

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΔΟΜΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟ  
ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΛΥΚΕΡΟΛΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΑΤΑΛΥΤΩΝ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΣΕ  
ΦΟΡΕΑ  $Al_2O_3$  ΚΑΙ  $La_2O_3-Al_2O_3$**

**Γ.Ι Σιακαβέλας, Ν.Δ. Χαρισίου, Α. Μπακαγιάννη, Κ.Ν. Παπαγερίδης, Μ.Α. Γούλα\***

Εργαστήριο Εναλλακτικών Καυσίμων & Περιβαλλοντικής Κατάλυσης, Τμήμα Μηχανικών  
Περιβάλλοντος & Μηχανικών Αντιρρύπανσης, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη, Ελλάδα  
(\*[mqoula@teiwu.gr](mailto:mqoula@teiwu.gr))

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη καταλυτών Ni στηριζόμενων σε φορείς τροποποιημένης  $Al_2O_3$  με  $La_2O_3$  και μη τροποποιημένης  $Al_2O_3$  στην αντίδραση της ατμο-αναμόρφωσης της γλυκερόλης (GSR). Οι φορείς και οι καταλύτες χαρακτηρίστηκαν με PZC, BET, ICP, XRD,  $NH_3$ -TPD,  $CO_2$ -TPD, TPR και SEM. Ο εναποτιθέμενος άνθρακας στην επιφάνεια των καταλυτών χαρακτηρίστηκε με SEM, TPO και Raman. Η παρουσία του  $La_2O_3$  διευκολύνει τη διασπορά της ενεργού φάσης, ενισχύει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών Ni και του υποστρώματος, αυξάνει το πλήθος των βασικών θέσεων, οδηγεί σε ανακατανομή των όξινων θέσεων και προσδίδει βελτιωμένη απόδοση για την αντίδραση GSR, όσον αφορά τη δραστηριότητα, τη παραγωγή  $H_2$  και τη μακροχρόνια σταθερότητα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση της παραγωγής και χρήσης του βιοντίζελ λόγω της ανάγκης μείωσης του ανθρακικού αποτυπώματος στους τομείς των μεταφορών και της ενέργειας έχει οδηγήσει στην κατακόρυφη αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων ακατέργαστης γλυκερόλης (100g ελαίου παράγουν 10g γλυκερόλη) <sup>[1]</sup>. Κατά συνέπεια, η αξιοποίηση της είναι περιβαλλοντικά επιτακτική. Η πιο ενδιαφέρουσα πρόταση που προσελκύει τα τελευταία χρόνια την επιστημονική κοινότητα είναι η αντίδραση της ατμο-αναμόρφωσης γλυκερόλης (GSR) για την παραγωγή υδρογόνου ( $H_2$ ) ή/και αερίου σύνθεσης ( $H_2/CO$ ), καθώς είναι θερμοδυναμικά εφικτή, έχει αυξημένη απόδοση σε  $H_2$  (για κάθε mol γλυκερόλης θεωρητικά παράγονται έως και 7 mol  $H_2$ ) και λαμβάνει χώρα σε ατμοσφαιρική πίεση <sup>[2]</sup>. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα καταλυτικά συστήματα βασισμένα σε νικέλιο (Ni), καθώς έχουν χαμηλό κόστος, υψηλή διαθεσιμότητα και υψηλή απόδοση ειδικότερα όταν ικανοποιείται η απαίτηση της υψηλής διασποράς μετάλλου στην επιφάνεια του φορέα <sup>[3]</sup>. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η καταλυτική ενεργότητα προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας αντίδρασης στην: (i) συνολική μετατροπή της γλυκερόλης, (ii) μετατροπή της γλυκερόλης σε αέρια προϊόντα, (iii) εκλεκτικότητα και απόδοση σε  $H_2$ . Επιπρόσθετα, η σταθερότητα των καταλυτικών συστημάτων μελετήθηκε μέσω πειραμάτων μακροχρόνιας διάρκειας.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Παρασκευή καταλυτών & Χαρακτηρισμός καταλυτών

