

# ΝΕΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Α.Π.Ε.

## Α. ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

#### 1.1. 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 τις κυψέλες καυσίμων κι όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια και την ακριβότερη ηλιακή ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν με ενέργεια το διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo, και *παρείχαν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο.*

#### 1.2. Αρχές Λειτουργίας

*Οι κυψέλες καυσίμων λειτουργούν παρόμοια με μια μπαταρία. Μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου ( PEM ). Η δομή και η αρχή λειτουργίας του αντιπροσωπευτικού αυτού τύπου κυψέλης καυσίμου έχει ως εξής:*

*Δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μία μεμβράνη η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Αργότερα θα μελετήσουμε τα μέρη μιας κυψέλης αναλυτικότερα. Συνοπτικά, η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρισμού περιγράφεται από τα παρακάτω επιμέρους στάδια.*

*Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγώγιμα υλικά.*

*Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του.*

*Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.*

*Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.*

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

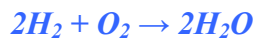
Στην άνοδο:



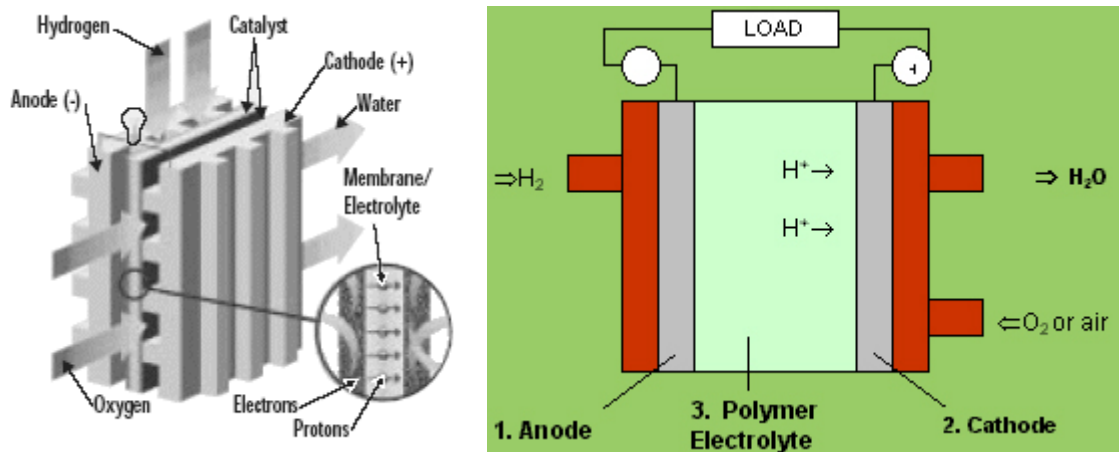
Στην κάθοδο:



Ολική αντίδραση:



Οι παραπάνω αντιδράσεις σε μία απλή κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου στα 0,7 Volts . Προκειμένου να παραχθούν μεγαλύτερες (και πρακτικά αξιοποιήσιμες) τάσεις, χρησιμοποιούνται περισσότερες κυψέλες σε σειρά (fuel cell stack). Τα κυριότερα μέρη της κυψέλης καυσίμου καθώς και μία ιδέα του τρόπου λειτουργίας τους παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 1):



Σχήμα 1. Κυριότερα μέρη της κυψέλης καυσίμου

## 2. ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

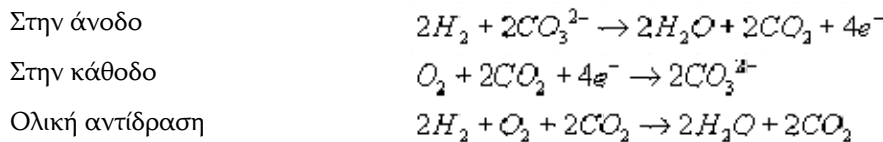
### 2.1. Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEM)

Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων (proton exchange membrane fuel cells , PEM ) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση **καθημερινών ενεργειακών αναγκών**, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητά τους να **προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος**. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των **50 και 250 kW** . Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.

Η έρευνα πάνω στις κυψέλες καυσίμου όσων αφορά εφαρμογές τους στην τροφοδότηση οχημάτων αυτή τη στιγμή είναι επικεντρωμένη κυρίως σε αυτόν τον τύπο.

## 2.2. Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC)

Αυτές οι κυψέλες ( molten carbonate fuel cells , MCFC ) χρησιμοποιούν για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. **Ενώ χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλά επίπεδα απόδοσης λόγω των θερμοκρασιών όπου λειτουργούν (περίπου 650 °C) δεν προσφέρονται για καθημερινή χρήση.** Ωστόσο, αυτή η υψηλή θερμοκρασία, η οποία απαιτείται προκειμένου ο ηλεκτρολύτης να γίνει ιοντικά αγωγίμος, επιτρέπει τη χρήση **φτηνών καταλυτών** αφού οι χημικοί δεσμοί καταστρέφονται και δημιουργούνται πολύ πιο εύκολα σε τέτοιες θερμοκρασίες. Η ίδια όμως υψηλή θερμοκρασία ευθύνεται για την **αυξημένη διάβρωση και καταστροφή των μελών της κυψέλης**. Ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο, προπάνιο και άλλα. Η ισχύς η οποία χαρακτηρίζει αυτόν τον τύπο κυψέλης κυμαίνεται ανάλογα τη χρήση από **10 kW μέχρι και 2 MW**.



Παραπάνω φαίνονται οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης. (το CO<sub>2</sub> παράγεται στην άνοδο και καταναλώνεται στην κάθοδο)

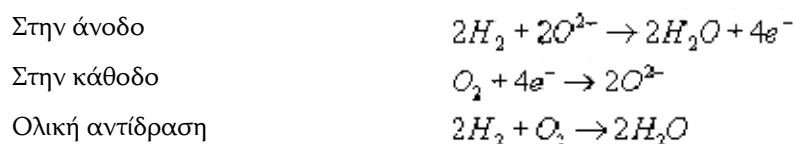
## 2.3. Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC)

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 που 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.*

## 2.4. Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)

Ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών ( solid oxide fuel cells , SOFC ), όπως και ο προηγούμενος, ενδείκνυται για αυξημένες ενεργειακές ανάγκες, με **απόδοση στο 60%** και **παραγόμενη ισχύ μέχρι και 100kW**. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα νατρίου, αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι **θερμοκρασίες μέχρι και 1000 °C**.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν αυτόν τον τύπο κυψέλης είναι



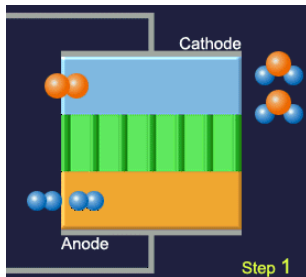
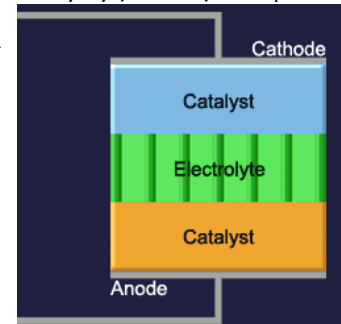
## 2.5. Οι κυψέλες του τύπου PAFC

Οι κυψέλες του τύπου φωσφορικού οξέος -PAFC , είναι από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά και εμπορικά.

**Μπορούν να λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία** και ταιριάζουν έτσι με τις συνθήκες που επικρατούν συνήθως. Το φωσφορικό οξύ είναι σε υψηλή συγκέντρωση το οποίο ενώνεται με ένα ζελ που παίζει το ρόλο του καταλύτη.

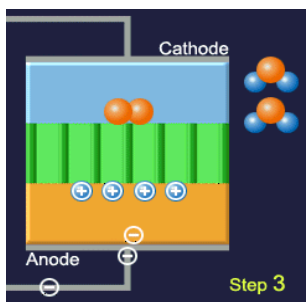
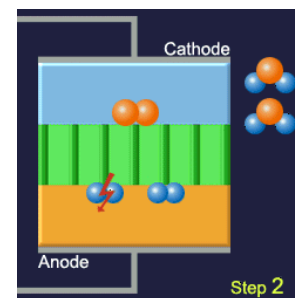
Το PAFC θέλει ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο σαν αέρια αναγωγής. Υπάρχει όμως ένα μειονέκτημα. **Το φωσφορικό οξύ χαλάει όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 42°. Τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή κυψέλη.**

Η ενεργειακή κυψέλη στην παρακάτω μορφή αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα --τους δύο καταλύτες-- ανάμεσα στα οποία υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης (διάλυμα υδροξειδίου του καλίου). Οι καταλύτες περιέχουν πλατίνα, για την διευκόλυνση των χημικών αντιδράσεων που ακολουθούν. Το τμήμα που εισάγεται το υδρογόνο θα αποτελέσει την άνοδο και στο τμήμα που εισάγεται το οξυγόνο θα αποτελεί την κάθοδο. Στους δύο πόλους συνδέεται η συσκευή που θέλουμε να λειτουργήσει.



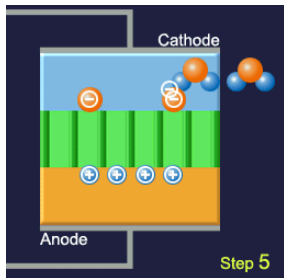
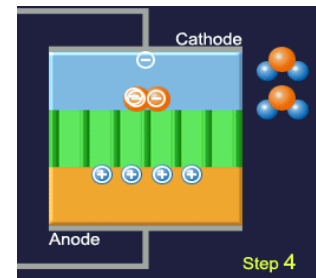
**1η φάση:** Αρχίζει και ρέει αέριο οξυγόνο (O<sub>2</sub>) --πορτοκαλί χρώμα-- και αέριο υδρογόνο (H<sub>2</sub>) --μπλε χρώμα-- στα δύο ξεχωριστά τμήματα. Έτσι έχουμε 2 άτομα οξυγόνου πάνω και 4 άτομα υδρογόνου κάτω.

