

## ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΛΑΔΕΜΑΤΩΝ ΑΜΠΕΛΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΒΙΟ-ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

**N. Κακλίδης<sup>1,2,\*</sup>, Ε. Πάπιστα<sup>1</sup>, Α. Λαμπρόπουλος<sup>1</sup>, Γ. Βαρβούτης<sup>1</sup>, Κ. Αθανασίου<sup>3</sup>, Μ. Κονσολάκης<sup>4</sup> και Γ.Ε. Μαρνέλλος<sup>1,2,5</sup>**

<sup>1</sup>Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα

<sup>2</sup>Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα

<sup>3</sup>Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, Ελλάδα

<sup>4</sup>Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα

<sup>5</sup>Ινστιτούτο Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων, ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

(\*[nkaklidis@uowm.gr](mailto:nkaklidis@uowm.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες, οι κλιματικές επιπτώσεις του υφιστάμενου ενεργειακού μίγματος και η εξάντληση των ορυκτών αποθεμάτων, καθιστούν επιτακτική την ανάπτυξη περισσότερο αποδοτικών και ανανεώσιμων ενεργειακών τεχνολογιών. Η βιομάζα αποτελεί μία ευρέως διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η Ελλάδα διαθέτει υψηλό δυναμικό βιομάζας (3.5-5 Mtoe), το οποίο προέρχεται κατά ~70% από αγροτικά υπολείμματα που δεν αξιοποιούνται επαρκώς, περιορίζοντας την δυναμική αυτού του ανανεώσιμου πόρου και τις οικονομικές προοπτικές του εθνικού πρωτογενή τομέα. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας πυρόλυσης κλαδεμάτων αμπελοκαλλιέργειών στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην κατανομή των προϊόντων της διεργασίας αεριοποίησης των παραγόμενων βιο-εξανθρακωμάτων και του πρωτογενούς καυσίμου, με χρήση CO<sub>2</sub> ή H<sub>2</sub>O ως μέσων αεριοποίησης. Τα προς μελέτη υλικά χαρακτηρίστηκαν μέσω στοιχειακής και προσεγγιστικής ανάλυσης καθώς και με τις μεθόδους φυσικής ρόφησης N<sub>2</sub> (BET) και θερμοβαρικής ανάλυσης (TGA). Παρατηρήθηκε ότι η απόδοση αεριοποίησης των βιο-εξανθρακωμάτων και του πρωτογενούς βιο-καυσίμου συνδέεται άμεσα με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή ζήτηση παγκοσμίως αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό και υπολογίζεται ότι θα ανέλθει σε 1000 EJ έως το 2050 <sup>[1]</sup>. Λόγω των δυσμενών συνεπειών της χρήσης ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον και σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες ανησυχίες που επιφέρει η μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, η επιστημονική έρευνα έχει εστιαστεί στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Η δημιουργία μίας βιο-κυκλικής οικονομίας αποτελεί θέμα υψίστης περιβαλλοντικής σημασίας στην κατεύθυνση της αειφόρου ανάπτυξης. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, η βιομάζα δύναται να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο με ουδέτερο αποτύπωμα άνθρακα σε διάφορες διεργασίες μετατροπής ενέργειας <sup>[1,2]</sup>. Η αεριοποίηση της βιομάζας έχει μελετηθεί εκτενώς τις τελευταίες δεκαετίες, κυρίως λόγω της δυνατότητας χρήσης των αέριων προϊόντων είτε απευθείας ως καύσιμα είτε ως πολύτιμα ενδιάμεσα χημικά είδη για την παραγωγή καυσίμων ή/και χημικών προϊόντων <sup>[3]</sup>. Οι γεωργικές, σε συνδυασμό με τις βιομηχανικές δραστηριότητες, αποτελούν τις κύριες πηγές υπολειμματικής βιομάζας, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μία τοπικά διαθέσιμη και ανανεώσιμη πρώτη ύλη, ενισχύοντας έτσι τις τοπικές οικονομίες και μειώνοντας τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διαχείριση των απορριμμάτων.

