

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ : Τ.Ε.Ι Πάτρας

ΣΧΟΛΗ : Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (Σ.Τ.Εφ)

ΤΜΗΜΑ : Μηχανολογίας

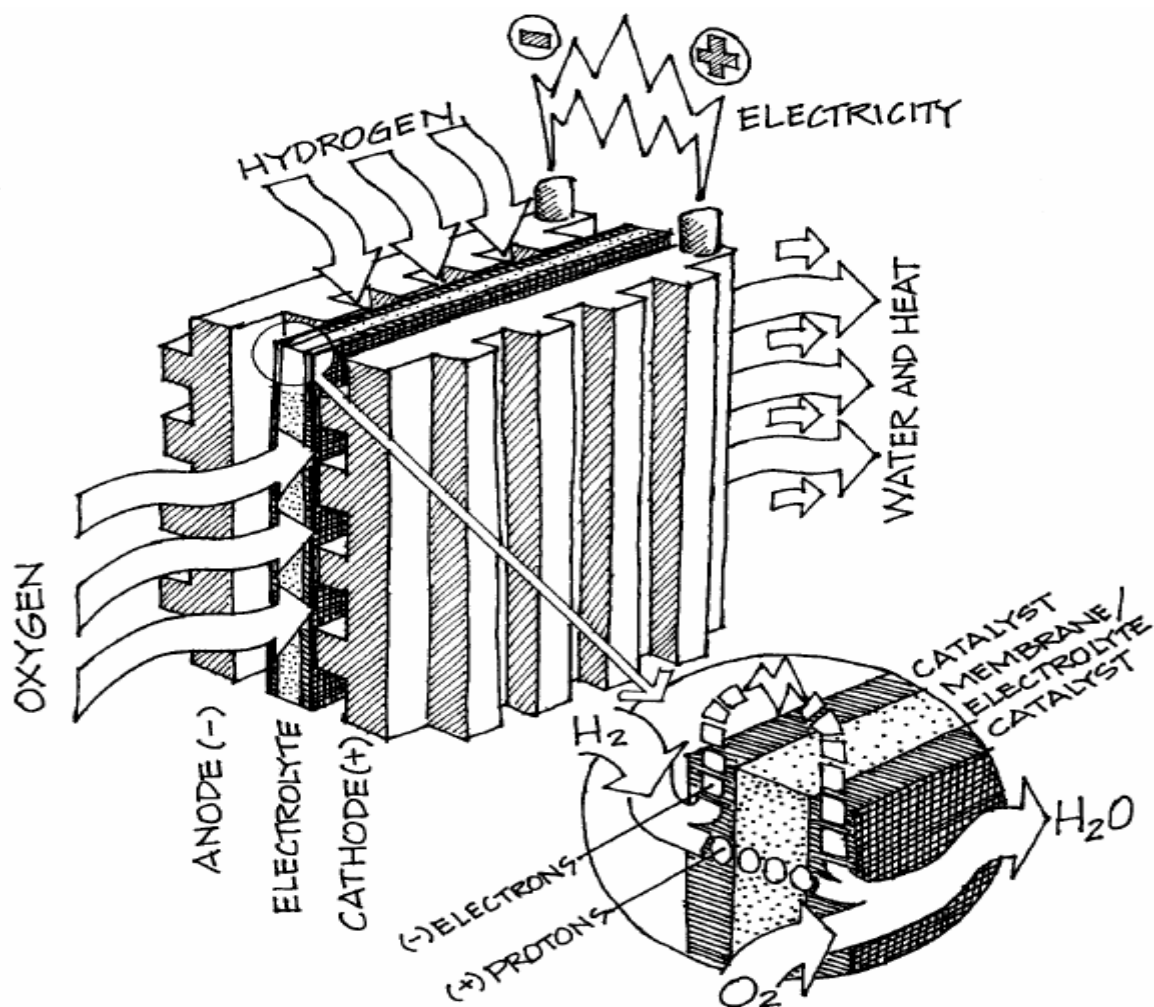
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : Χοχλαδάκης Νικόλαος

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ (Α.Μ) : 3542

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ.Θεοδοπούλου

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : Τα Κύτταρα Καυσίμων Ως Εναλλακτική Πηγή Ενέργειας(Fuel Cells)

ΤΟΠΟΣ – ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ : Πάτρα - 2008



ΘΕΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

- 1) Εισαγωγή {σελ.4}
- 2) Αλλαγή κλίματος, Φαινόμενο του θερμοκηπίου, Μεταφορές {σελ.6}
 - 2.1) Ατμοσφαιρική ρύπανση {σελ.7}
 - 2.2) Η επιστήμη της γήινης αλλαγής κλίματος {σελ.9}
 - 2.3) Το Φαινόμενο Του Θερμοκηπίου {σελ.10}
- 3) William R.Grove (1839 , 1842 , 1843 , 1845 , 1854) {σελ.15}
- 4) Τι είναι το κύτταρο καυσίμων {σελ.18}
- 5) Τύποι κυττάρων καυσίμων {σελ.20}
 - 5.1) Αλκαλικά κύτταρα καυσίμων (AFC) {σελ.21}
 - 5.2) Κύτταρα καυσίμων φωσφορικού οξέως (PAFC) {σελ.24}
 - 5.3) Κύτταρα καυσίμων τετηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC) {σελ.26}
 - 5.4) Στερεά κύτταρα καυσίμων οξειδίων (SOFC) {σελ.29}
 - 5.5) Άμεσο κύτταρο καυσίμων μεθανόλης (DMFC) {σελ.31}
- 6) Κύτταρα Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών Ηλεκτρολυτών {σελ.35}
 - 6.1) Συναρμολόγηση Μεμβρανών / Ηλεκτρονίων {σελ.37}
 - 6.2) Τα ηλεκτρόδια {σελ.39}
 - 6.3) Λευκόχρυσος : το κύριο συστατικό των PEM {σελ.40}
 - 6.4) Τα στρώματα υποστήριξης (the backing layers) {σελ.42}
 - 6.5) Πεδία ροής // Τρέχοντες συλλέκτες {σελ.44}

- 6.6) Διαχείριση του ύδατος (H_2O) εντός του κυττάρου καυσίμου {σελ.45}
(PEM)
- 6.7) Ο Σωρός Κυττάρων Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών {σελ.46}
Ηλεκτρολυτών
- 6.8) Άλλοι Τύποι Συστημάτων Κυττάρων Καυσίμων Μεμβρανών {σελ.49}
Πολυμερών Ηλεκτρολυτών
- 6.9) Ηλεκτροχημεία των κυττάρων καυσίμων {σελ.51}
- 6.10) Αποδοτικότητα , Δύναμη Και Ενέργεια Του Κυττάρου {σελ.52}
Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών Ηλεκτρολυτών
- 6.11) Παραγωγή Της Ιδανικής Τάσης Κυττάρων Καυσίμων {σελ.54}
(Ενεργ. Gibbs)
- 6.12) Ποσοστό Παραγωγής Θερμότητας Σε Ένα Εν Λειτουργία {σελ.55}
Κύτταρο Καυσίμων
- 7) Σύγκριση μηχανών κυττάρων καυσίμων – μηχανών εσωτερικής {σελ.57}
καύσης - μπαταριές
- 7.1) Κύκλος Carnot Vs Κύτταρα καυσίμων {σελ.59}
- 7.2) Το Υδρογόνο ως Καύσιμο {σελ.59}
- 7.3) Επεξεργασία καυσίμων κυττάρων καυσίμων και μετατροπή σε {σελ.63}
υδρογόνο
- 7.4) μηχανή κυττάρων καυσίμων {σελ.64}
- 7.5) Παροχή Καυσίμων σε αυτοκίνητα, τρόποι αποθήκευσης σε ένα {σελ.66}
όχημα
- 7.6) Το πιο ισχυρό Concept fuel cell car από την Honda {σελ.72}
- 8) Χημική συμπαραγωγή {σελ.77}
- 9) Συμπέρασμα {σελ.82}
- 10) Βιβλιογραφία – Παροχή πληροφοριών (δικτυακές σελίδες) {σελ.85}

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

Τα κύτταρα καυσίμων αποτελούν μια από τις πιο αποτελεσματικές αντιρρυπαντικές τεχνολογίες, η εφαρμογή των οποίων δίνει πολλές ελπίδες στην αντιμετώπιση της αέριας ρύπανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα κύτταρα καυσίμων ανάλογα το καύσιμο που χρησιμοποιούν χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες με ειδικά χαρακτηριστικά λειτουργίας και απόδοση. Μια πολύ καλή εικόνα της χρήσης των κυττάρων καυσίμων παίρνουμε συγκρίνοντας τις τεχνολογίες αυτές με τις συμβατικές τεχνολογίες δηλ. την χρήση του H₂ ως καυσίμου με τα συμβατικά καύσιμα όπως το πετρέλαιο ή τη βενζίνη κ.α. Η Honda ως κατασκευάστρια εταιρία αυτοκινήτων έχει κατασκευάσει ένα πραγματικό πρωτότυπο μοντέλο αυτοκινήτου που λειτουργεί με κύτταρα καυσίμων το οποίο προορίζεται για να βγει στο άμεσο μέλλον στην παραγωγή.

1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυτοκίνητο, είναι δίκαιο να πεις...άλλαξε το βιομηχανικό και κοινωνικό υπόβαθρο των περισσότερων χωρών σε όλη την υδρόγειο. Ο Henry Ford συνόψισε την 'Αμερικάνικη ευστροφία' και το 'πρότυπο T' Βοήθησε να δημιουργηθούν ανοικτοί δρόμοι, νέοι ορίζοντες, άφθονη και Ανέξοδη βενζίνη...Περισσότεροι άνθρωποι οδηγούν περισσότερα αυτοκίνητα σήμερα από κάθε άλλη φορά πριν, περισσότερο από 200 εκατομμύρια οχήματα είναι στις Η.Π.Α μόνο , αναγκάζοντας να στηρίζεται στην εισαγωγή πετρελαίου από την μέση Ανατολή, βοηθώντας έτσι να δημιουργηθεί μια σημαντική εμπορική δυσαναλογία. Το αυτοκίνητο όμως έχει συμβάλλει και στον αέρα και την ρύπανση των υδάτων . Σήμερα πολλοί άνθρωποι σκέφτονται ότι η τεχνολογία κυττάρων καυσίμων θα διαδραματίσει έναν κεντρικό ρολό σε μια νέα τεχνολογική αναγέννηση. Ακριβώς όπως το όχημα μηχανών εσωτερικής καύσεως ξεσήκωσε τη ζωή στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Τέτοια καινοτομία θα άσκουσε σφαιρική περιβαλλοντική και οικονομική επίδραση. Τα κύτταρα καυσίμων δεν είναι μόνο εργαστηριακές ανησυχίες.



Μάρτιος 1998, το Σικάγο γίνεται η 1^η χώρα στο κόσμο που έβαλε μη ρυπογόνα λεωφορεία κυττάρων καυσίμων υδρογόνου μέσα στο δημόσιο σύστημα διέλευσης τους.



Το πρώτο κυττάρων καυσίμων τροφοδοτούμενο ποδήλατο που αγωνίστηκε στο Αμερικανικό Tour de sol.

Ενώ υπάρχει πολλή εργασία που πρέπει να γίνει για την βελτιστοποίηση του συστήματος των κυττάρων καυσίμων (Ας θυμηθούμε ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσεως είναι 120 ετών και βελτιώνονται ακόμα), τα οχήματα κυττάρων καυσίμων υδρογόνου βρίσκονται στον δρόμο τώρα. Οι κάτοχοι διαρκούς εισιτηρίου που ζουν στο Σικάγο και το Βανκούβερ χρησιμοποιούν λεωφορεία κυττάρων καυσίμων. Μπορείτε να κάνετε ένα γύρο γύρω από το Λονδίνο μέσα σε ένα ταξί κυττάρων καυσίμων η να ανταγωνιστείτε ακόμα στο Αμερικανικό Tour de Sol σε ένα ποδήλατο κυττάρων καυσίμων. Κάθε σημαντικός αυτοκινητικός κατασκευαστής στο κόσμο αναπτύσσει τα οχήματα κυττάρων καυσίμων. Για να καταλάβουμε γιατί τα κύτταρα καυσίμων έχουν λάβει τέτοια προσοχή, πρέπει να τα συγκρίνουμε με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής.

2) ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ, ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ, ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ .

υπάρχει μια αυξανόμενη επιστημονική συναίνεση ότι τα αυξανόμενα επίπεδα εκπομπών αερίου θερμοκηπίου αλλάζουν το γήινο κλίμα. Τα φυσικά αέρια θερμοκηπίου περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τον υδρατμό (H_2O), το διοξείδιο του αζώτου (N_2O), το μεθάνιο (CH_4) και το όζον (O_3), και είναι ουσιαστικά εάν η γη πρόκειται να υποστηρίξει τη ζωή. Με εξαίρεση τον υδρατμό, το διοξείδιο του άνθρακα που είναι το πιο άφθονο. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης το 1765, καίγοντας τα απολιθωμένα καύσιμα και οι συνεχώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες ενός αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού έχουν προσθέσει τις προκαλούμενες από τον άνθρωπο, ή ανθρωπογενείς, εκπομπές αερίου θερμοκηπίου στο περιβάλλον. Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί ένα μικροσκοπικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας για ένα μόριο σε τρεις χιλιάδες αλλά πλέον είναι το μεγαλύτερο προϊόν αποβλήτων της σύγχρονης βιομηχανικής κοινωνίας. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει ανέλθει από περίπου 280 μέρη ανά εκατομμύριο από τον όγκο στο τρέχον επίπεδο πάνω από 360 μερών ανά εκατομμύριο από τον όγκο και η ανθρωπογενείς προκαλούμενη ατμοσφαιρική συγκέντρωση του μεθανίου έχει διπλασιαστεί. Στα προηγούμενα 100 έτη, τα επίπεδα διοξειδίου του αζώτου έχουν αυξηθεί περίπου 15%, αυξανόμενες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου παγιδεύουν περισσότερη επίγεια ακτινοβολία στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα), ενισχύοντας τεχνητά το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η μέση θερμοκρασία της γης έχει αυξηθεί αρκετά σε σχέση με το παρελθόν και με αρκετό γρήγορο ρυθμό..πλέον οι θερμοκρασίες αγγίζουν και τους 40°C (όχι υπό σκιά).. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα αλλάξει το κλίμα παγκοσμίως από πολλές απόψεις, συμπεριλαμβανομένων των υψηλών θερμοκρασιών, πιο υγρούς χειμώνες, ξηρότερα καλοκαίρια και υψηλότερες στάθμες θάλασσας . Με βάση αυτά τα σενάρια, η διακυβερνητική επιτροπή

έχει καταλήξει ότι η αλλαγή κλίματος λόγω της αύξησης των αέριων του θερμοκηπίου μπορεί να αναμένεται για να προκαλέσει μια άνοδο στη γήινη μέση θερμοκρασία μεταξύ 1°C και 3.5°C μέσα 21ο αιώνα.

2.1) Ατμοσφαιρική ρύπανση.

Αυτή τη στιγμή, όλα τα οχήματα στηρίζονται σε καύσιμα που κάνουν καύση υδρογονανθράκων για να παραγάγουν την απαραίτητη ενέργεια για την προώθησή τους. Η καύση είναι μια αντίδραση μεταξύ των καυσίμων και του αέρα και απελευθερώνουν τα προϊόντα της θερμότητας και της καύσης. Η θερμότητα μετατρέπεται στη μηχανική δύναμη από μια μηχανή και τα προϊόντα της καύσης απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Ένας υδρογονάνθρακας είναι μια χημική ένωση με τα μόρια φτιαγμένα επάνω από άτομα του άνθρακα και του υδρογόνου. Ιδανικά, η καύση ενός υδρογονάνθρακα παράγει μόνο το διοξείδιο του άνθρακα και το ύδωρ, τα οποία δεν βλάπτουν το περιβάλλον. Πράγματι, οι πράσινες εγκαταστάσεις "αφομοιώνουν" το διοξείδιο του άνθρακα από τη φωτοσύνθεση. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα απαραίτητο συστατικό στη φυτική ζωή. Τα ζώα δεν πάσχουν από την αναπνοή του διοξειδίου του άνθρακα εκτός αν η συγκέντρωσή της στον αέρα είναι τέτοια που το οξυγόνο είναι σχεδόν απόν. Πραγματικά, η καύση των καυσίμων υδρογονανθράκων στις μηχανές καύσεως δεν είναι ποτέ ιδανική. Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα και το ύδωρ, τα προϊόντα καύσης περιέχουν ένα ορισμένο ποσό οξειδίων αζώτου (NO_x), μονοξειδίων άνθρακα (CO), και άκαυτων υδρογονανθράκων (HC), οι οποίοι είναι τοξικοί στην ανθρώπινη υγεία και αναλύονται το καθένα ξεχωριστά παρακάτω ...

i) Οξείδια αζώτου:

Τα οξείδια αζώτου (NO_x) προκύπτουν από την αντίδραση μεταξύ του αζώτου στον αέρα και του οξυγόνου. Θεωρητικά, το άζωτο είναι ένα αδρανές αέριο.

Εντούτοις, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι πιέσεις στις μηχανές δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για τον σχηματισμό των οξειδίων αζώτου. Η θερμοκρασία είναι κατά πολύ η σημαντικότερη παράμετρος στο σχηματισμό οξειδίων αζώτου. Το πιο συνήθως οξείδιο αζώτου είναι το νιτρικό οξείδιο (NO), αν και τα μικρά ποσά διοξειδίου αζώτου (NO₂) και τα ίχνη νιτρώδους οξειδίου (N₂O) είναι επίσης παρόντα. Όταν απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, δεν υπάρχει καμιά αντίδραση με το οξυγόνο στη μορφή NO₂. Αυτό αποσυντίθεται αργότερα από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου πίσω στο (NO) και τα ιδιαίτερα αντιδραστικά άτομα οξυγόνου που επιτίθενται στην μεμβράνη των ζωντανών κυττάρων. Το διοξείδιο αζώτου είναι εν μέρει αρμόδιο για την αιθαλομίχλη και το καφετί χρώμα είναι αυτό που την καθιστά ορατή. Αντιδρά επίσης με το ατμοσφαιρικό ύδωρ στη μορφή νιτρικού οξέως (HNO₃), το οποίο αραιώνει στη βροχή. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται ως "όξινη βροχή" και είναι αρμόδιο για την καταστροφή των δασών στις βιομηχανικές χώρες. Η όξινη βροχή συμβάλλει επίσης στην υποβάθμιση των ιστορικών μνημείων φτιαγμένα από μάρμαρο.

ii) Άλλοι ρύποι:

Οι Ακαθαρσίες στα καύσιμα έχουν αποτέλεσμα την εκπομπή των ρύπων. Η σημαντικότερη ακαθαρσία είναι το θείο, το οποίο βρίσκεται συνήθως σε καύσιμα όπως το : diesel , την κηροζίνη (καύσιμο των αεροσκαφών) όπως επίσης στη βενζίνη και το φυσικό αέριο. Η καύση του θείου (ή των ενώσεων θείου όπως το σουλφίδιο υδρογόνου) με το οξυγόνο απελευθερώνει τα οξείδια θείου (SO_x). Το διοξείδιο θείου (SO₂) είναι το σημαντικότερο προϊόν αυτής της καύσης. Επάνω στην επαφή με τον αέρα, διαμορφώνει το τριοξείδιο του θείου, το οποίο αντιδρά αργότερα με το ύδωρ για να παράγουν το θειικό οξύ , ένα σημαντικό συστατικό της όξινης βροχής. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές οξειδίων θείου προέρχονται από τα μέσα μαζικής μεταφοράς , αλλά και κατά ένα μεγάλο μέρος από την καύση του άνθρακα στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και τα εργοστάσια χάλυβα. Επιπλέον, υπάρχει συζήτηση

πέρα από την ακριβή συμβολή των φυσικών πηγών όπως τα ηφαίστεια. Οι επιχειρήσεις πετρελαίου προσθέτουν κάποιες χημικές ενώσεις στα καύσιμά τους, προκειμένου να βελτιωθούν σε απόδοση και διάρκεια ζωής των μηχανών. ο μόλυβδος, χρησιμοποιήθηκε για να βελτιώσει την αντίσταση κτύπου της βενζίνης και επομένως να επιτρέψει την καλύτερη απόδοση μηχανών. Εντούτοις, η καύση αυτής της χημικής ουσίας απελευθερώνει το μέταλλο μόλυβδο, το οποίο είναι αρμόδιο για μια νευρολογική ασθένεια αποκαλούμενη "saturnism." Η χρήση της είναι τώρα απαγορευμένη στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες και έχει αντικατασταθεί από άλλες χημικές ουσίες.

2.2) Η επιστήμη της γήινης αλλαγής κλίματος.

ο πρωτεύον παράγοντας για τη γήινη αλλαγή του κλίματος εξαρτάται από μια θεμελιώδη αρχή, τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, επίσης γνωστός ως νόμος της συντήρησης της ενέργειας. Από μαθηματική άποψη αυτό μπορεί να αντιπροσωπευθεί ως εξής:

$$dQ = dU - dW$$

όπου : dQ = προστιθέμενη θερμότητα στο σύστημα,

dU = αλλαγή στην εσωτερική ενέργεια του συστήματος,

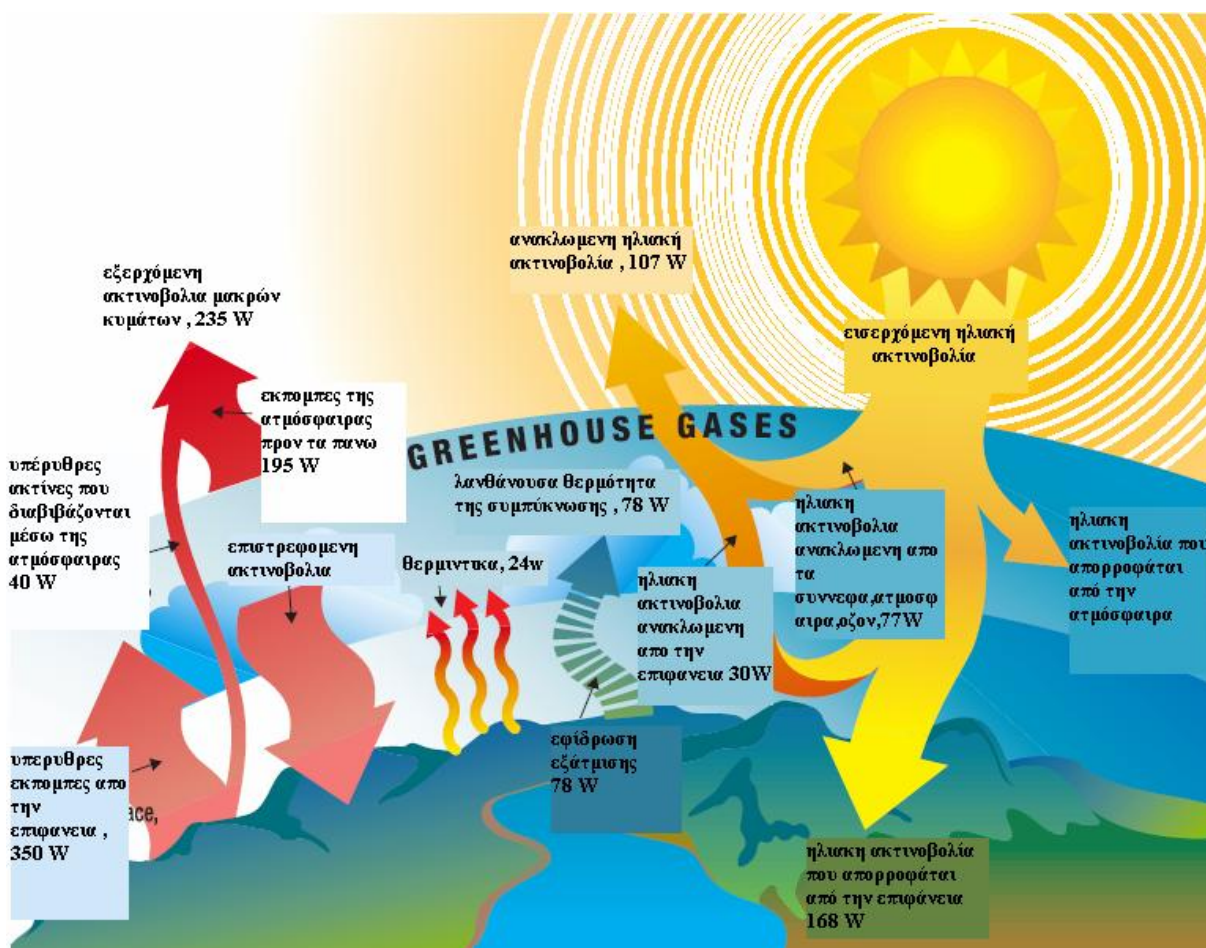
dW = έργο που εξάγεται.

Η ενέργεια δεν μπορεί να κερδηθεί ή να χαθεί σε ένα σταθερό σύστημα μπορεί μόνο να αλλάξει τις μορφές. Ένα τέτοιο σύστημα τείνει να ακολουθήσει ένα "πρότυπο ενεργειακής ισορροπίας." Για να διατηρήσει τη σταθερότητα, το σύστημα (γη-ωκεανός-ατμόσφαιρα) απορροφά την

ενέργεια από τον ήλιο, την ακτινοβολεί υπό μορφή υπέρυθρης ενέργειας (θερμότητας), και την μεταφέρει υπό μορφή ροής λανθάνουσας θερμότητας και αισθητής θερμότητας. Διάφορα φυσικά γεγονότα όπως (ηφαιστειακές εκρήξεις, δασικές πυρκαγιές, κυμαινόμενη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ποικίλη κάλυψη σύννεφων, και άλλες) και ανθρώπινες δραστηριότητες (καύση καυσίμων, παραγωγή αερολύματος, και πρακτικές βιομηχανικής και χρήσης εδάφους που απελευθερώνουν ή αφαιρούν τα παγιδευμένα αέρια θερμοκηπίου, και άλλων) μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ισορροπία μεταξύ της απορρόφησης και της εκπομπής της ακτινοβολίας.

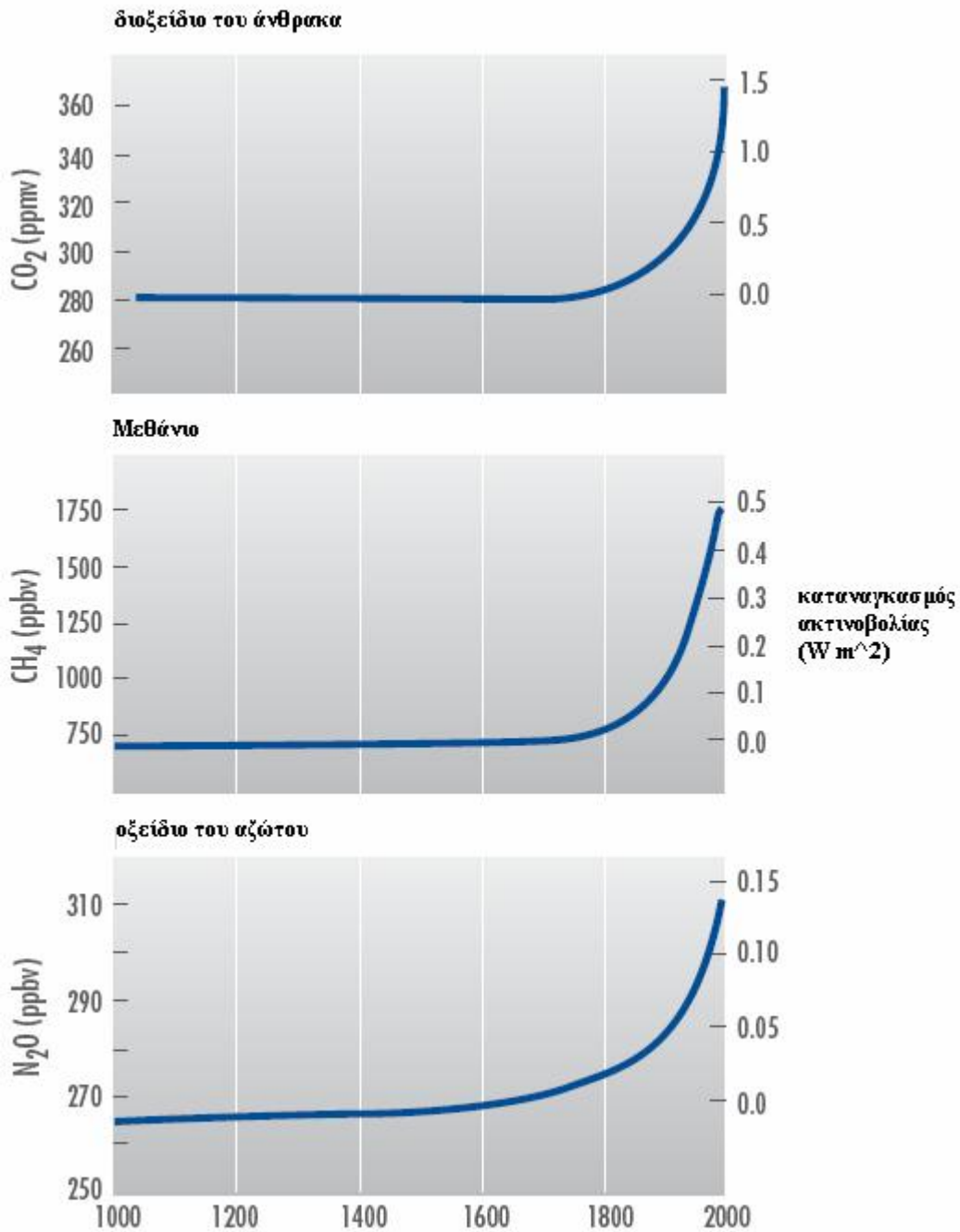
2.3) Το Φαινόμενο Του Θερμοκηπίου.

