

ΒΙΩΣΙΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕΣΩ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ, ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Π. Γεωργίου^{1*}, Φ. Ψαθάς², Α. Ρεντιζέλας²

¹ Τομέας Διοίκησης & Οργάνωσης, Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ρίο, Ελλάδα

² Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα

(*p.georgiou@upatras.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βιομάζα συνιστά μία βασική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κεντρικών και δεσπαρμένων συστημάτων είτε με απευθείας αξιοποίησή της ως ηλεκτρική και θερμική ενέργεια ή/και μέσω της μετατροπής της σε βιοκαύσιμα. Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές όπως ενεργειακές καλλιέργειες, αστικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, υπολείμματα γεωργίας και δασοκομίας κ.ά. Στην παρούσα μελέτη η εστίαση αφορά την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς και τον σχεδιασμό αποτελεσματικών εφοδιαστικών αλυσίδων στο πλαίσιο του περιορισμού της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος στον τομέα των μεταφορών, όπως ορίζεται από τους φιλόδοξους στόχους τους οποίους έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση^[1,2].

Ο σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας-βιοκαυσίμου αποτελεί μία σημαντική και απαιτητική διαδικασία για την οποία πρέπει να λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη η ισορροπία μεταξύ παραγωγικότητας και ευελιξίας, καθώς και οι διαστάσεις της βιωσιμότητας. Βασικοί επιδραστικοί παράγοντες αποτελούν τα εγγενή χαρακτηριστικά της βιομάζας: η αβεβαιότητα, η εποχικότητα και η διασπορά στη διαθεσιμότητά της^[3]. Στην παρούσα εργασία, επιχειρείται η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου το οποίο αναπαριστά ολόκληρη την αλυσίδα αξίας στα διαδοχικά στάδια της συγκομιδής, αποθήκευσης, μεταφοράς και μετατροπής της βιομάζας μέχρι την τελική παραγωγή βιοκαυσίμων. Έχει τη δυνατότητα συμπερίληψης και ομαδοποίησης μεγάλου αριθμού τοποθεσιών και διαφορετικών εκτάσεων καλλιέργειας ενεργειακών φυτών, υπολογισμού των αποστάσεων και χρήσης διαφόρων μέσων μεταφοράς, χωροθέτησης και διαστασιολόγησης αποθηκευτικών χώρων καθώς και επιλογής των κατάλληλων θερμοχημικών διεργασιών επεξεργασίας της βιομάζας με όρους επιλογής τεχνολογίας (Fast Pyrolysis, Supercritical Water Gasification - Fischer Tropsch Synthesis) και προσδιορισμού δυναμικότητας^[4]. Σημαντική καινοτομία αποτελεί η προσθήκη κινητών μονάδων επεξεργασίας της βιομάζας με σκοπό την αποκέντρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την αντιμετώπιση των προαναφερθεισών προκλήσεων της εποχικότητας και της αβεβαιότητας, και την ενίσχυση της ευελιξίας του όλου παραγωγικού συστήματος^[5]. Η μοντελοποίηση του όλου συστήματος πραγματοποιείται με χρήση του Μικτού Ακεραίου Γραμμικού Προγραμματισμού και έχει ως σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων με κριτήρια βελτιστοποίησης την τεχνικο-οικονομική και περιβαλλοντική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας^[6]. Τα αποτελέσματα επισημαίνουν την ύπαρξη μεθόδων συγκομιδής και συνδυασμού σταθερών και κινητών τεχνολογιών επεξεργασίας της βιομάζας οι οποίες συνδράμουν και στους δύο ανωτέρω στόχους μέσω της αύξησης της ενεργειακής απόδοσης και του περιορισμού του κόστους μεταφοράς.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βιομάζα, βιοκαύσιμα, βελτιστοποίηση, εφοδιαστική αλυσίδα, βιωσιμότητα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

