

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΕΞΑΝΘΡΑΚΩΜΑΤΩΝ

Α. Λαμπρόπουλος¹, Ν. Κακλίδης^{1,2,*}, Ε. Πάπιστα¹, Β. Μπίνας³, Μ. Λυκάκη⁴, Μ. Κονσολάκης⁴, Γ.Ε. Μαρνέλλος^{1,2,5}

¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα

²Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα

³Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας, Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ, Ηράκλειο, Ελλάδα

⁴Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα

⁵Ινστιτούτο Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων, ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

(*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 ενεργειακών τεχνολογιών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα σε ποσοστό που ξεπερνά το 75%. Στην Ελλάδα, η ηλεκτροπαραγωγή στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στην χρήση των αποθεμάτων λιγνίτη στους συμβατικούς κύκλους ισχύος των ατμοηλεκτρικών σταθμών, υπό την ταυτόχρονη έκλυση μεγάλων ποσοτήτων CO₂ ανά μονάδα παραγόμενης ισχύος. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση των συνθηκών πυρόλυσης του λιγνίτη στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην ενεργότητα αεριοποίησης των παραγόμενων εξανθρακωμάτων. Τα καύσιμα χαρακτηρίστηκαν με ποικίλες μεθόδους συμπεριλαμβανομένου της στοιχειακής και προσεγγιστικής ανάλυσης, XRF, SEM/EDS, BET, SEM, TGA και της υπέρυθρης φασματοσκοπίας μετασχηματισμού Fourier. Παρατηρήθηκε μία στενή συσχέτιση ανάμεσα στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και την απόδοση της αντίδρασης αεριοποίησης των παραγόμενων εξανθρακωμάτων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρακας αποτελεί το φθηνότερο και το πιο άφθονο ορυκτό καύσιμο, καλύπτοντας κατά προσέγγιση το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας ^[1]. Παρόλο που ο λιγνίτης αποτελεί το 45% των παγκόσμιων αποθεμάτων άνθρακα (5 δις. τόνοι στην Ελλάδα), η ευρεία χρήση του περιορίζεται εξαιτίας της μεγάλης του περιεκτικότητας σε υγρασία, της χαμηλής θερμιδικής του αξίας και της αναφλεξιμότητας του. Ως εκ τούτου, η χρήση του λιγνίτη ως καύσιμο συνδέεται με διάφορα ζητήματα όπως η χαμηλή θερμική απόδοση και οι υψηλές εκπομπές ρύπων ανά παραγόμενη MWh. Συνεπώς, εναλλακτικές τεχνολογίες αξιοποίησης του λιγνίτη, όπως η πυρόλυση και η αεριοποίηση θεωρούνται μείζονος σημασίας προς την κατεύθυνση ομαλούς μετάβασης σε μία οικονομία χαμηλού άνθρακα ^[2]. Η αεριοποίηση του άνθρακα τυπικά λαμβάνει χώρα στο θερμοκρασιακό εύρος 700 – 1200 °C, παράγοντας ένα αέριο μίγμα αποτελούμενο από H₂, CO, CO₂, CH₄ και ελαφρούς υδρογονάνθρακες, με τη σύσταση του να εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. θερμοκρασία, μέσο αεριοποίησης, χρόνος παραμονής, κ.α.). Η αεριοποίηση με CO₂ παράγει σχεδόν αποκλειστικά CO, ενώ το H₂O ως μέσο αεριοποίησης οδηγεί σε ένα μείγμα πλούσιο σε H₂ με υψηλή θερμαντική αξία ^[3]. Το εξανθράκωμα είναι το στερεό προϊόν της διεργασίας πυρόλυσης σε αδρανή ατμόσφαιρα, κατά την οποία παράγονται επιπλέον συμπυκνώσιμοι ατμοί (υγρό κλάσμα) και μη συμπυκνώσιμα αέρια ^[4]. Η πυρόλυση χαμηλής αξίας ανθράκων όπως ο λιγνίτης, οδηγεί σε εξανθρακώματα με καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά καυσίμου σε σχέση με το πρωτογενή άνθρακα. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση των συνθηκών πυρόλυσης του λιγνίτη στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στην ενεργότητα αεριοποίησης (με χρήση CO₂ ή H₂O ως μέσα αεριοποίησης) των παραγόμενων εξανθρακωμάτων.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Παραγωγή εξανθρακωμάτων

