



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Εργαστήριο Φυσικοχημείας και Χημικών Διεργασιών

**ΜΙΑ ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ**

Γ. Γούλα, Θ. Παπαδάμ, Ι. Γεντεκάκης

Περιεχόμενα

✓ Εισαγωγή

- Βιοαέριο
- Περιγραφή νέας μεθοδολογίας
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά SOFC
- Καινοτομία κυψελίδων καυσίμου βιοαερίου

✓ Αποτελέσματα και Συζήτηση

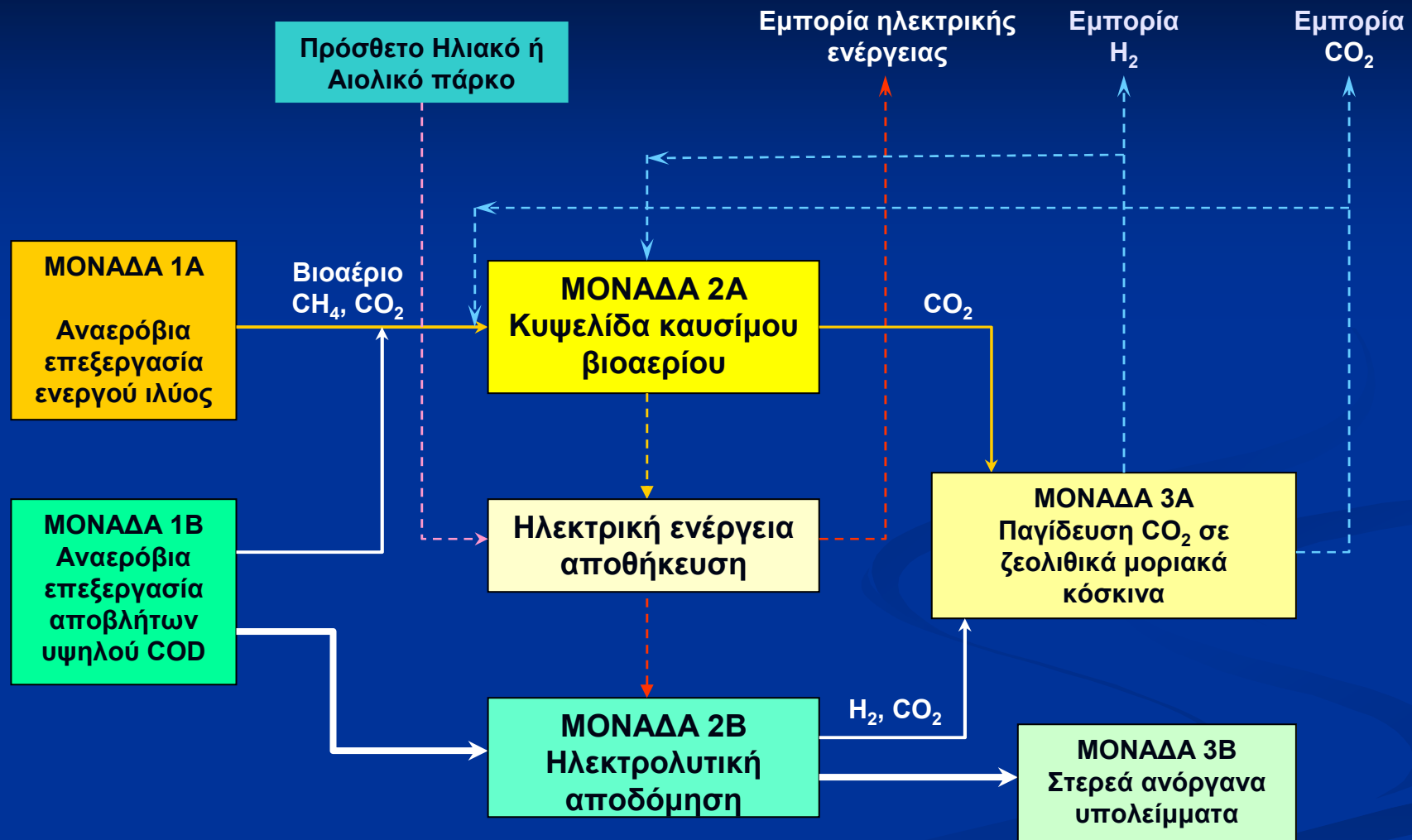
- Ανάπτυξη και λειτουργία κυψελίδων καυσίμου βιοαερίου υψηλής και ενδιάμεσης θερμοκρασίας
- Στοιχεία Τάσης – Έντασης και Ισχύος – Έντασης
- Σύγκριση των ανεπτυγμένων κυψελίδων καυσίμου βιοαερίου

