

**Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ :**

**ΧΡΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
(ΥΔΡΟΓΟΝΟ-ΜΕΘΑΝΙΟ) ΣΕ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
PEM & SOFC**



**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ :
ΣΚΟΥΡΑΣ ΕΥΓΕΝΙΟΣ**



ΚΑΝΕΛΛΕΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ :

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....σελ.5-11

- 1.1.1 – Ιδιοκτησιακό καθεστώς Δ.Ε.Π.Α.....σελ.6
- 1.1.2 – Προμήθεια φυσικού αερίου.....σελ.6
- 1.1.3 – Τεχνικά χαρακτηριστικά Φυσικού αερίου.....σελ.7
- 1.1.4 – Δίκτυο μεταφοράς & τερματικός σταθμός αποθήκευσης.....σελ.7- 8
- 1.1.5 – Συστήματα διανομής.....σελ.8
- 1.1.6 – Τιμολόγια οικιακού & επαγγελματικού τομέα.....σελ.9-11

Κεφάλαιο 2 – Πρόλογος.....σελ.11-25

- 2.1.1 – Ανακάλυψη.....σελ.11-12
- 2.1.2 – Δημιουργία.....σελ.13-14
- 2.1.3 – Παραγωγή.....σελ.14-19
- 2.1.4 – Θερμικές διαδικασίες.....σελ.19-24
- 2.1.5 – Ηλεκτρολυτικές διαδικασίες.....σελ.24-25
- 2.1.6 – Φωτολυτικές διαδικασίες.....σελ.25

Κεφάλαιο 3 – Υδρογόνο & μεθάνιο.....σελ.26-43

- 3.1.1 – Υδρογόνο & κυψέλες καυσίμου.....σελ.33-35
- 3.1.2 – Κυψέλες καυσίμων.....σελ.36-38
- 3.1.3 – Λειτουργία κυψέλης καυσίμου.....σελ.39
- 3.1.4 – Εφαρμογές , πλεονεκτήματα κυψελών καυσίμου.....σελ.40
- 3.1.5– Κυψέλες καυσίμου ή μπαταρίες/ηλεκτρόδια, αναμορφωτές, στήλη κυψελών καυσίμου.....σελ.41-43

Κεφάλαιο 4 – Ενεργειακό αυτοδύναμο σύστημα κυψέλης καυσίμου αμφίδρομης λειτουργίας.....σελ.43-48

- 4.1.1 – Τύποι κυψελών καυσίμου.....σελ.44-48

Κεφάλαιο 5 – Λειτουργία κυψελών μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων

(P.E.M).....σελ.49-73

5.1.1 – Ηλεκτρόδια.....σελ.53-57

5.1.2 – Καταλύτης από πλατίνα.....σελ.57-59

5.1.3 – Έλεγχος υγρασίας στη κυψέλη P.E.M.....σελ.59-60

5.1.4 – Συναρμολόγηση & κατασκευαστικά στοιχεία P.E.M.....σελ.60-63

5.1.5 – Υποστηρικτικά στρώματα.....σελ.63-65

5.1.6 – Επιφάνειες ροής.....σελ.65-66

5.1.7 – Απόδοση , ισχύς , αποδιδόμενη ενέργεια κυψελών P.E.M.....σελ.67-71

5.1.8 – Μέτρηση θερμικών απωλειών κυψέλης P.E.M.....σελ.71-72

5.1.9 – Προσομοιώσεις , μαθηματικά μοντέλα.....σελ.73

Κεφάλαιο 6 – Πρωτότυπη κυψελίδα στερεού οξειδίου S.O.F.C τριοδικής

λειτουργίας.....σελ.74-96

6.1.1 – Αναλυτική περιγραφή κυψελίδας καυσίμου S.O.F.C.....σελ.79-87

6.1.2 – Αποτελέσματα.....σελ.87-96

6.1.3 – Ανακεφαλαίωση κυψελίδας τύπου S.O.F.C & P.E.M.....σελ.96

Κεφάλαιο 7 – Κυψελίδα καυσίμου πρωτονιακής μεμβράνης.....σελ.97-120

7.1.1 – Τμήμα ανάλυσης.....σελ.103-105

7.1.2 – Τμήμα τροφοδοσίας αερίων.....σελ.106

7.1.3 – Μονάδα παρασκευής ηλεκτρολυτών.....σελ.107-108

7.1.4 – Αξιολόγηση μονάδας S.O.F.C.....σελ.109

7.1.5 – Αναβαθμισμένη υπηρεσία (τρόποι αξιολόγησης).....σελ.110-120

- Αξιολόγηση χρήσης θερμοπρογραμματιζόμενης εκφόρτισης
- Εναπόθεση μεταλλικών υμενίων με εξάχνωση
- Ηλεκτρονική μικροσκοπία σήραγγας
- Χημική τιτλοδότηση ηλεκτρολυτών
- Κυκλική βολτομετρία

Κεφάλαιο 8 – Άρθρα εφημερίδων(εφαρμογές κυψελών καυσίμου)/....σελ.121-134

- 8.1.1 – Οχήματα κυψελών καυσίμου(παραδείγματα).....σελ.121-125
8.1.2– Μπαταρία που επιτρέπει το φρενάρισμα με ανάκτηση ενέργειας....σελ.126
8.1.3 – Ηλεκτρικός συμπιεστής.....σελ.126-127
8.1.4 – Chevrolet Volt2.....σελ.127-129
8.1.5 – Οικονομία υδρογόνου.....σελ.129-130
8.1.6 – Υδρογόνο & υδρογονοκίνητα αυτοκίνητα.....σελ.131-132
8.1.7 – Μικροσκοπικές κυψέλες καυσίμου.....σελ.133-134

Κεφάλαιο 9 – Επίλογος.....σελ.134-148

- 9.1.1 – Προκλήσεις & προοπτικές του νέου ενεργειακού περιβάλλοντος(Σαουδική Αραβία, Ρωσία, Ευρώπη, Κίνα).....σελ.134-140
9.1.2 – Γερμανία & ενέργεια.....σελ.140-141
9.1.3 – Γαλλία & ενέργεια.....σελ.141-143
9.1.4 – Ιράν & ενέργεια.....σελ.143-145
9.1.5 – Ισλανδία & ενεργειακή επανάσταση.....σελ.145-147
9.1.6 – Ανακεφαλαίωση (εφαρμογές, πλεονεκτήματα κυψέλης καυσίμου υδρογόνου).....σελ.148

Κεφάλαιο 10 – Ανακεφαλαίωση & Συμπεράσματα.....σελ.149-162

- 10.1.1 – Μετάβαση σ'ένα διαφορετικό ενεργειακό πρότυπο.....σελ.158
10.1.2 – Κλιματικές αλλαγές.....σελ.158-159
10.1.3 – Πλεονεκτήματα χρήσης υδρογόνου.....σελ.159-160
10.1.4 – Το μέλλον της κίνησης των οχημάτων.....σελ.160-162

Βιβλιογραφία.....σελ.163

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ :



ΓΕΝΙΚΑ

Η εισαγωγή του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας αναμένεται να επηρεάσει σημαντικούς κλάδους της οικονομικής και κοινωνικής ζωής της χώρας, μίας και εξασφαλίζεται η διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών στην χώρα, και μάλιστα με ένα καύσιμο υψηλής ποιότητας που μπορεί να διεισδύσει σε όλους σχεδόν τους κλάδους (Βιομηχανία, Ηλεκτροπαραγωγή, συμπαραγωγή, υπηρεσίες και οικιακός τομέας, μεταφορές κ.α.)

Με την εισαγωγή του φυσικού αερίου αναμένονται:

- Η αύξηση της ανταγωνιστικότητας της Ελληνικής βιομηχανίας
- Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- Η βελτίωση της ποιότητας ζωής
- Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

1.1.1

ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΔΕΠΑ

Η ΔΕΠΑ ιδρύθηκε το 1988 σαν θυγατρική της ΔΕΠ και στην συνέχεια, με την αναδιοργάνωση της ΔΕΠ και την εισαγωγή της στο χρηματιστήριο σαν "Ελληνικά Πετρέλαια", μεταβιβάστηκε το 85% του μετοχικού της κεφαλαίου στο Ελληνικό Δημόσιο ενώ το υπόλοιπο 15% παρέμεινε στην Μητρική Εταιρεία. Η ΔΕΠΑ έχει ιδρύσει τρεις θυγατρικές Εταιρείες Διανομής Αερίου (ΕΔΑ) με την συμμετοχή και της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, οι οποίες θα έχουν την κυριότητα των δικτύων διανομής και την ευθύνη εκμετάλλευσής τους στην Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία. Πρόσφατα έληξε με επιτυχία η κατάληξη του διαγωνισμού για τα δίκτυα διανομής φυσικού αερίου της Αττικής ο οποίος κατακυρώθηκε στην κοινοπραξία των εταιριών Cinergy και Shell. Η Εταιρία Παροχής Αερίου της Αττικής, θα έχει ολοκληρώσει την εγκατάστασή της έως τον ερχόμενο Απρίλιο. Θα συσταθούν Εταιρείες Παροχής Αερίου (ΕΠΑ) με την συμμετοχή των ΕΔΑ και άλλων επενδυτών

1.1.2

ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Το φυσικό αέριο εισάγεται στη Ελλάδα από: τη **Ρωσία** (Gazexport) μέσω αγωγών μεταφοράς με σημείο παραλαβής τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα και σε ποσότητα 2,4 δις. κ.μ. ετησίως μέχρι το 2016 την **Αλγερία**, σε υγροποιημένη μορφή (LNG), με ειδικό δεξαμενόπλοιο στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης της Ρεβουθούσας. Η ελάχιστη ετήσια ποσότητα είναι 0,68 δις κ.μ., με δυνατότητα μελλοντικής αύξησης.

1.1.3

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το σύστημα του φυσικού αερίου έχει ως σκοπό την ασφαλή τροφοδοσία των μεγάλων καταναλωτικών κέντρων της χώρας και αποτελείται από:

- ΤΟ δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου,
- ΤΟΝ τερματικό σταθμό αποθήκευσης του υγροποιημένου (LNG) αλγερινού φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο επαναεριοποιείται και τροφοδοτεί το δίκτυο μεταφοράς.
- ΤΟ σύστημα διανομής του φυσικού αερίου στους καταναλωτές

1.1.4

ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο δίκτυο μεταφοράς του φυσικού αερίου περιλαμβάνονται:

- **Κεντρικός αγωγός μεταφοράς αερίου υψηλής πίεσης (70 bar)** από τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα μέχρι την Αττική, συνολικού μήκους 512 χλμ. Η διάμετρος του αγωγού είναι 36'' για τα πρώτα 100 χλμ και 30'' για τα υπόλοιπα.
- **Κλάδοι μεταφοράς υψηλής πίεσης** προς την ανατολική Μακεδονία και Θράκη, τη Θεσσαλονίκη, το Βόλο και την Αττική, συνολικού μήκους 440 χλμ
- **Μετρητικοί και ρυθμιστικοί σταθμοί** για τη μέτρηση της παροχής αερίου και τη ρύθμιση της πίεσης
- **Σύστημα τηλεχειρισμού, ελέγχου λειτουργίας και τηλεπικοινωνιών**
- **Κέντρα λειτουργίας και συντήρησης**, στην Αττική, τη Θεσσαλονίκη και τη Θεσσαλία
- **Συνοριακός Σταθμός Εισόδου (Border Station)**

ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΡΕΒΥΘΟΥΣΑΣ

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Ρεβυθούσα περιλαμβάνουν:

- **Δύο δεξαμενές αποθήκευσης** συνολικής χωρητικότητας 130.000 κ.μ. (65.000 κ.μ. έκαστη)
- **Εγκαταστάσεις ελλιμενισμού δεξαμενόπλοιων**
- **Κρυογενικές εγκαταστάσεις**
- **Αεριοποιητές**, για την επαναεριοποίηση του LNG και την τροφοδοσία του συστήματος μεταφοράς
- Δύο αγωγούς διασύνδεσης της Ρεβυθούσας με το σύστημα μεταφοράς.
- Ναυλωμένο δεξαμενόπλοιο χωρητικότητας 29,500 κ.μ. Υ.Φ.Α.

1.1.5

ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Το σύστημα διανομής αποτελείται από:

- **δίκτυα μέσης πίεσης** (19 bar) στην Αττική, Θεσσαλονίκη, Θεσσαλία και στις βιομηχανικές περιοχές Οινοφύτων, Πλατέος Ημαθίας, Ξάνθης, Καβάλας και ΒΙΠΕ Κομοτηνής
- **δίκτυα χαμηλής πίεσης** (4 bar) σε Αττική, Θεσσαλονίκη και Θεσσαλία, προβλεπόμενου μήκους 6.500 χλμ.
- **υπάρχον δίκτυο διανομής στην Αθήνα**. Η ΔΕΠΑ, στο πλαίσιο του κατασκευαστικού της έργου, ολοκλήρωσε στην ευρύτερη περιοχή της πρωτεύουσας **860 χιλιόμετρα** δικτύου διανομής τα οποία προστέθηκαν στα υφιστάμενα 550 χιλιόμετρα δικτύου που ανήκαν στην Δημοτική Επιχείρηση Φωταερίου Αθηνών και ήδη τροφοδοτεί περίπου 8.000 εμπορικούς, οικιακούς και βιομηχανικούς καταναλωτές με φυσικό αέριο.

Πηγή: Δημόσια Επιχείρηση Αερίου

1.1.6

Τιμές για το Φυσικό Αέριο στην Ελλάδα

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ Ιούλιος-Οκτώβριος 2005



		Θέρμανση	Οικιακή Χρήση (μαγείρεμα, ζεστό νερό)	Μικτή Χρήση (θέρμανση, μαγείρεμα, ζεστό νερό)	Κλιματισμός με καύση φυσικού αερίου (6)
Διαμέρισμα ή μονοκατοικία:	Χρέωση ισχύος (€/δίμηνο) (1), (2)	4			
	Χρέωση ενέργειας (€/kWh) (3)	(5)	0,0345	0,0345	0,019
Πολυκατοικία:	Χρέωση ισχύος (€/δίμηνο) (1), (4)	7,5	-	-	7,5
	Χρέωση ενέργειας	(5)	-	-	0,019

1. Η χρέωση ενέργειας επιβαρύνεται με 9% ΦΠΑ.

2. Για συσκευές έως 49.000 kcal/h

3. Η χρέωση ισχύος επιβαρύνεται με 19% ΦΠΑ.

4. Για Καυστήρα έως 392.000 kcal/h

5. Η χρέωση ενέργειας για τη θέρμανση αναπροσαρμόζεται ανά δίμηνο ώστε να εξασφαλίζεται ότι το φυσικό αέριο είναι 20% οικονομικότερο από το πετρέλαιο θέρμανσης (συμπεριλαμβανομένης της διαφοράς στο ΦΠΑ). Η τιμή της θέρμανσης ισχύει μόνο την "Χειμερινή περίοδο" δηλαδή 1η Νοεμβρίου έως 30 Ιουνίου.

6. Την Καλοκαιρινή περίοδο (1η Ιουλίου - 31 Οκτωβρίου) το τιμολόγιο κλιματισμού είναι **0,019€/kWh** ενώ τη χειμερινή ισχύει το τιμολόγιο της θέρμανσης.

ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ Ιούλιος-Οκτώβριος 2005



	Θέρμανση	Επαγγελματική Χρήση (μαγείρεμα, ζεστό νερό)	Μικτή Χρήση (θέρμανση, μαγείρεμα, ζεστό νερό)	Κλιματισμός με καύση φυσικού αερίου (5)
Χρέωση ισχύος (€/δίμηνο) (1)	Μέχρι 5 μ3/ώρα		4	
	Μέχρι 40 μ3/ώρα		7,5	
	Μέχρι 60 μ3/ώρα		14	
	Μέχρι 160 μ3/ώρα		24	
	Μέχρι 650 μ3/ώρα		88	
	Πάνω από 650 μ3/ώρα		160	
Χρέωση ενέργειας (€/kWh) (2)	(3)	οι πρώτες 22.000 kWh/δίμηνο	0,028	Τιμολόγιο επαγγελματικής χρήσης
		οι υπόλοιπες kWh	0,027	
				0,019 (3)

(1) Η χρέωση ενέργειας επιβαρύνεται με 9% ΦΠΑ.

(2) Η χρέωση ισχύος επιβαρύνεται με 19% ΦΠΑ.

(3) Η χρέωση ενέργειας για τη θέρμανση αναπροσαρμόζεται ανά δίμηνο ώστε να εξασφαλίζεται ότι το φυσικό αέριο είναι 20% οικονομικότερο από το πετρέλαιο

θέρμανσης (συμπεριλαμβανομένης της διαφοράς στο ΦΠΑ). Η τιμή της θέρμανσης ισχύει μόνο την "Χειμερινή περίοδο" δηλαδή 1η Νοεμβρίου έως 30 Ιουνίου.

(4) ΜΔΚ είναι η Μέγιστη Διμηνιαία Κατανάλωση καλοκαιρινής περιόδου (1η Ιουλίου - 31 Οκτωβρίου)

(5) Την Καλοκαιρινή περίοδο (1η Ιουλίου - 31 Οκτωβρίου) το τιμολόγιο κλιματισμού είναι **0,019 €/kWh** ενώ τη χειμερινή ισχύει το τιμολόγιο της θέρμανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

Πρόλογος :

2.1.1

ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ

Η ανακάλυψη και χρησιμοποίηση του *φυσικού αερίου* για πρώτη φορά τοποθετείται τον **7^ο π.Χ. αιώνα** στην **Ιαπωνία**. Στα νεότερα χρόνια η πρώτη χρήση του *φυσικού αερίου* έγινε στις **Η.Π.Α.** το **1821**. Ωστόσο η εκτεταμένη χρήση του καθυστέρησε σημαντικά αν και το **1868** αναφέρθηκε η **πρώτη βιομηχανική εφαρμογή** από μια εταιρεία παραγωγής πετρελαίου των Η.Π.Α. Σημαντική εφαρμογή βρήκε το *φυσικό αέριο* στις **αρχές του 20^{ου}** όταν αναπτύχθηκε η τεχνολογία σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι δυνατή η σχετικά ακίνδυνη μεταφορά του και η αποδοτικότερη χρησιμοποίησή του.

Ο **πρώτος αγωγός** τοποθετήθηκε το **1909** στη δυτική Βιρτζίνια των Η.Π.Α. ενώ στις αρχές της δεκαετίας του **1930** στην ίδια χώρα δημιουργήθηκε το πρώτο μεγάλο **δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου** σε υψηλή πίεση. Χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα ως καύσιμο, εναλλακτικό του πετρελαίου, μετά τον Β παγκόσμιο πόλεμο.

Το *φυσικό αέριο* θεωρείται ότι προέρχεται, όπως άλλωστε και το πετρέλαιο, από τη διάσπαση οργανικών ουσιών οι οποίες έχουν εγκλωβιστεί στη γήινη μάζα πριν από εκατομμύρια χρόνια. Εντοπίζεται σε φυσικές δεξαμενές είτε μαζί με το πετρέλαιο είτε μόνο του. Όταν βρίσκεται μαζί με πετρέλαιο συνήθως σχηματίζει ανεξάρτητο στρώμα, ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις βρίσκεται διαλυμένο σε αυτό.

Στις αρχές της δεκαετίας του **1990** τα διαπιστωμένα αποθέματα *φυσικού αερίου* ανέχονταν στα 140.000 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τα αποθέματα αυτά υπολογίστηκε ότι αρκούσαν για ακόμη 70 χρόνια, δηλαδή 30 χρόνια περισσότερο από ότι προβλεπόταν να διαρκέσουν τα αποθέματα πετρελαίου. Τα **μεγαλύτερα αποθέματα φυσικού αερίου** βρίσκονται στις χώρες της πρώην **Ε.Σ.Σ.Δ.** και στη **Μέση Ανατολή** όπου βρίσκεται το 36% και 25% αντίστοιχα των παγκοσμίων αποθεμάτων. Μικρότερες ποσότητες βρίσκονται στις Η.Π.Α., στον Καναδά, στην Αλγερία, στη Βενεζουέλα κ.α.

Η σύσταση του *φυσικού αερίου* όπως αυτό εντοπίζεται στη φύση ποικίλει σημαντικά στα διάφορα κοιτάσματα. Αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και αιθάνιο καθώς και από προπάνιο, βουτάνια και πεντάνια. Επίσης περιέχει και κάποια ανόργανα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, άζωτο και ήλιο.

Όταν το *φυσικό αέριο* δεν περιέχει συμπυκνώσιμους υδρογονάνθρακες (βουτάνια, πεντάνια ή και βαρύτερους υδρογονάνθρακες) ονομάζεται ξηρό ενώ αντίθετα αν περιέχει σημαντικές ποσότητες συμπυκνωμένων υδρογονανθράκων ονομάζεται υγρό. Όταν περιέχει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και υδρόθειου ονομάζεται όξινο.

Το *φυσικό αέριο* μεταφέρεται κυρίως, υπό υψηλή πίεση (έως και 70 atm), μέσω μεγάλων δικτύων αγωγών. Τα δίκτυα αυτά είναι δυνατόν να καλύπτουν αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα και αποτελούνται από αγωγούς μεγάλης διατομής (έως και 0,9 m) και ενδιάμεσους σταθμούς συμπίεσης, όπου δεν είναι δυνατή η κατασκευή αγωγών μεταφοράς το *φυσικό αέριο* μεταφέρεται υγροποιημένο μέσω ειδικά διαμορφωμένων δεξαμενόπλοιων.

Αναλόγως της σύστασης του το *φυσικό αέριο* υφίσταται διάφορες κατεργασίες αμέσως μετά τη εξόρυξή του. Έτσι επειδή το *φυσικό αέριο* το οποίο είναι πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο, είναι δηλαδή όξινο, μπορεί να διαβρώσει το δίκτυο μεταφοράς και τους θαλάμους καύσης, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση των δύο αυτών αερίων πριν τη μεταφορά και τη χρησιμοποίησή του. Μια ακόμα διεργασία που υφίσταται το *φυσικό αέριο* είναι ο καθορισμός της υγρασίας του διότι σε αέριο με υψηλή υγρασία είναι δυνατό να δημιουργηθούν ανεπιθύμητες ένυδρες ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές είναι προϊόντα της αντίδρασης του νερού με τους υδρογονάνθρακες διότι υγροποιούνται στις υψηλές πιέσεις και έτσι δημιουργούν προβλήματα στη μεταφορά.

2.1.2

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ

Η δημιουργία του μεθανίου (CH_4) περιλαμβάνει την μετατροπή οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς (βιογένεση), την θερμική αποσύνθεση θαμμένης οργανικής ύλης (θερμογένεση), και διεργασίες βαθιά μέσα στο φλοιό της γης (αβιογένεση). Το ελαφρύ μεθάνιο μεταναστεύει προς τα ανώτερα στρώματα μέσα από τους πόρους των πετρωμάτων και τις ρηγματώσεις και είτε συσσωρεύεται κάτω από αδιαπέραστα στρώματα ή φθάνει τελικά στην επιφάνεια και εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Το βιογενές μεθάνιο είναι αποτέλεσμα της αποσύνθεσης οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς που διεισδύουν στα επάνω στρώματα του φλοιού της Γης σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη οξυγόνου, και όπου οι θερμοκρασίες δεν υπερβαίνουν τους 95°C . Το μεθάνιο αυτό δεν έχει μεγάλη πυκνότητα και διερχόμενο μμέσα από τους πόρους των διαφόρων στρωμάτων εκλύεται στην ατμόσφαιρα.

Το θερμογενές μεθάνιο σχηματίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως το πετρέλαιο. Καθώς οργανική ύλη εναποτίθεται σε λάσπη και άλλα ιζήματα, βυθίζεται και συμπιέζεται, οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν μμέσα στην γη, διασπούν τους δεσμούς του άνθρακα στις οργανικές ενώσεις και σχηματίζεται πετρέλαιο και μικρές ποσότητες αερίων. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες (λόγω βάθους ενταφιασμού) το μεθάνιο γίνεται το κύριο προϊόν και μπορεί τελικά να εκτοπίσει ολοσχερώς το πετρέλαιο.

Σε αυτόν τον ταυτόχρονο σχηματισμό πετρελαίου και *φυσικού αερίου* στα αρχικά στάδια της θερμικής αποσύνθεσης οφείλεται η εμφάνιση του πετρελαίου και του *φυσικού αερίου* σε σχηματισμούς στα τελευταία 2-3 km του φλοιού της Γης. Σε βαθύτερα σημεία το μεθάνιο ίσως είναι ο μοναδικός υδρογονάνθρακας που σχηματίζεται. Σε ακόμα μμεγαλύτερα βάθη, πιθανός μεταμορφισμός μπορεί να απομακρύνει όλα τα άτομα υδρογόνου από τις οργανικές ενώσεις και να αφήσει ένα υπόλοιπο κάρβουνο, πιθανώς με την μορφή γραφίτη.

Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ο γραφίτης αυτός μπορεί να αντιδράσει με το νερό και να υπάρξει επαναδημιουργία μμεθανίου. Αβιοτικό μεθάνιο σχηματίζεται με μια

διαφορετική διεργασία όταν μη οργανικά αέρια, πλούσια σε υδρογόνο και άνθρακα, που υπάρχουν σε μεγάλα βάθη μέσα στην γη από την αρχή της δημιουργίας της, ανέρχονται και αντιδρούν με πετρώματα του φλοιού σχηματίζοντα στοιχεία και ενώσεις όπως άζωτο, οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, αργό και νερό. Τέτοιες δραστηριότητες παρατηρούνται σε ηφαιστειακές περιοχές (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και νερό). Στην περίπτωση που αυτά τα αέρια διέλθουν μέσα από πετρώματα κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης, και απουσία οξυγόνου, τότε το κύριο, σταθερό προϊόν είναι το **μεθάνιο**.

2.1.3

ΠΑΡΑΓΩΓΗ

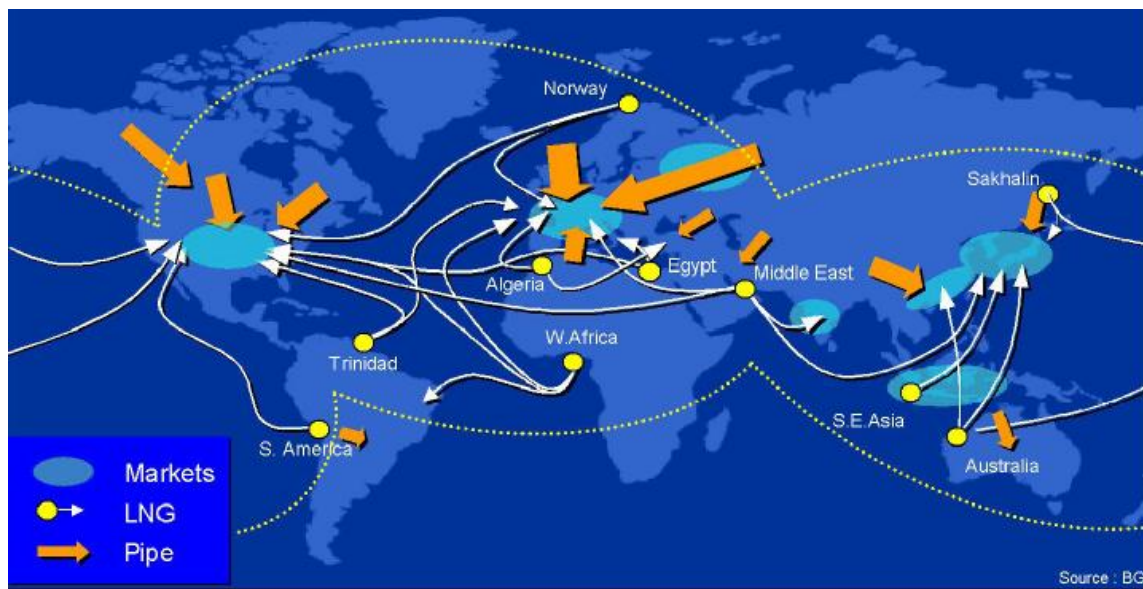
Το φυσικό αέριο ανευρίσκεται σε υπόγειους σχηματισμούς όπως στρώματα άμμου, κάρβουνου, και σε ταμιευτήρες με αλμυρό νερό, είτε μόνο του, είτε σε συνδυασμό με το πετρέλαιο, οπότε ανέρχεται στην επιφάνεια μαζί με αυτό. Το φυσικό αέριο, συγκρινόμενο με το πετρέλαιο και το κάρβουνο είναι ένα ιδανικό καύσιμο, καθώς είναι καθαρό, εύκολο στην μεταφορά και στην χρήση. Στην έναρξη λειτουργίας μιας γεώτρησης ανέρχεται με φυσική κυκλοφορία (λόγω της πίεσης) στην επιφάνεια, αλλά στο τέλος πάντοτε θα απαιτηθεί κάποια μορφή άντληση για να το παραλάβουμε. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος είναι με αντλίες όπως αυτή του Σχήματος 1, που φέρνει στην επιφάνεια πετρέλαιο και φυσικό αέριο.



Σχήμα 1. Αντλία πετρελαίου και φυσικού αερίου

Η ροή του φυσικού αερίου από τον ταμιευτήρα μπορεί να βελτιωθεί με την δημιουργία μικροσκοπικών ρηγματώσεων μέσα στο πέτρωμα που επιτρέπουν στο αέριο να διαφύγει. Για την πρόκληση αυτών των ρηγματώσεων χρησιμοποιείται ένα ρευστό σε υψηλή πίεση (συνήθως νερό). Μαζί με το ρευστό προστίθενται και ουσίες, όπως άμμος, σφαιρίδια γυαλιού κλπ., για να διατηρηθούν τα ανοίγματα των ρηγματώσεων όταν αρχίσει να μειώνεται η πίεση με την έναρξη διαφυγής του αερίου. Για την μεταφορά του χρησιμοποιούνται είτε αγωγοί (με σταθμούς προώθησης) είτε δεξαμενόπλοια κατάλληλα διασκευασμένα που μεταφέρουν το φυσικό αέριο σε υγροποιημένη μορφή. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas-LNG) αποθηκεύεται σε θερμοκρασία -160C° . Η υγροποίηση έχει ως αποτέλεσμα και τη μείωση του όγκου του, αφού το LNG καταλαμβάνει 600 φορές μικρότερο όγκο από ισοδύναμη ποσότητα αερίου σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος.

Η σχετική περιβαλλοντική φιλικότητα του καυσίμου αυτού, η εύκολη διαχείρισή του, οι υψηλοί βαθμοί απόδοσης, που παρέχουν οι νέες τεχνολογίες κατά τη χρήση του, το καθιστούν εξαιρετικά ελκυστικό και ανταγωνιστικό. Η διαθεσιμότητα του στην παγκόσμια αγορά εξαρτάται από τα αποθέματα. Υπολογίζεται ότι υπάρχει επάρκεια για 80-100 χρόνια, αλλά αυτό δεν είναι σταθερό αφού νέα κοιτάσματα ανακαλύπτονται συνεχώς. Οι μεγαλύτερες πηγές φυσικού αερίου βρίσκονται στην Ευρώπη (Ρωσική Ομοσπονδία, Ουκρανία, Νορβηγία, Ολλανδία, Μεγάλη Βρετανία, Ρουμανία, Γερμανία, Γαλλία), Β. Αμερική (ΗΠΑ, Καναδάς), Ν. Αμερική (Αργεντινή, Μεξικό, Βραζιλία, Χιλή, Βενεζουέλα), περιοχή Περσικού Κόλπου (Ιράν, Κατάρ, Υεμένη, Ομάν, Η.Α., Εμιράτα), Κεντρική Ασία (περιοχή Κασπίας, Καυκάσου), Αυστραλία, Ν.Α. Ασία (Μαλαισία, Ινδονησία, Μπρούνι), Β.Αφρική (Αλγερία, Λιβύη, Αίγυπτος).

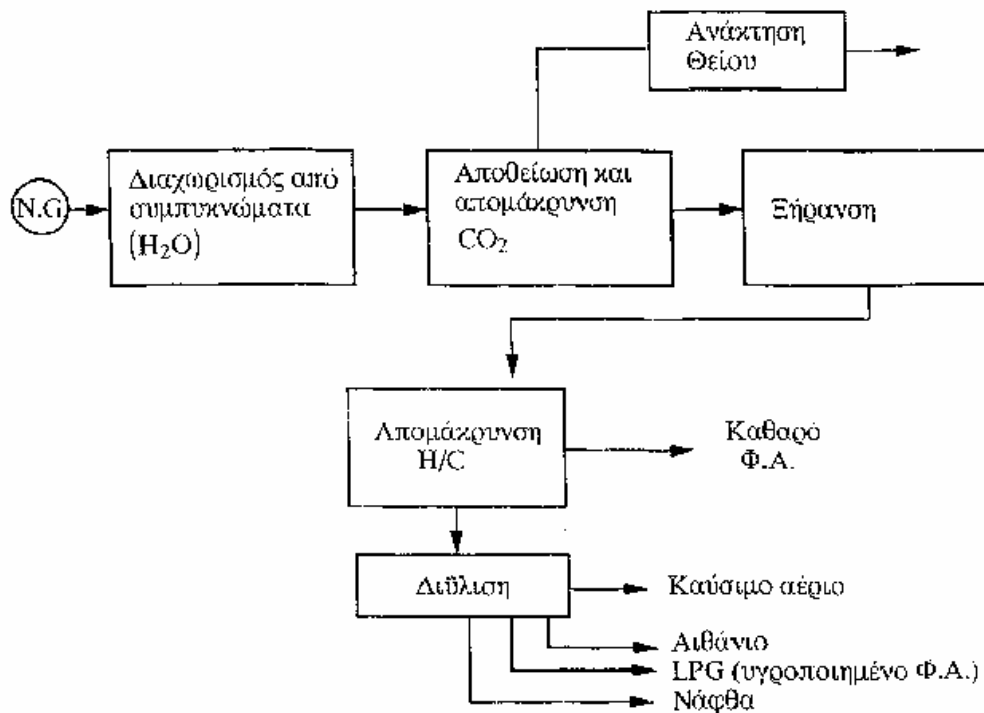


Το φυσικό αέριο εξάγεται από φυσικές κοιλάσεις, υπόγειες ή υποθαλάσσιες σε απομακρυσμένες περιοχές και μετά από πρωτογενή επεξεργασία μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι τις περιοχές κατανάλωσης του με ειδικούς αγωγούς μεγάλης διαμέτρου σε υψηλή πίεση. Το κόστος και ο τρόπος μεταφοράς του από τις χώρες κατανάλωσης, αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση της τιμής του.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση του φυσικού αερίου ως πρώτης ύλης στη βιομηχανία παραγωγής πετροχημικών και καυσίμων προκλήθηκε από τα αυξανόμενα αποθέματα του αερίου σε σχέση με την υψηλή τιμή του πετρελαίου που το 1981 ήταν 40 US\$ το βαρέλι, ενώ οικονομικές μελέτες στις αρχές της δεκαετίας του 80 γίνονταν, χρησιμοποιώντας ως βάση τιμής πετρελαίου τα 100 US\$ το βαρέλι, ενώ πτωτικές τάσεις διαφαίνονται έως το τέλος της δεκαετίας που διανύεται. Φυσικά η χαμηλή τιμή του πετρελαίου, καθιστά όλο και πιο δύσκολη την ανάπτυξη μιας οικονομικά ελκυστικής διεργασίας για τη μετατροπή του φυσικού αερίου. Το περισσότερο φυσικό αέριο καταναλώνεται στο χώρο παραγωγής του αφού το μεγάλο κόστος μεταφοράς επιβαρύνει πολύ την τιμή του σε σχέση με τους υγρούς υδρογονάνθρακες. Αυτός είναι και ο σημαντικός λόγος για την ανάπτυξη μονάδων μετατροπής μεθανίου εκεί όπου το φυσικό αέριο είναι φθηνότερο.

Το φυσικό αέριο που πρόκειται να μεταφερθεί έχει απαλλαγεί από στερεά, από το H_2O καθώς και από το CO_2 και το H_2S . Το CO_2 είναι διαβρωτικό στην περίπτωση που βρίσκεται στο φυσικό αέριο παρουσία H_2O . Το H_2S είναι υψηλό διαβρωτικό υλικό για τους σωλήνες μεταφοράς και η συγκέντρωσή του πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή 6-

50 mg/m³. Έτσι για παράδειγμα το Φ.Α. που προέρχεται από τη Βόρειο Αμερική διαχωρίζεται από το αιθάνιο και προπάνιο, τα οποία χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία στην παραγωγή αιθυλενίου. Οι βασικές διεργασίες καθαρισμού του Φ.Α. πριν τη μεταφορά και διεργασία του φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 1.2 Βασικές Διεργασίες καθαρισμού του Φ.Α. πριν την μεταφορά του

Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, η πίεση του προοριζόμενου προς καθαρισμό Φ.Α. μειώνεται στην περιοχή των 100-70 bar πριν την εισαγωγή του στη διεργασία. Στην συνέχεια τυπικές μέθοδοι ρόφησης και απορρόφησης χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση CO₂ και H₂S/COS. Συγκεντρώσεις H₂S κάτω από 1000 ppm μπορούν να απομακρυνθούν με χρήση ζεόλιθων (Philips Petroleum Company for Ekofisk natural gas). Ξήρανση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ατμών H₂O ενώ διαχωρισμός του Φ.Α. από C₂⁺- υδρογονάνθρακες, όπως αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και άλλες παραφίνες μπορεί να επιτευχθεί είτε με μερική συμπύκνωση και διύλιση, είτε με διεργασίες ρόφησης ή απορρόφησης. Υγροποιημένο Φ.Α. (LNG), λαμβάνεται τέλος

στην περίπτωση που χρειάζεται για τη μεταφορά του ή για να εμπλουτιστεί η σύσταση του σε μεθάνιο, μετά την απομάκρυνση του αζώτου και του ηλίου (αν υπάρχει). Όλες οι διεργασίες διαχωρισμού που συμβαίνουν σε διάφορα στάδια διύλισης βασίζονται στα διαφορετικά σημεία βρασμού:

- ∅ CH₄:-161.5°C
- ∅ N₂:-195.8°C
- ∅ He:-269.0°C, σε ατμοσφαιρική πίεση.

Τελικά το Φ.Α. μεταφέρεται με αγωγούς σε πιέσεις 20-50 atm και σε αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων. Το σύστημα αγωγών διανομής Φ.Α. μόνο στις ΗΠΑ υπερβαίνει τα 10⁶ km για μεταφορά 296·10⁹ m³/y, ενώ τα δίκτυα της Ευρώπης και της Ιαπωνίας συνεχώς επεκτείνονται. Όπως σε κάθε δίκτυο έτσι και σε αυτό του Φ.Α. είναι απαραίτητο να υπάρχουν αποθηκευτικοί χώροι για να αντιμετωπίζεται η διακύμανση της ζήτησης αλλά και για οικονομικούς και στρατηγικούς λόγους. Συνήθως χρησιμοποιούνται εξαντλημένες πηγές Φ.Α. ή πετρελαίου οι οποίες ξαναγεμίζονται υπό πίεση. Αν το Φ.Α. μεταφέρεται με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες στους αγωγούς συγκριτικά με το πετρέλαιο, η μεταφερόμενη ενέργεια είναι περίπου πέντε φορές μικρότερη ενώ στην περίπτωση υγροποίησης του Φ.Α. με ψύξη του στους -161,5°C μετατρέπεται σε υγρό και ο όγκος του μειώνεται 600 φορές. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή και η μεταφορά του Φ.Α. δια θαλάσσης.

Η εισαγωγή του Φ.Α. στην Ελλάδα αποφασίστηκε από την πολιτεία στο πλαίσιο της προσπάθειας εκσυγχρονισμού και βελτίωσης του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας, καθώς το Φ.Α. είναι μια σύγχρονη μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον που χρησιμοποιείται εύκολα και ακίνδυνα. Το αέριο που θα εισαχθεί στην Ελλάδα προέρχεται από δύο πηγές: τη Ρωσία και την Αλγερία. Το Φ.Α. από τη Ρωσία θα έρχεται μέσω αγωγού, ενώ από την Αλγερία θα μεταφέρεται με ειδικά πλοία σε υγροποιημένη μορφή.

Θερμογόνος Δύναμη του φυσικού αερίου είναι η ποσότητα ενέργειας που περιέχεται σε αυτό, τμήμα της οποίας απελευθερώνεται κατά την καύση του. Διακρίνεται σε Ανώτερη και Κατώτερη και εκφράζεται συνήθως σε Kcal/m³. Η Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 8500 έως 11000 Kcal/m³.

Η ανώτερη θερμογόνος δύναμη (ΑΘΔ) είναι η ενέργεια ανά μονάδα μάζας καυσίμου, που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση του, όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων

που παράγονται φθάσει τους 25°C και οι παραγόμενοι υδρατμοί υγροποιηθούν απελευθερώνοντας έτσι τη θερμότητα συμπύκνωσης τους.

Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη (ΚΘΔ) Η_u είναι η ενεργεία ανά μονάδα μάζας του καυσίμου, που απελευθερώνεται κατά την πλήρη καύση του, όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων που παράγονται φθάσει τους 25°C αλλά οι υδρατμοί δεν υγροποιούνται, κρατώντας έτσι δεσμευμένη την ενεργεία συμπύκνωσης τους. Γι'αυτό είναι: ΚΘΔ.<ΑΘΔ.

2.1.4

Η ανασυγκρότηση του διανεμημένου φυσικού αερίου είναι ένα σημαντικό βήμα για τη βραχυπρόθεσμη παραγωγή υδρογόνου κατά τη διάρκεια της μετάβασης σε μια οικονομία υδρογόνου. Η παραγωγή υδρογόνου γίνεται με τρεις βασικές μεθόδους:

- Θερμικές Διαδικασίες
- Ηλεκτρολυτικές Διαδικασίες
- Φωτολυτικές Διαδικασίες

Θερμικές Διαδικασίες

Οι θερμικές διαδικασίες χρησιμοποιούν ενέργεια από διάφορες πηγές όπως είναι το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και η βιομάζα και απελευθερώνουν το υδρογόνο που είναι μέρος της μοριακής τους δομής. Σε άλλες διαδικασίες η θερμότητα σε συνδυασμό με κλειστούς χημικούς κύκλους παράγουν υδρογόνο από πρώτες ύλες όπως το νερό.

Παραγωγή από φυσικό αέριο

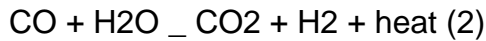
Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από φυσικό αέριο με τη βοήθεια τριών διαφορετικών χημικών διαδικασιών:

- Παραγωγή με Αναδόμηση Φυσικού Αερίου (Steam methane reforming - SMR)
- Μερική οξείδωση φυσικού αερίου (Partial oxidation - POX)
- Η αυτοθερμική αναδόμηση (Autothermal reforming - ATR)

Αν και διάφορες νέες ιδέες παραγωγής έχουν αναπτυχθεί, καμία από αυτές δεν είναι κοντά στην εμπορευματοποίηση.

Παραγωγή με Αναδόμηση Φυσικού Αερίου - (Steam methane reforming - SMR)

Η ανασύνθεση του ατμού γίνεται με την ενδοθερμική μετατροπή του μεθανίου και του υδρατμού σε μονοξείδιο, υδρογόνο και άνθρακα (1). Η θερμότητα παρέχεται συχνά από την καύση του μεθανίου. Η διαδικασία εμφανίζεται χαρακτηριστικά στις θερμοκρασίες 700 έως 850 °C και σε πιέσεις 3 έως 25 bar. Το προϊόν περιέχει 12% αέριο CO, το οποίο μπορεί να μετατραπεί περαιτέρω σε CO₂ και H₂ μέσω της αντίδρασης του νερού και του αερίου CO (2).



Μερική οξείδωση φυσικού αερίου (Partial oxidation - POX)

Η μερική οξείδωση του φυσικού αερίου είναι η διαδικασία με την οποία το υδρογόνο παράγεται από τη μερική καύση του μεθανίου με το οξυγόνο (3).



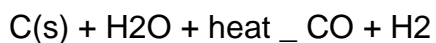
Σε αυτήν την διαδικασία, η θερμότητα παράγεται με μια εξώθερμη αντίδραση, και ως εκ τούτου ένα πιο συμπαγές σχέδιο είναι δυνατό, δεδομένου ότι δεν υπάρχει καμία ανάγκη για οποιαδήποτε εξωτερική θέρμανση του αντιδραστήρα. Το παραχθέν κοβάλτιο CO μετατρέπεται περαιτέρω σε H₂ όπως περιγράφεται στην εξίσωση (2).

Η αυτοθερμική αναδόμηση (Autothermal reforming - ATR)

Η αυτοθερμική αναδόμηση είναι ένας συνδυασμός ανασύνθεσης ατμού (1) και μερικής οξείδωσης (3). Η συνολική αντίδραση είναι εξωθερμική, και απελευθερώνει θερμότητα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον αντιδραστήρα είναι μεταξύ 950 έως 1100 °C, και η πίεση αερίου μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο 100 bar. Επίσης, το CO μετατρέπεται σε H₂ μέσω της αντίδρασης του υδρατμού με το CO (2). Η ανάγκη να καθαριστούν τα αέρια παραγωγής προσθέτει σημαντικά στις δαπάνες εγκαταστάσεων και μειώνει τη συνολική αποδοτικότητα.

Παραγωγή με Αεριοποίηση Άνθρακα

Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από τον άνθρακα μέσω ποικίλων διαδικασιών αεριοποίησης. Στην πράξη, οι διαδικασίες ροής υψηλών θερμοκρασιών ευνοούνται για να μεγιστοποιήσουν τη μετατροπή του άνθρακα σε αέριο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ο σχηματισμός σημαντικών ποσών προσροφητικού άνθρακα, πηκτών και φαινολών. Μια χαρακτηριστική αντίδραση για τη διαδικασία δίνεται στην εξίσωση (4), στην οποία ο άνθρακας μετατρέπεται σε μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο.



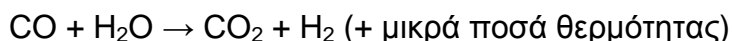
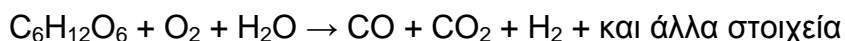
Δέσμευση και αποθήκευση CO₂

Κατά την παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα σε σημαντικές ποσότητες. Το ποσό του CO₂ ποικίλει ανάλογα με την περιεκτικότητα της παροχής υδρογόνου. Για να επιτευχθεί μια βιώσιμη (με μηδενικές εκπομπές) παραγωγή υδρογόνου, το CO₂ πρέπει να δεσμευτεί και να αποθηκευτεί. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως απανθράκωση. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές δέσμευσης του CO₂ σε μια διαδικασία καύσης:

- **Μετά-ανάφλεξη.** Το CO₂ μπορεί να δεσμευτεί κατά τη διάρκεια της καύσης από την εξάτμιση αερίου σε συμβατικές τουρμπίνες ατμού ή CCGT (combined cycle gas turbine) σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει για παράδειγμα μέσω της διαδικασίας "αμινών", . Η εξάτμιση αερίου περιέχει μεγάλα ποσά αζώτου, μερικά ποσά οξειδίων του αζώτου, τον υδρατμό, το CO₂ και το κοβάλτιο (CO).
- **Προ-ανάφλεξη.** Το CO₂ δεσμεύεται κατά την παραγωγή του υδρογόνου μέσω οποιασδήποτε από τις διαδικασίες που συζητούνται ανωτέρω.
- **Καύση οξυγόνου καυσίμου.** Τα ορυκτά καύσιμα μετατρέπονται σε θερμότητα σε μια διαδικασία καύσης σε συμβατικές τουρμπίνες ατμού ή CCGT (combined cycle gas turbine) σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με καθαρό οξυγόνο ως οξειδωτικό. Συνήθως το CO₂ και ο υδρατμός παράγονται στις εξατμίσεις ή στους σωλήνες αερίων, και το CO₂ μπορεί να χωριστεί εύκολα με συμπύκνωση του υδρατμού.

Παραγωγή με αεριοποίηση βιομάζας

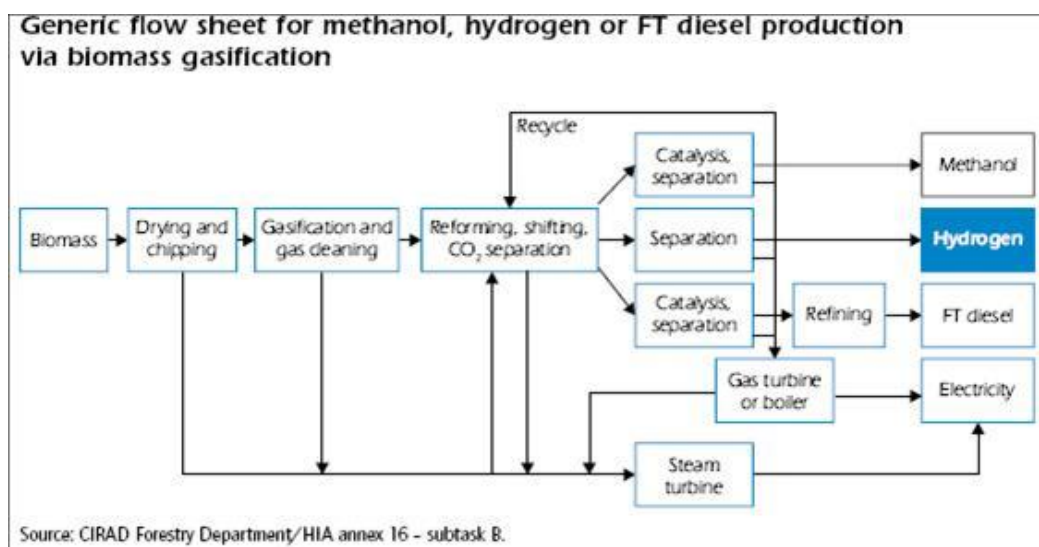
Η βιομάζα μετατρέπεται σε ένα αέριο μίγμα υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα, και άλλων ενώσεων δημιουργώντας θερμότητα από πίεση παρουσία του ατμού και ενός ελεγχόμενου ποσού οξυγόνου (σε μια μονάδα αποκαλούμενη ως εξαερωτής). Η βιομάζα διασπάται χημικά από τη θερμότητα του εξαερωτή σε ατμό και οξυγόνο, προκαλώντας χημικές αντιδράσεις που παράγουν ένα μίγμα αερίου με υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, και διοξείδιο του άνθρακα. Το μονοξείδιο του άνθρακα αντιδρά έπειτα με το νερό για να σχηματιστεί το διοξείδιο του άνθρακα και περισσότερο υδρογόνο (ύδωρ-αέριο αντίδραση μετατόπισης). Οι προσροφητές ή οι ειδικές μεμβράνες μπορούν να διαχωρίσουν το υδρογόνο από αυτό το αέριο ρεύμα.



Η πυρόλυση είναι η αεριοποίηση της βιομάζας ελλείψει του οξυγόνου. Γενικά, η βιομάζα δεν εξαερώνει τόσο εύκολα όσο ο άνθρακας, και παράγει άλλες ενώσεις υδρογονανθράκων στο αέριο μίγμα που βγαίνει στον εξαερωτή. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα

όταν δεν χρησιμοποιείται καθόλου οξυγόνο. Κατά συνέπεια, ένα πρόσθετο βήμα πρέπει να ληφθεί για να αναδομήσει αυτούς τους υδρογονάνθρακες με έναν καταλύτη και να παραγάγει ένα καθαρό μίγμα αερίου υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα, και διοξειδίου του άνθρακα. Κατόπιν, ακριβώς όπως στη διαδικασία αεριοποίησης για την παραγωγή υδρογόνου, ένα βήμα αντίδρασης μετατόπισης (με ατμό) μετατρέπει το μονοξείδιο του άνθρακα σε διοξείδιο. Το υδρογόνο που παράγεται είναι διαχωρισμένο και καθαρισμένο.

Η τεχνολογία αεριοποίησης βιομαζών είναι η πιο κατάλληλη για τη συγκεντρωτική παραγωγή υδρογόνου μεγάλης κλίμακας, λόγω της φύσης του χειρισμού των μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας και της απαραίτητης οικονομίας κλίμακας για αυτόν τον τύπο διαδικασίας.



Παραγωγή με αναδόμηση ανανεώσιμων υγρών καυσίμων

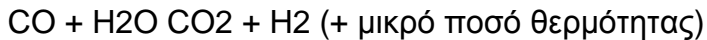
Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε αιθανόλη, βιο-λάδια, ή άλλα υγρά καύσιμα που μπορούν να μεταφερθούν με σχετικά χαμηλό κόστος σε έναν σταθμό ανεφοδιασμού ή σε άλλο σημείο και να αναδομηθεί για τη παραγωγή υδρογόνου.

- Η αναδόμηση των ανανεώσιμων υγρών σε υδρογόνο είναι παρόμοια με τη αναδόμηση φυσικού αερίου
- Το υγρό καύσιμο αντιδρά με τον ατμό στις υψηλές θερμοκρασίες παρουσία ενός καταλύτη και παράγει ένα αέριο που αποτελείται από υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα
- Το πρόσθετο υδρογόνο και το διοξείδιο του άνθρακα παράγονται από την αντίδραση μονοξειδίου του άνθρακα (που δημιουργείται σε πρώτη φάση) με τον

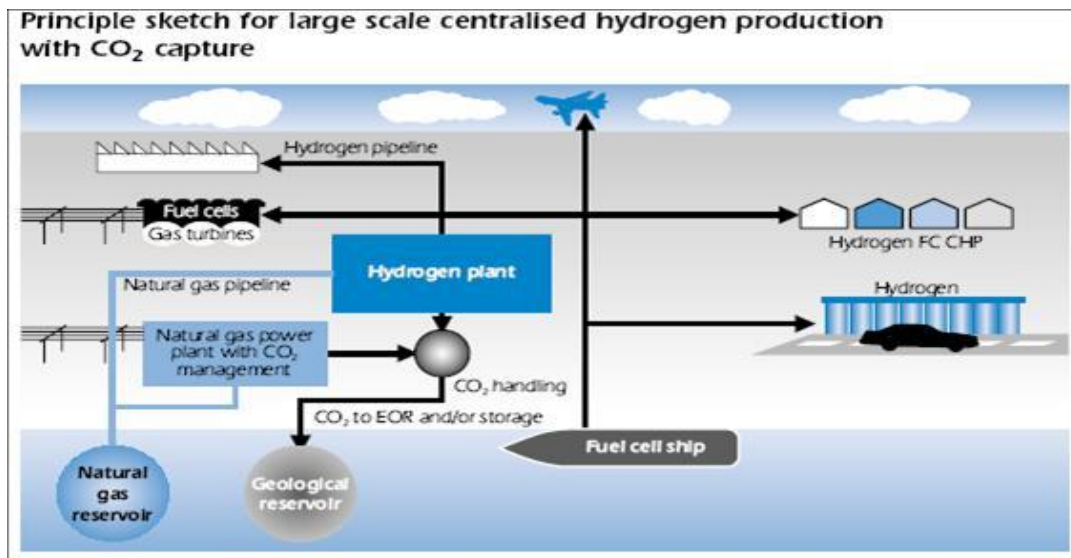
ατμό υψηλής θερμοκρασίας στη "αντίδραση μετατόπισης νερού-αερίου."

- Τέλος, το υδρογόνο διαχωρίζεται και καθαρίζεται.

