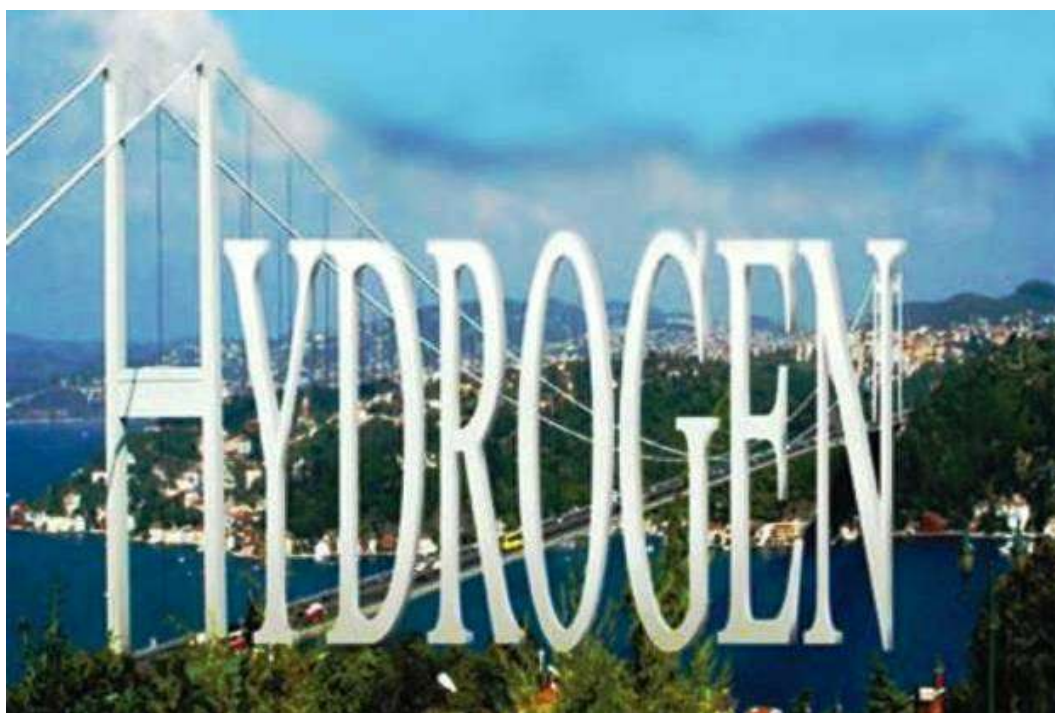


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΑΝΤΑΓΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Ανωτάτου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στη χρήση του Υδρογόνου, ως εναλλακτική-οικολογική πηγή ενέργειας. Η ιδέα της "οικονομίας του υδρογόνου", αντικαθιστά τα συμβατικά-ρυπογόνα καύσιμα με υδρογόνο για θέρμανση, κίνηση και παραγωγή ηλεκτρισμού.

Αρχικά μελετάται το Υδρογόνο ως στοιχείο, ξεκινώντας από την ανακάλυψή του και τις διάφορες χρήσεις του από τότε. Συνεχίζοντας, αναπτύσσονται οι μέθοδοι παραγωγής, αποθήκευσης, μεταφοράς και οι δυνατότητές του σαν μελλοντική πηγή ενέργειας. Αναφέρονται οι Κυψέλες Υδρογόνου, ως το σημαντικότερο μέσο αποθήκευσής του, καθώς και η χρήση του σε μηχανή εσωτερικής καύσης. Η Εργασία ολοκληρώνεται με την παράθεση των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την χρήση του Υδρογόνου, καθώς και με μερικές αναφορές στην χρήση του σε μέσα μεταφοράς.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, την συνάδελφο και σύντροφό μου Ίνγκριντ Τζόγια, καθώς και τον πατέρα μου Κωνσταντίνο Πανταγιά (μηχανικό αυτοκινήτων), για το ενδιαφέρον και την σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν για την εκπόνηση του παρόντος.

Πανταγιάς Ιωάννης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην χρήση του Υδρογόνου ως εναλλακτική πηγή ενέργειας και στις τεχνολογικές του εφαρμογές, οι οποίες ενδέχεται να δώσουν νέες προοπτικές στην αναζήτηση νέων μεθόδων προφύλαξης, του ήδη επιμολυσμένου περιβάλλοντος, από την πολυετή χρήση ρυπογόνων ενεργειακών μέσων.

Το θέμα της Εργασίας αυτής αναπτύσσεται σε εννέα Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μία απαραίτητη ιστορική αναδρομή της ανακάλυψης και χρήσης του Υδρογόνου. Αυτό θα διευκολύνει τον αναγνώστη να μπει στο πνεύμα της εργασίας αυτής και να κατανοήσει την σημερινή, εξέχουσα θέση που καταλαμβάνει στον χώρο της ενέργειας. Επίσης, παρατίθενται οι πολυάριθμοι μέθοδοι παραγωγής του και οι ιδιότητες του ως στοιχείο.

Το δεύτερο Κεφάλαιο περιλαμβάνει τους περισσότερο αποδοτικούς τρόπους παραγωγής του Υδρογόνου, καθώς και την σύγκρισή τους με ανάλογους, για την παραγωγή άλλων τύπων καυσίμου. Συμπεριλαμβάνονται ενδιαφέροντες πίνακες για τον σκοπό αυτό.

Το τρίτο Κεφάλαιο ασχολείται με την αποθήκευση και μεταφορά του Υδρογόνου. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι λόγω των ιδιοτήτων του, χρειάζονται μεγάλη προσοχή αυτές οι ενέργειες, διότι οι κίνδυνοι είναι αυξημένοι σε σχέση με άλλους τύπους αερίων καυσίμων.

Το τέταρτο και ίσως από τα σημαντικότερα των Κεφαλαίων, εξετάζει πλέον το Υδρογόνο ως μελλοντική πηγή ενέργειας, συγκρινόμενο με τα συμβατικά καύσιμα, μα κυρίως με την βενζίνη και πως συμπεριφέρεται αυτό κατά την καύση του (π.χ. σε μηχανή εσωτερικής καύσης). Η μόλυνση του περιβάλλοντος παίζει σημαντικότατο ρόλο στον παράγοντα αυτό, καθώς και η μείωση των αποθεμάτων πετρελαίου. Αναφέρονται φυσικά και τρόποι αξιοποίησής του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι Κυψέλες Καυσίμου-Υδρογόνου, συσκευές που καταναλώνοντας υδρογόνο (ή άλλα καύσιμα), θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικούς ρύπους! Απαριθμούνται οι διάφοροι τύποι Κυψελών, πώς λειτουργούν αυτές, τα χαρακτηριστικά τους, ποια εμπόδια συναντώνται κατά την κατασκευή τους, τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά τους και η χρησιμότητά τους στην αυτοκίνηση κτλ.

Το έκτο Κεφάλαιο αναφέρεται στην Μηχανή Εσωτερικής Καύσης-Υδρογόνου, στον σχεδιασμό και τα συστήματά της. Αναφέρεται στα προβλήματα που συναντώνται κατά την χρήση της, καθώς και στην παράμετρο λειτουργίας τους σε παραγωγή NOx.

Το έβδομο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την χρήση του υδρογόνου και περιορίζονται σε τρία. Το πρώτο έχει να κάνει με την ασφάλεια που παρέχεται κατά την χρήση του, η οποία λόγω των ιδιοτήτων του ως αέριο, είναι περιορισμένη. Το δεύτερο αφορά στην αποθήκευσή του, λόγω της μικρής του ατομικής δομής, που του επιφέρει να διαφεύγει από τα συνήθη δοχεία αερίων στοιχείων. Και τέλος, η απαίτηση μεγάλων οικονομικών πόρων για την κατασκευή συσκευών, που καταναλώνοντάς το, θα παρέχουν την επιθυμητή μορφή ενέργειας.

Στο όγδοο Κεφάλαιο αναφέρονται κάποιες γενικές χρήσεις του Υδρογόνου, όπως στη Βιομηχανία, την Ιατρική και την Διαστημική τεχνολογία. Επίσης παρουσιάζονται και κάποιες πρωτότυπες εφαρμογές και ευρεσιτεχνίες, που αναπτύχθηκαν στον ελλαδικό χώρο.

Το ένατο και τελευταίο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στην χρήση του Υδρογόνου στην αυτοκίνηση, που παρατηρείται και το περισσότερο ενδιαφέρον από μεριάς των επιστημόνων που ασχολούνται με το καύσιμο αυτό. Η χρήση του εδώ έχει ιδιαίτερη σημασία, διότι τα οχήματα παίζουν έναν από τους κύριους παράγοντες στην μόλυνση του περιβάλλοντος. Το υδρογόνο θα βοηθήσει σημαντικά. Αναφέρονται λοιπόν κάποια παραδείγματα της χρήσης του Υδρογόνου σε αυτοκίνητα, από διάφορες αυτοκινητοβιομηχανίες.

Πρέπει να πούμε πως η αναζήτηση και εξέταση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, βρίσκεται σε σημαντικό στάδιο σήμερα. Παρόλο που καθυστέρησε χαρακτηριστικά, λόγω οικονομικών και άλλων συμφερόντων παγκοσμίως. Η περίπτωση του Υδρογόνου είναι αρκετά ενδιαφέρουσα και θα απασχολήσει τους επιστήμονες για αρκετά έτη, έως ότου καταφέρει να εισχωρήσει ενεργά στον τομέα της ενέργειας με διάφορες μορφές. Παρατηρείται αλματώδης πρόοδος παρ' όλα αυτά και με την ανάλογη οικονομική ενίσχυση προβλέπεται, πως το Υδρογόνο θα παίξει κυρίαρχο ρόλο στη μείωση της χρήσης, των επιζήμιων για το περιβάλλον καυσίμων.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

1.1	Ιστορία της ανακάλυψης και χρήσης του υδρογόνου.....	1
1.2	Το υδρογόνο ως στοιχείο.....	2
1.3	Το άτομο H_2	5
1.4	Η παρασκευή του H_2	7
1.5	Η συμβολή του H_2 στην ανάπτυξη της Κβαντικής θεωρίας.....	9
1.6	Φυσικές ιδιότητες του H_2	10
1.7	Χημικές ιδιότητες του H_2	12

2. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

2.1	Τρόποι παραγωγής του υδρογόνου.....	14
2.1.1	Υδρογόνο από φυσικό αέριο.....	15
2.1.2	Υδρογόνο από ηλεκτρόλυση νερού.....	16
2.1.3	Υδρογόνο από άνθρακα ή πετρέλαιο.....	17
2.1.4	Υδρογόνο από διάσπαση νερού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.....	18
2.1.5	Υδρογόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	18

3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

3.1	Αποθήκευση σε δεξαμενή.....	20
3.1.1	Με την μορφή συμπιεσμένου αερίου σε πολύ υψηλές πιέσεις.....	20
3.1.2	Ως κρυογονικό υγρό σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες.....	21
3.2	Αποθήκευση με την μορφή μεταλλικού υδριδίου.....	21
3.3	Αποθήκευση ως αέριο υδρογόνο προσροφημένο από νανοσωλήνες άνθρακα.....	21
3.4	Μεταφορά του H_2	23
3.5	Η επικινδυνότητα κατά αποθήκευση και μεταφορά.....	23

4. ΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ H_2 - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

4.1	Το υδρογόνο σε σχέση με τα άλλα καύσιμα.....	25
4.2	Οι Ιδιότητες καύσης του H_2	28
4.3	Υπολογισμός του αέρα-υδρογόνου για στοιχειομετρική καύση.....	29

5. ΚΥΨΕΛΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

5.1	Οι κυψέλες στην αυτοκίνηση.....	32
5.2	Τύποι κυψελών καυσίμου.....	33
5.3	Περιγραφή της λειτουργίας ενεργειακής κυψέλης.....	34
5.4	Κυψέλες Μembrάνης Ανταλλαγής Πρωτονίων.....	38
5.5	Απόδοση και αυτονομία των κυψελών καυσίμου.....	40
5.6	Κόστος χρήσης.....	41
5.7	Εφαρμογές και πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμων.....	42
5.8	Ανάγκες σε υποδομή για την διάδοσή τους.....	42
5.9	Είδη καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια κυψέλη καυσίμων.....	43

6. ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

6.1	Σχεδιασμός-συστήματα.....	44
6.1.1	Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	44
6.1.2	Σύστημα ανάφλεξης και σπινθηριστές.....	44
6.1.3	Σύστημα ψύξης.....	45
6.1.4	Σύστημα λίπανσης.....	45
6.1.5	Θάλαμος καύσης.....	46
6.2	Τα τεχνολογικά εμπόδια στην χρήση του υδρογόνου σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσης.....	46
6.3	Παράμετροι λειτουργίας των ΜΕΚ υδρογόνου στον σχηματισμό ΝΟx.....	47

7. ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

8. ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

8.1	Το υδρογόνο στη Βιομηχανία.....	50
8.2	Το υδρογόνο στην Ιατρική.....	51
8.3	Το υδρογόνο στη Διαστημική Τεχνολογία.....	52
8.4	Πρωτότυπα οχήματα με κινητήρα υδρογόνου.....	53
8.5	Ευρεσιτεχνίες.....	53
8.6	Σχετικά έργα που χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση.....	55

9. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ

9.1	Αυτοκινητοβιομηχανίες που κάνουν χρήση της τεχνολογίας του Η ₂	56
9.2	Μέσα Μαζικής Μεταφοράς-Υδρογόνου.....	66

1. ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το αέριο υδρογόνο $-H_2-$, πρωτοπαρασκευάστηκε τεχνητά από τον *T. φον Χοχενχάιμ*, με την επίδραση ισχυρών οξέων σε μέταλλα. Δεν γνώριζε όμως ότι το παραγόμενο εύφλεκτο αέριο από μια τέτοια αντίδραση είναι το υδρογόνο, ένα νέο χημικό στοιχείο για την εποχή.

Το 1671, ο *Ρόμπερτ Μπούλ* το επαναανακάλυψε και περιέγραψε την αντίδραση ριניσμάτων σιδήρου και διαλυμάτων οξέων, που κατέληγαν στην παραγωγή αέριου υδρογόνου. Το 1746, ο *Χένρυ Κάβεντις* ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε το παραγόμενο υδρογόνο ως ξεχωριστό χημικό στοιχείο και ονομάζοντάς το «εύφλεκτο αέρα». Αργότερα, το 1781 διαπίστωσε ότι το υδρογόνο παράγει νερό όταν καίγεται. Συχνά σε αυτόν αποδίδεται η ανακάλυψη του υδρογόνου. Το 1783, ο *Αντουάν Λαβουαζιέ* ονόμασε το νέο χημικό στοιχείο «υδρογόνο», για τους λόγους που αναφέρονται στην ετυμολογία της λέξης στην αρχή του κεφαλαίου [1.2], όταν αυτός και ο *Λαπλάς* ξαναανακάλυψαν το εύρημα του *Κάβεντις*, σχηματίζοντας νερό. Το υδρογόνο υγροποιήθηκε για πρώτη φορά από τον *Τζέιμς Ντιούαρ* το 1898 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της **απότομης εκτόνωσης συμπιεσμένου αερίου**. Διατήρησε το υγρό υδρογόνο που παράχθηκε στην ομώνυμη εφεύρεσή του, το **δοχείο Ντιούαρ**. Με την ίδια μέθοδο κατόρθωσε να παρασκευάσει στερεό υδρογόνο τον επόμενο χρόνο. Ο *Φράνκλις Ισαάκ ντε Ριβάζ* κατασκεύασε τον πρώτο **κινητήρα εσωτερικής καύσης** που χρησιμοποιούσε μίγμα υδρογόνου και οξυγόνου το 1806. Ο *Έντουαρντ Ντάνιελ Κλαρκ*, διαπίστωσε ότι το υδρογόνο καίγεται και δημιούργησε τον **σωλήνα ανάφλεξης υδρογόνου** το 1819. Ο *Ντομπερέινερ* εφεύρε τη **λυχνία υδρογόνου** το 1823. Το πρώτο **αερόστατο υδρογόνου** εφευρέθηκε από τον *Ζακ Τσαρλς* το 1783. Το υδρογόνο παρείχε την απαιτούμενη **άνωση** για τα πρώτα αξιόπιστα αεροπορικά ταξίδια μετά από την εφεύρεση. Το 1852, παρουσιάζεται το πρώτο **αερόπλοιο υδρογόνου** από τον *Χενρί Γκιφφάρντ*. Ο Γερμανός *Κόμης Φέρδιναντ φον Ζέππελιν* προώθησε την ιδέα των «σκληρών» αερόπλοιων που ανυψώθηκαν με υδρογόνο και που αργότερα ονομάστηκαν προς τιμήν του **Ζέππελιν**. Το πρώτο τέτοιο αερόπλοιο πέταξε το 1900. Η εφεύρεση αυτή εγκαινίασε τις πρώτες τακτικές αερογραμμές που, από το 1910 που άρχισαν, μέχρι την έναρξη του ΑΠΠ, τον *Αύγουστο* του 1914 είχαν μεταφέρει 35.000 επιβάτες χωρίς κανένα ατύχημα. Κατά τη διάρκεια του πολέμου τα ζέππελιν χρησιμοποιήθηκαν σε αποστολές **αναγνώρισης** και **βομβαρδισμού** και με ανύψωση από πλοία του **ναυτικού**.