Παρασκευάστηκαν καταλύτες Ni στηριζόμενοι σε πυρωμένους ( $800^\circ C$  για 4hr) φορείς  $\gamma-Al_2O_3$  και  $La_2O_3-Al_2O_3$  (περιεκτικότητας 4% κ.β.  $La_2O_3$ ). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη έχουν ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενη εργασία <sup>[4]</sup>. Τα δείγματα παρασκευάστηκαν με την τεχνική του υγρού εμποτισμού χρησιμοποιώντας  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ως υδατικό διάλυμα, με σκοπό τη λήψη καταλυτών με 8% κ.β. σε Ni. Στη συνέχεια, τα δείγματα ξηράθηκαν για 12hr και πυρώθηκαν στους  $800^\circ C$  για 4hr (αναφέρονται ως πυρωμένοι καταλύτες) και οι καταλύτες που ενεργοποιήθηκαν για 1hr στους  $800^\circ C$  με ροή  $H_2$  αναφέρονται ως ανηγμένοι. Τα δείγματα θα αναγράφονται εφεξής ως Ni/Al και Ni/LaAl.

### Πειράματα καταλυτικής δοκιμασίας

Η αντίδραση GSR πραγματοποιήθηκε σε ατμοσφαιρική πίεση σε αντιδραστήρα συνεχούς ροής, σταθεροποιημένης κλίνης και σε θερμοκρασιακό εύρος από 400 έως 750°C υπό ροή ρεύματος τροφοδοσίας 73% H<sub>2</sub>O, 4% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>, 23% He για μοριακό λόγο 20:1 (πρωτόκολλο #1) και 63% H<sub>2</sub>O, 7% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>, 30% He για μοριακό λόγο 9:1 (πρωτόκολλο #2), WHSV=50,000 mlg<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> και μάζα καταλύτη 200 mg. Πριν την αντίδραση πραγματοποιήθηκε in-situ ενεργοποίηση του καταλύτη για 1hr στους 800°C υπό ροή H<sub>2</sub>. Ακολούθησε μείωση της θερμοκρασίας, παραμονή στους 750°C υπό ροή He για 45min και εισαγωγή του αέριου/υγρού μείγματος και μείωση της θερμοκρασίας στους 400°C με καταγραφή μετρήσεων ανά 50min. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα πειράματα μακροχρόνιας διάρκειας 20hr, με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία μειώθηκε στους 600°C και οι μετρήσεις ελήφθησαν κάθε 1hr για τα αέρια προϊόντα και κάθε 4hr για τα υγρά προϊόντα.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### Αποτελέσματα χαρακτηρισμών

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης της ειδικής επιφάνειας, του όγκου πόρων και της φόρτισης σε μέταλλο των ανηγμένων καταλυτών. Παρατηρείται ότι οι ανηγμένοι καταλύτες Ni/Al και Ni/LaAl παρουσιάζουν παρόμοια φόρτιση σε Ni και συγκρίσιμες τιμές ειδικής επιφάνειας (136 και 126 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>, πειραματικό σφάλμα ± 0.14 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) και μέσης διαμέτρου πόρων (20.1 και 21.1 nm), ωστόσο ο Ni/LaAl έχει υψηλότερο όγκο πόρων. Επιπρόσθετα, ο τροποποιημένος καταλύτης παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερη διασπορά της δραστικής φάσης.

**Πίνακας 1.** Φυσικοχημικές ιδιότητες των ανηγμένων δειγμάτων.

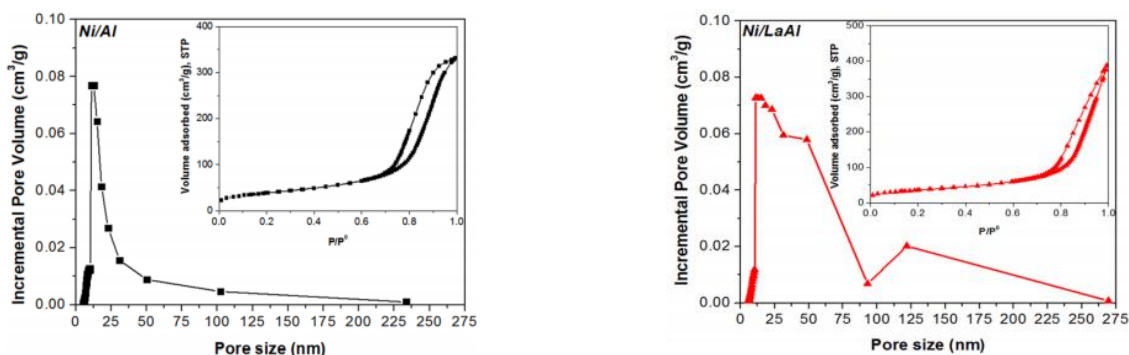
Καταλύτες	Ni (% κ.β.)	SSA (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Όγκος πόρων (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	Μέση διάμετρος πόρων (nm)	Ni <sup>o</sup> (nm) <sup>a</sup>	Διασπορά Ni <sup>o</sup> (%) <sup>b</sup>
Ni/Al	7.14	136	0.32	20.1	16.8	3.9
Ni/LaAl	7.79	126	0.43	21.1	21.1	9.1