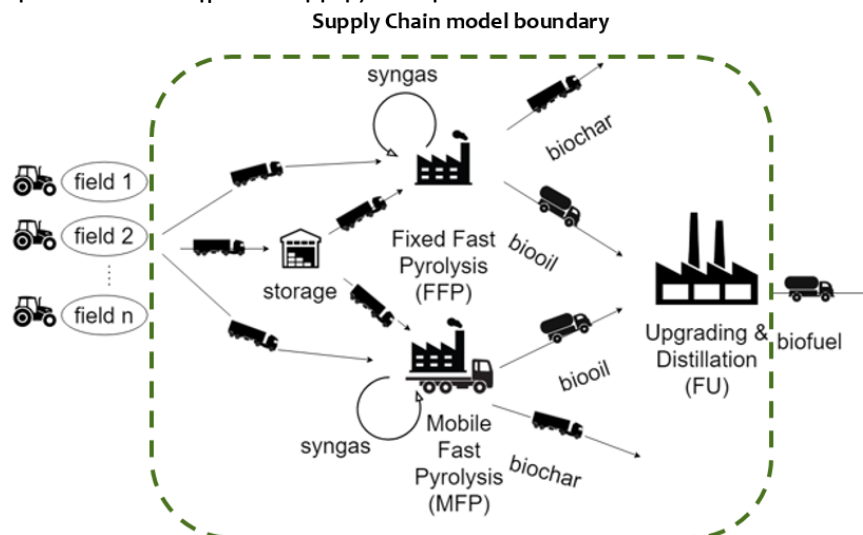
Η βιομάζα αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία συμμετέχει σε αλυσίδες παραγωγής δευτερογενών ενεργειακών μορφών, μηδενικού ή σχεδόν μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος, συμβάλλοντας στην επίτευξη μίας κλιματικά ουδέτερης οικονομίας^[1]. Ως βιομάζα χαρακτηρίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων^[7]. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για τον σχηματισμό βιοκαυσίμων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δίνει μεγάλη βαρύτητα στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς τα οποία μπορούν να προέρχονται και από λιγνοκυτταρικές πρώτες ύλες σε εκτάσεις οι οποίες δεν ανταγωνίζονται τους σκοπούς της κάλυψης των αναγκών σε τροφή και ζωοτροφή. Τα βιοκαύσιμα μαζί με την ηλεκτροκίνηση προωθούν την απανθρακοποίηση του τομέα των μεταφορών περιορίζοντας την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων. Σύμφωνα με την Οδηγία της ΕΕ για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας 2018/2001, η παραγωγή προηγμένων βιοκαυσίμων και βιοαερίου αναμένεται να αυξηθεί τουλάχιστον στο 1% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών το 2025 και τουλάχιστον στο 3,5% το 2030^[2].

Οι εφοδιαστικές αλυσίδες παραγωγής βιοκαυσίμων από βιομάζα αποτελούν πολύπλοκα συστήματα τα οποία εκτείνονται από τα στάδια της καλλιέργειας και συγκομιδής, της αποθήκευσης, στη συνέχεια της μετατροπής σε ενδιάμεσα προϊόντα (πρόδρομα βιοκαύσιμα) και τέλος στην αναβάθμιση/διύλιση και την τελική παραγωγή των βιοκαυσίμων, περιλαμβάνοντας μία σειρά από πόρους, τοποθεσίες, τεχνολογίες και διαδικασίες. Η οικονομική βιωσιμότητά τους εξαρτάται από πολλούς εγγενείς παράγοντες όπως η αβεβαιότητα, η εποχικότητα και η γεωγραφική διασπορά στη διαθεσιμότητα της βιομάζας^[3], αλλά και εξωγενείς παράγοντες όπως η μεταβαλλόμενη και ανταγωνιστική αγορά ενέργειας. Ο σχεδιασμός μίας εφοδιαστικής αλυσίδας βιομάζας-βιοκαυσίμου αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό εγχείρημα για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων, το οποίο συνήθως προσεγγίζεται μέσω της βελτιστοποίησης λαμβάνοντας υπόψη τεχνολογικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και λογικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, η κατασκευή μοντέλων Μαθηματικού Προγραμματισμού προσφέρει το κατάλληλο «οπλοστάσιο» για την αποτελεσματική αναπαράσταση και διαχείριση τέτοιων σύνθετων τεχνοοικονομικών συστημάτων με σκοπό τη συνταγογράφηση βιώσιμων βέλτιστων λύσεων οι οποίες αντανακλούν στρατηγικές, τακτικές ή/και επιχειρησιακές αποφάσεις.