Η πρώτη υπερατλαντική πτήση (χωρίς στάσεις) έγινε από το βρετανικό αερόπλοιο R34, το 1919. Οι κανονικές αερογραμμές με αερόπλοια επαναλήφθηκαν τη δεκαετία του 1920, οπότε και η ανακάλυψη του **ηλίου** στις ΗΠΑ ως μη εύφλεκτο υποσχόμενο την αυξημένη ασφάλεια. Αλλά οι ΗΠΑ αρνήθηκαν να πουλήσουν το νέο αέριο για μια τέτοια χρήση. Γι' αυτό συνεχίστηκε η χρήση υδρογόνου στα αερόπλοια, μέχρι το περίφημο δυστύχημα του αερόπλοιου *Hindenburg* πάνω από το New Jersey στις *6 Μαΐου* του 1937. Η ανάφλεξη διαρροής υδρογόνου θεωρήθηκε ευρέως ως η αιτία του, αλλά πιο προσεκτικές έρευνες που έγιναν αργότερα έδειξαν πως η αιτία ήταν η ανάφλεξη του υφάσματος με επικάλυψη **αλουμινίου**, που χρησίμευε σαν

περίβλημα, από **στατικό ηλεκτρισμό**. Το 1977 εφευρέθηκε η πρώτη **μπαταρία νικελίου - υδρογόνου** και χρησιμοποιήθηκε από τον *τεχνητό δορυφόρο NTS-2*. Ακολούθησε η χρήση της μπαταρίας αυτής σε δορυφόρους και διαστημόπλοια: *ISS, Mars Odyssey, Mars Global Surveyor* και στο *διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble*. Τέλος, μίγμα υγρού υδρογόνου και οξυγόνου χρησιμοποιείται ως το συνηθισμένο προωθητικό των τελευταίων ορόφων *πυραύλων, των διαστημοπλοίων και των διαστημικών λεωφορείων*.

Την τελευταία δεκαετία, η ιδέα της "οικονομίας του υδρογόνου" έχει επανέλθει, εξ' αιτίας της κάποιας προόδου που έχει γίνει στην έρευνα για τις κυψέλες καυσίμου και λόγω της μεγάλης αύξησης των τιμών του πετρελαίου. Σχετικά με την παραγωγή του υδρογόνου, προτείνονται μέθοδοι όπως η παραγωγή του, αρχικά, από συμβατικά καύσιμα (κυρίως φυσικό αέριο) και πυρηνική ενέργεια, με τελική κατάληξη στο μέλλον, την παραγωγή του από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

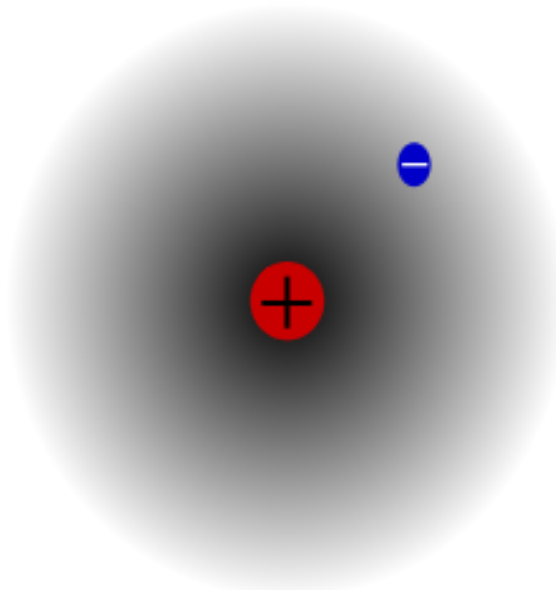
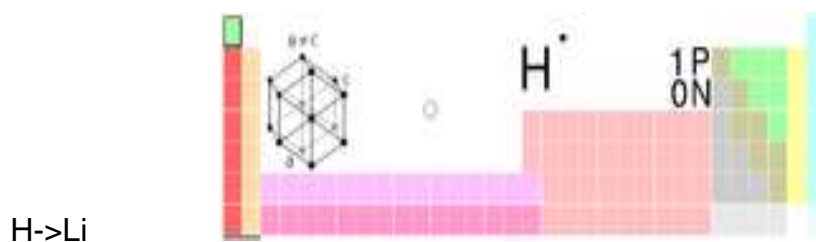
1.2 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Η λέξη υδρογόνο (hydrogen) προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις «**ὔδωρ**» + «**γόνος**», δηλαδή δηλώνει τη βασική χημική ιδιότητά του, να καίγεται σχηματίζοντας ὔδωρ, δηλαδή νερό. Το *χημικό στοιχείο* υδρογόνο (H_2 ή ακριβέστερα διυδρογόνο) στη συνηθισμένη διατομική στοιχειακή του μορφή είναι ένα άχρωμο, άοσμο, άγευστο, εξαιρετικά εύφλεκτο αμέταλλο διατομικό αέριο, με ατομικό αριθμό 1, ατομική μάζα 1,00794(7) amu, χημικό τύπο H_2 , μοριακή μάζα 2,01588(14) amu. Το υδρογόνο είναι το πιο άφθονο χημικό στοιχείο, καθώς και το ελαφρύτερο. Θεωρείται ότι αποτελεί το 75% της μάζας του σύμπαντος. Τα *άστρα της κύριας ακολουθίας* αποτελούνται κυρίως από υδρογόνο σε κατάσταση *πλάσματος*. Ωστόσο, το στοιχειακό υδρογόνο (διυδρογόνο H_2) είναι σχετικά σπάνιο στη Γη και βιομηχανικά παράγεται από *υδρογονάνθρακες*, όπως το *μεθάνιο* και συνήθως καταναλώνεται επιτόπου, δηλαδή κοντά στη μονάδα παραγωγής του, κυρίως στην αναβάθμιση των ορυκτών καυσίμων (π.χ. με *υδροπυρόλυση*), στην παραγωγή *αμμωνίας*, που κυρίως προορίζεται για παραγωγή *αζωτούχων λιπασμάτων* και στην παρασκευή *μαργαρίνης*. Το υδρογόνο επίσης μπορεί εναλλακτικά να παραχθεί και με *ηλεκτρόλυση νερού*, αλλά η μέθοδος αυτή γενικά αποφεύγεται ως σημαντικά λιγότερο οικονομική.

Το άτομο του πιο κοινού φυσικού *ισοτόπου* του υδρογόνου, γνωστό ως πρώτιο (1H), αποτελείται από ένα *πρωτόνιο* και ένα *ηλεκτρόνιο*. Το υδρογόνο σχηματίζει ομοιοπολικές ενώσεις και ιονικές ενώσεις με αρνητικό φορτίο, σχηματίζοντας το *ανιόν υδριδίου* (H^-). Παράγει επίσης επιδιαλυτομένα *κατιόντα*, όπως το *οξώνιο* (H_3O^+). Παίζει σημαντικό ρόλο στην *οξεοβασική χημεία*, που περιλαμβάνει ανταλλαγή πρωτονίων μεταξύ διαλυμένων μορίων. Μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν κάθε άλλο στοιχείο και έτσι μπορεί να δώσει περισσότερες ενώσεις, από ότι μπορεί οποιοδήποτε άλλο στοιχείο. Στις ενώσεις αυτές συγκαταλέγονται: το *νερό*, η *αμμωνία*, τα *οξέα*, τα *υδροξείδια*, διάφοροι υδρογονάνθρακες, όπως το πετρέλαιο και το *φυσικό αέριο* και μεγάλο ποσοστό των υπόλοιπων *οργανικών ενώσεων*. Επίσης, το απλό άτομο του είναι το μόνο ουδέτερο άτομο, για το οποίο η *εξίσωση Σρέντιγκερ* επιλύεται αναλυτικά. Γενικά, η μελέτη της ενεργοποίησης και του σχηματισμού δεσμού από άτομο υδρογόνου, έπαιξε πρωταγωνιστικό ρόλο στην ανάπτυξη της *Κβαντομηχανικής*.

Εξαιτίας της ελαφρότητάς του, το υδρογόνο δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της Γης. Σε καθαρή αέρια μορφή συναντάται σπάνια, κυρίως σε φυσικά αέρια και σε μικρό ποσοστό στα ανώτερα (κυρίως) στρώματα της ατμόσφαιρας. Πολλά ορυκτά και όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί περιέχουν ενώσεις του σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι το υδρογόνο βρίσκεται στην κερατίνη, στα ένζυμα και στα μόρια του *DNA*. Βρίσκεται άφθονο στις τροφές υπό μορφή λιπών, πρωτεϊνών και υδατανθράκων. Όλα τα βαρύτερα στοιχεία, όπως και το ήλιο (He), προκύπτουν από την *πυρηνική σύντηξη* του υδρογόνου. Βάσει αυτής της διαδικασίας πιστεύεται ότι σχηματίστηκε το ίδιο το *Σύμπαν*, ενώ η ίδια διαδικασία είναι επίσης υπεύθυνη για την έκλυση ενέργειας από τα άστρα, όπως γίνεται στον *Ήλιο*. Το υδρογόνο είναι σημαντικό στη μεταλλουργία διότι μπορεί να *διαπηδήσει* σε πολλά μέταλλα, αφού τα μόριά του συχνά είναι μικρότερα από τα διάκενα μεταξύ των μεταλλικών ιόντων στα *μεταλλικά πλέγματα* των μετάλλων αυτών. Αυτό επηρεάζει τη σχεδίαση και την κατασκευή σωλήνων μεταφοράς και αποθήκευσης υδρογόνου. Το υδρογόνο *προσροφάται* πολύ από πολλές *σπάνιες γαίες* και μεταβατικά μέταλλα και μάλιστα από κρυσταλλικά και άμορφα στερεά. Η *προσροφητικότητα* του υδρογόνου στα μέταλλα επηρεάζεται από τοπικές διαταραχές στη δομή τους.

Υδρογόνο → Ήλιο

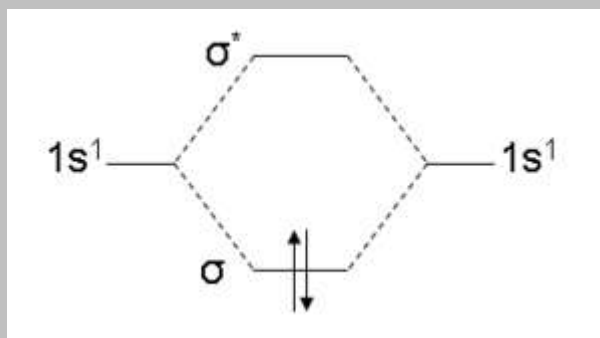


ΓΕΝΙΚΑ

Όνομα, Σύμβολο, Ατομικός αριθμός-> Υδρογόνο, H, 1
Κατάταξη ->Αμέταλλα
Ομάδα, Περίοδος, Τομέας ->1 (I_A), 1, s
Πυκνότητα, Σκληρότητα ->0,08988 kg/m³, ΔΑ
Χρώμα> Άχρωμο

ΑΤΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ατομική μάζα ->1,00794(7) amu
Ατομική ακτίνα (υπολ) ->25 (53,5) pm
Απεικόνιση ηλεκτρονιακής δομής-> H 1s¹
Ηλεκτρόνια ανά ενεργειακή στάθμη ->1
Κρυσταλλική δομή ->εξαγωνική
Σταθεροί αριθμοί οξειδωσης ->0, ±1
Ηλεκτραρνητικότητα ->2,20 (Κλίμακα Pauling)
Δυναμικό ιονισμού H → H⁺ + e⁻ ->1312 kJ/mol
Απεικόνιση ηλεκτρονιακής δομής ->H⁺
Απεικόνιση ηλεκτρονιακής δομής ->H⁻ 1s²
Ομοιοπολική ακτίνα ->31,(5) pm (37 pm μόνο στο H₂)
Απεικόνιση ηλεκτρονιακής δομής ->H₂



Μήκος δεσμού-> H-H 74 pm
Ακτίνα van der Waals->120 pm
Μοριακός όγκος-> 11,42·10⁻⁶ m³/mol

Σταθερότερα ισότοπα

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

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Κατάσταση ύλης->αέριο
Σημείο τήξεως ->-259,14°C (14,02 K)
Θερμότητα τήξεως->0,117 kJ/mol
Σημείο ζέσεως-> -252,87°C (20,29 K)
Θερμότητα εξατμίσεως-> 0,904 kJ/mol
Τριπλό σημείο-> -259,36°C (13,8 K), 7,042 kPa
Κρίσιμο σημείο-> -240,19°C (32,97 K), 1,293 MPa
Ειδική θερμοχωρητικότητα-> 28,836 J/(mole*K)
Τάση ατμών-> 209 Pa στους -250,16°C (23 K)
Ταχύτητα ήχου-> 1310 m/s στους 27°C (300,16 K)
Ηλεκτρική αγωγιμότητα-> 4·10⁻⁴ μS
Θερμική αγωγιμότητα-> 180.5 mW/(m*K) στους 27°C (300,16 K)

1.3 ΤΟ ΑΤΟΜΟ H₂

Το άτομο του υδρογόνου, περιέχει ένα θετικά φορτισμένο πρωτόνιο στο κέντρο και ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται γύρω του. Τα δύο αντίθετα φορτισμένα σωματίδια έλκονται αμοιβαία με δυνάμεις Coulomb. Το άτομο του υδρογόνου έχει ιδιαίτερη σημασία για την κβαντική μηχανική και τη **θεωρία κβαντικού πεδίου**. Το 1914, ο *Νιλς Μπορ* παρατήρησε ότι οι φασματικές συχνότητες του ατόμου του υδρογόνου προκύπτουν με έναν αριθμό απλοποιημένων υποθέσεων. Οι υποθέσεις αυτές είχαν σαν συνέπεια τη διατύπωση του **ατομικού προτύπου** του Bohr, που αν και όχι απολύτως ακριβείς, δίνει σωστές ενεργειακές απαντήσεις. Οι υποθέσεις του Bohr επιβεβαιώθηκαν, σε μεγάλο βαθμό, από την πλήρη κβαντομηχανική ανάλυση που αξιοποιεί την *εξίσωση Schrödinger*, όπως η τελευταία διατυπώθηκε τη διετία 1925 - 1926.

Η λύση της εξίσωσης Schrödinger είναι αναλυτική και από αυτήν προκύπτουν τα ενεργειακά επίπεδα του υδρογόνου και από αυτά οι φασματικές συχνότητές του. Ωστόσο, η εξίσωση Schrödinger προχωρά πολύ περισσότερο από ότι το ατομικό πρότυπο του Bohr, αποδίδοντας το σχήμα της ηλεκτροκυματικής συνάρτησης («τροχιακού») για τις πιθανές κβαντομηχανικές καταστάσεις, εξηγώντας έτσι τον ανισοτροπικό χαρακτήρα των διατομικών δεσμών. Ακόμη, η εξίσωση Schrödinger επεκτείνεται σε πιο πολύπλοκα άτομα, μόρια και σύμπλοκα. Ωστόσο, οι λύσεις που προκύπτουν γι' αυτά τα συστήματα, δεν είναι τόσο απόλυτα ακριβείς και περιλαμβάνουν απαραίτητες απλοποιήσεις ή και προσεγγίσεις. Η εξέλιξη όμως των υπολογιστικών συστημάτων επιτρέπει την ολοένα ακριβέστερη προσέγγιση.

Η λύση της εξίσωσης Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου και σύνοψη των αποτελεσμάτων της είναι:

$$H\psi = E\psi \Leftrightarrow \frac{-\hbar^2}{8\pi^2m} \nabla^2 - \frac{q_e}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} = E\psi$$

Όπου:

H = «τελεστής Hamilton».

ψ = κυματοσυνάρτηση.

E = ενέργεια.

h = σταθερά Planck.

M = μάζα ηλεκτρονίου.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial\psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{\eta\mu^2\theta} \frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2} + \frac{1}{\eta\mu\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} \left(\eta\mu\theta \frac{\partial\psi}{\partial\theta} \right) \right]$$

Όπου:

q_e = ηλεκτρικό φορτίο ηλεκτρονίου.

ε₀ = διηλεκτρική σταθερά κενού.

r = η απόσταση από το πρωτόνιο.

Αποδεικνύεται η λύση της εξίσωσης Schrödinger:

$$\Psi(r,\varphi,\theta) = R(r)\Phi(\varphi)\Theta(\theta),$$

ότι ισούται με γινόμενο μιας ακτινικής και δυο γωνιακών κυματοσυναρτήσεων. Η λύση της εξίσωσης Schrödinger (ένα σύστημα κυματοσυναρτήσεων) για το άτομο υδρογόνου χρησιμοποιεί το γεγονός, ότι το πεδίο Coulomb που παράγεται από το πρωτόνιο του, είναι ισοτροπικό (είναι ακτινωτά συμμετρικό στο χώρο και εξαρτάται μόνο από την απόσταση από το πρωτόνιο). Ωστόσο οι ενεργειακές ιδιοτιμές (τροχιακά) που προκύπτουν, δεν είναι απαραίτητως ισοτροπικές οι ίδιες, από την εξάρτησή τους από τις γωνιακές συντεταγμένες. Προκύπτει συνολικά η γενική ισοτροπία του πεδίου. Οι ιδιοτιμές της Χαμιλτόνιας ενέργειας (οι ενεργειακές καταστάσεις, οι ενεργειακές στάθμες) μπορούν να επιλεγούν ως ταυτόχρονες ιδιοκαταστάσεις ενός τελεστή γωνιακής ορμής. Αυτό αντιστοιχεί στο γεγονός ότι η γωνιακή ορμή συντηρείται από την τροχιακή κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από το πρωτόνιο. Επομένως, οι ενεργειακές ιδιοκαταστάσεις μπορούν να ταξινομηθούν από τους δύο κβαντικούς αριθμούς (= αριθμοί ακέραιων αριθμών) γωνιακής ορμής, l και m . Ο κβαντικός αριθμός «γωνιακής ορμής» $l = 0 \dots 1 \dots 2 \dots$ καθορίζει το μέγεθος της γωνιακής ορμής. Ο «μαγνητικός» κβαντικός αριθμός $m = 0, \pm 1, \dots, \pm l$ καθορίζει την προβολή της γωνιακής ορμής στον (αυθαίρετα επιλεγμένο) άξονα z . Για τη βασική κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου έχουμε το ηλεκτρόνιο τοποθετημένο στο $1s$ τροχιακό, που προκύπτει από την ακόλουθη τετράδα κβαντικών αριθμών:

$$n = 1, l = 0, m = 0, m_s = \frac{1}{2}.$$

Η ακτινική κυματοσυνάρτηση για το $1s$ τροχιακό είναι:

$$R(r) = e^{-\frac{r}{a_0}}$$

όπου: $R(r)$ = ακτινική κυματοσυνάρτηση.
 r = η απόσταση από το πρωτόνιο.