#### Σημείωση:

<sup>a</sup> Αξιολογείται από την ανάλυση Scherrer των ευρημάτων του XRD

<sup>b</sup> Υπολογίστηκε με τη μέθοδο Vannice

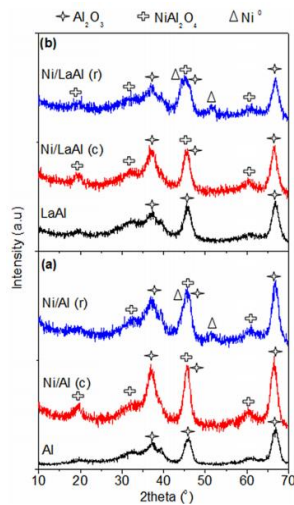
Από τις καμπύλες ποτενσιομετρικών τιτλοδοτήσεων, η τιμή PZC για την Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> υπολογίστηκε = 6.8, ενώ για τον φορέα LaAl = 10.0, υποδεικνύοντας αυξημένη βασικότητα. Από τις ισόθερμους προσρόφηση – εκρόφηση N<sub>2</sub> (Σχ. 1), συμπεραίνεται ότι οι καταλύτες εμφανίζουν μικρότερη προσρόφηση σε χαμηλές πιέσεις και μεγαλύτερη σε υψηλότερες. Από τις καμπύλες κατανομής μεγέθους πόρων, παρατηρείται ότι για τον Ni/Al η πλειονότητα των πόρων βρίσκεται στο μέσο εύρος, ενώ για τον Ni/LaAl κυρίως στο μέσο εύρος, αν και υπάρχουν και μακρο-πόροι.



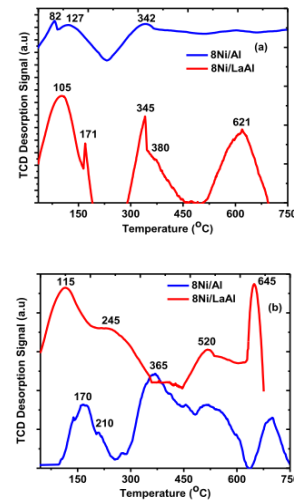
**Σχήμα 1.** Προσρόφηση – Εκρόφηση N<sub>2</sub> και κατανομή μεγέθους πόρων των ανηγμένων καταλυτών Ni/Al και Ni/LaAl.

Στο Σχ. 2 παρουσιάζονται τα φάσματα XRD των πυρωμένων και ανηγμένων καταλυτών, καθώς και

των πυρωμένων φορέων. Αρχικά, για τον Ni/Al ανιχνεύτηκαν οι κρυσταλλικές φάσεις της  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  και του  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ . Παρατηρήθηκαν αλλαγές μεταξύ πυρωμένης και ανηγμένης κατάστασης, όπως η μείωση των κορυφών της  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και του  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  και η εμφάνιση της μεταλλικής φάσης  $\text{Ni}^0$ . Τέλος για τον Ni/Al δεν ανιχνεύθηκε η κρυσταλλική φάση  $\text{NiO}$ .

