



Α.Π. : 43667
Αθήνα 7/10/24

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Π ρ ο ς
τα μέλη ΔΕΠ της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

Π Ρ Ο Σ Κ Λ Η Σ Η

Παρακαλείστε να παρευρεθείτε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής που εκπόνησε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ ο Υποψήφιος Διδάκτορας κ. ΚΟΥΓΙΟΥΜΤΖΗΣ Μιχαήλ-Αλέξανδρος του Παύλου, διπλωματούχος της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Παρασκευή 18 Οκτωβρίου 2024 και ώρα 10:30 - 13:30 στο Αμφιθέατρο Πολυμέσων του κτηρίου Βιβλιοθήκης του ΕΜΠ.

Ο τίτλος της διδακτορικής του διατριβής είναι:

Στην ελληνική γλώσσα:

«Αξιοποίηση των υπολειμμάτων του κλάδου της ελιάς για παραγωγή βιοενέργειας και προϊόντων προστιθέμενης αξίας»

Στην αγγλική γλώσσα:

«Exploiting Olive Sector Residues: A Sustainable Path to Bioenergy and Added – Value Products »

Ο Κοσμήτορας

Ι. Αντωνιάδης
Καθηγητής ΕΜΠ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ & ΛΕΒΗΤΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

**Αξιοποίηση των υπολειμμάτων του κλάδου της ελιάς για παραγωγή
βιοενέργειας και προϊόντων προστιθέμενης αξίας**

**Exploiting Olive Sector Residues: A Sustainable Path to Bioenergy and Added-
Value Products**

Κουγιουμτζής Μιχαήλ Αλέξανδρος
Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων Καθηγητής: Εμμ. Κακαράς

Summary

The aim of this PhD thesis is the exploitation of the olive sector residues as a feedstock for bioenergy and added-value products. Olive sector residues consist of mainly agricultural residues such as olive tree prunings (OTP), olive leaves and agro-industrial residues such as olive pomace and vegetation water. The PhD focuses mainly on the valorization pathways of OTP as it is the most unexploited biomass resource from the above. The untapped potential of such agricultural residue is evident from the fact that, only in Greece, annually more than 2 Million dry tons of OTP are either burned in open fires or mulched onto soil. The former damages unconditionally the environment, whereas the latter possess risks of transmitting plant diseases through the soil. The aim of the thesis was to address the

whole value chain, starting from the field and the harvesting of such agricultural residue, through its haulage and storage, up to its pretreatment into hog fuel or pellets and finally its validation via its conversion into bioenergy or other added value products e.g. particleboards, thus offering a holistic view of OTP valorization.

The thesis commences with a thorough assessment of biomass availability from the olive sector in Greece. Protocols were developed in order to conduct initial on-field measurements of OTP. The measurements were performed at various geographical locations and involving different olive tree varieties in order to provide a robust foundation for estimating the national OTP potential. Building upon this data, the research supported the development of a GIS-based tool that empowered users to estimate the OTP potential within their desired sourcing radius. This tool facilitates informed decision-making regarding OTP utilization in specific regions. Through field measurements and the development of a GIS tool, the study estimates the available OTP to be around 2 dry Mt annually. This substantial biomass resource, primarily treated as waste through open-field burning, presents a significant opportunity for bioenergy production and the development of a circular economy in the olive sector. The research emphasizes the importance of accurate biomass assessment to guide efficient harvesting and logistics strategies.

Continuously, the thesis delves into the logistics of harvesting and transporting OTP. It details a two-year mechanized harvesting campaign in central Greece. In total, for both years, the harvesting campaign lasted for 20 days where around 81 ha of olive groves were harvested, that amounted to 252 dry tonnes of harvested prunings. The aim was to evaluate an agricultural residue mobilization value chain in terms of performance, economics and fuel analyses of the harvested OTP. Via detailed monitoring, the present thesis compares the harvesting demonstration results for both years. In brief, the average material capacity increased from 2.2 dry t/h (first year) to 2.4 dry t/h (second year), whereas the corresponding harvesting and haulage costs of these harvesting campaigns were calculated at 62.3 €/t (dry basis) and 63.7 €/t (dry basis), with an estimated commercial operation cost at 46.0 €/t (dry basis). The study results that mechanized harvesting of OTP is economically feasible and environmentally friendly, especially when strategically planned and optimized.

