



ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ H_2/CO

Λαμπρόπουλος Α.¹, Μπίνας Β.², Νταλαούτη Α.³, Σταματάκης Κ.³, Κονσολάκης Μ.⁴, Μαρνέλλος Γ.Ε.^{1,5}

¹ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη

² Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λείζερ, Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας, Ηράκλειο

³ Κέντρο Δοκιμών Ερευνών & Προτύπων, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., Παλλήνη, Αττική

⁴ Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

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

Η εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής με τίτλο

“Αποδοτική μετατροπή λιγνίτη προς ηλεκτρική ενέργεια με ταυτόχρονη χρήση βιομάζας σε κυψέλη καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη υποβοηθούμενη μέσω εσωτερικής και εξωτερικής καταλυτικής αεριοποίησης”

Περιεχόμενα

- Ο ρόλος του άνθρακα στο παγκόσμιο και εγχώριο ενεργειακό σύστημα
- Συμβατικές vs εναλλακτικές τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης λιγνίτη

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- Παραγωγή εξανθρακωμάτων
- Μέθοδοι χαρακτηρισμού των καυσίμων
- Αεριοποίηση λιγνίτη και παραγόμενων εξανθρακωμάτων

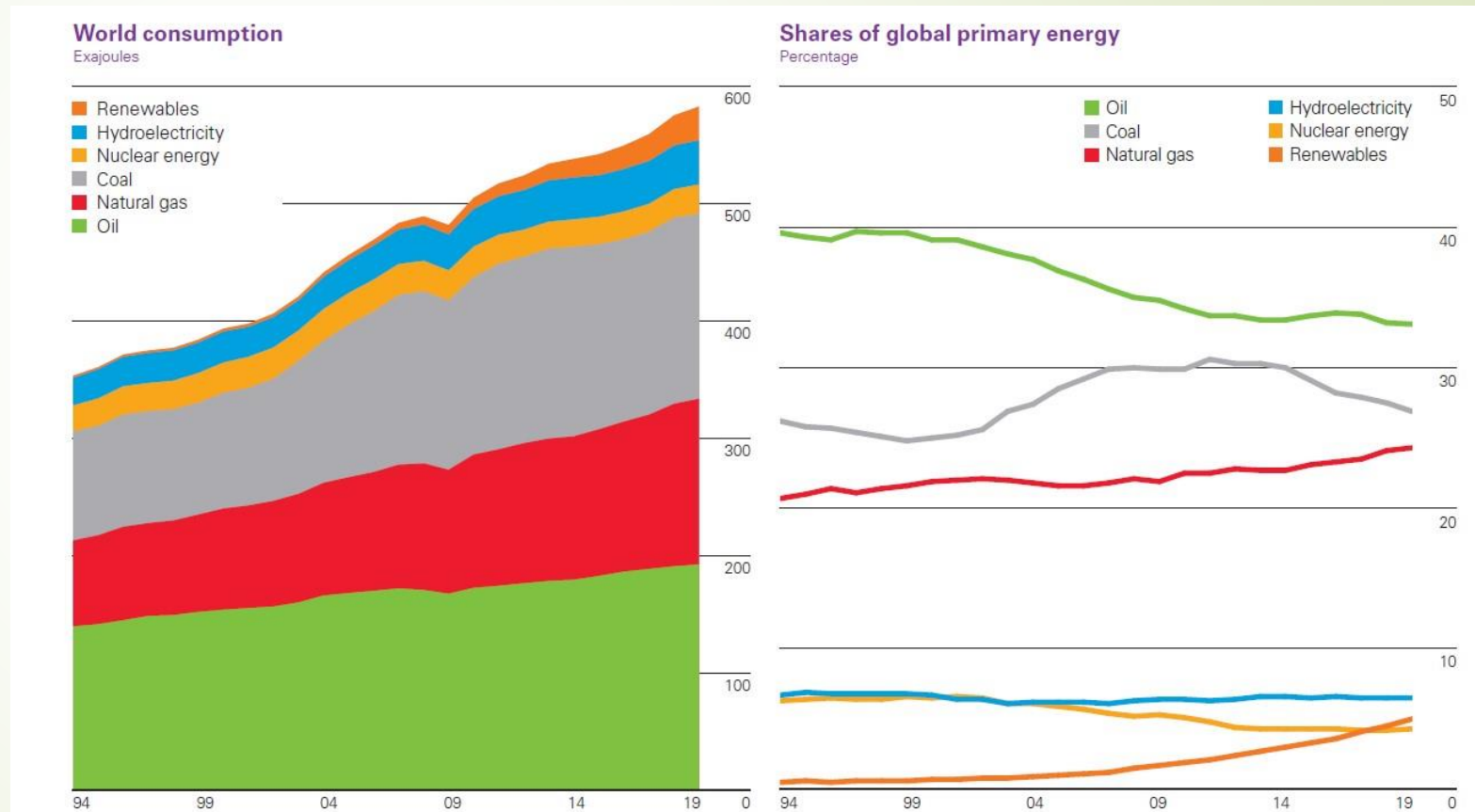
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

- Αεριοποίηση καυσίμων με μίγμα $\text{H}_2\text{O}/\text{He}$
- Αεριοποίηση καυσίμων με μίγμα $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{He}$

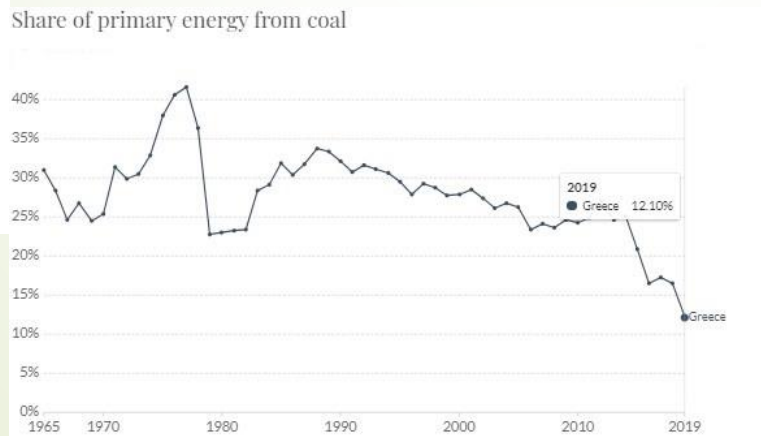
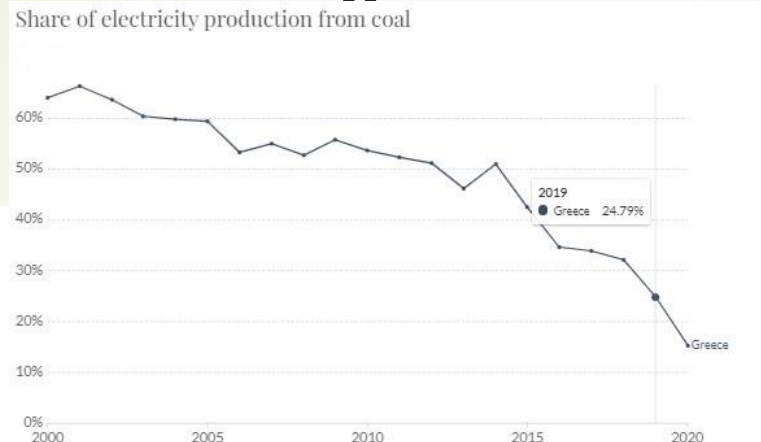
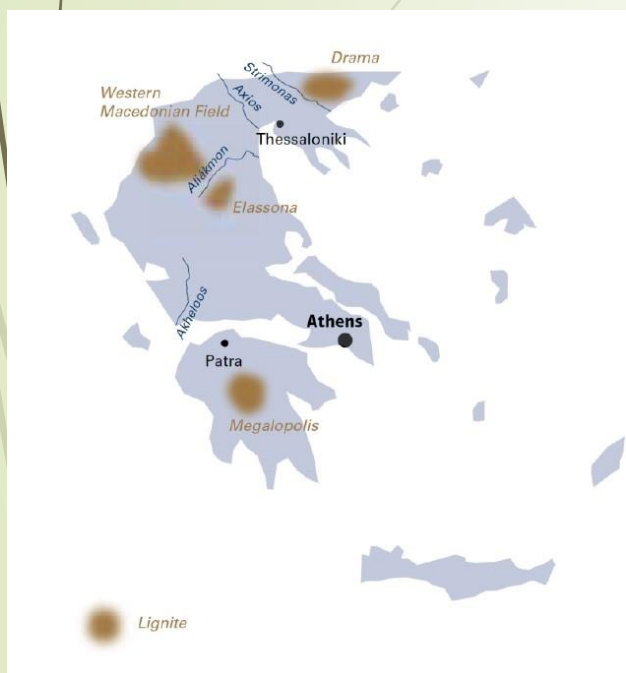
- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ρόλος του άνθρακα στο Παγκόσμιο και Εγχώριο ενεργειακό σύστημα