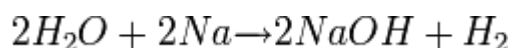
$$a_0 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m q_e^2}$$

Η ακτίνα υδρογόνου κατά Bohr.

1.4 Η ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ H₂

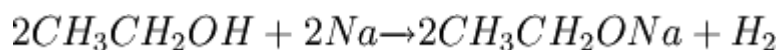
Η μη ύπαρξη καθαρού αέριου υδρογόνου θέτει το πρόβλημα της παρασκευής του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή υδρογόνου είναι πολυάριθμες:

1. Από το **φυσικό αέριο** ή το **φωταέριο**, με κλασματική *διαπήδηση*.
2. Με την επίδραση **νερού** σε **νάτριο** (ή **κάλιο**) «εν ψυχρώ»:



Η αντίδραση είναι έντονα **εξώθερμη**. Αν γίνει χωρίς προσοχή καταλήγει σε **έκρηξη** του παραγόμενου υδρογόνου, λόγω ανάφλεξής του με το ατμοσφαιρικό **οξυγόνο**. Με χρήση καλίου είναι ακόμη πιο βίαιη.

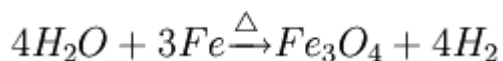
3. Με την επίδραση **αλκοόλης** σε **νάτριο** «εν ψυχρώ»:



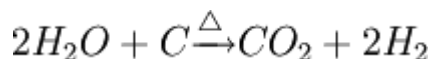
Η αντίδραση είναι έντονα **εξώθερμη**. Αν γίνει χωρίς προσοχή καταλήγει σε **έκρηξη** του παραγόμενου υδρογόνου, λόγω ανάφλεξής του (πιθανόν και της αλκοόλης) με το ατμοσφαιρικό **οξυγόνο**.

Η αντίδραση πραγματοποιείται και με άλλες **αλκοόλες** και με K, οι περισσότερες πιο αργά απ' ότι με το νερό, αλλά με αρωματικές όπως η **φαινόλη**, σε υγρή κατάσταση, ταχύτερα. Με χρήση καλίου η αντίδραση είναι ακόμη πιο βίαιη.

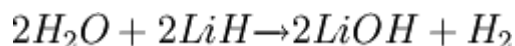
4. Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε *διάπυρο σίδηρο*:



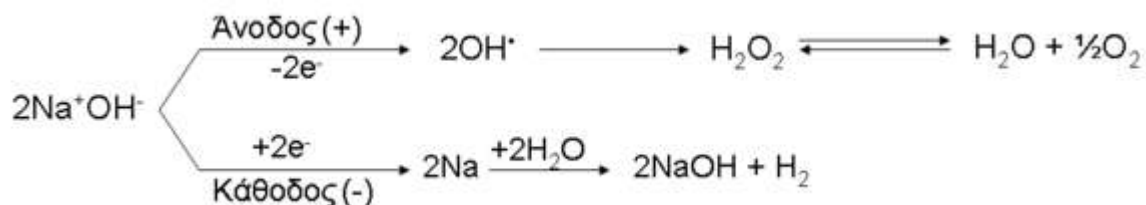
5. Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε *διάπυρο άνθρακα*:



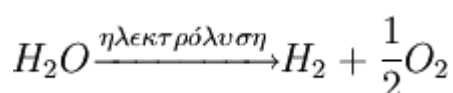
6. Με την επίδραση νερού σε **υδρίδια**, όπως το υδρίδιο του λιθίου:



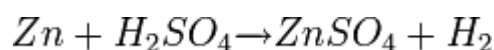
7. Με ηλεκτρόλυση νερού: [Στην πράξη πρόκειται για ηλεκτρόλυση διαλύματος NaOH που αντιστοιχεί έμμεσα σε ηλεκτρόλυση νερού. (Το αποσταγμένο νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού και δεν περιέχει ιόντα για να γίνει ηλεκτρόλυση):



Η συνολική αντίδραση εκφράζεται από την ακόλουθη στοιχειομετρική εξίσωση:

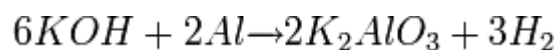


8. Από τα οξέα, με αντικατάσταση του H από μέταλλο:

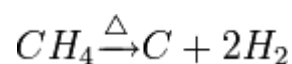


Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν γι' αυτόν το σκοπό μέταλλα λιγότερο ηλεκτροθετικά από το υδρογόνο, όπως π.χ. Cu.

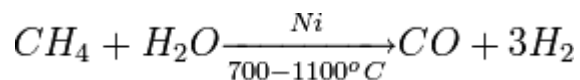
9. Από τις βάσεις με την επίδραση επαμφοτερίζοντων στοιχείων:



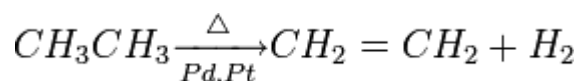
10. Από την πυρόλυση του μεθανίου:



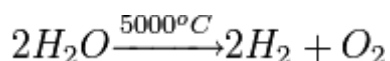
11. Από το μεθάνιο με την επίδραση νερού και παρουσία νικελίου ως καταλύτη (παραγωγή υδραερίου):



12. Με καταλυτική αφυδρογόνωση αιθανίου:



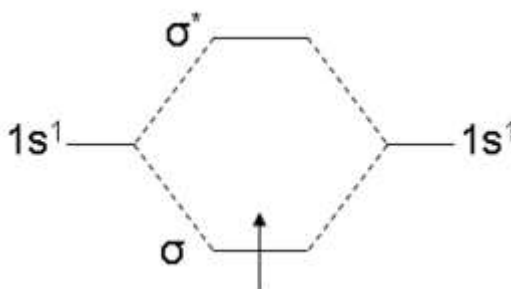
13. Με υδροδιάσπαση στους 5000°C:



Οι μέθοδοι παρασκευής, ενδεικτικά, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες: τις αντιδράσεις απλής αντικατάστασης, τις θερμοχημικές, τις ηλεκτρολυτικές και τις φωτολυτικές. Όλες είναι άμεσα ή έμμεσα ενεργοβόρες αντιδράσεις.

1.5 Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ Η₂ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΚΒΑΝΤΙΚΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Το **άτομο** του υδρογόνου είναι το σχετικά απλούστερο δομικά άτομο στη φύση, αποτελούμενο μόνο από ένα **πρωτόνιο** στο κέντρο και ένα **ηλεκτρόνιο** που περιφέρεται γύρω απ' αυτό, στην **1s ηλεκτρονική στοιβάδα**, όπως αποδείχθηκε αργότερα. Η συμπεριφορά του στα μήκη κύματος του **φάσματος** του φωτός, οδήγησε αρχικά στην ανάπτυξη της **ατομική θεωρίας** και σταδιακά και της **κβαντικής θεωρίας**.



Ηλεκτρονική δομή H₂⁺

Μια από τις πρώτες εφαρμογές της κβαντικής που σημειώθηκε (αν και δεν έγινε αντιληπτό στην εποχή του), ήταν η παρατήρηση του *Μάξγουελ* για το υδρογόνο. Μισό αιώνα πριν από την πλήρη ανάπτυξη της κβαντικής μηχανικής, ο Μάξγουελ παρατήρησε, ότι η **ειδική θερμοχωρητικότητα** του διυδρογόνου (H₂), αναμφίβολα διαφέρει από αυτή **διατομικού αερίου** σε θερμοκρασίες μικρότερες από 20° C. Καθώς πλησιάζουμε στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, μοιάζει ολοένα περισσότερο με αυτή ενός **μονοατομικού μορίου**. Αυτό εξηγείται με την κβαντική θεωρία, που πηγάζει από την κβαντισμένη μεταβολή της ενέργειας περιστροφής των μορίων. Αυτή η μεταβολή είναι λιγότερο φανερή στα βαρύτερα άτομα και μόρια.

1.6 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ H₂

Συγκεκριμένα, στις κανονικές συνθήκες το υδρογόνο έχει πυκνότητα 0,0899 kg/m³, περίπου δέκα φορές μικρότερη από αυτή του αέρα και για αυτό το λόγο, δεν βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στην ατμόσφαιρα, αφού σε συνδυασμό με τη μικρή του μάζα, μπορεί να διαφύγει από τις βαρυτικές δυνάμεις της γης. Με εξαίρεση το ήλιο, το υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού (20,268 K) και πήξεως (14,025 K). Το υδρογόνο σε υγρή φάση είναι άχρωμο σε μικρές ποσότητες, αλλά ανοιχτό μπλε σε δείγματα σε σημαντικό βάθος. Το στερεό υδρογόνο είναι επίσης άχρωμο.

Στη φύση συναντώνται τρία διαφορετικά **ισότοπα**. Το ισότοπο που αποτελεί το 99,98% των ατόμων υδρογόνου, ονομάζεται **πρώτιο** (¹H) και αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Σε ποσοστό 0,02% συναντούμε το **δευτέριο** (ή ²D), το οποίο αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το δευτέριο χρησιμοποιείται σε πλήθος επιστημονικών εφαρμογών. Τέλος, το **τρίτιο** (ή ³T) αποτελείται από ένα πρωτόνιο, δύο νετρόνια και ένα ηλεκτρόνιο και αντιστοιχεί ένα σε 10000 άτομα υδρογόνου.

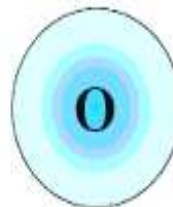
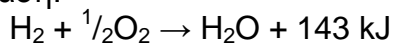
Διαπιστώνεται ότι το μοριακό υδρογόνο χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά χαμηλά σημεία τήξης και ζέσης, γεγονός που αποδίδεται στις πολύ ασθενείς ελκτικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των μορίων του. Η ύπαρξη αυτών των διαμοριακών δυνάμεων, επιβεβαιώνεται επίσης και από την ανύψωση της θερμοκρασίας του αερίου υδρογόνου, όταν αυτό εκτονώνεται (από χαμηλές σε υψηλές πιέσεις) στη συνήθη θερμοκρασία, σε αντίθεση με τα περισσότερα αέρια, η θερμοκρασία των οποίων μειώνεται κάτω από αντίστοιχες συνθήκες.

Φυσικές Ιδιότητες του Υδρογόνου

Ατομικό Υδρογόνο	Πρώτιο	Δευτέριο
Ιδιότητα		
Σύμβολο	H	D
Ατομικός αριθμός	1	1
Ατομικό βάρος	1,008	2,0141
Ενέργεια ιοντισμού (eV)	13,595	13,6
Ηλεκτροσυγγένεια (eV)	0,754	-
Πυρηνικό σπιν	1/2	1
Πυρηνική μαγνητική διπολική ροπή (Πυρηνικά μαγνητόνια)	2,7927	0,8574
Πυρηνική ηλεκτρική τετραπολική ροπή (cm ²)	0	2,77×10 ⁻²⁷
Ηλεκτραρνητικότητα (κατά Pauling)	2,1	~2,1
Σθένος	-1, +1	-1, +1
Ηλεκτρονική δομή	1S ¹	1S ¹
Μοριακό υδρογόνο		
Μήκος χημικού δεσμού (όνγκστρεμ)	0,7416	0,7416
Ενέργεια διάστασης (25°C) (kcal/mol)	104,19	105,97
Ενέργεια ιοντισμού (eV)	15,427	15,457
Ειδικό βάρος (στερεού)	0,08671	0,1967
Σημείο τήξης (°C)	-259,20	-254,43
Ειδικό βάρος (υγρού)	0,07099	0,1630
Λανθάνουσα θερμότητα τήξης (cal/mol)	28	47
Σημείο ζέσης (°C)	-252,77	-249,49
Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης	216	293
Κρίσιμη θερμοκρασία (°C)	-240	-234,8
Κρίσιμη πίεση (atm)	13	16,4
Κρίσιμη πυκνότητα (g/cm ³)	0,0310	0,0668
Θερμότητα καύσης (προς υδρατμούς kcal/mol)	-57,796	-59,564

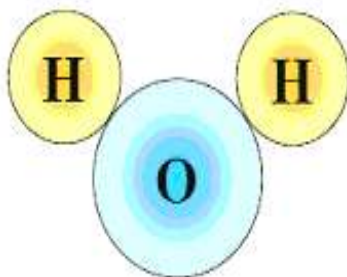
1.7 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ H₂

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



Άτομα Υδρογόνου, από τα οποία αποτελείται το αέριο Υδρογόνο. Το Υδρογόνο είναι χημικό στοιχείο, είναι αέριο και αποτελείται από άτομα Υδρογόνου, που είναι όλα ίδια μεταξύ τους.

Το Οξυγόνο είναι ένα αέριο, που αποτελείται από άτομα οξυγόνου. Είναι ένα χημικό στοιχείο, γιατί τα άτομα που το αποτελούν είναι όλα ίδια μεταξύ τους.



Το νερό είναι μια χημική ένωση, γιατί τα σωματίδια που το αποτελούν είναι σύνθετα. Αποτελούνται από την ένωση δύο ατόμων Υδρογόνου και ενός ατόμου Οξυγόνου. Είναι δηλαδή «λέξεις» που αποτελούνται από τρία «γράμματα». Δύο Η και ένα Ο. (H₂O)
Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε π.χ. 1000 μόρια νερού, θα πρέπει να έχουμε 2000 άτομα υδρογόνου και 1000 άτομα οξυγόνου και να αντιδράσουν μεταξύ τους. Αναλογία πάντοτε 2:1

Τα άτομα υδρογόνου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς μεταξύ τους, αλλά και με τα άλλα στοιχεία, όπως στις ενώσεις του *μεθανίου* (CH_4) και του *νερού*. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι πάντα ισχυροί, σπάνε εύκολα όπως στην περίπτωση των οξέων. Παράδειγμα είναι το *αιθανικό οξύ* (CH_3COOH), ένα αρκετά ασθενές οξύ. Διαλυόμενος σε νερό, ο ασθενής δεσμός του υδρογόνου σπάει, με το υδρογόνο να αφήνει πίσω το ηλεκτρόνιο του και να μετατρέπεται σε ιόν υδρογόνου (H^+).

Το υδρογόνο επίσης σχηματίζει ιοντικούς δεσμούς, όπως για παράδειγμα στο LiH και στα άλλα *υδρίδια* μετάλλων.

Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει το λεγόμενο *δεσμό υδρογόνου* (hydrogen bond). Ο δεσμός αυτός γίνεται μόνο μεταξύ υδρογόνου και ενός ηλεκτραρνητικού στοιχείου, όπως: O, S, N, F ή Cl. Η ενέργεια του δεσμού αυτού είναι μικρή. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αυτού, αποτελεί το νερό, όπου κάθε μόριο του - σε μη υψηλές θερμοκρασίες - συνδέεται με γειτονικά, δημιουργώντας συμπλέγματα πολλών μορίων νερού. Ο δεσμός υδρογόνου, κατά ένα μέρος, οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals, ενώ έχουμε επιπρόσθετη δύναμειν καθαρά χημικού δεσμού.

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

Το υδρογόνο είναι ένα από τα 27 απαραίτητα χημικά στοιχεία για τη ζωή. Μαζί με τον *άνθρακα*, το οξυγόνο και το *άζωτο* αποτελούν, σε ποσοστό, το 96% (κατά βάρος) των ζωντανών *οργανισμών*.

2. Η ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ



Εικόνα 2.1: Τηλεκатуθενόμενο όχημα και «σταθμός ανεφοδιασμού» του που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για απόσπαση του υδρογόνου ως καύσιμό του.