**2η φάση:** Όταν έρθουν σε επαφή τα δύο μόρια H<sub>2</sub> με τον καταλύτη ιονίζονται προς τέσσερα πρωτόνια και τέσσερα ηλεκτρόνια. Την ίδια στιγμή τα 4 ελεύθερα ηλεκτρόνια φεύγουν προς το εξωτερικό κύκλωμα, μέσω του οποίου έρχονται προς την κάθοδο.

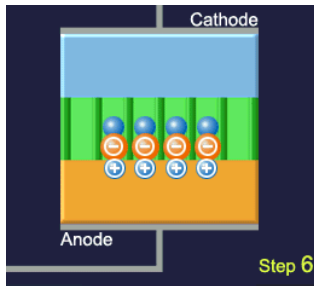


**3η φάση:** Τα 4 ηλεκτρόνια κινούνται από την άνοδο προς την κάθοδο και δημιουργούν έτσι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το κάτω μέρος έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων (θετικός πόλος) ενώ το πάνω μέρος έχει περίσσεια ηλεκτρονίων (αρνητικός πόλος). Αυτό το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική συσκευή.

**4η φάση:** Εν συνεχεία τα τέσσερα ηλεκτρόνια, που βρίσκονται στην κάθοδο, ενώνονται με τα δύο άτομα οξυγόνου και τα φορτίζουν αρνητικά.

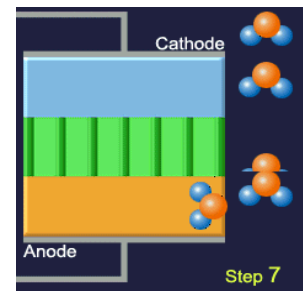


**5η φάση:** Τα δύο μόρια του νερού, που βρίσκονται ήδη στην κάθοδο (στο δεξί μέρος) ενώνονται με τα δύο ιόντα οξυγόνου (πορτοκαλί σφαίρα) σχηματίζοντας 4 ιόντα υδροξυλίου  $\text{OH}^-$ .



**6η φάση:** Αυτά τα 4 ιόντα του  $\text{OH}^-$  κινούνται μέσω του ηλεκτρολύτη (διάλυμα υδροξειδίου του καλίου) προς την άνοδο.

**7η φάση:** Τα υδροξυλόνια αντιδρούν στην άνοδο με τα προϋπάρχοντα πρωτόνια προς δημιουργία νερού. Αυτό το νερό μερικώς οδηγείται στην εξάτμιση και μερικώς οδηγείται πίσω στην κάθοδο για να συμμετάσχει ξανά στην αντίδραση που ακολουθεί.



### 3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

#### 3.1. Ηλεκτρόδια κυψέλης

Τα ηλεκτρόδια της κυψέλης (Σχήμα 2) αποτελούν πολύπλοκες νανοδομές και περιέχουν καταλύτη, πόρους και ηλεκτρικά αγωγικά υλικά. Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε μία κυψέλη καυσίμου αποτελούνται από **δύο επιμέρους ημι-αντιδράσεις**. Την **οξειδωση (oxidation)** του υδρογόνου η οποία πραγματοποιείται στην άνοδο και την **αναγωγή (reduction)** του οξυγόνου στην κάθοδο.

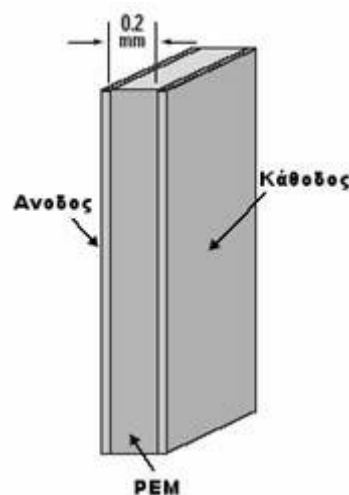
Με την οξείδωση του υδρογόνου παράγονται ιόντα υδρογόνου (πρωτόνια), τα οποία μεταφέρονται μέσω της ιοντικά αγωγίμης μεμβράνης στην κάθοδο και ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύονται στο εξωτερικό κύκλωμα καθώς η διέλευση τους μέσα από τη μεμβράνη δεν είναι δυνατή.

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:

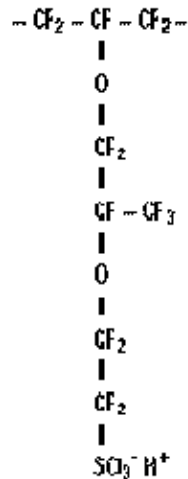
- Στη μεγάλη ισχύ του δεσμού του μοριακού οξυγόνου και στην αυξημένη σταθερότητα του δεσμού Pt - O ή Pt - OH.
- Στο ότι είναι αντίδραση μεταφοράς 4 ηλεκτρονίων
- Στην δημιουργία παραπροϊόντων όπως το H<sub>2</sub>O (OH-OH)



Σχήμα 2. Ηλεκτρόδια PEM κυψέλης

### 3.2. Μεμβράνη κυψέλης

Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων της κυψέλης καυσίμου βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης. Ο ηλεκτρολύτης ονομάζεται έτσι λόγω της ιδιότητας του να διίσταται σε θετικά και αρνητικά ιόντα. Στην περίπτωση μίας PEM κυψέλης ο ηλεκτρολύτης είναι πλαστικό οργανικό πολυμερές και συνηθέστερα ονομάζεται μεμβράνη ( membrane ). Μία τυπική τέτοια μεμβράνη, όπως το Nafion ( polyperfluorosulfonic acid ), αποτελείται από τρεις ομάδες ατόμων.



Μίας ομάδας, παρόμοιας δομής με αυτή του Teflon (πολυτετραφθοροαιθυλένιο), με εκατοντάδες επαναλαμβανόμενες μονάδες τύπου  $\text{--CF}_2 \text{ -- CF -- CF}_2 \text{ --}$ . Μίας δεύτερης, τύπου  $\text{--O -- CF}_2 \text{ -- CF -- O -- CF}_2 \text{ -- CF}_2 \text{ --}$  στο ρόλο πλαϊνής αλυσίδας η οποία ενώνει τις προηγούμενες μονάδες με μια τρίτη, με τύπο  $\text{SO}_3^- \text{ H}^+$ . Τα αρνητικά ιόντα του  $\text{SO}_3^-$  είναι μόνιμα ενωμένα στις πλαϊνές αλυσίδες. Ωστόσο, όταν η μεμβράνη βρεθεί σε ένυδρο περιβάλλον, απορροφώντας νερό, τα ιόντα υδρογόνου αποκτούν την ικανότητα να κινηθούν ελεύθερα. Η κίνηση αυτή γίνεται, καθώς προσκολλώνται στα πολικά μόρια του νερού, όπως περιγράφεται από τον τύπο  $\text{H}^+ (\text{H}_2\text{O})_n^+$ , και μεταπηδούν μεταξύ των  $\text{SO}_3^-$  ιόντων μέσα στη μεμβράνη. Αυτός είναι και ο λόγος όπου ο συγκεκριμένος τύπος ηλεκτρολύτη σε ένυδρη μορφή αποτελεί πολύ καλό αγωγό πρωτονίων.

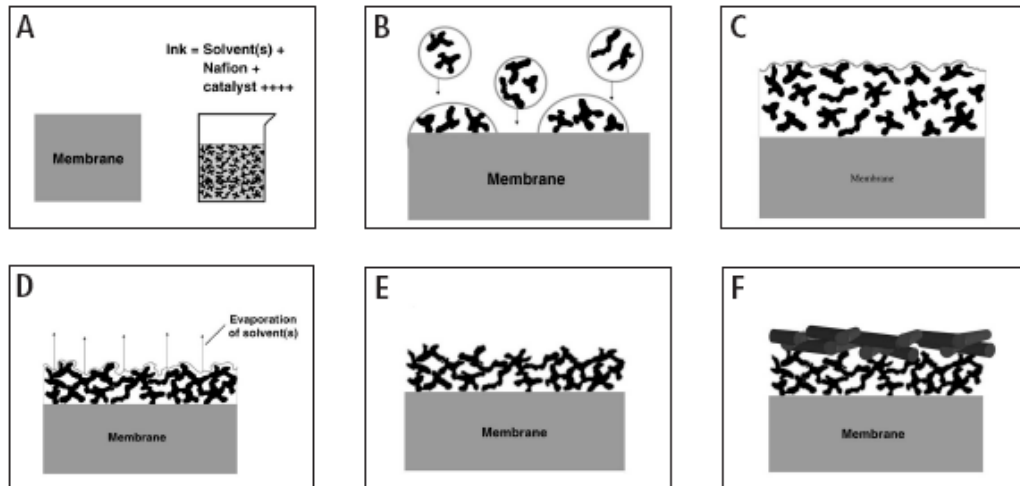
Αυτό από την άλλη μεριά, τίθεται ένας περιορισμός ως προς τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των PEM κυψελών καυσίμου, αφού το νερό θα πρέπει να παραμένει σε υγρή κατάσταση. Σε συνθήκες λειτουργίας οι οποίες χαρακτηρίζονται από αυξημένες πιέσεις το όριο των 100 °C αίρεται αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και ο χρόνος ζωής της κυψέλης. Για αυτό το λόγο έρευνα γίνεται σήμερα προς αναζήτηση συν τοις άλλοις και για μεμβράνες όπου μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες των 100 °C θερμοκρασίες.

Το πάχος αυτής της μεμβράνης κυμαίνεται μεταξύ των 25 και 175 μικρών. Συγκρινόμενο δηλαδή, με ένα φύλλο χαρτί, είναι 2 με 7 φορές πιο παχύ. Για τη λειτουργία της κυψέλης απαιτείται όπως είδαμε παραπάνω, η μεμβράνη να είναι ένυδρη. Η ιδιαιτερότητα των PEM μεμβρανών ως ηλεκτρολύτες είναι ότι παρουσία νερού, τα αρνητικά ιόντα παραμένουν σταθερά τη θέση του ενώ μπορούν να κινηθούν μόνο τα θετικά. Η κίνηση αυτή πρέπει να γίνεται προς μία κατεύθυνση μόνο. Επίσης η μεμβράνη εκ κατασκευής εμποδίζει το αέριο υδρογόνο να αναμειχθεί με το αέριο οξυγόνο διότι σε αντίθετη περίπτωση δεν θα ήταν δυνατή η λειτουργία της κυψέλης. Τέλος η μεμβράνη αυτή ανήκει στην κατηγορία των ηλεκτρικών μονωτών κι έτσι παρεμποδίζεται η διέλευση ηλεκτρονίων διαμέσου αυτής και αυτά αναγκάζονται να ακολουθήσουν το δρόμο ενός εξωτερικού κυκλώματος.