✓ Συμπεράσματα

Βιοαέριο

- ❑ CH_4 και CO_2 $\longrightarrow$ κύρια συστατικά βιοαερίου
- ❑ Παράγεται εκτεταμένα στις μέρες μας μέσω αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων $\longrightarrow$ ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- ❑ Συνήθης σύστασή του $\longrightarrow$
 $\text{CH}_4 \approx (50-70\%), \text{CO}_2 \approx (25-50\%),$
 $\text{H}_2 \approx (1-5\%), \text{N}_2 \approx (0.3-3\%),$
δευτερεύουσες ουσίες $\longrightarrow$
αξιοσημείωτες $\text{NH}_3, \text{H}_2\text{S},$ αλογονίδια
- ❑ Η ποικιλία της περιεκτικότητάς του σε CH_4/CO_2 καθιστά τη χρήση του αμφίβολη σε συμβατικούς καυστήρες, ειδικά στις περιπτώσεις χαμηλής ποιότητας βιοαερίου ($\text{CH}_4/\text{CO}_2 < 1$)

Περιγραφή νέας μεθοδολογίας



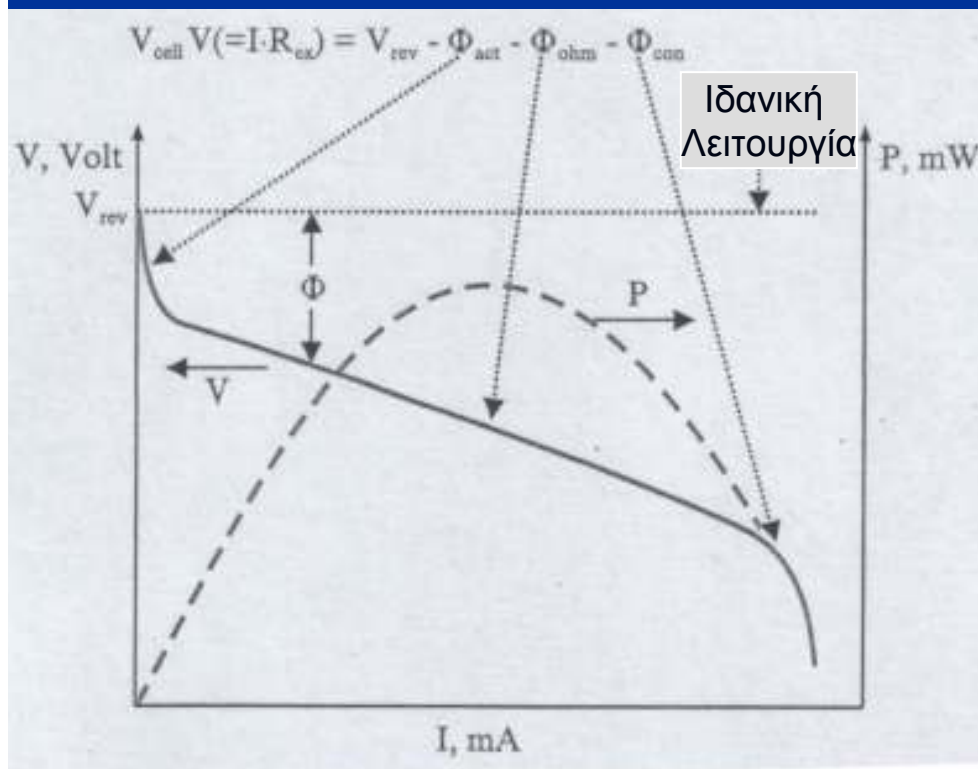
Διάγραμμα ροής της νέας μεθοδολογίας ενεργειακής εκμετάλλευσης βιοαερίου για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και/ή υδρογόνου