Moreover, the research further examines the impact of storage of OTP hog fuel on the solid biofuel itself. Through the thesis, the monitoring of feedstock losses during a five-month storage period was performed, by comparing two storage solutions: i) uncovered, open-air storage and ii) fleece-covered open-air storage. For this task, two identical conical piles of harvested OTP were built and monitored for calculating the changes in dry matter and energy value of the stored material over time. One pile was left uncovered, while the other was covered with a breathable fleece. For each pile, net bags were used in order to obtain samples for analysis. Overall, the covered pile showed improved storage performance than the uncovered pile, with the latter one getting more influenced by weather conditions. The covered pile presented i) lower dry matter losses after five months of storage with an average value of 1.1% compared to 4.6% of the uncovered pile; ii) stable moisture content throughout the storage period at around 10%, compared to the fluctuating moisture content of the uncovered pile from 11% to 24%; and finally, iii) recoverable energy gain with an average pile value of 12.1% compared to recoverable energy loss of 5.1% in the uncovered pile after the storage period. The results demonstrate that covering piles with fleece significantly reduces dry matter losses and preserves fuel quality, offering a cost-effective storage solution for OTP-based value chains.

After having secured the supply of OTP, the current thesis investigates the conversion of OTP into solid biofuels such as pellets and their validation at commercial applications. At first the pelletization process is described in detail. The production cost of pellets amount to 80 €/t, whereas the energy consumptions to produce one dry ton of OTP pellet amount to 1,340 kWh primary energy. Then the

fuel properties of OTP pellets and hog fuel are analyzed, revealing their potential as industrial solid biofuels. In general, OTP fuels have a good energy content but differ to forest biomass in terms of higher ash content (at 5.5% (dry basis)). Thus, this type of biomass requires boilers with higher requirements in the systems dedicated to ash removal and mainly, based on fuel properties, addresses the industrial fuel market. Continuously, the research validated the use of OTP fuels in commercial boilers, comparing their performance and emissions to conventional fuels such as sunflower husk pellets and exhausted olive cake. More specifically, OTP pellets were validated at a 1.2 MWth biomass boiler of a greenhouse, on a 0.5 MWth biomass boiler of an olive mill and finally, at a 1 MWe biomass gasifier in operating conditions. In all three tests, the efficiency of the conversion technology was calculated along with the performance of emissions tests. The performance of the OTP fuels was compared with the reference fuels used at these industries. For example, in the first case, OTP pellets slightly decreased the boiler's efficiency by 3.5 percentage points compared to the reference fuel. The loss of efficiency was mostly related to the increased energy density of the OTP pellets compared to the sunflower pellets (24.8% higher). The higher energy density led to the decrease of the feeding rate by the boiler operator. However, the setting of the boiler was not optimum, thus higher losses were observed (high flue gas temperature). Apart from the slightly decreased efficiency, the emissions for OTP pellets were lower for CO, NO_x and CO₂. On the other hand, OGC emissions were much higher with OTP pellets compared to SH pellets. With both fuels, the boiler emissions were within the MCPD limits for NO_x and SO₂ emissions. However, dust emissions were high for both fuels. Overall, the results of the emission measurement campaigns highlighted the importance of choosing a modern combustion system, compatible with this type of biofuels that has all the necessary automations that will ensure a high efficiency and low emissions (e.g. automated control with lambda sensors, cyclone/ESP) and ease of use (automatic ash extraction). Adding to that, the fuel properties of the olive tree prunings are similar and, in some cases, even better than other industrial fuels.

The thesis further evaluates the economic feasibility of different olive tree pruning exploitation concepts, including the establishment of Integrated Biomass Logistic Centers (IBLCs), by meaning new business activities that could be implemented by agro-industries of the sector. Such concepts include: i) harvesting and selling OTP hog fuel in local industrial consumers; ii) producing OTP pellets and selling to the market; and iii) generating electricity from OTP in a power plant and selling it to the grid. A detailed cost analysis and discounted cash flow analysis were performed for each concept. The results indicate that the power plant concept, with guaranteed demand and fixed tariffs for electricity, is the most economically viable option, offering a sustainable and profitable way to valorize OTP.