2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Το υδρογόνο, αν και υπάρχει σε πολύ μεγάλες ποσότητες στη φύση, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως καύσιμο, επειδή βρίσκεται ενωμένο ισχυρά με άλλα άτομα (κυρίως οξυγόνου και άνθρακα). Για να αποσπαστεί από τις ενώσεις του, προφανώς απαιτείται δαπάνη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή είναι σημαντική, όπως φαίνεται στον πίν. 2.1

Production of hydrogen

Reaction	ΔH_R° (kcal/g-mole)	ΔG_R° (kcal/g-mole)	$\Delta G_R^\circ / \Delta H_R^\circ$
$H_2O \rightarrow H_2 + 1/2O_2$	+57.8	+54.6	0.94
$CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$	+39.4	+27.1	0.69

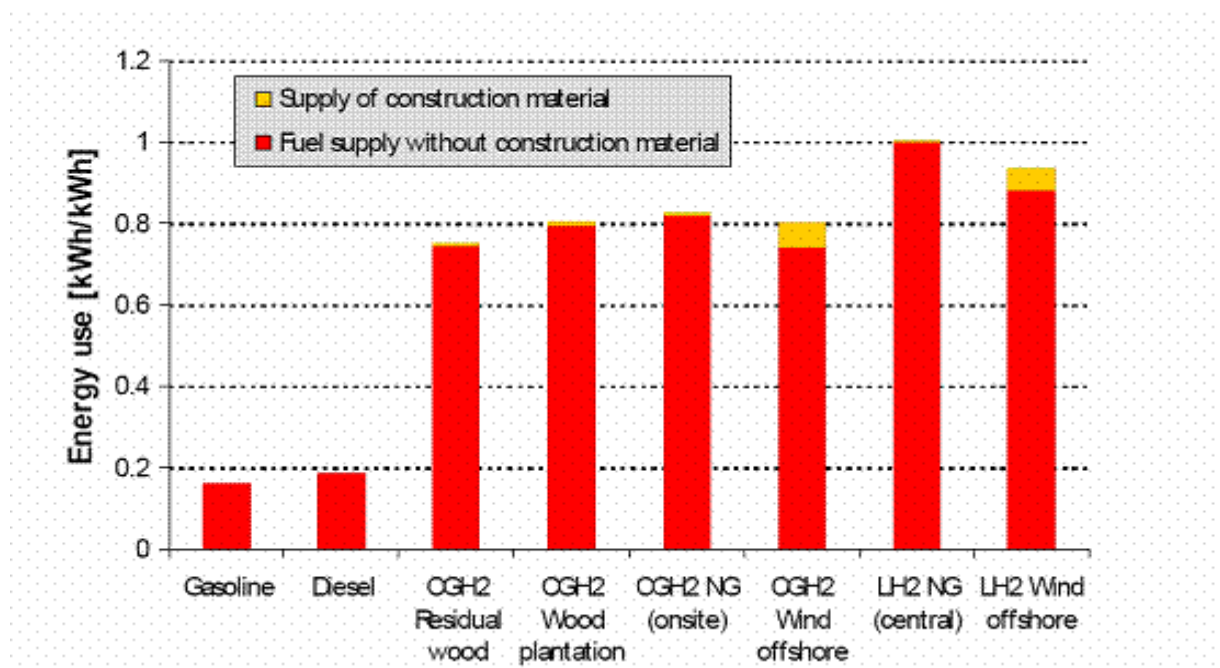
Heat and free energy of reaction at standard conditions (state, ideal gas; T, 298 K; P, 1 atm).

Πίν. 2.1: Θερμότητα, που χρειάζεται για την απόσπαση του υδρογόνου από τις ενώσεις του και αύξηση της ελεύθερης ενέργειας

Οι περισσότερο αποδοτικοί, είναι οι παρακάτω:

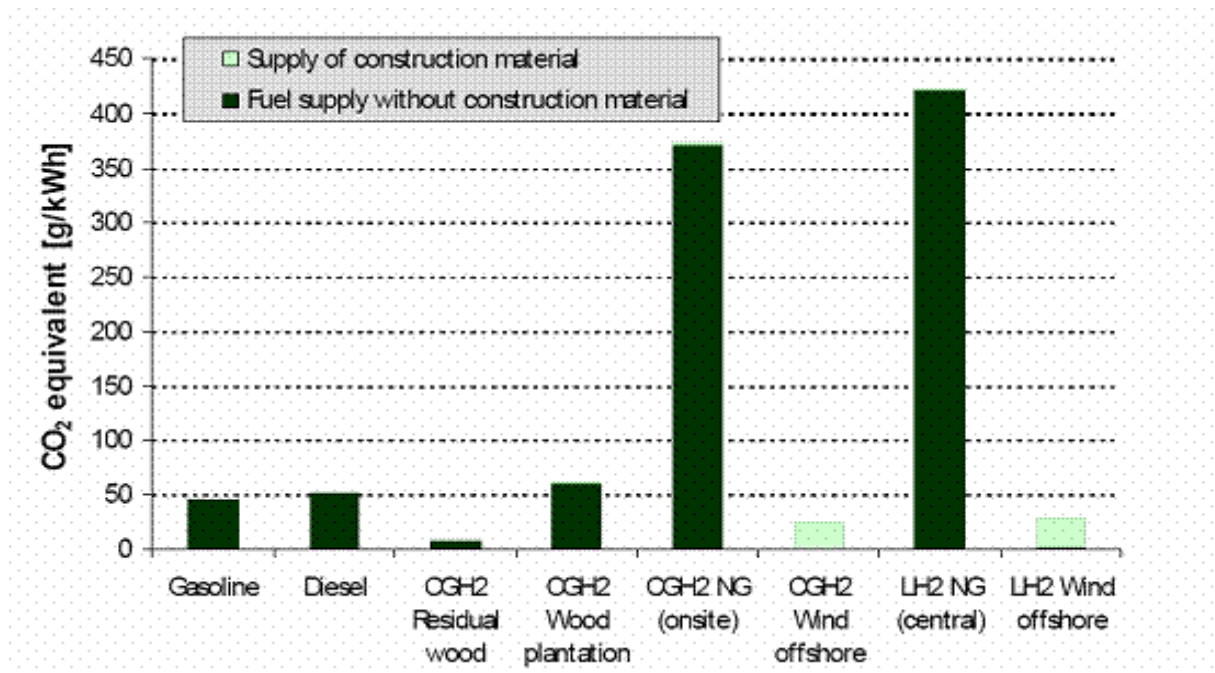
2.1.1 Υδρογόνο από φυσικό αέριο

Είναι η μέθοδος που σήμερα μπορεί να δώσει υδρογόνο με το χαμηλότερο κόστος (εξαρτώμενο όμως από τις τιμές του φυσικού αερίου). Η παραγωγή γίνεται είτε με “αναμορφωτές” (reformers) ατμού, είτε με αυτοθερμαινόμενους αγωγούς και η απόδοση ποικίλλει από 0,8 έως 1 KWh/KWh (πίν. 2.2). Δηλαδή για παραγωγή ποσότητας υδρογόνου που περιέχει ενέργεια μιας KWh, χρειάζεται να δαπανηθεί άλλη μία (κυρίως σε θερμότητα).



Πίν. 2.2: Συγκριτικό κόστος ενέργειας για την παραγωγή διαφόρων τύπων καυσίμου (LH2: liquid hydrogen, CGH2: compressed gaseous hydrogen, NG: natural gas)

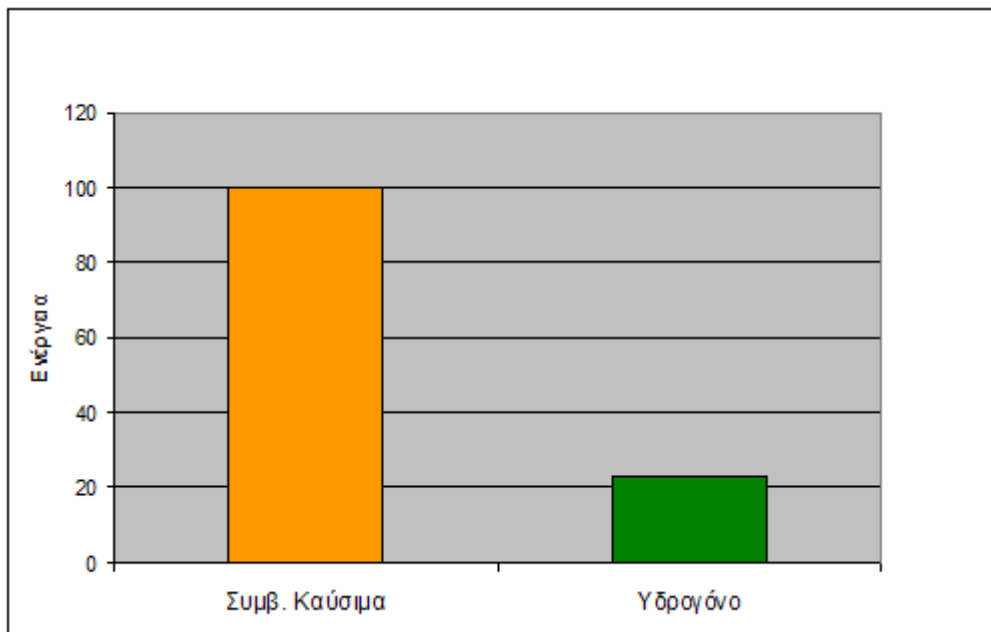
Τα αέρια θερμοκηπίου που παράγονται κατά την παρασκευή του υδρογόνου με την μέθοδο αυτή, κυμαίνονται από 90 g/MJ έως 150 g/MJ, ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής της θερμότητας και τον τύπο της μονάδας παραγωγής (πίν 2.3).



Πίν. 2.3: Συγκριτική εκπομπή αερίων θερμοκηπίου κατά την παραγωγή διαφόρων τύπων καυσίμου (LH2: liquid hydrogen, CGH2: compressed gaseous hydrogen, NG: natural gas)

2.1.2 Υδρογόνο από ηλεκτρόλυση νερού

Η μέθοδος αυτή είναι η παλαιότερη και με πολύ καλή απόδοση (55% σήμερα με προοπτική να φτάσει το 70% [2]). Ωστόσο, χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα, άρα το κόστος του υδρογόνου καθορίζεται από το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος. Η τελική απόδοση, όταν το ρεύμα προέρχεται από σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, μπορεί να φθάσει, στην καλύτερη περίπτωση, έως 33% [7] με αντίστοιχα μεγάλη παραγωγή αερίων θερμοκηπίου. Δηλαδή, από 100 μονάδες ενέργειας συμβατικού καυσίμου, θα πάρουμε $100 \times 0.7 \times 0.33 = 23,1$ μονάδες ενέργειας υδρογόνου (πίν. 2.4).



Πίν. 2.4: Συγκριτική απόδοση 100 μονάδων ενέργειας συμβατικού καυσίμου κατά την μετατροπή του σε υδρογόνο.

Έτσι, για μαζική παραγωγή υδρογόνου, ακόμη και σε χώρες με φθινό ηλεκτρικό ρεύμα όπως η Νορβηγία, η ηλεκτρόλυση έχει αντικατασταθεί από την προηγούμενη μέθοδο, που αν και δεν έχει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, παράγει μεγάλες ποσότητες με χαμηλότερο κόστος.

Εκεί όμως που η ηλεκτρόλυση είναι κυρίαρχη μέθοδος, είναι στην παραγωγή υδρογόνου από αιολική και ηλιακή ενέργεια. Διάφορες βελτιώσεις της μεθόδου την τελευταία δεκαετία, έχουν επιτρέψει την αρκετά αποδοτική παραγωγή υδρογόνου με κυμαινόμενη ισχύ ηλεκτρικού ρεύματος. Ωστόσο, το κόστος παραγωγής υδρογόνου με τον τρόπο αυτό παραμένει ακόμη πολύ υψηλό.

2.1.3 Υδρογόνο από άνθρακα ή πετρέλαιο

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην αεριοποίηση του άνθρακα ή των υδρογονανθράκων σε θερμοκρασίες 1300 – 1400°C και πιέσεις 10 – 100 bar. Από το αέριο που παράγεται, διαχωρίζεται το H₂S/CO₂ και από αυτό, μετά διάφορα στάδια διαχωρισμού, παράγεται το υδρογόνο. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί μόνο για παραγωγή μεγάλης κλίμακας, όπου η ενεργειακή της απόδοση μπορεί να φτάσει έως το 50%. Οι ποσότητες αέριων θερμοκηπίου όμως είναι πολύ υψηλές (252 g/MJ), γι' αυτό, έχει προταθεί για τις μεθόδους αυτές διαχωρισμός και κατακράτηση του CO₂. Η διαδικασία αυτή, γνωστή με την ονομασία "CO₂ sequestration", συζητείται αρκετά τα τελευταία χρόνια (για χρήση της σε μεθόδους παραγωγής ενέργειας από καύση), αλλά αντιμετωπίζει πολλά τεχνικά προβλήματα και έχει μεγάλο κόστος.

2.1.4 Υδρογόνο από διάσπαση νερού σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες

Η μέθοδος αυτή απαιτεί θερμοκρασίες 2000⁰ K, όπου υπάρχει πρόβλημα υλικών και φαίνεται ότι θα είναι οικονομικά ασύμφορη. Παρόμοιες μέθοδοι, που συνδυάζουν χημικές αντιδράσεις με θειικό οξύ και ηλεκτρόλυση, χρειάζονται θερμοκρασίες των 1000-1200⁰ K και φαίνονται τεχνικά εφικτότερες. Το κόστος τους όμως εξαρτάται από τις τιμές της ενέργειας υψηλών θερμοκρασιών που θα χρησιμοποιηθεί (π.χ. πυρηνικής ενέργειας).

2.1.5 Υδρογόνο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Είναι η μέθοδος που είναι η περισσότερο ελπιδοφόρα, τουλάχιστον σε ότι αφορά την ρύπανση του περιβάλλοντος και την διάρκεια των πηγών. Μπορεί να διακριθεί στους παρακάτω τρόπους παραγωγής:

1. Παραγωγή υδρογόνου από ηλιακή ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης

Έχει το πλεονέκτημα της μηδενικής ρύπανσης και της παραγωγής υδρογόνου χωρίς άλλο ενεργειακό κόστος. Επιπλέον, η απόδοση δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της ηλιακής ενέργειας και η παραγωγή είναι συσσωρευτική. Όμως το κόστος των φωτοβολταϊκών και των υπόλοιπων διατάξεων είναι πολύ υψηλό ακόμη και οι αποδόσεις είναι μικρές. Ένας πρόχειρος υπολογισμός μπορεί να δείξει ότι για την παραγωγή υδρογόνου, αντίστοιχου με την κατανάλωση ενέργειας μόνο για τις μεταφορές της Ελλάδας το 2000 (7,37X10⁹ lt πετρελαίου) [8], θα χρειαζόταν 400 Km² φωτοβολταϊκά, δηλαδή μια περιοχή πλάτους 1Km από την Κατερίνη ως την Αθήνα. Επομένως, πρέπει να περιμένουμε μικρή ποσοστιαία συμμετοχή της μεθόδου αυτής στην παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου.

2. Παραγωγή υδρογόνου από αιολική ενέργεια μέσω ηλεκτρόλυσης

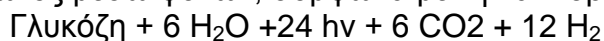
Η μέθοδος αυτή έχει αντίστοιχα πλεονεκτήματα με την προηγούμενη, με επιπρόσθετο την σχετικά μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Όμως, θα πρέπει να αναλογιστούμε αν συμφέρει περισσότερο, η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε υδρογόνο (με το επιπλέον κόστος μετατροπής, συμπίεσης και μεταφοράς του) ή η άμεση διάθεσή της στους καταναλωτές.

3. Υδρογόνο από βιομάζα

Μπορεί να παραχθεί είτε με αεριοποίηση της βιομάζας, είτε με 'αναμόρφωση' (reforming) ατμού του βιοαερίου, το οποίο παράγεται από αναερόβια κατεργασία της βιομάζας. Και οι δύο μέθοδοι για να είναι αποδοτικές, πρέπει να γίνονται σε μεγάλη κλίμακα, αλλά η βιομάζα σπάνια μπορεί να συγκεντρωθεί σε μεγάλες ποσότητες και δεν συμφέρει η μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις. Προβλέπεται, ότι θα μπορεί να γίνεται μεσαίας κλίμακας παραγωγή υδρογόνου από τέτοιους σταθμούς, με τα αέρια του θερμοκηπίου να κυμαίνονται ανάμεσα στα 7 και 25 g/MJ.

4. Βιολογική παραγωγή υδρογόνου

Το υδρογόνο παράγεται από την μετατροπή διαλύματος γλυκόζης με την ενέργεια του φωτός μέσω φυκών, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η γλυκόζη, προβλέπεται να παράγεται από απόβλητα. Η μέθοδος αυτή, βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της βασικής έρευνας.

5. Παραγωγή υδρογόνου με φωτο-ηλεκτροχημικές μεθόδους

Είναι μέθοδος αντίστοιχη των φωτοβολταϊκών, δηλαδή παράγεται άμεσα υδρογόνο, από διάσπαση του νερού με την ενέργεια του φωτός. Δυστυχώς όμως, το υδρογόνο παράγεται αναμεμιγμένο με το οξυγόνο, με όλα τα προβλήματα που προκαλεί η ανάμιξη αυτή. Επιπλέον, τα υλικά μετατροπής έχουν πολύ υψηλό κόστος, μικρή διάρκεια ζωής και μικρή απόδοση. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της βασικής έρευνας.

3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

3.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Κατά την αποθήκευσή του το υδρογόνο, ως συμπιεστό ρευστό, καταλαμβάνει πολύ μεγάλο όγκο, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής πυκνότητάς του.

1kg υδρογόνου σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας(20 atm,1 atm) καταλαμβάνει όγκο 11 m³.

Επομένως πρέπει να αυξηθεί με κάποιο τρόπο η πυκνότητά του, ώστε, π.χ. η δεξαμενή καυσίμου σε όχημα, να καταλαμβάνει λογικές διαστάσεις, όπως τα συμβατικά καύσιμα. Επιστήμονες έχουν ερευνήσει μια γκάμα από συνθέσεις υλικών, όπως το νικέλιο, το άζωτο, ο άνθρακας και το οξυγόνο, τα οποία μαζί δημιουργούν μια κρυσταλλική δομή. Μέσα σε αυτό το πλέγμα υπάρχουν μικροσκοπικά κενά, εκατομμυριοστά του χιλιοστού σε μέγεθος, όπου το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί. Επιπλέον, οι πόροι αυτοί προστατεύονται από «παράθυρα», τα οποία κλείνουν αμέσως μόλις το υδρογόνο έχει μπει μέσα τους.



