για εδωδιμες καλλιέργειες νν και καλλιέργειες παραγωγής ζωοτροφών σε ένα κράτος μέλος είναι μικρότερο του 7%, η χώρα μπορεί να μειώσει το στόχο μεταφοράς κατά το ίδιο ποσοστό (για παράδειγμα, μια χώρα με ανώτατο όριο εδωδιμων καλλιεργειών και καλλιεργειών παραγωγής ζωοτροφών 5% θα μπορούσε να καθορίσει στόχο στον μεταφορικό τομέα έως και 12%). Οι «ενδιάμεσες καλλιέργειες» όπως οι καλλιέργειες εδαφοκάλυψης εξαιρούνται από αυτό το ανώτατο όριο. Τα καύσιμα που παράγονται από πρώτες ύλες με «υψηλό κίνδυνο έμμεσης αλλαγής χρήσης γης» θα περιορίζονται στο επίπεδο κατανάλωσης του 2019, και θα καταργηθούν σταδιακά έως το 2030, εκτός εάν πιστοποιηθούν συγκεκριμένες παρτίδες ως «χαμηλού κινδύνου έμμεσης αλλαγής της χρήσης γης». Οι πρώτες ύλες «χαμηλού κινδύνου έμμεσης αλλαγής χρήσης γης» περιλαμβάνουν εκείνες που παράγονται σε γη που δεν είχε καλλιεργηθεί. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στον τομέα των αερομεταφορών και των θαλάσσιων μεταφορών μπορούν

να συμβάλλουν στην επίτευξη του στόχου μεταφοράς του 14%, αλλά χωρίς να είναι δεσμευτική η αξιοποίησή τους (European Commission, 2019b).

Επιπρόσθετα, ορισμένα άλλα σχέδια σε επίπεδο ΕΕ (οδηγίες και κανονισμοί) επηρεάζουν έμμεσα τη βιωσιμότητα ορισμένων τύπων βιομάζας που σχετίζονται με την παραγωγή βιοενέργειας, επειδή αφορούν σχετικούς τομείς, όπως η δασοκομία, η γεωργία, η προστασία των οικοτόπων, η προστασία του περιβάλλοντος κ.λπ. και έτσι, αποτελούν ένα γενικό πλαίσιο. Μεταξύ των πιο σημαντικών συστημάτων που σχετίζονται με την εθνική νομοθεσία είναι (ENERGY BARGE, 2017):

- Διάφοροι κανονισμοί και οδηγίες στο πλαίσιο της **Κοινής Γεωργικής Πολιτικής**. Η Κοινή Γεωργική Πολιτική (ΚΓΠ) είναι η πολιτική της ΕΕ που αφορά στο γεωργικό τομέα και θεσπίστηκε το 1962. Έκτοτε, έχει τροποποιηθεί πολλές φορές. Στόχοι της ΚΓΠ είναι η αύξηση της παραγωγικότητας στον γεωργικό τομέα και η εξασφάλιση του δίκαιου βιοτικού επιπέδου για τον αγροτικό πληθυσμό. Επιπλέον, στοχεύει στη σταθεροποίηση των αγορών και στην εξασφάλιση της διαθεσιμότητας προμηθειών και λογικών τιμών για τους καταναλωτές. Η μεταρρύθμιση της ΚΓΠ το 2013 στοχεύει στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της γεωργίας στην ΕΕ, στην διασφάλιση μεγαλύτερης βιωσιμότητας και στη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων της.
- **Οδηγία για τους οικοτόπους της ΕΕ (92/43/ΕΚ)**
- **Κανονισμοί για προστατευόμενες περιοχές**, ειδικά το Δίκτυο προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000
- **Στρατηγική της ΕΕ για τη βιοποικιλότητα 2020**
- **Κανονισμός της ΕΕ για την ξυλεία (995/2010/ΕΚ)**

Όσον αφορά στη **Δασική Πολιτική**, το 2013 υιοθετήθηκε νέα στρατηγική της ΕΕ για τα δάση και το δασικό τομέα (COM (2013) 659). Παρόλο που η ΕΕ συνεισφέρει μέσω των πολιτικών της, εδώ και μεγάλο διάστημα, δεν εφαρμόζεται ενιαία ευρωπαϊκή πολιτική όσον αφορά στη βιώσιμη διαχείριση των δασών σε κάθε κράτος-μέλος. Η ανάγκη εφαρμογής ενιαίου πλαισίου πολιτικής κρίνεται επιτακτική για τη διασφάλιση της συνοχής των σχετικών με τα δάση πολιτικών στην ΕΕ. Επομένως, ένα κοινό πλαίσιο σε επίπεδο ΕΕ θα εγγυάται, μεταξύ άλλων, τη βιωσιμότητα της διαχείρισης των δασών, τη διαχείριση της αυξανόμενης ζήτησης σε πρώτες ύλες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και την προστασία των δασών και της βιοποικιλότητας (European Commission, 2013).

Η **Οδηγία για την Ποιότητα των Καυσίμων (FQD) (2009)** υποχρεώνει τα κράτη μέλη να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με την κατανάλωση καυσίμων μεταφοράς κατά 10% έως το 2020 (European Commission, 2009).

Το 2015, τέθηκε σε ισχύ η **Οδηγία για τη μείωση της έμμεσης αλλαγής της χρήσης γης που σχετίζεται με την παραγωγή βιοκαυσίμων και βιορευστών ((ΕΕ) 2015/1513)**. Η εν λόγω Οδηγία, γνωστή ως Οδηγία iLUC, τροποποίησε τη νομοθεσία για τα βιοκαύσιμα - συγκεκριμένα τη RED και την FQD - προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος αλλαγής της χρήσης γης και να διευκολυνθεί η μετάβαση προς τα προηγμένα καύσιμα. Μεταξύ άλλων, η Οδηγία περιορίζει το μερίδιο των βιοκαυσίμων που παράγονται από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών. Το μερίδιο αυτό εκτιμάται σε 7% στους στόχους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για το 2020, εναρμονίζει τον κατάλογο των πρώτων υλών σε ολόκληρη την ΕΕ των οποίων η συμβολή θα υπολογίζεται διπλά προς τον στόχο του 2020 για 10% χρήση ανανεώσιμης ενέργειας στις μεταφορές, και απαιτεί τα βιοκαύσιμα που παράγονται σε νέες εγκαταστάσεις να παράγουν 60% λιγότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα ορυκτά καύσιμα.

Η **Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση (Οδηγία 2012/27/ΕΕ)** θεσπίζει πλαίσιο για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στην ΕΕ, προκειμένου να επιτύχει το στόχο της ενεργειακής απόδοσης του 20% έως το 2020. Απαιτείται από όλα τα κράτη-μέλη να η πιο ορθολογική/αποτελεσματική χρήση της ενέργειας σε όλα τα στάδια της ενεργειακής αλυσίδας, από την παραγωγή έως την τελική κατανάλωση.

Προκειμένου να πληρούνται οι νομοθετικές απαιτήσεις για τις διαφορετικές πρώτες ύλες βιομάζας, τα συστήματα πιστοποίησης αποτελούν χρήσιμο εργαλείο. Τα βιοκαύσιμα και τα βιορευστά που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις βιωσιμότητας. Για να διασφαλιστεί αυτό, οι εταιρείες μπορούν να συμμετάσχουν σε **εθελοντικά συστήματα αειφορίας** που ελέγχουν τη συμμόρφωση με τα κριτήρια αειφορίας που έχει θέσει η ΕΕ. Για τη διαδικασία πιστοποίησης, όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας εξετάζονται από πιστοποιημένους ανεξάρτητους ελεγκτές. Η επαλήθευση της καταλληλότητας των περισσότερων συστημάτων διεξάγεται από ιδιωτικούς φορείς, ωστόσο η εγκυρότητά τους καθορίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η πιστοποίηση έχει διάρκεια πέντε ετών (ENERGY Barge, 2017b). Το Πρόγραμμα Βιώσιμης Βιομάζας (SBP)⁹ αποτελεί παράδειγμα συστήματος πιστοποίησης βιωσιμότητας, κυρίως για πέλλετ και θρύμματα ξύλου που χρησιμοποιούνται σεμεγάλης κλίμακας βιομηχανικές εφαρμογές για παραγωγή ενέργειας. Το σχέδιο του SBP στοχεύει να επαληθεύσει ότι το κλάσμα προϊόντων ξυλώδους βιομάζας προέρχεται από βιώσιμες και νόμιμες πηγές.

Τα συστήματα πιστοποίησης ποιότητας καυσίμου στοχεύουν στην εξασφάλιση εμπιστοσύνης στις ιδιότητες καυσίμου βιομάζας των μικρών και μεσαίων καταναλωτών, οι οποίοι δε μπορούν να υποβληθούν σε εκτεταμένη παρακολούθηση των ιδιοτήτων καυσίμου. Το πιο γνωστό σύστημα είναι το **ENplus**¹⁰, το οποίο στοχεύει στον έλεγχο της ποιότητας των πελλετών ξύλου σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, από την παραγωγή έως την παράδοση στον καταναλωτή. Επί του παρόντος, το **ENplus** αποτελεί κορυφαίο σύστημα πιστοποίησης ποιότητας των πελλετών ξύλου παγκοσμίως, με πιστοποίηση περίπου 11.6 εκατομμυρίων τόνων πελλετών ξύλου το έτος 2019. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια άλλα συστήματα πιστοποίησης ποιότητας καυσίμου, όπως το **GoodChips**¹¹ για θρύμματα ξύλου και τεμαχισμένα ξύλα (hog fuels), και το **BIOMasud**¹², για διαφορετικούς τύπους στερεών βιοκαυσίμων σε μεσογειακές χώρες (π.χ. πυρήνας ελιάς, κελύφη καρπών κ.λπ.).

4 Επισκόπηση των προοπτικών μετατροπής βιομάζας

Οι προοπτικές μετατροπής βιομάζας χαρακτηρίζονται από τον είδος της πρώτης ύλης, τις τεχνολογίες μετατροπής και τα τελικά προϊόντα. Μετά τη συγκομιδή, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για παραγωγή ενέργειας είτε αφού υποστεί περαιτέρω επεξεργασία. Η Διεθνής Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) (2019)¹³ αναφέρεται σε δύο βασικούς τύπους (ή μορφές) βιοκαυσίμων: πρωτογενή (μη επεξεργασμένη) βιομάζα και δευτερογενή (επεξεργασμένη) βιομάζα, ενώ τα βιοκαύσιμα δεν ορίζονται εδώ.

- Ως **πρωτογενή** (μη επεξεργασμένη) βιομάζα, ορίζεται η βιομάζα της οποίας η οργανική της ύλη χρησιμοποιείται ουσιαστικά με τη φυσική της μορφή (δηλαδή, όπως συγκομίζεται, π.χ. θρύμματα ξύλου, κορμός ξύλου). Αυτός ο τύπος βιομάζας καίγεται απευθείας για την παραγωγή ενέργειας για μαγείρεμα, παραγωγή θερμότητας (για θέρμανση χώρων) και ατμού, για ηλεκτροπαραγωγή και θερμική επεξεργασία.
- **Δευτερογενής** (επεξεργασμένη) βιομάζα σε στερεή (π.χ. ξυλάνθρακας, βιομάζα μετά από φρύξη, πέλλετ), υγρή (π.χ. αιθανόλη, φυτικό έλαιο) ή αέρια (π.χ. βιοαέριο,

⁹ www.sbp-cert.org

¹⁰ www.enplus-pellets.eu

¹¹ www.goodchips.eu

¹² www.biomassud.eu

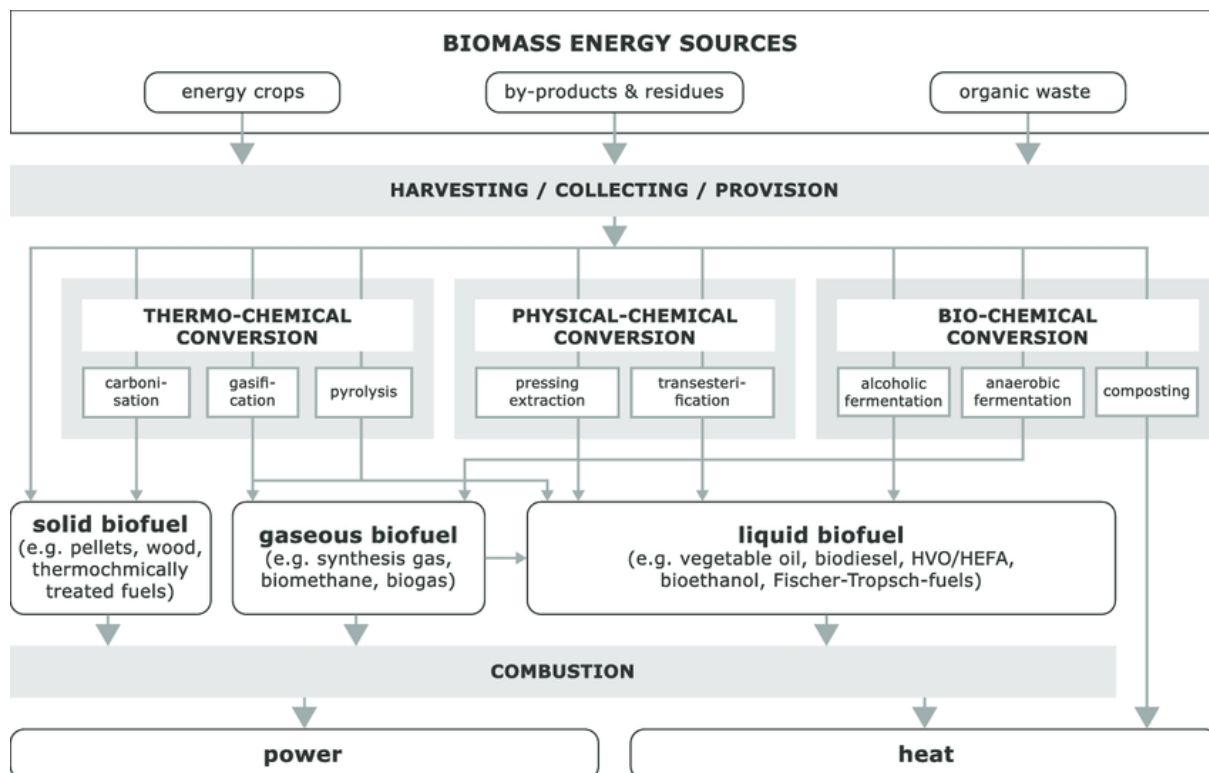
¹³ <http://www.fao.org/3/j4504E/j4504e06.htm> Whereas FAO is using the word „biofuels“ instead of „bioenergy“

βιομεθάνιο, βιο-υδρογόνο) μορφήμπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σε πληθώρα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και βιομηχανικών διεργασιών υψηλών θερμοκρασιών.

Επιπλέον, πρόσφατα εισήχθη ένας σχετικά νέος όρος για ορισμένα είδη δευτερογενούς βιομάζας, ο λεγόμενος «**ενδιάμεσοι φορείς βιοενέργειας**» (**ΕΦΒ**). Οι ΕΦΒ σχηματίζονται όταν η βιομάζα υφίσταται κατεργασία για τη μετατροπή της σε ενεργειακά πυκνότερα, ευκολότερα αποθηκεύσιμα και μεταφερόμενα ενδιάμεσα προϊόντα, ανάλογα των ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) . Οι ΕΦΒ δύνανται να χρησιμοποιηθούν απευθείας για παραγωγή θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας, ή σε περαιτέρω εξευγενισμένη μορφή για την παραγωγή βιο-προϊόντων υψηλής αξίας. Παραδείγματα ΕΦΒ είναι το έλαιο πυρόλυσης ή η «καβουρδισμένη» βιομάζα (torrefied biomass) . Ωστόσο, ο όρος ΕΦΒ δεν έχει ορισθεί επίσημα και κάποιοι τύποι βιομάζας, παραδείγματος χάριν τα πέλλετ θα μπορούσαν είτε να θεωρηθούν ως ΕΦΒ είτε όχι.

Η επεξεργασία βιομάζας στοχεύει στην παραγωγή βιομάζας με σαφώς καθορισμένα χαρακτηριστικά. Αυτό εξασφαλίζει μια τεχνικά απλή και περιβαλλοντικά ορθή μετατροπή σε ωφέλιμη ενέργεια. Η τυποποιημένη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια, με λιγότερα εμπόδια, για την άνετη και αποτελεσματική επίτευξη της εργασίας προμήθειας. Οι μέθοδοι μετατροπής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριες διαδικασίες:

- Η **θερμοχημική μετατροπή** συνοψίζει όλες τις διαδικασίες μετατροπής της βιομάζας με βάση τη θερμική ενέργεια: καύση, αεριοποίηση, πυρόλυση, φρύξη και απανθράκωση
- Οι διαδικασίες **φυσικο-χημικής μετατροπής** μετατρέπουν τη βιομάζα που έχει υποστείφυσικές (π.χ. συμπίεση, άλεση κ.λπ.) και χημικές διεργασίες (π.χ. εστεροποίηση, υδροθερμική επεξεργασία). Αυτό περιλαμβάνει π.χ. τη συμπίεση των πελλετών καιελαιούχων σπόρων, συμπεριλαμβανομένης της εκχύλισης ελαίου και της διεστεροποίησης αυτού του ελαίου σε μεθυλεστέρα λιπαρού οξέος. Επιπλέον, περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους προ-επεξεργασίας για τη μετατροπή λιγνοκυτταρικής βιομάζας σε βιοκαύσιμα 2ης γενιάς.
- Η **βιο-χημική μετατροπή** συνοψίζει τις συμβατικές διαδικασίες μετατροπής χρησιμοποιώντας βιολογικές διεργασίες μικροοργανισμών. Στις βιολογικές διεργασίες εντάσσονται η αναερόβια χώνευση για παραγωγή βιοαερίου ή η ζύμωση για παραγωγή αιθανόλης.



Εικόνα 12: Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας (Πηγή: Thrän et al. 2015)

Υπάρχουν πολλά κριτήρια επιλογής μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας έναντι άλλων, ωστόσο κύριο κριτήριο επιλογής είναι η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία. Όταν η βιομάζα είναι «ξηρή», προτιμάται η εφαρμογή θερμοχημικών τεχνολογιών, καθώς απαιτείται θέρμανση μικρότερης ποσότητας νερού. Όταν η βιομάζα είναι «υγρή» - υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία - οι τεχνολογίες βιο-χημικής μετατροπής, όπως η αναερόβια χώνεψη ή η ζύμωση, κρίνονται καταλληλότερες.

Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές τεχνολογίες μετατροπής, που σχετίζονται με τις βιομηχανίες που εμπλέκονται στο έργο BIOFIT.

5 Μετασκευή σε μονάδες βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς

5.1 Επισκόπηση του τομέα

Ο τομέας **βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς** (1G) στην Ευρώπη περιλαμβάνει την παραγωγή βιοντίζελ (μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων - FAME), υδρογονωμένο φυτικό έλαιο (HVO) και βιοαιθανόλη, τα οποία παράγονται από διάφορες καλλιέργειες τροφίμων. Το βιοντίζελ και το υδρογονωμένο φυτικό έλαιο και HVO παράγονται από ελαιούχες καλλιέργειες, όπως η ελαιοκράμβη. Η βιοαιθανόλη παράγεται τη ζύμωση των σακχάρων ή από καλλιέργειες που περιέχουν άμυλο, συμπεριλαμβανομένων του ζαχαρότευτλου, των κόκκων σιτηρών και του αχύρου. Κύριο πλεονέκτημα αυτών των καυσίμων είναι ότι μπορούν να αναμειχθούν με τα τυπικά καύσιμα μεταφοράς.

Για την Ευρώπη, η παραγωγή **βιοντίζελ** είναι πιο σημαντική από την παραγωγή **βιοαιθανόλης** με παραγωγή βιοντίζελ 11.5 εκατομμυρίων t/a το 2015, έναντι 1.9 εκατομμυρίων m³/a βιοαιθανόλης. Αυτές οι ποσότητες παράγονται από πολυάριθμα εργοστάσια που βρίσκονται διάσπαρτα σε όλη την Ευρώπη. Ο όγκος παραγωγής

βιοκαυσίμων, κυρίως βιοντίζελ και βιοαιθανόλης, αν και σημείωσε αύξηση έως το 2013, τα τελευταία παραμένει σταθερός. Η υποστήριξη των βιοκαυσίμων από κυβερνήσεις μειώθηκε τα τελευταία έτη (π.χ. η Ισπανία έχει μειώσει την απαιτήσεις ανάμειξης). Η αβεβαιότητα σχετικά με τη βιωσιμότητα αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή συστημάτων πιστοποίησης βιωσιμότητας των βιοκαυσίμων, τα οποία δεν θεωρούνται διαδεδομένα σε άλλους τομείς. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα αβεβαιότητες σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις της παραγωγής βιοκαυσίμων 1G με την παραγωγή τροφίμων και τη διαθεσιμότητα γης. Η προσθήκη, και μακροπρόθεσμα αντικατάσταση των 1G βιοκαυσίμων από 2G (**δεύτερης γενιάς**) είναι επομένως πολιτικά επιθυμητή, επειδή τα τελευταία περιλαμβάνουν καλλιέργειες που δεν προορίζονται για διατροφή, όπως πρώτες ύλες λιγνοκυτταρίνης και χρησιμοποιημένα έλαια. Σε πολλές περιπτώσεις, επιτυγχάνουν καλύτερη ισορροπία μεταξύ των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και δεν υπόκεινται στο ανώτατο όριο των βιοκαυσίμων που παράγονται από καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών που θα επιβληθεί από την τροποποιημένη οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II).

Εκτός από το συνολικό στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, η RED II έχει επίσης επικαιροποιήσει σύνολο κριτηρίων αειφορίας για να διασφαλίσει ότι τα χρησιμοποιούμενα βιοκαύσιμα μειώνουν τις εκπομπές άνθρακα. Νέο στοιχείο στη RED II είναι ότι υπάρχουν κριτήρια αειφορίας για τη δασική βιομάζα καθώς και κριτήρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τα καύσιμα βιομάζας. Για τα καύσιμα μεταφοράς, η ελάχιστη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται από την ηλικία των μονάδων παραγωγής βιοκαυσίμων. Τα ελάχιστα όρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για βιοκαύσιμα στη RED II παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ελάχιστα όρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για βιοκαύσιμα στη RED II

Ημερομηνία έναρξης λειτουργίας της μονάδας	Κατώτατα όρια μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στη RED II
Πριν τον Οκτώβρη 2015	50%
Μετά τον Οκτώβρη 2015	60%
Μετά τον Ιανουάριο 2021	65%
Μετά τον Ιανουάριο 2026	65%

Άλλες σημαντικές πτυχές της RED II είναι:

- Απαγόρευση παραγωγής βιοκαυσίμων από ορισμένους **υψηλής αξίας τύπους εδάφους**, όπως έδαφος υψηλής αξίας βιοποικιλότητας, υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και υγρότοπων (τυρφώνες)
- Στόχος αναφορικά για τα λεγόμενα **προηγμένα βιοκαύσιμα**, που παράγονται από (καθορισμένα) υπολείμματα. Αυτός ο στόχος αυξάνεται από 0.2% της ενέργειας μεταφοράς το 2022 σε 1% το 2025 και τουλάχιστον 3.5% έως το 2030

Για την ΕΕ, η δέσμη μέτρων της RED II αποσκοπεί στη διατήρηση του ρόλου της ΕΕ ως παγκόσμιου ηγέτη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ παράλληλα βοηθά την ΕΕ να εκπληρώσει τις δεσμεύσεις της για μείωση των εκπομπών βάσει της συμφωνίας του Παρισιού¹⁴.

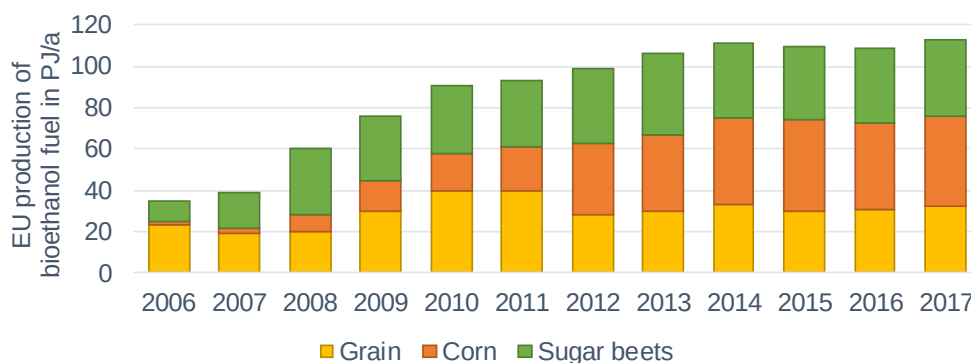
Ευκαιρίες για μετασκευή είναι η μετατροπή μονάδων βιοκαυσίμων 1G για την παραγωγή περισσότερων ή μόνο 2G βιοκαυσίμων, με (π.χ.) πρόσθετα κυτταρινικής αιθανόλης, πρόσθετα

¹⁴ <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>

πολλαπλών πρώτων υλών βιοντίζελ ή πρόσθετα βιοαερίου. Παραδείγματα βέλτιστων πρακτικών είναι η μετασκευή μονάδας βιοντίζελ από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη και μαγειρικό έλαιο στο Βόλο στην Ελλάδα, που ανατέθηκε από την BDI (Αυστρία), και η προσθήκη βιοαερίου σε ένα εργοστάσιο αιθανόλης, με βάση το ζαχαρότευτλο, στο Anklam της Γερμανίας από την Suiker Unie. Άλλες επιλογές μετασκευής περιλαμβάνουν βελτίωση του ισοζυγίου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. παραγωγή βιοαερίου από ροές αποβλήτων) ή πιο προηγμένες βελτιώσεις ηλεκτροκαυσίμων.

5.2 Προσθήκη κυτταρινικής αιθανόλης στη βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς

Η βιοαιθανόλη παράγεται με ζύμωση των σακχάρων με την προσθήκη εκχυλίσματος μαγιάς. Από τις **καλλιέργειες ζάχαρης**, όπως ζαχαρότευτλα και ζαχαροκάλαμο, τα ζυμώσιμα σάκχαρα εξάγονται εύκολα σε μια διαδικασία που μοιάζει πολύ με τα πρώτα στάδια παραγωγής ζάχαρης. Είναι επίσης δυνατό να ληφθεί ζυμώσιμο διάλυμα σακχάρων από **καλλιέργειες αμύλου**, όπως σιτάρι ή αραβόσιτος. Το άμυλο είναι βιοπολυμερές που σχηματίζεται από μόρια γλυκόζης που μπορούν να διασπαστούν σε ζυμώσιμα σάκχαρα με θερμική και ενζυμική επεξεργασία που ονομάζεται σακχαροποίηση. Οι πυρήνες αλέθονται για να παραχθεί αλεύρι, το οποίο αναμιγνύεται με νερό και ένζυμα και υποβάλλεται σε επεξεργασία σε θερμοκρασίες έως περίπου 90°C. Η Εικόνα 13 απεικονίζει την παραγωγή βιοαιθανόλης κατ' όγκο. Στο εξής, η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα και σπόρους (ειδικά σιτάρι).



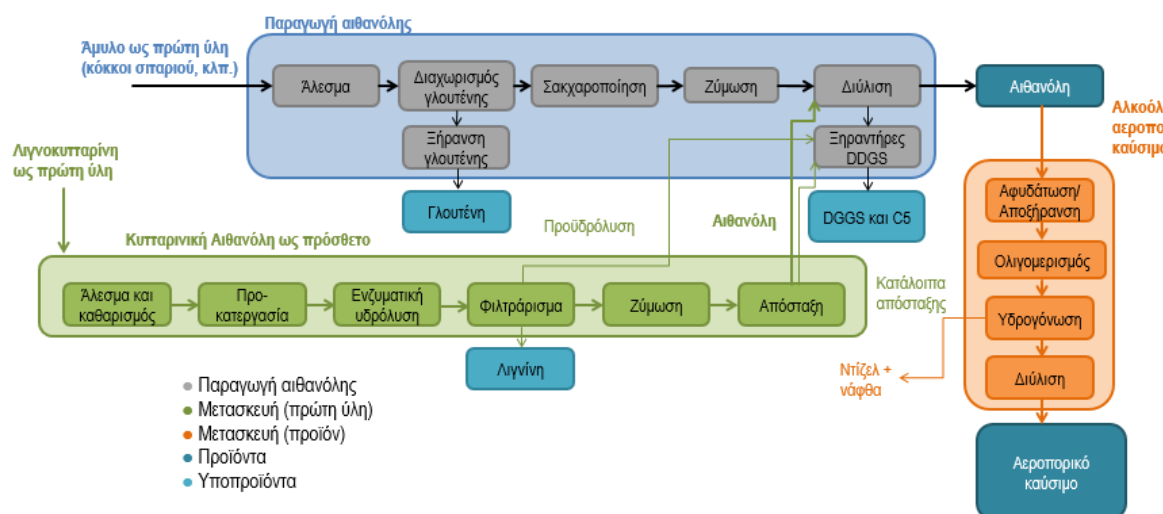
Εικόνα 13: Παραγωγή καυσίμου βιοαιθανόλης στην ΕΕ σε PJ/a (Naumann et al., 2019)

Τα παραγόμενα διαλύματα σακχάρων ζυμώνονται με μαγιά ώστε να παραχθεί πολτός με 12-16% περιεκτικότητα σε αιθανόλη, μέσω διαδικασίας αντίστοιχης της βιομηχανικής παραγωγής ζύθου. Για την παραγωγή καθαρής αιθανόλης (>99.5%) μέσω της διαδικασίας πολτοποίησης, εφαρμόζονται μέθοδοι απόσταξης και άλλες μέθοδοι καθαρισμού. Εκτός από την αιθανόλη, συγκεντρώνονται υπολείμματα από τις ζυμώσεις. Για διαδικασίες που χρησιμοποιούν καλλιέργειες αμύλου ή σακχάρων ως πρώτη ύλη, αυτά τα υπολείμματα ονομάζονται κατάλοιπα ή βινάσσα, αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα αυτών των υποπροϊόντων σε νερό συνήθως μειώνεται, μέσω εξάτμισης ή ξήρανσης, προκειμένου παραχθούν προϊόντα ζωοτροφών υψηλότερης προστιθέμενης. Ιδιαίτερα από τα κατάλοιπα που οδηγούνται σε ξήρανση προκύπτουν **αποξηραμένα φυράματα και διαλυτά συστατικά απόσταξης** (Distillers Dried Grains and Solubles - DDGS), τα οποία αποτελούν σημαντικό υποπροϊόν που παρέχει επιπλέον έσοδα σε μονάδες αιθανόλης πρώτης γενιάς.

Η βιομάζα δύναται επίσης να αξιοποιηθεί για την παραγωγή αιθανόλης μέσω των τεχνολογιών 2G που χρησιμοποιούν **λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες** (Εικόνα 14). Η λιγνοκυτταρινική βιομάζα, όπως το ξύλο ή το άχυρο, συνίσταται κυρίως από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη. Η κυτταρίνη είναι επίσης βιοπολυμερές με μονομερή με βάση τη γλυκόζη. Ωστόσο, η κυτταρίνη είναι πιο δύσκολο να σακχαροποιηθεί και να ληφθεί ζυμώσιμο διάλυμα σακχάρου. Οι υφιστάμενες τεχνολογίες για την παραγωγή βιοαιθανόλης 2G εφαρμόζουν συνήθως τη διαδικασία θερμικής προεπεξεργασίας, όπως έκρηξη ατμού, με σκοπό την καταστροφή της δομής λιγνίνης - κυτταρίνης - ημικυτταρίνης. Αυτή η διεργασία έχει ως στόχο να διευκολύνει

την επακόλουθη ενζυμική σακχαρίωση της κυτταρίνης. Η αιθανόλη ζυμώνεται εκ νέου από το διάλυμα σακχάρου και καθαρίζεται με αντίστοιχη διαδικασία με τη κατάντη εφοδιαστική αλυσίδα παραγωγής 1G αιθανόλης.

Δεδομένου ότι η οικονομική βιωσιμότητα των τεχνολογιών αιθανόλης 2G καθίσταται αβέβαιη, **πρόσθετες λύσεις** στα εργοστάσια αιθανόλης 1G θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε συνέργειες και εξοικονόμηση κόστους (Macrelli et al. 2014, Watanabe et al. 2015). Δύναται να αναπτυχθούν μέθοδοι ενσωμάτωσης της αιθανόλης 2G σε υφιστάμενες μονάδες. Οι συνέργειες θα μπορούσαν να προκύψουν από τη χρήση λιγνοκυτταρινικών υλικών των καλλιεργειών αμύλου (π.χ. πίτουρο σίτου), την κοινή χρήση τμημάτων του τμήματος κατάντη, την προσαρμογή της περιεκτικότητας σε σάκχαρα με ανάμειξη των γλευκών σε ζύμωση γλευκών, την κοινή χρήση της γενικής υποδομής στη μονάδα ή τη χρήση λιγνίνης ως ανανεώσιμο καύσιμο για παροχή θερμότητας.



Εικόνα 14: Υποδειγματική ιδέα συνδυασμένης παραγωγής αιθανόλης 1G και 2G με επιπλέον παραγωγή καυσίμων αεροπορίας

Οι δραστηριότητες για την **προώθηση της λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης στην αγορά** διεξήχθησαν πρόσφατα στις ΗΠΑ και τη Βραζιλία. Ο κύριος στόχος ήταν η ενσωμάτωσή της σε υφιστάμενες μονάδες παραγωγής. Για παράδειγμα, αναπτύχθηκαν σχέδια για την επέκταση του δικτύου Patriot Renewable Fuels στο Annapaw, Illinois, (τώρα CHS Inc.) με τεχνολογία λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης Inbicon. Η μονάδα, η οποία παράγει περίπου 380,000 t/a αιθανόλη από κόκκους σιτηρών, επεκτάθηκε για να παράγει επιπλέον 75,000 – 90,000 t/a αιθανόλη από άχυρο καλαμποκιού (Lane, 2019). Ένα υπάρχον βιοδιυλιστήριο, ονόματι POET στο Emmetsburg της Iowa, επεκτάθηκε επίσης από μονάδα λιγνοκυτταρίνης αιθανόλης σε μια κοινοπραξία μεταξύ της POET και της Royal-DSM. Το νέο τμήμα της μονάδας έχει σχεδιαστεί για να μετατρέπει 300,000 t/a αραβοσίτου σε περίπου 60,000 t/a αιθανόλη (DSM, 2013). Οι ίνες καλαμποκιού σε αιθανόλη έχουν προστεθεί ως πρόσθετη λύση στο εργοστάσιο βιοαιθανόλης της Quad County Corn Processors. Η λεγόμενη «διαδικασία συγκέντρωσης κυττάρων» (cellerate process) εφαρμόστηκε εδώ.

Στην Βραζιλία, για παράδειγμα, η Raízen, κοινή επιχείρηση (κοινοπραξία) μεταξύ του παραγωγού ζάχαρης Cosan και του ομίλου ορυκτελαίων Royal Dutch Shell, ολοκλήρωσε την πρώτη από τις οκτώ προγραμματισμένες επεκτάσεις μονάδων το 2014. Ως αποτέλεσμα της επέκτασης, επιπλέον 32,000 t/a αιθανόλης μπορούν να παραχθούν από βαγάσση ζαχαροκάλαμου και άχυρο στο δίκτυο Piracicaba, Σάο Πάολο. Τα κυριότερα τμήματα των μονάδων (προεπεξεργασία, ενζυματική υδρόλυση και ζύμωση) παρέχονται από την Iogen Energy. Τα κύρια πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης με το υφιστάμενο εργοστάσιο ζάχαρης είναι η πρόσβαση σε βαγάσση και άχυρο χαμηλού κόστους, μικρότερο επενδυτικό κόστος

λόγω της χρήσης του υπάρχοντος εξοπλισμού και μικρότερο λειτουργικό κόστος. Σχεδιάστηκε δεύτερη επέκταση μονάδας με παραγωγική ικανότητα 95,000 t/a αιθανόλης κατά προσέγγιση.

Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθεί η βαγιάση ως πρώτη ύλη για παραγωγή αιθανόλης 2G και να επιστραφούν τα υπολείμματα λιγνίνης στον λέβητα της εγκατάστασης για παροχή ενέργειας. Εμφανίζονται ουσιαστικές ευκαιρίες ενσωμάτωσης από την συν-εγκατάσταση με μύλο ζαχαροκάλαμου, οι οποίοι περιλαμβάνουν:

- Πρόσβαση σε βαγιάση χαμηλού κόστους, έτοιμη προς χρήση και σε σταθερή παροχή.
- Πρόσβαση στο άχυρο ζαχαροκάλαμου που απομένει στον αγρό.
- Σημαντική εξοικονόμηση κεφαλαίου μέσω της χρήσης υπάρχοντος εξοπλισμού και άλλων υποδομών.
- Εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους λόγω κοινής χρήσης στις υπάρχουσες υποδομές.

Είναι γνωστό πως ελάχιστες μελέτες λαμβάνουν υπόψιν την προσθήκη κυτταρινικής αιθανόλης στη βιομηχανία παραγωγής αιθανόλης στην Ευρώπη. Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου "Biorefinery2021 - Energy from Biomass - New Paths to the Integrated Biorefinery", διερευνήθηκαν διάφορες έρευνες για τη βελτιστοποίηση των μονάδων παραγωγής αιθανόλης. Αναπτύχθηκαν έννοιες που εξετάζουν τόσο την αυτόνομη όσο και τη συνδυασμένη παραγωγή λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης (Gröngroft et al., 2011). Αναπτύχθηκαν επίσης αρχικές ιδέες για μονάδες συνδυασμένης επεξεργασίας σιταριού και αχύρου σίτου. Διαπιστώθηκε ότι οι η αξία των προαναφερθέντων επενδύσεων κατασκευής εξοπλισμού παραγωγής λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης δύναται να μειωθεί με την ενσωμάτωσή του στον υφιστάμενο εξοπλισμό (Gröngroft et al., 2011).

Ως εκ τούτου, μέχρι στιγμής δεν έχουν διεξαχθεί μελέτες που να αφορούν στην ενσωμάτωση λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης και των πρώτων υλών της σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις παραγωγής στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός λιγνοκυτταρινικής αιθανόλης με αιθανόλη τεύτλων και παραγωγής σακχάρου δεν έχει διερευνηθεί ακόμη.