- Αποτελεί το φθηνότερο και πιο άφθονο ορυκτό καύσιμο καλύπτοντας περίπου το 30% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.
- Ο λιγνίτης (άνθρακας χαμής θερμικής αξίας / 1261-1615 kcal/kg) αποτελεί το 45% των παγκόσμιων αποθεμάτων άνθρακα



Ο ρόλος του άνθρακα στο Παγκόσμιο και Εγχώριο ενεργειακό σύστημα



- Συνολικά αποθέματα λιγνίτη ≈ 5 δισ. τόνοι
- Ενεργειακά εκμετ. αποθέματα λιγνίτη ≈ 3.2 δισ. τόνοι
- Με βάση το σημερινό ρυθμό κατανάλωσης τα εν. αποθέματα επαρκούν για ≈ 50 έτη
- Παραγωγή λιγνίτη ≈ 36.5 εκατ. Τόνους (2018),

Συμβατικές vs εναλλακτικές τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης λιγνίτη

- Η χρήση λιγνίτη στους συμβατικούς ΑΗΣ συνδέεται με διάφορα ζητήματα όπως η χαμηλή θερμική απόδοση και οι υψηλές εκπομπές ρύπων ανά παραγόμενη MWh
- Η απότομη σταδιακή κατάργηση του άνθρακα χωρίς εναλλακτικές στρατηγικές για την αποτελεσματική διαφοροποίηση της περιφερειακής οικονομίας θα έχει σοβαρές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, όπως αποκάλυψε η πρόσφατη μελέτη του ΔΠΘ
- Στο πλαίσιο αυτό, η Ακαδημία Αθηνών, στην έκθεση για την μετα-λιγνιτική εποχή στην Ελλάδα, τόνισε τη σημασία μιας εναλλακτικής διαδρομής μετατροπής ενέργειας για τον λιγνίτη που περιλαμβάνει την αεριοποίησή του σε αέριο σύνθεσης

Συμβατικές vs εναλλακτικές τεχνολογίες ενεργειακής αξιοποίησης λιγνίτη

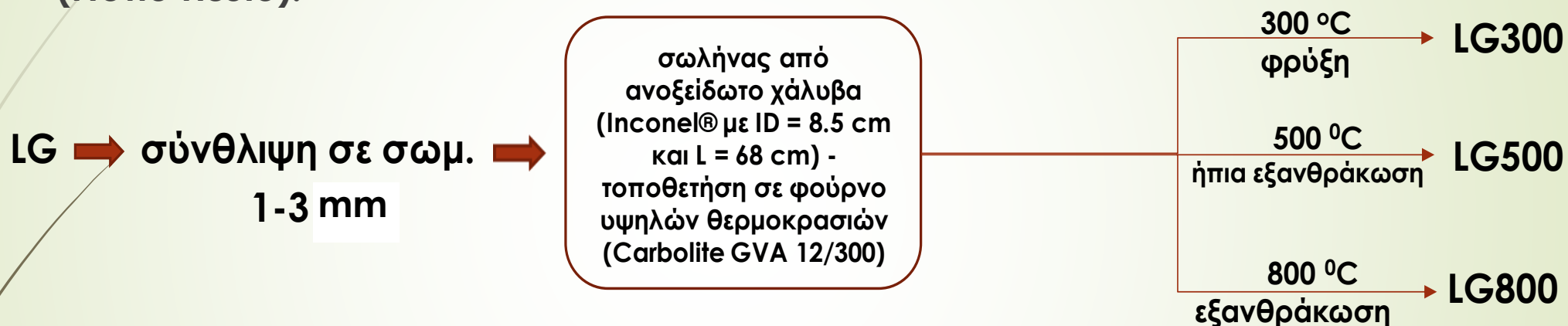
- Η πυρόλυση χαμηλής αξίας ανθράκων όπως ο λιγνίτης, οδηγεί σε εξανθρακώματα με καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά καυσίμου σε σχέση με το πρωτογενές καύσιμο
 - ✓ υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα,
 - ✓ περισσότερο ομοιογενή σύσταση επιτρέποντας την χρήση μίγματος καυσίμων,
 - ✓ καλύτερη υδροφοβική συμπεριφορά,
 - ✓ βελτιωμένες ιδιότητες άλεσης
- Η αεριοποίηση στερεών καυσίμων λαμβάνει χώρα στο θερμοκρασιακό εύρος 700 – 1200 °C, παράγοντας ένα αέριο μίγμα αποτελούμενο από H_2 , CO, CO_2 , CH_4 και ελαφρούς υδρογονάνθρακες, με τη σύσταση του να εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας (π.χ. θερμοκρασία, μέσο αεριοποίησης, χρόνος παραμονής, κ.α.).

Σκοπός της Μελέτης

- ❑ Η διερεύνηση της επίδρασης των συνθηκών πυρόλυσης του πρωτογενούς Λιγνίτη (LG) στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων εξανθρακωμάτων και στην ενεργότητα αεριοποίησης με χρήση H_2O και μιγμάτων $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ ως μέσων αεριοποίησης.
- ❑ Η αξιοποίηση του εγχώριου Λιγνίτη μέσω πυρόλυσης και αεριοποίησης μπορεί να αποτελέσει μία ενδιάμεση λύση για μία ομαλότερη μετάβαση σε μία οικονομία χαμηλού άνθρακα.

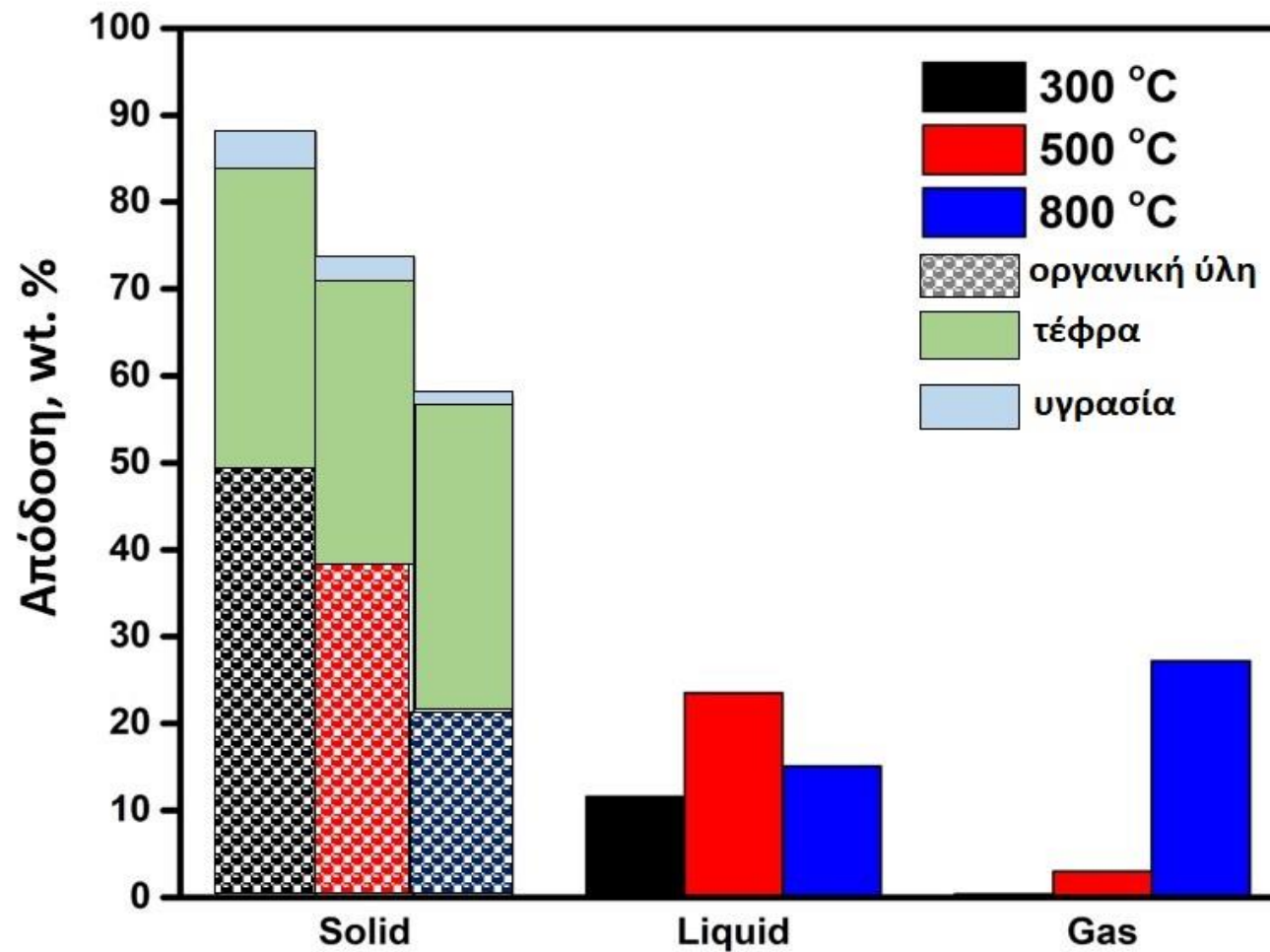
Παραγωγή εξανθρακωμάτων

- Ως πρωτογενές καύσιμο χρησιμοποιήθηκε Λιγνίτης (LG) από την Δυτική Μακεδονία (Νότιο Πεδίο).