Στην παρούσα μελέτη διερευνάται η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας πυρόλυσης κλαδεμάτων αμπελοκαλλιέργειών (φρύξη και εξανθράκωση) στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην απόδοση αεριοποίησης τους, με χρήση CO<sub>2</sub> ή H<sub>2</sub>O ως μέσων αεριοποίησης. Τόσο τα παραγόμενα εξανθρακώματα όσο και η πρωτογενής βιομάζα χαρακτηρίστηκαν μέσω των τεχνικών στοιχειακής και προσεγγιστικής ανάλυσης, BET και TGA. Στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση της θερμοκρασίας

και της συγκέντρωσης του μέσου αεριοποίησης στην απόδοση της διεργασίας αεριοποίησης αλλά και στην κατανομή των παραγόμενων προϊόντων.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Παραγωγή και απόδοση βιο-εξανθρακωμάτων

Για την παραγωγή των βιο-εξανθρακωμάτων χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενή κλαδέματα αμπελοκαλλιεργειών (GV) με κοκκομετρία 0.2 – 3 mm, τα οποία αρχικά ξηράνθηκαν για 16 h στους 120 °C. Στην συνέχεια 75 gr του δείγματος GV εισήχθησαν σε σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα (Inconel® με ID = 8.5 cm και L = 68 cm), ο οποίος τοποθετήθηκε σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών για τη θερμική επεξεργασία πυρόλυσης της βιομάζας. Οι θερμοκρασίες κατεργασίας που επιλέχθηκαν ήταν 300 °C (φρύξη), 500 °C (ήπια εξανθράκωση) και 800 °C (εξανθράκωση), ενώ τα αντίστοιχα δείγματα βιο-εξανθρακωμάτων συμβολίζονται ως GV300, GV500 και GV800. Σε κάθε περίπτωση, η θερμική επεξεργασία έλαβε χώρα υπό ροή N<sub>2</sub> (250 cm<sup>3</sup>/min) και ρυθμό θέρμανσης 20 °C/min, ως την τελική θερμοκρασία εξανθράκωσης, η οποία διατηρούνταν σταθερή για 1 h. Στην συνέχεια τα δείγματα ψύχθηκαν με φυσικό τρόπο υπό την ίδια ροή N<sub>2</sub>. Για τον υπολογισμό της απόδοσης εξανθράκωσης, ζυγίζονταν το στερεό υπόλειμμα καθώς και τα υγρά προϊόντα που προκύπταν από τους συμπυκνώσιμους ατμούς, ενώ η απόδοση προς αέρια προϊόντα υπολογιζόταν από τη διαφορά του αρχικού βάρους της πρωτογενούς βιομάζας GV και του βάρους των στερεών και υγρών κλασμάτων της εξανθράκωσης.

### Χαρακτηρισμός καυσίμων

Τόσο το πρωτογενές καύσιμο όσο και τα παραγόμενα βιο-εξανθρακώματα χαρακτηρίστηκαν ως προς τη χημική σύσταση, το πορώδες (BET) και τη θερμική τους συμπεριφορά (TGA) υπό ροή αδρανούς (N<sub>2</sub>) και αντιδρώντος (CO<sub>2</sub>) ατμόσφαιρας.