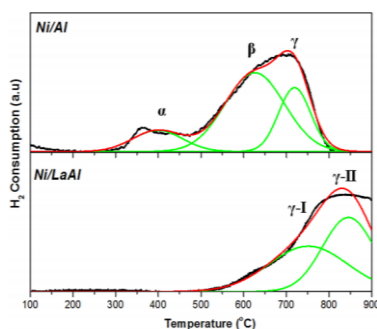


**Σχήμα 2.** Φάσματα XRD (a) Al και Ni/Al, (b) LaAl και Ni/LaAl.

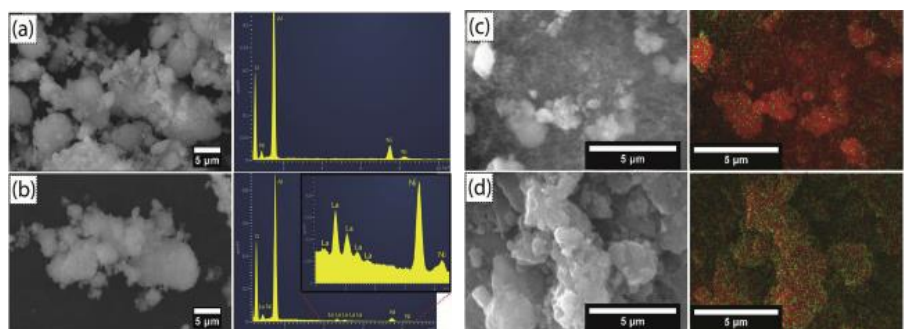


**Σχήμα 3.** Διαγράμματα (a)  $\text{CO}_2$ -TPD και (b)  $\text{NH}_3$ -TPD των καταλυτών Ni/Al και Ni/LaAl.

Από το Σχ. 3(a) παρατηρείται ότι ο Ni/Al παρουσιάζει δύο κορυφές εκρόφησης  $\text{CO}_2$  στους 100 και  $350^\circ\text{C}$ , οι οποίες συνδέονται με την παρουσία βασικών θέσεων ασθενούς και μέσης ισχύος, αντίστοιχα. Αντίθετα, ο Ni/LaAl έδειξε τρεις κορυφές εκρόφησης  $\text{CO}_2$ , με την πρώτη να επικεντρώνεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία ( $180^\circ\text{C}$ ), η δεύτερη κορυφή στους  $345^\circ\text{C}$  και η τρίτη κορυφή σχεδόν στους  $620^\circ\text{C}$ . Αυτές οι κορυφές μπορούν να αποδοθούν σε βασικές θέσεις χαμηλής, μέσης/υψηλής ισχύος και στη θερμική αποσύνθεση lanthana-carbonates, αντίστοιχα. Από το Σχ. 3(b) παρατηρείται ότι ο Ni/Al κυριαρχείται από τρεις περιοχές εκρόφησης στους  $170^\circ\text{C}$ ,  $300$ - $600^\circ\text{C}$  και πάνω από τους  $600^\circ\text{C}$ , οι οποίες σχετίζονται με ασθενής και μεσαίες/ισχυρές όξινες θέσεις, καθώς και πιθανή αντίδραση της προσροφημένης  $\text{NH}_3$  προς τον σχηματισμό  $\text{NO}_x$ . Για τον Ni/LaAl, παρατηρείται μετατόπιση της κορυφής που αντιστοιχεί στις ασθενής όξινες θέσεις.



**Σχήμα 4.** Φάσματα TPR των καταλυτών Ni/Al και Ni/LaAl.



**Σχήμα 5.** (a), (b) πυρωμένοι καταλύτες Ni/Al και Ni/LaAl – Εικόνες SEM και EDS και (c), (d) Χρησιμοποιημένοι καταλύτες Ni/Al και Ni/LaAl (πρωτόκολλο #2) – Εικόνες SEM και χαρτογράφηση άνθρακα.

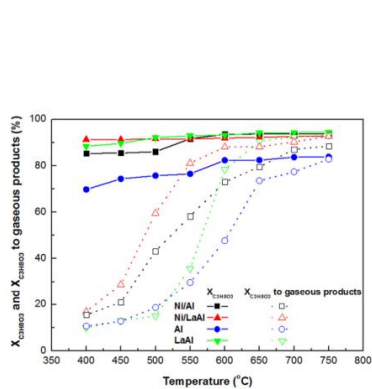
Η μελέτη της αναγωγισιμότητας των καταλυτικών συστημάτων πραγματοποιήθηκε μέσω πειραμάτων TPR (Σχ. 4). Όσον αφορά τον Ni/Al παρατηρείται κορυφή σε χαμηλή θερμοκρασία (α-κορυφή,  $398^\circ\text{C}$ ), η οποία αποδίδεται στην αναγωγή του  $\text{NiO}$  και μία ευρεία κορυφή που αντιστοιχεί στην αναγωγή του  $\text{NiAl}_2\text{O}_3$  (β-κορυφή και γ-κορυφή,  $625$  και  $719^\circ\text{C}$ ), υποδεικνύοντας ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών Ni και αλουμίνας [3]. Αντίθετα, ο Ni/LaAl παρουσίασε