- Σε κάθε περίπτωση, η θερμική επεξεργασία έλαβε χώρα υπό ροή N_2 (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 N_2 .

Παραγωγή εξανθρακωμάτων



Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Καυσίμων

LG
LG300
LG500
LG800

Χημική Σύσταση

Στοιχειακή & Προσεγγιστική
Ανάλυση, XRF, EDX

Ειδική Επιφάνεια

BET

Μορφολογία

SEM

Φασματοσκοπία Υπερύθρου

FT-IR

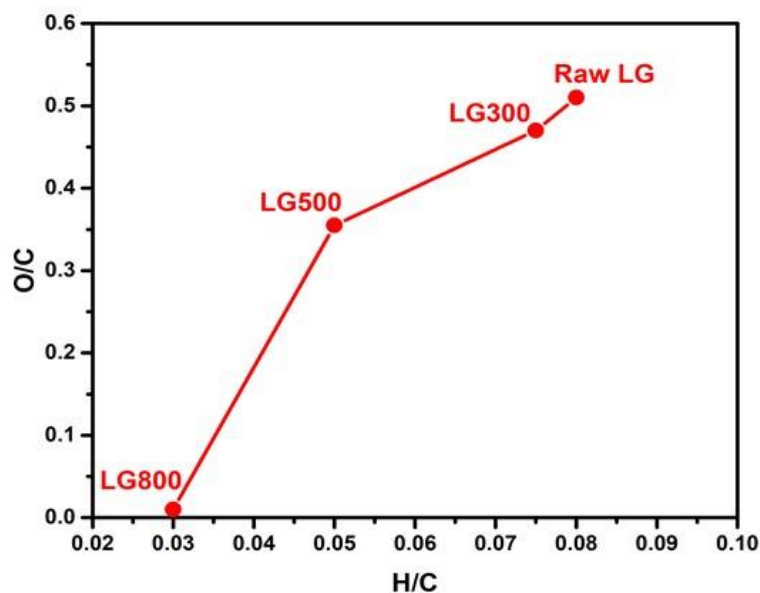
Στοιχειακή & Προσεγγιστική Ανάλυση

	Στοιχειακή ανάλυση (κ.β.%, επί ξηρού)					Προσεγγιστική ανάλυση (κ.β.%)				Ατομικοί λόγοι	
	C	H	N	O	S	Υγρασία	Τέφρα (επί ξηρού)	Πτητική ύλη (επί ξηρού)	Σταθερός άνθρακας (επί ξηρού)	H/C	O/C
LG	36.22	2.94	1.05	18.63	0.97	7.67	40.18	41.85	17.96	0.97	0.38
LG300	36.32	2.75	1.05	16.93	0.92	3.36	42.03	38.84	19.12	0.91	0.35
LG500	35.26	1.75	0.99	12.53	0.68	2.82	48.79	29.31	21.89	0.60	0.27
LG800	34.01	1.01	0.73	0.37	0.90	0.91	62.97	11.79	25.23	0.36	0.01

Αύξηση θερμοκρασίας πυρόλυσης

Μείωση περιεκτικότητας σε Πτητική ύλη Οξυγόνο και H₂O

Αύξηση Σταθερού Άνθρακα & Τέφρας



- Οι λόγοι μαζών ακολουθούν μια γραμμική πτώση με την αύξηση της θερμοκρασίας της θερμικής επεξεργασίας γεγονός που αποδίδεται στην θερμική αποικοδόμιση των ασθενών ενώσεων που υπάρχουν στην υφιστάμενη πτητική ύλη

XRF – Ανάλυση τέφρας

Ανάλυση οξειδίων τέφρας (κ.β.%) και δείκτης αλκαλικότητας πρωτογενούς λιγνίτη και παραγόμενων εξανθρακωμάτων

Oxide	LG	LG300	LG500	LG800
Na ₂ O	2.16	2.18	1.61	1.58
MgO	5.11	5.15	5.04	5.33
Al ₂ O ₃	14.79	14.76	14.96	14.51
SiO ₂	34.19	34.33	34.84	33.74
P ₂ O ₅	0.38	0.39	0.41	0.40
Cl	0.02	0.02	0.02	0.02
SO ₃	5.86	5.68	3.70	5.09
K ₂ O	0.96	0.97	0.99	1.00
CaO	30.21	30.23	31.77	31.73
Fe ₂ O ₃	5.19	5.15	5.48	5.45
TiO ₂	0.80	0.82	0.83	0.83
Δείκτης αλκαλικότητας (AI)	31.53	32.99	38.62	51.73

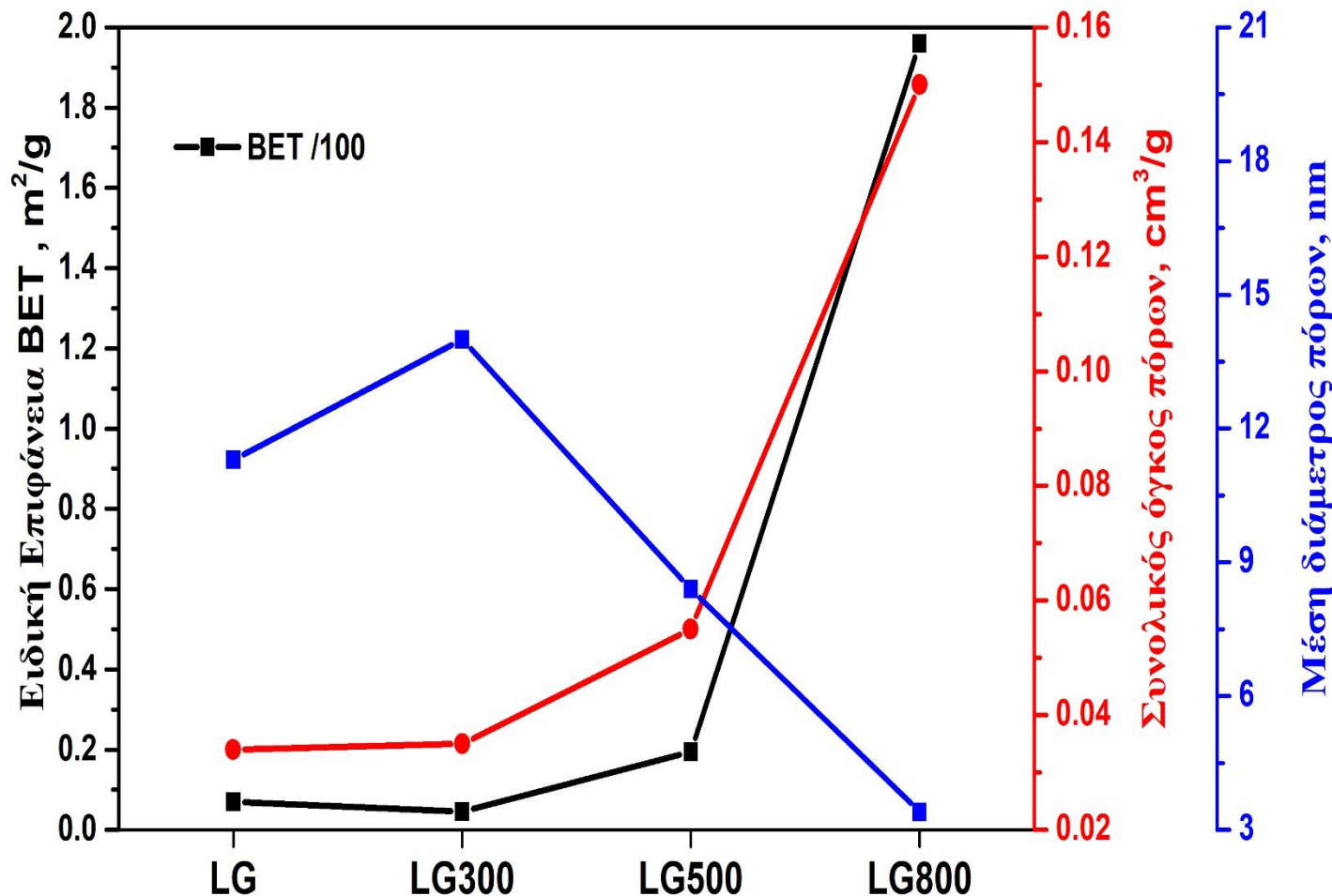
- τα κύρια συστατικά της τέφρας είναι τα SiO₂, CaO και Al₂O₃, ακολουθούμενα από χαμηλότερες ποσότητες Fe₂O₃, SO₃, MgO και Na₂O, ενώ παρατηρήθηκαν επίσης μικρές ποσότητες K₂O, TiO₂, P₂O₅ και Cl