Αντίδραση μεταρρύθμισης ατμού (αιθανόλη)



Τα παραγόμενα υγρά από βιομάζα, όπως η αιθανόλη και τα βιο-λάδια, μπορούν να παραχθούν σε μεγάλες ποσότητες, σε κεντρικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται κοντά στην πηγή βιομαζών για να εκμεταλλευθούν τις οικονομίες κλίμακος και να μειώσουν το κόστος μεταφοράς του στερεού τροφοδοσίας. Τα υγρά έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μπορούν να μεταφερθούν με την ελάχιστη νέα υποδομή παράδοσης και με σχετικά χαμηλότερο κόστος στους σταθμούς ανεφοδιασμού ή στις περιοχές παραγωγής ενέργεια για να αναδομηθούν σε υδρογόνο.



Υψηλής θερμοκρασίας διαχωρισμός ύδατος

Ηλεκτρόλυση ύδατος

Ο διαχωρισμός ύδατος με υψηλή θερμοκρασία (θερμοχημική διαδικασία) είναι μια μακροπρόθεσμη τεχνολογία στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Η ηλεκτρόλυση ύδατος είναι η διαδικασία με την οποία το νερό διαχωρίζεται σε υδρογόνο και οξυγόνο μέσω της εφαρμογής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως στην εξίσωση.



Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση ύδατος αυξάνεται ελαφρώς με

τη θερμοκρασία, ενώ η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια μειώνεται. Μια υψηλής θερμοκρασίας διαδικασία ηλεκτρόλυσης, επομένως, προτιμάται όταν η θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία είναι δυνατή με αποβαλλόμενη θερμότητα από άλλες διαδικασίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται είναι βασισμένο σε ορυκτούς πόρους με σχετικά χαμηλές αποδόσεις.

- Η θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία (500 - 2000°C) οδηγεί σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων που παράγουν το υδρογόνο
- Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία επαναχρησιμοποιούνται μέσα σε κάθε κύκλο, δημιουργώντας έναν κλειστό βρόχο που καταναλώνει μόνο νερό και παράγει το υδρογόνο και το οξυγόνο
- Η θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες που απαιτείται, μπορεί να παραχθεί από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες επόμενων γενεών που είναι υπό ανάπτυξη (έως και 1000°C) ή με τη χρησιμοποίηση του ηλιακού φωτός του ήλιου από ηλιακούς συμπυκνωτές (μέχρι για 2000°C).
- Οι ερευνητές έχουν προσδιορίσει τους κύκλους που είναι κατάλληλοι για τα συγκεκριμένα εύρη θερμοκρασιών και εξετάζουν αυτά τα συστήματα στο εργαστήριο. Από τους 200 πιθανούς κύκλους που έχουν προσδιοριστεί έχουν επιλεγεί σε περίπου δώδεκα για την αρχική έρευνα
- Ο διαχωρισμός ύδατος σε υψηλή θερμοκρασία είναι ο καταλληλότερος για τη μεγάλης κλίμακας, συγκεντρωτική παραγωγή υδρογόνου, παρόλα αυτά και η ημικεντρική παραγωγή από τους ηλιακούς κύκλους είναι δυνατή.

2.1.5

Ηλεκτρολυτικές Διαδικασίες

Οι ηλεκτρολυτικές διαδικασίες χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια για να διασπάσουν το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο, μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε ένα ηλεκτρολύτη. Το υδρογόνο που παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης μπορεί να οδηγήσει σε μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ανάλογα με την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται. Η πηγή της απαιτούμενης ενέργειας-συμπεριλαμβανομένου του κόστους και της αποδοτικότητάς της, καθώς επίσης και οι εκπομπές ως αποτέλεσμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να εξεταστούν κατά την αξιολόγηση των οφελών της παραγωγής υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης. Οι δύο μέθοδοι ηλεκτρόλυσης που παρουσιάζουν μέγιστο ενδιαφέρον για την ευρείας κλίμακας παραγωγή υδρογόνου, και οδηγούν σε σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, είναι ηλεκτρόλυση που χρησιμοποιεί τις ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρόλυση με μεγάλη θερμοκρασία από την πυρηνική ενέργεια. Οι ηλεκτρολύτες αποτελούνται από μια άνοδο και μια κάθοδο που διαχωρίζονται από τον ηλεκτρολύτη. Διαφορετικοί ηλεκτρολύτες λειτουργούν με

διαφορετικούς τρόπους.

- Πολυμερής Ηλεκτρολυτική Μembrάνη (PEM Electrolyzer)
- Αλκαλικοί Ηλεκτρολύτες (Alkaline Electrolyzers)
- Ηλεκτρολύτες Στερεού Οξειδίου (Solid Oxide Electrolyzers)

2.1.6

Φωτολυτικές Διαδικασίες

Οι φωτολυτικές διαδικασίες χρησιμοποιούν την ήπιας μορφής ενέργεια για να διασπάσουν το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτήν την περίοδο στα πολύ αρχικά στάδια της έρευνας, αυτές οι διαδικασίες προσφέρουν μακροπρόθεσμη δυνατότητα για τη βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου με χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση.

Φωτοβιολογική διάσπαση νερού

Σε αυτήν την διαδικασία, το υδρογόνο παράγεται από το νερό χρησιμοποιώντας το φως του ήλιου και τους ειδικούς μικροοργανισμούς, όπως τα πράσινα άλγη και τα κυανοβακτήρια. Ακριβώς όπως τα φυτά παράγουν οξυγόνο κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, αυτοί οι μικροοργανισμοί καταναλώνει το νερό και παράγουν υδρογόνο ως υποπροϊόν των φυσικών μεταβολικών διαδικασιών τους. Ο φωτοβιολογικός διαχωρισμός ύδατος είναι μια μακροπρόθεσμη τεχνολογία. Αυτήν την περίοδο, τα μικρόβια χωρίζουν το νερό πολύ πάρα πολύ αργά για να χρησιμοποιηθούν για την εμπορική και αποδοτική παραγωγή υδρογόνου. Οι επιστήμονες ερευνούν τους τρόπους να τροποποιήσουν τους μικροοργανισμούς και να προσδιορίσουν άλλα φυσικά μικρόβια που μπορούν να παράγουν υδρογόνο σε υψηλότερα ποσοστά. Ο φωτοβιολογικός διαχωρισμός ύδατος είναι στα πολύ αρχικά στάδια της έρευνας, αλλά προσφέρει τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα για τη βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου με χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση.

Φωτοηλεκτροχημική διάσπαση νερού

Σε αυτήν την διαδικασία, το υδρογόνο παράγεται από το νερό χρησιμοποιώντας το φως του ήλιου και τους ειδικούς ημιαγωγούς αποκαλούμενους φωτοηλεκτροχημικά υλικά. Στο φωτοηλεκτροχημικό σύστημα, ο ημιαγωγός χρησιμοποιεί την ήπιας μορφής ενέργεια για να διασπάσει άμεσα τα μόρια του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Τα διαφορετικά υλικά ημιαγωγών λειτουργούν στα ιδιαίτερα μήκη κύματος του φωτός και των ενεργειών. Η έρευνα εστιάζει στην εύρεση ημιαγωγών με σωστές ενέργειες ώστε να διασπών το νερό αλλά να είναι επίσης και σταθερές όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Ο φωτοβιολογικός διαχωρισμός ύδατος είναι στα πολύ αρχικά στάδια της έρευνας, αλλά προσφέρει τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα για τη βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου με χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

Υδρογόνο → [Ήλιο](#)



Γενικά Όνομα, Σύμβολο, [Ατομικός αριθμός](#) Υδρογόνο, H, 1 Κατάταξη [Αμέταλλα Ομάδα](#), [Περίοδος](#), [Τομέας](#) 1 (IA), [1](#), [s](#) [Πυκνότητα](#), [Σκληρότητα](#) 0,0899 kg/m^3 , ΔΑ [Χρώμα](#) Αχρωμο



Ατομικά χαρακτηριστικά [Ατομικό βάρος](#) 1,00794 μ

[Ατομική ακτίνα](#) (υπολ) 25 (53) pm

[Ομοιοπολική ακτίνα](#) 37 pm

[Ακτίνα van der Waals](#) 120 pm

[Ηλεκτρονιακή απεικόνιση](#) $1s^1$ [Ηλεκτρόνια](#) ανά [ενεργειακή στάθμη](#) 1

[Αριθμός οξειδωσης](#) +1,-1

[Κρυσταλλική δομή](#) εξαγωνική

Φυσικές Ιδιότητες

[Κατάσταση ύλης](#) αέριο

[Σημείο τήξεως](#) 14,025 K (-434 °F)

[Σημείο ζέσεως](#) 20,268 K (-423 °F)

[Μοριακός όγκος](#) $11,42 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$

[Θερμότητα εξατμίσεως](#) 0,44936 kJ/mol

[Θερμότητα τήξεως](#) 0,05868 kJ/mol

[Τάση ατμών](#) 209 Pa στους 23 K

[Ταχύτητα ήχου](#) 1270 m/s στους 298,15 K

Διάφορα

[Ηλεκτρارνητικότητα](#) 2,2

(Κλίμακα Pauling) [Ειδική θερμοχωρητικότητα](#) 14304 J/(kg*K)

[Ηλεκτρική αγωγιμότητα](#) $\sim 10^6/(m \cdot \text{ohm})$

[Θερμική αγωγιμότητα](#) 0,1815 W/(m*K)

[Δυναμικό ιοντισμού](#) 1312 kJ/mol

Σταθερότερα ισότοπα

Ισο	Φυσ.Αφθ.	ημιζωή	DM	DE MeV	DP
¹ H	99,985%	H είναι σταθερό με 0 νετρόνια			
² H	0,015%	H είναι σταθερό με 1 νετρόνιο			
³ H	{syn.}	12,33 y	β⁻	0,019	³ He

Έγινε χρήση μονάδων [SI](#) & [Κ.Σ.](#), εκτός εάν σημειώνεται διαφορετικά.

Γενικά για το υδρογόνο

Το υδρογόνο σε θερμοκρασία δωματίου, βρίσκεται σε αέρια κατάσταση. Είναι άοσμο, άχρωμο και εύφλεκτο. Όταν αέριο υδρογόνο καίγεται, σχηματίζεται [νερό](#). Το όνομα του στοιχείου αυτού δόθηκε από το Γάλλο χημικό [Antoine Lavoisier](#) και έχει ρίζες τις λέξεις της αρχαίας ελληνικής γλώσσας "ύδωρ" και "γένομαι". Πρώτη φορά αναγνωρίστηκε ως ξεχωριστό στοιχείο από τον Άγγλο χημικό Henry Cavendish το 1766. Ένα [άτομο](#) υδρογόνου αποτελείται από ένα [πρωτόνιο](#) και ένα [ηλεκτρόνιο](#) ενώ δύο άτομα ενώνονται μεταξύ τους ώστε να δώσουν ένα μόριο υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι το πρώτο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα και συμβολίζεται με το σύμβολο H. Μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν κάθε άλλο στοιχείο και έτσι μπορεί να δώσει περισσότερες ενώσεις από ότι μπορεί οποιοδήποτε άλλο στοιχείο. Στις ενώσεις αυτές συγκαταλέγονται το νερό και διάφοροι υδρογονάνθρακες όπως το πετρέλαιο και το [φυσικό αέριο](#).

Εξαιτίας της ελαφρότητάς του το υδρογόνο δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της [Γης](#). Σε καθαρή αέρια μορφή συναντάται σπάνια παρόλο που

πολλά ορυκτά και όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν ενώσεις του σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι το υδρογόνο βρίσκεται στην κερατίνη, στα ένζυμα που συντελούν στην πέψη, στα μόρια του [DNA](#), ενώ βρίσκεται άφθονο στις τροφές υπό τη μορφή λιπών, πρωτεϊνών και υδατανθράκων. Βαρύτερα στοιχεία προκύπτουν από τη σύντηξη του υδρογόνου, όπως το [ήλιο](#) (He). Βάσει αυτής της διαδικασίας πιστεύεται ότι σχηματίστηκε το ίδιο το Σύμπαν, ενώ η ίδια διαδικασία είναι επίσης υπεύθυνη για την έκλυση ενέργειας από τα άστρα όπως γίνεται στον Ήλιο.

Φυσικές ιδιότητες

Όπως και τα περισσότερα αέρια, το μόριο του υδρογόνου είναι διατομικό. Το αέριο υδρογόνο είναι πολύ πιο ελαφρύ από τον αέρα. Συγκεκριμένα, στους 0 K το υδρογόνο έχει πυκνότητα $0,0899 \text{ kg/m}^3$ περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή του αέρα και για αυτό το λόγο δε βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα αφού σε συνδυασμό με τη μικρή του μάζα μπορεί να διαφύγει από τις βαρυτικές δυνάμεις της γης. Με εξαίρεση το ήλιο, το υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού (20,268 K) και πήξεως (14,025 K). Υδρογόνο σε υγρή φάση επιτεύχθηκε πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό [Sir James Dewar](#) το 1898, είναι άχρωμο σε μικρές ποσότητες αλλά ανοιχτό μπλε σε λεπτά δείγματα. Το στερεό υδρογόνο είναι επίσης άχρωμο.

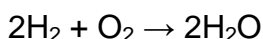
Στη φύση συναντώνται τρία διαφορετικά [ισότοπα](#). Το ισότοπο που αποτελεί το 99,98% των ατόμων υδρογόνου ονομάζεται [πρώτιο](#) (^1H) και αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Σε ποσοστό 0,02% συναντούμε ένα δεύτερο ισότοπο, το [δευτέριο](#) (ή ^2D) το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το δευτέριο χρησιμοποιείται σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών. Τέλος, το τρίτο ισότοπο ονομάζεται [τρίτιο](#) (ή ^3T) αποτελούμενο από ένα πρωτόνιο, δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο και αντιστοιχεί ένα σε 10000 άτομα υδρογόνου. Το τρίτιο είναι ραδιενεργό με χρόνο ημίσειας ζωής τα 12,4 χρόνια.

Κατά τη [κβαντομηχανική](#) προσέγγιση, συνοπτικά, τα πρωτόνια των μορίων υδρογόνου περιβάλλονται από το ηλεκτρονικό νέφος 2 ηλεκτρονίων. Η πυκνότητα πιθανότητας αυτού του νέφους είναι αυξημένη στον χώρο μεταξύ των πρωτονίων έτσι ώστε το καθένα να θωρακίζεται από το ομόσημο φορτίου του άλλου. Η κατάσταση αυτή προκύπτει από άρτια (συμμετρική) [κυματοσυνάρτηση](#) να περιγράφει την ηλεκτρονική

κατανομή στο μόριο. Όμως η ολική κυματοσυνάρτηση του συστήματος του μορίου του υδρογόνου (ως γινόμενο της χωρικής και αυτής των σπινς) πρέπει να είναι αντισυμμετρική σαν συνέπεια της αρχής του Pauli. Η κυματοσυνάρτηση των σπινς επομένως πρέπει να είναι αντισυμμετρική δηλαδή τα σπινς των ηλεκτρονίων του μορίου να είναι αντιπαράλληλα.

Χημικές Ιδιότητες

Το αέριο υδρογόνο συνήθως δεν αντιδρά με άλλα χημικά σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτό διότι ο δεσμός μεταξύ των ατόμων του είναι εξαιρετικά δυνατός και απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας για να διασπαστεί ώστε τα ξεχωριστά πια άτομα να αντιδράσουν με άλλα στοιχεία ή ενώσεις. Ωστόσο θερμαινόμενο με φλόγα αντιδρά βίαια με το οξυγόνο του αέρα ώστε να δώσει νερό σύμφωνα με την αντίδραση



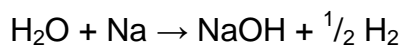
εκλύοντας ταυτόχρονα ενέργεια. Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς εκτός μεταξύ τους και με τα άλλα στοιχεία, όπως στις ενώσεις του [μεθανίου](#) (CH_4) και του νερού. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι πάντα ισχυροί αλλά σπάνε εύκολα όπως στην περίπτωση των οξέων. Παράδειγμα αυτού είναι το [μεθανικό οξύ](#) (CH_3COOH), ένα ασθενές οξύ. Διαλυόμενα σε νερό, ο ασθενής δεσμός του υδρογόνου σπάει, με το υδρογόνο να αφήνει πίσω το ηλεκτρόνιο του και να μετατρέπεται σε ιόν υδρογόνου (H^+). Το υδρογόνο επίσης σχηματίζει ιοντικούς δεσμούς όπως για παράδειγμα το HCl . Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο [δεσμό υδρογόνου](#) (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός από τα στοιχεία O, S, N, F ή Cl. Η ενέργεια του δεσμού αυτού είναι μικρή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού αποτελεί το νερό όπου κάθε μόριο του -σε μη υψηλές θερμοκρασίες- συνδέεται με 4 γειτονικά δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων νερού. Ο δεσμός υδρογόνου κατά ένα μέρος οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals ενώ έχουμε επιπρόσθετη δυνάμεων καθαρά χημικού δεσμού.

Το υδρογόνο κάτω από πολύ μεγάλη πίεση (1,5 εκατομμύρια ατμόσφαιρες) και θερμοκρασία (3000 K με 5000 K) μπορεί να συμπεριφερθεί και ως [μέταλλο](#), αντανακλώντας το [φως](#) και άγοντας το ηλεκτρικό ρεύμα.

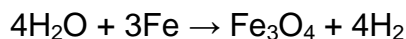
Παρασκευή και χρήσεις

Η μη ύπαρξη καθαρού αέριου υδρογόνου, θέτει το πρόβλημα της παρασκευής του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου είναι πολυάριθμοι:

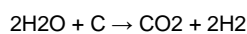
- Από το φυσικό αέριο ή το φωταέριο, με κλασματική διαπίδυση.
- Με την επίδραση νερού σε νάτριο «εν ψυχρώ»:



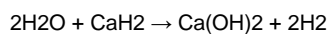
- Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε διάπυρο σίδηρο:



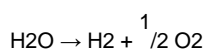
- Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε διάπυρο άνθρακα:



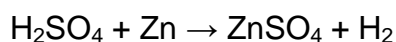
- Με την επίδραση νερού σε υδρολίθιο:



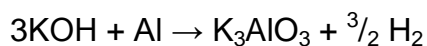
- Με ηλεκτρόλυση νερού. Το υδρογόνο ελευθερώνεται στην κάθοδο:



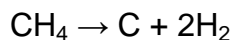
- Από τα οξέα, με αντικατάσταση του H από μέταλλο:



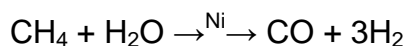
- Από τις βάσεις με την επίδραση επαμφοτεριζόντων στοιχείων:



- Από την [πυρόλυση](#) του μεθανίου:



- Από το μεθάνιο με την επίδραση νερού και παρουσία νικελίου ως καταλύτη:



- Με υδρόλυση στους 5000°C:



Οι μέθοδοι παρασκευής, ενδεικτικά, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες, τις θερμοχημικές, τις [ηλεκτρολυτικές](#) και τις φωτολυτικές.

Εν συντομία, αναφέρουμε μερικές από τις χρήσεις του

- Το υδρογόνο χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία σε μεγάλο ποσοστό για την παρασκευή [αμμωνίας](#), [μεθανίου](#), [μεθανόλης](#), βενζινών και μυρμηγκικού οξέως. Αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή άλλων προϊόντων, όπως εκρηκτικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά κτλ.
- Η τεχνολογία τροφίμων χρησιμοποιεί το υδρογόνο για την παρασκευή τεχνητών λιπών με υδρογόνωση ελαίων.
- Το υδρογόνο επίσης χρησιμοποιείται από την επιστήμη της φυσικής με εφαρμογή στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων.
- Με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της [υπεραγωγιμότητας](#).

Το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας

Το υδρογόνο έχει επιπλέον μία χρήση, Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας. Μάλιστα αυτή τη στιγμή γίνονται σημαντικές προσπάθειες, κυρίως στα ιδιαίτερα ανεπτυγμένα κράτη, για τη μετατροπή της προσαρμοσμένης στα συμβατικά καύσιμα υποδομής σε υποδομή με βάση το υδρογόνο. Ενδεικτικά, η [Ισλανδία](#), προβλέπει σε μία υποδομή πλήρως βασισμένη στο υδρογόνο μέχρι το 2030-2040, ενώ μέχρι το 2030 στόχος του υπουργείου οικονομίας των ΗΠΑ είναι η αντικατάσταση του 10% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενέργεια υδρογόνου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πως το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ενέργεια είναι οι λεγόμενες [κυψέλες καυσίμου](#) (fuel cells) στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση αυτό. Περισσότερα για τις κυψέλες καυσίμου θα δούμε παρακάτω. Η τάση κατανάλωσης καυσίμων όλο και λιγότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι ιστορικά εμφανής. Το υδρογόνο απαλλαγμένο από κάθε ποσό άνθρακα μπορεί να προσφέρει αρκετή ενέργεια για καθημερινές χρήσεις όπως η ηλεκτροδότηση κτιρίων ή η κίνηση των μεταφορικών μας μέσων.

Το ότι υπάρχει ένας σαφής προσανατολισμός προς την κατεύθυνση του υδρογόνου δεν είναι τυχαίο.

- Το υδρογόνο έχει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο, 120,7 kJ/gr και περίπου τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της συμβατικής βενζίνης.
- Κάνει καθαρή καύση. Όταν καίγεται με οξυγόνο παράγει μόνο νερό και θερμότητα. Όταν καίγεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος αποτελείται περίπου από 68% [άζωτο](#), παράγονται επίσης μερικά οξειδία του αζώτου σε αμελητέο ωστόσο βαθμό.
- Για το λόγο ότι κάνει καθαρή καύση δε συμβάλλει στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Το ποσό του νερού που παράγεται κατά τη καύση είναι τέτοιο ώστε να θεωρείται επίσης αμελητέο και μη ικανό επομένως να επιφέρει κάποια κλιματολογική αλλαγή δεδομένης ακόμα και μαζικής χρήσης.

Ωστόσο, υπάρχουν και μειονεκτήματα στη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο, τα περισσότερα έχουν να κάνουν με την ελλιπή σημερινή υποδομή και αποτελούν κυρίως τεχνικά προβλήματα τα οποία αναζητούν λύση.

- Ένα πρόβλημα είναι αυτό της αποθήκευσης του. Δεδομένου του ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητας σε μικρού μεγέθους δεξαμενή είναι δύσκολη λόγω των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται για να επιτευχθεί η υγροποίηση. Ωστόσο στην έκθεση Φρανκφούρτης του [2001](#) παρουσιάστηκε μία υδρογονοκίνητη έκδοση του [Mini Cooper](#) το οποίο για την αποθήκευση του υδρογόνου χρησιμοποιήθηκε ένα νέο ρεζερβουάρ, που καταλαμβάνει τον ίδιο χώρο με ένα αντίστοιχο συμβατικό βενζινοκίνητων οχημάτων.
- Πρόβλημα επίσης αποτελεί η έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής του. Μία λύση είναι η κατασκευή υπερκαλωδίων. Τα υπερκαλώδια θα μετέφεραν εξαιρετικά υψηλά ηλεκτρικά ρεύματα με σχεδόν μηδενική ηλεκτρική αντίσταση διαμέσου υπεραγώγιμων συρμάτων. Παράλληλα, μέσω των σωληνώσεων τους θα μεταφερόταν υπό υψηλή πίεση και υπέρψυχρο υδρογόνο σε εργοστάσια, σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογονοκίνητων οχημάτων και, ίσως κάποια [μέρα](#), σε οικιακούς φούρνους και [καλοριφέρ](#).

Το **μεθάνιο** είναι ο απλούστερος υδρογονάνθρακας. Το μόριο του μεθανίου αποτελείται από ένα κεντρικό άτομο [άνθρακα](#) που έχει χημικό δεσμό με τέσσερα.

3.1.1

Υδρογόνο & Κυψέλες Καυσίμου

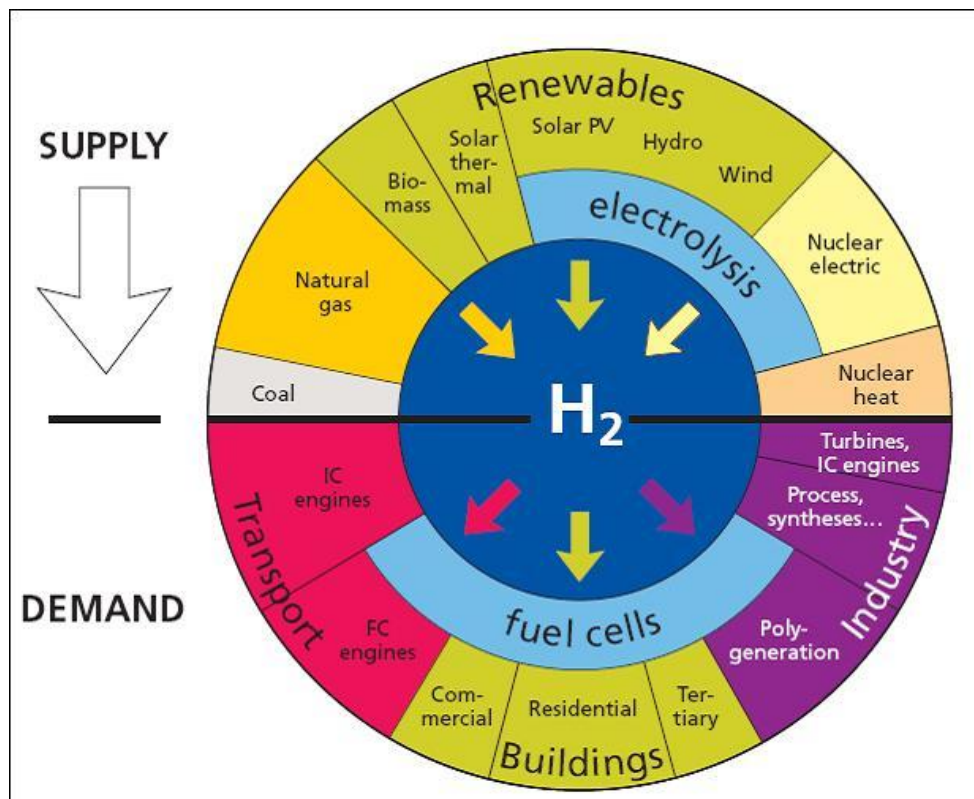
Υδρογόνο

Το υδρογόνο (H_2) είναι μεταφορέας και όχι πηγή ενέργειας. Αποθηκεύει και απελευθερώνει ενέργεια σε χρησιμοποιήσιμη μορφή ενώ παράγεται από ορυκτούς πόρους όπως είναι ο άνθρακας (με δέσμευση CO_2) και το φυσικό αέριο. Παράγεται

επίσης από πυρηνική ενέργεια, ή από ανανεώσιμες πηγές όπως η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Αυτή ακριβώς η ποικιλία των πηγών προμήθειας του υδρογόνου είναι και ο σημαντικότερος λόγος που το υδρογόνο προδιαγράφει ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον στη μεταφορά ενέργειας.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με θερμικές, ηλεκτρολυτικές, ή φωτολυτικές διαδικασίες.

Το μεγάλο εύρος των επιλογών που αφορούν τις πηγές, και τους τρόπους μετατροπής και εφαρμογής υδρογόνου περιγράφεται στις εικόνες 1 και 2 ενώ διαφαίνεται η πολυδιάστατη εφαρμογή του υδρογόνου και των συστημάτων με κυψέλες καυσίμου.

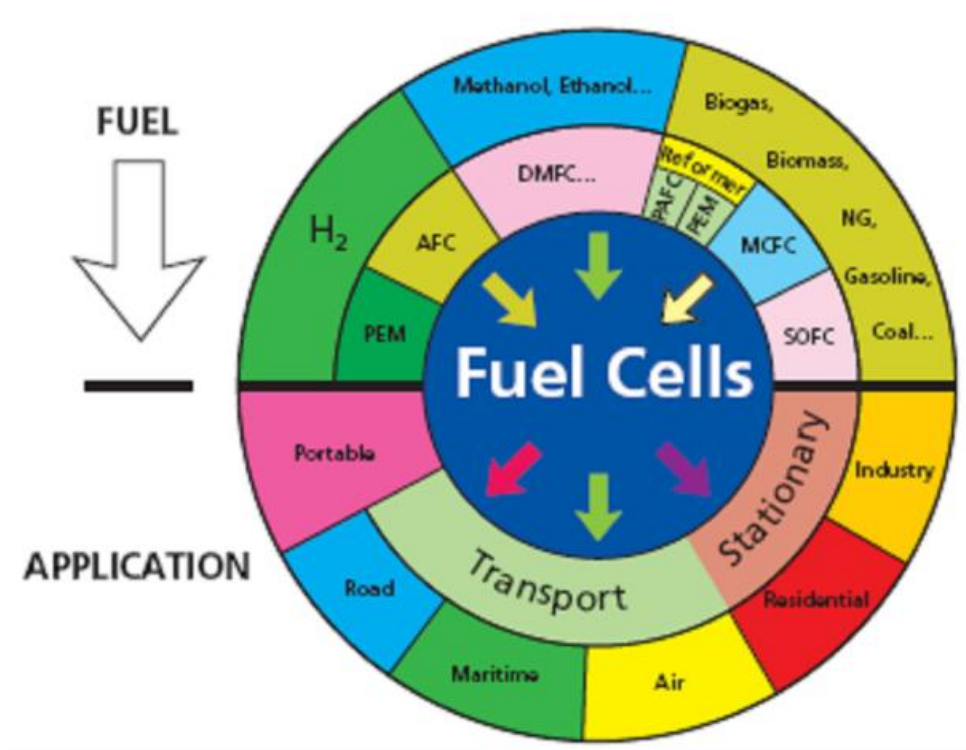


Εικόνα 1: Υδρογόνο-Πρωτογενείς πηγές ενέργειας, μετατροπείς ενέργειας και εφαρμογές

(Πηγή: Ευρωπαϊκή Ένωση, 2003)

Κυψέλες Καυσίμων

Οι κυψέλες καυσίμων αποτελούν μια σημαντική τεχνολογία για την οικονομία του υδρογόνου και έχουν τη δυναμική να φέρουν την επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο τροφοδοτούμε με ενέργεια τα έθνη μας προσφέροντας πιο καθαρές και αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις από την καύση βενζίνης και άλλων ορυκτών πόρων. Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να αντικαταστήσουν τις μηχανές εσωτερικής καύσης στα οχήματα και να παρέχουν ενέργεια σε σταθερές και κινητές εφαρμογές τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές όσο και σε μεγάλες φορητές συσκευές όπως τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, ή τα πλοία. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και παροχή ενέργειας σε γεννήτριες για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.



Εικόνα 2: Κυψέλες καυσίμων, πιθανά καύσιμα και εφαρμογές.(Πηγή: Ευρωπαϊκή Ένωση, 2003)

Οι κυψέλες καυσίμων

Η σοβαρή ρύπανση του περιβάλλοντος, που προκαλεί η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων, καθώς και η προοπτική εξάντλησής τους σε μερικές δεκαετίες, έχει στρέψει το ενδιαφέρον, τα τελευταία χρόνια, στην **αντικατάσταση** αυτών των **καυσίμων από το υδρογόνο**. Το υδρογόνο θεωρείται ως το ιδανικό καύσιμο, διότι έχει υψηλή θερμοαντική αξία, το προϊόν της καύσης του είναι καθαρό νερό, και μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές απώλειες.

Σήμερα το υδρογόνο παράγεται κυρίως από φυσικό αέριο με την επίδραση υδρατμών, αλλά η πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος είναι η παραγωγή του από ηλεκτρόλυση του νερού. Ιδιαίτερη δε σημασία έχει το γεγονός ότι, εκτός από τη δυνατότητα καύσης του σε ηλεκτρογεννήτριες, **το υδρογόνο μπορεί να "τροφοδοτήσει" τις κυψέλες καυσίμου**, μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές πηγές του μέλλοντος.

Από που προήλθαν οι κυψέλες των καυσίμων

Η πρώτη κυψέλη καυσίμων φτιάχτηκε το 1839 από τον Sir William Grove, έναν Ουαλλέζο δικαστή και πειραματικό επιστήμονα. Όμως σοβαρό ενδιαφέρον για τη κυψέλη καυσίμων ως πρακτική γεννήτρια δεν άρχισε παρά μόνο τη δεκαετία του '60, όταν επέλεξε το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ τα κυψέλες καυσίμων κι όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια και την ακριβότερη ηλιακή ενέργεια. Τα κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν ενέργεια το διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo, και παρέχουν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο.

Ποιο είδος καυσίμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια κυψέλη καυσίμων;

Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλα καύσιμα και μάλιστα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το υδρογόνο -- το αφθονότερο στοιχείο στη Γη -- μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο, συμπεριλαμβανομένης της μεθανόλης, της αιθανόλης, του φυσικού αερίου, και των ορυκτών καυσίμων ακόμη όπως η βενζίνη ή το ντίζελ. Τα καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο απαιτούν γενικά έναν "μετασχηματιστή καυσίμου" που θα εξάγει από το καύσιμο το υδρογόνο. Η ενέργεια θα μπορούσε επίσης να παρασχεθεί από τη βιομάζα, τον αέρα, την ηλιακή ενέργεια ή άλλες ανανεώσιμες πηγές. Οι κυψέλες καυσίμων σήμερα λειτουργούν με πολλά διαφορετικά καύσιμα, ακόμη και αέριο από τις εγκαταστάσεις σκουπιδιών και της επεξεργασίας απόβλητου ύδατος. Επίσης η δύναμη του αέρα, οι παλίρροιες και οι (υδροηλεκτρικοί στρόβιλοι μπορούν επίσης να δημιουργήσουν ηλεκτρική ενέργεια για να χωρίσουν το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Όταν το υδρογόνο παράγεται από τον ήλιο ή άλλες ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας καλείται "ηλιακό-υδρογόνο".

Κατά χρησιμοποίηση καυσίμων εκτός από το καθαρό υδρογόνο, απαιτείται ένας *μετασχηματιστής* ή *επεξεργαστής καυσίμων*. Τι είναι όμως ο *μετασχηματιστής*; Είναι μια συσκευή που παράγει υδρογόνο από τα καύσιμα όπως η βενζίνη, η μεθανόλη, η αιθανόλη ή η νάφθα.

Τρία βασικά σχέδια μετασχηματιστών αξιολογούνται ως κατάλληλα για τις κυψέλες καυσίμων για χρήση τους σε οχήματα: Του μετασχηματιστή του ατμού, της μερικής οξειδωσης και του αυτοθερμικού μετασχηματιστή. **Οι μετασχηματιστές ατμού** συνδυάζουν τα καύσιμα με τον ατμό και τη θερμότητα για να παραγάγουν το υδρογόνο. Η θερμότητα που απαιτείται για να ενεργοποιηθεί το σύστημα λαμβάνεται με την καύση των καυσίμων ή του πλεονάζοντος υδρογόνου από την έξοδο των κυττάρων καυσίμων. **Οι μετασχηματιστές της μερικής οξειδωσης** συνδυάζουν χημικά τα καύσιμα με το οξυγόνο για να παραγάγουν μονοξειδίο υδρογόνου και άνθρακα. Το μονοξειδίο του άνθρακα αντιδρά έπειτα με τον ατμό για να παραγάγει περισσότερο υδρογόνο. Η μερική οξειδωση ελευθερώνει θερμότητα, η οποία συλλαμβάνεται και χρησιμοποιείται αλλού στο σύστημα. **Οι αυτοθερμικοί μετασχηματιστές** συνδυάζουν χημικά τα καύσιμα και με τον ατμό και με το οξυγόνο έτσι ώστε η αντίδραση είναι σε θερμική ισορροπία. **Ο αυτοθερμικός μετασχηματισμός**, ενώ δεν είναι τόσο πλήρως αναπτυγμένος όσο οι άλλοι, προσφέρει την περισσότερη ευελιξία στη διαχείριση της θερμότητας. Γενικά, και η μεθανόλη και η βενζίνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε από τα τρία σχέδια μετασχηματιστών. Οι διαφορές στη χημική φύση των καυσίμων, εντούτοις, μπορούν να ευνοήσουν ένα σχέδιο πιο πολύ από ένα άλλο.

Λίγα λόγια για το υδρογόνο

Το υδρογόνο ήταν το πρώτο στοιχείο που σχηματίστηκε μετά το Big Bang και είναι ακόμα το πιο κοινό στοιχείο στο σύμπαν. Το υδρογόνο είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο υπάρχει άφθονο. Σαν καύσιμο μπορεί να ανακτηθεί από το φυσικό αέριο, το μεθάνιο ή το πετρέλαιο. Το υδρογόνο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν το απόλυτο καύσιμο, δεν έχει καθόλου αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Είναι το πιο απλό και ελαφρύτερο στοιχείο στο σύμπαν.

Το υδρογόνο είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και μη-τοξικό.

Μια άλλη μέθοδος για να παραχθεί υδρογόνο είναι με τα βακτηρίδια και τα άλγη. Τα κυανοβακτήρια, που είναι άφθονοι στη Γη, μονοκύτταροι οργανισμοί,, παράγουν υδρογόνο μέσω της κανονικής μεταβολικής λειτουργίας τους. Τα κυανοβακτήρια μπορούν να αναπτυχθούν στον αέρα ή το νερό, και περιέχουν τα ένζυμα που απορροφούν το φως του ήλιου για την ενέργεια και τη διάσπαση των μορίων του νερού, παράγοντας κατά συνέπεια το υδρογόνο. Δεδομένου ότι το κυανοβακτήριο παίρνει το νερό και το αποσυνθέτουν σε υδρογόνο, τα απόβλητα τους που είναι περισσότερο νερό, γίνεται τροφή για

τον επόμενο μεταβολισμό.

Πώς μια κυψέλη καυσίμων μπορεί να συγκριθεί με τις ηλεκτρικές μπαταρίες που τροφοδοτούν ένα αυτοκίνητο;

Τα αυτοκίνητα που κάνουν χρήση κυψέλες καυσίμων είναι μια ελκυστική πρόοδος από τα ηλεκτρικά που απαιτούν μπαταρίες. Προσφέρουν τα πλεονεκτήματα αυτών των οχημάτων με τις μπαταρίες αλλά μπορούν επίσης να ανεφοδιαστούν σε καύσιμα γρήγορα και θα μπορούσαν να πάνε σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ανεφοδιασμών.

Οι κυψέλες καυσίμων που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο θα είχαν μηδενικές εκπομπές καυσαερίων και θα είναι επίσης αποδοτικότερες από τα αυτοκίνητα που βασίζονται σε μπαταρίες. Επιπλέον, τα αυτοκίνητα των κυψελών καυσίμων θα μπορούσαν να παραγάγουν λιγότερα "σε όλο το σύστημα της παραγωγής" αέρια του θερμοκηπίου -- λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εκπομπές που συνδέθηκαν με την επεξεργασία των καυσίμων και τη χρήση τους.

Οι μελέτες από τις αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η General Motors έδειξαν ότι οι μηχανές αυτοκινήτων των κυττάρων καυσίμων θα μπορούσαν να παραχθούν σχεδόν με την ίδια τιμή όπως μια μηχανή εσωτερικής καύσεως.

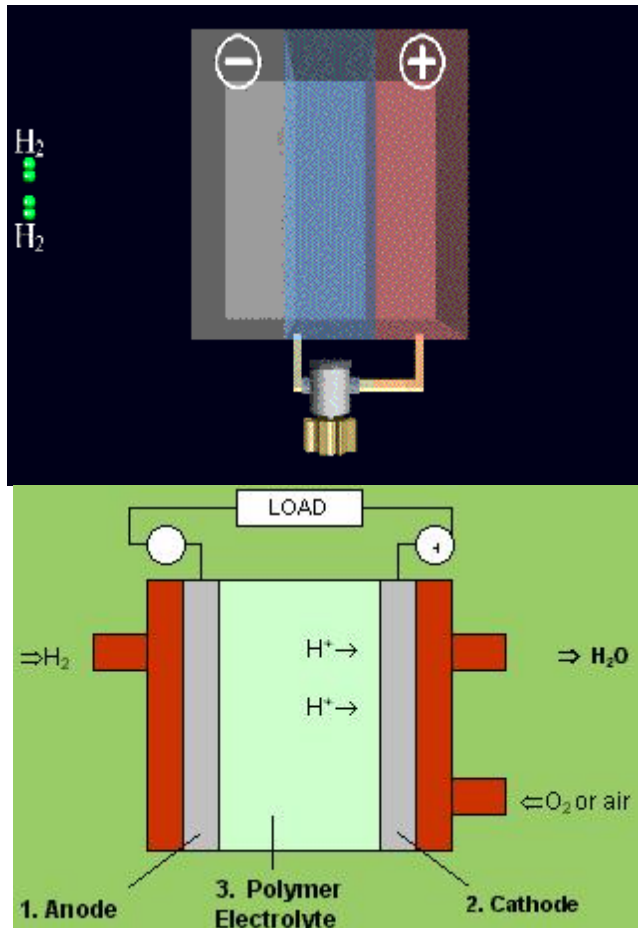
Από πού όμως προέρχεται το υδρογόνο;

Το υδρογόνο που παράγεται με τη βοήθεια ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών παρέχει μια καθαρή και άφθονη πηγή ενέργειας, ικανή για τις περισσότερες από τις μελλοντικές υψηλές ανάγκες ενέργειας. Όταν το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας σε μια κυψέλη καυσίμων, η μόνη εκπομπή που δημιουργείται είναι το νερό, το οποίο μπορεί έπειτα να ηλεκτρολυθεί για να κάνει περισσότερο υδρογόνο - τ' απόβλητα δηλαδή προμηθεύουν περισσότερα καύσιμα. Αυτός ο συνεχής κύκλος ενεργειακής παραγωγής έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας με κάθε ικανότητα - έτσι δεν θα έχουμε άλλες νεκρές μπαταρίες που προκαλούν μόλυνση του περιβάλλοντος ή μηχανές που καίνε βενζίνη ή πετρέλαιο. Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι το υδρογόνο είναι ακόμα ακριβότερο από τις άλλες πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι ερευνητές βοηθούν να αναπτυχθούν εκείνες οι τεχνολογίες για να παραγάγουν το υδρογόνο σε μαζικές ποσότητες και με φτηνότερες τιμές, προκειμένου να ανταγωνιστούν με τις παραδοσιακές πηγές της ενέργειας.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι που οι επιστήμονες ερευνούν για την φθηνή παραγωγή υδρογόνου. Και οι τρεις ξεχωρίζουν το υδρογόνο από ένα "αέριο της πετροχημικής βιομηχανίας", όπως τα ορυκτά καύσιμα ή το νερό - αλλά με πολύ διαφορετικά μέσα.

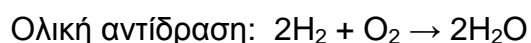
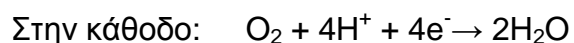
3.1.3

Πως λειτουργεί;



Η κυψέλη καυσίμων λειτουργεί παρόμοια με μια μπαταρία. Έχει δύο ηλεκτρόδια, μια άνοδο και μια κάθοδο, που χωρίζονται από μια μεμβράνη. Το οξυγόνο περνά πάνω από το ένα ηλεκτρόδιο και το υδρογόνου από το άλλο. Το υδρογόνο αντιδρά με έναν καταλύτη στην άνοδο (+) που μετατρέπει το αέριο υδρογόνου σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια (e^-) και θετικά φορτισμένα ιόντα (H^+). Τα ηλεκτρόνια ρέοντας από την κυψέλη αποτελούν ένα ρεύμα που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρική ενέργεια. Τα ιόντα του υδρογόνου τώρα κινούνται μέσω της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης προς την κάθοδο (-) όπου ενώνονται με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια για να παραγάγουν το νερό. Αντίθετα από τις μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμων ποτέ δεν φορτίζονται απ' έξω. Μία κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου 0.6 Volt και και πολλές μαζί συνδυάζονται για να δώσουν την ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται.

Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τα παραπάνω βήματα, συνοψίζονται παρακάτω.



3.1.4

Εφαρμογές και πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμων

Εφαρμογές

- Χρησιμοποίηση της κυψέλης καυσίμου για συμπαραγωγή ενέργειας (Παραγωγή θερμότητας και ενέργειας για ξενοδοχεία, νοσοκομεία και σπίτια)
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος(Έρευνα και ανάπτυξη στη βιομηχανία)
- Εφαρμογές μικρής ισχύος: Φώτα απομακρυσμένων περιοχών, ταμπέλες δρόμων, σταθμοί επικοινωνιών και μετεωρολογικοί σταθμοί.
- Μεταφορές (Διαστημόπλοια, υποβρύχια, τραίνα, λεωφορεία)
- Φορητές συσκευές ισχύος: Φορητά τηλέφωνα, Laptop , κάμερες και φορητές συσκευές ήχου.

Πλεονεκτήματα

- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% ? Εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt.
- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα .
- Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.
- Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα και για αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου αυτά ξεφύγουν από την θέση τους.

3.1.5

Κυψέλες καυσίμου ή μπαταρίες

Οι μπαταρίες είναι πολύ βαριές, περιέχουν τοξικά υλικά, πρέπει να αντικαθίστανται κάθε λίγα χρόνια και ίσως το πιο σημαντικό, θέλουν πολλές ώρες για να φορτίσουν. Σε ένα αυτοκίνητο, η μεγάλη διάρκεια φόρτισης σημαίνει ότι αντί να σταματάς σε ένα βενζινάδικο για λίγα λεπτά, να περιμένεις ώρες με το αυτοκίνητο σου μέχρι να φορτίσει η μπαταρία του. Χρησιμοποιώντας μια κυψέλη καυσίμου για να παράγουν ηλεκτρισμό που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική μηχανή, ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπορεί να δουλέψει με αέριο υδρογόνου. Το αέριο υδρογόνου είναι ελαφρύ και επειδή είναι αέριο, ένα αυτοκίνητο μπορεί να γεμίσει σε ένα σταθμό αερίου υδρογόνου μέσα σε λίγα λεπτά όπως γεμίζουν τα αυτοκίνητα σε ένα βενζινάδικο τώρα. Ίσως σύντομα να καταλήξουμε στην ιδέα που είναι η ύπαρξη έτοιμων δοχείων υδρογόνου στο μέγεθος ενός μπουκαλιού νερού οι οποίες θα υπάρχουν στα ράφια των σταθμών βενζίνης ή ακόμα και στα SUPER MARKET και θα μπορεί οποιοσδήποτε πολύ εύκολα να την αντικαταστήσει μόνος του στο αυτοκίνητο του ή στην γεννήτρια του.

Ηλεκτρόδια κυψέλης

Τα ηλεκτρόδια της κυψέλης αποτελούν πολύπλοκες νανοδομές και περιέχουν καταλύτη, πόρους και ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά. Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε μία κυψέλη καυσίμου αποτελούνται από δύο επιμέρους ημι-αντιδράσεις. Την [οξειδωση](#) (Αγγλ. *Oxidation*) του υδρογόνου η οποία πραγματοποιείται στην άνοδο και την [αναγωγή](#) (Αγγλ. *Reduction*) του οξυγόνου στην κάθοδο.

Με την οξειδωση του υδρογόνου παράγονται ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια), τα οποία μεταφέρονται μέσω της ιοντικά αγώγιμης μεμβράνης στην κάθοδο και ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύονται στο εξωτερικό κύκλωμα καθώς η διέλευση τους μέσα από τη μεμβράνη δεν είναι δυνατή. Η αναγωγή του οξυγόνου γίνεται καθώς το οξυγόνο το οποίο παρέχεται από τον αέρα έρχεται σε επαφή με τα ιόντα υδρογόνου και παράγεται νερό και θερμότητα. Αντίθετα με τη διαδικασία της οξειδωσης, στη διαδικασία της αναγωγής δεν έχει ακόμα κατανοηθεί ο μηχανισμός της αντίδρασης πλήρως.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα της καθοδικής αντίδρασης είναι 100 φορές μικρότερη από αυτή της ανόδου και αυτό δημιουργεί ένα σημαντικό όριο στην απόδοση της κυψέλης. Η χαμηλή ταχύτητα αναγωγής του οξυγόνου οφείλεται σε 3 παράγοντες:

- Στη μεγάλη ισχύ του δεσμού του μοριακού οξυγόνου και στην αυξημένη σταθερότητα του δεσμού Pt - O ή Pt - OH.
- Στο ότι είναι αντίδραση μεταφοράς 4 ηλεκτρονίων
- Στην δημιουργία παραπροϊόντων όπως το H₂O₂ (OH-OH)

Αναμορφωτές

Οι κυψέλες καυσίμου βασίζονται στο υδρογόνο. Ωστόσο οποιοδήποτε υλικό το οποίο περιέχει υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, υγρό προπάνιο κτλ. Μέσω της διαδικασίας της αναμόρφωσης (reforming) επιτυγχάνεται η παραγωγή υδρογόνου από τα υλικά αυτά και κατά αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτή η χρήση του σε εφαρμογές όπως η κίνηση ενός οχήματος χωρίς να είναι απαραίτητη αποθήκευση του αυτού καθ' αυτού.

Οι αναμορφωτές φαίνεται να είναι αναγκαίοι αφού προς το παρόν δεν υπάρχει οργανωμένη υποδομή για την παράδοση υδρογόνου ενώ δεν υπάρχουν επίσης και αποτελεσματικοί τρόποι για την αποθήκευση του ώστε να επιτευχθεί η άμεση χρήση του. Η αναμόρφωση μπορεί να λάβει χώρα σε μεγάλη, μεσαία ή μικρή κλίμακα. Παράδειγμα της πρώτης είναι η παραγωγή του υδρογόνου σε υγρή μορφή ύστερα από επεξεργασία των καυσίμων σε μεγάλα εργοστάσια παραγωγής. Παράδειγμα της δεύτερης αποτελούν οι ήδη υπάρχοντες σταθμοί ανεφοδιασμού. Τέλος αναμόρφωση μπορεί να γίνει τοπικά με την άμεση τροφοδότηση μιας κυψέλης καυσίμου από τον αναμορφωτή όπως για παράδειγμα σε ένα όχημα το οποίο τροφοδοτείται αρχικά με συμβατική βενζίνη την οποία μετατρέπει σε υδρογόνο προς χρήση στην κυψελίδα καυσίμου.

Στήλη κυψελών καυσίμου

Η απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου δεν είναι 100% κι επομένως η θεωρητική τάση των 1,16 V δε συναντάται. Αντίθετα μια συνηθισμένη τιμή τάσης εξόδου ισούται περίπου με 0,7V . Ωστόσο επειδή αυτή η τάση είναι μικρή και επομένως ακατάλληλη για τις περισσότερες πιθανές εφαρμογές της, γίνεται χρήση παραπάνω από μιας κυψέλης συνδεδεμένες μεταξύ τους σε σειρά, δημιουργώντας αυτό το οποίο ονομάζουμε στήλη κυψέλης καυσίμου (fuel cell stack). Ανάλογα με τη χρήση όπου προορίζεται η κυψέλη η στήλη μπορεί να αποτελείται από μερικές έως και εκατοντάδες κυψέλες. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται εκτός από μεγάλη τάση και μεγάλη ισχύ χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία στήλες σε σειρά. Προκειμένου να μειωθεί ο συνολικός όγκος και βάρος της στήλης γίνεται χρήση αντί δύο πλακών καθορισμού της ροής των αερίων, μίας. Αυτή η πλάκα έχει δύο περιοχές με κανάλια μεταφοράς, μια σε κάθε μεριά της η οποία αναλαμβάνει τη μεταφορά και διαφορετικού αερίου (υδρογόνου ή αέρα) και ονομάζεται διπολική πλάκα (bipolar plate). Στα άκρα της κυψέλης βρίσκονται δύο απλές πλάκες.

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο αδιαπέραστο από αέρια της στήλης διότι σε αντίθετη περίπτωση υδρογόνο και αέρας θα ενώνονταν άμεσα χωρίς την παραγωγή εκμεταλλεύσιμου ρεύματος. Η διπολική πλάκα πρέπει επίσης να είναι αγωγίμη ώστε το ρεύμα να μπορεί να κινηθεί από τη μία κυψέλη στην επόμενη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

Ενεργειακά αυτοδύναμο σύστημα με κυψέλη καυσίμου αμφίδρομης λειτουργίας

Οι Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου έχουν καλές προοπτικές εφαρμογής ως μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας χάρη στην υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας επίσης. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργήσουν και ως συσκευές ηλεκτρόλυσης νερού για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου. Συνεπώς, ένα σύστημα με κυψέλη καυσίμου μπορεί να εκμεταλλευτεί τη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια και επίσης συγκεκριμένες συνθήκες φορτίου, προκειμένου να παράγει το μελλοντικό καύσιμο του (υδρογόνου) χρησιμοποιώντας νερό ως πρωτογενές υλικό. Η ηλεκτρική ενέργεια, που απαιτείται για τον σκοπό αυτόν, μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες

πηγές με φιλικές επίσης το περιβάλλον τεχνολογίες (π.χ. φωτοβολταϊκά στοιχεία). Οι δυνατότητες αυτές έδωσαν το κίνητρο για τη διερεύνηση επίσης δυνατότητας λειτουργίας και επίσης απόδοσης επίσης τέτοιου συστήματος. Η λειτουργία του συστήματος αποτελείται από δύο φάσεις: τη φάση ηλεκτρόλυσης και τη φάση ηλεκτροπαραγωγής. Κατά τη φάση ηλεκτρόλυσης, η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό προερχόμενο από φωτοβολταϊκά στοιχεία για την ηλεκτρόλυση νερού. Τα προϊόντα επίσης ηλεκτρόλυσης αποθηκεύονται σε δεξαμενές. Κατά τη φάση ηλεκτροπαραγωγής, το υδρογόνο και το οξυγόνο αντιδρούν ηλεκτροχημικά μέσα στην κυψέλη καυσίμου παράγοντας ηλεκτρική και θερμική ισχύ. Παράλληλα παράγεται επιπλέον ηλεκτρικής ισχύς από αεροστρόβιλο που κινείται από τα αέρια που εξέρχονται από την κυψέλη. Για τη βασική διαστασιολόγηση και τη μελέτη επίσης ενεργειακής και ενεργειακής συμπεριφοράς του συστήματος, αναπτύχθηκε κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης. Για μια συγκεκριμένη τιμή επίσης ονομαστικής ισχύος επίσης κυψέλης καυσίμου υπολογίζονται μεταβλητές που χαρακτηρίζουν την απόδοση του συστήματος κατά τη διάρκεια επίσης έτους (παραγόμενο υδρογόνο, απαιτούμενη και παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, παραγόμενη χρήσιμη θερμότητα, βαθμοί απόδοσης, κ.λ.π.) Επίσης μελετήθηκε η επίδραση σημαντικών παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ένα περιβαλλοντικά ουδέτερο συστήματα σαν αυτό είναι τεχνικά δυνατό και μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα χωρίς να απαιτείται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμου από εξωτερικές πηγές.

