

## ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Γ.Ι. Σιακαβέλας<sup>1</sup>, Ν.Δ. Χαρισίου<sup>1</sup>, Χ. Βουδούρης<sup>1</sup>, Κ.Ν. Παπαγερίδης<sup>1</sup>, Α. Λάτσιου<sup>1</sup>, Μ.Α. Γούλα<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Εργαστήριο Εναλλακτικών Καυσίμων και Περιβαλλοντικής Κατάλυσης, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Ελλάδα

(\*[mgoula@teiw.mg](mailto:mgoula@teiw.mg))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε μελέτη καταλυτικών συστημάτων Ni στηριζόμενων σε φορέα Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> με διαφορετική φόρτιση μετάλλου (8 και 16% κ.β.) στην αντίδραση της ξηρής αναμόρφωσης βιοαερίου (Biogas Dry Reforming, BDR), χρησιμοποιώντας τις τεχνικές του υγρού και ξηρού εμποτισμού και της ισορροπίας εναπόθεσης-διήθησης (EDF). Οι καταλύτες χαρακτηρίστηκαν με τεχνικές όπως BET, ICP-AES, XRD, H<sub>2</sub>-TPR, TEM και πραγματοποιήθηκε ανάλυση του εναποτιθέμενου άνθρακα. Μελετήθηκε η δραστηριότητα ως προς τη μετατροπή CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>, η απόδοση ως προς H<sub>2</sub> και CO και ο μοριακός λόγος H<sub>2</sub>/CO. Αποδείχθηκε ότι η μέθοδος παρασκευής επηρεάζει το βαθμό αναγωγισιμότητας καθώς και το μέγεθος των καταλυτικών σωματιδίων. Οι καταλύτες με τη χαμηλότερη φόρτιση σε Ni παρουσιάζουν βελτιωμένη απόδοση στην υψηλότερη θερμοκρασία αναγωγής (800°C). Η καταλυτική συμπεριφορά ήταν αρκετά διαφορετική για τον 8Ni/Al-edf, σε σύγκριση με τα καταλυτικά συστήματα που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο του υγρού και ξηρού εμποτισμού.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το υδρογόνο θεωρείται το καύσιμο του μέλλοντος, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συσκευές μετατροπής ενέργειας, όπως τα κελιά καυσίμου. Με την αυξανόμενη ζήτηση του και την μείωση των ορυκτών καυσίμων, το υδρογόνο ως καύσιμο αποκτά ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Επιπλέον, η παραγωγή του από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοαέριο, αποτελεί σημαντική διέξοδο στην επίτευξη του στόχου της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου <sup>[1]</sup>. Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο ή/και σε αέριο σύνθεσης μέσω της αντίδρασης της ξηρής αναμόρφωσης χρησιμοποιώντας κατάλληλους καταλύτες <sup>[2]</sup>. Σε μια προσπάθεια αποφυγής της απενεργοποίησης των καταλυτών από την εναπόθεση άνθρακα στην καταλυτική επιφάνεια, οι Paradoroulou et al. <sup>[3]</sup>, ανέπτυξαν την τεχνική της ισορροπίας εναπόθεσης-διήθησης, η οποία επιτρέπει την παρασκευή στηριζόμενων καταλυτών με τις κατάλληλες δομικές και καταλυτικές ιδιότητες, όπως μικρότερα κρυσταλλικά σωματίδια στηριζόμενα στην επιφάνεια του φορέα. Επιπρόσθετα, σε αρκετές μελέτες έχει αποδειχθεί ότι οι καταλύτες που παρασκευάζονται με τη μέθοδο EDF επιτρέπουν υψηλή διασπορά της ενεργού φάσης και παρουσιάζουν θερμική αντοχή έναντι της συσσωμάτωσης <sup>[4,5]</sup>. Στην παρούσα εργασία, η καταλυτική απόδοση όλων των καταλυτικών συστημάτων μελετήθηκε προκειμένου να διερευνηθούν οι ακόλουθοι παράμετροι: (i) θερμοκρασία αντίδρασης, (ii) ταχύτητα χώρου (WHSV), (iii) φόρτιση νικελίου, (iv) μέθοδο παρασκευής και (v) μετατροπή CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> και παραγωγή H<sub>2</sub>, CO στην έξοδο του αντιδραστήρα.