Για τα εξανθρακώματα χρησιμοποιήθηκε λιγνίτης (LG) από την περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε σύνθλιψη του LG σε σπαστήρα τύπου σιαγόνα σε σωματίδια μεγέθους 1 – 3 mm. Στην συνέχεια μέρος του δείγματος εισήχθη σε σωλήνα από ανοξείδωτο χάλυβα (Inconel® με ID = 8.5 cm και L = 68 cm), ο οποίος τοποθετήθηκε σε φούρνο υψηλών θερμοκρασιών (Carbolite GVA 12/300) για τη θερμική επεξεργασία του λιγνίτη παρουσία αδρανούς ατμόσφαιρας. Οι θερμοκρασίες κατεργασίας που επιλέχθηκαν ήταν 300 °C (φρύξη), 500 °C (ήπια εξανθράκωση) και 800 °C (εξανθράκωση), ενώ τα αντίστοιχα δείγματα εξανθρακωμάτων συμβολίζονται ως LG300, LG500 και LG800. Σε κάθε περίπτωση, η θερμική επεξεργασία έλαβε χώρα υπό ροή N₂ (250 cm³/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 N₂. 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 του πρωτογενούς λιγνίτη και του βάρους των στερεών και των υγρών κλασμάτων της εξανθράκωσης.

Χαρακτηρισμός καυσίμων

Τόσο το πρωτογενές καύσιμο όσο και τα παραγόμενα εξανθρακώματα χαρακτηρίστηκαν με ποικίλες μεθόδους ως προς τη χημική σύσταση (στοιχειομετρική και προσεγγιστική ανάλυση, XRF, EDS), την ειδική επιφάνεια BET, τη θερμική συμπεριφορά (TGA), τη μορφολογία (SEM), καθώς και με φασματοσκοπία υπέρυθρου.

Αξιολόγηση ενεργότητας αεριοποίησης των καυσίμων

Η αξιολόγηση της ενεργότητας αεριοποίησης των καυσίμων πραγματοποιήθηκε σε αντιδραστήρα χαλαζία σταθερής κλίνης σχήματος U (ID = 0.8 cm). Η ποσότητα του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα αεριοποίησης διαλείποντος λειτουργίας ήταν 100 mg. Ως μέσο αεριοποίησης χρησιμοποιήθηκε είτε καθαρό CO₂ ή μίγμα H₂O/He σε συγκέντρωση 10 % κ.ό., ενώ και στις δύο περιπτώσεις ο ογκομετρικός ρυθμός τροφοδοσίας ανερχόταν σε 30 cm³/min. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν σε θερμοκρασιακό εύρος 300-950 °C με σταθερό ρυθμό θέρμανσης 2 °C/min. Η ανάλυση των αέριων προϊόντων πραγματοποιήθηκε με χρήση αέριου χρωματογράφου (SHIMADZU 14B). Πριν από τους χαρακτηρισμούς και την αξιολόγηση της ενεργότητας των καυσίμων όλα τα δείγματα ξηράθηκαν σε μύλο κονιάματος και κοσκινίστηκαν σε εύρος μεγέθους σωματιδίων 100 – 200 μm.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός καυσίμων