4.1.1

Τύποι κυψελών καυσίμου :

- **Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM)**

Υπάρχουν πολλοί τύποι **τύποι κυψελών καυσίμου** (fuel cells), περιλαμβανομένων: PEM (Μεμβράνη Ανταλλαγής Πρωτονίου-proton exchange membrane fuel cells), χυτό άλας ανθρακικού οξέος, και αλκαλικό (το είδος που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα διαστήματος της NASA). Οι κυψέλες καυσίμου με το χυτό άλας ανθρακικού οξέος λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και είναι οι πιο κατάλληλες για μεγάλης κλίμακας λειτουργίες , όπως για ενέργεια εργοστασίων. Οι PEM κυψέλες καυσίμου είναι οι πιο κατάλληλες για μικρής κλίμακας γεννήτριες όπως για οχήματα. PEM σημαίνει

Μεμβράνη Ανταλλαγής Πρωτονίου. Η μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου που χρησιμοποιείται σε μια κυψέλη καυσίμου PEM είναι ένα λεπτό στρώμα υλικού το οποίο επιτρέπει στα πρωτόνια (ιόντα υδρογόνου) να περάσουν αλλά κρατάει τα ηλεκτρόνια και ολόκληρα άτομα στη μία πλευρά. Για να το κατανοήσουμε πιο απλά τη λειτουργία τους, οι κυψέλες καυσίμου χημικά συνδυάζουν τα αέρια του υδρογόνου και του οξυγόνου για να παράγουν ζεστό νερό και ηλεκτρισμό.

Η κυψέλη καυσίμου είναι ήσυχη, επαρκής και καθαρή. Οι κυψέλες καυσίμου συνήθως λειτουργούν με καθαρό αέριο υδρογόνου, το οποίο μπορεί να παραχθεί από ηλιακή ενέργεια, όπως και από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεμογεννήτριες). Οι κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν με υδρογόνο δεν μολύνουν το περιβάλλον, το μόνο παραπροϊόν είναι το καθαρό και ζεστό νερό. Οι κυψέλες καυσίμου έχουν βαθμό απόδοσης περίπου στο 80% ενώ στις μηχανές εσωτερικής καύσης ο βαθμός απόδοσης είναι μόνο 12%-15%, και αφού δεν υπάρχουν μετακινούμενα μέρη, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να είναι πολύ αξιόπιστες και δεν κάνουν σχεδόν καθόλου θόρυβο.

Το υδρογόνο μπορεί να είναι πιο ασφαλές από τη βενζίνη. Εν πρώτης, το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ αέριο και έτσι αν υπάρχει διαρροή, τείνει να κατευθύνεται προς τα επάνω πολύ γρήγορα, ακόμη και μέσα από πολύ μικρές ρωγμές στην οροφή, και να διασκορπίζεται στην ενδότερη ατμόσφαιρα όπου είναι ακίνδυνο. Το υδρογόνο είναι επίσης μη τοξικό, και είναι αδύνατον να μολυνθεί οτιδήποτε με χυτό υδρογόνο. Η βενζίνη αντιθέτως είναι υγρό και παράγει λάδια που μπορούν να καούν πολύ εύκολα και τα οποία χύνονται στο έδαφος. Η βενζίνη είναι επίσης δηλητηριώδης, γι' αυτό και οι πιτσιλιές πρέπει να καθαρίζονται με μεγάλη δαπάνη για την αποφυγή της μόλυνσης των παροχών νερού. Τέλος, έχουμε όλοι δει το καταστρεπτικό αποτέλεσμα των χυμένων λαδιών στο φυσικό περιβάλλον. Αν και δεν είναι απολύτως ακίνδυνο (όπως ισχύει για κάθε εύφλεκτο υλικό), το υδρογόνο είναι ένα συγκριτικά ασφαλές καύσιμο. Οι κυψέλες καυσίμου είναι πολύ αξιόπιστες. Δεν έχουν μετακινούμενα μέρη και έτσι δεν φθείρονται. Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται ήδη στα διαστημικά προγράμματα. Οι πρώτες πρακτικές κυψέλες καυσίμου κατασκευάστηκαν για το διαστημικό πρόγραμμα Απόλλων για την παραγωγή νερού για τις ανάγκες (για πόσιμο νερό η πλύσιμο) των αστροναυτών και οι κυψέλες καυσίμου εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στο διάστημα και σήμερα. Στη γη, οι κυψέλες καυσίμου

χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια σε πειράματα και για την κίνηση αυτοκίνητων καθώς και οικιακή και βιομηχανική χρήση.

- **Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)**

Οι κυψέλες φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells, PAFC) είναι αυτές όπου είναι διαθέσιμες σήμερα στο εμπόριο. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα.

Οι θερμοκρασίες λειτουργίας του βρίσκονται στην περιοχή των 150 με 200°C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το φωσφορικό οξύ γίνεται κακός ιοντικός αγωγός και το μονοξείδιο του άνθρακα CO το οποίο σχηματίζεται πάνω στον καταλύτη δηλητηριάζει την άνοδο ρίχνοντας πάρα πολύ την απόδοση. Ωστόσο τα επίπεδα ανοχής της συγκέντρωσης του CO είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει περισσότερα είδη καυσίμων για τη τροφοδότηση του. Στην περίπτωση της συμβατικής βενζίνης ωστόσο πρέπει να απομακρυνθούν τα σουλφίδια. Τα μειονεκτήματα των PA κυψελών καυσίμου, είναι το μεγάλο μέγεθος και βάρος, ο ακριβός καταλύτης όπου χρησιμοποιείται (λευκόχρυσος) ενώ το ρεύμα το οποίο παράγεται είναι χαμηλό και η ισχύς συγκρίσιμη με αυτή άλλων τύπων κυψελών καυσίμου.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο είναι ίδιες με αυτής της PEM κυψέλης.

- **Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)**

Σε όλες τις παραπάνω κυψέλες ως καύσιμο χρησιμοποιείται το υδρογόνο. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών (direct methanol fuel cells, DMFC) χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο. Η κατηγορία αυτή είναι πιο πρόσφατη των κυψελίδων PEM με αρκετά ακόμα προβλήματα προς επίλυση όπως η μεγάλη ποσότητα καταλύτη όπου απαιτείται. Ωστόσο, εάν η συγκεκριμένη τεχνολογία επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στη θέση των PEM κυψελών δε θα υπήρχε η ανάγκη αναζήτησης εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης του καυσίμου όπως γίνεται στη δεύτερη περίπτωση με το υδρογόνο ενώ δε θα ήταν αναγκαία και η ανάπτυξη αναμορφωτών.

- **ΑΛΚΑΛΙΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ(AFC)**
(Alkaline Fuel Cells)

Είναι ίσως ο παλαιότερος “ευρέως” χρησιμοποιούμενος τύπος κυψελών υδρογόνου αλλά ταυτόχρονα και ένας από τους πιο αποδοτικούς. Πρωτοχρησιμοποιήθηκε της δεκαετία του '60 από τη NASA οπότε και τοποθετήθηκε σε διάφορα διαστημόπλοια για την παραγωγή ενέργειας αλλά και πόσιμου νερού για το πλήρωμα. Το πρώτο σκάφος στο οποίο τοποθετήθηκε ήταν το διαστημόπλοιο Gemini, στις διαστημικές αποστολές της δεκαετίας του '60 ενώ στη συνέχεια τοποθετήθηκαν αλκαλικές κυψέλες καυσίμων και σε όλες τις υπόλοιπες διαστημικές αποστολές μέχρι τις ημέρες μας. Η θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών αυτών είναι 150 – 200 °C.

συνεπώς το παραγόμενο νερό εξέρχεται της κυψέλης σε αέρια μορφή. Το γεγονός αυτό επέτρεψε στους σχεδιαστές των διαστημικών σκαφών να χρησιμοποιήσουν τον ατμό αυτό και για την κάλυψη μέρους των αναγκών θέρμανσης των σκαφών, ενώ ταυτόχρονα μείωναν αισθητά τη θερμοκρασία του νερού έτσι ώστε να καταστεί πόσιμο.

Η δομή των κυψελών αυτών αποτελείται κατά κύριο λόγο από ένα αλκαλικό υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου το οποίο εμποτίζει ένα μεταλλικό πλέγμα. Το διάλυμα αυτό λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης προσδίδοντας στη διάταξη σημαντικά λειτουργικά χαρακτηριστικά. Το κύριο πλεονέκτημα της παραπάνω διάταξης σχετίζεται με την ταχύτητα των πραγματοποιούμενων αντιδράσεων. Έτσι λοιπόν στην κάθοδο, ο αλκαλικός ηλεκτρολύτης επιταχύνει σημαντικά την πραγματοποιούμενη αντίδραση αυξάνοντας σημαντικά την ολική απόδοση της κυψέλης. Μέχρι πρόσφατα, οι αλκαλικές κυψέλες υδρογόνου θεωρούνταν υπερβολικά ακριβές για χρήση από οποιονδήποτε άλλο εκτός της NASA, ωστόσο πρόσφατα ορισμένες εταιρείες κατασκευής κυψελών δήλωσαν πως έχουν δημιουργήσει εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής των συγκεκριμένων κυψελών με πολύ μικρότερο κόστος αλλά και βελτιωμένη λειτουργική συμπεριφορά. Τα τυπικά μεγέθη ισχύος των κυψελών αυτών κυμαίνονται από τα 300watt έως τα 5kW.

- **ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΕΡΕΟΥ ΟΞΕΙΔΙΟΥ(SOFC)
(Solid Oxide Fuel Cells)**

Αποτελούν άλλη μια πολλά υποσχόμενη πρόταση στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια κυψελών καυσίμου αν και παρουσιάζουν και αυτές ορισμένα μειονεκτήματα. Βασικό λειτουργικό τους χαρακτηριστικό είναι η στερεά κατάσταση όλων των στοιχείων που απαρτίζουν την κυψέλη συντελώντας στη μείωση του συνολικού όγκου αλλά και στην αύξηση της μηχανικής αντοχής της διάταξης. Οι έρευνες παρουσιάζουν τις κυψέλες στερεού οξειδίου σαν μια καλή λύση για την παραγωγή ενέργειας μμεγάλης κλίμακας σε κεντρικούς σταθμούς παραγωγής διασυνδεδεμένους με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, ή και ως αυτόνομες μονάδες παραγωγής για απομονωμένα μέρη. Ορισμένες εταιρείες ωστόσο κατασκευάζουν πειραματικές διατάξεις κυψελών στερεού οξειδίου για την τοποθέτησή τους σε μεγάλα οχήματα χωρίς ωστόσο μεγάλη επιτυχία λόγω της δυσκολίας απαγωγής των μεγάλων ποσών εκπεμπόμενης θερμότητας.

Η βασική διάταξη μιας κυψέλης SOFC περιλαμβάνει συνήθως κάποιο κεραμικό υλικό πολύ μμεγάλης σκληρότητας, το οποίο παίζει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Συνήθως χρησιμοποιούνται κάποια κράματα που περιέχουν οξείδια του Ζirkονίου καθώς και μικρές ποσότητες Υπτέρβιου, δημιουργώντας τελικά ένα συμπαγές στερεό σώμα πολύ υψηλής θερμικής και μηχανικής αντοχής. Η αντικατάσταση λοιπόν του υγρού ηλεκτρολύτη με αυτό το ανθεκτικό κεραμικό υλικό, επιτρέπει την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας σε δυσθεώρητα ύψη που αγγίζουν τους 1000 βαθμούς Κελσίου. Όπως είναι λοιπόν αναμενόμενο αυτή η τεράστια αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας εκτοξεύει την απόδοση της κυψέλης, η οποία αγγίζει το 85% για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της τάξης των 100kW.

Πιο αναλυτικά θα ασχοληθούμε με τις παρακάτω κατηγορίες λόγω της υποχρεωτικής εκβάθυνσης μας στη χρήση του υδρογόνου και του μεθανίου που αποτελούν άλλωστε και το βασικό θέμα ανάλυσής μας :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :

Η λειτουργία των Κυψελών Μembrάνης Ανταλλαγής Πρωτονίων (PEM)

Λόγω της μεγάλης αναγνώρισης που έχει η τεχνολογία του υδρογόνου κρίνεται σκόπιμη η λεπτομερέστερη ανάλυση του μηχανισμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο εσωτερικό της κυψέλης υδρογόνου και ειδικότερα στις κυψέλες με Μembrάνη Ανταλλαγής Πρωτονίων οι οποίες και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν αρκετά σύντομα στα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μικρής και μέσης κλίμακας.

Αναλύοντας λοιπόν μια κυψέλη τύπου PEM στα βασικά συστατικά της, διαπιστώνουμε ότι ο πυρήνας της κυψέλης είναι η ηλεκτρολυτική ημιπερατή της μεμβράνη. Πρόκειται λοιπόν για ένα σχετικά λεπτό φιλμ κατασκευασμένο από πολυμερές υλικό το οποίο χωρίζει ουσιαστικά την κυψέλη σε 2 ανεξάρτητους χώρους, οι οποίοι επικοινωνούν επιλεκτικά μεταξύ τους. Η περιγραφή λοιπόν της λειτουργίας αυτών των κυψελών καυσίμου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν δεν αναλυθεί η δομή και η λειτουργία της ίδιας της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης.

Ηλεκτρολύτης ονομάζεται η ουσία (ή χημική ένωση) εκείνη η οποία έχει την ιδιότητα να διασπάται σε θετικά και αρνητικά ιόντα, όταν διαλυθεί σε κάποιον διαλύτη όπως είμαι π.χ. το νερό. Το διάλυμα του ηλεκτρολύτη παρουσιάζει ηλεκτρική αγωγιμότητα η οποία οφείλεται στην ύπαρξη θετικών και αρνητικών ιόντων. Έτσι λοιπόν το απιονισμένο (καθαρό) νερό είναι ηλεκτρικός μονωτής, ενώ το κοινό νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού λόγω της ύπαρξης διαλυμένων αλάτων στο εσωτερικό του. Ο ηλεκτρολύτης ωστόσο στις κυψέλες τύπου PEM δεν είναι κάποιο υγρό διάλυμα αλλά ένα ειδικό πλαστικό φύλλο πολυμερούς το οποίο λαμβάνει συνήθως τη γενική ονομασία ηλεκτρολυτική μεμβράνη.

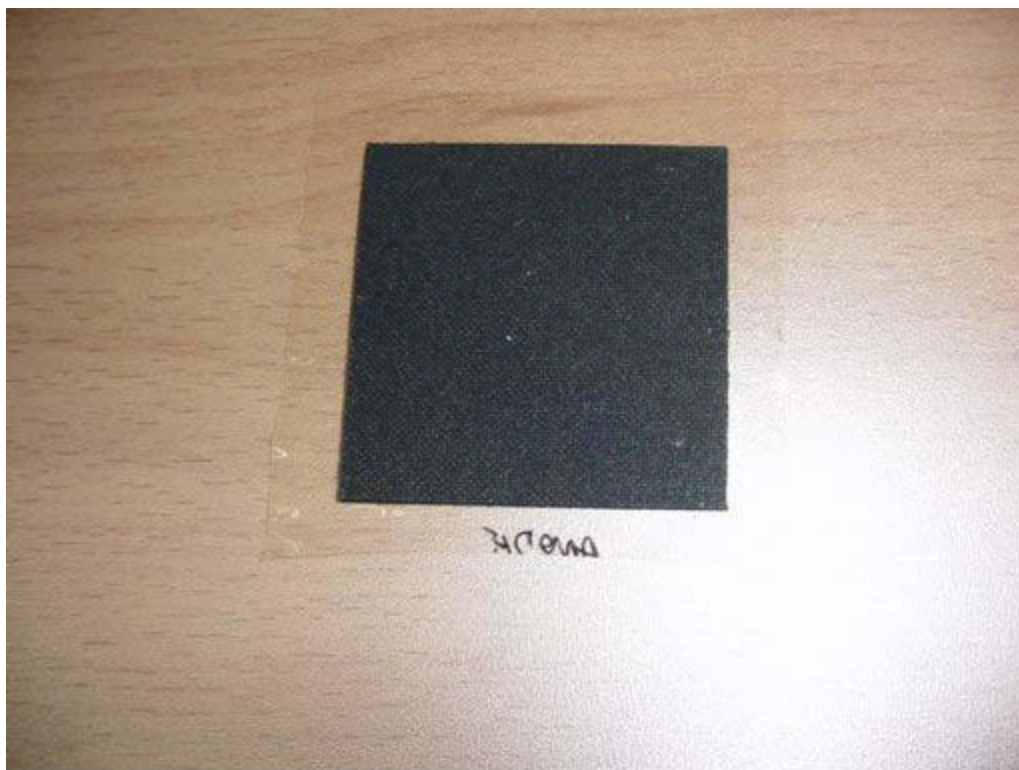
Στις κυψέλες υδρογόνου τύπου PEM χρησιμοποιούνται διάφορων ειδών μεμβράνες οι οποίες διαφέρουν οπτικά και ποιοτικά μεταξύ τους ανάλογα με τον κατασκευαστή της καθεμίας. Κυρίαρχη ωστόσο θέση στην αγορά των κυψελών καυσίμου κατέχουν οι μεμβράνες της Γαλλικής εταιρίας DuPont. Οι ηλεκτρολυτικές αυτές μεμβράνες μοιάζουν οπτικά με το πλαστικό φιλμ συσκευασίας των τροφίμων, ωστόσο η χημική τους σύσταση είναι τελείως διαφορετική. Το πολυμερές αυτό υλικό ονομάζεται Nafion και η

χημική του σύσταση καθώς και ο τρόπος παρασκευής του είναι κατοχυρωμένος παγκόσμια από την εταιρία DuPont. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ο χημικός τύπος του Nafion καθώς επίσης και ορισμένες επεξηγήσεις σχετικά με τις ιδιαίτερες ιδιότητες που δημιουργούν ορισμένα από τα συστατικά του.

$ \begin{array}{c} -CF_2 - CF - CF_2 - \\ \\ O \\ \\ CF_2 \\ \\ CF - CF_3 \\ \\ O \\ \\ CF_2 \\ \\ CF_2 \\ \\ SO_3^- H^+ \end{array} $	<p>Οι πολυμερείς ηλεκτρολυτικές μεμβράνες είναι στερεά οργανικά πολυμερή (συνήθως poly[perfluorosulfonic]acid). Ένα τυπικό πολυμερές αυτής της κατηγορίας, όπως είναι και το Nafion™ αποτελείται από τις παρακάτω κύριες χημικές “περιοχές”:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Την φθοριοκαρβονική χημική “ραχοκοκαλιά” της οποίας η δομή μοιάζει με αυτή του Teflon™ κατά μήκος της οποίας παρατηρούνται εκατοντάδες επαναλαμβανόμενα τμήματα: $-CF_2 - CF - CF_2 -$ • Τις πλευρικές χημικές αλυσίδες $(-O - CF_2 - CF - O - CF_2 - CF_2 -)$ οι οποίες συνδέουν τη μοριακή “ραχοκοκαλιά” του πολυμερούς με την τρίτη περιοχή. • Τα ιοντικά τμήματα τα οποία αποτελούνται από τα θετικά και αρνητικά ιόντα θειώδους οξέως (SO_3^-, H^+). Τα αρνητικά ιόντα (θειικές ρίζες) παραμένουν μονίμως προσκολλημένα στις πλευρικές χημικές αλυσίδες του μορίου χωρίς δυνατότητα μετακίνησης. Ωστόσο όταν αυξηθεί η υγρασία της μεμβράνης λόγω απορρόφησης νερού, τα ιόντα υδρογόνου αποκτούν τη δυνατότητα κίνησης. Η μετακίνηση λοιπόν των ιόντων πραγματοποιείται από τη διαπίδυση θετικών ιόντων υδρογόνου μεταξύ των θειικών ριζών στο εσωτερικό της μεμβράνης. Συνεπώς το ενυδατωμένο αυτό πολυμερές αποτελεί εξαιρετικό αγωγό πρωτονίων
--	---

Γενικά οι ηλεκτρολυτικές μεμβράνες παράγονται σε φύλλα πάχους 50 – 175 μικρόμετρα (μm), περίπου δηλαδή όσο είναι το πάχος 3-4 σελίδων χαρτιού. Κατά τη λειτουργία τους υπόκεινται σε έντονη ύγρανση έτσι ώστε να αποκτήσουν πρωτονική αγωγιμότητα. Μια σημαντικότερη ιδιαιτερότητα των

μεμβρανών αυτών, έγκειται στο γεγονός ότι η επαφή τους με το νερό δεν προκαλεί απελευθέρωση αρνητικών ιόντων, όπως συμβαίνει στους περισσότερους κοινούς ηλεκτρολύτες. Αντίθετα, τα αρνητικά ιόντα παραμένουν ακλόνητα συνδεδεμένα στο χημικό πλέγμα του μακρομορίου ενώ ελευθερώνονται τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου.



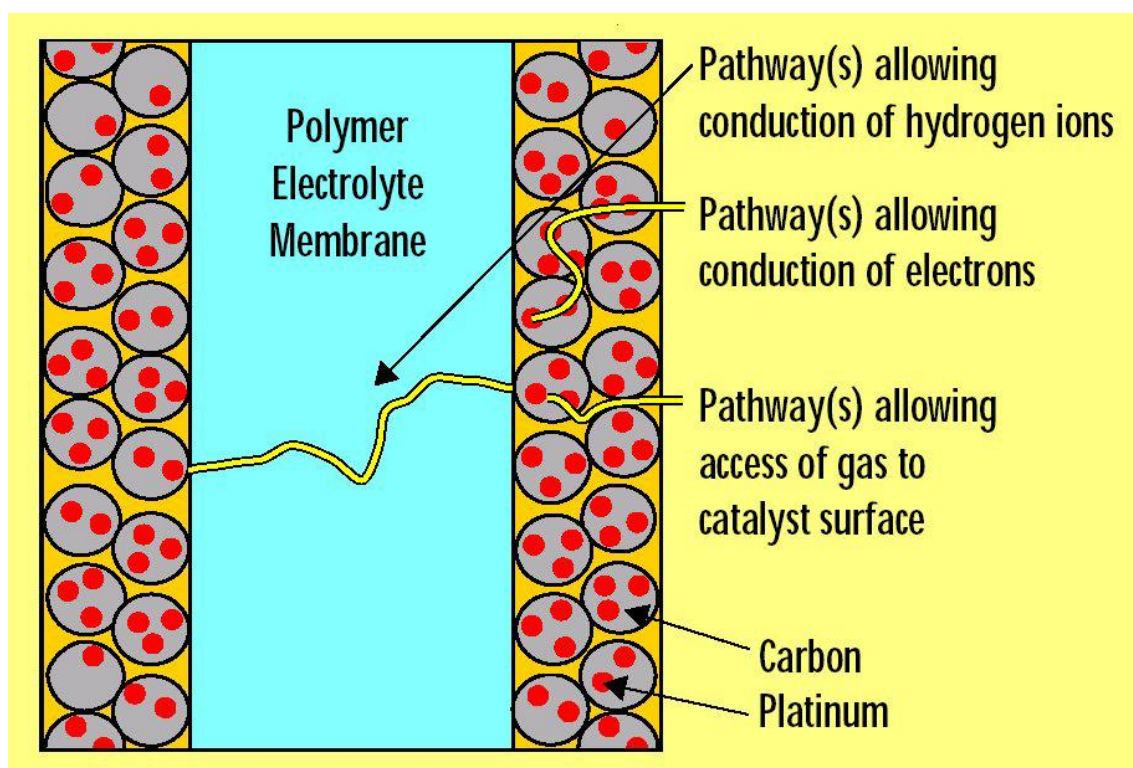
Εικόνα 22: Μembrάνη κυψέλης PEM (πηγή: Tropical)

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι η φορά της κίνησης των ιόντων υδρογόνου (πρωτονίων) είναι μονόδρομη με φορά από την άνοδο προς την κάθοδο. Αυτή δε η μονόδρομη πορεία είναι και ο βασικότερος παράγοντας που επιτρέπει τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής τάσης.

Εκτός όμως από τις ιδιαίτερες χημικές του ιδιότητες, το πολυμερές υλικό των ηλεκτρολυτικών μεμβρανών παρουσιάζει σημαντικότερες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες οι οποίες επιτρέπουν τελικά τη λειτουργία ολόκληρης της κυψέλης καυσίμου. Τα οργανικά λοιπόν αυτά πολυμερή υλικά όπως είναι το Nafion βασίζονται στο Teflon το οποίο τα καθιστά αρκετά ανθεκτικά στις διάφορες καταπονήσεις παρά το πολύ μικρό τους πάχος και την ελάχιστη

μάζα τους. Το γεγονός αυτό της αυξημένης μηχανικής αντοχής είναι πολύ σημαντικό για τη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία της κυψέλης.

Επιπλέον, παρά το ότι το πάχος των ηλεκτρολυτικών μεμβρανών είναι μερικές δεκάδες μικρόμετρα, αποτελούν άριστης ποιότητας διαχωριστές αερίων. Είναι λοιπόν απολύτως αδιαπέραστα από τα αέρια με αποτέλεσμα να μπορούν να λειτουργήσουν και σαν διαχωριστικά τοιχώματα στο εσωτερικό της κυψέλης επιτυγχάνοντας τον πλήρη διαχωρισμό του αερίου υδρογόνου (καύσιμο) από τον αέρα (οξειδωτικό) επιτρέποντας την ομαλή και αποδοτική λειτουργία της κυψέλης.



Εικόνα 23

Παρά το γεγονός ότι οι ηλεκτρολυτικές μεμβράνες είναι πολύ καλοί αγωγοί πρωτονίων, ειδικά όταν υγραθούν, είναι κακοί αγωγοί των ηλεκτρονίων κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες. Η παρουσία τους λοιπόν στο εσωτερικό της κυψέλης με τη μορφή διαχωριστικού τοιχώματος επιτρέπει και την αποτελεσματική ηλεκτρική μόνωση των δυο πόλων της κυψέλης. Έτσι λοιπόν οι δυο περιοχές της κυψέλης που εμφανίζουν διαφορά δυναμικού δεν μπορούν να εξισορροπήσουν τη διαφορά φορτίου τους παρά μόνο μέσω της σύνδεσής τους με κάποιο εξωτερικό κύκλωμα. Η τελευταία αυτή φυσική ιδιότητα των οργανικών ηλεκτρολυτικών μεμβρανών, καθώς και όλες οι

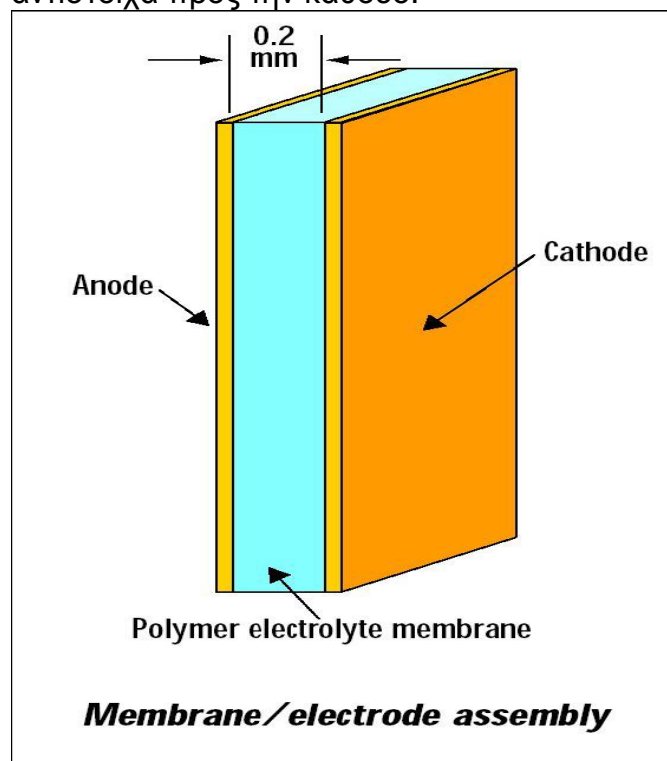
προαναφερθείσες ιδιότητες δείχνουν καθαρά πόσο μοναδικά είναι τα χαρακτηριστικά αυτών των πολυμερών και σε πόσο μεγάλο βαθμό καθορίζουν τη λειτουργία ολόκληρης της διάταξης.

5.1.1

Τα ηλεκτρόδια

Σε όλες τις ηλεκτροχημικές διεργασίες, πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις σε δυο συγκεκριμένα σημεία των διατάξεων, στην άνοδο και την κάθοδο. Τα δυο αυτά σημεία διαχωρίζονται από τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος στην περίπτωση των κυψελών καυσίμου είναι η οργανική πολυμερής μεμβράνη.

Κατά τη φάση της πρώτης ημι-αντίδρασης η οποία πραγματοποιείται στην άνοδο το αέριο υδρογόνο διασπάται σε θετικά ιόντα (πρωτόνια) και αρνητικά ιόντα (ηλεκτρόνια). Τα θετικά ιόντα, εκμεταλλευόμενα τις ιδιαίτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες της μεμβράνης οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, άγονται μέσω της πρωτονικά αγώγιμης μεμβράνης στην περιοχή της καθόδου. Αντίστοιχα, τα αρνητικά ιόντα διαρρέουν το εξωτερικό κύκλωμα και κινούνται αντίστοιχα προς την κάθοδο.



Εικόνα 24: Τα ηλεκτρόδια προσκολλημένα στα πλευρά της μεμβράνης

Όλη η διαδικασία ολοκληρώνεται με την πραγματοποίηση της 2^{ης} ημιαντίδρασης η οποία πραγματοποιείται στην κάθοδο. Εκεί το οξυγόνο του αέρα του περιβάλλοντος εισερχόμενο στο εσωτερικό της κυψέλης, ενώνεται με τα ελεύθερα ιόντα υδρογόνου και σχηματίζει μόρια νερού καθώς και περίσσεια ενέργειας που αποβάλλεται υπό μορφή θερμότητας. Οι παραπάνω αντιδράσεις υπό κανονικές συνθήκες θα πραγματοποιούνταν με πολύ αργούς

ρυθμούς στη θερμοκρασία των 80 °C περίπου που λειτουργεί μια κυψέλη PEM. Για την επιτάχυνσή λοιπόν των ηλεκτροχημικών διεργασιών επιστρατεύονται ορισμένοι καταλύτες οι οποίοι τοποθετούνται με τη μορφή επιχρισμάτων ή ιχνοστοιχείων τόσο στην άνοδο όσο και στην κάθοδο. Το στοιχείο που καταλύει καλύτερα τις παραπάνω αντιδράσεις είναι η πλατίνα (ιριδιούχος λευκόχρυσος), το υψηλότερο κόστος του οποίου αυξάνει τελικά και το τελικό κόστος παραγωγής των κυψελών PEM.



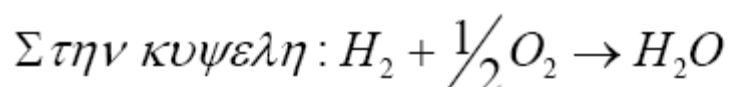
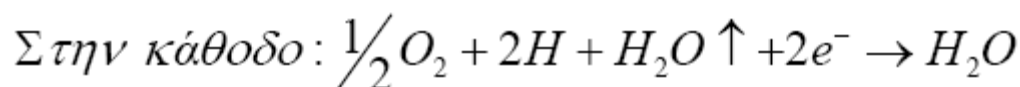
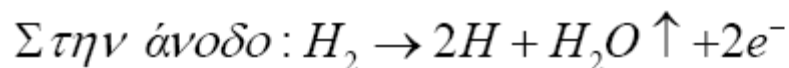
Εικόνα 25: Ηλεκτρόδιο πειραματικής κυψέλης (πηγή: Tropical)

Συνοψίζοντας λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι τα τελικά προϊόντα όλων των ηλεκτροχημικών διεργασιών στο εσωτερικό της κυψέλης είναι: η ηλεκτρική ενέργεια, το νερό και η εκπεμπόμενη θερμότητα. Το παραγόμενο νερό, στη θερμοκρασία λειτουργίας της κυψέλης βρίσκεται ταυτόχρονα σε αέρια και υγρή κατάσταση, ωστόσο απομακρύνεται από το εσωτερικό της κυψέλης με τη βοήθεια του ρεύματος αέρα που εισέρχεται από την κάθοδο. Η παραγωγή θερμότητας ωστόσο, στην περιοχή της καθόδου δημιουργεί ορισμένα προβλήματα στη λειτουργία της κυψέλης αφού τείνει να αυξήσει τη θερμοκρασία της όλης διάταξης, κάτι το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει αρνητικά όσον αφορά την απόδοση. Επομένως είναι απαραίτητο ένα σύστημα

ψύξης της κυψέλης το οποίο θα είναι σε θέση να διατηρεί τη θερμοκρασία της διάταξης σταθερή στους 80 °C.

Ο ηλεκτροχημικός μηχανισμός

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της κυψέλη υδρογόνου τύπου PEM είναι οι εξής:



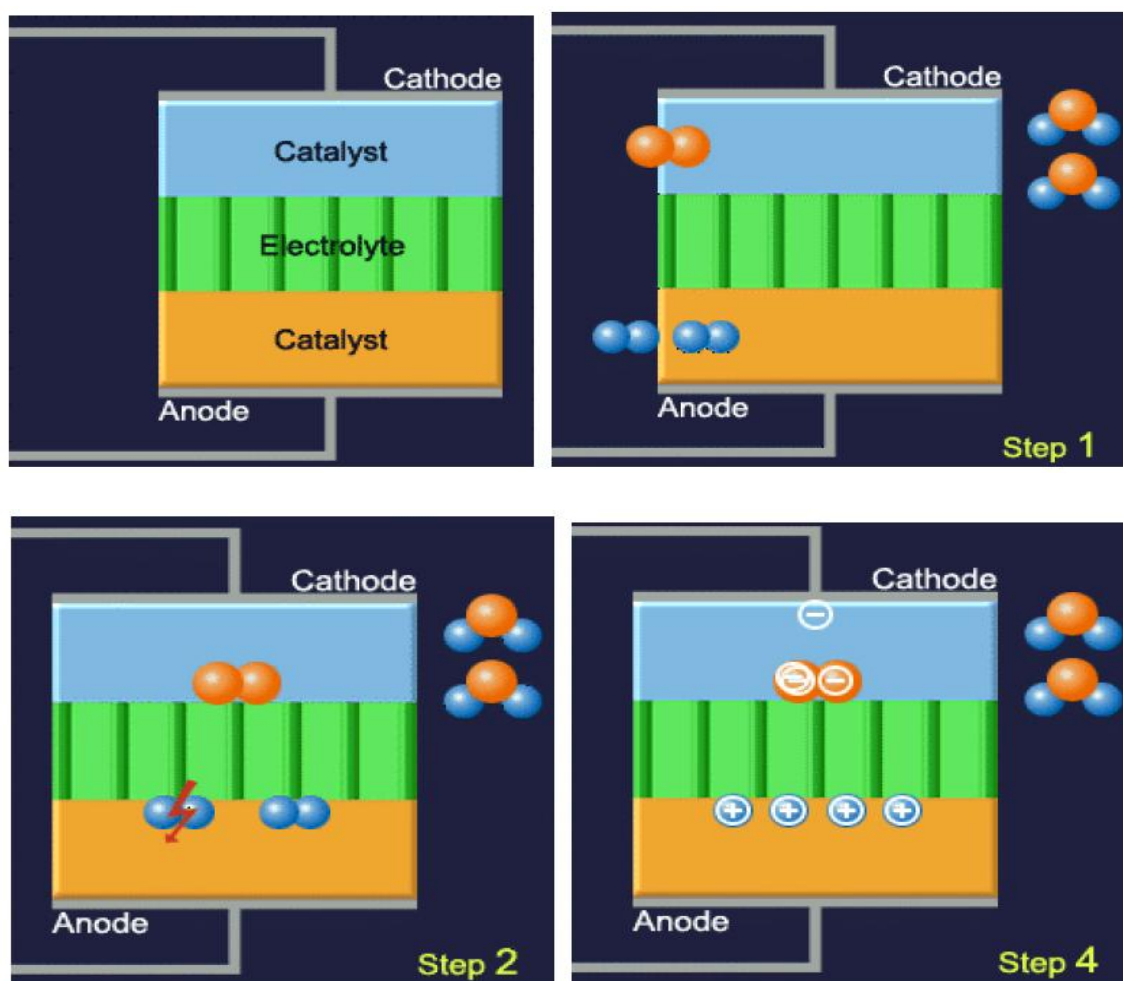
Ο γενικότερος ηλεκτροχημικός μηχανισμός των αντιδράσεων σε κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια είναι αρκετά περίπλοκος και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Στην περιοχή της ανόδου, το αέριο υδρογόνο (H_2) διαχέεται διαμέσου του ηλεκτροδίου ακολουθώντας τυχαίες διαδρομές στο εσωτερικό του πορώδους υλικού που αποτελεί το υλικό της ανόδου. Αυτή η πορεία του αερίου συνεχίζεται έως ότου τα μόρια του υδρογόνου να δεσμευθούν από τα ίχνη του καταλύτη (πλατίνα) που βρίσκονται διάσπαρτα στο εσωτερικό της ανόδου. Εκεί λοιπόν πραγματοποιείται η διάσπαση των μορίων του υδρογόνου σε θετικά ιόντα τα οποία και προσκολλώνται στον καταλύτη απελευθερώνοντας από ένα ηλεκτρόνιο. Στο σημείο αυτό γίνεται και ο διαχωρισμός των δύο υποατομικών αυτών στοιχείων. Το ηλεκτρόνιο διατρέχει το ηλεκτρικό κύκλωμα θέτοντάς το σε λειτουργία, ενώ το θετικό ιόν απορροφάται από την μεμβράνη και περνά στην περιοχή της καθόδου.

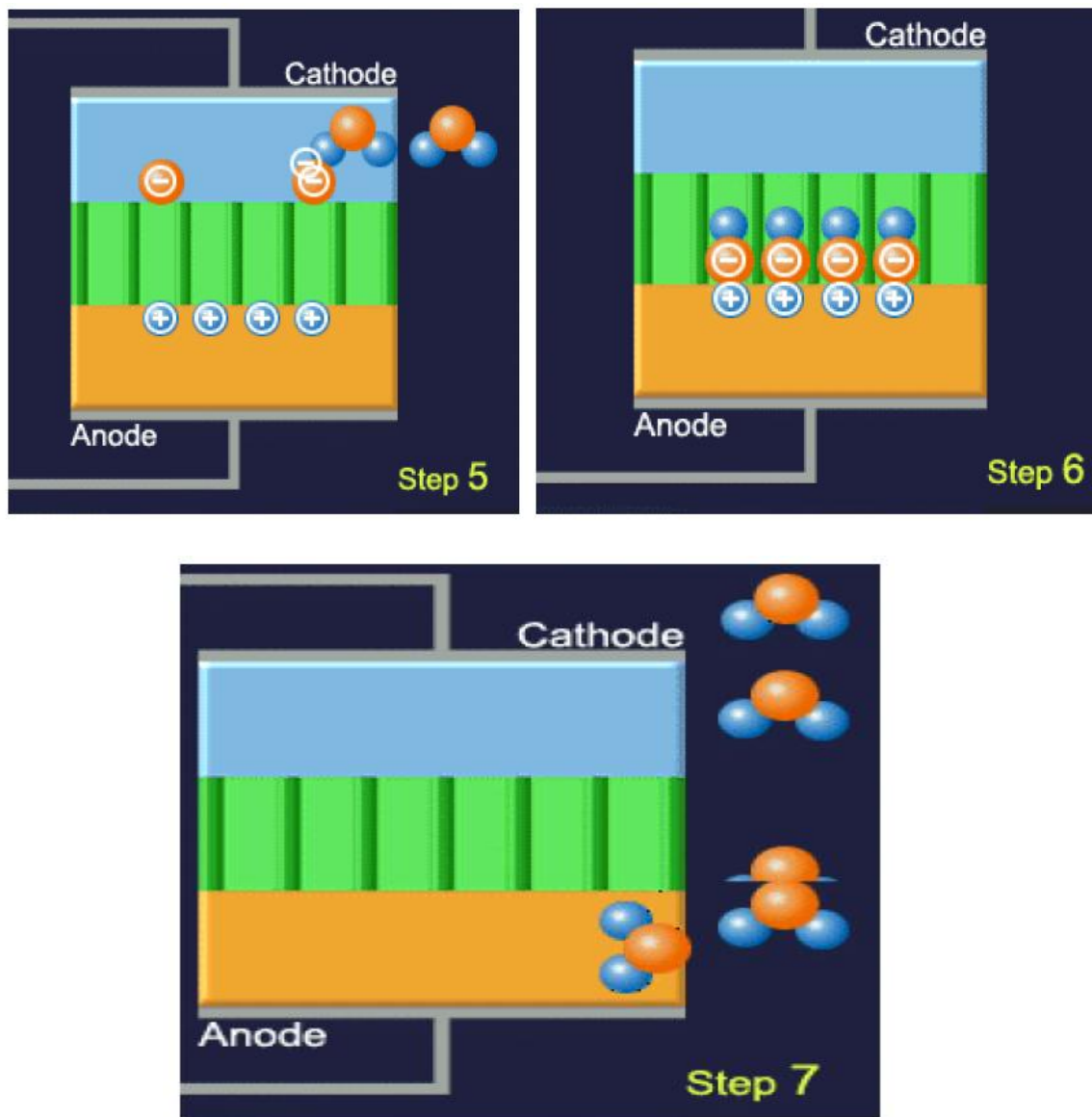
Στην περιοχή τώρα της καθόδου πραγματοποιείται μια αρκετά πολύπλοκη και σε μεγάλο βαθμό “ανεξερεύνητη” αντίδραση κατά την οποία το οξυγόνο του εισερχόμενου στην κάθοδο αέρα ενώνεται με τα θετικά ιόντα υδρογόνου και στη συνέχεια απορροφά ελεύθερα ηλεκτρόνια από το ηλεκτρικό κύκλωμα δημιουργώντας τελικά μόρια καθαρού νερού. Η διαδικασία αυτή είναι για πολλούς η αχίλλειος πτέρνα του όλου συστήματος αφού παρουσιάζει ορισμένα αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα.

Πρώτο και βασικότερο μειονέκτημα είναι η ταχύτητα της αντίδρασης σχηματισμού νερού. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται 100 φορές πιο αργά από την αντίδραση που πραγματοποιείται στην άνοδο. Το αποτέλεσμα αυτής της διαφοράς ταχυτήτων είναι η δραματική μείωση του ολικού βαθμού

απόδοσης της διάταξης. Επιπλέον, σύμφωνα με πειραματικά εργαστηριακά δεδομένα, ο μοναδικός καταλύτης που μπορεί να επιτύχει μια αποδεκτή ταχύτητα πραγματοποίησης των σχετικών αντιδράσεων στα ηλεκτρόδια των κυψελών PEM είναι η πλατίνα. Κάθε προσπάθεια αλλαγής του καταλύτη οδήγησε είτε στην ελαχιστοποίηση της ταχύτητας των αντιδράσεων, μηδενίζοντας ουσιαστικά το βαθμό απόδοσης, είτε οδήγησε σε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας με αποτέλεσμα την καταστροφή της μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων.

Το σύνολο λοιπόν της ερευνητικής προσπάθειας σήμερα έχει επικεντρωθεί στην εύρεση οικονομικότερου και αποδοτικότερου καταλύτη, καθώς και στην επιτάχυνση των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται στην κάθοδο της κυψέλης PEM. Είναι όμως γεγονός πως η έως τώρα έρευνα δεν είχε σπουδαία αποτελέσματα και η πλατίνα εξακολουθεί να αποτελεί τον καλύτερο καταλύτη για τη λειτουργία των PEM. Αξίζει ωστόσο να παρουσιαστούν συνοπτικά οι διάφορες παράμετροι και ιδιαιτερότητες που καθιστούν τον συγκεκριμένο καταλύτη τόσο “μοναδικό”.





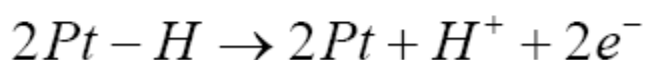
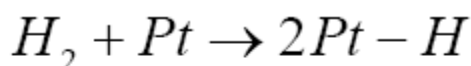
Εικόνα 26: Διαδοχικές φάσεις λειτουργίας των κυψελών υδρογόνου

5.1.2

Καταλύτης από Πλατίνα

Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις της κυψέλης υδρογόνου μπορούν πρακτικά να πραγματοποιηθούν μόνο στην επιφάνεια του πλατινένιου καταλύτη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μοναδικότητα που παρουσιάζουν οι χημικές ιδιότητες τη πλατίνας, η οποία μπορεί να αντιδράσει πολύ ικανοποιητικά με άτομα H και O και να προκαλέσει την ένωση τους, ενώ

την ίδια στιγμή απελευθερώνει επιλεκτικά ορισμένα στοιχεία έτσι ώστε να δημιουργηθούν τελικά τα αναμενόμενα προϊόντα. Για παράδειγμα, στην περιοχή της ανόδου η παρουσία πλατίνας απαιτείται για την αποσύνδεση των ατόμων Η από το μόριο και την επιτάχυνση της διαδικασίας δημιουργίας ιόντων και ελεύθερων ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια ωστόσο η παρουσία καταλύτη από πλατίνα επιτρέπει την απελευθέρωση των δεσμευμένων ατόμων υδρογόνου υπό τη μορφή θετικών ιόντων τα οποία τελικά και θα διέλθουν από τη μεμβράνη.



Ο δεσμός δηλαδή που αναπτύσσεται ανάμεσα στον καταλύτη και τα μόρια του υδρογόνου είναι αρκετά δυνατός ώστε να επιτευχθεί η διάσπαση του μορίου, αλλά και τόσο ασθενής ώστε να είναι σε θέση να απελευθερώσει στη συνέχεια τα ιόντα υδρογόνου. Αυτή η ιδανική λειτουργική ισορροπία καθιστά την πλατίνα τον τέλειο καταλύτη για αυτή την ηλεκτροχημική διεργασία.

Ωστόσο η τιμή της πλατίνας είναι ιδιαίτερα αυξημένη οπότε πολλοί ερευνητές καταβάλλουν σημαντικές προσπάθειες να μειώσουν όσο γίνεται την ποσότητα πλατίνας στις κυψέλες υδρογόνου. Το σκεπτικό λοιπόν είναι να αυξηθεί όσο περισσότερο γίνεται η καταλυτική επιφάνεια της πλατίνας, για δεδομένη μάζα καταλύτη. Το αποτέλεσμα των εργασιών πάνω σε αυτό το πρόβλημα έχει οδηγήσει στην κατασκευή γραφιτούχων ηλεκτροδίων τα οποία έχουν πορώδη δομή και είναι εμπλουτισμένα με ίχνη καταλύτη στο εσωτερικό τους. Το μέσο μέγεθος των ιχνών πλατίνας στα ηλεκτρόδια είναι περίπου 2nm και δεδομένης της πορώδους δομής των ηλεκτροδίων, η ενεργή επιφάνεια του καταλύτη είναι τεράστια. Την ίδια στιγμή η μάζα του καταλυτικού στοιχείου είναι πάρα πολύ μικρή, ενώ δεν επηρεάζεται καθόλου και η καλή λειτουργία των ηλεκτροδίων.

Σημαντικό ρόλο στη διατήρηση των καλών χαρακτηριστικών λειτουργίας των ηλεκτροδίων παίζει το γεγονός ότι τόσο το ίδιο το ηλεκτρόδιο όσο και ο καταλύτης είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και δεν αυξάνουν τις τιμές ηλεκτρικής αντίστασης στο κύκλωμα. Επίσης η πορώδης μορφή του ηλεκτροδίου επιτρέπει τη διέλευση των αερίων στο εσωτερικό του αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την τελική ενεργή επιφάνεια κατάλυσης.

Ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη λειτουργία των κυψελών PEM με καταλύτη από πλατίνα είναι η ευαισθησία του καταλύτη στις μολύνσεις. Η καταλυτική δράση δηλαδή της πλατίνας μειώνεται δραματικά από την ύπαρξη διαφόρων προσμίξεων και άλλων ουσιών στο καύσιμο υδρογόνο. Όταν λοιπόν το καύσιμο δεν είναι απολύτως καθαρό (καθαρότητα της τάξης του 99%), οι διάφορες προσμίξεις επικάθονται στην επιφάνεια του καταλύτη και εμποδίζουν τη δημιουργία δεσμών με τα άτομα του υδρογόνου. Εντατικές έρευνες γίνονται για την ανακάλυψη ή ανάπτυξη νέων καταλυτικών ουσιών με παρεμφερή καταλυτική δράση οι οποίες ωστόσο δεν θα επηρεάζονται από τη διαχείριση μη καθαρού καυσίμου υδρογόνου.

5.1.3

Έλεγχος της υγρασίας στην κυψέλη PEM

Σύμφωνα με τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που περιγράφουν τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της κυψέλης, το τελικό προϊόν της διαδικασίας παραγωγής ενέργειας είναι το νερό. Οι παραγόμενες ποσότητες νερού παρασύρονται από το ρεύμα αέρα που εισέρχεται στην κυψέλη με σκοπό να οξειδώσει το καύσιμο υδρογόνο. Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι η κυψέλη έχει ανάγκη ορισμένες ποσότητες νερού υπό μορφή υγρασίας για να διατηρεί την αποδοτικότητά της. Μάλιστα η ποσότητα της υγρασίας που πρέπει να υπάρχει στο εσωτερικό της κυψέλης πρέπει να είναι αυστηρά καθορισμένη και να μην υπερβαίνει ορισμένα όρια. Αξίζει δε να σημειωθεί πως απαιτείται εφύγρανση τόσο στο εισερχόμενο καύσιμο όσο και στον εισερχόμενο αέρα (οξειδωτικό). Η παρουσία αυτή της υγρασίας και από τις 2 πλευρές της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης διατηρεί ολόκληρη τη μεμβράνη ελαφρώς ενυδατωμένη έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι απαραίτητες χημικές και φυσικές τις ιδιότητες. Στη περίπτωση ελάττωσης της υγρασίας στο εσωτερικό της κυψέλης, εμποδίζεται η πρωτονική αγωγιμότητα της μεμβράνης με αποτέλεσμα την αδυναμία των ιόντων υδρογόνου να τη διαπεράσουν. Το αποτέλεσμα αυτής της δυσλειτουργίας είναι η πτώση της απόδοσης της κυψέλης που εμφανίζεται ως πτώσης στη τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου.

Αντίθετα στην περίπτωση υπερβολικής υγρασίας στην κυψέλη, παρουσιάζεται το φαινόμενο της “υπερχείλισης” της κυψέλης. Το οξυγόνο δηλαδή του εισερχόμενου αέρα δεν είναι σε θέση να έρθει σε επαφή με τα

ίχνη του καταλύτη έτσι ώστε να προβεί στην οξειδωση του καυσίμου, αφού εμποδίζεται από την παρουσία του νερού. Το φαινόμενο της “υπερχείλισης” προκαλείται από τη μειωμένη ροή αέρα στην κάθοδο. Αν λοιπόν το σύστημα ελέγχου της υγρασίας της κυψέλης μειώσει την παροχή αέρα στην κάθοδο, τότε ο εισερχόμενος αέρας αδυνατεί να απομακρύνει ικανή ποσότητα υδρατμών και νερού από το εσωτερικό της κυψέλης.

Από τα παραπάνω φαίνεται πόσο σημαντική είναι η σωστή διαχείριση του νερού στα διαμερίσματα της κυψέλης αλλά και πάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης. Πάρα πολλοί ερευνητές καθώς και επιστημονικά εργαστήρια ασχολούνται με τη δημιουργία ολοκληρωμένων συστημάτων ελέγχου της υγρασίας, τα οποία θα μπορούν να διατηρούν τις κυψέλες σε άριστη λειτουργία ανεξαρτήτως της ηλεκτρικής ισχύος που παράγουν. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από διάφορους αισθητήρες και επενεργητές (actuators) οι οποίοι ελέγχονται από ισχυρά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Ο βαθμός επενέργειας και διόρθωσης των συστημάτων αυτών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καλή λειτουργία της κυψέλης, αφού θεωρητικά οι διακυμάνσεις της υγρασίας θα πρέπει να είναι ελάχιστες και η διάρκεια της μεταβολής ταχύτατη έτσι ώστε να “μηδενιστούν” ουσιαστικά τα διαστήματα όπου η κυψέλη θα λειτουργεί κάτω από μη ιδανικές συνθήκες.

5.1.4

Συναρμολόγηση της Κυψέλης PEM

Κατασκευαστικά στοιχεία

Όταν αναφερόμαστε στις κυψέλες PEM ως ολοκληρωμένα συστήματα, εννοούμε τις διατάξεις αυτές που περιέχουν την ηλεκτρολυτική μεμβράνη, την άνοδο, την κάθοδο (την καρδιά της όλης διάταξης) και τα λοιπά εξαρτήματα που συγκρατούν και στηρίζουν τα επιμέρους τμήματα της κυψέλης. Έτσι λοιπόν γενικά μια κυψέλη PEM περιλαμβάνει επίσης τα τεμάχια στήριξης της μεμβράνης καθώς και τα εξωτερικά κελύφη. Παρά το γεγονός πως αυτά τα τελευταία στοιχεία δεν φαίνεται να παίζουν ουσιαστικό ρόλο στη λειτουργία της κυψέλης, εν τούτοις η σωστή και προσεκτική μηχανουργική τους καταργασία και η ακριβής τους συναρμολόγηση είναι απολύτως απαραίτητες

προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της σωστής και αποδοτικής λειτουργίας της διάταξης.

Η εξέλιξη του πυρήνα της κυψέλης, του τμήματος δηλαδή μεμβράνης-ηλεκτροδίων πέρασε από αρκετά στάδια, κατά τα οποία αναπτύχθηκαν αρκετές “γενεές” μεμβρανών-ηλεκτροδίων. Οι αρχικές διατάξεις κατασκευάστηκαν κατά τη δεκαετία του '60 με σκοπό να τοποθετηθούν στις διαστημικές αποστολές του προγράμματος Gemini. Οι κυψέλες που κατασκευάστηκαν τότε περιείχαν 4mg πλατίνας (Pt) ανά τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειας της μεμβράνης. Η σημερινή τεχνολογία διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, αλλά γενικότερα κατασκευάζονται κυψέλες που περιέχουν περίπου 0.5mg Pt/cm^2 διατηρώντας αμείωτα τα λειτουργικά στοιχεία των κυψελών. Σε εργαστηριακό δε επίπεδο κατασκευάζονται διατάξεις μεμβράνης-ηλεκτροδίων οι οποίες χρησιμοποιούν ποσότητες καταλύτη της τάξης του 0.15mg Pt/cm^2 . Αν υπολογίσουμε λοιπόν έναν δείκτη απόδοσης της κυψέλης ο οποίος να συνδέει το παραγόμενο ρεύμα με τη χρησιμοποιούμενη μάζα καταλύτη παρατηρούμε ότι την εποχή που κατασκευάζονταν οι κυψέλες των Gemini η απόδοση ήταν περίπου 0.5 A/mg Pt (Ampere ανά χιλιοστό του γραμμαρίου χρησιμοποιούμενης πλατίνας). Σήμερα η τιμή του αντίστοιχου δείκτη απόδοσης έχει φτάσει την τιμή των 15 A/mg Pt ^[5]

Το σύστημα μεμβράνης-ηλεκτροδίων παρουσιάζει μεταβολές στο πάχος του ανάλογα με την εταιρεία κατασκευής και τη μέθοδο που χρησιμοποιεί. Γενικά πάντως το πάχος του καταλυτικού στρώματος εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα πλατίνας που χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή. Για επιφάνειες ηλεκτροδίων με περιεκτικότητα καταλύτη της τάξης του 0.15 mg Pt/cm^2 το πάχος της επιφάνειας είναι περίπου $10\mu\text{m}$. Το συνολικό πάχος της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης μαζί με το στρώμα της ανόδου και της καθόδου είναι περίπου $200\mu\text{m}$ (ή 0.2mm) και είναι πραγματικά αξιοθαύμαστο το ότι είναι σε θέση να παράγει περισσότερο από 0.5 A/cm^2 , με μία διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου και καθόδου περίπου 0.7Volt ^[5]. Ωστόσο αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο όταν τα διάφορα στοιχεία του κελύφους, τα στεγανωτικά, οι ακροδέκτες και τα βοηθητικά εξαρτήματα είναι προσεκτικά σχεδιασμένα, έχουν υποστεί μηχανουργικές κατεργασίες μεγάλης ακρίβειας και είναι τέλεια συναρμολογημένα.