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### Παρασκευή καταλυτών & Χαρακτηρισμός καταλυτών

Παρασκευάστηκαν έξι (6) καταλύτες Ni στηριζόμενοι σε φορέα γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, τρία (3) με 8% κ.β. Ni και τρία (3) με 16% κ.β. Ni, χρησιμοποιώντας Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O ως υδατικό διάλυμα. Τα δύο δείγματα EDF παρασκευάστηκαν με σταθερή θερμοκρασία διαλύματος εμποτισμού στους 25 ± 0.1°C και με τιμή pH= 7 (αναφέρονται ως 8Ni/Al-edf και 16Ni/Al-edf). Επίσης, παρασκευάστηκαν δύο καταλυτικά συστήματα χρησιμοποιώντας την μέθοδο του υγρού εμποτισμού (8Ni/Al-wet και 16Ni/Al-wet) και δύο με τη μέθοδο του ξηρού εμποτισμού (αναφέρονται ως 8Ni/Al-iwi και 16Ni/Al-iwi). Όλα τα δείγματα ξηράθηκαν στον αέρα για 12 h και πυρώθηκαν στους 800°C για 5

h. Η αντίδραση της ξηρής αναμόρφωσης του βιοαερίου διεξήχθη σε ατμοσφαιρική πίεση σε αντιδραστήρα σταθεροποιημένης κλίνης, συνεχούς ροής, με την θερμοκρασία να κυμαίνεται από 550 - 850°C. Οι καταλύτες ενεργοποιήθηκαν in-situ υπό ροή H<sub>2</sub> για 2 h στους 700 ή στους 800°C. Ο συνολικός ρυθμός ροής που χρησιμοποιήθηκε ήταν 100 mL/min, αποτελούμενος από μίγμα αερίων 30% CH<sub>4</sub> και 20% CO<sub>2</sub> σε He, με ταχύτητα χώρου (Weight Hour Space Velocity, WHSV) 120,000 mL/gh και μάζα καταλύτη 50 mg. Τα αέρια προϊόντα αναλύθηκαν κάνοντας χρήση αερίου χρωματογράφου.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### Αποτελέσματα χαρακτηρισμών

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες όλων των δειγμάτων. Οι τιμές της ειδικής επιφάνειας (Specific Surface Area, SSA) των καταλυτών είναι χαμηλότερες από αυτές του φορέα, ενώ ο όγκος των πόρων δεν είχε υποστεί σημαντικές αλλαγές. Όσον αφορά, το μέγεθος των σωματιδίων, παρατηρήθηκε μείωση μετά την αναγωγή για όλους τους καταλύτες. Επιπρόσθετα, στους χρησιμοποιημένους καταλύτες παρατηρήθηκε χαμηλότερη εναπόθεση άνθρακα για το δείγμα 8Ni/Al-edf, σε σύγκριση με τον 8Ni/Al-wet και 8Ni/Al-iwi. Όσον αφορά τη φόρτιση μετάλλου, φαίνεται ότι μόνο με την τεχνική του εμποτισμού επιτυγχάνεται η επιθυμητή φόρτιση.