Στο πλαίσιο του έργου BIOFIT, οι εταίροι του έργου Biocarburantes de Castilla y Leon και CIEMAT διερευνούν την ενσωμάτωση της παραγωγής 30 εκατομμυρίων λίτρων/έτος αιθανόλης 2G παραγόμενης από μη χρησιμοποιούμενα συστατικά πρώτων υλών στην υπάρχουσα μονάδα παραγωγής αιθανόλης, με αξιοποίηση των σιτηρών στο Babilafuente της Ισπανίας.

5.3 Αλκοόλη για αερομεταφορές

Μια πρόσθετη δυνατότητα χρήσης βιοαιθανόλης, είναι η παραγωγή καυσίμων μεταφορών από αιθανόλη μέσω μια διαδικασίας που ονομάζεται **alcohol-to-jet** (ATJ) (Εικόνα 14). Στο πλαίσιο αυτής της διαδικασίας, αλκοόλες μικρής ανθρακικής αλυσίδας (αιθανόλη, προπανόλη ή βουτανόλη) μετατρέπονται σε υδρογονάνθρακες μακράς αλυσίδας και διαχωρίζονται σε διάφορα κλάσματα καυσίμου.

Η διαδικασία ATJ ξεκινά με τις καθαρές αλκοόλες. Η αιθανόλη παράγεται όπως περιγράφεται παραπάνω, ομοίως και άλλες αλκοόλες, αλλά με χρήση διαφορετικών μικροοργανισμών και τεχνολογίες κατάντη. Υπάρχουν διαφορετικές διαδικασίες για την παραγωγή ATJ, οι οποίες διαφέρουν ελαφρώς. Τα τυπικά στάδια απεικονίζονται στην Εικόνα 14. Σε υψηλές θερμοκρασίες και υπό υψηλή πίεση, οι υδροξυλομάδες (OH) των μορίων αλκοόλης αφυδατώνονται (απομάκρυνση των ομάδων OH) και ύστερα μετατρέπονται σε μεγαλύτερους υδρογονάνθρακες (ολιγομερισμός). Το προκύπτον μείγμα υδρογονανθράκων διαφορετικού μήκους αποσπάζεται σε επιθυμητά κλάσματα και οι εναπομείναντες διπλοί δεσμοί γίνονται κορεσμένοι με χρήση υδρογόνου (Diederichs et al., 2016).

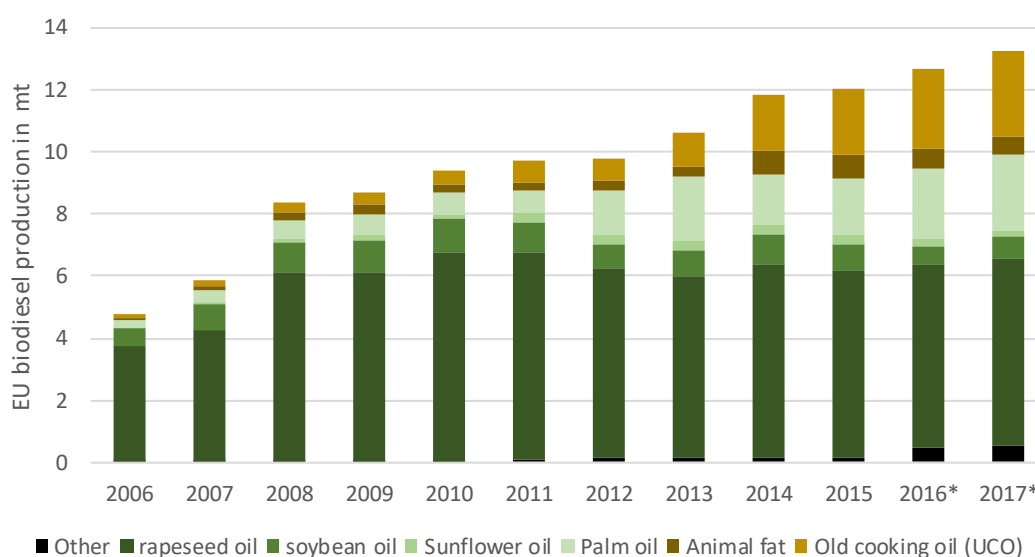
Ανάλογα με τις παραμέτρους επεξεργασίας στη διαδικασία ΑΤJ, μπορούν να παραχθούν κλάσματα κηροζίνης με ή χωρίς αρωματικές ενώσεις. Ως υποπροϊόντα κατά την απόσταξη, προκύπτουν συνήθως κλάσματα βιοντίζελ και νάφθας.

Η μετατροπή των αλκοολών σε κηροζίνη στη διαδικασία ΑΤJ δεν είναι ακόμη εμπορικά διαθέσιμη. Ωστόσο, ήδη λειτουργούν πιλοτικές μονάδες πραγματοποιηθεί δοκιμαστικές πτήσεις με χρήση της κηροζίνης ως καύσιμο. Αναμένεται ότι η ΑΤJ θα αποτελέσει σημαντική διαδικασία για μελλοντική παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων στις αερομεταφορές. Στο πλαίσιο του έργου BIOFIT, διεξάγεται μελέτη περίπτωσης από την DBFZ και τα Swedish Biofuels σχετικά με τα οφέλη της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας ΑΤJ σε υφιστάμενες μονάδες βιοαιθανόλης 1G. Προβλέπεται ότι η μετασκευή όλων των μονάδων αιθανόλης παγκοσμίως με μια μεταγενέστερη διαδικασία ΑΤJ, θα μπορούσε να καλύψει περίπου το 20% της ετήσιας ζήτησης των αεροπορικών βιομηχανιών σε καύσιμα (Reals, 2012).

Ελκυστική εναλλακτική επιλογή χρήσης αιθανόλης 1G για διαδικασίες ΑΤJ είναι η χρήση αλκοολών μεγαλύτερου μοριακού βάρους όπως η **ισοβουτανόλη**, καθώς αυτές δημιουργούν ταχύτερα μεγαλύτερα μόρια στον ολιγομερισμό. Πιθανός τρόπος παραγωγής είναι η παραγωγή ισοβουτανόλης με τη βοήθεια ειδικής μαγιάς, όπως εφαρμόστηκε από την GEVO Inc. Η πρόκληση είναι να επιτευχθεί σταθερή διαδικασία ζύμωσης χρησιμοποιώντας τους γενετικά τροποποιημένους ζυμομύκητες. Άλλες καινοτόμες τεχνολογίες παραγωγής αλκοολών συζητούνται επίσης σε σχέση με την ΑΤJ. Για παράδειγμα, η LanzaTech έχει αναπτύξει κατάλληλη διαδικασία που βασίζεται στη ζύμωση αερίου. Εδώ η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από απόβλητα αέρια που αντιμετωπίζουν τη δυσκολία διάλυσης αρκετής ποσότητας αερίου στο υγρό (Geleynse, 2018).

5.4 Πρόσθετο βιοντίζελ πολλαπλών πρώτων υλών

Μέχρι το 2010, η παραγωγή βιοντίζελ στην ΕΕ βασίστηκε κυρίως στην ελαιοκράμβη. Από τότε, το ποσοστό άλλων καλλιεργειών ελαίου, όπως η σόγια, ο ηλίανθος και ο φοίνικας, εμφανίζει αυξητική τάση. Ωστόσο, η συνολική παραγωγή βιοντίζελ από ελαιούχους σπόρους δεν αυξήθηκε σημαντικά από το 2010. Η αύξηση της παραγωγής τα τελευταία χρόνια βασίστηκε κυρίως στην πρόσθετη παραγωγή βιοντίζελ από χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο (UCO), ζωικό λίπος και άλλα υπολείμματα. Η Εικόνα 15 απεικονίζει την αυξητική τάση για παραγωγή βιοντίζελ (FAME) και HVO στην Ευρώπη από το έτος 2006 (Naumann et al. 2019).



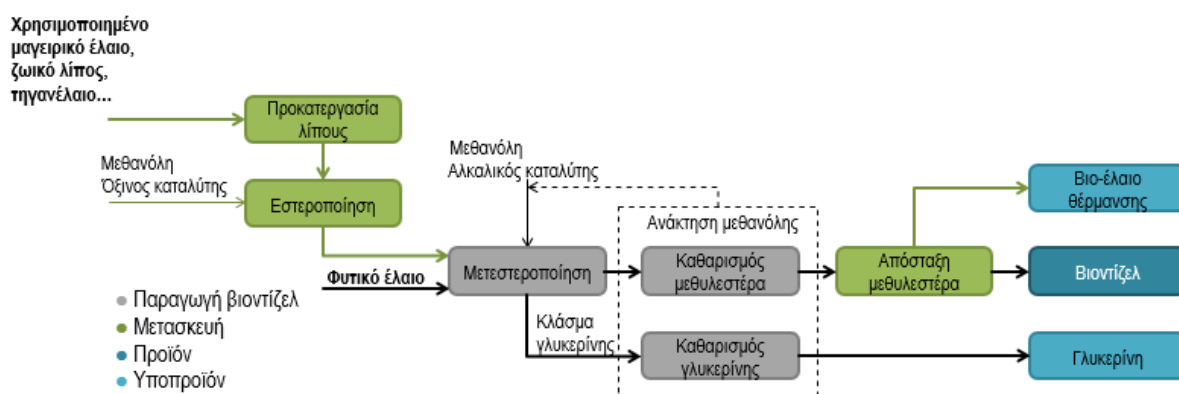
Εικόνα 15: Παραγωγή βιοντίζελ στην ΕΕ εκφραζόμενη σε εκατομμύρια τόνους (*πρόβλεψη)
 (Naumann et al., 2019, δεδομένα: Flach et al., 2016)

Τα έλαια ή λίπη που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ, μπορούν να ληφθούν κυρίως από φυτά που περιέχουν έλαιο. Αυτά υποδιαιρούνται σε ελαιούχα φρούτα (ελαιοφοίνικας ή ελαιόδεντρο) και ελαιούχους σπόρους (κράμβη, ηλίανθος, λινάρι ή σόγια).

Το έλαιο πρέπει να συλλεχθεί πρώτα από τους ελαιούχους σπόρους, διαδικασία η οποία διεξάγεται σε διαφορετικούς τύπους ελαιοτριβείων. Οι τύποι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε ψυχρής ή θερμής συμπίεσης και εκχύλισης. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας ελαιούχων σπόρων, παράγεται ένα στερεό υπόλειμμα (cake) που περιέχει πρωτεΐνες, το οποίο διατίθεται στο εμπόριο ως ζωοτροφή υψηλής ποιότητας.

Οι επακόλουθες **διεργασίες μετεστεροποίησης** του ελαίου διαφέρουν πρωτίστως ως προς τους χρησιμοποιούμενους καταλύτες και τις συνθήκες διεργασίας (T, p, t). Μετά τη μετεστεροποίηση, το βιοντίζελ πρέπει να καθαριστεί και να ξηρανθεί. Η γλυκερόλη (υποπροϊόν διεργασίας) υποβάλλεται σε επεξεργασία και, ανάλογα με τον καταλύτη που χρησιμοποιείται, λαμβάνεται άλας. Η μεθανόλη, η οποία προστίθεται σε περίσσεια, μπορεί να ανακτηθεί με μια αποστακτική στήλη.

Οι μονάδες βιοντίζελ που κατασκευάζονται για την επεξεργασία φυτικών ελαίων μπορούν να μετασκευαστούν εκ νέου σε **μονάδες βιοντίζελ πολλαπλών πρώτων υλών τροφοδοσίας**, οι οποίες δύνανται επίσης να επεξεργαστούν **χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο (UCO)** και **απόβλητα ζωικής προέλευσης (λίπη)**. Συγκριτικά με το κραμβέλαιο, αυτοί οι τύποι πρώτων υλών έχουν πιο ανομοιογενή σύνθεση με ποικίλα επίπεδα τριγλυκεριδίων, υψηλότερη αναλογία ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA), καθώς και αυξημένα επίπεδα προσμείξεων, όπως πλαστικά, φωσφορο, αζώτο και θείο. Για αυτόν τον λόγο, καθίσταται μη εφικτή η επεξεργασία του UCO και των αποβλήτων (λίπη) ζωικής προέλευσης σε μονάδες βιοντίζελ, οι οποίες κατασκευάστηκαν για φυτικά έλαια χωρίς τη μετασκευή του εξοπλισμού. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η προεπεξεργασία για το διαχωρισμό των προσμείξεων σε αυτούς τους τύπους πρώτων υλών (Εικόνα 16). Επιπλέον, πρόσθετοι αντιδραστήρες εστεροποίησης - π.χ. με όξινο καταλύτη όπως το θειικό οξύ – για την μείωση της υψηλής περιεκτικότητας σε FFA πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα παραγωγής βιοντίζελ. Μετά την αντίδραση εστεροποίησης, ο διαχωρισμός του ακατέργαστου βιοντίζελ και της γλυκερόλης πραγματοποιείται με καθίζηση ή φυγοκέντρηση. Στη συνέχεια, οι διαχωρισμένες φάσεις μπορούν να ενσωματωθούν στην υπάρχουσα διαδικασία. Ίσως είναι επίσης απαραίτητο να εφαρμοστεί μετασκευή στις στήλες απόσταξης για βιοντίζελ με βάση τα απόβλητα, ώστε να πληρούν τα κριτήρια ποιότητας του EN14214 (European biodiesel fuel quality standard).



Εικόνα 16: Διεργασία χρήσης πολλαπλών πρώτων υλών στην παραγωγή βιοντίζελ.

Άλλο συγκεκριμένο πρόβλημα αναφορικά με το UCO και τα απόβλητα που προέρχονται από ζωικά λίπη κατά τη διαδικασία τήξης είναι οι **προσμίξεις από πολυμερή**. Αυτό συναντάται στη διαδικασία συλλογής του UCO. Το UCO συλλέγεται συνήθως σε δοχεία πολυαιθυλενίου ή πολυπροπυλενίου. Μέρη αυτών των πολυμερών διαλύονται στα UCOs και δεν μπορούν να

αφαιρεθούν με διήθηση. Στην περίπτωση ζωικού λίπους, η χρήση πλαστικών, π.χ. ετικέτες σήμανσης αυτών των ζώων εκτροφής, μολύνει το ζωικό λίπος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας τήξης.

Το αποτέλεσμα αυτών των πλαστικών προσμείξεων είναι εναποθέσεις σε εναλλάκτες θερμότητας και στον πυθμένα της στήλης, καθώς και αυξημένη περιεκτικότητα πολυμερών στο στάδιο παραγωγής βιοντίζελ ή γλυκερόλης. Με διάφορες πρόσθετες μεθόδους μηχανικής διεργασίας, όπως η χρήση υδροπηκτών με επακόλουθη διήθηση, η χρήση πορωδών μεμβρανών ή η προσθήκη λευκαντικής γης και ενεργού άνθρακα, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της συγκέντρωση πολυμερούς στο UCO και το απόβλητο ζωικού λίπους (Braune, 2016).



Εικόνα 17: Βιοντίζελ, μείγμα βιοντίζελ και ορυκτό ντίζελ (Πηγή: DBFZ)

5.5 Μετατροπή γλυκερόλης σε μεθανόλη

Η **γλυκερόλη** είναι άχρωμο, άοσμο και παχύρρευστο υγρό, το οποίο περιέχεται σε όλα τα φυσικά λιπαρά και λιπαρά έλαια, όπως εστέρες λιπαρών οξέων (τριγλυκερίδια). Είναι ένα υποπροϊόν της παραγωγής λιπαρών οξέων ή βιοντίζελ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως, παραδείγματος χάριν, στη βιομηχανία καλλυντικών, ως πρόσθετο τροφίμων και για την παραγωγή πλαστικών ή βιοαερίου.¹⁵

Η **μεθανόλη** είναι η απλούστερη μορφή αλκοόλης. Είναι ένα ελαφρύ, πτητικό, άχρωμο και εύφλεκτο υγρό. Επί του παρόντος, η μεγαλύτερη ποσότητα μεθανόλης παράγεται από την καταλυτική μετατροπή του αερίου σύνθεσης (syngas) από συμβατικές πηγές. Η χρήση γλυκερόλης ως πρώτη ύλη επιτρέπει την παραγωγή βιομεθανόλης.¹⁶

Κατά τη διαδικασία παραγωγής του βιοντίζελ, η γλυκερόλη παράγεται ως παραπροϊόν σε παρόμοιες ποσότητες με τη μεθανόλη που απαιτείται για την παραγωγή. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης σε βιοντίζελ, η παραγωγή γλυκερόλης, καθώς και η ζήτηση σε μεθανόλη, θα αυξηθούν επίσης. Για την αντιμετώπιση του εν λόγω ζητήματος, διερευνάται η μετατροπή της γλυκερόλης σε μεθανόλη (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012).

Περιγραφή διαδικασίας

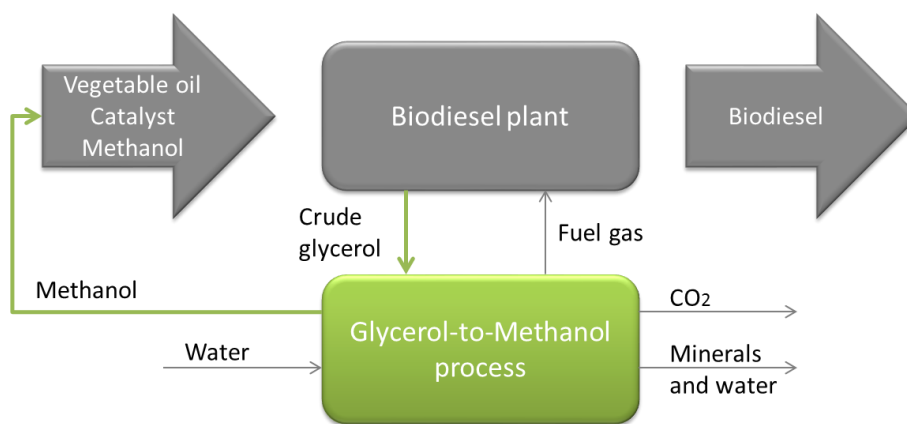
Εφαρμόζονται διαφορετικές μέθοδοι για την παραγωγή μεθανόλης από γλυκερόλης. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται, εν συντομία, δύο από αυτές τις μεθόδους.

¹⁵ <https://www.chemie.de/lexikon/Glycerin.html>

¹⁶ <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/products-end-use/products/methanol>

Η παραγωγή μεθανόλης από γλυκερόλη έχει ήδη εφαρμοστεί σε βιομηχανική κλίμακα από μια εταιρεία της Ολλανδίας, την **BioMCN**. Στη διεργασία αυτή, η ακατέργαστη γλυκερόλη καθαρίζεται και διέρχεται μέσω της αντίδρασης αναμόρφωσης με ατμό. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης μετατρέπεται σε μεθανόλη σε έναν συμβατικό αντιδραστήρα συσκευασμένης κλίνης. Η BioMCN εμπορεύεται και πωλεί βιομεθανόλη σε ποσότητες βιομηχανικής κλίμακας. Ωστόσο, η εγκατάσταση δε χρησιμοποιεί πλέον γλυκερόλη ως πρώτη ύλη, αλλά μεθάνιο.

Στη δεύτερη οδό, στη διαδικασία μετατροπής γλυκερόλης προς μεθανόλη (GtM), ένα ρεύμα υγρής βιομάζας (γλυκερόλη) μετατρέπεται σε αέριο σύνθεσης μέσω της αντίδρασης αναμόρφωσης με υπερκρίσιμο υγρό (RSCW). Στη συνέχεια, μετατρέπεται περαιτέρω σε μεθανόλη με σύνθεση μεθανόλης υψηλής πίεσης. Το έργο **Supermethanol** διερεύνησε τη διαδικασία GtM και πραγματοποίησε διάφορα πειράματα με την ενσωμάτωση μονάδας βιοντίζελ (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012). Η Εικόνα 18 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία GtM με τα σχετικά βήματα για την παραγωγή βιοντίζελ, που παρουσιάζεται με γκρι χρώμα, και τη διαδικασία GtM, που απεικονίζεται με πράσινο χρώμα. Η παραγωγή μεθανόλης ενσωματώνεται στη μονάδα βιοντίζελ για την παραγωγή μεθανόλης από το ακατέργαστο παραπροϊόν γλυκερόλης της παραγωγής βιοντίζελ και την επαναχρησιμοποίησή της στη μονάδα.



Εικόνα 18: Διαδικασία μετατροπής γλυκερόλης σε μεθανόλη

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μία **εφαρμογή της μεθανόλης** είναι η παραγωγή βιοντίζελ. Επιπλέον, η μεθανόλη είναι σημαντική στη χημική βιομηχανία για την παραγωγή φορμαλδεΐδης, οξικού οξέος, πολυμερών και βαφών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς ή σε μικρά ποσοστά σε μίγματα βενζίνης (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012).

Η μεθανόλη που παράγεται με πρώτη ύλη βιομάζας φέρει περιβαλλοντικά οφέλη και, μακροπρόθεσμα, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μείωση του κόστους, εάν αυξηθεί η τιμή του πετρελαίου. Η ενσωμάτωση σε μονάδα βιοντίζελ θα μπορούσε να βελτιώσει το ενεργειακό ισοζύγιο, την απόδοση του άνθρακα, τη βιωσιμότητα και τη συνολική οικονομική απόδοσης παραγωγής βιοντίζελ. Οι παραγωγοί εξαρτώνται λιγότερο από την τρέχουσα τιμή της μεθανόλης, υπάρχει (μερική) ασφάλεια του εφοδιασμού, και το υποπροϊόν τους χρησιμοποιείται ως πράσινη, βιώσιμη πρώτη ύλη (van Bennekom, Venderbosch, & Heeres, 2012). Η τεχνολογία έχει δοκιμαστεί επιτυχώς σε πιλοτική κλίμακα, αλλά οι επιδεικτικές μονάδες, με δοκιμή σε πλήρη κλίμακα, δεν έχουν κατασκευαστεί ακόμη.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 18, οι υφιστάμενες μονάδες παραγωγής βιοντίζελ μπορούν να μετασκευαστούν εκ των υστέρων με ενσωμάτωση μονάδας γλυκερόλης-μεθανόλης, με σκοπό την ανακύκλωση της μεγαλύτερης ποσότητας μεθανόλης στη διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ.

5.6 Το βιομεθάνιο ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου

Το **βιοαέριο** μπορεί να παραχθεί από αναερόβια πέψη (ζύμωση) οργανικών αποβλήτων. Το βιοαέριο αποτελείται από περίπου 50-60% μεθάνιο (CH_4) και 40-50% διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), και περιέχει μικρές ποσότητες υδρόθειου (H_2S), νερού και σιλοξανίου.

Μέσω **τεχνολογιών αναβάθμισης βιοαερίου**, το μεγαλύτερο μέρος του CO_2 μπορεί να απομακρυνθεί. Το ληφθέν αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο. Το βιομεθάνιο μπορεί να αναβαθμιστεί σε πρότυπα συμβατικού φυσικού αερίου, και στη συνέχεια να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο φυσικού αερίου για εφαρμογές στον τομέα των μεταφορών.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαθέσιμες τεχνολογίες αναβάθμισης του βιοαερίου στην αγορά, όπως καθαρισμός με αμίνες, τεχνολογία προσρόφησης, απορρόφηση νερού, φυσική απορρόφηση, κρυογονική απόσταξη και διαχωρισμός με μεμβράνες.

Σύμφωνα με την European Biogas Association (2019), έως το τέλος του 2017, στην Ευρώπη λειτουργούσαν 17,783 μονάδες βιοαερίου και 540 μονάδες βιομεθανίου. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η συνολική Εγκατεστημένη Ηλεκτρική Ισχύς (IEC) σημείωσε αύξηση το 2017, κατά 5% φθάνοντας τα 10,532 MW συνολικά, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από βιοαέριο στην Ευρώπη ανήλθε σε 65,179 GWh. Η παραγωγή βιομεθανίου επίσης σημείωσε συνολική αύξηση (ανήλθε σε 19,352 GWh ή 1.94 bcm το 2017).

Όπως αναφέρει η FNR, (2013), η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τα τελευταία χρόνια. Σε αντίθεση με την παραγωγή ΣΗΘ στο χώρο παραγωγής, προκύπτουν πολλά πλεονεκτήματα από την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, και εν συνεχεία από την τροφοδοσία του σε δίκτυα φυσικού αερίου και στη μετέπειτα χρήση του όπου χρειάζεται. Μέσω της χρήσης βιομεθανίου σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση θέρμανσης, η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο συμβάλλει σε σημαντικό αυξανόμενο μερίδιο της χρησιμοποιούμενης ενέργειας από εξωτερική πηγή· αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε αύξηση της συνολικής αποτελεσματικότητας της χρήσης βιοαερίου.

Καθώς οι τεχνολογίες αναβάθμισης έγιναν φθηνότερες τα τελευταία χρόνια, η μετασκευή των μονάδων για αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, αποτελεί ευκαιρία για τους επενδυτές μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Οι μονάδες βιομεθανίου μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως λύσεις μετασκευής για πολλές άλλες βιομηχανίες βιολογικής βάσης (π.χ. γεωργία, επεξεργασία τροφίμων, πολτός και χαρτί), επειδή μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγάλη ποικιλία υγρών βιολογικών υπολειμμάτων.

5.7 Ηλεκτροκαύσιμα

Τα ηλεκτροκαύσιμα είναι καύσιμα που παράγονται με **υδρογόνο** μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αυτού του τύπου καυσίμου είναι οι τεχνολογίες «Ισχύος-Αερίου» (Power-to-Gas, PtG), «Ισχύος-Υγρού» (Power-to-Liquid, PtL), «Power-to-x» (PtX) και συνθετικών καυσίμων (e-fuels). Το υδρογόνο που παράγεται με ηλεκτρόλυση είτε χρησιμοποιείται απευθείας ως καύσιμο, είτε χρησιμοποιείται στην αντίδραση για την αντίδραση με CO ή CO_2 για σχηματισμό αερίων ή υγρών υδρογονανθράκων. Τα ηλεκτροκαύσιμα είναι παρόμοια με εκείνα που παράγονται από άλλες οδούς μετατροπής που δεν περιλαμβάνουν ηλεκτρόλυση. Ο Πίνακας 4 απεικονίζει διάφορα είδη ηλεκτροκαυσίμων (Philibert, 2018).

Πίνακας 4: Επισκόπηση ηλεκτροκαυσίμων

Χωρίς άνθρακα		Περιέχουν άνθρακα (ηλεκτροκαύσιμα με βάση τον άνθρακα)
Αέρια	Υδρογόνο (H ₂)	Μεθάνιο (CH ₄)
Υγρά	-	Μεθανόλη (CH ₃ OH) FT-καύσιμα (C _x H _y)

Η βιωσιμότητα των ηλεκτροκαυσίμων καθορίζεται από την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή τους (συμβατική ή ανανεώσιμη). Επιπλέον, οι εκπομπές GHG των ηλεκτροκαυσίμων με βάση τον άνθρακα εξαρτώνται από την προέλευση του άνθρακα:

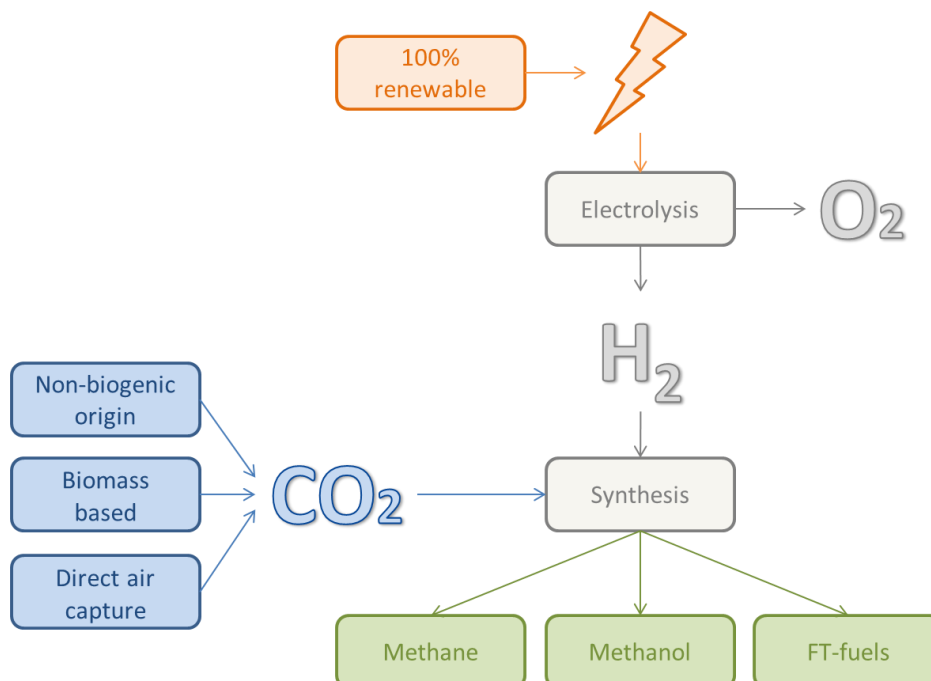
- Ο άνθρακας ανακυκλώνεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ή τις εκπομπές διεργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση, το CO₂, το οποίο διαφορετικά θα εκπεμπόταν, δεσμεύεται και επαναχρησιμοποιείται. Αυτό το είδος ηλεκτροκαυσίμων ονομάζεται «**ηλεκτροκαύσιμο από μη βιογενές CO₂**».
- Ο άνθρακας δεσμεύεται από τη μονάδα επεξεργασίας βιομάζας και παράγει CO₂ ως μέρος του προϊόντος ή ως υποπροϊόν. Αυτό το είδος ηλεκτροκαυσίμων θεωρείται πως έχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα και ονομάζεται «**ηλεκτροκαύσιμα με βάση τη βιομάζα**».
- Ο άνθρακας δεσμεύεται απευθείας από τον αέρα (**άμεση δέσμευση αέρα - DAC**). Αυτή η διαδικασία απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, και, λόγω της χαμηλής συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂, είναι περισσότερο ενεργοβόρα από τη δέσμευση εκπομπών άνθρακα από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτροκαυσίμων. Αυτό το είδος ηλεκτροκαυσίμων θεωρείται πως έχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα (Philibert, 2018).

Ο βαθμός στον οποίο τα ηλεκτροκαύσιμα μπορούν να υπολογιστούν ως ανανεώσιμα καύσιμα σύμφωνα με την οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II), εξαρτάται από το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία καταναλώνεται για την παραγωγή υδρογόνου. Εάν στη μονάδα παραγωγής ηλεκτροκαυσίμων δεν καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, λαμβάνεται υπόψη το εθνικό μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την παραγωγή ηλεκτροκαυσίμων με βάση τον άνθρακα, απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια και διοξείδιο του άνθρακα. Η Εικόνα 19 απεικονίζει τα στάδια της διαδικασίας παραγωγής ηλεκτροκαυσίμων με βάση τον άνθρακα. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης, χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για τη διάσπαση του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως ηλεκτροκαύσιμο ή να συνδυαστεί με το διοξείδιο του άνθρακα που έχει δεσμευτεί για την περαιτέρω μετατροπή του υδρογόνου σε υδρογονάνθρακες μέσω διεργασιών σύνθεσης. Ανάλογα με το επιθυμητό προϊόν, αυτές οι διεργασίες σύνθεσης χρησιμοποιούν διαφορετικούς καταλύτες για την παραγωγή μεθανίου, μεθανόλης ή υγρών που παράγονται με τη μέθοδο “Fischer-Tropsch”.

Εναλλακτική για την παραγωγή μεθανίου είναι η χρήση μειγμάτων αερίων ως πηγή διοξειδίου του άνθρακα. Εάν χρησιμοποιείται αέριο σύνθεσης και προστίθεται υδρογόνο, επιτυγχάνεται

υψηλότερη παραγωγή καυσίμου (μεθάνιο, μεθανόλη, FT-υγρά). Εάν χρησιμοποιείται ακατέργαστο βιοαέριο και προστίθεται υδρογόνο, οι μικροοργανισμοί από τη διεργασία βιοαερίου (υδρογονότροφα μεθανογόνα) πραγματοποιούν βιολογική μεθανοποίηση και παράγουν περισσότερο μεθάνιο.



Εικόνα 19: Μεταβολικοί οδοί ηλεκτροκαυσίμων

Δεδομένου ότι ο όρος «ηλεκτροκαύσιμα» περιλαμβάνει διαφορετικά είδη καυσίμων, οι δυνατότητες για **τελική χρήση** είναι ευέλικτες. Ορισμένες εφαρμογές τελικής χρήσης είναι:

- Η χρήση ηλεκτροκαυσίμων (υδρογόνο) εφαρμόζεται συμπληρωματικά με άλλες ανανεώσιμες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, ιδίως σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα, που χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος μεταφοράς/διανομής ορυκτών καυσίμων.
- Για τη διευκόλυνση της χρήσης υδρογόνου σε μικρότερες βιομηχανίες και κτίρια, το υδρογόνο μπορεί να εγχυθεί στο δίκτυο αερίου μέσω ανάμιξης με φυσικό αέριο ή μεθάνιο. Υπάρχει, η δυνατότητα χρήσης καθαρού υδρογόνου σε δίκτυα αερίου, αλλά εξακολουθεί να αντιμετωπίζει ορισμένες δυσκολίες, όπως υψηλό κόστος ή ζητήματα απόδοσης.
- Η χρήση ηλεκτροκαυσίμων στις μεταφορές (οδικές, θαλάσσιες, αεροπορικές) επιτυγχάνει σχεδόν μηδενικές εκπομπές. Για τα οδικά οχήματα υπάρχουν πολλές επιλογές, όπως η χρήση FT-καυσίμων ως καυσίμου drop-in σε συμβατικά οχήματα, η χρήση μεθανίου ή μεθανόλης σε συμβατικά οχήματα ή η χρήση υδρογόνου σε οχήματα κυψελών καυσίμου. Στον ναυτιλιακό τομέα, το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε πλοίων που διανύουν μικρές αποστάσεις και όχι σε πλοία ανοικτής θάλασσας. Όσον αφορά στον τομέα της αεροπορίας, τα FT-καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μείγμα έως και 50%.

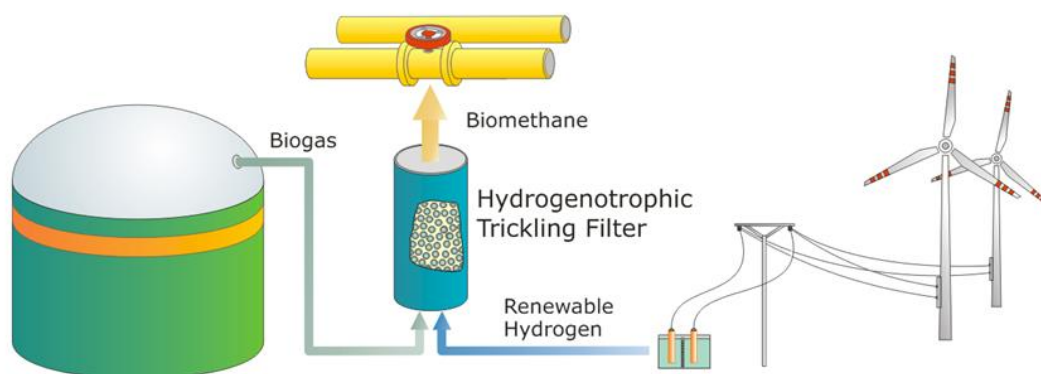
Τα ηλεκτροκαύσιμα είναι και υγρά και αέρια καύσιμα, επομένως η εφαρμογή τους είναι ευέλικτη. Τα **πλεονεκτήματα** των ηλεκτροκαυσίμων είναι, μεταξύ άλλων, η δυνατότητα μακροχρόνιας αποθήκευσης, η χαμηλότερη ένταση GHG και η εφαρμογή τους σε συμβατικά οχήματα. Ωστόσο, οι υψηλές απώλειες μετατροπής και το υψηλό κόστος μεταφοράς και διανομής καθιστούν τα ηλεκτροκαύσιμα αρκετά κοστοβόρα. (Philibert, 2018)

Ευκαιρίες για μετασκευή

Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις για την παραγωγή αιθανόλης ή βιοαερίου μπορούν να μετασκευαστούν (επεκταθούν) μέσω της **δέσμευσης CO₂** από τη διαδικασία ζύμωσης και της αντίδρασής του με υδρογόνο που παράγεται από κυψέλη καυσίμου (electrolyser). Η επακόλουθη σύνθεση παράγει μεθάνιο, μεθανόλη ή FT-υγρά.

Οι υφιστάμενες μονάδες αεριοποίησης βιομάζας μπορούν να μετασκευαστούν εκ των υστέρων με την **προσθήκη υδρογόνου στο ακατέργαστο αέριο σύνθεσης**, τροποποιώντας έτσι την αναλογία υδρογόνου προς μονοξείδιο του άνθρακα, και αντικαθιστώντας - εν μέρει ή πλήρως - την αντίδραση μετατόπισης αερίου νερού. Ως αποτέλεσμα, μπορούν να παραχθούν περισσότερα καύσιμα από τον άνθρακα της βιομάζας.

Οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις βιοαερίου μπορούν να μετασκευαστούν με προσθήκη δεύτερου αντιδραστήρα, ο οποίος θα τροφοδοτείται με υδρογόνο και βιοαέριο. Η **βιολογική μεθανοποίηση** (Εικόνα 20) δύναται να μετατρέψει το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα στο ακατέργαστο βιοαέριο σε επιπλέον μεθάνιο.



Εικόνα 20: Βιολογική μεθανοποίηση (Πηγή: Rachbauer et al. 2016)

5.8 Τελικές παρατηρήσεις

Η σύγκριση των στόχων μείωσης των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών με την ανάπτυξη βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων, καθιστά σαφές ότι απαιτείται ενίσχυση της παραγωγικής ικανότητας/δυναμικότητας. Υπό αυτή τη συνθήκη, η μετασκευή θα αποτελεί εναλλακτική λύση κυρίως όταν παράγεται επιπλέον καύσιμο ή όταν μπορεί να αυξηθεί η απόδοση των διεργασιών. Η μετατροπή από πρώτη ύλη βιολογικής προέλευσης (1G) σε άλλη πρώτη ύλη βιολογικής προέλευσης (2G) δύναται να οδηγήσει στην παραγωγή βιοκαυσίμου που θεωρείται βιωσιμότερο, αλλά δε συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών.

Γενικά, οι εγκαταστάσεις παραγωγής βιοκαυσίμων στην Ευρώπη είναι αρκετά νέες, δεδομένου ότι οι περισσότερες από αυτές κατασκευάστηκαν μετά το 2005. Επομένως, οι επενδύσεις υψηλού κόστους για μέτρα μετασκευής στην υπάρχουσα υποδομή μπορεί να φαίνονται πρόωρες υπό το πρίσμα του φορέα λειτουργίας της μονάδας.