Εικόνα: 3.1

Οι τρόποι που μπορεί το υδρογόνο να αποθηκευτεί στη δεξαμενή της εικόνας του παραπάνω οχήματος είναι:

3.1.1 Με την μορφή συμπιεσμένου αερίου σε πολύ υψηλές πιέσεις

Παρόντικά, αυτή είναι η μορφή αποθήκευσής του. Σε φιάλες αερίου οι πιέσεις μπορεί να διαφέρουν από 345bar(5000psi) έως και 690bar(10000psi). Η αναγκαιότητα συμπίεσης του υδρογόνου προϋποθέτει την κατανάλωση σημαντικών ποσών ενέργειας. Αυτό μειώνει την συνολική απόδοση του συστήματος αποθήκευσης και αυξάνει το κόστος λειτουργίας και διαχείρισης. Οι φιάλες που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένες από κράματα αλουμινίου, ενισχυμένες με συνθετικά υλικά. Βέβαια η αεροδιαστημική βιομηχανία παρέχει την τεχνολογία για την κατασκευή κυλίνδρων, από ειδικά κράματα αλουμινίου ενισχυμένα με άνθρακα, ικανά να αποθηκεύσουν υδρογόνο σε πιέσεις μέχρι και 700bar. Βέβαια αυτού του είδους οι φιάλες είναι ακόμη πολύ ακριβές για την εμπορική τους χρήση σε προϊόντα αυτοκίνησης.

3.1.2 Ως κρυογονικό υγρό σε εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες

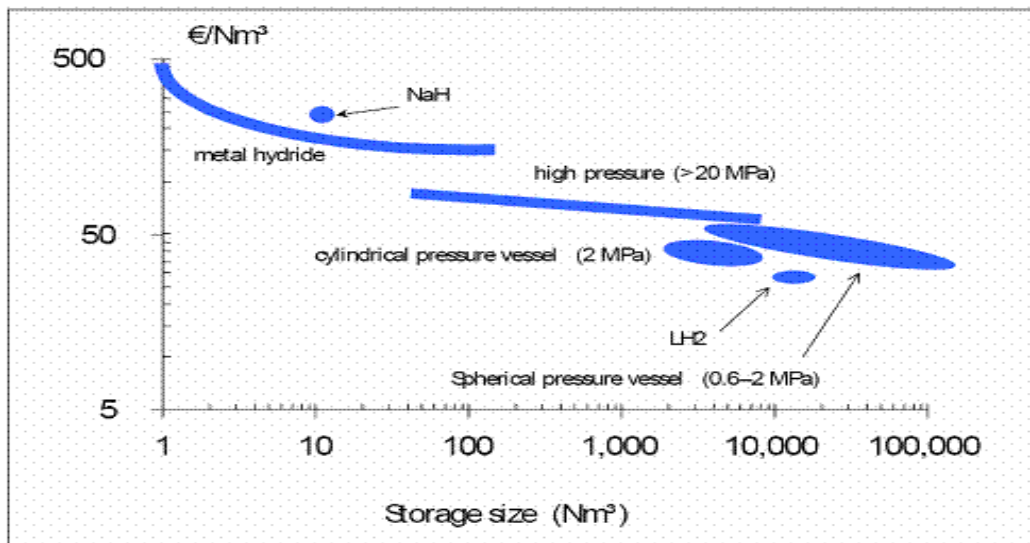
Για βελτιστοποίηση του βάρους των ρεζερβουάρ και της αυτονομίας του οχήματος, είναι η πλέον αποδεκτή λύση(σε θερμοκρασία 20 K).Το ειδικό βάρος της δεξαμενής είναι περίπου 7kg ανά 1kg υδρογόνου και ο ειδικός όγκος της είναι 36lt ανά kg υδροποιημένου υδρογόνου. Επομένως με την μέθοδο αυτή αυξάνεται 7 φορές το ειδικό περιεχόμενο ενέργειας του, σε σχέση με το περιεχόμενο ενέργειας του υδρογόνου αποθηκευμένου σε πίεση 700bar.Η διαδικασία υδροποίησης του υδρογόνου όμως, απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας(40% της ενέργειας του που αποθηκεύεται) καθώς και η ατμοποίησης του(2% ανά ημέρα) απαιτεί την τελειότερη θερμική μόνωση της δεξαμενής, καθώς και την αποθήκευση του καυσίμου για μακρές χρονικές περιόδους.

3.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΥΔΡΙΔΙΟΥ

Το αέριο υδρογόνο σχηματίζει χημικές ενώσεις με συγκεκριμένα μέταλλα, ή μεταλλικά κράματα. Μεγάλος αριθμός μετάλλων και μεταλλικών κραμάτων ενώνονται με το υδρογόνο και σχηματίζουν υδρίδια μετάλλων. Κατά την διαδικασία αυτή, αέριο υδρογόνο μεγάλων ποσοτήτων έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του μετάλλου(ή μεταλλικού κράματος),παρουσία καταλύτη. Τα άτομα του υδρογόνου διαχέονται στο εσωτερικό του μετάλλου, εισχωρούν στο μεταλλικό κρυσταλλικό πλέγμα και καταλαμβάνουν θέσεις ανάμεσα στα μεταλλικά άτομα. Αυτή είναι μια εξώθερμη αντίδραση και αναστρέψιμη. Πιο αναλυτικά, απαιτείται θερμική ενέργεια για την αποδέσμευση των ατόμων υδρογόνου από το μεταλλικό πλέγμα. Αυτή παρέχεται από την θερμότητα των καυσαερίων του κινητήρα υδρογόνου, που σε κάποιες περιπτώσεις ανεβάζουν την θερμοκρασία των υδριδίων στους 600K. Αυτό το μέσο αποθήκευσης υδρογόνου, ήδη από το 1960, προκάλεσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων, καθώς παρέχουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά (μετατροπή των δομικών τους λίθων σε διαστάσεις νανομέτρου).

3.3 ΩΣ ΑΕΡΙΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΠΡΟΣΡΟΦΗΜΕΝΟ ΑΠΟ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ (carbon nanotubes ή CNTs)

Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε εμβρυικό στάδιο, καθώς δεν έχει γίνει επαρκές πείραμα. Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ομόκεντροι κύλινδροι γραφίτη, νανοκρυσταλλικής δομής και διαμέτρου 1-2μm, σχηματισμένοι από μοριακής κλίμακας φύλλα γραφίτη, κλειστοί στο ένα άκρο τους με 5μελείς δακτυλίους. Αυτοί ανακαλύφθηκαν το 1991 από τον Ιάπωνα Sumio Iijima. Οι νανοσωλήνες μπορεί να είναι πολυφλοιϊκοί, με ένα κεντρικό σωλήνα να περιβάλλεται από ένα ή περισσότερα στρώματα γραφίτη ή μονοφλοιϊκοί, όπου υπάρχει μόνο ένας σωλήνας και καθόλου επιπλέον στρώματα γραφίτη. Όταν νανοσωλήνες ομαδοποιούνται, έχουμε τις λεγόμενες *συστοιχίες νανοσωλήνων*.



Πίν. 3.2: Κόστος και χωρητικότητα των διαφόρων μεθόδων αποθήκευσης υδρογόνου.

storage type	technical data			parameters	goals
	kWh/l	kWh/kg	%-wt		
Compressed storage	0.6	1.8	5.4	p=35 MPa	p=70 MPa
	1.0	1.8	5.4	p=70 MPa	weight reduction
liquid storage	1.5	3.5	10.5	T=20 K; 5 days dormancy	reduce boil off/ longer dormancy, flexible geometry
metal hydride (Ti, V alloys)	1.1	0.4	1.2	T<80 °C, p<3 MPa	Niche applications in transport only
nanostructured metal hydride	1.0	1.1	3.4	T>150 °C	fast dynamics
alanates	1.0	1.1	3.4	T~150 °C	stability, low T, higher storage density
boron hydride	1.0	1.2	3.7	-	-
activated carbon	1.0	1.4	4.2	T~80 K, p=4 MPa	improved materials, higher storage density

Πίν. 3.3: Δεδομένα για διάφορα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου

3.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ H₂

Η μεταφορά του υδρογόνου μπορεί να γίνει σε μεγάλες αποστάσεις με δίκτυο αγωγών. Το κόστος μεταφοράς υπολογίζεται να είναι 1,5 φορά υψηλότερο αυτού για το φυσικό αέριο, επειδή για την ίδια μεταφορά ενέργειας το υδρογόνο χρειάζεται να συμπιεστεί 3,5 φορές περισσότερο. Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει, είναι ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα υπάρχοντα δίκτυα του φυσικού αερίου δεν καλύπτουν τις προδιαγραφές για μεταφορά υδρογόνου, άρα θα πρέπει να κατασκευαστούν καινούρια. Οι μεταφορές σε μικρότερες αποστάσεις και υπερπόντια, προβλέπεται να γίνονται με φορτηγά, τρένα ή τάνκερ, με το υδρογόνο σε υψηλή συμπίεση ή σε υγρή μορφή, αλλά με υψηλό κόστος και αυξημένο κίνδυνο.

3.5 Η ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Το υδρογόνο δεν είναι δηλητηριώδες και από μόνο του δεν είναι εκρηκτικό. Για να εκραγεί, πρέπει να αναμιχθεί με οξυγόνο. Επειδή είναι πολύ ελαφρύτερο του αέρα, σε περίπτωση διαρροής του σε ανοικτό χώρο, διαχέεται εύκολα, χωρίς σοβαρό κίνδυνο εκρήξεως. Παρ' όλα αυτά όμως, αναφλέγεται πολύ ευκολότερα από όλα τα αέρια και υγρά καύσιμα (πιν.3).

Gas	Lower limit	Upper limit	Minimum ignition energy (MJ)
Hydrogen	2.0	75.0	0.03
Methane	5.0	15.0	0.29
Propane	2.1	9.5	0.15

Πίν. 3.4: Όρια εκρηκτικότητας (%) στον αέρα και ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης υδρογόνου, μεθανίου και προπανίου.

Γενικά, οι κίνδυνοι θα είναι αυξημένοι συγκριτικά με αυτούς των αερίων καυσίμων, λόγω της μεγαλύτερης πίεσης αποθήκευσης του υδρογόνου. Ειδικά, για την εφαρμογή του υδρογόνου στα αυτοκίνητα, οι κίνδυνοι αυξάνονται περισσότερο, λόγω της μεγαλύτερης πιθανότητας εμπλοκής του αυτοκινήτου σε ατύχημα, σε σύγκριση με μια στατική διάταξη υδρογόνου. Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα αερισμού και ασφάλειας των υπογείων και κλειστών χώρων στάθμευσης, όπως και για τους χώρους επισκευής και ανεφοδιασμού των αυτοκινήτων. Ένας ακόμη σοβαρός κίνδυνος που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη, είναι η πιθανή χρησιμοποίηση του αυτοκινήτου υδρογόνου από επίδοξους τρομοκράτες. Με πολύ απλή επέμβαση, το αυτοκίνητο υδρογόνου θα μπορούσε να μετατραπεί σε μια μη ανιχνεύσιμη ισχυρότατη βόμβα.

4. ΤΟ ΚΑΥΣΙΜΟ Η₂ ΩΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εκτός των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, η αλόγιστη καύση των ορυκτών καυσίμων μας φέρνει αντιμέτωπους με μία πιθανή εξάντληση των αποθεμάτων τους. Αυτό που είναι σίγουρο, είναι ότι η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια, καθώς και η τιμή του «μαύρου χρυσού», θα αυξάνεται σε ανησυχητικό σημείο τα επόμενα χρόνια. Η στροφή της τεχνολογίας, για την ανεύρεση και εκμετάλλευση άλλων πηγών ενέργειας, έχει ήδη αρχίσει.

Στην τελευταία διάσκεψη για την προστασία του περιβάλλοντος, που έγινε στο Κίото της Ιαπωνίας, τα κράτη μέλη δεσμεύτηκαν να εξαντλήσουν τα περιθώρια για την ευρύτερη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυριότερες των οποίων είναι η ηλιακή, η αιολική, και η γεωθερμική. Προς την κατεύθυνση αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων, μία πηγή ενέργειας που έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος είναι το υδρογόνο.

Χωρίς αμφιβολία, το μεγαλύτερο ποσοστό στη μόλυνση του περιβάλλοντος κατέχει η καύση ορυκτών καυσίμων(βενζίνη, ντίζελ, μεθάνιο), ενώ παράλληλα, το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας περιέχεται σε αυτές τις πηγές, που σε μερικές δεκαετίες θα έχουν εξαντληθεί. Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη η αντικατάστασή τους, με κάποια πηγή που δεν θα μολύνει το περιβάλλον και αφετέρου θα μπορεί να παράγει αρκετή ποσότητα ενέργειας.

Η λύση βρέθηκε στο υδρογόνο, το οποίο θεωρείται ως το ιδανικό καύσιμο, διότι έχει:

1. υψηλή θερμαντική αξία,
2. το προϊόν της καύσης του είναι ενέργεια και καθαρό νερό, καθώς δημιουργείται καύση με το οξυγόνο του αέρα(επομένως δεν θα υπάρξει έλλειψη αποθεμάτων του),
3. μπορεί να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές απώλειες.

Σήμερα το υδρογόνο παράγεται κυρίως από φυσικό αέριο με την επίδραση υδρατμών, αλλά η πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος είναι η παραγωγή του από ηλεκτρόλυση του νερού.

Παρόλα αυτά, το υδρογόνο δεν είναι πρωτογενής πηγή ενέργειας. Είναι ένα καύσιμο που δε ρυπαίνει μεν το περιβάλλον, αλλά προς το παρόν λαμβάνεται κυρίως από υδρογονάνθρακες και νερό με χρήση άλλων ενεργειακών πηγών, είτε συμβατικών είτε ανανεώσιμων. Έτσι όμως, μπορεί να θεωρηθεί ως ενεργειακός φορέας ή μέσο αποθήκευσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. αποθήκευση αιολικής, ηλιακής, υδροηλεκτρικής κ.λπ. ενέργειας) και σαν τέτοιος φορέας να χρησιμοποιηθεί σε: καταλυτικούς καυστήρες και λέβητες αερίου (για θέρμανση, παραγωγή ατμού),σε μηχανές εσωτερικής καύσεως (για παραγωγή ηλεκτρισμού, κίνηση αυτοκινήτου),σε αεροστρόβιλους (για παραγωγή ηλεκτρισμού, κίνηση αεροπλάνων), και σε ένα τύπο μπαταρίας επονομαζόμενη *στοιχείο ή κυψελίδα καυσίμου* (fuel cells), μια από τις σημαντικότερες ενεργειακές πηγές του μέλλοντος για παραγωγή ηλεκτρισμού, κίνηση αυτοκινήτων, πλοίων κλπ.

4.1 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΛΛΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Συγκεκριμένα, η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο γίνεται είτε:

1. άμεσα σε μηχανές εσωτερικής καύσης,
2. έμμεσα με την εφαρμογή συστημάτων κυψέλων-καυσίμου

Η βενζίνη και άλλα φυσικά καύσιμα είναι μια μεγάλη πηγή ενέργειας. Είναι πολύ συμπαγής και είναι διαθέσιμη, αν και σε περιορισμένη ποσότητα, από τη γη. Όμως η βενζίνη, όπως και όλα τα πετρελαιοειδή καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το προπάνιο, είναι φυσικά καύσιμα που παράγονται από μικρά ζώα που πέθαναν χιλιάδες χρόνια πριν και έχουν θαφτεί κάτω στο έδαφος. Αυτό είναι ένα πρόβλημα για δυο λόγους: πρώτον, υπάρχει μια περιορισμένη ποσότητα πετρελαίου στη γη και στο βαθμό που το χρησιμοποιούμε σήμερα, θα εξαντληθεί μέχρι το τέλος του επόμενου αιώνα, ίσως και πολύ νωρίτερα. Το άλλο πρόβλημα είναι ο άνθρακας. Όταν καίγεται ένα φυσικό καύσιμο, απελευθερώνει άνθρακα μαζί με άλλα στοιχεία, που μολύνουν την ατμόσφαιρα. Αυτή είναι και μια αιτία νέφους στις πόλεις και είναι ανθυγιεινό, τόσο για τους ανθρώπους, όσο και για το περιβάλλον γενικότερα. Οι περισσότεροι επιστήμονες επίσης, πιστεύουν ότι η καύση των φυσικών καυσίμων παράγει παγκόσμια άνοδο της θερμοκρασίας.

Οι ρύποι που παράγουν τα σημερινά αυτοκίνητα, είναι δύο κατηγοριών:

1. Οι τοπικοί ρύποι που είναι δηλητηριώδεις και δημιουργούν άμεσο πρόβλημα στο περιβάλλον των περιοχών που εμφανίζονται (μονοξειδίο του άνθρακα, διοξειδίο του θείου, οξειδία του αζώτου, βενζόλιο κ.α.)
2. Οι ρύποι που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως το διοξειδίο του άνθρακα.

Τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες θα συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των κατηγοριών των ρύπων. Αν το καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο, τότε το μόνο παράγωγο της λειτουργίας της ενεργειακής κυψέλης είναι καθαρό νερό και κάποια οξειδία του αζώτου. Τα οξειδία του αζώτου οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης. Καθώς μέρος του αζώτου ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα, αντιδρούν και σχηματίζουν μονοξειδίο του αζώτου (NO). Κατά την εξαγωγή του μονοξειδίου στην ατμόσφαιρα, δημιουργείται διοξειδίο του αζώτου (NO₂).

Αν πάλι χρησιμοποιηθεί κάποιος φορέας υδρογόνου, όπως η μεθανόλη, τότε παράγονται και μικρές ποσότητες μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, κατά τη διάρκεια της μετατροπής του καυσίμου σε υδρογόνο. Επίσης, εκπέμπονται ελάχιστοι ρύποι και λόγω εξάτμισης του καυσίμου από το ρεζερβουάρ του, καθώς κάποιοι άκαυστοι υδρογονάνθρακες, μαζί με ποσότητες μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, λόγω του λιπαντικού που εισχωρεί στον θάλαμο καύσης, καίγονται. Αυτοί είναι πάρα πολύ λιγότεροι από τους ρύπους των συμβατικών αυτοκινήτων. Επίσης, ελάχιστοι είναι και οι ρύποι που δημιουργούνται κατά τη διαδικασία παραγωγής του καυσίμου των ενεργειακών κυψέλων. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό δίνει το προβάδισμα στις ενεργειακές κυψέλες, ακόμα και έναντι των μπαταριών που κινούν τα 100% ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Και αυτό, γιατί το ρεύμα που απαιτείται για τη φόρτιση των μπαταριών, κάπου πρέπει να παράγεται και όπως όλοι γνωρίζουμε οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δεν είναι και πολύ «καθαρές».