- δείκτης αλκαλικότητας :

$$AI = \text{Ash (wt. \%)} \times [(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)]$$

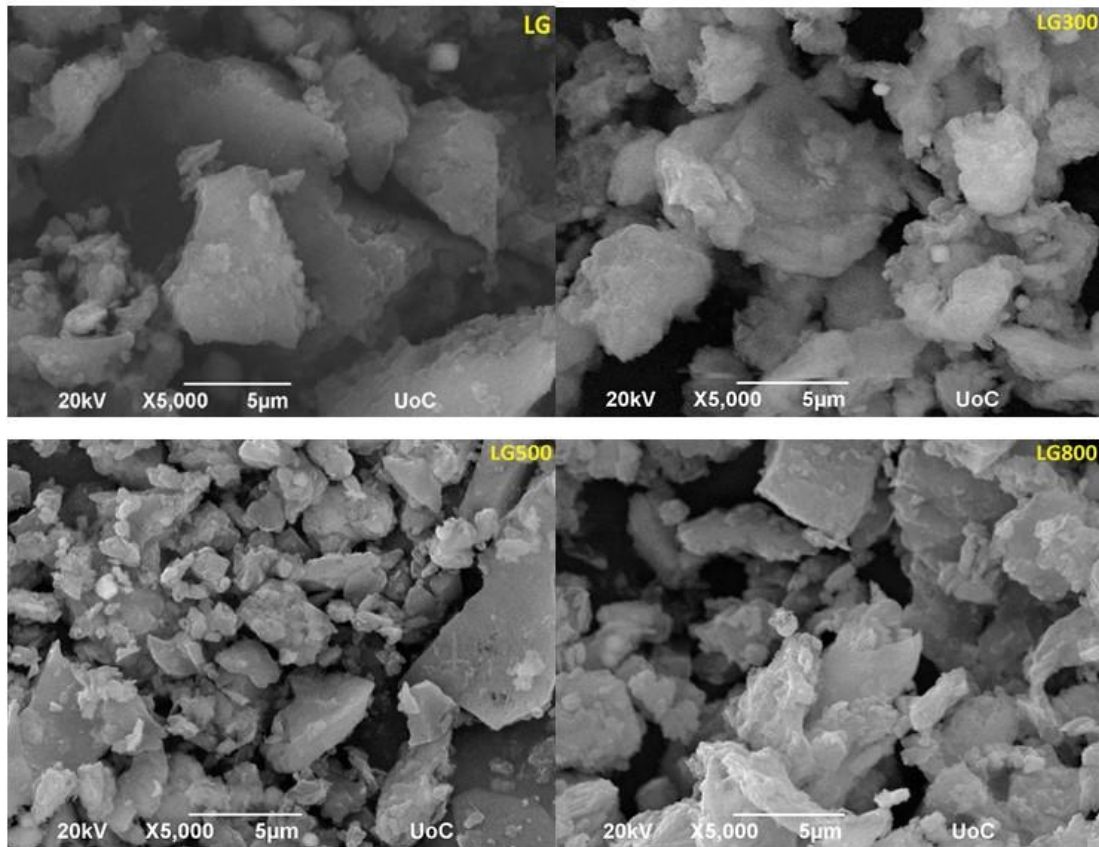
- Χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την επίδραση της των οξειδίων των μετάλλων της τέφρας στην απόδοση της αντίδρασης της αεριοποίησης των καυσίμων

Ανάλυση μορφολογίας και δομής καυσίμων



- Η ειδική επιφάνεια BET και ο όγκος των πόρων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της θερμικής επεξεργασίας
- Η αύξηση αποδίδεται στη δημιουργία εδωτερικού πορώδους λόγω της αποδέσμευσης της πτητικής ύλης

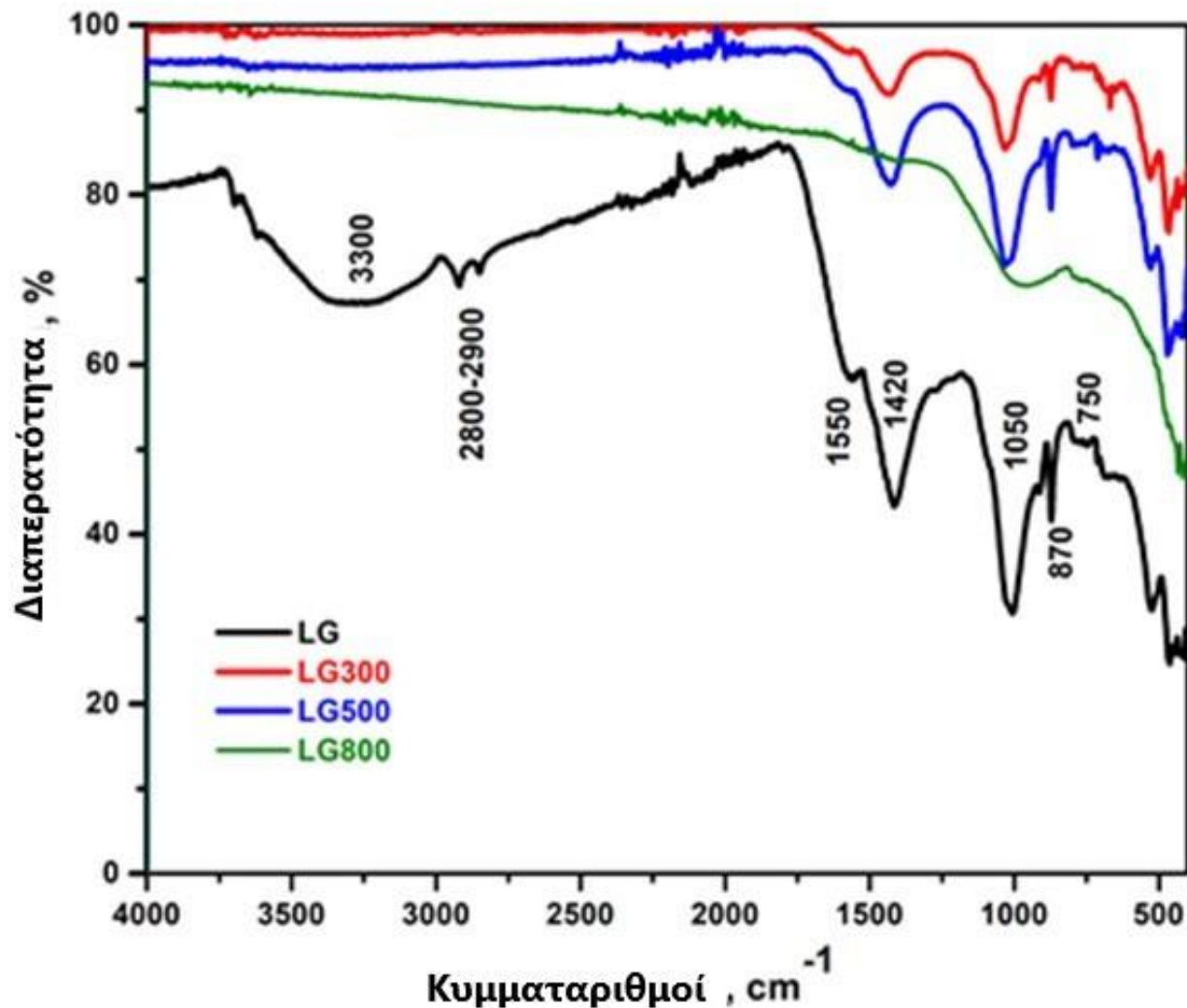
Ανάλυση μορφολογίας και δομής καυσίμων



- LG αποτελείται σωματίδια χωρίς ειδική μορφολογία, με υψηλή πολυ-διασπορά και μέγεθος μεταξύ 1 και 10 μm
- Τα εξανθρακώματα παρουσιάζουν ακανόνιστη μορφολογία με μέτρα έως υψηλή πολύ διασπορά και 0,7 έως 5 μm
- Τα δείγματα LG300 και LG500 διαθέτουν μια πιο συμπαγή δομή πόρων σε σύγκριση με το δείγμα LG800