Ορισμένες άλλες προτάσεις είναι πιο συγκεκριμένες:

- Ο τομέας των βιοκαυσίμων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τους **κανονισμούς**. Αυτοί οι κανονισμοί έχουν επίσης μεγάλη επίδραση στην οικονομία των επενδύσεων μετασκευής. Οι αλλαγές στους κανονισμούς θα πρέπει επομένως να γίνουν με προσοχή, προκειμένου να διατηρηθεί η εμπιστοσύνη των επενδυτών των

εγκαταστάσεων στα επιχειρηματικά τους σχέδια. Ο κίνδυνος τροποποιήσεων των κανονισμών φαίνεται να θεωρείται πολύ υψηλός, γεγονός που αποτελεί τροχοπέδη για επενδύσεις στον τομέα των βιοκαυσίμων.

- Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το βιομεθάνιο ως ανανεώσιμο καύσιμο μεταφοράς, είναι απαραίτητο να προωθηθεί και να υποστηριχθεί η δημιουργία **υποδομής** για τη χρήση του. Μεγαλύτερος αριθμός οχημάτων που τροφοδοτούνται με CNG θα επιτρέψει τη χρήση βιομεθανίου από χιλιάδες μονάδες παραγωγής βιοαερίου, πολλές από τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν βιο-απόβλητα ως πρώτη ύλη.
- Προς το παρόν, οι παραγωγοί βιοκαυσίμων δεν έχουν άμεση **πρόσβαση στους καταναλωτές**, ούτε και πολλές δυνατότητες να διαφημίσουν τα οφέλη των προϊόντων τους. Επομένως, τα η παροχή των βιοκαυσίμων στις αντλίες τροφοδοσίας καυσίμου θα προσφέρει τη δυνατότητα στον καταναλωτή να επιλέξει βιώσιμα καύσιμα.
- Οι **εκπομπές CO₂** των διαφόρων καυσίμων (ορυκτών και βιοκαυσίμων) πρέπει να είναι ορατές στον καταναλωτή στις αντλίες τροφοδοσίας καυσίμου της.

6 Μετασκευή διυλιστήριων ορυκτών καυσίμων

6.1 Ανασκόπηση του τομέα

Τα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων μετατρέπουν αργό πετρέλαιο σε τελικά προϊόντα διασπώντας και επεξεργάζοντάς τα σε νέα προϊόντα όπως καύσιμα για μεταφορά.

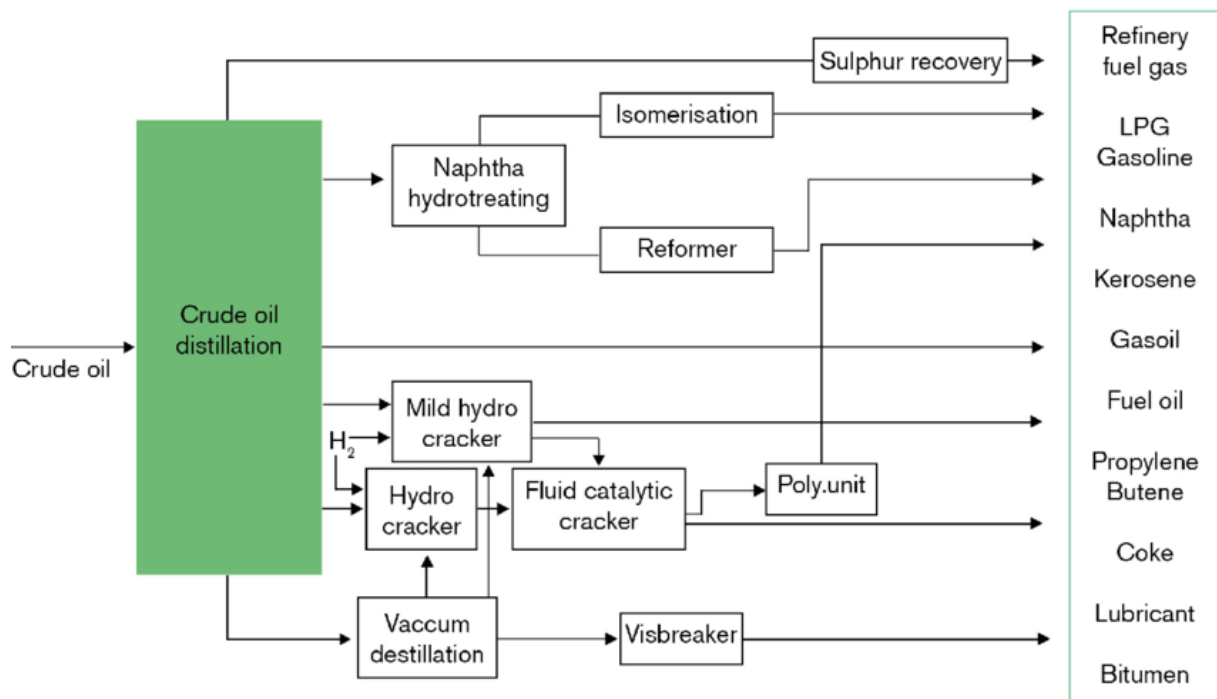
Το **αργό πετρέλαιο** εξορύσσεται από το υπέδαφος. Υπάρχουν πολλοί τύποι αργού πετρελαίου, με πολλά διαφορετικά συστατικά. Τα περισσότερα από αυτά τα συστατικά είναι υδρογονάνθρακες (μόρια αποτελούμενα από στοιχεία άνθρακα και υδρογόνο). Άλλα συστατικά στο αργό πετρέλαιο αποτελούνται από συνδυασμό υδρογονανθράκων και μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων, όπως το θείο, το άζωτο και τα μέταλλα.

Τα διυλιστήρια είναι μεγάλης κλίμακας και υψηλής έντασης κεφαλαίου εγκαταστάσεις, που μετατρέπουν το αργό πετρέλαιο σε **τελικά προϊόντα**. Στα διυλιστήρια στην Ευρώπη, περίπου το 65% των προϊόντων είναι καύσιμα μεταφοράς, όπως ντίζελ, βενζίνη, κηροζίνη, μαζούτ (heavy oil) και υγρό αέριο. Το 25% των προϊόντων χρησιμοποιείται σε άλλες εφαρμογές, όπως πίσσα, λιπαντικά, πετρέλαιο θέρμανσης και πετ κοκ (oil coke). Το 10% των προϊόντων είναι πετροχημική πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται σε χημικές ουσίες, συνθετικό καουτσούκ και ποικιλία πλαστικών.



Εικόνα 21: Τα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων είναι μεγάλα βιομηχανικά συγκροτήματα στα οποία παράγεται ποικιλία ορυκτών καυσίμων μεταφοράς και άλλων προϊόντων. (Πηγή: Διυλιστήριο Θεσσαλονίκης Ελληνικών Πετρελαίων)

Οι **κύριες διαδικασίες** σε ένα διυλιστήριο είναι 1) ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα και 2) η επεξεργασία αυτών των κλασμάτων σε διάφορα προϊόντα. Στην Εικόνα 22, παρουσιάζονται μερικές βασικές διεργασίες τυπικού διυλιστηρίου. Η «καρδιά» κάθε διυλιστηρίου είναι η μονάδα ατμοσφαιρικής απόσταξης. Σε αυτή τη μονάδα θερμαίνεται το αργό πετρέλαιο και ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με βάση το σημείο βρασμού. Τα αέρια προϊόντα (με τα χαμηλότερα σημεία βρασμού) φεύγουν από την κορυφή της στήλης και τα βαρέα κλάσματα (με υψηλά σημεία βρασμού) από το κάτω μέρος.



Εικόνα 22: Κύριες διεργασίες στο διυλιστήριο

Κάθε διυλιστήριο είναι μοναδικό, λόγω των διαφορών στη γεωγραφική θέση, τις προδιαγραφές αργού πετρελαίου, τις αγορές, τις προδιαγραφές προϊόντων κ.λπ. Τα διυλιστήρια παράγουν ποικιλία προϊόντων, με βάση τις εισροές υλικών και τις ανάγκες της αγοράς. Τα διυλιστήρια μπορούν και αλλάζουν συνεχώς τη σύνθεση και τις ποσότητες των προϊόντων τους, βάσει παραγόντων εντός των φυσικών περιορισμών των διεργασιών διύλισης. Λόγω της πολυπλοκότητας των λειτουργιών τους και των διασυνδέσεων μεταξύ των διαφόρων διεργασιών, χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα για την προσαρμογή των παραμέτρων του διυλιστηρίου ώστε να διασφαλισθεί η παραγωγή των προϊόντων στις σωστές ποσότητες και προδιαγραφές.

Τα διυλιστήρια μπορούν να ταξινομηθούν (Πίνακας 5) βάσει του **δείκτη πολυπλοκότητας Nelson (Nelson complexity index)**. Ο δείκτης πολυπλοκότητας Nelson υποδηλώνει πόσες μονάδες επεξεργασίας κατάντη διαθέτει ένα διυλιστήριο μετά τη μονάδα απόσταξης αργού πετρελαίου, η οποία έχει πολυπλοκότητα 1. Αυτά μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση δείκτη πολυπλοκότητας Nelson για διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων

Διάταξη	Τύπος διεργασιών
Απλή και βασική	Δεν υπάρχουν μονάδες μετατροπής πέραν της απόσταξης αργού πετρελαίου
Διάταξη 1 (πολυπλοκότητα <2), ονομάζονται επίσης Διυλιστήρια ατμοσφαιρικής διύλισης (topping refineries)	Ο απλούστερος τύπος διυλιστηρίου πετρελαίου, αποτελείται από μονάδα απόσταξης, αναμορφωτήρα νάφθας και κάποια απαραίτητη επεξεργασία
Διάταξη 2 (πολυπλοκότητα 2 – 6), ονομάζεται επίσης διυλιστήριο τύπου Hydroskimming	Όπως στη Διάταξη 1, αλλά με μονάδα απόσταξης κενού και καταλυτικό πυρολυτήρα
Διάταξη 3 (πολυπλοκότητα 6 – 12) ονομάζονται επίσης Διυλιστήρια μετατροπής (Conversion refineries)	Εξοπλισμένα με μονάδα υδρογονοπυρόλυσης (hydro cracker), μεγιστοποιώντας την παραγωγή βενζίνης και μεσαίων κλασμάτων
Διάταξη 4 (πολυπλοκότητα >12) ονομάζονται επίσης Διυλιστήρια μετατροπής με μονάδες αναβάθμισης (Deep Conversion refineries)	Περιλαμβάνει μονάδες υδρογονοπυρόλυσης και καταλυτικής πυρόλυσης και μονάδες οπτανθρακοποίησης (coking units) για τη μετατροπή των βαρύτερων κλασμάτων αργού πετρελαίου σε ελαφρύτερα προϊόντα

Πολλά διυλιστήρια στην ΕΕ χαρακτηρίζονται σχετικά από χαμηλή πολυπλοκότητα (Διάταξη 1 και 2), ενώ πολλά διυλιστήρια στις ΗΠΑ, την Ινδία και τον Περσικό Κόλπο είναι πολύ υψηλότερης πολυπλοκότητας. Υψηλότερη πολυπλοκότητα συνεπάγεται υψηλότερο κόστος κεφαλαίου, αλλά και μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα παραγωγής προϊόντων υψηλότερης αξίας.

Η ΕΕ είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός προϊόντων πετρελαίου στον κόσμο μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες, με δυναμικότητα περίπου 13.2 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα¹⁷ που αντιπροσωπεύει το 13% του παγκοσμίου δυναμικού^{18,19}. Στα 90 διυλιστήρια της ΕΕ, η άμεση απασχόληση παρέχεται σε 120,000 άτομα και η έμμεση σε 1.2 εκατομμύρια άτομα. Ο τομέας των μεταφορών στην ΕΕ τροφοδοτείται επί του παρόντος με 95% από υγρά (ορυκτά) καύσιμα²⁰ και είναι υπεύθυνος για περισσότερο από το 25% των εκπομπών GHG στην ΕΕ²¹.

¹⁷ <https://www.concawe.eu/refineries-map/>

¹⁸ https://www.eni.com/docs/it_IT/eni-com/azienda/fuel-cafe/WORLD-OIL-REVIEW-2018-Volume-1.pdf

¹⁹ <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/oil-gas-and-coal/oil-refining>

²⁰ www.fuelseurope.eu

²¹ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10>

Κατά την τελευταία δεκαετία - περίπου από το 2007 και μετά - ο τομέας διύλισης της ΕΕ σημείωσε συρρίκνωση της αγοράς, λόγω της μεταβαλλόμενης ζήτησης στην αγορά και του ανταγωνισμού από πιο σύγχρονα διυλιστήρια εκτός Ευρώπης. Συνολικά, περίπου 20 διυλιστήρια έχουν κλείσει ή έχουν μετατραπεί σε βιοδιυλιστήρια, και πολλά επίσης έχουν μειώσει τη δυναμικότητά τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των διυλιστηρίων από 110 σε 90.

Από το 2015, τα περιθώρια αυξήθηκαν, επιβραδύνοντας το κλείσιμο των ευρωπαϊκών διυλιστηρίων. Ο εκσυγχρονισμός των ευρωπαϊκών διυλιστηρίων επέτρεψε σε εκείνα να επεξεργαστούν βαρύτερο και πιο μολυσμένο αργό πετρελαίο.

6.2 Μείωση χρήσης άνθρακα στα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων

Λόγω της ανάγκης μείωσης των εκπομπών άνθρακα στο περιβάλλον, με την υιοθέτηση της Συμφωνίας του Παρισιού το 2016, η ΕΕ επιδίωξε να αναπτύξει εναλλακτικές λύσεις για τη χρήση ανανεώσιμων έναντι συμβατικών καυσίμων στο τομέα της μεταφοράς, όπως τα βιοκαύσιμα. Τα βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια καύσιμα μεταφοράς, όπως το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη, που παράγονται από τη βιομάζα. Αποτελούν εναλλακτική λύση έναντι των ορυκτών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών της ΕΕ, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών GHG και στη βελτίωση της ασφάλειας του εφοδιασμού.

Στην οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED) (2009/28/EK), ορίστηκε ότι έως το 2020, το 10% των καυσίμων μεταφορών κάθε χώρας της ΕΕ θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές όπως τα βιοκαύσιμα. Οι προμηθευτές καυσίμων υποχρεούνται επίσης να μειώσουν την ένταση των GHG στο μείγμα καυσίμων της ΕΕ κατά 6% έως το 2020, συγκριτικά με το 2010.

Η αρχική RED τροποποιήθηκε το 2018 στην Αναθεωρημένη Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RED II) (2018/2001 / ΕΕ)²², η οποία δημοσιεύθηκε ως μέρος του πακέτου μέτρων «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους». Σε αυτό, η RED II ορίζει ότι κάθε κράτος μέλος πρέπει να δεσμεύσει τους προμηθευτές καυσίμων να διασφαλίσουν ότι το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών θα είναι τουλάχιστον 14% έως το 2030.

Είναι - επίσης εντός του ίδιου του τομέα - αποδεκτό ότι μια **κύρια πρόκληση του τομέα διύλισης** είναι ο τρόπος διαχείρισης της μετάβασης σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα²³. Η ευρωπαϊκή πλατφόρμα διυλιστηρίων, FuelsEurope, εξέδωσε το δικό της έγγραφο γενικής θεώρησης «Vision 2050»²⁴ το 2018, στο οποίο εκθέτουν το όραμά τους για ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα όσον αφορά στη βιομηχανία διύλισης. Τα κύρια σημεία αυτού του οράματος είναι:

- Η βιομηχανία διύλισης της ΕΕ δηλώνει ότι δεσμεύεται να συμβάλει στο στόχο της ΕΕ να οδηγήσει τον κόσμο στην αντιμετώπιση της παγκόσμιας πρόκλησης για την κλιματική αλλαγή, συνεχίζοντας να μειώνει τις εκπομπές CO₂ και παρέχοντας στην οικονομία και τους πολίτες καύσιμα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλα προϊόντα που χρειάζεται η κοινωνία.
- Μακροπρόθεσμα, αναμένεται ότι οι ανανεώσιμοι υδρογονάνθρακες θα παραμείνουν απαραίτητοι στον τομέα των χημικών πρώτων υλών, τα θαλάσσια οχήματα, τα αεροπλάνα και ένα μέρος των βαρέων φορτηγών οχημάτων.

²²

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC

²³ <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Highlights%20%26%20summary%20of%20the%206th%20EU%20Refining%20Forum%20FINAL.pdf>

²⁴ <https://www.fuelseurope.eu/vision-2050/>

- Προβλέπεται αυξημένη χρήση νέων πρώτων υλών, όπως ανανεώσιμες πηγές, απόβλητα και δεσμευμένο CO₂ σε πολύ αποτελεσματικό κέντρο παραγωγής σε συνέργεια με άλλους τομείς, όπως χημικών, τηλεθέρμανσης.
- Είναι απαραίτητη η λειτουργία πολλών τεχνολογιών παραγωγής υγρών καυσίμων με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες δύνανται να παρέχουν καύσιμα μεταφοράς χαμηλών εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής, όπως τα βιώσιμα βιοκαύσιμα, το CCS/CCU, το ανανεώσιμο υδρογόνο και ενέργεια από υγρά καύσιμα.
- Αναμένεται ότι το 2050, τα υγρά καύσιμα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειώσουν τις καθαρές εκπομπές GHG από επιβατικά αυτοκίνητα και φορτηγά κατά 87%, σε σύγκριση με το 2015.

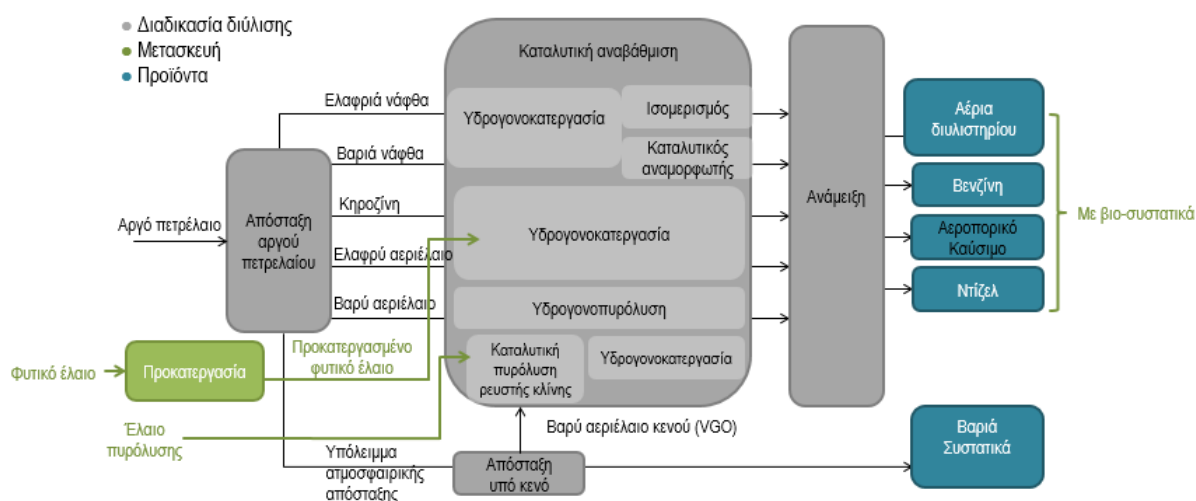
Από αυτά τα κύρια σημεία, είναι σαφές ότι ο ευρωπαϊκός τομέας διύλισης θέλει να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα, και ότι η βιοενέργεια και τα βιοκαύσιμα θεωρούνται μέρος αυτής της λύσης.

Ευκαιρίες για μετασκευή

Όπως θεωρείται στον τομέα των διυλιστηρίων, η μετασκευή βιοενέργειας είναι τρόπος αύξησης της παραγωγής ανανεώσιμων καυσίμων μεταφορών. Η κύρια τεχνολογία για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η υδρογονοκατεργασία ανανεώσιμων υγρών ελαίων, όπως το φοινικέλαιο και το χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο, και η αναβάθμισή τους σε ανανεώσιμα καύσιμα μεταφοράς στα διυλιστήρια. Αυτά τα «πράσινα βιοκαύσιμα» ονομάζονται επίσης HVO (υδρογονωμένα φυτικά έλαια). Υπάρχουν ήδη αρκετά διυλιστήρια που μετασκευάζονται για την παραγωγή HVO.

Άλλες τεχνολογίες είναι λιγότερο ανεπτυγμένες. Οι κύριες οδοί για τη μετατροπή λιγνοκυτταρινικών υλικών σε καύσιμα περιλαμβάνουν διάφορες μορφές θερμοχημικών μετατροπών, όπως θερμική πυρόλυση, καταλυτική πυρόλυση, υδροπυρόλυση, υδροθερμική υγροποίηση και υγροποίηση σε διαλύτες υδρογονανθράκων (Perkins et al. 2019). Ένας από τους πιο πολλά υποσχόμενους τρόπους για την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων καυσίμων είναι η **συν-τροφοδότηση ανανεώσιμου βιορευστού ελαίου πυρόλυσης** στα διυλιστήρια.

Αυτές οι τεχνολογίες εξηγούνται στα επόμενα κεφάλαια και απεικονίζονται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23: Εισαγωγή φυτικού ελαίου και ελαίου πυρόλυσης στη διαδικασία διύλισης.

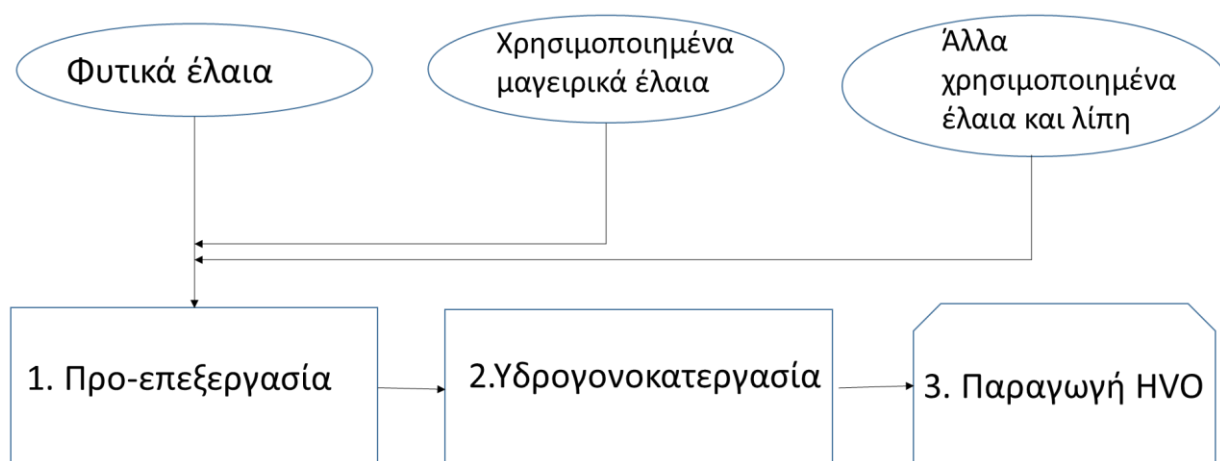
6.3 Ενσωμάτωση HVO

Συνώνυμο του **HVO** (Υδρογονωμένα Φυτικά Έλαια) είναι το **HEFA** (εστέρες και λιπαρά οξέα που έχουν υποστεί υδρογονοκατεργασία). Τα HVO/HEFA παράγονται με διαφορετικό τρόπο από το «παραδοσιακό βιοντίζελ», γνωστό ως **FAME** (Μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων). Η παραδοσιακή διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ περιλαμβάνει χημική αντίδραση (μετεστεροποίηση) λιπών ή ελαίων με μεθανόλη σε ειδικά εργοστάσια παραγωγής βιοντίζελ. Αυτή η μετεστεροποίηση οδηγεί σε βιοντίζελ (FAME) και ένα υποπροϊόν - τη γλυκερόλη.

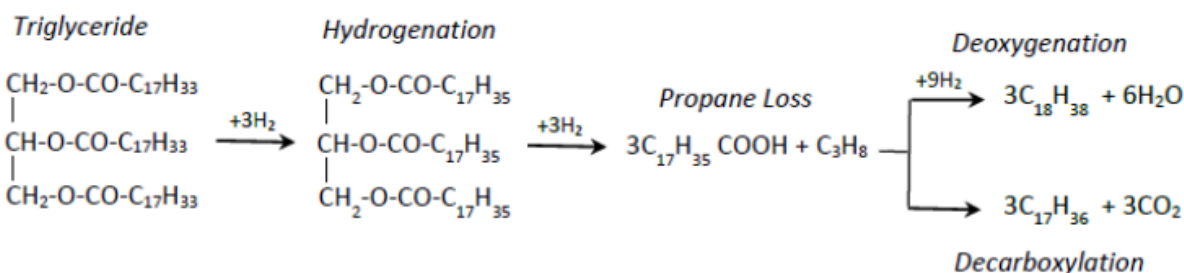
Η απλοποιημένη διαδικασία παραγωγής του HVO απεικονίζεται στην Εικόνα 24. Οι πρώτες ύλες είναι φυτικά έλαια, χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια ή άλλα χρησιμοποιημένα έλαια και λίπη. Μετά από την προεπεξεργασία για την απομάκρυνση των προσμίξεων, πραγματοποιείται η παραγωγή HVO σε δύο στάδια²⁵.

Στο πρώτο στάδιο (Εικόνα 25) - που ονομάζεται **υδρογονοκατεργασία** - τα έλαια και τα λίπη μετατρέπονται σε παραφίνες. Οι παραφίνες είναι ευθείες αλυσίδες υδρογονανθράκων, που γνωστές και ως αλκάνια. Τα αλκάνια είναι σχετικά απλά μόρια, αποτελούμενα από κορεσμένα μόρια άνθρακα και υδρογόνου, εξ ου και η ονομασία υδρογονάνθρακες. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες αντίδρασης 300°C και 390°C. Προστίθεται υδρογόνο στα έλαια και τα λίπη - εδώ απεικονίζονται ως τριγλυκερίδια - για να σπάσουν οι διπλοί δεσμοί. Στη συνέχεια, το υδρογόνο χρησιμοποιείται για τη διάσπαση του μορίου σε ευθεία αλυσίδα, με προπάνιο (ονομάζεται επίσης bioLPG) ως παραπροϊόν. Το οξυγόνο στη συνέχεια απομακρύνεται ως νερό (αποξυγόνωση) ή ως CO₂ (αποκαρβοξυλίωση).

Στο δεύτερο βήμα - που ονομάζεται **ισομερισμός** - οι παραφίνες σπάνε και ισομερίζονται έτσι ώστε το «πράσινο» ντίζελ (κύριο προϊόν) να πληροί τις απαιτήσεις ψυχρής ιδιότητας. Τα υποπροϊόντα είναι η «πράσινη» νάφθα και τα «πράσινα» καύσιμα αεροπορίας. Τα HVO μοιάζουν πολύ περισσότερο με το κλάσμα ντίζελ στην απόσταση αργού πετρελαίου από το FAME (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων). Τα HVO δεν περιέχουν οξυγόνο, ούτε διπλούς δεσμούς, ούτε αρωματικές ενώσεις και θείο (Forschungszentrum Jülich, 2019). Αποδείχθηκε, ότι οι πρώτες ύλες με υψηλό βαθμό κορεσμού είναι πιο ευνοϊκές, επειδή θα απαιτούν μικρότερη ποσότητα υδρογόνου κατά την υδρογόνωση (Mittelbach, 2015).



Εικόνα 24: Απλοποιημένα διαγράμματα ροής βαθμίδων της διαδικασίας HVO



Εικόνα 25: Υδρογονοκατεργασία ελαίων και λιπών

Η παραγωγή του HVO είναι εμπορικά αποδεδειγμένη και υπάρχουν αρκετές εταιρείες που διαθέτουν άδεια για την τεχνολογία²⁶, όπως η Axens IFP (Vegan), Honeywell UOP (Green Diesel), Neste (NextBTL), Haldor Topsoe (Hydroflex) και ENI (Ecofining).

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρύ φάσμα ελαίων και λιπών για την παραγωγή HVO:

- Φυτικά έλαια, συμπεριλαμβανομένου του ελαίου από καλλιέργειες τροφίμων. όπως το κραμβέλαιο, ο ηλιόσπορος, το φοινικέλαιο, αλλά και μη βρώσιμα έλαια, όπως γιάτροφα και έλαιο καπνού
- Λίπη ζώων, όπως λίπος πρόβειου κρέατος, λαρδί (ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση) και λίπος πουλερικών
- Απόβλητα ελαίων, όπως το χρησιμοποιημένο μαγειρικό έλαιο (UCO) και κίτρινο έλαιο μετά από τηγάνισμα (yellow grease)
- Μικροβιακά έλαια

Οι περισσότερες από αυτές τις πρώτες ύλες είναι τρυγλυκερίδια, πράγμα που σημαίνει ότι η παραγωγή HVO αποδίδει bioLPG ως παραπροϊόν. Ορισμένες πρώτες ύλες, όπως το απόσταγμα λιπαρών οξέων φοινικέλαιου (PFAD) και το ταλλέλαιο είναι λιπαρά οξέα ευθείας αλυσίδας και δεν αποδίδουν bioLPG ως υποπροϊόν²⁷.

Η παραγωγή HVO μπορεί να πραγματοποιηθεί μεμονωμένα, ή σε διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων που έχουν υποστεί μετασκευή. Ο Πίνακας 6 παρέχει ανασκόπηση των υφιστάμενων και προγραμματισμένων έργων για παραγωγή HVO²⁸:

Πίνακας 6: Τρέχουσα και προγραμματισμένη παραγωγή HVO στην Ευρώπη

Επενδυτής	Τοποθεσία	Τύπος	Κατάσταση	Δυναμικότητα (t/year)
PREEM	Gothenburg (Sweden)	αυτόνομη	Λειτουργική	100,000
ST1	Gothenburg (Sweden)	αυτόνομη	Υπό σχεδίαση	100,000
Sunpine	Pitea (Sweden)	αυτόνομη	Λειτουργική	100,000
UPM	Lappeenranta	αυτόνομη	Λειτουργική	100,000
UPM	Kotka (Finland)	αυτόνομη	Υπό σχεδίαση	500,000
Neste	Porvoo (Finland)	αυτόνομη	Λειτουργική	580,000
Neste	Rotterdam (Netherlands)	αυτόνομη	Λειτουργική	1,000,000
Galp	Sines (Portugal)	αυτόνομη	Λειτουργική	72,000
Σύνολο αυτόνομης παραγωγής εν λειτουργία				1,952,000
BP	Castellon (Spain)	Μετασκευή	Λειτουργική	80,000
Repsol	various (Spain)	Μετασκευή	Λειτουργική	200,000

²⁶ https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf

²⁷ <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/2/250/pdf>

²⁸ Argus, HVO production and outlook 2019 map, <https://www.argusmedia.com/en/bioenergy/argus-biofuels>

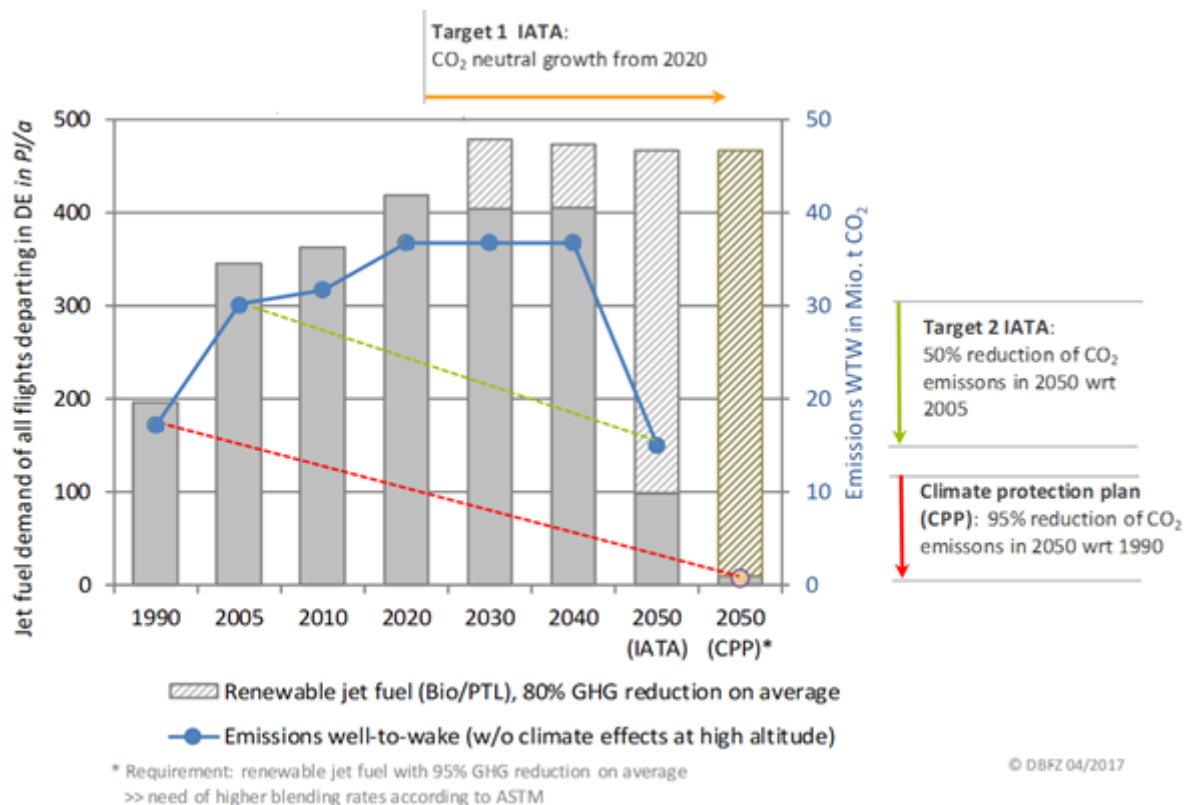
Cepsa	La Rabida (Spain)	Μετασκευή	Λειτουργική	43,000
Cepsa	San Roque (Spain)	Μετασκευή	Λειτουργική	43,000
ENI	Venice (Italy)	Μετασκευή	Λειτουργική	300,000
ENI	Gela (Italy)	Μετασκευή	Υπό σχεδίαση	600,000
Total	La Mede (France)	Μετασκευή	Υπό σχεδίαση	500,000
Συνολική παραγωγή διυλιστηρίων εν λειτουργία				666,000
Συνολική δυναμικότητα εν λειτουργία				2,618,000
Συνολική δυναμικότητα λειτουργικών και υπό σχεδίαση				4,318,000

Οι ιδιότητες του HVO είναι συνάρτηση της αναβάθμισης των αντιδράσεων χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους καταλυτών και τροποποιώντας τις συνθήκες αντίδρασης, όπως η θερμοκρασία και η πίεση. Επομένως, οι **ιδιότητες του HVO** μπορούν να προσαρμοστούν για να καλύψουν διάφορες βιομηχανικές ανάγκες, ώστε να είναι δυνατή η απόκτηση καυσίμων που πληρούν τις προδιαγραφές των αεροπορικών καυσίμων.

Το FAME και το HVO έχουν **διαφορετικές ιδιότητες υλικού**. Επειδή το FAME είναι εστέρας, η χημική του σύνθεση διαφέρει από το ορυκτό ντίζελ, πράγμα που σημαίνει στην πράξη ότι η χρήση του περιορίζεται σε μέγιστο ποσοστό 7% στην ΕΕ (το “blend wall”). Το όριο αυτό έχει καθοριστεί για την αποφυγή πιθανών προβλημάτων σε κινητήρες, όπως βλάβη σε συγκεκριμένα ανταλλακτικά, συσσώρευση άνθρακα στον κινητήρα και απορρόφηση νερού, γεγονός που θα οδηγούσε σε ανάπτυξη μικροβίων στη δεξαμενή καυσίμου. Άλλα ζητήματα του FAME είναι το σχετικά υψηλό σημείο πήξης. Το HVO δεν προκαλεί τέτοιου είδους προβλήματα, καθώς έχει ιδιότητες αντίστοιχες του ορυκτού ντίζελ.

Το HVO μπορεί να χρησιμοποιηθεί για **οδικές και αεροπορικές μεταφορές**. Η χρήση του HVO στον αεροπορικό τομέα αποδεικνύεται από διάφορες δοκιμές με διαφορετικά αεροσκάφη και εταιρείες. Το HVO είναι ήδη πιστοποιημένο από το 2011 από το διεθνές πρότυπο D7566 ASTM. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, είναι δυνατή η επίτευξη ποσοστού ανάμειξης της τάξης του 50% (Isfort et al., 2012). Αν και οι τεχνολογίες είναι διαθέσιμες, μέχρι στιγμής το HVO, όσον αφορά την αεροπορία, παράγεται μόνο σε παρτίδες για ειδικές δοκιμές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το τεστ του Neste Renewable Aviation Fuel σε μεγαλύτερη κλίμακα με 1,187 πτήσεις από τη Lufthansa μεταξύ Φρανκφούρτης και Αμβούργου και διηπειρωτική πτήση προς την Ουάσιγκτον το 2011. Δε σημειώθηκαν επιπλοκές σε αυτές τις δοκιμές και έχει αποδειχθεί η εμπορική χρήση στο μέλλον (Neste Oil, 2012).

Λόγω της έλλειψης άλλων εναλλακτικών λύσεων, τα βιώσιμα **καύσιμα αεροπορίας** θα είναι απαραίτητα για εναέρια κυκλοφορία φιλική προς το περιβάλλον μελλοντικά (Zech et al., 2014). Αναζητούνται εναλλακτικά καύσιμα τύπου κηροζίνης με χαρακτηριστικά “drop-in” καυσίμων, επειδή απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου τροποποίηση στην υποδομή καυσίμου και στα αεροσκάφη. Τα αεροπορικά “drop-in” καύσιμα βιολογικής βάσης επιτρέπουν επίσης την ανάμιξη κηροζίνης με βάση τα ορυκτά καύσιμα με εναλλακτικά καύσιμα. Η Εικόνα 26 απεικονίζει τη ζήτηση σε αεροπορικά καύσιμα για όλες τις πτήσεις που αναχωρούν για Γερμανία (γκρίζες ράβδοι), και τις αντίστοιχες εκπομπές CO₂ (μπλε γραμμή). Για τη μείωση των εκπομπών CO₂ με την αυξανόμενη ζήτηση καυσίμων αεροπορίας, είναι απαραίτητο να γίνει πτήση με βιώσιμα αεροπορικά καύσιμα. Αυτό θα απαιτήσει μεγάλη ποσότητα βιώσιμων αεροπορικών καυσίμων στο μέλλον για την επίτευξη των φιλόδοξων στόχων της Διεθνούς Ένωσης Αερομεταφορών (IATA, πράσινη γραμμή) και του σχεδίου προστασίας του κλίματος της γερμανικής κυβέρνησης (κόκκινη γραμμή).