### Αξιολόγηση ενεργότητας αεριοποίησης των καυσίμων

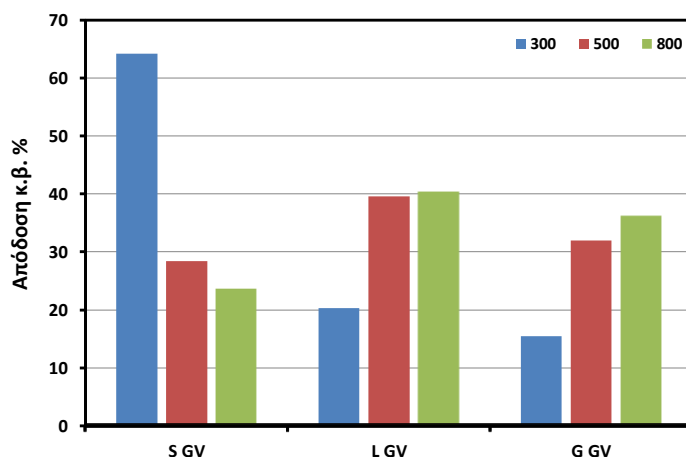
Η αξιολόγηση της ενεργότητας αεριοποίησης των βιο-καυσίμων πραγματοποιήθηκε σε αντιδραστήρα σταθερής κλίνης σχήματος U (ID = 0.8 cm) από χαλαζία. Η ποσότητα του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αεριοποίησης διαλείποντος λειτουργίας ήταν 100 mg. Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιήθηκε είτε καθαρό CO<sub>2</sub> ή μίγμα H<sub>2</sub>O/He σε συγκέντρωση 10 % κ.ο., ενώ και στις δύο περιπτώσεις ο ογκομετρικός ρυθμός τροφοδοσίας ανέρχονταν σε 30 cm<sup>3</sup>/min. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στο θερμοκρασιακό εύρος από 300-950 °C με σταθερό ρυθμό θέρμανσης 2 °C/min. Η ανάλυση των αερίων προϊόντων πραγματοποιήθηκε με χρήση αερίου χρωματογράφου (SHIMADZU 14B). Πριν από τους χαρακτηρισμούς και την αξιολόγηση ενεργότητας των βιο-καυσίμων όλα τα δείγματα ξηράνθηκαν σε μύλο κονιάματος και κοσκινίστηκαν σε εύρος μεγέθους σωματιδίων 100 – 200 μm.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας πυρόλυσης στην απόδοση εξανθράκωσης του GV

Στο Σχ. 1 απεικονίζεται η % κ.β. απόδοση προς στερεά (S), υγρά (L) και αέρια (G) προϊόντα της πυρόλυσης του πρωτογενούς GV στους 300, 500 και 800 °C. Όπως παρατηρείται, η αύξηση της θερμοκρασίας κατεργασίας ελαττώνει την %κ.β. απόδοση του στερεού κλάσματος από 64.2% στους 300 °C σε 28.4 και 23.6% στους 500 και 800 °C, αντίστοιχα. Αντίθετα, η %κ.β. απόδοση προς αέρια αυξάνεται κλιμακωτά από 15.5% στους 300 °C, σε 32 και 36% στους 500 και 800 °C, αντίστοιχα. Η παραπάνω συμπεριφορά συνάδει με παρόμοιες μελέτες πυρόλυσης στερεών ανθρακούχων καυσίμων, όπου παρατηρείται ότι η απόδοση προς στερεά αυξάνει με μείωση της θερμοκρασίας πυρόλυσης, ενώ η απόδοση προς αέρια προϊόντα αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας. <sup>[4]</sup> Στην περίπτωση των υγρών προϊόντων η απόδοση αυξάνει με

αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης, επιδεικνύοντας μία σταθεροποίηση στο θερμοκρασιακό διάστημα 500 – 800 °C (~40% κ.β.).



**Σχήμα 1.** Απόδοση %κ.β. προς στερεά (S), υγρά (L) και αέρια (G) προϊόντα μετά από θερμική επεξεργασία πυρόλυσης των πρωτογενών κλαδεμάτων αμπελοκαλλιέργειών, GV, στους 300, 500 και 800 °C.

### Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός καυσίμων

Η στοιχειακή και προσεγγιστική ανάλυση των καυσίμων έδειξε ότι με αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας μειώνεται η συγκέντρωση της πτητικής ύλης στα βιο-εξανθράκωματα λόγω της έκλυσης της, αυξάνοντας παράλληλα την περιεκτικότητα σε σταθερό άνθρακα και τέφρα (Πιν. 1).