Υπολογίζεται ότι αν γενικευτεί η χρήση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, την ίδια (ή και μεγαλύτερη για οξείδια του αζώτου και του θείου) ρύπανση που προκαλούν σήμερα οι βενζινοκινητήρες, θα την προκαλούσαν τα εργοστάσια παραγωγής ρεύματος, λειτουργώντας πιο εντατικά, για να καλύψουν την αυξημένη ζήτηση. Ακόμα κι αν χρησιμοποιηθεί πυρηνική ενέργεια, υπάρχει πάντα το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων

Φαίνεται λοιπόν, πως οι ενεργειακές κυψέλες είναι η πλέον ολοκληρωμένη οικολογική πρόταση για την κίνηση των αυτοκινήτων στο μέλλον, προσφέροντας ταυτόχρονα αυτονομία εφάμιλλη των σημερινών κινητήρων εσωτερικής καύσης. Το ίδιο μειωμένη θα είναι και η επιβάρυνση από το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά τη χρήση των ενεργειακών κυψελών. Οι υπολογισμοί έδειξαν, πως η άμεση επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου από τις ενεργειακές κυψέλες, θα είναι μικρότερη, ακόμα και από την έμμεση -λόγω αυξημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας- επιβάρυνση από τη χρήση μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ακόμα και αυτή η μικρή επιβάρυνση θα μπορούσε πρακτικά να μηδενιστεί, με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή του καυσίμου των ενεργειακών κυψελών. Όσον αφορά το πρόβλημα της ασφάλειας του υδρογόνου, που ίσως απασχολήσει την κοινή γνώμη, οι ειδικοί λένε, πως οι κίνδυνοι του υδρογόνου υπερεκτιμώνται. Στην πραγματικότητα, η χρήση του υδρογόνου συνεπάγεται ρίσκα διαφορετικά από αυτά των συμβατικών καυσίμων, όχι όμως και πιο επικίνδυνα. Όλα τα καύσιμα είναι ασφαλή αν μεταφέρονται, αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας που ισχύουν σε κάθε περίπτωση

Με το να παράγουμε ηλεκτρισμό από ηλιακή ενέργεια ή άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ο άνεμος (ανεμογεννήτριες) και εν συνεχεία με το να τον αποθηκεύουμε σε δεξαμενές υδρογόνου, και τέλος, να το χρησιμοποιήσουμε σε μια «γεννήτρια υδρογόνου» για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά την απελευθέρωση άνθρακα στην ατμόσφαιρα, όπως και την εξάρτησή μας από την περιορισμένη προμήθεια πετρελαίου από τη γη.

Θέματα διαθεσιμότητας καυσίμων αφ' ενός, αλλά και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση ορυκτών καυσίμων αφ' ετέρου, οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι στο μέλλον θα υπάρχουν δύο βασικοί φορείς ενέργειας: ο ηλεκτρισμός και το υδρογόνο.

Ο ηλεκτρισμός θα διατηρήσει την αγορά του, όπως φωτισμός, επικοινωνίες, διαχείριση πληροφορίας.

Το υδρογόνο θα αντικαταστήσει τα αέρια και υγρά καύσιμα στην θέρμανση και τις μεταφορές.



Κατά την καύση του υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω των ιδιοτήτων του, εξασφαλίζεται υψηλός βαθμός απόδοσης και αξιόπιστη λειτουργία. Δεν παράγονται εκπομπές άνθρακα(μονοξειδίο, υδρογονάνθρακες ή σωματίδια) ούτε και αέρια θερμοκηπίου. Παράγονται κάποια οξείδια του αζώτου λόγω του ότι ο αέρας αποτελείται κατά 79% από άζωτο καθώς και κάποιοι άκαυστοι υδρογονάνθρακες μαζί με ελάχιστες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στα κατάλοιπα του λιπαντικού που ποσότητά του εισχωρεί στον θάλαμο καύσης κατά την λειτουργία του κινητήρα.



Εικόνα 4.1

Σύγκριση H₂ με άλλους ενεργειακούς φορείς:

Ενεργειακός φορέας	Υδρογόνο	Φ.Α	LRG (προπάνιο)	Μεθανόλη	Βενζίνη	Μπαταρίες Μολύβδου
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους (kwh/kg)*	33.3	13.9	12.9	5.6	12.7	0.03
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου (kwh/lt)	0.53	2.6	7.5	4.4	8.7	0.09

Πίν. 4.2

Ιδιότητες υδρογόνου σε σχέση με τα άλλα καύσιμα:

Ιδιότητα	Υδρογόνο	Μεθάνιο	Βενζίνη
Όρια καύσης (Περιεκτικότητα % κ.ο. στον αέρα)	4 – 75	5,3 – 15	1,2 – 6
Όρια αναφλεξιμότητας	0,1 – 7,1	–	~ 0,7 – 4
Ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης (mJ)	0,02	0,28	0,25
Ταχύτητα ομαλής καύσης υπό Κ.Σ. (m/s)	1,90	0,38	0,37 – 0,43
Αδιαβατική θερμοκρασία καύσης (K)	2318	2190	~ 2470
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (K)	858	813	~ 501 – 744
Στοιχειομετρικός λόγος Αέρα/Καυσίμου κατά μάζα	34,3	–	15,1
Στοιχειομετρικός λόγος Αέρα/Καυσίμου κατ' όγκο	2,38	–	59,5
Ταχύτητα καύσης (m/s)	2,65 – 3,25	0,37 – 0,45	0,37 – 0,43
Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	119,7	46,72	44,79
Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg)	141,7	52,68	48,29
Συντελεστής διάχυσης στον αέρα (cm ² /s)	0,61	0,189	0,05
Πυκνότητα αερίου σε ΚΣ (kg/m ³)	0,083764	0,65119	4,4
Απόσταση σβησίματος φλόγας (mm)	0,64	2,03	~2,0
Θερμογόνος δύναμη ανά kg μάζας αέρα (MJ/kg _{air})	3,37	2,56	2,79

Πίν. 4.3

Τα όρια της αναφλεξιμότητας του υδρογόνου στον αέρα, είναι μεταξύ 4 και 75% της περιεκτικότητάς του κατά όγκο, σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και μπορεί να αναφλέγεται ακόμη και σε χαμηλή περιεκτικότητα αέρα. Έτσι, καθώς το υδρογόνο μπορεί να καίγεται ακόμη και σε πτωχά μίγματα, παρατηρείται εντυπωσιακή μείωση των οξειδίου του αζώτου (NO_x), χωρίς καν την χρήση καταλύτη. Επομένως, επιτυγχάνονται διάφορες ταχύτητες καύσης και θερμοκρασιών στον θάλαμο καύσης.

4.2 ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΥΣΗΣ ΤΟΥ H₂:

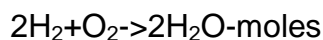
- Ευρύ φάσμα αναφλεξιμότητας
- Χαμηλή ενέργεια ανάφλεξης
- Μεγάλη ταχύτητα καύσης
- Υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης
- Μεγάλη ταχύτητα διάχυσης
- Πολύ χαμηλή πυκνότητα
- Μικρή απόσταση σβησίματος φλόγας
- Μεγάλη ενέργεια καύσης κατά μάζα



Εικόνα 4.4: Αριστερά, διακρίνεται η διάχυση του υδρογόνου ύστερα από εκούσια ανάφλεξη του ρεζερβουάρ υδρογόνου. Στα δεξιά παρατηρούμε την ολοσχερή καταστροφή άλλου αυτοκινήτου με ρεζερβουάρ βενζίνης, ύστερα από παρόμοια ανάφλεξη

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ-ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΥΣΗ

Η στοιχειομετρική αντίδραση υδρογόνου-οξυγόνου, δίνεται από την χημική εξίσωση:



Επομένως για την πλήρη καύση 2 moles H_2 απαιτείται ένα mole O_2 . Επειδή όμως δεν χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο ως μέσο οξειδωσης αλλά ατμοσφαιρικός αέρας, πρέπει το άζωτο του αέρα να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.

$$\text{moles αέρα} = \text{moles O}_2 + \text{moles N}_2$$

Η περιεκτικότητα του αέρα σε άζωτο και οξυγόνο είναι 79% N_2 και 21% O_2 . Επομένως τα moles του αζώτου για κάθε mole οξυγόνου στον αέρα είναι:

$$\text{Moles N}_2 = 1 \text{ mole O}_2 \times (79 / 21) = 3.7619 \text{ moles}$$

$$\text{Άρα moles αέρα} = \text{moles O}_2 + \text{moles N}_2 = 1 + 3,7619 = 4,7619 \text{ moles}$$

$$\text{Βάρος οξυγόνου (O}_2\text{)} = 1 \text{ mole O}_2 \times 16 \text{ g/mole} = 32\text{g.}$$

$$\text{Βάρος αζώτου (N}_2\text{)} = 3,7619 \text{ moles N}_2 \times 28 \text{ g/mole} = 105,33\text{g.}$$

$$\text{Βάρος αέρα} = 105,33 + 32 = 137,33\text{g.}$$

$$\text{Βάρος υδρογόνου (H}_2\text{)} = 2 \text{ moles H}_2 \times 2 \text{ g/mole} = 4\text{g.}$$

Επομένως μπορεί να υπολογιστεί ο στοιχειομετρικός λόγος αέρα/καυσίμου κατά μάζα και κατά όγκο.

$$A/F \text{ κατά μάζα} = \text{μάζα αέρα} / \text{μάζα υδρογόνου (H}_2\text{)} = 137,33\text{g} / 4\text{g} = 34,3325 : 1$$

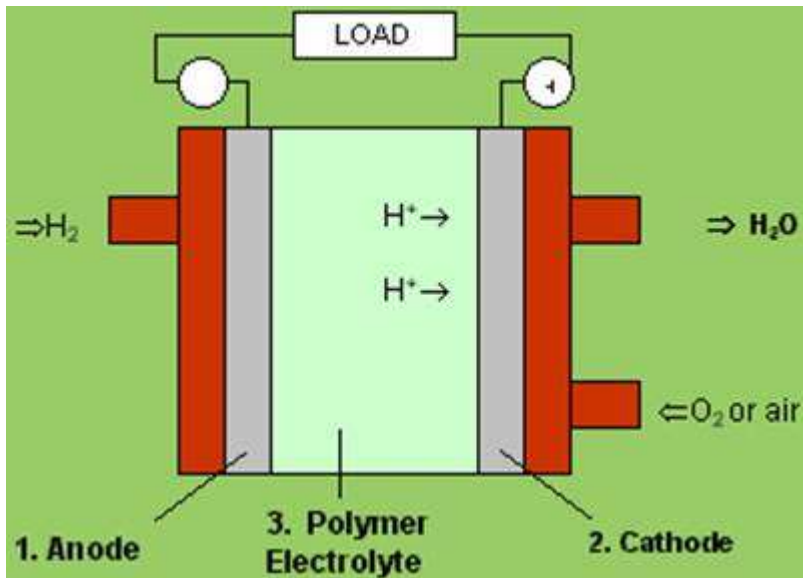
$$A/F \text{ κατ' όγκο} = \text{όγκος (moles) αέρα} / \text{όγκος (moles) υδρογόνου (H}_2\text{)} =$$

$$= 4,7619 \text{ moles} / 2 \text{ moles} = 2,38 : 1$$

Υπενθυμίζεται ότι για τη στοιχειομετρική καύση ενός μέρους βενζίνης απαιτούνται περίπου 14,7 μέρη αέρα κατά μάζα.

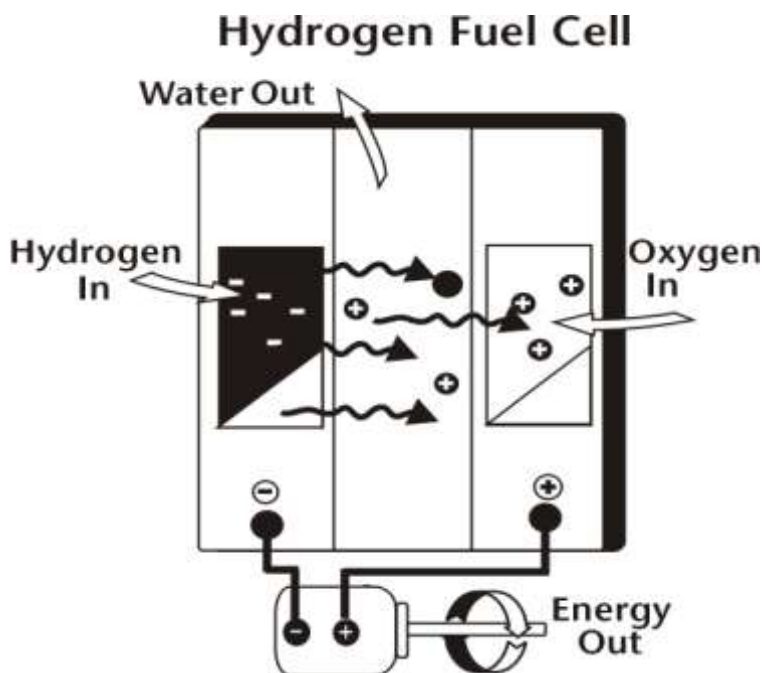
5. ΚΥΨΕΛΕΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Με τον όρο “κυψέλη καυσίμου”, αναφέρονται συσκευές οι οποίες θα καταναλώνουν ως “καύσιμο”, υδρογόνο (ή / και υδρογονάνθρακες) και με την συνδρομή οξυγόνου ή αέρα, χωρίς κινούμενα μέρη, θα παράγουν ηλεκτρική ισχύ, έχοντας ως κατάλοιπο νερό. Επομένως, αναμένεται ότι θα εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους.



Σχήμα 5.1: Σχηματικό διάγραμμα κυψέλης καυσίμου

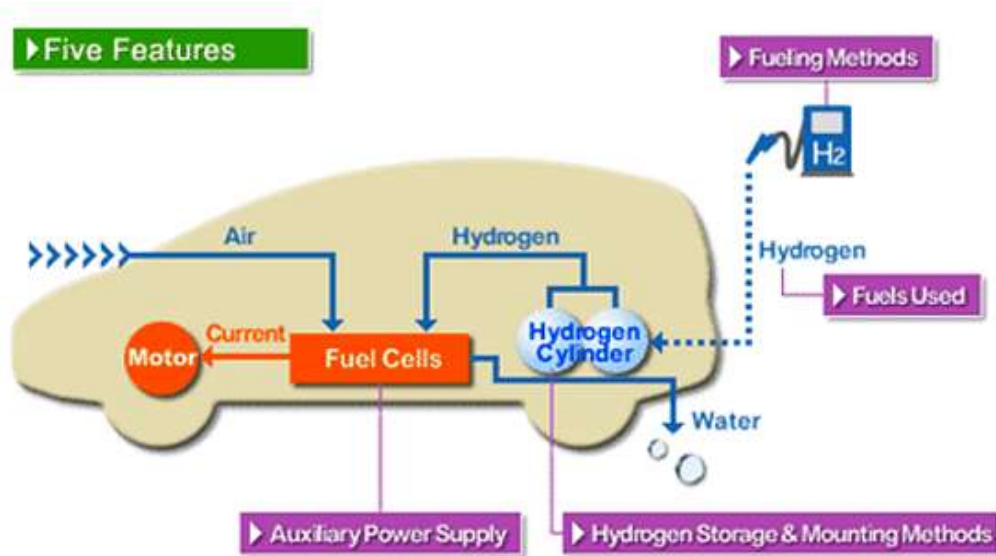
Οι κυψέλες καυσίμου προβλέπεται ότι θα έχουν γενικά την δομή που φαίνεται στο Σχ. 5.1 (μια μορφή μπαταρίας). Τα ηλεκτρόδια έχουν καταλυτική επίστρωση για την επιτάχυνση των αντιδράσεων.



Περιέχονται τρία στρώματα, το ένα δίπλα στο άλλο. Το πρώτο στρώμα είναι η άνοδος, το δεύτερο ο ηλεκτρολύτης και το τρίτο η κάθοδος. Η άνοδος και η κάθοδος παίζουν τον ρόλο του καταλύτη. Το μεσαίο στρώμα αποτελείται από ένα φορέα που απορροφάει τον ηλεκτρολύτη. Χρησιμοποιούνται διάφορες ουσίες σαν ηλεκτρολύτες. Οι κυψέλες καυσίμου κατατάσσονται ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη που διαθέτουν, ο οποίος καθορίζει και την θερμοκρασία λειτουργίας του.

Άλλες ουσίες είναι οι υγροί ηλεκτρολύτες και κάποιοι είναι σε στερεή μορφή με μια μεμβρανώδη δομή.

5.1 ΟΙ ΚΥΨΕΛΕΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ



Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που κυριαρχεί τρεις γενιές τώρα στο χώρο των μεταφορών, σίγουρα έχει αυξήσει πολύ τη δυνατότητα αυτόνομης μετακίνησης του ανθρώπου. Όμως η τεχνολογία αυτών των κινητήρων προκάλεσε ρύπανση της ατμόσφαιρας, ενεργειακή εξάρτηση από τα περιορισμένα κοιτάσματα πετρελαίου και είχε δυσμενή επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο πιστεύεται ότι στην επόμενη δεκαετία, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θα έχουν τη δυνατότητα να αρχίσουν τη διάθεση μίας νέας γενιάς αυτοκινήτων, πολύ οικονομικών και σχεδόν καθόλου ρυπογόνων. Το καύσιμο που θα χρησιμοποιούν δε θα είναι ένα και μοναδικό, αλλά θα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από μία σειρά εναλλακτικών και ασφαλών για το περιβάλλον καυσίμων.