Η στοιχειακή και προσεγγιστική ανάλυση τόσο του πρωτογενούς λιγνίτη όσο και των παραγόμενων εξανθρακωμάτων απεικονίζεται στον Πίνακα 1. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία πυρόλυσης, το οξυγόνο και η περιεκτικότητα σε πτητική ύλη μειώνονται ενώ ο σταθερός άνθρακας και η τέφρα αυξάνονται. Σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά υφής των δειγμάτων, η ολική επιφάνεια BET (Πίνακας 2) αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας της θερμικής επεξεργασίας του πρωτογενούς λιγνίτη (7.1 m²/gr). Τα εξανθρακώματα στους 500 και 800 °C επέδειξαν ειδική επιφάνεια BET ίση με 19.5 και 190.6 m²/gr, αντίστοιχα. Ο πρωτογενής λιγνίτης (LG) εξετάστηκε με την θερμοβαρυντική μέθοδο (TGA) τόσο σε αδρανή (N₂) όσο και σε αντιδρώσα (O₂) ατμόσφαιρα. Στην πρώτη περίπτωση, παρατηρήθηκε απώλεια μάζας σε θερμοκρασιακό εύρος 300 – 700 °C, η οποία αποδίδεται στην έκλυση της ασθενώς δεσμευμένης πτητικής ύλης, όπως παρατηρείται και κατά την πυρόλυση του λιγνίτη. Μικρότερη απώλεια μάζας παρατηρήθηκε σε θερμοκρασία άνω

των 700 °C, η οποία οφείλεται σε πιθανές ανακατατάξεις της υφιστάμενης ανθρακικής ύλης. Υπό ατμόσφαιρα καθαρού O₂, παρατηρήθηκε απότομη απώλεια μάζας, εμφανίζοντας μία έντονη εξώθερμη κορυφή στους 440 °C ακολουθούμενη από μία μικρότερη στους 550 °C, που αποδίδονται στην αποδόμηση των φαινυλομάδων, στη διάσπαση του διπλού δεσμού C=C και στην μερική μετάβαση της ανθρακικής ύλης σε πλαστική κατάσταση [5].

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

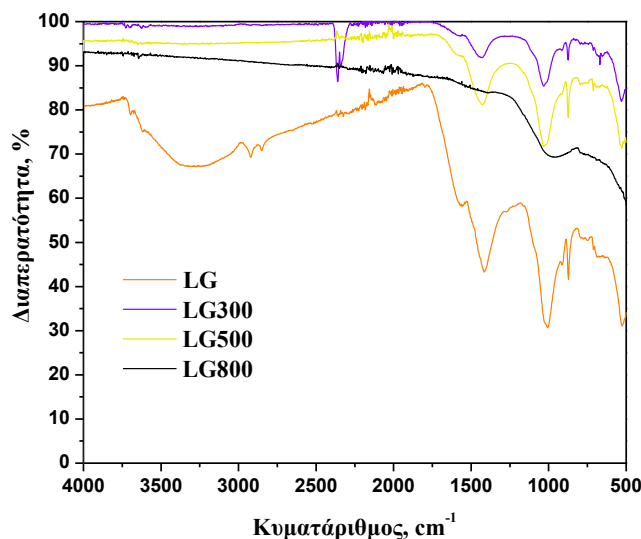
	Στοιχειακή ανάλυση (κ.β.%)					Προσεγγιστική ανάλυση (κ.β.%)					Θερμογόνος Δύναμη (Kcal/kg)*	
	C	H	N	O	S	Υγρασία	Τέφρα*	Πτητική ύλη*	CO ₂ *	Σταθερός άνθρακας*	HHV	LHV
LG	34.88	2.97	0.94	-	1.07	48.11	41.01	39.81	7.46	19.18	3054.0	2895.0
LG300	34.28	3,04	1.03	18.20	1.32	2.32	42.13	41.28	7.54	16.59	3133.9	2971.0
LG500	33.72	1,05	1.00	14.22	1.12	2.35	48.90	30.70	9.23	20.40	2894.0	2837.8
LG800	32.16	0.70	0.79	3.25	1.17	1.38	61.93	13.13	7.64	24.94	2869.0	2831.4

* επί ξηρού

Πίνακας 2. Ειδική επιφάνεια BET του πρωτογενή λιγνίτη και των παραγόμενων εξανθρακωμάτων.