ευρεία κορυφή περίπου στους 830°C, με τις κορυφές γ-I και γ-II να βρίσκονται στους 752 και 845°C, αντίστοιχα. Το Σχ. 5(a) παρουσιάζονται εικόνες SEM του καταλύτη Ni/Al πριν τη χρήση (πυρωμένο δείγμα). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί ο καταλύτης είναι μη ομοιόμορφης μορφολογίας και περιλαμβάνει συσσωματώματα, καθώς και μικροσωματίδια και νανοσωματίδια. Η εικόνα για τον καταλύτη Ni/LaAl είναι παρόμοια με αυτή του δείγματος Ni/Al, καθώς περιλαμβάνει συσσωματώματα, αλλά επίσης περιλαμβάνει και σωματίδια με μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν σε nm.

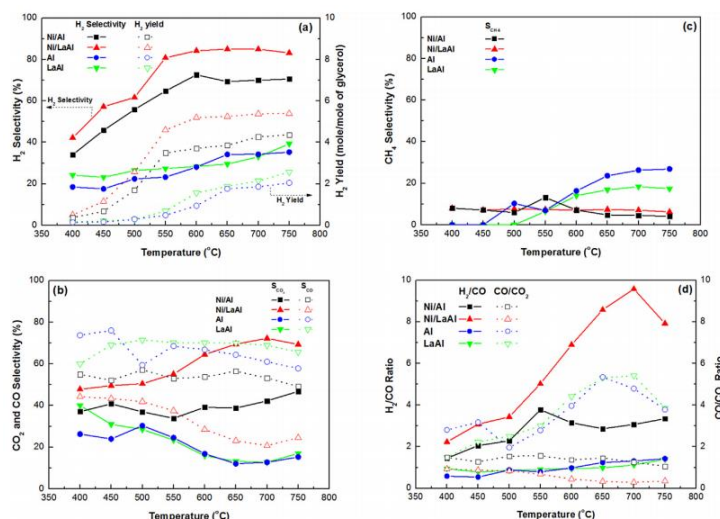
## Επίδραση ενεργού φάσης

### Καταλυτική δραστηριότητα – σταθερότητα

Στο Σχ. 6 παρατηρείται ότι για το Ni/Al η  $X_{C_3H_8O_3}$  κυμαίνεται από 85% (400°C) έως 94% (750°C). Η  $Al_2O_3$  παρουσιάζει την ίδια τάση, με τις τιμές να είναι 10-15% χαμηλότερες για όλο το θερμοκρασιακό εύρος. Επιπρόσθετα, η  $X_{C_3H_8O_3}$  φαίνεται σχεδόν σταθερή τόσο για τη LaAl όσο και για το Ni/LaAl (90%) για όλο το εύρος των θερμοκρασιών. Η σχεδόν πλήρης μετατροπή της γλυκερόλης από τα πειραματικά αποτελέσματα, είναι σύμφωνη με τις θερμοδυναμικές προβλέψεις [5]. Όσον αφορά την  $X_{C_3H_8O_3}$  σε αέρια προϊόντα, ο Ni/LaAl εμφανίζεται πιο δραστήριος από τον Ni/Al. Στο Σχ. 7 παρατηρείται ότι η παραγωγή  $H_2$  του Ni/LaAl είναι υψηλότερη από τον Ni/Al (10-15%). Πάνω από τους 600°C, ο Ni/LaAl προσεγγίζει τη μέγιστη  $Y_{H_2}$  που προβλέπεται από τη θερμοδυναμική, υποδεικνύοντας ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη διάσπαση του δεσμού C-C, που θα μπορούσε να ενισχυθεί από την ενεργό φάση των καταλυτών ή από την κατανάλωση των οξυγονωμένων υδρογονανθράκων που πραγματοποιείται με την αύξηση της θερμοκρασίας [6]. Όσον αφορά την  $S_{CH_4}$ , πάνω από τους 600°C αυξάνεται για τους φορείς, ωστόσο με μικρότερη αύξηση για τον LaAl. Τέλος, ο λόγος  $H_2/CO$  αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και για τους δύο καταλύτες, ωστόσο ο Ni/LaAl παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές, ειδικά για τις υψηλότερες θερμοκρασίες (<600°C).