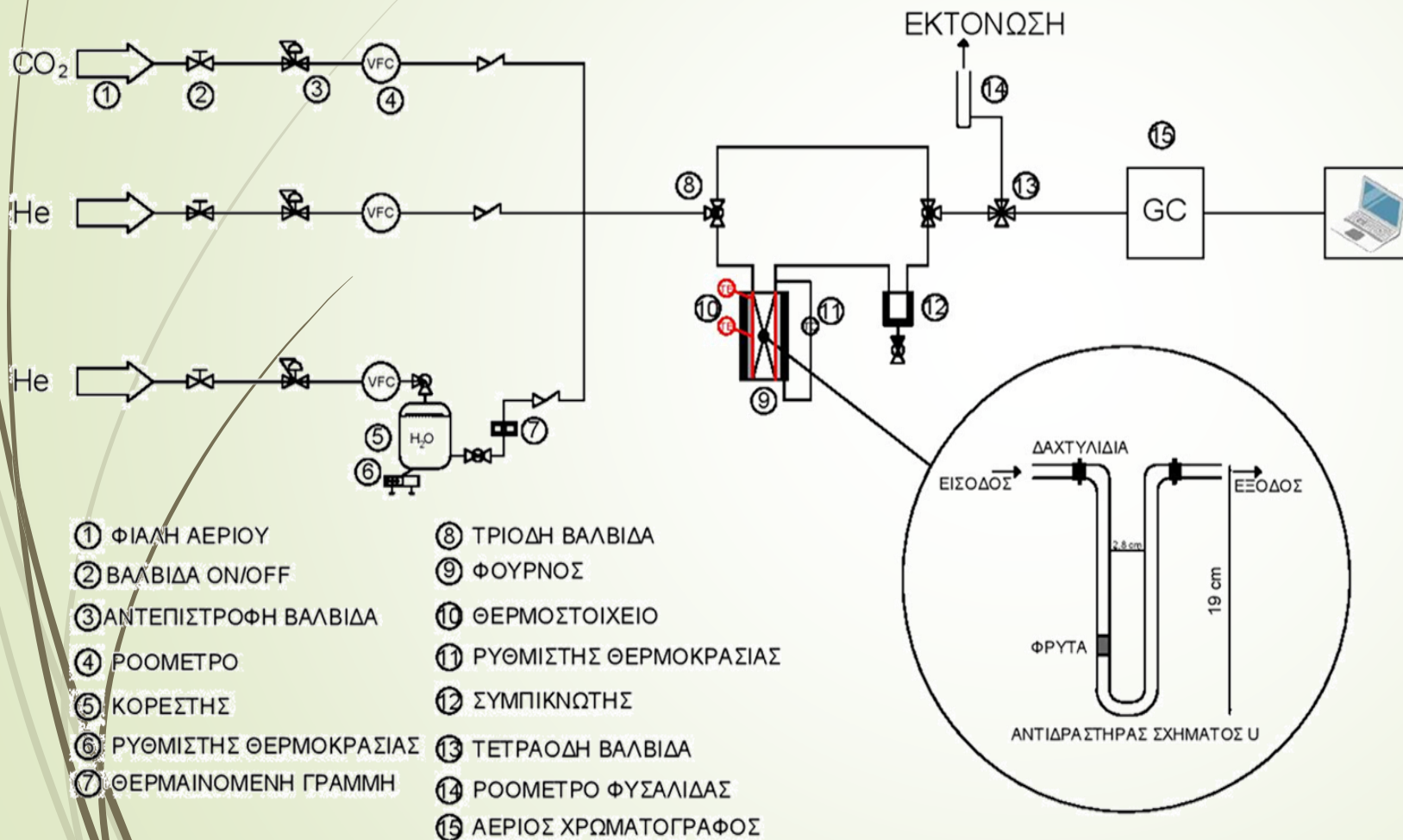
	Στοιχειακή ανάλυση (at.%)						
	C	O	Fe	Ca	Mg	Al	Si
LG	65.1	30	0.17	1.74	0.33	0.73	1.20
LG300	57.9	32.45	0.27	4.25	0.38	1.23	2.33
LG500	58.14	33.19	0.68	2.04	0.36	1.29	3.85
LG800	53.72	31.34	1.05	4.28	1.08	2.39	4.16

- Η ατομική συγκέντρωση C μειώνεται σαφώς με θερμική επεξεργασία, η οποία συμπίπτει με τη μειωμένη τάση της περιεκτικότητας σε άνθρακα
- Από την άλλη, η ατομική συγκέντρωση οξυγόνου παραμένει ουσιαστικά ανεπηρέαστη κατά τη θερμική επεξεργασία
- Ο LG800 κατέχει τον υψηλότερο δείκτη αλκαλικότητας και σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις ατομικής επιφάνειας Fe, Ca και Mg, σε σύγκριση με τους LG, LG300 και LG500



- $3700 - 3000 \text{ cm}^{-1}$: υδροξυλομάδες ($-\text{OH}$), η ένταση των οποίων μειώνεται δραστικά στα θερμικά επεξεργασμένα δείγματα επιβεβαιώνοντας την πολύ χαμηλή υγρασία των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων
- $1600 - 1400 \text{ cm}^{-1}$: καρβονυλομάδες, καρβοξυλομάδες και $\text{C}=\text{O}$, η ένταση των οποίων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της θερμικής επεξεργασίας, ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης πτητικών υλών και της αναδιοργάνωσης του ανθρακικού περιεχομένου
- Οι κορυφές σε χαμηλότερους κυμματαριθμούς αποδίδεται σε αλειφατικούς αιθέρες, αλκοολες και άτομα υδρογόνου και οξυγόνου αρωματικών ενώσεων, η ένταση των οποίων φθίνει σε συμφωνία με τη μειωτική τάση των ατομικών λόγων H/C και O/C