Εικόνα 26: Ζήτηση καυσίμων αεροπορίας για όλες τις πτήσεις που αναχωρούν για Γερμανία (Dietrich et al., 2017)

Το **κόστος** παραγωγής HVO εκτιμήθηκε στο πλαίσιο μιας ευρύτερης μελέτης σχετικά με το κόστος των βιοκαυσίμων²⁹. Σύμφωνα με τα ευρήματα της μελέτης, το κόστος παραγωγής των καυσίμων HVO κυμαίνεται μεταξύ 600 – 1,100 €/τόνο ή 14 - 25 €/GJ. Το κυρίαρχο κόστος - 60% έως 80% - είναι το κόστος πρώτης ύλης. Το κόστος του HVO είναι στο χαμηλότερο άκρο του φάσματος σε σύγκριση με το κόστος άλλων βιοκαυσίμων. Το κόστος βιοκαυσίμων από βιομεθάνιο θα μπορούσε να είναι χαμηλότερο (11 - 34 €/GJ), αλλά όλα τα άλλα βιοκαύσιμα - όπως κυτταρινική αιθανόλη, υγρά FT κ.λπ. - εμφανίζουν υψηλότερο εύρος κόστους.

Τα επόμενα χρόνια αναμένεται σημαντική ενίσχυση του παραγωγικού δυναμικού. Λόγοι που συμβάλλουν σε αυτό είναι το χαμηλό σημείο πήξης του HVO, το ότι δεν υπάρχει “blend wall” και οι ευκαιρίες χρήσης του HVO ως αεροπορικό καύσιμο. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την παραγωγή HVO είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την αποθείωση του ορυκτού αργού πετρελαίου. Επομένως, αυτή η τεχνολογία είναι κατάλληλη για τη μετασκευή των διυλιστηρίων ορυκτών καυσίμων.

Επί του παρόντος, το μερίδιο του HVO στην παραγωγή βιοντίζελ στην ΕΕ (2018) είναι 17%. Ο Πίνακας 6 δείχνει ότι, ενώ η λειτουργική ικανότητα στα διυλιστήρια είναι επί του παρόντος πολύ μικρότερη από την αυτόνομη ικανότητα, η ικανότητα του διυλιστηρίου θα αυξηθεί σημαντικά στο εγγύς μέλλον.

Ένα **παράδειγμα έργου HVO** είναι το Total refinery La Mède (Γαλλία). Από το 2015, η Total μετέτρεψε το διυλιστήριο ορυκτών καυσίμων σε βιοδιυλιστήριο. Σήμερα έχει χωρητικότητα 500,000 τόνων βιοντίζελ τύπου HVO. Η έναρξη της παραγωγής πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2019. Στο μέλλον μπορούν επίσης να παραχθούν αεροπορικά καύσιμα (Total, 2019). Ένα άλλο παράδειγμα είναι το έργο Eni στην Gela (Ιταλία). Εκτός Ευρώπης, οι όγκοι παραγωγής

²⁹ EU DG Mobility and Transport, „Building up the future – Cost of Biofuels“ (2018) <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/13e27082-67a2-11e8-ab9c-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF>

HVO είναι μικρότεροι. Στη Βόρεια Αμερική, πρόκειται να παραχθούν 1,155,000 τόνοι το 2020, παρόμοιο ποσό με της Ασίας. Στην Ασία, ο μεγαλύτερος όγκος (800,000 τόνοι/έτος) παράγεται στο εργοστάσιο Neste NExBTL στην Σιγκαπούρη³⁰.

Ωστόσο, η προμήθεια πρώτων υλών θα είναι δύσκολη, δεδομένου ότι η RED II καλύπτει τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς με βάση τις καλλιέργειες, και επιπλέον αρκετά κράτη μέλη - ιδίως η Γαλλία και η Νορβηγία - θα σταματήσουν να θεωρούν τα καύσιμα με βάση το φοινικέλαιο ως βιοκαύσιμα από το 2020 και μετά. Οι πρώτες ύλες δεύτερης γενιάς που έχουν ως βάση τα απόβλητα δεν προμηθεύονται σε μεγάλη ποσότητα, και οι χώρες υψηλής παραγωγής τους που βρίσκονται εκτός Ευρώπης (Κίνα, ΗΠΑ, Ινδία) ενδέχεται να αυξήσουν την τοπική κατανάλωση βιοντίζελ με βάση τα απόβλητα.

Ευρύτερη πρόκληση είναι η τροποποίηση των ποσοστών των διάφορων καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη. Ενώ η κατανάλωση κηροζίνης αναμένεται να αυξηθεί την επόμενη δεκαετία, η χρήση ντίζελ πρόκειται να μειωθεί σταθερά, από 53% την τρέχουσα περίοδο σε 33% το 2050³¹.

6.4 Ενσωμάτωση των ελαίων πυρόλυσης στα διυλιστήρια

Η πυρόλυση είναι διαδικασία κατά την οποία η βιομάζα θερμαίνεται απουσία αέρα/οξυγόνου. Υπό αυτές τις συνθήκες, το οργανικό υλικό αποσυντίθεται, σχηματίζοντας ατμούς, μακράς διάρκειας αέρια και κάρβουνο. Οι ατμοί συμπυκνώνονται για να σχηματίσουν το κύριο προϊόν: το έλαιο πυρόλυσης (Εικόνα 27). Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή του υγρού, η θέρμανση βιομάζας, καθώς και η συμπύκνωση ατμών πρέπει να γίνουν γρήγορα. Για αυτό και το όνομα ταχεία πυρόλυση. Εναλλακτικά, η επεξεργασμένη βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κάρβουνου. Σε αυτήν την περίπτωση η θέρμανση είναι λιγότερο γρήγορη και η διαδικασία ονομάζεται αργή πυρόλυση ή απανθράκωση. Η τελευταία πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασίες μικρότερες των 400°C.



Εικόνα 27: Έλαιο πυρόλυσης

Η ταχεία πυρόλυση αποσκοπεί στη μετατροπή της βιομάζας σε μέγιστη ποσότητα υγρού, περίπου 60 έως 70% κ.β. της πρώτης ύλης. Μέσω της ταχείας πυρόλυσης, λαμβάνεται πιο ομοιόμορφο, σταθερό και καθαρότερο προϊόν, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως ενδιάμεσος φορέας ενέργειας και πρώτη ύλη για μεταγενέστερη επεξεργασία, προσφέροντας μεγαλύτερα οφέλη. Οι βασικές συνθήκες διεργασίας της ταχείας πυρόλυσης για την παραγωγή υγρών πυρόλυσης είναι:

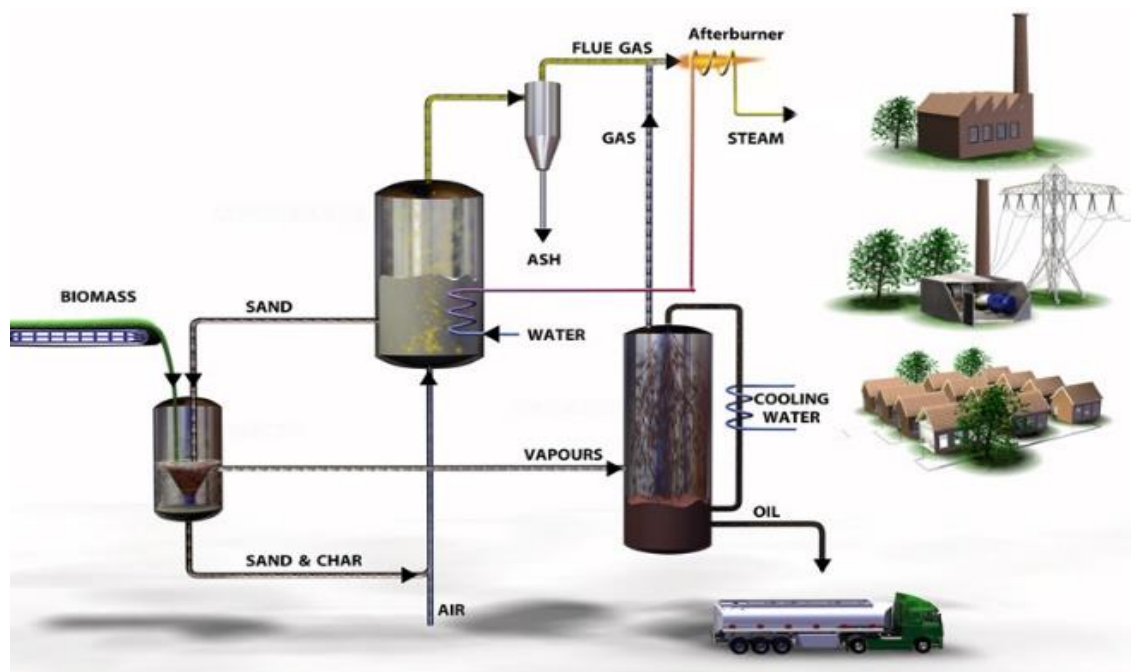
- πολύ γρήγορη θέρμανση σχετικά μικρών σωματιδίων βιομάζας (κατά σειρά δευτερολέπτων),
- διατήρηση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα πυρόλυσης σε επίπεδο περίπου 500 βαθμών Κελσίου,
- σύντομος χρόνος παραμονής ατμών για να αποφευχθεί η περαιτέρω διάσπαση σε αέρια μακράς διάρκειας,
- ταχεία ψύξη όλων των ατμών για σχηματισμό του επιθυμητού υγρού πυρόλυσης.

³⁰ <https://www.chemicals-technology.com/projects/neste-oil-plant/>

³¹ Greenea Conference presentation, May 2019, Denver, USA, <https://www.greenea.com/en/publications/>

Έχουν δοκιμαστεί διάφοροι **τύποι αντιδραστήρων** σε ευρωπαϊκά και αμερικανικά εργαστήρια. Μεταξύ αυτών είναι ο αντιδραστήρας καύσης τύπου στροβιλισμού (vortex reactor), ο αντιδραστήρας περιστρεφόμενων πτερυγίων (rotating blades reactor), ο αντιδραστήρας περιστρεφόμενου κώνου (rotating cone reactor), οι κυκλώνες (cyclone reactor), ο αντιδραστήρας μεταφερόμενης κλίνης (transported bed reactor), ο αντιδραστήρας κενού (vacuum reactor) και ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης (fluid bed reactor). Κατά τη δεκαετία του '80 και του '90 δημιουργήθηκαν πολλές πιλοτικές μονάδες. Ωστόσο, για διάφορους λόγους, οι περισσότερες δε λειτουργούν πλέον. Από την άλλη πλευρά, έχουν καταγραφεί και ορισμένες επιτυχημένες εφαρμογές. Ανάμεσά τους είναι η διαδικασία ρευστοποιημένης κλίνης ανακυκλοφορίας (circulating fluid bed) του Ensyn που εφαρμόζεται εδώ και πολλά χρόνια για την παραγωγή «υγρού καπνού». Η σύμπραξη των Ensyn και UOP είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της Envergent, η οποία στοχεύει στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Ένα άλλο επιτυχημένο παράδειγμα είναι η διαδικασία που αναπτύχθηκε από την BTG χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενο κώνο (Εικόνα 28).

Η τεχνολογία που βασίζεται στον περιστρεφόμενο κώνο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στη Μαλαισία, όπου για τη διαδικασία της πυρόλυσης χρησιμοποιήθηκαν άδεια τσαμπιά φρούτων ως πηγή βιομάζας, καθώς και στην Ολλανδία, όπου για τη διαδικασία της πυρόλυσης χρησιμοποιήθηκε υπολείμματα ξυλώδους βιομάζας (EMPYRO). Η μονάδα EMPYRO τέθηκε σε λειτουργία το 2015, με το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου πυρόλυσης να αποστέλλεται στο Friesland Campina για παραγωγή βιομηχανικής θερμότητας. Μετά από τρία χρόνια από τον εκκίνηση μιας επιτυχημένης επιχείρησης, η μονάδα EMPYRO λειτουργεί πλέον σε πλήρη δυναμικότητα και έχει αγοραστεί από την Twence.



Εικόνα 28: Διαδικασία πυρόλυσης με βάση την τεχνική περιστρεφόμενου κώνου (Πηγή: BTG)

Η πυρόλυση προσφέρει τη δυνατότητα διαχωρισμού της παραγωγής καυσίμου από το χειρισμό της βιομάζας σε σχέση με το χρόνο, τον τόπο και την κλίμακα, τον εύκολο χειρισμό των υγρών και πιο σταθερή ποιότητα σε σύγκριση με οποιοδήποτε τύπο στερεής βιομάζας. Με την ταχεία πυρόλυση παράγεται καθαρό υγρό (Εικόνα 27) ως ενδιάμεσο προϊόν κατάλληλο για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, μία εκ των οποίων είναι η συν-τροφοδότηση σε διυλιστήρια.

Οι **ιδιότητες του ελαίου πυρόλυσης** (Πίνακας 7) είναι αρκετά διαφορετικές από του ορυκτελαίου. Το έλαιο περιέχει συνήθως χαμηλή ποσότητα τέφρας και σημαντική ποσότητα νερού (είναι γαλάκτωμα). Η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα είναι 5 έως 20 φορές υψηλότερη από της αρχικής βιομάζας από την οποία παράγεται. Η πυκνότητα είναι υψηλότερη από του πετρελαίου και σημαντικά υψηλότερη από της βιομάζας. Η ανώτερη θερμογόνο

ικανότητα (HHV) HHV του λαδιού πυρόλυσης ανέρχεται σε 16-23 MJ/l, το οποίο είναι πολύ χαμηλότερο από το πετρέλαιο που έχει τυπική θερμογόνο δύναμη 37 MJ/l. Το έλαιο πυρόλυσης είναι όξινο, με pH 3. Είναι υγρό κοκκινωπό/καφέ με δυσωδία που μοιάζει με μυρωδιά από το ψήσιμο στα κάρβουνα. Λόγω των μεγάλων ποσοτήτων οξυγονωμένων συστατικών, το έλαιο δεν αναμιγνύεται εύκολα με υδρογονάνθρακες.

Πίνακας 7: Ιδιότητες παρτίδας ελαίου πυρόλυσης (Πηγή: BTG)

Ιδιότητα	Μονάδα	Τιμή
C	wt%	46
H	wt%	7
N	wt%	<0.01
O (Ισοζύγιο)	wt%	47
Περιεκτικότητα σε νερό	wt%	25
Περιεκτικότητα σε τέφρα	wt%	0.02
Περιεκτικότητα σε στερεά	wt%	0.04
Πυκνότητα	kg/l	1.2
LHV	MJ/kg	16
LHV	MJ/l	19
pH	-	2.9
Κινηματικό ιξώδες (40°C)	cSt	13

Παράγονται επίσης **υποπροϊόντα** με τη μορφή άνθρακα και μη συμπυκνωμένων αερίων. Σε βιομηχανική διαδικασία, αυτά τα δύο υποπροϊόντα (και τα δύο 10 έως 20% κ.β.) θα χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμο για την παραγωγή της απαιτούμενης θερμότητας της διαδικασίας (συμπεριλαμβανομένης της ξήρανσης πρώτων υλών). Μερικές φορές, όμως, ο άνθρακας προτείνεται να εφαρμοστεί ως βιοξυλάνθρακας για βελτιωτικό εδάφους ή ως υποκατάστατο του μεταλλουργικού σπένθρακα στη βιομηχανία χάλυβα. Εναλλακτικά, για συγκεκριμένους σκοπούς (και λόγους), μπορεί να ανασυνδυαστεί με το έλαιο γρήγορης πυρόλυσης για να σχηματίσει μια **ιλύ ελαίου-άνθρακα**.

Το αέριο υποπροϊόν είναι ουσιαστικά ένα μείγμα CO και CO₂. Εκτός από τις εκπομπές καυσαερίων και την τέφρα που προκύπτουν από την καύση του άνθρακα, δεν υπάρχουν ροές αποβλήτων. Η τέφρα βιομάζας θα συγκεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στο υποπροϊόν του άνθρακα. Διαχωρίζεται κατά την καύση του άνθρακα, δηλαδή κατά τη διαδικασία παραγωγής θερμότητας για ξήρανση και θέρμανση της πρώτης ύλης της βιομάζας.

Σχεδόν όλοι οι τύποι βιομάζας δύναται να χρησιμοποιηθούν ως **πρώτη ύλη** για την πυρόλυση. Οι κύριες απαιτήσεις για τη διαδικασία ταχείας πυρόλυσης είναι η βιομάζα να είναι σχετικά ξηρή (λιγότερο από 6-8% περιεκτικότητα σε υγρασία) και σχετικά μικρού μέγεθους (λίγα χιλιοστά).

Το ξύλο και τα υπολείμματα ξύλου είναι κατάλληλα για τη διαδικασία της πυρόλυσης, ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί άλλοι τύποι βιομάζας, όπως φλοιός ρυζιού, βαγάσση,

λάσπη, καπνός, ενεργειακές καλλιέργειες, υπολείμματα φοινικέλαιου, άχυρο, υπολείμματα ελιάς, κοπριά κοτόπουλου και πολλά άλλα. Ο τύπος βιομάζας/υπολείμματος επηρεάζει την απόδοση και την ποιότητα του ελαίου πυρόλυσης. Συνήθως, η ξυλώδης βιομάζα έχει την υψηλότερη απόδοση.

Δεδομένου ότι λίγα είδη βιομάζας πληρούν τα δύο κριτήρια - μέγεθος και περιεκτικότητα σε υγρασία - όταν συλλέγονται, οι εμπορικές μονάδες παραγωγής ελαίου πυρόλυσης απαιτούν τμήμα προεπεξεργασίας βιομάζας. Αυτό το τμήμα προεπεξεργασίας μπορεί να λειτουργήσει χρησιμοποιώντας το πλεόνασμα θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση πυρόλυσης, εφόσον το περιεχόμενο σε υγρασία δεν υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο (περίπου 55-60 % κ.β.).

Η παραγωγή ελαίου πυρόλυσης πραγματοποιείται επί του παρόντος σε διάφορα μέρη στην Ευρώπη:

- Η μονάδα πυρόλυσης EMPYRO στο Hengelo της Ολλανδίας μετατρέπει 5 τόνους ξυλώδους βιομάζας (ξηράς ουσίας) ανά ώρα σε έλαιο πυρόλυσης. Η κατασκευή της μονάδας ολοκληρώθηκε το 2015 και λειτουργεί σε πλήρη παραγωγική δυναμικότητα – 24,000 τόνοι ελαίου πυρόλυσης ετησίως - το 2018. Τα έλαια πυρόλυσης αυτή τη στιγμή καίγονται μαζί με φυσικό αέριο για την παραγωγή ατμού στο κοντινό γαλακτοκομείο της FrieslandCampina στο Borculo (Ολλανδία). Επί του παρόντος (2019) η κοινοπραξία πίσω από τη μονάδα Empyro - μια συνεργασία μεταξύ των εταιρειών BTG-BTL και TechnipFMC³² - κατασκευάζει δεύτερη μονάδα πλήρους κλίμακας στην Φινλανδία³³.
- Η Fortum και η Valmet έχουν εγκαταστήσει μονάδα παραγωγής ελαίου πυρόλυσης 50,000 τόνων σε συνδυασμό με τη ΣΗΘ μονάδα Joensuu στην Φινλανδία. Η μονάδα πυρόλυσης τέθηκε σε λειτουργία το 2013. Οι πρώτες ύλες βιο-ελαίου περιλαμβάνουν δασικά υπολείμματα και άλλους τύπους ξυλώδους. Η εμπορική ονομασία του ελαίου πυρόλυσης της Fortum είναι "Fortum Otso"³⁴.

Εκτός από αυτές τις δύο μονάδες υπάρχουν αρκετές μονάδες που λειτουργούν εκτός Ευρώπης, με βάση την πλατφόρμα Ensyn/Honeywell UOP. Έχουν κατασκευαστεί τρεις μονάδες πυρόλυσης που προορίζονται αποκλειστικά για την παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων, συγκεκριμένα το Οντάριο (Καναδάς), η μονάδα πυρόλυσης Red Arrow Products στην Ουισκόνσιν (ΗΠΑ) και το πρόσφατο έργο AE Cote-Nord στο Μόντρεαλ (Καναδάς).



Εικόνα 29: Η μονάδα πυρόλυσης Empyro στο Hengelo της Ολλανδίας

Ευκαιρίες για μετασκευή

Το έλαιο πυρόλυσης είναι σχετικά ομοιογενές βιορευστό που μπορεί να παραχθεί από ποικιλία στερεών τύπων βιομάζας. Ως εκ τούτου, είναι καταρχήν κατάλληλο για συν-τροφοδότηση σε διυλιστήρια, επειδή τα διυλιστήρια χρησιμοποιούνται για υγρά και επειδή είναι εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας που απαιτούν μεγάλες ποσότητες εισροών. Για την τυπική βιομάζα σε χύδην μορφή αυτό επιβάλλει προκλήσεις κατά τον εφοδιασμό. Ωστόσο η ενεργειακή πυκνότητα του ελαίου πυρόλυσης είναι τέτοια που η μεταφορά του σε μεγαλύτερες αποστάσεις καθίσταται οικονομική.

³² <https://www.btg-btl.com/en/technology>

³³ <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/finland-first-for-dutch-pyrolysis-technology-developers>

³⁴ <https://www.fortum.com/products-and-services/power-plant-services/fortum-otso-bio-oil>

Σημαντικό τεχνικό εμπόδιο, όσον αφορά την συν-τροφοδότηση του ελαίου πυρόλυσης, είναι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Δεδομένου ότι το έλαιο πυρόλυσης παράγεται με σχετικά απλή θερμική αποδόμηση της βιομάζας, μεγάλο μέρος του οξυγόνου που υπάρχει στη βιομάζα βρίσκεται επίσης στο έλαιο πυρόλυσης. Αυτό το οξυγόνο πρέπει να απομακρυνθεί εξ ολοκλήρου ή εν μέρει για να είναι σε θέση να παράγει καύσιμα μεταφοράς.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι συν τροφοδότησης ελαίου πυρόλυσης σε διυλιστήριο.

- Το έλαιο πυρόλυσης μπορεί να τροφοδοτηθεί απευθείας στο ρευστοειδή καταλυτικό πυρολυτήρα (Fluid Catalytic Cracker) του διυλιστηρίου. Η συν-τροφοδότηση πραγματοποιήθηκε σε πιλοτική εγκατάσταση από το Petrobras στην Βραζιλία. Στην παράγραφο «τρέχουσα κατάσταση», παρουσιάζεται αναλυτικά η παρούσα ερευνητική μελέτη.
- Προεπεξεργασία του ελαίου πυρόλυσης, ώστε μέρος του οξυγόνου να έχει ήδη αφαιρεθεί μέσω του σταδίου της αναγωγής οξυγόνου (hydrodeoxygenation) που πραγματοποιείται σε μια διαδικασία καταλυτικής υδρογονοκατεργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, διατίθεται αναβαθμισμένη μορφή ελαίου πυρόλυσης, που μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί σε διυλιστήριο. Επειδή η πλήρης αποξυγόνωση απαιτεί αρκετό υδρογόνο, μία εναλλακτική προσέγγιση είναι η μερική αποξυγόνωση του ελαίου πυρόλυσης και η ολοκλήρωση της μετατροπής σε καύσιμο μεταφοράς σε υπάρχον διυλιστήριο αργού πετρελαίου.

Η επικύρωση της ιδέας για τροφοδοσία μερικώς αναβαθμισμένων υγρών πυρόλυσης σε ρευστοειδή καταλυτικό πυρολυτήρα (FCC), παρουσιάστηκε πρώτα στο έργο EU FP6 BIOCOUP, που ολοκληρώθηκε το 2010. Η εν λόγω ιδέα αναπτύχθηκε περαιτέρω στο έργο EU FP7 FASTCARD, το οποίο στόχευε σε πιο αποτελεσματική μετατροπή της βιομάζας σε βιοκαύσιμα μέσω της βελτίωσης των καταλυτών. Σημαντικό εύρημα των έργων είναι ότι το «co-FCC» του αναβαθμισμένου ελαίου πυρόλυσης είναι τεχνικά δυνατό. Επί του παρόντος (2019) η συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης σε διυλιστήρια διερευνάται περαιτέρω στο έργο H2020 4refinery³⁵.

Όσον αφορά στο φάσμα προϊόντων του FCC, δεν προκύπτουν σημαντικές αποκλίσεις. Οι αποκλίσεις είναι συνάρτηση του βαθμού αναβάθμισης του ελαίου πυρόλυσης και της αναλογίας συν-τροφοδότησης. Συνήθως, η απόδοση οπτάνθρακα (κωκ) και αερίου αυξάνονται. Όσον αφορά στην ένταση (πίεση, θερμοκρασία, χωροχρόνος) στην οποία τα υγρά πυρόλυσης έχουν υποστεί προεπεξεργασία σε προηγούμενο στάδιο υδρογονοκατεργασίας, μπορούν να διακριθούν τρεις τύποι πρώτων υλών που προέρχονται από πυρόλυση: (1) πλήρως αποξυγονωμένα υγρά πυρόλυσης, (2) μερικώς αποξυγονωμένα υγρά πυρόλυσης και (3) μη επεξεργασμένα υγρά πυρόλυσης. Τα πλήρως αποξυγονωμένα υγρά πρέπει να εμφανίζουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των υγρών που τροφοδοτούνται σε ρευστοειδή καταλυτικό πυρολυτήρα (FCC), (αεριέλαιου κενού ή VGO), ενώ τα μη επεξεργασμένα υγρά πυρόλυσης αποδίδουν περισσότερο οπτάνθρακα και αέριο σε σύγκριση με το VGO. Προφανώς, η αναλογία τροφοδοσίας του VGO έναντι των υγρών πυρόλυσης θα έχει πρόσθετη ισχυρή επίδραση στη συνολική απόδοση.

Πρόσφατες μελέτες εκτιμούν το **κόστος** παραγωγής βιοκαυσίμων από την συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης²⁹. Σε αυτή τη μελέτη, εκτιμήθηκε ότι το κόστος παραγωγής των βιοκαυσίμων από έλαιο πυρόλυσης κυμαίνεται μεταξύ 16-29 ευρώ/GJ. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεδομένου ότι η συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης στα διυλιστήρια δεν είναι ακόμη εμπορικά διαθέσιμη, υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με το κόστος. Το κόστος πρώτης ύλης στην περίπτωση της συν-τροφοδότησης είναι χαμηλότερο συγκριτικά με το αντίστοιχο κόστος για το HVO, λόγω της παραγωγής του HVO από λιγνοκυτταρινικά υπολείμματα.

Το κόστος των βιοκαυσίμων που παράγονται από έλαιο πυρόλυσης είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με το κόστος άλλων βιοκαυσίμων. Το κόστος βιοκαυσίμων από βιομεθάνιο και το

³⁵ <https://www.sintef.no/projectweb/4refinery/>

κόστος ΗVO (βλέπε προηγούμενη παράγραφο) θα μπορούσε να είναι χαμηλότερο, αλλά όλα τα άλλα βιοκαύσιμα παρουσιάζουν υψηλότερες διακυμάνσεις κόστους.

Η ενσωμάτωση ελαίου πυρόλυσης στα διυλιστήρια ορυκτών καυσίμων δεν είναι ακόμη πλήρως εμπορική. Ωστόσο, υπήρξαν εξελίξεις στην εμπορευματοποίηση αυτής της επιλογής:

- **Συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης στην πιλοτική μονάδα Petrobras³⁶:** Σε αυτό το έργο, το μη επεξεργασμένο έλαιο πυρόλυσης που παράχθηκε από θρύμματα πεύκου, συνεπεξεργάστηκε με τυπικό αεριέλαιου κενού (VGO) και τροφοδοτήθηκε σε ρευστοειδή καταλυτικό πυρολυτήρα (FCC) 200 kg/hr σε κλίμακα έργου επίδειξης, χρησιμοποιώντας έναν FCC εμπορικό καταλύτη. Χρησιμοποιήθηκαν αναλογίες συν-τροφοδοσίας 5% και 10%. Αποδείχθηκε ότι η συν επεξεργασία του ελαίου πυρόλυσης σε FCC ήταν τεχνικά εφικτή. Τόσο το VGO όσο και το έλαιο πυρόλυσης διασπάστηκαν σε καύσιμα μεταφοράς, όπως βενζίνη και ντίζελ. Το οξυγόνο απομακρύνθηκε σε μορφή νερού και CO. Η απόδοση άνθρακα ήταν 30%. Μέσω της ανάλυσης ισοτόπων C14 επιβεβαιώθηκε η παρουσία ανανεώσιμου άνθρακα.
- **Συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης στο διυλιστήριο PREEM στο Lysekil³⁷:** Η πρώτη πλήρης ταυτόχρονη τροφοδοσία ελαίου πυρόλυσης σε διυλιστήριο στην Ευρώπη ανακοινώθηκε από τις εταιρείες Preem και Setra. Μαζί δημιούργησαν κοινοπραξία - την Pyrocell AB - για να επενδύσουν σε μονάδα πυρόλυσης στο πριονιστήριο Kastet της Setra έξω από το Gävle της Σουηδίας. Ανακοινώθηκε για πρώτη φορά, τον Ιούνιο του 2018, ότι η νέα μονάδα πυρόλυσης θα παράγει έλαιο πυρόλυσης χρησιμοποιώντας πριονίδι ως πρώτη ύλη. Η μονάδα αναμένεται να λειτουργήσει έως τα τέλη του 2021. Το έλαιο πυρόλυσης θα χρησιμοποιηθεί ως ανανεώσιμη πρώτη ύλη βιο-πετρελαίου στην παραγωγή βιο-αργού πετρελαίου στο διυλιστήριο της Preem στο Lysekil.

6.5 Τελικές παρατηρήσεις

Τα διυλιστήρια δείχνουν όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για την ανανθρακοποίηση των προϊόντων τους με τη χρήση βιομάζας ως τροφοδοσία. Η παραγωγή ΗVO σε υπάρχοντα διυλιστήρια αποτελεί ένα παράδειγμα. Η βιωσιμότητα είναι ένα θέμα στο οποίο δίνεται μεγάλη προσοχή, δεδομένου ότι τα διυλιστήρια είναι επιχειρήσεις μεγάλης κλίμακας και χρειάζονται σημαντικές ποσότητες πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Το “blend wall” αποτελεί όλο και μικρότερο πρόβλημα, διότι πλέον είναι δυνατή η παραγωγή βιοκαυσίμων με ίδια ή ακόμη και βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με την εναλλακτική λύση των ορυκτών καυσίμων.

Οι ενδιαμέσοι φορείς βιοενέργειας μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην παροχή επαρκούς πρώτης ύλης σε διυλιστήρια, λόγω της πιο εύκολης μεταφορά και της ομοιογενούς μορφής. Ορισμένες εφοδιαστικές αλυσίδες είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμες, όπως η συν-τροφοδότηση ελαίου πυρόλυσης· άλλες βρίσκονται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης. Συνιστάται υποστήριξη σε πιλοτική κλίμακα, επιδεικτική κλίμακα, καθώς και ενίσχυση της διείσδυσης στην αγορά.

Χρειάζεται να γίνουν ακόμη ενέργειες για τον προσδιορισμό των πτυχών της αειφορίας της συν-τροφοδότησης βιομάζας σε διυλιστήριο. Οι υπάρχουσες (C14) μέθοδοι ενδέχεται να μην

³⁶ „Fast pyrolysis oil from pinewood chips co-processing with vacuum gas oil in an FCC unit for second generation fuel production“, Andrea de Rezende Pinho, Marlon B.B. de Almeida, Fabio Leal Mendes, Luiz Carlos Casavechia, Michael S. Talmadge, Christopher M. Kinchi, Helena L. Chumc, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.032>

³⁷ <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/setra-and-preem-first-in-europe-with-renewable-fuel-from-sawdust>

αποδίδουν πάντα για τον προσδιορισμό των ανανεώσιμων ποσοτήτων άνθρακα σε «πράσινα» προϊόντα διυλιστηρίου.

Δεδομένου ότι τα διυλιστήρια λειτουργούν σε παγκόσμιο περιβάλλον, είναι σημαντικό να διασφαλιστούν ίσοι όροι ανταγωνισμού. Οι απαιτήσεις βιωσιμότητας για τα ανανεώσιμα βιοκαύσιμα πρέπει να διατηρηθούν για όλα τα βιοκαύσιμα - τόσο εντός όσο και εκτός της ΕΕ - που διατίθενται στην ευρωπαϊκή αγορά, και θα πρέπει να διατηρηθούν δυναμικά.

7 Μετασκευή μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα και ΣΗΘ

7.1 Ανασκόπηση του τομέα

Το 2016, τα ορυκτά καύσιμα συνέβαλαν στο 65.1% της ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως· μόνο ο άνθρακας ανήλθε στο 38.3% του συνολικού ποσού (IEA, 2019). Κυρίως λόγω της τεράστιας ανάπτυξης στην Κίνα και την Ινδία, η δυναμικότητα των ανθρακικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής έχει υπερβεί τα 2,000 GW, μεγαλύτερη δηλαδή από το διπλάσιο της εγκατατεστημένης ισχύος το έτος 2000 (CarbonBrief, 2019).

Εξαιτίας του συνόλου των πολιτικών που προωθούν την **απανθρακοποίηση** στον ενεργειακό τομέα, η κατάσταση στην Ευρώπη είναι αρκετά διαφορετική της παγκόσμιας προοπτικής. Έως και σήμερα, το 19.2% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ-28 προέρχεται από λιθάνθρακα και λιγνίτη (Agora Energiewende and Sandbag, 2019). Το 2018, η εγκατεστημένη ισχύς των ανθρακικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στην ΕΕ-28 ήταν σχεδόν 155 GW (CarbonBrief, 2019)· ο μεγαλύτερος αριθμός ανθρακικών μονάδων παραγωγής βρίσκεται στην Γερμανία (48 GW), ακολουθούμενη από την Πολωνία (30 GW). Αρκετά κράτη μέλη της ΕΕ - Αυστρία, Δανία, Φινλανδία, Γαλλία, Ελλάδα, Ουγγαρία, Ιρλανδία, Ιταλία, Ολλανδία, Πορτογαλία, Σλοβακία, Σουηδία, Ηνωμένο Βασίλειο - έχουν δεσμευτεί να επιτύχουν μηδενικές εκπομπές άνθρακα έως το 2030 ή νωρίτερα. Ωστόσο, μεγαλύτερες προκλήσεις απανθρακοποίησης καλούνται να αντιμετωπίσουν πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, στις οποίες άνω του 40% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από καύση του άνθρακα. Εντός της ΕΕ, αυτές οι χώρες είναι η Γερμανία (41%), η Βουλγαρία (45%), η Ελλάδα (46%), η Τσεχία (53%) και η Πολωνία (80%). Παρόμοια είναι η κατάσταση για τα περισσότερα κράτη μέλη εκτός ΕΕ στη Νοτιοανατολική Ευρώπη: Μαυροβούνιο (45%), Βοσνία-Ερζεγοβίνη (63%), Σερβία (65%), Βόρεια Μακεδονία (70%) και Κόσσοβο (97%) (EURACOAL, 2017).

Η βιομηχανία άνθρακα έχει ήδη μεγάλη εμπειρία όσον αφορά στη σύγκausη της βιομάζας, λόγω των σχετικά χαμηλών απαιτήσεων κόστους επένδυσης (CAPEX), των μεταβλητής κλίμακας λύσεων και των διαφόρων επιλογών για τη σύγκausη. Η βάση δεδομένων του IEA Bioenergy Task 32³⁸ απαριθμεί εκατοντάδες περιπτώσεις σύγκausης με εφαρμογή στη βιομηχανία, σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Η Εικόνα 32 απεικονίζει διαφορετικές περιπτώσεις σύγκausης.

Συνήθως, το **κίνητρο** για συνδυασμένη καύση βιομάζας σε ανθρακικές μονάδες παραγωγής ενέργειας μπορεί να είναι προσωρινό και καθαρά οικονομικό: τα καύσιμα βιομάζας μπορεί να διατίθενται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες και σε ανταγωνιστικές τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες του άνθρακα (σε ενεργειακή βάση). Μία από τις παλαιότερες περιπτώσεις συνδυασμένης καύσης στην Ευρώπη αποτελεί το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας του Gelderland (Ολλανδία). Στο εργοστάσιο αυτό, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 1992, εφαρμόστηκε η συνδυασμένη καύση υπολειμμάτων ξύλου και άνθρακα, σε ποσοστό 3-4% θερμικού περιεχομένου στο εισαγόμενο καύσιμο (Korpejan και van Loo, 2012). Ωστόσο, η

³⁸ <http://task32.ieabioenergy.com/database-biomass-cofiring-initiatives/>

εξέλιξη των πολιτικών της ΕΕ δημιούργησε ένα πιο διαρθρωτικό σύνολο αρχών, βάσει των οποίων μπορεί να εφαρμοστεί η βιοενεργειακή μετασκευή σε ανθρακικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Στο πλαίσιο αυτών των αρχών, αυτά περιλαμβάνονται τα αυστηρότερα όρια εκπομπών που επιβάλλονται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (ETS) που περιορίζει την ανταγωνιστικότητα της παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα καθορίζοντας τιμή για τις εκπομπές CO₂ και τα συστήματα στήριξης που υιοθετούνται για τη βιοηλεκτρική ενέργεια. Όλα αυτά δημιούργησαν θετικά ή αρνητικά κίνητρα για τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για τη μετάβαση από τον άνθρακα σε βιοηλεκτρική ενέργεια. Σχετικό παράδειγμα είναι ο σταθμός παραγωγής ενέργειας Drax (UK)· η μεγαλύτερη ίσως μονάδα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα στον κόσμο (2.6 GW), που προήλθε από τη μετατροπή τεσσάρων από τις έξι ανθρακικές μονάδες σε 100% καύση βιομάζας.

Τέτοιες περιπτώσεις μετασκευής βιοενέργειας παρουσιάζουν μη τεχνικές προκλήσεις, όπως η διασφάλιση επαρκούς και βιώσιμης παροχής βιομάζας. Το παρόν έντυπο επικεντρώνεται στις τεχνικές προκλήσεις και επιλογές για τη βιοενεργειακή μετασκευή ανθρακικών σταθμών παραγωγής ενέργειας: σύγκausη και μετασκευή του υπάρχοντος εξοπλισμού με χρήση βιομάζας (repowering) για παραγωγή ενέργειας (biomass repowering). Οι επιλογές τεχνολογιών που θα παρουσιαστούν έχουν ως επί το πλείστον εμπορικό χαρακτήρα· ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν μερικές επιλογές η ευρεία εφαρμογή τους σε βιομηχανική κλίμακα απαιτεί που περαιτέρω προσπάθειες έρευνας και επίδειξης.