Ουσιαστικά, όλη η ενέργεια που εισάγεται στη γήινη ατμόσφαιρα προέρχεται από τον ήλιο. Ένα μέρος από την εισερχόμενη ακτινοβολία απορροφάται, ένα άλλο διασκορπίζεται, και ένα άλλο επιστρέφει πίσω στο διάστημα μέσα από τα διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας, των σύννεφων, και των αερολυμάτων (μικροσκοπικά μόρια που αναστέλλονται στην ατμόσφαιρα). Ο ήλιος εκπέμπει την ηλιακή ακτινοβολία κυρίως υπό μορφή ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας. Καθώς αυτή η ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη, περίπου το 25% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και 25% επιστρέφει από τα σύννεφα πίσω στο διάστημα. Η υπόλοιπη ακτινοβολία ταξιδεύει στη γη θερμαίνοντας την επιφάνειά της. Επειδή η γη είναι πολύ πιο δροσερή από τον ήλιο, η ενέργεια που επιστρέφεται από τη γήινη επιφάνεια είναι χαμηλότερη σε ένταση από αυτή που εκπέμπεται από τον ήλιο, δηλ. υπό μορφή αόρατης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Περίπου 90% της υπέρυθρης ακτινοβολίας που ανακλάται από τη γήινη επιφάνεια απορροφάται από τα ατμοσφαιρικά αέρια



Εικόνα 1 : Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου / Πηγή : Fuel cells green power από Sharon Thomas

ιχνών, επίσης γνωστά ως "αέρια θερμοκηπίου," προτού να μπορέσει να δραπέτεύσει στο διάστημα. Αυτά τα αέρια, καθώς επίσης και τα σύννεφα, επάνω-εκπέμπουν αυτήν την ακτινοβολία, στέλνοντας την πίσω προς το έδαφος. Η ατμόσφαιρα ενεργεί όπως το γυαλί σε ένα θερμοκήπιο, επιτρέποντας την μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία να ταξιδέψει κατευθείαν μέσω αυτής, αλλά παγιδεύοντας μερική από την μεγάλου μήκους κύματος υπέρυθρη ακτινοβολία που προσπαθεί να δραπέτεύσει. Αυτή η διαδικασία προκαλεί την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας ακριβώς όπως κάνει στο θερμοκήπιο. Αυτό είναι το φαινόμενο του γήινου φυσικό θερμοκηπίου το οποίο κρατά τον πλανήτη μας θερμότερο κατά 15°C (60°F) από τι κανονικά θα ήταν.



Γρ.Παράσταση 1 : Τάσεις στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των κύριων αέριων ρύπων κατά τη διάρκεια των τελευταίων 1000 ετών. Η επίδραση όπου οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις πρέπει να μειώνουν την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που χάνεται στο διάστημα παρουσιάζεται στα δεξιά σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο ($W m^2$)./ Πηγή : www.ipcc.ch

Επόμενη σελίδα Πίνακας 1 : Ρύποι από ανθρωπογενείς δραστηριότητες /
 Πηγή : www.ipcc.ch

Αέρια θερμοκηπίου	Κύριες πηγές	απορρόφηση	Διάρκεια ζωής στην ατμόσφαιρα	συγκέντρωση ατμόσφαιρας (1998)	Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (1998)	συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO ₂)	<p>1)κάψιμο απολιθωμένων καυσίμων,</p> <p>2)αποδάσωση,</p> <p>3)κάψιμο βιομαζών,</p> <p>4)καύση αερίων ,</p> <p>5)παραγωγή τσιμέντου</p>	<p>1)φωτοσύνθεση</p> <p>2)επιφάνεια της θάλασσας</p>	5 – 200 έτη	365 ppmv	0.4 %	60%
Μεθάνιο (CH ₄)	<p>1)φυσικοί υγρότοποι,</p> <p>2)ορυζώνες ρυζιού</p> <p>3)μηρυκαστικά ζώα</p> <p>4)διάτρηση φυσικού αερίου</p> <p>5)εξαερισμός και μετάδοση (μεταφορές)</p> <p>6)κάψιμο βιομαζών</p> <p>7)μεταλλεία άνθρακα</p>	<p>1)αντίδραση με το τροποσφαιρικό υδροξύλιο (OH),</p> <p>2)αφαίρεση από το έδαφος</p>	12 έτη	1745 ppbv	0.4 %	20%
άνθρακες φωτοστέφανου (περιλαμβάνει CFCs, HFCs, HCFCs)	<p>1)βιομηχανική παραγωγή</p> <p>2)καταναλωτικά αγαθά (π.χ., προωθητήρια αερολύματος (εντομοκτόνα, λακ), ψυκτικές ουσίες, προϊόντα αφρού, διαλύτες, πυροσβεστήρες)</p>	Ποικίλλει.. (π.χ., CFCs, HCFCs: αφαίρεση από τη στρατοσφαιρική φωτόλυση, HCFC, HFC: αντίδραση με το τροποσφαιρικό υδροξύλιο (OH))	2 – 50.000 έτη (π.χ.,CFC - 1,1: 45 έτη, HFC- 23: 260 έτη, CF ₄ : > 50.000 έτη)	ποικίλλει. (π.χ., CFC- 11: 268 ppvt, HFC- 23: 14 ppvt , CF ₄ : 80 ppvt)	ποικίλλει.. τα περισσότερα CFCs μειώνονται ή μένουν σταθερά, όμως τα HFCs αυξάνονται (π.χ., CFC- 11:-0,5%, HFC- 23: + 4%, CF ₄ : + 1,3%)	14%

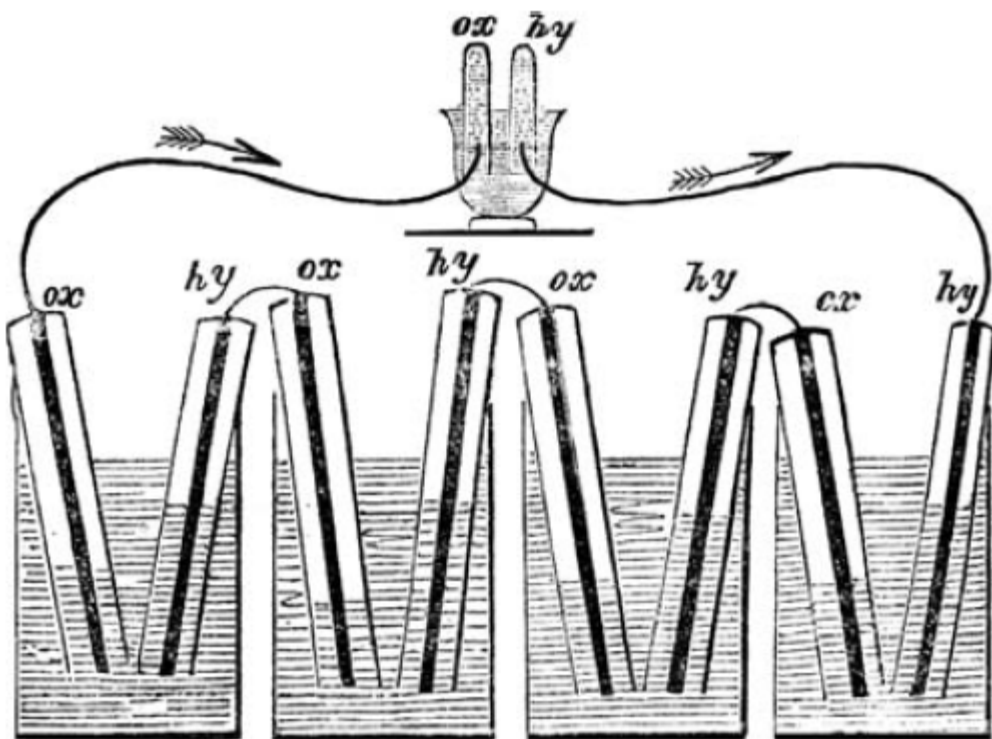
Οξείδιο του Αζώτου (N ₂ O)	1)βιολογικές πηγές στους ωκεανούς και το έδαφος .2)καύση, 3)κάψιμο βιομαζών, 4)λίπασμα	1)αφαίρεση από το έδαφος , 2)στρατοσφαι ρική φωτόλυση	114 έτη	314 ppbv	0.25%	6%
---	--	--	---------	----------	-------	----

Οι κύριες πηγές της εκπομπής των σημαντικότερων ανθρωπογενών ρύπων δίνονται στον πίνακα 1. Οποιοσδήποτε αυξήσεις στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των ειδών άνθρακα, ενώ είναι ακόμα παρούσες μόνο σε χαμηλά επίπεδα σχετικά με άλλα ρύπους, ασκούν μεγάλη επίδραση στο επίπεδο θέρμανσης επιφάνειας εξ αιτίας των χαρακτηριστικών απορρόφησης ακτινοβολίας τους. Οι αλλαγές στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του μεθανίου και του νιτρώδους οξειδίου κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 1000 ετών, που παρουσιάζεται στο πίνακα 1, έχουν ακολουθήσει το ίδιο σχεδόν σχέδιο με το διοξείδιο του άνθρακα. ο πίνακας 1 επίσης εισάγει την έννοια του καταναγκασμού της ακτινοβολίας που είναι ένα μέτρο της καθαρής κάθετης ακτινοβολίας λόγω μιας αλλαγής στο εσωτερικό ή εξωτερικό καταναγκασμό αλλαγής κλίματος του συστήματος, όπως μια αλλαγή στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα ή την παραγωγή του ήλιου. Ένας θετικός καταναγκασμός της ακτινοβολίας δείχνει μια επίδραση θέρμανσης ενώ ένας αρνητικός καταναγκασμός επισημαίνει μια επίδραση ψύξης.

3) William R.Grove (1839 , 1842 , 1843 , 1845 , 1854)

Το 1839, όταν εφευρέθηκε το κύτταρο καυσίμων από τον William R. Grove, κλήθηκε με τον ορό "αεριώδη βολταϊκή μπαταρία" (1842). Ο Grove εκτέλεσε αυτό το πρώτο πείραμα στο Σουόνση, Ουαλία, και περιέλαβε μια περιγραφή της αεριώδους μπαταρίας σαν ένα υστερόγραφο σε μια περιγραφή ενός άρθρου λέγοντας ότι πειραματίζονταν με τα υλικά ηλεκτροδίων για τις γαλβανικές μπαταρίες. Σε αυτό το πείραμα, δύο ηλεκτρόδια λευκόχρυσου βυθίστηκαν μέχρι την μέση μιας κούπας γεμάτη υδάτινου θεικού οξέος, και οι σωλήνες αναστράφηκαν πέρα από κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια, το ένα περιέχοντας το αέριο υδρογόνου και το άλλο το αέριο οξυγόνου. Όταν χαμήλωσαν οι σωλήνες, τα αέρια μετατόπισαν τον ηλεκτρολύτη, αφήνοντας μόνο μια λεπτή επιστρωση του διαλύματος οξέος στο ηλεκτρόδιο. Ένα γαλβανόμετρο εξέτρεψε για να δείξει μια ροή των ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Μετά από την αρχική εκτροπή, το ρεύμα μειώθηκε σε μέγεθος, αλλά το ποσοστό αντίδρασης θα μπορούσε να αποκατασταθεί με την ανανέωση του στρώματος ηλεκτρολυτών. Λόγω της σημασίας αυτής της επιστρώσης, αργότερα ο GROVE συνειδητοποίησε ότι η αντίδραση εξαρτήθηκε από τη "επιφάνεια της δράσης" (GROVE, 1842). Ένας τομέας της επαφής μεταξύ του αντιδραστήριου αερίου και του αρκετά λεπτού στρώματος του υγρού ηλεκτρολύτη για να επιτρέψει στο αέριο να διασκορπιστεί στο στερεό ηλεκτρόδιο. Για να αυξήσει την επιφάνεια δράσης, ο GROVE χρησιμοποίησε τα επιπλατινωμένα ηλεκτρόδια λευκόχρυσου (μόρια λευκόχρυσου που κατατίθενται σε ένα στερεό ηλεκτρόδιο λευκόχρυσου), και με 26 κύτταρα που συνδέθηκαν σε σειρά, ήταν σε θέση να επιτύχει το στόχο του..της

ηλεκτρόλυσης από τα προϊόντα της ηλεκτρόλυσης - υδρογόνο και οξυγόνο. Ένα μικρότερο μοντέλο της μπαταρίας αερίου του GROVE παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Στα περαιτέρω πειράματα, ο GROVE αντικατέστησε τα διαφορετικά αέρια στους σωλήνες για να δει ποια αποτελέσματα θα παρατηρούσε, και βρήκε αυτό με έναν συνδυασμό υδρογόνου και αζώτου, υπήρξε μια μικρή επίδραση όμως, κατάλαβε ότι το οξυγόνο από τον αέρα είχε διαλύσει στη λύση.



Εικόνα 2 : Πρωτότυπο Κυτταρο Καυσίμου Απο Τον William R.Grove

υπήρξαν διαμάχες για τη λειτουργούσα αρχή της αεριώδους μπαταρίας, και ο GROVE (1843) προσπάθησε να αποδείξει την άποψή του ότι ήταν το οξυγόνο που συνέβαλε στη χημική αντίδραση. Εξέτασε δεκατέσσερις συνδυασμούς αερίων στην άνοδο και την κάθοδο και κατέληξε ότι, το χλώριο και οξυγόνο, που τροφοδοτήθηκαν σε ένα από τα ηλεκτρόδια, και το μονοξειδίο υδρογόνου

και άνθρακα, που τροφοδοτήθηκαν στο άλλο, "είναι τα μόνα αέρια που μπορούν να βρίσκονται σε θέση να συνδυαστούν ηλεκτροσυνθετικά ώστε να παραχθεί ένα βολταϊκό ρεύμα." Λόγω της επιλεκτικότητας της αεριώδους μπαταρίας λόγω του οξυγόνου παρά του αζώτου στον αέρα, πρότεινε μια πρακτική χρήση για το κύτταρο καυσίμων, ένα όργανο με το οποίο να καθορίσει την ογκομετρική σύνθεση ενός μίγματος αερίου, που χρησιμοποιείται ειδικά για τον καθορισμό της καθαρότητας του αέρα. Το 1845, ο GROVE παρουσίασε στη βασιλική κοινωνία του Λονδίνου τα αποτελέσματα των πρόσθετων πειραμάτων και εισήγαγε τη βολταϊκή μπαταρία αερίου ως όργανο που εξετάζει την εξάτμιση. Χρησιμοποίησε το φώσφορο και το ιώδιο σε στερεά μορφή, που είναι μη αγώγιμα, και τα ανέστειλε μέσα στο άζωτο στους σωλήνες μιας μπαταρίας αερίου, και το κύτταρο έδωσε ένα συνεχές βολταϊκό ρεύμα. Εξέτασε επίσης "άλλους πτητικούς ηλεκτροθετικούς οργανισμούς, όπως η καμφορά, ουσιαστικά πετρέλαια, αιθέρας και οινόπνευμα," τοποθετώντας τους στο άζωτο από την πλευρά των ανόδων και συνδέοντας τους με το οξυγόνο, και διαπίστωσε ότι εκείνα τα κύτταρα έδωσαν ένα συνεχές βολταϊκό ρεύμα. Περιέγραψε έπειτα μια "νέα μορφή μπαταρίας αερίου" που θα μπορούσε να φιλοξενήσει έναν αόριστο αριθμό κυττάρων, χρησιμοποιώντας το υδρογόνο από τον ψευδάργυρο και το οξυγόνο από τον αέρα. Το 1854, σε σχολιασμό σε εφημερίδα (Matteucci, 1854), ο GROVE πρότεινε μια περαιτέρω εφαρμογή της μπαταρίας αερίου ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας που προήλθε από τα συμβατικά καύσιμα: Έχει εμφανιστεί συχνά σε μένα, ότι εάν, αντί της χρησιμοποίησης ψευδάργυρου και οξέων, τα οποία κατασκευάζονται, και συγκριτικά είναι ακριβά υλικά, για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πραγματοποιήσουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση στον ατμοσφαιρικό αέρα, του κοινού άνθρακα, ξύλου, λίπος, ή άλλες πρώτες ύλες, όποτε μπορούμε να έχουμε αμέσως μια δίκαιη προοπτική της εμπορευματοποίησης αυτής της εφαρμογής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η εφαρμογή προήλθε από "την πεποίθησή του... ότι κάθε χημική

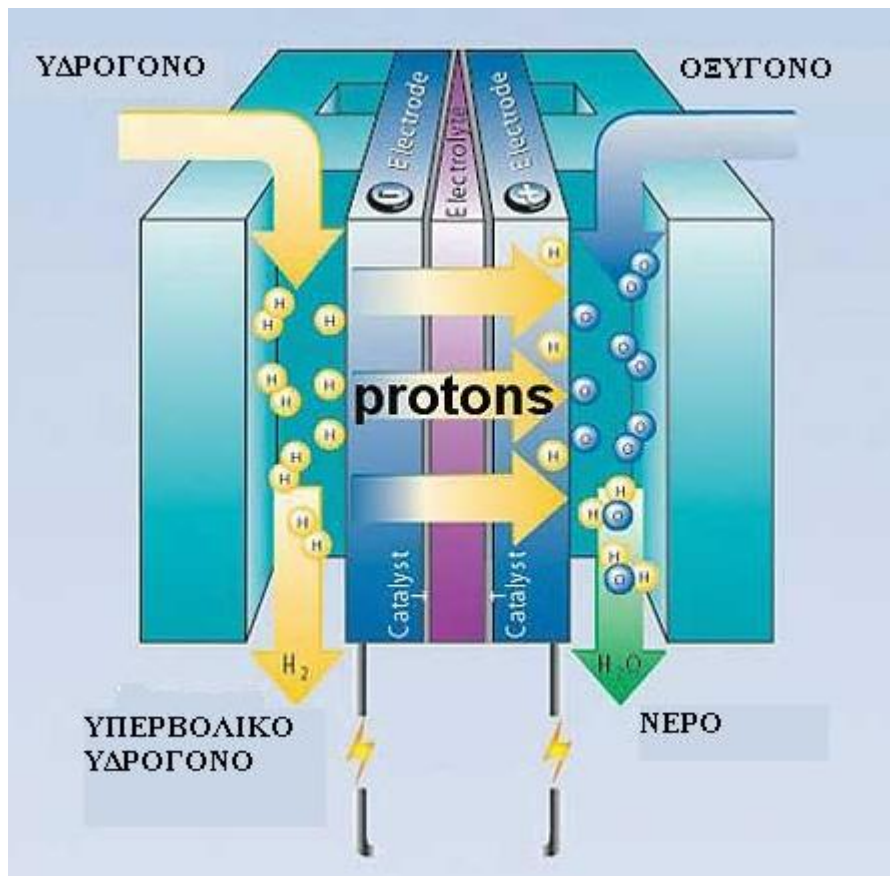
συνθετική δράση μπορεί, από μια κατάλληλη διάθεση συγκεκριμένων συστατικών, να παραγάγει ένα βολταϊκό ρεύμα.

Τέλος 3^{ης} Ενότητας

4) ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΥΤΤΑΡΟ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα κύτταρα καυσίμων είναι ηλεκτροχημικές διατάξεις που μετατρέπουν την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική με παράπλευρες απώλειες σε θερμότητα. Οι διεργασίες αυτές δεν συνοδεύονται από εκπομπές ρυπογόνων ουσιών ενώ το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι στις πιο πολλές περιπτώσεις H_2 ή φυσικό αέριο, υλικά που δεν ενοχοποιούνται για εκπομπή ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ένα κύτταρο καυσίμων απαρτίζεται από την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη. Η κάθοδος τροφοδοτείται με οξειδωτικό ενώ η άνοδος με το καύσιμο. Πραγματοποιούνται δυο ημι αντιδρασεις, μια ημιαντίδραση αναγωγής στην κάθοδο και μια ημιαντίδραση οξειδώσεως στην άνοδο. Ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό ή στερεό που χρησιμεύει για την μεταφορά φορτίων (ιόντων) μεταξύ ανόδου και καθόδου (ιοντική γέφυρα). Η κίνηση των φορτίων μεταξύ ανόδου και καθόδου οφείλεται στο διαφορετικό ηλεκτροχημικό δυναμικό τους που δημιουργεί διαφορά δυναμικού η οποία όταν το κελί καυσίμου συνδεθεί με ένα εξωτερικό κλειστό κύκλωμα δημιουργεί ροή ηλεκτρονίων και παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η απόδοση του κυττάρου καυσίμου μετράται με έναν θερμοδυναμικό συντελεστή που αναφέρεται στο ποσοστό μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η απόδοση του κυττάρου καυσίμου είναι ανεξάρτητη του μεγέθους και από τον τύπο και τις συνθήκες λειτουργίας του. Τα κύτταρα καυσίμων επομένως έχουν ομοιότητες με τις μπαταρίες, με τις οποίες μοιράζονται την ηλεκτροχημική φύση της διαδικασίας ηλεκτρικής παραγωγής, και στις μηχανές που - αντίθετα από τις μπαταρίες - θα λειτουργούν συνεχώς και θα καταναλώσουν καύσιμα κάποιου είδους. Εδώ είναι όπου οι αναλογίες σταματούν, εν τούτοις. Αντίθετα από τις

μηχανές ή τις μπαταρίες, ένα κύτταρο καυσίμων δεν χρειάζεται επαναφόρτιση, λειτουργεί ήσυχα και αποτελεσματικά, και, όταν χρησιμοποιείται το υδρογόνο ως καύσιμο - παράγει μόνο τη δύναμη και καταναλώνει πόσιμο νερό. Κατά συνέπεια, είναι μια αποκαλούμενη *με μηδενικές εκπομπές μηχανή*. από θερμοδυναμικής απόψεως, η πιο εντυπωσιακή διαφορά είναι ότι οι θερμικές μηχανές περιορίζονται από την *αποδοτικότητα Carnot* ενώ τα κύτταρα καυσίμων όχι.



Εικόνα 3 : Βασικό Κύτταρο Καυσίμων / Πηγή : www.scientific-computing.com

5) ΤΥΠΟΙ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

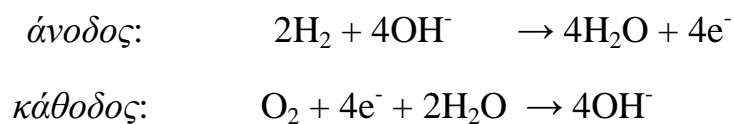
Τα κύτταρα καυσίμων είναι οικογένεια των τεχνολογιών που μοιράζονται την αρχή της ηλεκτροχημικής οξειδωσης των καυσίμων και του χωρικού χωρισμού της οξειδωσης των καυσίμων και της μείωσης του οξειδωτικού. Οι τύποι κυττάρων καυσίμων χαρακτηρίζονται συνήθως από τον ηλεκτρολύτη τους, θερμοκρασία της λειτουργίας, του μεταφερμένων ιόντος και των καυσίμων. Μια περίληψη των τύπων κυττάρων καυσίμων με τα αντίστοιχα υλικά ηλεκτρολυτών, τα μεταφερμένα ιόντα και τις λειτουργούσες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στο τέλος της ενότητας αυτής στον πίνακα 2. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των διαφορετικών τύπων κυττάρων καυσίμων συζητούνται κατωτέρω, με εξαίρεση το κύτταρο καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών, το οποίο συζητείται λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο. Αυτά τα κύτταρα καυσίμων λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες και κάθε μια είναι καταλληλότερη από την άλλη σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα είδη είναι τα εξής :

- 1) κύτταρα καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEMfe / SPFS).
- 2) αλκαλικά κύτταρα καυσίμων. (AFC)
- 3) κύτταρα καυσίμων φωσφορικού οξέος . (PAFC)
- 4) τετηγμένα κύτταρα καυσίμων ανθρακικού άλατος . (MCFC)
- 5) κύτταρα καυσίμων στερεών οξειδίων . (SOFC)

6) Άμεσο κύτταρο καυσίμων μεθανόλης (DMFC)

5.1) αλκαλικά κύτταρα καυσίμων. (AFC)

Τα AFCs χρησιμοποιούν ένα διάλυμα ύδατος του υδροξειδίου καλίου (KOH) ως ηλεκτρολύτη για να διευθύνει τα ιόντα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το υδροξείδιο καλίου είναι αλκαλικό. Επειδή ο ηλεκτρολύτης είναι αλκαλικός, ο ιονικός μηχανισμός διεξαγωγής είναι διαφορετικός από τα κύτταρα καυσίμων PEM. Το ιόν που φέρεται από τον αλκαλικό ηλεκτρολύτη είναι ένα ιόν υδροξειδίου (OH^-). Αυτό έχει επιπτώσεις σε διάφορες άλλες πτυχές του κυττάρου καυσίμων. Οι μισές αντιδράσεις είναι:



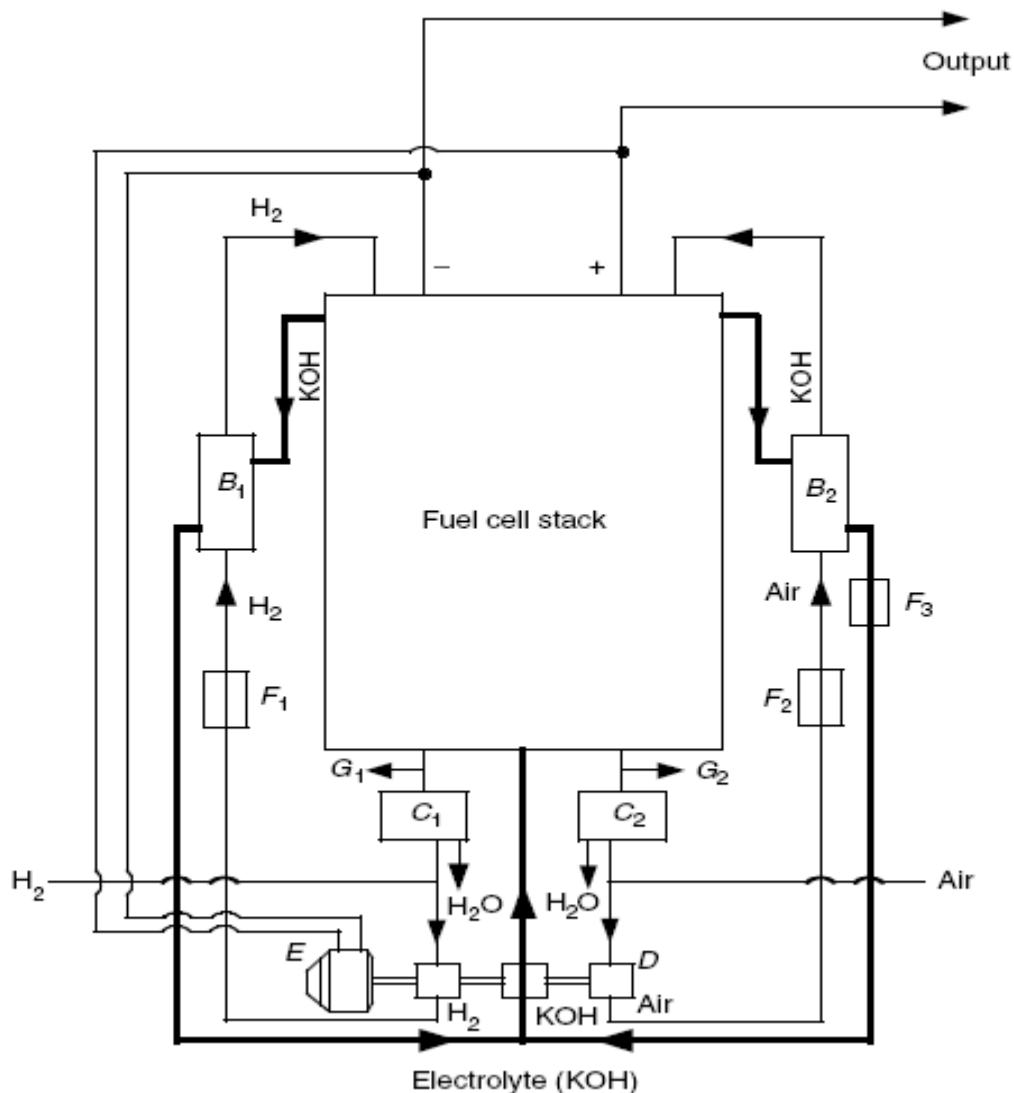
Αντίθετα από στα όξινα κύτταρα καυσίμων, το ύδωρ διαμορφώνεται επάνω στο ηλεκτρόδιο υδρογόνου. Επιπλέον, το ύδωρ απαιτείται στην κάθοδο λόγω μείωσης του οξυγόνου. Η διαχείριση ύδατος γίνεται ένα ζήτημα, το οποίο επιλύεται μερικές φορές με να καταστήσει τα ηλεκτρόδια αδιάβροχα και την κράτηση του ύδατος στον ηλεκτρολύτη. Η αντίδραση καθόδων καταναλώνει το ύδωρ από τον ηλεκτρολύτη όπου η αντίδραση ανόδων απορρίπτει τα προϊόντα του ύδατος. Το υπερβολικό ύδωρ (2 mol. ανά αντίδραση) εξατμίζεται έξω από το σωρό. Τα AFCs είναι σε θέση πέρα από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και πιέσεων (2 από 80 σε 230°C) και (2,2 έως 45 atm) Τα Υψηλής θερμοκρασίας AFCs χρησιμοποιούν επίσης έναν ιδιαίτερα συγκεντρωμένο ηλεκτρολύτη, τόσο

συγκεντρωμένο όπου ο ιονικός μηχανισμός μεταφορών αλλάζει από το διάλυμα ύδατος στο λειωμένο άλας. Τα AFCs είναι σε θέση να παρουσιάζουν πολύ υψηλές αποδόσεις λόγω των γρήγορων κινητικών που επιτρέπονται από τον ηλεκτρολύτη υδροξειδίου. Η αντίδραση οξυγόνου ($O_2 \rightarrow OH^-$) ειδικότερα είναι πολύ ευκολότερη σε σχέση με τη μείωση οξυγόνου των όξινων κυττάρων καυσίμων. Κατά συνέπεια, οι απώλειες ενεργοποίησης είναι πολύ χαμηλές. Οι γρήγορες κινητικές στα AFCs επιτρέπουν στο ασήμι ή στο νικέλιο να είναι καταλύτες αντί του λευκόχρυσου. Έτσι, Το κόστος του σωρού κυττάρων καυσίμων μειώνεται αρκετά. Η afc κινητική βελτιώνεται περαιτέρω από την ενδεχόμενη κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη. Όταν κυκλοφορήσει ο ηλεκτρολύτης, το κύτταρο καυσίμων λέγεται ότι είναι "κινητό κύτταρο καυσίμων ηλεκτρολυτών." Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής είναι:

- α) εύκολη θερμική διαχείριση επειδή ο ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο.
- β) πιο ομοιογενής συγκέντρωση ηλεκτρολυτών, η οποία λύνει τα προβλήματα της συγκέντρωσης γύρω από την κάθοδο.
- γ) η δυνατότητα χρήσης του ηλεκτρολύτη για τη διαχείριση του ύδατος.
- δ) η δυνατότητα αντικατάστασης του ηλεκτρολύτη εάν έχει μολυνθεί από το διοξείδιο του άνθρακα.
- ε) και τέλος υπάρχει η δυνατότητα μετακίνησης του ηλεκτρολύτη από το κύτταρο καυσίμων όταν αυτό κλείνει, το οποίο έχει τη δυνατότητα να μακραίνει πολύ τη διάρκεια ζωής του σωρού.

Η χρήση ενός κυκλοφορημένου ηλεκτρολύτη, εντούτοις, δημιουργεί μερικά δύσκολα προβλήματα. Το μέγιστο πρόβλημα είναι ο αυξανόμενος κίνδυνος διαρροής: το υδροξείδιο καλίου είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό και έχει μια φυσική

τάση να διαρρεύσει ακόμη και μέσω των σφιχτότερων σφραγίδων. Η κατασκευή του μεταλλάκτη κυκλοφορίας αντλιών και θερμότητας και του ενδεχόμενου εξαεριστήρα είναι περαιτέρω περίπλοκη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο κίνδυνος εσωτερικού ηλεκτρολυτικού βραχυκυκλώματος μεταξύ δύο κυττάρων εάν ο ηλεκτρολύτης κυκλοφορεί πάρα πολύ βίαια ή εάν τα κύτταρα δεν είναι αρκετά απομονωμένα. Ένα κυκλοφορόν αλκαλικό κύτταρο καυσίμων ηλεκτρολυτών απεικονίζεται στο σχήμα παρακάτω . Το μέγιστο πρόβλημα με τα AFCs είναι η δηλητηρίαση από το διοξείδιο του άνθρακα. Ο αλκαλικός ηλεκτρολύτης έχει μια μεγάλη συγγένεια με το διοξείδιο του άνθρακα και μαζί διαμορφώνουν τα ιόντα ανθρακικού άλατος (CO_3^{2-}).



Εικόνα 4 Πηγή : modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles από CRC PRESS

ηλεκτρολύτης κυκλοφορίας και τροφοδοσία του υδρογόνου και του αέρα μέσα σε ένα AFC :

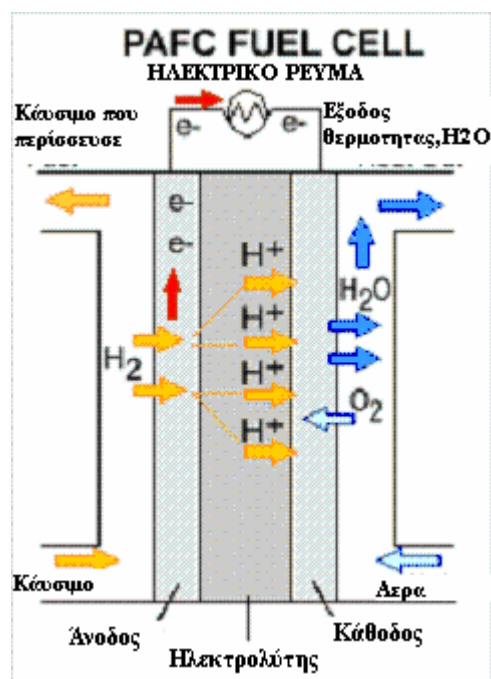
B1, B2 : εναλλακτες θερμότητας / *C1, C2*, συμπυκνωτές / *D* : αντλία / *E* : μηχανή / *F1, F2, F3* : ελεγκτές / *G1, G2*. Αυτά τα ιόντα δεν συμμετέχουν στην αντίδραση κυττάρων καυσίμων και μικραίνουν την απόδοσή του. Υπάρχει επίσης ένας κίνδυνος ότι το ανθρακικό άλας θα κατακρημνίσει και θα εμποδίσει τα ηλεκτρόδια. Αυτό το τελευταίο ζήτημα μπορεί να το φροντίσουν με την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη. Η λύση αυτή, που προσθέτει κόστος και πολυπλοκότητα, είναι να χρησιμοποιηθεί μια συσκευή καθαρισμού του διοξειδίου του άνθρακα που θα αφαιρέσει το αέριο από το ρεύμα αέρα. Τα πλεονεκτήματα AFCs είναι ότι απαιτούν φτηνούς

καταλύτες, φτηνούς ηλεκτρολύτες, υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλής θερμοκρασία λειτουργίας. Εντούτοις, έχουν επίσης μερικά μειονεκτήματα όπως η εξασθετισμένη διάρκεια λόγω του διαβρωτικού ηλεκτρολύτη, η παραγωγή ύδατος στο ηλεκτρόδιο καυσίμων, και της δηλητηρίασης από τα διοξείδια του άνθρακα.

5.2) Κύτταρα καυσίμων φωσφορικού οξέως (PAFC)

Τα PAFCs στηρίζονται σε έναν όξινο ηλεκτρολύτη, για να διευθύνουν τα ιόντα υδρογόνου, όπως και τα κύτταρα καυσίμων PEM. Οι αντιδράσεις ανόδων και καθόδων είναι οι ίδιες με τις αντιδράσεις κυττάρων καυσίμων PEM. Το φωσφορικό οξύ (H_3PO_4) είναι ένα ιξώδες υγρό μέσα στο κύτταρο καυσίμων εντός μιας πορώδης μήτρας καρβιδίου του πυριτίου. τα PAFC είναι η πρώτη τεχνολογία κυττάρων καυσίμων που πωλείται στην αγορά. Πολλά νοσοκομεία, ξενοδοχεία, και στρατιωτικές βάσεις χρησιμοποιούν PAFC για να καλύψουν ένα μέρος ή ολόκληρο το σύνολο των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Στην αυτοκινητοβιομηχανία έχει γίνει Πολύ λίγη εργασία για να εφαρμοστεί αυτή η τεχνολογία στα οχήματα, πιθανώς λόγω των προβλημάτων θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία ηλεκτρολυτών φωσφορικού οξέος πρέπει να κρατηθεί επάνω από $42^{\circ}C$, το οποίο είναι το σημείο ψύξης του. Το πάγωμα του οξέος βαραίνει απαράδεκτα το σωρό. Η κράτηση του σωρού επάνω από αυτήν την θερμοκρασία απαιτεί πρόσθετο υλικό, το οποίο προσθέτει στο κόστος, την πολυπλοκότητα, το βάρος, και τον όγκο του. Τα περισσότερα από αυτά τα ζητήματα είναι δευτερεύοντα στην περίπτωση μιας στάσιμης εφαρμογής αλλά είναι ασυμβίβαστα με μια κινητή εφαρμογή. Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει από την υψηλή λειτουργούσα θερμοκρασία (πάνω από τους $150^{\circ}C$) είναι η κατανάλωση ενέργειας, που συνδέεται με τη θέρμανση του σωρού. Κάθε φορά που αρχίζει το κύτταρο καυσίμων, κάποια ενέργεια (δηλ. καύσιμα) πρέπει να ξοδευτεί για να το θερμάνει μέχρι τη θερμοκρασία λειτουργίας και κάθε φορά που κλείνεται το κύτταρο καυσίμων, η θερμότητα (δηλ. ενέργεια) σπαταλιέται.

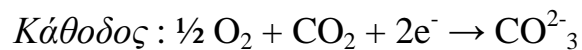
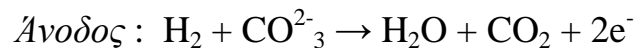
Η απώλεια είναι σημαντική για το σύντομο χρόνο ταξιδιού, ο οποίος είναι ένα κοινό περιστατικό για τους οδηγούς πόλεων. Εντούτοις, αυτό το ζήτημα φαίνεται να είναι δευτερεύον στην περίπτωση της μαζικής μεταφοράς όπως τα λεωφορεία. Τα πλεονεκτήματα PAFC είναι η χρήση ενός φτηνού ηλεκτρολύτη χαμηλής λειτουργούσας θερμοκρασίας, και ενός λογικού χρόνου ξεκινήματος. Τα μειονεκτήματα είναι, ο ακριβός καταλύτης (λευκόχρυσος), η διάβρωση από τον όξινο ηλεκτρολύτη, δηλητηρίαση του CO₂, και χαμηλή αποδοτικότητα.



Εικόνα 5 : Κύτταρο καυσίμων φωσφορικού οξέως / Πηγή : www.eere.energy.gov

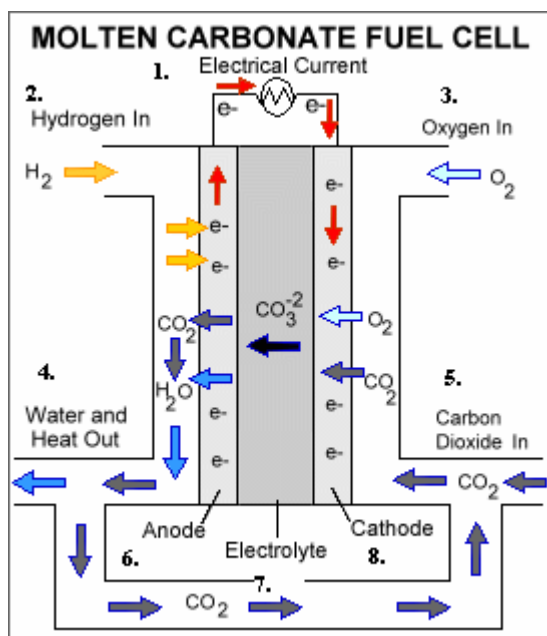
5.3) Κύτταρα καυσίμων τετηγμένων ανθρακικών αλάτων (MCFC)

Τα MCFCs είναι κύτταρα καυσίμων υψηλής θερμοκρασίας (500 - 800°C). Στηρίζονται σε ένα τετηγμένο ανθρακικό άλας για να διευθύνουν τα ιόντα, συνήθως ανθρακικού άλας λίθου - καλίου ή ανθρακικό άλας λίθου - νατρίου. Τα ιόντα που διευθύνονται είναι ιόντα ανθρακικού άλατος (CO_3^{2-}). Ο ιονικός μηχανισμός διεξαγωγής είναι αυτός ενός τετηγμένου άλατος όπως σε ένα PAFC ή τα υψηλής συγκέντρωσης αλκαλικά κύτταρα καυσίμων. Οι αντιδράσεις ηλεκτροδίων είναι διαφορετικές από άλλα κύτταρα καυσίμων:



Η σημαντικότερη διαφορά από τα άλλα κύτταρα καυσίμων είναι η ανάγκη να παρασχεθεί το διοξείδιο του άνθρακα στην κάθοδο. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρξει μια εξωτερική πηγή δεδομένου ότι μπορεί να ανακυκλωθεί από την άνοδο. Τα MCFCs δεν χρησιμοποιούνται ποτέ με το καθαρό υδρογόνο αλλά περισσότερο με τους υδρογονάνθρακες. Πράγματι, το σημαντικότερο πλεονέκτημα των κυττάρων καυσίμων υψηλής θερμοκρασίας είναι η ικανότητά τους, σχεδόν, να γίνεται άμεσα η διαδικασία διάσπασης των καυσίμων υδρογονανθράκων σε υδρογόνο πάνω στα ηλεκτρόδια λόγω υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό θα ήταν ένα τεράστιο πλεονέκτημα για τις αυτοκίνητες εφαρμογές λόγω της παρούσας διαθεσιμότητας των καυσίμων υδρογονανθράκων. Επιπλέον, οι υψηλές θερμοκρασίες ενισχύουν τις κινητικές σε σημείο όπου, φτηνοί καταλύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα MCFCs, εντούτοις, θέτουν πολλά προβλήματα λόγω της φύσης των ηλεκτρολυτών τους

και των θερμοκρασιών λειτουργίας που απαιτούν. Το ανθρακικό άλας είναι ένα αλκάλιο, και είναι εξαιρετικά διαβρωτικό, ειδικά στις υψηλές θερμοκρασίες. Δεν είναι επισφαλές μόνο αυτό, υπάρχει επίσης το πρόβλημα διάβρωσης στα ηλεκτρόδια. Είναι επισφαλές να υπάρξει μια μεγάλη συσκευή σε 500 σε 800°C κάτω από το καπό ενός οχήματος. Ενώ είναι αλήθεια ότι οι θερμοκρασίες στις μηχανές εσωτερικής καύσεως φθάνουν επάνω από 1000°C, αυτές οι θερμοκρασίες είναι περιορισμένες και τα μεγαλύτερα μέρη της μηχανής διατηρούνται δροσερά (γύρω στους 100°C) μέσω του συστήματος ψύξης. Η κατανάλωση καυσίμων που συνδέεται με τη θέρμανση επάνω στο κύτταρο καυσίμων είναι επίσης ένα πρόβλημα, που χειροτερεύει από την πολύ υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, και την λανθάνουσα θερμότητα που είναι απαραίτητη για να λειώσει τον ηλεκτρολύτη. Αυτά τα προβλήματα είναι πιθανό να περιορίσουν τα κύτταρα καυσίμων τετηγμένου ανθρακικού άλατος στις στάσιμες ή σταθερές εφαρμογές δύναμης όπως τα σκάφη.



1. Ηλεκτρικό ρεύμα
2. Είσοδος υδρογόνου
3. Είσοδος οξυγόνου
4. Έξοδος νερού 'κ θερμότητας
5. Είσοδος διοξειδίου του άνθρακα
6. Άνοδος
7. Ηλεκτρολύτης
8. Κάθοδος

Εικόνα 6 : Κύτταρα καυσίμων τετηγμένου ανθρακικού άλατος / Πηγή : www.eere.energy.gov

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των MCFCs είναι ότι τροφοδοτούνται με καύσιμα υδρογονανθράκων, απαιτούν έναν χαμηλού κόστους καταλύτη, έχουν βελτιώσει την αποδοτικότητα λόγω των γρήγορων κινητικών, και τη χαμηλή ευαισθησία στη δηλητηρίαση. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι η αργή εκκίνηση, η μικρή πληθώρα επιλογής στα υλικά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, το σύνθετο σύστημα κυττάρων καυσίμων λόγω της ανακύκλωσης του CO₂, διαβρωτικός ηλεκτρολύτης, και η αργή απόκριση της δύναμης.

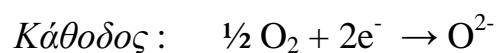
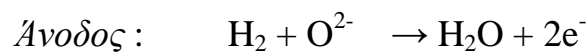


Απεικόνιση του μελλοντικού στόλου. Καλλιτεχνικό concept πιθανού σκάφους που μπορεί να χρησιμοποιήσει τα κύτταρα καυσίμων στο όχι πολύ μακρινό μέλλον ..

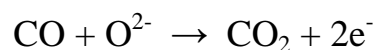
Πηγή : www.ehponline.org

5.4) Κύτταρα καυσίμων στερεων οξειδίων (SOFC)

Τα SOFCs διευθύνουν τα ιόντα σε μια κεραμική μεμβράνη σε υψηλή θερμοκρασία (1000 σε 1200°C). Συνήθως, το κεραμικό είναι ένα σταθεροποιημένο στοιχείο ζirkονίου οξειδίου (yttrium zirconia (YSZ)) που διευθύνει τα ιόντα οξυγόνου (O^{2-}), αλλά κεραμικά όμως, διευθύνουν ιόντα υδρογόνου. Ο μηχανισμός διεξαγωγής είναι παρόμοιος με αυτόν που παρατηρείται στους ημιαγωγούς, αποκαλούμενοι συχνά στερεάς κατάστασης συσκευές. Το όνομα του κυττάρου καυσίμων προέρχεται από εκείνη την ομοιότητα. Οι ημιαντιδράσεις είναι οι ακόλουθες:

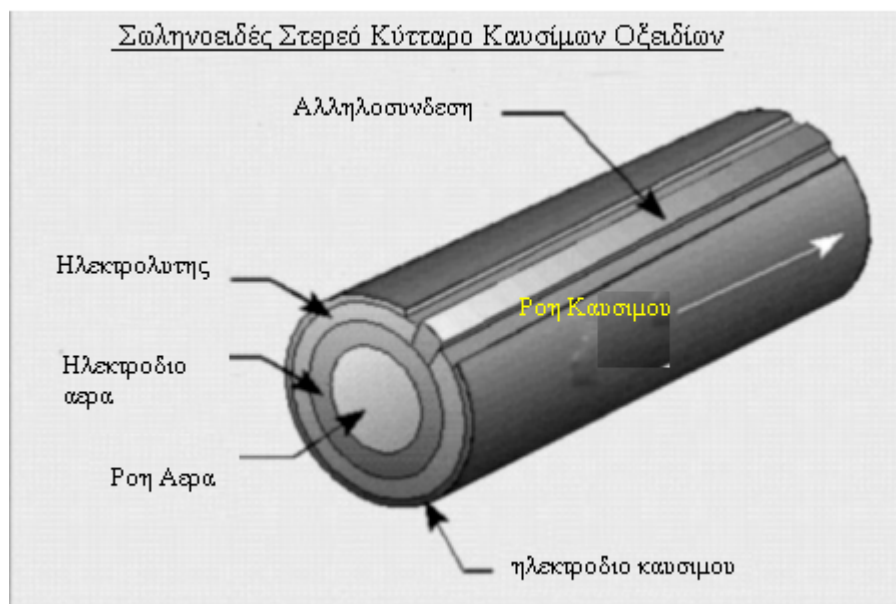


Εδώ πάλι, το ύδωρ παράγεται στο ηλεκτρόδιο καυσίμων. Το μέγιστο πλεονέκτημα των SOFCs είναι ο στατικός ηλεκτρολύτης. Δεν υπάρχει κανένα κινούμενο μέρος, εκτός από ίσως στα βοηθήματα. Η πολύ υψηλή λειτουργούσα θερμοκρασία επιτρέπει τη χρήση των καυσίμων υδρογονανθράκων όπως στα MCFCs. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα SOFCs δεν δηλητηριάζονται από το μονοξείδιο άνθρακα και ότι το επεξεργάζονται περίπου τόσο αποτελεσματικά όσο το υδρογόνο. Η αντίδραση ανόδων είναι έπειτα:



τα SOFCs ωφελείται επίσης από τις μειωμένες απώλειες ενεργοποίησης λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας. Οι απώλειες συγκρατούνται από το ωμικό συστατικό.

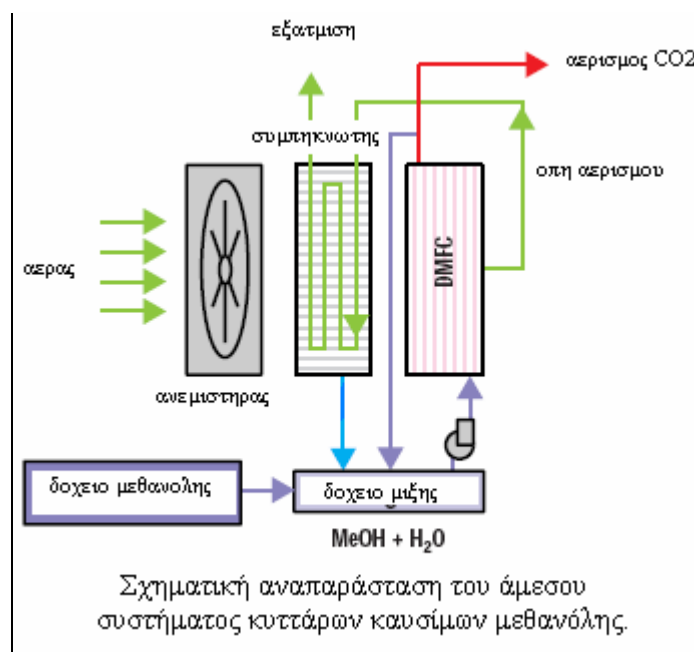
Τα SOFCs μπορούν να είναι δύο ειδών: επίπεδα ή σωληνοειδής. Ο επίπεδος τύπος είναι ένας διπολικός σωρός παρόμοιος με άλλες τεχνολογίες κυττάρων καυσίμων. Ένα σωληνοειδές στερεό κύτταρο καυσίμων οξειδίων περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των σωληνοειδών τεχνολογιών περιλαμβάνουν την ευκολότερη σφράγιση και τους μειωμένους περιορισμούς στη κεραμικά. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την χαμηλότερη πυκνότητα και την αποδοτικότητα της ισχύος. Όπως τα MCFCs, τα μειονεκτήματα των SOFCs συνδέονται συνήθως με την υψηλή λειτουργούσα θερμοκρασία τους (ασφάλεια, οικονομία καυσίμων). Τα συμπληρωματικά προβλήματα προκύπτουν επειδή ο κεραμικός ηλεκτρολύτης και τα ηλεκτρόδια είναι εξαιρετικά εύθραυστα. Αυτό είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα για τις τροχαίες εφαρμογές όπου οι δονήσεις είναι ένα κοινό περιστατικό. Οι θερμικές πιέσεις ανακύκλωσης εντείνουν τα κεραμικά και είναι μια σημαντική ανησυχία για τα επίπεδα κύτταρα καυσίμων.



Εικόνα 7 : Πηγή : modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles από CRC PRESS

5.5) Άμεσο κύτταρο καυσίμων μεθανόλης (DMFC)

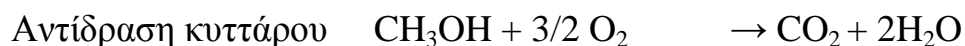
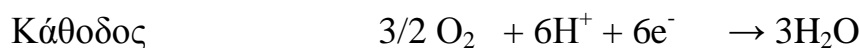
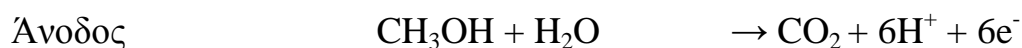
Όπως το όνομά του υπονοεί, τα καύσιμα μεθανόλης χρησιμοποιούνται άμεσα σε αυτό το κύτταρο καυσίμων. Στο άμεσο κύτταρο καυσίμων μεθανόλης, όπως στο κύτταρο καυσίμων υδρογόνου/αέρα, το οξυγόνο από τον περιβάλλον είναι το οξειδωτικό, εντούτοις, δεν υπάρχει καμία οξείδωση του υδρογόνου. Η υγρή μεθανόλη είναι τα καύσιμο που οξειδώνεται άμεσα στην άνοδο. Η τεχνολογία των άμεσων κυττάρων καυσίμων μεθανόλης, μοναδική ως σύστημα κυττάρων καυσίμων χαμηλής θερμοκρασίας που δεν χρησιμοποιεί το υδρογόνο, παραμένει σχετικά νέα τεχνολογία έναντι αυτής των κυττάρων καυσίμων πολυμερών ηλεκτρολυτών υδρογόνου/αέρα, οι πρόσφατες πρόοδοι στην έρευνα και την ανάπτυξη των άμεσων κυττάρων καυσίμων μεθανόλης είναι ουσιαστικές, καταρχήν μπορεί και παρουσιάζει παρόμοια απόδοση με αυτή των κυττάρων καυσίμων πολυμερών ηλεκτρολυτών, παραμένοντας όμως κάποια εμπόδια τα οποία μπορούν να υπερνικηθούν...Ένα από αυτά είναι ότι για να επιτύχει υψηλό ρεύμα, το απαραίτητο ποσό καταλύτη λευκόχρυσου το οποίο είναι και ακριβό, παραμένει πολύ μεγαλύτερο από αυτό που χρησιμοποιείται στα κύτταρα καυσίμων πολυμερών ηλεκτρολυτών υδρογόνου/αέρα.