**Πίνακας 1.** Στοιχειακή, προσεγγιστική ανάλυση και θερμογόνος δύναμη των καυσίμων.

	Στοιχειακή ανάλυση (κ.β.%)					Προσεγγιστική ανάλυση (κ.β.%)				Θερμογόνος Δύναμη (Kcal/kg)*	
	C	H	N	O	S	Υγρασία	Τέφρα	Πτητική ύλη*	Σταθερός άνθρακας	HHV	LHV
GV	47.0	5.7	1.0	41.4	0.06	7.2	4.8	76.4	11.6	4397	4118
GV300	56.3	5.4	1.1	33.2	0.0	4.1	3.9	63.5	28.5	5481	5217
GV500	77.1	2.9	1.5	10.0	0.0	4.6	8.6	17.7	69.1	7020	6876
GV800	81.7	1.0	1.4	5.0	0.1	4.7	10.8	7.1	77.3	6965	6917

\*επί ξηρού

Παράλληλα η αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης οδηγεί σε αύξηση της %κ.β. σύστασης σε άνθρακα συνοδευόμενη από σημαντική πτώση της περιεκτικότητας σε O και H οδηγώντας σε βιο-εξανθράκωματα με αυξημένη θερμογόνο δύναμη.

**Πίνακας 2.** Χαρακτηριστικά πορώδους δομής των προς μελέτη καυσίμων.

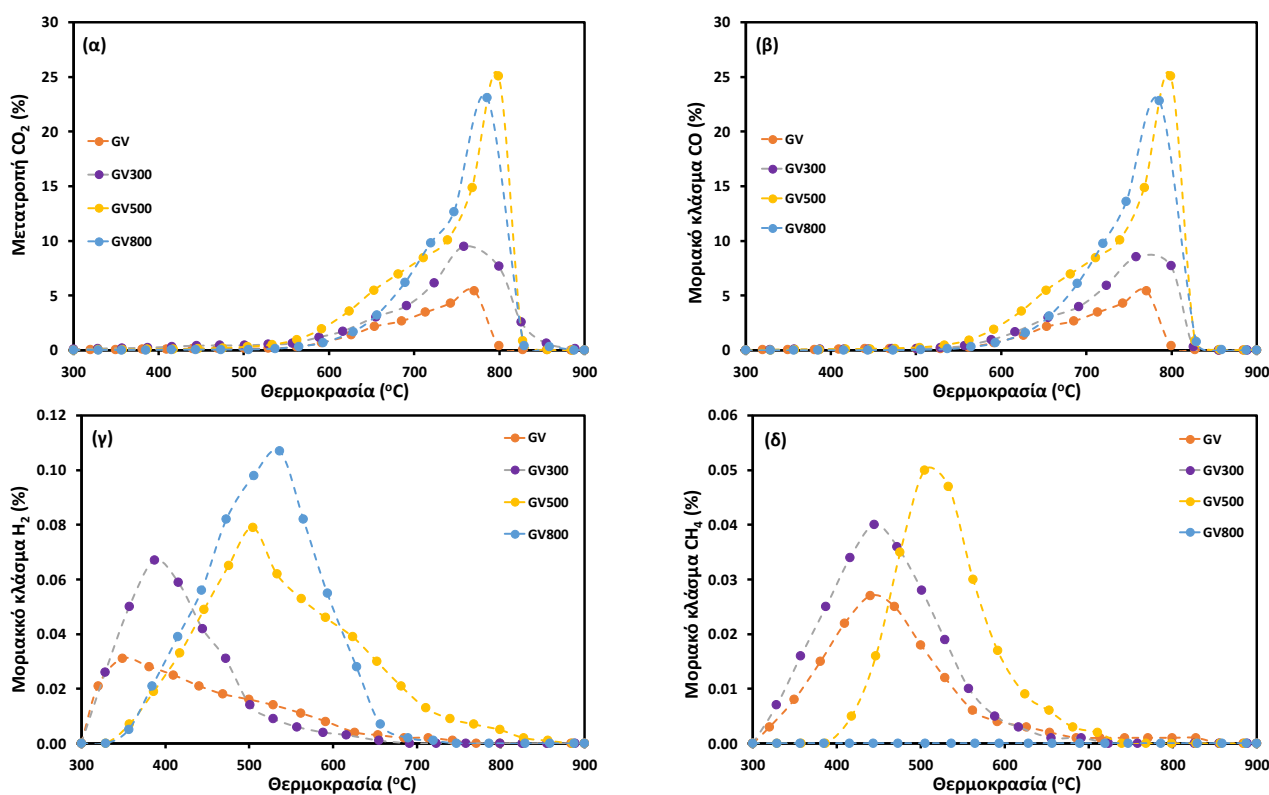
	$d_{He}$ (g/cc)	$d_{Hg}$ (g/cc)	Porosity (%)	$V_p$ (cc/g)	$V_{meso}$ (cc/g)	$V_{macro}$ (cc/g)	$V_{micro}$ (cc/g)	$S_{BET}$ (m <sup>2</sup> /g)
GV	1.47	0.80	46	0.66	0.19	0.47	0.00	<10
GV300	1.36	0.62	54	1.74	0.13	0.61	0.00	<10
GV500	1.44	0.51	65	1.28	0.11	1.17	0.00	<10
GV800	1.82	0.61	66	1.11	0.25	0.83	0.02	40