**Πίνακας 1.** Φυσικοχημικές ιδιότητες των πυρωμένων, ανηγμένων και χρησιμοποιημένων καταλυτών.

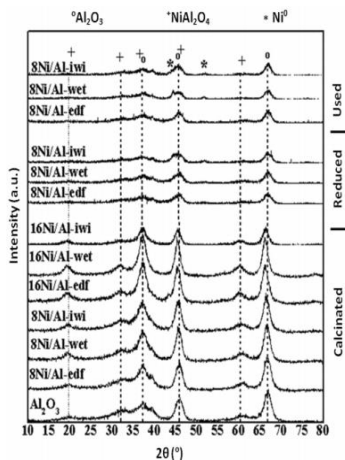
Καταλύτες	SSA (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Vp (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	ICP ( Ni, wt. %)	Μέση διάμετρος πόρων (nm) <sup>a</sup>	Μέγεθος σωματιδίων Ni <sup>0</sup> (nm) <sup>b</sup>	Άνθρακας (wt. %)
8Ni/Al-edf (c)	173	0.60	6.65	10.8	12	n/a
8Ni/Al-edf (r)	177	0.59	-	12.5	8	n/a
8Ni/Al-wet (c)	168	0.59	7.15	14.1	14	n/a
8Ni/Al-wet (r)	159	0.72	-	20.7	13	n/a
8Ni/Al-iwi(c)	158	0.57	7.88	14.5	15	n/a
8Ni/Al-iwi (r)	156	0.63	-	17	10	n/a
8Ni/Al-edf (u)	-	-	-	-	6	0.96
8Ni/Al-wet (u)	-	-	-	-	10	6.17
8Ni/Al-iwi (u)	-	-	-	-	9	3.04
16Ni/Al-edf (c)	141	0.55	14.7	-	17	n/a
16Ni/Al-wet (c)	135	0.54	15.1	-	25	n/a
16Ni/Al-iwi (c)	127	0.51	15.9	-	22	n/a

### Σημείωση:

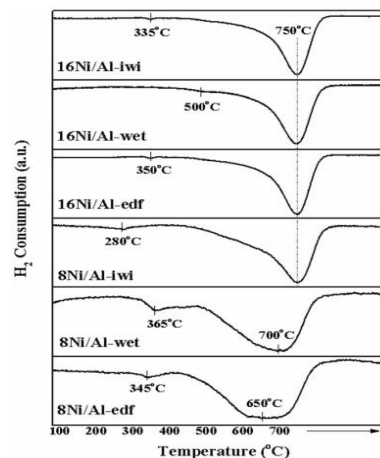
n/a = μη διαθέσιμοι, c = πυρωμένοι, r = ανηγμένοι, u = χρησιμοποιημένοι.

Από τα φάσματα XRD (Σχ. 1) παρατηρούνται κορυφές που αντιστοιχούν στην γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> σε όλα τα δείγματα. Ενδιαφέρον είναι ότι στους πυρωμένους καταλύτες η ένταση της κορυφής της γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2θ = 45.9°) αυξήθηκε ελαφρώς, πιθανόν λόγω της επικάλυψης από τη κορυφή του nickel aluminate (NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 2θ = 46°). Επιπλέον, για όλους τους πυρωμένους καταλύτες ανιχνεύθηκε NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, με το δείγμα edf να έχει ελαφρώς χαμηλότερη κορυφή σε σύγκριση με τα άλλα δύο δείγματα, με 8% κ.β. Ni. Σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε μεταξύ των ανηγμένων και χρησιμοποιημένων καταλυτών, στις κορυφές της Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και του NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, καθώς στους ανηγμένους καταλύτες μειώνεται η ένταση αυτών των κορυφών και εμφανίζονται μικρές κορυφές μεταλλικού νικελίου (Ni<sup>0</sup>). Από τις μετρήσεις των πειραμάτων H<sub>2</sub>-TPR (Σχ. 2) για τους καταλύτες 8% και 16% κ.β. Ni, εντοπίστηκαν διάφοροι τύποι κορυφών αναγωγής, που αντιστοιχούν σε NiO και σε είδη Ni με ισχυρή αλληλεπίδραση με την επιφάνεια της Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Συγκεκριμένα, NiO με ασθενής αλληλεπίδραση με την επιφάνεια του φορέα σε θερμοκρασίες (<550°C), μη στοιχειομετρικά είδη