Εικόνα 8 : DMFC / Πηγή : www.fuel-cells.com

Επίσης άλλο ένα εμπόδιο είναι η διασταύρωση των καυσίμων μεθανόλης μέσω της μεμβράνης από την άνοδο στην κάθοδο. Αυτή η ανεπιθύμητη (διασταύρωση) μειώνει την απόδοση της καθόδου αέρα και σπαταλά τα καύσιμα. Τα πλεονεκτήματα της παροχής μεθανόλης άμεσα στο κύτταρο καυσίμων είναι ότι δεν απαιτεί το βαρύ και ογκώδες σύστημα αποθήκευσης υδρογόνου ή ένα υποσύστημα μεταρρύθμισης. Αυτό το πλεονέκτημα από άποψη απλότητας και κόστους σημαίνει ότι το άμεσο σύστημα κυττάρων καυσίμων μεθανόλης παρουσιάζει μια ελκυστική εναλλακτική λύση του υδρογόνου. Επιπλέον ένα τέτοιο σύστημα συνεπάγεται σε ένα σύστημα με μηδενικές εκπομπές .

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που εμφανίζονται στο κύτταρο είναι :



πρωτότυπο Ιαπωνικό κινητό της Hitachi που τροφοδοτείται από ένα άμεσο κύτταρο καυσίμων μεθανόλης (DMFC).

Αριστερά υπάρχει το κύτταρο μέσα σε ένα στυλό που μετατρέπει το μεθάνιο στη δύναμη (ενέργεια) όταν τοποθετείται μέσα στο κινητό.

Εικόνα 9 : κινητό τηλέφωνο DMFC / Πηγή: Hitachi

Πίνακας 2 : Περίληψη σημαντικών τύπων κυττάρων καυσίμων / Πηγή : www.earthtoys.com

A/A	PEMfe	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Ηλεκτρολύτης	πολυμερείς μεμβράνες ιονικής ανταλλαγής	διάλυμα ύδατος του υδροξειδίου καλίου (KOH)	πυκνό φωσφορικό οξύ	Τετηγμένα ανθρακικά άλατα σε μια μήτρα LiAlO_2	Στερεό μίγμα ζirkονίας με οξείδιο του ύττριου	Υγρή μεθανόλη
Ηλεκτρόδια	Άνθρακας	μέταλλα μετάβασης	Άνθρακας	Νικέλιο ή οξείδιο του νικελίου	Κεραμικά μέταλλα	λευκόχρυσο
Καταλύτης	Πλατίνα	Πλατίνα	Πλατίνα	Υλικό ηλεκτροδίων	Υλικό ηλεκτροδίων	διμεταλλικοί
Αλληλοσύνδεση	Άνθρακας ή μέταλλα	Μέταλλα	Γραφίτης	Ανοξειδωτο ατσάλι ή μέταλλα	Κεραμικά νικελίου ή ατσάλι	Άνθρακας ή μέταλλα
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	40 – 80°C	65 – 220°C	175 – 200°C	500 – 1000°C	1000-1200°C	20-90°C
Φορτίο	H^+	OH^-	H^+	CO_3^{2-}	O^{2-}	H^+
εξωτερικός μεταρρυθμιστής για τα καύσιμα υδρογονανθράκων	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι , για μερικά κύτταρα μόνο	Όχι, για μερικά κύτταρα μόνο και σχέδια κελιών	Όχι
Εξωτερική μετατροπή του CO σε H	Ναι + αφαίρεση ιχνών CO	Ναι + αφαίρεση ιχνών CO , CO ₂	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Πρωταρχικά τμήμ. κυττάρων	Άνθρακας	Άνθρακας	Γραφίτης	Ανοξειδωτο	Κεραμικό	Άνθρακας
διαχείριση προϊόντων νερού	Εξάτμιση	Εξάτμιση	Εξάτμιση	Παράγωγο αερίου	Παράγωγο αερίου	Εξάτμιση
Διαχείριση προϊόντων θερμότητας	Αέρια κατάσταση + υγρό μέσο ψύξης	Αέρια κατάσταση + διαδικασία με ηλεκτρολύτες	Αέρια κατάσταση , υγρή παραγωγή η ατμού	Με εσωτερική μεταρρύθμιση η ή αέρια κατάσταση	Με εσωτερική μεταρρύθμιση η ή αέρια κατάσταση	Αέρια κατάσταση

Πίνακας 3 : Πλεονεκτήματα 'κ μειονεκτήματα των 6 βασικών κατηγοριών κυττάρων καυσίμων

A/A	PEMfe	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Πλεονεκτήματα	<p>1.Ο στερεός ηλεκτρολύτης περιορίζει τα προβλήματα διάβρωσης & διαχείρισης</p> <p>2.Χαμηλή θερμοκρασία</p> <p>3.Γρήγορη εκκίνηση</p>	<p>γρηγορότερη Αντίδραση καθόδων στον αλκαλικό ηλεκτρολύτη οπότε έχουμε και πιο υψηλή απόδοση</p>	<p>Αποδοτικότητα μέχρι 85% στη συμπαραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας νοθευμένου H₂ ως καύσιμο</p>	<p>Πλεονεκτήματα υψηλής θερμοκρασίας</p>	<p>1.Πλεονεκτήματα υψηλής θερμοκρασίας</p> <p>2.Στερεά πλεονεκτήματα ηλεκτρολυτών (βλ. PEM)</p>	<p>1. λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες</p> <p>2. δεν χρειάζεται ογκώδες συστήματα αποθήκευσης</p>
Μειονεκτήματα	<p>1.Η χαμηλή θερμοκρασία απαιτεί την τοποθέτηση ακριβών καταλυτών</p> <p>2.Υψηλή ευαισθησία στις ακαθαρσίες των καυσίμων</p>	<p>δαπανηρή αφαίρεση του CO₂ από τα ρεύματα των καυσίμων και του αέρα που απαιτούνται</p>	<p>1.Καταλύτης ΡΤ</p> <p>2.Χαμηλό ρεύμα και δύναμη</p> <p>3.Μεγάλο μέγεθος και βάρος</p>	<p>Η υψηλή θερμοκρασία ενισχύει τη διάβρωση και την αποσύνθεση των τμημάτων των κυττάρων</p>	<p>Η υψηλή θερμοκρασία ενισχύει την αποσύνθεση των τμημάτων των κυττάρων</p>	<p>1.μικρη απόδοση</p> <p>2. χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα ΡΤ</p>

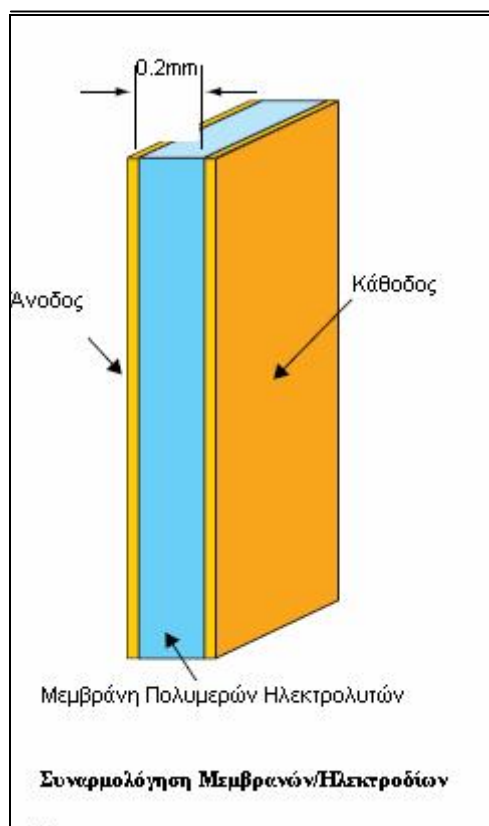
6) ΚΥΤΤΑΡΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΩΝ (PEMfe ή SPFS)

Πριν λίγα χρόνια, όταν τα οχήματα τροφοδοτήθηκαν από τα κύτταρα καυσίμων φάνηκαν κάτι περισσότερο από επιστημονική φαντασία παρά γεγονός. Σήμερα, η ανάπτυξη της τεχνολογίας κυττάρων καυσίμων για τη μεταφορά γίνεται πιθανή λόγω του κυττάρου καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών. Αυτός ο τύπος κυττάρου καυσίμων είναι επίσης γνωστός ως κύτταρο καυσίμων μεμβρανών ανταλλαγής πρωτονίων, το στερεό κύτταρο καυσίμων πολυμερών ηλεκτρολυτών (SPETM) και απλά, κύτταρο καυσίμων πολυμερών ηλεκτρολυτών. Αναφέρεται συχνά απλά ως κύτταρο καυσίμων (PEM). Το κέντρο του κυττάρου καυσίμων είναι η μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών. Για τα κύτταρα καυσίμων, ο ηλεκτρολύτης είναι αυτός που καθορίζει τον τύπο του κυττάρου καυσίμων, έτσι η συζήτηση του κυττάρου καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών πρέπει λογικά να αρχίσει με τον ηλεκτρολύτη της, την μεμβράνη. Ένας συνηθισμένος ηλεκτρολύτης είναι μια ουσία που χωρίζει τα ενεργά θετικά ιόντα και ενεργά αρνητικά ιόντα εν παρουσία του ύδατος, με αυτόν τον τρόπο ο διαχωρισμός στο ύδωρ κατευθύνεται ηλεκτρικά. Ο ηλεκτρολύτης σ'ένα κύτταρο καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών είναι ένας τύπος πλαστικού, ένα πολυμερές σώμα, και αναφέρεται συνήθως ως μεμβράνη. Η εμφάνιση του ηλεκτρολύτη ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά η πιο επικρατούσα μεμβράνη που παράγεται μοιάζει με το πλαστικό περικάλυμμα που χρησιμοποιείται για τη σφράγιση των τροφίμων. Χαρακτηριστικά, το υλικό μεμβρανών είναι ουσιαστικότερο από το κοινό πλαστικό περικάλυμμα, που ποικίλλει στο πάχος από 50 έως 175 μικρά (microns). Για να κατανοηθεί καλύτερα, θεωρήστε ένα κομμάτι του κανονικού χαρτί γραψίματος έχει ένα πάχος περίπου 25 μικρών. Κατά συνέπεια οι μεμβράνες πολυμερών ηλεκτρολυτών έχουν τα πάχη τους συγκρίσιμα με αυτό από 2 έως 7 φύλλα χαρτί. Σε ένα λειτουργών κύτταρο καυσίμων, η μεμβράνη

υγραίνεται καλά έτσι ώστε ο ηλεκτρολύτης να μοιάζει με ένα υγρό κομμάτι του παχύ πλαστικού περικαλύμματος. Οι μεμβράνες πολυμερών ηλεκτρολυτών είναι κάπως σπάνιοι ηλεκτρολύτες δεδομένου ότι, με τη παρουσία του ύδατος, η μεμβράνη απορροφά εύκολα, τα αρνητικά ιόντα κρατούνται άκαμπτα μέσα στη δομή τους. Μόνο τα θετικά ιόντα που περιλαμβάνονται μέσα στη μεμβράνη είναι κινητά και είναι ελεύθερα να φέρουν τη θετική ενέργεια μέσω της μεμβράνης. Στα κύτταρα καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών αυτά τα θετικά ιόντα είναι ιόντα υδρογόνου, ή πρωτόνια, εξού και ο όρος - μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων. Η Κίνηση των ιόντων υδρογόνου μέσω της μεμβράνης, σε μια κατεύθυνση μόνο, από την άνοδο στην κάθοδο, είναι ουσιαστική στη λειτουργία κυττάρων καυσίμων. Χωρίς αυτήν την μετακίνηση της ιοντικής λειτουργίας μέσα στο κύτταρο καυσίμων, το κύκλωμα που καθορίζεται από το κύτταρο, τα καλώδια, και το φορτίο παραμένουν ανοικτά, και κανένα ρεύμα δεν θα έρεε. Αν και λεπτή, η μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών είναι ένας αποτελεσματικός διαχωριστής αερίου. Μπορεί να κρατήσει τα καύσιμα υδρογόνου χωριστά από τον αέρα οξειδωτικών, ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα, ουσιαστικό στην αποδοτική λειτουργία ενός κυττάρου καυσίμων. Αν και οι ιοντικοί αγωγοί, οι μεμβράνες πολυμερών ηλεκτρολυτών δεν διευθύνουν ηλεκτρόνια. Η οργανική φύση της δομής μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών, τους κάνει ηλεκτρονικούς μονωτές, ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα, ουσιαστικό στη λειτουργία κυττάρων καυσίμων. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν μέσω της μεμβράνης, τα ηλεκτρόνια που παράγονται σε μια πλευρά του κυττάρου πρέπει να ταξιδέψουν, μέσω ενός εξωτερικού καλωδίου, στην άλλη πλευρά του κυττάρου για να ολοκληρώσουν το κύκλωμα. Είναι στη διαδρομή τους μέσω των εξωτερικών στοιχείων του κυκλώματος στο κύτταρο καυσίμων στα οποία τα ηλεκτρόνια προσδίδουν την ηλεκτρική ισχύ για να λειτουργήσει ένα αυτοκίνητο ή μια εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας.

6.1) Συναρμολόγηση Μεμβρανών / Ηλεκτρονίων

Ο συνδυασμός (ανόδου-μεμβράνης-καθόδου) αναφέρεται ως συναρμογή (μεμβρανών-ηλεκτροδίων). Η εξέλιξη των συναρμογών μεμβρανών-ηλεκτροδίων στα κύτταρα καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών έχει περάσει μέσω διάφορων γενεών. Οι αρχικές συνελεύσεις μεμβρανών/ηλεκτροδίων κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του '60 για το διαστημικό πρόγραμμα Διδύμων και χρησιμοποίησαν 4 χιλιοστόγραμμα του λευκόχρυσου ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο της περιοχής μεμβρανών ($4\text{mg}/\text{cm}^2$). Η τρέχουσα τεχνολογία ποικίλλει ανά κατασκευαστή, αλλά η συνολική τοποθέτηση λευκόχρυσου έχει μειωθεί από τα αρχικά $4\text{ mg} / \text{cm}^2$ σε περίπου $0,5\text{ mg}/\text{cm}^2$ εργαστηριακές έρευνες χρησιμοποιούν τώρα λευκόχρυσου σε ποσότητα $0.15\text{ mg}/\text{cm}^2$. Αυτό αντιστοιχεί σε μια καλή βελτίωση στην απόδοση κυττάρων καυσίμων σε σχέση με το πρόγραμμα Διδύμων (όπου τότε από τα αμπέρ του ρεύματος που παράγονταν ήταν περίπου 0,5 αμπέρ ανά χιλιοστόγραμμα του λευκόχρυσου ενώ τώρα σε 15 αμπέρ ανά χιλιοστόγραμμα του λευκόχρυσου). Το πάχος της μεμβράνης σε μια συναρμογή μεμβρανών/ηλεκτροδίων μπορεί να ποικίλει ανάλογα τον τύπο μεμβράνης. Το πάχος των στρωμάτων καταλυτών εξαρτάται από πόσο λευκόχρυσος χρησιμοποιείται σε κάθε ηλεκτρόδιο. Για τα στρώματα καταλυτών που περιέχουν περίπου $0,15\text{ mg} / \text{cm}^2$ Pt, το πάχος του στρώματος καταλυτών είναι κοντά σε 10 μικρά, λιγότερο από το μισό πάχος της φύλλου εγγράφου. Είναι καταπληκτικό ότι αυτή η συναρμογή μεμβρανών/ηλεκτροδίων, με ένα συνολικό πάχος περίπου 200 μικρών ή 0,2 χιλιοστόμετρων, μπορούν να παραγάγουν περισσότερο από μισό αμπέρ ρεύματος για κάθε τετραγωνικό εκατοστόμετρο σε μια τάση μεταξύ καθόδου και ανόδου 0,7 βολτ, αλλά μόνο όταν περιβάλλεται σε καλά κατασκευαστικά συστατικά - στρώματα υποστήριξης, τομείς ροής, και τρέχοντες συλλέκτες.



Η συναρμολόγηση μεμβράνης / ηλεκτροδίων ποικίλλει πολύ, αλλά η ακόλουθη διαδικασία είναι μια από τις πολλές που χρησιμοποιούνται στο Εθνικό εργαστήριο Los Alamos όπου η έρευνα κυττάρων καυσίμων ακολουθείται ενεργά. Το υλικό καταλυτών προετοιμάζεται αρχικά με υγρή μορφή «μελανιού» αναμιγνύοντας λεπτομερώς μαζί τα κατάλληλα ποσά καταλύτη (μια σκόνη Pt που διασκορπίζεται στον άνθρακα) και μια λύση του υλικού μεμβρανών που διαλύεται σε οινόπνευμα. Μόλις προετοιμαστεί το μελάνι, εφαρμόζεται στην επιφάνεια της στερεάς μεμβράνης με διάφορους διαφορετικούς τρόπους. Η απλούστερη μέθοδος περιλαμβάνει να χρωματίσει τον καταλύτη «μελάνι» άμεσα επάνω σε ένα ξηρό, στερεό κομμάτι της μεμβράνης. Το υγρό στρώμα καταλυτών και η μεμβράνη θερμαίνονται έως ότου το στρώμα καταλυτών είναι ξηρό. Η μεμβράνη αναποδογυρίζεται έπειτα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την άλλη πλευρά. Τα στρώματα καταλυτών είναι τώρα και στις δύο πλευρές της μεμβράνης. η συναρμολόγηση ξηρής μεμβράνης / ηλεκτροδίου έπειτα ξαναυδατώνεται βυθίζοντας ελαφριά σε

βρασμένο αραιό διάλυμα οξέος για να εξασφαλιστεί ότι ο μεμβράνη είναι σε H^+ μορφή που χρειάζεται για την λειτουργία του κυττάρου καυσίμου . Το τελικό βήμα είναι ένα λεπτομερές ξέπλυμα σε αποσταγμένο νερό. Η συναρμολόγηση των μεμβρανών / ηλεκτροδίων είναι τώρα έτοιμη για την εισαγωγή στο υλικό κυττάρων καυσίμων.

6.2) Τα ηλεκτρόδια

Όλες οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις αποτελούνται από δύο χωριστές αντιδράσεις :

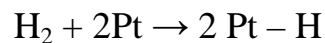
- μια ημί-αντίδραση οξείδωσης που εμφανίζεται στην άνοδο και
- μια ημί-αντίδραση μείωσης που εμφανίζεται στην κάθοδο.

Η άνοδος και η κάθοδος χωρίζονται η μια από την άλλη από τον ηλεκτρολύτη... τη μεμβράνη. Στην ημιαντίδραση οξείδωσης, το αερίωδες υδρογόνο παράγει τα ιόντα υδρογόνου, που ταξιδεύουν μέσω της διεύθυνσης της ιοντικής μεμβράνης στην κάθοδο, και τα ηλεκτρόνια που ταξιδεύουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος στην κάθοδο. Στην ημιαντίδραση μείωσης, το οξυγόνο, που παρέχεται από τον αέρα που ρέει μετά από την κάθοδο, συνδυάζεται μ'αυτά τα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρονίων για να διαμορφώσει το ύδωρ και την υπερβολική θερμότητα. Αυτές οι δύο ημιαντιδράσεις θα εμφανίζονταν κανονικά πολύ αργά λόγω χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας, χαρακτηριστικά $80^{\circ}C$, του κυττάρου καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών. Κατά συνέπεια, οι καταλύτες χρησιμοποιούνται και στην άνοδο και στην κάθοδο για να αυξήσουν τα ποσοστά κάθε ημιαντίδρασης. Ο καταλύτης που λειτουργεί το καλύτερο δυνατό σε κάθε ηλεκτρόδιο είναι ο λευκόχρυσος, ένα πολύ ακριβό υλικό. Τα τελικά προϊόντα της γενικής αντίδρασης κυττάρων είναι ηλεκτρική ενέργεια, ύδωρ, και υπερβολική θερμότητα. Η ψύξη απαιτείται, στην πραγματικότητα, για να διατηρήσει τη

θερμοκρασία ενός σωρού κυττάρων καυσίμων περίπου στους 80⁰C. Σε αυτήν την θερμοκρασία, το ύδωρ που παράγεται στην κάθοδο είναι και υγρό και ατμός. Αυτό το παραγόμενο ύδωρ πραγματοποιείται στο κύτταρο καυσίμων από τη ροή αέρα.

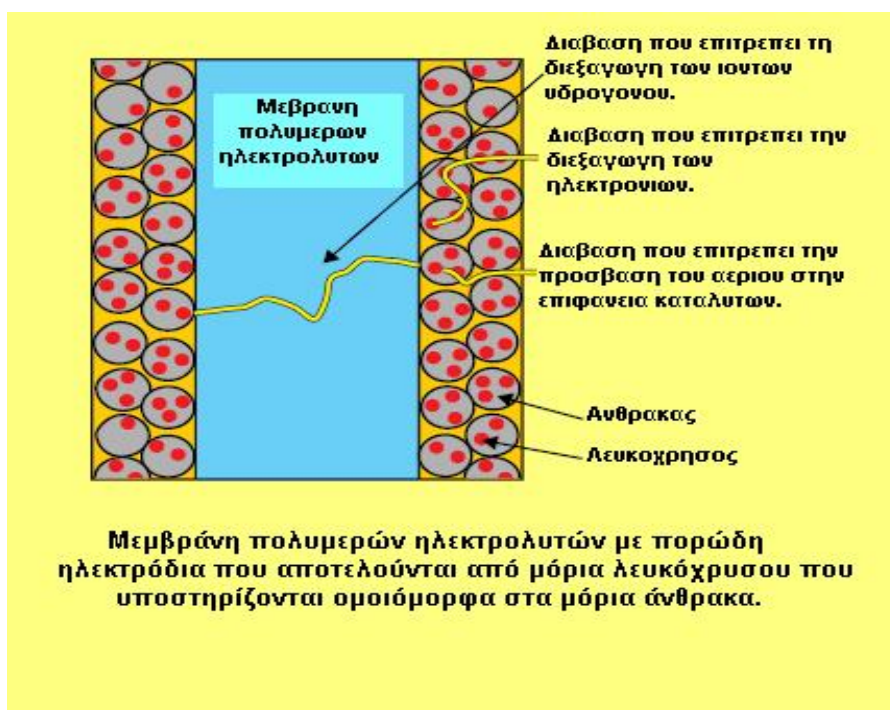
6.3) Λευκόχρυσος : το κύριο συστατικό των PEM

Οι ημιαντιδράσεις που εμφανίζονται σε κάθε ηλεκτρόδιο μπορούν μόνο να εμφανιστούν σε ένα υψηλό ποσοστό στην επιφάνεια του καταλύτη Pt. Ο λευκόχρυσος είναι μοναδικός επειδή είναι αρκετά αντιδραστικός στο να συνδέει τους μεσάζοντες H και O όπως απαιτείται, για να διευκολύνει τις διαδικασίες ηλεκτροδίων, και επίσης ικανός αποτελεσματικά στην απελευθέρωση του μεσάζοντα για να διαμορφώσει το τελικό προϊόν. Παραδείγματος χάριν, η διαδικασία ανόδων απαιτεί τις περιοχές Pt για να συνδέσει τα άτομα H όταν αντιδρά το H₂ μόριο, και αυτές οι περιοχές Pt απελευθερώνουν έπειτα τα άτομα H, σαν H⁺ + e⁻.



Αυτό απαιτεί βελτιστοποιημένη σύνδεση με το H τα άτομα, όχι πάρα πολύ αδύνατα και όχι πάρα πολύ ισχυρά, και αυτό είναι το μοναδικό χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός καλού καταλύτη. Συνειδητοποιώντας ότι ο καλύτερος καταλύτης για το κύτταρο καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών είναι ακριβώς, το χαμήλωμα του επιπέδου των καταλυτών Pt είναι μια συνεχή προσπάθεια. Ένας από τους καλύτερους τρόπους να ολοκληρωθεί αυτό, είναι να κατασκευαστεί το στρώμα του καταλύτη με την υψηλότερη πιθανή περιοχή επιφάνειας. Κάθε ηλεκτρόδιο αποτελείται από τον πορώδη άνθρακα ΤΗΣ με

τον οποίο τα πολύ μικρά μόρια Pt συνδέονται. Το ηλεκτρόδιο είναι κάπως πορώδες έτσι ώστε τα αέρια μπορούν να διασκορπίσουν μέσω κάθε ηλεκτροδίου για να φθάσουν στον καταλύτη. Και τα δυο, λευκόχρυσος (Pt) και άνθρακας τις διευθύνουν τα ηλεκτρόνια καλά, έτσι τα ηλεκτρόνια είναι σε θέση να κινηθούν ελεύθερα μέσω του ηλεκτροδίου. Το μικρό μέγεθος των μορίων Pt, διαμέτρου περίπου 2 nm , έχουν σαν αποτέλεσμα, μια πάρα πολύ μεγάλη συνολική περιοχή επιφάνειας PT που είναι προσιτή στα μόρια αερίου. Η συνολική επιφάνεια που παρουσιάζεται από αυτόν τον τεράστιο αριθμό μικρών μορίων είναι πολύ μεγάλη ακόμα και όταν η συνολική μάζα PT που χρησιμοποιείται είναι μικρή. Αυτή η μεγάλη περιοχή επιφάνειας PT επιτρέπει τις αντιδράσεις ηλεκτροδίων να προχωρήσει επί πολλών τόπων επιφάνειας PT ταυτόχρονα. Αυτή η υψηλή διασπορά του καταλύτη είναι ένα κλειδί στην παραγωγή της σημαντικής ροής ηλεκτρονίων, δηλ. ρεύμα, σε ένα κύτταρο καυσίμων.

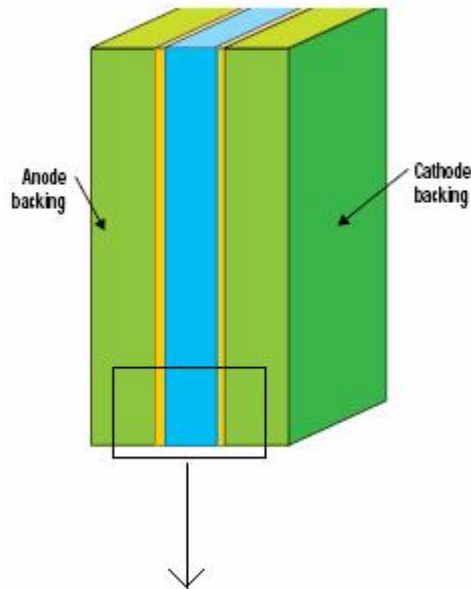


6.4) Τα στρώματα υποστήριξης (the backing layers)

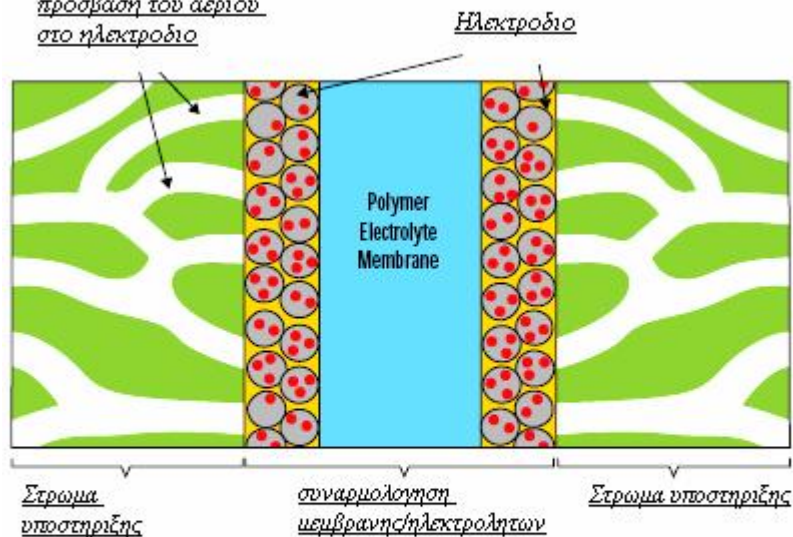
Το υλικό του κυττάρου καυσίμων, των στρωμάτων υποστήριξης, των πεδίων ροής και των τρεχόντων συλλεκτών, είναι σχεδιασμένα για να μεγιστοποιήσουν το ρεύμα που μπορεί να ληφθεί από μια συναρμογή μεμβρανών / ηλεκτροδίων. Τα αποκαλούμενα στρώματα υποστήριξης, το ένα δίπλα στην άνοδο, και το άλλο δίπλα στην κάθοδο, αποτελούνται συνήθως από ένα πορώδες φύλλο άνθρακα ή ένα ύφασμα άνθρακα, χαρακτηριστικά 100 έως 300 μικρά(micron) πάχος (4 έως 12 φύλλα εγγράφου). Τα στρώματα υποστήριξης πρέπει να αποτελούνται από ένα υλικό, όπως ο άνθρακας, για να μπορεί να διευθύνει τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν στην άνοδο και εισάγονται την κάθοδο. Η πορώδης φύση του υλικού υποστήριξης εξασφαλίζει την αποτελεσματική διάχυση κάθε αντιδρών αερίου στον καταλύτη προς τη συναρμολόγηση(ένωση) των μεμβρανών / ηλεκτροδίων. Σε αυτό το πλαίσιο, η διάχυση αναφέρεται στη ροή των μορίων αερίου από μια περιοχή υψηλής συγκέντρωσης, προς την εξωτερική πλευρά του στρώματος υποστήριξης όπου το αέριο ρέει κοντά στα πεδία ροής, προς μια περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης, η εσωτερική πλευρά του στρώματος υποστήριξης δίπλα στο στρώμα καταλυτών όπου το αέριο καταναλώνεται από την αντίδραση. Η πορώδης δομή των στρωμάτων υποστήριξης επιτρέπει στο αέριο να διαχέεται έξω καθώς διασκορπίζεται έτσι ώστε όταν διαπερνά την υποστήριξη, το αέριο να βρίσκεται σε επαφή με ολόκληρη την περιοχή επιφάνειας καταλυμένης μεμβράνης. Τα στρώματα υποστήριξης βοηθούν επίσης στη διαχείριση ύδατος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κυττάρου καυσίμων. επίσης λίγο ή πολύ ύδωρ μπορεί να αναγκάσει το κύτταρο να διακόψει τη λειτουργία. Το σωστό υλικό υποστήριξης επιτρέπει το σωστό ποσό υδρατμού να φθάσει στη συναρμογή των μεμβρανών / ηλεκτροδίων για να κρατήσει τη μεμβράνη υγρή. το υλικό υποστήριξης επιτρέπει επίσης στο υγρό ύδωρ που παράγεται στην κάθοδο να αφήνει το κύτταρο και έτσι, δεν πλημμυρίζει. Τα στρώματα υποστήριξης συχνά έχουν

υγρή ενίσχυση με τεφλόν για να εξασφαλίσουν ότι τουλάχιστον μερικοί, και ενδεχομένως περισσότεροι, από τους πόρους στο φύλλο άνθρακα δεν φράζουν με νερό, το οποίο θα απέτρεπε τη γρήγορη διάχυση αερίου απαραίτητη για ένα καλό ποσοστό αντίδρασης που λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια.