Οι **μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)** παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, επιτυγχάνοντας υψηλότερες συνολικές αποδόσεις και ορθολογικότερη χρήση των ενεργειακών πόρων, συγκριτικά με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας, λόγω εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας. Στην ΕΕ-28, μόνο το 26% της ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές ενέργειας (άνθρακας, αέριο, πετρέλαιο, πυρηνική ενέργεια, κ.λπ.) παρήχθη σε μονάδες ΣΗΘ, ενώ το ποσοστό αυτό ανήλθε σε 60% για τη βιοηλεκτρική ενέργεια (Bioenergy Europe, 2019).

Σε αρκετές σκανδιναβικές χώρες της ΕΕ - Σουηδία, Δανία, Λιθουανία - πραγματοποιείται ή έχει ήδη πραγματοποιηθεί εκτενής μετασκευή συμβατικών ΣΗΘ σε ΣΗΘ (στερεής) βιομάζας. Για παράδειγμα, στη Σουηδία, το κύριο καύσιμο σε συστήματα ΣΗΘ είναι η βιομάζα, ενώ η Λιθουανία αναμένεται να ακολουθήσει σε λίγα χρόνια. Άλλες ευκαιρίες για μετασκευή είναι η αντικατάσταση του ορυκτού ελαίου με υγρά βιοκαύσιμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μετασκευή Lantmannen Reppe (Σουηδία). Σε μονάδες μικρής κλίμακας, για τη μετατροπή συστημάτων παραγωγής θερμότητας σε συστήματα ΣΗΘ εφαρμόζεται η τεχνολογία του οργανικού κύκλου Rankine (ORC). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μετασκευή του Ronneby Miljöteknik (Σουηδία)³⁹.

7.2 Τεχνολογίες που εφαρμόζονται στον τομέα

Στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στερεά ορυκτά καύσιμα (και βιομάζα) και ΣΗΘ, η κύρια διαδικασία είναι η **καύση**, μέσω της οποίας η χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στο καύσιμο μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα που παράγεται μεταφέρεται στο θερμικό μέσο, συνήθως νερό, το οποίο μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός χρησιμοποιείται για την κίνηση στρόβιλου, ο οποίος κινεί ηλεκτρική γεννήτρια. Υπό το πρίσμα της βιοενέργειας, η διαδικασία καύσης καθορίζει κυρίως τον τρόπο ενσωμάτωσης της βιομάζας στη διαδικασία παραγωγής. Ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη ενότητα επικεντρώνεται στις κύριες – διαθέσιμες εμπορικά - τεχνολογίες, που χρησιμοποιούνται για την καύση στερεών καυσίμων: εστίες καύσης κονιοποιημένου καυσίμου, εστίες καύσης ρευστοποιημένης κλίνης και εστίες σχάρας.

Η βασική διαφορά μεταξύ των συστημάτων καύσης που χρησιμοποιούν στερεά καύσιμα και των συστημάτων που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο προέρχεται από την υψηλότερη περιεκτικότητα των καυσίμων σε τέφρα. Αυτό έχει αντίκτυπο στο σχεδιασμό του

³⁹ <http://energikontorsydost.se/sorbyverket-i-ronneby>

κλιβάνου (ο οποίος πρέπει να είναι μεγαλύτερος σε περίπτωση περισσότερης τέφρας) και απαιτεί εγκατάσταση υποσυστημάτων για τη διαχείριση της τέφρας καυσίμου, καθώς και για τον έλεγχο των εκπομπών σωματιδίων.

Η **καύση κονιοποιημένου καυσίμου (PF)** αναφέρεται στην καύση εναιωρήματος πολύ λεπτών σωματιδίων καυσίμου, που δημιουργήθηκε μέσω άλεσης/κονιοποίησης σε μύλους. Η καύση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 1,300 έως 1,700 °C, ενώ ο χρόνος παραμονής σωματιδίων στον κλίβανο είναι μικρότερος των 5 δευτερολέπτων· το μέγεθος των σωματιδίων πρέπει να είναι μικρό, ώστε να εξασφαλιστεί επαρκής μετατροπή καυσίμου κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου.

Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση κονιοποιημένου άνθρακα χρησιμοποιούν ειδικά σχεδιασμένους λέβητες, ειδικών για αυτό τον τύπο καυσίμου. Το στερεό καύσιμο σε μορφή σκόνης καίγεται τόσο εύκολα όσο το αέριο καύσιμο, μεγιστοποιώντας την απόδοση της καύσης. Αρχικά, το σύστημα άλεσης τροφοδοτείται με άνθρακα, ο οποίος κονιοποιείται. Ακολούθως, το κονιοποιημένο καύσιμο εγχέεται στο θάλαμο καύσης του λέβητα, όπου αναμιγνύεται με προθερμασμένο αέρα. Ανάλογα με τις σχεδιαστικές προδιαγραφές του καυσίμου, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της τεχνολογίας όσον αφορά τις διατάξεις του συστήματος καύσης (front firing vs. tangential firing), αφαίρεση τέφρας (dry bottom vs. slag tap furnaces) ή άλλες παράμετροι. Το παραγόμενο καυσαέριο μεταφέρει τη θερμότητά του στον ατμό μέσω των τοιχωμάτων του λέβητα και μιας σειράς εναλλακτών θερμότητας, ο οποίος θέτει σε λειτουργία τους ατμοστρόβιλους ατμοστρόβιλους. Η ηλεκτρική απόδοση των μονάδων PF είναι συνάρτηση της τιμής της θερμοκρασίας και της πίεσης του ατμού· μπορούν να οριστούν τρεις κατηγορίες - με σειρά αυξημένης πίεσης/θερμοκρασίας ατμού: υποκρίσιμες, υπερκρίσιμες και υπερ-υπερκρίσιμες παράμετροι. Ανάλογα με την κατηγορία, η απόδοση κυμαίνεται από 35% έως 45% (Massachusetts Institute of Technology, 2007).

Η τεχνολογία PF έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για όλους σχεδόν τους τύπους άνθρακα, αντιπροσωπεύοντας το 90% (ή περισσότερο) της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων καύσης άνθρακα παγκοσμίως (IEA Clean Coal Center, 2018). Η τεχνολογία εφαρμόζεται γενικά σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας· τα μεγαλύτερα παραδείγματα έχουν εγκατεστημένη ισχύ άνω των 1,000 MWe.

Η τεχνολογία PF δε χρησιμοποιείται ευρέως για νέες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, λόγω του μεγάλου μεγέθους, απαιτούνται μεγάλοι όγκοι βιομάζας για συνεχή λειτουργία, που μπορεί να μην είναι διαθέσιμοι σε τοπικό επίπεδο. Δεύτερον, για την άλεση της βιομάζας σε λεπτή σκόνη είναι καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια συγκριτικά με την ενέργεια που απαιτείται για την άλεση του άνθρακα. Υπάρχουν μερικές εξαιρέσεις, π.χ. ορισμένα εξειδικευμένα συστήματα εφαρμόστηκαν για την καύση του πριονιδιού. Ωστόσο, δεδομένου ότι η τεχνολογία είναι η πιο διαδεδομένη στην καύση άνθρακα, οι βιοενεργειακές μετασκευές ανθρακικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν συστήματα PF. Τα συστήματα PF έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την καύση στερεών βιοκαυσίμων, είτε μέσω μερικής υποκατάστασης άνθρακα (συνδυασμένη καύση) είτε μέσω πλήρους αντικατάστασής του, συνήθως με συσσωματώματα ξύλου (πέλλετ).

Η **καύση σε ρευστοποιημένη κλίνη (FB)** έχει εμπορική εφαρμογή από τις αρχές της δεκαετίας του 1980· ύστερα από σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, επι του παρόντος θεωρείται ως «τεχνολογία αιχμής» για την καύση στερεών καυσίμων.

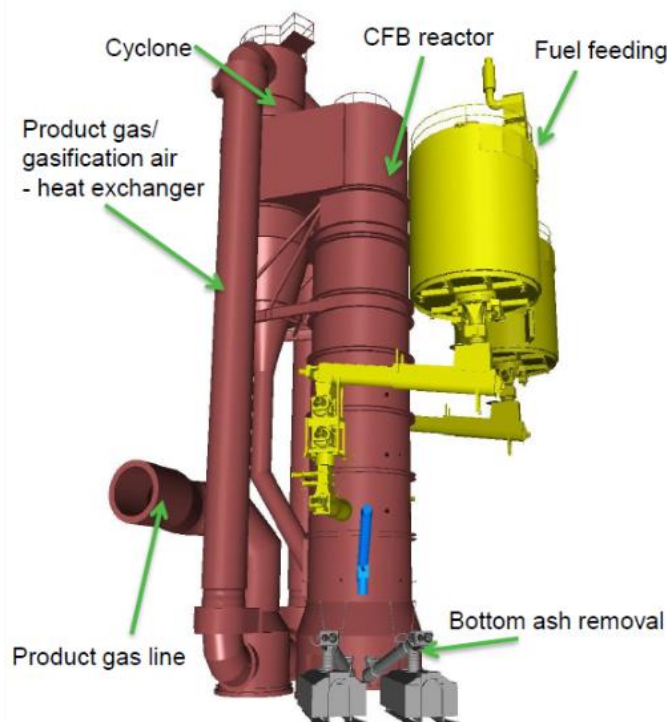
Η τεχνολογία πήρε το όνομα της από το κύριο χαρακτηριστικό της: το καύσιμο, μαζί με ένα κατάλληλο, μη εύφλεκτο στερεό υλικό, όπως η άμμος, τροφοδοτείται σε μία θερμή κλίνη, υπό ρεύμα ανερχόμενου αέρα. Το ρεύμα αέρα έχει κατάλληλη ταχύτητα για την αιώρηση των σωματιδίων του καυσίμου, αλλά όχι αρκετή για την απομάκρυνσή τους εκτός του θαλάμου καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση μίας «ρευστοποιημένης κλίνης» (στρώμα), στην οποία τα σωματίδια του καυσίμου που παραμένουν αιωρούμενα να έχουν ιδιότητες παρόμοιες με αυτές των ρευστών. Η δημιουργία του FB εξασφαλίζει έντονη ανάμιξη του καυσίμου και του αέρα καύσης, εξ ου και η πολύ υψηλή απόδοση μετατροπής, ακόμη και συνθήκες χαμηλότερων θερμοκρασιών καύσης από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της

τεχνολογίας PF (περίπου 800°C). Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών, δημιουργούνται μειωμένες εκπομπές NO_x σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες· επιπλέον, χρησιμοποιώντας κατάλληλο υλικό κλίνης - όπως ασβεστόλιθος ή δολομίτης - το απελευθερωμένο SO₂ μπορεί να δεσμευθεί πριν την απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα. Ως αποτέλεσμα, τα συστήματα FB εμφανίζουν βελτιωμένη απόδοση εκπομπών και δεν υπάρχει ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετων συστημάτων de-SO_x ή de-NO_x (Johnsson, 2007).

Άλλο πλεονέκτημα των συστημάτων FB είναι ότι έχουν λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά το μέγεθος των σωματιδίων σε σύγκριση με τα συστήματα PF. Για όλους τους λόγους που αναφέρονται παραπάνω, οι τεχνολογίες FB είναι αρκετά διαδεδομένες όσον αφορά στη χρήση «δύσκολων» καυσίμων, όπως μερικοί άνθρακες χαμηλής ποιότητας και απόβλητα ξύλου.

Η μη ρευστοποίηση αποτελεί λειτουργικό ζήτημα των συστημάτων FB· αυτό μπορεί να συμβεί για παράδειγμα εάν η τέφρα που σχηματίζεται κατά την καύση καυσίμου έχει χαμηλή θερμοκρασία τήξης, η οποία μπορεί να οδηγήσει στο να κολλήσουν τα σωματίδια υλικού κλίνης μεταξύ τους και να φτάσουν σε μέγεθος που δεν είναι κατάλληλο για το σχηματισμό ρευστοποιημένης κλίνης (το λεγόμενο ζήτημα συσσωμάτωσης). Αυτό είναι πολύ γνωστό φαινόμενο της τεχνολογίας FB.

Στην αγορά υπάρχουν δύο κυρίαρχες κατηγορίες ρευστοποιημένης κλίνης: **ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες (Bubbling Fluidized Bed - BFB)** και **ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία (Circulation Fluidized Bed - CFB)**. Τα συστήματα BFB είναι απλούστερα στο σχεδιασμό και χρησιμοποιούνται συχνά σε εγκαταστάσεις μικρότερης κλίμακας, χρησιμοποιώντας καύσιμα υψηλής υγρασίας/χαμηλής θερμογόνου ικανότητας και μεγαλύτερα μεγέθη σωματιδίων. Χαρακτηριστικό των συστημάτων BFB είναι η χαμηλότερη ταχύτητα αέρα ρευστοποίησης, η οποία καθιστά τη ρευστοποιημένη κλίνη «σταθερή» στο κάτω μέρος του κλιβάνου. Από την άλλη πλευρά, οι λέβητες CFB χρησιμοποιούν υψηλότερες ταχύτητες ρευστοποίησης, και διαθέτουν σύστημα επανακυκλοφορίας του υλικού κλίνης. Οι λέβητες CFB έχουν πιο περίπλοκο σχεδιασμό, αλλά έχουν καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τις BFB, όσον αφορά στην αφαίρεση θείου, την κλίμακα και την απόδοση καύσης (Koornneef et al., 2006). Σχηματική απεικόνιση συστήματος CFB παρουσιάζεται παρακάτω, στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30: CFB που παράγεται από τη Valmet (Louhimo, 2019)

Η **καύση σε λέβητα σχάρας** χρησιμοποιεί, όπως υποδηλώνει το όνομα, μία σχάρα. Το καύσιμο τοποθετείται πάνω στη σχάρα και ο αέρας, ο λεγόμενος «πρωτογενής αέρας», εισάγεται από το κάτω μέρος της σχάρας και τροφοδοτεί την κλίνη. Η σχάρα μπορεί να αποτελείται από μία επίπεδη επιφάνεια, με το μειονέκτημα της χειροκίνητης αφαίρεσης της τέφρας. Ωστόσο, ο πιο συνηθισμένος λέβητας σχάρας αποτελείται από διάφορα στάδια. Το καύσιμο τοποθετείται στη σχάρα στην κορυφή της κατασκευής, διέρχεται από διάφορα στάδια καύσης, με τη συγκέντρωση τέφρας στο τελευταίο στάδιο. Το δεύτερο στάδιο καύσης είναι συνήθως κινητό και ωθεί το καύσιμο να κινηθεί σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτός ο τύπος σχάρας ονομάζεται επίσης κινούμενη σχάρα (traveling grate ή moving grate). Η σχάρα μπορεί να ψυχθεί με νερό εάν το καύσιμο είναι ξηρό. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία του λέβητα είναι π.χ. η ροή καυσίμου που οδηγείται στη σχάρα, η ταχύτητα των κινητών τμημάτων, η ροή του πρωτογενούς αέρα και η περιεκτικότητα σε υγρασία. Η εισαγωγή αέρα στον λέβητα επιτυγχάνεται και με άλλους τρόπους, π.χ. από τα τοιχώματα του λέβητα πάνω από τη σχάρα. Αυτό επηρεάζει τη διαδικασία καύσης.

Η πιο σημαντική παράμετρος της απόδοσης καύσης για κλίβανο σχάρας είναι το μέγεθος σωματιδίων καυσίμου και οι διακυμάνσεις τους. Τα κλάσματα του καυσίμου πρέπει να υπερβαίνουν ένα ορισμένο μέγεθος για να παραμείνουν στη σχάρα κατά τη διάρκεια της καύσης. Πρέπει να είναι αρκετά χονδρόκοκκα. Το πριονίδι είναι για παράδειγμα ακατάλληλο καύσιμο για λέβητα σχάρας. Η ευρεία διακύμανση των μεγεθών των σωματιδίων και της περιεκτικότητας σε υγρασία αποτελούν παραδείγματα παραμέτρων όπου ένα σύστημα FB είναι πιο κατάλληλο σε σύγκριση με έναν κλίβανο σχάρας.

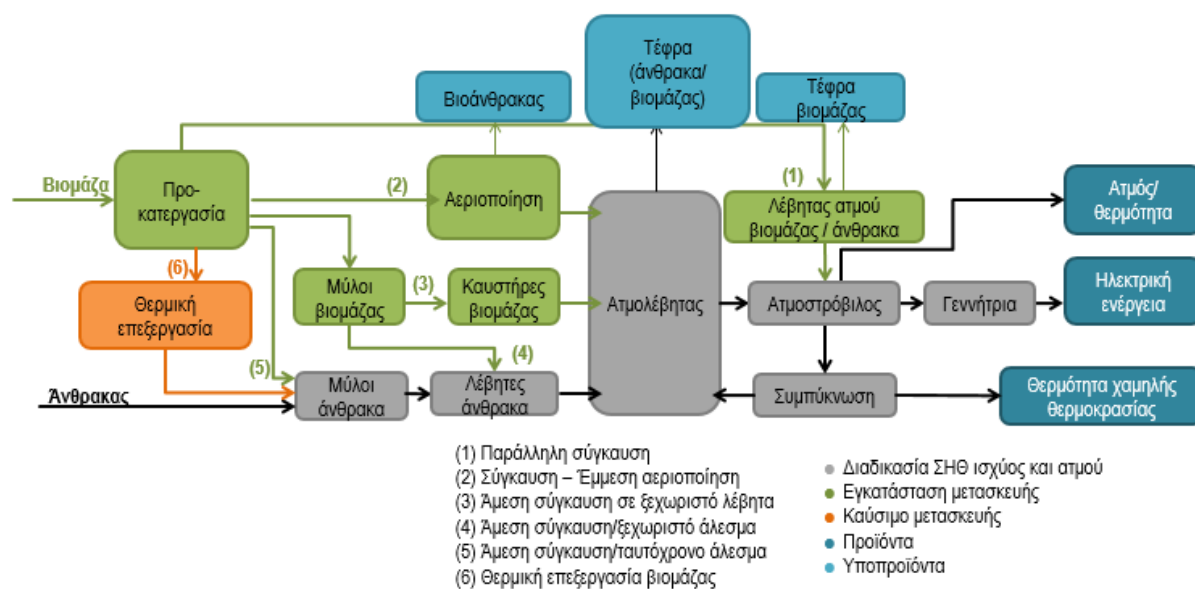
Οι λέβητες σχάρας εφαρμόζονται ευρέως για καύση βιομάζας στο εύρος που κυμαίνεται από λίγα MW έως περίπου 100 MW όσον αφορά την εισροή καυσίμου. Ωστόσο, οι περισσότεροι λέβητες βιοκαυσίμων στον ενεργειακό τομέα κυμαίνονται έως και 15 - 20 MW. Εάν το καύσιμο είναι κατάλληλο και πληροί ορισμένα κριτήρια, οι λέβητες σχάρας εκτιμώνται για την ανθεκτικότητα, την τιμή και την απλή κατασκευή τους.

Η **συνδυασμένη καύση βιομάζας** μπορεί να οριστεί ως η μερική αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων, συνήθως άνθρακα, σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ΣΗΘ. Αντιθέτως, η αντικατάσταση παλιάς τεχνολογίας εξοπλισμού με νέο (Repowering) αναφέρεται σε σχεδόν πλήρη αντικατάσταση του ορυκτού καυσίμου από βιομάζα.

Ένα ευρύ φάσμα υλικών βιομάζας μπορεί να ληφθεί υπόψη για εφαρμογές συνδυασμένης καύσης: με βάση το ξύλο (θρύμματα ξύλου, πέλλετς ξύλου, δασικά υπολείμματα κ.λπ.), ποώδη (άχυρο, μίσχανθος και άλλες ταχέως αναπτυσσόμενες ενεργειακές καλλιέργειες κ.λπ.), αγρο-βιομηχανικά υπολείμματα (πυρηνόξυλο, κελύφη φοινικών, αλεσμένοι κόκκοι καφέ, κ.λπ.) και διάφορα κλάσματα που προέρχονται από απόβλητα (π.χ. απορρίμματα ξύλου, ξύλα κατεδάφισης, καύσιμα προερχόμενα από απορρίμματα/RDF, στερεά ανακτηθέντα καύσιμα/SRF, καύσιμα προερχόμενα από ελαστικά/TDF, κ.α.). Σε σύγκριση με το λιθάνθρακα, τα περισσότερα καύσιμα βιομάζας που εξετάζονται για σύγκαυση χαρακτηρίζονται από υψηλότερη υγρασία και χαμηλότερη θερμογόνο ικανότητα, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα (αλλά αυξάνεται σε προβληματικά συστατικά όπως αλκάλια), υψηλότερη περιεκτικότητα σε χλώριο, χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο και χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, η υποδομή μονάδας που υποστηρίζει τη συνδυασμένη καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη ορισμένους τεχνικούς περιορισμούς σχετικά με τον τύπο της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα, το μερίδιο βιομάζας στην παραγωγή θερμότητας, την επιθυμητή πολυπλοκότητα και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας.

Σε γενικές γραμμές, καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της διαδικασίας και το κόστος επένδυσης, το βιομάζας στην παραγωγή θερμότητας μπορεί να αυξηθεί και να πραγματοποιηθεί σύγκαυση πιο «δύσκολων» καυσίμων βιομάζας. Οι επιλογές τεχνολογίας σύγκαυσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες (Basu, Butler, & Leon, 2011): άμεση σύγκαυση, παράλληλη συγαύση και η έμμεση/αεριοποίηση σύγκαυση. Η άμεση σύγκαυση είναι η πιο κοινή και οικονομική λύση. Ωστόσο, θέτει αρκετούς περιορισμούς στο

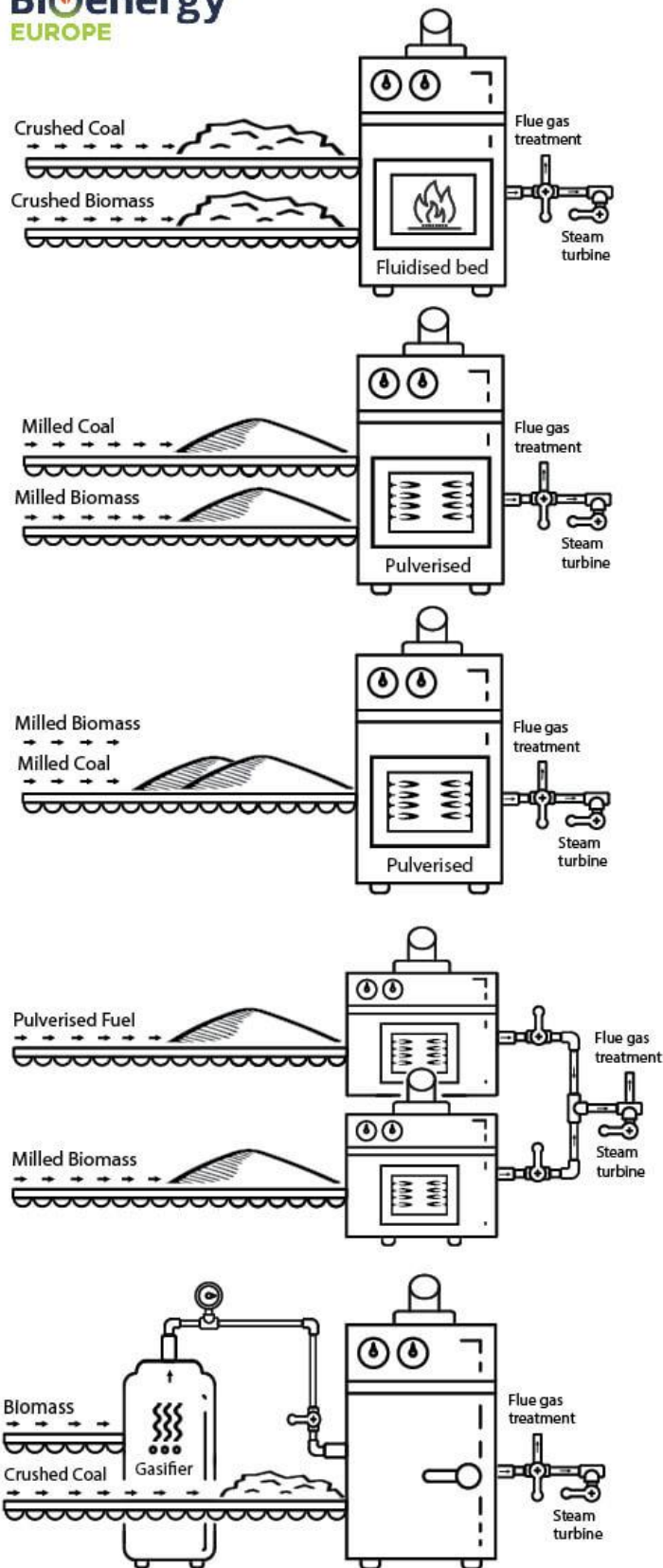
εύρος των καυσίμων και του μεριδίου βιομάζας στην παραγωγή θερμότητας. Τα παράλληλα και έμμεσα συστήματα σύγκαυσης είναι πιο κατάλληλα για καύσιμα βιομάζας που περιέχουν προβληματικές ενώσεις ή όταν η ποιότητα της τέφρας επιδρά στην μετέπειτα πώληση ή διάθεση. Τέλος, η μέθοδος “repowering” χρησιμοποιήθηκε ως επί το πλείστον για καύσιμα ξυλώδους βιομάζας (π.χ. πέλλετς & θρύμματα ξύλου). Στην Εικόνα 31 και στην Εικόνα 32 παρουσιάζονται διαφορετικές έννοιες της μετασκευής βιοενέργειας σε ηλεκτροπαραγωγή από άνθρακα ή ΣΗΘ.



Εικόνα 31: Διαφορετικές διαδικασίες εισαγωγής βιομάζας σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άνθρακα και ΣΗΘ

Co-firing technologies

Bioenergy
EUROPE



Εικόνα 32: Γενικές ιδέες της συν-καύσης: συν-τροφοδότηση, συν-τροφοδότηση καυσίμου, συν-επεξεργασία πρώτης ύλης (co-milling), παράλληλη συν-καύση, έμμεση συν-καύση (Πηγή: Bioenergy Europe)

7.3 Άμεση σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας)

Η απλούστερη και οικονομικότερη μέθοδος για την ενσωμάτωση της βιοενέργειας σε υπάρχουσα μονάδα άνθρακα είναι η λεγόμενη άμεση σύγκαυση, η οποία είναι ουσιαστικά η **συγαύση** άνθρακα και βιομάζας στον ίδιο κλίβανο. Αυτή είναι η απλούστερη λύση για την υιοθέτηση σύγκαυσης, καθώς οι απαιτήσεις για μετασκευές μπορούν να περιοριστούν στο ελάχιστο και η συνολική επένδυση μπορεί να διατηρηθεί σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Από την άλλη πλευρά, η ευελιξία και ο έλεγχος τέτοιων συστημάτων συμπαραγωγής είναι περιορισμένοι. Επιπλέον, η καύση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικτής τέφρας άνθρακα/βιομάζας, η οποία ενδέχεται να μην έχει εμπορική χρήση (σε αντίθεση με την τέφρα του άνθρακα). Το μέγιστο μερίδιο βιομάζας σε συστήματα άμεσης σύγκαυσης είναι συνήθως στο 10% της συνολικής θερμικής εισροής καυσίμου (Karampinis et al., 2014), αλλά αυτό εξαρτάται επίσης από τον τύπο της βιομάζας. Συνήθως, υψηλότερα μερίδια μπορούν να επιτευχθούν με κλάσματα ξυλώδους βιομάζας, ενώ χαμηλότερα μερίδια με δύσκολα κλάσματα αγροτικής βιομάζας ή απορριμμάτων. Υπάρχουν τρεις κύριες παραλλαγές του συστήματος άμεσης ταυτόχρονης καύσης, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω με σειρά αυξανόμενης πολυπλοκότητας (Karampinis et al., 2014):

- Η πρώτη επιλογή, η συν-άλεση (**co-milling**), περιλαμβάνει την προ-ανάμειξη άνθρακα και βιομάζας ή τη χωριστή μεταφορά τους στο ίδιο σύστημα άλεσης που χρησιμοποιείται για τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων του άνθρακα. Είναι η επιλογή με την απλούστερη εφαρμογή. Ωστόσο, υπάρχει υψηλότερος κίνδυνος να επηρεάσει το συν-άλεσμα της ινώδους βιομάζας, το μέγεθος των σωματιδίων άνθρακα, ενώ οι συνθήκες καύσης δε βελτιστοποιούνται.
- Η δεύτερη επιλογή είναι η εγκατάσταση **ειδικού συστήματος προεπεξεργασίας/άλεσης βιομάζας** (ή τροποποίηση υφιστάμενων μύλων άνθρακα): ωστόσο, τα δύο καύσιμα εισέρχονται στον κλίβανο μέσω των ίδιων υφιστάμενων καυστήρων άνθρακα. Αυτή η μέθοδος προσφέρει πολύ καλύτερο έλεγχο του μεγέθους των σωματιδίων της βιομάζας, αλλά ακόμα οι συνθήκες καύσης δεν έχουν βελτιστοποιηθεί. Η εφαρμογή του μπορεί επίσης να περιορίζεται από περιορισμούς στο χώρο κοντά στις εγκαταστάσεις του λέβητα.
- Η τρίτη επιλογή είναι η εγκατάσταση **ολοκληρωμένης ξεχωριστής γραμμής βιομάζας**, π.χ. αποκλειστικό σύστημα προεπεξεργασίας/άλεσης βιομάζας και ειδικοί καυστήρες βιομάζας. Είναι κατανοητό πως αυτή η επιλογή συνοδεύεται από υψηλότερο επενδυτικό κόστος και υψηλότερο βαθμό τεχνολογικού κινδύνου. Ωστόσο, προσφέρει τη δυνατότητα αυξημένου ελέγχου των συνθηκών καύσης και μείωσης της επίδρασης της βιομάζας στον λέβητα. Η αλλαγή ενεργειακής πηγής σε βιομάζα (Ενότητα 7.6) είναι ουσιαστικά η λογική επέκταση αυτής της επιλογής μετασκευής, αντικαθιστώντας ή τροποποιώντας όλους τους μύλους κονιοποίησης άνθρακα/καυστήρες με μονάδες βιομάζας.

Το έργο BIOFIT περιλαμβάνει μελέτη περίπτωσης που εμπίπτει στο σύστημα άμεσης σύγκαυσης: η μονάδα 6 Tuzla της Electrpriveda BiH για την οποία η σύγκαυση ποικίλων τοπικών πηγών βιομάζας (π.χ. πριονίδι, γεωργικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε ανακτημένες περιοχές εξορύξεων, κ.λπ.) θα εξετασθούν ως εισροές σε ποσοστό έως και 30%.

7.4 Έμμεση σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας)

Η έμμεση σύγκαυση - γνωστή και ως σύγκαυση από αεριοποίηση - είναι πιο προηγμένη επιλογή σε σύγκριση με την άμεση σύγκαυση. Η εγκατάσταση του **αεριοποιητή βιομάζας** εξαλείφει την ανάγκη για εξοπλισμό προ-επεξεργασίας της βιομάζας. Το αέριο σύνθεσης που παράγεται κατά τη διαδικασία αεριοποίησης αποστέλλεται στον κλίβανο του λέβητα άνθρακα για καύση. Με τη χρήση έμμεσης σύγκαυσης, οι περισσότερες από τις αρνητικές επιπτώσεις της βιομάζας κατά την - επιτρέποντας, μεταξύ άλλων, τη χωριστή συλλογή τέφρας. Το αέριο

σύνθεσης από βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο καύσης, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών NO_x. Τέλος, καθώς σε πολλές περιπτώσεις το αέριο σύνθεσης μπορεί να εγχυθεί απευθείας στον κλίβανο, οι απώλειες ενεργειακής μετατροπής και η ακριβή διαδικασία καθαρισμού του αερίου σύνθεσης, και τα δύο κοινά ζητήματα σε εφαρμογές αεριοποίησης βιομάζας, μπορούν να αποφευχθούν. Ωστόσο, ενδέχεται να απαιτείται καθαρισμός κάποιας ποσότητας του αερίου σύνθεσης καθαρισμού, ανάλογα με τη συγκέντρωση χλωρίου, αλκαλίων και άλλων στοιχείων στη σύνθεση της βιομάζας.

Η επένδυση κεφαλαίου για έμμεση σύγκαυση κυμαίνεται από 300 έως 1,100 €/kWe (IEA Bioenergy, 2017), υψηλότερη από την άμεση σύγκαυση. Αυτός είναι περιοριστικός παράγοντας για την περαιτέρω χρήση αυτής της τεχνολογίας. Παραδείγματα εμπορικής εφαρμογής συστημάτων έμμεσης σύγκαυσης περιλαμβάνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 8: Εμπορικές μονάδες έμμεσης σύγκαυσης (IEA Bioenergy, 2017)

Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Χώρα	Ημερομηνία ανάθεσης	Δυναμικότητα αεριοποιητή (MW thermal)	Πόσοστό συν-καύσης (μερίδιο εισροής θερμότητας στον κύριο λέβητα)	Καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν
Amergas / Amer 9	Ολλανδία	2000	83	5 %	Απόβλητα ξυλείας
Kymijärvi II	Φινλανδία	2012	45 – 70	15 %	Ανακυκλωμένη ενέργεια καυσίμου (REF), πριονίδια, φλοιός, θρύμματα ξύλου, απόβλητα ξυλείας
Vaskiluodon Voima	Φινλανδία	2012	140	Έως 40% ¹	Δασικά υπολείμματα (chips)
Ruien	Βέλγιο	2003	40 – 80	10% ²	Θρύμματα ξύλου, φλοιός, σκληρά και μαλακά υπολείμματα χαρτονιού

Πηγές: ¹ Valmet; ² Ryckmans, 2012

7.5 Παράλληλη σύγκαυση (μερική μετασκευή βιοενέργειας)

Η τελική επιλογή για μερική μετασκευή συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής είναι η συνδυασμένη καύση (σύγκαυση) βιομάζας και άνθρακα. Στη διάταξη αυτή τα δύο αυτά καύσιμα τροφοδοτούνται σε **δύο χωριστές μονάδες καύσης και λέβητες**. Οι δύο μονάδες συνδέονται στο σημείο παραγωγής ατμού, ο οποίος χρησιμοποιείται στον στρόβιλο για παραγωγή ενέργειας τους. Η διαχείριση, η προ-επεξεργασία και η καύση των δύο καυσίμων στους λέβητες αποτελούν εντελώς ανεξάρτητες διαδικασίες. Επιπλέον, λόγω της χωριστής καύσης της βιομάζας και του άνθρακα, η συλλογή των τέφρας γίνεται επίσης χωριστά, όπως στην περίπτωση της έμμεσης σύγκαυσης, και έτσι δύνανται η αξιοποίησή τους με τον καλύτερο

δυνατό τρόπο. Άλλο πλεονέκτημα της χωριστής καύσης είναι ότι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας καύσης είναι εφικτή και για τις δύο περιπτώσεις, ενώ η διαχείριση δύσκολων καυσίμων είναι επίσης εφικτή, κάτι που δεν ήταν δυνατό σε όλες τις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα (άμεση και έμμεση σύγκαυση). Η σύγκαυση μπορεί να επωφεληθεί από τις παραμέτρους υψηλού ατμού των σύγχρονων, υπερσύγχρονων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα, επιτυγχάνοντας έτσι πολύ υψηλότερες ηλεκτρικές αποδόσεις από τους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ενέργειας με χρήση βιομάζας. Ωστόσο, το κόστος επένδυσης της εξεταζόμενης περίπτωσης είναι το πιο υψηλό μεταξύ των τεχνολογικών λύσεων σύγκαυσης, επειδή πρέπει να εγκατασταθεί τελείως νέα υποδομή (νέες εγκαταστάσεις τροφοδοσίας, λέβητες, θάλαμοι καύσης κ.λπ.) μαζί με την υφιστάμενη υποδομή.

Η εν λόγω μέθοδος επιτρέπει υψηλό ποσοστό αξιοποίησης της βιομάζας για τη μονάδα, καθώς δεν υπάρχει τεχνικός περιορισμός σχετικά με την ποσότητα του άνθρακα που μπορεί να αντικατασταθεί από βιομάζα. Το μόνο ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι η δυναμικότητα του εγκατεστημένου ατμοστροβίλου (Korpejan & van Loo, 2012). Όσον αφορά στη μετασκευή μονάδας, δεν είναι δυνατό να προταθεί μετασκευή του ατμοστροβίλου, επομένως ο υπάρχον εξοπλισμός πρέπει να δέχεται εισροές (ατμό) τόσο από το λέβητα βιομάζας όσο και από το λέβητα άνθρακα, αλλιώς θα θα αποτελούσε κατάλληλη λύση.

Η πιο γνωστή περίπτωση παράλληλης ταυτόχρονης καύσης είναι στη μονάδα 2 του σταθμού παραγωγής ενέργειας Avedøre στη μητροπολιτική περιοχή της Κοπεγχάγης στην οποία έχει εγκατασταθεί λέβητας 105 MW μαζί με τον κύριο, υπερ-υπερκρίσιμο λέβητα 800 MW που χρησιμοποιεί μείγμα από πέλλετς ξύλου, άνθρακα και φυσικό αέριο· η μονάδα έχει συνολική απόδοση 92% και ηλεκτρική απόδοση 42%, αυξάνοντας στο 49% εάν δεν παρέχεται τηλεθέρμανση (Sørensen, 2011).

7.6 Αλλαγής ενεργειακής πηγής –repowering- σε βιομάζα (πλήρης μετασκευή βιοενέργειας)

Η αντικατάσταση συμβατικού εξοπλισμού με νέο εξοπλισμό βιομάζας αποτελεί τη εξέλιξη της άμεσης σύγκαυσης, με προσθήκη πολύ υψηλών ποσοστών βιομάζας στο μείγμα καυσίμων, συχνά έως και 100%. Αυτή η επιλογή απαιτεί την αλλαγή του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου, άλεσης και καύσης, ώστε να είναι κατάλληλα για χρήση βιομάζας.