**Σχήμα 6.** Συνολική μετατροπή γλυκερόλης και μετατροπή γλυκερόλης σε αέρια προϊόντα για όλα τα δείγματα (πρωτόκολλο #1).

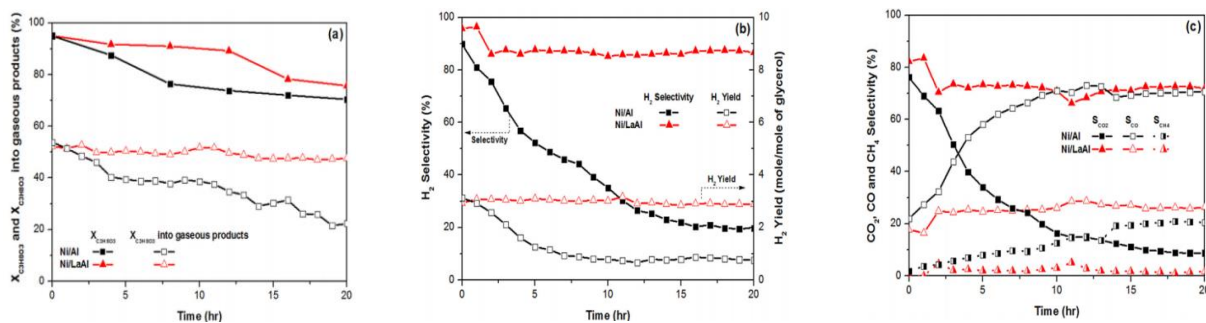


**Σχήμα 7.** (a) εκλεκτικότητα και απόδοση ως προς υδρογόνο, (b) εκλεκτικότητα ως προς  $CO$  και  $CO_2$ , (c) εκλεκτικότητα ως προς  $CH_4$ , και (d) μοριακοί λόγοι  $H_2/CO$  και  $CO/CO_2$ .

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων σταθερότητας για τους καταλύτες (Σχ. 8), έδειξαν για τον Ni/Al ότι η  $X_{C_3H_8O_3}$  μειώνεται δραστικά, υποδεικνύοντας απώλεια της ικανότητας του καταλύτη να διασπάσει το δεσμό C-C. Επιπλέον, η  $S_{H_2}$  υφίσταται σημαντική μείωση, συνοδευόμενη από δραστηκή μείωση της  $S_{CO_2}$  και την αύξηση της  $S_{CO}$ , υποδηλώνοντας ότι η δραστηριότητα μειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της αντίδρασης. Συνεπώς, ο λόγος  $H_2/CO$  μειώνεται δραστικά και η



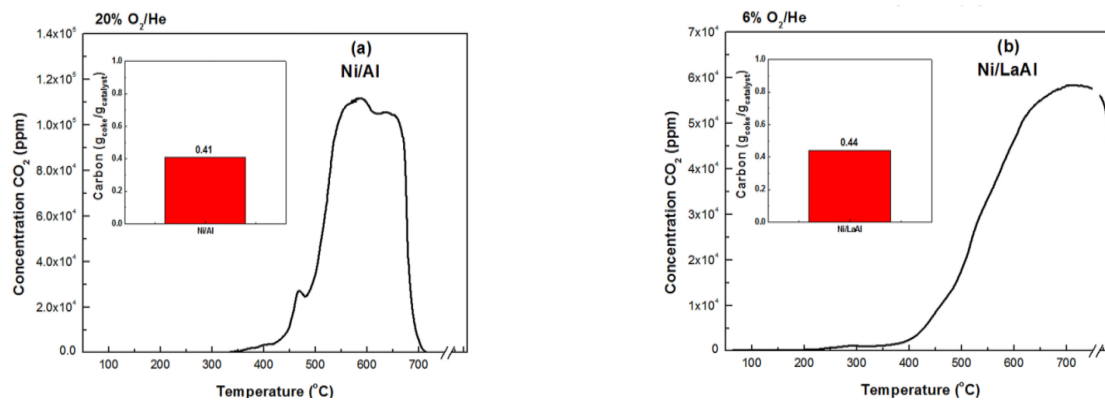
παραγωγή  $\text{CH}_4$  αυξάνεται κατά δέκα φορές. Η απενεργοποίηση των καταλυτών Ni με βάση την τροποποιημένη  $\text{Al}_2\text{O}_3$  στην GSR έχει επίσης αναφερθεί και από άλλες ερευνητικές ομάδες και αποδίδεται στον σχηματισμό του άνθρακα στην καταλυτική επιφάνεια και στην πυροσυσσωμάτωση των ενεργών κέντρων [6-8]. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο καταλύτης Ni/LaAl παρουσιάζει ιδιαίτερη σταθερότητα, καθώς η  $\text{X}_{\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}$  σε αέρια προϊόντα παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, παρόλο που η  $\text{X}_{\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}$  δείχνει μία μικρή ελάττωση των τιμών μετά από 12hr.