Συναρμολότητα μεμβρανών/ηλεκτρονίων με στρώματα υποστήριξης (backing layers).



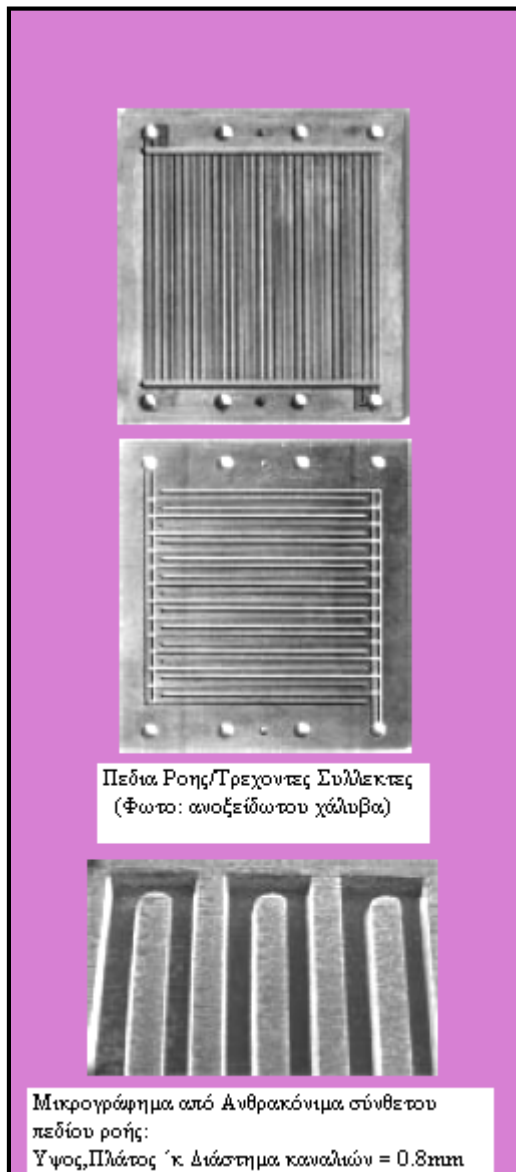
Διαβάσεις για την πρόσβαση του αερίου στο ηλεκτρόδιο



Διευρυμένη διατομή μιας συναρμολότητας μεμβρανών/ηλεκτροδίων που παρουσιάζει δομικές λεπτομέρειες.

Εικόνα 10 : Στρώματα υποστήριξης / Πηγή : www.edugation.lanl.gov

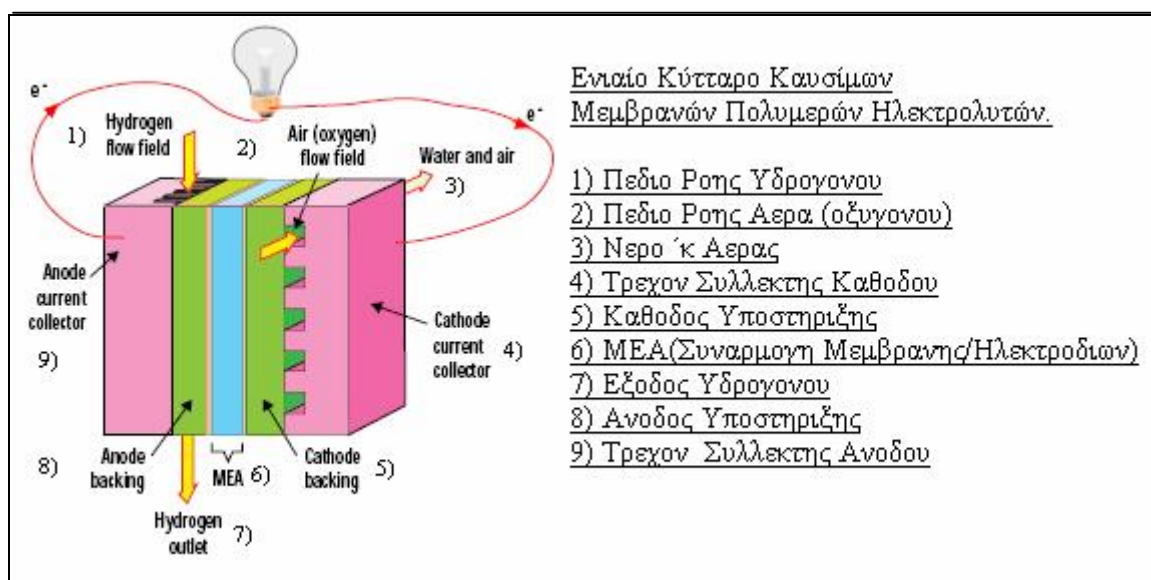
6.5) Πεδία ροής // Τρέχοντες συλλέκτες



Το αποκαλούμενο πιάτο ή πλάκα είναι ένα κομμάτι του υλικού που πιέζεται ενάντια της εξωτερικής επιφάνειας κάθε στρώματος υποστήριξης το οποίο εξυπηρετεί συχνά το διπλό ρόλο του πεδίου ροής και του τρέχοντος συλλέκτη. Σε ένα ενιαίο κύτταρο καυσίμων, αυτά τα δύο πιάτα ή πλάκες είναι τα τελευταία των συστατικών αποτελώντας έτσι, το κύτταρο. Τα πιάτα αποτελούνται από έναν ελαφρύ, ισχυρό, αδιαπέραστο από αέριο, αγωγικό υλικό. ο γραφίτης ή τα μέταλλα χρησιμοποιούνται συνήθως αν και τα σύνθετα πιάτα αναπτύσσονται τώρα. Ο πρώτος στόχος που εξυπηρετείται από κάθε πλάκα ή πιάτο είναι να προμηθευτεί ένα αέριο (τομέας ροής). Η πλευρά του πιάτου δίπλα στο στρώμα υποστήριξης περιέχει τα κανάλια που επεξεργάζονται στη μηχανή στο πιάτο. Τα κανάλια χρησιμοποιούνται

για να μεταφέρουν το αντιδρών αέριο από το σημείο στο οποίο εισάγεται το κύτταρο καυσίμων προς το σημείο στο οποίο το αέριο βγαίνει. Το σχέδιο του τομέα ροής στο πιάτο καθώς επίσης και το πλάτος και το βάθος των καναλιών ασκούν μεγάλη επίδραση στην αποτελεσματικότητα της διανομής των αντιδρώντων αερίων ομοιόμορφα πέρα από την ενεργό περιοχή της συναρμολόγησης μεμβρανών/ηλεκτροδίων. Το σχέδιο τομέων ροής έχει επιπτώσεις επίσης στην παροχή νερού στη μεμβράνη και την αφαίρεση ύδατος από την κάθοδο. Ο δεύτερος σκοπός που εξυπηρετείται από κάθε πιάτο είναι

αυτός του τρέχοντος συλλέκτη. Τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την οξείδωση του υδρογόνου πρέπει να διευθυνθούν μέσω της ανόδου, μέσω του στρώματος υποστήριξης και μέσω του πιάτου προτού να μπορέσουν να βγουν από το κύτταρο, ταξιδεύουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος και ξανά εισάγονται στο κύτταρο στη πλακά καθόδου.



Εικόνα 11 Πηγή : fuel cells green power by Sharon Thomas

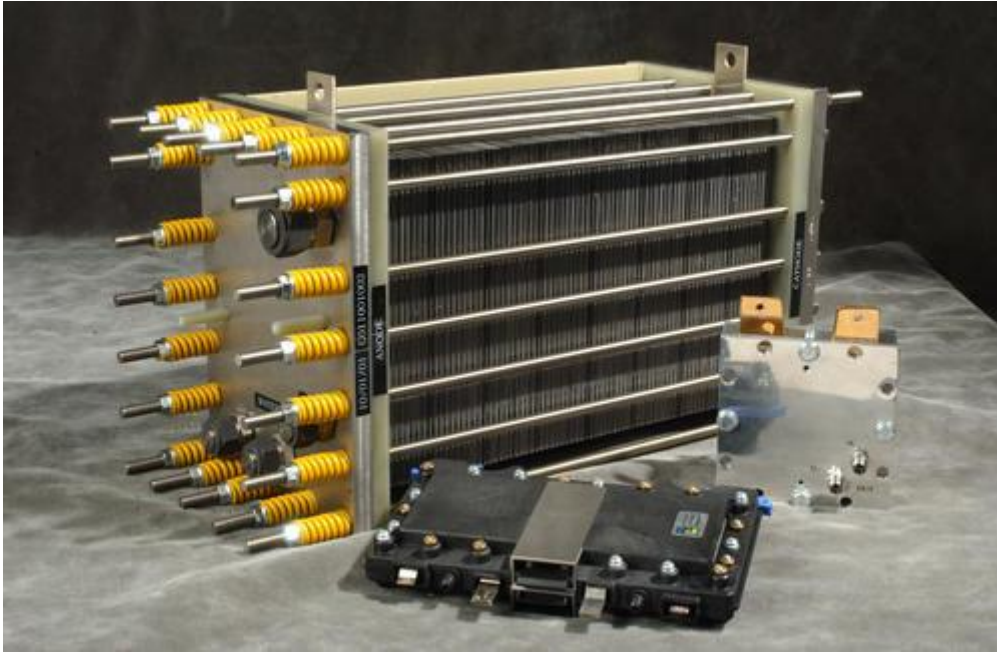
6.6) Διαχείριση του ύδατος (H_2O) εντός του κυττάρου καυσίμου (PEM)

Η "διαχείριση ύδατος" είναι το κλειδί στην αποτελεσματική λειτουργία ενός κυττάρου καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών. Αν και το ύδωρ είναι ένα προϊόν της αντίδρασης κυττάρων καυσίμων, και πραγματοποιείται εντός του κυττάρου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, είναι ενδιαφέρον ότι και τα καύσιμα και ο αέρας που εισάγει το κύτταρο καυσίμων πρέπει ακόμα να υγραθούν. Αυτό το πρόσθετο ύδωρ κρατά τη μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών ενυδατωμένη. Η υγρασία των αερίων πρέπει να ελεγχθεί

προσεκτικά. Επίσης, λίγο ύδωρ αποτρέπει τη μεμβράνη από τη διεύθυνση των ιόντων H^+ καλά, καθώς και τις τρέχουσες πτώσεις κυττάρων. Εάν η ροή αέρα μετά από την κάθοδο είναι πάρα πολύ αργή, ο αέρας δεν μπορεί να φέρει όλο το ύδωρ που παράγεται στην κάθοδο από το κύτταρο καυσίμων, και η κάθοδος 'πλημμυρίζει'. Η απόδοση κυττάρων βλάπτεται αν δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο ώστε να είναι σε θέση να διαπεράσει το υπερβολικό υγρό ύδωρ για να φθάσει στις περιοχές καθόδου των καταλυτών. Μερικά προβλήματα στην διαχείριση του ύδατος είναι , Οι ακαθαρσίες συχνά παρούσες στο ρεύμα τροφοδοσίας καυσίμου H_2 που δεσμεύονται στην επιφάνεια καταλυτών Pt στην άνοδο, αποτρέποντας την οξείδωση του H_2 με το φράξιμο των περιοχών καταλυτών Pt. Οι εναλλακτικοί καταλύτες οι οποίοι μπορούν να οξειδώσουν το H_2 ενώ παραμένουν απρόσβλητοι από τις ακαθαρσίες, απαιτούνται για να βελτιώσουν την απόδοση κυττάρων. Επίσης , Το ποσοστό της διαδικασίας μείωσης οξυγόνου στο ηλεκτρόδιο αέρα είναι αρκετά χαμηλό ακόμη και στους καλύτερους καταλύτες Pt που αναπτύσσονται μέχρι σήμερα, με συνέπεια τη σημαντική απώλεια απόδοσης. Οι εναλλακτικοί καταλύτες που προωθούν ένα υψηλό ποσοστό μείωσης οξυγόνου απαιτούνται για να ενισχύσουν περαιτέρω την απόδοση κυττάρων καυσίμων.

6.7)Συστοιχίες Κυττάρων Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών Ηλεκτρολυτών

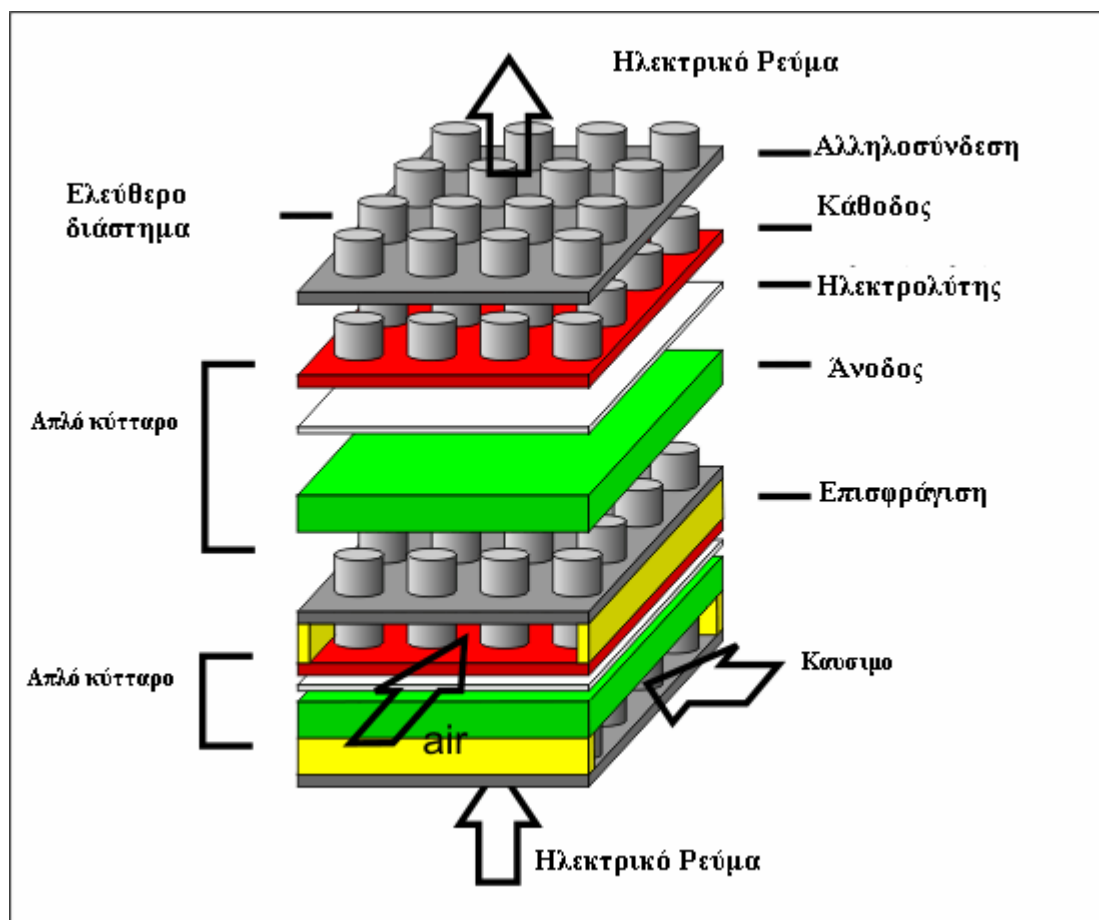
Έχοντας εις γνώσιν ότι τα κύτταρα καυσίμων λειτουργούν λιγότερο από 100% της απόδοσης , η παραγωγή τάσης ενός κυττάρου είναι λιγότερο από 1,16 Volt. Δεδομένου ότι οι περισσότερες εφαρμογές απαιτούν πολύ υψηλότερες τάσεις από αυτήν, (παραδείγματος χάριν, οι αποτελεσματικές εμπορικές ηλεκτρικές μηχανές λειτουργούν χαρακτηριστικά σε 200 - 300 Volt), η απαραίτητη τάση λαμβάνεται με τη σύνδεση των μεμονωμένων κυττάρων καυσίμων σε σειρά για να διαμορφώσει ένα κύτταρο καυσίμων , λεγόμενη " συστοιχία ".



Εικόνα 12 : 5 kW κύτταρων καυσίμων σε συστοιχία από την PlugPower / Πηγή : www.plugpower.com

Εάν τα κύτταρα καυσίμων ήταν απλά ευθυγραμμισμένα το ένα δίπλα στο άλλο, οι τρέχοντες συλλέκτες ανόδων και καθόδων θα ήταν δίπλα-δίπλα. Για να μειώσουν το γενικό όγκο και βάρος της συστοιχίας, αντί δύο τρεχόντων συλλεκτών, χρησιμοποιείται μόνο μια πλάκα με τομέα ροής που κόβεται σε κάθε πλευρά της πλάκας. Αυτός ο τύπος της πλάκας, αποκαλούμενος "διπολική πλάκα", χωρίζει ένα κύτταρο από το επόμενο, με αυτή την ενιαία πλάκα που χρησιμεύει να φέρει το αέριο υδρογόνου σε μια πλευρά και τον αέρα σε άλλη. Είναι σημαντικό ότι το διπολικό πιάτο ή πλάκα αποτελείται από το στεγανοποιημένο υλικό. Διαφορετικά τα δύο αέρια θα ανακατευόντουσαν, οδηγώντας στην άμεση οξείδωση των καυσίμων. Χωρίς χωρισμό των αερίων, τα ηλεκτρόνια περνούν άμεσα από το υδρογόνο στο οξυγόνο και αυτά τα ηλεκτρόνια είναι ουσιαστικά "ξοδεμένα" δεδομένου ότι δεν μπορούν να καθοδηγηθούν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος για να κάνουν τη χρήσιμη ηλεκτρολογική εργασία. Το διπολικό πιάτο πρέπει επίσης να είναι ηλεκτρονικά αγωγίμο επειδή τα ηλεκτρόνια που παράγονται στην άνοδο σε μια πλευρά του διπολικού πιάτου διευθύνονται μέσω του πιάτου όπου εισάγουν την κάθοδο

στην άλλη πλευρά του διπολικού πιάτου. Δύο ' πιάτα τελών ' , ένα σε κάθε τέλος του πλήρους σωρού των κυττάρων, συνδέονται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος. Βραχυπρόθεσμα, οι διαφορετικοί κατασκευαστές θα παράσχουν ποικίλα μεγέθη κυττάρων καυσίμων σε συστοιχίες διαφόρων ειδών εφαρμογές. Η περιοχή ενός ενιαίου κυττάρου καυσίμων μπορεί να ποικίλει από μερικά τετραγωνικά εκατοστόμετρα έως χίλια τετραγωνικά εκατοστόμετρα. Μια συστοιχία μπορεί να αποτελείται από μερικά κύτταρα έως και εκατό ή περισσότερα κύτταρα που συνδέονται σε σειρά χρησιμοποιώντας τα διπολικά πιάτα ή πλάκες . Για τις εφαρμογές που απαιτούν μεγάλα ποσά δύναμης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές συστοιχίες σε σειρές ή παράλληλους συνδυασμούς .



Εικόνα 13: Σχηματική αναπαράσταση μιας συστοιχίας κυττάρων καυσίμων. Τα ελεύθερα διαστήματα μεταξύ τους απαιτούνται για να έχουν έναν ελεύθερο όγκο για τη ροή των καυσίμων και αέρα, τα ελεύθερα διαστήματα μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στη αλληλοσύνδεση. Η επισφράγιση παρουσιάζεται μόνο για το χαμηλότερο κύτταρο. Είναι

επίσης δυνατές και άλλες διαμορφώσεις ροής αέρα / καυσίμου σε παράλληλες ή εν σειρά διατάξεις / Πηγή : www.risoe.dk

6.8) Άλλοι Τύποι Συστημάτων Κυττάρων Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών Ηλεκτρολυτών.

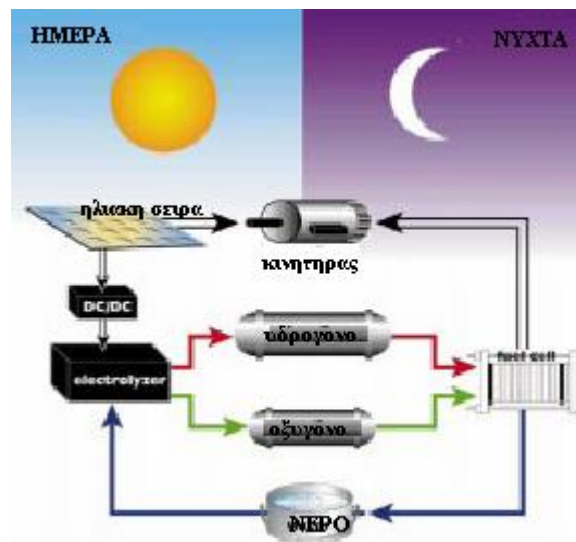
Υπάρχουν διάφοροι άλλοι τύποι κυττάρων καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών για τις εφαρμογές μεταφορών και όχι μόνο, αν και κανένας δεν έχει φθάσει στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης και απλότητας με το υδρογόνο / αέρα.

Ανασχηματισμός κυττάρου καυσίμου :

Εκτός από το άμεσο κύτταρο καυσίμων υδρογόνου, έρευνες αυτήν την περίοδο είναι σε εξέλιξη για την ανάπτυξη ενός συστήματος κυττάρων καυσίμων που θα μπορεί να λειτουργεί σε διάφορους τύπους καυσίμων υδρογονανθράκων συμπεριλαμβανομένης της βενζίνης, τα εναλλακτικά καύσιμα όπως η μεθανόλη, το φυσικό αέριο, και η αιθανόλη. Αρχικά, αυτή η ευέλικτη στρατηγική θα χρειαστεί ανασχηματισμό στα συστήματα κυττάρων καυσίμων αέρα για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υπάρχον υποδομή καυσίμων. Ένα κύτταρο καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών υδρογόνου/αέρα θα τροφοδοτούταν με καύσιμα από έναν εν πλω μεταρρυθμιστή που μπορεί να μετατρέψει αυτά τα καύσιμα σε πλούσια μίγματα αερίου υδρογόνου. Η επεξεργασία των καυσίμων υδρογονανθράκων για να παραγάγουν το υδρογόνο είναι μια τεχνική πρόκληση και μια σχετικά απαιτητική λειτουργία. Τα καύσιμα υδρογονανθράκων απαιτούν θερμοκρασίες 700°C - 1000°C. Το Θείο που βρίσκεται σε όλα τα καύσιμα με βάση τον άνθρακα και το μονοξείδιο άνθρακα που παράγεται κατά την επεξεργασία καυσίμου, πρέπει να αφαιρεθούν για την αποφυγή " δηλητηρίασης " του καταλύτη κυττάρων καυσίμων. Αν και ο ανασχηματισμός του κυττάρου καυσίμου αέρα στερείται τις μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, χαρακτηριστικό του άμεσου κυττάρου καυσίμων υδρογόνου, έχει τη δυνατότητα να χαμηλώσει τις εκπομπές σημαντικά έναντι της μηχανής εσωτερικής καύσεως βενζίνης. Η βραχυπρόθεσμη εισαγωγή των

ανασηματισμένων κυττάρων καυσίμων/αέρα αναμένεται να αυξήσει την αποδοχή αγοράς της τεχνολογίας αυτής με αποτέλεσμα να προετοιμάσει το έδαφος για τη διαδεδομένη χρήση των άμεσων συστημάτων υδρογόνου στο μέλλον.

Αναπαραγωγικό Κύτταρο Καυσίμων :



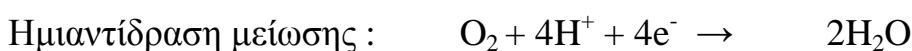
Εικόνα 14 : Ανανεώσιμο αναπαραγωγικό κύτταρο καυσίμων που χρησιμοποιεί την πηγή ενέργειας του ήλιου

για να παραγάγει την δύναμη.

Ένα αναπαραγωγικό κύτταρο καυσίμων, που αναπτύσσεται αυτήν την περίοδο για τις εφαρμογές χρησιμοποιεί το υδρογόνο και το οξυγόνο ή τον αέρα για να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια και ύδωρ, και η χαμένη θερμότητα ως συμβατικό κύτταρο καυσίμων. Εντούτοις, το αναπαραγωγικό κύτταρο καυσίμων εκτελεί επίσης το αντίστροφο της αντίδρασης κυττάρων καυσίμων, χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια και το ύδωρ για να διαμορφώσει το υδρογόνο και το οξυγόνο. Στον αντίστροφο τρόπο του αναπαραγωγικού κυττάρου καυσίμων, γνωστό ως ηλεκτρόλυση, η ηλεκτρική ενέργεια εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια του κυττάρου για να αναγκάσει το διαχωρισμό του ύδατος στα συστατικά της. Το "κλειστό" σύστημα ενός αναπαραγωγικού κυττάρου καυσίμων θα μπορούσε να έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα επειδή

μπορεί να επιτρέψει τη λειτουργία ενός δυναμικού συστήματος κυττάρων καυσίμων χωρίς την απαίτηση νέας υποδομής υδρογόνου. Υπάρχουν δύο ανησυχίες όμως, που εξετάζονται κατά την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών κυττάρων καυσίμων. Ο πρώτος είναι το πρόσθετο κόστος, Το δεύτερο μειονέκτημα στη λειτουργία του αναπαραγωγικού κυττάρου καυσίμων είναι η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας πλέγματος για να παραγάγει το υδρογόνο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το κάψιμο των απολιθωμένων καυσίμων. Τα απολιθωμένα καύσιμα → ηλεκτρική ενέργεια ενεργειακή διαδρομή υδρογόνου, παράγουν σημαντικά περισσότερα αέρια θερμοκηπίου από την απλή καύση βενζίνης σε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως. Αν και η έννοια ενός αναπαραγωγικού κυττάρου καυσίμων είναι ελκυστική, μέχρι την ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια, π.χ. ηλεκτρική ενέργεια από ηλιακό ή οι πηγές αέρα, που είναι εύκολα διαθέσιμες, αυτή η τεχνολογία ωστόσο δεν θα μειώσει τις εκπομπές αερίου θερμοκηπίου.