Οι λόγοι υλοποίησης της πλήρους μετασκευής για αποκλειστική χρήση βιομάζας μπορεί να σχετίζονται με την επιθυμία σταδιακής κατάργησης του άνθρακα, διατηρώντας παράλληλα τον υπάρχον εξοπλισμό σε λειτουργία. Μπορεί επίσης να υποστηριχθεί από πολιτικές που καθιστούν τη χρηματοδότηση σύγκαυσης με χαμηλά ποσοστά θερμικού περιεχομένου από βιομάζα, μη επιλέξιμη για οικονομική υποστήριξη, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα σε μονάδες μεγάλης δυναμικότητας.

Ένα από τα πρώτα παραδείγματα 100% μετασκευής σε βιομάζα είναι το Rodenhuiize 4. Η μετατροπή πραγματοποιήθηκε με σειρά διαδοχικών βημάτων, ξεκινώντας από την εγκατάσταση υποδομών μεταφοράς, αποθήκευσης, χειρισμού και υποδομής άλεσης για πέλλετς ξύλου και τη μετατροπή σε καυστήρα μονής γραμμής το 2005. Το έργο Advanced Green είχε ως αποτέλεσμα τη μετάβαση καυστήρα άνθρακα διπλής γραμμής σε καύση πέλλετς ξύλου και, τέλος, το έργο Max Green είχε ως αποτέλεσμα την πλήρη μετάβαση από την καύση άνθρακα σε πέλλετς ξύλου, αντικατάσταση καυστήρα, καθώς και άλλων από την εφαρμογή άλλων επιλογών μετασκευής, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης μονάδας Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (SCR) για τον έλεγχο των εκπομπών NO_x (Savat, 2010).

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα μονάδων παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα ή μονάδων ΣΗΘ που έχουν μετατραπεί από άνθρακα σε βιομάζα· τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 9. Οι περισσότερες μετασκευές έχουν εφαρμοστεί σε λέβητες κονιοποιημένου καυσίμου, στους οποίους οι μετασκευές σχετίζονται με το σύστημα άλεσης και τροφοδοσίας, μαζί με την υποδομή για την προμήθεια βιομάζας (π.χ. αποθήκευση, λιμενικές εγκαταστάσεις κ.λπ.). Ωστόσο, υπάρχουν παραδείγματα πιο εκτεταμένων μετασκευών, όπως

η Polaniec Green Unit στην Πολωνία, όπου ο παλιότερος κονιοποιημένος λέβητας καυσίμου αντικαταστάθηκε με έναν υπερσύγχρονο λέβητα CFB και ο ατμοστρόβιλος προσαρμόστηκε επίσης.

Βασική πρόκληση σε τέτοιου είδους μετασκευές είναι η προμήθεια βιομάζας· οι απαιτούμενοι όγκοι είναι πολύ μεγάλοι και στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται προμήθεια βιομάζας από την παγκόσμια αγορά. Αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους τα πέλλετ ξύλου είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα βιομάζας σε τέτοιες μετασκευές· λόγω της σχετικά υψηλής ενεργειακής πυκνότητας και των τυποποιημένων ιδιοτήτων τους, δύναται η μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις. Άλλος λόγος για την επιλογή των πέλλετ ξύλου έναντι άλλων καυσίμων βιομάζας είναι οι ιδιότητες καυσίμου τους· έχουν σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (<2-3% βάρος σε ξηρή βάση) και χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου και αλκαλίων, που δύναται να δημιουργήσουν προβλήματα διάβρωσης και ρύπανσης σε εφαρμογές παραγωγής ενέργειας. Περιστασιακά χρησιμοποιούνται επίσης θρύμματα ξύλου.

Πίνακας 9: Λίστα μετατροπών άνθρακα σε βιομάζα

Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας/ Μονάδα	Χώρα	Ολοκλήρωση των μετασκευών	Εγκατεστημένη ισχύς (MW electrical)	Καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν	Τεχνολογία καύσης
Les Awirs 4	Βέλγιο	2005	80	Πέλλετς ξύλου	PF
Helsingborg	Σουηδία	2006	126	Πέλλετς ξύλου	PF
Västhamsverket	Σουηδία	2006	69	Πέλλετς ξύλου	PF
Herning	Δανία	2009	75	44% θρύμματα ξύλου, 44% πέλλετς, 12% torp-gas	GF (θρύμματα) / PF (πέλλετς)
Rodenhuize 4	Βέλγιο	2011	180	Πέλλετς ξύλου	PF
Tilbury*	Ηνωμένο Βασίλειο	2011	750	Πέλλετς ξύλου	PF
Ironbridge*	Ηνωμένο Βασίλειο	2012	740	Πέλλετς ξύλου	PF
Drax 1	Ηνωμένο Βασίλειο	2013	660	Πέλλετς ξύλου	PF
Polaniec Green Unit	Πολωνία	2013	195	80% θρύμματα ξύλου, 20% αγροτική βιομάζα	CFB
Drax 2	Ηνωμένο Βασίλειο	2014	645	Πέλλετς ξύλου	PF
Atikokan	Καναδάς	2014	205	Πέλλετς ξύλου	PF
Drax 3	Ηνωμένο Βασίλειο	2015	645	Πέλλετς ξύλου	PF
Thunder Bay 3*	Καναδάς	2015	160	Arbacore ξύλινα πέλλετς (έκρηξη ατμού)	PF
Avedore 1	Δανία	2016	258	Πέλλετς ξύλου	PF

Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας/ Μονάδα	Χώρα	Ολοκλήρωση των μετασκευών	Εγκατεστημένη ισχύς (MW electrical)	Καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν	Τεχνολογία καύσης
Studstrup 3	Δανία	2016	362	Πέλλετς ξύλου	PF
Yeongdong 1	Νότια Κορέα	2017	125	Πέλλετς ξύλου	PF
Drax 4	Ηνωμένο Βασίλειο	2018	645	Πέλλετς ξύλου	PF
Amer 9	Ολλανδία	2019	631	80% πέλλετς ξύλου, 20% άνθρακας	PF
Asnæs 6	Δανία	2019	25	Θρύμματα ξύλου	BFB
Suzukawa	Ιαπωνία	2020 (αναμένεται)	112	Πέλλετς ξύλου	PF
Uskmouth	Ηνωμένο Βασίλειο	2021 (αναμένεται)	240	Subcoal® pellets (RDF pellets)	PF

* Μονάδα που δε βρίσκεται πια σε λειτουργία

BFB: Bubbling Fluidized Bed, CFB: Circulating Fluidized Bed, GF: Grate Fired, PF: Pulverized Fuel

Η μονάδα παραγωγής ενέργειας Drax (Εικόνα 33) είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής βιομάζας στον κόσμο σήμερα, χρησιμοποιώντας, το 2018, περισσότερους από 7 εκ. τόνους πελλετών ξύλου στις τέσσερις μονάδες μετατροπής βιομάζας. Αυτό το δυναμικό βιομάζας προέρχεται κυρίως από ΗΠΑ (σε ποσοστό 62.2%) και τον Καναδά (σε ποσοστό 17.3%), και σε μικρότερο ποσοστό από την ΕΕ, τη Βραζιλία και άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Drax, 2019). Το συνολικό κόστος μετατροπής βιομάζας για τις τρεις πρώτες μονάδες στο Drax εκτιμάται σε 700,000,000 GBP (περίπου 416 EUR/kWe)· το κόστος μετατροπής της Μονάδας 4 ανήλθε μόνο σε 30,000,000 GBP (περίπου 54 EUR/kWe) λόγω της χρήσης ανταλλακτικών κατά τις διεργασίες μετατροπής των προηγούμενων μονάδων⁴⁰, καθώς και λόγω του γεγονότος ότι δεν πραγματοποιήθηκαν πρόσθετες επενδύσεις όσον αφορά στην προμήθεια καυσίμων βιομάζας (π.χ. λιμένα και σιδηροδρομικές υποδομές, αποθήκευση κ.λπ.). Η εταιρεία φιλοδοξεί να έχει αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα έως το 2030 ενσωματώνοντας βιονεργειακές τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (BECCS)⁴¹.

⁴⁰ www.biomassmagazine.com/articles/15532/drax-completes-fourth-biomass-unit-conversion

⁴¹ www.drax.com/press_release/drax-sets-world-first-ambition-to-become-carbon-negative-by-2030/



Εικόνα 33: Η μονάδα παραγωγής ενέργειας Drax στο Selby του Ηνωμένου Βασιλείου· τα σιλό αποθήκευσης βιομάζας είναι ορατά (Πηγή: Drax Group)

Το έργο BIOFIT περιλαμβάνει δύο βιομηχανικές μελέτες περίπτωσης που στοχεύουν στην πλήρη αλλαγή ενεργειακής πηγής σε βιομάζα των υπάρχουσών εγκαταστάσεων άνθρακα:

- Μονάδα ΣΗΘ Kakanj 5 (118 MWe) της Elektroprivreda BiH, η οποία διερευνά την αντικατάσταση του υφιστάμενου καυσίμου με τοπικά διαθέσιμη ξυλώδη βιομάζα (repowering), π.χ. θρύμματα ξύλου, πριονίδι κ.λπ.
- Μονάδα παραγωγής ενέργειας 4 Fiume Santo (320 MWe) του EP Produzione. Η μονάδα βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Σαρδηνίας. Σε συνεργασία με τους εταίρους του έργου BIOFIT, η εταιρεία διερευνά τη μετασκευή της μονάδας της, σε μονάδα μονάδα παραγωγής ενέργειας από βιομάζα, με χρήση εισαγόμενων πέλλετ ξύλου ως το κύριο καύσιμο.

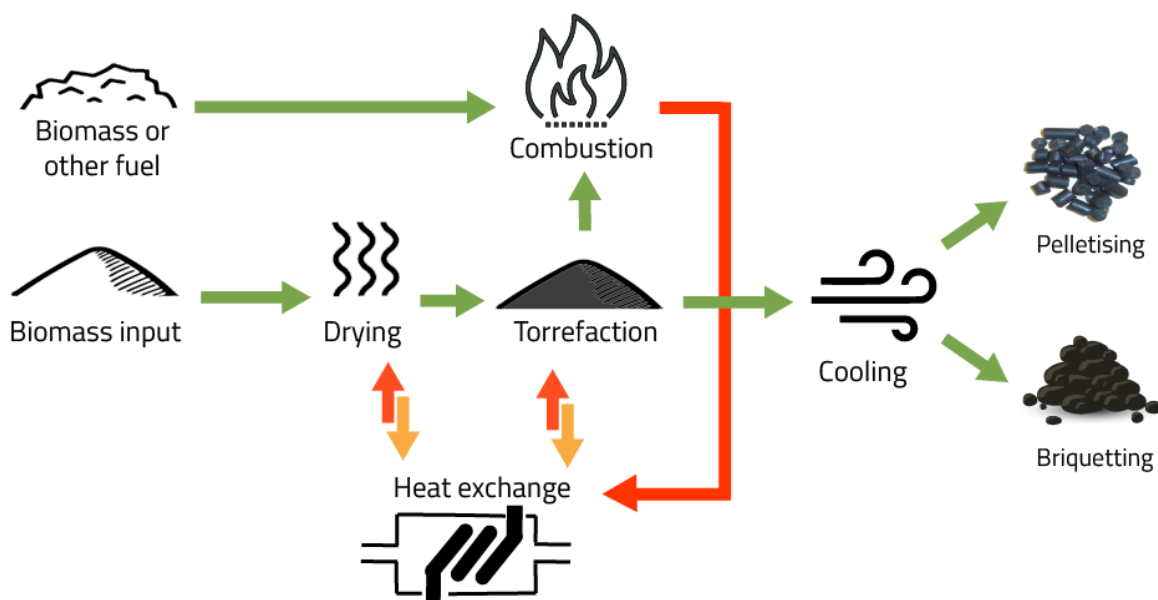
7.7 Θερμική επεξεργασία βιομάζας

Η ενεργειακή (θερμική) αναβάθμιση αποτελεί διεργασία μετατροπής της βιομάζας σε υλικό με ιδιότητες παρόμοιων των ιδιοτήτων του άνθρακα, το οποίο υφίσταται εύκολα επεξεργασία σε υφιστάμενους ανθρακικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι κύριοι στόχοι της ενεργειακής (θερμικής) αναβάθμισης της βιομάζας είναι οι ακόλουθοι:

- Να δημιουργήσει εύκολα αλέσιμο καύσιμο, ικανό να χρησιμοποιηθεί σε υφιστάμενους μύλους κονιοποίησης άνθρακα χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις, περιορίζοντας έτσι την ανάγκη για ακριβές μετασκευές.
- Να αυξηθεί η ενεργειακή πυκνότητα της βιομάζας (συνήθως περιλαμβάνει ένα στάδιο συμπίκνωσης, π.χ. πελλετοποίηση μετά τη θερμική αναβάθμιση), έτσι ώστε η μεταφορά της να καθίσταται περισσότερο οικονομική σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
- Να καταστεί ανθεκτική η βιομάζα στην πρόσληψη υγρασίας (υδρόφοβη), επιτρέποντας έτσι να γίνεται η αποθήκευσή της όπως του άνθρακα, π.χ. σε ανοιχτούς χώρους, μειώνοντας έτσι το κόστος διαχείρισής της.

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη θερμική προεπεξεργασία της βιομάζας· οι πιο γνωστές και προηγμένες είναι οι ακόλουθες:

- Η **ήπια πυρόλυση** είναι θερμική διαδικασία κατά την οποία η βιομάζα θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου 250-350°C, απουσία οξυγόνου ή σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Μέρος της υγρασίας, καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του πτητικού κλάσματος της βιομάζας απελευθερώνεται λόγω αυτής της διαδικασίας, η οποία διασπά την ινώδη δομή της βιομάζας λόγω της αποσύνθεσης της ημικυτταρίνης. Το στερεό προϊόν είναι μαύρο, μοιάζει με άνθρακα που μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία σε πέλλετς (Kofman, 2016). Τα αέρια προϊόντα μπορούν να υποστούν καύση για να διατηρήσουν τη θερμότητα για τη διαδικασία: η καθαρή απόδοση ολοκληρωμένης διαδικασίας φρύξης είναι περίπου 70 - 98%, ανάλογα με την τεχνολογία του αντιδραστήρα, το σχέδιο για την εισαγωγή θερμότητας και τον τύπο της βιομάζας⁴².
- Η **έκρηξη ατμού** χρησιμοποιεί ατμό υπό πίεση (1 έως 3.5 MPa) και θερμοκρασία (180 έως 240°C) σε δοχείο πίεσης για την εμποτισμό της βιομάζας. Ο εμποτισμός ακολουθείται από εκρηκτική αποσυμπίεση, προκαλώντας ρήξη των συστάδων ινών και μετατροπή της λιγνίνης σε πολτό, ο οποίος μπορεί να συμπιεστεί περαιτέρω σε πέλλετς. Ο ρυθμός υδρόλυσης της ημικυτταρίνης μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω χρησιμοποιώντας όξινα αέρια (π.χ. SO₂, H₂SO₄) ως καταλύτη κατά τη διάρκεια της φάσης υπό-πίεση. Η έκρηξη ατμού χρησιμοποιείται επίσης ως στάδιο προ-επεξεργασίας βιομάζας κατά την παραγωγή βιοαιθανόλης 2G (Kofman, 2016).
- Η **υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC)** διαφέρει από τις άλλες δύο τεχνολογίες, αφού επιτρέπει την άμεση προεπεξεργασία της υγρής βιομάζας, χωρίς να έχει προηγηθεί στάδιο ξήρανσης. Στη διαδικασία HTC, η βιομάζα αιωρείται σε νερό και υποβάλλεται σε επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (180-300°C). Εφαρμόζεται αυξημένη πίεση (20 - 100 bar), πάνω από την αντίστοιχη τάση ατμών νερού, ώστε να διατηρείται το νερό στην υγρή φάση. Άλλο πλεονέκτημα της διαδικασίας HTC είναι η έκπλυση με νερό στοιχείων, όπως αλκάλια και χλώριο από τη βιομάζα, τα οποία κανονικά θα δημιουργούσαν προβλήματα σκωρίας, ρύπανσης και διάβρωσης (Hansen et al., 2018).



Εικόνα 34: Ανασκόπηση της διαδικασίας ήπιας πυρόλυσης (Πηγή: IEA Bioenergy Task 32)

⁴² <https://ibtc.bioenergyeurope.org/torrefaction-basics/>

Μέχρι στιγμής, η μόνη εμπορική μετασκευή με χρήση πελλετών είναι η μετατροπή του σταθμού Thunder Bay Generation, της Μονάδας 3 της εταιρίας Ontario Power Generation (OPG). Η μετατροπή ξεκίνησε το 2014 και ολοκληρώθηκε νωρίτερα από το προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα και με προϋπολογισμό το 2015 με κεφαλαιουχικές δαπάνες μόνο 3 εκατομμύρια καναδικά δολάρια - περίπου 2 εκατομμύρια ευρώ. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χωρητικότητα της μονάδας είναι 160 MWe, το κόστος μετατροπής είναι περίπου 12.50 €/kWe, πολύ χαμηλότερο από το κόστος που αναφέρεται από άλλες περιπτώσεις μετατροπής με πέλλετς ξύλου⁴³. Το έργο υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πέλλετς μετά από την διαδικασία έκρηξης ατμού από την εταιρία Arbaflame.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σύγκαυσης βιομάζας μετά από φρύξη και έκρηξη ατμού από διάφορες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στην Ευρώπη, με γενικά θετικά αποτελέσματα^{44,45}. Επιπλέον, το έργο ARBAHEAT⁴⁶ του Ορίζοντα 2020 σκοπεύει να μετατρέψει την υπερ-υπερκρίσιμη (ultra-supercritical) μονάδα παραγωγής ενέργειας άνθρακα Maasvlakte 1, εγκατεστημένης ισχύος 731 MWe, σε μονάδα ΣΗΘ βιομάζας που ενσωματώνει την τεχνολογία επεξεργασίας βιομάζας ατμού της Arbaflame.

7.8 Τελικές παρατηρήσεις

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογικές επιλογές για τη μετασκευή των συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ή ΣΗΘ, που χρησιμοποιούν ορυκτά καυσίμα - και ιδιαιτέρως άνθρακα – σε αντίστοιχες μονάδες βιομάζας, ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο εισαγωγής βιομάζας στην εγκατάσταση.

Η απλούστερη επιλογή για εφαρμογή είναι η άμεση σύγκαυση, αλλά είναι επίσης η λιγότερο φιλόδοξη, καθώς το επίπεδο χρήσης βιομάζας ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων είναι συνήθως χαμηλό και δεν υπερβαίνει το 10-20% της τροφοδοτούμενης θερμικής ισχύος. Ως εκ τούτου, συνεπάγεται τη συνέχιση της λειτουργίας μονάδας παραγωγής ενέργειας ή τη λειτουργία ανθρακικού ΣΗΘ. Επομένως, αυτή η τεχνολογική επιλογή δεν είναι πλέον εφικτή στην ΕΕ, αν και μπορεί να σχετίζεται με τεχνολογικές λύσεις μετασκευών σε χώρες που διατηρούν ή επεκτείνουν τη δυναμικότητα παραγωγής άνθρακα.

Η έμμεση σύγκαυση και η παράλληλη σύγκαση είναι οι πιο εξελιγμένες επιλογές, επιτρέποντας τη χρήση υψηλότερων μεριδίων βιομάζας. Ωστόσο, η εφαρμογή τους συνεπάγεται τη συνεχιζόμενη λειτουργία της συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας, και μπορεί να επιτευχθεί μόνο μερική απομάκρυνση άνθρακα.

Η πλήρης μετασκευή με αλλαγή συμβατικού καυσίμου σε βιομάζα, π.χ. η πλήρης μετασκευή ανθρακικής μονάδας παραγωγής ενέργειας ή μονάδας ΣΗΘ σε μονάδα βιομάζας, έχει εφαρμοστεί σε αρκετές εγκαταστάσεις εντός ή εκτός της Ευρώπης. Αν και ενδέχεται να υπάρχουν επιπλοκές σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, αυτή η επιλογή έχει ήδη φτάσει σε επαρκές επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας.

Ένα βασικό ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στις μετατροπές μονάδων καύσης άνθρακα σε μονάδες καύσης βιομάζας είναι η διαθεσιμότητα της βιομάζας. Η μετασκευή μονάδας μεγάλης κλίμακας άνθρακα σε μονάδα βιομάζας απαιτεί τεράστιο όγκο πρώτων υλών και οι ρυθμίσεις εφοδιασμού μπορεί να είναι περίπλοκες, ειδικά για εγκαταστάσεις που δεν έχουν στηθεί κατάλληλα για εξωτερική τροφοδοσία καυσίμου. Αυτό ισχύει για τους σταθμούς

⁴³ Το εργοστάσιο λειτούργησε κατά μέσο όρο μόνο για 2.5 ημέρες/έτος ως μονάδα φορτίου αιχμής και τον Μάιο του 2018, σημειώθηκε σημαντική ζημιά διάβρωσης (που δε σχετίζεται με την καύση βιομάζας) στο λέβητα. Από τότε, η μονάδα απενεργοποιήθηκε.

⁴⁴ www.blackwood-technology.com/company/references/

⁴⁵ www.cegeneration.com/ceg-and-tse-trial-1000-tonnes-of-renewable-black-pellets-at-tses-naantali-power-station-in-finland/

⁴⁶ www.arbaheat.eu

ηλεκτροπαραγωγής με λιγνίτη που βρίσκονται κοντά σε ορυχεία λιγνίτη και μακριά από λιμάνια (Karampinis et al., 2014).

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τέτοιες περιπτώσεις ανάκτησης έχουν παρουσιαστεί στο εμπόριο μόνο με καύσιμα από ξυλώδη βιομάζα (κυρίως πέλλετς ξύλου). Η αγροτική βιομάζα δύναται να προσφέρει τη δυνατότητα χαμηλότερου κόστους καυσίμου σε σύγκριση με τα πέλλετς ξύλου, ωστόσο η καύση της συνδέεται με τις δικές της τεχνικές προκλήσεις - καθώς και θέματα συγκέντρωσης και εφοδιασμού - και χρειάζεται ακόμη να δοκιμαστεί σε τέτοια συστήματα μεγάλης κλίμακας.

Τέλος, η χρήση βιομάζας με θερμική επεξεργασία έχει παρουσιασθεί μόνο σε μία εμπορική περίπτωση και σε πολλές επιδεικτικές εκστρατείες. Παρόλο που παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα - κυρίως τις πολύ χαμηλές απαιτήσεις CAPEX για τη μετασκευή και την το αναμενόμενο μειωμένο κόστος καυσίμου - μία από τις βασικές προκλήσεις στην ανάπτυξη αυτής της λύσης είναι η ανάπτυξη των υποδομών που απαιτούνται για τη διαχείριση του υψηλού όγκου θερμικά επεξεργασμένης βιομάζας.

Παρά τις επικρίσεις ορισμένων ΜΚΟ, τα έργα μετασκευής μονάδων καύσης άνθρακα σε μονάδες καύσης βιομάζας είναι η μόνη επιλογή που διατίθεται επί του παρόντος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας με χρήση ανανεώσιμων πηγών. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμη και αποτελεσματική χρήση της βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ΕΕ έχει θέσει μια σειρά απαιτήσεων στη RED II, που αφορούν σε κριτήρια αειφορίας για την προμήθεια βιομάζας, θέτοντας ελάχιστο επίπεδο εξοικονόμησης εκπομπών GHG που επιτυγχάνεται σε όλη την αλυσίδα αξίας, με μία σειρά τεχνικών περιορισμών (π.χ. ελάχιστο επίπεδο καθαρής ηλεκτρικής απόδοσης 36% για εγκαταστάσεις αποκλειστικής παραγωγής ηλεκτρισμού με ονομαστική θερμική ισχύ άνω των 100 MW). Επιπλέον, τέτοιες εγκαταστάσεις προσφέρουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS), οι οποίες μαζί με τη χρήση βιομάζας, ανοίγουν το δρόμο για έργα με αρνητικές εκπομπές.

8 Μετασκευή βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού

8.1 Ανασκόπηση του τομέα

Από τη δεκαετία του 1990, παρατηρείται σταθερή μείωση του αριθμού των μύλων παραγωγής χαρτιού/χαρτονιού και πολτού στην Ευρώπη⁴⁷. Το 2018, καταγράφηκαν 151 μύλοι χαρτοπολτού και 746 μύλοι χαρτιού/χαρτονιού. Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία, η παραγωγή χαρτιού και χαρτονιού στην Ευρώπη⁴⁷ παρέμεινε σχετικά σταθερή, και ανήλθε σε 92 εκατομμύρια τόνους το 2018. Παρόμοια τάση παρατηρείται και στη συνολική παραγωγή χαρτοπολτού (από μύλους παραγωγής χαρτιού και χαρτοπολτού), η οποία ανήλθε σε 38 εκατομμύρια το έτος 2018. Είναι αξιοσημείωτο είναι ότι αν και η συνολική παραγωγή παραμένει σταθερή, η παραγωγή χαρτοπολτού παγκοσμίως παρουσιάζει αυξητική τάση (CEPI, 2019). Σε αντίθεση με τις αγορές βιομηχανίας χαρτιού στην Ευρώπη, οι αντίστοιχες αγορές στην Ασία εμφανίζουν αυξητική τάση, εξαιτίας της αυξανόμενης αγοραστικής δύναμης (Suhonen και Amberla, 2014).

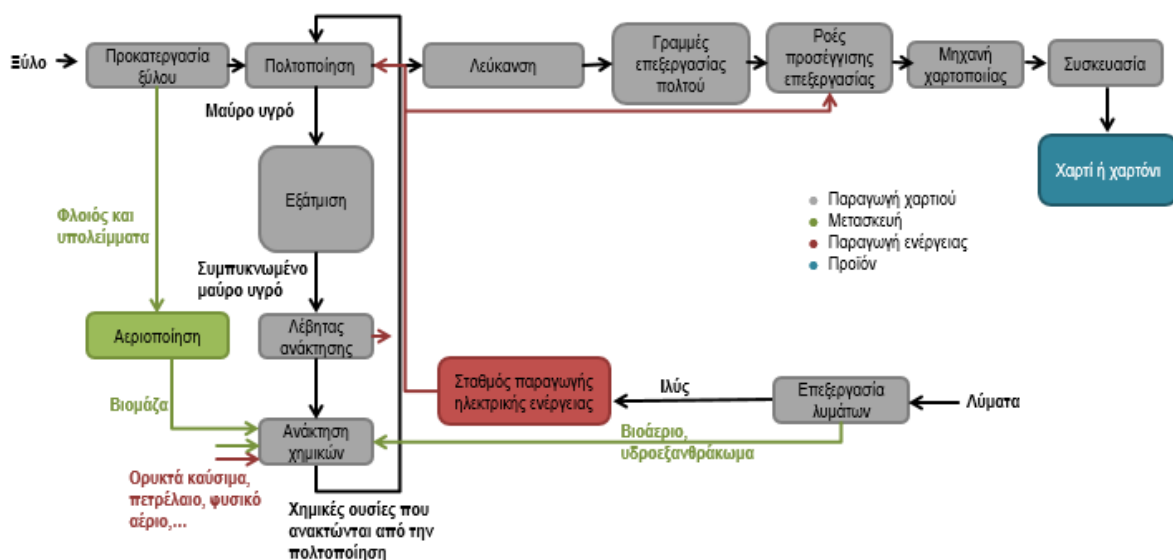
Η ψηφιοποίηση έχει επηρεάσει τα τελικά προϊόντα της βιομηχανίας χαρτιού· η χρήση του χαρτιού γραφής μειώνεται, αλλά η ζήτηση για συσκευασία αυξάνεται (Suhonen και Amberla, 2014). Η βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού στην Ευρώπη έχει υποστεί κάποια σταθεροποίηση, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για υψηλής αξίας βιο-προϊόντα, όπως τα βιοκαύσιμα, τα βιο-υλικά και τα βιο-πλαστικά προέλευσης. Δεδομένου ότι πολλοί

⁴⁷ στις χώρες μέλη της CEPI: Αυστρία, Βέλγιο, Τσεχία, Φινλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία, Ιταλία, Ολλανδία, Νορβηγία, Πολωνία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σλοβακική Δημοκρατία, Σλοβενία, Ισπανία, Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο

μύλοι χαρτοπολτού δεν εντάσσονται πλέον σε μύλους χαρτιού, η δική τους κατανάλωση ενέργειας έχει μειωθεί, γεγονός που δημιουργεί ευκαιρίες παραγωγής προϊόντων βιοενέργειας υψηλότερης αξίας που προέρχονται από τα απορρίμμά τους.

Η βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος βιομηχανικός καταναλωτής ενέργειας στην Ευρώπη (Chan and Kantamaneni, 2015). Από το 2015, η βιομηχανία κατάφερε να μειώσει τις εκπομπές άνθρακα κατά 26%, χρησιμοποιώντας στερεά υπο-προϊόντα για ενεργειακούς σκοπούς (CEPI, 2018a). Στην Ευρώπη, όσον αφορά στον βιομηχανικό τομέα τομέα επεξεργασίας χαρτοπολτού και χαρτιού, το 60% της συνολικής κατάλυσης καυσίμων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η κατανάλωση βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού ανήλθε σε 710 PJ το έτος 2017 (CEPI, 2019). Το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται κυρίως από φυσικό αέριο (390 PJ) (CEPI, 2019). Οι χώρες, στις οποίες το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις χαρτοβιομηχανίες για την παραγωγή ενέργειας, έχουν συχνά μόνο έναν μικρό τομέα δασοκομίας, ο οποίος θα μπορούσε να τροφοδοτήσει τις εγκαταστάσεις με δασικά υπολείμματα. Σε αυτές τις χώρες οι ανακυκλωμένες ίνες αποτελούν μακράν την κύρια πηγή εγχώριων πρώτων υλών για παραγωγή χαρτιού. Αν και η χρήση φυσικού αερίου δεν αποτελεί προϋπόθεση για την ανακύκλωση χαρτιού, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται συχνά λόγω της οικονομικής αποδοτικότητας, της έλλειψης βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων, καθώς και των εθνικών ενεργειακών πολιτικών (CEPI, 2018a).

Η κύρια πηγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα του χαρτοπολτού και του χαρτιού είναι η βιοενέργεια από υπολείμματα επεξεργασίας ξύλου, όπως απόβλητα λάσπης, φλοιού και απόβλητα επεξεργασίας ξύλου. Ευκαιρίες για μετασκευή βιοενέργειας στον εν λόγω τομέα αποτελούν η αύξηση της χρήσης απορριμμάτων, όπως ο φλοιός των φυτών για παραγωγή ενέργειας, η παραγωγή βιοαερίου από χαρτοπολτό, και η αύξηση της απόδοσης μονάδων ΣΗΘ παραγωγής βιοενέργειας με χρήση εξοπλισμού υψηλής απόδοσης (υψηλότερες πιέσεις ατμού). Η Εικόνα 35 απεικονίζει ένα διάγραμμα ροής για τη μετασκευή μύλου χαρτοπολτού και χαρτιού με χρήση από ξυλώδους βιομάζας. Άλλες σημαντικές δυνατότητες μετασκευής περιλαμβάνουν την παραγωγή δευτερογενών καυσίμων, για παράδειγμα, μέσω της αναβάθμισης του μαύρου υγρού (black liquor).



Εικόνα 35: Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας μετασκευής μύλου χαρτοπολτού και χαρτιού με χρήση βιομάζας

8.2 Διαδικασία πολτοποίησης και υπολείμματα από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού

8.2.1 Εξαγωγή ινών

Οι ίνες χαρτοπολτού μπορούν να εξαχθούν από την πρώτη ύλη (ξύλο) μέσω μηχανικών ή χημικών διεργασιών.

Στη **μηχανική πολτοποίηση**, το ξύλο υποβάλλεται σε μηχανική επεξεργασία μέσω διατμητικών δυνάμεων, π.χ. άλεση για να «μαλακώσει» η σύνδεση ινών λιγνίνης. Η μηχανική πολτοποίηση έχει υψηλότερη απόδοση σε ξυλοπολτό, συγκριτικά με τη χημική πολτοποίηση, λόγω χρησιμοποίησης ολόκληρου του κορμού ξύλου, εκτός του φλοιού (CEPI, 2018b). Σημαντικό μειονέκτημα της μηχανικής πολτοποίησης είναι η μικρότερη αντοχή του τελικού προϊόντος σε σύγκριση με τη χημική πολτοποίηση, λόγω του διαφορετικού μήκους των ινών. Επιπλέον, οι εισροές σε ενέργεια στη μηχανική πολτοποίηση μπορούν να καλυφθούν, εν μέρει, από τα υπολείμματα φλοιού.

Κατά τη **χημική πολτοποίηση**, οι στρογγυλοί κορμοί αρχικά αποφλοιώνονται και το ξύλο θρυμματίζεται. Ο υπολειπόμενος φλοιός συνήθως πωλείται ή καίγεται για να παράγει θερμότητα και ισχύ επί τόπου. Η διαδικασία πολτοποίησης είναι αυτάρκης στην κατανάλωση ενέργειας, καθώς η καύση των υποπροϊόντων παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για τη διεξαγωγή της διαδικασίας. Μετά την αποφλοίωση, τα θρύμματα πολτοποιούνται σε υδατικό διάλυμα, με χρήση χημικών ουσιών που προκαλούν τη διάλυση της λιγνίνης. Το στερεό υπόλειμμα, που έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε λιγνίνη, ονομάζεται υπολείμματα πολτού. Μπορεί να πωληθεί ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία για μετατροπή σε χαρτόνι ή προϊόντα χαρτιού. Στη χημική πολτοποίηση, η απόδοση του ξυλοπολτού ανέρχεται συνήθως σε 45% (CEPI, 2018b).

Στην **ημι-χημική πολτοποίηση**, τα θρύμματα πολτοποιούνται με μικρή ποσότητα χημικών ουσιών. Τη διαδικασία της ημι-χημικής πολτοποίησης ακολουθεί η μηχανική πολτοποίηση του. Για παράδειγμα, στην ημι-χημική πολτοποίηση του ουδέτερου θειώδους (NSSC), η χημική προ-επεξεργασία με θειώδες άλας πραγματοποιείται πριν από τον διαχωρισμό των ινών.

8.2.2 Διαδικασία πολτοποίησης (cooking)

Οι συνήθεις διαδικασίες πολτοποίησης περιλαμβάνουν τη θειϊκή μέθοδο (μέθοδο Kraft) και τη θειώδη μέθοδο. Η μέθοδος πολτοποίησης επιδρά σε σημαντικό βαθμό στην αξιοποίηση των δευτερογενών/παράγωγων προϊόντων.

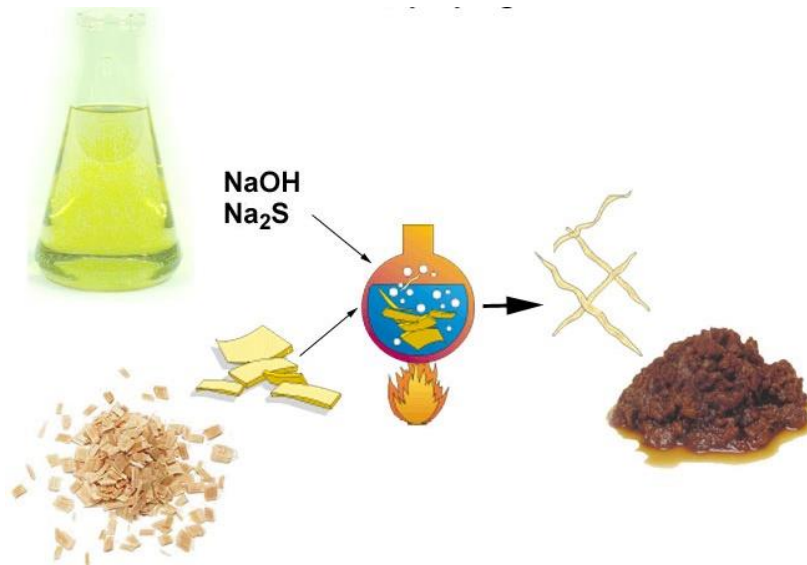
Η **μέθοδος Kraft** (θειϊκή μέθοδος) είναι η σπουδαιότερη μέθοδος παραγωγής χαρτιού. Μετατρέπει το ξύλο σε σχεδόν καθαρές ίνες κυτταρίνης. Στην εν λόγω μέθοδο χρησιμοποιείται μείγμα υδροξειδίου νατρίου (NaOH) και θειούχου νατρίου (Na_2S) για τη διάσπαση των δεσμών μεταξύ της λιγνίνης, της ημικυτταρίνης και της κυτταρίνης (βλ. Εικόνα 36). Στη μέθοδο Kraft, το διάλυμα είναι αλκαλικό και περιέχει σάκχαρα λιγνίνης και ημικυτταρίνης. Τα παράγωγα προϊόντα από τη διαδικασία αποδόμησης είναι δύσκολο να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα από ζύμες ή άλλους μικροοργανισμούς.

Μετά τη φάση πολτοποίησης, ο πολτός πλένεται με άφθονο νερό (Εικόνα 37). Κατά την πλύση, η υπολειμματική λιγνίνη αφαιρείται με οξυγόνο σε υδατικό διάλυμα. Ο πολτός συχνά υποβάλλεται σε λεύκανση, έτσι ώστε να γίνει λευκός και κατάλληλος να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή λευκού χαρτιού. Το διάλυμα που περιέχει τα διαλυμένα υπολείμματα λιγνίνης αποτελεί το παραπροϊόν της βιομηχανίας χαρτοπολτού (**μαύρο υγρό-black liquor**) και συμπυκνώνεται με εξάτμιση του νερού. Οι διάφορες μέθοδοι αξιοποίησης του μαύρου υγρού απεικονίζονται στην Εικόνα 38.

Στη **θειώδη μέθοδο πολτοποίησης**, χρησιμοποιείται διάλυμα θειώδους άλατος (συνήθως μαγνησίου). Η διάλυση των συστατικών της βιομάζας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH

του διαλύματος. Η θειώδης μέθοδος πολτοποίησης μπορεί να διεξαχθεί σε διαφορετικά επίπεδα pH, ανάλογα με την πρώτη ύλη. Για παράδειγμα, η θειώδης μέθοδος πολτοποίησης με χρήση διαλύματος θειώδους άλατος ασβεστίου διεξάγεται σε πολύ όξινες συνθήκες, τυπικά σε pH 1-1.5 (Hanhikoski, 2014).