Apart from bioenergy, the current thesis investigates the feasibility of producing particleboards from OTP, partially substituting conventional wood. The study evaluates the mechanical and physical properties of the produced particleboards, comparing them to commercial wood-based panels. More specifically, the mechanical properties of the panels were reduced by increasing the content of OTP. On the other hand, particleboard properties such as the formaldehyde emissions of the boards, along with the thickness swelling were reduced by increasing the substitution level, which makes the panels safer in terms of indoor pollution and human health and more consumer friendly, and attractive for the market. The results demonstrate that OTP can replace up to 40% of wood in particleboard production without compromising quality, offering a sustainable alternative and addressing timber shortages.

Further to the pilot production of particleboards, the current thesis explores the valorization of olive sector residues, such as olive mill wastewater (OMW), olive leaves, exhausted olive cake and two-phase/ three-phase pomace into added-value products like phenols. The research investigates the extraction and identification of phenols from the above-mentioned feedstock performed at laboratory tests in WFBR (Wageningen Food & Biobased Research, the Netherlands). The extracted phenols were investigated for their potential applications in cosmetics, pharmaceuticals, and nutraceuticals. The study investigates various extraction methods and solvents, emphasizing the importance of selecting appropriate techniques for maximizing phenol recovery and quality and discusses identified barriers and supportive policies for their commercialization.

The final chapter summarizes the main conclusions of the thesis highlighting the potential of an agricultural residue, such as OTP, as a valuable resource for bioenergy and added-value products. The research emphasizes on the importance of efficient harvesting, storage, and processing techniques to maximize the benefits of OTP utilization. In this light, the current thesis researches the whole OTP valorization value chain by also providing key-information and ready-to-implement solutions for addressing unexploited biomass resources such as OTP. The study also identifies areas for future research, such as fuel mixtures of OTP with other unexploited biomass feedstock, exploitation of OTP with alternative biomass conversion technologies along with the integration of carbon capture and storage technologies and/or biochar production, and production of other biochemicals (5-HMF, furfural, tetrahydrofuran) from OTP. By addressing these aspects, the research contributes to the advancement of a circular economy and sustainable development in the olive sector, with the aim of exploiting all the residues of the sector towards bioenergy and added-value products production.

Σύνοψη

Στόχος αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι η αξιοποίηση των υπολειμμάτων του κλάδου της ελιάς ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοενέργειας και προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Τα υπολείμματα του κλάδου της ελιάς αποτελούνται κυρίως από αγροτικά υπολείμματα, όπως τα κλαδέματα ελιάς (ΟΤΡ), τα φύλλα ελιάς, και από αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα, όπως ο διφασικός/τριφασικός ελαιοπυρήνας και ο κατσίγαρος. Η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώνεται κυρίως στις οδούς αξιοποίησης του ΟΤΡ, καθώς αποτελεί τον πιο αναξιοποίητο πόρο βιομάζας από τα παραπάνω. Η αναξιοποίητη δυνατότητα αυτού του αγροτικού υπολείμματος είναι εμφανής από το γεγονός ότι, μόνο στην Ελλάδα, ετησίως περισσότεροι από 2 εκατομμύρια ξηροί τόνοι ΟΤΡ είτε καίγονται σε ανοιχτές φωτιές είτε τεμαχίζονται και εναποθέτονται στο έδαφος. Το πρώτο καταστρέφει ανεξέλεγκτα το περιβάλλον, ενώ το δεύτερο ενέχει κινδύνους μετάδοσης φυτικών ασθενειών μέσω του εδάφους. Στόχος της διατριβής ήταν να αντιμετωπίσει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας, ξεκινώντας από τον αγρό και τη συγκομιδή των αγροτικών υπολειμμάτων, μέσω της μεταφοράς και αποθήκευσής τους, μέχρι την προεπεξεργασία τους σε χύδην καύσιμο ή pellets και τέλος την επικύρωσή τους μέσω της μετατροπής τους σε βιοενέργεια ή άλλα προϊόντα προστιθέμενης αξίας, π.χ. μοριοσανίδες, προσφέροντας έτσι μια ολιστική ανάλυση της αξιοποίησης του ΟΤΡ.