Λειτουργικά Χαρακτηριστικά SOFC

Εξίσωση Butler – Volmer

$$V = IR_{\text{ex}} = V_{\text{rev}} - \left(\frac{RT}{a_c F} \ln \frac{I/A_c}{i_{o,c}} + \frac{RT}{a_a F} \ln \frac{I/A_a}{i_{o,a}} \right) - IR_i - \left\{ \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{I/A_c}{i_{L,c}} \right) + \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{I/A_a}{i_{L,a}} \right) \right\}$$

$$\Phi = \Phi_{\text{act}} + \Phi_{\text{ohm}} + \Phi_{\text{con}}$$



✓ Υπέρταση Ενεργοποίησης – Χαμηλές πυκνότητες ρεύματος

$$V \cong V_{\text{rev}} - \left(\frac{RT}{a_c F} \ln \frac{I/A_c}{i_{o,c}} + \frac{RT}{a_a F} \ln \frac{I/A_a}{i_{o,a}} \right)$$

✓ Ωμική Υπέρταση – Μέσες πυκνότητες ρεύματος

$$V \cong V_{\text{rev}} - IR_i - \text{Constant}$$

Διάγραμμα Τάσης – Έντασης λειτουργίας SOFC

Καινοτομία κυψελίδων καυσίμου βιοαερίου

Επιτυγχάνουν **εσωτερικά** την αντίδραση αναμόρφωσης CH_4



ταυτόχρονα με τις αντιδράσεις μεταφοράς φορτίου



Πλεονεκτήματα :

- ❑ Απευθείας τροφοδοσία βιοαερίου δίχως την απαίτηση εξωτερικού αναμορφωτή
- ❑ Καλύτερη μεταφορά θερμότητας μεταξύ της ενδόθερμης αντίδρασης αναμόρφωσης και των εξώθερμων αντιδράσεων μεταφοράς φορτίου, χωρίς απώλειες ενέργειας, με αποτέλεσμα υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Πειραματικό Μέρος