Δείγμα	LG	LG300	LG500	LG800
S _{BET} (m ² /g)	7.174	4.487	19.468	190.626

Τα αποτελέσματα της υπέρυθρης φασματοσκοπίας μετασχηματισμού Fourier (FT-IR) απεικονίζονται στο Σχήμα 1. Διαφοροποιήσεις στα φάσματα παρατηρήθηκαν σε εύρη κυματαριθμών μεταξύ 3700 – 3000 cm⁻¹ και 1800 – 1400 cm⁻¹. Στους κυματαριθμούς 3700 – 3000 cm⁻¹ παρατηρούνται κορυφές που αποδίδονται στην παρουσία υδροξυλομάδων, οι οποίες εκλείπουν στα θερμικά επεξεργασμένα δείγματα επιβεβαιώνοντας την μειωμένη περιεκτικότητα σε υγρασία των εξανθρακωμάτων (Πίνακας 1).



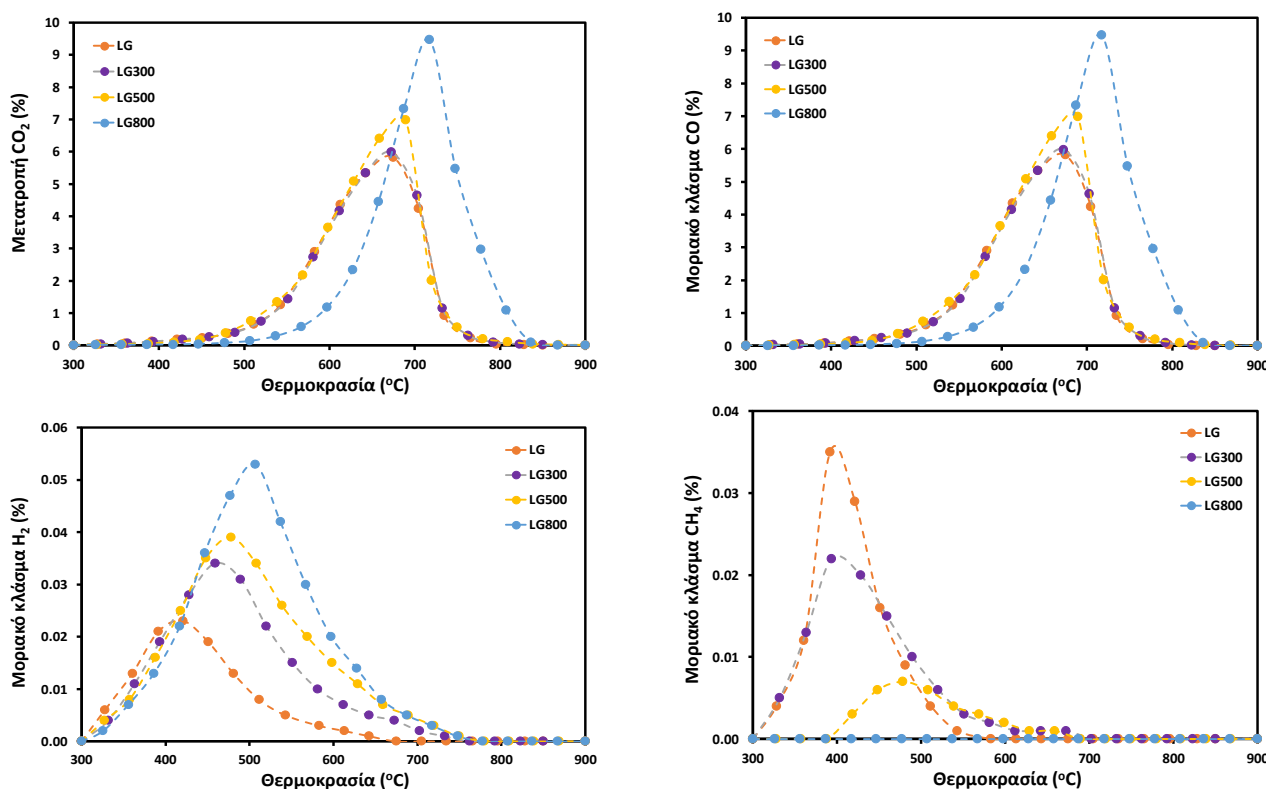
Σχήμα 1. Φάσματα υπέρυθρης φασματοσκοπίας των υπό εξέταση καυσίμων