Η διαδικασία της κατασκευής του ενιαίου σώματος μεμβράνης-ηλεκτροδίων δεν είναι μια και μοναδική αφού κάθε εταιρεία κατασκευής κυψελών έχει επινοήσει διάφορες μεθόδους κατασκευής που διαφέρουν μεταξύ τους. Ωστόσο οι βασικές αρχές είναι σχετικά όμοιες σε όλες τις μεθόδους και ακολουθούν τα πρότυπα που έθεσαν τα πειράματα των επιστημόνων στα εργαστήρια του Los Alamos National Laboratory, το οποίο θεωρείται πρωτοπόρο στην εξέλιξη των κυψελών καυσίμου. Είναι συνεπώς δυνατή η γενική περιγραφή της κατασκευής της “καρδιάς” της κυψέλης. Αρχικά λοιπόν λαμβάνονται αυστηρά καθορισμένες ποσότητες καταλύτη και ηλεκτρολύτη. Η πλατίνα δηλαδή λαμβάνεται με τη μορφή λεπτοδιαμερισμένων κόκκων σκόνης και προστίθενται σε ένα αλκοολούχο διάλυμα του πολυμερούς από το οποίο προέρχεται η ηλεκτρολυτική μεμβράνη. Ακολουθεί επισταμένη ανάδευση και ανάμιξη των συστατικών έτσι ώστε να επιτευχθεί τέλεια ομογενοποίηση του μίγματος το οποίο πλέον έχει τη μορφή υγρής βαφής. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της προετοιμασίας του μίγματος ακολουθεί η πλήρης και ομοιόμορφη επικάλυψη της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης με αυτό το υλικό.

Ο τρόπος που πραγματοποιείται η επικάλυψη της μεμβράνης, καθώς και οι μέθοδοι που διασφαλίζουν την ποιότητα της “βαφής” διαφέρουν από εταιρεία σε εταιρεία και αποτελούν βιομηχανικά μυστικά. Πάντως η πιο απλή μέθοδος κατασκευής του σώματος μεμβράνης-ηλεκτρολύτη επιτυγχάνεται με την επικάλυψη της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης με το μίγμα του καταλύτη και εν συνεχεία τη θέρμανση της έως ότου να στεγνώσει η “καταλυτική βαφή” και να στερεοποιηθεί ο καταλύτης στην επιφάνεια της μεμβράνης. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για την άλλη πλευρά της μεμβράνης, οπότε τελικά επιτυγχάνεται η κατασκευή ενός συμπαγούς σώματος ηλεκτροδίων και μεμβράνης.

Το σώμα αυτό που έχει πλέον δημιουργηθεί βυθίζεται σε ελαφρά αναβράζον διάλυμα οξέος έτσι ώστε να ενυδατωθεί αλλά και να εξασφαλιστεί η πρωτονικά αγώγιμη συμπεριφορά της μεμβράνης. Το τελικό στάδιο της κατασκευής περιλαμβάνει τον εμποτισμό της μεμβράνης με νερό, που επιτυγχάνεται με τη βύθιση της μεμβράνης σε απιονισμένο νερό για ένα αρκετά μεγάλο διάστημα (περίπου 1 μέρα). Η μεμβράνη είναι πλέον έτοιμη να τοποθετηθεί ανάμεσα στα υπόλοιπα στρώματα που απαρτίζουν την κυψέλη και να σφραγιστεί ερμητικά από τα εξωτερικά κελύφη.

Οι διαδικασίες κατασκευής των ηλεκτρολυτικών μεμβρανών με καταλυτικά επιχρίσματα αναθεωρούνται και βελτιώνονται συνεχώς. Όσο καλύτερα κατανοείται ο μηχανισμός της κατάλυσης και των ηλεκτροχημικών διεργασιών τόσο πιο εύκολο είναι να κατασκευαστούν πιο αποδοτικές και ταυτόχρονα οικονομικές μεμβράνες, αντίστοιχα δε, κάθε νέα μεμβράνη δίνει πολύτιμα στοιχεία στους ερευνητές για τις χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της. Υπάρχει λοιπόν μια αμφίδρομη σχέση εξέλιξης μεταξύ της θεωρητικής ηλεκτροχημικής προσέγγισης και των κατασκευαστικών μεθόδων η οποία οδηγεί στην περαιτέρω βελτιστοποίηση όλων των συνεργαζόμενων συστημάτων.

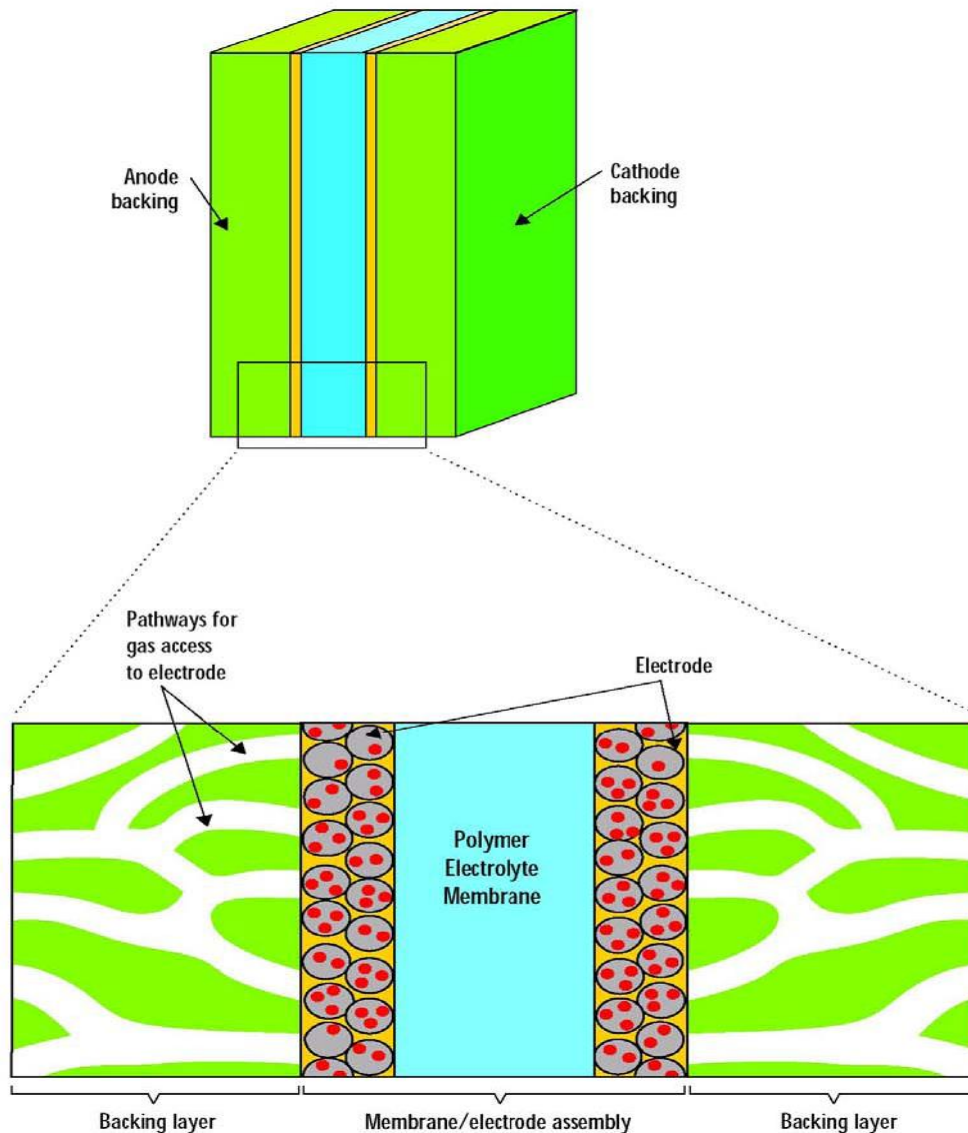
5.1.5

Υποστηρικτικά στρώματα

Η κατασκευή της κυψέλης ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση των υποστηρικτικών στρωμάτων της μεμβράνης. Πρόκειται ουσιαστικά για πορώδη γραφιτούχα φύλλα πάχους 100 – 300 μm τα οποία καλύπτουν τις δυο πλευρές της μεμβράνης. Τα φύλλα αυτά επιτελούν σημαντικές λειτουργίες, αφού προστατεύουν τα ευαίσθητα επιχρίσματα των καταλυτών, επιτρέπουν τη διέλευση των αερίων και του νερού από την πορώδη μάζα τους ενώ λόγω της καλής ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας λειτουργούν και ως βάσεις για τους ακροδέκτες.

Η πορώδης υφή αυτών των γραφιτούχων στρωμάτων εγγυάται την καλή διάχυση των αερίων που εισέρχονται στην κυψέλη από ένα συγκεκριμένο σημείο. Έτσι επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση ολόκληρης της επιφάνειας της μεμβράνης για παραγωγή ενέργειας και αποτρέπεται η εμφάνιση περιοχών με διαφορετικές συγκεντρώσεις αερίων στις επιφάνειες της μεμβράνης.

Membrane/electrode assembly with backing layers.



Enlarged cross-section of a membrane/electrode assembly showing structural details.

Εικόνα 27: Τα υποστηρικτικά στρώματα

Επιπλέον τα υποστηρικτικά στρώματα λειτουργούν συνεπικουρικά και στον τομέα της διαχείρισης της υγρασίας στις δυο πλευρές της μεμβράνης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της κυψέλης. Τα στρώματα λοιπόν αυτά έχουν τέτοια δομή ώστε να επιτρέπουν σε συγκεκριμένες ποσότητες υγρασίας να έρθουν σε επαφή με την επιφάνεια της μεμβράνης και να την ενυδατώσουν. Το νερό που παράγεται στην κάθοδο της κυψέλης απορροφάται άμεσα από τα υδρόφιλα γραφιτούχα στρώματα και αποβάλλεται έγκαιρα από τη μεμβράνη έτσι ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος “υπερχείλισης”. Τα υποστηρικτικά

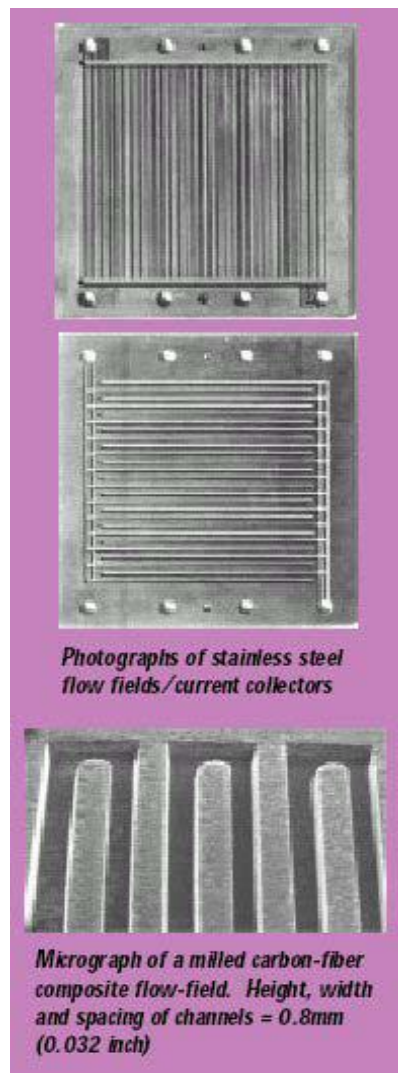
ωστόσο στρώματα υπόκεινται και σε μια μερική στεγανοποιητική διεργασία με Teflon η οποία εξασφαλίζει τη μονόδρομη ροή του νερού από το εσωτερικό προς το εξωτερικό των στρωμάτων και αποτρέπει τη φραγή των πόρων τους από μόρια νερού.

5.1.6

Επιφάνειες ροής

Εξωτερικά των υποστηρικτικών στρωμάτων τοποθετούνται δυο ακόμα επιφάνειες οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία και την απόδοση της κυψέλης. Πρόκειται για τις επιφάνειες ροής, η παρουσία των οποίων εξυπηρετεί ποικίλους σκοπούς. Γενικότερα οι επιφάνειες αυτές είναι κατασκευασμένες από κάποιο ελαφρύ και ισχυρό υλικό το οποίο δεν διαπερνάται από τα αέρια της κυψέλης αλλά είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Συνηθέστερα υλικά είναι ο γραφίτης, ορισμένα μέταλλα και πιο πρόσφατα, τα σύνθετα υλικά. Η λειτουργία αυτών των επιφανειών είναι η ομοιόμορφη διάχυση των εισερχόμενων αερίων σε όλη την ενεργή επιφάνεια της κυψέλης, καθώς επίσης και η συλλογή των παραγόμενων ηλεκτρονίων και η συγκέντρωση τους σε ένα ορισμένο σημείο που θα λειτουργήσει ως ηλεκτρικός πόλος για τη σύνδεση της κυψέλης σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Σχετικά με τη λειτουργία της διάχυσης των αερίων, οι επιφάνειες ροής είναι εφοδιασμένες με ορισμένα κανάλια τα οποία έχουν διαμόρφωση τύπου μαιάνδρου έτσι ώστε να επιβραδύνουν τα εισερχόμενα αέρια και να τα εξαναγκάζουν σε μια πορεία μεγάλου μήκους. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η απορρόφηση ικανών ποσοτήτων αερίων από τη μεμβράνη για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων χημικών διεργασιών.



Εικόνα 28: Οι επιφάνειες ροής

Τα κανάλια σχηματίζονται στις επιφάνειες ροής με τη βοήθεια διαφόρων μηχανουργικών κατεργασιών, ωστόσο γενικά προτιμάται η μέθοδος της υδροκοπής η οποία δεν αλλοιώνει τη σύσταση του υλικού στην περιοχή της κοπής. Αξίζει δε να σημειωθεί πως το μέγεθος, το πλήθος, το σχήμα αλλά και η ποιότητα των καναλιών αυτών παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία και την τελική απόδοση της κυψέλης.

Όσον αφορά τη δεύτερη λειτουργία που επιτελούν οι επιφάνειες ροής, αυτή δεν είναι άλλη από τη συλλογή των στοιχειωδών ηλεκτρικού φορτίων που παράγονται σε όλη την επιφάνεια της κυψέλης. Οι επιφάνειες λοιπόν αυτές εξαιτίας του γεγονότος πως είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, λειτουργούν ως συλλέκτες και μέσω της ειδικής τους διαμόρφωσης δίνουν τη δυνατότητα της εύκολης σύνδεσης της κυψέλης με οποιοδήποτε κοινό ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι επιφάνειες ροής αποτελούν και τα τελευταία από τα ζωτικά συστατικά των κυψελών υδρογόνου. Μετά την τοποθέτηση των επιφανειών αυτών, απομένει η δημιουργία ενός κελύφους ή ενός πλαισίου στήριξης το οποίο θα φιλοξενήσει την κυψέλη καυσίμου. Οι τελικές διαστάσεις της όλης διάταξης είναι αρκετά περιορισμένες και οπτικά μοιάζει με ένα κομμάτι σύνθετο ξύλο μαύρου χρώματος.

5.1.7

Απόδοση, Ισχύς και Αποδιδόμενη Ενέργεια των κυψελών PEM

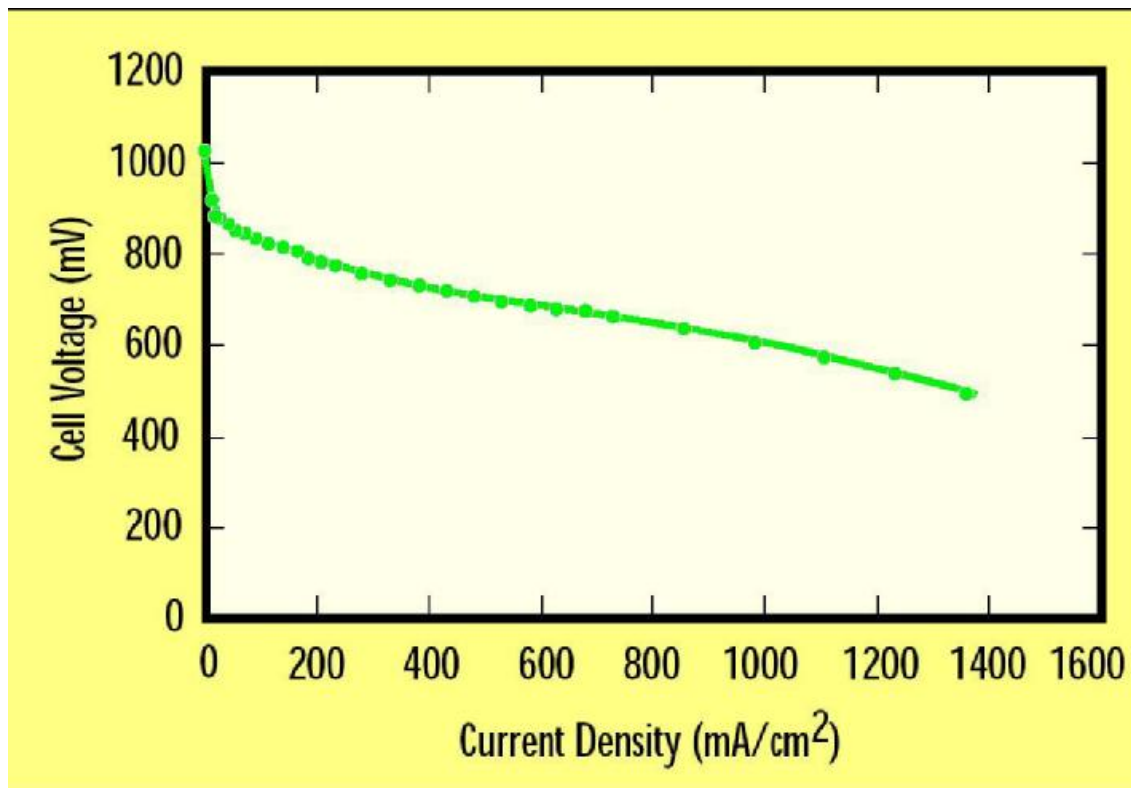
Στις παρακάτω παραγράφους ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή των βασικών ηλεκτρικών και ενεργειακών μεγεθών που χαρακτηρίζουν τις κυψέλες PEM, όπως είναι ο βαθμός απόδοσης, η διαφορά δυναμικού των πόλων της κυψέλης, η ενέργειά της κ.λ.π. Η σχέση που περιγράφει γενικότερα την ισορροπία ενέργειας στις κυψέλες είναι:

Χημική Ενέργεια Καυσίμου = Ηλεκτρική Ενέργεια + Θερμική Ενέργεια

Θεωρητικά, η ιδανική κυψέλη PEM η οποία χρησιμοποιεί ως καύσιμο καθαρό H₂ το οποίο οξειδώνει με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, μπορεί να εμφανίσει τάση στους πόλους της ίση με 1.16 Volt (η μέτρηση γίνεται χωρίς την ύπαρξη συνδεδεμένου κυκλώματος λειτουργίας «ανοιχτό κύκλωμα»). Η κανονική θερμοκρασία λειτουργίας στην οποία εμφανίζεται η παραπάνω τιμή τάσης είναι 80 °C και η πίεση εισόδου των αερίων, 1atm. Μια συνηθισμένη μέτρηση που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης των κυψελών καυσίμου είναι και ο Πραγματικός Βαθμός Απόδοσης. Ο λόγος δηλαδή της τιμής της τάσης που παράγει μια κυψέλη καυσίμου προς τη θεωρητική τιμή της τάσης (1.16 Volt). Έτσι λοιπόν, μια κυψέλη η οποία αποδίδει 0.7Volt παρουσιάζει Πραγματικό Βαθμό Απόδοσης περίπου 0,6 ή (60%). Σήμερα, και σε επίπεδο εργαστηρίου ή περιορισμένης παραγωγής πρωτοτύπων, έχει επιτευχθεί η παραγωγή κυψελών με Πραγματικό Βαθμό Απόδοσης λίγο πάνω από 77% και παραγόμενη τάση της τάξης του 0.9Volt. Το 77% δηλαδή της ενέργειας του καυσίμου γίνεται ωφέλιμη ηλεκτρική ενέργεια ενώ το 23% “χάνεται” με τη μορφή θερμότητας.

Κάθε κυψέλη συνοδεύεται από μια χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης η οποία τη χαρακτηρίζει. Η καμπύλη αυτή κατασκευάζεται σε καρτεσιανό σύστημα αξόνων όπου ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει την πυκνότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (mA/cm²) ενώ ο κάθετος άξονας φέρει τιμές τάσης (mV). Οι τιμές τάσης αφορούν τη διαφορά δυναμικού στους πόλους της κυψέλης, ενώ οι τιμές πυκνότητας ρεύματος αφορούν το παραγόμενο ρεύμα ανά τετραγωνικό εκατοστό μεμβράνης. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με συνδεδεμένο τυποποιημένο

ηλεκτρικό κύκλωμα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη μιας κυψέλης υδρογόνου/αέρα.



Η παραγόμενη ισχύς των κυψελών καυσίμου μετράται σε Watt και άλλοτε εκφράζει το γινόμενο του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος επί τη διαφορά δυναμικού στους πόλους της κυψέλης ($P=I \cdot V$), και άλλοτε το ρυθμό παραγωγής ενέργειας ($P=E / t$). Ωστόσο για την περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούνται και ορισμένες καθιερωμένες μονάδες ενέργειας όπως είναι η οι κιλοβατώρες ($E=P \cdot t$) οι οποίες εκφράζουν την παραγόμενη ισχύ η οποία είναι διαθέσιμη ανά ώρα. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένα φυσικά μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν τις κυψέλες υδρογόνου όπως είναι το βάρος και ο όγκος τους. Για την περιγραφή λοιπόν και αυτών των μεγεθών ορίζονται ορισμένοι επιπλέον δείκτες όπως ο “δείκτης ειδικής ισχύος” και ο “δείκτης πυκνότητας ισχύος”. Ως “δείκτης ειδικής ισχύος” ορίζεται ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς τη μάζα της κυψέλης, ενώ ο “δείκτης πυκνότητας ισχύος” είναι ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς τον όγκο της κυψέλης. Οι παραπάνω δείκτες που συνδέουν τα χαρακτηριστικά απόδοσης των κυψελών με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικοί για ορισμένες ειδικές

εφαρμογές όπως η χρήση των κυψελών σε οχήματα ή αεροσκάφη, όπου τόσο το βάρος όσο και ο όγκος παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο.

Υπολογισμός της τάσης της Ιδανικής Κυψέλης PEM (υδρογόνου / αέρα)
Η διαδικασία του υπολογισμού και της πρόβλεψης της μέγιστης δυνατής τάσης μεταξύ των πόλων μιας κυψέλης υδρογόνου απαιτεί την κατανόηση και τον υπολογισμό των ενεργειακών μετατροπών σε κάθε στάδιο της ηλεκτροχημικής διαδικασίας. Σε κάθε χημική μετατροπή που λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό της κυψέλης εμφανίζονται ενεργειακές διακυμάνσεις οι οποίες είναι δυνατόν να αναλυθούν και να υπολογιστούν μόνο με τη βοήθεια ορισμένων ειδικών εξισώσεων που συνδέουν τους θερμοδυναμικούς θεμελιώδεις νόμους, με τους νόμους που διέπουν τις χημικές διεργασίες. Οι βασικότερες σχέσεις είναι οι εξισώσεις του Gibbs που αφορούν την ελεύθερη ενέργεια.

Η μέγιστη λοιπόν ηλεκτρική τάση (ΔE) για τη διεργασία μεταξύ υδρογόνου / αέρα ($H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$) για δεδομένη πίεση και θερμοκρασία, υπολογίζεται από τη σχέση¹:

$$\Delta E = \frac{-\Delta G}{n \cdot F} \quad (1)$$

όπου:

- ΔG είναι η διαφορά ελεύθερη ενέργειας κατά Gibbs
- n είναι ο αριθμός των mol των ηλεκτρονίων που συμμετέχουν στην αντίδραση ανά mol H_2
- F είναι η σταθερά του Faraday με τιμή 96,487 Coulomb (Joule/Volt) και χαρακτηρίζει την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρεται ανά mol ηλεκτρονίων.

Υπό σταθερή λοιπόν πίεση μιας ατμόσφαιρας (1 atm), η μεταφορά ενέργειας κατά Gibbs καθ' όλη τη λειτουργία της κυψέλης (ανά mol H_2) υπολογίζεται μέσω της θερμοδυναμικής, από τη θερμότητα της αντίδρασης (T), καθώς και τις αλλαγές στην ενθαλπία (ΔH) και την εντροπία (ΔS) του συστήματος. Είναι δηλαδή:

$$\begin{aligned}
\Delta G &= \Delta H - T \cdot \Delta S \\
&= -285,800 \text{ J/mol} - (298 \text{ K})(-163,2 \text{ J/K}) \\
&= -237,200 \text{ J/mol}
\end{aligned}$$

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής τάσης στους πόλους της ιδανικής κυψέλης υδρογόνου / αέρα, χρησιμοποιούμε τη σχέση (1) για πίεση ίση με 1 ατμόσφαιρα και θερμοκρασία ίση με 25 °C (ή 298 K).

$$\begin{aligned}
\Delta E &= -\frac{\Delta G}{n \cdot F} \\
&= -\frac{-237,200 \text{ J}}{2 \cdot 96,487 \text{ J/V}} = 1,23 \text{ V}
\end{aligned}$$

Η διαφορά δυναμικού δηλαδή μεταξύ των πόλων της ιδανικής κυψέλης δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 1.23V. Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι θεωρητικά σωστό, ωστόσο απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Ένας λόγος γι' αυτό είναι η διαφορά θερμοκρασίας που παρουσιάζεται μεταξύ της θεωρητικής ιδανικής κυψέλης και της πραγματικής κυψέλης PEM. Ενώ λοιπόν στους παραπάνω υπολογισμούς έχει θεωρηθεί η θερμοκρασία λειτουργίας ίση με τη θερμοκρασία δωματίου, στην πραγματικότητα οι κυψέλες PEM λειτουργούν σε σταθερή θερμοκρασία περίπου 80 °C (ή 353 K). Παρατηρώντας λοιπόν τη μεταβολή των διαφόρων θερμοδυναμικών μεταβλητών διαπιστώνεται πως τόσο η ενθαλπία όσο και η εντροπία παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες από αυτή την αύξηση της θερμοκρασίας. Ωστόσο η θερμοκρασία μεταβάλλεται σημαντικά, κατά 55 βαθμούς. Επαναλαμβάνοντας τους παραπάνω υπολογισμούς, θεωρούμε με αρκετά καλή προσέγγιση τις τιμές της ενθαλπίας και της εντροπίας σταθερές και έχουμε:

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T \cdot \Delta S \\ &= -285,800 \text{ J/mol} - (353 \text{ K})(-163,2 \text{ J/K}) \\ &= -228,200 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Συνεπώς η μέγιστη δυνατή διαφορά δυναμικού γίνεται πλέον:

$$\begin{aligned}\Delta E &= -\frac{\Delta G}{n \cdot F} \\ &= -\frac{-228,200 \text{ J}}{2 \cdot 96,487 \text{ J/V}} = 1,18 \text{ V}\end{aligned}$$

Έτσι λοιπόν από την τιμή των 1,23V για θερμοκρασία λειτουργίας ίση με 25 °C μειώθηκε στα 1,18V για θερμοκρασία λειτουργίας ίση με 80 °C παρουσιάζοντας μια μείωση της τάξης του 4%. Εάν βέβαια επιχειρηθεί ο ρεαλιστικότερος υπολογισμός της τάσης της κυψέλης και συνυπολογιστεί το γεγονός πως ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν αντιδρά χημικά όπως αντιδρά το καθαρό οξυγόνο, καθώς επίσης και η ανάγκη ύγρανσης τόσο του αέρα όσο και του υδρογόνου, θα παρατηρηθεί μια περαιτέρω μείωση της μέγιστης τάσης που αναπτύσσει η κυψέλη. Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στη ρεαλιστική τιμή μέγιστης τάσης για πραγματική κυψέλη που είναι: 1.16Volt για πίεση λειτουργίας ίση με 1atm, θερμοκρασία λειτουργίας ίση με 80 °C, οξείδωση του καυσίμου παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα, και παρουσία υγρασίας στα εισερχόμενα στην κυψέλη αέρια.

5.1.8

Μέτρηση των θερμικών απωλειών σε κυψέλη PEM (εν λειτουργία)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι μοναδικές απώλειες που παρουσιάζουν οι κυψέλες υδρογόνου είναι οι θερμικές απώλειες κατά την (εξώθερμη) οξείδωση του υδρογόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο

υπολογισμός αυτών των απωλειών είναι ιδιαίτερα σημαντικός τόσο για την κατασκευή των κυψελών όσο και για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων στις οποίες συμμετέχουν. Θεωρούμε λοιπόν ότι υπάρχει κυψέλη PEM η οποία καταναλώνει καθαρό υδρογόνο, έχει επιφάνεια μεμβράνης 100cm^2 και λειτουργεί με σταθερή πίεση ίση με 1atm και θερμοκρασία 80°C . Η τάση στα άκρα της κυψέλης είναι $0,7\text{V}$ και η πυκνότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι $0,6\text{ A/cm}^2$. Η πλεονάζουσα θερμότητα η οποία διαφεύγει από την κυψέλη με τη μορφή θερμικών απωλειών υπολογίζεται ως εξής:

Απώλειες Θερμότητας = Ολική Ενέργεια Συστήματος – Ωφέλιμη Ηλεκτρική Ενέργεια

$$\begin{aligned} P_{heat} &= P_{total} - P_{electrical} \\ &= (V_{ideal} \cdot I_{cell}) - (V_{cell} \cdot I_{cell}) = (V_{ideal} - V_{cell}) \cdot I_{cell} \\ &= (1,16\text{V} - 0,7\text{V}) \cdot 60\text{A} \\ &= 0,46\text{V} \cdot 60\text{Coulomb/sec} \cdot 60\text{sec/min} = 1650\text{Joule/min} \end{aligned}$$

Αυτή λοιπόν η κυψέλη παράγει περίπου 1.7 kJ θερμότητας ανά λεπτό τα οποία και αποβάλλει στο περιβάλλον υπό μορφή θερμικών απωλειών, ενώ την ίδια στιγμή παράγει περίπου 2.5kJ ηλεκτρικής ενέργειας ανά λεπτό. Η πρόκληση λοιπόν για τους ερευνητές είναι αφενός η μείωση των απωλειών θερμότητας και εφ'ετέρου η χρήση των τελικών ποσών θερμότητας που αποβάλλονται από την κυψέλη για ωφέλιμους σκοπούς. Για παράδειγμα ορισμένοι ερευνητές εξετάζουν την περίπτωση κατασκευής οικιακών κυψελών καυσίμων PEM οι οποίες θα διαθέτουν επιπλέον και κάποια μορφή εναλλάκτη θερμότητας που θα επιτρέπει την εκμετάλλευση του μεγαλύτερου μέρους των θερμικών απωλειών για τη θέρμανση νερού για οικιακή χρήση. Κάτι τέτοιο μπορεί να αυξήσει δραματικά το συνολικό βαθμό απόδοσης ολόκληρης της εγκατάστασης με προφανή οφέλη τόσο στην κατανάλωση καυσίμου όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος από ένα σημαντικό παράγοντα θερμικής ρύπανσης που δεν είναι άλλος από τις οικιακές καταναλώσεις.

5.1.9

Προσομοιώσεις - Μαθηματικά μοντέλα

Στα παραπάνω κεφάλαια περιγράφηκαν τα βασικότερα συστήματα κυψελών υδρογόνου και αναλύθηκε η λειτουργία τους. Ωστόσο οι κυψέλες υδρογόνου δεν είναι δυνατόν να λειτουργήσουν αυτόνομα σαν μονάδες παραγωγής ενέργειας. Για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου αυτόνομου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται διάφορες διατάξεις οι οποίες πρέπει να συνδυάζονται κατάλληλα μεταξύ τους έτσι ώστε να λειτουργούν με τη μέγιστη δυνατή απόδοση και το ελάχιστο δυνατό κόστος.

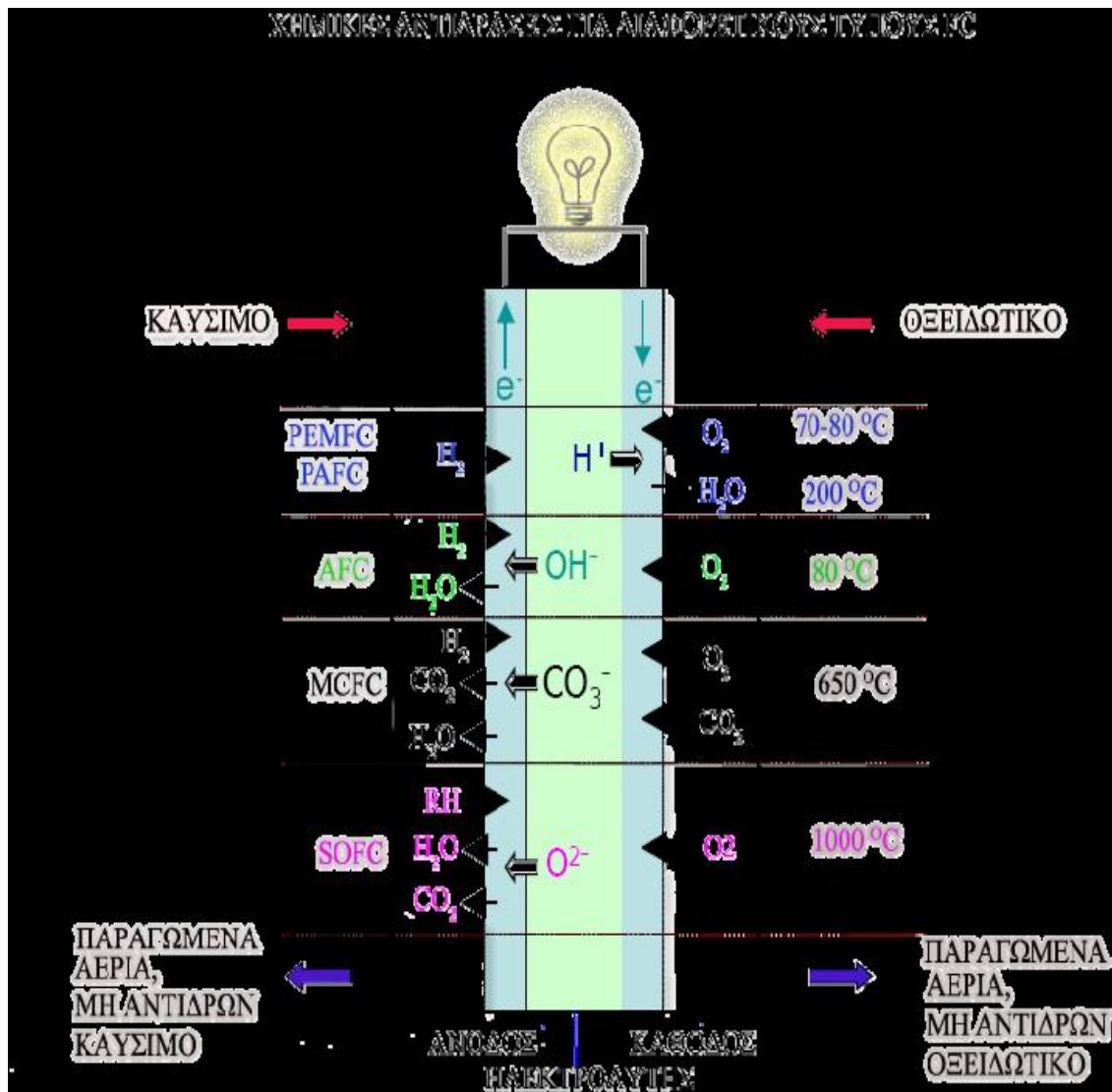
Η μελέτη ενός τέτοιου αυτόνομου συστήματος παραγωγής ενέργειας με τη βοήθεια ανανεώσιμων πηγών και κυψελών υδρογόνου είναι αρκετά σύνθετη διαδικασία. Επιπλέον υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που δυσκολεύουν ακόμα περισσότερο τη διαδικασία της μελέτης, όπως είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών της κατανάλωσης αλλά και ασταθείς καιρικές συνθήκες κάθε τόπου. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η κατασκευή μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης των συστημάτων παραγωγής ενέργειας, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο γρήγορος και ακριβής σχεδιασμός σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον τα μαθηματικά μοντέλα μπορούν να προσαρμοστούν αρκετά εύκολα στις ιδιαιτερότητες του κάθε τόπου, αφού λαμβάνουν μεγάλο πλήθος μετεωρολογικών και γεωγραφικών δεδομένων σύμφωνα με τα οποία προσαρμόζουν και τα συστήματα των προσομοιώσεων.

Λόγω λοιπόν της πολύ μεγάλης σημασίας των προγραμμάτων προσομοίωσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, τα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφουν τη λειτουργία των πιο διαδεδομένων προγραμμάτων προσομοίωσης (HYDROGEMS & TRNSED - TRNSYS). Πρόκειται για μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί από κοινού από διάφορα ευρωπαϊκά ινστιτούτα και πανεπιστήμια και καλύπτουν πλήρως όλες τις παραμέτρους που περιγράφουν ένα ολοκληρωμένο αυτόνομο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής με ΑΠΕ και Υδρογόνο. Επιπλέον, τα εν λόγω προγράμματα διατίθενται και σε ηλεκτρονική μορφή, οπότε παρουσιάζονται και τα σχετικά συνοδευτικά εγχειρίδια, τα οποία διευκολύνουν τους χρήστες να κατανοήσουν τη δομή και τη λειτουργία του κάθε μαθηματικού μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :

Πρότυπη κυψελίδα καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC) τριοδικής Λειτουργίας.

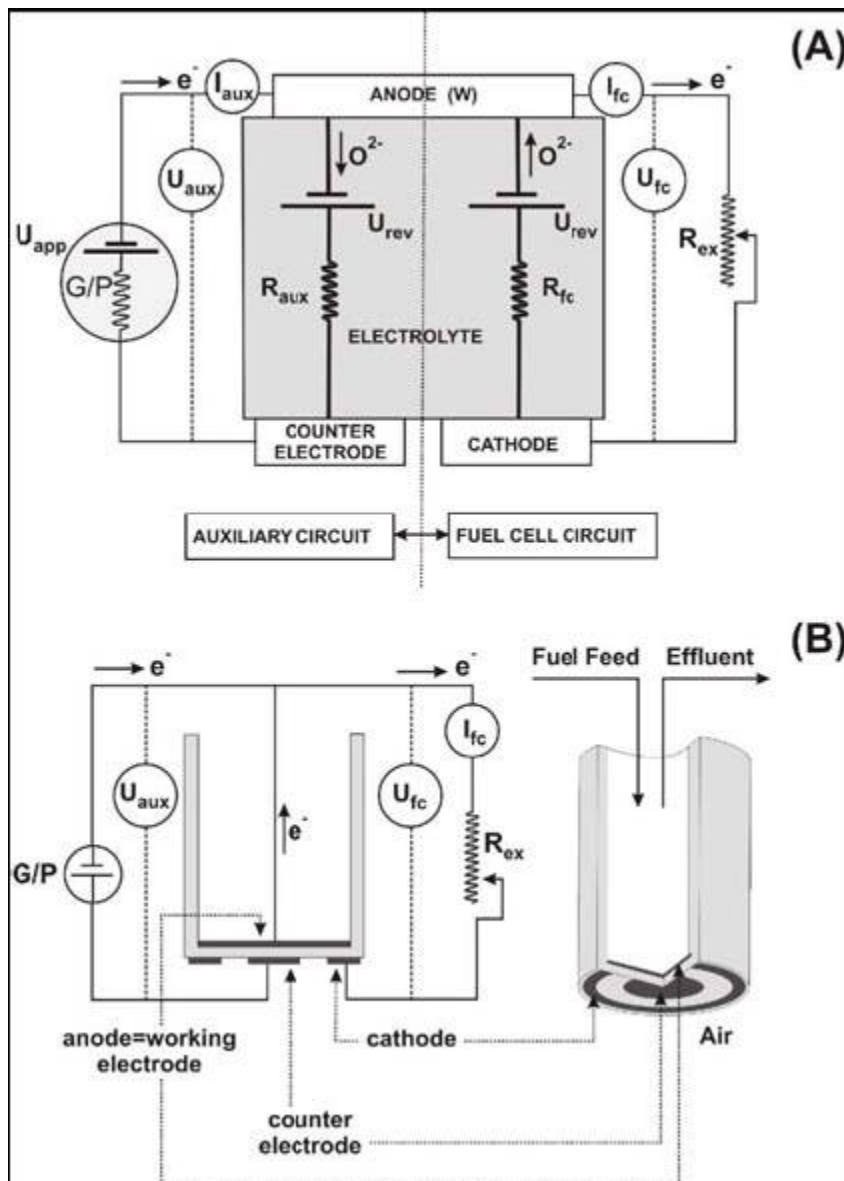
Στόχος της συγκεκριμένης ενότητας του έργου ήταν η κατασκευή και λειτουργία κυψελίδας καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη υψηλών θερμοκρασιών (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) μεγάλης εργαστηριακής κλίμακας στηριζόμενης στην τεχνολογία της τριοδικής λειτουργίας κυψελίδων καυσίμου που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Χημικών Διεργασιών και Ηλεκτροχημείας του Πανεπιστημίου Πατρών (ΕΧΔΗ). Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της συγκεκριμένης ενότητας στόχος ήταν επίσης και η διερεύνηση όλων των τεχνικών προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιμάκωση μεγέθους των κυψελίδων καυσίμου τριοδικής λειτουργίας. Η ανάγκη για νέες και ταυτόχρονα μη ρυπογόνες μονάδες παραγωγής ενέργειας ήταν ένα σημαντικό κίνητρο για την πετυχημένη ολοκλήρωση της συγκεκριμένης ενότητας του προγράμματος. Οι κυψελίδες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη (τύπου SOFC) αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, το στερεό ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι αγωγός συγκεκριμένου είδους ιόντων (π.χ. O^{2-} , H^+ κ.α.), το ανοδικό ηλεκτρόδιο, στο οποίο λαμβάνει χώρα η ανοδική αντίδραση (συνήθως καύση του τροφοδοτούμενου καυσίμου το οποίο μπορεί να είναι για παράδειγμα H_2 ή CH_4 ή κάποιος άλλος υδρογονάνθρακας) και το καθοδικό ηλεκτρόδιο στο οποίο πραγματοποιείται η καθοδική αντίδραση (συνήθως διασπαστική ρόφηση του οξυγόνου). Τα βασικά μέρη των κυψελίδων καυσίμου καθώς και οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα (για διάφορους τύπους κυψελίδων, βάσει του χρησιμοποιούμενου στερεού ηλεκτρολύτη και τη θερμοκρασία λειτουργίας) φαίνονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Βασικά μέρη κυψελίδων καυσίμου και χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα. Διαχωρισμός τους με βάση το χρησιμοποιούμενο στερεό ηλεκτρολύτη και τη θερμοκρασία λειτουργίας.

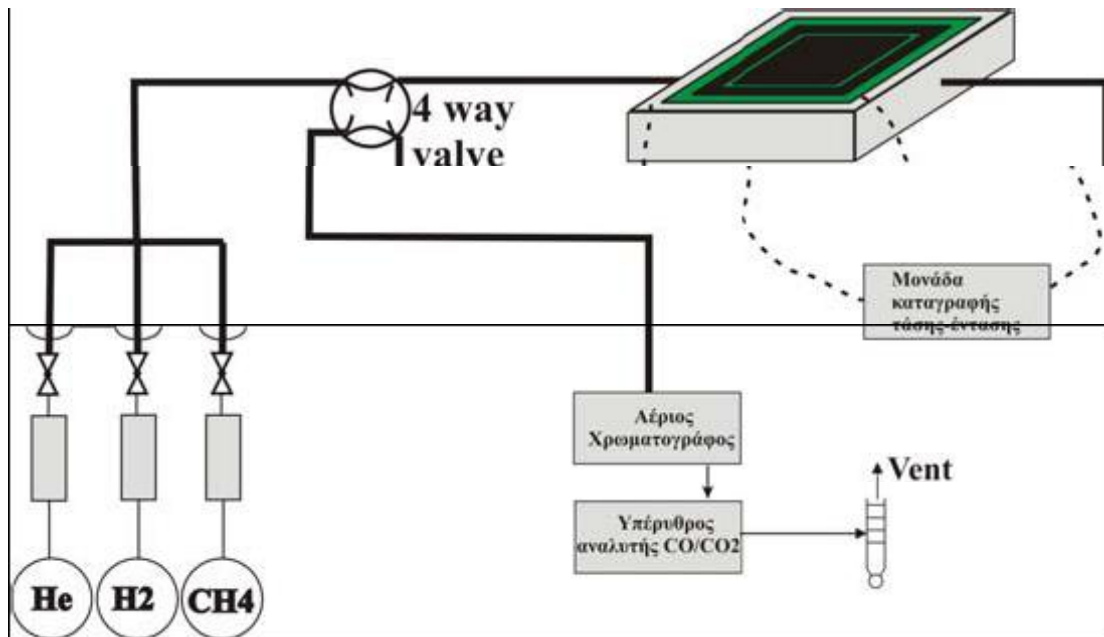
Πιο συγκεκριμένα οι θερμοκρασίες λειτουργίας των κυψελίδων στερεού ηλεκτρολύτη (τύπου SOFC) κυμαίνονται από 800 έως και 1000°C. Η αυξημένη θερμοκρασία λειτουργίας μιας κυψέλης σχετίζεται με την απαιτούμενη αγωγιμότητα του στερεού ηλεκτρολύτη. Στην περίπτωση της κυψέλης καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη (Σχήμα 1, τύπος SOFC) χρησιμοποιείται συνήθως σταθεροποιημένη με ύττρια ζirkονία που αποτελεί έναν πολύ καλό αγωγό ιόντων οξυγόνου. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1, το ροφημένο οξυγόνο, προϊόν της καθοδικής αντίδρασης οδηγείται από το καθοδικό ηλεκτρόδιο στην άνοδο, όπου και αντιδρά με το ροφημένο καύσιμο. Η ιοντική αυτή κίνηση έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ρεύματος το οποίο συλλέγεται εξωτερικά μέσω των δυο ηλεκτροδίων (κάθοδος, άνοδος).

Η θερμοκρασία λειτουργίας και κατά συνέπεια το κόστος λειτουργίας μιας κυψελίδας καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη είναι δυνατόν να μειωθεί αν μπορέσουμε να αυξήσουμε την απόδοση είτε χρησιμοποιώντας νέα υλικά (π.χ. ηλεκτροκαταλύτες με βελτιωμένη καταλυτική συμπεριφορά ή στερεούς ηλεκτρολύτες με αυξημένη ιοντική αγωγιμότητα) είτε εφαρμόζοντας νέες μεθόδους λειτουργίας (π.χ. τριοδική λειτουργία). Το αποτέλεσμα των παραπάνω θα είναι η δυνατότητα για ίδια παρεχόμενη ισχύ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας. Η χρήση τριών ηλεκτροδίων (καθοδικό, ανοδικό και βοηθητικό ηλεκτρόδιο), η οποία φαίνεται σχηματικά στο Σχήμα 2 είναι μια καινοτόμος προσπάθεια, μεγάλου τεχνολογικού ενδιαφέροντος. Κατά τη τριοδική λειτουργία μιας κυψελίδας καυσίμου η χρήση ενός τρίτου ηλεκτροδίου (βοηθητικό ηλεκτρόδιο) έχει ως στόχο την επιβολή ενός σταθερού ρεύματος μεταξύ του ανοδικού και του βοηθητικού ηλεκτροδίου και κατά συνέπεια τη λειτουργία της κυψελίδας σε μεγαλύτερα αντιστρεπτά δυναμικά απ' ό,τι προβλέπονται από τη συμβατική λειτουργία. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της απόδοσης του συστήματος κάτι που ενθαρρύνει μια ενδεχόμενη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας και κατ' επέκταση τη μείωση του κόστους λειτουργίας της κυψελίδας.



Σχήμα 2: Τριοδική λειτουργία κυψελίδας καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη. Γραφική αναπαράσταση του βοηθητικού κυκλώματος και του βασικού κυκλώματος της κυψελίδας

Η κατασκευή και εγκατάσταση της μονάδας της κυψελίδας καυσίμου στερεού οξειδίου έχει ολοκληρωθεί και έχει ελεγχθεί για την σωστή λειτουργία της εντός του χρονοδιαγράμματος που όριζε το πρόγραμμα (Λήξη: 30/11/2006). Η πειραματική διάταξη που κατασκευάστηκε (το διάγραμμα της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 3) αποτελείται από τρία τμήματα: τμήμα τροφοδοσίας αντιδρώντων, τμήμα αντιδραστήρα (κυψελίδα καυσίμου) και τμήμα καταγραφής ηλεκτρικών σημάτων και ανάλυσης προϊόντων.



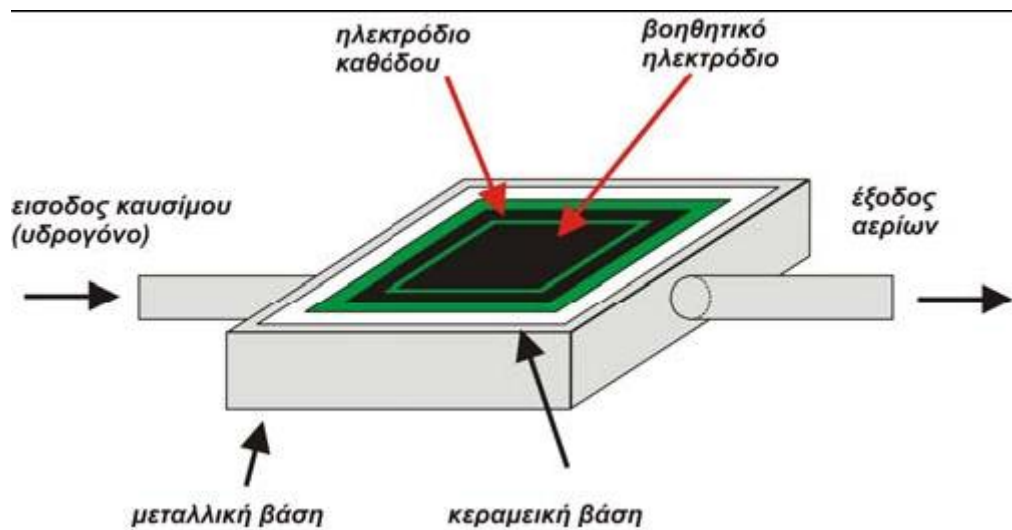
Σχήμα 3: Διάγραμμα πειραματικής διάταξης κυψελίδας καυσίμου μαζί με το σύστημα τροφοδοσίας, καταγραφής σημάτων και ανάλυσης προϊόντων (πάνω). Φωτογραφία της πειραματικής Διάταξης που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του προγράμματος (κάτω)

6.1.1

A. Κυψελίδα Καυσίμου (τύπου SOFC)

Η κυψελίδα αποτελείται από τρία μέρη:

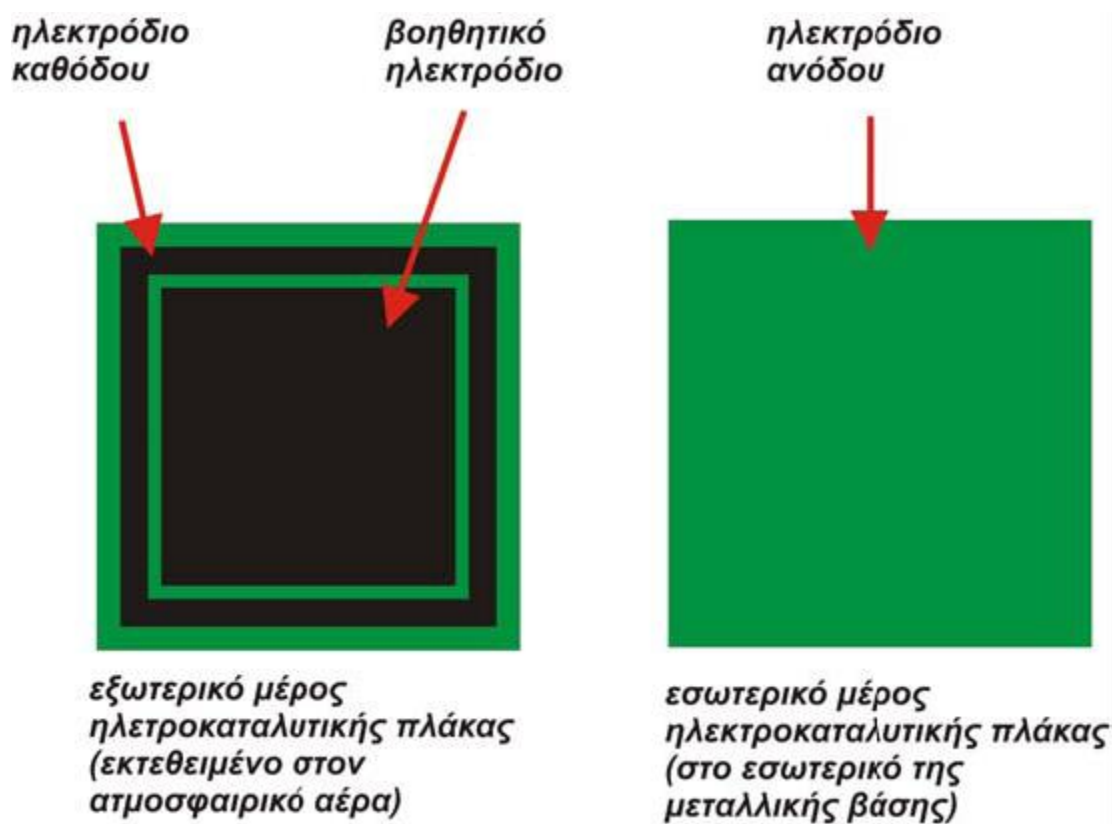
I. Τη μεταλλική βάση (Σχήμα 4) η οποία κατασκευάστηκε από το ειδικό κράμα μετάλλων του οποίου τα συστατικά επιλέχτηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε το τελικό προϊόν να παρουσιάζει παρόμοιο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τόσο με το ηλεκτροκαταλυτικό στοιχείο όσο και με τα κεραμικά μέρη της κυψελίδας. Η παραπάνω τακτική ήταν επιβεβλημένη προκειμένου να επιτευχθεί η άριστη συμβατότητα όλων των διαφορετικών τμημάτων της κυψελίδας (μεταλλικά και κεραμικά κυρίως τμήματα) κατά τη λειτουργία της σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης οι παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες θα είχαν άμεσο αντίκτυπο στην αεροστεγή φραγή του εσωτερικού της κυψελίδας με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του ηλεκτροκαταλυτικού στοιχείου. Η φραγή αυτή είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η βιομηχανία κυψελίδων καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη μιας και οι επιπτώσεις από τυχών διαρροές υδρογόνου προς το περιβάλλον σε μια ατμόσφαιρα υψηλών θερμοκρασιών θα ήταν αν μη τι άλλων επικίνδυνες. Και αυτό λόγω της επιβαλλόμενης λειτουργίας της κυψελίδας υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας (>800oC), της εν δυνάμει ανομοιόμορφης συμπεριφοράς των διαφορετικών υλικών (μετάλλου και κεραμικού) που συνθέτουν την κυψελίδα καθώς επίσης και της μη ιδανικής συμπεριφοράς των υλικών συγκόλλησης (συνήθως κόλλες υάλου) που χρησιμοποιούνται για τις ενώσεις των παραπάνω τμημάτων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα υλικά αυτά (κόλλες) βρίσκονται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο.