### 3.3 Σύστημα μεμβράνης - ηλεκτροδίου

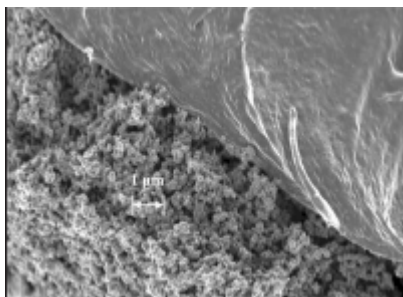
Ο συνδυασμός ανόδου, μεμβράνης και καθόδου αναφέρεται ως σύστημα μεμβράνης - ηλεκτροδίου ( membrane / electrode assembly , MEA ). Η κατασκευή μίας MEA γίνεται με διάφορους τρόπους. Ένας τυπικός τρόπος κατασκευής περιγράφεται παρακάτω (Σχήμα 3).

Σε πρώτη φάση προετοιμάζεται ένα μεγάλης περιεκτικότητας διάλυμα σε Nafion και καταλύτη σε πτητικό διαλύτη (A). Το διάλυμα αυτό εναποτίθεται πάνω στη μεμβράνη (B) κι έτσι έχουμε το σχηματισμό ενός λεπτού υμενίου πάνω σε αυτή (C). Στη συνέχεια ο διαλύτης εξατμίζεται (D) δημιουργώντας πόρους και στη μεμβράνη τώρα βρίσκεται ένα στεγνό πορώδες στρώμα ηλεκτροδίου (E). Τέλος, πάνω σε αυτό το στρώμα εφαρμόζεται το στρώμα διαχύσεως αερίου (F) στο οποίο θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

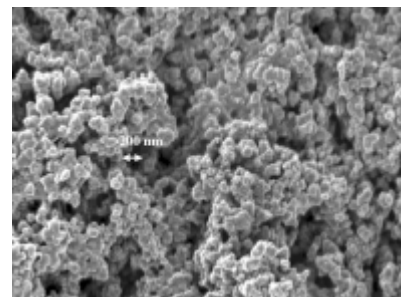


Σχήμα 3. Διαδικασία κατασκευής ενός τυπικού συστήματος μεμβράνης ηλεκτροδίου

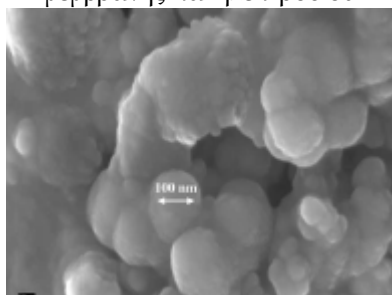
Η παραπάνω διαδικασία έχει ως προϊόν μια νανοδομημένη κατασκευή. Οι παρακάτω εικόνες, παρμένες (διαδοχικά) με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου τύπου SEM, κάνουν εμφανές τη δομή αυτή (Σχήμα 4).



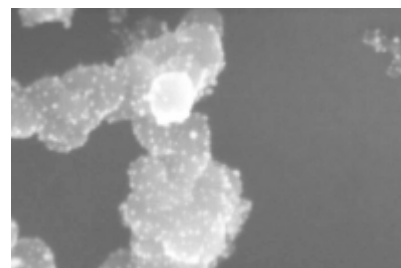
Περιοχή στο σημείο επαφής μεμβράνης και ηλεκτροδίου



Μακροδομή καταλύτη



Μικροδομή καταλύτη



Σε μέγιστη μεγέθυνση γίνονται εμφανή τα σωματίδια Pt επί του άνθρακα

Σχήμα 4. Νανοδομημένη κατασκευή ενός τυπικού συστήματος μεμβράνης ηλεκτροδίου

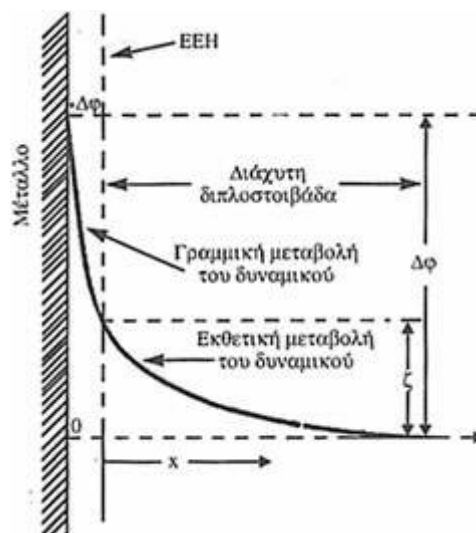


Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε λίγο πιο αναλυτικά τι συμβαίνει στην διεπιφάνεια ηλεκτροδίου - ηλεκτρολύτη. Εφαρμόζοντας τάση σε αυτή εμφανίζεται η λεγόμενη ηλεκτρική διπλοστοιβάδα (electric double layer). Επάνω στην επιφάνεια του μετάλλου υπάρχει στρώμα δίπολων νερού και μη εφυδατωμένων ιόντων. Η περιοχή όπου εμφανίζεται αυτό το στρώμα ονομάζεται επίπεδο Helmholtz. Ακολουθεί στρώμα εφυδατωμένων ιόντων το οποίο ονομάζεται εξωτερικό επίπεδο Helmholtz (EEH). Τέλος, πέρα από το EEH υπάρχει διάχυτη περίσσεια θετικών ή αρνητικών ιόντων, που αντισταθμίζει το συνολικό φορτίο του μετάλλου και του EEH, που ονομάζεται διάχυτη διπλοστοιβάδα ή στοιβάδα διάχυσης.

Η δημιουργία της ηλεκτρικής διπλοστοιβάδας (Σχήμα 5) έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο φάσεων που βρίσκονται σε επαφή. Η μεταβολή του δυναμικού  $\Delta\phi$  μεταξύ του μετάλλου και της κύριας μάζας του ηλεκτρολύτη με την απόσταση από την επιφάνεια του μετάλλου προς τον ηλεκτρολύτη διακρίνεται σε γραμμικής μεταξύ της επιφάνειας του μετάλλου και του EEH και σε εκθετική μεταξύ του EEH και της κύριας μάζας του διαλύματος. Η τελευταία δίνεται από τη σχέση

$$\Delta\phi_{\text{EEH}} = \zeta e^{-x/\lambda}$$

όπου  $x$  είναι η απόσταση από το EEH και  $\lambda$  είναι συντελεστής εξαρτώμενος από την ιονική ισχύ του διαλύματος.

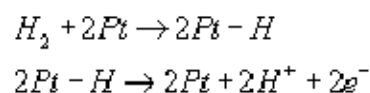


Σχήμα 5. Ηλεκτρονική διπλοστοιβάδα

### 3.4. Καταλύτης κυψέλης

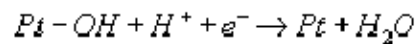
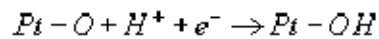
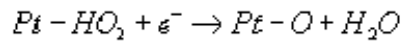
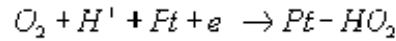
Οι δύο ημιαντιδράσεις, η οξείδωση δηλαδή του υδρογόνου και η αναγωγή του οξυγόνου, χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες στις χαμηλές θερμοκρασίες όπου λειτουργεί μια PEM κυψέλη καυσίμου και αυτό είναι που κάνει απαραίτητη την παρουσία καταλύτη. Ο καταλύτης όπου έχει μελετηθεί περισσότερο μέχρι στιγμής και για τις δύο αυτές αντιδράσεις είναι ο λευκόχρυσος, ένα αρκετά ακριβό υλικό.

Στην άνοδο ο καταλύτης δρα σε δύο στάδια, μέσω μίας διασπαστικής χημειορρόφησης και μίας αντίδρασης μεταφοράς ηλεκτρονίων, ως εξής:



Το ρυθμορυθμιστικό στάδιο τις ολικής αντίδρασης αποτελεί η χημειορρόφηση.

Στην κάθοδο, αν και ο μηχανισμός αντίδρασης δε μπορεί ακόμα να περιγραφεί πλήρως, ένα μοντέλο είναι το εξής:



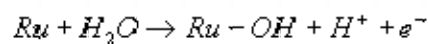
Στην κάθοδο εκτός από καθαρό ενεργό καταλύτη Pt γίνεται χρήση και κράμα Pt - Ru .

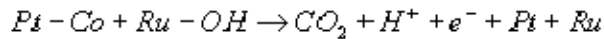
Ο δεσμός μεταξύ και Pt και H είναι ούτε αρκετά ασθενής έτσι ώστε να γίνεται εύκολη η διάσπαση του μοριακού υδρογόνου, ούτε αρκετά ισχυρή έτσι ώστε το ατομικό υδρογόνο να διατίθεται άμεσα για χρήση στην κυψέλη. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι που ξεχωρίζει το λευκόχρυσο ως καταλύτη. Ωστόσο επειδή πρόκειται για ακριβό υλικό απαιτείται η μεγιστοποίηση της καταλυτικά ενεργής επιφάνειας του καταλύτη. Έτσι κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από πορώδες άνθρακα πάνω στο οποίο βρίσκονται σωματίδια Pt . Το πορώδες του ηλεκτροδίου βοηθάει στην ομοιογενή διάχυση του αερίου. Τόσο ο άνθρακας όσο και ο λευκόχρυσος αποτελούν ηλεκτρικά αγωγικά υλικά έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια να κινούνται ελεύθερα μέσα στο ηλεκτρόδιο. Το μέγεθος των σωματιδίων του Pt είναι της τάξης των 2 νανομέτρων, κάτι το οποίο συνεπάγεται μεγάλη ολική επιφάνεια Pt προσβάσιμη από τα αέρια ακόμα και σε μικρή μάζα καταλύτη. Αυτά τα σωματίδια βρίσκονται διεσπαρμένα πάνω σε άλλα μεγαλύτερα σωματίδια άνθρακα μεγέθους περίπου 30 nm όπου με τη σειρά τους αποτελούν μέρη της μακροδομής του καταλύτη.