Τα αυτοκίνητα αυτά θα έχουν όλα τα οδηγικά χαρακτηριστικά των σημερινών βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, θα προσφέρουν την ίδια ευχαρίστηση όταν οδηγούνται και η χρήση τους θα κοστίζει περίπου το ίδιο. Η τεχνολογία-κλειδί για όλα αυτά είναι οι λεγόμενες ενεργειακές κυψέλες (ή επί το επιστημονικότερο «κελιά καυσίμου»). Η τεχνολογία αυτή μέχρι σήμερα έχει εφαρμοστεί στην αεροδιαστημική και σε πολεμικές εφαρμογές (όπως π.χ. η κίνηση υποβρυχίων). Οι ενεργειακές κυψέλες δεν έχουν μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί σε αυτοκίνητα, λόγω του πολύ υψηλού τους κόστους. Όμως πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις δίνουν τη δυνατότητα μαζικής παραγωγής ενεργειακών κυψελών, δημιουργώντας έτσι ένα σοβαρό ανταγωνιστή των κινητήρων

εσωτερικής καύσης στο χώρο των μεταφορών. Η πρώτη κυψέλη καυσίμων φτιάχτηκε το 1839 από τον *Sir William Grove*, έναν Ουαλλό δικαστή και πειραματικό επιστήμονα. Όμως το σοβαρό ενδιαφέρον για τη κυψέλη καυσίμων ως πρακτική γεννήτρια άρχισε τη δεκαετία του 60', όταν το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ επέλεξε κυψέλες καυσίμων και όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια ή την ακριβότερη ηλιακή. Οι κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν ενέργεια το διαστημικό σκάφος *Gemini* και *Apollo*, και παρέχουν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο.

5.2 ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Alkaline fuel cell (AFC)

Οι κυψέλες του τύπου αυτού χρησιμοποιήθηκαν σε διαστημικά προγράμματα. Είναι κυψέλες χαμηλών θερμοκρασιών με αρκετά καλή απόδοση. Επειδή δεν χρησιμοποιούν ευγενή μέταλλα ως καταλύτες, η τιμή τους είναι σχετικά χαμηλότερη των άλλων τύπων (PEM). Από την άλλη, έχουν μικρή πυκνότητα ενέργειας και είναι ευαίσθητες στα CO₂ και CO τα οποία πρέπει να αφαιρούνται από τον αέρα τροφοδοσίας τους, πράγμα που αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος τους. Για τους παραπάνω λόγους, δεν προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθούν σε αυτοκίνητα υδρογόνου.

Proton exchange membrane fuel cell (PEM FC)

Είναι οι κυψέλες με τις καλύτερες προοπτικές για χρήση στις οδικές μεταφορές. Απαιτείται όμως ακόμη έρευνα και ανάπτυξη στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν και ιδιαίτερα στην ανάπτυξη μεμβρανών μεσαίων θερμοκρασιών.

Λόγω της σχετικά απλής τους δομής, υπάρχουν ελπίδες ότι με την μαζική τους παραγωγή θα μπορέσουν να γίνουν οικονομικά ανταγωνιστικές των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Όμως, για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να βρεθεί τρόπος σημαντικής μείωσης της ποσότητας της πλατίνας που χρησιμοποιούν στον καταλύτη τους. Επίσης, αναμένεται ότι οι κυψέλες του τύπου αυτού, θα έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, κυρίως σε λειτουργία με μειωμένη ισχύ (όπου λειτουργούν στο μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου ζωής τους οι κινητήρες των αυτοκινήτων). Ωστόσο, φαίνεται ότι για την παραγωγή τους θα απαιτείται διπλάσια κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με έναν αντίστοιχο κινητήρα εσωτερικής καύσης και τα αντίστοιχα αέρια θερμοκηπίου που θα παραχθούν για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου υδρογόνου τύπου PEM, θα είναι 10% έως 60% περισσότερα από αυτά που παράγονται για την κατασκευή ενός συμβατικού.

Solid oxide fuel cell (SOFC)

Οι κυψέλες του τύπου αυτού βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης κυρίως για στατικές εφαρμογές ή για χρήση ως βοηθητικές πηγές ισχύος σε οχήματα. Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να λειτουργήσουν είτε με υδρογόνο είτε με υδρογονάνθρακες ή και με "αναμορφωμένα" καύσιμα (δηλαδή μίγμα υδρογόνου, CO₂, CO και μεθανίου), που προκύπτουν από επεξεργασία υδρογονανθράκων. Απαιτούν όμως το καύσιμο να είναι καθαρό από θείο.

Για την μείωση του κόστους τους, απαιτείται έρευνα ώστε να επιτευχθεί η λειτουργία τους σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (700-900°C), ώστε να αντικατασταθούν τα κεραμικά υλικά κατασκευής τους με σχετικά φθηνότερα μέταλλα. Ακόμη, με την υπάρχουσα τεχνολογία, οι κυψέλες SOFC δεν είναι ικανές στις γρήγορες μεταβολές φορτίου και χρειάζονται μεγάλο χρόνο εκκίνησης.

Direct methanol fuel cell (DMFC)

Λειτουργούν με μεθανόλη και είναι τεχνολογικά παρόμοιες με τις κυψέλες υδρογόνου τύπου PEM. Ωστόσο, η μικρή πυκνότητα ισχύος που έχουν, τις περιορίζει σε εφαρμογές φορητών συσκευών μικρής ισχύος.

Molten carbonate fuel cell (MCFC)

Είναι κυψέλες που λειτουργούν με ανθρακούχα καύσιμα όπως φυσικό αέριο, βιοαέριο ή άλλους υδρογονάνθρακες. Προορίζονται για συμπαραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρικής ενέργειας σε στατικές μονάδες. Είναι στο στάδιο της ανάπτυξης από τρεις εταιρίες παγκόσμια ("MTU" Germany, "MOLCARE" Spain-Italy και "FUEL CELL ENERGY" USA). Τα πρώτα συστήματα του τύπου αυτού έχουν εμφανιστεί στην αγορά σε ισχύ της τάξης των 250 kW αλλά σε πολύ υψηλές, μη ανταγωνιστικές των συμβατικών συστημάτων τιμές.

Phosphoric acid fuel cell (PAFC)

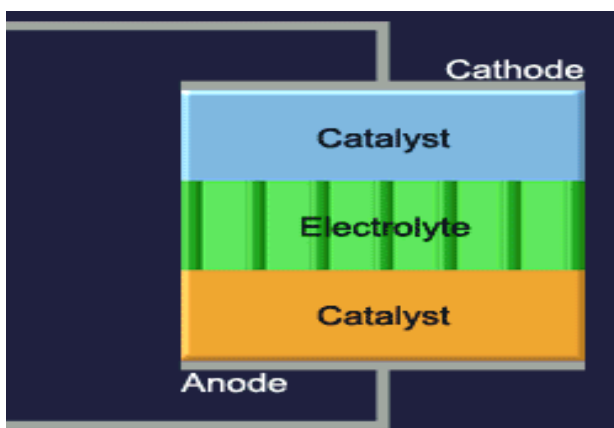
Ενώ αρχικά είχε φανεί ότι οι κυψέλες του τύπου αυτού θα είχαν ευρεία εφαρμογή, η ανάπτυξή τους έχει σταματήσει. Η τελευταία εταιρεία που διέθετε εμπορικά τέτοιου τύπου κυψέλες (UTC FUEL CELLS USA), πρόσφατα έχει στραφεί στην ανάπτυξη των PEMFC. Οι κυψέλες του τύπου φωσφορικού οξέως PAFC, είναι από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά και εμπορικά.

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

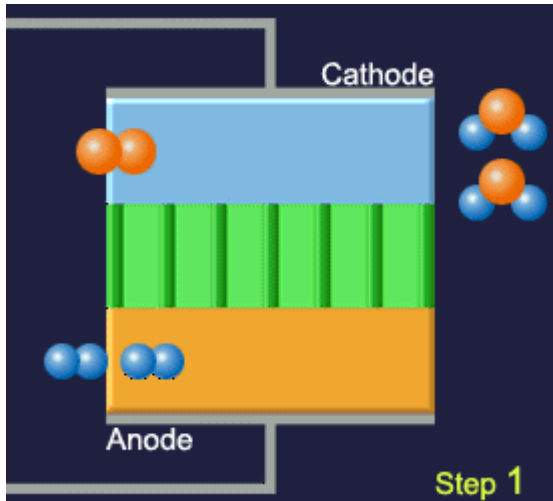
Το PAFC θέλει ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο σαν αέρια αναγωγής. Υπάρχει όμως ένα μειονέκτημα. Το φωσφορικό οξύ χαλάει όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 42°. Τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή κυψέλη.

5.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ

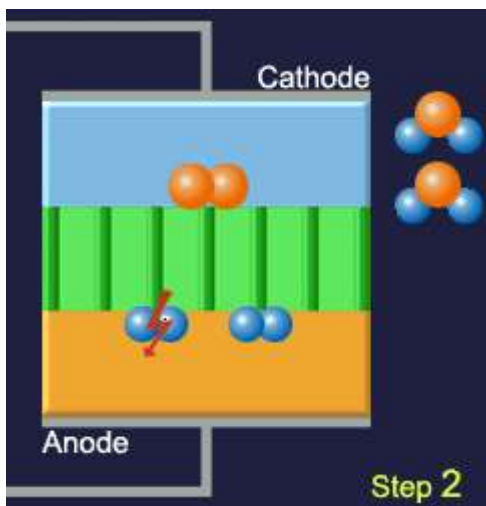
Η ενεργειακή κυψέλη στην παρακάτω μορφή αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα --τους δύο καταλύτες-- ανάμεσά στα οποία υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης (διάλυμα υδροξειδίου του καλίου). Οι καταλύτες περιέχουν πλατίνα, για την διευκόλυνση των χημικών αντιδράσεων που ακολουθούν. Το τμήμα που εισάγεται το υδρογόνο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



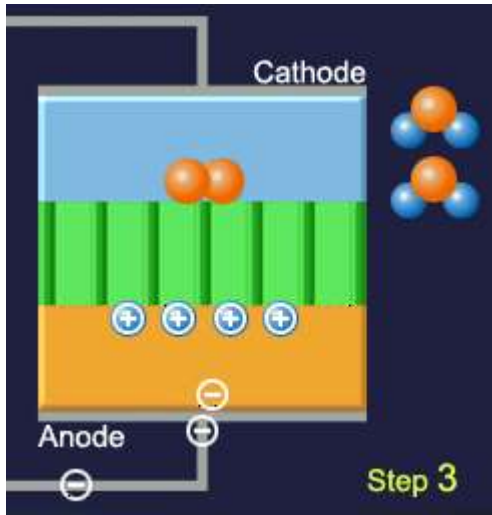
1η φάση: Αρχίζει και ρέει αέριο οξυγόνο (O_2) --πορτοκαλί χρώμα-- και αέριο υδρογόνο (H_2) --μπλε χρώμα-- στα δύο ξεχωριστά τμήματα. Έτσι έχουμε 2 άτομα οξυγόνου πάνω και 4 άτομα υδρογόνου κάτω.



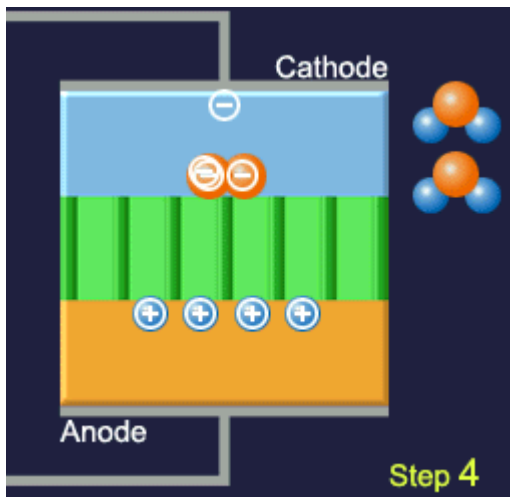
2η φάση: Όταν έρθουν σε επαφή τα δύο μόρια H_2 με τον καταλύτη ιονίζονται προς τέσσερα πρωτόνια και τέσσερα ηλεκτρόνια. Την ίδια στιγμή τα 4 ελεύθερα ηλεκτρόνια φεύγουν προς το εξωτερικό κύκλωμα, μέσω του οποίου έρχονται προς την κάθοδο.



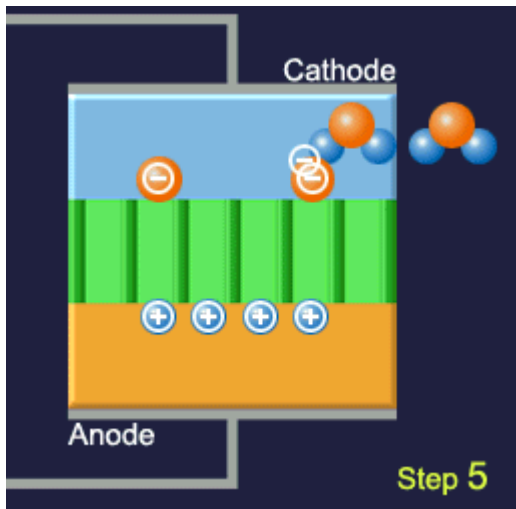
3η φάση: Τα 4 ηλεκτρόνια κινούνται από την άνοδο προς την κάθοδο και δημιουργούν έτσι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το κάτω μέρος έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων (θετικός πόλος) ενώ το πάνω μέρος έχει περίσσεια ηλεκτρονίων (αρνητικός πόλος). Αυτό το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική συσκευή.



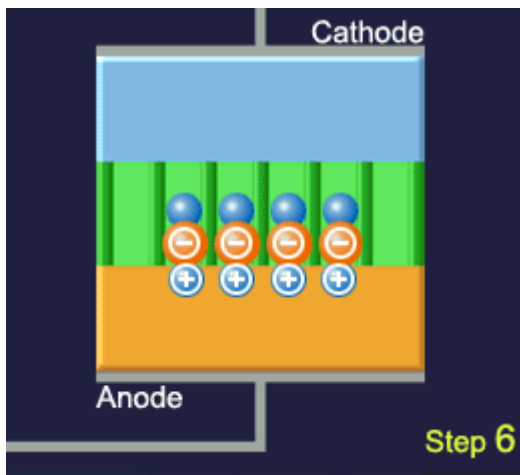
4η φάση: Εν συνεχεία τα τέσσερα ηλεκτρόνια, που βρίσκονται στην κάθοδο, ενώνονται με τα δύο άτομα οξυγόνου και τα φορτίζουν αρνητικά.



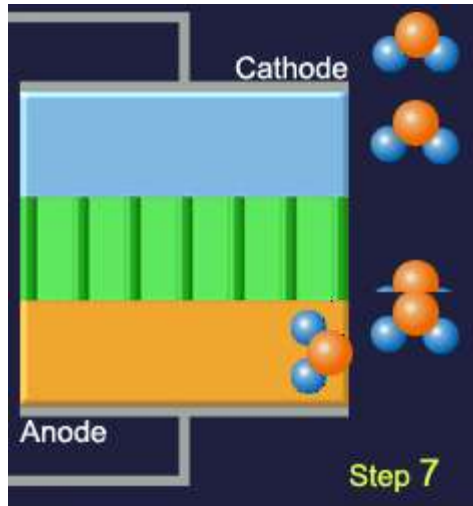
5η φάση: Τα δύο μόρια του νερού, που βρίσκονται ήδη στην κάθοδο (στο δεξιό μέρος) ενώνονται με τα δύο ιόντα οξυγόνου (πορτοκαλί σφαίρα) σχηματίζοντας 4 ιόντα υδροξειδίου OH^- .



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



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



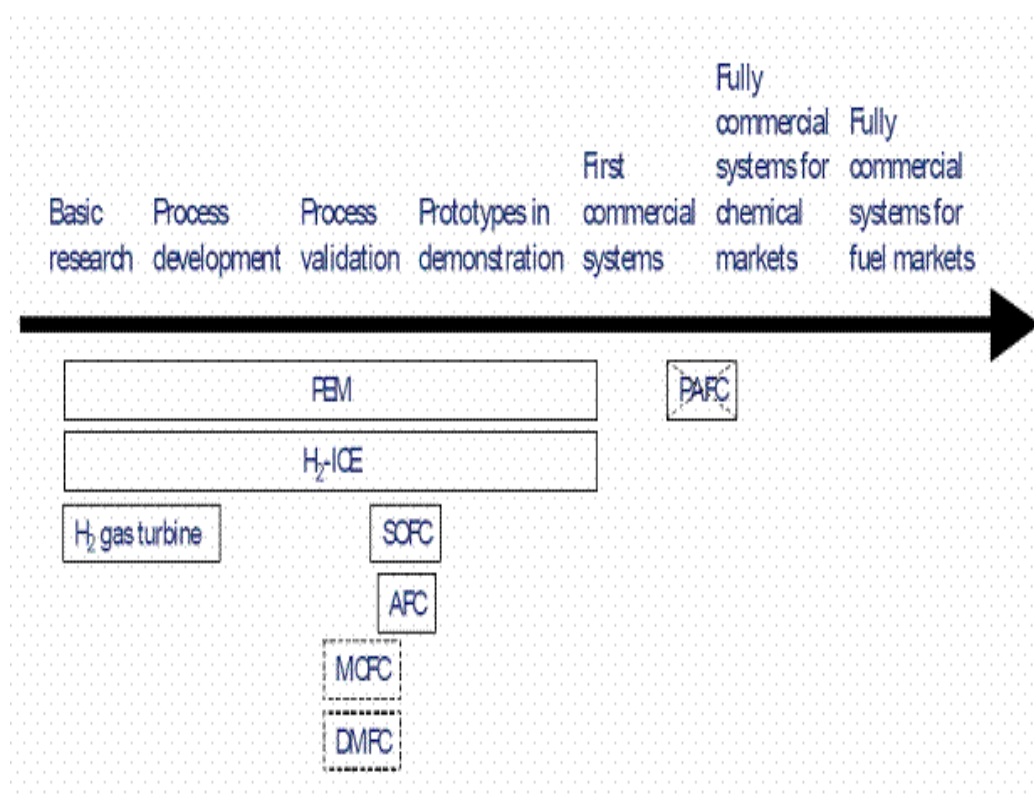
5.4 ΚΥΨΕΛΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ

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

Για να κινηθεί ένα αυτοκίνητο απαιτείται μία ολόκληρη συστοιχία τέτοιων κυψελών βάρους περίπου 125 κιλών και όγκου λίγο μεγαλύτερου από το ρεζερβουάρ ενός σύγχρονου αυτοκινήτου.