Η βιβλιογραφία βρήκει από ενδιαφέρουσες μεθοδολογίες για τον σχεδιασμό εφοδιαστικών αλυσίδων βιομάζας-βιοκαυσίμου οι οποίες συνήθως ανήκουν στην κατηγορία του Μικτού Ακέραιου Γραμμικού Προγραμματισμού (ΜΑΓΠ). Η έρευνα των Moretti et al.^[6] ασχολείται με την αναπαράσταση οικονομικών κλίμακας σχετικά με τα επενδυτικά κόστη μονάδων αεριοποίησης βιομάζας. Οι Kwon & Han^[8] ανέπτυξαν ένα μοντέλο ΜΑΓΠ για τη βέλτιστη χωροθέτηση βιοδιυλιστηρίων. Οι Jonkman et al.^[9] έλαβαν υπόψη τους στόχους πολλαπλών ενδιαφερομένων μερών υπό το πρίσμα της ταυτόχρονης βελτιστοποίησης μίας οικονομικής και μίας περιβαλλοντικής αντικειμενικής συνάρτησης. Ειδικότερα για το θέμα της χρήσης κινητών μονάδων επεξεργασίας βιομάζας δεν υπάρχει μεγάλο πλήθος μελετών, χαρακτηριστική είναι εκείνη των Sharifzadeh et al.^[5] στην οποία το μοντέλο ΜΑΓΠ περιλαμβάνει κεντρικές, αποκεντρωμένες και κινητές εγκαταστάσεις πυρόλυσης με ενσωμάτωση της αβεβαιότητας. Οι Mirkouei et al. ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο με σταθερές και κινητές μονάδες επεξεργασίας βιομάζας, περιλαμβάνοντας οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια^[10]. Το άρθρο των Allman et al. ασχολείται με μία εφοδιαστική αλυσίδα μετατροπής αποβλήτων βιομάζας σε ενέργεια υπολογίζοντας τις αποστάσεις και τα κόστη μετεγκατάστασης κινητών αεριοποιητών βιομάζας^[11].

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μοντέλου το οποίο αναπαριστά την αλυσίδα αξίας παραγωγής βιοκαυσίμων περιλαμβάνοντας τα στάδια της συγκομιδής, αποθήκευσης, μεταφοράς και μετατροπής της βιομάζας. Η προτεινόμενη μεθοδολογία υιοθετεί μία πιο αποκεντρωμένη δομή εφοδιαστικής αλυσίδας, δίνοντας τη δυνατότητα εκτός από την ύπαρξη κεντρικών εγκαταστάσεων, να μετέχουν και κινητές μονάδες επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, μονάδες ταχείας πυρόλυσης δύνανται να βρίσκονται πιο κοντά στην πηγή (χωράφια βιομάζας) και μάλιστα ανάλογα με τις συνθήκες και το βέλτιστο καθεστώς λειτουργίας να μετακινούνται και σε άλλες «γειτονικές» εκτάσεις. Αυτή η προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα αντί να μεταφέρεται αποκλειστικά απευθείας η βιομάζα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, να επιτρέπεται τοπικά η μετατροπή της σε βιοέλαιο και εν συνεχεία αυτό όντας ένα ενδιάμεσο προϊόν υψηλότερου ενεργειακού περιεχομένου, λιγότερο ευαίσθητο στην αποσύνθεση, και με πιο συμφέρουσα τη διακίνησή του από τεχνικο-οικονομική άποψη (σε σύγκριση με την ακατέργαστη βιομάζα), να μεταφέρεται σε κεντρικές εγκαταστάσεις για περαιτέρω επεξεργασία (αναβάθμιση/διύλιση). Στην όλη προσομοίωση, λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά προγράμματα συγκομιδής της βιομάζας με σκοπό να διερευνηθεί το όφελος της συγκομιδής σε ένα στάδιο (μήνα) ή σε δύο στάδια (δύο μήνες). Η αποκέντρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας, μαζί με τις δυνατότητες μεταφοράς και αποθήκευσης, προσθέτουν μεγαλύτερη ευελιξία και επιλογές για τη βέλτιστη λειτουργία της, περιορίζοντας την επίδραση της μεταβλητότητας της διαθεσιμότητας της βιομάζας. Συγχρόνως, τα συνεπαγόμενα χαμηλότερα κόστη μεταφοράς του τοπικά παραγόμενου βιοελαίου επιτρέπουν την αξιοποίηση περισσότερων εκτάσεων βιομάζας οι οποίες μπορεί να βρίσκονται απομακρυσμένες μεταξύ τους και σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Το όλο μεθοδολογικό πλαίσιο συνοδεύεται από τη δυνατότητα λήψης δεδομένων από Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών και εν συνεχεία ομαδοποίησης των εκτάσεων καλλιέργειας ενεργειακών φυτών, με σκοπό μεν τη συμπερίληψη μεγαλύτερου αριθμού από αυτές αλλά παράλληλα και την αποτελεσματική μείωση της διάστασης και της πολυπλοκότητας του προβλήματος, προκειμένου να είναι εφικτή η επίλυσή του σε εύλογους χρόνους, αποδεκτούς για την ενσωμάτωσή του σε συστήματα λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 1. Εφοδιαστική αλυσίδα παραγωγής βιοκαυσίμων με τεχνολογία ταχείας πυρόλυσης βιομάζας