nickel aluminate ( $\text{NiAl}_x\text{O}_y$ ) μεταξύ  $550^\circ\text{C}$  και  $750^\circ\text{C}$  και στοιχειομετρικά είδη  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  σε θερμοκρασίες άνω των  $750^\circ\text{C}$ . Συγκεκριμένα για τον καταλύτη 8Ni/Al-wet παρατηρήθηκε κατανάλωση  $\text{H}_2$  στους  $365^\circ\text{C}$ , το οποίο αποδίδεται στην αναγωγή του  $\text{NiO}$ , περίπου  $85^\circ\text{C}$  και  $20^\circ\text{C}$  υψηλότερα σε σχέση με τους καταλύτες 8Ni/Al-iwi και 8Ni/Al-edf, αντίστοιχα. Πιθανών, να ανάγονται είδη  $\text{NiO}$  που παρουσιάζουν ασθενέστερη αλληλεπίδραση με την επιφάνεια της αλουμίνας, επομένως, είναι πιο εύκολα αναγωγίμα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για τον 8Ni/Al-edf η αναγωγή του  $\text{NiAl}_x\text{O}_y$  ευνοήθηκε σε χαμηλότερη θερμοκρασία συγκριτικά με τον καταλύτη που παρασκευάστηκε με υγρό εμπότισμό. Από την άλλη πλευρά για τον 8Ni/Al-iwi η κορυφή στους  $750^\circ\text{C}$  για το δείγμα 8Ni/Al-iwi αποδίδεται σε  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ . Τέλος, καθώς αυξάνεται η φόρτιση του νικελίου στην επιφάνεια του φορέα, η αναγωγή για τα είδη του Ni που παρουσιάζουν ασθενής αλληλεπίδραση με την  $\text{Al}_2\text{O}_3$  λαμβάνει χώρα σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

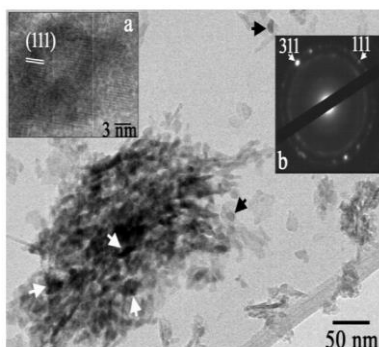


**Σχήμα 1.** Φάσματα XRD πυρωμένων (8 και 16% κ.β.), ανηγμένων (8% κ.β.) και χρησιμοποιημένων (8% κ.β.) δειγμάτων Ni/Al.

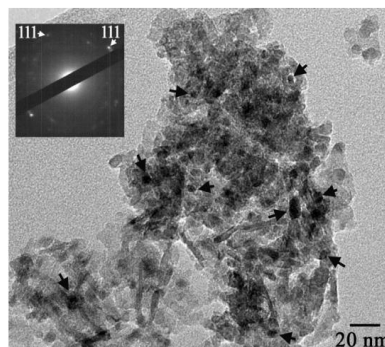


**Σχήμα 2.** Φάσματα TPR των δειγμάτων (8 και 16% κ.β.) Ni/Al.

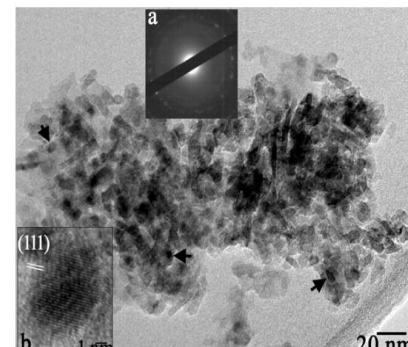
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων TEM παρουσιάζονται στα Σχήματα 3,4,5. Ο πυρωμένος καταλύτης 8Ni/Al-iwi περιλαμβάνει σωματίδια  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , που βρίσκονται σε μορφή συσσωματωμάτων και καταλυτικά σωματίδια που διακρίνονται σε  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  (λευκό βέλος) και  $\text{NiO}$  (μαύρο βέλος), με μεγέθη από 10 έως 25 nm και 5-12 nm, αντίστοιχα. Όσον αφορά, στον ανηγμένο 8Ni/Al-iwi καταλύτη, τα καταλυτικά σωματίδια (μαύρο βέλος) εμφανίζονται πυκνά διεσπαρμένα στην επιφάνεια της  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  και από τις μετρήσεις διάθλασης παρατηρήθηκε ότι ενεργός φάση του καταλύτη έχει αναχθεί σε  $\text{Ni}^0$ .