Η διατριβή ξεκινά με μια διεξοδική αξιολόγηση της διαθεσιμότητας βιομάζας από τον κλάδο της ελιάς στην Ελλάδα. Αναπτύχθηκαν πρωτόκολλα για τη διεξαγωγή αρχικών μετρήσεων πεδίου του ΟΤΡ. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες και περιλάμβαναν διαφορετικές ποικιλίες ελιάς, προκειμένου να παράσχουν μια ισχυρή βάση για την εκτίμηση του εθνικού δυναμικού ΟΤΡ. Με βάση αυτά τα δεδομένα, η έρευνα υποστήριξε την ανάπτυξη ενός εργαλείου GIS, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να εκτιμήσουν το δυναμικό ΟΤΡ εντός της επιθυμητής ακτίνας συλλογής. Αυτό το εργαλείο διευκολύνει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τη χρήση του ΟΤΡ σε συγκεκριμένες περιοχές. Μέσω μετρήσεων πεδίου και της ανάπτυξης του GIS εργαλείου, η μελέτη εκτιμά ότι το διαθέσιμο ΟΤΡ είναι γύρω στους 2 ξηρούς Mt ετησίως. Αυτός ο σημαντικός πόρος βιομάζας, ο οποίος αντιμετωπίζεται κυρίως ως απόβλητο μέσω της καύσης σε ανοιχτό πεδίο, αποτελεί σημαντική ευκαιρία για την παραγωγή βιοενέργειας και την ανάπτυξη μιας κυκλικής οικονομίας στον κλάδο της ελιάς. Η παρούσα διατριβή τονίζει τη σημασία της ακριβούς εκτίμησης της βιομάζας για τον καθορισμό αποτελεσματικών στρατηγικών συγκομιδής και διαχείρισης.

Στη συνέχεια, η διατριβή εμβαθύνει στη διαχείριση της συγκομιδής και της μεταφοράς των κλαδεμάτων ελιάς (ΟΤΡ). Περιγράφει λεπτομερώς μια διετή εκστρατεία μηχανοποιημένης συλλογής στην κεντρική Ελλάδα. Συνολικά, και για τα δύο έτη, η εκστρατεία συλλογής διήρκεσε 20 ημέρες, όπου συλλέχθηκαν περίπου 81 εκτάρια ελαιώνων, που αντιστοιχούσαν σε 252 ξηρούς τόνους υπολειμμάτων ΟΤΡ. Στόχος ήταν να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί μια αλυσίδα αξίας κινητοποίησης αγροτικών υπολειμμάτων ως προς την απόδοση, τα οικονομικά και τις αναλύσεις καυσίμου του ΟΤΡ που συλλέγεται. Μέσω λεπτομερούς παρακολούθησης, η παρούσα διατριβή συγκρίνει τα αποτελέσματα της μηχανοποιημένης συλλογής και για τα δύο έτη. Εν συντομία, η μέση απόδοση της μηχανοποιημένης συλλογής αυξήθηκε από 2,2 ξηρούς τόνους/ώρα (πρώτο έτος) σε 2,4 ξηρούς τόνους/ώρα (δεύτερο έτος), ενώ το αντίστοιχο κόστος συγκομιδής και μεταφοράς υπολογίστηκε σε 62,3 €/t (ξηρά βάση) και 63,7 €/t (ξηρά βάση), με εκτιμώμενο κόστος εμπορικής λειτουργίας τα 46,0 €/t (ξηρά βάση). Η μελέτη διαπιστώνει ότι η μηχανοποιημένη συλλογή είναι

οικονομικά εφικτή και φιλική προς το περιβάλλον, ειδικά όταν σχεδιάζεται στρατηγικά και βελτιστοποιείται ανά περίπτωση και περιοχή συλλογής.