Το πρόβλημα της εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων από βιομάζα διατυπώνεται ως ένα αιτιοκρατικό μοντέλο ΜΑΓΠ το οποίο στην παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση της τεχνολογίας ταχείας πυρόλυσης (Fast Pyrolysis) και είναι βασισμένο στην προσφορά (supply driven) (βλ. Σχήμα 1)^[12]. Με κριτήριο τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους, προσδιορίζεται ο

βέλτιστος διαστασιολογικά και χωροταξικά, σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας, δίνοντας απαντήσεις σε καίρια ερωτήματα όπως:

- Ποιο είναι το βέλτιστο χρονοδιάγραμμα συγκομιδής της βιομάζας;
- Ποιος είναι ο αριθμός, το μέγεθος της δυναμικότητας και που θα γίνει η χωροθέτηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης και επεξεργασίας;
- Πόσες κινητές μονάδες ταχείας πυρόλυσης θα χρησιμοποιηθούν και ποια θα είναι η βέλτιστη δρομολόγησή τους;
- Πόσες ποσότητες βιομάζας, βιοελαίου, βιοάνθρακα και βιοκαυσίμων διακινούνται κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας;
- Πως διακυμαίνεται το συνολικό απόθεμα βιομάζας ανά μήνα;

Η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου βελτιστοποίησης αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση του ετήσιου συνολικού κέρδους λαμβάνοντας υπόψη δύο πηγές εσόδων και μία σειρά από ετήσια σταθερά και μεταβλητά κόστη.

$$\text{Maximize} (R^F + R^C - AIC - BC - SC - TC - CC - MIC) \quad (1)$$

Συγκεκριμένα, τα έσοδα προκύπτουν από την πώληση του μίγματος βιοκαυσίμων όπως αυτό εξάγεται από τη μονάδα αναβάθμισης/διύλισης, και τον βιοάνθρακα ο οποίος παράγεται (μαζί με το βιοέλαιο) από τις κινητές και σταθερές μονάδες ταχείας πυρόλυσης.

$$R^F = \left(\sum_p \sum_u \sum_t X_{p,\mu,t}^{PU} + \sum_m \sum_u \sum_t \sum_v X_{m,\mu,t,v}^{MU} \right) \cdot \eta^{FU} \cdot p^F \quad (2), \quad R^C = \left(\begin{array}{l} \left(\sum_f \sum_p \sum_t X_{f,p,t}^{FP} + \sum_s \sum_p \sum_t X_{s,p,t}^{SP} \right) \cdot \eta^{C-FFP} + \\ \left(\sum_f \sum_m \sum_t \sum_v X_{f,m,t,v}^{FM} + \sum_s \sum_m \sum_t \sum_v X_{s,m,t,v}^{SM} \right) \cdot \eta^{C-MFP} \end{array} \right) \cdot p^C \quad (3)$$

Αναφορικά με τα ετήσια κόστη, αυτά περιλαμβάνουν τα ετησιοποιημένα κόστη επένδυσης των εγκαταστάσεων (AIC), τις δαπάνες προμήθειας της βιομάζας (BC), το κόστος αποθήκευσης της βιομάζας (SC), τις δαπάνες μεταφοράς της βιομάζας και του βιοελαίου (TC), τα κόστη επεξεργασίας στα στάδια της ταχείας πυρόλυσης και της αναβάθμισης/διύλισης (CC), και τα κόστη συντήρησης και ασφάλισης των εγκαταστάσεων (MIC). Τα κόστη επένδυσης εμπεριέχουν οικονομίες κλίμακας οι οποίες αναπαριστώνται μέσω τμηματικά συνεχών συναρτήσεων κόστους ως προς αντίστοιχα διαστήματα έκφρασης του διαφοροποιημένου μεγέθους δυναμικότητας. Καθώς το πρόβλημα ανήκει στο ΜΑΓΠ, οι εν λόγω συναρτήσεις κόστους μετασχηματίζονται κατάλληλα (γραμμικοποιούνται) με την εισαγωγή βοηθητικών περιορισμών με τη συμμετοχή 0-1 και συνεχών μεταβλητών^[13].