Οι κορυφές που παρατηρούνται σε χαμηλότερους κυματαριθμούς (1800 – 1400 cm⁻¹) αποδίδονται στην ύπαρξη του διπλού αρωματικού δεσμού C=C, καρβονυλικών και καρβοξυλικών ομάδων. Με αύξηση της θερμικής επεξεργασίας, παρατηρείται μία δραστική ελάττωση της

έντασης αυτών των κορυφών, υποδεικνύοντας την μείωση του πληθυσμού των προαναφερόμενων ομάδων και την τάση προς ανθρακοποίηση των παραγόμενων εξανθρακωμάτων ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης της πτητικής ύλης και της αναδιοργάνωσης του ανθρακικού περιεχομένου [6]. Από την ανάλυση SEM/EDS προκύπτει ότι τα ανόργανα στοιχεία είναι ομοιογενώς κατανομημένα με τη μορφή συσσωματωμάτων και αποτελούνται κυρίως από ενώσεις Ca και Si, σε συμφωνία με την ανάλυση XRF της τέφρας των δειγμάτων.

Μελέτη αεριοποίησης καυσίμων

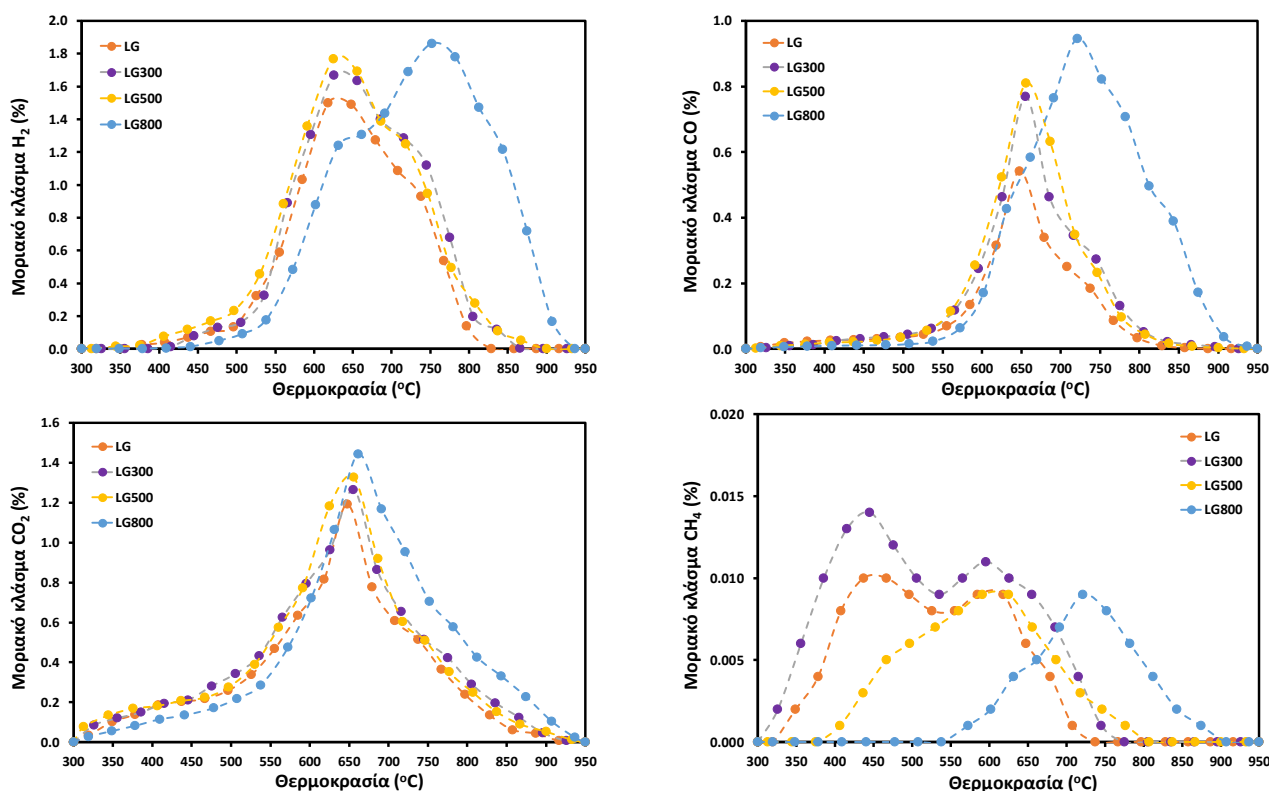
Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η μετατροπή του CO₂ και η % συγκέντρωση των παραγόμενων αέριων προϊόντων ως προς την θερμοκρασία κατά την διεργασία αεριοποίησης των δειγμάτων με CO₂.