Η οξειδωση του υδρογόνου λαμβάνει χώρα σε όλη την έκταση του καταλύτη, σε παραπάνω από ένα ενεργό κέντρο του δηλαδή ταυτόχρονα. Στη μεγάλη αυτή διασπορά στην ουσία οφείλεται η ύπαρξη αξιόλογης ροής ρεύματος.

Μειονέκτημα στη χρήση του Pt ως καταλύτη αποτελεί, εκτός το μεγάλο κόστος του, η μείωση της καταλυτικής του δράσης του ως συνέπεια της παρουσίας διαφόρων προσμίξεων όπως το CO στο καύσιμο του υδρογόνου αν αυτό προέρχεται από αναμόρφωση άλλων καυσίμων ακόμα και στις χαμηλές συγκεντρώσεις όπου αυτό συναντάται της τάξεως του 1%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισχύς του δεσμού Pt - CO είναι μεγαλύτερη του δεσμού Pt - H μειώνοντας τα καταλυτικά ενεργά κέντρα αφού για το σπάσιμο του πρώτου χρειάζονται θερμοκρασίες κοντά στους 150 °C. Αυτός είναι και ο λόγος όπου δικαιολογεί την έρευνα για μεμβράνες ικανές να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες μεταξύ των 120 °C και 200 °C αφού σε αυτήν την περιοχή η δηλητηρίαση είναι ελάχιστη και μειώνει παρά ελάχιστα την ολική απόδοση της κυψέλης.

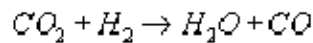
Κράμα λευκόχρυσου-ρουθηνίου ( Pt - Ru ), επιπλέον, παρουσιάζει, καλύτερες καταλυτικές ιδιότητες από τον καθαρό Pt στην άνοδο γεγονός το οποίο έγκειται κυρίως στη μεγαλύτερη του ανθεκτικότητα στη δηλητηρίαση από το CO , με αποτέλεσμα μεγαλύτερες τάσεις εξόδου. Μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα το γιατί μέσω των επόμενων αντιδράσεων στις οποίες λαμβάνουν μέρος δύο κοντινά ενεργά κέντρα, Pt και Ru



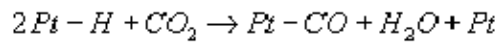
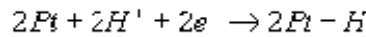


Εξάλλου η ηλεκτρονική πυκνότητα του Pt μειώνεται, καθώς αυτό βρίσκεται στον καταλύτη ως μέρος κράματος και επομένως η ισχύς του δεσμού Pt - CO μειώνεται αφήνοντας μεγαλύτερη ποσότητα PtRu ελεύθερη. Άλλα κράματα του Pt εκτός του Pt - Ru τα οποία έχουν μελετηθεί στο ρόλο του καταλύτη είναι τα Pt - Rh και Pt - Ir τα οποία όμως δεν είναι τόσο αποτελεσματικά όσο το πρώτο.

Τέλος εκτός από το CO και το  $CO_2$  δρα σαν δηλητήριο καθώς αυτό παράγει CO όπως βλέπουμε από τις αντιδράσεις που ακολουθούν

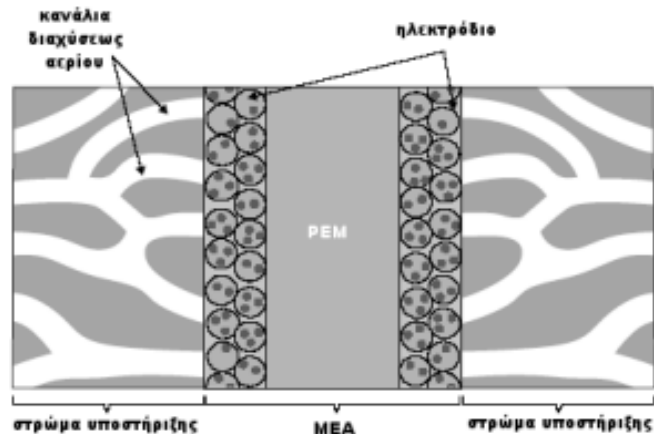


και



### 3.5. Στρώματα υποστήριξης

Το υλικό το οποίο στηρίζει την MEA είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί το ρεύμα το οποίο παράγεται από αυτήν. Τα στρώματα αυτά ( backing layers ) βρίσκονται υπό μορφή λεπτού στρώματος, το ένα δίπλα στην άνοδο και το άλλο δίπλα στην κάθοδο ενώ είναι συνήθως φτιαγμένα από πορώδη άνθρακα και έχουν πάχος το οποίο κυμαίνεται από 100 έως και 300 μικρά (Σχήμα 6). Το υλικό κατασκευής διαλέγεται έτσι ώστε να άγει το ρεύμα το οποίο εισέρχεται από την άνοδο και εξέρχεται από την κάθοδο.



Σχήμα 6. Στρώματα υποστήριξης ενός συστήματος μεμβράνης -ηλεκτροδίου

Την απαίτηση για πορώδη μορφή τη θέτει η ανάγκη για αποτελεσματική διάχυση του κάθε αερίου (καυσίμου ή αέρα) στην MEA καθώς αυτό κινείται από την εξωτερική περιοχή προς τη μεμβράνη λόγω διαφοράς συγκεντρώσεως. Για αυτό το λόγο το στρώμα αυτό ονομάζεται και στρώμα διάχυσης αερίου ( gas diffusion layer , GDL ). Επιπλέον, τα στρώματα υποστήριξης βοηθούν στη σωστή διαχείριση νερού αφήνοντας την κατάλληλη ποσότητα νερού να εισέλθει στη μεμβράνη.

Το μέγεθος των πόρων παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση της κυψέλης. Μεγάλου όγκου πόροι βοηθούν στην πιο εύκολη μεταφορά των αερίων αλλά ταυτόχρονα περιορίζεται ο όγκος του αγωγίμου υλικού με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης και μείωσης του παραγόμενου ρεύματος. Το αντίστροφο ισχύει για μικρούς πόρους.

### 3.6. 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 κυψέλιδα καυσίμου.

### 3.7. Διαχείριση νερού

Η διαχείριση νερού ( water management ) είναι μία έννοια κλειδί όσων αφορά την αποτελεσματική λειτουργία μίας PEM κυψέλης. Παρόλο που το νερό αποτελεί προϊόν της αντίδρασης της κυψέλης και μεταφέρεται εκτός αυτής, *τόσο το καύσιμο (υδρογόνο) όσο και ο αέρας (με το οξυγόνο που αυτός περιέχει) πρέπει να περιέχουν επαρκή ποσότητα υγρασίας έτσι ώστε η μεμβράνη να διατηρείται ενυδρη.*

Ωστόσο, προσοχή πρέπει να δοθεί στο ποσό του νερού αυτού αφού λιγότερη από τη ιδανική ποσότητα επηρεάζει αρνητικά την ιοντική αγωγιμότητα της μεμβράνης με αποτέλεσμα τη μείωση του αποδιδόμενου ρεύματος. Αν ο ρυθμός με τον οποίο ο αέρας εισέρχεται στην κυψέλη είναι αργός τότε το νερό το οποίο παράγεται δεν απομακρύνεται αρκετά γρήγορα και αυτό έχει ως συνέπεια το "πλημμύρισμα" της καθόδου αποτρέποντας με τη σειρά του το οξυγόνο να εισέλθει στα καταλυτικά κέντρα της καθόδου.

### 3.8. Ροή αερίων και συλλογή ρεύματος

Σε επαφή με τα στρώματα υποστήριξης βρίσκεται υλικό (υπό μορφή πλάκας) το οποίο έχει διττό ρόλο στη λειτουργία της κυψέλης. Κατά πρώτον, καθορίζει το πεδίο ροής ( flow field ) των αερίων και κατά δεύτερον συλλέγει το παραγόμενο ρεύμα. Το υλικό αυτό είναι ελαφρύ, σκληρό, ανθεκτικό σε διαβρωτικές ουσίες, μη διαπερατό από αέρια και αγωγίμο. Γραφίτης και μέταλλα χαρακτηρίζονται από αυτές τις ιδιότητες και είναι αυτά όπου συνήθως χρησιμοποιούνται.

Η πλάκες αυτές ορίζουν ένα πεδίο ροής στα εισερχόμενα αέρια. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια καναλιών τα οποία βρίσκονται στη μία πλευρά της πλάκας με τέτοιο τρόπο ώστε το πεδίο να είναι ομοιογενές και να μεγιστοποιείται η απόδοση. Επίδραση στην απόδοση έχουν παράγοντες όπως το

πλάτος και το βάθος των καναλιών αυτών. Βλέπουμε δηλαδή πως η κατασκευή των καναλιών επηρεάζει το πεδίο ροής των αερίων όπου με τη σειρά του επηρεάζει την αποδοτικότητα της κυψέλης. Εξάλλου η κατασκευή των καναλιών καθορίζει και την αποτελεσματική εισροή και εκροή του απαραίτητου για τη λειτουργία της κυψέλης νερού.

Δεύτερος σκοπός κάθε πλάκας είναι αυτός της συλλογής του παραγόμενου ρεύματος. Προκειμένου το ηλεκτρικό ρεύμα αυτό να διέλθει εκτός της κυψέλης μεταφέρεται από την άνοδο στο στρώμα υποστήριξης και στη συνέχεια στην πλάκα. Αυτή τροφοδοτεί το εξωτερικό κύκλωμα και στη συνέχεια το ρεύμα διέρχεται στην πλάκα της καθόδου.