Το μοντέλο περιλαμβάνει μία σειρά από εξισώσεις περιγραφής των ροών: α) της βιομάζας από τα χωράφια στα σημεία αποθήκευσης, β) της βιομάζας από τα χωράφια και τα σημεία αποθήκευσης στις κινητές και σταθερές μονάδες ταχείας πυρόλυσης, και γ) του βιοελαίου από τις κινητές και σταθερές μονάδες ταχείας πυρόλυσης στις εγκαταστάσεις αναβάθμισης/διύλισης. Ειδικά για την περίπτωση της αποθήκευσης της βιομάζας, ισχύει το κάτωθι ισοζύγιο ροής το οποίο συνδέει το τρέχον απόθεμα την χρονική περίοδο t με το υπάρχον απόθεμα βιομάζας τη χρονική περίοδο $t-1$, και τη διαφορά της εισερχόμενης βιομάζας τη χρονική περίοδο t με τις εξερχόμενες ποσότητες βιομάζας προς τις κινητές και σταθερές μονάδες μετατροπής.

$$I_{s,t} = I_{s,t-1} + \left(\sum_f X_{f,s,t}^{FS} - \sum_{fp} X_{s,p,t}^{SP} - \sum_m \sum_v X_{s,m,t,v}^{SM} \right) \quad \forall s \in S, t \in T \quad (4)$$

Το επόμενο ζεύγος μαθηματικών σχέσεων μοντελοποιεί τη συσχέτιση της συγκομιδής/παραγωγής βιομάζας με τον ρυθμό ανάπτυξης του ενεργειακού φυτού, λαμβάνοντας υπόψη τη στρεμματική απόδοση (t/ha) και την αγροτική έκταση. Η ύπαρξη της δυαδικής μεταβλητής μαζί με τον

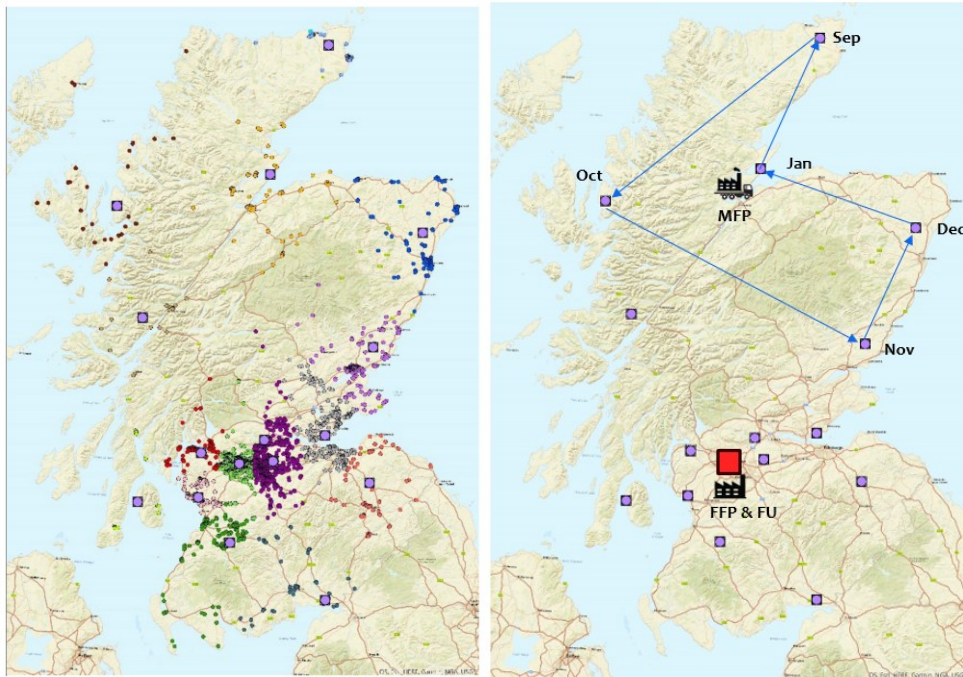
περιορισμό (6) ελέγχουν και δεσμεύουν τη χρονική περίοδο κατά την οποία συμφέρει η συγκομιδή της βιομάζας.