**Σχήμα 8.** Πειράματα σταθερότητας (α) Συνολική μετατροπή της γλυκερόλης & μετατροπή της γλυκερόλης σε αέρια προϊόντα, (β) Εκλεκτικότητα και απόδοση ως προς υδρογόνο.

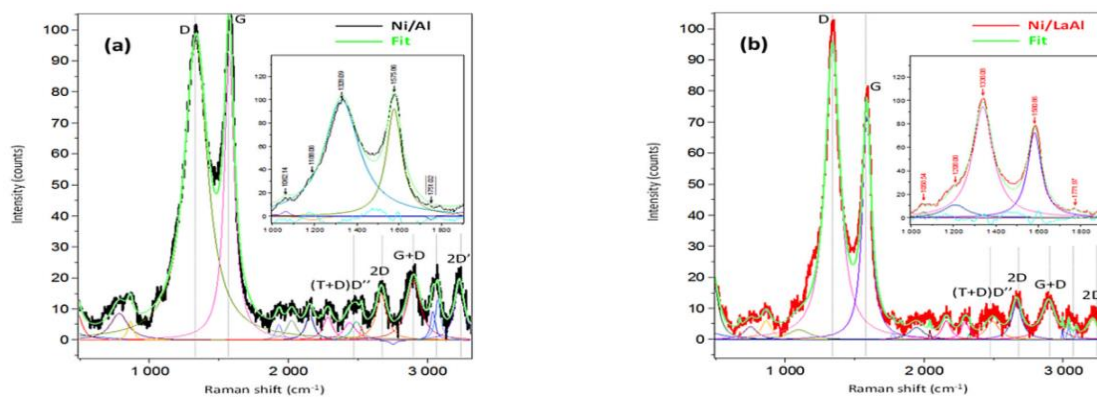
#### Χαρακτηρισμοί χρησιμοποιημένων καταλυτών

Από την μελέτη των χρησιμοποιημένων δειγμάτων από τα πειράματα μακροχρόνιας διάρκειας παρατηρήθηκε εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων άνθρακα, καλύπτοντας σχεδόν ολόκληρη την επιφάνεια του καταλύτη. Δύο διαφορετικοί τύποι άνθρακα μπορούν να διακριθούν, συγκεκριμένα άμορφος και γραφιτικός.



**Σχήμα 9.** Φάσματα TPO & συνολική ποσότητα εναποτιθέμενου άνθρακα (ένθετο).

Από τις μετρήσεις TPO το συνολικό ποσοστό των ανθρακούχων αποθέσεων διαμορφώνεται μετά από την ολοκλήρωση των αντίστοιχων καμπυλών TPO (Ni/Al= 0.41gcoke/gcatal & Ni/LaAl= 0.44gcoke/gcatal). Η φύση και τα χαρακτηριστικά των ανθρακούχων αποθέσεων που σχηματίστηκαν στους χρησιμοποιημένους καταλύτες μελετήθηκαν επίσης με Raman (Σχ. 10). Τα φάσματα Raman για τους καταλύτες Ni/Al και Ni/LaAl επιβεβαιώνουν το σχηματισμό διαφορετικών τύπων άνθρακα όπου εξαρτώνται από τη φύση του φορέα του καταλύτη. Η εξέταση των χρησιμοποιημένων δειγμάτων με τη τεχνική Raman έδειξε ότι η αναλογία  $I_D/I_G$  μειώνεται με την ακόλουθη σειρά: Ni/LaAl ( $I_D/I_G=1.37$ ) > Ni/Al ( $I_D/I_G=0.88$ ), δείχνοντας ότι ο Ni/Al παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό γραφιτικού άνθρακα, ενώ ο Ni/LaAl παρουσιάζει τον υψηλότερο βαθμό άμορφου άνθρακα.