Επιπλέον, η διατριβή εξετάζει περαιτέρω τον αντίκτυπο της αποθήκευσης του ΟΤΡ (τεμαχισμένη μορφή) στις ιδιότητες του ίδιου στερεού βιοκαυσίμου. Μέσω της διατριβής, πραγματοποιήθηκε η παρακολούθηση των απωλειών ξηρής ύλης κατά τη διάρκεια μιας πεντάμηνης περιόδου αποθήκευσης, συγκρίνοντας δύο τρόπους αποθήκευσης: i) ακάλυπτη αποθήκευση σε ανοιχτό χώρο και ii) αποθήκευση σε ανοιχτό χώρο καλυμμένη με αναπνέοντα μουςαμά (fleece). Κατασκευάστηκαν και παρακολούθηθηκαν δύο πανομοιότυποι κωνικοί σωροί από ΟΤΡ για τον υπολογισμό των μεταβολών στην ξηρή ύλη και την ενεργειακή αξία του αποθηκευμένου υλικού με την πάροδο του χρόνου. Ο ένας σωρός αφέθηκε ακάλυπτος, ενώ ο άλλος καλύφθηκε με ένα αναπνέοντα μουςαμά. Για κάθε σωρό, χρησιμοποιήθηκαν σάκοι για τη λήψη δειγμάτων για ανάλυση καθόλη τη διάρκεια αποθήκευσης. Συνολικά, ο καλυμμένος σωρός παρουσίασε βελτιωμένη απόδοση αποθήκευσης από τον ακάλυπτο σωρό, ο οποίος επηρεάστηκε πολύ περισσότερο από τις καιρικές συνθήκες. Ο καλυμμένος σωρός παρουσίασε i) χαμηλότερες απώλειες ξηρής ύλης μετά από πέντε μήνες αποθήκευσης με μέση τιμή 1,1 % σε σύγκριση με 4,6 % του ακάλυπτου σωρού, ii) σταθερή περιεκτικότητα σε υγρασία καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης περίπου στο 10 %, σε σύγκριση με την κυμαινόμενη περιεκτικότητα σε υγρασία του ακάλυπτου σωρού από 11 % έως 24 % και τέλος, iii) ανακτώμενο ενεργειακό κέρδος με μέση τιμή σωρού 12,1 % σε σύγκριση με την απώλεια ενέργειας 5,1 % στον ακάλυπτο σωρό, μετά την περίοδο αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κάλυψη των σωρών με fleece μειώνει σημαντικά τις απώλειες ξηρής ύλης και διατηρεί την ποιότητα του καυσίμου, προσφέροντας μια οικονομικά αποδοτική λύση αποθήκευσης για τις αλυσίδες αξίας που βασίζονται σε υπολείμματα κλαδέματος ελιάς (ΟΤΡ).

Αφού εξασφαλίστηκε η προμήθεια ΟΤΡ, η παρούσα διατριβή διερευνά τη μετατροπή του ΟΤΡ σε στερεά βιοκαύσιμα, όπως τα pellets, και την επικύρωσή τους σε εμπορικές/ βιομηχανικές εφαρμογές. Αρχικά, περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία παραγωγής pellets. Το κόστος παραγωγής των pellets ανέρχεται σε 80 €/t, ενώ η κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή ενός ξηρού τόνου pellet από ΟΤΡ ανέρχεται σε 1.340 kWh πρωτογενούς ενέργειας. Στη συνέχεια, αναλύονται οι ιδιότητες των καυσίμων των pellets και του hog fuel (χύδην) από ΟΤΡ, αποκαλύπτοντας τις δυνατότητές τους ως βιομηχανικά στερεά βιοκαύσιμα. Σε γενικές γραμμές, τα καύσιμα από υπολείμματα κλαδέματος ελιάς έχουν καλή ενεργειακή περιεκτικότητα, αλλά διαφέρουν από τη δασική βιομάζα ως προς την υψηλότερη περιεκτικότητα σε τέφρα, η οποία ανέρχεται σε 5,5% (ξηρή βάση). Έτσι, αυτός ο τύπος βιομάζας απαιτεί λέβητες με υψηλότερες απαιτήσεις στα συστήματα που προορίζονται για την απομάκρυνση της τέφρας και, κυρίως, με βάση τις ιδιότητες του καυσίμου, απευθύνεται στην αγορά βιομηχανικών καυσίμων.