Η ανάλυση της πορώδους δομής των βιο-καυσίμων (Πιν. 2) έδειξε ότι η θερμική επεξεργασία του πρωτογενούς καυσίμου (GV) οδηγεί σε βιο-εξανθράκωμα με μεγαλύτερο πορώδες (~65% για τα

δείγματα GV500 και GV800 έναντι 46% για το δείγμα GV), το οποίο επιβεβαιώνεται και από την διαφορά που καταγράφεται στον όγκο των πόρων, όπου το δείγμα GV διαθέτει όγκο πόρων ίσο με  $0.66 \text{ cm}^3/\text{g}$  ενώ στο δείγμα GV500 ο αντίστοιχος όγκος πόρων ανέρχεται σε  $1.28 \text{ cm}^3/\text{g}$ , λόγω της σημαντικής αύξησης του όγκου των μακρο-πόρων. Η ολική επιφάνεια BET τόσο του πρωτογενούς καυσίμου όσο και των θερμικά επεξεργασμένων στους 300 και 500 °C είναι μικρότερη σε όλες τις περιπτώσεις από  $10 \text{ m}^2/\text{g}$ . Αύξηση της θερμοκρασίας κατεργασίας (800 °C) οδηγεί σε αύξηση της επιφάνειας (GV800,  $40 \text{ m}^2/\text{g}$ ), η οποία μπορεί να συνδεθεί με την αύξηση του μικρο-πορώδους. Στις μετρήσεις TGA τόσο σε ατμόσφαιρα  $\text{N}_2$  όσο και  $\text{CO}_2$ , παρατηρήθηκε ότι μικρότερη απώλεια βάρους σημειώνεται στο GV800, γεγονός που αποδίδεται στη μειωμένη περιεκτικότητα σε πτητική ύλη. Στην περίπτωση αντιδρώντος ατμόσφαιρας ( $\text{CO}_2$ ), η απώλεια βάρους για το δείγμα GV800 προσεγγίζει σχεδόν το 100% στην θερμοκρασία των 850 °C, υποδεικνύοντας την υψηλή του δραστηριότητα προς  $\text{CO}_2$ .