## 4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΨΕΛΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

### 4.1. Υπολογισμός τάσης ιδανικής κυψέλης καυσίμου

Για τον υπολογισμό της τάσης μιας ιδανικής κυψέλης καυσίμου απαιτείται η γνώση των ενεργειακών διαφορών μεταξύ αντιδρώντων ( $H_2 + \frac{1}{2}O_2$ ) και προϊόντων ( $H_2O$ ). Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της μεταβολής της ελεύθερης ενέργειας κατά Gibbs κατά τη μετατροπή των αντιδρώντων σε προϊόντα. Γνωρίζουμε πως η σχέση μεταξύ της μέγιστης τάσης  $\Delta E$  και της ελεύθερης ενέργειας κατά Gibbs  $\Delta G$  δίνεται από τη σχέση

$$\Delta E = -\frac{\Delta G}{nF}$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των mol των ηλεκτρονίων όπου παίρνουν μέρος στην αντίδραση ανά mol  $H_2$  και  $F$  η σταθερά του Faraday ίση με 96487 Joules/Volt.

Η ελεύθερη ενέργεια υπολογίζεται από το τύπο

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

όπου τα  $\Delta H$  και  $\Delta S$  είναι η μεταβολή της ενθαλπίας και της εντροπίας αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας θεωρητικά αριθμητικά δεδομένα για θερμοκρασία δωματίου έχουμε

$$\Delta G = -285300J - (298K)(-163,2J/K) = -273200J$$

και επομένως για την τάση  $\Delta E$  έχουμε

$$\Delta E = -\left(\frac{-273200J}{2 \cdot 96487J}\right) = 1,23V$$

*Σε θερμοκρασία 80 °C η οποία και χαρακτηρίζει τη λειτουργία της κυψέλης τα  $\Delta H$  και  $\Delta S$  μεταβάλλονται πολύ λίγο κι έτσι έχουμε τελικά  $\Delta E=1,18V$ . Αν επιπλέον επαναλάβουμε τους υπολογισμούς όχι για καθαρό οξυγόνο αλλά για αέρα βρίσκουμε μια νέα τιμή για την τάση ίση με 1,16V.*

### 4.2. Απόδοση

*Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot. Αν*

και **θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα**, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των κυψελών καυσίμου φωσφορικού οξέος, που είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμες, κυμαίνεται στην περιοχή 37-45%, και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τη θερμοκρασία λειτουργίας. Σε φορτίο 50%, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος ή και μερικές φορές μεγαλύτερος από τον βαθμό απόδοσης στο πλήρες φορτίο. **Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85-90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8-1,0.**

*Κυψέλες καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας (δηλαδή τηγμένων αλάτων ή στερεού οξειδίου), της τάξεως του 1 MW, αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50%. Μεγαλύτερες μονάδες σε συνεργασία με συνδυασμένο κύκλο αεροστροβίλου-ατμοστροβίλου αναμένεται ότι θα έχουν ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 50-55%, εάν πρόκειται για κυψέλες καυσίμου τηγμένων αλάτων, και 60-65% για κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου.*

### 4.3. Θεωρητική προσέγγιση

Μπορούμε να συγκρίνουμε την απόδοση μιας κυψέλης καυσίμου και μιας μηχανής εσωτερικής καύσεως σε θεωρητικό επίπεδο. Όπως το θεώρημα του Carnot της θερμοδυναμικής μας υποδεικνύει, υπάρχει κάποιο μέγιστο όριο στην απόδοση μιας θερμικής μηχανής, δηλαδή δεν είναι δυνατή η ολική μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο αλλά μέρος αυτής εκλύεται στο περιβάλλον. Σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης, η μηχανή δέχεται θερμότητα από κάποια δεξαμενή θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία  $T_1$  και μετά τη μετατροπή ενός μέρους της ενέργειας σε μηχανικό έργο, διοχετεύει το υπόλοιπο της ενέργειας στο περιβάλλον θερμοκρασίας  $T_2$  (χαμηλότερης της  $T_1$ ). Η μέγιστη θεωρητική απόδοση δίνεται από τον τύπο

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

και είναι τόσο μεγαλύτερη, όπως φαίνεται, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά αυτών των θερμοκρασιών.

Ωστόσο σε μία κυψέλη καυσίμου δεν εμπλέκεται καμία μετατροπή θερμότητας σε μηχανική έργο οπότε και το όριο της μέγιστης απόδοσης δεν περιορίζεται όπως στην προηγούμενη περίπτωση μιας κι έτσι είναι δυνατή η λειτουργία τους ακόμα και στις χαμηλές θερμοκρασίες των 80 °C.

### 4.4. Πρακτική προσέγγιση

Σε μία πιο πρακτική προσέγγιση, ξεκινάμε εξετάζοντας ένα ηλεκτρικά κινούμενο όχημα βασισμένο στη τεχνολογία των κυψελών καυσίμου. **Με τροφοδότηση της κυψέλης με καθαρό υδρογόνο η απόδοση του μπορεί να φτάσει το 80%.** Όμως κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από αυτό σε μηχανική (κινητική ενέργεια κινητήρα) η ολική απόδοση μειώνεται. Αν επίσης δεχτούμε το γεγονός ότι δεν υπάρχει ακόμα κάποιος πρακτικά εκμεταλλεύσιμος τρόπος αποθήκευσης καθαρού υδρογόνου επί του οχήματος για την άμεση χρήση του στην κυψέλη αλλά απαιτείται η χρήση ενός αναμορφωτή ( reformer ) για τη μετατροπή συμβατικών καυσίμων σε υδρογόνο, η απόδοση ελαττώνεται ακόμα περισσότερο. **Καταλήγουμε μετά τα παραπάνω σε μια απόδοση του 25% με 35%.**

*Συγκρινόμενο με το παραπάνω όχημα, ένα άλλο το οποίο στηρίζεται στη συμβατική βενζίνη, λόγω έκλυσης μεγάλου ποσού θερμότητας κατά την καύση του καυσίμου και σε συνδυασμό με το*

γεγονός ότι αρκετό μέρος της παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από τις διάφορες αντλίες ή ανεμιστήρες της μηχανής έχει απόδοση αρκετά χαμηλή, περίπου 20%.

Θεωρούμε τώρα **όχημα κινούμενο με ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση μπαταρίας**. Η απόδοση μιας μπαταρίας είναι αρκετά υψηλή, περίπου 90%, μιας και οι περισσότερες εκπέμπουν ένα μικρό ποσοστό θερμότητας. Κατά τη μετατροπή της ενέργειας αυτής σε κινητική του κινητήρα καταλήγουμε σε μια απόδοση 70%. Ωστόσο, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη διαδικασία πίσω από την οποία κρύβεται η φόρτιση της μπαταρίας όπου χρησιμοποιούμε. Αν η μέθοδος φόρτισης της δε βασίζεται σε κάποια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική η παραπάνω απόδοση μειώνεται στο 40%. Εξάλλου για τη φόρτιση της μπαταρίας απαιτείται μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από την περιστροφή του κινητήρα σε συνεχές, διαδικασία απόδοσης 90%. Τελικά, φτάνουμε σε **ολική απόδοση περίπου 25%**

Αν και τα ποσοστά βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο, και άλλοι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη όπως, η ταχύτητα ανεφοδιασμού του οχήματος, η περίοδος η οποία μεσολαβεί μεταξύ δύο ανεφοδιασμών, η μόλυνση όπου προκαλείται κ.α.

#### 4.5. 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 αγωγική ώστε το ρεύμα να μπορεί να κινηθεί από τη μία κυψέλη στην επόμενη.

#### 4.6. Υπολογισμός ρυθμού παραγωγής θερμότητας

Υποθέτουμε λειτουργία κυψέλης σε πίεση 1 atm , θερμοκρασία 80 °C, με τάση εξόδου κυψέλης  $V_{εξ}=0,7$  V και παραγόμενο ρεύμα  $I=60$ A. Τότε έχουμε

$$\text{Ισχύς θερμότητας} = \text{Ολική ισχύς} - \text{ισχύς ρεύματος} \Rightarrow$$

$$P_{\theta} = P_{ολ} - P_{η} = (V_{ιδανικό} \cdot I) - (V_{κυψέλης} \cdot I)$$

ενώ αντικαθιστώντας βρίσκουμε τελικά ότι **για κάθε λεπτό λειτουργίας της κυψέλης παράγεται θερμότητα ίση με 1,7kJ περίπου.**

## 5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

### Γεννήτρια για καρδιές



**Κυψέλη καυσίμου αντλεί ενέργεια από το αίμα.**

#### **Τόκιο**

Μια μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου που παράγει ηλεκτρισμό από τη γλυκόζη του αίματος παρουσιάστηκε στην Ιαπωνία. Στο μέλλον, η συσκευή θα μπορούσε να τροφοδοτεί με ενέργεια μηχανικές καρδιές και άλλα τεχνητά όργανα.

Όπως όλες οι κυψέλες καυσίμου, η νέα συσκευή παράγει ηλεκτρισμό αντλώντας ηλεκτρόνια από

την ουσία που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στη συγκεκριμένη περίπτωση από τη γλυκόζη.

Αν και η κυψέλη του Πανεπιστημίου Tohoku δεν είναι η πρώτη κυψέλη βιολογικών καυσίμων, είναι η μόνη μέχρι στιγμής που μπορεί να αντλεί ηλεκτρόνια χωρίς τη χρήση τοξικών ουσιών.

«Δεδομένου ότι ο μεσολαβητής ηλεκτρονίων βασίζεται στη βιταμίνη K3, η οποία υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα, [η νέα κυψέλη] υπερτερεί σε ασφάλεια και θα μπορούσε να παράγει ενέργεια από το αίμα τοποθετημένη ως εμφύτευμα» σχολίασε στο Γαλλικό Πρακτορείο ο καθηγητής Εμβιομηχανικής Ματσουχίκο Νισιζάουα.

Η συσκευή έχει μέγεθος μικρού κέρματος και προς το παρόν η ισχύς της περιορίζεται στα 0,2 χιλιοστά του watt. Ακόμα και έτσι, θα ήταν αρκετή για να τροφοδοτεί υποδερμικές συσκευές μέτρησης της γλυκόζης και να μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα.

### Κατοικία υδρογόνου

#### *Κυψέλες υδρογόνου και ανεμογεννήτριες στο νέο σπίτι του Ιάπωνα πρωθυπουργού*

Το πρώτο οικιακό σύστημα παραγωγής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου εγκατέστησε στο νέο του σπίτι ο πρωθυπουργός της Ιαπωνίας. Έξω από τη νεόκτιστη κατοικία του «πράσινου» Γιουνιχίρο Κοϊζούμι θα εγκατασταθούν επίσης ανεμογεννήτριες. Όπως αναφέρει το Γαλλικό Πρακτορείο Ειδήσεων, ο Κοϊζούμι άνοιξε το γενικό διακόπτη ενώπιον δημοσιογράφων την περασμένη Παρασκευή, αρκετούς μήνες πριν μετακομίσει ο ίδιος στο νέο σπίτι.