**Σχήμα 3.** Εικόνα TEM του πυρωμένου 8Ni/Al-iwi: (a) HP-TEM και (b) SAD.



**Σχήμα 4.** Εικόνα TEM και εικόνα SAD του ανηγμένου 8Ni/Al-iwi καταλύτη.



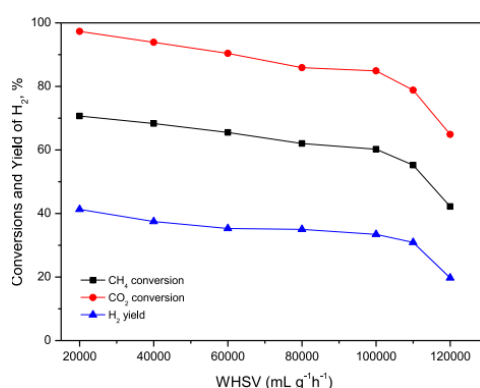
**Σχήμα 5.** Εικόνα TEM του ανηγμένου 8Ni/Al-edf: (a) SAD και (b) HP-TEM.

Επιπρόσθετα, για τον ανηγμένο καταλύτη 8Ni/Al-edf εμφανίζονται συσσωματώματα  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ωστόσο παρουσιάζεται ευρύτερη διασπορά στα καταλυτικά σωματίδια. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι για την ίδια φόρτιση σε Ni, το μέγεθος σωματιδίων του Ni είναι ελαφρώς μικρότερο για τον καταλύτη που παρασκευάστηκε με τη μέθοδο EDF.

### Καταλυτική απόδοση

#### Επίδραση της ταχύτητας χώρου και της φόρτισης σε μέταλλο

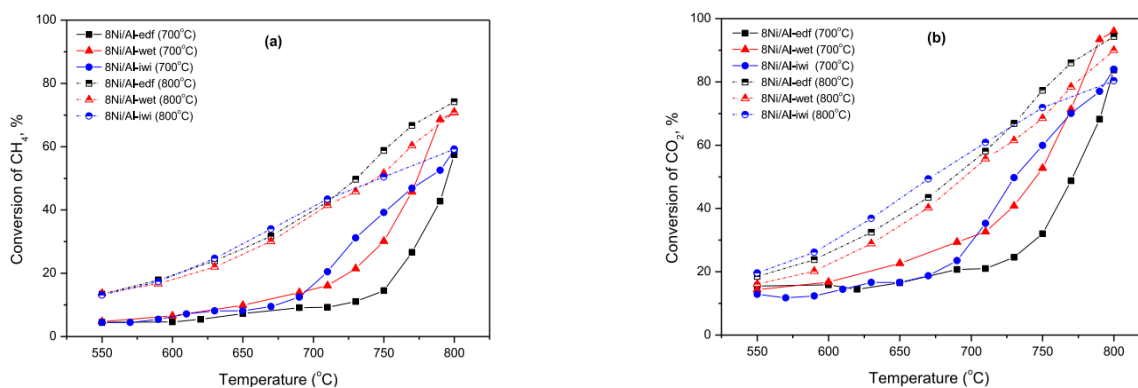
Στο Σχ. 6 παρουσιάζεται η επίδραση της WHSV στη δραστηριότητα του 8Ni/Al-iwi για τους 750°C. Οι μετατροπές CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>, καθώς και η παραγωγή H<sub>2</sub> αυξάνονται συνεχώς με τη μείωση της WHSV από 120,000 σε 20,000 mL/g h, εύρημα το οποίο είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα προγενέστερων μελετών [6,7]. Για όλα τα καταλυτικά συστήματα, διερευνήθηκε η επίδραση της φόρτισης σε Ni στη μετατροπή CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>, καθώς και την παραγωγή H<sub>2</sub> και CO. Οι μετατροπές CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν με αύξηση της φόρτισης σε Ni από 8 έως 16% κ.β., για όλα τα δείγματα. Επιπρόσθετα, οι καταλύτες με την υψηλότερη φόρτιση σε μέταλλο (16% κ.β.) εμφάνισαν σχεδόν την ίδια καταλυτική δραστηριότητα ανεξαρτήτως της τεχνικής που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους.



Σχήμα 6. Επίδραση της WHSV στην καταλυτική δραστηριότητα του καταλύτη 8Ni/Al-iwi.