Πειραματική Διάταξη



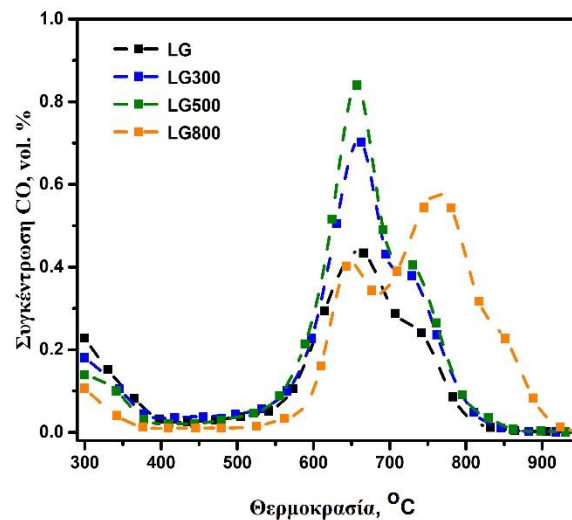
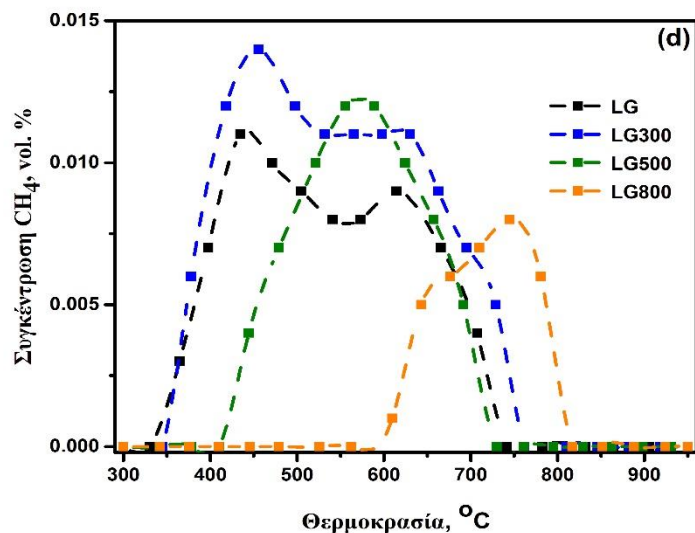
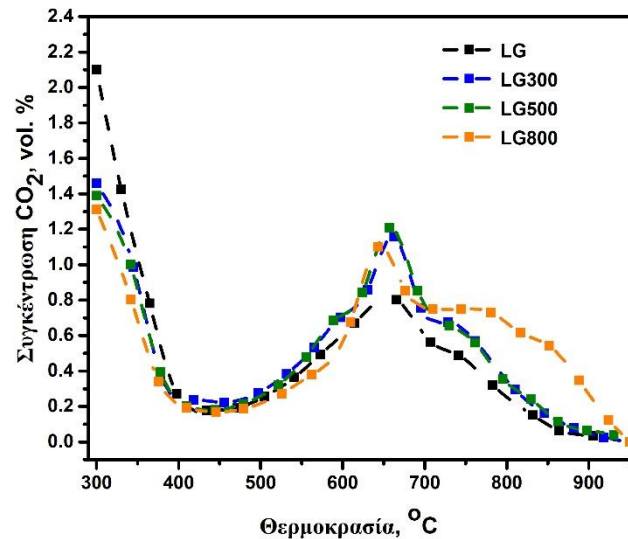
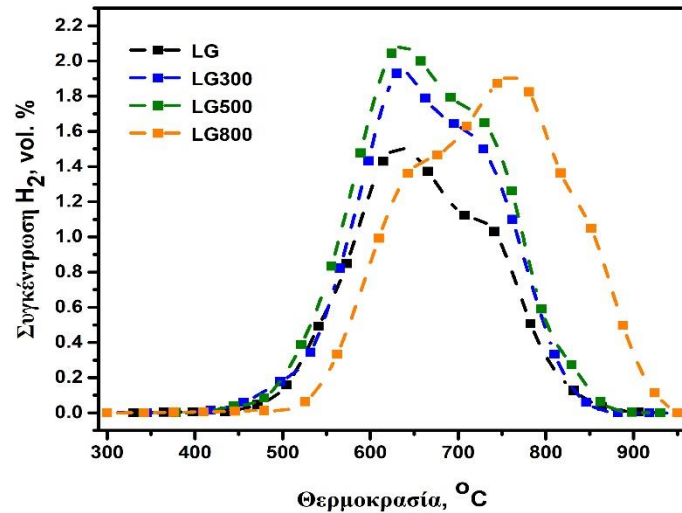
- ID = 0.8 cm – αντιδραστήρας χαλαζία σχήματος U
- Ασυνεχής λειτουργία
- Ποσότητα καυσίμου = 100 mg
- Μέσα αεριοποίησης: (α) ν/ν% H₂O/He
(β) 10 ν/ν% CO₂/H₂O/He
- Ογκομετρικός ρυθμός τροφοδοσίας = 30 cm³/min
- T= 300 – 950 °C με ρυθμό θέρμανσης= 2 °C/min.

Αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διεργασία της αεριοποίησης

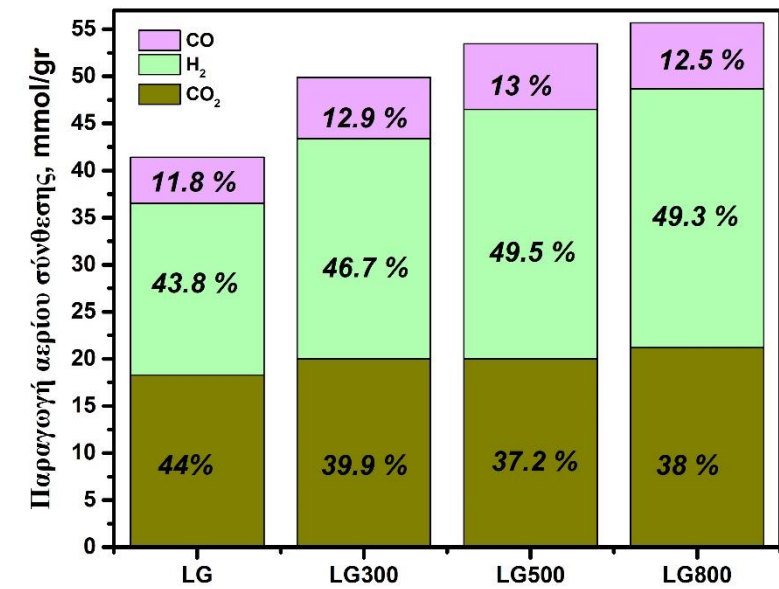
A/A	Reactions	Process	ΔH°_{rxn} (kJ/mol)
R1	Coal $\rightarrow$ Volatiles + Char + Tars	Pyrolysis	-
R2	Coal $\rightarrow$ Tars+CO ₂ +CO+H ₂ +CH ₄ +H ₂ O+HCs	Primary/Secondary devolatilization	-
R3	Tar $\rightarrow$ CO ₂ + CO + H ₂ + CH ₄ + HCs	Tar decomposition	-
R4	Tar + H ₂ O $\rightarrow$ CO + H ₂ + CO ₂ + CH ₄ + HCs	Steam tar cracking	-
R5	Tar + CO ₂ $\rightarrow$ CO + H ₂ + CH ₄ + HCs	Dry tar cracking	-
R6	C + ½ O ₂ $\leftrightarrow$ CO	Partial oxidation	-110.5
R7	C + O ₂ $\rightarrow$ CO ₂	Complete oxidation	-393.6
R8	CO + ½ O ₂ $\rightarrow$ CO ₂	CO oxidation	-283.5
R9	H ₂ + ½ O ₂ $\rightarrow$ H ₂ O	H ₂ oxidation	-285.8
R10	CO + H ₂ O $\leftrightarrow$ CO ₂ + H ₂	Water Gas Shift (WGS)	-41.2
R11	C + 2H ₂ $\leftrightarrow$ CH ₄	Hydrogasification	-74.9
R12	C + CO ₂ $\leftrightarrow$ 2CO	Reverse Boudouard	172.5
R13	C + H ₂ O $\leftrightarrow$ CO + H ₂	Primary steam gasification	131.3
R14	C + 2H ₂ O $\leftrightarrow$ CO ₂ + H ₂	Secondary steam gasification	90.2
R15	CH ₄ + H ₂ O $\leftrightarrow$ 2CO + 3H ₂	Steam methane reforming	206.2
R16	CH ₄ + CO ₂ $\leftrightarrow$ 2CO + 2H ₂	Dry methane reforming	247.4
R17	C _n H _m + n H ₂ O $\leftrightarrow$ (n + m/2) H ₂ + n CO	Hydrocarbons steam reforming	-
R18	C _n H _m + n CO ₂ $\leftrightarrow$ m/2 H ₂ + 2n CO	Hydrocarbons dry reforming	-

- T<500-600 °C : αντιδράσεις πυρόλυσης και θερμικής διάσπασης της πίσσας
- T> 500-600 °C: αντιδράσεις αεριοποίησης

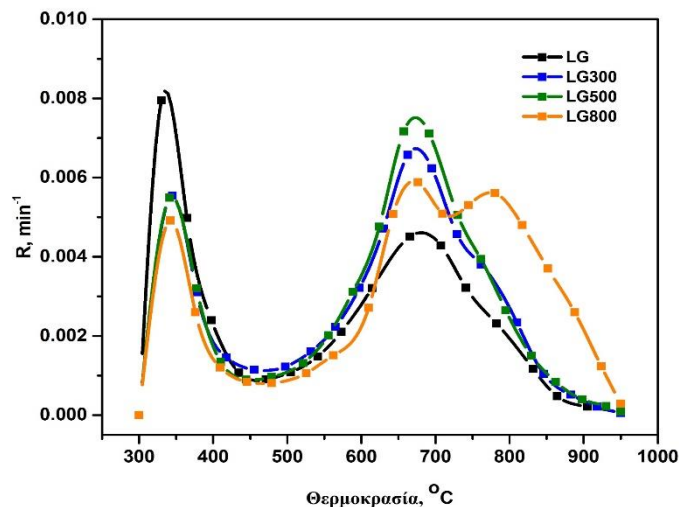
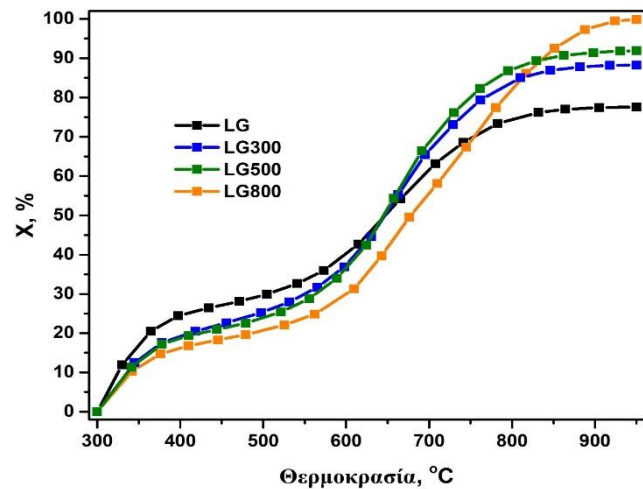
Ενεργότητα Αεριοποίησης με μίγμα H₂O/He



$$Y_i = \int_0^{t_f} \frac{F_t \cdot y_i}{V_M \cdot 100} \cdot dt \quad i = (H_2, CO, CO_2, CH_4)$$