### Μελέτη αναμόρφωσης βιομάζας/βιο-εξανθρακωμάτων

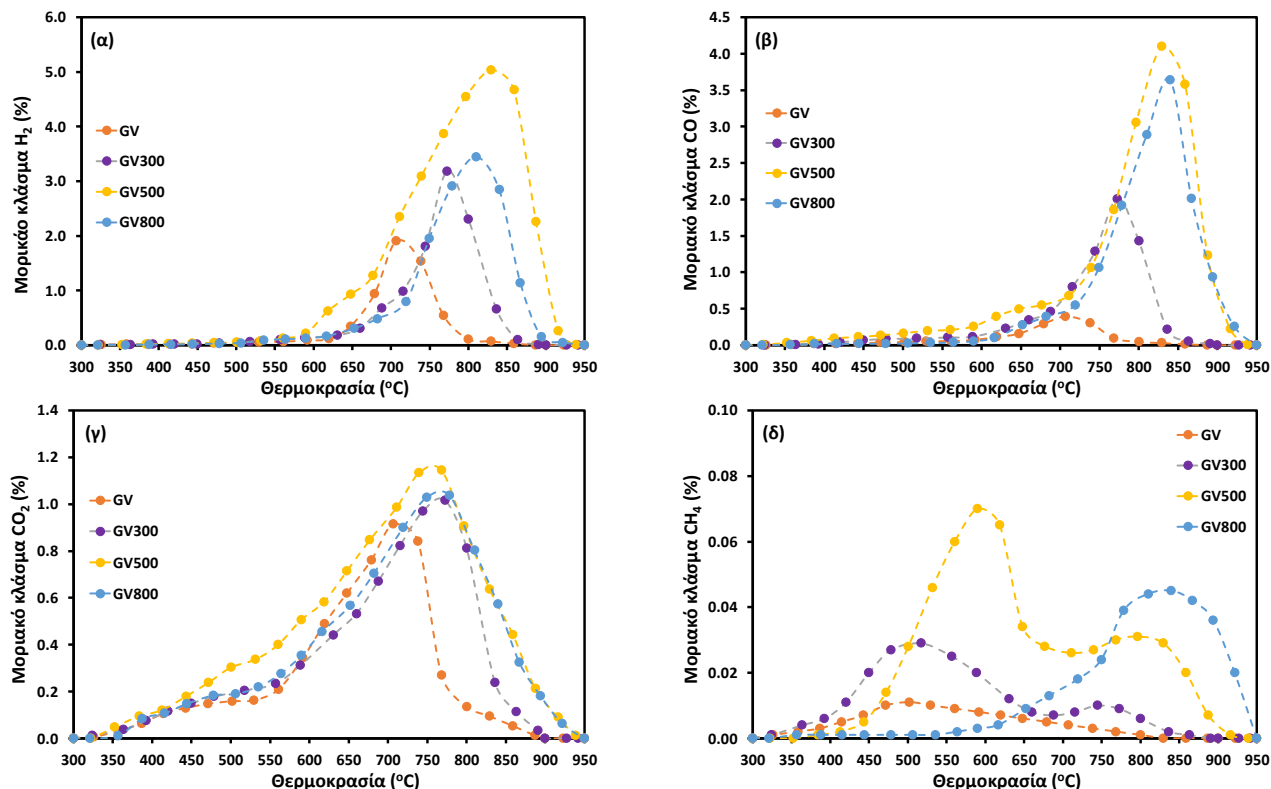
Στα διαγράμματα του Σχ. 2 παρουσιάζεται η μετατροπή του  $\text{CO}_2$  και η % συγκέντρωση των παραγόμενων αέριων προϊόντων ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  και  $\text{CH}_4$ ) ως προς την θερμοκρασία κατά την διεργασία αεριοποίησης των δειγμάτων με  $\text{CO}_2$ . Σε όλες τις περιπτώσεις, το  $\text{CO}$  ήταν το κυριότερο παραγόμενο προϊόν, με την συγκέντρωσή του να αυξάνει ραγδαία σε θερμοκρασίες άνω των 700 °C, όπου ευνοείται η αντίστροφη αντίδραση Boudouard [5]. Σε χαμηλές και ενδιάμεσες θερμοκρασίες παρατηρήθηκε η παραγωγή μικρών ποσοτήτων  $\text{H}_2$  και  $\text{CH}_4$ , η οποία πιθανόν να προέρχεται από την εναπομένουσα πτητική ύλη των δειγμάτων και από αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην αέρια φάση. Αξίζει να σημειωθεί η σημαντική αύξηση της δραστηριότητας αεριοποίησης των καυσίμων με αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας πυρόλυσης, με την υψηλότερη απόδοση να επιδεικνύεται από τα δείγματα GV500 και GV800.