Σχήμα 10. Φάσματα Raman των χρησιμοποιημένων (α) Ni/Al και (β) Ni/LaAl καταλυτών.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η καταλυτική δραστηριότητα για την αντίδραση GSR παρουσία καταλυτών με ενεργό φάση το Ni στηριζόμενοι σε φορείς  $\text{Al}_2\text{O}_3$  και  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Η παρουσία του  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  στα πυρωμένα δείγματα Ni/Al και Ni/LaAl ταυτοποιήθηκε με την χρήση XRD και TPR λόγω της εμφάνισης των κορυφών β και γ στις υψηλότερες θερμοκρασίες αναγωγής. Επιπρόσθετα, από τα πειράματα PZC και TPD παρατηρήθηκε η αύξηση της βασικότητας παρουσία  $\text{La}_2\text{O}_3$  στην επιφάνεια της  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Από τα πειράματα TPO, ο εναποτιθέμενος άνθρακας φάνηκε να είναι περισσότερος για τον καταλύτη Ni/Al. Ενώ, από τις μετρήσεις TPO και Raman επιβεβαιώθηκε ο σχηματισμός διαφορετικών τύπων άνθρακα, ενώ η αναλογία τους εξαρτάται από τη φύση του καταλύτη-φορέα. Ο Ni/LaAl παρουσίασε βελτιωμένη ικανότητα μετατροπής της γλυκερόλης σε αέρια προϊόντα, σε σύγκριση με τον Ni/Al, εμφανίζοντας παράλληλα καλύτερη συμπεριφορά ως προς την παραγωγή  $\text{H}_2$ . Από τα πειράματα σταθερότητας παρατηρήθηκε η μείωση της δραστηριότητας του καταλύτη Ni/Al, ενώ ο Ni/LaAl φαίνεται να απενεργοποιείται με πιο αργό ρυθμό. Συμπερασματικά, ο καταλύτης Ni/LaAl για την αντίδραση GSR ικανοποιεί τα ζητήματα της βελτιωμένης απόδοσης, όσον αφορά τη δραστηριότητα, τη παραγωγή  $\text{H}_2$  και τη μακροχρόνια σταθερότητα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία χρηματοδοτήθηκε από το Ερευνητικό Πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ 2011-2015, και τίτλο έργου «Παραγωγή ενεργειακών φορέων από παραπροϊόντα βιομάζας. Αναμόρφωση της γλυκερίνης για παραγωγή υδρογόνου, υδρογονανθράκων και ανώτερων αλκοολών».

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Papageridis K.N., Charisiou N.D., Siakavelas G., Avraam D.G., Tzounis L., Kousi K., Goula M.A. Fuel Process. Technol. 152 (2016) 156-175.
- [2] Charisiou N.D., Siakavelas G., Papageridis K.N., Sebastian V., Hinder S.J., Baker M.A., Polychronopoulou K., Goula M.A. Catal. Today 319 (2019) 206-219.
- [3] Goula M.A., Charisiou N.D., Papageridis K.N., Siakavelas G., Chinese J. Catal. 37 (2016) 1949-1965.
- [4] 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.
- [5] Chen H., Ding Y., Cong N.T., Dou B., Dupont V., Chadiri M., Williams P.T., Renew. Energ. 36 (2011) 779-788.
- [6] Charisiou N.D., Papageridis K.N., Tzounis L., Sebastian V., Baker M.A., Hinder S.J., AlKetbi M., Polychronopoulou K., Goula M.A., Int. J. Hydrogen Energ. 44 (2019) 256-273.
- [7] Sanchez E.A., Comelli R.A., Int. J. Hydrogen Energ. 39 (2014) 8650-8655.
- [8] Dieuzeide M.L., Jobbagy M., Amadeo N., Catal. Today 213 (2013) 50-57.