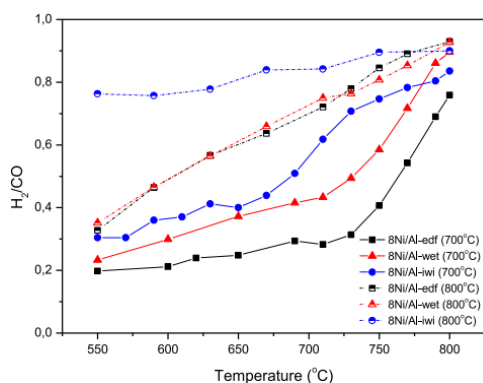
#### Επίδραση της θερμοκρασίας αναγωγής

Η μετατροπή CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, και η απόδοσης ως προς H<sub>2</sub> και CO για όλα τα καταλυτικά συστήματα σε θερμοκρασίες μεταξύ 550 - 800°C αλλά και η επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας αναγωγής απεικονίζεται στα Σχήματα 7(α,β) και 8(α,β). Αρχικά, με την αύξηση της θερμοκρασίας αντίδρασης αυξάνεται η μετατροπή και η απόδοση. Επιπρόσθετα, οι καταλύτες που ενεργοποιήθηκαν στους 800°C, φαίνεται να έχουν ελαφρώς υψηλότερη μετατροπή CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub> και απόδοση ως προς H<sub>2</sub> και CO, ειδικότερα ο 8Ni/Al-edf στις υψηλότερες θερμοκρασίες αντίδρασης. Ο μοριακός λόγος H<sub>2</sub>/CO (Σχ. 9) αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, φθάνοντας την τιμή 0.9 για όλους τους ανηγμένους καταλύτες στους 800°C.

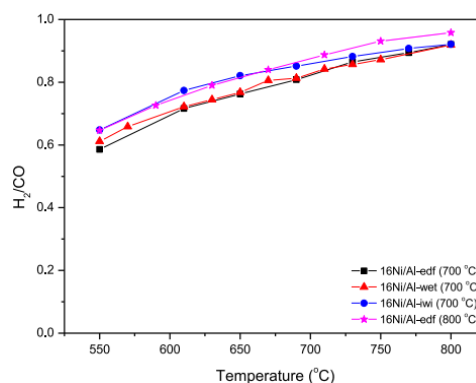


Σχήμα 7. Μετατροπή: (α) CH<sub>4</sub> και (β) CO<sub>2</sub> έναντι θερμοκρασίας για τους καταλύτες 8Ni/Al σε διαφορετική θερμοκρασία αναγωγής.

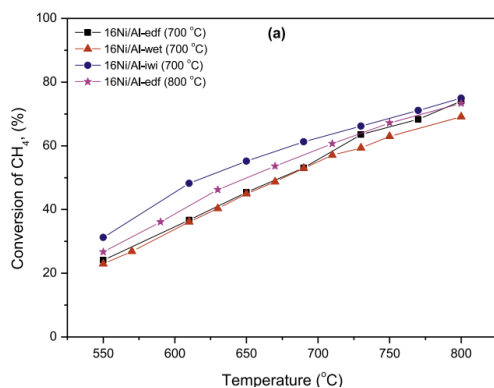
Επίσης για τους καταλύτες 16Ni/Al (Σχ.10 & 11) η καταλυτική απόδοση και ο μοριακός λόγος  $H_2/CO$  δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές, καθώς οι τιμές για τον μοριακό λόγο κυμαίνονται μεταξύ 0.6 με 0.9. Συγκεκριμένα, η απόδοση σε  $H_2$  (Σχ.12) στους 800°C φτάνει το 36.8% για τον 16Ni/Al-edf, το 35.3% για τον 16Ni/Al-wet και το 37% για τον 16Ni/Al-iwi, ενώ η αναγωγισιμότητα του δείγματος 16Ni/Al-edf δεν επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την αύξηση της θερμοκρασίας αναγωγής.