Ενεργότητα Αεριοποίησης με μίγμα H₂O/He

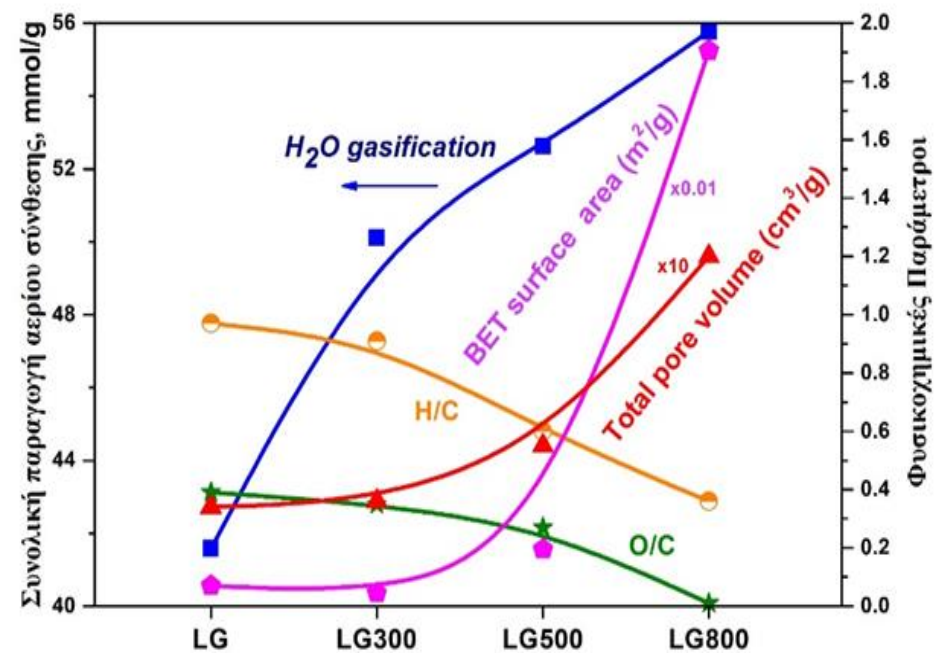
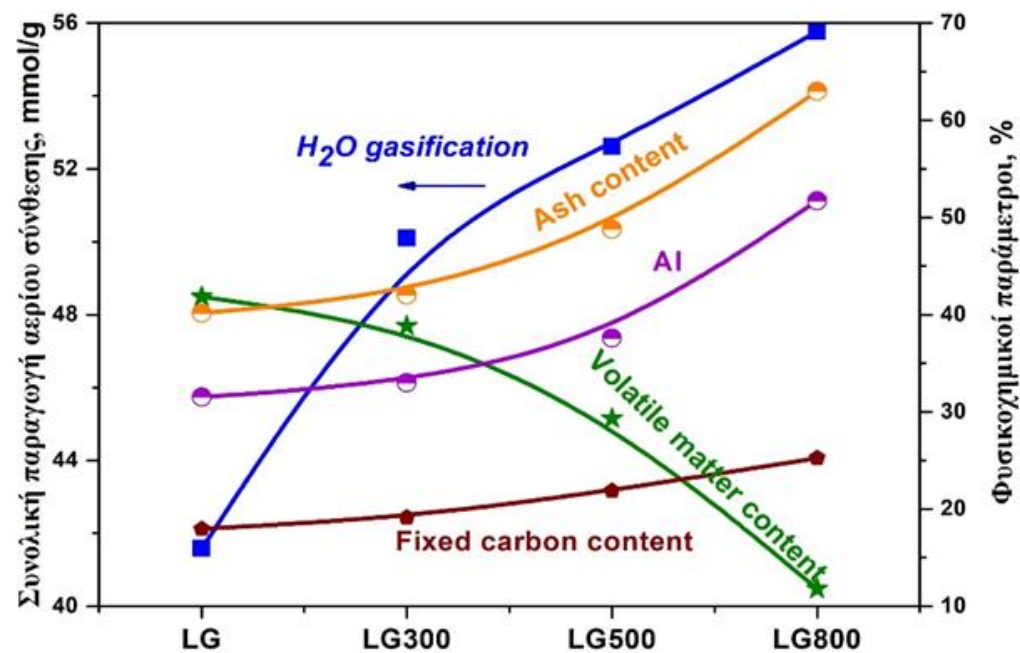


$$X(\%) = \frac{\int_0^t \left[\frac{F_r \cdot \sum_i y_i}{V_M \cdot 100} \cdot MW_c \right] \cdot dt}{m_0} \cdot 100 \quad i = (CO, CO_2, CH_4)$$

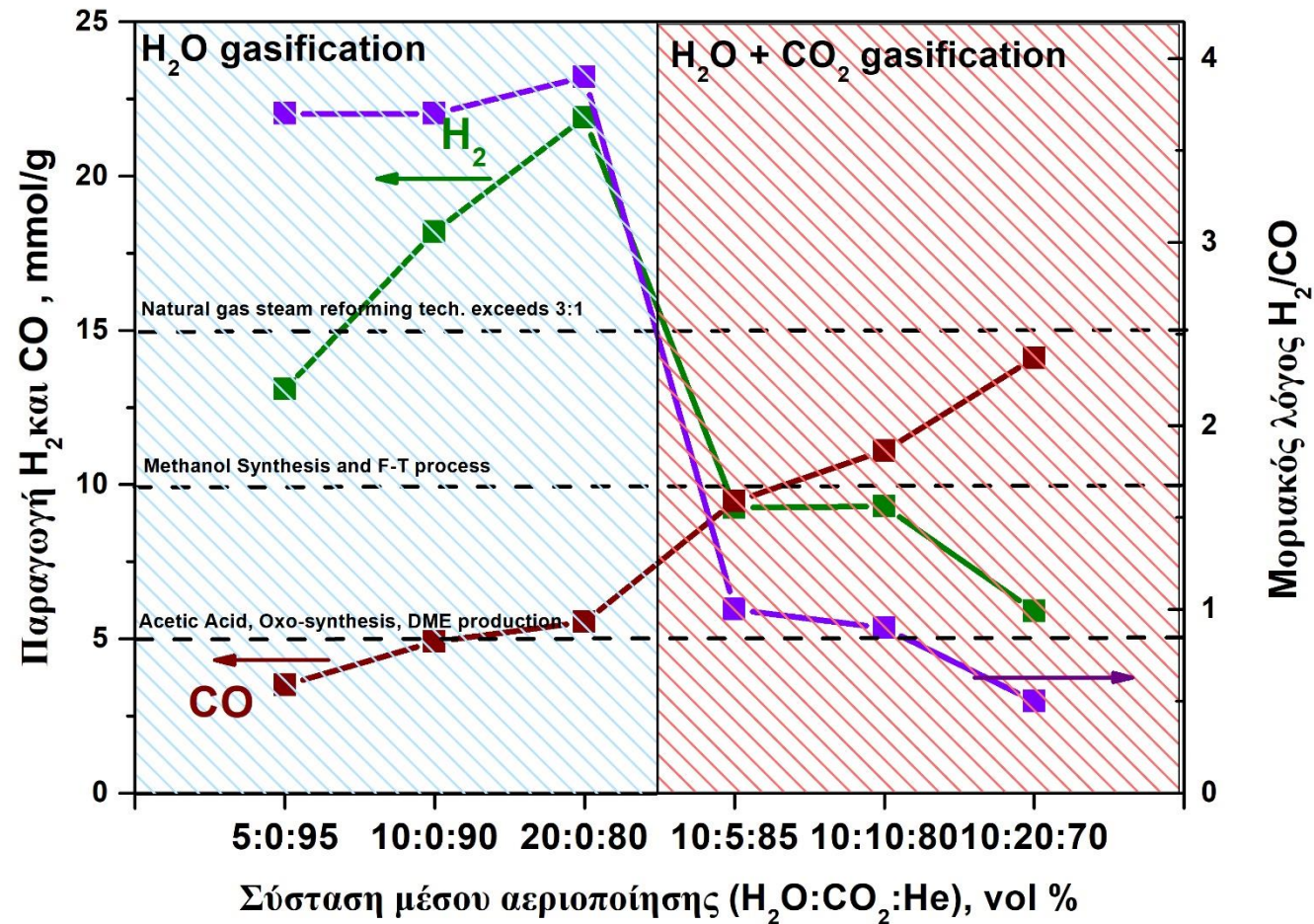
$$R = \frac{1}{100} \cdot \frac{dX}{dt}$$