Σχήμα 2. Ενεργότητα αεριοποίησης με καθαρό CO₂ των υπό εξέταση καυσίμων. Τροφοδοσία: 100 mg καυσίμου, Ροή CO₂: 30 cm³/min.

Η απόδοση προς CO αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας πυρόλυσης με την εξής σειρά δραστηριότητας: LG800>LG500>LG300>LG. Έκτος από CO, σε χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρήθηκε η παραγωγή μικρών ποσοτήτων H₂ και CH₄, η οποία αποδίδεται στην έκλυση της πτητικής ύλης αλλά και σε παράλληλες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην αέρια φάση [7]. Η συγκέντρωση του παραγόμενου μεθανίου ελαττώνεται με την θερμική επεξεργασία των δειγμάτων, γεγονός που συμφωνεί και με τη μειωμένη περιεκτικότητα σε πτητική ύλη των εξανθρακωμάτων (Πίν. 1).

Κατά την μελέτη ενεργότητας των καυσίμων παρουσία υδρατμών (Σχ. 3), τα κύρια προϊόντα που παρατηρήθηκαν ήταν το H₂, το CO₂ λόγω της αντίδρασης μετατόπισης του υδραερίου (WGS), και το CO, ακολουθούμενα από αμελητέες ποσότητες CH₄ σε χαμηλές θερμοκρασίες λόγω της απελευθέρωσης της πτητικής ύλης. Σε όλες τις περιπτώσεις, παρατηρείται ξεκάθαρα ένα κατώφλι στην παραγωγή του H₂ στους ~700 °C, όπου η περαιτέρω παραγωγή του αποδίδεται στις αντιδράσεις αεριοποίησης με μοριακούς λόγους παραγωγής [H₂/(CO + CO₂)] ίσους περίπου με 1.



Σχήμα 3. Ενεργότητα αεριοποίησης με μίγματα 10% κ.ο. H_2O/He των υπό εξέταση καυσίμων. Τροφοδοσία: 100 mg καυσίμου, Ροή H_2O/He : $30\text{ cm}^3/\text{min}$.

Στον Πίνακα 3 αποτυπώνεται η παραγωγή προς CO_2 , CO , H_2 και CH_4 εκφρασμένη σε mmol, η οποία υπολογίστηκε από την ολοκλήρωση των αντίστοιχων καμπυλών. Γενικά διαπιστώνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επεξεργασίας του λιγνίτη οδηγεί σε περισσότερα ενεργά εξανθρακώματα, με τις βέλτιστες αποδόσεις προς παραγωγή αερίων προϊόντων, τόσο με χρήση καθαρού CO_2 όσο και μιγμάτων H_2O/He ως μέσων αεριοποίησης, να επιτυγχάνονται στην περίπτωση του LG800, λόγω των βελτιωμένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών (πορώδους δομής, ειδικής επιφάνειας BET και υψηλής περιεκτικότητας σε σταθερό άνθρακα) και της απουσίας των αρωματικών δεσμών $C=C$, $C=O$ και $C=N$, των οποίων η διάσπαση ευνοείται αυξάνοντας την θερμοκρασία της θερμικής επεξεργασίας.