6.9) Ηλεκτροχημεία των κυττάρων καυσίμων



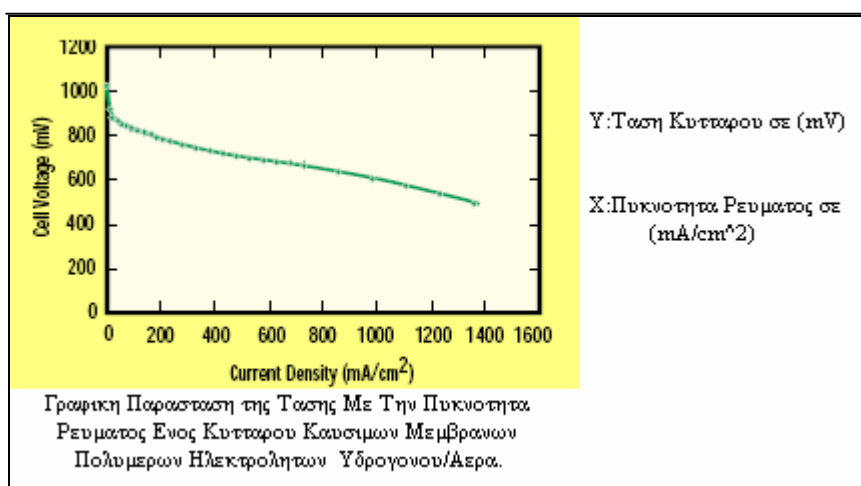
Οι φυσικές και ηλεκτροχημικές διαδικασίες που εμφανίζονται σε κάθε ηλεκτρόδιο είναι αρκετά σύνθετες. Στην άνοδο, το αέριο υδρογόνου (H₂) πρέπει να διασκορπιστεί μέσω των στριφνών διαβάσεων έως ότου αντιμετωπίζεται ένα μόριο λευκόχρυσου (Pt). Ο λευκόχρυσος καταλύει το διαχωρισμό του H₂ μορίου σε δύο άτομα υδρογόνου (H) που συνδέονται με δύο γειτονικά άτομα Pt. Μόνο τότε μπορεί

κάθε άτομο (H) να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο για να διαμορφώσει ένα ιόν υδρογόνου (H^+). Οι τρέχουσες ροές στο κύκλωμα ως ιόντα υδρογόνου (H^+) διευθύνονται μέσω της μεμβράνης στην κάθοδο ενώ τα ηλεκτρόνια περνούν από την άνοδο στο εξωτερικό κύκλωμα και έπειτα στην κάθοδο. Η αντίδραση ενός μορίου οξυγόνου (O_2) στην κάθοδο είναι μια διαδικασία μείωσης 4 ηλεκτρονίων (βλ. εξίσωση) που εμφανίζεται σε μια πολλαπλών βημάτων ακολουθία. Οι ακριβοί βασισμένοι στο λευκόχρυσο (Pt) καταλύτες φαίνονται να είναι οι μόνοι καταλύτες ικανοί να λειτουργούν τα υψηλά ποσοστά μείωσης O_2 στις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες ($\sim 80^{\circ}C$) σε όποια μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών τα κύτταρα καυσίμων λειτουργούν. Υπάρχει ακόμα αβεβαιότητα σχετικά με το μηχανισμό αυτής της σύνθετης διαδικασίας. Η απόδοση των κυττάρων καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών περιορίζεται πρώτιστα από το αργό ποσοστό της ημιαντίδρασης μείωσης O_2 που είναι περισσότερες από 100 φορές πιο αργή από τη ημιαντίδραση οξείδωσης H_2 .

6.10) Αποδοτικότητα , Δύναμη Και Ενέργεια Του Κυττάρου Καυσίμων Μεμβρανών Πολυμερών Ηλεκτρολυτών

Η ενεργειακή μετατροπή ενός κυττάρου καυσίμων μπορεί να συνοψιστεί στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Χημική ενέργεια των καυσίμων} = \text{ηλεκτρική ενέργεια} + \text{ενέργεια θερμότητας}$$



Γρ.Παράσταση 2 : Πηγή www.fuelcellenergy.com

Ένα ενιαίο, ιδανικό κύτταρο καυσίμων H₂/αέρα πρέπει να παρέχει 1,16 volt σε μηδενικό ρεύμα (όρος "ανοικτών κυκλωμάτων"), 80°C και 1 atm πίεσης του αερίου. Ένα καλό μέτρο αποδοτικότητας της ενεργειακής μετατροπής για ένα κύτταρο καυσίμων είναι η αναλογία της πραγματικής τάσης κυττάρου στη θεωρητική μέγιστη τάση για την αντίδραση της αναλογίας H₂/αέρα. Κατά συνέπεια ένα κύτταρο καυσίμων που λειτουργεί σε 0,7 Volt παράγει περίπου 60% της μέγιστης διαθέσιμης χρήσιμης ενέργειας από τα καύσιμα υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν το ίδιο κύτταρο καυσίμων χρησιμοποιείται σε 0,9 Volt, περίπου 77,5% της μέγιστης χρήσιμης ενέργειας τότε παραδίδεται ως ηλεκτρική ενέργεια. Η υπόλοιπη ενέργεια (40% ή 22,5%) θα εμφανιστεί ως θερμότητα. Η χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης για ένα κύτταρο καυσίμων αντιπροσωπεύει τη συνεχή (DC) τάση που παραδίδεται στα τερματικά κυττάρων ως λειτουργία της πυκνότητας του ρεύματος, συνολικό ρεύμα που διαιρείται με τον τομέα της μεμβράνης, που προέρχεται από το κύτταρο καυσίμων από το φορτίο στο εξωτερικό κύκλωμα. Η ισχύς (P), που εκφράζεται στις μονάδες των Watt, και μεταφέρεται από το κύτταρο. Ο τύπος είναι ($P = IV$). Η δύναμη εκφράζει το ποσοστό στο οποίο η ενέργεια (E) παρέχεται ($P = E/t$) ή αντίθετα. Η ενέργεια, εκφράζεται στις μονάδες των Watt/ώρα και είναι η διαθέσιμη δύναμη κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος (t) ($E = Pt$). Δεδομένου ότι η μάζα και ο όγκος ενός συστήματος κυττάρων καυσίμων είναι τόσο σημαντικοί, πρόσθετοι όροι χρησιμοποιούνται για αυτό το λόγο. Η συγκεκριμένη δύναμη είναι η αναλογία της δύναμης που παράγεται από ένα κύτταρο στη μάζα του κυττάρου, η πυκνότητα ισχύος είναι η αναλογία της δύναμης που παράγεται από ένα κύτταρο στον όγκο του κυττάρου. Οι υψηλές συγκεκριμένες δυνάμεις όπως και η πυκνότητα ισχύος είναι σημαντικές για τις εφαρμογές μεταφορών, δηλαδή να ελαχιστοποιήσουν το βάρος και τον όγκο του κυττάρου καυσίμων καθώς επίσης και να ελαχιστοποιήσουν το κόστος.

6.11) Παραγωγή Της Ιδανικής Τάσης Κυττάρων Καυσίμων (Ενεργ. Gibbs)

Η πρόβλεψη της μέγιστης διαθέσιμης τάσης από μια διαδικασία κυττάρων καυσίμων περιλαμβάνει την αξιολόγηση των ενεργειακών διαφορών μεταξύ της αρχικής κατάστασης των αντιδραστηρίων στη διαδικασία ($\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$) και της τελικής κατάστασης (H_2O). Τέτοια αξιολόγηση στηρίζεται στις θερμοδυναμικές λειτουργίες της κατάστασης αυτής μέσα από μια χημική διαδικασία, πρώτιστα χρησιμοποιείται η ελεύθερη ενέργεια Gibbs. Η μέγιστη τάση κυττάρων (E) για την αντίδραση κυττάρων καυσίμων υδρογόνου/αέρα ($\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$) σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και η πίεση υπολογίζεται από $[\Delta_E = -\Delta_G / nF]$, όπου το G είναι η αλλαγή της ελεύθερης ενέργειας Gibbs για την αντίδραση, τον είναι ο αριθμός των moles(γραμμομορίων) των ηλεκτρονίων που περιλαμβάνονται στην αντίδραση ανά γραμμομόριο H_2 , και το F είναι σταθερά του Faraday=96.487 Coulomb (joule/volt), και είναι η δαπάνη που μεταφέρεται ανά γραμμομόριο των ηλεκτρονίων. Σε μια σταθερή πίεση 1(atm) ατμόσφαιρας, η ελεύθερη ενεργειακή Gibbs αλλαγή στη διαδικασία κυττάρων καυσίμων [ανά (mole)γραμμομόριο H_2] υπολογίζεται από τη θερμοκρασία αντίδρασης (T), και από τις αλλαγές στην αντίδραση της ενθαλπίας (H) και την εντροπία (S) :

$$\Delta_G = \Delta_H - T \Delta_S \Rightarrow -285.800 \text{ j} - (298 \text{ k})(-163.2 \text{ j/k}) \Rightarrow -237.200 \text{ j}$$

Για το κύτταρο καυσίμων υδρογόνου/αέρα στην πίεση 1 ατμόσφαιρας

Και 25°C (298 K), η τάση κυττάρων είναι 1,23 Volt .

$$\Delta_E = -\Delta_G / nF = -(-237,200 \text{ J}/2 \times 96,487 \text{ J/V}) = 1.23 \text{ V}$$

Καθώς η θερμοκρασία ανέρχεται από τη θερμοκρασία δωματίου σε αυτό ενός λειτουργούντος κυττάρου καυσίμων (80°C ή 353 K), οι τιμές του H και του S αλλάζουν ελαφρώς μόνο, αλλά η θερμοκρασία T αλλάζει σε 55°C . Κατά συνέπεια η απόλυτη αξία του G μειώνεται. Για μια καλή εκτίμηση, που δεν υποθέτει καμία αλλαγή στις τιμές του X και του S .

$$\Delta G = - 285,800 \text{ J/mol} - (353 \text{ K})(-163.2 \text{ J/mol K}) = - 228,200 \text{ J/mol}$$

Κατά συνέπεια, η μέγιστη τάση κυττάρων μειώνεται επίσης (για την τυποποιημένη περίπτωση 1 ATM), από 1,23 V σε 25°C σε 1,18 V σε 80°C .

$$\Delta_E = - (- 228,200 \text{ J/2} \times 96,487 \text{ J/V}) = 1.18 \text{ V}$$

Μια πρόσθετη διόρθωση για τον αέρα, αντί του καθαρού οξυγόνου, με χρήση του υγρού αέρα και του υδρογόνου, αντί των ξηρών αερίων, είναι ότι παρουσιάζεται μείωση της μέγιστης επεκτάσιμης τάσης από το κύτταρο καυσίμων υδρογόνου/αέρα σε 1,16 V στην πίεση 80°C στη 1 ατμόσφαιρα .

6.12) Ποσοστό Παραγωγής Θερμότητας Σε Ένα Εν Λειτουργία Κύτταρο Καυσίμων

Υποθέστε ότι ένα κύτταρο καυσίμων 100 cm² λειτουργεί, υπό τις χαρακτηριστικές συνθήκες της πίεσης μιας ατμόσφαιρας 1 atm και 80°C, σε 0,7V και παραγωγή 0,6 A/cm² του ρεύματος, για ένα συνολικό ρεύμα 60 A. Η υπερβολική θερμότητα που παράγεται από αυτό το κύτταρο μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

Ισχύς λόγω της θερμότητας =
συνολική παραγόμενη δύναμη - ηλεκτρική δύναμη

$$\begin{aligned} P_{\text{θερ}} &= P_{\text{ολ}} - P_{\text{ηλ}} = (V_{\text{ιδαν}} \times I_{\text{κυττ}}) - (V_{\text{κυττ}} - I_{\text{κυττ}}) \\ &= (V_{\text{ιδαν}} - V_{\text{κυττ}}) \times I_{\text{κυττ}} \\ &= (1.16 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) \times 60 \text{ A} \\ &= 0.46 \text{ V} \times 60 \text{ coulomb/sec.} \times 60 \text{ sec/min} \\ &= 1650 \text{ J/min} \end{aligned}$$

Αυτό το κύτταρο παράγει περίπου 1,7 kJ εκλυόμενης θερμότητας κάθε λεπτό που λειτουργεί, καθώς παράγει περίπου 2,5 kJ ηλεκτρικής ενέργειας ανά λεπτό.

7) ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ – ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ - ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Τι είναι αυτό που έχουν από κοινού οι μηχανές εσωτερικής καύσεως, οι μπαταρίες και τα κύτταρα καυσίμων; Τον σκοπό. Όλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ενέργεια από μια μορφή σε μια άλλη. Σαν αφετηρία, ας εξετάσουμε τις μηχανές εσωτερικής καύσεως που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτούν ουσιαστικά όλα τα αυτοκίνητα. Η λειτουργία αυτών γίνεται με θορυβώδης εκρήξεις σε υψηλές θερμοκρασίες που έχουν σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση της χημικής ενέργειας με το κάψιμο των καυσίμων και το οξυγόνο από τον αέρα. Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως, καθώς επίσης και οι συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας χρησιμότητας, αλλάζουν τη χημική ενέργεια των καυσίμων στη θερμική ενέργεια για να παράγουν την μηχανική και, στην περίπτωση εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, ηλεκτρική ενέργεια. Τα κύτταρα καυσίμων και οι μπαταρίες είναι ηλεκτροχημικές συσκευές και από την ίδια τους τη φύση έχουν μια αποδοτικότερη διαδικασία μετατροπής αφού η χημική ενέργεια μετατρέπεται άμεσα στην ηλεκτρική ενέργεια. Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως είναι λιγότερο αποδοτικές επειδή περιλαμβάνουν τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική, η οποία περιορίζεται από τον κύκλο Carnot. Αν τα αυτοκίνητα τροφοδοτούσαν με ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη άμεσα από τα κύτταρα καυσίμων υδρογόνου, δε θα υπήρχε καμιά σχετική καύση. Σε ένα αυτοκίνητο κυττάρων καυσίμων, το υδρογόνο και το οξυγόνο υποβάλλονται σε μια σχετική δροσερή ηλεκτροχημική αντίδραση που παράγει άμεσα την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια θα χρησιμοποιούσαν από τις μηχανές που είναι συνδεδεμένες με τους άξονες για να τροφοδοτήσουν τις ρόδες του οχήματος. Το άμεσο κύτταρο καυσίμων υδρογόνου δε θα είχε καμιά εκπομπή... αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις ώρες αιχμής εντός των μεγάλων πόλεων. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και ομοιότητες σε μια μηχανή

εσωτερικής καύσεως διότι, υπάρχει ακόμα η ανάγκη για μια δεξαμενή καυσίμων και το οξυγόνο παρέχεται από τον αέρα. Πολλοί άνθρωποι λανθασμένα υποθέτουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα (EV's) τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Πράγματι, ένα EV είναι ένας φορέας με ένα ηλεκτρικό οδηγό κίνησης που τροφοδοτείται είτε από την μπαταρία πάνω στο όχημα είτε από το κύτταρο καυσίμων. Οι μπαταρίες και τα κύτταρα καυσίμων είναι παρόμοιες δεδομένου ότι και τα δυο μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική παρά πολύ αποτελεσματικά. Και οι δυο απαιτούν ελάχιστη συντήρηση διότι δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη. Εντούτοις, αντίθετα από ένα κύτταρο καυσίμων, τα αντιδραστήρια σε μια μπαταρία αποθηκεύονται εσωτερικά και, όταν καταναλώνεται, η μπαταρία πρέπει να επαναφορτιστεί ή να αντικατασταθεί. Σε ένα EV όχημα, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες χρησιμοποιούνται. Με ένα κυττάρων καυσίμων τροφοδοτούμενο EV, τα κύτταρα αποθηκεύονται εξωτερικά στη δεξαμενή καυσίμων του οχήματος και ο αέρας λαμβάνεται από την ατμόσφαιρα. Εφόσον η δεξαμενή του οχήματος περιέχει τα καύσιμα, το κύτταρο καυσίμων θα συνεχίζει να παράγει την ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Η επιλογή της ηλεκτροχημικής συσκευής είτε για τις μπαταρίες είτε για τα κύτταρα καυσίμων, εξαρτάται από την χρήση. Σε εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας τα κύτταρα καυσίμων υπερέχουν από τις μπαταρίες αφού έχουν μικρότερο μέγεθος, είναι ελαφρύτερα, έχουν γρηγορότερο ανεφοδιασμό και πιο μακροχρόνια χρήση. Το κύτταρο καυσίμων μεμβρανών πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEM) είναι ένα από τα εξι της οικογένειας των ευδιάκριτων τύπων κυττάρων καυσίμων. Το κύτταρο καυσίμων (PEM), βρίσκεται υπό εξέταση από όλους τους κατασκευαστές αυτοκινήτων στο κόσμο ως εναλλακτική λύση της μηχανής εσωτερικής καύσεως και θα χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει την επιστήμη και την τεχνολογία των κυττάρων καυσίμων.

7.1) Κύκλος Carnot Vs Κύτταρα καυσίμων

Η θεωρητική θερμοδυναμική παραγωγή του κύκλου Carnot δείχνει ότι ακόμα και υπό ιδανικές συνθήκες, μια μηχανή θερμότητας δεν μπορεί να μετατρέψει όλη την ενέργεια θερμότητας που του παρέχεται σε μηχανικό έργο, γιατί μερική από την ενέργεια θερμότητας απορρίπτεται. Σε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως, η μηχανή δέχεται τη θερμότητα από μια πηγή σε μια υψηλή θερμοκρασία (T1), μετατρέπει μέρος αυτής σε μηχανικό έργο και η υπόλοιπη απορρίπτεται σε μια δεξαμενή θερμότητας σε μια χαμηλή θερμοκρασία (T2). Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ πηγής και νεροχύτη, τόσο μεγαλύτερη η αποδοτικότητα.

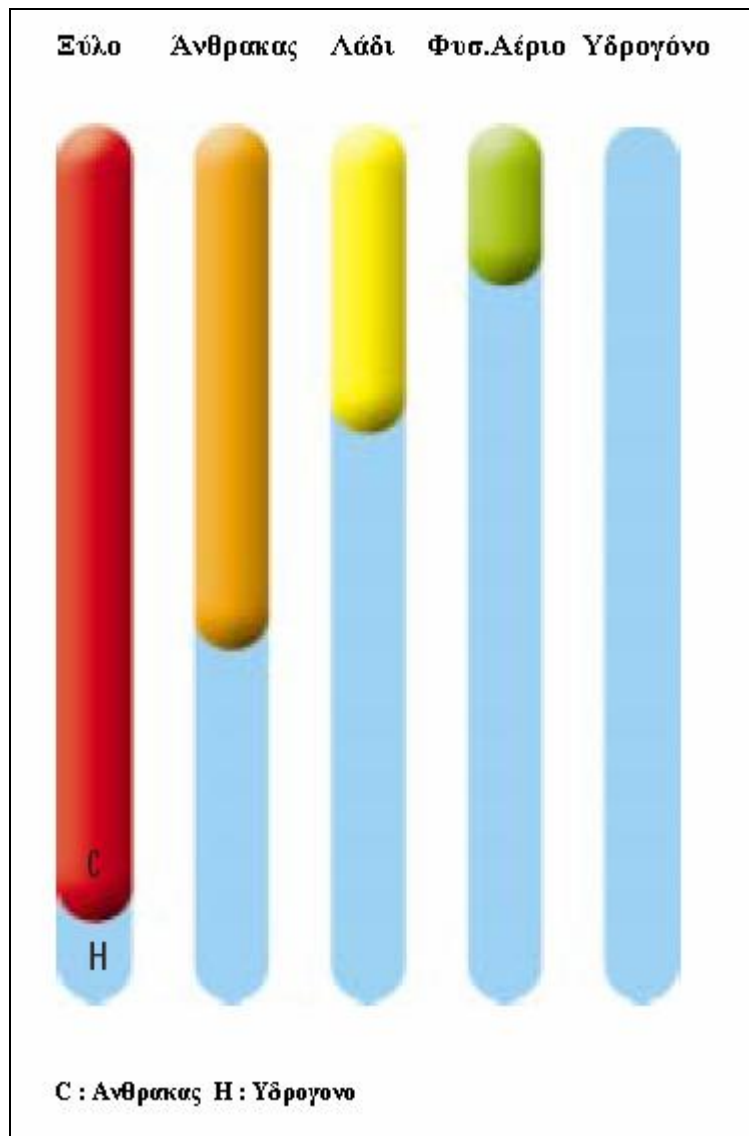
$$\text{Μέγιστη αποδοτικότητα} = (T1 - T2) / T1$$

Όπου οι θερμοκρασίες T1 και T2 δίνονται σε βαθμούς Kelvin. Επειδή τα κύτταρα καυσίμων μετατρέπουν άμεσα τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, αυτή η διαδικασία δεν περιλαμβάνει τη μετατροπή της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια. Επομένως, οι αποδοτικότητες των κυττάρων καυσίμων μπορούν να υπερβούν το όριο Carnot ακόμα και όταν λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (π.χ 80°C).

7.2) Το Υδρογόνο ως Καύσιμο

το υδρογόνο είναι το ελκυστικότερο καύσιμο για τα κύτταρα καυσίμων. διαθέτει άριστη ηλεκτροχημική άμεση αντίδραση, παρέχει επαρκή επίπεδα πυκνότητας ισχύος σε ένα σύστημα υδρογόνου/αέρα για την αυτοκινητική προώθηση, όπως επίσης έχει και μηδενικές εκπομπές ρύπων. Ιστορικά, η τάση σε ενεργειακή χρήση μας δείχνει μια αργή μετάβαση σε σχέση με τα καύσιμα

υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα... αρχίζοντας με το ξύλο και προχωρώντας σε καύσιμα με περισσότερο υδρογόνο. Τα απολιθωμένα καύσιμα απελευθερώνουν ποικίλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ο άνθρακας έχει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, έπειτα το πετρέλαιο, και τελικά το φυσικό αέριο που έχει την χαμηλότερη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα ανά θερμική μονάδα. Το υδρογόνο προφανώς δεν απελευθερώνει καμία εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα όταν καίγεται.



Εικόνα 15 : Τάσεις ενεργειακής χρήσεως για τις αναλογίες άνθρακα - υδρογόνου καθώς γινόμαστε λιγότερο εξαρτώμενοι από τα καύσιμα βασισμένα στον άνθρακα

Το υδρογόνο (H₂) είναι το αφθονότερο στοιχείο στον κόσμο αν και σχεδόν όλο βρίσκεται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία, παραδείγματος χάριν, ύδωρ (H₂O), ή απολιθωμένα καύσιμα όπως το φυσικό αέριο (CH₄). Επομένως, το υδρογόνο πρέπει να κατασκευαστεί είτε από τα απολιθωμένα καύσιμα είτε από το ύδωρ προτού μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Σήμερα, περίπου το 95% όλου του υδρογόνου παράγεται με " ατμοποίηση " του φυσικού αερίου, η πιο ενεργειακή και αποδοτική μέθοδος, μεγάλης κλίμακας παραγωγής. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι ένα υποπροϊόν αυτής της αντίδρασης.



Το υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί από την εξαέρωση του άνθρακα που περιέχει στοιχεία όπως ο άνθρακας και υδρογόνο αυτή η μέθοδος παράγει επίσης μεγάλα ποσά διοξειδίου του άνθρακα ως υποπροϊόν. Η ηλεκτρόλυση του ύδατος παράγει το υδρογόνο και το οξυγόνο.



Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για να ηλεκτρολύσει το ύδωρ θα μπορούσε να παραχθεί είτε από την καύση απολιθωμένων καυσίμων είτε από τις ανανεώσιμες πηγές όπως η υδρ ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια είτε την αιολική ενέργεια. Μακροπρόθεσμα, η παραγωγή υδρογόνου θα μπορούσε να βασιστεί σε φωτοβιολογικές ή φωτοχημικές μεθόδους. Ενώ παρόλο που υπάρχει η υποδομή για την διανομή και την αποθήκευση του υδρογόνου, είναι περιορισμένων δυνατοτήτων. Ένα πιο λειτουργικό και επεκτάσιμο σύστημα θα απαιτούταν σε περίπτωση που τα καύσιμα υδρογόνου επρόκειτο να

χρησιμοποιηθούν για την αυτοκίνηση και διάφορες άλλες εφαρμογές χρησιμότητας. Ενώ ένα ενιαίο σύστημα παραγωγής / διανομής / αποθήκευσης υδρογόνου μπορεί να μην είναι κατάλληλο για διάφορες εφαρμογές των κυττάρων καυσίμων, είναι βέβαιο πως ένας σωστός συνδυασμός τεχνολογιών θα μπορούσε να υιοθετηθεί για να ικανοποιήσει τις μελλοντικές ανάγκες. Όλα τα τμήματα συστημάτων σήμερα, είναι διαθέσιμα, αλλά δεν φτάνουν να είναι οικονομικά αποδοτικές οπότε και αποδεκτές για όλες τις χρήσεις. Εάν το υδρογόνο επρόκειτο να γίνει διαθέσιμο και προσιτό, αυτό θα μείωνε την πολυπλοκότητα και το κόστος των οχημάτων κυττάρων καυσίμων, θα γινόταν πιο ευρύ και προσιτό οπότε θα ενίσχυε την επιτυχία αυτής της τεχνολογίας. Η οικονομία υδρογόνου είναι ένα ενεργειακό σύστημα που βασίζεται στο υδρογόνο για την ενεργειακή αποθήκευση, τη διανομή, και τη χρήση. Ο όρος, που δημιουργήθηκε από την General Motors το 1970, άρεσε στη φαντασία του δημοφιλούς Τύπου. Κατά τη διάρκεια της κρίσης πετρελαίου στις αρχές της δεκαετίας του '70, η τιμή του ακατέργαστου πετρελαίου αυξήθηκε αισθητά, η ανησυχία σχετικά με τη σταθερότητα των πηγών πετρελαίου και την πιθανή έλλειψη μιας ασφαλούς πηγής ενέργειας αυξήθηκε, και η κυβέρνηση και η βιομηχανία ανέπτυξαν από κοινού σχέδια και στρατηγικές εφαρμογής για την εισαγωγή του υδρογόνου σε ένα σύστημα παγκόσμιας ενέργειας. Εντούτοις, η ελάττωση των εντάσεων στη Μέση Ανατολή οδήγησε σε μείωση τιμών του ακατέργαστου πετρελαίου και την επανάληψη της επιχείρησης ως συνήθως. Το πετρέλαιο έχει συνεχίσει να είναι η επιλογή ως καύσιμο για τον τομέα των μεταφορών παγκοσμίως. Τα καύσιμα υδρογόνου έχουν τη φήμη ότι δεν είναι και τόσο ασφαλή. Εντούτοις, όλα τα καύσιμα είναι εγγενώς επικίνδυνα. σκέφτεστε πόσοι πιθανοί κίνδυνοι υπάρχουν λόγω της βενζίνης ως καύσιμο όταν οδηγείτε το αυτοκίνητό σας; Η κατάλληλη εφαρμοσμένη μηχανική, η εκπαίδευση, και η κοινή αίσθηση μειώνουν τον κίνδυνο αυτόν, σε οποιαδήποτε ενδεχομένως περίπτωση εκρηκτικής κατάστασης. Ένα όχημα υδρογόνου και μια ενισχυμένη υποδομή μπορούν να κατασκευαστούν για να είναι τόσο

ασφαλή όσο τα υπάρχοντα συστήματα βενζίνης. Η εξέταση βάση της αντίληψης και της πραγματικότητας της ασφάλειας θα είναι κρίσιμη για την επιτυχή ευρεία εισαγωγή του υδρογόνου στην ενεργειακή οικονομία μας.