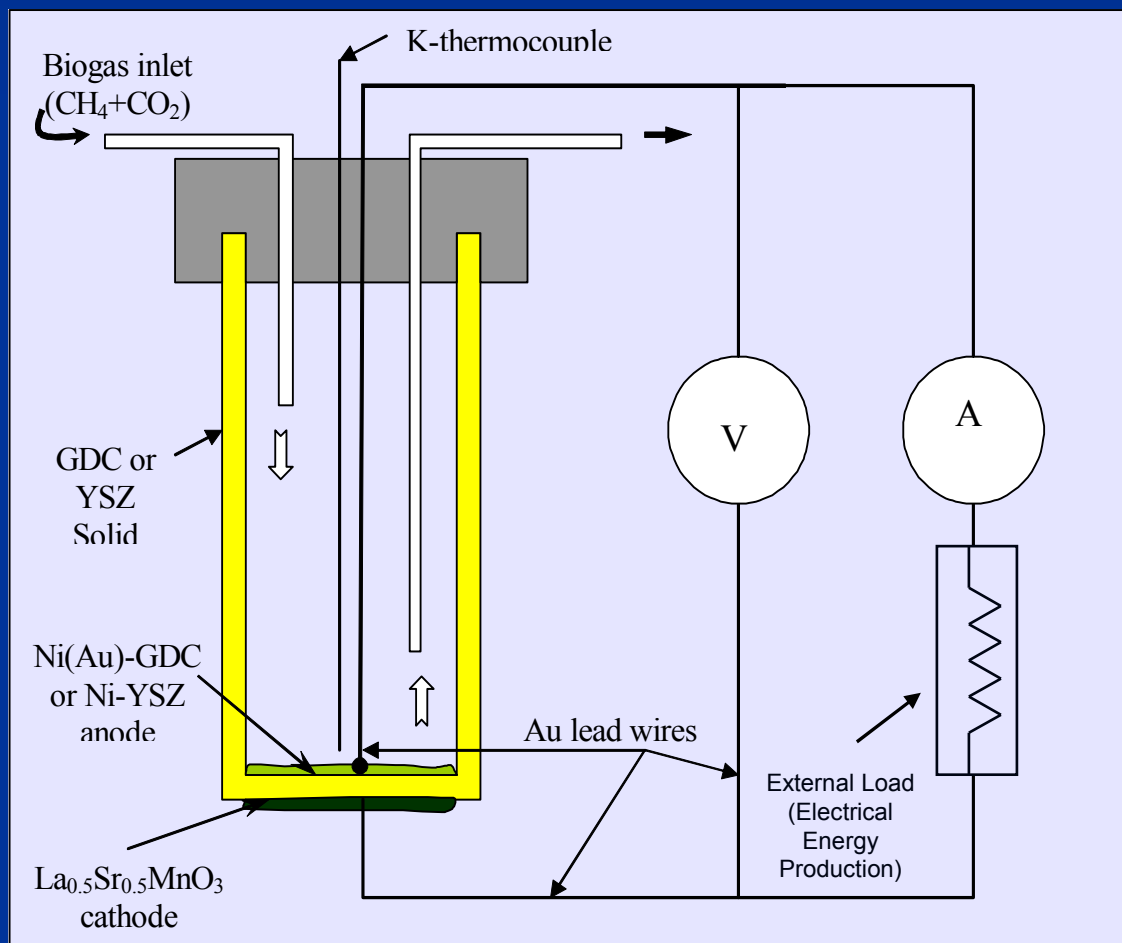
Δύο είδη SOFCs:

1. Ενδιάμεσης θερμοκρασίας SOFC

Βιοαέριο ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$), $\text{Ni}(\text{Au})\text{-GDC}$ cermet / GDC / $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$, αέρας

2. Υψηλής θερμοκρασίας SOFC

Βιοαέριο ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$), Ni-YSZ cermet / YSZ / $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$, αέρας