Στη συνέχεια, η διατριβή επικύρωσε τη χρήση ΟΤΡ σε βιομηχανικούς λέβητες, συγκρίνοντας την απόδοση και τις εκπομπές τους με συμβατικά καύσιμα, όπως pellets από φλοιό ηλίανθου και πυρηνόξυλο. Πιο συγκεκριμένα, τα pellets ΟΤΡ δοκιμάστηκαν σε έναν λέβητα βιομάζας 1,2 MWth ενός θερμοκηπίου, σε έναν λέβητα βιομάζας 0,5 MWth ενός ελαιοτριβείου και τέλος, σε έναν αεριοποιητή βιομάζας 1 MWe σε συνθήκες λειτουργίας. Και στις τρεις δοκιμές, υπολογίστηκε η απόδοση της καύσης/ αεριοποίησης, ενώ μετρήθηκαν και οι εκπομπές και συγκρίθηκαν με τα καύσιμα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στις εν λόγω βιομηχανίες. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση, τα pellets ΟΤΡ μείωσαν ελαφρώς την απόδοση του λέβητα κατά 3,5 ποσοστιαίες

μονάδες σε σύγκριση με το καύσιμο αναφοράς. Η απώλεια απόδοσης σχετίζεται κυρίως με την αυξημένη ενεργειακή πυκνότητα των pellets OTP σε σύγκριση με τα pellets ηλίανθου (24,8% υψηλότερη). Η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα οδήγησε στη μείωση του ρυθμού τροφοδοσίας από τον χειριστή του λέβητα. Ωστόσο, η ρύθμιση του λέβητα δεν ήταν η βέλτιστη, επομένως παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες απώλειες (υψηλή θερμοκρασία καυσαερίων). Εκτός από την ελαφρώς μειωμένη απόδοση, οι εκπομπές CO, NO_x και CO₂ ήταν χαμηλότερες για τα pellets OTP. Αντιθέτως, οι εκπομπές αέριου οργανικού άνθρακα (OGC) ήταν πολύ υψηλότερες με τα pellets OTP σε σύγκριση με τα pellets ηλίανθου. Και με τα δύο καύσιμα, οι εκπομπές του λέβητα ήταν εντός των ορίων MCPD για τις εκπομπές NO_x και SO₂. Ωστόσο, οι εκπομπές σκόνης ήταν υψηλές και για τα δύο καύσιμα. Συνολικά, τα αποτελέσματα των μετρήσεων των εκπομπών ανέδειξαν τη σημασία της επιλογής ενός σύγχρονου συστήματος καύσης, συμβατού με αυτόν τον τύπο βιοκαυσίμων, που διαθέτει όλους τους απαραίτητους αυτοματισμούς που θα εξασφαλίζουν υψηλή απόδοση και χαμηλές εκπομπές (π.χ. αυτοματοποιημένος έλεγχος με αισθητήρες λάμδα, κυκλώνας, ESP φίλτρα) και ευκολία στη χρήση (αυτόματη εξαγωγή τέφρας). Επιπλέον, οι ιδιότητες των καυσίμων από τα υπολείμματα κλαδέματος ελιάς είναι παρόμοιες και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και καλύτερες από άλλα βιομηχανικά καύσιμα.

Η διατριβή αξιολογεί περαιτέρω την οικονομική σκοπιμότητα διαφορετικών σεναρίων εκμετάλλευσης των υπολειμμάτων κλαδέματος ελιάς, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας Ολοκληρωμένων Κέντρων Εφοδιαστικής Βιομάζας (IBLCs), με την έννοια των νέων επιχειρηματικών δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν από αγροτοβιομηχανίες του κλάδου. Τέτοια σενάρια περιλαμβάνουν: i) τη συγκομιδή και πώληση hog fuel (χύδην καύσιμο) από OTP σε τοπικούς βιομηχανικούς καταναλωτές, ii) την παραγωγή pellets από OTP και πώληση στην αγορά και iii) την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από OTP σε μονάδα παραγωγής ενέργειας και την πώλησή της στο δίκτυο. Για κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκε λεπτομερής ανάλυση κόστους και ανάλυση ταμειακών ροών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σενάριο της μονάδας παραγωγής ενέργειας, με εγγυημένη ζήτηση και σταθερή τιμή πώλησης για την ηλεκτρική ενέργεια, είναι η οικονομικά βιώσιμη επιλογή, προσφέροντας έναν βιώσιμο και κερδοφόρο τρόπο για την αξιοποίηση του OTP.