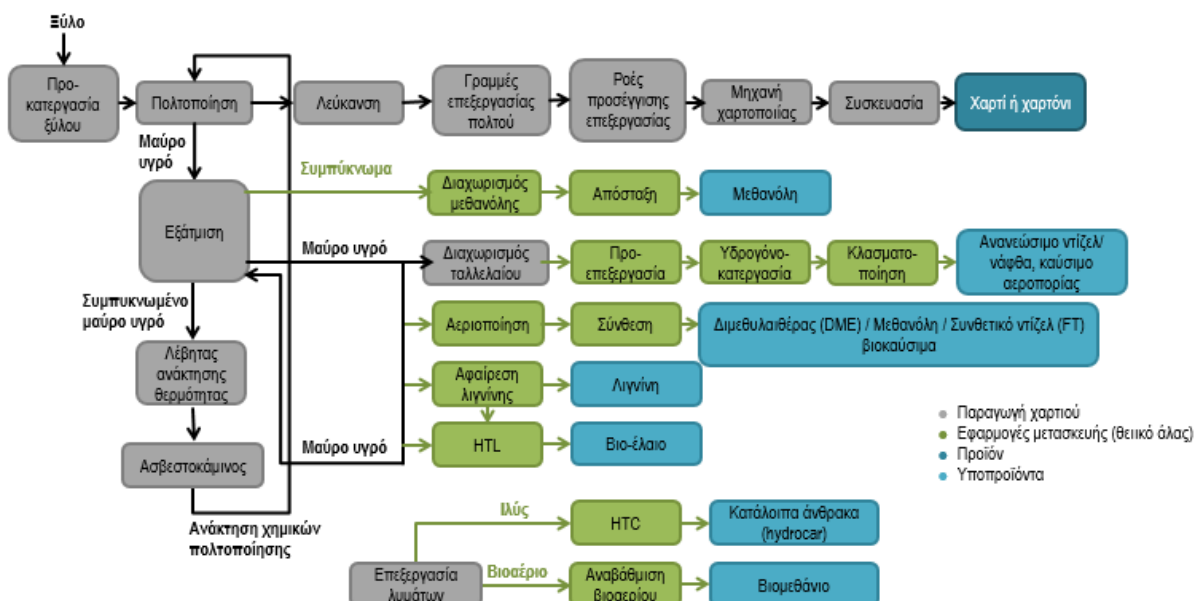
Στην όξινη θειώδη πολτοποίηση, το λεγόμενο **καφέ υγρό (brown liquor)** περιέχει διάλυμα θειώδους λιγνίνης / λιγνοσουλφονικό άλας (υδατοδιαλυτή λιγνίνη που μπορεί να πωληθεί ως ξεχωριστή χημική ουσία) και σάκχαρα που μπορούν εύκολα να ζυμωθούν προς αιθανόλη ή άλλα βιοκαύσιμα. Το διάγραμμα ροής αξιοποίησης του καφέ υγρού απεικονίζεται στην Εικόνα 39.



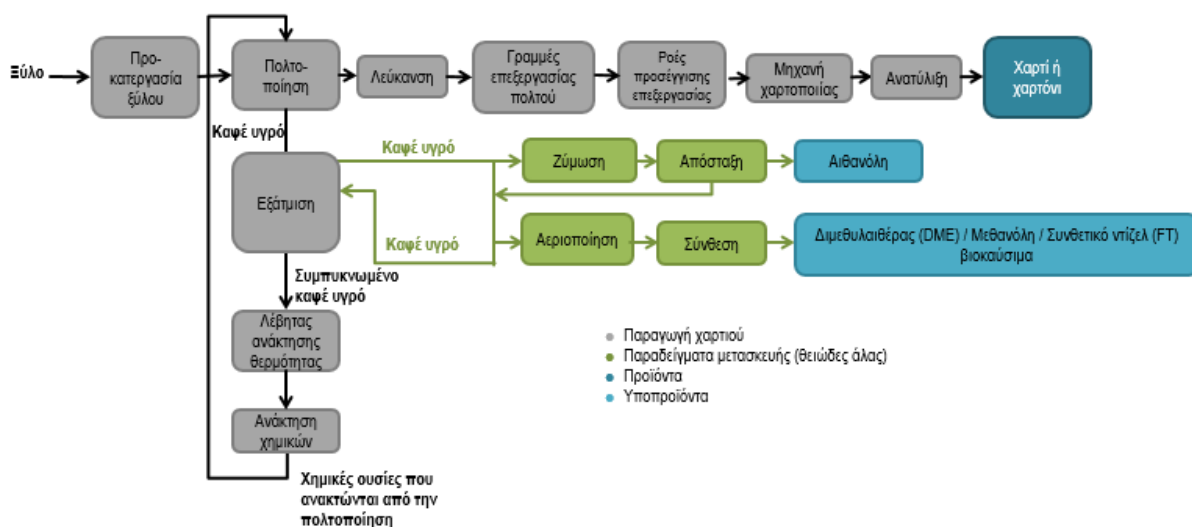
Εικόνα 36: Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας πολτοποίησης Kraft (KnowPulp, 2019).



Εικόνα 37: Η πλύση του πολτού με προσμίξεις παράγει μαύρο υγρό και καθαρό πολτό (KnowPulp, 2019)



Εικόνα 38: Μέθοδοι αξιοποίησης του μαύρου υγρού



Εικόνα 39: Διάγραμμα ροής αξιοποίησης του καφέ υγρού

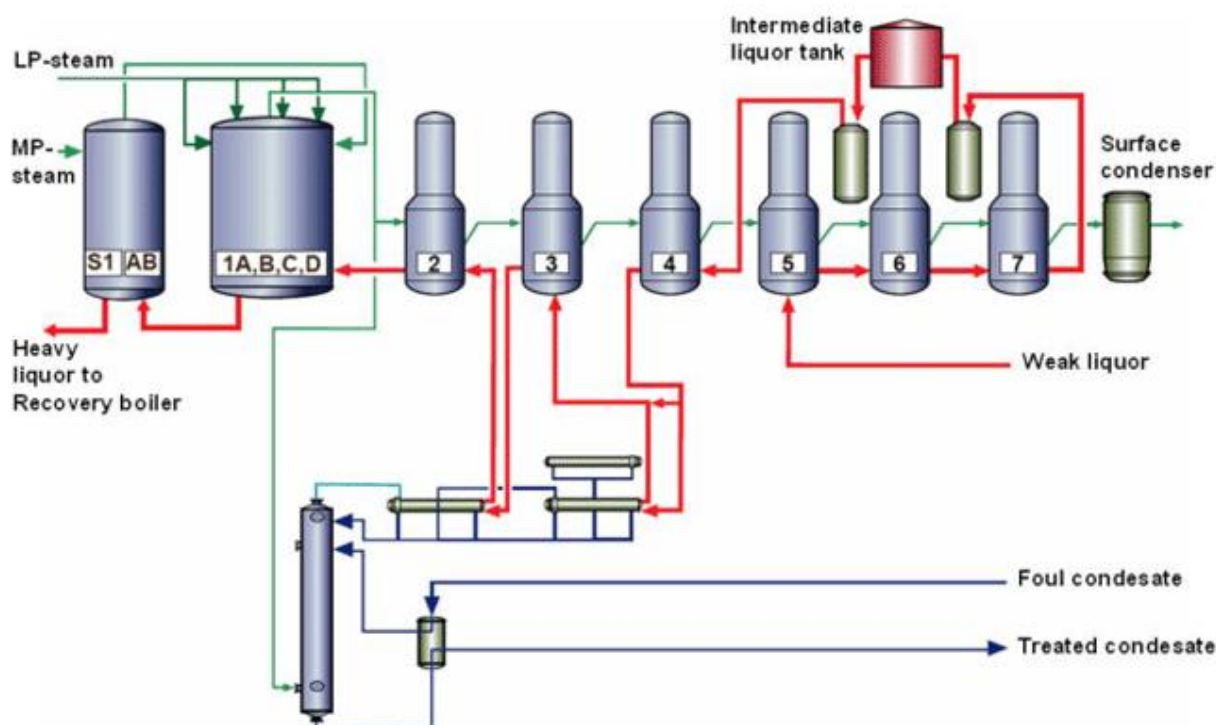
8.2.3 Εξάτμιση του μαύρου υγρού πολτοποίησης

Όταν το μαύρο υγρό της μεθόδου πολτοποίησης Kraft συμπυκνώνεται με εξάτμιση, διαχωρίζονται διάφορα κλάσματα (Εικόνα 39). Ένα από αυτά τα κλάσματα μετατρέπεται σε ακατέργαστο ταλλέλαιο με προσθήκη οξέος. Η μεθανόλη και το τερεβινθέλαιο διαχωρίζονται από το συμπύκνωμα μέσω της εξάτμισης. Η μεθανόλη και το ακατέργαστο ταλλέλαιο μπορούν να καθαριστούν και να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα ή άλλα προϊόντα. Αυτό συζητείται περαιτέρω στα κεφάλαια 8.5 και 8.11.

Οι σύγχρονοι μύλοι χαρτοπολτού είναι συχνά **αυτόνομες** όσον αφορά στη θέρμανση, και μπορούν επίσης να παράγουν πλεονάσμα θερμότητας. Η πλεονάζουσα θερμότητα παράγεται ιδιαίτερα, εάν δεν υπάρχει εργοστάσιο χαρτιού στην ίδια τοποθεσία, το οποίο να χρησιμοποιεί

σημαντικό μέρος της παραγόμενης θερμότητας. Δεδομένου ότι δεν χρειάζεται να καούν όλες οι οργανικές ενώσεις για να παράγουν επαρκή θερμότητα για την παραγωγή πολτού, μέρος των οργανικών ενώσεων του μαύρου υγρού μπορεί να εξαχθεί για παράδειγμα με τη μορφή λιγνίνης ή άλλου βιο-αργού πετρελαίου.

Πρόσφατα, αναπτύχθηκαν μέθοδοι για το διαχωρισμό μέρους της **λιγνίνης** από το μαύρο υγρό Kraft. Η λιγνίνη μπορεί να απομονωθεί με καταβύθιση προσθέτοντας CO₂ ή οξέα όπως το θειικό οξύ, δεδομένου ότι καθώς η μείωση του pH του μαύρου υγρού κάτω από εννέα οδηγεί σε καταβύθιση της λιγνίνης. Η παραγόμενη λιγνίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεό καύσιμο ή να μετατραπεί σε βιοκαύσιμα, χημικά προϊόντα ή υλικά. Ωστόσο, η λιγνίνη από τη διαδικασία Kraft περιέχει θείο που περιορίζει τη χρήση της ως καύσιμο.



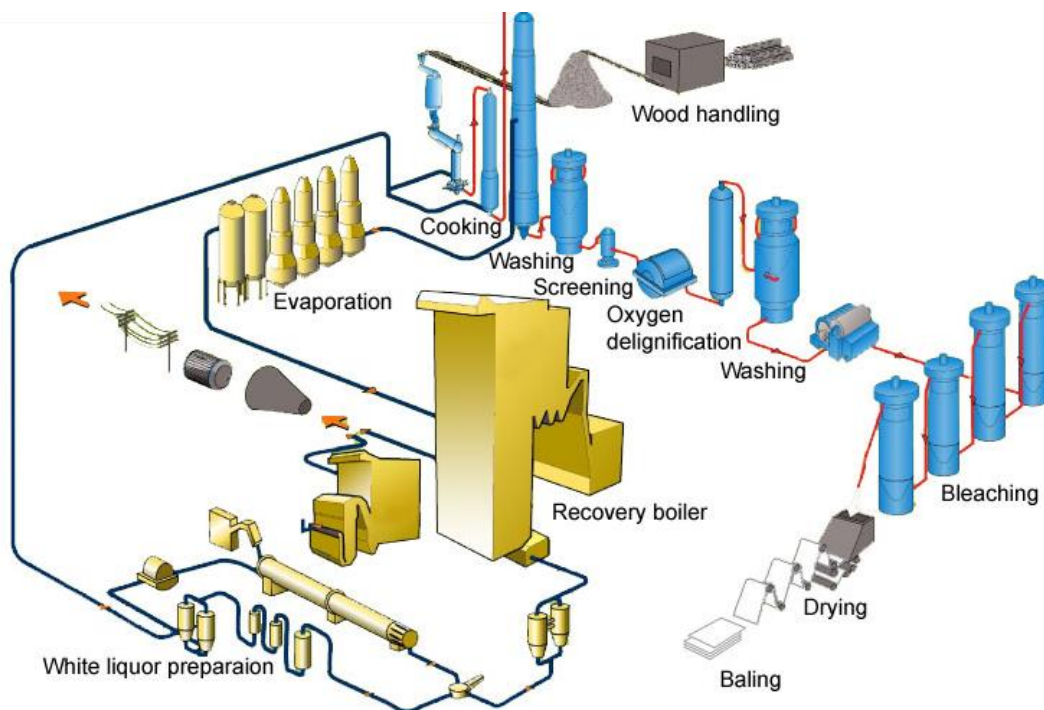
Εικόνα 40: Τυπική μονάδα 7 σταδίων για την εξάτμιση μαύρου υγρού (KnowPulp, 2019)

8.2.4 Διασикаσία ανάκτησης

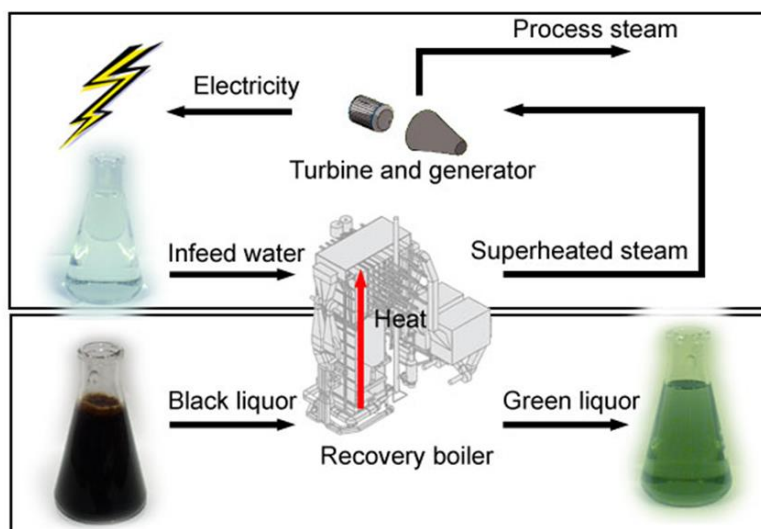
Μετά την εξάτμιση, το μαύρο υγρό της πολτοποίησης έχει περιεκτικότητα σε νερό μόνο 15-25%. Ακολουθεί η καύση του σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας (Εικόνες 41 και 42) για την πλήρη αξιοποίηση του ενεργειακού του περιεχομένου, και, ταυτόχρονα, ανάκτηση των χημικών πολτοποίησης με τη μορφή ανόργανων αλάτων που ονομάζονται «**πράσινο υγρό**» (**green liquor**). Στη μέθοδο πολτοποίησης Kraft, αυτά τα ανόργανα χημικά υπολείμματα είναι το ανθρακικό νάτριο και το θειούχο νάτριο. Το θειούχο νάτριο, το οποίο χρησιμοποιείται στη μέθοδο Kraft ως χημικό πολτοποίησης, παράγεται από θειικό νάτριο υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και έλλειψης οξυγόνου στο λέβητα ανάκτησης.

Πριν την επαναχρησιμοποίηση των χημικών ενώσεων στο στάδιο της πολτοποίησης, το ανθρακικό νάτριο πρέπει να μετατραπεί σε υδροξείδιο του νατρίου, και αυτό μπορεί να γίνει στη διαδικασία καυστικοποίησης (recausticising process) με προσθήκη οξειδίου του ασβεστίου. Στη διαδικασία καυστικοποίησης, το ενεργό οξείδιο του ασβεστίου μετατρέπεται σε μη ενεργό οξείδιο του ασβεστίου, ενώ το ανθρακικό νάτριο μετατρέπεται σε υδροξείδιο του νατρίου. Το

ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται εκ νέου σε οξείδιο του ασβεστίου, θερμαίνοντάς το σε υψηλή θερμοκρασία σε χωριστή ασβεστοκάμινο για να απελευθερώσει το CO₂. Στην ασβεστοκάμινο, συνήθως χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Ωστόσο, πρόσφατα το βιοαέριο, η λιγνίνη, το πριονίδι ή το αέριο από την αεριοποίηση της βιομάζας έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για αυτό το σκοπό.



Εικόνα 41: Αρχή της χημικής ανάκτησης στη μέθοδο Kraft (KnowPulp, 2019)



Εικόνα 42: Ανάκτηση χημικών και ενέργειας στο λέβητα ανάκτησης μαύρου υγρού (Know Pulp, 2019)

8.2.5 Επεξεργασία λυμάτων

Τα λύματα από τη διαδικασία πολτοποίησης και αποφλοιώσης των κορμών συνήθως οδηγούνται σε επεξεργασία σε μονάδα επεξεργασίας λυμάτων. Τα εναπομείνοντα οργανικά

συστατικά των λυμάτων θα ήταν επιβλαβή για το περιβάλλον, εάν απορρίπτονταν σε αυτό χωρίς διαχωρισμό και επεξεργασία. Στη διαδικασία ενεργοποιημένης ιλύος, η περιεκτικότητα των λυμάτων σε οργανικές ενώσεις μειώνεται από τα βακτήρια, και παράγεται ιλύς. Η πρόκληση σε αυτή τη διαδικασία είναι η παραγωγή μεγάλων όγκων **υγρής ιλύος**, η διαχείριση των οποίων είναι δύσκολη. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης δύναται είτε να μειωθεί η ποσότητα της ιλύος μέσω αναερόβιας χώνευσης και να παραχθεί βιοαέριο, είτε να θερμανθεί το υδατικό διάλυμα ιλύος σε θερμοκρασία υψηλότερη των 200°C μέσω της διαδικασίας της υδροθερμικής ανθρακοποίησης για τη μετατροπή της ιλύος σε προϊόν με ιδιότητες αντίστοιχες του με άνθρακα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό και υδατική φάση.



Εικόνα 43: Διαδικασία ενεργοποιημένης ιλύος κατά την οποία αφαιρούνται οργανικά συστατικά από τα λύματα (KnowPulp, 2019)

8.3 Αιθανόλη από μαύρο/καφέ υγρό

Στην **όξινη θειώδης διαδικασία**, στην οποία η πολτοποίηση γίνεται σε χαμηλό επίπεδο pH, το τμήμα της ημικυτταρίνης από το ξύλο μετατρέπεται σε απλά σάκχαρα που ονομάζονται επίσης μονομερή σάκχαρα. Τα μονομερή σάκχαρα μπορούν να ζυμωθούν απευθείας σε αιθανόλη με προσθήκη μαγιάς ή να υποστούν χώνευση με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου. Επί του παρόντος, η αιθανόλη παράγεται σε πολλούς παλιούς μύλους πολτού που βασίζονται στη μέθοδο της θειώδους πολτοποίησης. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα σάκχαρα που είναι κατάλληλα για την παραγωγή αιθανόλης μπορούν να ληφθούν εύκολα ως υποπροϊόν του πολτού από το τμήμα της ημικυτταρίνης του ξύλου. Ορισμένοι τύποι σακχάρων, όπως αυτά με 5 τα άτομα άνθρακα, π.χ. ξυλόζη, δε μετατρέπονται αποτελεσματικά σε αιθανόλη, αλλά παράγεται συχνά βιοαέριο επίσης. Σε αντίθεση με την παραγωγή αιθανόλης από διεργασίες στις οποίες χρησιμοποιείται το τμήμα κυτταρίνης· δεν είναι απαραίτητο να διεξαχθεί η δαπαναρή ενζυμικής υδρόλυσης, που απαιτεί μεγάλους χρόνους αντίδρασης. Ωστόσο, οι περισσότεροι μύλοι χαρτοπολτού χρησιμοποιούν σήμερα τη **μέθοδο πολτοποίησης Kraft**, η οποία περιορίζει τις δυνατότητες παραγωγής αιθανόλης, καθώς η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την παραγωγή θειώδους πολτού.

Παραδείγματα μύλων που λειτουργούν σήμερα και εφαρμόζουν τη θειώδη μέθοδο για την παραγωγή αιθανόλης είναι η μονάδα Domsjö στο Örnsköldsvik (Σουηδία) και το Borregaard στο Sarpsborg (Νορβηγία). Το εργοστάσιο Domsjö παράγει 20,000 τόνους αιθανόλης και 90 GWh βιοαερίου ετησίως από τα δευτερεύοντα υπολείμματα από τη χρήση 1.4 εκατομμυρίων m³ πρώτης ύλης ξυλού για παραγωγή ειδικού χαρτοπολτού (κυρίως για εφαρμογές σε προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας) και την παραγωγή λιγνίνης (χρησιμοποιείται ως πρόσθετα σκυροδέματος) (Domsjö, 2019). Η μονάδα εφαρμόζει διεργασία πολτοποίησης θειώδους νατρίου δύο σταδίων (Hankikoski, 2007).

Το βιοδιυλιστήριο Borregaard στο Sapsborg που παράγει ειδικό χαρτοπολτό, παράγει 20 εκατομμύρια λίτρα αιθανόλης ετησίως, καθώς και λιγνίνη και πλήθος διαφορετικών προϊόντων (Borregaard, 2017). Η παραγόμενη αιθανόλη χρησιμοποιείται σε χημικά προϊόντα ή ως διαλύτης, επίσης πωλείται στη Statoil για χρήση στις μεταφορές (European Biofuels Technology Platform, 2016).

8.4 Αεριοποίηση μαύρου υγρού πολτοποίησης σε DME

Το παραπροϊόν του μαύρου υγρού πολτοποίησης από την εξάτμιση είναι παχύρευστο υγρό που περιέχει οργανικά συστατικά, λιγνίνη, αρκετές δεκάδες τοις εκατό του υπολειπόμενου νερού και περίπου το ένα τρίτο των ανόργανων αλάτων. Το μαύρο υγρό μπορεί να αεριοποιηθεί για την παραγωγή αερίου σύνθεσης (IEA, 2007). Το αέριο σύνθεσης μπορεί να μετατραπεί περαιτέρω σε βιοκαύσιμα κατάλληλα για τις μεταφορές, όπως συνθετικό (Fisher Tropsch, FT)-ντίζελ, μεθανόλη ή διμεθυλαιθέρας (Dimethyl ether, DME). Αυτά τα βιοκαύσιμα έχουν συνήθως υψηλότερη θερμογόνο ικανότητα συγκριτικά με τη θερμότητα και την ισχύ που λαμβάνονται από την καύση μαύρου υγρού σε λέβητα ανάκτησης. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης, είναι η δυνατή η ανάκτηση των χημικών από τη διαδικασία πολτοποίησης, αφού οι οργανικές ενώσεις αεριοποιούνται από το μαύρο υγρό. Με αυτόν τον τρόπο, το θειικό νάτριο μετατρέπεται σε θειώδες νάτριο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χημικό πολτοποίησης στην παραγωγή πολτού.

Ο διμεθυλαιθέρας (DME) είναι ουσία που έχει παρόμοιες ιδιότητες με το υδροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG). Μπορεί να υδροποιηθεί σε θερμοκρασία δωματίου υπό πίεση (Röj, 2017). Μπορεί επίσης να παραχθεί απευθείας ή από μεθανόλη. Η χρήση του DME ως εναλλακτικού καυσίμου ντίζελ σε αυτοκίνητα και φορτηγά παρουσιάστηκε από τη Volvo. Η DME έχει ευνοϊκές ιδιότητες καυσίμου, όπως αριθμό κετανίου αντίστοιχο του καυσίμου ντίζελ.

Η πρόκληση στην αεριοποίηση μαύρου υγρού είναι το διαβρωτικό περιβάλλον σε υψηλές θερμοκρασίες και τα τηγμένα άλατα αλκαλίων μέσα στον αεριοποιητή (Navqi and Yan, 2010). Επιπλέον, όταν η μονάδα αεριοποίησης μαύρου υγρού μετασκευάζεται σε μονάδα χαρτοπολτού, η λειτουργία της μονάδας γίνεται πιο δύσκολη. Σε συμβατική εγκατάσταση που χρησιμοποιεί λέβητα ανάκτησης, όλη η ποσότητα θείου ανακυκλώνεται ως Na_2S , ωστόσο κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης του μαύρου υγρού, σχηματίζεται επίσης υδροθείο. Λόγω της απαιτούμενης προσθήκης υδροξειδίου του νατρίου για την εκ νέου μετατροπή του υδροθείου σε Na_2S , απαιτείται μονάδα καυστικοποίησης υψηλότερης ισχύος (Navqi and Yan, 2010).

Η LTU Green Fuels, πρώην Chemrec, έχει λειτουργήσει μονάδα αεριοποίησης μαύρου υγρού στο Luleå (Σουηδία), και έχουν αναπτύξει μονάδας αεριοποίησης μαύρου υγρού σε διμεθυλαιθέρα (DME) σε κλίμακα τεσσάρων μετρικών τόνων/ημέρα. Το μαύρο υγρό ψεκάζεται ως ρευστό στον αεριοποιητή και το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ψύχεται γρήγορα με απότομη ψύξη (Landälv, 2016).

8.5 Μεθανόλη από βιομηχανίες χαρτοπολτού

Κατά τη διάρκεια της εξάτμισης του μαύρου υγρού στη διαδικασία πολτοποίησης Kraft, παράγεται μικρή ποσότητα **μεθανόλης** (συνήθως μεταξύ 7-15 kg/ξηρό τόνο πολτού) (Jensen et al., 2012). Μπορεί να διαχωριστεί σε υγρή μορφή από ακάθαρτα συμπυκνώματα εξάτμισης του μαύρου υγρού με σύστημα επεξεργασίας συμπυκνωμάτων. Με αυτόν τον τρόπο, η ουσία που διαφορετικά θα θεωρούνταν ροή αποβλήτων προς απόρριψη ή ροή προς περαιτέρω επεξεργασία, μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί (Valmet, 2018b). Η μεθανόλη χρησιμοποιείται συνήθως με καύση στον λέβητα ανάκτησης και στην ασβεστοκάμινο. Είναι επίσης χρήσιμη ως διαλύτης και στην παρασκευή χημικών όπως το οξικό οξύ και η φορμαλίνη, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχήματος.

Η μεθανόλη από τη διαδικασία πολτοποίησης περιέχει θειούχες προσμίξεις, οι οποίες εμποδίζουν τη χρήση της. Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά συστήματα καθαρισμού. Για παράδειγμα, ο Andritz έχει αναπτύξει διαδικασία καθαρισμού (Andritz, 2019a), ενώ μονάδα

που στοχεύει στην παραγωγή 5,000 τόνων μεθανόλης βρίσκεται υπό κατασκευή στο Mörrum στη βιομηχανία χαρτοπολτού της Södra, στην Σουηδία (Andritz, 2019b).



Εικόνα 44: Διαχωρισμός μεθανόλης από βιομηχανία χαρτοπολτού: δεξαμενές αποθήκευσης και σύστημα αφαίρεσης ακάθαρτων συμπυκνωμάτων (KnowPulp, 2019)

8.6 Αξιοποίηση ιλύος χαρτοπολτού και χαρτιού

Στα συστήματα επεξεργασίας νερού της βιομηχανίας χαρτοπολτού και χαρτιού παράγονται ιλύες που περιέχουν μεγάλη ποσότητα νερού. Αυτές δε μπορούν να ξηρανθούν επαρκώς μόνο με μηχανική πίεση. Ως εκ τούτου, ήταν κοινή πρακτική να καίγονται μαζί με άλλα καύσιμα, αν και η συγκεκριμένη πρακτική δεν είναι πολύ οικονομικά ελκυστική.

8.6.1 Υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC)

Η υδροθερμική ανθρακοποίηση (HTC) είναι μέθοδος για το διαχωρισμό του νερού και την παραγωγή ενός προϊόντος που μοιάζει με άνθρακα (**υδροεξανθράκωμα ή hydrochar**) από τη λυματολάσπη. Στην υδροθερμική ανθρακοποίηση, η πρώτη ύλη θερμαίνεται σε υδατικό διάλυμα σε θερμοκρασία 200-250°C περίπου, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα προϊόν που μοιάζει με άνθρακα (Εικόνα 45), το οποίο διαχωρίζεται από την υγρή φάση μετά από ψύξη. Δεδομένου ότι οι αντιδράσεις στη διαδικασία λαμβάνουν χώρα στην υγρή φάση, η πίεση διατηρείται αρκετά υψηλή για να διατηρήσει το διάλυμα σε υγρή μορφή στη θερμοκρασία λειτουργίας.

Το μεγαλύτερο μέρος του ενεργειακού περιεχομένου της λυματολάσπης διατηρείται σε προϊόν ανάλογου του άνθρακα, ενώ μόνο ένα μικρό μέρος της οργανικής ύλης μεταφέρεται στην

υγρήφάση. Ένα μικρό μέρος απελευθερώνεται επίσης σε αέρια φάση, κυρίως ως διοξείδιο του άνθρακα. Η τυπική σύνθεση του υδροεξανθρακώματος από ιλύ χαρτοπολτού και χαρτιού παρουσιάζεται στον Πίνακα 10.



Εικόνα 45: Πέλλετες βιο-άνθρακα και υδροεξανθρακώματος με τη διαδικασία HTC της C-Green (Πηγή: C-Green)

Πίνακας 10: Σύνθεση (κιλά ανά τόνο DS σε ιλύ) υδροεξανθρακώματος από την πιλοτική δοκιμή HTC-Plant της C-Green (Πηγή: C-Green)

	Raw sludge	Wet- ox	Hydro- char	Off- gas	Filtrate return
C	480	0	275	170	35
H	55	0	25	10	20
O	235	250	95	200	190
S	25	0	10	0	15
N	80	0	25	0	55
Ash	125	0	109	0	16
Total	1000	250	539	380	331

Η C-Green Technology και η Stora Enso κατασκευάζουν μονάδα επίδειξης HTC στην Heinola (Φινλανδία) σε μύλο που παράγει χαρτί ημιχημικό για αυλακώσεις. Η προγραμματισμένη μονάδα HTC θα μετατρέψει 25,000 τόνους λάσπης μύλου σε βιο-άνθρακα. Το ποσό θα αντιστοιχεί σε περίπου 13 GWh βιοενέργειας και θα μειώσει κατά 7,000 τόνους ισοδύναμων εκπομπών CO₂ (Bioenergy International, 2018).

8.6.2 Αναερόβια χώνευση (AD)

Άλλη επιλογή είναι η επεξεργασία της ιλύος με αναερόβια χώνευση (AD), για την παραγωγή βιοαερίου και τη μείωση της ποσότητας ιλύος. Αυτές οι μονάδες AD χαρακτηρίζονται από μεγάλους όγκους σε πρώτες ύλες από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού, και την υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη της ιλύος. Επιπλέον, υπάρχει μικρότερος κίνδυνος χειρισμού του υλικού από τη λάσπη από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, καθώς η ιλύς από την επεξεργασία λυμάτων στην βιομηχανία χαρτοπολτού δεν περιέχει τυπικά επιβλαβή

μικρόβια (Εικόνα 46). Ωστόσο, ένα μειονέκτημα είναι ότι η λάσπη μπορεί να περιέχει συστατικά που επιδρούν ανασταλτικά για τη χώνευση.



Εικόνα 46: Ιλύς από την επεξεργασία λυμάτων βιομηχανίας χαρτοπολτού (KnowPulp, 2019)

Στο Äänekoski (Φινλανδία), στο Metsä Fibre's Bioproduct Mill, μονάδα βιοαερίου επεξεργάζεται την ιλύ επεξεργασίας λυμάτων με αναερόβια χώνευση που παράγει βιοαέριο και πέλλετς (Biokaasuyhdistys, 2016). Το 2017, ανακοινώθηκε ότι μέρος του βιοαερίου από το χωνευτήριο της Metsä Fibre θα αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο (Bioenergy, 2017).

Το Scandinavian Biogas ανέπτυξε μία ιδέα συγχώνευσης που ονομάζεται Effisludge, στην οποία η ιλύς λυμάτων υφίσταται χώνευση με άλλα συμπληρωματικά υποστρώματα. Η εταιρία αυτή παρουσιάζει την παραγωγή βιοαερίου από την ιλύ επεξεργασίας λυμάτων της βιομηχανίας χαρτοπολτού Skogn's Norske Skog (Νορβηγία) (Scandinavian Biogas, 2019).

Το βιοαέριο θα μπορούσε επίσης να παραχθεί από ημι-μηχανικά συμπυκνώματα παραγωγής πολτού. Αυτό εξετάστηκε σε εργαστηριακές δοκιμές παρτίδας δέκα ημερών σε μύλο που παράγει χαρτί ημιχημικό για αυλακώσεις στην Heinola στην Φινλανδία. Η αναερόβια επεξεργασία συμπυκνωμάτων αναμένεται να μειώσει το φορτίο της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και να αυξήσει την παραγωγή βιοαερίου (Lotti, 2013).

8.7 Εξαγωγή λιγνίνης

Η συμπυκνωμένη λιγνίνη από μαύρο υγρό πολτοποίησης συνήθως καίγεται σε λέβητα ανάκτησης θερμότητας. Η λιγνίνη που διαχωρίζεται από τη μέθοδο Kraft (Εικόνα 47) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενεργειακό προϊόν, για παράδειγμα ως καύσιμο στην ασβεστοκάμινο ή να μετατραπεί σε πιο προηγμένο βιοκαύσιμο με υδροθερμική υγροποίηση. Η λιγνίνη μπορεί να ανακτηθεί από μαύρο υγρό στη μέθοδο Kraft μειώνοντας πρώτα το pH σε περίπου 9-10 με προσθήκη CO₂ προκειμένου να την ιζηματοποιήσει από το διάλυμα μαύρου υγρού και στη συνέχεια εκπλύνοντας τις προσμίξεις, όπως νάτριο σε αραιωμένο διάλυμα με θειικό οξύ (Andritz 2019c).

Η Valmet ανέπτυξε τεχνολογία που ονομάζεται LignoBoost (Valmet, 2018a) για το διαχωρισμό της λιγνίνης. Στη διαδικασία LignoBoost του Valmet είναι δυνατή η προσαρμογή της λιγνίνης σε διαφορετικές ποιότητες. Η διαδικασία έχει παρουσιασθεί σε πλήρη κλίμακα στο μύλο Stora Enso Sunila (Φινλανδία) (παραγωγή λιγνίνης 50,000 t/a) και από τον Domtar στις ΗΠΑ καθώς και σε πιλοτική κλίμακα στο Bäckhammar (Σουηδία).

Άλλες διαδικασίες διαχωρισμού λιγνίνης υπό ανάπτυξη είναι το LignoForce από την FPInnovations που παρουσιάζεται στη βιομηχανία χαρτοπολτού West Fracer στον Καναδά (Kouisni et al., 2016), στην οποία περιλαμβάνεται ξεχωριστό βήμα οξείδωσης όπου οξειδώνονται τα δύσοσμα και πτητικά συστατικά του θείου με οξυγόνο σε μη δύσοσμα και μη πτητικά συστατικά, και η διαδικασία της διαδοχικής ανάκτησης και καθαρισμού υγρής λιγνίνης (Liquid Lignin Recovery and Purification-SLRP), στην οποία η λιγνίνη διαχωρίζεται μέσω της βαρύτητας και δεν χρειάζεται φιλτράρισμα όπως στις άλλες διαδικασίες (Velez & Thies, 2015).



Εικόνα 47: Διαχωρισμένη λιγνίνη από τη διαδικασία Kraft (KnowPulp, 2019)

8.8 Υδροθερμική υγροποίηση

Η υδροθερμική υγροποίηση (HTL) είναι ελκυστική διαδικασία για την αύξηση της ενεργειακής περιεκτικότητας των υγρών οργανικών που περιέχουν ροές σε προϊόν βιο-αργού πετρελαίου χωρίς ξήρανση. Η υδατική φάση που παράγεται στην HTL ως δευτερεύον προϊόν μπορεί επίσης να υποβληθεί σε επεξεργασία στη βιομηχανία χαρτοπολτού με εξάτμιση και καύση στον λέβητα ανάκτησης.

Το μαύρο υγρό, η λιγνίνη, η ιλύς πριονιδιού ή άλλη οργανική ύλη που περιέχει πρώτη ύλη μπορεί να μετατραπεί σε βαρύ έλαιο όπως το βιο-αργό πετρέλαιο με HTL (Εικόνα 48). Το παραγόμενο βιο-αργό πετρέλαιο αναβαθμίζεται περαιτέρω μέσω της διαδικασία διύλισης πετρελαίου για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τις μεταφορές. Η HTL είναι διαδικασία στην οποία η πρώτη ύλη υποβάλλεται σε επεξεργασία σε υδατικό διάλυμα, σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, που κυμαίνονται συνήθως τυπικά μεταξύ 270-370 °C και 5-30 MPa, αντίστοιχα.

Παραδείγματα εταιρειών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη της διαδικασίας υγροποίησης μέσω HTL ή παρόμοιων διαδικασιών, περιλαμβάνουν τις Renfuels, Suncarbon, SCA, Silva Green Energy, Steeper Energy και Licella.

Η Renfuel παράγει προϊόν βιο-αργού πετρελαίου που ονομάζεται Lignol μέσω της καταλυτικής διαδικασίας της λιγνίνης. Η εταιρία παρουσίασε την τεχνολογία της στο Bäckhammar (Σουηδία) κοντά στην επιδεικτική μονάδα LignoBoost και επί του παρόντος κατασκευάζουν μονάδα παραγωγής στο Vallvik (Σουηδία), σε συνεργασία με τη βιομηχανία χαρτοπολτού Rottneros και την εταιρεία διυλιστηρίων πετρελαίου Preem. Η λειτουργία του εργοστασίου έχει προγραμματιστεί για το πρώτο τρίμηνο του 2021 (Renfuels, 2019).

Η Suncarbon διαχωρίζει τη λιγνίνη με διαχωρισμό μεμβράνης και μετατρέπει τη διαχωρισμένη λιγνίνη σε αποπολυμερισμένη λιγνίνη (depolymerised lignin) μέσω υδροθερμικής επεξεργασίας (Suncarbon, 2019). Η SCA διερευνά επίσης την παραγωγή καυσίμων από μαύρο υγρό πιθανώς με χρήση HTL (Papnews, 2016).

Η Silva Green Energy κατασκευάζει επιδεικτική μονάδα στο Tofte (Νορβηγία), στην οποία τα δασικά υπολείμματα μετατρέπονται σε βιο-αργό πετρέλαιο με HTL (BiofuelsDigest, 2018).