Το σύστημα αποτελείται από δύο υπομονάδες συνολικής ισχύος δύο Kilowatt. Οι κυψέλες υδρογόνου, οι οποίες πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσουν στο μέλλον τους βενζινοκινητήρες στα οχήματα, είναι ένα είδος μπαταρίας που παράγει ενέργεια από την αντίδραση υδρογόνου με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Αντί για το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τους συμβατικούς κινητήρες και γεννήτριες, οι κυψέλες υδρογόνου εκπέμπουν μόνο υδρατμούς.

Μικροσκοπικές κυψέλες καυσίμου που καίνε μεθανόλη ή μεθάνιο αναμένεται να αρχίσουν να αντικαθιστούν τα επόμενα χρόνια τις μπαταρίες λιθίου σε κινητά τηλέφωνα και άλλες φορητές συσκευές. Η μία από τις μονάδες στο νέο σπίτι του Κοϊζούμι κατασκευάζεται από τη Matsushita Electric Industrial, ενώ η άλλη από την Ebara Corp.

Πάντως παρά τις πράσινες προδιαγραφές του νέου του σπιτιού, ο Κοϊζούμι έχει υποσχεθεί ότι το καλοκαίρι θα συμβάλει στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για κλιματισμό βγάζοντας στις επίσημες εμφανίσεις του το κοστούμι και τη γραβάτα.



## Γεννήτρια από μικρόβια παράγει ηλεκτρισμό ενώ καθαρίζει τα οικιακά λύματα

*Πηγές ενέργειας κρύβονται στα πιο απίθανα σημεία*

Τα λύματα των υπονόμων θα μπορούσαν κάποτε να χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας, χάρη σε μια συσκευή που φιλοξενεί μικροοργανισμούς και λειτουργεί ταυτόχρονα ως γεννήτρια και ως εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού.



Η «μικροβιακή κυψέλη καυσίμου» (MFC) που αναπτύχθηκε στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Πενσιλβάνια διασπά το οργανικό υλικό στα λύματα και απελευθερώνει από αυτό ηλεκτρόνια, τα οποία διοχετεύονται στη συνέχεια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Όπως αναφέρει το NewScientist.com, το MFC θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον σε αναπτυσσόμενες χώρες για να καλύπτει εν μέρει τις ενεργειακές απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού. Αργότερα, παρόμοιες συσκευές θα μπορούσαν να εγκατασταθούν σε κάθε σπίτι.

Σύμφωνα με τον Μπρους Λόγκαν, επικεφαλής των ερευνητών, όταν τα MFC εξελιχθούν θα μπορούν να παράγουν 51 kilowatt από τα απόβλητα 100.000 ανθρώπων.

### Αντιδράσεις οξειδωσης

Τα αστικά λύματα περιέχουν σε μεγάλες ποσότητες πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη και άλλες οργανικές ενώσεις. Τα βακτήρια που αναπτύσσονται στους υπονόμους οξειδώνουν (διασπούν) τις οργανικές ενώσεις και αποσπούν από αυτές ηλεκτρόνια.

Κανονικά, τα ηλεκτρόνια αυτά χρησιμοποιούνται σε αναπνευστικές αντιδράσεις των βακτηρίων και τελικά ενώνονται με μόρια οξυγόνου. Τα τελικά προϊόντα της διάσπασης είναι διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

Στη νέα κυψέλη, τα βακτήρια στερούνται το οξυγόνο και αναγκάζονται έτσι να διοχετεύσουν τα ηλεκτρόνια σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Η συσκευή αποτελείται από έναν σφραγισμένο κύλινδρο μήκους 15 εκατοστών, μέσα στην οποία βρίσκεται μια κεντρική ράβδος που λειτουργεί ως κάθοδος και οκτώ περιμετρικές ράβδοι που αποτελούν την άνοδο.

Όταν στον κύλινδρο διοχετευτούν λύματα, τα βακτήρια συγκεντρώνονται στις ανόδους και απελευθερώνουν ηλεκτρόνια και πρωτόνια. Τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στις ανόδους, ενώ τα πρωτόνια μετακινούνται προς την κάθοδο.

Η κάθοδος περιβάλλεται από μια μεμβράνη περατή μόνο για τα πρωτόνια. Τα πρωτόνια περνούν μέσα από τη ράβδο και αντιδρούν με οξυγόνο από την ατμόσφαιρα και με ηλεκτρόνια από την άνοδο για να παράγουν τελικά νερό. Η όλη διαδικασία κλείνει το κύκλωμα και προκαλεί τη διέλευση ρεύματος.

Το νέο MFC δεν είναι το πρώτο, είναι όμως το μόνο που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τα ανθρώπινα απόβλητα. Η απόδοση του θα μπορούσε να αυξηθεί στο μέλλον με αύξηση της επιφάνειας των ανόδων ή με αλλαγή του υλικού της ανόδου.

Η χρήση παρόμοιων κυψελών σε μεγάλη κλίμακα θα απαιτήσει πάντως αρκετά χρόνια περαιτέρω ερευνών, πιθανώς δεκαετίες.

### Φορητοί υπολογιστές που λειτουργούν με μεθάνιο στην αγορά από το 2005



Σε περίπου ένα χρόνο αναμένεται να παρουσιαστούν στην αγορά οι πρώτοι φορητοί που τροφοδοτούνται με κυψέλες καυσίμου. Τη διάθεση της νέας τεχνολογίας ίσως επιταχύνει η νεοσύστατη αμερικανική εταιρεία PolyFuel, η οποία ανέπτυξε μια μεμβράνη για κυψέλες μεθανίου.

Όπως αναφέρει το CNet.com, στο μέλλον οι φορητοί θα λειτουργούν συνεχόμενα πάνω από δέκα ώρες. Σε πρώτη φάση, πάντως, οι κυψέλες καυσίμου δεν θα αντικαταστήσουν τις συμβατικές μπαταρίες, αλλά απλώς θα τις συμπληρώνουν.

Η Toshiba και άλλες εταιρείες σκόπευαν να παρουσιάσουν υπολογιστές με κυψέλες καυσίμου εντός του 2004, ωστόσο αναγκάστηκαν να αναβάλουν την κυκλοφορία τους για τουλάχιστον έναν χρόνο. Σύμφωνα με την PolyFuel, περίπου 35 εταιρείες τρέχουν σήμερα ερευνητικά προγράμματα για την ανάπτυξη κυψελών μεθανίου.

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές στις οποίες η ενέργεια που εκλύεται από χημικές αντιδράσεις μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρισμό. Οι κυψέλες καυσίμου για χρήση σε αυτοκίνητα τροφοδοτούνται συνήθως με υδρογόνο αντί για μεθάνιο.

Η κυψελώδη μεμβράνη που ανέπτυξε η Polyfuel διαχωρίζει ένα διάλυμα που περιέχει μεθάνιο από ένα διάλυμα με αέρα, οξυγόνο ή άλλο οξειδωτικό στοιχείο. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, τα μόρια μεθανίου κινούνται προς τη μεμβράνη και, με τη βοήθεια ενός καταλύτη που έχει ενσωματωθεί σε αυτή, απελευθερώνουν ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά κινούνται κατά μήκος εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος και τροφοδοτούν τη συσκευή.

Τα παραπροϊόντα της όλης αντίδρασης είναι διοξείδιο του άνθρακα και νερό, γεγονός που καθιστά τις κυψέλες καυσίμου πιο φιλικές για το περιβάλλον σε σχέση με τις συμβατικές μπαταρίες που περιέχουν τοξικά υλικά όπως μόλυβδο.

### Ενέργεια για νανομηχανές

*Ερευνητές δημιουργούν μπαταρίες με μέγεθος ένα χιλιοστό του χιλιοστού*

Μικροσκοπικές μπαταρίες που θα μπορούσαν να τροφοδοτούν τις νανομηχανές του μέλλοντος αναπτύχθηκαν σε πανεπιστήμιο των ΗΠΑ. Οι συσκευές είναι τόσο μικρές ώστε το βασικό πρόβλημα των ερευνητών είναι τώρα το πώς θα τις φορτίσουν και θα συνδέσουν πάνω τους καλώδια.

Το πρωτότυπο της μικρομπαταρίας, με μήκος μόλις ένα μικρόμετρο (χιλιοστό του χιλιοστού), παράγει ένα πολύ ασθενές ρεύμα -ένα εκατομμυριοστό του milli-ampere. Η ένταση αυτή θα ήταν πάντως αρκετή για να τροφοδοτήσει μικροσκοπικούς αισθητήρες που θα ανιχνεύουν τοξικές ουσίες στο περιβάλλον ή μηχανές που ίσως κάποτε εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος για να μεταφέρουν φάρμακα σε συγκεκριμένους ιστούς.

Για να κατασκευάσουν τις μπαταρίες, ο Δρ Ντέιλ Τίτερς και



οι συνεργάτες του στο Πανεπιστήμιο της Τούλσα στην Οκλαχόμα έριξαν λιωμένο πλαστικό στις 60 τρύπες μιας κυψέλης από οξειδίο του αλουμινίου, με πλάτος όσο μια ανθρώπινη τρίχα.

Τα δύο άκρα του πλαστικού σφραγίστηκαν από ηλεκτρόδια, ένα θετικό και ένα αρνητικό, ανάμεσα στα οποία κινούνται θετικά φορτισμένα ιόντα όταν το κύκλωμα είναι κλειστό.

Η ερευνητική ομάδα χρησιμοποίησε ένα «μικροσκόπιο ατομικής δύναμης» για να μετακινήσει μεμονωμένα άτομα στα ηλεκτρόδια ώστε να κλείσει το κύκλωμα και να φορτίσει την μπαταρία. Επειδή οι συνήθεις μέθοδοι για τη φόρτιση μπαταριών δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές αυτών των διαστάσεων, ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν ότι η εφεύρεση δεν μπορεί να θεωρηθεί μπαταρία.