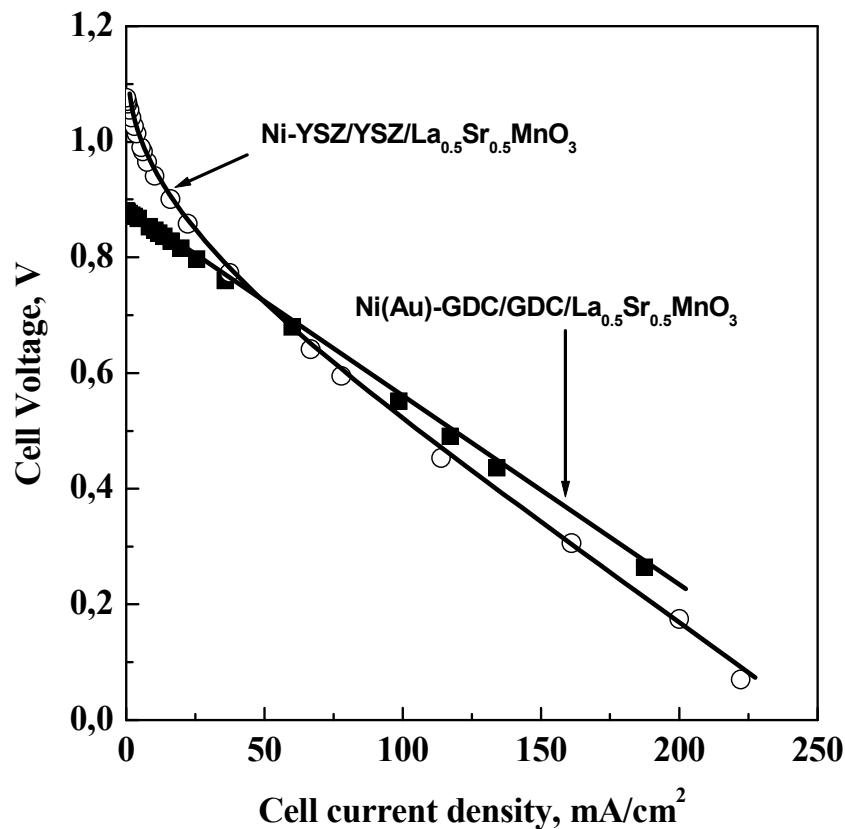


Σχηματικό διάγραμμα
αντιδραστήρα
κυψελίδας καυσίμου
βιοαερίου

Αποτελέσματα και Συζήτηση

- Και οι δυο τύποι κυψελίδων καυσίμου, υψηλής και ενδιάμεσης θερμοκρασίας, μελετήθηκαν υπό τρεις διαφορετικές συστάσεις τροφοδοσίας βιοαερίου:
 - **οξειδωτικό** ($\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1:2$)
 - **ισομοριακό** ($\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1:1$)
 - **αναγωγικό** ($\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 2:1$)
- Και οι δυο τύποι επέδειξαν σταθερή λειτουργία για μια μεγάλη χρονική περίοδο, για όλες τις συστάσεις βιοαερίου
- Και οι δυο τύποι εμφάνισαν μεγαλύτερη απόδοση σε πυκνότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος όταν τροφοδοτούνταν με ισομοριακής σύστασης βιοαερίο, όπου ο ρυθμός της αντίδρασης ξηρής αναμόρφωσης μεγιστοποιείται

Διάγραμμα Τάσης – Έντασης



1. GDC-SOFC

✓ γραμμική εξάρτηση ➡ ωμική υπέρταση

2. YSZ-SOFC

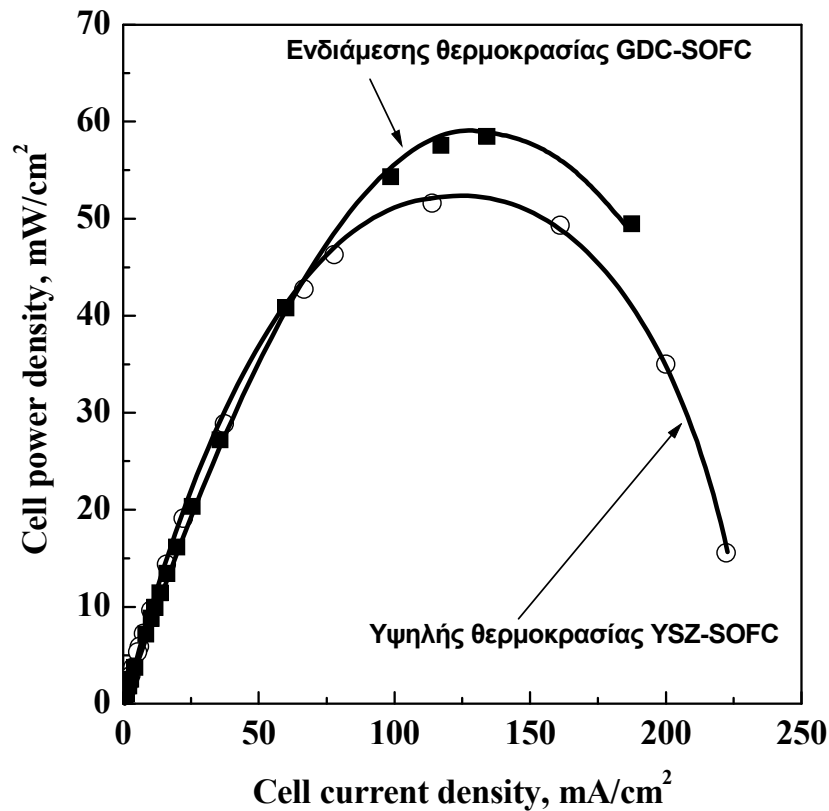
✓ αρχικά εκθετική καμπύλη
➡ υπέρταση ενεργοποίησης