$$\sum_p X_{f,p,t}^{FP} + \sum_m \sum_v X_{f,m,t,v}^{FM} + \sum_s X_{f,s,t}^{FS} = B_{f,t}^F \cdot Q_t \cdot A_f \quad \forall f \in F, t \in T \quad (5), \quad \sum_t B_{f,t}^F \leq 1 \quad \forall f \in F \quad (6)$$

Το μοντέλο περιλαμβάνει τεχνικούς περιορισμούς οι οποίοι φράσσουν κατάλληλα ως προς τα τεχνικά μέγιστα και ελάχιστα τους διάφορους τύπους εγκαταστάσεων, ενώ εμπεριέχονται και συναρτήσεις οι οποίες υπολογίζουν τις εκπομπές CO₂eq κατά μήκος όλων των ενεργών διαδρομών μεταξύ χωραφιών και εγκαταστάσεων κατά τη μεταφορά της βιομάζας και του βιοελαίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η επίδειξη εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου αφορά συγκεκριμένες εκτάσεις στη Σκωτία^[12] οι οποίες γίνεται η υπόθεση ότι καλλιεργούνται με Reed Canary Grass (RCG) σύμφωνα με τη στρεμματική απόδοση η οποία έχει προσδιορισθεί στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Horizon 2020 CERESIS. Οι συγκεκριμένες εκτάσεις είναι αρκετά διασκορπισμένες (βλ. Σχήμα 2α) και κατά συνέπεια συνοδεύονται από υψηλότερα κόστη μεταφοράς σε σύγκριση με τις τυπικές ενεργειακές καλλιέργειες. Σε μία τέτοια κατάσταση αξίζει να διερευνηθεί η τεχνική και οικονομική χρησιμότητα των κινητών μονάδων επεξεργασίας της βιομάζας.

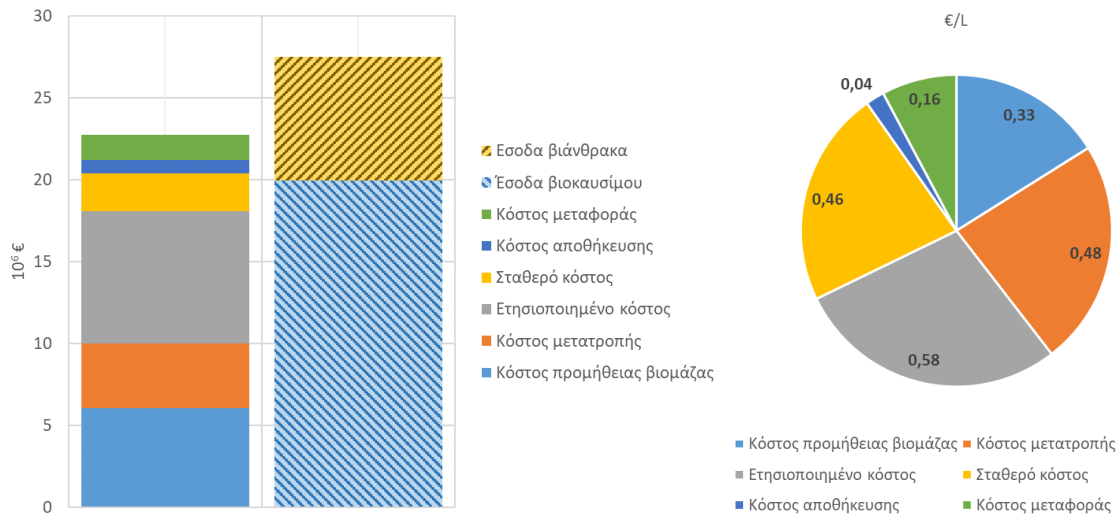


Σχήμα 2. α) Εκτάσεις βιομάζας και συστάδες εκτάσεων, β) Βέλτιστος σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής βιοκαυσίμων με τεχνολογία ταχείας πυρόλυσης βιομάζας