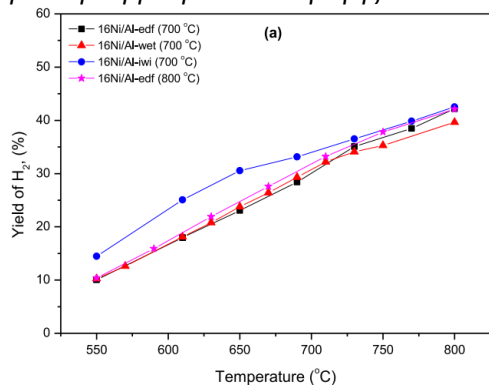
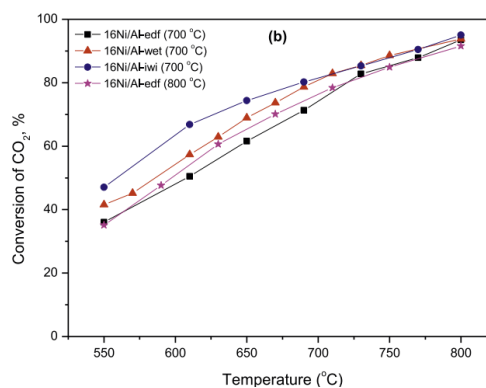
**Σχήμα 9.** Μοριακός λόγος  $H_2/CO$  έναντι θερμοκρασίας για τους καταλύτες 8Ni/Al σε διαφορετική θερμοκρασία αναγωγής.



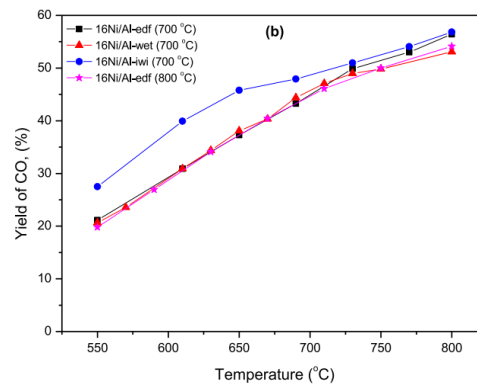
**Σχήμα 10.** Απόδοση: (a)  $H_2$  και (b)  $CO$  έναντι θερμοκρασίας για τους καταλύτες 16Ni/Al σε διαφορετική θερμοκρασία αναγωγής.



**Σχήμα 11.** Μετατροπή (a)  $CH_4$  και (b)  $CO_2$  έναντι θερμοκρασίας για τους καταλύτες 16Ni/Al σε διαφορετική θερμοκρασία αναγωγής.



**Σχήμα 12.** Μοριακός λόγος  $H_2/CO$  έναντι θερμοκρασίας για τους καταλύτες 16Ni/Al σε διαφορετική θερμοκρασία αναγωγής.



#### Επίδραση της μεθόδου παρασκευής του καταλύτη

Σύμφωνα με προηγούμενες δημοσιευμένες εργασίες [7], η παρουσία  $NiAl_2O_4$  οδηγεί σε σωματίδια Ni σε ισχυρή αλληλεπίδραση με τον φορέα και προστατεύει τα σωματίδια Ni από την συσσωμάτωση. Ωστόσο, η ισχυρή αλληλεπίδραση μετάλλου – φορέα μειώνει την ποσότητα του