- < 450 °C: η μετατροπή άνθρακα αντιστοιχεί στις αντιδράσεις αποπτητικοποίησης και στη θερμική διάσπαση της πίσσας, γενικά (LG > LG300 > LG500 > LG800)
- 450-650 °C: η μετατροπή άνθρακα των LG, LG300 και LG500 είναι παρόμοια (περίπου 42%) και ελαφρώς υψηλότερη από εκείνη της LG800 (35%)
- 650-800 °C: η μετατροπή άνθρακα για τον LG επιβραδύνεται από και σταθεροποιείται έως και 950 °C στο 77%. Οι LG300 και LG500 ακολουθούν μια παράλληλη τάση
- > 800 °C: LG300 και LG500 αυξάνονται ελαφρώς και φτάνουν σε ένα ορόσημο 88 και 92 %, αντίστοιχα. Ο LG800, ξεπερνά την μετατροπή των άλλων εξανθρακωμάτων και φθάνει σχεδόν στην πλήρη μετατροπή στους 950 °C .

Συσχέτιση παραγωγής αερίου σύνθεσης με θερμική επεξεργασία καυσίμων



Ενεργότητα Αεριοποίησης με μίγμα $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{He}$



Συμπεράσματα

- Διερευνήθηκε η αεριοποίηση του λιγνίτη (LG) και των παραγόμενων εξανθρακωμάτων του με μίγμα $\text{H}_2\text{O}/\text{He}$ ως μέσο αεριοποίησης.
- Τα εξανθρακώματα παρουσίασαν βελτιωμένες ιδιότητες υφής, μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σταθερό άνθρακα και υψηλότερο δείκτη αλκαλικότητας σε σχέση με τον πρωτογενή λιγνίτη
- Τα εξανθρακώματα παρουσίασαν υψηλότερη μετατροπή άνθρακα και παραγωγή αερίου σύνθεσης (H_2 , CO_2 , CO , CH_4) σε υψηλές θερμοκρασίες
- Παρατηρήθηκε στενή συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης σε αέριο σύνθεσης και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εξανθρακωμάτων
- Μέσω της αεριοποίησης με μίγμα $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{He}$, ο μοριακός λόγος H_2/CO μπορεί να ρυθμιστεί καθιστώντας το αέριο σύνθεσης κατάλληλο για ένα μεγάλο εύρος διεργασιών. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό από την άποψη της αξιοποίησης του CO_2 και της οδηγώντας σε νέες κατευθύνσεις στον τομέα της ενεργειακής αξιοποίησης των ανθράκων χαμηλής θερμικής αξίας ή/και της βιομάζας

Μελλοντικές Ενέργειες

- Επίδραση καταλυτών και συγκεκριμένα ανθρακικών αλάτων και ζεόλιθων με σκοπό την αύξηση της παραγωγής αερίου σύνθεσης και της μετατροπής του άνθρακα
- Τεχνοοικονομική ανάλυση μονάδας συνδυασμένου κύκλου ΠΥΡΟΛΥΣΗΣ-ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΜΟΝΑΔΙΑΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ αξιοποίησης του λιγνίτη προς παραγωγή 100 MWeI

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).



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΛΙΓΝΙΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΠΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΑΛΟΓΙΑ H₂/CO

Λαμπρόπουλος Α.¹, Μπίνας Β.², Νταλαούτη Α.³, Σταματάκης Κ.³, Κονσολάκης Μ.⁴,
Μαρνέλλος Γ.Ε.^{1,5}

¹ Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη

² Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ, Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας, Ηράκλειο

³ Κέντρο Δοκιμών Ερευνών & Προτύπων, Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε., Παλλήνη, Αττική

⁴ Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μολονότι η συμμετοχή του ορυκτού άνθρακα στο παγκόσμιο ενεργειακό μίγμα βαίνει μειούμενη τα τελευταία χρόνια (28% το 2019), λόγω των εξελίξεων της ενεργειακής μετάβασης για την αποτροπή της κλιματικής μεταβολής, ο γαιάνθρακας εξακολουθεί να κατέχει ένα σημαντικό μερίδιο στη παραγωγή ηλεκτρισμού (~40%). Το 2019, η ΕΕ ανακοίνωσε ένα φιλόδοξο σχέδιο, το “Πράσινο Συμβόλαιο”, για να καταστήσει την Ευρώπη κλιματικά ουδέτερη το 2050. Στο πλαίσιο αυτό, 42 περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Δυτικής Μακεδονίας, θα απεξαρτηθούν άμεσα από τον γαιάνθρακα.

Ο λιγνίτης αποτέλεσε το κυριότερο εγχώριο ορυκτό καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρισμού, σχεδόν για 6 δεκαετίες, και υποστήριξε την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, με τις συναφείς δραστηριότητες να συμμετέχουν κατά ~40% στο περιφερειακό ΑΕΠ δημιουργώντας περισσότερες από 25000 άμεσες, έμμεσες και επαγόμενες θέσεις απασχόλησης. Η απότομη απολιγνιτοποίηση, όμως, θα επιφέρει σημαντικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις στην περιοχή και γι’ αυτό το λόγο έχουν προταθεί διάφορες εναλλακτικές στρατηγικές χρήσης αυτού του εθνικού πόρου προς μη-ενεργειακές χρήσεις ή σε αποδοτικότερες ενεργειακές διεργασίες, όπως η αεριοποίηση του προς αέριο σύνθεσης.

Η αεριοποίηση διεξάγεται σε υψηλές θερμοκρασίες (700 – 1200 °C) λόγω της ενδοθερμικής της φύσης, μετατρέποντας τα στερεά καύσιμα σε αέριο σύνθεσης (κυρίως H₂, CO, CO₂, CH₄), μικρές ποσότητες πηλίκων και σε στερεό υπόλειμμα, με χρήση ενός οξειδωτικού μέσου που συνίσταται είτε από υπο-στοιχειομετρικό αέρα/οξυγόνο ή H₂O ή CO₂ ή μίγμα των παραπάνω, για τον αποδοτικότερο έλεγχο των θερμικών απαιτήσεων της διεργασίας και της ποιότητας του αερίου σύνθεσης. Η απόδοση της αεριοποίησης εξαρτάται ισχυρά από τις λειτουργικές συνθήκες (θερμοκρασία, μέσο αεριοποίησης, κ.ά) και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του άνθρακα (μόνιμος άνθρακας, πτητική συστατικά, υγρασία, τέφρα, δομή οργανικής ύλης, κ.ά). Η φρύξη και η αργή πυρόλυση των στερεών καυσίμων οδηγούν σε εξανθρακώματα με βελτιωμένα χαρακτηριστικά καυσίμου. Επιπλέον, η αεριοποίηση με H₂O παράγει αέριο σύνθεσης πλούσιο σε H₂, ενώ ο λόγος H₂/CO είναι δυνατό να διαμορφωθεί στα επιθυμητά επίπεδα, όταν στο μέσο αεριοποίησης προστεθεί CO₂, ως μία εναλλακτική μέθοδο επαναχρησιμοποίησης δεσμευμένων βιομηχανικών εκπομπών CO₂.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αεριοποίηση Ελληνικού λιγνίτη και των εξανθρακωμάτων του στους 300, 500 και 800 °C με μίγματα H₂O(+CO₂)/He, σε εργαστηριακό αντιδραστήρα αεριοποίησης ασυνεχούς λειτουργίας. Βρέθηκε ότι η παραγωγή αέριων προϊόντων αυξάνεται με τη θερμοκρασία επεξεργασίας του πρωτογενή λιγνίτη λόγω των βελτιωμένων φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των εξανθρακωμάτων, ενώ η προσθήκη κατάλληλων ποσοτήτων CO₂ στο μέσο αεριοποίησης δύναται να διαμορφώσει τον λόγο H₂/CO στο αέριο σύνθεσης, ανάλογα με την μετέπειτα τελική του χρήση.

Ευχαριστίες. 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).