«Για να είναι πρακτικές, πρέπει πρώτα να αναπτυχθούν μέσα για να φορτίζονται, να απομακρύνονται από το καλούπι και να συνδέονται σε καλώδια» σχολιάζει ο Τσάρλς Μάρτιν του Πανεπιστημίου της Φλόριντα στο Γκέινσβιλ, που ασχολείται επίσης με την κατασκευή μικρομπαταριών. Παρόλα αυτά, «πρόκειται για ένα σπουδαίο εργαστηριακό πείραμα» παραδέχεται.

Οι μικροσκοπικές μπαταρίες παρουσιάζονται στο Journal of Power Sources.

## Φορτιστές τέλος

*Κυψέλη καυσίμου για φορητές συσκευές παρουσίασε η Toshiba*

Μια μικρή κυψέλη καυσίμου της Toshiba θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις μπαταρίες στις φορητές ηλεκτρονικές συσκευές από το 2005. Η κυψέλη χρησιμοποιεί μεθανόλη και μπορεί να τροφοδοτήσει ένα mp3 player για 20 ώρες, με μόλις 2ml καυσίμου.

Παρόμοιες κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν με υδρογόνο, με μεθάνιο ή μεθανόλη αναμένεται να κάνουν από του χρόνου την εμφάνισή τους και σε φορητούς υπολογιστές. Η NEC έχει ήδη παρουσιάσει έναν πειραματικό φορητό με ενσωματωμένη κυψέλη. Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές στις οποίες η ενέργεια από χημικές αντιδράσεις μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρισμό. Τα παραπροϊόντα είναι μόνο διοξείδιο του άνθρακα και νερό, καθιστώντας τις κυψέλες καυσίμου πιο φιλικές για το περιβάλλον. Το πρωτότυπο που παρουσίασε η Toshiba στην Ιαπωνία έχει μέγεθος 2,2 επί 4,5 εκατοστά και ζυγίζει 8,5 γραμμάρια. «Είναι αρκετά μικρή ώστε να ενσωματωθεί σε ασύρματα ακουστικά για κινητά τηλέφωνα, αλλά αρκετά αποδοτική ώστε να τροφοδοτεί ένα mp3 player για 20 ώρες με ένα και μόνο γέμισμα με δύο χιλιοστόλιτρα μεθανόλης υψηλής συγκέντρωσης» δήλωσε εκπρόσωπος της εταιρείας στο Γαλλικό Πρακτορείο Ειδήσεων. Η κυψέλη αναμένεται να έχει περάσει στην παραγωγή το 2005



## Λοιπές 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.

## 6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

### 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.

### Μειονεκτήματα

- ❖ *«Πράσινος» κίνδυνος*  
*Η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμου ίσως βλάπτει το στρώμα του όζοντος*

Η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας τις επόμενες δεκαετίες ίσως βλάψει σημαντικά το στρώμα του όζοντος, σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύεται στο περιοδικό Science.

Η ερευνητική ομάδα του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας (CalTech) υποστηρίζει ότι το υδρογόνο που διαρρέει στο περιβάλλον θα ανεβαίνει πολύ γρήγορα στη στρατόσφαιρα -το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο- όπου θα αντιδρά με το οξυγόνο για το σχηματισμό νερού.

- ❖ *Άγνωστες παράμετροι*

Σύμφωνα με υπολογισμούς, η διαρροή από τις μονάδες παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής του καυσίμου θα αντιστοιχεί στο 20% της ολικής ποσότητας υδρογόνου.

- ❖ *Τέλος ένα μεγάλο μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι το μεγάλο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η χρήση τους.*

## 7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΕΙΚΟΝΕΣ

- *Φορητές κυψέλες καυσίμου:*



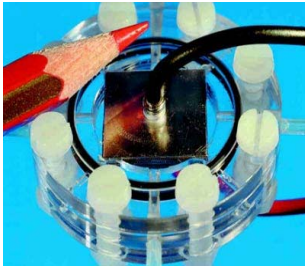
κ



1 kW Hydrogen Power Module



□ Υποκατάστατα Μπαταριών:



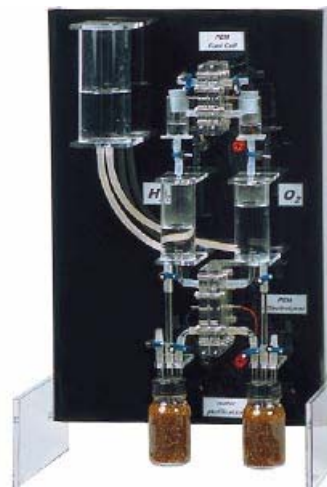
Μικρόφωνο !



□ Οι κυψέλες καυσίμου στην έρευνα και την εκπαίδευση



□



□ Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου ισχύος 250 kW



□ Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με κυψέλες καυσίμου ισχύος 2 kW

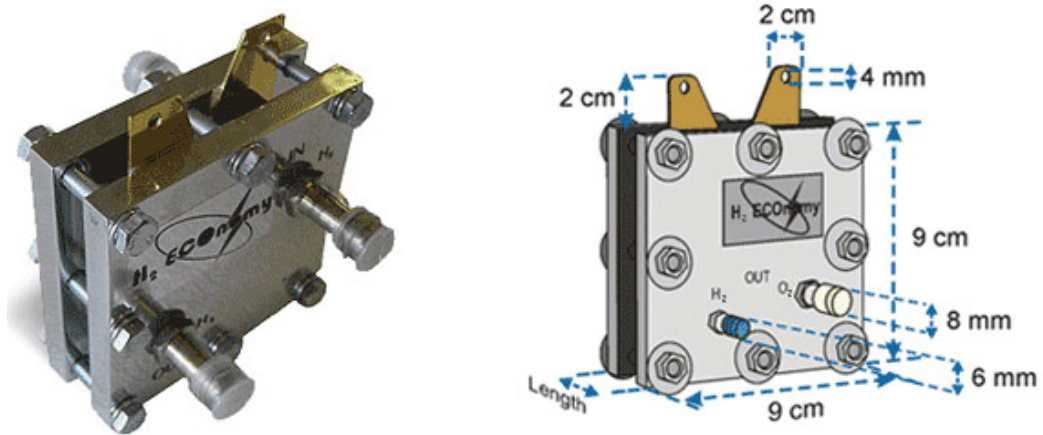


## 7.1 Διασύνδεση

Λόγω της μεγάλης ευελιξίας των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου, όσον αφορά τις παραγόμενες ισχύς και τάσεις εξόδου, δεν

υπάρχει προς το παρόν συγκεκριμένη μεθοδολογία όσον αφορά την διασύνδεση των μονάδων αυτών, αφού με χρήση απλώς του κατάλληλου αριθμού μονάδων κυψελών καυσίμου μπορούμε να προσαρμόσουμε πλήρως και πολύ εύκολα το σύστημα παραγωγής στις απαιτήσεις του δικτύου.

Για του λόγου το αληθές παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός τύπου κυψελίδας καυσίμου μιας πολύ γνωστής εταιρείας του χώρου κατασκευής κυψελίδων CozyFC™., διαφόρων ονομαστικών και κατασκευαστικών στοιχείων. Με κατάλληλη συνδεσμολογία των κυψελίδων σε συστοιχίες μπορούμε να επιτύχουμε τα απαιτούμενα, για τη σύνδεση στο δίκτυο, ονομαστικά στοιχεία εξόδου του συστήματος παραγωγής.



**7.1.1 Ηλεκτρική Ενέργεια σε μικρό πακέτο by CozyFC™**

**CozyFC-1**

• One-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack

• Expected power -

3.5 W at 0.6 V

• Recommended gas pressures -

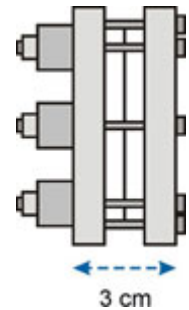
1 bar for H<sub>2</sub> and 1.2 bar for O<sub>2</sub>

• Weight -

700 g

• Length -

3 cm



**CozyFC-2**

• Two-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack

• Expected power -

7 W at 1.2 V

• Recommended gas pressures -

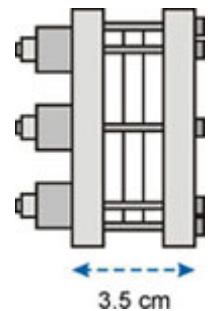
1 bar for H<sub>2</sub> and 1.2 bar for O<sub>2</sub>

• Weight -

750 g

• Length -

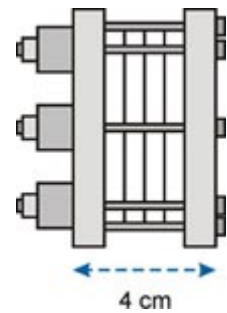
3.5 cm



**CozyFC-3**

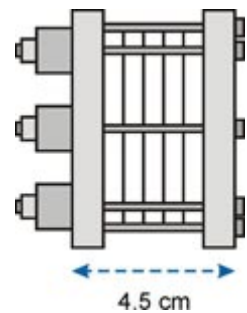
- Three-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack
- Expected power -
- Recommended gas pressures -
- Weight -
- Length -

10 W at 1.8 V  
 1 bar for H<sub>2</sub> and  
 1.2 bar for O<sub>2</sub>  
 800 g  
 4 cm

**CozyFC-4**

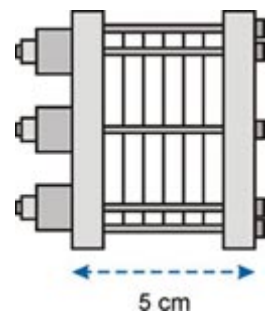
- Four-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack
- Expected power
- Recommended gas pressures -
- Weight -
- Length -

13 W at 2.4 V  
 1.2 bar for H<sub>2</sub> and  
 1.4 bar for O<sub>2</sub>  
 850 g  
 4.5 cm

**CozyFC-5**

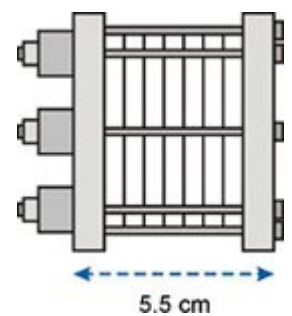
- Five-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack
- Expected power
- Recommended gas pressures -
- Weight -
- Length -

16 W at 3.0 V  
 1.2 bar for H<sub>2</sub> and  
 1.4 bar for O<sub>2</sub>  
 900 g  
 5 cm

**CozyFC-6**

- Six-cell hydrogen/oxygen fuel cell stack
- Expected power -
- Recommended gas pressures -
- Weight -
- Length -

19 W at 3.6 V  
 1.4 bar for H<sub>2</sub>  
 and 1.5 bar for  
 O<sub>2</sub>  
 950 g  
 5.5 cm



### 7.1.2 Accessories –DC-DC Converters by H2 ECOnomy

#### DC-DC Converters – Fuel Cells and Electronics Working Together

DC-100 series low input voltage DC-DC converters enable the use of smaller fuel cell stacks to produce voltages suitable for portable power applications. With H2 ECOnomy's DC-100 series converter you can have an energy source that lasts 4-5 times longer than batteries in portable applications, with the same size and characteristics.