επιφανειακού Ni κατά τη διάρκεια της αναγωγής στους 700°C, κι έτσι το Ni θα μπορούσε να είναι καλύτερα χημικά συνδεδεμένο με το φορέα [8,9]. Ορισμένοι συγγραφείς αναφέρουν ότι η δημιουργία του NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> μεταξύ των σωματιδίων Ni και της Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> μπορεί να καταστέλλει την συσσωμάτωση των σωματιδίων Ni [10]. Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι ιδιότητες των καταλυτών Ni στηριζόμενοι σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> επηρεάζονται σημαντικά από τη μέθοδο παρασκευής. Για να υπάρξει καλή καταλυτική απόδοση στην ξηρή αναμόρφωση του βιοαερίου, με περιορισμένο σχηματισμό επιφανειακού άνθρακα, πρέπει να παρασκευαστούν καταλύτες με μικρά μεταλλικά σωματίδια στην επιφάνειά τους [11,12]. Οι μέθοδοι παρασκευής που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη είχαν ως αποτέλεσμα σωματίδια Ni στην επιφάνεια του φορέα με μέγεθος μικρότερο από 15 nm για τους καταλύτες 8% κ.β. Ni και κάτω από 25 nm για τους καταλύτες με 16% κ.β. Ni. Επιπρόσθετα, για τους καταλύτες που παρασκευάστηκαν με την τεχνική EDF τα σωματίδια Ni είναι μικρότερα που όπως διαπιστώθηκε, οδήγησε σε χαμηλότερη εναπόθεση άνθρακα (Πίνακας 1), συγκριτικά με τους καταλύτες που παρασκευάστηκαν με την τεχνική του υγρού ή ξηρού εμποτισμού.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καταλύτες παρουσίασαν διαφορές στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στη δομή τους, επηρεάζοντας έτσι την καταλυτική τους δραστηριότητα, την απόδοσή τους σε H<sub>2</sub> και CO, το μοριακό λόγο H<sub>2</sub>/CO καθώς και την εναπόθεση του άνθρακα. Η καταλυτική απόδοση των 8Ni/Al βελτιώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας αναγωγής. Ωστόσο, για τον 8Ni/Al-edf, η καταλυτική συμπεριφορά ήταν αρκετά διαφορετική σε σύγκριση με τους καταλύτες που παρασκευάστηκαν με τις τεχνικές εμποτισμού. Τέλος, η εναπόθεση της ενεργού φάσης στην επιφάνεια της γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> με την τεχνική EDF αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη μέθοδο παρασκευής προσδίδοντας δραστικούς, εκλεκτικούς και πιθανότατα σταθερούς καταλύτες για την ξηρή αναμόρφωση του βιοαερίου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bereketidou O.A., Goula M.A. Catal. Today 195 (2012) 93-100.
- [2] Charisiou N.D., Siakavelas G., Papageridis K.N., Baklavaridis A., Tzounis L., Avraam D.G., Goula M.A. J. Nat. Gas Sci. Eng. 31 (2016) 164-183.
- [3] Papadopoulou C., Vakros J., Matralis H.K., Kordulis C., Lycourghiotis A. J. Colloid Interface Sci. 261 (2003) 146-153.
- [4] Ataloglou T., Vakros J., Bourikas K., Fountzoula C., Kordulis C., Lycourghiotis A. Appl. Catal. B – Environ. 57 (2005) 299-312.
- [5] Bourikas K., Vakros J., Fountzoula Ch., Kordulis Ch., Lycourghiotis A. Catal. Today 128 (2007) 138-144.
- [6] Doukkali M., Iriondo A., Arias P.L., Requies J., Gandarias I., Jalowiecki-Duhamel L., Dumeignil F. Appl. Catal. B – Environ. 125 (2012) 516-529.
- [7] Goula M.A., Charisiou N.D., Siakavelas G., Tzounis L., Tsiaoussis I., Panagiotopoulou P., Goula G., Yentekakis I.V. Int. J. Hydrogen Energ. 42 (2017) 13724-13740.
- [8] Charisiou N.D., Baklavaridis A., Papadakis V.G., Goula M.A., Waste Biomass Valori. 7 (2016) 725-736.
- [9] Liu B.S., Au C.T. Appl. Catal. A – Gen. 244 (2003) 181-195.
- [10] Jimenez-Gonzalez C., Boukha Z., De Rivas B., Delgado J.J., Cauqui M.A., Gonzalez-Velasco J.R. Gutierrez-Ortiz J.I., Lopez-Fonseca R. Appl. Catal. A – Gen. 466 (2013) 9-20.
- [11] Charisiou N.D., Tzounis L., Sebastian V., Baker M.A., Hinder S.J., Polychronopoulou K., Goula M.A. Appl. Surf. Sci. 474 (2019) 42-56.
- [12] Charisiou N.D., Siakavelas G., Tzounis L., Sebastian V., Monzon A., Baker M.A., Hinder S.J., Polychronopoulou K., Yentekakis I.V., Goula M.A. Int. J. Hydrogen Energ. 43 (2018) 18955-18976.