Το μοντέλο MAΓΠ υλοποιήθηκε παράλληλα σε περιβάλλον GAMS και στη γλώσσα Python ενώ για την επίλυσή του χρησιμοποιήθηκαν οι επιλύτες Gurobi και SCIP σε υπολογιστικό σύστημα Intel Core i7-12700KF @ 5.00 GHz με 32 GB RAM.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ένα σχήμα εφοδιαστικής αλυσίδας το οποίο περιλαμβάνει την εύλογη γειτνίαση μίας σταθερής εγκατάστασης ταχείας πυρόλυσης (FFP) δυναμικότητας 175 Mg/d με μία μονάδα αναβάθμισης/διύλισης (FU) 100 Mg/d, και την ύπαρξη μίας κινητής μονάδας ταχείας πυρόλυσης (MFP) 30 Mg/d (βλ. Σχήμα 2β). Η χωροθέτηση των σταθερών εγκαταστάσεων βρίσκεται εγγύτερα και κεντρικά σε πυκνώσεις εκτάσεων βιομάζας, ενώ η κινητή μονάδα εξυπηρετεί τη βορειότερη περιοχή όπου οι αντίστοιχες εκτάσεις είναι αρκετά διάσπαρτες. Μάλιστα, η κινητή μονάδα ταχείας πυρόλυσης προκύπτει ότι συμφέρει να μετακινείται μεταξύ των εκεί συστάδων εκτάσεων κατά το τελευταίο τετράμηνο του έτους. Το προκύπτον βιοκαύσιμο το

οποίο είναι ένα μίγμα diesel, gasoline και LPG αγγίζει τους 12 kt συνολικά, και ο παραγόμενος βιοάνθρακας είναι 30 kt όταν η συνολικά προσφερόμενη βιομάζα (RCG) είναι 73,3 kt. Στο Σχήμα 3α παρουσιάζεται η ανάλυση κόστους και τα έσοδα κατά τη λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας σε ετήσια βάση ενώ το Σχήμα 3β αποτυπώνει την προέλευση του κόστους του παραγόμενου βιοκαυσίμου.



Σχήμα 3. α) Ανάλυση κόστους και εσόδων της εφοδιαστικής αλυσίδας, β) Ανάλυση κόστους παραγωγής του βιοκαυσίμου

Γενικά, οι κεντρικές εγκαταστάσεις συνεχίζουν να είναι πιο οικονομικά συμφέρουσες λόγω αυξημένης παραγωγικότητας και επίτευξης οικονομιών κλίμακας, ωστόσο σε περίπτωση πολλών και διεσπαρμένων καλλιεργούμενων εκτάσεων βιομάζας, η προσθήκη κινητών μονάδων επεξεργασίας πέραν της προσδιόσμης ευελιξίας στο όλο σύστημα, δύναται να περιορίσει τα κόστη μεταφοράς και να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα λόγω της μεταφοράς του ενεργειακά πυκνότερου βιοελαίου αντί μέρους της ακατέργαστης βιομάζας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε με τη χρηματοδότηση της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών μέσω του προγράμματος «ΜΕΔΙΚΟΣ» και είναι μέρος του έργου CERESiS το οποίο χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης Horizon 2020 βάσει της συμφωνίας επιχορήγησης 101006717.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Parliament. (2019). OJ C 270, 2–20.
- [2] International Energy Agency. (2017). Technology roadmap: delivering sustainable bioenergy. IEA, Paris.
- [3] Leboreiro J, Hilaly AK. (2011). Bioresour. Technol., 102, 2712–2723.
- [4] Bridgwater AV. (2012). Biomass Bioenergy, 38, 68–94.
- [5] Sharifzadeh M, Garcia MC, Shah N. (2015). Biomass Bioenergy, 81, 401–414.
- [6] Moretti L, Milani M, Lozza GG, Manzolini G. (2021). Renew. Energy, 171, 159–175.
- [7] European Parliament and Council. (2018). OJ L 328, 82–209
- [8] Kwon O, Han J. (2021). Appl. Energy, 300, 117381.
- [9] Jonkman J, Kanellopoulos A, Bloemhof JM. (2019). J. Clean. Prod., 210, 1065–1075
- [10] Mirkouei A, Haapala KR, Sessions J, Murthy GS. (2017). Appl. Energy, 206, 1088–1101
- [11] Allman A, Lee C, Martín M, Zhang Q. (2021). Comput. Chem. Eng., 150, 107326.
- [12] Psathas F, Georgiou PN, Rentizelas A. (2022). Energies, 15, 14
- [13] Winston WL, Goldberg JB. (2004). Operations research: applications and algorithms, 4th ed., Thomson Brooks/Cole.