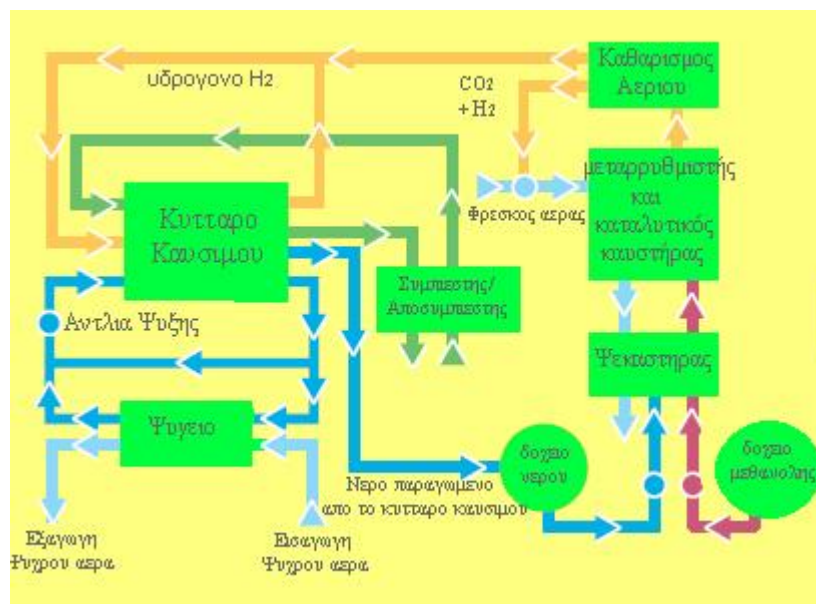
7.3) Επεξεργασία καυσίμων κυττάρων καυσίμων και μετατροπή σε υδρογόνο.

Εφ' όσον το υδρογόνο είναι δύσκολο να αποθηκευθεί σε ένα όχημα, ενσωματωμένοι επεξεργαστές καυσίμων θα απαιτηθούν για να μετατρέψουν τα καύσιμα υδρογονανθράκων, όπως η μεθανόλη ή η βενζίνη σε αέριο πλούσιο σε H_2 για τη χρήση στην συστοιχία των κυττάρων καυσίμων. Αυτήν την περίοδο, ο ανασχηματισμός του ατμού της μεθανόλης σε H_2 είναι συμβατική τεχνολογία, αν και η μερική οξείδωση της βενζίνης σε H_2 είναι αρκετά ελκυστική λόγω της ισχύς που κατέχει η βενζίνη στις περισσότερες χώρες. Πάντως και οι δύο τύποι επεξεργασίας καυσίμων είναι σύνθετα συστήματα. Ο σχηματισμός ατμού από τη μεθανόλη περιλαμβάνει την αντίδραση του ατμού και της προ ατμοποιημένης μεθανόλης στους $200^\circ C$ (η βενζίνη απαιτεί θερμοκρασίες άνω των $800^\circ C$) για να παραχθεί ένα μίγμα H_2 , διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μονοξείδιο άνθρακα (CO), και υπερβολικού ατμού. Αυτό το μίγμα περνά μέσω ενός άλλου αντιδραστήρα, αποκαλούμενου αντιδραστήρα μετατόπισης, ο οποίος χρησιμοποιεί καταλύτες και νερό για να μετατρέψει σχεδόν όλο το CO σε CO_2 καθώς επίσης και πρόσθετο H_2 . Μπορεί να υπάρξει ένα τρίτο στάδιο στο οποίο ο αέρας εγχέεται στο μίγμα σε έναν τρίτο τύπο αντιδραστήρα, τον αντιδραστήρα οξείδωσης. Το οξυγόνο στον αέρα αντιδρά με το υπόλοιπο CO πέρα από έναν καταλύτη λευκόχρυσου (Pt) για να μετατρέψει το CO σε CO_2 . Το τελικό μίγμα αερίου περιέχει περίπου 70% H_2 , 24% CO_2 , 6% άζωτο (N_2) και ίχνη CO . Με το μερικό σύστημα μεταρρυθμιστών οξείδωσης, τα υγρά καύσιμα ατμοποιούνται αρχικά σε ένα αέριο. Το αέριο αναφλέγεται έπειτα σε έναν μερικό αντιδραστήρα οξείδωσης που περιορίζει το ποσό αέρα έτσι ώστε πρώτιστα H_2 , Το κοβάλτιο και το CO_2

παράγονται από την καύση. Αυτό το μίγμα περνά μέσω ενός αντιδραστήρα μετατόπισης για να μετατρέψει το CO σε CO₂ και έπειτα μέσω ενός προνομιακού αντιδραστήρα οξείδωσης για να μετατρέψει το υπόλοιπο CO σε CO₂. Η συμβατική μερική οξείδωση πραγματοποιείται σε -1000°C και η καταλυτική μερική οξείδωση πραγματοποιείται σε -700°C. Η τελική σύνθεση είναι N₂ περίπου 42%, το CO₂ 38% H₂, 18%, CH₄ λιγότερο από 2% και ίχνη του CO.

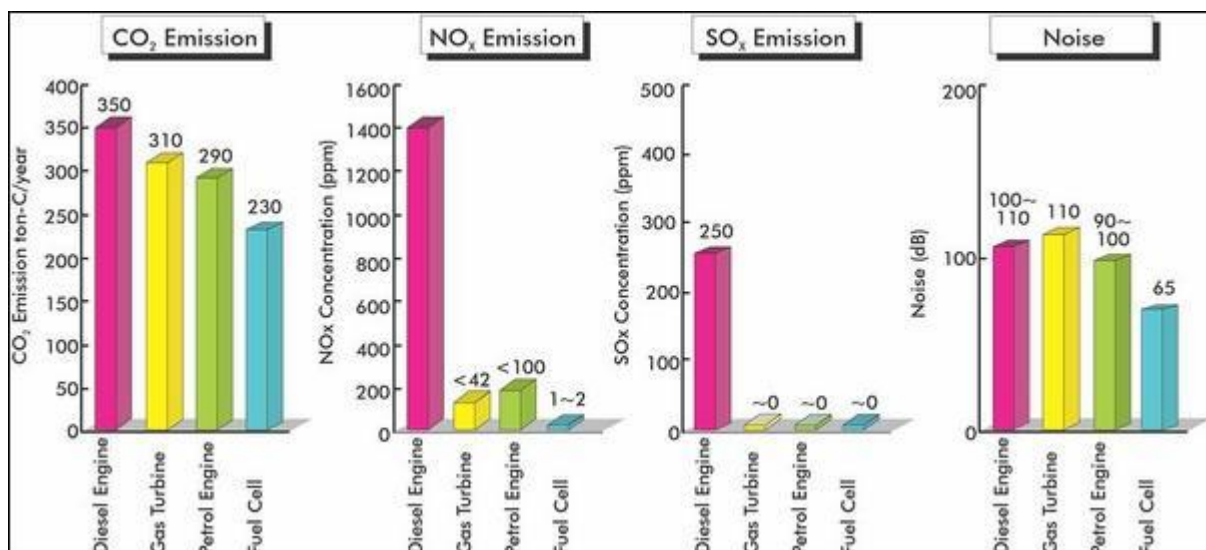
7.4) μηχανή κυττάρων καυσίμων.

Οι σωροί κυττάρων καυσίμων πρέπει να ενσωματωθούν σε μια πλήρη μηχανή κυττάρων καυσίμων. Μια μηχανή κυττάρων καυσίμων πρέπει να είναι κατάλληλου βάρους και όγκου για να αρμόσει στο σύνηθες διάστημα που είναι διαθέσιμο για τις μηχανές αυτοκινήτων. Σημαντικό, η λειτουργία ολόκληρης της μηχανής πρέπει να διατηρείται σε κοντινές σχεδόν μηδενικές εκπομπές και στην υψηλή αποδοτικότητα των κυττάρων καυσίμων. Τέλος, όλες αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να καλυφθούν με συστατικά που είναι και ανέξοδα και σχεδιασμένα για το χαμηλότερο κόστος και κατασκευή μεγάλης ποσότητας.



Εικόνα 16 : απεικόνιση μεταρρύθμισης του κυττάρου καυσίμου αέρα 'μηχανή' που χρησιμοποιεί την υγρή μεθανόλη ως καύσιμο / Πηγή : fuel cells green power by Sharon thomas

Η δυνατότητα των κυττάρων καυσίμων να παρέχουν μηδέν ή να πλησιάσουν σε μηδενικές εκπομπές είναι μια σημαντική δύναμη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 30 ετών. Τα άμεσα συστήματα υδρογόνου / αέρα (που χρησιμοποιούν την επί του σκάφους αποθήκευση υδρογόνου) είναι τα μόνα κύτταρα καυσίμων που έχουν μηδενικές εκπομπές από το σωλήνα αναρρόφησης. Η επί του σκάφους επεξεργασία της βενζίνης, της μεθανόλης και άλλων κυττάρων καυσίμων βασισμένα στον άνθρακα σε πλούσιο αέριο υδρογόνου μπορεί να γίνει με ελάχιστα ποσά εκπομπών και ύδατος και του CO₂ ως σημαντικότερα υποπροϊόντα. κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών, οι μηδενικές εκπομπές και η απόδοση θα συνεχίσουν να βελτιώνονται .



Γρ.Παράσταση 3 : Σύγκριση του διοξειδίου του άνθρακα, των νιτρικών οξειδίων, του διοξειδίου του θείου και των εκπομπών θορύβου μεταξύ των τεσσάρων κύριων τύπων μηχανών. όπως μπορείτε να δείτε, τα κύτταρα καυσίμων κερδίζουν σε όλους τους τομείς. / Πηγή : www.siliconchip.com.au by Gerry Nolan.

Ροζ στήλη : Μηχανή Diesel

Κιτρινή στήλη : αεριοστρόβιλος

Πράσινη στήλη : Βενζινοκινητήρας

Μπλε στήλη: μηχανή Κυτ.καυσίμου

Γράφημα 1: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά χρόνο

Γράφημα 2: Εκπομπές νιτρικών οξειδίων σε ογκομετρικές μονάδες

Γράφημα 3: Εκπομπές διοξειδίων του θείου σε ογκομετρικές μονάδες

Γράφημα 4: Εκπομπές θορύβου σε DB

7.5) Παροχή Καυσίμων σε αυτοκίνητα, τρόποι αποθήκευσης σε ένα όχημα.

Ο ανεφοδιασμός καυσίμων στη μηχανή κύτταρων καυσίμων είναι η σημαντικότερη πρόκληση για τις εφαρμογές οχημάτων κυττάρων καυσίμων. Όπως αναφέρεται πριν, το υδρογόνο είναι το ιδανικό για τα καύσιμα στα οχήματα. Ως εκ τούτου, η παραγωγή υδρογόνου και η αποθήκευση επάνω στο όχημα είναι η σημαντικότερη ανησυχία. Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι να παρασχεθούν τα καύσιμα στη μηχανή κυττάρων καυσίμων. Το πρώτο είναι να παραχθεί το έμμεσο υδρογόνο σε σταθερούς σταθμούς για την μετατροπή του και έπειτα να αποθηκευτεί το καθαρό υδρογόνο επάνω στο όχημα. Ο άλλος είναι να παραχθεί το έμμεσο υδρογόνο επάνω στο όχημα σε έναν μεταφορέα υδρογόνου και να τροφοδοτηθούν άμεσα στα κύτταρα καυσίμων. Επάνω στην δεύτερη περίπτωση που αναφέραμε υπάρχουν μέχρι τώρα τρεις μέθοδοι για την αποθήκευση του υδρογόνου επί του οχήματος.

- 1) Είναι το συμπιεσμένο υδρογόνο μέσα σε ένα κοντέινερ σε περιβαλλοντική θερμοκρασία,
- 2) κρυογόνο υγρό υδρογόνο σε χαμηλή θερμοκρασία, και
- 3) η μέθοδος υδριδίων μετάλλων.

Όλες αυτές οι μέθοδοι έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

α) συμπιεσμένο υδρογόνο :

Το καθαρό υδρογόνο μπορεί να είναι αποθηκευμένο επί του οχήματος υπό πίεση σε μια δεξαμενή. Η ιδανική εξίσωση αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τη μάζα του υδρογόνου που αποθηκεύεται σε ένα κοντέινερ με τον όγκο (V) και την πίεση (p), δηλαδή :

$$m_H = pV/RT * W_H$$

όπου p και V είναι η πίεση και ο όγκος του κοντέινερ, R είναι η σταθερά αερίου (8,31 J/mol*K), T είναι η απόλυτη θερμοκρασία, και W_H είναι το

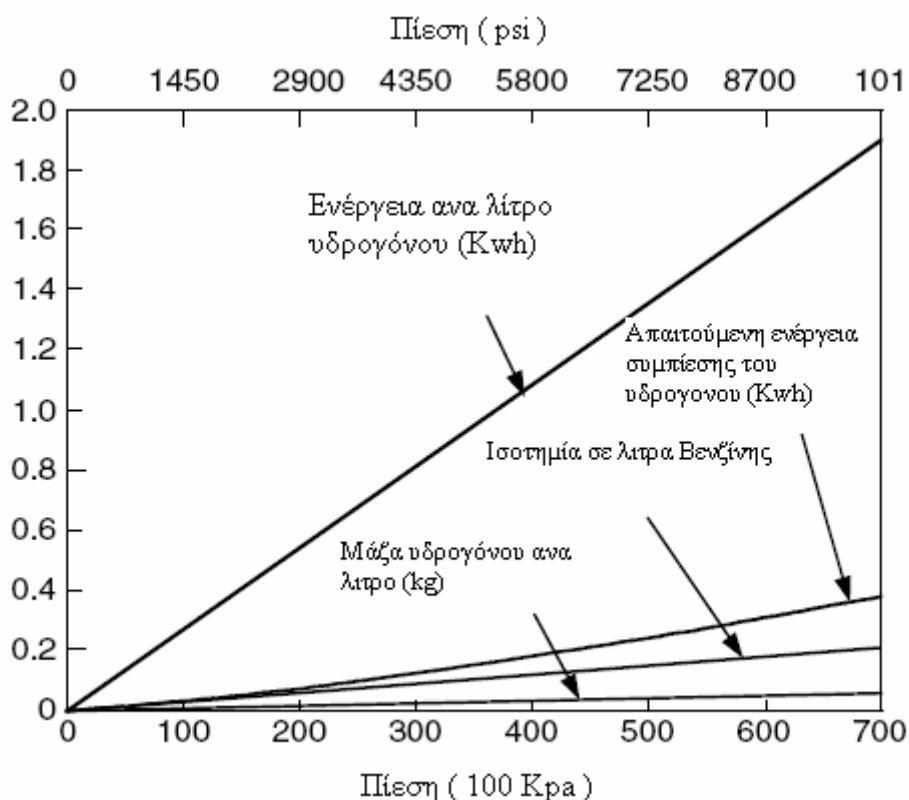
μοριακό βάρος του υδρογόνου (2.016 g/mol.). Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο υδρογόνο μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

$$E_H = m_H HV$$

όπου HV είναι η αξία θέρμανσης του υδρογόνου. Η αξία θέρμανσης είναι είτε η υψηλή αξία θέρμανσης ($HHV_H=144$ MJ/kg) είτε η χαμηλότερη αξία θέρμανσης ($LHV_H=120$ MJ/kg), ανάλογα με την παραχθείσα ενέργεια συμπύκνωσης ύδατος αν μπορεί να ανακτηθεί ή όχι. Το γράφημα 4 παρουσιάζει τη μάζα και την ενέργεια σε 1 Liter του υδρογόνου και τα ισοδύναμα λίτρα της βενζίνης υπό διαφορετική πίεση και σε θερμοκρασία δωματίου (25°C). Τα ισοδύναμα λίτρα της βενζίνης ορίζονται ως ο αριθμός λίτρων της βενζίνης στα οποία το ίδιο ποσό ενέργειας περιλαμβάνεται και στη ποσότητα του ενός λίτρου του υδρογόνου. Το γράφημα 4 επίσης δείχνει ότι σε μια πίεση 350 bar, η ενέργεια ανά λίτρο υδρογόνου είναι λιγότερη από 1 kWh και είναι ισοδύναμη περίπου με 0,1 λίτρα της βενζίνης. Ακόμα κι αν η πίεση αυξηθεί στα 700 bar, η οποία θεωρείται η μέγιστη πίεση που μπορεί να επιτευχθεί, η ενέργεια ανά λίτρο υδρογόνου είναι ακόμα λιγότερο από 2,0 kWh και σε αντιστοιχία περίπου στα 0,2 λίτρων της βενζίνης. Επιπλέον, απαιτείται ένα ορισμένο ποσό ενέργεια για να συμπιέσει το υδρογόνο από τη χαμηλή πίεση στην υψηλή πίεση. Η διαδικασία συμπίεσης του υδρογόνου μπορεί υποτίθεται ότι ήταν μια αδιαβατική διαδικασία, δηλαδή καμία ανταλλαγή θερμότητας δεν εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί να εκφραστεί με τον παρακάτω τύπο :

$$E_{com} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{m}{W_H} RT \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right],$$

όπου το m είναι μάζα του υδρογόνου, W_H είναι το μοριακό βάρος του υδρογόνου, γ είναι ειδική ενέργεια ($\gamma = 1.4$), p είναι πίεση του υδρογόνου, και p_0 είναι ατμοσφαιρική πίεση. Αυτή η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζεται επίσης στο γράφημα 4. δείχνει ότι περίπου το 20% της ενέργειας του υδρογόνου πρέπει να καταναλωθεί για να το συμπιέσει στην υψηλή πίεση. Λαμβάνοντας υπόψη την ανεπάρκεια του συμπιεστή και της ηλεκτρικής μηχανής, υπολογίζεται ότι περίπου 25% της ενέργειας υδρογόνου καταναλώνεται. Ο περιορισμός ενός αερίου σε αρκετές ατμόσφαιρες απαιτεί μια πολύ ισχυρή δεξαμενή αποθήκευσης. Προκειμένου να κρατηθεί το βάρος όσο το δυνατόν χαμηλά και ο όγκος του να είναι λογικός, οι σημερινές δεξαμενές υδρογόνου για τις αυτοκίνητες εφαρμογές χρησιμοποιούν σύνθετα υλικά όπως η ίνες άνθρακα (ανθρακονηματά). Έτσι το κόστος μιας συμπιεσμένης δεξαμενής υδρογόνου πιθανόν να είναι υψηλό.



Γρ.Παράσταση 4 : Ενέργεια ανά λίτρο υδρογόνου και αντιστοιχία με αυτά της βενζίνης / Πηγη : Modern electric,Hybrid electric and fuel cell vehicles by CRC Press

Οι κίνδυνοι του συμπιεσμένου υδρογόνου επάνω σε ένα όχημα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Εκτός από τον κίνδυνο διαρροών μέσω των ρωγμών στα τοιχώματα των δεξαμενών, τις σφραγίδες, κ.λπ., υπάρχει το πρόβλημα πιθανής διείσδυσης του υδρογόνου μέσω των υλικών των τοιχωμάτων. Το μόριο dihydrogen είναι τόσο μικρό που μπορεί να διαπεράσει αρκετά υλικά. Επιπλέον, μια συμπιεσμένη δεξαμενή αερίου είναι μια πιθανή βόμβα σε περίπτωση πρόσκρουσης και ανατροπής του οχήματος. Οι κίνδυνοι είναι ακόμα μεγαλύτεροι στην περίπτωση του υδρογόνου, το οποίο έχει μια πολύ ευρεία εκρηκτική συμπεριφορά στον αέρα από 4 - 77% και είναι σε θέση να αναμειχτεί γρήγορα με τον αέρα. Αυτό πρόκειται να συγκριθεί με τη βενζίνη, η οποία έχει μια εκρηκτική συμπεριφορά από 1 - 6% μόνο και είναι υγρό. Πρέπει να σημειωθεί ότι το υδρογόνο έχει μια υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης 571°C, ενώ η βενζίνη αυτάναφλεγεται περίπου στους 220°C αλλά πρέπει να ατμοποιηθεί πρώτα. Μέχρι τώρα, η τεχνολογία της συμπιεσμένης αποθήκευσης υδρογόνου επάνω στο όχημα παραμένει μια τεράστια πρόκληση για την εφαρμογή οχημάτων.

β) κρυογόνο υγρό υδρογόνο :

Μια άλλη εναλλακτική λύση στην αποθήκευση του υδρογόνου επάνω σε ένα όχημα είναι να υγροποιηθεί το αέριο σε κρυογόνες θερμοκρασίες (-259.2°C). αυτό Το αποθηκευμένο υδρογόνο αναφέρεται συνήθως ως "LH₂". Η αποθήκευση του LH₂ επηρεάζεται από τα ίδια προβλήματα πυκνότητας που έχουν επιπτώσεις και στο συμπιεσμένο υδρογόνο. Πράγματι, η πυκνότητα του υγρού υδρογόνου είναι πολύ χαμηλή και 1 λίτρο, ζυγίζει μόνο 71x10⁻³ kg. Αποτελέσματα αυτής της χαμηλής πυκνότητας σε ένα ενεργειακό περιεχόμενο είναι περίπου 8,52x10⁻⁶ j / liter του υγρού υδρογόνου. Ο περιορισμός του υγρού σε μια τέτοια χαμηλή θερμοκρασία όπως τους 259.2°C είναι τεχνικά μια πρόκληση. Απαιτεί μια δεξαμενή με ισχυρή μόνωση για να ελαχιστοποιήσει τη μεταφορά θερμότητας από τον περιβαλλοντικό αέρα στο κρυογόνο υγρό και να

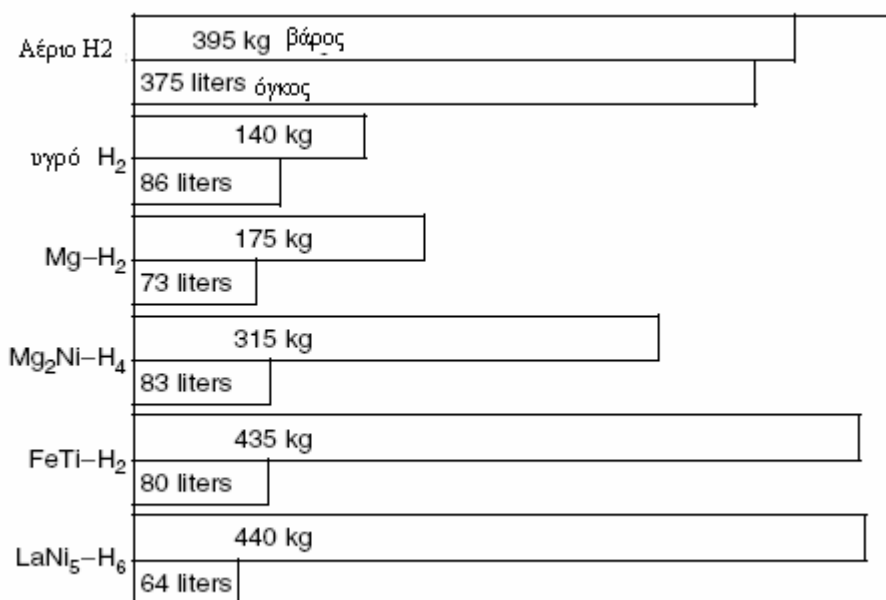
την αποτρέψει τον βρασμό του περιεχομένου. Η μέθοδος που υιοθετείται συνήθως, είναι να φτιαχτεί μια ισχυρά μονωμένη δεξαμενή για να αντισταθεί από την πίεση που προκαλεί η εξάτμιση. Έπειτα η υπερβολική πίεση απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια μιας βαλβίδας ασφάλειας. Η μόνωση δεξαμενών, η δύναμη, και οι συσκευές ασφάλειας προσθέτουν σημαντικά στο συνολικό βάρος αλλά και το κόστος της αποθήκευσης LH₂.

γ) μέθοδος υδριδίων μετάλλων :

Μερικά μέταλλα είναι σε θέση σε συνδυασμό με το υδρογόνο να σχηματίσουν σταθερές ενώσεις που μπορούν αργότερα να αποσυντεθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αυτά τα μέταλλα μπορούν να είναι ο σίδηρος, το τιτάνιο, το μαγγάνιο, το νικέλιο, το λίθιο, και μερικά κράματα αυτών των μετάλλων. Τα υδρίδια μετάλλων είναι σταθερά υπό κανονικές τιμές θερμοκρασιών και πίεσης και είναι σε θέση να απελευθερώνουν το υδρογόνο μόνο όταν χρειάζεται. Τα μέταλλα αποθήκευσης του υδρογόνου και τα κράματα μετάλλων είναι : Mg, Mg₂Ni, FeTi, and LaNi₅. Αυτά τα μέταλλα και κράματα μετάλλων απορροφούν το υδρογόνο σε μορφή : Mg-H₂, Mg₂Ni-H₄, FeTi-H₂, και LaNi₅-H₆. Θεωρητικά, τα μέταλλα και τα κράματα μετάλλων αποθηκεύουν το υδρογόνο σε υψηλότερη πυκνότητα από το καθαρό υδρογόνο, όπως φαίνεται στον πίνακα 4. Στην πράξη, η ποσότητα αποθήκευσης υδρογόνου εξαρτάται σημαντικά από την περιοχή επιφάνειας του υλικού στο οποίο τα μόρια υδρογόνου απορροφώνται. Μια μεγάλη περιοχή επιφάνειας ανά μονάδες βάρους του υλικού μπορεί να φτιαχτεί από λεπτές πορώδεις επιφάνειες φτιαγμένες από λεπτόκοκκη σκόνη των μετάλλων ή των κραμάτων τους. Το γράφημα 5 παρουσιάζει στην πράξη την μάζα και τον όγκο που απαιτούνται για να αποθηκευτούν 6 kg υδρογόνου (22 liter για την βενζίνη). Αυτός ο αριθμός δείχνει ότι MG-H₂ είναι η πιο υποσχόμενη τεχνολογία.

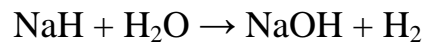
Πίνακας 4 : Θεωρητικές πυκνότητες αποθήκευσης υδρογόνου σε συμπιεσμένο, υγρό, και προσεγγίσεις υδριδίων μετάλλων / Πηγη : Modern electric,Hybrid electric and fuel cell vehicles by CRC Press

Υλικό	H – άτομα / cm ³ (x10 ²²)	% του βάρους που είναι υδρογόνο
H ₂ αέριο, 200 bar (2900psi)	0.99	100
H ₂ υγρό, 20 K (-253°C)	4.2	100
H ₂ στερεό, 4.2 K (-269°C)	5.3	100
Mg – H ₂	6.5	7.6
Mg ₂ Ni – H ₂	5.9	3.6
FeTi – H ₂	6.0	1.89
LaNiH ₆	5.5	1.37



Γρ.Παράσταση 5 : Προβολή απαιτούμενης μάζας και ο όγκου για την αποθήκευση 6 Kg του υδρογόνου (22 Liter βενζίνης) σε διάφορες συσκευές αποθήκευσης υδρογόνου / Πηγη : Modern electric,Hybrid electric and fuel cell vehicles by CRC Press

Τα αλκαλικά υδρίδια μετάλλων είναι η πιθανή εναλλακτική λύση στην απορρόφηση υδριδίων μετάλλων. Αυτά τα υδρίδια αντιδρούν, δυνατά, με το νερό για να απελευθερώσουν το υδρογόνο και ένα υδροξείδιο. Το παράδειγμα του υδριδίου νατρίου παρουσιάζεται παρακάτω. Το σημαντικότερο μειονέκτημα



είναι η ανάγκη να φέρει το όχημα επάνω του επιπλέον ένα ιδιαίτερα αντιδραστικό υδρίδιο και μια διαβρωτική λύση του υδροξειδίου. Η πυκνότητα αποθήκευσης είναι ικανοποιητική σε σύγκριση με πολλές άλλες τεχνικές αποθήκευσης υδρογόνου, αλλά μικρότερη σε σύγκριση με τη βενζίνη. Η κατασκευή αυτών των υδριδίων και η ανακύκλωσή τους είναι επίσης μια πρόκληση. Ο άνθρακας nanotubes, ανακαλύφθηκε το 1991, θα μπορούσε να είναι μια ενδεχόμενη μέθοδος για τα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου, λόγω της πιθανής μεγάλης απορροφητικής ικανότητας και του βάρους τους. Εντούτοις, η τεχνολογία άνθρακα nanotube είναι σε πρόωρα στάδια και έχει πολύ δρόμο προτού μπορέσει να αξιολογηθεί η πρακτική χρησιμότητά του .

7.6) Το πιο ισχυρό Concept fuel cell car από την Honda.