Πίνακας 3. Παραγωγή προϊόντων κατά την αεριοποίηση των καυσίμων.

Αεριοποίηση με CO_2				
	Παραγωγή CO (mmol)	Παραγωγή H_2 (mmol)	Παραγωγή CH_4 (mmol)	
LG	5.09	0.021	0.02	
LG300	5.11	0.037	0.019	
LG500	5.55	0.046	0.006	
LG800	6.54	0.056	0.000	
Αεριοποίηση με H_2O				
	Παραγωγή CO_2 (mmol)	Παραγωγή CO (mmol)	Παραγωγή H_2 (mmol)	Παραγωγή CH_4 (mmol)
LG	1.36	0.44	1.73	0.016
LG300	1.58	0.58	2.03	0.024
LG500	1.61	0.62	2.16	0.013
LG800	1.74	1.06	2.73	0.001

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επίδραση της θερμικής πυρόλυσης Ελληνικού λιγνίτη στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στην κατανομή των προϊόντων της διεργασίας αεριοποίησης των παραγόμενων εξανθρακωμάτων, με χρήση CO₂ ή H₂O ως μέσων αεριοποίησης. Στην περίπτωση χρήσης CO₂ ως μέσου αεριοποίησης, το κύριο προϊόν ήταν το CO. Ως δευτερεύοντα προϊόντα παρατηρήθηκαν H₂ και CH₄ σε πολύ μικρότερες ποσότητες, τα οποία παράγονται σε χαμηλές θερμοκρασίες κυρίως λόγω της έκλυσης της υφιστάμενης πτητικής ύλης και των αντιδράσεων στην αέρια φάση. Στα πειράματα αεριοποίησης με H₂O, το παραγόμενο αέριο μίγμα αποτελείται από H₂ και CO₂, ακολουθούμενο από CO και αμελητέες ποσότητες CH₄. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική κατεργασία του πρωτογενή λιγνίτη (LG) στους 800 °C, οδηγεί σε περισσότερο δραστικά εξανθρακώματα, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί επί τη βάση των παρόντων αποτελεσμάτων στα βελτιωμένα χαρακτηριστικά υφής και δομής που επιτυγχάνονται σε υψηλές θερμοκρασίες πυρόλυσης καθώς και στην υψηλή περιεκτικότητα σε σταθερό άνθρακα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ-01894).

Η μεταδιδακτορική έρευνα του κ. Κακλίδη πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πράξης «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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kaklidis N., Garagounis I., Kyriakou V., Besikiotis V., Arenillas A., Menendez J.A., Marnellos G.E., Konsolakis M. International Journal of Hydrogen Energy 40 (41) (2015) 14353-14363.
- [2] Ma, X., Zhao, X., Gu, J., Shi, J. Renewable Energy 132 (2019) 509-514.
- [3] Parthasarathy P., Narayanan K.S. Renewable Energy 66 (2014) 570-579.
- [4] Zhu, S., Bai, Y., Hao, C., Li, F., Bao, W. Journal of CO₂ Utilization 19 (2017) 9-15.
- [5] Iordanidis A., Georgakopoulos A., Markova K., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A. Thermochimica Acta 371 (2001) 137-141.
- [6] Meng F., Yu J., Tahmasebi A., Han Y., Zhao H., Lucas J., Wall T. Energy and Fuels 28(1) (2014) 275-284.
- [7] Yergey A.L., Lampe F.W., Fuel 53 (1974) 281