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση της προς κατασκευή κυψελίδας καυσίμου (α) και πραγματική απεικόνιση (τμήμα της κυψελίδας καυσίμου) της μεταλλικής κατασκευής (στο στάδιο που βρίσκεται αυτή τη στιγμή) πάνω στην οποία θα στηριχτεί η κεραμική βάση και στη συνέχεια η ηλεκτροκαταλυτική πλάκα.

II. Το **ηλεκτροκαταλυτικό στοιχείο** (Σχήμα 5) το οποίο αποτελείται από το στερεό ηλεκτρολύτη και τα τρία ηλεκτρόδια (καθοδικό, ανοδικό και βοηθητικό). Ως στερεός ηλεκτρολύτης έχει επιλεγεί σταθεροποιημένη με ύπτρια ζirkονία (ένας πολύ καλός αγωγός ιόντων οξυγόνου). Το καθοδικό καθώς επίσης και το βοηθητικό ηλεκτρόδιο είναι τύπου περοφσκίτη ($(La_xSr_{1-x})_2MnO_3$), τύπος που χαρακτηρίζεται σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα

από αρκετά καλή συμπεριφορά (καθοδική αντίδραση) και συνάμα έχει πολύ μικρότερο κόστος σε σχέση με ηλεκτρόδια μετάλλων (π.χ. Pt, Ru κ.α.). Τέλος το ανοδικό ηλεκτρόδιο στο οποίο δίνεται και η μεγαλύτερη έμφαση (λόγω της σπουδαιότητας της ανοδικής αντίδρασης καύσης του καυσίμου) αποτελείται από ένα μίγμα νικελίου και σταθεροποιημένης ζirkονίας (Ni-YSZ cermet). Τέτοιου είδους ανοδικά ηλεκτρόδια παρουσιάζουν τόσο καλή ηλεκτροκαταλυτική συμπεριφορά αναφορικά με την ανοδική αντίδραση όσο και καλή συμβατότητα και συνάφεια με το στερεό ηλεκτρολύτη. Μια πραγματική απεικόνιση του ηλεκτροκαταλυτικού στοιχείου φαίνεται στο Σχήμα 5.



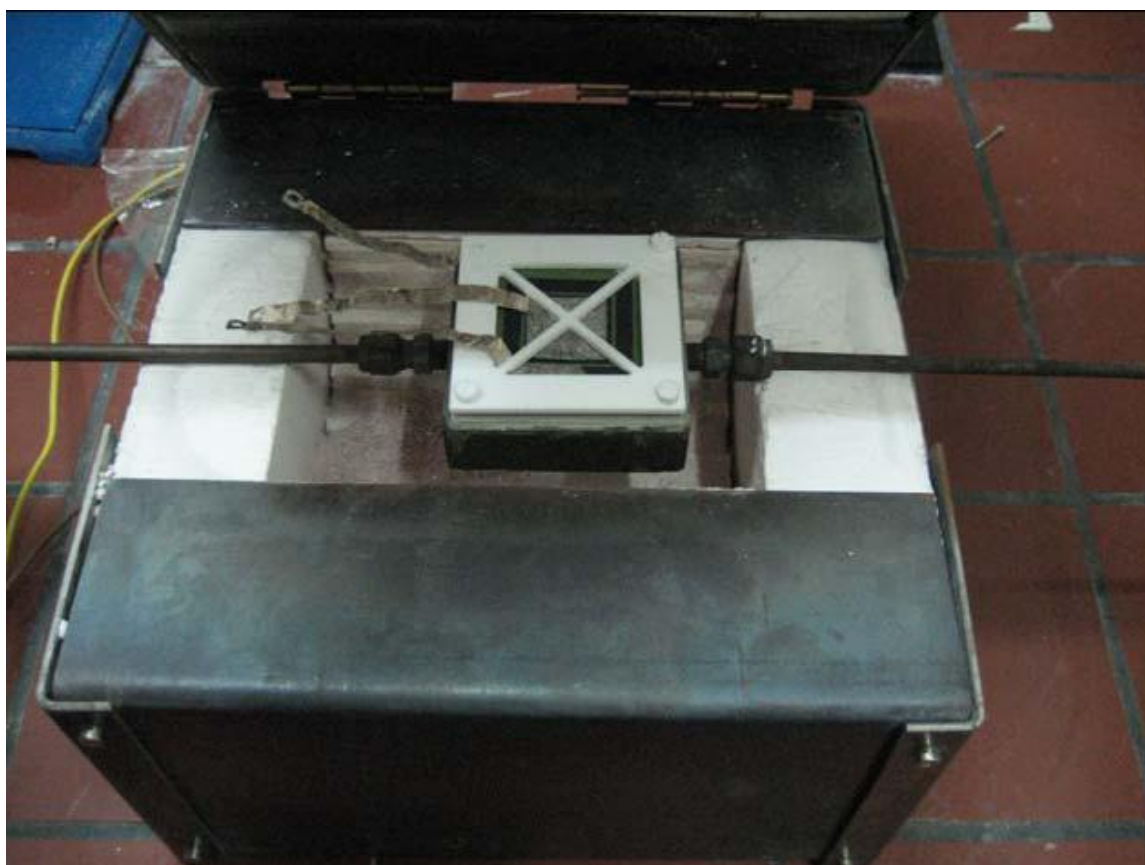
Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση της προς κατασκευή ηλεκτροκαταλυτικής πλάκας (στερεός ηλεκτρολύτης: YSZ, κάθοδος, βοηθητικό ηλεκτρόδιο: $(\text{La}_x\text{Sr}_{1-x})\text{yMnO}_3$, άνοδος: Ni-YSZ).

III. Τα **κεραμικά μέρη** της κυψελίδας, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 6 και η αγορά τους πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος. Για την καλύτερη συλλογή του ρεύματος αγοράστηκαν πλέγματα νικελίου και πλατίνας τα οποία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της κυψελίδας βρισκόταν σε επαφή με τα τρία ηλεκτρόδια. Στην κάθοδο και το βοηθητικό ηλεκτρόδιο, που είναι εκτεθειμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα χρησιμοποιήθηκαν τα πλέγματα της πλατίνας ενώ στην άνοδο που είναι μονωμένη ως προς τα αέρια χρησιμοποιήθηκε το πλέγμα νικελίου που έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος. Για τη στήριξη αυτών των μεταλλικών πλεγμάτων αγοράστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος με ειδική παραγγελία κεραμικά στηρίγματα.



Σχήμα 6: Τα κεραμικά μέρη της κυψελίδας

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν η ανομοιόμορφη άνοδος της θερμοκρασίας στο φούρνο, που οδηγούσε σε ρωγμές του συνδετικού υλικού μεταξύ μεταλλικού και κεραμικού τμήματος της κυψελίδας. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε νέος φούρνος, ο οποίος επιτρέπει, μέσω ειδικού ρυθμιστή θερμοκρασίας που προϋπήρχε στο εργαστήριο, την ελεγχόμενη και ομοιόμορφη επιβολή θερμοκρασίας στο σύστημα (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Ο νέος φούρνος που έχει κατασκευαστεί στα πλαίσια του προγράμματος

B. Τμήμα καταγραφής σημάτων και ανάλυσης

Για το τμήμα της καταγραφής σημάτων και ανάλυσης έχουν αγοραστεί στα πλαίσια του προγράμματος:

I. Ένας αναλυτής υπερύθρου (Fuji Electric's Infrared Gas Analyzer ZRJ-4) για την ανίχνευση των οξειδίων του άνθρακα CO και CO₂ (Σχήμα 8). Ο αναλυτής

υπερύθρου συμβάλλει στη βελτίωση εξαγωγής δεδομένων από το σύστημα μέσω της συνεχούς παρακολούθησης της κατάστασης του συστήματος (σύσταση των προϊόντων της αντίδρασης), την οποία διαταράσσουμε με την επιβολή ηλεκτρολυτικών ρευμάτων (τριοδική λειτουργία).

II. Ένα καταγραφικό YOKOGAWA LR 4220E, τεσσάρων καναλιών (Σχήμα 9 αριστερά). Το καταγραφικό μας δίνει την δυνατότητα για ταυτόχρονη παρακολούθηση των σημάτων τα οποία εξέρχονται από τον αναλυτή αλλά και από το γαλβανοστάτη (κατά την επιβολή του ρεύματος/δυναμικού).

III. Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής για την ηλεκτρονική λήψη, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων (Σχήμα 9 δεξιά). Το τμήμα καταγραφής σημάτων και ανάλυσης περιλαμβάνει ακόμα έναν αέριο χρωματογράφο, ένα κουτί αντιστάσεων, έναν ολοκληρωτή και διάφορες περιφερειακές μικροσυσκευές οι οποίες προϋπήρχαν στο Εργαστήριο Χημικών Διεργασιών και Ηλεκτροχημείας και ολοκληρώνουν την κατασκευασθείσα πειραματική διάταξη. Η συμπληρωματική αυτή υλικοτεχνική υποδομή που προϋπήρχε στο ΕΧΔΗ δεν παρουσιάζεται με φωτογραφικό υλικό μιας και δεν αποτελεί επιμέρους παραδοτέο έργο του παρόντος έργου.



Σχήμα 8: Αναλυτής υπερύθρου μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα



Σχήμα 9: Καταγραφικό τεσσάρων καναλιών και ηλεκτρονικός υπολογιστής

Γ. Τμήμα τροφοδοσίας

Το τμήμα τροφοδοσίας της κυψελίδας καυσίμου αποτελείται από ροόμετρα αναλογικού τύπου που προϋπήρχαν στο εργαστήριο (Σχήμα 10). Οι τροφοδοσίες της ανόδου έχουν την δυνατότητα να ενυδατώνονται συνεχώς με θερμοστατούμενους κορεστές. Οι τροφοδοσίες της ανόδου εισέρχονται στον αντιδραστήρα μέσω σωληνώσεων και βαλβίδων. Στο αρχικό τεχνικό δελτίο του έργου καθώς επίσης και στον αρχικό προγραμματισμό υπήρχε ανοιχτή η δυνατότητα για αγορά και χρήση ηλεκτρονικών ροόμετρων μάζας που θα ήλεγχαν αποτελεσματικότερα τη τροφοδοσία της κυψελίδας. Αυτό τελικά δεν κατέστη δυνατόν, μιας και το κόστος των υπόλοιπων οργάνων που αγοράστηκαν (μετά από προσφορές και διαπραγματεύσεις για την επίτευξη της μικρότερης δυνατής τιμής) δεν επέτρεψε την προμήθεια ακόμα πιο σύγχρονων ηλεκτρονικών ροόμετρων μάζας. Θα πρέπει να τονίσουμε τέλος ότι η τελική χρήση αναλογικών ροόμετρων δεν επηρέασε καθόλου τόσο την ποιότητα όσο και την άριστη λειτουργία του συστήματος τροφοδοσίας.



Σχήμα 10: Ροόμετρα μάζας αναλογικού τύπου

Πρωτόκολλο αξιολόγησης νέων ηλεκτροκαταλυτών στην μονάδα SOFC. Στόχος της παρούσας υποενότητας του προγράμματος ήταν η ανάπτυξη πρωτοκόλλου αξιολόγησης νέων ηλεκτροκαταλυτών με χρήση της κυψελίδας SOFC και της πειραματικής διάταξης που κατασκευάστηκε στην υποενότητα 12 (Σχήμα 3). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της πρότασης αναφορικά με την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου θα γινόταν μελέτη πρότυπων ηλεκτροκαταλυτικών συστημάτων στη μονάδα SOFC σε διάφορες πειραματικές συνθήκες (θερμοκρασία, σύσταση εισόδου κ.λ.π.). Η μελέτη των αποτελεσμάτων θα μας έδινε τη δυνατότητα καταγραφής και εφαρμογής ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου με τη χρήση του οποίου θα ήταν δυνατή η αξιολόγηση νέων ηλεκτροκαταλυτικών πλακών και η σχετικά γρήγορη εκτίμηση για την ικανοποιητική συμπεριφορά τους. Στα πλαίσια της λειτουργίας της τριοδικής κυψέλης (τύπου SOFC) στο Εργαστήριο Χημικών Διεργασιών και Ηλεκτροχημείας (ΕΧΔΗ) του Πανεπιστημίου Πατρών δοκιμάστηκαν νέα ηλεκτροκαταλυτικά συστήματα (όσον αφορά τα τρία ηλεκτρόδια) και αναπτύχθηκε συγκεκριμένο πρωτόκολλο αξιολόγησής τους. Ένας από τους στόχους που έγινε προσπάθεια να επιτευχθεί ήταν η εφικτή αξιολόγηση των

ηλεκτροκαταλυτικών πλακών κάτω από συνθήκες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλές για τα έως τώρα δεδομένα θερμοκρασίες λειτουργίας (500-800°C).

6.1.2

Αποτελέσματα

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε άνοδος με καταλύτη νικελίου πάνω σε YSZ (ζirkονία σταθεροποιημένη με ύπτρια, yttria stabilized zirconia). Ο συγκεκριμένος τύπος ανόδου παρασκευάστηκε με ανάμειξη οξειδίου του νικελίου, NiO και ζirkονίας, YSZ (υπό μορφή λεπτόκοκκης σκόνης) και ελεγχόμενη πίεση σε θερμαινόμενη πρέσα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Με την άνοδο της θερμοκρασίας στο κελί το οξείδιο του νικελίου, NiO διασπάται με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεταλλικού νικελίου, Ni στο ανοδικό ηλεκτρόδιο. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται συσσωματώματα κεραμικής ζirkονίας, YSZ και μεταλλικής φάσης νικελίου, Ni δημιουργώντας μία μεικτή κεραμομεταλλική άνοδο (cermet Ni-YSZ). Τα κυκλώματα της τριοδικής κυψέλης (τύπου SOFC) όπως φαίνονται στο Σχήμα 2 έχουν έναν κοινό κόμβο, την άνοδο. Επίσης τα ηλεκτρόδιά τους είναι όλα τοποθετημένα πάνω στον ίδιο ηλεκτρολύτη. Έτσι, τα δύο κυκλώματα δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλλά η λειτουργία του ενός επηρεάζει το άλλο. Όταν το βοηθητικό κύκλωμα είναι ανοιχτό, δηλαδή όταν $I_{aux} = 0$, τότε το κελί καυσίμου λειτουργεί με τον τυπικό τρόπο. Διαρρέεται από ρεύμα I_{fc} 0 και παράγει τάση U_{fc} 0.

Όταν μέσω του γαλβανοστάτη ή ποτενσιοστάτη επιβληθεί ρεύμα στο βοηθητικό κύκλωμα, δηλαδή όταν $I_{aux} \neq 0$, τότε το ρεύμα στο κελί καυσίμου είναι I_{fc} και η τάση που παράγει αυτό U_{fc} . Μεταβάλλοντας το ρεύμα του βοηθητικού κυκλώματος I_{aux} και την τιμή της αντίστασης R_{ex} , πάρθηκαν τιμές της τάσης και της έντασης του κελιού U_{fc} και I_{fc} , καθώς και της τάσης στο βοηθητικό κύκλωμα U_{aux} . Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν τα εξής μεγέθη:

- Η ισχύς του κελιού, σύμφωνα με την σχέση $P_{fc} = U_{fc} \cdot I_{fc}$. (1)

- Ο λόγος ενίσχυσης 0

I_{fc}

I_{fc}

P

P

$\rho = , (2)$

όπου P_0

f_c η ισχύς του κελιού χωρίς την χρήση βοηθητικού κυκλώματος

P_0

$f_c = U_0$

$f_c \cdot I_0$

$f_c . (3)$

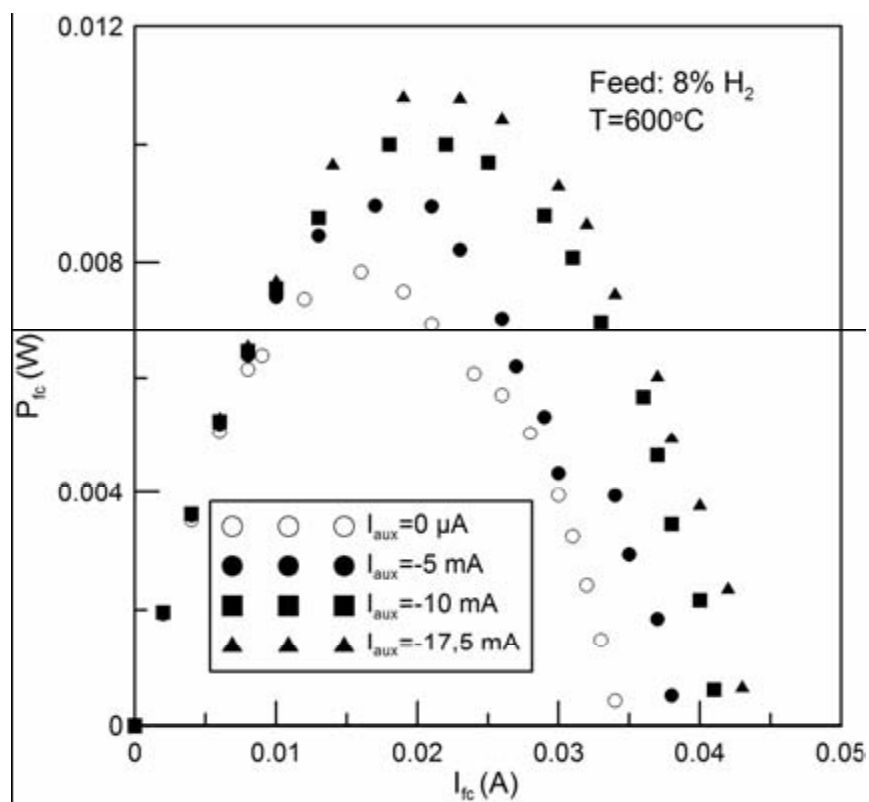
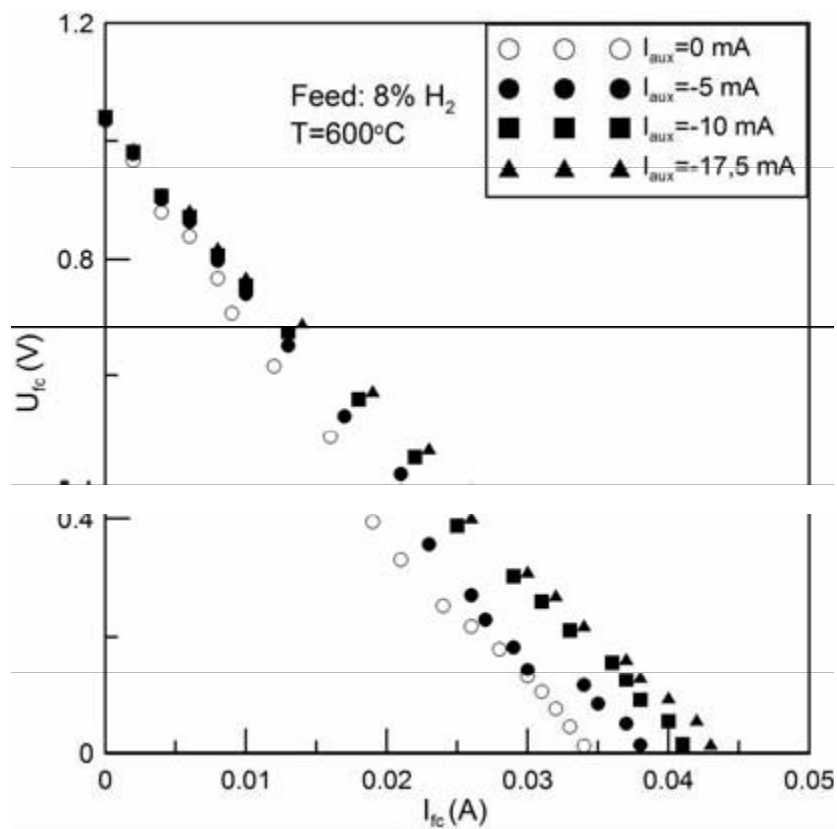
Προκειμένου να υπάρχει βελτίωση της λειτουργίας του κελιού με την χρήση της τριοδικής λειτουργίας, πρέπει ο συντελεστής απόδοσης να παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας .

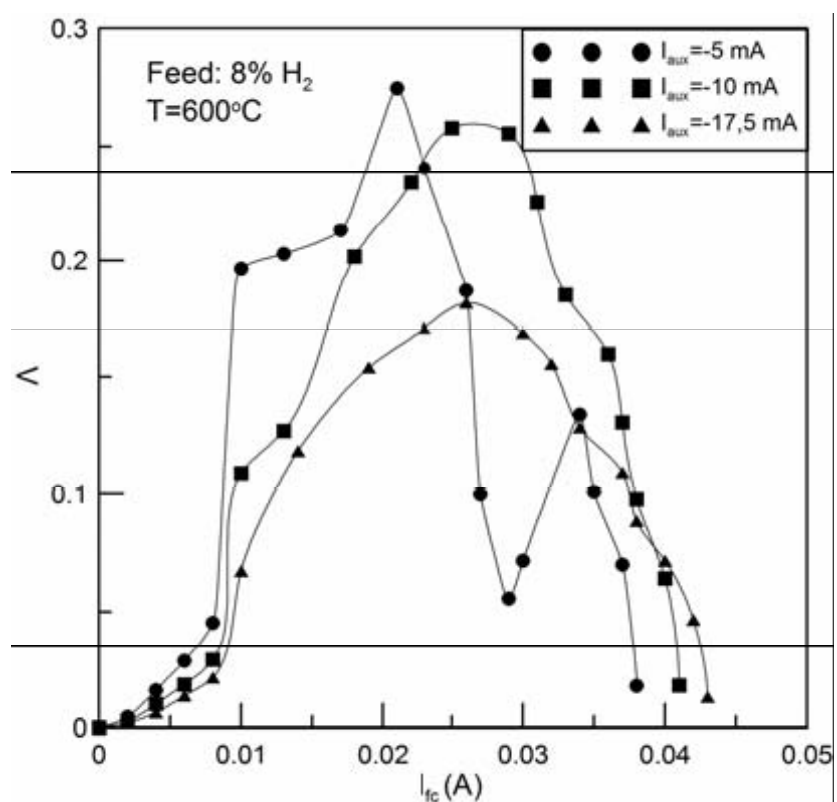
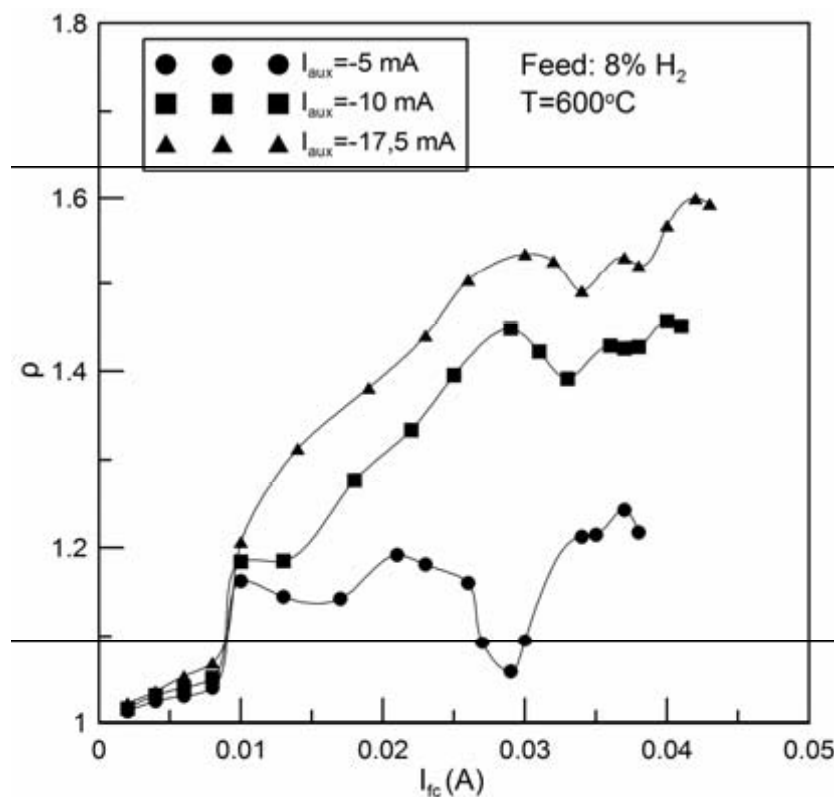
Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος. Μια από τις θερμοκρασίες στην οποία διεξήχθησαν αρχικά πειράματα ήταν 600 οC. Σε αυτή τη θερμοκρασία όπως φαίνεται από το Σχήμα 11 το μέγιστο ρεύμα υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος ήταν περίπου $I_{fc}=35 \text{ mA}$. Με την επιβολή της μέγιστης τιμής εξωτερικού ρεύματος η οποία ήταν ίση με $I_{aux}=17.5 \text{ mA}$ επιτύχαμε μέγιστη τιμή

$I_{fc}=43 \text{ mA}$.

Αυτό αντιστοιχεί σε μία αύξηση της τάξης του 160%, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 11 όπου ο συντελεστής ενίσχυσης της ισχύος, ρ είναι περίπου ίσος με $\rho=1.6$.

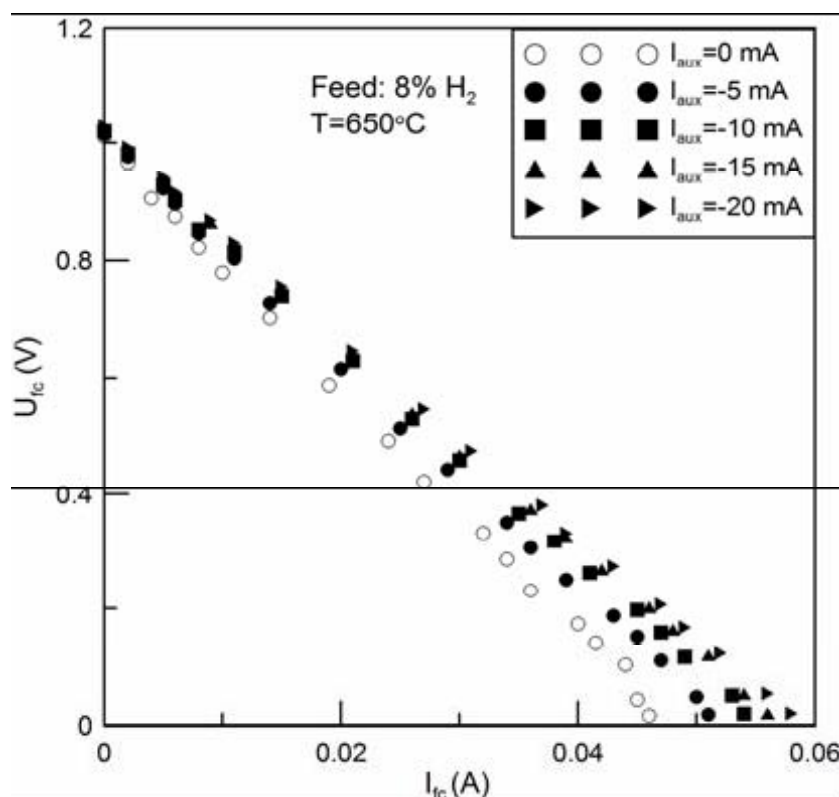
Σε αυτή τη θερμοκρασία παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλές τιμές του συντελεστή Λ , ο οποίος είναι ενδεικτικός για το συνολικά ωφελούμενο κέρδος ή όχι μετά την εφαρμογή ρεύματος μέσω του βοηθητικού ηλεκτροδίου ($\Lambda > 1$ από τη μονάδα θασήμαινε ότι το σύστημα παράγει περισσότερη ισχύ από αυτή που του προσφέρεται με την επιβολή του ρεύματος μέσω του εξωτερικού κυκλώματος).

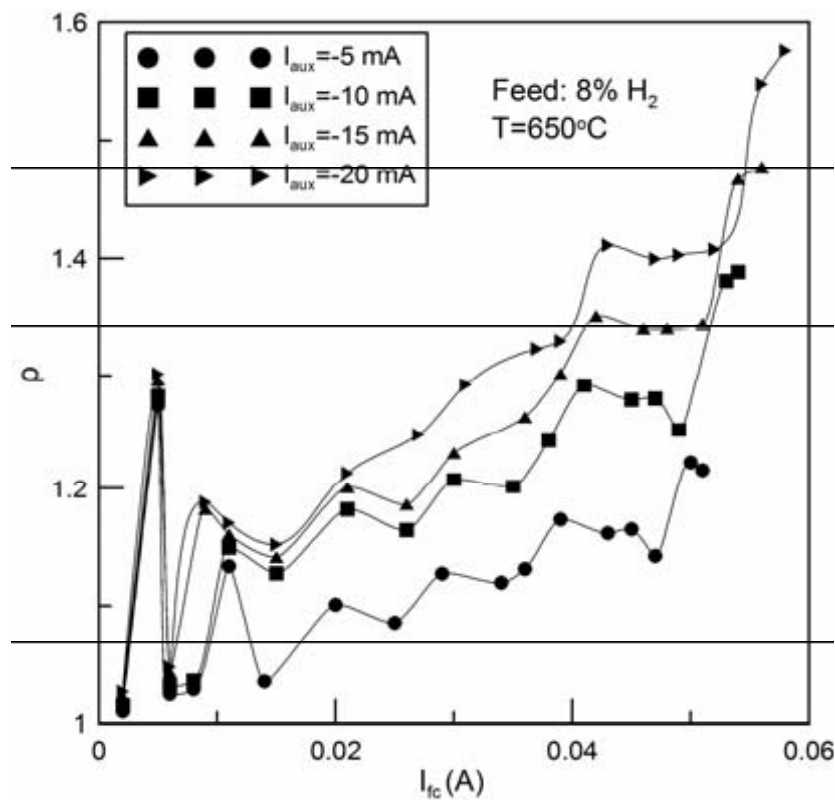
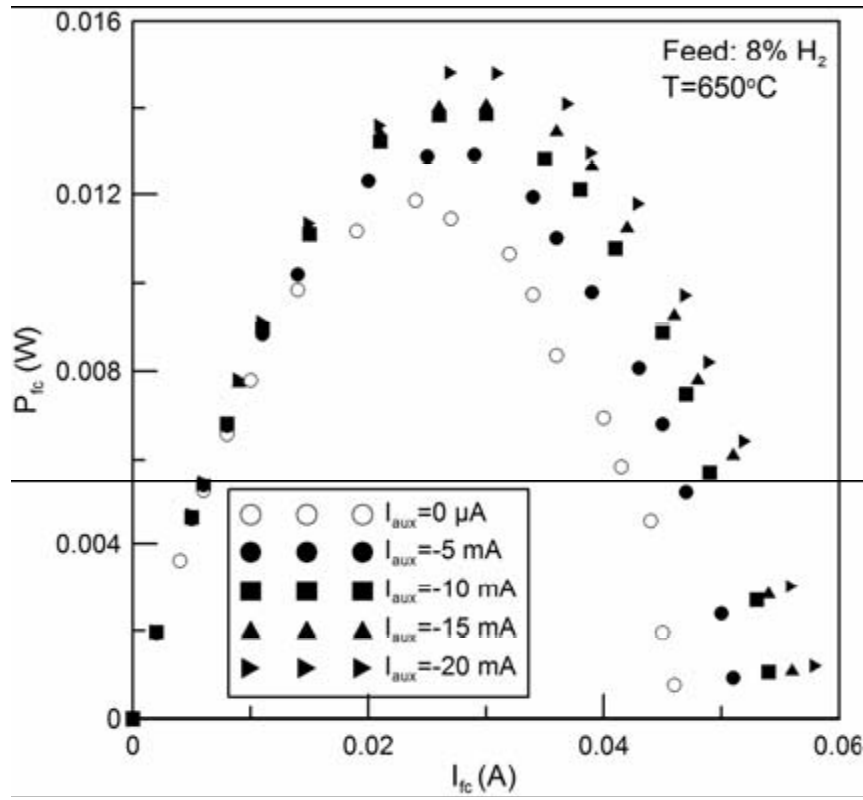


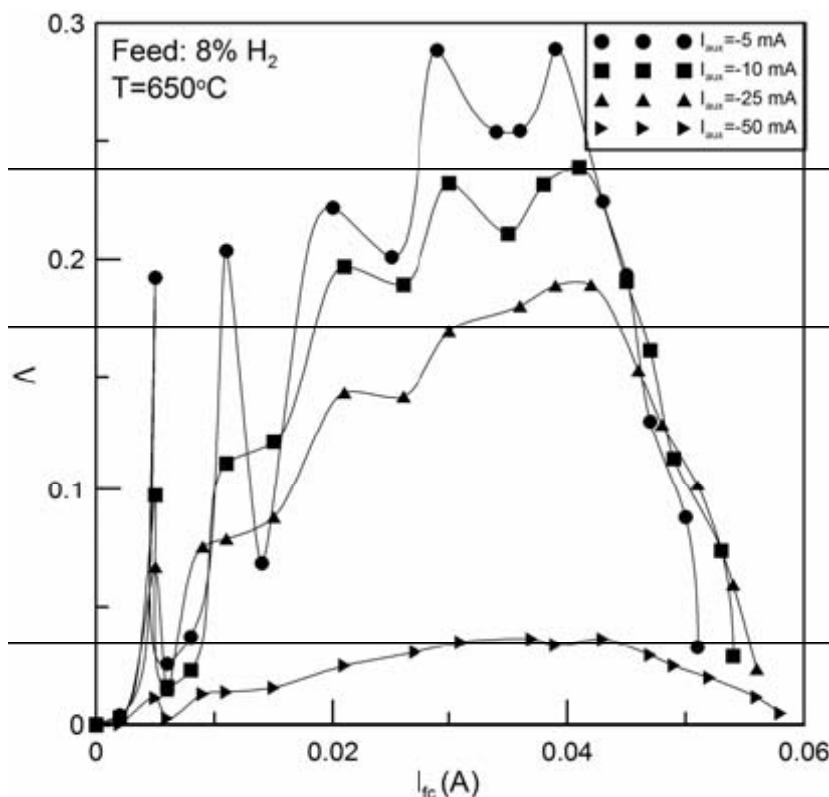


Σχήμα 11: Καμπύλες τάσης-έντασης, ισχύος-έντασης, συντελεστή ενίσχυσης ισχύος ρ -έντασης και συντελεστή Λ -έντασης σε θερμοκρασία 600°C .

Σε θερμοκρασία 650 οC (Σχήμα 12) το μέγιστο ρεύμα υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος ήταν περίπου $I_{fc}=45$ mA. Παρατηρώντας ότι σε αυτή τη θερμοκρασία το μέγιστο παραγόμενο ρεύμα ήταν ψηλότερο, όπως άλλωστε αναμενόταν, επιβάλλοντας μεγαλύτερη μέγιστη τιμή εξωτερικού ρεύματος, $I_{aux}=-20$ mA επιτύχαμε αύξηση της μέγιστης τιμής της κυψελίδας στα $I_{fc}=60$ mA. Και σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής ενίσχυσης της ισχύος, ρ είναι περίπου ίσος με 1.6 στη μέγιστη τιμή του ενώ ο συντελεστής Λ δεν ξεπερνά το 0.3. Στην υψηλότερη θερμοκρασία που πραγματοποιήθηκαν πειράματα, αυτή των 700 οC (Σχήμα 13), το ρεύμα ανοιχτού κυκλώματος είναι υπερτριπλάσιο των προηγούμενων δύο περιπτώσεων, φτάνοντας στα $I_{fc}=150$ mA. Με τη μεγαλύτερη μέγιστη τιμή εξωτερικού ρεύματος που επιβλήθηκε ($I_{aux}=-90$ mA) επιτύχαμε μέγιστη τιμή ρεύματος της κυψελίδας, $I_{fc}=210$ mA. Η απόδοση της κυψελίδας, P_{fc} υπό αυτές της συνθήκες έφτασε τα 60 mW. Ο συντελεστής ενίσχυσης της ισχύος, ρ έφτασε τη τιμή 2 (με άλλα λόγια αύξηση κατά 100%) ενώ για εξωτερικό ρεύμα $I_{aux}=-5$ mA επιτύχαμε τιμές του συντελεστή Λ μεγαλύτερες από τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι το κύκλωμα του κελιού παράγαγε περισσότερη ισχύ από αυτή που του προσφέρθηκε για τη διαδικασία της ενίσχυσης μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.



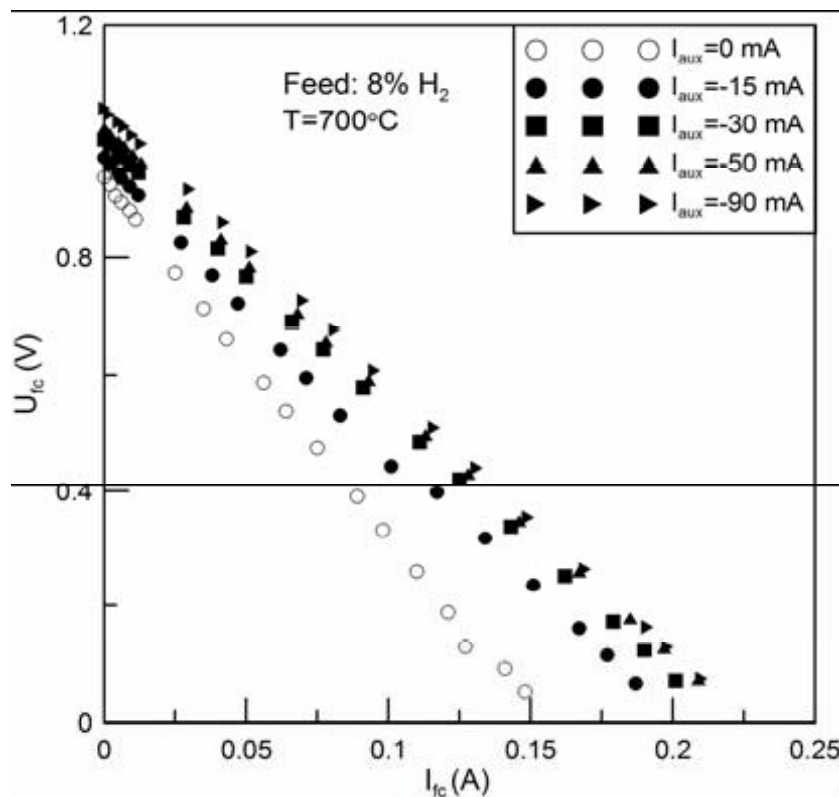


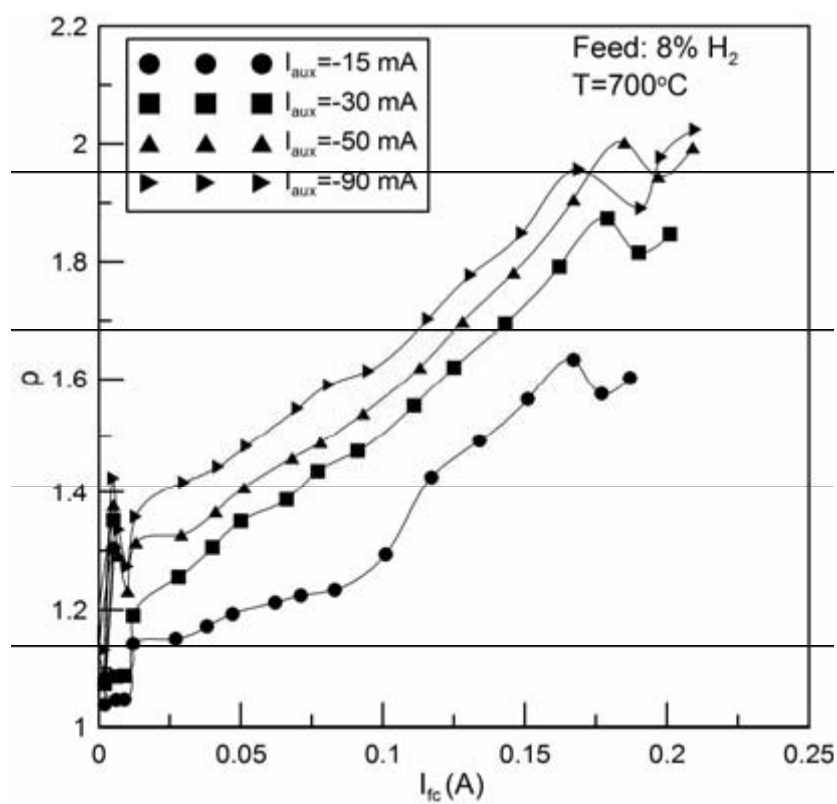
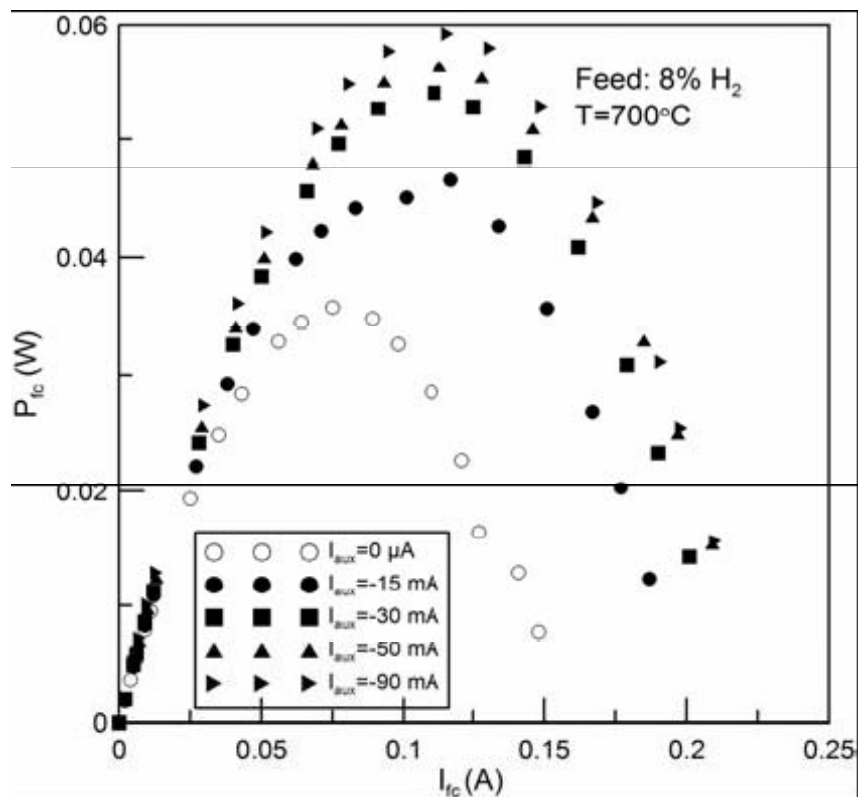


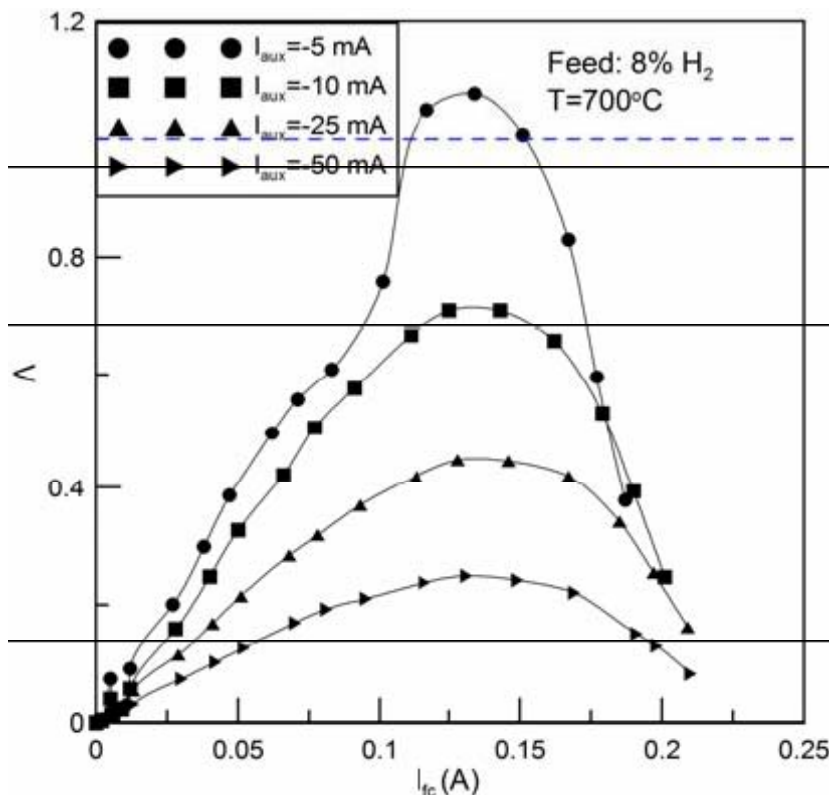
Σχήμα 12: Καμπύλες τάσης-έντασης, ισχύος-έντασης, συντελεστή ενίσχυσης ισχύος ρ -έντασης και συντελεστή λ -έντασης σε θερμοκρασία 650o C.

Για τα παραπάνω πειράματα χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο υδρογόνο 8% αραιωμένο σε ήλιο. Η ροή του καυσίμου στην άνοδο κατά την διάρκεια των πειραμάτων ήταν 280 cc/min ενώ η κάθοδος ήταν μονίμως εκτεθειμένη στον ατμοσφαιρικό αέρα από όπου έπαιρνε το απαιτούμενο οξυγόνο. Δεν υπήρχε δηλαδή ξεχωριστή τροφοδοσία με αποτέλεσμα το σύστημα της κυψελίδας καυσίμου να είναι πολύ πιο απλοποιημένο. Για τον χαρακτηρισμό της ανόδου εφαρμόστηκε μια ευρέως γνωστή και αποδεκτή επιφανειακή μέθοδος, αυτή της θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης οξυγόνου (oxygen temperature programmed desorption, O₂-TPD). Χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό κομμάτι ανόδου, βάρους $m=91.5$ mg το οποίο και τοποθετήθηκε (κατάλληλα συνδεδεμένο) σε θάλαμο υπερυψηλού κενού μέσα στον οποίο πραγματοποιήθηκαν όλα τα πειράματα. Για την επίτευξη των απαιτούμενων συνθηκών κενού χρησιμοποιήθηκε μεταξύ άλλων και μια νέα τουρμπομοριακή αντλία η οποία αγοράστηκε στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος. Το δείγμα εκτίθετο σε αέρια ατμόσφαιρα οξυγόνου με στόχο τη ρόφηση του τελευταίου στα ενεργά κέντρα του ηλεκτροκαταλύτη. Στη συνέχεια το δείγμα θερμαινόταν με γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα η εκρόφηση

του οξυγόνου το σήμα του οποίου καταγραφόταν χρησιμοποιώντας ένα φασματογράφο μάζας και κατάλληλα όργανα παρακολούθησης. Βάσει το ληφθέντος φάσματος γινόταν εκτίμηση της ποσότητας του ροφημένου οξυγόνου και κατ' επέκταση των ενεργών κέντρων του δείγματος. Επίσης οι θερμοκρασίες εκρόφησης ήταν ενδεικτικές για το σθένος του δεσμού ρόφησης του οξυγόνου στα ενεργά κέντρα του ηλεκτροκαταλύτη. Η δυνατότητα της ανόδου για ρόφηση του οξυγόνου είναι σημαντικό μιας και το ροφημένο οξυγόνο πρόκειται να αντιδράσει σε περαιτέρω στάδιο προκειμένου να πραγματοποιηθεί η οξείδωση του χρησιμοποιούμενου στη κυψελίδα καυσίμου. Επίσης το οξυγόνο δε θα πρέπει να είναι πολύ ισχυρά ροφημένο στην ηλεκτροκαταλυτική επιφάνεια γιατί κάτι τέτοιο θα είχε ως συνέπεια τη μειωμένη δραστηριότητά.







Σχήμα 13: Καμπύλες τάσης-έντασης, ισχύος-έντασης, συντελεστή ενίσχυσης ισχύος ρ-έντασης και συντελεστή Λ-έντασης σε θερμοκρασία 700ο C.

6.1.3

Πρωτόκολλο αξιολόγησης ηλεκτροκαταλυτών

Βάσει των πειραμάτων που έγιναν κατά τη διάρκεια του προγράμματος στην κυψελίδα καυσίμου τύπου SOFC καθώς επίσης και των πειραμάτων θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης προτείνεται το ακόλουθο πρωτόκολλο αξιολόγησης, σύμφωνα με το οποίο είναι δυνατή η αξιολόγηση νέων υλικών (ανοδικά ηλεκτρόδια) για την ενδεχόμενη καλή τους συμπεριφορά σε μια κυψελίδα καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη.

Λειτουργία στη κυψελίδα καυσίμου (τύπου SOFC) που κατασκευάστηκε

1. Χρήση δυο διαφορετικών καυσίμων, αέριου υδρογόνου (8% σε He) και αέριου μεθανίου (5.6% σε He). Λειτουργία με παροχές 200-300 cc/min).
2. Έλεγχος της απόδοσης της κυψελίδας (με χρήση του νέου ηλεκτροκαταλύτη) υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος σε θερμοκρασίες 600, 700 και 800 οC.
3. Καταγραφή μέγιστων παρερχομένων ρευμάτων και μέγιστης ισχύς της

κυψελίδας σε κάθε συνθήκη λειτουργίας

4. Έλεγχος της απόδοσης της κυψελίδας (με χρήση του νέου ηλεκτροκαταλύτη) υπό συνθήκες εφαρμογής ρεύματος μέσω του βοηθητικού ηλεκτροδίου στις ίδιες θερμοκρασίες (600, 700 και 800 οC). Η επιλογή των επιβαλλόμενων ρευμάτων θα γίνεται με βάση το μέγιστο παρερχόμενο ρεύμα σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος.

5. Καταγραφή μέγιστων παρερχομένων ρευμάτων και μέγιστης ισχύς της κυψελίδας σε κάθε συνθήκη λειτουργίας. Σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές που ελήφθησαν υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος και υπολογισμός του συντελεστή ενίσχυσης της ισχύος, ρ καθώς και του συντελεστή Λ .

6. Εκτίμηση για το ενδεχόμενο όφελος υπό συνθήκες τριοδικής λειτουργίας της κυψελίδας, έχοντας υπόψη ότι οι παράμετροι ρ και Λ πρέπει να έχουν τιμές μεγαλύτερες της μονάδος.

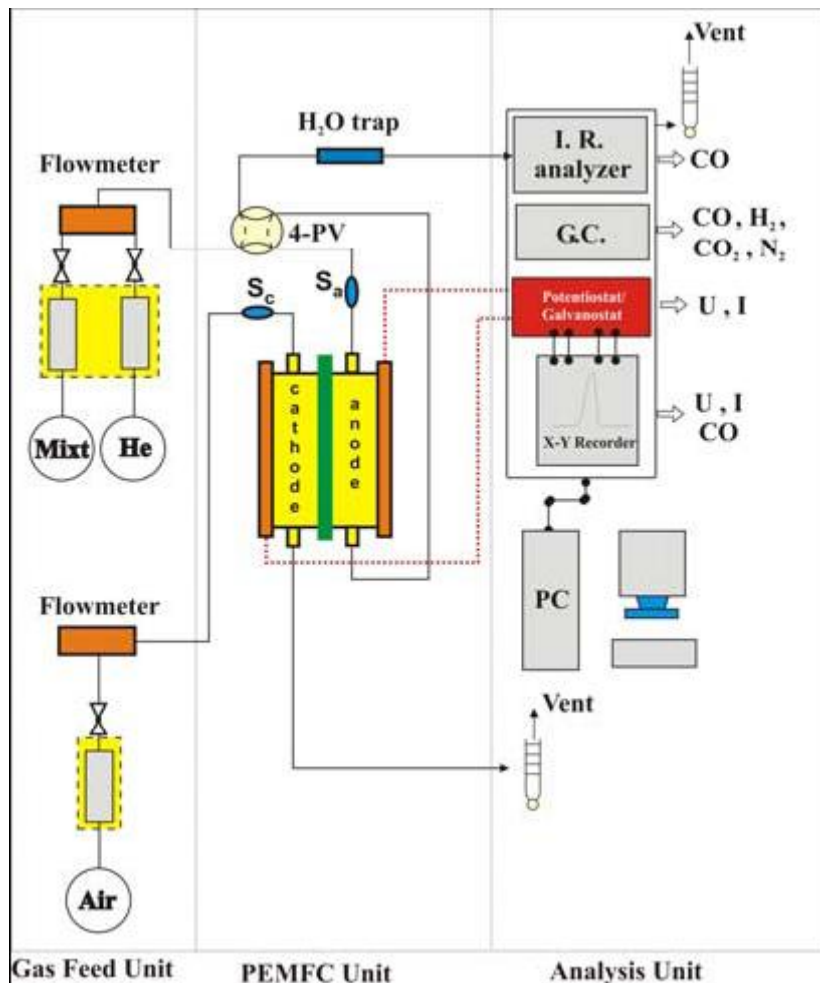
7. Σύγκριση με την απόδοση της κυψελίδας με τον εκάστοτε καλύτερο δοκιμασμένο ανοδικό ηλεκτροκαταλύτη.

8. Τελική εκτίμηση καταλληλότητας και δυνατότητα του δοκιμαζόμενου υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :

Πρότυπη κυψέλη καυσίμου (PEM) τριοδικής λειτουργίας

Στόχος της συγκεκριμένης υποενοότητας που σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα του προγράμματος ολοκληρώθηκε το Νοέμβριο του 2007 ήταν η κατασκευή και λειτουργία κυψέλης καυσίμου χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας, πρωτονιακής μεμβράνης (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEM FC) με δυνατότητα τριοδικής λειτουργίας σύμφωνα με την τεχνογνωσία που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Χημικών Διεργασιών και Ηλεκτροχημείας (ΕΧΔΗ) του Πανεπιστημίου Πατρών.