Εικόνα 48: Ακατέργαστο HTL που παράγεται από μαύρο υγρό (Πηγή: VTT)

8.9 Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας των χαρτοβιομηχανιών

Οι υφιστάμενες βιομηχανίες χαρτιού στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το φυσικό αέριο. Το φυσικό αέριο αποτελεί περισσότερο από το 50% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χαρτιού στην Ιταλία, την Ολλανδία, την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γερμανία (CEPI, 2018a). Οι βιομηχανίες χαρτιού στην Γερμανία, την Πολωνία, την Τσεχική Δημοκρατία και την Ουγγαρία χρησιμοποιούν επίσης σημαντικές ποσότητες άνθρακα. Η σημαντική αύξηση των βιοενεργειακών μετασκευών σχετίζεται θετικά με την αύξηση του ποσοστού της βιοενέργειας στις ευρωπαϊκές βιομηχανίες χαρτιού.

Αν και η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού της βιομάζας είναι τεχνικά βιώσιμη επιλογή στη βιομηχανία χαρτιού, οι μύλοι χαρακτηρίζονται από περιορισμένη πρόσβαση σε ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, έλλειψη εγκαταστάσεων αποθήκευσης και περιορισμούς στον εφοδιασμό (CEPI, 2018a). Το φυσικό αέριο μπορεί να αντικατασταθεί με βιοαέριο από εξωτερικές πηγές και οι μονάδες μπορούν να ανακτήσουν αποτελεσματικότερα ενέργεια από ιλύ και απορρίμματα. Η CEPI (CEPI, 2018a) εκτιμά ότι έως και το 10% της κατανάλωσης ενέργειας σε βιομηχανία χαρτιού θα μπορούσε να καλυφθεί με βιοαέριο από αναερόβια επεξεργασία λυμάτων.



Εικόνα 49: Ο φλοιός είναι πιθανή πηγή βιοενέργειας στη χαρτοβιομηχανία (Know Pulp, 2019)

8.10 Εναλλακτικά καύσιμα στην ασβεστοκάμινο και στην αεριοποίηση του φλοιού

Στις βιομηχανίες χαρτοπολτού, το μαύρο υγρό συνήθως καίγεται στο λέβητα ανάκτησης θερμότητας για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο φλοιός (Εικόνα 49) επίσης, ως παραπροϊόν της αποφλοιώσης, συνήθως καίγεται ή αεριοποιείται. Και στις δύο περιπτώσεις, παράγεται πρόθετη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια. Μερικές από τις βιομηχανίες χαρτοπολτού πωλούν μέρος της παραγόμενης θερμότητας σε σύστημα τηλεθέρμανσης. Εναλλακτικά, ο φλοιός μπορεί να πωληθεί σε ξεχωριστή εταιρεία ενέργειας που παράγει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια τόσο για τη βιομηχανία χαρτιού όσο και/ή σε κοντινή κοινότητα.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας σε βιομηχανίες χαρτοπολτού παράγεται από την πρώτη ύλη, δηλαδή τον ξυλοπολτό. Η ασβεστοκάμιнос υπήρξε παραδοσιακά από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία χαρτοπολτού. Τα χρησιμοποιημένα ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνουν φυσικό αέριο ή πετρέλαιο. Άλλα καύσιμα, όπως το βιοαέριο, η λιγνίνη και το πριονίδι σε σκόνη, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί στην ασβεστοκάμινο. Τα τελευταία χρόνια, τα ανανεώσιμα καύσιμα χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των ορυκτών καυσίμων στην ασβεστοκάμινο.

Στη μονάδα παραγωγής ινών του Metsä στο Joutseno (Φινλανδία), ο φλοιός αεριοποιείται σε αεριοποιητή που λειτουργεί με αέρα και το παραγόμενο αέριο καίγεται στην ασβεστοκάμινο. Στο Metsä's Bioproduct Mill στο Äänekoski (Φινλανδία), ο φλοιός αεριοποιείται επίσης για την παραγωγή καυσίμου αερίου για την ασβεστοκάμινο. Σε υφιστάμενο αεριοποιητή, με μέσο αεριοποίησης αέρα, που μετασκευάζεται σε αεριοποιητή διπλής κλίνης, η παραγωγή αερίου σύνθεσης έχει προταθεί ως μελλοντική επιλογή για την αύξηση της παραγωγής βιοενέργειας και προϊόντων υψηλής αξίας. Η συγκεκριμένη επιλογή θα επιτρέψει την παραγωγή βιοκαυσίμων μεταφοράς όπως το συνθετικό (FT)-ντίζελ με χαμηλότερα πρόσθετα κεφάλαια.



Εικόνα 50: Τμήματα μονάδας αεριοποίησης (Know pulp, 2019)

8.11 Ανανεώσιμο ντίζελ από υπολείμματα ταλλελαίου της βιομηχανίας χαρτοπολτού

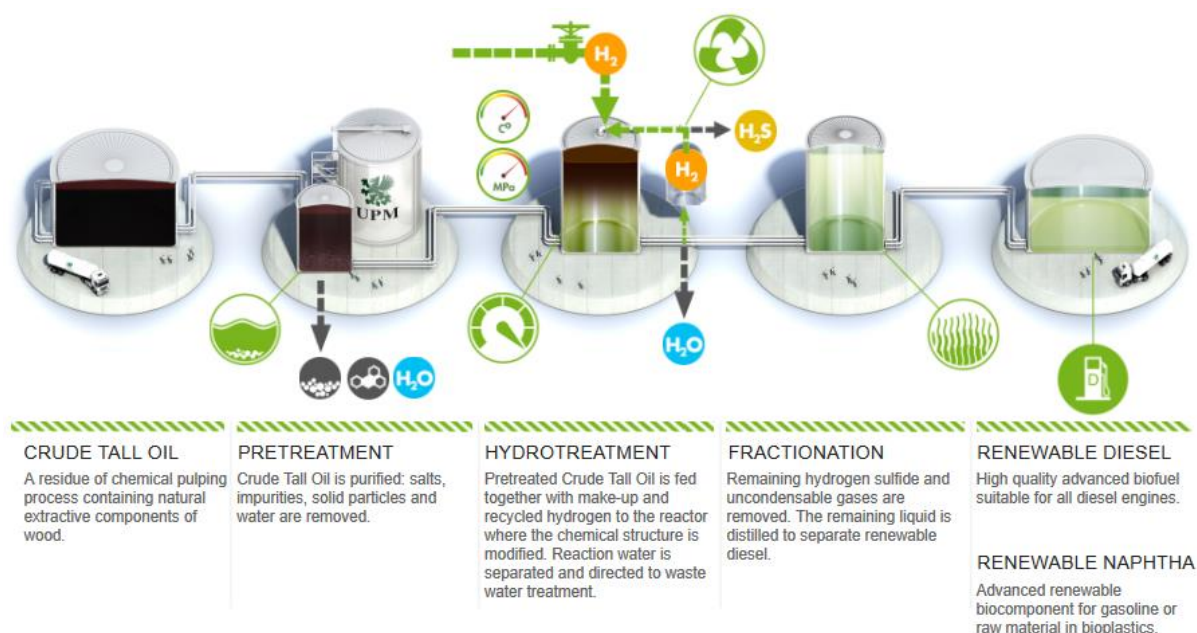
Το ταλλέλαιο (Εικόνα 51) αποτελεί ελκυστική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο. Επομένως, απαιτεί λιγότερη επεξεργασία σε σύγκριση με άλλες πρώτες ύλες. Το ακατέργαστο ταλλέλαιο λαμβάνεται κατά τη διεργασία διαχωρισμού του σαπουνιού, με τη μέθοδο Kraft, στη βιομηχανία χαρτοπολτού. Το σαπούνι οξινίζεται προκειμένου να διαχωριστεί το ακατέργαστο ταλλέλαιο. Μπορεί να καθαριστεί περαιτέρω και να διυλιστεί σε κλάσματα διαφορετικών σημείων βρασμού.



Εικόνα 51: Δείγματα αργού ταλλελαίου και φλοιού στο κέντρο επισκεπτών Pro Nemus Fibre του Metsä Group

Μειονέκτημα στη χρήση ταλλελαίου για την παραγωγή βιοκαυσίμων είναι ότι διατίθεται σε περιορισμένες ποσότητες και μέρος αυτού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μεγαλύτερης αξίας χημικών έναντι της παραγωγής βιοκαυσίμων. Όσον αφορά στα βιοκαύσιμα ταλλελαίου, το υπάρχον πλαίσιο στη Σουηδία ευνοεί την παραγωγή βιοκαυσίμων έναντι των χημικών.

Η Sunpine στη Βόρεια Σουηδία πραγματοποιεί εστεροποίηση ταλλελαίου με μεθυλεστέρα και το προϊόν τους μετατρέπεται περαιτέρω σε καύσιμα μεταφοράς στο διυλιστήριο Piteå στο Piteå (Σουηδία) (Sunpine, 2019). Το βιοδιυλιστήριο της UPM παράγει βιοκαύσιμα μεταφοράς στο Lappeenranta (UPM, 2019). Η δυναμικότητα της εγκατάστασης είναι 120 εκατομμύρια λίτρα ανανεώσιμου ντίζελ και νάφθας ετησίως. Η βελτιωμένη τεχνολογία παραγωγής βιοκαυσίμων της UPM παρουσιάζεται λεπτομερέστερα στην Εικόνα 52.



Εικόνα 52: Διάγραμμα ροής της παραγωγής ανανεώσιμου ντίζελ της UPM (Πηγή: UPM⁴⁸)

8.12 Τελικές παρατηρήσεις

Μέσω των βιοενεργειακών μετασκευών στη βιομηχανία επεξεργασίας χαρτοπολτού και χαρτιού δύναται η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακας και πετρέλαιο) που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή για να επιτρέψουν την παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων από δευτερεύουσες ροές της διαδικασίας.

Οι δυνατότητες που σχετίζονται με την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων με βιοενέργεια σε βιομηχανίες χαρτιού και χαρτοπολτού εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το οικοσύστημα της περιοχής. Οι βιομηχανίες χαρτοπολτού έχουν πολλές εκμεταλλεύσιμες δευτερεύουσες ροές. Το κατά πόσον αυτές οι δευτερεύουσες ροές είναι αρκετές για να καλύψουν την κατανάλωση ενέργειας των μύλων, εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία πολτοποίησης. Κατά τη μέθοδο πολτοποίησης Kraft, οι δευτερεύουσες ροές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και οι μύλοι να παράγουν συχνά πλεόνασμα ενέργειας, το οποίο να μπορεί να πωληθεί, ειδικά εάν δεν εντάσσονται στη βιομηχανία χαρτιού. Στη θειώδη πολτοποίηση, τα σάκχαρα που παραμένουν στο μαύρο/καφέ υγρό μπορούν να μετατραπούν σε βιοαέριο,

⁴⁸ <https://www.upmbiofuels.com/about-upm-biofuels/production/>

ενώ η λιγνίνη, η οποία μετατρέπεται σε λιγνοσουλφονικά άλατα, συνήθως πωλείται και δεν καίγεται. Στη βιομηχανία χαρτοπολτού, τα ορυκτά καύσιμα αντικαθίστανται συνήθως από φλοιό (κατάλοιπα αποφλοιώσης) και βιοαέριο (από αναερόβια χώνευση ιλύων ή υγρών λυμάτων από την επεξεργασία λυμάτων του μύλου). Οι βιομηχανίες χαρτιού, που δεν βρίσκονται στις ίδιες εγκαταστάσεις με εκείνες της επεξεργασίας του βιομηχανία χαρτοπολτού, δεν έχουν πάντα πρόσβαση σε επαρκή πρώτη ύλη για παραγωγή βιοενέργειας. Ωστόσο, το βιοαέριο και το υδροεξανθράκωμα από την ιλύ επεξεργασίας λυμάτων θα μπορούσαν να αυξήσουν το ποσοστό χρήσης βιοενέργειας αυτών των εγκαταστάσεων.

Εκτός από την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στις εγκαταστάσεις, άλλη επιλογή είναι η μετασκευή της εγκατάστασης για παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων για εξωτερικές αγορές. Τα παραγόμενα καύσιμα περιλαμβάνουν βιοαέριο, λιγνίνη, βιοαιθανόλη, ανανεώσιμο ντίζελ ή βιο-αργό πετρέλαιο. Κατά τη διαδικασία ανάκτησης των χημικών στις βιομηχανίες χαρτοπολτού Kraft, παράγεται περισσότερη θερμότητα από ό,τι χρειάζεται στο μύλο, ακόμη και αν χρησιμοποιήθηκαν μόνο δευτερεύουσες ροές στη μονάδα παραγωγής ενέργειας. Η πλεονάζουσα θερμότητα μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό μέσω στροβίλου και να χρησιμοποιηθεί επί τόπου ή να πωληθεί. Ωστόσο, η μετατροπή του πλεονάσματος θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι πολύ αποδοτική ενεργειακά. Επομένως, η χρήση μέρους των δευτερεύουσων ροών και του πλεονάσματος θερμότητας για την παραγωγή προϊόντων βιοενέργειας, όπως η λιγνίνη και τα υγρά βιοκαύσιμα, γίνεται μία ελκυστική επιλογή.

Η δυνατότητα υλοποίησης μετασκευών βιοενέργειας εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο της διαδικασίας πολτοποίησης που εφαρμόζεται. Στη διαδικασία θειώδους πολτοποίησης, η αξιοποίηση της ημικυτταρίνης σε βιοαιθανόλη ή παραγωγή βιοαερίου αποτελεί μια επιλογή. Ωστόσο, στη διαδικασία Kraft, η αξιοποίηση των σακχάρων μετά τη διαδικασία πολτοποίησης από το μαύρο υγρό είναι δύσκολη, λόγω αλλοίωσής τους κατά τη διαδικασία. Μόνο στην περίπτωση που το προϊόν είναι πολτός με υψηλή περιεκτικότητα σε κυτταρίνη (dissolving pulp) για εφαρμογές σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί υποπροϊόν ημικυτταρίνης και στη μέθοδο Kraft. Γενικά, στη διαδικασία Kraft, η λιγνίνη μπορεί να διαχωριστεί από το μαύρο υγρό και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο απευθείας στην ασβεστοκάμινο, αντί χρήσης ορυκτών καυσίμων. Μπορεί επίσης να μετατραπεί σε βιο-αργό πετρέλαιο με υδροθερμική υγροποίηση. Το προϊόν βιο-αργού πετρελαίου μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω σε υψηλής ποιότητας βιοκαύσιμα μεταφοράς σε διυλιστήριο πετρελαίου. Είναι επίσης δυνατό να μετατραπεί μέρος του μαύρου υγρού απευθείας σε βιο-αργό πετρέλαιο με υδροθερμική υγροποίηση.

Στη διαδικασία Kraft παράγονται δευτερεύουσες ροές, όπως μεθανόλη από εξάτμιση μαύρου υγρού και το ταλλέλαιο από το διαχωρισμό «σαπουνιών» κατά την εξάτμιση του μαύρου υγρού. Η μεθανόλη μπορεί να καθαριστεί από δύσσομες προσμίξεις και να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο ή χημική ουσία. Το ταλλέλαιο ή τα βαριά κλάσματα από περαιτέρω διύλιση, όπως η πίσσα ταλλελαίου, μπορούν να μετατραπούν σε ανανεώσιμα καύσιμα ντίζελ και βενζίνης. Ωστόσο, τα ανανεώσιμα καύσιμα δεν είναι η μόνη χρήση για μεθανόλη και ταλλέλαιο, αλλά μπορούν επίσης να μετατραπούν σε πιο πολύτιμα προϊόντα όπως χημικά τρόφιμα (στερόλες) και χρώματα (συνδετικά). Για ημι-χημικές διεργασίες, όπως η σχεδόν ουδέτερη θειώδης πολτοποίηση, το οξικό οξύ που περιέχει συμπυκνώματα μπορεί τυπικά να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή βιοαερίου.

Σε όλες τις διεργασίες πολτοποίησης, ο φλοιός, ως παραπροϊόν που δε χρησιμοποιείται στην παραγωγή χαρτοπολτού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας σε ξεχωριστό λέβητα ή να αεριοποιηθεί σε καύσιμο αέριο. Το καύσιμο αέριο μπορεί να καεί αντί των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ασβέστου κατά τη χημική ανάκτηση. Επιπροσθέτως, μπορεί να πωληθεί ή να αποθηκευτεί είτε ως έχει είτε να καθαριστεί σε υγρή μορφή ή να μετατραπεί σε βιομεθάνιο το οποίο μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου.

Συνήθως, οι μύλοι παράγουν επίσης λύματα και ιλύ. Αυτές οι ροές αποβλήτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή του βιοαερίου, αν και ορισμένες ροές, όπως το νερό από

την αποφλοίωση, ενδέχεται να περιέχουν ουσίες που αναστέλλουν την παραγωγή βιοαερίου. Άλλη πιθανότητα είναι η μετατροπή της ιλύος σε προϊόν με ιδιότητες αντίστοιχες του άνθρακα (υδροεξανθράκωμα) μέσω της διαδικασίας της υδροθερμικής απανθράκωσης. Το υδροεξανθράκωμα, το οποίο έχει υψηλή ενεργειακή περιεκτικότητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς.

Οι επιλογές για βιοενεργειακές μετασκευές αναφορικά με τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια τεχνολογικής ωριμότητας, τα οποία δυσχεραίνουν τις δυνατότητες εκμετάλλευσης. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων μπορεί να αποτελεί τεχνικά βιώσιμη επιλογή. Υφιστάμενες διεργασίες που είναι εμπορικά διαθέσιμες και σχετίζονται με την αξιοποίηση παράγωγων προϊόντων, όπως είναι η καύση φλοιού, η αεριοποίηση φλοιού, η παραγωγή βιοαερίου από προϊόντα αποβλήτων μύλου, η παραγωγή αιθανόλης από μαύρο υγρό, η μετατροπή ταλλελαίου σε καύσιμα μεταφοράς και ο διαχωρισμός της λιγνίνης από το μαύρο υγρό Kraft. Η μετατροπή του φλοιού και του μαύρου υγρού μέσω της διαδικασίας της αεριοποίησης σε βιοκαύσιμα, ο καθαρισμός μεθανόλης, η παραγωγή βιο-αργού πετρελαίου από λιγνίνη και μαύρο υγρό και η υδροθερμική απανθράκωση ιλύος από μύλο έχουν παρουσιασθεί σε πιλοτικές ή επιδεικτικές μονάδες εργοστασίων πολτού.

Αναφορές

- Agora Energiewende and Sandbag (2019): The European Power Sector in 2018. Up-to-date analysis on the electricity transition. <https://sandbag.org.uk/wp-content/uploads/2019/01/The-European-Power-Sector-in-2018-1.pdf>
- Andritz (2019a) ANDRITZ methanol plant. - <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/evaporation-plants/methanol-plants> [8.3. 2019]
- Andritz (2019b) ANDRITZ to supply bio-methanol plant for Södra's Mönsterås mill in Sweden. - <https://www.andritz.com/group-en/news-media/pulp-paper/2018-05-18-soedra-group> [8.3. 2019]
- Andritz (2019c) ANDRITZ Lignin Recovery Technology for Kraft Mills - <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/lignin-recovery> [8.3.2019]
- Bartels, J. & Reinders, M.J. (2011) Consumer innovativeness and its correlates: A propositional inventory for future research. Journal of Business Research, 64, 601-609.
- Bioenergy Europe (2017) Statistical Report 2017 Edition
- Bioenergy Europe (2019) Statistical Report 2019 Edition
- BiofuelsDigest (2018) The Silver in Silva: The Story of Steeper Energy and SGF's \$59M advanced biofuels project in Norway. - <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2018/01/16/the-silver-in-silva-the-story-of-steeper-energys-59m-advanced-biofuels-project-in-norway/> [8.3.2019]
- Biokaasuyhdistys (2016) Äänekoski Biogas Production. - <http://www.biokaasuyhdistys.net/wp-content/uploads/2018/05/EE-MF-presentation.pdf> accessed [8.3.2019]
- Braune M., Grasemann E., Gröngröft A., Klemm M., Oehmichen K., Zech K., (2016) Die Biokraftstoffproduktion in Deutschland - Stand der Technik und Optimierungsansätze DBFZ Report Nr. 22; https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_22.pdf
- CarbonBrief (2019) Mapped: The world's coal power plants. - <https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants> [26.10.2019]
- CEPI (2017) Key Statistics 2017 - European Pulp and Paper Industry. <http://www.cepi.org/keystatistics2017>
- CEPI (2018a). "Summary for Policy Makers - The Challenge : Decarbonising Whilst Being Recycling Pioneer."
- CEPI (2018b) "Types of Pulping Processes." Statistics. - <http://www.cepi.org/node/22334>.
- CEPI (2019) Key Statistics 2018 - European pulp & paper industry. Statistics. - <http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/Final%20Key%20Statistics%202018.pdf>
- Chan, Y., Kantamaneni, R. (2015) Study on Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Industry and on Possible Policy Mechanisms. A report submitted by ICF Consulting Limited. <https://ec.europa.eu/energy/en/studies/study-energy-efficiency-and-energy-saving-potential-industry-and-possible-policy-mechanisms>
- Cho, J. (2006) The mechanism of trust and distrust formation and their relational outcomes. Journal of Retailing, 82, 25-35.
- Defra (2008) A framework for proenvironmental behaviours. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Diederichs, Gabriel W., Mohsen Ali Mandegari, Somayeh Farzad, and Johann F. Görgens (2016). Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice. Bioresource technology, 216, 331–39.
- Dietrich, Sebastian, Katja Oehmichen, Konstantin Zech, Franziska Müller-Langer, Stefan Majer, Jasmin Kalcher, Karin Naumann, Ronny Wirkner, Robert Pujan, Maria Braune, Arne

- Gröngröft, Uwe Albrecht, Tetyana Raksha, Werner Weindorf, Matthias Reichmuth, Johannes Gansler, and Alexander Schiffler (2017). Machbarkeitsanalyse für eine PTG-HEFA-Hybridraffinerie in Deutschland. Leipzig.
https://bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/machbarkeitsanalyse-ptg-hefa-hybridraffinerie.pdf?__blob=publicationFile.
- Drax Group plc (2018) Annual report and accounts 2018. <https://www.drax.com/wp-content/uploads/2019/03/Drax-Annual-report-accounts-2018.pdf> [29.10.2019]
- DSM (2013). DSM and POET to make advanced biofuels a reality by 2013.
<https://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2012/01/01-12-dsm-and-poet-to-make-advanced-biofuels-a-reality-by-2013.html>
- ENERGY BARGE-Building a Green Energy and Logistics Belt, Project Code: DTP1-175-3.2 (2017) National Sustainability Framework Conditions for Bioenergy Feedstock Production.
<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/energy-barge> [30.04.2019]
- ENERGY BARGE-Building a Green Energy and Logistics Belt, Project Code: DTP1-175-3.2 (2017b) Mapping the political and regulatory framework in the Danube region regarding biomass production for energetic use and logistics. <http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/energy-barge> [30.04.2019]
- ETIP Bioenergy (2019) European Innovation and Technology Platform – Feedstocks.
<http://www.etipbioenergy.eu/> [30.04.2019]
- EURACOAL (2017) Coal Industry Across Europe. <https://euracoal.eu/library/publications/>
- European Biofuels Technology Platform (2016) Borregaard – Commercial Plant in Sarpsborg, Norway. Biofuel Fact Sheet. http://www.etipbioenergy.eu/images/Factsheet_Borregaard_final.pdf.
- ETIP Bioenergy (2019) <http://www.etipbioenergy.eu/value-chains/feedstocks/forestry/wood-chips> [20.12.2019]
- European Biogas Association (2019) Annual Report 2018 <http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2019/03/EBA-Annual-Report-2018.pdf>
- European Commission (2009): DIRECTIVE 2009/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the Project co-funded by European Union funds (ERDF) 118 specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland waterway vessels and repealing Directive 93/12/EEC, Official Journal of the European Union, June, L 140/88.
- European Commission (2013) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions of 20 September 2013 on the new EU Forest Strategy: for forest and the forest-based sector.
- European Commission (2019) Agriculture and rural development-Biomass potential. - https://ec.europa.eu/agriculture/bioenergy/potential_en [30.04.2019]
- European Commission (2019b) Renewable energy directive.
<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive> [30.04.2019]
- European Commission (2019c) Biodegradable Waste. - <https://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm> [17.09.2019]
- European Parliament (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. 30.07.2019 <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
- Faaij A.P.C. (2018) Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature
- FAO (2019) <http://www.fao.org/3/j4504E/j4504e06.htm> [20.12.2019]
- Flach, Bob, Sabine Lieberz, Marcela Rondon, Barry Williams, and Candice Wilson (2016). EU-27. Biofuels.

- FNR (2013) Biomethane. - <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/b/i/biomethane.pdf>
- Forschungszentrum Jülich (2019) Reformierung von Biokraftstoffen. https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/Forschung/BGE/Brennstoffzellenseiten/Reformierung/Reformierung%20von%20Biokraftstoffen/_node.html
- Geleynse S., Brandt K., Garcia-Perez M., Wolcott M., Zhang X. (2018) The Alcohol-to-Jet Conversion Pathway for Drop-In Biofuels: Techno-Economic Evaluation. - Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim <https://doi.org/10.1002/cssc.201801690>
- Goldsmith, R.E. & Hofacker C.F. (1991) Measuring consumer innovativeness. Journal of the Academy of Marketing Science, 19, 209-221.
- Gröngroft, Arne (2011). 'Combined Processing of Grain and Straw to Produce Bioethanol and Other Products'. presented at the 19th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF), Verona, October 10.
- Gurría, P., Ronzon, T., Tamosiunas, S., López, R., García Condado, S., Guillén, J., Cazzaniga, N. E., Jonsson, R., Banja, M., Fiore, G., M'Barek R. (2017) Biomass flows in the European Union: The Sankey Biomass diagram- towards a cross-set integration of biomass, EUR 28565 EN, doi:10.2760/35241
- Hankikoski, S. (2014) High yield nucleophile cooking of wood chips. VTT Technical Research Centre of Finland. Research Report VTT-R-07962-13. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-07962-13.pdf>.
- Hansen, L., Fendt, S., Janssen, A., Abelha, P., Nanou P., Joronen, T., Björklund, P. (2018). Bioficiency Project Deliverable 2.2: Performance of biomass pre-treatment. https://2f86f8c4-58a4-4c52-a2f7-723dcc2c71ad.filesusr.com/ugd/31278e_95690029adb84dbf8deb8e6974a18a1f.pdf [17.2.2020]
- Hirschman, E.C. (1980) Innovativeness, novelty seeking, and consumer creativity. Journal of Consumer Research, 7, 283-295.
- IEA (2007) Black Liquor Gasification - Summary and Conclusions from the IEA Bioenergy ExCo54 Workshop. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Black-Liquor-Gasification-summary-and-conclusions1.pdf> [8.3.2019]
- IEA Bioenergy (2017) Factsheet: Indirect Cofiring http://task32.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/factsheet_indirect_cofiring.pdf [17.2.2020]
- IEA Clean Coal Centre (2018) Pulverized Coal Combustion (PCC) <https://www.iea-coal.org/pulverised-coal-combustion-pcc/> [17.2.2020]
- IEA (2019) Electricity Statistics. - <https://www.iea.org/statistics/electricity/logen> Corporation (2015). Costa Pinto Project. <http://www.iogen.ca/raizen-project/>
- Isfort, J., Nittinger, and V. Gollnick (2012). Auswirkung von HVO-Kraftstoffeigenschaften auf das Nutzlast-Reichweiten-Verhalten. https://publikationen.dglr.de/?tx_dglrpublications_pi1%5Bdocument_id%5D=281188
- Jensen, A., Trevor, Ip., Percy, J. (2012) Methanol purification system. PEERS Conference. <http://www.ahlundberg.com/wp/wp-content/uploads/2017/05/AHL-Methanol-Purification-System.pdf> [8.3.2019]
- Lane (2019). Patriot Renewable Fuels hires Leifmark to plan first stage of major US cellulosic ethanol project Biofuels Digest. <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/05/27/patriot-renewable-fuels-hires-leifmark-to-plan-first-stage-of-major-us-cellulosic-ethanol-project/>
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979) Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47, 263-292.
- Karampinis, E., Grammelis, P., Agraniotis, M., Violidakis, I., Kakaras, E. (2014) Co-firing of biomass with coal in thermal power plants: technology schemes, impacts, and future perspectives. WIREs Energy Environ, 3, 384–399. DOI: 10.1002/wene.100

- Kiesel A., Wagner M., Lewandowski I. (2017) Sustainability, 9, 5, 1-20, Environmental Performance of Miscanthus, Switchgrass and Maize: Can C4 Perennials Increase the Sustainability of Biogas Production?
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017) Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation & Recycling, 127, 221-232.
- Knowpulp database - <http://www.knowpulp.com/> [10.4.2019]
- Kofman, P.D. (2016) New fuels: thermally treated biomass. <http://www.coford.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/cofordconnectsnotes/00675CCNPP40Revised091216.pdf> [17.2.2020]
- Koornneef, J., Junginger, M., Faaij, A. (2006) Development of fluidized bed combustion—An overview of trends, performance and cost. Progress in Energy and Combustion Science 33, 19–55
- Koppejan, J., van Loo, S. (2012) The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. DOI: 10.4324/9781849773041
- Kouisni, L., Gagne, A., Maki, K., Holt-Hindle, P., Pleologou, M. (2016). LignoForce System for the Recovery of Lignin from Black Liquor: Feedstocks Options, Odor Profile, and Product Characterization. ACS Sustainable Chem. Eng. 4 (10), pp. 5152–5159, DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b00907
- Landälv, I. (2016) Efficient integration of fuel generation with the pulping process. Presentation in EBTP/ETIP Bioenergy's 7th Stakeholder Plenary Meeting. http://www.etipbioenergy.eu/images/160621_Landalv.pdf [8.3.2019]
- Leonidou, C.N. & Skarmas, D. (2017) Gray shades of green: Causes and consequences of green skepticism. Journal of Business Ethics, 144, 401-415.
- Lotti, O. (2013) Anaerobic Wastewater Treatment of Acetic Acid Rich Condensate (in Finnish). Master's thesis. Aalto University. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201310167720>
- Massachusetts Institute of Technology (2007) The Future of Coal. Options for a carbon-constrained world. https://web.mit.edu/coal/The_Future_of_Coal.pdf [17.2.2020]
- Macrelli S., Galbe M., Wallberg O., (2014) Effects of production and market factors on ethanol profitability for an integrated first and second generation ethanol plant using the whole sugarcane as feedstock. Biotechnology for Biofuels 2014, 7:26.
- Mazutis, D. & N. Slawinski (2015) Reconnecting business and society: Perceptions of authenticity in corporate social responsibility. Journal of Business Ethics, 131, 137-150.
- Mittelbach, M. (2015), Fuels from oils and fats: Recent developments and perspectives. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 117: 1832-1846. doi:10.1002/ejlt.201500125
- Naqvi, M., Yan, J. (2010). Black liquors gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review., Bioresource Technology 101, pp. 8001–8015.
- Naumann, K., J. Schröder, H. Etzold, F. Müller-Langer, E. Remmele, K. Thüneke, and K. Oehmichen (2019). Monitoring Biokraftstoffsektor. Leipzig. https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_11_4.pdf
- Neste Oil (2012). Neste Oil and Lufthansa satisfied with results of renewable aviation fuel trial. <https://www.neste.com/neste-oil-and-lufthansa-satisfied-results-renewable-aviation-fuel-trial>
- Nuhoff-Isakhanyan et al., (2019) Motivations, experiences, and perceptions in best practice cases of retrofitting. – confidential BioFit Report; Wageningen Economic Research; The Netherlands
- Onwezen, M.C., Reinders, M.J. & Sijtsema, S.J. (2017) Understanding intentions to purchase bio-based products: The role of subjective ambivalence. Journal of Environmental Psychology, 52, 26-36.
- Papnews (2016). SCA testing liquid fuels from black liquor. <https://www.papnews.com/sca-testing-liquid-fuels-from-black-liquor/> [11.4.2019]
- Perkins G., Batalha N., Kumar A., Bhaskar T., Konarova M., (2019) Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous

- wastes. - Renewable and Sustainable Energy Reviews; Elsevier;
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109400>
- Pfau, S., Vos, J., Dammer, L. & Arendt, O. (2017) Public perception of bio-based products. RoadToBio - Deliverable no. 2.2.
- Philibert, C. (2018). Electro fuels: Status and perspectives. IEA Bioenergy.
- Rachbauer L, Voithl G, Bochmann G, Fuchs W. Biological biogas upgrading capacity of a hydrogenotrophic community in a trickle-bed reactor. Applied Energy. 2016;180:483-90.
- Reals, K. (2012). IN FOCUS: Airlines turn to alcohol as potential jet fuel replacement. www.flightglobal.com/news/articles/in-focus-airlines-turn-to-alcohol-as-potential-jet-fuel-replacement-368555/
- RenFuels (2019) LIGNOL® is made of lignin in a patented environmental friendly catalytic process... <https://renfuel.se/technology/?lang=en> [11.4.2019]
- Rentizelas, A.A., Tolis, A.J., Tatsiopoulou, I.P. (2009) Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 887–894.
- Ribeiro J.M.C., Godina R., Matias J.C.O., Nunes, L.J.R. (2018) Sustainability, 10, 2323, Future Perspectives of Biomass Torrefaction: Review of the Current State-Of-The-Art and Research Development
- Rogers, E.M. (1962) Diffusion of innovations. New York: The Free Press.
- Røj, A. (2018) VOLVO -Fuels for commercial vehicles - Present and future challenges and opportunities. EU-India Conference on Advanced Biofuels. New Delhi, 6th-8th March 2018. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/34_roj_anders-volvo.pdf
- Rösch, C. & Kaltschmitt, M. (1999) Energy from biomass—do non-technical barriers prevent an increased use? Biomass and Bioenergy, 16, 347-356.
- Ryckmans, Y. (2012) Sustainable biomass for large power generation. IEA Co-firing Biomass with Coal Workshop, Copenhagen, Denmark 27 March 2012.
- Rutz D. et al., (2019) Framework conditions for retrofitting Europe's industry with bioenergy. – BioFit report, WIP Renewable Energies, Munich, Germany, www.biofit-h2020.eu
- Samuelson, W. & Zeckhauser, R. (1988) Status quo bias in decision making. Journal of Risk and Uncertainty, 1, 7-59.
- Savat, P. (2010) Activities at Rodenhuize power plant: Advanced and Max Green Projects. TOTeM 35 – Co-firing secondary fuels in power generation: from fuel characterization to full scale testing. Pisa, Italy, 23 - 24 September 2010
- Scandinavian Biogas (2019). The EffiSludge concept. - <http://scandinavianbiogas.com/effisludge/theproject/the-effisludge-concept/> [8.3.2019]
- Scott Bentsen N., Felby (2012) Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments. - Biotechnology for Biofuels 2012 5:25 <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-25>
- Searcy E., Hess J.R., Tumuluru J., Ovard L., Muth D.J., Trømborg E., Wild M., Deutmeyer M., Nikolaisen L., Ranta T., Hoefnagels R., (2014) Optimization of Biomass Transport and Logistics. In: Junginger M., ShengGoh C., Faaij A. (Ed.): International Bioenergy Trade. Springer Science+Business Media Dordrecht 2014.
- Sijtsema, S.J., Onwezen, M.C., Reinders, M.J., Dagevos H., Partanen A. & Meeusen, M. (2016) Consumer perception of bio-based products - An exploratory study in 5 European countries. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 77, 61-69.
- Sijtsema S.J., Snoek H.M., van Haaster-de Winter M., Dagevos H., (2020) Let's talk about circular economy: A qualitative exploration of consumer perceptions. Sustainability, 12, 286, doi:10.3390/su12010286, <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/286/pdf>
- Sørensen H.D. (2011) Avedøre unit 2—the world's largest biomass fuelled CHP plant. In: IEA Clean Coal Centre Workshop on Cofiring Biomass with Coal, Drax Power Station, UK, 25–26 January, 2011

- Suhonen, T., Amberla, T. (2014) Pöyry Insight - World Paper Markets up to 2030.
https://www.poyry.com/sites/default/files/worldpapermarkets_up_to_2030_brochure_and_orderform_2014_web.pdf
- Suncarbon (2019) Technology - <https://www.suncarbon.se/technology/>
- Sunpine (2019) <https://www.sunpine.se/en/> [11.4.2019]
- Thrän, Daniela & Dotzauer, Martin & Lenz, Volker & Liebetrau, Jan & Ortwein, Andreas. (2015). Flexible bioenergy supply for balancing fluctuating renewables in the heat and power sector—a review of technologies and concepts. *Energy, Sustainability and Society*. 5. 10.1186/s13705-015-0062-8.
- UPM, <https://www.upmbiofuels.com/fi/> [8.3.2019]
- Vainio, A., Ovaska, U. & Varho, V. (2019) Not so sustainable?: Images of bioeconomy by future environmental professionals and citizens. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1396-1405.
- Valmet Fuel conversion for power boilers: Vaskiluodon Voima Oy, Vaasa, Finland.
<https://www.valmet.com/media/articles/all-articles/fuel-conversion-for-power-boilers-vaskiluodon-voima-oy-vaasa-finland/> [29.10.2019]
- Valmet (2018a) LignoBoost - Lignin from Kraft Black Liquor. Brochure.
https://valmetsites.secure.force.com/solutionfinderweb/FilePreview?id=06958000000bPJ6AAM&_ga=2.8431989.1725935242.1554277657-1742322430.1546954743
- Valmet (2018b). Methanol, from Waste Byproduct to Valuable Fuel. White paper.
https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/power-and-recovery/methanol_waste_to_fuel_whitepaper.pdf
- van Bennekom, J. G., Venderbosch, R. H., & Heeres, H. J. (2012). Biodiesel: Feedstock, Production and Applications - Chapter 12: Biomethanol from Glycerol. IntechOpen.
- Velez, J, Thies, M.C. (2015) Liquid Lignin from the SLRPTM Process: The Effect of Processing Conditions and Black-Liquor Properties, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, vol 36, pp. 27-41. <https://doi.org/10.1080/02773813.2015.1039545>
- Verain, M.C.D., Bartels, J., Dagevos, H., Sijtsema, S.J., Onwezen, M.C. & Antonides, G. (2012) Segments of sustainable food consumers: A literature review. *International Journal of Consumer Studies*, 36, 123-132.
- Watanabe M.D.B., Chagas M.F., et al. (2015) Hybrid Input-Output Life Cycle Assessment of First- and Second-Generation Ethanol Production Technologies in Brazil. *Journal of Industrial Ecology* 2015, 20:4
- Zech, Konstantin, Karin Naumann, Franziska Müller-Langer, P. Schmidt, Werner Weindorf, Z. Mátra, W. Grimme, and M. Hepting (2014). Drop-In-Kraftstoffe für die Luftfahrt. Leipzig et al.