## 8. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### 8.1. Συμπεράσματα – Πρόβλεψη για το μέλλον

Στην εκμετάλλευση του υδρογόνου, ως εναλλακτικού φορέα ενέργειας για σταδιακή υποκατάσταση τόσο του πετρελαίου όσο και του φυσικού αερίου, προσανατολίζεται με εντατικό ρυθμό η διεθνής κοινότητα.

Οι εμπορικές μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου είναι:

- η αναμόρφωση υδρογονανθράκων με ατμό (κυρίως Φ.Α)
- η μερική οξείδωση – αεριοποίηση βαρέων υδρογονανθράκων (πετρέλαιο)
- η ηλεκτρόλυση του νερού

Κατά την παραγωγή υδρογόνου από αναμόρφωση υδρογονανθράκων, την περισσότερο χρησιμοποιούμενη ίσως εμπορική μέθοδο παραγωγής υδρογόνου, καταναλώνεται περίπου το 20-30% του υδρογονάνθρακα και εκλύονται συνεπώς αέρια του «θερμοκηπίου». Το πρόβλημα της ρύπανσης παραμένει και στην περίπτωση της ηλεκτρόλυσης, εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Εάν όμως η ηλεκτρική ενέργεια έχει παραχθεί από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τότε κατά την παραγωγή του υδρογόνου εκλύονται μηδενικοί ρύποι.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πλήθος (κατάλληλα τροποποιημένων) τεχνολογιών καύσης όπως καταλυτικούς καυστήρες, λέβητες αερίου, αεροστροβίλους και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει νερό αλλά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξείδια του αζώτου.

Οι κυψελίδες καυσίμου είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία που επιτρέπει μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία τους είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει τη λειτουργία μιας μπαταρίας, με τη διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου.

Θέματα απεξάρτησης από εισαγόμενους υδρογονάνθρακες αφ' ενός αλλά και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ορυκτών καυσίμων αφ' ετέρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον το υδρογόνο που θα παράγεται από ΑΠΕ θα παίζει σημαντικό ρόλο:



- μεσοπρόθεσμα, ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας
- μακροπρόθεσμα, ως καθαρό καύσιμο για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας (για θέρμανση) ή για τις μεταφορές (καύσιμο στα αυτοκίνητα).

Υπό αυτό το σκεπτικό, η ευρωπαϊκή βιομηχανία έχει αποδοθεί σε έναν αγώνα δρόμου για να πλησιάσει τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία στις τεχνολογίες για παραγωγή – χρήση υδρογόνου. Αντίστοιχα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει σαν θέμα πρώτης προτεραιότητας την Έρευνα και Ανάπτυξη στο χώρο αυτό. Ορισμένες χώρες πλούσιες σε δυναμικό ΑΠΕ όπως η Νορβηγία και η Ισλανδία, έχουν ξεκινήσει σημαντικά εθνικά προγράμματα για την παραγωγή, χρήση και εξαγωγή υδρογόνου σε άλλες χώρες.

## 8.2 Ο ρόλος της Ελλάδας

Σε αυτό το ανταγωνιστικό περιβάλλον, η Ελλάδα δεν πρέπει να μείνει ουραγός και εν τέλει αποδέκτης τεχνολογιών που θα παράγονται στο εξωτερικό. Τμήματα του εξοπλισμού για την παραγωγή (ηλεκτρολυτική μονάδα) και χρήση του υδρογόνου (κυψελίδες καυσίμου) θα μπορούσαν να κατασκευαστούν στην Ελλάδα. Επιπλέον, εκτιμάται ότι στην «εποχή του υδρογόνου», **η Ελλάδα θα μπορεί να παίξει έναν σημαντικό ρόλο σαν προμηθευτής του καυσίμου αυτού, μια και είναι προικισμένη με πλούσιο δυναμικό ΑΠΕ.**

Σε μία τέτοια εθνική προσπάθεια, σημαντικός είναι ο ρόλος του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), το οποίο σαν Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας, προχωρεί στην εξασφάλιση ελληνικής τεχνογνωσίας στις τεχνολογίες υδρογόνου μέσω της απόκτησης και λειτουργίας:

- εργαστηριακού εξοπλισμού για την παραγωγή υδρογόνου από ΑΠΕ,
- εξοπλισμού «βιομηχανικής κλίμακας» για την παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή ή αιολική ενέργεια,
- εξοπλισμού για την αποθήκευση - μεταφορά και καθαρή χρήση του υδρογόνου (κυψελίδες καυσίμου) και
- μέσω της ανάπτυξης τεχνογνωσίας, λογισμικού και εξοπλισμού ή τμημάτων εξοπλισμού για την παραγωγή και χρήση υδρογόνου σε ενεργειακές εφαρμογές, στις μεταφορές, τη βιομηχανία ή στα κτίρια.

Η εμπειρία και ο ανωτέρω εξοπλισμός επιδιώκεται να αποκτηθούν μέσω ανταγωνιστικών προγραμμάτων της ΕΕ, εθνικών προγραμμάτων ή μέσω ιδίων κεφαλαίων.

*Το ΚΑΠΕ θέτει τις βάσεις για την παραγωγή «οικολογικού» υδρογόνου στις εγκαταστάσεις του στο Αιολικό Πάρκο Λαυρίου.*

Έχει ήδη υπογραφεί το σχετικό συμβόλαιο με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, στο πλαίσιο του Προγράμματος ENERGIE, που προβλέπει την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής, αποθήκευσης και συμπίεσης υδρογόνου, αποκλειστικά από μέρος της αιολικής ενέργειας που παράγεται στο Αιολικό Πάρκο του Λαυρίου. Σε πρώτη φάση το υδρογόνο θα διατεθεί σε βιομηχανική χρήση ενώ ανοίγει ο δρόμος για τη μελλοντική χρήση του για παραγωγή ενέργειας.

Μεταξύ άλλων, μέσω της Δ/σης ΑΠΕ και των Τμημάτων Υδρογόνου και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων το ΚΑΠΕ συμμετέχει στα ακόλουθα ερευνητικά έργα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας:

- Ανάπτυξης ενός συστήματος απρόσκοπτης λειτουργίας εφαρμογών τηλεπικοινωνιών (π.χ. αναμεταδότες κινητής τηλεφωνίας), με χρήση τεχνολογιών υδρογόνου. Πρόκειται

για ένα σύστημα που μπορεί να καλύψει φορτίο 5 kW για διακοπές ρεύματος διάρκειας έως 5 ώρες.

- Αντικατάσταση των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα σε κινητά τηλέφωνα με αντίστοιχες τεχνολογίες υδρογόνου (αποθήκευση / παραγωγή υδρογόνου μέσω οξειδοαναγωγής δύο στερεών και χρήση υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου).
- Μελέτης της αγοράς σχετικά με την εφαρμογή τεχνολογιών υδρογόνου σε αποκεντρωμένα ηλεκτρικά συστήματα έως 200 kW ισχύος, τα οποία έχουν ενσωματωμένες τεχνολογίες ΑΠΕ.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Εργασίες

Γκαβανούδης, Γκούμας, 2005, «Κυψέλες καυσίμου», Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Ι του τμ. ΗΜΜΥ ΑΠΘ, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ντοκόπουλου και τη συνεπικουρία των υπ. Δρ κκ. Νταγκούμα Αθ. , Μαρινόπουλο Αν.

### Οργανισμοί και Κυβερνητικοί φορείς

Hydrogen Now!

<http://www.hydrogennow.org>

National Hydrogen Association

<http://www.hydrogenus.org>

U.S. Department of Energy - Hydrogen <http://www.eere.energy.gov/RE/hydrogen.html>

U.S. Department of Energy - Hydrogen and fuel cells

<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells>

Hydrogen Energy Center

<http://www.hydrogenenergycenter.org>

### Έρευνα

National Renewable Energy Laboratory <http://www.nrel.gov/hydrogen>

### Κυψέλες καυσίμου

Eye for fuel cells <http://www.eyeforfuelcells.com>

Fuel Cell Today <http://www.fuelcelltoday.com>

The hydrogen & fuel cell letter <http://www.hfcletter.com>

### Εκπαίδευση

How the hydrogen economy works <http://people.howstuffworks.com/hydrogen-economy.htm>

History of the Universe <http://www.historyoftheuniverse.com/h2.html>

Los Alamos National Laboratory <http://education.lanl.gov/RESOURCES/h2/education.html>

### Συλλογή συνδέσμων

Open Directory - Hydrogen <http://dmoz.org/Science/Technology/Energy/Hydrogen>

### Προώθηση τεχνολογιών

Hydrogen & Fuel Cell Investor <http://www.h2fc.com>

<http://www.physics4u.gr>

<http://www.in.gr>

<http://www.mxd.gr/modules.php?op=modload&name=News&file=index>

<http://www.rae.gr>

<http://www.focusmag.gr>

<http://el.wikipedia.org>

<http://www.fuelcells.org>

<http://www.ypan.gr>

<http://europa.eu.int/>  
<http://library.techlink.gr>