Σχήμα 14. Η πειραματική διάταξη



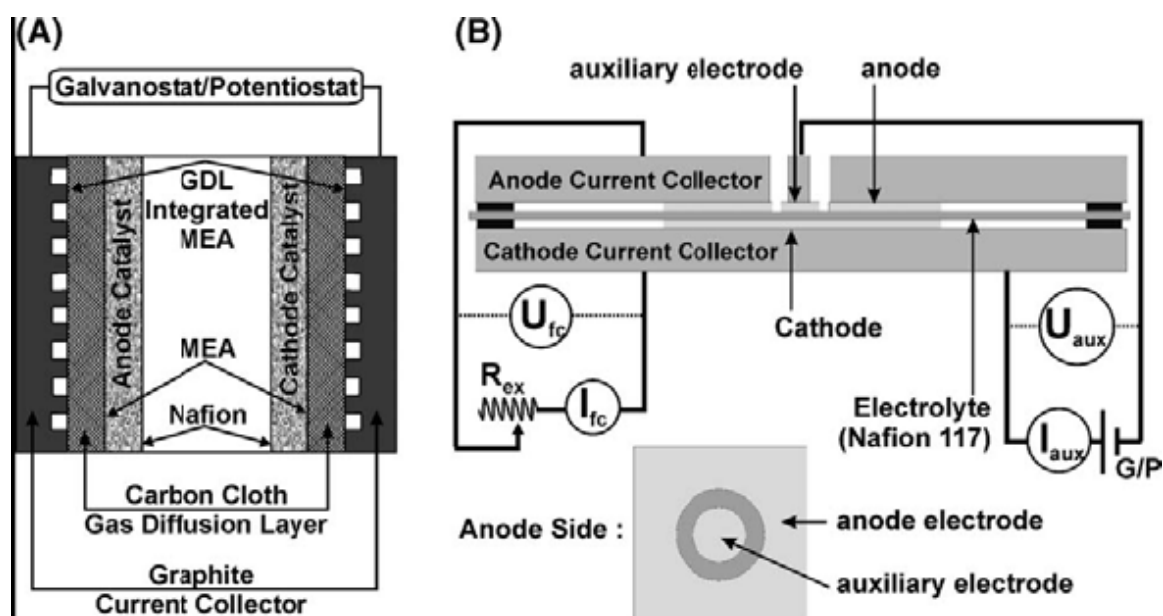
Επίσης στόχος ήταν και η διερεύνηση όλων των τεχνικών προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιμάκωση μεγέθους των κυψελών καυσίμου τριοδικής λειτουργίας. Η κατασκευή κυψελίδων καυσίμου πολυμερικής μεμβράνης αποτελεί έναν από τους ερευνητικούς στόχους πολλών επιστημονικών ομάδων κυρίως λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας τους. Τα μέρη του συγκεκριμένου τύπου κυψελίδας (άνοδος, κάθοδος, ιοντικός ηλεκτρολύτης) είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που αναφέρθηκαν στην παράγραφο που αφορούσε τις κυψελίδες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη ενώ οι θερμοκρασίες λειτουργίας καθώς και οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 1 προηγούμενης παραγράφου. Το ενδιαφέρον τέτοιων συστημάτων δε θα ήταν εφικτό χωρίς την ύπαρξη κατάλληλων ηλεκτρολυτών που να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ιοντική αγωγιμότητα ακόμα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου ηλεκτρολύτη είναι το πολυμερές του υπερφθοριοσουλφονικού οξέος, γνωστό εμπορικά με την ονομασία Nafion, το οποίο εμφανίζει μεγάλη αγωγιμότητα πρωτονίων σε χαμηλές θερμοκρασίες (<100οC). Η επιτυχημένη χρήση κυψελίδων

καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα τη δραματική μείωση του κόστους λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ρεύματος. Επιπλέον η εφαρμογή της τριοδικής λειτουργίας σε ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να μειώσει περαιτέρω το κόστος λειτουργίας μιας και θα αυξηθεί η απόδοσή του σε δεδομένες συνθήκες λειτουργίας. Κατά τη τριοδική λειτουργία μιας κυψελίδας καυσίμου, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους γίνεται χρήση ενός τρίτου ηλεκτροδίου που έχει ως στόχο την επιβολή ενός σταθερού ρεύματος μεταξύ του ανοδικού και του βοηθητικού ηλεκτροδίου με συνέπεια τη λειτουργία της κυψελίδας σε μεγαλύτερα αντιστρεπτά δυναμικά απ' ό,τι προβλέπονται από τη συμβατική λειτουργία. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της τελικής απόδοσης της κυψελίδας. Η κατασκευή της κυψελίδας καυσίμου τύπου PEM καθώς και όλης της πειραματικής διάταξης (που περιλαμβάνει τα περιφερειακά όργανα ελέγχου και καταγραφής) έχει ολοκληρωθεί και ελεγχθεί για την καλή λειτουργία της. Η όλη διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 14 και αποτελείται από τρία τμήματα: το τμήμα της τροφοδοσίας των αντιδρώντων (Α), το τμήμα του αντιδραστήρα (Β) και το τμήμα της ανάλυσης των προϊόντων (Γ).

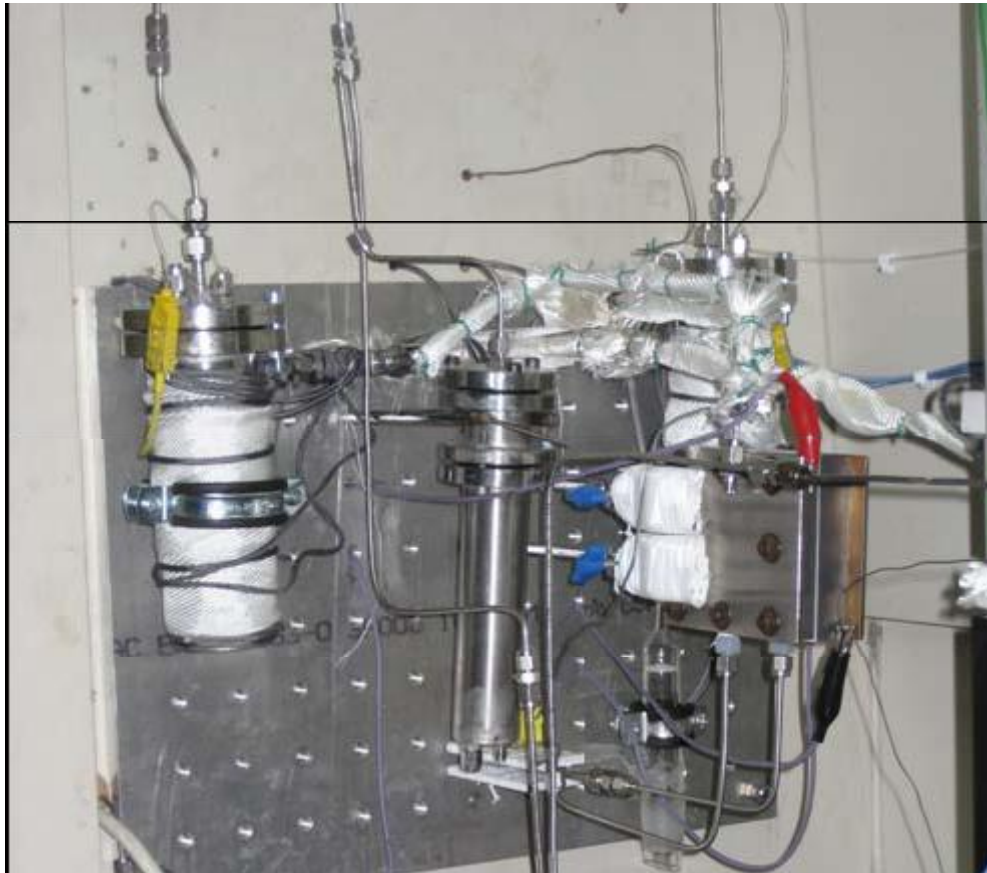
A. Κυψελίδα καυσίμου πρωτονιακής μεμβράνης

Η κυψελίδα καυσίμου πρωτονιακής μεμβράνης που κατασκευάστηκε παρουσιάζεται αναλυτικά στα Σχήματα 15 και 16. Στο Σχήμα 15(A) φαίνεται μια απεικόνιση της γεωμετρίας της κυψελίδας και του βασικού ηλεκτρικού κυκλώματος. Τα βασικά μέρη της κυψελίδας είναι ο πολυμερικός ηλεκτρολύτης (Nafion) ο οποίος είναι αγωγός πρωτονίων και τα δύο ηλεκτρόδια, άνοδος και κάθοδος. Η τροφοδοσία του καυσίμου (συνήθως υδρογόνο) γίνεται και σε αυτή την περίπτωση στην άνοδο, της οποίας οι ηλεκτροκαταλυτικές ιδιότητες είναι τέτοιες που να διασφαλίζουν τη παραγωγή (μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης) ατομικού υδρογόνου το οποίο μεταφέρεται στη πλευρά της καθόδου μέσω της πολυμερικής μεμβράνης. Στην κάθοδο, η οποία τροφοδοτείται συνήθως με αέρα λαμβάνει χώρα η αναγωγή του οξυγόνου προς σχηματισμό νερού. Για την καλύτερη διάχυση των αερίων στα δύο ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ένα υπόστρωμα υφάσματος άνθρακα πάνω στο οποίο είναι εναποτεθειμένα τα δύο ηλεκτρόδια (Carbon Cloth Gas Diffusion layer).

Επίσης η συλλογή του ρεύματος γίνεται μέσω δυο πλακών γραφίτη καθεμιά από τις οποίες βρίσκεται σε επαφή με ένα ηλεκτρόδιο (ανοδικό και καθοδικό αντίστοιχα). Η δυνατότητα τριοδικής λειτουργίας της κυψελίδας καυσίμου (η οποία αποτελεί και καινοτομία του ΕΧΔΗ) έγκειται στην εισαγωγή ενός τρίτου βοηθητικού ηλεκτροδίου στο κέντρο της μεριά της ανόδου (το οποίο βέβαια δεν βρίσκεται σε ηλεκτρική επαφή με το ανοδικό ηλεκτρόδιο). Στο Σχήμα 15(B) παρουσιάζεται μια τομή της κυψελίδας καυσίμου όπου φαίνεται σχηματικά η θέση του βοηθητικού ηλεκτροδίου σε σχέση με τα άλλα δυο ηλεκτρόδια. Μεταξύ του βοηθητικού ηλεκτροδίου και του καθοδικού είναι δυνατό να εφαρμοστούν διάφορα ρεύματα όπως εξηγήθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους προκειμένου να οδηγηθεί η κυψελίδα καυσίμου σε λειτουργία υψηλότερων αντιστρεπτών δυναμικών και να διερευνηθεί η δυνατότητα βελτίωση της παρερχομένης ισχύος.



Σχήμα 15: Σχηματική απεικόνιση της γεωμετρίας της κυψελίδας καυσίμου και του βασικού ηλεκτρικού κυκλώματος (A). Τομή της κυψελίδας και απεικόνιση της θέσης των τριών ηλεκτροδίων (ανοδικό, καθοδικό και βοηθητικό) (B).



Σχήμα 16: Αντιδραστήρας πολυμερικής μεμβράνης συνδεδεμένος με τους θερμοστατούμενους κορεστές και την παγίδα δέσμευσης υδρατμών.

Λόγω της ανάγκης για ενυδάτωση της πολυμερικής μεμβράνης (προκειμένου να διασφαλιστεί η καλή της λειτουργία και η πρωτονιακή της αγωγιμότητα) η τροφοδοσία τόσο της ανόδου όσο και της καθόδου περνά μέσα από θερμοστατούμενους κορεστές. Από την άλλη μεριά για να μη δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα στο σύστημα ανάλυσης, λόγω συμπύκνωσης υδρατμών, τα ρεύματα εξόδου εισέρχονται σε μια παγίδα από SiO_2 , για την απομάκρυνση της υγρασίας (Σχήμα 16). Περισσότερα δεδομένα και λεπτομέρειες για την παρασκευή και χαρακτηρισμό των ηλεκτροκαταλυτών θα γίνει σε επόμενη υποενότητα του έργου μιας και το παραπάνω κομμάτι αποτελεί κυρίως δραστηριότητα της υποενότητας 15 που βρίσκεται σε εξέλιξη και λήγει χρονικά στις 31/5/2007.

7.1.1

B. Τμήμα ανάλυσης

Για το τμήμα της ανάλυσης έχουν αγοραστεί στα πλαίσια του προγράμματος οι παρακάτω συσκευές:

I. Ένας αναλυτής υπερύθρου (Fuji Electric's Infrared Gas Analyzer ZRJ-4) για την ανίχνευση των οξειδίων του άνθρακα, CO και CO₂ (Σχήμα 17). Ο αναλυτής υπερύθρου συμβάλλει στην βελτίωση εξαγωγής δεδομένων από το σύστημα μέσω της συνεχούς παρακολούθησης της κατάστασης της σύστασης των προϊόντων της ανόδου την οποία διαταράσσουμε με την επιβολή ηλεκτρολυτικών ρευμάτων (τριοδική λειτουργία). Η ανάγκη για καταγραφή των προϊόντων της ανόδου είναι δεδομένη κυρίως όταν χρησιμοποιούμε εναλλακτικά του υδρογόνου καύσιμα (π.χ. CH₄, αλκοόλες κ.α.) ή ακόμα και όταν χρησιμοποιούμε την κυψελίδα ως αντιδραστήρα για την παραγωγή χρήσιμων χημικών προϊόντων. Η ταυτόχρονη χρήση των κυψελίδων ως μονάδες παραγωγής ρεύματος και ως αντιδραστήρες είναι γνωστή στη βιβλιογραφία ως διεργασία χημικής συμπαραγωγής (chemical cogeneration).



Σχήμα 17: Αναλυτής υπερύθρου μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα

II. Ένα καταγραφικό YOKOGAWA LR 4220E, τεσσάρων καναλιών (Σχήμα 18). Το καταγραφικό μας δίνει την δυνατότητα για ταυτόχρονη

παρακολούθηση των σημάτων τα οποία εξέρχονται από τον αναλυτή αλλά και από το γαλβανοστάτη (κατά την επιβολή του ρεύματος/δυναμικού).



Σχήμα 18: Καταγραφικό τεσσάρων καναλιών

III. Έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για την ηλεκτρονική λήψη, ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων (Σχήμα 19).



Σχήμα 19: Ηλεκτρονικός υπολογιστής

7.1.2

Γ. Τμήμα τροφοδοσίας αερίων

Το τμήμα της τροφοδοσίας περιλαμβάνει τη τροφοδοσία της ανόδου και της καθόδου και πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ροόμετρα αναλογικού τύπου σε συνδυασμό με ηλεκτρονικά ροόμετρα που προϋπήρχαν στο εργαστήριο (Σχήμα 20). Οι τροφοδοσίες τόσο της ανόδου όσο και της καθόδου έχουν την δυνατότητα να ενυδατώνονται συνεχώς (για τη διατήρηση της πολυμερικής μεμβράνης σε άριστη κατάσταση) με θερμοστατούμενους κορεστές όπως παρουσιάστηκε και στο Σχήμα 16.



Σχήμα 20: Ρυθμιστές ροής για τη τροφοδοσία της κυψελίδας καυσίμου τύπου PEM

7.1.3

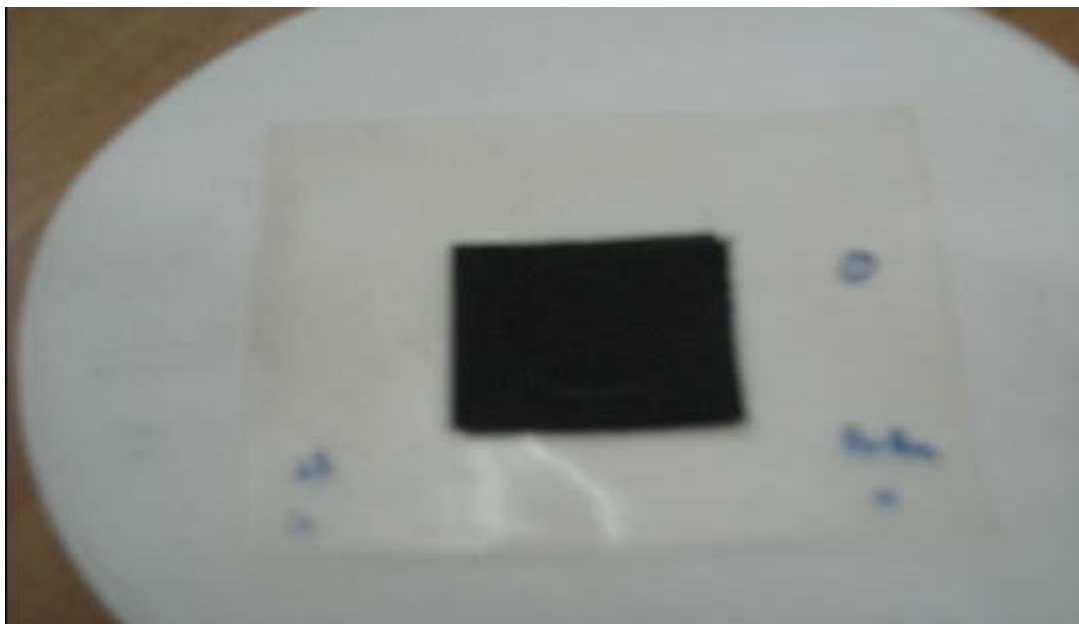
Μονάδα παρασκευής Ηλεκτροκαταλυτών

Ένας σημαντικός στόχος που επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της παρούσας υποενοότητας του έργου ήταν η ολοκλήρωση μια μονάδας παρασκευής ηλεκτροκαταλυτικών συστημάτων για χρήση σε κυψελίδες καυσίμου πρωτονιακού αγωγού. Η συγκόλληση της ανόδου και της καθόδου (ύφασμα άνθρακα στο οποίο έχει εναποτεθεί καταλύτης) με την ηλεκτρολυτική μεμβράνη παίζει σπουδαίο ρόλο στην απόδοση ενός κελιού καυσίμου. Η κατασκευή και προμήθεια του συστήματος άνοδος-μεμβράνη-κάθοδος γινόταν μέχρι σήμερα (από το ΕΧΔΗ αλλά και από τη πλειονότητα των ερευνητικών εργαστηρίων στην Ελλάδα) έτοιμο από εταιρείες του εξωτερικού. Για τον λόγο αυτό αγοράστηκε στα πλαίσια του προγράμματος μια σύγχρονη θερμαινόμενη πρέσα (Σχήμα 21) με δυνατότητα ρύθμισης της επιβαλλόμενης πίεσης (μεγάλου εύρους), της θερμοκρασίας των δύο πλακών που ασκούν την πίεση αυτή καθώς και του ρυθμού ανόδου της θερμοκρασίας. Ο εξοπλισμός του εργαστηρίου με ένα τέτοιο όργανο και η χρήση του, μας έδωσε τη δυνατότητα παρασκευής μεμβρανών (Σχήμα 22) με απόδοση παραπλήσια των εμπορικών.

Η παραπάνω μονάδα παραγωγής ηλεκτροκαταλυτών είναι από τις λίγες αν όχι η μοναδική με τις συγκεκριμένες δυνατότητες στον ελλαδικό χώρο. Το γεγονός αυτό αναβαθμίζει σημαντικά την υποδομή του εργαστηρίου και δίνει τη δυνατότητα για παροχή υπηρεσιών και συνεργασίες με νέους εξωτερικούς και εσωτερικούς φορείς. Στο Σχήμα 23 φαίνεται το σχέδιο σύμφωνα με το οποίο παρασκευάζεται τόσο η κυψελίδα καυσίμου όσο και τα τρία ηλεκτρόδια.



Σχήμα 21: Σύγχρονη θερμοστατούμενη πρέσα με ηλεκτρονικό έλεγχο της θερμοκρασία και δυνατότητα εφαρμογή μικρών και μεγάλων πιέσεων



Σχήμα 22: Μεμβράνη ανόδου-ηλεκτρολύτη-καθόδου

7.1.4

Αναβαθμισμένη υπηρεσία: Δυνατότητα καλύτερης αξιολόγησης μονάδων SOFC

Στόχος της συγκεκριμένης υποενότητας ήταν η χρήση των αποτελεσμάτων των μελετών της ενότητας 13 και του εξαχθέντος πρωτοκόλλου αξιολόγησης που θα είχε αναπτυχθεί, σε συνδυασμό με την ολοκλήρωση (μέσω της χρηματοδότησης επιμέρους τμημάτων) και χρήση πρόσθετων τεχνικών αξιολόγησης (που σε έναν σημαντικό βαθμό προϋπήρχαν ως μη ολοκληρωμένη υποδομή στο ΕΧΔΗ) προκειμένου να βελτιωθεί η δυνατότητα του εργαστηρίου για καλύτερη αξιολόγηση μονάδων SOFC. Το πρωτόκολλο αξιολόγησης ηλεκτροκαταλυτικών συστημάτων που προέκυψε βάσει των αποτελεσμάτων της ενότητας 13 αναπτύχθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

Όσον αφορά τις τεχνικές που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση κυψελίδων καυσίμου και ειδικά για τη μελέτη και το χαρακτηρισμό ηλεκτρολυτικών πλακών (συστημάτων SOFC) αναλύονται εκτενώς παρακάτω. Το μεγαλύτερο μέρος της υλικοτεχνικής υποδομής (συσκευές, όργανα μέτρησης και ελέγχου κ.λ.π.) που απαιτείται για την εφαρμογή των τεχνικών αξιολόγησης (που θα αναφερθούν) προϋπήρχε στο ΕΧΔΗ, με αποτέλεσμα η περαιτέρω οικονομική ενίσχυση του εργαστηρίου από το συγκεκριμένο πρόγραμμα να δώσει τη δυνατότητα ολοκλήρωσής και χρήσης τους προς το σκοπό που αναφέρθηκε. Πλέον, οι τεχνικές που θα αναπτυχθούν στις επόμενες παραγράφους προσφέρονται ως αναβαθμισμένη υπηρεσία από το ΕΧΔΗ προς εξωτερικούς φορείς και χρήστες και αναβαθμίζουν σημαντικά την επαφή και σύνδεση του εργαστηρίου τόσο με βιομηχανικούς υποψήφιους συνεργάτες όσο και με άλλα εργαστήρια και ινστιτούτα.

7.1.5

1. Αξιολόγηση με χρήση Θερμοπρογραμματιζόμενης Εκρόφησης (Αναβαθμισμένη Υπηρεσία)

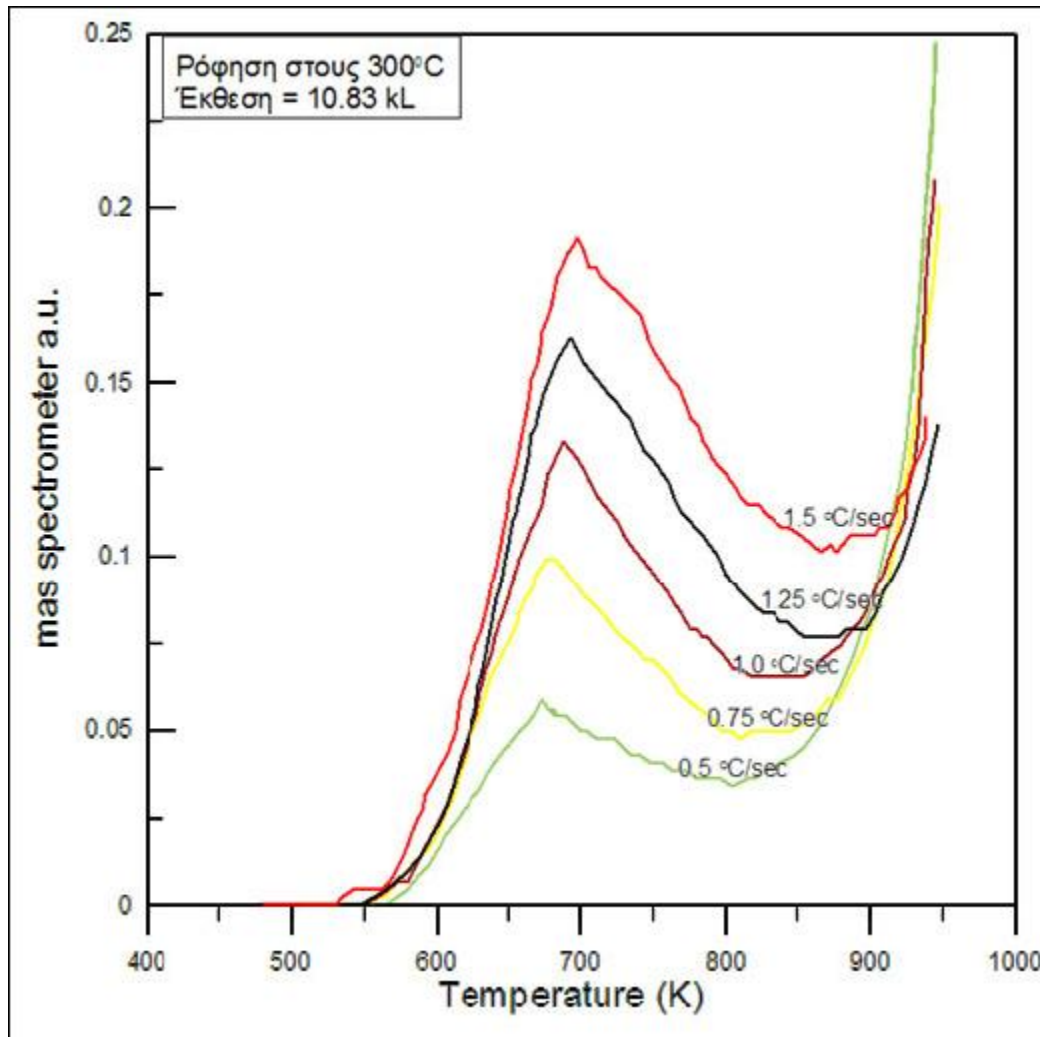
Η θερμοπρογραμματιζόμενη εκρόφηση (Temperature Programmed Desorption (TPD) ή Thermal Programmed Desorption ή Flash Desorption) είναι μια απλή τεχνική για τη μελέτη της εκρόφησης ή/και της αντίδρασης ροφημένων αερίων σε μεταλλικές επιφάνειες και υποστηριγμένους καταλύτες. Η τεχνική της θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης, φαίνεται να είναι η απλούστερη μέθοδος προκειμένου να μετρήσει κανείς ενέργειες χημικών δεσμών, να πραγματοποιήσει θερμοδομετρικές μετρήσεις καθώς και να υπολογίσει θερμοότητες ρόφησης και εκρόφησης υπό σταθερή κάλυψη.

Επιπλέον μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες που αφορούν την κινητική της εκρόφησης, όπως για παράδειγμα η τάξη του ρυθμού εκρόφησης. Όταν είναι πειραματικά εφικτό, η τεχνική της θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης μπορεί να παρέχει και ποσοτικά δεδομένα για την ποσότητα των ροφημένων ειδών πάνω στην καταλυτική επιφάνεια. Πειραματικά, μετά τη ρόφηση ενός αερίου σε μια δεδομένη θερμοκρασία, το δείγμα θερμαίνεται με γραμμικό ρυθμό ενώ παράλληλα καταγράφεται η πίεση του θαλάμου μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η εκρόφηση. Εναλλακτικά, αντί του σήματος της πίεσης είναι δυνατό να καταγράφεται το ηλεκτρικό σήμα ενός φασματογράφου μάζας (στο εργαστήριο μας είναι διαθέσιμος ένας φασματογράφος μάζας Balzers QMG 420), όταν ο θάλαμος που χρησιμοποιείται είναι ένας θάλαμος κενού.

Όσον αφορά τη χρήση της για το χαρακτηρισμό ηλεκτροκαταλυτικών πλακών SOFC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη ρόφηση του καυσίμου ή του οξυγόνου στο ηλεκτροκαταλυτικό ηλεκτρόδιο, το σθένος του δεσμού αυτού (που θα είναι ενδεικτικό για το πόσο εύκολα μπορεί να αντιδράσει ή όχι), τη θερμική αντοχή και σταθερότητα του υλικού κ.α. Η δυνατότητα για διεξαγωγή πειραμάτων σε συνθήκες υπερυψηλού κενού (πίεση 10⁻¹⁰ mbar) επιτεύχθηκε με την αγορά τουρμπομορικής αντλίας στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος. Η όλη πειραματική διάταξη της συγκεκριμένης τεχνικής παρουσιάζεται στο Σχήμα 23.



Σχήμα 23: Πειραματική διάταξη για μελέτη ηλεκτροκαταλυτικών συστημάτων με χρήση της τεχνικής της θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης σε συνθήκες υπερψηλού κενού.



Σχήμα 24: Φάσματα θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης σε κεραμομεταλλική άνοδο Ni/YSZ κελιού SOFC.

Χαρακτηριστικά φάσματα που ελήφθησαν με ηλεκτροκαταλυτικό στοιχείο Ni-YSZ (που χρησιμοποιείται ως άνοδος σε κυψελίδες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη, SOFC) και χρήση της τεχνικής της θερμοπρογραμματιζόμενης εκρόφησης φαίνονται στο Σχήμα 24. Παρατηρούμε ότι μετά από έκθεση του δείγματος σε αέρια ατμόσφαιρα οξυγόνου και εν συνεχεία γραμμική θέρμανση μέχρι τους 700°C προκύπτει ένα χαρακτηριστικό φάσμα εκρόφησης οξυγόνου (με κορυφή εκρόφησης στους 340°C περίπου) το οποίο είναι ενδεικτικό για την ύπαρξη ατομικά ροφημένων ειδών στην ηλεκτροκαταλυτική επιφάνεια. Με διαφοροποίηση του ρυθμού θέρμανσης παίρνουμε μια ομάδα φασμάτων (Σχήμα 24), τα οποία αν τα επεξεργαστούμε (μέθοδος Redhead ή μέθοδος χαμηλών καλύψεων) μπορούμε να

προσδιορίσουμε την ενέργεια εκρόφησης του ροφημένου οξυγόνου, η οποία συνδέεται άμεσα με το σθένος του δεσμού ρόφησης και κατά συνέπεια με τη δραστικότητα του συγκεκριμένου ροφημένου είδους.

2. Εναπόθεση μεταλλικών υμενίων με εξάχνωση

Η παρασκευή των ηλεκτροκαταλυτών που θα χρησιμοποιηθούν σε κυψελίδες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη είναι ένα από τα σημαντικότερα θέματα. Μέχρι σήμερα η εναπόθεση μεταλλικών υμενίων σε στερεούς ηλεκτρολύτες (όσον αφορά το ΕΧΔΗ) γινόταν με χρήση οργανομεταλλικών διαλυμάτων και θερμική επεξεργασία. Αυτό είχε ως συνέπεια τόσο την ανομοιόμορφη κατανομή του μετάλλου πάνω στην επιφάνεια του στερεού ηλεκτρολύτη όσο και την πλήρη αδυναμία για έλεγχο της ποσότητας και του πάχους του καταλυτικού υμενίου. Προκειμένου να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα απαιτείται η εναπόθεση του μεταλλικού ηλεκτροδίου στο στερεό ηλεκτρολύτη με άλλες μεθόδους, η καλύτερη εκ των οποίων (σύμφωνα με τη βιβλιογραφία) είναι η εναπόθεση με εξάχνωση (ή αλλιώς sputtering). Η μη ύπαρξη ολοκληρωμένης διάταξης που θα επέτρεπε τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνική για την παρασκευή ηλεκτροκαταλυτών είχε ως συνέπεια τη δαπάνη μεγάλων ποσών χρημάτων σε εργαστήρια του εξωτερικού που παρείχαν αυτή τη δυνατότητα. Με τους πόρους του προγράμματος ΑΚΜΩΝ αγοράστηκαν τμήματα των οργάνων από πειραματική διάταξη στην οποία εφαρμόζεται αυτή η τεχνική. Το περιορισμένο ποσό που μπορούσε να διατεθεί από τα κονδύλια του προγράμματος δεν επέτρεπε την εξολοκλήρου κάλυψη της απαιτούμενης δαπάνης των οργάνων. Για το λόγο αυτό η ολοκλήρωση της αγοράς και του υπόλοιπου κόστους της εγκατάστασης της συσκευής πραγματοποιήθηκε και από πόρους άλλων ερευνητικών προγραμμάτων.





Σχήμα 25: Πειραματική διάταξη εναπόθεσης μεταλλικών ηλεκτροδίων με τη μέθοδο της εξάχνωσης (*sputtering*) σε στερεά υποστρώματα.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι πλέον το ΕΧΔΗ διαθέτει μια ολοκληρωμένη διάταξη εναπόθεσης μεταλλικών και διμεταλλικών υμενίων πάνω σε οτιδήποτε είδους στερεά υποστρώματα (π.χ. στερεούς ηλεκτρολύτες), η οποία παρουσιάζεται σε φωτογραφία στο Σχήμα 25. Η συσκευή και η τεχνική αναβαθμίζει σημαντικά την υποδομή του ΕΧΔΗ (μιας και είναι από τα ελάχιστα στην Ελλάδα εργαστήρια που διαθέτουν τη συγκεκριμένη τεχνική) και αποτελεί μια από τις αναβαθμισμένες υπηρεσίες που μπορεί να παράσχει προς κάθε ενδιαφερόμενο.

3. Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σήραγγας (Αναβαθμισμένη Υπηρεσία)

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σήραγγας (Scanning Tunneling Microscopy, STM) είναι μια επιφανειακή τεχνική η χρήση της οποίας επιτρέπει τη λήψη εικόνας από επιφάνειες αγώγιμων υλικών σε ατομική κλίμακα. Οι βασικές διαφορές του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σήραγγας από τα άλλα μικροσκόπια είναι ότι δεν απαιτεί τη χρήση φακών, ειδικής ακτινοβολίας ή πηγών ηλεκτρονίων. Αντίθετα τα ήδη υπάρχοντα δεσμευμένα ηλεκτρόνια στο υπό εξέταση δείγμα χρησιμεύουν ως αποκλειστική πηγή ακτινοβολία. Η ανακάλυψή της θεωρείται ορόσημο στην επιστήμη επιφανειών και η εφαρμογή της ακόμα και σε συνθήκες περιβάλλοντος της δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τη μελέτη της μοριακής δομής ενός ηλεκτροκαταλύτη κυψελίδας SOFC μιας και με τη χρήση της μπορούμε να

επιτύχουμε μεγέθυνση πάνω από 100 εκατομμύρια φορές.

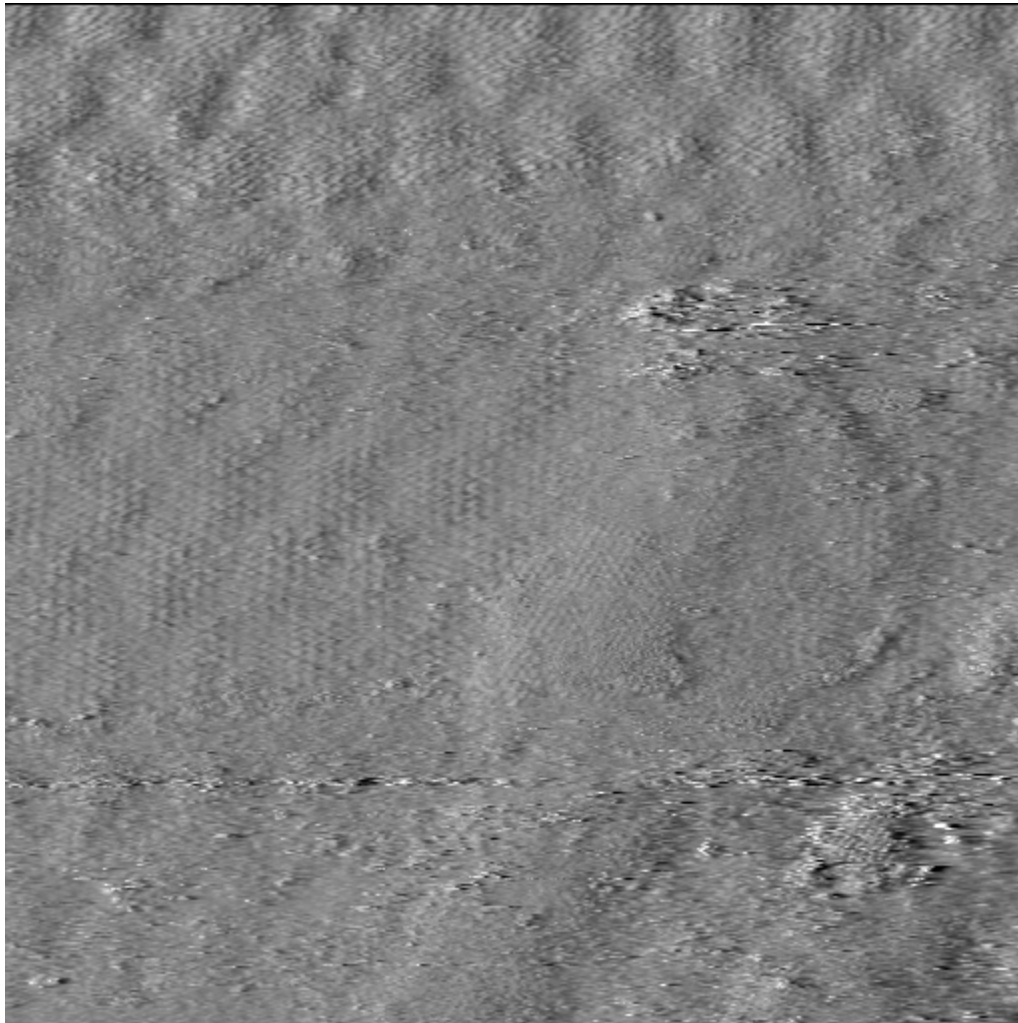


Σχήμα 26: Φωτογραφία του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σήραγγας

Από την κβαντομηχανική είναι γνωστό ότι ένα σωματίδιο (για παράδειγμα το ηλεκτρόνιο), το οποίο περιγράφεται από μία κυματοσυνάρτηση, έχει πεπερασμένη πιθανότητα να εισέλθει σε μία απαγορευμένη από την κλασική μηχανική περιοχή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο σήραγγας. Συνεπώς, το σωματίδιο μπορεί να περάσει διαμέσου ενός φράγματος δυναμικού, το οποίο διαχωρίζει δύο “κλασικά” επιτρεπτές περιοχές. Η πιθανότητα να συμβεί αυτό το πέρασμα βρέθηκε ότι εξαρτάται εκθετικά από το πλάτος του φράγματος του δυναμικού. Το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σήραγγας εκμεταλλεύεται το παραπάνω φαινόμενο με τον εξής τρόπο: μία πολύ μυτερή μεταλλική ακίδα τοποθετείται σε απόσταση μερικών angstroms κοντά στην επιφάνεια ενός αγώγιμου δείγματος συμπεριφερόμενη σαν “τοπικός ανιχνευτής” (local probe), καθώς συμβαίνει σημαντική αλληλοεπικάλυψη των

ηλεκτρονιακών κυματοσυναρτήσεων. Με την εφαρμογή μιας τάσης πόλωσης (τυπικά από 1mV ως 4V) δημιουργείται κάποιο ρεύμα σήραγγας (τυπικά από 0.1nA ως 10nA) που ρέει από τις κατειλημμένες ηλεκτρονιακές στάθμες κοντά στο επίπεδο Fermi του ενός ηλεκτροδίου προς τις μη κατειλημμένες ηλεκτρονιακές στάθμες του άλλου ηλεκτροδίου. Με την χρήση ενός συστήματος πιεζοηλεκτρικού οδηγού κι ενός βρόγχου ανάδρασης, ελέγχεται με ακρίβεια η μετακίνηση της ακίδας και καταγράφεται ένας χάρτης της τοπογραφίας της επιφάνειας του δείγματος. Στο Σχήμα 26 φαίνεται φωτογραφία του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο στο εργαστήριο Χημικών Διεργασιών και Ηλεκτροχημείας.

Μια χαρακτηριστική εικόνα της τοπογραφίας ενός μονοκρυστάλλου Pt(111) εναποτεθειμένου σε YSZ (ο συνήθης χρησιμοποιούμενος στερεός ηλεκτρολύτης των κυψελίδων καυσίμου τύπου SOFC) φαίνεται στο Σχήμα 27, μετά από έκθεσή σε ατμόσφαιρα οξυγόνου (είτε προερχόμενα από την αέρια φάση είτε προερχόμενα από το στερεό ηλεκτρολύτη). Η επεξεργασία (ανάλυση Fourier) των τριών διαφορετικών περιοχών της εικόνας (A, B και Γ) σε συνδυασμό με βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων μας δίνει τη δομή τόσο ατόμων του μετάλλου (περιοχή Γ) όσο και τις δομές των ροφημένων (σ' αυτή την περίπτωση ατομικού οξυγόνου) στην επιφάνεια ειδών (περιοχή A: οξυγόνο 12x12 και περιοχή B: οξυγόνο 2x2)



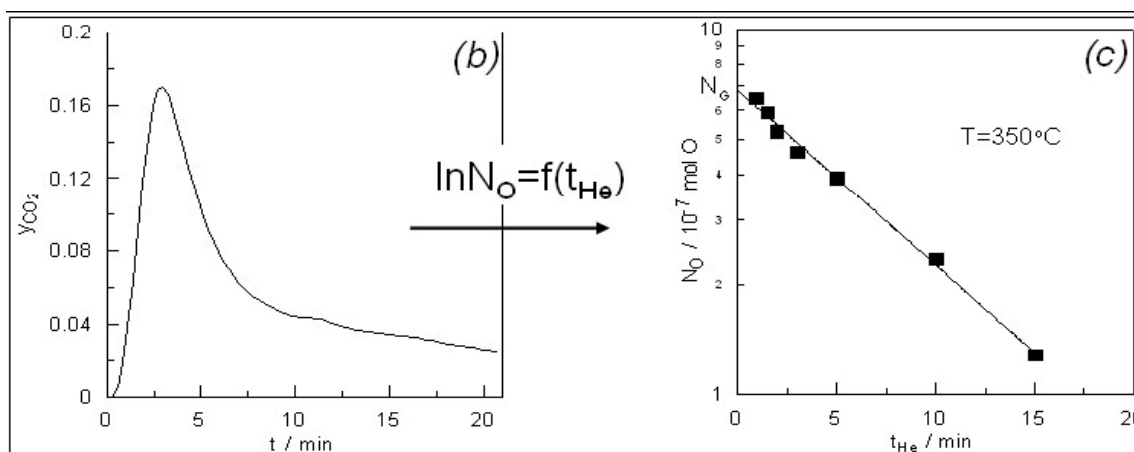
Σχήμα 27: Εικόνα STM της τοπογραφίας της επιφάνειας μονοκρυστάλλου Pt(111).

4. Χημική Τιτλοδότηση Ηλεκτροκαταλυτών (Αναβαθμισμένη Υπηρεσία)

Η τεχνική της Χημικής Τιτλοδότησης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ενεργού επιφάνειας ενός καταλύτη. Είναι μία πειραματικά πολύ απλή τεχνική και μπορεί να παρέχει πληροφορίες, εκτός από την ενεργό επιφάνεια του καταλύτη, και για άλλα μεγέθη όπως η ενέργεια ενεργοποίησης της εκρόφησης του υπό μελέτη αερίου από τον καταλύτη. Η Χημική Τιτλοδότηση χρησιμοποιείται εκτενώς για τη μέτρηση της ενεργού επιφάνειας καταλυτών-ηλεκτροδίων σε ηλεκτροχημικά στοιχεία στερεού ηλεκτρολύτη. Αρχικά ο καταλύτης εκτίθεται στο υπό μελέτη αέριο (π.χ. οξυγόνο) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έπειτα παρέχεται για πολλαπλάσιο χρονικό διάστημα ένα αδρανές αέριο στον αντιδραστήρα, έτσι ώστε το περιβάλλον να καθαριστεί πλήρως από το προηγούμενο αέριο. Στη συνέχεια παρέχεται αέριο που να αντιδρά με το ήδη ροφημένα άτομα ή μόρια αέριο (π.χ. CO ή C₂H₄ που καταναλώνει

το ροφημένο O). Η συγκέντρωση του προϊόντος της αντίδρασης καταγράφεται με τη βοήθεια κατάλληλου αναλυτή στην έξοδο. Από το εμβαδό της κορυφής καταγραφής προκύπτει το ποσό του αερίου που αντέδρασε.

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία για διάφορους χρόνους έκθεσης σε αδρανές αέριο και μετράμε κάθε φορά το ποσό του ροφημένου στην επιφάνεια οξυγόνου. Αν ο ρυθμός εκρόφησης είναι πρώτης τάξης ως προς το ροφημένο οξυγόνο, με κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από το διαφορετικό χρόνο παροχής αδρανούς αερίου υπολογίζεται το ποσό (σε γραμμοάτομα) του ενεργού οξυγόνου που μπορεί να ροφηθεί στην επιφάνεια του καταλύτη (Σχήμα 28). Η ποσότητα αυτή είναι ενδεικτική για τον αριθμό των ενεργών κέντρων της ηλεκτροκαταλυτικής επιφάνειας ή αλλιώς για την ενεργό επιφάνεια του υλικού. Η τεχνική της χημικής τιτλοδότησης και συγκεκριμένα ο αντιδραστήρας μέσα στον οποίο θα λάβει χώρα η διαδικασία πρέπει να τοποθετηθεί σε μια ολοκληρωμένη πειραματική διάταξη που να διαθέτει σύστημα τροφοδοσίας, ελέγχου, καταγραφής και ανάλυσης αερίων. Η πειραματική διάταξη που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ΑΚΜΩΝ και αφορά την κυψελίδα καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάλλιστα για τη συγκεκριμένη τεχνική (αντικαθιστώντας την κυψελίδα καυσίμου με ένα χημικό αντιδραστήρα) και να αποτελεί μια αναβαθμισμένη υπηρεσία του ΕΧΔΗ, μιας και θα προσφέρει στους εξωτερικούς χρήστες μια αξιόπιστη τεχνική μέτρησης ενεργούς επιφάνειας ηλεκτροκαταλυτικών ηλεκτροδίων για κυψελίδες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη.



Σχήμα 28: Φάσμα παραγωγής CO₂ κατά τη διαδικασία της χημικής τιτλοδότησης (αριστερά). Ανάλυση των ολοκληρωμένων φασμάτων CO₂ που προκύπτουν από επαναληπτική χημική τιτλοδότηση με χρήση διαφορετικών

χρόνων έκλυσης του αντιδραστήρα (δεξιά). Με προεκβολή της ευθείας στον άξονα (για μηδενικό χρόνο έκλυσης) υπολογίζουμε την ενεργό επιφάνεια του καταλύτη.

5. Κυκλική Βολταμετρία (Αναβαθμισμένη Υπηρεσία)

Η κυκλική βολταμετρία είναι η πιο διαδεδομένη τεχνική για την απόκτηση ποιοτικών πληροφοριών σχετικά με τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις. Παρέχει σε μικρό χρόνο σημαντικές πληροφορίες για τη θερμοδυναμική των διεργασιών οξειδωσης και αναγωγής καθώς και για την κινητική των αντιδράσεων μεταφοράς φορτίου ή των διεργασιών εκρόφησης. Η τεχνική βασίζεται σε μία διάταξη τριών ηλεκτροδίων όπου ένα δυναμικό σχετικό με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς ελέγχεται ως προς ένα ηλεκτρόδιο εργασίας, ενώ το αντίστοιχο ρεύμα ανιχνεύεται με ένα βοηθητικό ηλεκτρόδιο. Μια παρουσίαση της πειραματικής συσκευής που χρησιμοποιείται κατά τη μελέτη ηλεκτροκαταλυτών με κυκλική βολταμετρία γίνεται στη φωτογραφία του Σχήματος 29.



Σχήμα 29: Φωτογραφία από τον εργαστηριακό εξοπλισμό που απαιτείται για τη μελέτη ηλεκτροκαταλυτών με κυκλική βολταμετρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 :

ΑΡΘΡΑ ΕΦΗΜΕΡΙΔΩΝ :

Εφαρμογές καθαρών οχημάτων και καυσίμων

8.1.1

Οχήματα Κυψελών Καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου είναι μια ηλεκτροχημική συσκευή που ενώνει το υδρογόνο (H₂) και το οξυγόνο και παράγει μόνο νερό, θερμότητα και ηλεκτρισμό. Η κυψέλη καυσίμου είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που αναμένεται να προσφέρει μια καθαρή και αποδοτική πηγή ισχύος για πολλές εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών. Σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές οχημάτων συμμετέχουν σε σημαντικά ερευνητικά προγράμματα με κυψέλες καυσίμου, αλλά οι περισσότεροι πιστεύουν ότι τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου (ΟΚΚ) δεν θα έχουν ευρεία χρήση μέχρι περίπου το 2020. Τα ΟΚΚ που τροφοδοτούνται με υδρογόνο δεν παράγουν ρύπους, εκτός από ατμό, και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν μεγάλο περιβαλλοντικό όφελος.

Η οικονομική βιωσιμότητα των ΟΚΚ εξαρτάται πολύ από την μείωση του κόστους παραγωγής των κυψελών καυσίμου και από την ανάπτυξη εμπορικά βιώσιμης υποδομής ανεφοδιασμού.



Ένα ακόμη πρόγραμμα κυψελών καυσίμου με τη συμμετοχή της General Motors



30/7/2002 18:46

Φωτογραφία:

GM Πηγή: auto.in.gr. Τη συμμετοχή της στο Ιαπωνικό Δοκιμαστικό Πρόγραμμα Υδρογόνου & Κυψελών Καυσίμου (JHFC) που διευθύνεται από το υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας (METI) της χώρας ανακοίνωσε η General Motors.

Η μεγαλύτερη αυτοκινητοβιομηχανία του κόσμου λαμβάνει μέρος στο πρόγραμμα μαζί με άλλες αυτοκινητοβιομηχανίες και εταιρείες παραγωγής ενέργειας με στόχο την καλύτερη κατανόηση της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου και την πληρέστερη ενημέρωση για τη δημιουργία μιας υποδομής υδρογόνου.

Στους στόχους του προγράμματος εντάσσεται επίσης η διαπαιδαγώγηση του κοινού σχετικά με τη χρήση των κυψελών καυσίμου αλλά και του υδρογόνου γενικότερα, ως ασφαλούς και καθαρού καυσίμου. Οι συμμετέχοντες σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια του project ως βάση για τη δημιουργία κριτηρίων και κανονισμών κατάλληλων για τις κυψέλες καυσίμου και το υδρογόνο.

"Η Ιαπωνία θεωρείται πολύ σημαντική αγορά για τα οχήματα κυψελών καυσίμου" δήλωσε ο Larry Burns, αντιπρόεδρος της GM στο τμήμα Έρευνας & Ανάπτυξης & Προγραμματισμού (Research & Development & Planning). "Η GM σημειώνει μεγάλη πρόοδο στην εξέλιξη οχημάτων κυψελών καυσίμου και είμαστε πολύ χαρούμενοι που η ιαπωνική κυβέρνηση, όπως και άλλες κυβερνήσεις στην Ευρώπη και την Αμερική, αναλαμβάνει ηγετικό ρόλο σε

αυτό τον τομέα. Μία υποδομή υδρογόνου μπορεί να προκύψει νωρίτερα μέσα από τη στενή συνεργασία κατασκευαστριών, εταιρειών παραγωγής ενέργειας και κυβερνήσεων σε προγράμματα όπως το JHFC".

Η General Motors θα συμμετάσχει στο συγκεκριμένο πρόγραμμα με την τελευταία εξέλιξη του οχήματος κυψελών καυσίμου που βασίζεται στο Opel Zafira, το "HydroGen 3", ενώ θεωρεί ότι η εμπορική εκμετάλλευση των οχημάτων κυψελών καυσίμου θα αποτελέσει μία βιώσιμη επιχείρηση μέχρι τα τέλη της δεκαετίας. Εκτός πάντως από αυτή τη συμμετοχή, η GM είναι επίσης μέλος της Εταιρείας Κυψελών Καυσίμου της Καλιφόρνια (California Fuel Cell Partnership), καθώς και της Εταιρείας Καθαρής Ενέργειας (Clean Energy Partnership) που δημιουργήθηκε πρόσφατα στο Βερολίνο.

Στο Δρόμο για 'Μηδενικές Εκπομπές Ρύπων' με το GM HydroGen4

Ευρωπαϊκή έκδοση του Chevrolet Equinox Fuel Cell

Ενδιάμεση μπαταρία για βελτιωμένες οδηγικές επιδόσεις και ανάκτηση ενέργειας κατά το φρενάρισμα

Ηλεκτρικός συμπιεστής διοχετεύει αέρα στις κυψέλες καυσίμου

Με το HydroGen4, η GM παρουσιάζει την τέταρτη γενιά της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου. «Η παραγωγή ισχύος μέσω κυψελών καυσίμου με καύσιμο υδρογόνο υπογραμμίζει τη δέσμευση της General Motors να απαλλάξει το αυτοκίνητο από την ευθύνη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και να περιορίσει την εξάρτησή μας από τα ορυκτά καύσιμα» δήλωσε ο Carl-Peter Forster, Πρόεδρος της GM Europe». Το HydroGen4 αντλεί ισχύ από το πιο προηγμένο σύστημα κυψελών καυσίμου της GM και αποτελεί ένα σημαντικό ορόσημο στην προσπάθεια για μία ανταγωνιστική τεχνολογία κυψελών καυσίμου με μηδενικές εκπομπές ρύπων στο χώρο του αυτοκινήτου. Το HydroGen4 έχει εξελιχθεί σημαντικά στον τομέα της καθημερινής χρησιμότητας, της δυναμικής και της αντοχής συγκριτικά με τον προκάτοχό του».

Η εξέλιξη κυψελών καυσίμου στη GM εγκαινιάζει επίσης μία νέα εποχή οργάνωσης. «Το τμήμα έρευνας του Κέντρου Δραστηριοτήτων Κυψελών Καυσίμου - Fuel Cell Activities (FCA) με πάνω από 600 υπαλλήλους αυτή τη στιγμή είναι ενσωματωμένο στην κανονική εξέλιξη παραγωγής,

αναλαμβάνοντας κεντρικό ρόλο στα εταιρικά δρώμενα» προσθέτει ο Carl-Peter Forster. «Αυτό αποδεικνύει ότι προετοιμαζόμαστε για τη μαζική παραγωγή της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου». Πάνω από 400 μηχανικοί θα συνεχίσουν την εξέλιξη στον τομέα παραγωγής ισχύος, ενώ άλλοι 100 θα μετατεθούν στον τομέα παγκόσμιας προϊοντικής εξέλιξης για να ξεκινήσει η ενσωμάτωση των κυψελών καυσίμου σε προσεχή μοντέλα GM.

Πάνω από 100 οχήματα τέταρτης γενιάς έτοιμα για κυκλοφορία σε όλο τον κόσμο

Το GM HydroGen4 (μήκος/πλάτος/ύψος: 4796/1814/1760 mm) είναι η Ευρωπαϊκή έκδοση του Chevrolet Equinox Fuel Cell. Από το φθινόπωρο του 2007, τα πρώτα από αυτά τα πρωτότυπα οχήματα κυψελών καυσίμου – ουσιαστικά, υπολογίζεται ένας παγκόσμιος στόλος άνω των 100 οχημάτων – θα κυκλοφορήσουν στους δρόμους της Αμερικής. Αυτά θα λάβουν μέρος σε ένα εκτενές πρόγραμμα δοκιμών με την ονομασία “Project Driveway”. Τα οχήματα θα δοθούν σε πελάτες, έτσι ώστε η GM να μπορέσει να συμπεριλάβει στη μελέτη της όλους τους τομείς της χρήσης του αυτοκινήτου και τον τρόπο ανεφοδιασμού με υδρογόνο. Τα ευρήματα θα ληφθούν υπόψη στην περαιτέρω εξέλιξη. Από τα μέσα του 2008, συνολικά δέκα οχήματα HydroGen4 θα συμμετέχουν σε δοκιμές σε καθημερινή βάση, στο πλαίσιο της Κοινοπραξίας Καθαρής Ενέργειας - Clean Energy Partnership (CEP) στο Βερολίνο. Στη δεύτερη φάση του CEP, διάφοροι πελάτες, ο καθένας με το προσωπικό του οδηγικό στυλ, θα οδηγούν τα οχήματα κυψελών καυσίμου καθημερινά για να δοκιμάσουν την καθημερινή τους χρησιμότητα. Η συστοιχία κυψελών καυσίμου του HydroGen4 περιλαμβάνει 440 κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά. Ολόκληρο το σύστημα παράγει ηλεκτρική ισχύ μέχρι 93 kW. Με τη βοήθεια ενός σύγχρονου ηλεκτροκινητήρα 73 kW/100 hp, η επιτάχυνση 0 - 100 km/h ολοκληρώνεται σε 12 δευτερόλεπτα, περίπου. Η τελική ταχύτητα του FWD οχήματος πλησιάζει τα 160 km/h.