Εκτός από τη βιοενέργεια, η παρούσα διατριβή διερευνά και τη δυνατότητα παραγωγής μοριοσανίδων από υπολείμματα κλαδέματος ελιάς, υποκαθιστώντας εν μέρει το συμβατικό ξύλο. Η μελέτη αξιολογεί τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των παραγόμενων μοριοσανίδων, συγκρίνοντάς τις με τις εμπορικές μοριοσανίδες. Οι μηχανικές ιδιότητες των πάνελ μειώθηκαν με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης με OTP. Αντιθέτως, οι ιδιότητες των μοριοσανίδων, όπως οι εκπομπές φορμαλδεΐδης των σανίδων, μαζί με το πάχος διόγκωσης, μειώνονται με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης, γεγονός που καθιστά τα πάνελ ασφαλέστερα όσον αφορά τη ρύπανση εσωτερικών χώρων και την ανθρώπινη υγεία και πιο φιλικά προς τον καταναλωτή και ελκυστικά για την αγορά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα υπολείμματα κλαδέματος ελιάς μπορούν να αντικαταστήσουν έως και το 40% του ξύλου στην παραγωγή μοριοσανίδων χωρίς να διακυβεύεται η ποιότητα, προσφέροντας μια βιώσιμη εναλλακτική λύση και αντιμετωπίζοντας την έλλειψη ξυλείας.

Επιπλέον της πιλοτικής παραγωγής μοριοσανίδων, η παρούσα διατριβή διερευνά την αξιοποίηση των υπολειμμάτων του κλάδου της ελιάς, όπως τα λύματα των ελαιοτριβείων (OMW), τα φύλλα ελιάς, το πυρηνόξυλο και το διφασικό/τριφασικό ελαιοπυρήνα σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας όπως οι φαινόλες. Η έρευνα διερευνά την εκχύλιση και τον προσδιορισμό των φαινολών από τις προαναφερθείσες πρώτες ύλες που πραγματοποιήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές στο WFBR

(Wageningen Food & Biobased Research, Ολλανδία). Οι εξαγόμενες φαινόλες διερευνήθηκαν για τις πιθανές εφαρμογές τους σε καλλυντικά, φαρμακευτικά και διατροφικά προϊόντα. Η μελέτη αναλύει διάφορες μεθόδους εκχύλισης και διαλύτες, τονίζοντας τη σημασία της επιλογής κατάλληλων τεχνικών για τη μεγιστοποίηση της ανάκτησης και της ποιότητας της φαινόλης, καθώς και αναδεικνύει τα εμπόδια και τις απαιτούμενες υποστηρικτικές πολιτικές για την εμπορευματοποίησή τους.

Το τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζει τα κύρια συμπεράσματα της διατριβής, επισημαίνοντας τις δυνατότητες ενός αγροτικού υπολείμματος όπως το OTP ως πολύτιμου πόρου για βιοενέργεια και προϊόντα προστιθέμενης αξίας. Η έρευνα δίνει έμφαση στη σημασία των αποτελεσματικών τεχνικών συλλογής, αποθήκευσης και επεξεργασίας για τη μεγιστοποίηση των οφελών από τη χρήση του OTP. Υπό αυτό το πρίσμα, η παρούσα διατριβή ερευνά ολόκληρη την αλυσίδα αξιοποίησης του OTP παρέχοντας επίσης βασικές πληροφορίες και έτοιμες προς εφαρμογή λύσεις που αφορούν αναξιοποίητους πόρους βιομάζας όπως το OTP. Η μελέτη προσδιορίζει επίσης τομείς για μελλοντική έρευνα, όπως μείγματα καυσίμων OTP με άλλες αναξιοποίητες πρώτες ύλες βιομάζας, εναλλακτικές τεχνολογίες μετατροπής OTP μαζί με την ενσωμάτωση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα ή/και παραγωγή biochar (βιοεξανθράκωμα), καθώς και παραγωγή άλλων βιοχημικών (5-HMF, φουρφουράλη, τετραϋδροφουράνιο) από το OTP. Εξετάζοντας αυτές τις πτυχές, η έρευνα συμβάλλει στην πρόοδο μιας κυκλικής οικονομίας και βιώσιμης ανάπτυξης στον κλάδο της ελιάς, με στόχο την αξιοποίηση όλων των υπολειμμάτων του κλάδου για παραγωγή βιοενέργειας και προστιθέμενης αξίας προϊόντα.