Νέο όχημα κυττάρων καυσίμων από την Honda με τύπο FCX, παρουσιάστηκε στην έκθεση αυτοκινήτων του Τόκιο, είναι ένα μοντέρνο sedan που διαθέτει ένα ξανασχεδιασμένο σύστημα κυττάρων καυσίμων με περισσότερη ισχύ και διάρκεια σε λιγότερο διάστημα από ότι το τρέχον πρότυπο fuel cell αμάξι της με τύπο FCX 2005 που βρίσκεται στο δρόμο, επίσης ο σχεδιασμός των πατωμάτων είναι αρκετά χαμηλός για να μεγιστοποιεί το διάστημα των καμπινών. Η διευκόλυνση του σχεδιασμού χαμηλών πατωμάτων είναι ένα νέο "3V" σύστημα όπως λέγεται από την Honda δηλαδή: κάθετη ροή αερίου, σπονδυλική σχεδίαση, και όγκο-αποδοτική συσκευασία.



Εικόνα 17 : Honda Concept FCX με σύστημα εγχώριας ενέργειας για τον ανεφοδιασμό./ Πηγή : Honda

Στο 3V σχήμα, το οξυγόνο και το υδρογόνο ρέουν από την κορυφή στο κατώτατο σημείο της συστοιχίας των κυττάρων καυσίμων (κάθετη ροή αερίου) και τα κύτταρα καυσίμων τακτοποιούνται κάθετα στην κεντρική σήραγγα (σπονδυλικό σχεδιάγραμμα) για τη νέα υψηλής απόδοσης συσκευασία κυττάρων καυσίμων (αποδοτικότητα όγκου). Καθώς είναι αρκετά συμπαγής για να αρμόσει τακτοποιημένα στο κέντρο του σασί είναι και αρκετά ισχυρός με απόδοση 100kW, οι συστοιχίες κυττάρων καυσίμων ροής 'V' προσφέρουν και χωρητική αποδοτικότητα και υψηλή ενεργειακή παραγωγή. Το κλειδί για την απόδοση κυττάρων καυσίμων είναι διαχείριση του ύδατος. Με την κάθετη ροή αερίου, μια καινοτόμος διαδικασία στην οποία το οξυγόνο και το υδρογόνο διατρέχουν προς τα κάτω της συστοιχίας, η νέα συστοιχία κυττάρων καυσίμων της Honda εκμεταλλεύεται πλήρως τη βαρύτητα για να απαλλάξει αποτελεσματικά το ύδωρ που διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίθεση, με την 'συστοιχία FC' στο FCX 2005 που προσφέρει στο μέγιστο 86 kW απόδοση. Αυτό βελτιώνει και την απόδοση θερμοκρασίες υπό το μηδέν, επιτυγχάνοντας ένα νέο επίπεδο αξιοπιστίας των συστημάτων. Το πρόβλημα εκκίνησης σε χαμηλές καιρικές συνθήκες ήταν ένα βασικό εμπόδιο στην εμπορευματοποίηση των οχημάτων κυττάρων καυσίμων. Το 2003, Honda έλυσε το πρόβλημα αυτό, με την εισαγωγή της συστοιχίας Honda FC, το πρώτο παγκοσμίως κύτταρο καυσίμων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε

θερμοκρασίες έως -20°C . Η Συστοιχία κυττάρων καυσίμων ροής 'V', αφ'ετέρου, διαθέτει και εξαιρετική απόδοση εκκίνησης σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ίδια όπως και με μια μηχανής βενζίνης. Το Concept FCX-V σύστημα κίνησης διαθέτει τρεις ενεργειακά αποδοτικές μηχανές: μια μπροστά και δύο στο οπίσθιο τμήμα. Η αποδοτική παράδοση αυτής της δύναμης γίνεται



Εικόνα 18: σύστημα ροής 'V'. Κάθετη ροή αερίου, σπονδυλική σχεδίαση, απόδοση σε μικρό όγκο / Πηγή : Honda

μέσω και των τεσσάρων τροχών και η πλατφόρμα χαμηλού κέντρου βάρους συνδυάζονται για να παραδώσουν την ροπή με συνδυασμό του άνετου χειρισμού του αυτοκινήτου. Η έξυπνη σχεδίαση στη διαρρύθμιση του FCX-V συμβάλλει επίσης στην εσωτερική αποδοτικότητα του σχεδιασμού χαμηλών πατωμάτων, εξαλείφοντας την ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ένα είδος ξεχωριστού ορόφου για τις μηχανές. Οι απόδοση έχει μοιραστεί στις 3 μηχανές ως εξής :

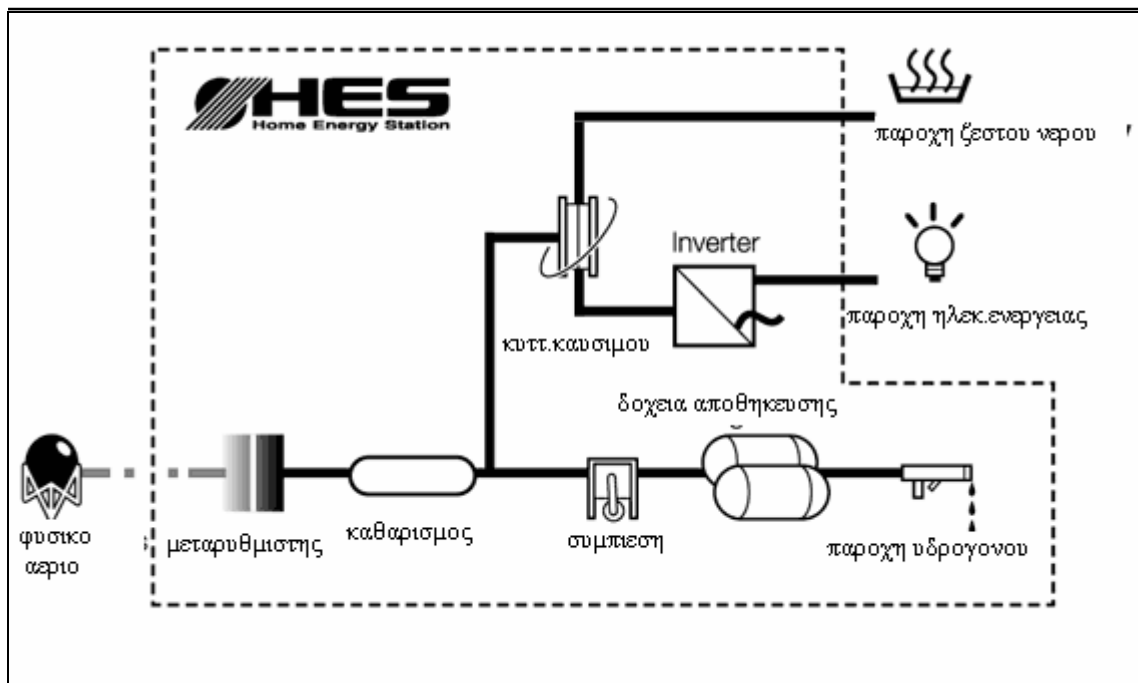
- Η 80 kW απόδοσης μπροστινή μηχανή απόδοσης είναι ομοαξονική με κιβώτιο ταχυτήτων για μια συμπαγέστερη συσκευασία και πιο σύντομο μπροστινό τελείωμα.
- Οπίσθιες μηχανές στους τροχούς. Κάθε ένας από τους πίσω τροχούς περιέχει μια λεπτή μηχανή ισχύος 25kW.



Εικόνα 19 : Ενσωματωμένη μηχανή απόδοσης 25 kW στους πίσω τροχούς / Πηγή : Honda

Για να αυξήσουν την εμβέλεια-απόσταση οδήγησης, η Honda επέλεξε να μην αυξήσουν την πίεση των δεξαμενών αποθήκευσης, αλλά να χρησιμοποιήσουν ένα πρόσφατα αναπτυγμένο υλικό απορρόφησης υδρογόνου που διπλασιάζει την ικανότητα της δεξαμενής σε 5 kg του υδρογόνου στις 350 ατμόσφαιρες. Με το νέο υλικό, οι δεξαμενές παρέχουν αρκετό υδρογόνο για να επεκτείνουν την απόσταση οδήγησης στα 560 χιλιόμετρα (350 μίλια) υπερβαίνοντας και τον στόχο της για την σειρά DOE του 2010. Συγκρίνοντας με το τρέχον πρότυπο FCX 2005 προσφέρει απόσταση 190 μιλίων. Η Honda παρουσίασε επίσης το

τρέχον πρότυπό της του σταθμού εγχώριας ενέργειας (HES), ένα σύστημα εγχώριας συμπαραγωγής και τροφοδότησης που χρησιμοποιεί το φυσικό αέριο για να παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα εκτός από τα καύσιμα υδρογόνου για τα οχήματα. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με κύτταρα καυσίμων που παράγουν επίσης ηλεκτρική ενέργεια (5 kW) κατάλληλη για τις κατοικίες, και διαμορφώνεται για να ανακτήσει τη θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής παραγωγής για τη θέρμανση κατοικιών ύδατος. Το HES μπορεί να παραγάγει 3 Nm³/hr του υδρογόνου. Εκτός από τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 40% περίπου, σύμφωνα με τους υπολογισμούς της Honda, το κόστος του συστήματος HES αναμένεται να είναι κατά 50% χαμηλότερο από το συνολικό τρέχον κόστος της οικιακής ηλεκτρικής ενέργειας, του αερίου και των καυσίμων οχημάτων.



Εικόνα 20 Σταθμός εγχώριας ενέργειας (HES) by Honda / Πηγή : Honda

8) ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ

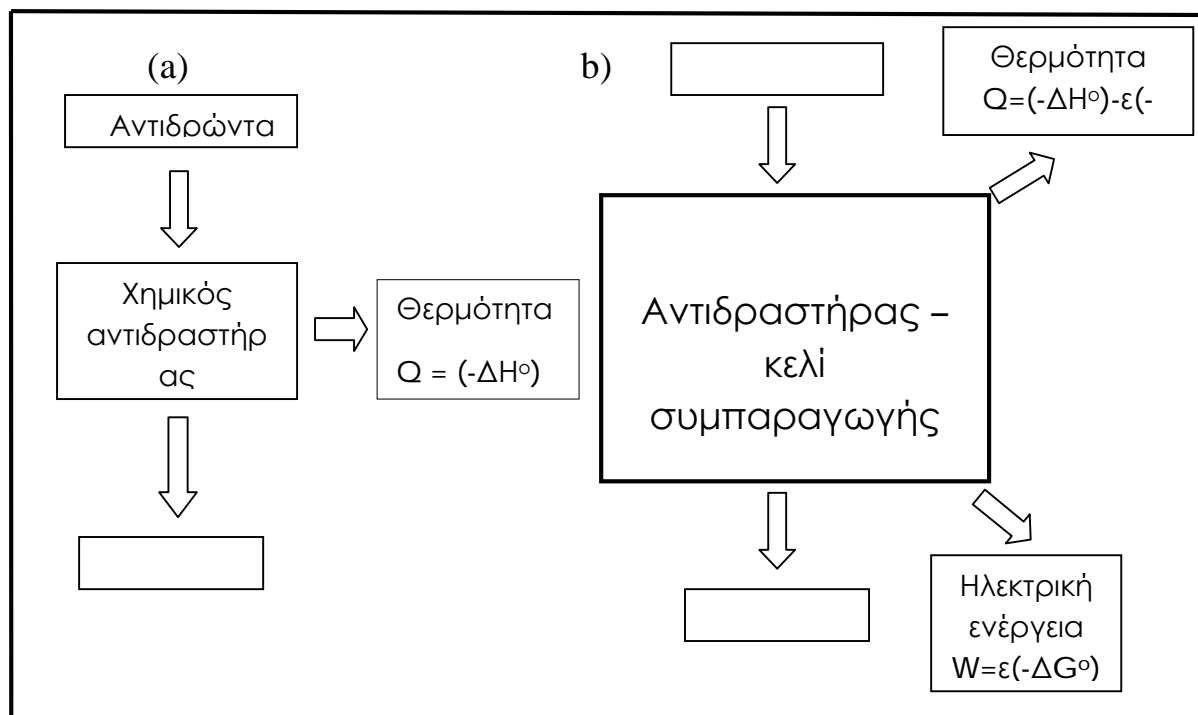
Όπως διαπιστώσαμε από τα μέχρι εδώ αναφερόμενα, τα κύτταρα καυσίμου ή κελιά καυσίμου μετατρέπουν φτηνά συνήθως χημικά (H_2 , CO , CH_4 , CH_3OH , O_2) σε μη ρυπογόνα συστατικά H_2O και CO_2 , παράγοντας ηλεκτρισμό. Εντούτοις υπάρχει ένας αριθμός σπουδαίων βιομηχανικά αντιδράσεων Πίνακας 5 των οποίων οι τιμές ΔG είναι συγκρίσιμες με αυτήν της οξείδωσης του H_2 . Αυτές οι αντιδράσεις γίνονται βιομηχανικά σε κλασικούς χημικούς αντιδραστήρες για την παραγωγή των αντίστοιχων αναβαθμισμένων προϊόντων, όπου το εξώθερμο τους αποδίδεται σαν ενέργεια χαμηλής ποιότητας, δηλαδή θερμότητα. Θα ήταν λοιπόν θεμιτό να επιτελεστούν σε κελιά καυσίμου με σκοπό την παραγωγή χρήσιμων χημικών προϊόντων υπό ταυτόχρονη μετατροπή της χημικής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική. Μια τέτοια διαδικασία, που αναπαρίσταται στην εικόνα (21) θα την ονομάσουμε χημική συμπαραγωγή. Σαν ένα γενικό ορισμό μπορούμε να πούμε ότι χημική συμπαραγωγή είναι ο συνδυασμός της ιδέας του κελιού καυσίμου με τον χημικό αντιδραστήρα για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρήσιμων χημικών προϊόντων. Μια τέτοια ιδέα προφανώς απαιτεί δυο βασικά στοιχεία :

- α)** η αντίδραση ενδιαφέροντος να είναι ισχυρά εξώθερμη, και
- β)** να είμαστε σε θέση να βρούμε τους κατάλληλους ηλεκτροκαταλύτες (ανοδικά ηλεκτρόδια) που θα μπορέσουν να επιτελέσουν την συγκεκριμένη αντίδραση.

Ένας ηλεκτροκαταλύτης πρέπει να πληρεί δυο βασικές προϋποθέσεις :

α) να είναι καλός καταλύτης για την ημί αντίδραση που επιτελεί και

β) να είναι καλός ηλεκτρονιακός αγωγός, εφόσον ταυτόχρονα ζητείται να παίξει και τον ρόλο του ηλεκτροδίου.



Εικόνα 21. Ένας χημικός αντιδραστήρας (a), και ένας αντιδραστήρας-ηλεκτροχημικό κελί για χημική συμπαραγωγή (b) / Πηγή: Ατμοσφαιρική ρύπανση (Ιωάννης Γεντεκάκης εκδόσεις Τζιόλα).

Το ευτυχές σε αυτή την προσπάθεια είναι ότι αντιδράσεις που χρησιμοποιούν μεταλλικούς καταλύτες (δηλ., καλούς ηλεκτρονιακούς αγωγούς) φαίνεται να μπορούν να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά και ως αντιδράσεις μεταφοράς φορτίου σε ηλεκτροκαταλύτες κατασκευασμένους από το ίδιο μεταλλικό υλικό.

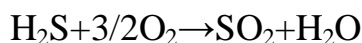
Πίνακας 5 : Σπουδαίες βιομηχανικές αντιδράσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στα κύτταρα καυσίμων για χημική συμπαραγωγή / Πηγή : Ατμοσφαιρική ρύπανση : επιπτώσεις, έλεγχος & Εναλλακτικές τεχνολογίες από Ιωάννη Γεντεκάκη εκδόσεις Τζιόλα.

Αντίδραση	T _a (°C) ηλεκτροκαταλύτης	-ΔG° (Kcal/mol)	V _{rev} (V)

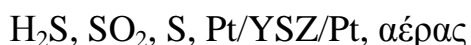
$\text{H}_2\text{S}+3/2\text{O}_2\rightarrow\text{SO}_2+\text{H}_2\text{O}$	1000 Pt	100	0.723
$\text{NH}_3+5/4\text{O}_2\rightarrow\text{NO}+3/2\text{H}_2\text{O}$	850 Pt-Rh	67.8	0.588
$\text{CH}_3\text{OH}+1/2\text{O}_2\rightarrow\text{H}_2\text{CO}+\text{H}_2\text{O}$	700 Ag	50.9	1.104
$\text{C}+1/2\text{O}_2\rightarrow\text{CO}$ (θεωρητικά)	1200 ρευστό Fe	32.8	0.712

Μέχρι σήμερα έχει πραγματοποιηθεί με επιτυχία (σε ερευνητικό επίπεδο) σε συνθήκες συμπαραγωγής ένας αριθμός σπουδαίων βιομηχανικών αντιδράσεων. Είναι αυτές που αναφέρθηκαν στον πίνακα 5 . Ας δούμε με περισσότερη λεπτομέρεια αυτές τις περιπτώσεις.

i) Συμπαραγωγή SO_2 και ηλεκτρικής ενέργειας.



Η αντίδραση αποτελεί ένα από τα βασικά βήματα της διεργασίας Claus για την βιομηχανική παραγωγή του H_2SO_4 . Το θειικό οξύ είναι ένα από τα σπουδαιότερα προϊόντα της χημικής βιομηχανίας με μια δυναμικότητα παραγωγής μεγαλύτερη από 4×10^8 tons/year. Η αντίδραση του SO_2 είναι ισχυρά εξώθερμη. Έχει $-\Delta g^\circ$ στους 1000°C ίσο με 100 Kcal/mol . Πειραματική μελέτη της αντίδρασης υπό συνθήκες συμπαραγωγής σε ένα κελί-αντιδραστήρα του τύπου :



Στους $700\text{-}850^\circ\text{C}$ έδειξε ότι είναι ικανή η συμπαραγωγή αυτή με εκλεκτικότητα σε SO_2 100% (σε πλήρη μετατροπή του H_2S) και πυκνότητες ρεύματος της τάξης των 80 mA/cm^2 .

ii) Συμπαραγωγή φορμαλδεΐδης και ηλεκτρικής ενέργειας.

Περισσότεροι από 3.000.000 τόνοι φορμαλδεΐδης ανά έτος παράγονται μόνο στις ΗΠΑ. Η αντίδραση οξείδωσης της μεθανόλης προς φορμαλδεΐδη είναι αρκετά υποσχόμενη για πραγματοποίηση σε κύτταρα καυσίμου καθόσον το

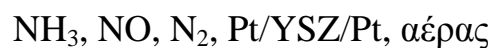
αντίστοιχο δυναμικό ισορροπίας στους 650°C είναι πολύ υψηλό (1.089 V). Το σύστημα μελετήθηκε πειραματικά σε ένα κελί – αντιδραστήρα του τύπου:



Στους 550 – 700°C, όπου επιτεύχθηκε μετατροπή της μεθανόλης κατά 20% σε μια εκλεκτικότητα προς φορμαλδεΰδη 90%.

iii) Συμπαγωγή NO και ηλεκτρικής ενέργειας.

Η καταλυτική οξείδωση της αμμωνίας για παραγωγή NO είναι το βασικό πρώτο στάδιο της βιομηχανικής παραγωγής HNO₃. Με την χρήση ηλεκτροκαταλύτη Pt, βρέθηκε ότι είναι εφικτή αυτή η μετατροπή σε SOFC του τύπου :



Η παραγωγικότητα (yield) σε NO φτάνει το 60%, αν και η παραγόμενη από το κελί ηλεκτρική ισχύς κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

iv) Αεριοποίηση του άνθρακα υπό ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η βιομηχανία αεριοποίησης του άνθρακα είναι σήμερα μια βιομηχανία τεραστίων διαστάσεων με δυνατότητα αεριοποίησης περίπου 10.000 τόνους C/ημέρα για παραγωγή αερίου σύνθεσης (CO+H₂) και καυσίμων αερίων. Πρόσφατα προτάθηκε ένα κελί στερεού ηλεκτρολύτη με άνοδο από τετηγμένο μέταλλο (Fe), ικανό να επιτελέσει αυτή την διεργασία υπό συνθήκες συμπαγωγής. Το θέμα μελετήθηκε θεωρητικά, όπου δόθηκε ότι πυκνότητες ρεύματος της τάξης των 8 A/cm² και ισχύος της τάξης 20 kW/m² κάτω από υψηλό βαθμό απόδοσης (>80%) είναι θεωρητικά τουλάχιστον, επιτεύξιμες. Το κελί τετηγμένης ανόδου που προτάθηκε είναι του τύπου :



Σημειωτέον, ότι το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ευρώπη και γενικότερα στον κόσμο, βασίζεται στον άνθρακα. Για την οικονομία της χώρας μας η σημασία αυτής της πρώτης ύλης είναι αντιληπτή, δεδομένων των αποθεμάτων λιγνίτη που διαθέτουμε. Υπάρχει μια παγκοσμίως έντονη αναζήτηση νέων τεχνολογιών που θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν τον άνθρακα για παραγωγή ενέργειας κάτω από συνθήκες υψηλότερης απόδοσης που θα είναι ταυτόχρονα και φιλικότερες προς το περιβάλλον. Η ανάπτυξη λοιπόν αυτού του τύπου των FMA/SOFC που προτάθηκε μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική λύση και να αποδώσει μεγάλα οικονομικά οφέλη, όπως αναφέρει σε μια κριτική επί της διεργασίας το περιοδικό Platinum Metals Review.

9) Συμπέρασμα.

Όπως φάνηκε, η ανακάλυψη των κυττάρων καύσιμων μπορεί να είναι ο βασικός παράγοντας με τον οποίο μπορούμε να βελτιώσουμε την κατάσταση του περιβάλλοντος του πλανήτη αλλά και στις ίδιες μας τις ζωές . Ο άνθρωπος συνεχώς ανακαλύπτει και μαθαίνει μέσα από τα λάθη του , και τα κύτταρα καύσιμων μπορεί να είναι η λύση στην τεράστια ρυπογόνα βιομηχανική ζωή που έχουμε αυτή την στιγμή που σαν αποτέλεσμα έχει να καταναλώνει πολλά αποθέματα (τα οποία δεν είναι απεριόριστα π.χ πετρέλαιο , δέντρα) του πλανήτη αλλά και το μεγάλο πρόβλημα της αλλαγής του κλίματος που έχει γίνει αρκετά έντονο λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου , το οποίο είναι ένα αποτέλεσμα καθαρά από τον άνθρωπο λόγω των τεράστιων αναγκών του. Τα κύτταρα καυσίμων μπορούν να εφαρμοστούν σε μια τεράστια γκάμα εφαρμογών , από την πιο μικρή (μια μπαταρία) μέχρι και την πιο μεγάλη (ένα εργοστάσιο , διαστημικά σχέδια) , οι επιλογές είναι απεριόριστες παρόλο που υπάρχουν σε όλα τα είδη κυττάρων καυσίμων δυσκολίες εφαρμογής, αυτό όμως είναι ένας παράγοντας ο οποίος μπορεί να εξαλειφτεί μέσω της έρευνας και της πείρας αλλά και των δοκιμών. Φανταστείτε τον πλανήτη πως θα ήταν αν γινόταν να χρησιμοποιηθεί το κύτταρο καύσιμων σε όλες τις εφαρμογές στις οποίες θα ήταν χρήσιμο. Και οι εφαρμογές δεν είναι λίγες . μερικές δίνονται παρακάτω :

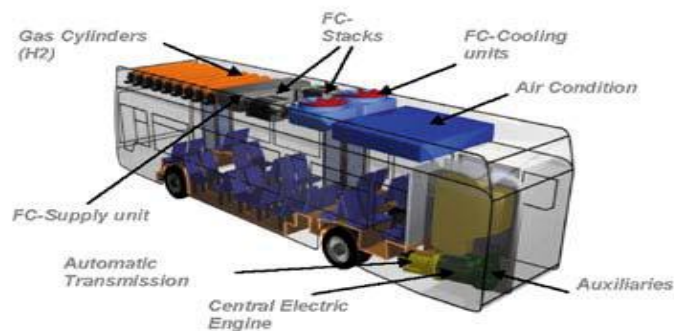
* αυτοκίνητα

* Λεωφορεία

- * πλοία
- * Τραίνα
- * Αεροπλάνα
- * μοτοσυκλέτες
- * Μηχανές πώλησης
- * Ηλεκτρικές σκούπες
- * Οδικά σημάδια αυτοκινητόδρομων
- * Κινητά τηλέφωνα
- * Υπολογιστές laptop
- * Φορητή ηλεκτρονική
- * Νοσοκομεία
- * Κέντρα πιστωτικών καρτών
- * Αστυνομικά τμήματα
- * Τράπεζες
- * Επεξεργασία απόβλητου ύδατος
- * Υλικά οδόστρωσης
- * αεροπορία
- * πεζικό
- * ναυτικό
- * αγροτικά μηχανήματα
- * εργοστάσια
- * αυτοματισμούς
- * τηλεπικοινωνίες

Όλες οι εφαρμογές που αναφέρθηκαν είναι ρυπογόνα προς το περιβάλλον άλλες λίγο και άλλες πολύ. Το πιο έντονο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι σημερινές γενιές είναι το πρόβλημα με την βιόσφαιρα, το κλίμα το περιβάλλον και γενικά

την ποιότητα ζωής, τα προβλήματα είναι πολλά αλλά μπορούν να γίνουν πιο έντονα όπως, έντονες ασθένειες , ακόμα πιο υψηλές θερμοκρασίες , έντονα καιρικά φαινόμενα , αύξηση της στάθμης της θάλασσας , μείωση των αγαθών του ανθρώπου σε ποικιλία (τροφή), Εξαφάνιση και άλλων ειδών ζώων από το ζωικό βασίλειο όπως και τα φυτά (χλωρίδα και πανίδα) ... Σκοπός του ανθρώπου θα πρέπει να είναι η ανάπτυξη καινοτόμων αντιρρυπαντικών τεχνολογιών με στόχο την βελτίωση της ποιότητας της ίδιας του της ζωής. Τα κύτταρα ή κελιά καυσίμων αποτελούν ένα μεγάλο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση επειδή φαίνεται να εξασφαλίζουν παραγωγή ενέργειας με πάρα πολλές εφαρμογές χωρίς την επιβάρυνση του περιβάλλοντος από ρυπογόνες ουσίες.





Τέλος

10) Βιβλιογραφία – Παροχή πληροφοριών (δικτυακές σελίδες)

- 1) Wikipedia
- 2) www.fuelcellstoday.com
- 3) www.electronics.howstuffworks.com
- 4) www.ucsusa.org
- 5) www.fuelcells.com
- 6) www.fuelcellenergy.com
- 7) www.fuelcell-magazine.com
- 8) www.pbs.org
- 9) www.gmpte.com
- 10) www.surrey.ac.uk
- 11) www.ectechinc.co.uk
- 12) www.ipcc.ch
- 13) www.scientific-computing.com
- 14) www.eere.energy.gov
- 15) www.ehponline.com
- 16) www.hitachi.com
- 17) www.honda.com
- 18) www.edugation.lanl.gov
- 19) www.plugpower.com
- 20) www.risee.dk

- 21) www.siliconchip.com.au
- 22) fuel cell technology – reaching towards commercialization By Nigel Sammes (Springer)
- 23) modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles Fundamentals, Theory, and Design by Dr.Ali Emadi , Yimin Gao , Sebastien E.Gay , Mehrdad Ehsani (CRC PRESS LLC)
- 24) fuel cell system explained (second edition) by James Larminie , Andrew Dicks (Wiley)
- 25) fuel cell technology handbook by Gregor Hoogers (CRC PRESS)
- 26) fuel cells transportation
- 27) fuel cells green power by Sharon Thomas (Los Alamos national laboratory)
- 28) the green house effect and climate change (by IPCC website)
- 29) fuel economy sensitivity to vehicle mass for advanced vehicle powertrains.
- 30) Ατμοσφαιρική ρύπανση : επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες από Ιωάννη Γεντεκάκη (Εκδόσεις Τζιόλα)
- 31) D.L. Katz and R.L. Lee, Natural Gas Engineering-Production and Storage, McGraw-Hill, New York, 1990.
- 32) E.C.Subbarao, Solid Electrolytes and their Applications, Plenum Press, New York 1980.
- 33) A new process for coal Gasification, Platinum Metals Reviews.