Το HydroGen4 είναι σχεδιασμένο για ένα κύκλο λειτουργικής ζωής δύο ετών/80,000 km, ενώ έχει δυνατότητα εκκίνησης και λειτουργίας σε θερμοκρασίες κάτω του μηδενός – σημαντική βελτίωση σε σχέση με τον προκάτοχό του, HydroGen3 και έξοχο χαρακτηριστικό όσον αφορά την καθημερινή χρησιμότητα των οχημάτων κυψελών καυσίμου. Η βελτίωση αυτή

είναι εφικτή χάρη σε έναν έξυπνο συνδυασμό μέτρων μεταξύ των οποίων θερμική μόνωση, διαχείριση νερού και στρατηγική λειτουργίας.

Το τετραθέσιο προσφέρει την άνεση, την ευρυχωρία και το υψηλό επίπεδο ασφάλειας των σημερινών συμβατικών αυτοκινήτων και περιλαμβάνει εμπρόςθιους αερόσακους για τον οδηγό και το συνοδηγό και πλευρικούς αερόσακους. Επίσης εφοδιάζεται με ABS, Traction Control (Έλεγχος Πρόσφυσης) και ESP.

4.2 kg υδρογόνου υπό πίεση προσφέρουν μία αυτονομία λειτουργίας μέχρι 320 km

Κατά τη διάρκεια εξέλιξης του HydroGen4, επιστήμονες και μηχανικοί από τα κέντρα κυψελών καυσίμου της GM στο Honeoye Falls (Νέα Υόρκη), Torrance (Καλιφόρνια) και Mainz-Kastel (Γερμανία) κατάφεραν να αξιοποιήσουν τον πλούτο των γνώσεων και των εμπειριών που συγκεντρώσαμε στις διεξοδικές και απαιτητικές δοκιμές του προκατόχου του, ο οποίος λανσαρίστηκε το 2002 (βλέπε αντίστοιχο κεφάλαιο). Υπήρχαν δύο εκδόσεις του HydroGen3, για παράδειγμα. Ενώ η μία έκδοση λειτουργούσε με υγρό υδρογόνο στους -253°C και μία άλλη με συμπιεσμένο υδρογόνο, πάρθηκε η απόφαση να εξεταστεί η περίπτωση του αέριου υδρογόνου. «Κύριος λόγος γι' αυτό είναι ο αναπόφευκτος βρασμός (εξάτμιση) που συμβαίνει με το υγρό υδρογόνο» εξηγεί ο Dr. Udo Winter, Διευθυντής, Δραστηριοτήτων Κυψελών Καυσίμου της GME (Fuel Cell Activities). «Ακόμα και με άριστη μόνωση, το περιεχόμενο του ρεζερβουάρ ζεσταίνεται αργά, έτσι ώστε το υγρό υδρογόνο εξατμίζεται και η πίεση στο δοχείο αυξάνεται. Μετά από μερικές ημέρες, το αέριο υδρογόνο πρέπει να απελευθερωθεί από το παρκαρισμένο αυτοκίνητο, με αποτέλεσμα απώλεια καυσίμου. Ωστόσο, με το συμπιεσμένο αέριο δεν υπάρχουν τέτοιες απώλειες εξάτμισης του καυσίμου. Το HydroGen4 έχει ένα σύστημα ρεζερβουάρ με τρία δοχεία υψηλής πίεσης 700-bar που κατασκευάζονται από συνθετικό υλικό (ανθρακονήματα), τα οποία χωράνε 4.2 kg υδρογόνου. Αυτό προσφέρει μία αυτονομία μέχρι 320 km.

8.1.2

Ενδιάμεση μπαταρία επιτρέπει το φρενάρισμα με ανάκτηση ενέργειας

Το νέο σύστημα κίνησης μέσω κυψελών καυσίμου έχει επίσης μία μπαταρία υδριδίου νικελίου του μετάλλου και χωρητικότητα 1.8 kWh. Η μπαταρία διασφαλίζει βελτιωμένες οδηγικές επιδόσεις και καλύπτει τα στιγμιαία, μέγιστα φορτία ισχύος. Η απόδοση όλου του συστήματος έχει επίσης βελτιωθεί, καθώς η ενδιάμεση μπαταρία επιτρέπει ανάκτηση ενέργειας μέσω πέδησης στο HydroGen4. Στο φρενάρισμα ή όταν ο οδηγός αφήνει το γκάζι, ο ηλεκτροκινητήρας αλλάζει σε λειτουργία γεννήτριας και χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται κατά το φρενάρισμα για τη φόρτιση της μπαταρίας.

Αν ο οδηγός πρέπει να φρενάρει πιο δυνατά, το αυτοκίνητο θα επιβραδύνει και υδραυλικά, όπως στην περίπτωση ενός συμβατικού μοντέλου. Ο συνδυασμός πέδησης μέσω ανάκτησης ενέργειας και υδραυλικού φρεναρίσματος ονομάζεται 'ανάμιξη πέδησης' - εφαρμόζεται από συστήματα ελέγχου ευστάθειας όπως τα ABS ή ESP, ή όταν η απαιτούμενη επιβράδυνση ξεπερνά τη μέγιστη πέδηση μέσω ανάκτησης ενέργειας. Αυτό καθορίζεται από το μέγεθος της γεννήτριας και τη δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας.

Η τεχνολογία μπαταρίας και πέδησης συνδέονται επίσης στενά με την πρωτοποριακή αρχιτεκτονική ηλεκτρικού οχήματος E-Flex της GM πάνω στην οποία δουλεύει η εταιρία.

8.1.3

Ηλεκτρικός συμπιεστής διοχετεύει αέρα στις κυψέλες καυσίμου

Η καρδιά του HydroGen4 είναι η κυψέλη καυσίμου του. Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική χωρίς καύση. Μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης, ενώνουν το υδρογόνο με το οξυγόνο για τη δημιουργία νερού και παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρισμό. Η ηλεκτροχημική διαδικασία σε μία κυψέλη καυσίμου λειτουργεί ως εξής: Το υδρογόνο στο ηλεκτρόδιο της ανόδου διασπάται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια περνούν μέσα από τη μεμβράνη στην κάθοδο, ενώ τα

αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, παράγοντας ηλεκτρισμό στη διαδρομή τους. Στο ηλεκτρόδιο της καθόδου, το οξυγόνο αντιδρά με τα ηλεκτρόνια και πρωτόνια για τη δημιουργία νερού. Μία συστοιχία που συνδέει ένα μεγάλο αριθμό ατομικών κυψελών μπορεί επομένως να παράγει αρκετή ισχύ για να κινήσει έναν ηλεκτροκινητήρα.

Αντίθετα με το προηγούμενο μοντέλο, οι ατομικές κυψέλες της νέας συστοιχίας τοποθετούνται οριζόντια – και όχι κατακόρυφα – για λόγους διάταξης χώρου, δηλαδή για βέλτιστη κατανομή των ατομικών εξαρτημάτων στο αυτοκίνητο. Η παροχή αερίου στη συστοιχία είναι επίσης διαφορετική στο HydroGen4 συγκριτικά με το HydroGen3: αντί κάποιου συμπιεστή τύπου κοχλία στην κάθοδο, ένας ηλεκτρικός συμπιεστής διοχετεύει αέρα στις κυψέλες καυσίμου. Αυτό βελτιώνει την απόδοση και την ακουστική.

8.1.4

Chevrolet Volt 2

Η παγκόσμια δέσμευση της GM στη δημιουργία μέσων μεταφοράς που μειώνουν τη χρήση πετρελαίου και προάγουν την ενεργειακή ποικιλομορφία, συνεχίστηκε στο Σαλόνι Αυτοκινήτου της Σαγκάης.

Ο λόγος, για την αποκάλυψη της επόμενης έκδοσης της ηλεκτρικής αρχιτεκτονικής E-Flex, διαμορφωμένης με βάση το πιο σύγχρονο, πιο αποδοτικό σύστημα κυψελών καυσίμου υδρογόνου που έχει κυκλοφορήσει μέχρι τώρα.

Νέα τεχνολογία που παρέχει αυτονομία 483 χιλιομέτρων

Αυτή η δεύτερη έκδοση του συστήματος E-Flex χρησιμοποιεί τη νέα τεχνολογία κίνησης κυψελών καυσίμου πέμπτης γενιάς της GM και μία μπαταρία ιόντων λιθίου που παρέχει αυτονομία 483 km με ηλεκτρική λειτουργία, χωρίς τη χρήση βενζίνης και φυσικά, χωρίς εκπομπές ρύπων. Το E-Flex κυψελών καυσίμου είναι ένα πραγματικό όχημα μηδενικών εκπομπών ρύπων - Zero Emission Vehicle (ZEV) και λειτουργεί μόνο με ηλεκτρισμό που παράγεται και από την κυψέλη καυσίμου υδρογόνου και από το δημόσιο

δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η δυνατότητα σύνδεσης στο δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο προσθέτει 34 km επιπλέον κάθε φορά που φορτίζεται, μειώνοντας περαιτέρω τις στάσεις στο σταθμό ανεφοδιασμού. Το σύστημα E-Flex είναι μία ευέλικτη, πλήρως ηλεκτρική αρχιτεκτονική οχήματος, που μπορεί να διαμορφωθεί για να λειτουργεί με ηλεκτρισμό από ποικίλες πηγές.

Μεγαλύτερη απόδοση με λιγότερες εκπομπές CO2

Ανεξάρτητες μελέτες δείχνουν ότι τα οχήματα κυψελών καυσίμου προσφέρουν ανώτερη συνολική απόδοση και λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα - του αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου -συγκριτικά με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης οι οποίοι λειτουργούν με βενζίνη, εάν λάβουμε υπόψη και τη διαδικασία δημιουργίας ενέργειας και τη χρήση της στο αυτοκίνητο.

Θα έρθει η μέρα που θα λέτε οκτώ κιλά υδρογόνο... παρακαλώ!

Το σύστημα κυψελών καυσίμου πέμπτης γενιάς της GM είναι μισό σε μέγεθος από τον προκάτοχό του, αλλά παρόλα αυτά προσφέρει ίδια ισχύ και επιδόσεις. Η έκδοση τέταρτης γενιάς αυτή τη στιγμή παρέχει ισχύ στο πρωτότυπο Chevrolet Sequel. Το Sequel αποθηκεύει 8 kg υδρογόνου και προσφέρει μία αυτονομία 483 km. Το Volt κυψελών καυσίμου θα έχει επίσης ίδια αυτονομία, αλλά με 4.0 kg υδρογόνου (75μίλια/kg).

Η πρόοδος της GM αποτελεί μία ισχυρή ένδειξη ότι η τεχνολογία μας κυψελών καυσίμου έχει τη δυνατότητα να γίνει μία ανταγωνιστική εναλλακτική πρόταση έναντι του κινητήρα εσωτερικής καύσης – σε μέγεθος, επιδόσεις, αντοχή και κόστος.

«Η πρόοδος που σημειώνουμε μας ενισχύει την αυτοπεποίθηση, ότι το σύστημά μας παραγωγής ισχύος μέσω κυψελών καυσίμου θα είναι ανταγωνιστικό στον τομέα της αυτοκίνησης» σχολίασε ο Burns. «Αλλά πριν αυτή η τεχνολογία μπορέσει να γίνει ευρέως διαθέσιμη, οι κυβερνήσεις, οι εταιρίες παροχής ενέργειας και υποδομών σε όλο τον κόσμο πρέπει να

συνεργαστούν με τη GM και τη βιομηχανία αυτοκινήτου, για τη δημιουργία μιας αγοράς με οχήματα κυψελών καυσίμου και καύσιμο υδρογόνο».



8.1.5

Οικονομία του υδρογόνου



Όλα τα «ζουμιά» στην πίστα: η απόδοση των βιοκαυσίμων παρακολουθείται με επιστημονική αφοσίωση από την Toyota

Ωστόσο, τα αυτοκίνητα πλήρους αποδέσμευσης από τους υδρογονάνθρακες δεν πρόκειται να κυκλοφορήσουν πριν υπάρξουν οι προϋποθέσεις τροφοδοσίας τους, δηλαδή τα αντίστοιχα δίκτυα «καθαρής ενέργειας». Στις 28 Μαρτίου 2007 μια νέα σύμπραξη επιχειρήσεων έλαβε μορφή στην Ευρώπη με αυτόν τον στόχο: 45 κατασκευαστές κυψελών καυσίμων και κινητήρων υδρογόνου συνέπηξαν το JTI Industry Grouping για να πιέσουν την Ευρωπαϊκή Ένωση προς αυτή την κατεύθυνση. «Αν η Ευρώπη είναι σοβαρή στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη διασφάλιση των ενεργειακών πόρων και την τεχνολογική ανταγωνιστικότητα» δήλωσε ο πρόεδρος της Πλατφόρμας EHFC (European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform) και μέλος του JTI Industry Grouping, Χέρμπερτ Κόλερ (Herbert Kohler)

«πρέπει να ενώσουμε τις δυνάμεις μας για να επιταχύνουμε τις εξελίξεις». Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της Πλατφόρμας EHFC από το 2004, χρειάζεται να γίνουν δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις ύψους 7,4 δισ. ευρώ ως το 2015 για να περάσουμε σε «οικονομία του υδρογόνου». Μόνο μέσα από το νέο 7ο Πρόγραμμα-Πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Έρευνας (7ΠΠ) οι 45 εν λόγω επιχειρήσεις θα επενδύσουν 3,2 δισ. ευρώ ως το 2013.

Στο μεταξύ, οι μη υδρογονικοί κατασκευαστές πιέζονται από την ΕΕ να συμμορφωθούν σε νέο στόχο περιορισμού των εκπομπών καυσαερίων: από τον στόχο των 140 g CO₂/km ως το 2008 - που τους είχε θέσει το 1998 - τους ζητεί τώρα να τις μειώσουν κατά 14% επιπλέον ως το 2012. Αν μακροπρόθεσμα κάτι τέτοιο διασφαλίζεται με το υδρογόνο, στο χρονικό περιθώριο που τίθεται θα πρέπει να γίνουν τεχνολογικά θαύματα, τα οποία... πιθανόν οι αυτοκινητοβιομήχανοι να τα έχουν ήδη κρυμμένα στα εργαστήριά τους.

Παράλληλα, οι κυβερνήσεις εισηγούνται νομοθετικά την όλο και μεγαλύτερη εισροή βιοκαυσίμων στην ενεργειακή αλυσίδα των οχημάτων. Όπως ανακοινώθηκε την Τρίτη, 12 Ιουνίου, από την Ένωση Παραγωγών Ανανεώσιμης Ενέργειας (APPA), το 2008 η Γαλλία θα επιβάλει την προσθήκη αιθανόλης στη βενζίνη - και βιοντίζελ στο ντίζελ - κατά 5,75 και θα το ανεβάσει στο 6,25 το 2009. Άλλες ευρωπαϊκές χώρες ακολουθούν με ποσοστά από 2% (Γερμανία) έως 5,83 (Ισπανία), με συνολικό στόχο για την Ευρώπη να φθάσουμε το 5,75% ως το 2010 και το 10% ως το 2020. Εκτός Ευρώπης πρωταθλητής στα βιοκαύσιμα αναδεικνύεται η Βραζιλία, που στοχεύει σε ποσοστό 23%-25% πρόσμειξης αιθανόλης στη βενζίνη.

Στο πρόσφατο Τεχνολογικό Σεμινάριο της Toyota υπήρχαν δείγματα και αναλύσεις απόδοσης για κάθε είδους βιοκαύσιμο. *«Σχεδιάζουμε και δοκιμάζουμε κινητήρες για όλα αυτά»*, μου είπε γεμάτος υπερηφάνεια ο αντιπρόεδρος Έρευνας και Ανάπτυξης του ευρωπαϊκού της τμήματος Καζουχίκο Μιγιαντέρα. *«Γιατί δεν διαλέγετε το πιο αποδοτικό, να έλθετε σε συμφωνία οι κατασκευαστές με την Ευρωπαϊκή Ένωση και να επικεντρωθείτε στην ανάπτυξη κινητήρων μόνο γι' αυτό;»* τον ρώτησα. *«Διότι αυτή είναι η φιλοσοφία της εταιρείας μας»* μου απάντησε με ένα ελαφρό ανασήκωμα των ώμων. *«Προβλέπουμε και παρακολουθούμε τις εξελίξεις, ετοιμάζουμε απαντήσεις για κάθε εκδοχή και ανταποκρινόμαστε στην όποια ζήτηση»*. Μια απάντηση πραγματικά παγκόσμιου παίκτη!

8.1.6

Υδρογόνο: φθηνό, ασφαλές και καθαρό

Έρχονται μέσα στα επόμενα τέσσερα χρόνια τα υδρογονοκίνητα ΙΧ αυτοκίνητα

ΤΩΡΙΝΟ. Το νέο επίτευγμά τους οι μηχανικοί της Fiat το ονόμασαν Καλίμερο. Είναι το πρώτο καθαρά υδρογονοκίνητο όχημα, μικρό επιβατικό, ειδικά σχεδιασμένο για να κυκλοφορεί στην πόλη χωρίς να εκπέμπει ρύπους ούτε καν ανθρακικούς ανυδρίτες. Βρίσκεται βέβαια ακόμη σε πειραματικό στάδιο και δεν αναμένεται να κυκλοφορήσει πριν από το 2010. Με αυτονομία 140 χιλιομέτρων και επαναφόρτιση εντός δεκάλεπτου το πολύ προσφέρει πλεονεκτήματα σχεδόν ιδανικά για τα ταλαιπωρημένα θύματα των μπουτιλιαρισμάτων αφού ο χειρισμός του είναι απλούστατος και η λειτουργία του εντελώς αθόρυβη. Επιπλέον αναπτύσσει ταχύτητα 100 χιλιομέτρων την ώρα, με επιτάχυνση 0 ως 50 στα 8 δευτερόλεπτα. Όταν βρεθεί τρόπος να εξοικονομηθεί χώρος για τα μηχανήματα και τις φιάλες κάτω από το δάπεδο θα μπορεί να μεταφέρει πέντε επιβάτες.

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων από τη χρήση του πετρελαίου είναι τόσο σοβαρές ώστε ακόμη και αν τα αποθέματά του ήταν ανεξάντλητα η αντικατάστασή του από ένα άλλο, πιο «καθαρό» καύσιμο είναι ζωτικής σημασίας. Η απάντηση της επιστήμης στο τεράστιο αυτό πρόβλημα είναι το υδρογόνο, το «καύσιμο του μέλλοντος», όπως το αποκαλούν οι ειδικοί. Στο όχι και τόσο μακρινό μέλλον το υδρογόνο θα έχει αντικαταστήσει σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής το πετρέλαιο, κάτι το οποίο σύμφωνα με τους επιστήμονες μπορεί να γίνει πραγματικότητα ως το 2010.

Αθόρυβα, ασφαλέστερα αυτοκίνητα που δεν θα ρυπαίνουν το περιβάλλον και φτηνή ενέργεια στα σπίτια είναι μόνο ένα μέρος από την ευοίωνη εικόνα που υπόσχεται η χρήση του νέου καυσίμου. Αεροσκάφη τα οποία θα χρησιμοποιούν υδρογόνο, όπως το «κρουοπλάνο», τα σχέδια του οποίου παρουσιάστηκαν πρόσφατα, θα μεταφέρουν περισσότερους επιβάτες με

μεγαλύτερη ασφάλεια. Οι οικονομίες των κρατών κυριολεκτικά θα «ανασάνουν», αφού οι δαπάνες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων υγείας που προκαλεί η χρήση του πετρελαίου θα μειωθούν δραστικά. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μόνο στις ΗΠΑ το κόστος από ανάλογα προβλήματα ανήλθε το 1997 σε 50 δισ. δολάρια.

* Διαστημική τεχνολογία

Από την καύση του υδρογόνου παράγονται ενέργεια και νερό, χωρίς ρύπους που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Χρησιμοποιείται ήδη από τη δεκαετία του '60 στα διαστημικά προγράμματα. Το νερό που χρησιμοποιούν οι αστροναύτες για τις ανάγκες τους απελευθερώνεται από την παραγωγή υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου των διαστημοπλοίων.

Πειραματικές εφαρμογές σε αυτοκίνητα έχουν αρχίσει από τη δεκαετία του '70, ενώ στη Φρανκφούρτη και στο Τωρινό κυκλοφορούν ήδη λεωφορεία που κινούνται με υδρογόνο. Τα οχήματα αυτά, εκτός από το γεγονός ότι δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον, είναι αθόρυβα. Οι κάτοικοι των μεγάλων πόλεων μπορούν να ελπίζουν ότι στο μέλλον θα γλιτώσουν από την ηχορύπανση που προκαλούν οι θορυβώδεις βενζινοκινητήρες. Επίσης το νέο καύσιμο είναι πολύ ασφαλέστερο από τη βενζίνη, αφού δεν αναφλέγεται από μόνο του. Επειδή είναι 14,5 φορές πιο ελαφρύ από τον αέρα, διαχέεται εύκολα, ειδικά σε ανοιχτούς χώρους. Έτσι ο κίνδυνος ανάφλεξης σε μια σύγκρουση είναι πολύ μικρότερος. Η ιδιότητά του αυτή το κάνει ιδανικότερο καύσιμο για τα αεροσκάφη από την κηροζίνη. Ακόμη και σε περίπτωση ανάφλεξης «*το υδρογόνο έχει λιγότερο καταστρεπτικά αποτελέσματα, επειδή ο φλεγόμενος τάπητας που δημιουργείται είναι μικρότερης εμβέλειας και κλίμακας*» λέει χαρακτηριστικά ο κ. **Χρήστος Ζερεφός**, διευθυντής του Εργαστηρίου Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και γραμματέας της Διεθνούς Επιτροπής Όζοντος. Τα αεροσκάφη που θα χρησιμοποιούν υδρογόνο δεν θα εκπέμπουν ρύπους που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, θα είναι ελαφρύτερα και θα μπορούν να μεταφέρουν περισσότερους επιβάτες και εμπορεύματα.

ΒΗΜΑ (11-3-01)

8.1.7

Νέες μικροσκοπικές κυψέλες καυσίμου σε θερμοκρασία δωματίου
Από την ιστοσελίδα του PhysicsWeb, 19 Νοεμβρίου 2003

Μηχανικοί στις ΗΠΑ έχουν κατασκευάσει μια μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα η οποία λειτουργεί στη θερμοκρασία δωματίου. Ο Xiang Zhang και οι συνάδελφοι του στο Πανεπιστήμιο της Καλιφορνία του Λος Άντζελες και στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Πενσυλβανίας, λένε ότι η συσκευή τους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, για ιατρικά εργαλεία και διάφορες άλλες μικροσυσκευές
(T J Yen *et al.* 2003 *App. Phys. Lett.* 83 4056)

Έως τώρα οι πηγές ενέργειας για τις μικροσυσκευές λειτουργούσαν μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες και εξέπεμπαν τοξικά υποπροϊόντα. Επιπλέον, οι συσκευές αυτές περιέχουν υψηλής ταχύτητας κινούμενα μέρη που πρέπει να λειτουργούν σε συνθήκες εντός στενών ορίων. Τώρα, ο Zhang και οι συνάδελφοι του έχουν κατασκευάσει μια μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου, που χρησιμοποιεί σαν καύσιμο τη μεθανόλη. Αυτό το υλικό έχει μια υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και είναι ευκολότερο να αποθηκευτεί σε μια μικροσκοπική συσκευή από ότι το αέριο υδρογόνο, που χρησιμοποιείται παραδοσιακά στις κυψέλες καυσίμου.

Η ομάδα των UCLA και Πανεπιστημίου της Πενσυλβανίας δημιούργησε αρχικά ένα σχηματισμό από μεμβράνες ανταλλαγής πρωτονίων, παρεμβάλλοντας ένα στρώμα στερεού ηλεκτρολύτη μεταξύ μιας κάθοδου και μιας ανόδου. Κατόπιν, ενσωμάτωσαν αυτόν τον σχηματισμό των ηλεκτροδίων σε μια μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου πάνω σε βάση πυριτίου, που περιείχε κανάλια πλάτους 750 μικρών και βάθους 400 μικρών του μέτρου. Ένα υγρό διάλυμα μεθανόλης τροφοδοτεί την άνοδο μέσω των μικροσκοπικών καναλιών, όπου παράγει ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Τα ηλεκτρόνια ρέουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος για να δημιουργήσουν έτσι το ρεύμα, ενώ τα πρωτόνια κινούνται μέσω της μεμβράνης ανταλλαγής προς την κάθοδο. Τα πρωτόνια ενώνονται έπειτα με τα ηλεκτρόνια από το κύκλωμα και το οξυγόνο του αέρα για να παράγουν το νερό ως αβλαβές υποπροϊόν στην κάθοδο. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση της μεθανόλης, τόσο περισσότερα πρωτόνια

μπορούν να παρέχονται και τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που παράγεται. Επίσης, στην άνοδο παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Χρησιμοποιώντας ένα διάλυμα με συγκέντρωση 1M, οι ερευνητές παρατήρησαν μια πυκνότητα παραγόμενης ισχύος 47 milliwatts ανά τετραγωνικό εκατοστό, σε μια θερμοκρασία 60 βαθμών Κελσίου, η οποία λένε ότι είναι μεταξύ των υψηλότερων πυκνοτήτων που έχουν επιτευχθεί ποτέ σε μια μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου. Στη θερμοκρασία δωματίου, η πυκνότητα της παραγόμενης ισχύος ήταν 14,3 milliwatts ανά τετραγωνικό εκατοστό. Επιπλέον, η σχεδίαση του νέου στοιχείου σημαίνει ότι μπορούν να μην υπάρχουν κινητά μέρη.

Η ομάδα προγραμματίζει τώρα να βελτιώσει την απόδοση των μεμβρανών ανταλλαγής και ελπίζει να αυξήσει περαιτέρω την πυκνότητα της παραγόμενης ισχύος της συσκευής, κάνοντας μια τρισδιάστατη κυψέλη καυσίμου. "Έχουμε αυξήσει ήδη το χρόνο λειτουργίας του στοιχείου με τη χρησιμοποίηση διαλύματος μεθανόλης 8M, χωρίς καμιά απώλεια απόδοσης," λέει το μέλος των ομάδων David



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 :

9.1.1

ΕΠΙΛΟΓΟΣ :

Προκλήσεις και Προοπτικές του Νέου Ενεργειακού Περιβάλλοντος

Το παγκόσμιο ενεργειακό σκηνικό έχει αλλάξει άρδην τον τελευταίο καιρό, με τη συνεχή άνοδο των τιμών του πετρελαίου και τις απαιτήσεις που εγείρει η Ρωσία έναντι των χωρών της Ανατολικής Ευρώπης που δεν ανήκουν πλέον στη σφαίρα επιρροής της Μόσχας αλλά αναζητούν την ενσωμάτωσή τους στην ευρατλαντική συμμαχία και θέλουν να αποδεσμευτούν από τα φαντάσματα του παρελθόντος. Οι χώρες της Μέσης Ανατολής χρησιμοποιούν την ενεργειακή δύναμή τους, ως μοχλό πίεσης των χωρών της υψηλίου, αφού ελέγχουν τα μεγαλύτερα αποθέματα πετρελαίου και διαμορφώνουν υψηλές

τιμές, πιέζοντας σε οικονομικό επίπεδο ούτως ώστε να εξασφαλίσουν πολιτικά οφέλη.

Ξεχωριστή είναι η περίπτωση της Σαουδικής Αραβίας, η οποία, διαθέτοντας το ένα τέταρτο των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου θα παραμείνει η μεγαλύτερη εξαγωγέας καθαρού πετρελαίου στον κόσμο για το άμεσο μέλλον. Ενώ η παγκόσμια ζήτηση πετρελαίου θα ανέρθει κατά 57% ανάμεσα στο 2001 και 2025, από 77 σε 121 βαρέλια την ημέρα (mbd) σύμφωνα με μελέτες αντιστοίχως, η Σαουδική παραγωγή πετρελαίου αναμένεται να αυξηθεί κατά 120% την ίδια περίοδο, από 10.2 mbd σε 22.5 mbd, μια καθαρή αύξηση 12.3mbd. Καμιά άλλη χώρα ή σύνολο χωρών δεν έχει πλησιάσει αυτά τα προσδοκώμενα επίπεδα αύξησης. Η Ρωσία και οι πρώην Σοβιετικές δημοκρατίες της Κασπίας Θάλασσας, από την άλλη μεριά προσδοκείται να σημειώσουν συνδυασμένη αύξηση 8.5mbd. Το Ιράν, το Ιράκ και το Κουβέιτ επιτυγχάνουν συνολικά αύξηση 7.6mbd και η Νιγηρία, η πιο σημαντική παραγωγός στην Αφρική, αναμένεται να αυξηθεί μόνο 1.6mbd. Οι περισσότερες από τις υπόλοιπες χώρες διαθέτουν μια φθίνουσα ή αποτελεσματική παραγωγή, οπότε η προσθήκη της Σαουδικής Αραβίας είναι ουσιώδης για την ικανοποίηση της αναμενόμενης ζήτησης. Το ζήτημα που τίθεται είναι ποιο ρόλο θα διαδραματίσει η Σαουδική Αραβία στο πολιτικό σκηνικό αφού μέχρι τώρα δεν έχει εγείρει απαιτήσεις, στο επίπεδο που έχουν κάνει τα άλλα κράτη της Μ.Ανατολής.

Η Ρωσία από την άλλη πλευρά με την απόλυτη υπεροχή της στην εξαγωγή φυσικού αερίου, ως κατά κύριο λόγο προμηθευτής της ΕΕ προσπαθεί να ασκήσει πίεση για να αποτελέσει ενεργό δρώντα στην μεταψυχροπολεμική εποχή και στην αυγή του ενεργειακού αιώνα. Η φράση «ενεργειακός ψυχρός πόλεμος», που αποτυπώνει αυτήν την κατάσταση άρχισε να διατυπώνεται αρκετά καθυστερημένα και πολύ περιοριστικά, όταν στην εκπνοή του 2005 και στην αυγή του 2006, η Ρωσία και η Ουκρανία με τη μεταφορά των πολιτικών τους διαφορών σε ενεργειακό επίπεδο, κατέστησαν ορατές τις επιπτώσεις σε σχεδόν ολόκληρη την Ευρώπη. Γι' αυτό και το θέμα που κυριάρχησε στις συζητήσεις του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ στο Νταβός της Ελβετίας ήταν η ενέργεια. Η διαμάχη μεταξύ της Μόσχας και των πρώην σοβιετικών χωρών για το φυσικό αέριο, η απειλή της διεθνούς κοινότητας για την επιβολή

εμπάργκο προς το Ιράν, η θεαματική επίσκεψη του βασιλιά της Σαουδικής Αραβίας στην Κίνα με αντικείμενο το πετρέλαιο και φυσικά η ανάδυση της Κίνας ως του μεγαλύτερου καταναλωτή μαύρου χρυσού στον κόσμο - μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες - είναι τα νέα στοιχεία που διαμορφώνουν το ενεργειακό παιχνίδι στον πλανήτη μας. Η ενεργειακή αυτάρκεια και η διασφάλιση των προμηθειών σε πετρέλαιο είναι οι μεγαλύτεροι πονοκέφαλοι των μεγάλων δυνάμεων αυτή την εποχή. Πρόκειται για έναν παγκόσμιο ενεργειακό πόλεμο, που εκτείνεται από τη Νιγηρία ως τη Μέση Ανατολή και από τη Βενεζουέλα ως την Ινδονησία, την ίδια στιγμή που η τιμή του πετρελαίου πλησιάζει σε νέο ιστορικό ρεκόρ.

Η στάση της Ευρώπης δεν ήταν σπασμωδική αλλά ψύχραιμη όπως φαίνεται από το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ. Επιπροσθέτως, ο ρυθμός ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας το 2005 (4,2%) δεν επηρεάστηκε καθόλου από την άνοδο της τιμής του πετρελαίου. Στις συναντήσεις του Προέδρου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, Ζοζέ Μανουέλ Μπαρόζο με τον Πρόεδρο της Ρωσίας, Βλαντιμίρ Πούτιν, η Ρωσία έμεινε στη θέση της ότι επιθυμεί την αύξηση των ευρωπαϊκών επενδύσεων στον ενεργειακό κλάδο της χώρας της, αλλά όμως αρνείται να επικυρώσει την Ενεργειακή Χάρτα, βάσει της οποίας θα ήταν υποχρεωμένη να παράσχει πρόσβαση στο ρωσικό δίκτυο αγωγών φυσικού αερίου σε τρίτες χώρες, κάτι το οποίο επιθυμεί έντονα η ΕΕ. Πάντως φαίνεται να υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω διαπραγματεύσεις και εδραίωση μιας πραγματικής σχέσης συνεργασίας μεταξύ της Ρωσίας και της Ευρώπης, της οποίας το 25% των ενεργειακών αναγκών καλύπτει η Ρωσία. Η πρόταση της Πολωνίας για τη δημιουργία ενός «ενεργειακού NATO» χωρίς τη συμμετοχή της Ρωσίας, απορρίφθηκε από την ΕΕ. Οι ηγέτες των «25» έδωσαν το «πράσινο φως» στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή να σχεδιάσει την κοινή ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την ανάπτυξη της οποίας χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί η δύναμη της αγοράς της ΕΕ για να αντιμετωπιστούν οι ενεργειακές προκλήσεις. Ένας από τους βασικούς στόχους της Συνόδου ήταν να καθοριστεί το πώς οι χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης μπορούν να συντονίσουν την ενεργειακή πολιτική τους, π.χ. διαπραγματευόμενες από κοινού με τους προμηθευτές - όπως η Ρωσία - ή βοηθώντας όσες χώρες παρουσιάζουν ελλείψεις στον ενεργειακό τομέα. Ο Αυστριακός καγκελάριος Βόλφγκανγκ Σιούσελ, η χώρα του οποίου ασκεί την προεδρία της Ε.Ε. για το τρέχον εξάμηνο κατέστησε

σαφές πως υπάρχει ομοφωνία ως προς το ότι κάθε χώρα διατηρεί το δικαίωμα να χαράξει την ενεργειακή πολιτική της και ότι δεν μπορεί να επιβληθεί σε κάποιον να χρησιμοποιήσει πυρηνικά εργοστάσια. Γεγονός που φανερώνει ότι στη σκέψη των ηγετών των 25 η πυρηνική ενέργεια είναι το μέλλον της Ευρώπης.

Η Ρωσία, όμως, είναι όπως όλα δείχνουν η περισσότερο ωφελημένη χώρα από την αύξηση των τιμών του πετρελαίου. Το πρωτοφανές εισόδημα από τις πωλήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου που συγκέντρωσε η Ρωσία, έχει δημιουργήσει την αίσθηση σε μεγάλο τμήμα της ηγεσίας της ότι η περίοδος της αδυναμίας και της υποχωρητικότητας έχει παρέλθει ανεπιστρεπτή. Όμως, η χρήση της ενέργειας ως μέσο άσκησης πίεσης εναντίον των πρώην σοβιετικών δημοκρατιών έγινε με τρόπο που ανέδειξε τα προβλήματα που δύνανται να αναδειχτούν στις ευρωπαϊκές χώρες από την ενεργειακή εξάρτησή τους από τη Ρωσία. Προς το παρόν η Ρωσία εξαρτάται από την ευρωπαϊκή αγορά για να πουλήσει το ενεργειακό προϊόν της ίσως περισσότερο απ' ό,τι η Ευρώπη εξαρτάται από τον εφοδιασμό της από τη Ρωσία, όπου η βεβαιωμένη της κίνηση να τονίσει την εξάρτηση που έχει η Ευρώπη από αυτή μπορεί να της κοστίζει στο πολιτικό παίγνιο, καθότι κατάστρεψε πολύ νωρίς έναν αρκετά ισχυρό άσσο που κατείχε και στρέφει σταδιακά όλο και περισσότερες χώρες της ΕΕ προς την πυρηνική ενέργεια.

Από την άλλη γεωγραφική πλευρά της Ρωσίας, βρίσκεται η Κίνα όπου είναι εμφανής η συνεχής οικονομική διείσδυση της Ρωσίας εκεί για δυο κυρίως λόγους. Μέχρι την προηγούμενη δεκαετία η Κίνα ήταν αυτάρκης σε πετρέλαιο. Αυτήν την στιγμή είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος εισαγωγέας στον κόσμο. Η ανάπτυξη της περιφερειακής αυτής δύναμης προκαλεί τις μεγαλύτερες εντάσεις στην αγορά του μαύρου χρυσού και θα συνεχίσει έτσι ώσπου να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της. Ο δεύτερος λόγος είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η βιομηχανία του πετρελαίου. Οι ανεπαρκείς επενδύσεις για τη βελτίωση των υποδομών, οι εργασίες συντήρησης που καθυστέρησαν λόγω των κυκλώνων Κατρίνα και Ρίτα και η εφαρμογή νέων περιβαλλοντικών κανόνων στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι οι τρεις παράγοντες που περιορίζουν την παραγωγή ραφινρισμένων προϊόντων πετρελαίου, τη στιγμή που η παγκόσμια ζήτηση γι' αυτά μεγαλώνει. Στην πραγματικότητα, οι κινήσεις τόσο της Ρωσίας όσο και των ΗΠΑ προσδιορίζονται όλο και περισσότερο από τις

εξελίξεις στην Ασία. Ακόμα και ο μεταξύ τους ανταγωνισμός για επιρροή γίνεται με το βλέμμα προς την Κίνα. Για τους διαμορφωτές της γεωστρατηγικής πολιτικής δεν περνά απαρατήρητο το ότι η λεγόμενη «περιοχή του Ατλαντικού» (ΗΠΑ, Ευρώπη, Ρωσία και πρώην Σοβιετικές Δημοκρατίες της Κεντρικής Ασίας, Βόρεια Αφρική) είναι σχεδόν αυτάρκης ενεργειακά, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον, σύμφωνα με τα περισσότερα σενάρια. Καλύπτει μόλις το 10% των ενεργειακών της αναγκών με εισαγωγές από τη Μέση Ανατολή. Αντιθέτως, η περιοχή της Ασίας - Ειρηνικού εξαρτάται σε ποσοστό 60% από τη Μέση Ανατολή, η οποία με τη σειρά της εξαρτά το 80% της ανάπτυξής της από την περιοχή αυτή. Οι δυο χώρες, Ρωσία και Κίνα έχουν κοινό υπόβαθρο σε πολιτικά και πολιτισμικά κριτήρια, αφού η πολιτική ιστορία των δυο χωρών είναι παρόμοια και το μέγεθός τους σε πληθυσμιακά κριτήρια, επίσης. Σήμερα, στο πλαίσιο των ενεργειακών κρίσεων οι σχέσεις τους έχουν περάσει σε μια νέα βάση, με τις 15 διμερείς συμφωνίες που υπόγραψε ο Βλαντιμίρ Πούτιν με τον Κινέζο ομόλογο του Χου Τζιντάο, εκ των οποίων η σπουδαιότερη συμφωνία ήταν ένα μνημόνιο συνεργασίας για μία από τις μεγαλύτερες στρατηγικές ενεργειακές συνεργασίες όλων των εποχών.

Η συμφωνία αυτή προβλέπει την από κοινού κατασκευή δύο μεγάλων αγωγών μεταφοράς φυσικού αερίου από τις δύο άκρες της Σιβηρίας προς την Κίνα. Σύμφωνα με την Gazprom οι δύο νέοι αγωγοί θα είναι έτοιμοι το αργότερο ως το 2011 και η κατασκευή τους θα κοστίσει τουλάχιστον 10 δισ. δολάρια, ενώ μετά την περάτωσή τους οι δύο αγωγοί θα είναι σε θέση να μεταφέρουν στην Κίνα συνολικά ως και 80 δισ. κυβικά μέτρα αερίου. Το φυσικό αέριο πάντως είναι μία μόνο από τις παραμέτρους του ολοκληρωμένου ενεργειακού προγράμματος που προσφέρει η Ρωσία στην Κίνα, το οποίο καταστρατηγεί στην πράξη τον ενεργειακό ομφάλιο λώρο με τη Μέση Ανατολή και τις δυτικές πετρελαϊκές εταιρείες.

Η Ρωσία ανακοίνωσε αύξηση 25% στα φορτία αργού πετρελαίου που θα μεταφερθούν φέτος στην Κίνα μέσω του υπάρχοντος σιδηροδρομικού δικτύου, με τις συνολικές εξαγωγές αργού να ξεπερνούν τα 15 εκατ. τόνους, ενώ πολύ σημαντικές θεωρούνται και οι επί μέρους συμφωνίες που υπέγραψε ο κρατικός κινεζικός γίγαντας CNPC με τις επίσης κρατικές ρωσικές εταιρείες Rosneft και Transneft, και οι οποίες προβλέπουν τη στενή συνεργασία των δύο πλευρών σε ζητήματα εξερεύνησης και συνεκμετάλλευσης κοιτασμάτων

αερίου στη Σαχαλίνη και πετρελαίου στη Σιβηρία, την κατασκευή ενός νέου γιγαντιαίου διυλιστηρίου πετρελαιοειδών στην Κίνα, αλλά και την επιτάχυνση των σχεδίων για τη δημιουργία ενός πετρελαιοαγωγού μήκους 4.100 χιλιομέτρων και αξίας άνω των 11,5 δισ. δολαρίων, που θα συνδέσει τα κοιτάσματα της Δυτικής Σιβηρίας με τις κινεζικές ακτές του Ειρηνικού. Άλλωστε το ενεργειακό πρόγραμμα δεν περιορίζεται στα ορυκτά καύσιμα, αλλά ολοκληρώνεται με την ενίσχυση της συνεργασίας στον τομέα της ατομικής ενέργειας, με τη Ρωσία να αναλαμβάνει την κατασκευή μεγάλου πυρηνικού εργοστασίου στην Τιανβάν της Ανατολικής Κίνας, αλλά και την κατασκευή από το ρωσικό μονοπώλιο ηλεκτρισμού UES τεσσάρων νέων υδροηλεκτρικών εργοστασίων (κόστους 8,2 δισ. δολαρίων) στη Σιβηρία. Επίσης, η Κίνα προτίθεται να αγοράσει προηγμένα οπλικά συστήματα αξίας άνω των 5 δισ. Δολαρίων, από τη Ρωσία. Λόγω αυτών των εκτεταμένων συμφωνιών ο Πούτιν και ο Τζιντάο κήρυξαν επίσημα την έναρξη του «Ρωσικού έτους», που θα εορταστεί το ερχόμενο δωδεκάμηνο με πλήθος πολιτιστικών εκδηλώσεων σε όλη την Κίνα. Η συμμαχία με τη Ρωσία φαντάζει ως μονόδρομος για την Κίνα, ιδίως μετά την άρνηση των ΗΠΑ δηλαδή την απόρριψη της πρότασης από την Καλιφορνέζικη Unocal στην κρατική εταιρεία CNOOC ώστε να επιτρέψει τη διείσδυσή της στο διεθνές ενεργειακό ολιγοπώλιο. Οι ΗΠΑ έτσι δείχνουν αποφασισμένες να περιορίσουν την Κίνα ενεργειακά και γεωπολιτικά από τρεις πλευρές αφού ελέγχουν στρατιωτικά τον Ινδικό και τον Ειρηνικό Ωκεανό, αλλά και πετρελαιοφόρες χώρες-κλειδιά της Μέσης Ανατολής. Στη συγκυρία αυτή, η ενίσχυση των διπλωματικών σχέσεων Ρωσίας- Κίνας αποσκοπεί εμφανώς στη σταθεροποίηση της ευρασιατικής στρατηγικής ενδοχώρας και στην ενδυνάμωση της διπλωματικής ανεξαρτησίας των δύο χωρών. Η Ρωσία όμως, ελέγχοντας απόλυτα το εσωτερικό οικονομικό τοπίο, επαναφέροντας υπό κρατικό έλεγχο αρκετά από τα ενεργειακά και μεταλλευτικά αποθέματα που είχαν πουλήθηκαν σε ξένους και ντόπιους επενδυτές τα προηγούμενα χρόνια, τώρα χρειάζεται την χρηματική ενίσχυση και την πολιτική και στρατιωτική συμπαράσταση της Κίνας για να διατηρήσει την πρωτοκαθεδρία στην ιστορική ρωσική σφαίρα επιρροής του Καυκάσου και της Κεντρικής Ασίας. Εκεί όπου οι Αμερικανοί τα τελευταία χρόνια έχουν ξεκινήσει με άμεσες και έμμεσες παρεμβάσεις το ζήτημα που τίθεται είναι πώς θα καταφέρει η Gazprom να αντλήσει 80 δισ. "έξτρα" κυβικά μέτρα φυσικού αερίου τον χρόνο και ποιος θα πληρώσει τα 10

δισ. δολάρια που χρειάζονται για να μεταφερθεί το αέριο από τη Σιβηρία ως τη Σαγκάη.

Το σίγουρο είναι πως από το 2011 και μετά και η Ασία θα είναι εξαρτημένη από τα ρωσικά καύσιμα. Είναι λοιπόν αυτονόητο το ότι η Κίνα διαμορφώνει την πολιτική της (π.χ. στην περίπτωση του Ιράν) με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρεί όσο το δυνατόν καλύτερους όρους ενεργειακού εφοδιασμού της. Ταυτοχρόνως ενθαρρύνει την ανάγκη της Ρωσίας για διαφοροποίηση του πελατολογίου της, προσπαθώντας παράλληλα να καθησυχάσει όσους στη Μόσχα εξακολουθούν να βλέπουν το Πεκίνο ως έναν εν δυνάμει κίνδυνο. Ακόμα περισσότερο, διεισδύει όλο και πιο πολύ στην υποσαχάρια Αφρική, προσφέροντας οικονομική και αναπτυξιακή βοήθεια στις χώρες αυτές με αντάλλαγμα την εκμετάλλευση των πλούσιων κοιτασμάτων πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων και των ενεργειακών. Δεδομένης της ρωσικής ενεργειακής αυτάρκειας και της σχετικής ενεργειακής ασφάλειας των ΗΠΑ, η πολιτική τους διαμορφώνεται εν μέρει από τον μεταξύ τους ανταγωνισμό για επιρροή, αντικείμενο της οποίας είναι σε μεγάλο βαθμό ο έλεγχος του ενεργειακού εφοδιασμού της Ασίας και του Ειρηνικού.

9.1.2

Γερμανία και Ενέργεια

Η Γερμανία εν μέσω των αλλαγών στο παγκόσμιο παίγνιο για την ενέργεια αναζητά τρόπους για την εξασφάλιση της μελλοντικής προσφοράς, αλλά και για τη μείωση των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, βάσει φιλικών προς το περιβάλλον προδιαγραφών, σύμφωνα με τα λεγόμενα της ίδιας της Καγκελάριας της χώρας Αγκέλας Μέρκελ. Η γερμανική κυβέρνηση φιλοδοξεί να χαράξει νέα ενεργειακή πολιτική πριν από τα τέλη του έτους, καθότι η χώρα αποτελεί την υπ' αριθμόν 1 αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη δεύτερη μεγαλύτερη φυσικού αερίου της Ευρώπης. Η γερμανική εξάρτηση από τη Gazprom -η χώρα καλύπτει το 40% των αναγκών της με ρωσικό φυσικό αέριο- αλλά και οι πολύ υψηλές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο για βιομηχανίες όσο και για καταναλωτές, απασχολούν την κυβέρνηση, ιδιαίτερα υπό το φως της δέσμευσής της να αποκλιμακώσει τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας και να κλείσει τα πυρηνικά εργοστάσια της χώρας -πηγή της

φθηνότερης μορφής ενέργειας στη Γερμανία- ως τις αρχές της δεκαετίας του 2020. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν φθάσει σε ύψη ρεκόρ για τις βιομηχανίες, ενώ για τους καταναλωτές το επίπεδό τους είναι το δεύτερο υψηλότερο στην Ευρώπη, μετά της Ιταλίας, έπειτα από την αύξησή τους κατά 50%, πέρυσι, στο χρηματιστήριο ενέργειας EEX της Λειψίας.

Στις εταιρείες κοινής ωφελείας όπως οι RWE και EON ασκήθηκαν πιέσεις για τη μείωση των τιμών. Η μακροπρόθεσμη εγχώρια ανάπτυξη ενέργειας φιλικής προς το περιβάλλον είναι μείζον ζήτημα που απασχολεί τη Γερμανία. Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και η κυβέρνηση έχουν ως απώτερο σκοπό την προφύλαξη των επενδύσεων. Έχουν ως στόχο την αλλαγή του ενεργειακού τοπίου στη Γερμανία, δηλαδή την αποδέσμευση της από τα ορυκτά καύσιμα και την εδραίωση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών.

9.1.3

Το μοντέλο που προωθεί η Γαλλία για την ενέργεια

Μια κίνηση που θα αποσυμφόριζε την κατάσταση που υπάρχει με τα καύσιμα και σε αρχικό επίπεδο δεν θα χρειάζονταν τεχνικές καινοτομίες κανενός είδους, θα ήταν η βαθμιαία αύξηση του αριθμού των αντιδραστήρων για να παραχθεί μια μεγάλη ποσότητα της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2030 τουλάχιστον. Αυτό είναι το επονομαζόμενο γαλλικό μοντέλο. Ο ηλεκτρισμός θα παράγεται χωρίς εκπομπές αερίων, έχοντας ως βάση πυρηνικές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κατά αυτόν τον τρόπο θα γίνει απόσβεση τεραστίων ποσοτήτων καυσίμων, θα μειωθούν (ή τουλάχιστον θα μείνουν σταθερές) οι τιμές τους και θα μειωθούν οι εκπομπές αερίων. Το 2004, το ουράνιο το βρίσκουμε κατά μικρό ποσοστό από τα ορυχεία αλλά κυρίως από την ανακύκλωση πυρηνικών όπλων και άλλες δευτερεύουσες πηγές. Οι προγνώσεις για τα αποθέματα στους αντιδραστήρες που βρίσκονται σε χρήση οριοθετούν την εξόρυξη ουρανίου κατά 50kt ετησίως μέχρι το 2015 αντί 36kt που είναι σήμερα, με σημαντική μεσοπρόθεσμη εξέλιξη το 2010. Μέχρι τότε τα πυρηνικά όπλα της Ρωσίας θα έχουν απενεργοποιηθεί και το ουράνιό τους θα έχει καταναλωθεί. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η ετήσια παραγωγή δεν έχει υπερβεί τα 68 kt και η σημερινή είναι 45

kt, γνωρίζοντας επίσης ότι οι δυνατότητες εξόρυξης είναι περιορισμένες για να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση, πρέπει να ανακαλυφθούν νέα αποθέματα.

Έτσι, δεν φαντάζει ζωτική η ενίσχυση του αριθμού των αντιδραστήρων. Η Γαλλία, η Ιαπωνία και η Ρωσία αποφάσισαν στην έναρξη της πυρηνικής εποχής, να αναπτύξουν γρήγορους αντιδραστήρες νετρονίων που παράγουν και καταναλώνουν πλουτώνιο από ουράνιο. Ο βασικός λόγος που έχει προταθεί η τέταρτη γενιά αντιδραστήρων, είναι ότι δεν πρόκειται να υλοποιηθούν πριν το 2030. Το σχέδιο αυτό χρειάζεται την εισαγωγή γρήγορων αντιδραστήρων με νετρόνια γύρω στο 2030 ώστε να αποφευχθεί η κατανάλωση των σπάνιων αποθεμάτων ουρανίου που απορρέουν από την απλή διατήρηση των σημερινών αντιδραστήρων και την κατασκευή νέων. Γι' αυτόν τον λόγο αποκλείεται η χρήση αυτής της τεχνογνωσίας για τα επόμενα 25 χρόνια.

Από άλλη οπτική γωνία έστω και αν μπορούσαμε να εξορύξουμε το απαραίτητο ουράνιο χωρίς την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, το πρόβλημα των ραδιενεργών αποβλήτων θα παραμείνει και δε θα μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε το ουράνιο σαν καύσιμο. Σε 25 χρόνια περισσότερο από 1εκ. τόνους υψηλών ραδιενεργών αποβλήτων θα χρειαστούν αποθήκευση. Γνωρίζοντας ότι η χωρητικότητα του βουνού Yucca είναι γεωλογικά 70 kt θα ήταν απαραίτητο να κατασκευάζεται τέτοιος χώρος σχεδόν κάθε χρόνο ή αλλιώς δεκάδες χώροι ετησίως χωρητικότητας 4 kt. Αυτό δεν είναι εφικτό, καθότι το βουνό Yucca ήταν υπό σχεδίαση 15 χρόνια και δεν υπάρχει ούτε μια γεωλογική αποθήκη σε χρήση. Η έναρξη των εργασιών δεν είναι προγραμματισμένη πριν το 2012 και όταν ενεργοποιηθεί δεν θα μπορεί να καλύψει ούτε την παραγωγή που θα έχει γίνει στις Η.Π.Α. μέχρι τότε.

Το μέγιστο πρόβλημα είναι η εξάπλωση των πυρηνικών και η ασφάλεια έναντι επικείμενων τρομοκρατικών χτυπημάτων. Υπάρχει εμφανές ρίσκο για τη συνεχή εξάπλωση των πυρηνικών, αφού τα 2/3 της ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται σε χώρες που δεν κατέχουν πυρηνικά, οι οποίες έχουν ασταθή πολιτικά συστήματα. Υπάρχει ευρεία συναίνεση στη κατασκευή πυρηνικών αντιδραστήρων με περιορισμένη εμπλοκότητα και επαναπροσδιορισμό των εγκαταστάσεων μόνο σε λίγες χώρες. Η Συνθήκη για την μη εξάπλωση των πυρηνικών μπορεί να τροποποιηθεί περαιτέρω αν μια πλειοψηφία κρατών θα μπορούσε να αποδεχθεί την εξάρτησή της από άλλους ώστε να την

προμηθεύουν με καύσιμα, ζήτημα το οποίο μπορεί να θέσει μη αποδεκτά όρια στην εθνική κυριαρχία. Η συμπεριφορά του Ιράν και της Β. Κορέας είναι ένα παράδειγμα του τι να περιμένει κανείς από τις άλλες χώρες.

9.1.4

Ιράν και ενέργεια

Είναι σαφές ότι η Ρωσία δεν έχει ανάγκη το ιρανικό πετρέλαιο για να διατηρεί καλές σχέσεις με την Τεχεράνη. Ενδιαφέρεται όμως για τη διέλευση από το ιρανικό έδαφος πετρελαιαγωγών που θα μεταφέρουν ρωσικών συμφερόντων πετρέλαιο και φυσικό αέριο στον Ινδικό Ωκεανό και από εκεί στον Ειρηνικό. Επιθυμεί επιπλέον, να στερήσει τη δίοδο αυτή σε χώρες με ανταγωνιστικά συμφέροντα. Η κατασκευή αγωγού φυσικού αερίου, κόστους 7 δισεκατομμυρίων δολαρίων, από το Ιράν στην Ινδία, μέσω Πακιστάν είναι μια κίνηση για την υπεράσπιση των συμφερόντων του Ιράν έναντι των απειλών που έχουν εξαπολύσει οι ΗΠΑ εναντίον του.