**Σχήμα 2.** Επίδραση του τύπου βιο-εξανθρακώματος στη μετατροπή του  $\text{CO}_2$  και στο σχηματισμό των προϊόντων κατά την αεριοποίησή τους με  $\text{CO}_2$ . Τροφοδοσία: 100 mg καυσίμου, Ροή  $\text{CO}_2$ :  $30 \text{ cm}^3/\text{min}$ .

Κατά τη μελέτη της αναμόρφωσης με υδρατμούς (Σχ. 3), τα κύρια προϊόντα που παρατηρήθηκαν ήταν το  $\text{H}_2$  και το  $\text{CO}$ , ακολουθούμενο από  $\text{CO}_2$  λόγω της αντίδρασης μετατόπισης του υδραερίου,

και αμελητέες ποσότητες CH<sub>4</sub> τόσο κατά την έκλυση της υφιστάμενης πτητικής ύλης σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τους 700 °C, που ευνοούνται οι αντιδράσεις αεριοποίησης. Η παραγόμενη κατά mole αναλογία H<sub>2</sub>/CO ήταν περίπου ίση με 1, κατάλληλη για τροφοδοσία σε διεργασία Fischer-Tropsch προς παραγωγή συνθετικών καυσίμων.



**Σχήμα 3.** Επίδραση του τύπου βιο-εξανθρακώματος στο σχηματισμό των προϊόντων κατά την αεριοποίησή τους με H<sub>2</sub>O. Τροφοδοσία: 100 mg καυσίμου, Ροή H<sub>2</sub>O: 30 cm<sup>3</sup>/min.

Στον Πιν. 3 αποτυπώνεται η παραγωγή προς CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> εκφρασμένη σε mmol, η οποία υπολογίστηκε από την ολοκλήρωση των αντίστοιχων καμπυλών.

**Πίνακας 3.** Παραγωγή προϊόντων κατά την αεριοποίηση των καυσίμων.

Αεριοποίηση με CO <sub>2</sub>				
	Παραγωγή CO (mmol)	Παραγωγή H <sub>2</sub> (mmol)	Παραγωγή CH <sub>4</sub> (mmol)	
GV	3.84	0.37	0.28	
GV300	7.13	0.55	0.39	
GV500	14.33	0.97	0.39	
GV800	12.71	1.08	0.00	
Αεριοποίηση με H <sub>2</sub> O				
	Παραγωγή CO <sub>2</sub> (mmol)	Παραγωγή CO (mmol)	Παραγωγή H <sub>2</sub> (mmol)	Παραγωγή CH <sub>4</sub> (mmol)
GV	1.01	0.33	1.09	0.02
GV300	1.30	1.34	1.92	0.04
GV500	1.81	3.39	5.40	0.10
GV800	1.53	2.58	2.69	0.06

Γενικά παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας της βιομάζας οδηγεί σε περισσότερο ενεργά βιο-εξανθρακώματα, με τις βέλτιστες αποδόσεις αεριοποίησης τόσο με CO<sub>2</sub>