✓ κλίση ευθύγραμμου τμήματος
➡ ωμική αντίσταση

Διάγραμμα Τάσης – Έντασης για τα ενδιάμεσης και υψηλής θερμοκρασίας SOFCs

Ισομοριακή σύσταση βιοαερίου, 50% CH₄/ 50% CO₂. T=875°C, συνολική παροχή F=60 cm³/min για το υψηλής θερμοκρασίας SOFC; T=640°C και F=20 cm³/min για το ενδιάμεσης θερμοκρασίας SOFC

Διάγραμμα Ισχύος – Έντασης



Παραγόμενη Ηλεκτρική Ισχύς

1. GDC-SOFC

✓ ~60 mW/cm²

2. YSZ-SOFC

✓ ~52 mW/cm²

Διάγραμμα Ισχύος – Έντασης για τα ενδιάμεσης και υψηλής θερμοκρασίας SOFCs

Ισομοριακή σύσταση βιοαερίου, 50% CH₄/ 50% CO₂. T=875°C, συνολική παροχή F=60 cm³/min για το υψηλής θερμοκρασίας SOFC; T=640°C και F=20 cm³/min για το ενδιάμεσης θερμοκρασίας SOFC

1. GDC – SOFC

- Απουσία υπερτάσεων ενεργοποίησης και συγκέντρωσης

 Ανοδικό ηλεκτρόδιο *Ni(Au)-GDC* πολλά υποσχόμενο
Ανοδικές και καθοδικές αντιδράσεις μεταφοράς φορτίου ταχείες

- Βελτιώσεις της συμπεριφοράς κυψελίδας καυσίμου βασισμένης σε στερεό ηλεκτρολύτη GDC :

- με χρήση λεπτότερου ηλεκτρολύτη
- με μικρή αύξηση στην θερμοκρασία λειτουργίας



μείωση ωμικής αντίστασης της κυψελίδας
μείωση ωμικής υπέρτασης της κυψελίδας

2. YSZ – SOFC

- ❑ Η απόδοση της κυψελίδας επηρεάζεται σημαντικά από την ύπαρξη υπέρτασης ενεργοποίησης ➡ ανοδικές αντιδράσεις μεταφοράς φορτίου δεν είναι ικανοποιητικά ταχείες πάνω στο *Ni-YSZ cermet* ηλεκτρόδιο, υπό τις συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν
- ❑ Ουσιαστικές βελτιώσεις στην λειτουργία κυψελίδας καυσίμου βασισμένης σε στερεό ηλεκτρολύτη YSZ :
 - βελτίωση ηλεκτροκαταλυτικών ιδιοτήτων της ανόδου
 - μέσω αξιολόγησης της σύστασης και/ή της δομής της
 - μέσω απόθεσης κατάλληλων προωθητών
 - μείωση πάχους του στερεού ηλεκτρολύτη

Συμπεράσματα

- ❑ Οι κυψελίδες καυσίμου, **ενδιάμεσης θερμοκρασίας GDC-SOFC** και **υψηλής θερμοκρασίας YSZ-SOFC** που λειτουργούν με απευθείας τροφοδοσία βιοαερίου αποτελούν ελπιδοφόρα τεχνολογία για την **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**
- ❑ Και οι δύο τύποι λειτουργούν ικανοποιητικά σε μια ποικιλία συστάσεων βιοαερίου, αν και ο **ισομοριακός λόγος τροφοδοσίας CH_4/CO_2** μεγιστοποιεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια
- ❑ Θεωρείται ευκολότερη η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς της **κυψελίδας ενδιάμεσης θερμοκρασίας**
- ❑ Η νέα τεχνολογία ενεργειακής εκμετάλλευσης βιοαερίου: πολλά υποσχόμενη μέθοδος για **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου**. Επιπρόσθετα, συνεισφέρει στην **αποτελεσματικότερη διαχείριση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων**

Σας Ευχαριστώ

για την

Προσοχή σας!