Οι μέχρι τώρα σύμμαχοι των ΗΠΑ, Ινδία και Πακιστάν έχοντας αναδειχτεί σε πολύ σημαντικές περιφερειακές δυνάμεις, πλέον με τη σύναψη της Συμφωνίας μπορεί να δράσουν ως προστάτες του Ιράν. Το φυσικό αέριο θα τροφοδοτήσει μεγάλο μέρος της ινδικής οικονομίας τη στιγμή ακριβώς που η συμφωνία μεταξύ Ινδίας- ΗΠΑ για τα πυρηνικά καύσιμα δεν έχει κυρωθεί από το Κογκρέσο των ΗΠΑ. Το Ιράν πρόκειται να υπογράψει με την Ινδονησία συμφωνία 5 δισεκατομμυρίων δολαρίων για την κατασκευή διυλιστηρίου πετρελαίου στη Τζάβα. Το διυλιστήριο θα τροφοδοτείται με ιρανικό πετρέλαιο και τα προϊόντα του θα διοχετεύονται στην αχανή αγορά της Ασίας, κυρίως στην Κίνα. Η στρατηγική του Ιράν είναι ξεκάθαρη και στέλνει μήνυμα σε όλους τους παραλήπτες. Συνάπτει συμφωνίες με όλο το μουσουλμανικό κόσμο, και όχι μόνον της Μέσης Ανατολής. Προσπαθεί έτσι να προσεταιριστεί τους απανταχού συμμάχους των Η.Π.Α., από την Ευρώπη ως το Πακιστάν και να δελεάσει τους υπόλοιπους, παρέχοντας ίσως το μόνο που οι Η.Π.Α δεν μπορούν να υποσχεθούν: Καθαρή ενέργεια.

Όλα αυτά βέβαια έχουν προσωρινό χαρακτήρα. Διότι, ακόμα και αν τα παγκόσμια αποθέματα ορυκτών καυσίμων δεν άρχιζαν να εξαντλούνται, η συνειδητοποίηση της σημασίας που έχει η ενεργειακή αυτάρκεια / ενεργειακή ασφάλεια οδηγεί σε αναζήτηση άλλων ενεργειακών πηγών, μια τάση που ενισχύεται από την αύξηση του κόστους των υδρογονανθράκων. Με την πυρηνική ενέργεια να συζητείται όλο και περισσότερο παγκοσμίως, αφού υπάρχουν ενεργειακές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τέσσερις προκλήσεις είναι αυτές οι προκλήσεις στο πρώτο μισό του 21ου αιώνα:

- Να υπάρξει πτώση της παραγωγής πετρελαίου παγκοσμίως και σε λίγα χρόνια να ακολουθήσει η αντίστοιχη πτώση της παραγωγής του φυσικού αερίου ώστε να αντικατασταθούν από άλλες πηγές ενέργειας.
- Να καλυφθεί η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε ενέργεια παγκοσμίως. Η οξεία αύξηση στη ζήτηση που απορρέει από την άνοδο των αναπτυσσομένων χωρών, όπως η Κίνα και η Ινδία, καθώς και από την εμφανή ανάγκη να βελτιωθούν οι συνθήκες διαβίωσης στις χώρες του τρίτου κόσμου, ανέρχονται σε νέα πρόκληση.
- Να απομακρυνθεί η συγκέντρωση αποθεμάτων πετρελαίου από ασταθείς γεωστρατηγικά περιοχές.
- Να μειωθεί η εκπομπή αερίων ώστε να μην επιβαρύνονται οι κλιματολογικές συνθήκες παγκοσμίως, από το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Σιγά-σιγά ξεπερνιούνται οι οικολογικές ανησυχίες που είχε προκαλέσει η πρώιμη εισαγωγή της ανώριμης πυρηνικής τεχνολογίας. Οι υπέρμαχοι της κατασκευής πυρηνικών εργοστασίων θεωρούν ότι έτσι θα επέλθει φανερή μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και δεν θα αυξηθούν οι τιμές των παραδοσιακών (πετρέλαιο, φυσικό αέριο) καυσίμων, με την αντικατάστασή τους από καθαρή ενέργεια. Αυτό θα οδηγήσει και στη μείωση της εξάρτησης από τις πετρελαιοπαραγωγές χώρες και θα συνεισφέρει στην γεωστρατηγική σταθεροποίηση της περιοχής. Ταυτόχρονα, θα παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται οι αναπτυσσόμενες χώρες και θα απελευθερωθούν οι απαιτούμενες ποσότητες καυσίμων για τη βιομηχανοποίησή τους. Στο πλαίσιο αυτό, τα μειονεκτήματα που υπάρχουν από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας (απόβλητα, ασφάλεια, εξάπλωση και κόστος), είναι λιγότερα από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της. Σε κάθε περίπτωση, τα προβλήματα που ενδέχεται να ανακύψουν μπορούν να αντιμετωπιστούν με τους κατάλληλους χειρισμούς.

Η Κίνα έχει δώσει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη νέας, πιο αποδοτικής και περισσότερο ασφαλούς πυρηνικής τεχνολογίας. Και οι κινήσεις της στην Αφρική της εξασφαλίζουν μελλοντικά προνομιακή θέση στο επόμενο -στη μετά τους υδρογονάνθρακες εποχή- παγκόσμιο κέντρο εφοδιασμού με καύσιμα : τα αφρικανικά κοιτάσματα ουρανίου.

9.1.5

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΙΣΛΑΝΔΙΑ ΜΕ ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΕΞΑΝΤΛΗΤΟ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΡΥΠΟΥΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

Η σοβαρή ρύπανση του περιβάλλοντος που προκαλεί η συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων και ειδικά του πετρελαίου, η μεγάλη εξάρτηση ειδικά νήσων από το πετρέλαιο, μεταξύ των οποίων και η Κρήτη, οι πόλεμοι που έγιναν και πρόκειται να γίνουν για τον έλεγχο των πετρελαϊκών χωρών κυρίως από τις ΗΠΑ, καθώς και η προοπτική εξάντλησή τους σε μερικές δεκαετίες, έχει στρέψει το ενδιαφέρον, τα τελευταία χρόνια, στην αντικατάσταση αυτών των καυσίμων από το υδρογόνο. Το υδρογόνο θεωρείται ως ιδανικό καύσιμο, διότι έχει υψηλή θερμαντική αξία, το προϊόν της καύσης του είναι καθαρό νερό και μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές απώλειες. Με τα χαρακτηριστικά που προαναφέραμε, μπορούμε να αποδώσουμε στο υδρογόνο τον πρωταρχικό όρο της Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας.

Η Ισλανδία ένα ορεινό νησί στον βόρειο Ατλαντικό, μεταξύ Ηνωμένου Βασιλείου και Γροιλανδίας με πληθυσμό 250.000 κατοίκους και 103.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ξεκίνησε από το 2002 ένα μοναδικό στον πλανήτη πρόγραμμα χρήσης Α.Π.Ε, με ρεαλιστική προοπτική να υποκαταστήσει πλήρως το πετρέλαιο εντός δύο δεκαετιών.

Για τους Ισλανδούς οι οποίοι ζουν κατά ένα μεγάλο μέρος με τους παγετώνες (καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος στα βόρεια του νησιού) η φάση αυτή της υποκατάστασης σταδιακά του πετρελαίου από υδρογόνο, χαρακτηρίζεται ως τρίτη ενεργειακή επανάσταση, μιας και η πρώτη ήταν η βιομηχανική χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ η δεύτερη ήταν η μαζική εκμετάλλευση της γεωθερμίας, κατά την δεκαετία του '40, ενώ

ξεκίνησαν ήδη τη σταδιακή αντικατάσταση των κάθε είδους πετρελαιοκινητήρων από κυψέλες καυσίμου που καταναλώνουν υδρογόνο (θα δούμε παρακάτω τον τρόπο λειτουργίας τους) και με παράγωγο της καύσης καθαρό νεράκι. Και ενώ οι δύο πρώτες ενεργειακές επαναστάσεις της Ισλανδίας οδήγησαν της χώρα (ανεξάρτητο κρατίδιο) σ'ένα ενεργειακό παράδεισο όπου σήμερα σχεδόν το σύνολο της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας παράγεται από υδροηλεκτρικές και γεωθερμικές πηγές, αυτή η τρίτη επανάσταση στοχεύει στην οριστική κατάργηση της πετρελαιοκίνησης.

Συγκεκριμένα η ενεργειακή κάλυψη της Ισλανδίας σήμερα στηρίζεται κατά 4% στον άνθρακα, κατά 19% στην υδροηλεκτρική ενέργεια, κατά 38% στο πετρέλαιο, και κατά 39% στη γεωθερμική. Το σχέδιο δράσης σύμφωνα με τον πρόεδρο της αρμόδιας κοινοβουλευτικής επιτροπής της Ισλανδίας κ. Χέλμαρ Άρνασον, περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: «Στην πρώτη φάση του σχεδίου θα λειτουργήσουν με υδρογόνο τα δημόσια λεωφορεία». Αυτό θα κοστίσει 7 εκατομμύρια ευρώ, τα 3 από τα οποία θα δώσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. «Στο δεύτερο στάδιο, που ολοκληρωθεί το 2007, όλα τα αυτοκίνητα που κινούνται με βενζίνη ή πετρέλαιο, θα κινούνται στο εξής με υδρογόνο», «στο τρίτο στάδιο θα δώσουν υδρογόνο στα αλιευτικά τους, δεδομένου ότι η κύρια ασχολία των Ισλανδών είναι η αλιεία» και «στο τέταρτο στάδιο, που αντιστοιχεί χρονικά στο 2030» θα παράγεται τόσο υδρογόνο που θα πουλιέται στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Η 24η Απριλίου 2003, που για την Ισλανδία είναι σημαντική ημέρα, αφού συμπίπτει με την «πρώτη μέρα του καλοκαιριού» ο Σταθμός Καυσίμων Υδρογόνου γέμισε τα πρώτα αυτοκίνητα με το αέριο του μέλλοντος: Συγκεκριμένα τρία λεωφορεία των δημοσίων συγκοινωνιών. Το ένα από αυτά είναι το Φλάι Μπας, που πηγαινοφέρει επιβάτες από το μικρό αεροδρόμιο του Ρέικιαβικ (105.000 κατοίκους). Στις 24 Απριλίου αυτοί οι επιβάτες ήταν οι πρώτοι που ταξίδεψαν στο μέλλον, ένα μέλλον αθόρυβο, καθαρό, οικονομικό. Αυτό είναι το μέλλον που σχεδιάζει η Ισλανδία για τους 250.000 περίπου πολίτες της: θα γίνει η πρώτη χώρα χωρίς πετρέλαιο στον κόσμο.

Αυτή η προοπτική ίσως φαίνεται αποσπασματική, στην πραγματικότητα όμως είναι ένα βήμα πολιτικής ανεξαρτησίας, καθώς το 70% του εθνικού εισοδήματος προέρχεται από την αλιεία και το σύνολο του αλιευτικού στόλου κινείται με πετρέλαιο και καθώς η Ισλανδία δεν έχει ούτε σταγόνα δικού της πετρελαίου (όπως και η Κρήτη) και αναγκάζεται να εισάγει, είναι σαφές ότι η

ενεργειακή της απεξάρτηση την απελευθερώνει και από το πλέγμα διεθνών εξαρτήσεων.

Οι Ισλανδικές εφημερίδες χαιρέτισαν την ανατολή της «Κοινωνίας του Υδρογόνου» στη χώρα επισημαίνοντας ότι είναι μια κίνηση «στο γενικότερο πνεύμα ανεξαρτησίας που χαρακτηρίζει αυτό το έθνος», ένα έθνος με μικρό, πληθυσμό που αν και διαθέτει ένοπλες δυνάμεις, ανήκει στο ΝΑΤΟ και «φιλοξενεί» αμερικάνικες βάσεις από τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου μέχρι σήμερα.

Αυτή η συνολική αντιφατικότητα της Ισλανδίας, αποκαλύπτεται και στην περίπτωση της ενεργειακής ταυτότητας. «Δεν πρόκειται τόσο για οικολογική ευαισθησία όσο για μια οριστική προσπάθεια οικονομικής και ενεργειακής ανεξαρτησίας ώστε να ζούμε με τον τρόπο που εμείς επιλέγουμε», δηλώνει η υπεύθυνη του προγράμματος Νέα Ισλανδική Ενέργεια, Μαρία Μάακ.

Εκτός όμως από την Ισλανδία, που είναι πρωτοπόρος στην αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με υδρογόνο τα τελευταία 25 χρόνια, μετά την διαπίστωση των οικολογικών – ενεργειακών προβλημάτων από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, έχει αναπτυχθεί μεγάλη δραστηριότητα σε έρευνα και ανάπτυξη των τεχνολογιών χρήσης υδρογόνου ως φορέα ενέργειας, κυρίως στις Η.Π.Α, τον Καναδά, την Γερμανία και την Ιαπωνία.

Στην Ελλάδα έστω και καθυστερημένα, ιδρύθηκε από μια ομάδα καθηγητών Πανεπιστημίου, ερευνητών και στελεχών της βιομηχανίας, ένα μη κερδοσκοπικό επιστημονικό σωματείο, η Ελληνική Εταιρεία Υδρογόνου ΕΛ.ΕΤ.Υ, με έδρα το τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι σκοποί της ΕΛ.ΕΤ.Υ είναι: α) Συλλογή και διάχυση πληροφοριών σχετικά με τις τεχνολογίες παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης Υδρογόνου (δημοσιεύσεις, άρθρα, ομιλίες σε μέσα ενημέρωσης, επιχειρηματίες, ευρύ κοινό, κ.ά. β) Συμμετοχή σε διεθνείς οργανισμούς και συνέδρια, γ) Ειδικές δράσεις, όπως απογραφή του δυναμικού της χώρας σε σχετικά θέματα, δημιουργία τράπεζας πληροφοριών, ανάληψη και εκτέλεση μελετών και ερευνών.

Σήμερα το υδρογόνο παράγεται κυρίως από φυσικό αέριο με την επίδραση υδρατμών, αλλά πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος είναι η παραγωγή του από ηλεκτρόλυση του νερού, όπου η απαραίτητη ηλεκτρική (για την ηλεκτρόλυση προέρχεται από Α.Π.Ε.). Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι, εκτός από τη δυνατότητα καύσης του σε ηλεκτρογεννήτριες, το υδρογόνο μπορεί να «τροφοδοτήσει» τις περίφημες κυψέλες καυσίμου, μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές πηγές του μέλλοντος

9.1.6

Εφαρμογές και πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμων Υδρογόνου:

Εφαρμογές: α) Χρησιμοποίηση της κυψέλης καυσίμου για συμπαραγωγή ενέργειας (Παραγωγή θερμότητας και ενέργειας για ξενοδοχεία, νοσοκομεία σπίτια) β) Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος: (Έρευνα και ανάπτυξη στη βιομηχανία) γ) Εφαρμογές μικρής ισχύος: Φώτα απομακρυσμένων περιοχών, ταμπέλες δρόμων, σταθμοί επικοινωνίας και μετεωρολογικοί σταθμοί. δ) Μεταφορές (Διαστημόπλοια, υποβρύχια, τραίνα, λεωφορεία κ.ά.) ε) Φορητές συσκευές ισχύος: Φορητά τηλέφωνα, laptop, κάμερες και φορητές συσκευές ήχου.

Πλεονεκτήματα: α) Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός. β) Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση. γ) Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 49-65%! Εξοικονόμηση ενέργειας. δ) Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από λίγα Watt μέχρι Mwatt. ε) Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχτεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα καύσιμα. στ) Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες Ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς. ζ) Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρότερο από τον αέρα και γι' αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος. Ενώ τα άλλα καύσιμα έχουν μεγάλο χρόνο επικινδυνότητας έως ότου ξεφύγουν από τη θέση τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 :

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ :

Ενεργειακές Κυψέλες

Η ΑΝΑΤΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ

Στις αρχές του 21ου αιώνα οι ενεργειακές κυψέλες θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην εξαφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσης, όπως οι τελευταίοι οδήγησαν στην εξαφάνιση των ιππήλατων αμαξών στις αρχές του 20ού αιώνα...

Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ εσωτερικής καύσης που κυριαρχεί τρεις γενιές τώρα στο χώρο των μεταφορών, σίγουρα έχει αυξήσει πολύ τη δυνατότητα αυτόνομης μετακίνησης του ανθρώπου. Όμως η τεχνολογία αυτών των κινητήρων προκάλεσε ρύπανση της ατμόσφαιρας, ενεργειακή εξάρτηση από τα περιορισμένα κοιτάσματα πετρελαίου και είχε δυσμενή επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο πιστεύεται ότι στην επόμενη δεκαετία οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θα έχουν τη δυνατότητα να αρχίσουν τη διάθεση μίας νέας γενιάς αυτοκινήτων, πολύ οικονομικών και σχεδόν καθόλου ρυπογόνων. Το καύσιμο που θα χρησιμοποιούν δε θα είναι ένα και μοναδικό, αλλά θα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από μία σειρά εναλλακτικών και ασφαλών για το περιβάλλον καυσίμων. Τα αυτοκίνητα αυτά θα έχουν όλα τα οδηγικά χαρακτηριστικά των σημερινών βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, θα προσφέρουν την ίδια ευχαρίστηση όταν οδηγούνται και η χρήση τους θα κοστίζει περίπου το ίδιο. Η τεχνολογία-κλειδί για όλα αυτά είναι οι λεγόμενες ενεργειακές κυψέλες (ή επί το επιστημονικότερο «κελία καυσίμου»). Η τεχνολογία αυτή μέχρι σήμερα έχει εφαρμοστεί στην αεροδιαστημική και σε πολεμικές εφαρμογές (όπως π.χ. η κίνηση υποβρυχίων). Οι ενεργειακές κυψέλες δεν έχουν μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί σε αυτοκίνητα λόγω του πολύ υψηλού τους κόστους. Όμως πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις δίνουν τη δυνατότητα μαζικής παραγωγής ενεργειακών κυψελών δημιουργώντας έτσι ένα σοβαρό ανταγωνιστή των κινητήρων εσωτερικής καύσης στο χώρο των μεταφορών.

ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι ενεργειακές κυψέλες μετατρέπουν απευθείας την εσωτερική ενέργεια ενός καυσίμου σε ηλεκτρική, χωρίς να απαιτείται καύση ούτε η κίνηση κάποιων μηχανικών μερών. Πρόκειται για την έξοδο της τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας από την «εποχή της φωτιάς» και την είσοδό της στην «εποχή της ηλεκτροχημείας». Με την κατάργηση του ενδιάμεσου σταδίου της καύσης, η χρήση των ενεργειακών κυψελών στα αυτοκίνητα θα μπορούσε να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση της ρύπανσης που προκαλούν τα αυτοκίνητα. Οι ενεργειακές κυψέλες είναι επίσης δύομισι με τρεις φορές πιο οικονομικές στην κατανάλωση καυσίμου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν οι ενεργειακές κυψέλες κινεί έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες που με τη σειρά τους μεταδίδουν την κίνηση στους τροχούς του αυτοκινήτου. Οι ηλεκτροκινητήρες αυτοί είναι της ίδιας τεχνολογίας με τους κινητήρες των ηλεκτρικών οχημάτων «μηδενικών εκπομπών ρύπων» που παίρνουν την ενέργειά τους από συσσωρευτές. Όμως σε αντίθεση με τους συσσωρευτές που επαναφορτίζονται από κάποια ειδική συσκευή που βρίσκεται εκτός αυτοκινήτου ενώ αυτό είναι σταθμευμένο, οι ενεργειακές κυψέλες παράγουν ενέργεια καταναλώνοντας καύσιμο που βρίσκεται αποθηκευμένο πάνω στο αυτοκίνητο, όπως γίνεται και με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος ισχύος με ενεργειακές κυψέλες είναι η παροχή καυσίμου, ένα οξειδωτικό μέσο (συνήθως ατμοσφαιρικό οξυγόνο) και δύο παράλληλα ηλεκτρόδια μ' έναν ηλεκτρολύτη ανάμεσά τους. Τα δύο ηλεκτρόδια συνδέονται μ' ένα εξωτερικό κύκλωμα, στο οποίο παρεμβάλλεται το φορτίο (στην περίπτωση του αυτοκινήτου ο ηλεκτροκινητήρας). Τα μόρια του καυσίμου ελευθερώνουν ηλεκτρόνια στην άνοδο. Η έμφυτη τάση του καυσίμου να αντιδρά με το οξειδωτικό μέσο εκφράζεται σαν μία τάση (Volt) ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, η οποία προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων μέσω του φορτίου από την άνοδο προς την κάθοδο, όπου αντιδρούν με τα μόρια του οξυγόνου προς σχηματισμό ιόντων οξυγόνου. Το κύκλωμα κλείνει με τη ροή ιόντων μέσω του ηλεκτρολύτη. Το τελικό αποτέλεσμα όλης αυτής της διαδικασίας είναι η αντίδραση του καυσίμου και του οξειδωτικού μέσου προς σχηματισμό κυρίως νερού - και σε ορισμένους τύπους ενεργειακών κυψελών και διοξειδίου του άνθρακα. Συνολικά υπάρχουν επτά είδη ενεργειακών κυψελών για τα οποία αυτή τη στιγμή διεξάγεται έρευνα και εξέλιξη:

1. Ενεργειακές κυψέλες φωσφορικού οξέος
2. Ενεργειακές κυψέλες τηγμένων ανθρακικών αλάτων
3. Ενεργειακές κυψέλες στερεού οξειδίου
4. Αλκαλικές ενεργειακές κυψέλες
5. Ενεργειακές κυψέλες στερεού πολυμερούς
6. Ενεργειακές κυψέλες αγωγού πρωτονίων
7. Ενεργειακές κυψέλες άμεσης στάθμης μεθανόλης

Από αυτά τα είδη το πιο κατάλληλο για εφαρμογή στα αυτοκίνητα φαίνεται πως είναι το πέμπτο δηλαδή οι ενεργειακές κυψέλες στερεού πολυμερούς που ονομάζονται και κυψέλες Μembrάνης Ανταλλαγής Πρωτονίων. Έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής σε συνδυασμό με μικρές απαιτήσεις συντήρησης. Ο ηλεκτρολύτης που μεταφέρει τα ιόντα είναι μία πολύ λεπτή μεμβράνη από πολυμερές υλικό. Τα ηλεκτρόδια είναι λεπτά φύλλα από πορώδες αγώγιμο υλικό καλυμμένα από ένα καταλυτικό στρώμα πλατίνας, το οποίο επιταχύνει την ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων. Η όλη διάταξη δεν ξεπερνά σε πάχος το ένα χιλιοστό. Η θερμοκρασία λειτουργίας αυτών των κυψελών είναι 60 με 80 Κελσίου και σαν καύσιμο χρησιμοποιούν υδρογόνο που αντιδρά με οξυγόνο. Τα τεχνολογικά προβλήματα που υπάρχουν είναι η ευαισθησία των πλατινένιων ηλεκτροδίων στο μονοξείδιο του άνθρακα (δηλητηριάζονται εύκολα). Γι' αυτό απαιτούνται ειδικά κράματα της πλατίνας για την κατασκευή των ηλεκτροδίων. Από οικονομική άποψη υπάρχει το πρόβλημα του υψηλού κόστους του πολυμερούς υλικού του ηλεκτρολύτη και των πλατινένιων ηλεκτροδίων.

Για να κινηθεί ένα αυτοκίνητο απαιτείται μία ολόκληρη συστοιχία τέτοιων κυψελών βάρους περίπου 125 κιλών και όγκου λίγο μεγαλύτερου από το ρεζερβουάρ ενός σύγχρονου αυτοκινήτου. Μολονότι το καύσιμο αυτών των κυψελών είναι το υδρογόνο, το αυτοκίνητο μπορεί να μην εφοδιάζεται με καθαρό υδρογόνο, αλλά με κάποιον «φορέα υδρογόνου» που μετατρέπεται σε υδρογόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση που πάνω στο αυτοκίνητο αποθηκεύεται καθαρό υδρογόνο, αυτό γίνεται με διάφορους τρόπους όπως με τη μορφή συμπιεσμένου αερίου, σε υγρή μορφή ή σαν υδρίδιο κάποιου μετάλλου. Εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μεθανόλη (ένα είδος αλκοόλης) σαν φορέας υδρογόνου. Σε

αυτή την περίπτωση ένα αέριο μίγμα υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα παράγεται πάνω στο αυτοκίνητο με αντίδραση της μεθανόλης με ατμό και τη βοήθεια ενός καταλυτικού υλικού. Από το αέριο αυτό μίγμα η ενεργειακή κυψέλη παίρνει το καύσιμο υδρογόνο που χρειάζεται. Μολονότι η χρήση ενός φορέα υδρογόνου όπως η μεθανόλη περιπλέκει τα πράγματα, ένα τέτοιο καύσιμο μεταφέρεται και αποθηκεύεται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ασφάλεια από το καθαρό υδρογόνο. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθαρού υδρογόνου και των φορέων υδρογόνου όπως η μεθανόλη θα αποτελέσουν αντικείμενο συζήτησης και εκτεταμένης έρευνας στο μέλλον, όταν θα διαδίδεται σιγά-σιγά η χρήση των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες εις βάρος αυτών με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Και τα δύο είδη καυσίμου μπορούν να παραχθούν από μία μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών, όπως το φυσικό αέριο, τα αστικά απόβλητα, η βιομάζα και το κάρβουνο.

ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ

Εκτός από το αρχικό κόστος, τον καταναλωτή ενδιαφέρουν χαρακτηριστικά όπως η κατανάλωση καυσίμου, οι επιδόσεις, ο χρόνος που απαιτείται για ανεφοδιασμό και τα χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει το αυτοκίνητο ανάμεσα σε δύο ανεφοδιασμούς. Αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ενεργειακές κυψέλες και καταναλώνουν απευθείας καθαρό υδρογόνο μπορούν να έχουν τρεις φορές μικρότερη κατανάλωση καυσίμου από αντίστοιχα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Αν χρησιμοποιείται κάποιος φορέας υδρογόνου (π.χ. μεθανόλη) τότε η κατανάλωση καυσίμου είναι δύομισι φορές μικρότερη. Έτσι ακόμα κι αν το καύσιμο των ενεργειακών κυψελών είναι ακριβότερο, αυτές μπορούν να εξακολουθήσουν να είναι ανταγωνιστικές με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, υπό την προϋπόθεση ότι η αρχική τιμή αγοράς ενός αυτοκινήτου με ενεργειακές κυψέλες δε θα είναι πολύ υψηλότερη από την τιμή ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Όπως και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες που ολοένα και περισσότερο κάνουν αισθητή την παρουσία τους στην αγορά, έτσι και τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες θα είναι πολύ πιο αθόρυβα και θα έχουν πολύ μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης από τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη λιγότερων κινούμενων μηχανικών μερών και την αντίστοιχη μείωση των φθορών κατά τη λειτουργία. Η διάρκεια ζωής των ενεργειακών κυψελών μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων ξεπερνάει κατά πολύ τη μέση διάρκεια ζωής των υπόλοιπων εξαρτημάτων του αυτοκινήτου.

Έτσι θα είναι δυνατή η ανακύκλωση των ενεργειακών κυψελών μετά το τέλος της ζωής των αυτοκινήτων.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες θα είναι η κίνησή τους με ηλεκτροκινητήρα. Οι ηλεκτροκινητήρες αποδίδουν περισσότερη ροπή (άρα και ισχύ) στις χαμηλότερες ταχύτητες που χαρακτηρίζουν τις περισσότερες συνθήκες οδήγησης. Επίσης, η απόκριση των ηλεκτροκινητήρων στο γκάζι είναι πιο άμεση. Αποτέλεσμα αυτών των δύο παραγόντων είναι η μεγαλύτερη ευκολία χρήσης των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες. Λόγω της αμεσότητας της απόκρισης και της μεγάλης ροπής από χαμηλές στροφές, είναι πιθανόν αυτά τα αυτοκίνητα να σχεδιάζονται με μικρότερη μέγιστη ισχύ που έτσι κι αλλιώς σπάνια τη χρειάζεται ο οδηγός. Για να είναι άμεσα διαθέσιμη όλη η ισχύς στα ξεκινήματα και τα προσπεράσματα, τις ενεργειακές κυψέλες θα συμπληρώνει κάποιο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας όπως μία συστοιχία από μπαταρίες, ένας σφόνδυλος ή ένας υπερπυκνωτής. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιείται και κάποιος συνδυασμός όπως π.χ. μπαταριών με σφόνδυλο. Το σύστημα αποθήκευσης θα «φορτώνει» από τις ενεργειακές κυψέλες και θα παρέχει στον ηλεκτροκινητήρα την ισχύ που θα απαιτείται σε κάθε περίπτωση. Επίσης, κατά το φρενάρισμα η λειτουργία του κινητήρα θα αντιστρέφεται, οπότε η κινητική ενέργεια του οχήματος θα μετατρέπεται σε ηλεκτρική (από τον κινητήρα που θα λειτουργεί σαν γεννήτρια) και θα αποθηκεύεται πάλι στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Μ' αυτό τον τρόπο αναμένεται ότι θα γίνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που σήμερα πάει χαμένη με τη μορφή θερμότητας στα φρένα. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες θα είναι σημαντικά μικρότερο και ελαφρύτερο από μία συστοιχία μπαταριών που κινεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ενεργειακών κυψελών είναι ότι τα αυτοκίνητα που θα τις χρησιμοποιούν θα μπορούν να ανεφοδιάζονται με καύσιμα με τρόπο και σε χρόνο ανάλογο με τα σημερινά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Αυτό τους δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες που χρειάζεται πολλές ώρες επαναφόρτισης σε πλήρη ακινησία. Η απόσταση που θα μπορεί να διανύσει ένα αυτοκίνητο ενεργειακών κυψελών μ' ένα γέμισμα θα εξαρτάται από τον τύπο του καυσίμου. Αν το καύσιμο είναι μεθανόλη, τότε η αυτονομία είναι συγκρίσιμη με αυτήν των

βενζινοκίνητων αυτοκινήτων. Αν το καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο τότε η αυτονομία είναι μικρότερη, λόγω της χαμηλότερης ενεργειακής περιεκτικότητας του καθαρού υδρογόνου. Όμως και πάλι με τη χρήση της κατάλληλης διάταξης αποθήκευσης υδρογόνου η αυτονομία θα είναι δυνατόν να φτάσει τα 400 χιλιόμετρα. Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης του καυσίμου θα είναι ο ίδιος με τον όγκο ενός σημερινού ρεζερβουάρ βενζίνης. Η αυτονομία θα είναι η ίδια, παρά τη χαμηλή ενεργειακή περιεκτικότητα του υδρογόνου και της μεθανόλης έναντι της βενζίνης, λόγω της πολύ χαμηλότερης κατανάλωσης των ενεργειακών κυψελών (2,5 έως 3 φορές μικρότερη από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης).

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Οι ρύποι που παράγουν τα σημερινά αυτοκίνητα είναι δύο κατηγοριών. Οι τοπικοί ρύποι που είναι δηλητηριώδεις και δημιουργούν άμεσο πρόβλημα στο περιβάλλον των περιοχών που εμφανίζονται, και οι ρύποι που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες θα συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση και των δύο κατηγοριών ρύπων. Αν το καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο, τότε το μόνο παράγωγο της λειτουργίας της ενεργειακής κυψέλης είναι... καθαρό νεράκι. Αν πάλι χρησιμοποιηθεί κάποιος φορέας υδρογόνου όπως η μεθανόλη, τότε παράγονται και μικρές ποσότητες μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της μετατροπής του καυσίμου σε υδρογόνο. Επίσης, εκπέμπονται ελάχιστοι ρύποι λόγω εξάτμισης του καυσίμου από το ρεζερβουάρ του. Οι ρύποι αυτοί είναι πάρα πολύ λιγότεροι από τους ρύπους των συμβατικών αυτοκινήτων. Επίσης, ελάχιστοι είναι και οι ρύποι που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής του καυσίμου των ενεργειακών κυψελών. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό δίνει το προβάδισμα στις ενεργειακές κυψέλες ακόμα και έναντι των μπαταριών που κινούν τα 100% ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Και αυτό γιατί το ρεύμα που απαιτείται για τη φόρτιση των μπαταριών κάπου πρέπει να παράγεται και όπως όλοι γνωρίζουμε οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι και πολύ «καθαρές». Υπολογίζεται ότι αν γενικευτεί η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, την ίδια (ή και μεγαλύτερη για τα οξείδια του αζώτου και του θείου) ρύπανση που προκαλούν σήμερα οι βενζινοκινητήρες θα την προκαλούσαν τα εργοστάσια παραγωγής ρεύματος, λειτουργώντας πιο εντατικά για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση. Ακόμα κι αν χρησιμοποιηθεί

πυρηνική ενέργεια, υπάρχει πάντα το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων.

Φαίνεται λοιπόν, πως οι ενεργειακές κυψέλες είναι η πλέον ολοκληρωμένη οικολογική πρόταση για την κίνηση των αυτοκινήτων στο μέλλον, προσφέροντας ταυτόχρονα αυτονομία εφάμιλλη με των σημερινών κινητήρων εσωτερικήςκαύσης.

Το ίδιο μειωμένη θα είναι και η επιβάρυνση του φαινόμενου του θερμοκηπίου με τη χρήση των ενεργειακών κυψελών. Οι υπολογισμοί έδειξαν πως η άμεση επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου από τις ενεργειακές κυψέλες θα είναι μικρότερη ακόμα και από την έμμεση -λόγω αυξημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας- επιβάρυνση από τη χρήση μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Και ακόμα και αυτή η μικρή επιβάρυνση θα μπορούσε πρακτικά να μηδενιστεί με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή του καυσίμου των ενεργειακών κυψελών. Όσον αφορά το πρόβλημα της ασφάλειας του υδρογόνου που ίσως απασχολήσει την κοινή γνώμη, οι ειδικοί λένε πως οι κίνδυνοι του υδρογόνου υπερεκτιμώνται. Στην πραγματικότητα η χρήση του υδρογόνου συνεπάγεται ρίσκα διαφορετικά από αυτά των συμβατικών καυσίμων, όχι όμως και πιο επικίνδυνα. Όλα τα καύσιμα είναι ασφαλή αν μεταφέρονται, αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας που ισχύουν σε κάθε περίπτωση. Αν δεν τηρηθούν οι προδιαγραφές, τότε όλα τα καύσιμα είναι επικίνδυνα.

ΚΟΣΤΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το κόστος των πρωτότυπων ενεργειακών κυψελών είναι υψηλό και δεν μπορεί να γίνει ακόμα ασφαλής πρόβλεψη για το πόσο θα πέσει το κόστος όταν αρχίσει η μαζική παραγωγή αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες. Παρόλα αυτά κάποιες εκτιμήσεις που γίνονται μιλούν για κόστος συγκρίσιμο με το κόστος των σημερινών αυτοκινήτων. Πρώτα απ' όλα η τιμή πώλησης των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες θα καθοριστεί από τις οικονομίες κλίμακας που γίνονται στη μαζική παραγωγή. Το κόστος ενός μαζικά παραγόμενου προϊόντος μπορεί να εκτιμηθεί από το κόστος των πρώτων υλών και το κόστος της τεχνολογίας παραγωγής. Η μόνη σπάνια πρώτη ύλη των ενεργειακών κυψελών είναι η πλατίνα των ηλεκτροδίων. Πρόσφατες τεχνικές βελτιώσεις έχουν μειώσει κατά 40 περίπου φορές την

ποσότητα πλατίνας που απαιτείται για την κατασκευή ενεργειακών κυψελών. Από την άλλη πλευρά δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης τριοδικού καταλύτη (που επίσης περιέχει πλατίνα) για τον καθαρισμό των καυσαερίων στα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες και έτσι σε μεγάλο βαθμό εξισορροπείται η ποσότητα της πλατίνας που χρειάζεται, σε σχέση με τα σύγχρονα αυτοκίνητα.

Υπολογίζεται πως τελικά το πρόσθετο κόστος ανά αυτοκίνητο δε θα ξεπερνά τα 200 δολάρια ΗΠΑ.

Ένα άλλο ακριβό κατασκευαστικό υλικό των ενεργειακών κυψελών είναι η μεμβράνη πολυμερούς υλικού του ηλεκτρολύτη. Σήμερα το κόστος ανά αυτοκίνητο είναι αρκετές χιλιάδες δολάρια. Όμως υπολογίζεται ότι το κόστος αυτό θα πέσει σημαντικά αν αρχίσει η μαζική παραγωγή. Παράλληλα γίνονται συνεχώς νέες έρευνες για φτηνότερες εναλλακτικές λύσεις. Τα υπόλοιπα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι ενεργειακές κυψέλες είναι κοινά και το κόστος τους σε μαζική παραγωγή είναι χαμηλό και μπορεί άμεσα να προβλεφθεί. Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί δικαιολογούν την εκτίμηση ότι τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες θα έχουν τελικά κόστος της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτό των σημερινών αυτοκινήτων που σε απόλυτες τιμές θα είναι βέβαια λίγο υψηλότερο αλλά πάντως όχι απαγορευτικό. Από την άλλη πλευρά, το κόστος λειτουργίας των ενεργειακών κυψελών θα είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με το κόστος των κινητήρων εσωτερικής καύσης χάρη στη μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και τις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης. Αν λοιπόν το αρχικό κόστος απόκτησης είναι συγκρίσιμο και το κόστος λειτουργίας μικρότερο, τότε το συνολικό κόστος χρήσης ενός αυτοκινήτου με ενεργειακές κυψέλες στη διάρκεια της ζωής του θα είναι μικρότερο από το κόστος ενός συμβατικού αυτοκινήτου, έστω και οριακά. Αλλά ακόμα κι αν η αρχική τιμή αγοράς είναι πολύ ακριβότερη από αυτήν που εκτιμάται, πάλι το συνολικό κόστος των ενεργειακών κυψελών θα ήταν ανταγωνιστικό, δηλαδή μέσα στα όρια της αγοράς.

ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΗ

Βέβαια, για να διαδοθεί η χρήση των ενεργειακών κυψελών πρέπει να δημιουργηθεί η κατάλληλη υποδομή. Τα πράγματα σε αυτή την περίπτωση είναι απλούστερα απ' ό,τι με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αρκεί να εξελιχθούν τα κατάλληλα καύσιμα και να αρχίσει η διάθεσή τους από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα διανομής.

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορεί κανείς να πει με σχετική ασφάλεια, ότι ήδη έχει

ανατείλει μία νέα εποχή στο χώρο των μεταφορών. Ο μέσος πολίτης, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, θα έρθει σε μερικά χρόνια σε επαφή με τις ενεργειακές κυψέλες. Και μέχρι το έτος 2025 μπορεί όταν μιλάμε για λεωφορεία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας να εννοούμε λεωφορεία με ενεργειακές κυψέλες που εκπέμπουν μόνο νερό. Τα μηνύματα που έρχονται σήμερα από τις ΗΠΑ(κυρίως) μας επιτρέπουν να έχουμε τέτοιες ελπίδες. Π.Σ.

Στις ενεργειακές κυψέλες μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων η προδιάθεση του υδρογόνου να αντιδρά με το οξυγόνο δημιουργεί μία τάση ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια. Στην άνοδο το καύσιμο υδρογόνο ιονίζεται. Η τάση οδηγεί τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται από την άνοδο στην κάθοδο μέσω του ηλεκτροκινητήρα του αυτοκινήτου. Στην κάθοδο τα ηλεκτρόνια αυτά αντιδρούν με το οξυγόνο σχηματίζοντας ιόντα οξυγόνου. Το κύκλωμα κλείνει με τη ροή των θετικών ιόντων υδρογόνου από της άνοδο προς την κάθοδο μέσω του ηλεκτρολύτη. Εκεί τα ιόντα υδρογόνου αντιδρούν με τα ιόντα οξυγόνου σχηματίζοντας νερό. Η πλατίνα στα ηλεκτρόδια λειτουργεί σαν καταλύτης που επιταχύνει τις αντιδράσεις. Το μεσοπρόθεσμο κόστος χρήσης των ενεργειακών κυψελών εκτιμάται ότι θα είναι ελαφρά μικρότερο από το κόστος των κινητήρων εσωτερικής καύσης και το κόστος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρίες. Μακροπρόθεσμα το κόστος χρήσης των ενεργειακών κυψελών εκτιμάται ότι θα είναι συγκρίσιμο οριακά με το κόστος των κινητήρων εσωτερικής καύσης και το κόστος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρίες. Το υδρογόνο ή η μεθανόλη για τις ενεργειακές κυψέλες πιθανόν να παράγονται αρχικά από το φυσικό αέριο. Αργότερα σαν πρώτη ύλη θα χρησιμοποιηθεί η βιομάζα και το κάρβουνο. Στον πίνακα εμφανίζονται συγκρίσεις του κόστους παραγωγής διάφορων καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Μεσοπρόθεσμα το ενεργειακό δίκτυο που θα υποστηρίζει τα οχήματα που θα κινούνται με ενεργειακές κυψέλες θα επιβαρύνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου σημαντικά λιγότερο από τα θερμικά και τα ηλεκτρικά οχήματα. Μακροπρόθεσμα η επιβάρυνση αυτή μπορεί ακόμα και να μηδενιστεί με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή των καυσίμων. Σύγκριση της ρύπανσης που προέρχεται από αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης και αυτοκίνητο με ενεργειακές κυψέλες.

10.1.1

Μετάβαση σε ένα διαφορετικό ενεργειακό πρότυπο

Μία σημαντική πρόκληση για τις Ευρωπαϊκές περιφέρειες τις προσεχείς δεκαετίες αφορά τη μετάβαση σε ένα διαφορετικό ενεργειακό πρότυπο. Για περισσότερο από ένα αιώνα η διαθεσιμότητα του πετρελαίου και πιο πρόσφατα του φυσικού αερίου έκανε δυνατή τη γρήγορη ανάπτυξη των σύγχρονων βιομηχανικών κρατών κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα. Τα παγκόσμια αποθέματα όμως του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σταδιακά εξαντλούνται, καθώς η ταχεία ανάπτυξη των νέων βιομηχανικών κρατών απαιτεί τη κατανάλωση πολύ μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων. Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο-μη ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι – εξαντλούνται σιγά-σιγά, ενώ οι τιμές τους ανεβαίνουν στα ύψη.

Η αλλαγή του Ευρωπαϊκού ενεργειακού προτύπου μπορεί να γίνει μακροπρόθεσμα και απαιτεί σημαντικές προσπάθειες και επενδύσεις. Οι επιπτώσεις της αλλαγής στις Ευρωπαϊκές περιφέρειες μπορεί να είναι σημαντικές. Τα βασικά χαρακτηριστικά του νέου ενεργειακού προτύπου θα πρέπει να είναι η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των υπαρχόντων και των νέων συστημάτων αλλά και η αυξανόμενη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

10.1.2

Κλιματικές αλλαγές

Είναι ευρέως αποδεκτό σήμερα ότι οι αυξημένες εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων είναι ένας βασικός παράγοντας για την αύξηση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας και τις συνεπαγόμενες φυσικές καταστροφές. Οι κλιματικές αλλαγές μπορεί να έχουν τοπικές και περιφερειακές επιπτώσεις, παροδικού η μόνιμου χαρακτήρα. Οι αναγκαίες πολιτικές σε περιφερειακό η κεντρικό επίπεδο θα πρέπει να στοχεύουν είτε στη παρεμπόδιση τους είτε στη μείωση

των επιπτώσεων τους με σταδιακή κατάλληλη προσαρμογή. Όμως η υιοθέτηση πολιτικών για τη παρεμπόδιση των κλιματικών αλλαγών μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε περιφερειακό επίπεδο , αντίθετες με το στόχο της σύγκλισης και της συνοχής των Ευρωπαϊκών περιφερειών. Η Ευρωπαϊκή περιφερειακή πολιτική λοιπόν τη νέα προγραμματική περίοδο 2007-2013 , θα πρέπει να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις αυτές και να βρει καινοτόμες και δημιουργικές λύσεις προσαρμοσμένες στις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες κάθε περιφέρειας. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να υπάρχει μια καθαρή εικόνα της σημερινής κατάστασης και των μελλοντικών τάσεων και προοπτικών όσον αφορά τη καινοτομία , την οικονομία της γνώσης και το περιβάλλον για τις Ευρωπαϊκές περιφέρειες αλλά και για τον κόσμο ολόκληρο.

10.1.3

Πλεονεκτήματα από τη χρήση υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα

Πλέον, οι ενεργειακές ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού και των αναπτυσσόμενων οικονομιών όπως προαναφέραμε δεν μπορούν να καλύπτονται από τα αβέβαια πετρελαϊκά αποθέματα. Για τον λόγο αυτό, προσφάτως οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία, η Κίνα και η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσαν στο επίκεντρο της πολιτικής τους την ανάπτυξη της τεχνολογίας υδρογόνου. Το υδρογόνο, το χημικό στοιχείο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στο Σύμπαν, έχει άριστες ιδιότητες, ως καύσιμο και ως φορέας ενέργειας. Όταν συνδυάζεται με στοιχεία καυσίμου, το υδρογόνο αποτελεί μία «ήπια» και ιδιαίτερα αποδοτική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλες και μικρές εφαρμογές. Το πλέον σημαντικό είναι ότι μπορεί να προλειάνει το έδαφος για τη χρήση ενέργειας με μηδενικές εκπομπές ρύπων οπουδήποτε -από τα σπίτια έως τα αυτοκίνητά μας. Καμία άλλη τεχνολογία δεν προσφέρει από μόνη της μία τόσο ευρεία γκάμα δυνατοτήτων εφαρμογής. Οι τεχνολογίες υδρογόνου και κυψελών καυσίμου είναι ιδιαίτερα σύνθετες. Σε πρόσφατη επισκόπησή της για την επένδυση ύψους 1,2 δισ. δολαρίων στη συγκεκριμένη τεχνολογία από τις ΗΠΑ, η Εθνική Ακαδημία Επιστημών κατέγραψε κάποιες ανησυχίες της για επιμέρους πτυχές του προγράμματος, με αποτέλεσμα να δώσει έρεισμα για αρνητική δημοσιότητα.

Όμως, βασικό συμπέρασμα είναι ότι το «υδρογόνο μπορεί να αντικαταστήσει τη βενζίνη και να μειώσει σχεδόν όλες τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα οχήματα στα επόμενα 50 χρόνια», καθώς και ότι είναι «σημαντικό» για τις ΗΠΑ να υπάρξει ένα ερευνητικό πρόγραμμα προς αυτή την κατεύθυνση. Το υδρογόνο πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο ισόρροπης σειράς δραστηριοτήτων έρευνας και ανάπτυξης, οι οποίες επίσης θα επικεντρώνονται και στην παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων, υβριδίων και συνθετικών καυσίμων. Είναι ένα ορθό και βάσιμο συμπέρασμα: Όλες οι νέες τεχνολογίες θα διαδραματίσουν κάποιον ρόλο στο άμεσο μέλλον, καθώς εγκαταλείπουμε τις αντλίες πετρελαίου. Όμως, ο κλάδος επενδύει μακροπρόθεσμα στο υδρογόνο και τα στοιχεία (ή κυψέλες) καυσίμου. Οι σημαντικές επενδύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί από αυτοκινητοβιομηχανίες, εταιρείες αερίου -συμπεριλαμβανομένης της Linde- στον κλάδο της ενέργειας καθώς και κυβερνήσεις έχουν βελτιώσει την επίδοση των οχημάτων τεχνολογίας hydrogen fuel cell. Ύστερα από τις επιτυχημένες δοκιμές στην Ευρώπη, το επόμενο έτος θα αρχίσει στο Πεκίνο η λειτουργία λεωφορείων κινούμενων με στοιχεία καυσίμου. Ακόμη και με τις υπάρχουσες γνώσεις, το υδρογόνο θα μπορεί να κινεί, στο άμεσο μέλλον, οποιονδήποτε κεντρικά τροφοδοτούμενο με καύσιμα εμπορικό στόλο.

10.1.4

Τι θα κινεί τα περίπου 500 εκατομμύρια αυτοκίνητα παγκοσμίως;

Σε πολλές χώρες, οι μεγαλύτερες αυξήσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχονται από οχήματα ελαφρού τύπου. Μάλιστα, έως το 2030, αναμένεται να προστεθούν πάνω από 2 δισ. νέα αυτοκίνητα, κατά κύριο λόγω της ανάπτυξης της Ασίας. Στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία, οι αρχικές πωλήσεις υβριδικών αυτοκινήτων δείχνουν ότι υπάρχει ήδη καταναλωτική ζήτηση για φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες. Οι κυβερνήσεις έχουν δίκιο να προάγουν το υδρογόνο ως πιθανό υποκατάστατο για τα καύσιμα των αυτοκινήτων.

Σύμφωνα με τους σκεπτικιστές, οι διαδικασίες της παραγωγής και της αποθήκευσης υδρογόνου δεν έχουν αναπτυχθεί επαρκώς ώστε οι

συγκεκριμένες τεχνολογίες να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Ενώ το υδρογόνο θα διαδραματίσει κάποιον ρόλο στο δεύτερο ήμισυ του αιώνα - υποστηρίζουν- πρέπει να ξεπεραστούν σημαντικές προκλήσεις. Αυτό είναι αληθές -ιδίως για τα αυτοκίνητα. Όμως, το να εκφράζονται αντιρρήσεις για το κόστος μίας τεχνολογίας που βρίσκεται ακόμη σε διαδικασία ανάπτυξης δεν έχει ιδιαίτερο νόημα όταν η τιμή του πετρελαίου ανεβαίνει. Παρά τις διακοπές στην προσφορά, εάν η παραγωγή πετρελαίου κορυφωθεί πριν από το 2010 -όπως προβλέπει το Oil Depletion Analysis Centre, ένα ανεξάρτητο ίδρυμα της Βρετανίας- οι πιέσεις θα αυξηθούν εκθετικά. Με τον ρυθμό που το καταβροχθίζουμε, το βαρέλι δεν είναι μισογεμάτο, αλλά μισοάδειο. Εάν αναβάλουμε τις αποφάσεις για μία εναλλακτική πηγή ενέργειας για το δεύτερο μισό του αιώνα, θα είναι πολύ αργά. Το υδρογόνο είναι το πλέον βιώσιμο υποκατάστατο. Όσοι δεν έχουν πειστεί ακόμη, μπορεί να δειλιάσουν μπροστά στο εκτιμώμενο κόστος της υποδομής υδρογόνου -12 δισ. δολάρια για την κάλυψη του 70% του αμερικανικού πληθυσμού, σύμφωνα με τη General Motors. Ωστόσο σκεφτείτε ότι τον προηγούμενο μήνα στην αμερικανική Βουλή των Αντιπροσώπων κατετέθη ένας προϋπολογισμός 275 δισ. δολαρίων για αναβαθμίσεις αυτοκινητόδρομων στην επόμενη εξαετία. Η αρχική υποδομή υδρογόνου θα απαιτήσει επενδύσεις σε ορίζοντα 20 έως 30 ετών. Η γιγάντια υποδομή παραγωγής πετρελαίου -από τα γεωτρύπανα έως τα πρατήρια- μπορεί, μιν, να μας εξυπηρετεί τα τελευταία 80 χρόνια, αλλά θα έχει κοστίσει στον κόσμο τρισεκατομμύρια δολάρια. Αντιθέτως, το αποτέλεσμα της πρώτης έρευνας στο πεδίο του υδρογόνου, κόστους μερικών δισεκατομμυρίων δολαρίων, θα μας επιτρέψει να χαράξουμε τον δρόμο του μέλλοντος. Κάθε δολάριο που δαπανάται για την τεχνολογία υδρογόνου θα μας γλιτώσει από πολύ περισσότερα όταν αρχίσει η τελευταία εξόρμηση για πετρέλαιο. Η κορύφωση της παραγωγής πετρελαίου θα κρούσει τον κώδωνα του κινδύνου για την οικονομία και το περιβάλλον -εκτός εάν ενεργήσουμε άμεσα.

Ως γνωστό, η πρώτη εταιρία που κατασκεύασε αυτοκίνητα με την τεχνολογία BALLARD-fuel cells ήταν η Daimler- Chrysler που παρουσίασε τον Μάιο του 2002 το Necar-5, το πρώτο αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε με την τεχνολογία των κυψελών καυσίμου. Επίσης η TOYOTA ήδη κυκλοφορεί στην Ιαπωνία το πρώτο SUV τεχνολογίας FUEL CELLS (FCHV) που μάλιστα πήρε έγκριση τύπου από το υπουργείο

μεταφορών της Ιαπωνίας. Επίσης μέσα στο 2003 θα μπουν σε δοκιμαστική κυκλοφορία τα αυτοκίνητα κύπελων καυσίμου της NISSAN, GM, FORD, HYUNDAI, HONDA, Volkswagen, και πολλά άλλα που ήδη έχουν έτοιμα όλες οι αυτοκινητοβιομηχανίες. Η εταιρεία BALLARD POWER SYSTEMS είναι γνωστή παγκοσμίως διότι παράγει «κινητήρες υδρογόνου – fuel cell engines» για αυτοκίνητα, φορτηγά και λεωφορεία και συνεργάζεται με τις περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες και τις προμηθεύει με «κινητήρες υδρογόνου BALLARD» που «φορούν» τα οχήματα τους. Η εταιρεία BALLARD POWER SYSTEMS σήμερα είναι προμηθευτής «κινητήρων υδρογόνου» των αυτοκινητοβιομηχανιών Daimler-Chrysler, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Nissan, Volkswagen, Chicago Transit Authority, Trans Ling κλπ . Η Honda ήταν από τις πρώτες που κατάφεραν να συνδυάσουν τη λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης με την ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα τα υβριδικά μηχανικά σύνολα τοποθετούνται σε διάφορα μοντέλα, όπως, π.χ., το **Honda Insight, το οποίο αναδείχθηκε το καλύτερο αυτοκίνητο με τη μικρότερη κατανάλωση**, μόλις 3,4 λίτρα για κάθε 100 χιλιόμετρα. Τα περίπου 800 κιλά του αμαξώματος κινεί τρικύλινδρος κινητήρας ενός λίτρου, ο οποίος αποδίδει με τη βοήθεια ηλεκτροκινητήρα 76 ίππους και 113Nm ροπής. Σε κανονικούς ρυθμούς κίνησης, η περιστροφική ταχύτητα των τροχών εξαναγκάζει τους ηλεκτροκινητήρες να λειτουργούν ως γεννήτριες, φορτίζοντας τις συστοιχίες των συσσωρευτών στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Η απόδοση του κινητήρα χωρίς την ηλεκτρική "υποβοήθηση" περιορίζεται στους 68 ίππους και 91Nm ροπής. Η τελική του ταχύτητα αγγίζει τα 180χλμ./ώρα, ενώ τα 0-100χλμ./ώρα επιτυγχάνονται σε περίπου 12 δευτερόλεπτα και όλα αυτά με κατανάλωση επιπέδου... μοτοσικλέτας!

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :

- www.benwiens.com/energy4.html
- www1.eere.energy.gov
- www.uic.edu/enq/ems
- www.dodfuelcell.cecer.army.mil
- www.fueleconomy.gov
- www.csa.com/discovery.guides/fuecel/everview.php
- www.en.wikipedia.org/wiki/solid-oxide_fuel-cell
- www.tee-milou.kyk.sch.gr/daidalos2005/carH2.html
- www.pyxida.gr/modules.php?name=news&file=article&sid=1955
- www.ekem.gr/archives/00351.html
- www.rise.org.au/reslab/refiles/fuelcells/text.html
- www.education.lanl.gov/resources/fuelcells/fuelcells.pdf