όσο και με H<sub>2</sub>O, ως μέσων αεριοποίησης να επιτυγχάνονται στην περίπτωση των GV500 και GV800, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα και του υψηλού πορώδους (όγκος μέσο- και μακρο-πόρων, ειδική επιφάνεια) που επιδεικνύουν σε σύγκριση με το πρωτογενές καύσιμο, GV, και το εξανθράκωμα στους 300 °C, GV300.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επίδραση της θερμικής πυρόλυσης κλαδεμάτων αμπελοκαλλιέργειών στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην κατανομή των προϊόντων της διεργασίας αεριοποίησης των παραγόμενων βιο-εξανθρακωμάτων, με χρήση CO<sub>2</sub> ή H<sub>2</sub>O ως μέσων αεριοποίησης. Στην περίπτωση χρήσης CO<sub>2</sub> ως μέσου αεριοποίησης, το κύριο προϊόν ήταν το CO, του οποίου η παραγωγή ξεκινάει στους ~550 °C και αυξάνεται σημαντικά μετά τους 700 °C. Ως δευτερεύοντα προϊόντα παρατηρήθηκαν H<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> σε πολύ μικρότερες ποσότητες, τα οποία εκλύονται σε χαμηλές θερμοκρασίες λόγω κυρίως της έκλυσης της υφιστάμενης πτητικής ύλης και των αντιδράσεων στην αέρια φάση. Στα πειράματα αεριοποίησης με H<sub>2</sub>O, το παραγόμενο αέριο μίγμα αποτελείται κυρίως από H<sub>2</sub> και CO σε κατά mole αναλογία ίση περίπου με 1, ακολουθούμενο από CO<sub>2</sub> λόγω της αντίδρασης μετατόπισης του υδραερίου, και αμελητέες ποσότητες CH<sub>4</sub>. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διεργασία εξανθράκωσης στους 500 και 800 °C οδηγεί σε περισσότερο δραστικά βιο-εξανθρακώματα λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, των βελτιωμένων χαρακτηριστικών πορώδους δομής και της υψηλότερης ειδικής επιφάνειας. Η επίδραση των συγκεντρώσεων των μέσων αεριοποίησης, τόσο στο πρωτογενές καύσιμο όσο και στο GV500, έδειξε ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του μέσου αεριοποίησης, αυξάνονται και οι ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων χωρίς να παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην κατανομή τους.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Απευθείας Μετατροπή Βιομάζας σε Ηλεκτρική Ενέργεια στην περιοχή της Μεσογείου διαμέσου Κυψελών Καυσίμου Εσωτερικής Καταλυτικής Αεριοποίησης» (DB-SOFC, κωδικός έργου: Τ8ΕΡΑ2-00005) της Δράσης Εθνικής Εμβέλειας «ERA-NETS 2018 - ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ Ε&Τ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ - ΠΡΑΞΗ ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΠΟΥ ΣΥΜΜΕΤΕΙΧΑΝ ΕΠΙΤΥΧΩΣ ΣΕ ΚΟΙΝΕΣ ΠΡΟΚΗΡΥΞΕΙΣ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ERA-NETS» που συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ).

Ο Δρ. Ν. Κακλίδης εκφράζει τις ευχαριστίες του στη πράξη «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ/ΕΡΕΥΝΗΤΡΙΩΝ» του Ε.Π «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», 2014-2020, η οποία υλοποιείται από το Ι.Κ.Υ. και συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και το Ελληνικό δημόσιο.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. Ladanai, J. Vinterback. Global Potential of Sustainable Biomass for Energy, Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden (2009).
- [2] A. Demirbas. Prog. Energy Combust. Sci. 30 (2004) 219-230.
- [3] N. Mahinpey, A. Gomez. Chem. Eng. Sci. 148 (2016) 14-31.
- [4] J.S. Tumuluru, S. Sokhansanj, J.R. Hess, C.T. Wright, R.D. Boardman. Industrial Biotechnology 7(5) (2011) 384-401.
- [5] M. Konsolakis, N. Kaklidis, V. Kyriakou, I. Garagounis, T. Kraia, A. Arenillas, J.A. Menéndez, R. Strandbakke, G.E. Marnellos. Solid State Ionics 317 (2018) 268-275.