Μολονότι το καύσιμο αυτών των κυψελών είναι το υδρογόνο, το αυτοκίνητο μπορεί να μην εφοδιάζεται με καθαρό υδρογόνο, αλλά με κάποιον «φορέα υδρογόνου» που μετατρέπεται σε υδρογόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του αυτοκινήτου. Στην περίπτωση που πάνω στο αυτοκίνητο αποθηκεύεται καθαρό υδρογόνο, αυτό γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως με τη μορφή συμπιεσμένου αερίου σε υγρή μορφή ή σαν υδρίδιο κάποιου μετάλλου. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μεθανόλη (ένα είδος αλκοόλης) σαν φορέας υδρογόνου. Σε αυτή την περίπτωση ένα αέριο μίγμα υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα παράγεται πάνω στο αυτοκίνητο με αντίδραση της μεθανόλης με ατμό και τη βοήθεια ενός καταλυτικού υλικού. Από το αέριο αυτό μίγμα, η ενεργειακή κυψέλη παίρνει το καύσιμο υδρογόνο που χρειάζεται. Μολονότι η χρήση ενός φορέα υδρογόνου όπως η μεθανόλη περιπλέκει τα πράγματα, ένα τέτοιο καύσιμο μεταφέρεται και αποθηκεύεται πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ασφάλεια από το καθαρό υδρογόνο.

Στο σχήμα 5.2(παρακάτω),φαίνεται το στάδιο που βρίσκεται σήμερα η έρευνα και ανάπτυξη των τύπων κυψελών καυσίμου που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Με τον όρο H₂-ICE αναφέρονται οι κινητήρες εσωτερικής καύσης με καύσιμο υδρογόνο (H₂-Internal Combustion Engines). Οι κινητήρες αυτοί προβλέπεται να έχουν απόδοση αντίστοιχη των σημερινών εξελιγμένων κινητήρων Diesel, αλλά με λιγότερους ρύπους (κυρίως NO_x). Ωστόσο η κατασκευή τους παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες και πιθανώς θα έχουν αυξημένη επικινδυνότητα κατά τη λειτουργία τους.



Σχήμα 5.2: Στάδια ανάπτυξης των διαφόρων τύπων κυψελών καυσίμου

5.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

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

Ένα από τα πλεονεκτήματα των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες, θα είναι η κίνησή τους με ηλεκτροκινητήρα. Οι ηλεκτροκινητήρες αποδίδουν περισσότερη ροπή (άρα και ισχύ) στις χαμηλότερες ταχύτητες, που χαρακτηρίζουν τις περισσότερες συνθήκες οδήγησης. Επίσης, η απόκριση των ηλεκτροκινητήρων στο γκάζι είναι πιο άμεση. Αποτέλεσμα αυτών των δύο παραγόντων είναι η μεγαλύτερη ευκολία χρήσης των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες. Λόγω της αμεσότητας της απόκρισης και της μεγάλης ροπής από χαμηλές στροφές, είναι πιθανόν αυτά τα αυτοκίνητα να σχεδιάζονται με μικρότερη μέγιστη ισχύ που έτσι κι αλλιώς σπάνια την χρειάζεται ο οδηγός.

Για να είναι άμεσα διαθέσιμη όλη η ισχύς στα ξεκινήματα και τα προσπεράσματα, τις ενεργειακές κυψέλες θα συμπληρώνει κάποιο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως μία συστοιχία από μπαταρίες, ένας σφόνδυλος ή ένας υπερπυκνωτής. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιείται και κάποιος συνδυασμός όπως π.χ. μπαταριών με σφόνδυλο. Το σύστημα αποθήκευσης θα «φορτώνει» από τις ενεργειακές κυψέλες και θα παρέχει στον ηλεκτροκινητήρα την ισχύ που θα απαιτείται σε κάθε περίπτωση. Επίσης, κατά το φρενάρισμα η λειτουργία του κινητήρα θα αντιστρέφεται, οπότε η κινητική ενέργεια του οχήματος θα μετατρέπεται σε ηλεκτρική (από τον κινητήρα που θα λειτουργεί σαν γεννήτρια) και θα αποθηκεύεται πάλι στο σύστημα ενέργειας. Μ' αυτό τον τρόπο αναμένεται ότι θα γίνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, που σήμερα πάει χαμένη με τη μορφή θερμότητας στα φρένα. Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες θα είναι σημαντικά μικρότερο και ελαφρύτερο από μία συστοιχία μπαταριών που κινεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των ενεργειακών κυψελών, είναι ότι τα αυτοκίνητα που θα τις χρησιμοποιούν, θα μπορούν να ανεφοδιάζονται με καύσιμα με τρόπο και σε χρόνο ανάλογο με τα σημερινά

βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Αυτό τους δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες, που χρειάζεται πολλές ώρες επαναφόρτισης σε πλήρη ακινησία.

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

5.6 ΚΟΣΤΟΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το κόστος των πρωτότυπων ενεργειακών κυψελών είναι υψηλό και δεν μπορεί να γίνει ακόμα ασφαλής πρόβλεψη, για το πόσο θα πέσει το κόστος, όταν αρχίσει η μαζική παραγωγή αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες. Παρόλα αυτά, κάποιες εκτιμήσεις που γίνονται, μιλούν για κόστος συγκρίσιμο με το κόστος των σημερινών αυτοκινήτων.

Πρώτα απ' όλα, η τιμή πώλησης των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες, θα καθοριστεί από τις οικονομίες κλίμακας που γίνονται στη μαζική παραγωγή. Το κόστος ενός μαζικά παραγόμενου προϊόντος μπορεί να εκτιμηθεί από το κόστος των πρώτων υλών και το κόστος της τεχνολογίας παραγωγής. Η μόνη σπάνια πρώτη ύλη των ενεργειακών κυψελών είναι η πλατίνα των ηλεκτροδίων. Πρόσφατες τεχνικές βελτιώσεις έχουν μειώσει κατά 40 περίπου φορές την ποσότητα πλατίνας που απαιτείται, για την κατασκευή ενεργειακών κυψελών. Από την άλλη πλευρά δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης τριοδικού καταλύτη (που επίσης περιέχει πλατίνα) για τον καθαρισμό των καυσαερίων στα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες και έτσι σε μεγάλο βαθμό εξισορροπείται η ποσότητα της πλατίνας που χρειάζεται, σε σχέση με τα σύγχρονα αυτοκίνητα. Υπολογίζεται πως τελικά το πρόσθετο κόστος ανά αυτοκίνητο δε θα ξεπερνά τα 200 δολάρια. Ένα άλλο ακριβό κατασκευαστικό υλικό των ενεργειακών κυψελών, είναι η μεμβράνη πολυμερούς υλικού του ηλεκτρολύτη. Σήμερα το κόστος ανά αυτοκίνητο είναι αρκετές χιλιάδες δολάρια. Όμως υπολογίζεται ότι το κόστος αυτό θα πέσει σημαντικά αν αρχίσει η μαζική παραγωγή. Παράλληλα, γίνονται συνεχώς νέες έρευνες για φτηνότερες εναλλακτικές λύσεις. Τα υπόλοιπα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι ενεργειακές κυψέλες είναι κοινά και το κόστος τους σε μαζική παραγωγή είναι χαμηλό και μπορεί άμεσα να προβλεφθεί. Όλοι αυτοί οι υπολογισμοί δικαιολογούν την εκτίμηση, ότι τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες, θα έχουν τελικά κόστος της ίδιας τάξης μεγέθους, με αυτό των σημερινών αυτοκινήτων, που σε απόλυτες τιμές, θα είναι βέβαια λίγο υψηλότερο, αλλά πάντως όχι απαγορευτικό. Από την άλλη πλευρά, το κόστος λειτουργίας των ενεργειακών κυψελών, θα είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με το κόστος των κινητήρων εσωτερικής καύσης, χάρη στη

μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και τις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης. Αν λοιπόν το αρχικό κόστος απόκτησης είναι συγκρίσιμο και το κόστος λειτουργίας μικρότερο, τότε το συνολικό κόστος χρήσης ενός αυτοκινήτου με ενεργειακές κυψέλες στη διάρκεια της ζωής του, θα είναι μικρότερο από το κόστος ενός συμβατικού αυτοκινήτου, έστω και οριακά. Αλλά ακόμα κι αν η αρχική τιμή αγοράς είναι πολύ ακριβότερη από αυτήν που εκτιμάται, πάλι το συνολικό κόστος των ενεργειακών κυψελών θα ήταν ανταγωνιστικό, δηλαδή μέσα στα όρια της αγοράς.

5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

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

Πλεονεκτήματα

- Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικές προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός
- Οι κυψέλες δεν έχουν κινητά μέρη. Ήσυχη λειτουργία και μικρή συντήρηση.
- Μεγάλη απόδοση στην μετατροπή ηλεκτρισμού της τάξης του 40-65% εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από watt μέχρι megawatt.
- Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχθεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα τα καύσιμα .
- Κοστίζει λιγότερο για να μετακινηθεί το υδρογόνο σε άλλες ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων, από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή για την κίνηση της ενέργειας από τους ωκεανούς.

5.8 ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥΣ

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

5.9 ΕΙΔΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΣΕ ΜΙΑ ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

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

Κατά χρησιμοποίηση καυσίμων εκτός από το καθαρό υδρογόνο, απαιτείται ένας μετασχηματιστής ή επεξεργαστής καυσίμων. Μια συσκευή που παράγει υδρογόνο από τα καύσιμα όπως η βενζίνη, η μεθανόλη, η αιθανόλη ή η νάφθα.

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

Ανακεφαλαιώνοντας, μπορεί κανείς να πει με σχετική ασφάλεια, ότι ήδη έχει ανατείλει μία νέα εποχή στο χώρο των μεταφορών. Ο μέσος πολίτης, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, θα έρθει σε μερικά χρόνια σε επαφή με τις ενεργειακές κυψέλες. Και μέχρι το έτος 2025 μπορεί όταν μιλάμε για λεωφορεία αντιρρυπαντικής τεχνολογίας να εννοούμε λεωφορεία με ενεργειακές κυψέλες που εκπέμπουν μόνο νερό.

6. ΜΗΧΑΝΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων καύσης του υδρογόνου σε σχέση με τα άλλα καύσιμα, αλλάζει και ο σχεδιασμός των τμημάτων του κινητήρα.

6.1.1 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Η έγχυση καυσίμου είτε στην θυρίδα εισαγωγής είτε στον θάλαμο καύσης, υπό συγκεκριμένες ρυθμίσεις, εξασφαλίζει ομαλή καύση χωρίς την εμφάνιση προανάφλεξης ή ανάφλεξης στην εισαγωγή. Έτσι αν επιλεγεί η τροφοδοσία καυσίμου με έγχυση καυσίμου στη θυρίδα εισαγωγής(port fuel injection), ο χρονισμός πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να παρέχεται χρονικό διάστημα για την κατάλληλη ψύξη του κυλίνδρου κατά την φάση του χρόνου εισαγωγής καθώς και για την έγχυση της προκαθορισμένης ποσότητας υδρογόνου πριν το κλείσιμο της βαλβίδας ώστε να αποτρέπεται η παρουσία καυσίμου στην πολλαπλή εισαγωγής. Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα καύσης πτωχών μιγμάτων, άρα αυξημένων θερμικών αποδόσεων.

Για την απόλυτη ισχύ της μηχανής, η έγχυση του καυσίμου γίνεται απευθείας (direct injection) στον θάλαμο καύσης, μέθοδος που αποκλείει την ανάφλεξη στην εισαγωγή. Επειδή όμως ο κίνδυνος προανάφλεξης αποτελεί γεγονός, το καύσιμο πρέπει να εγχύεται στα τελευταία στάδια της φάσης συμπίεσης. Η άμεση έγχυση όμως προϋποθέτει την κατασκευή εγχυτήρων από ειδικά κράματα, συστήματα εγχύσεως υψηλής συμπίεσης αλλά και την αποθήκευση του υδρογόνου σε μορφή κρυογονικού υγρού.

Κάθε μέθοδος τροφοδοσίας απαιτεί τις ανάλογες δοκιμές για την αποφυγή φαινομένων ανώμαλης καύσης.

6.1.2 Σύστημα ανάφλεξης και σπινθηριστές (μπουζί)

Λόγω του ότι υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, μπορεί να αναφλεγεί το μίγμα πριν τον προκαθορισμένο χρόνο ανάφλεξης από τον σπινθήρα, ο σχεδιασμός της ανάφλεξης, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Απαιτήσεις: η σωστή χωροθέτηση των καλωδίων ανάφλεξης με στόχο την αποτροπή της ανεπιθύμητης ανάφλεξης σε έναν κύλινδρο από επαγωγή του καλωδίου διπλανού κυλίνδρου. Η σωστή γείωση του συστήματος ανάφλεξης καθώς και η μεταβολή της αντίστασης του καλωδίου ανάφλεξης με σκοπό την αποφυγή ανεξέλεγκτης ανάφλεξης του μίγματος από ενέργεια προηγούμενης ανάφλεξης στο καλώδιο της ανάφλεξης.

Απαιτούνται ψυχρότεροι σπινθηριστές από τους ψυχρότερους των MEK βενζίνης. Αυτό απαιτείται λόγω του ότι οι σπινθηριστές που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες βενζίνης δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική απόδοση στην αποβολή του θερμικού τους φορτίου, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο προανάφλεξης(η θερμοκρασία των ηλεκτροδίων υπερβαίνει την θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου).

Το διάκενο των ηλεκτροδίων επιλέγεται μικρότερο από εκείνο των MEK βενζίνης(0.7-1.1mm),λόγω του ότι είναι ευεργετικό στην ηλεκτρική απόδοση των σπινθηριστών. Γενικά τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σπινθηριστών (σχήμα,μήκος και διάμετρος σπειρώματος, διαστάσεις, θερμική αγωγιμότητα, μήκος πορσελάνης, υλικά κατασκευής),οδηγούν στην αξιόπιστη ανάφλεξη του μίγματος.

6.1.3 Σύστημα ψύξης

Μια MEK υδρογόνου για να λειτουργεί ομαλά, πρέπει να ψύχεται επαρκώς ούτως ώστε να μην δημιουργούνται υπέρθερμα σημεία που θα αποτελούν εστίες προανάφλεξης που αποτελεί κρίσιμο πρόβλημα αυτών των MEK.

Επομένως, πρέπει να αποτελείται από βαλβίδες εξαγωγής ψυχόμενες με νάτριο, πολυβάλβιδες κεφαλές για περαιτέρω ψύξη των βαλβίδων εξαγωγής και πρόσθετα περάσματα του ψυκτικού υγρού γύρω από τις βαλβίδες αλλά και από άλλες περιοχές με υψηλά θερμικά φορτία.

Επίσης για την μείωση των υψηλών θερμοκρασιών απαιτείται η κένωση του θαλάμου καύσης από τις μάζες καυσαερίων.

6.1.4 Σύστημα λίπανσης

Λόγω της συγκέντρωσης υδρατμών στον θάλαμο μιας MEK υδρογόνου,η χρήση λιπαντικών δεν αποτελεί λύση για μια τέτοια MEK. Οι λιπαντικές ιδιότητες του υδρογόνου είναι ανύπαρκτες σε σύγκριση με την βενζίνη και οι ρυθμοί περιστροφής του κινητήρα είναι υψηλότεροι. Αυτά οδηγούν σε μεγαλύτερη ανάγκη για λίπανση. Έχουν προταθεί 2 τεχνολογικές χρήσεις: η μία αφορά σε λιπαντικό που διαχωρίζει ταχύτατα το νερό από το λάδι και η άλλη σε συνθετικό λάδι το οποίο σχηματίζει διάλυμα με αυξημένες λιπαντικές ιδιότητες, παρουσία νερού και υδρατμών.

Επίσης το λάδι, πρέπει να παρουσιάζει υψηλό δείκτη ιξώδους και μεγάλη θερμική σταθερότητα να αντιστέκεται η μεταβολή του ιξώδους σε σύγκριση με την αύξηση της θερμοκρασίας και να μην αλλάζει η σύνθεση του έπειτα από υψηλών θερμοκρασιών, καταπονήσεις, καθώς και να μην σχηματίζει τέφρα που αποτελεί εστία πυρανάφλεξης.

6.1.5 Θάλαμος καύσης

Το υδρογόνο έχει, όπως προαναφέραμε πολύ υψηλό συντελεστή διάχυσης και μεγάλη ταχύτητα καύσης. Επομένως, γίνεται επιτυχώς η ανάμιξη κ καύση του καυσίμου και έτσι δεν απαιτείται κάποιος ιδιαίτερος σχεδιασμός στον θάλαμο καύσης μιας τέτοιας ΜΕΚ. Ένα επίπεδο έμβολο, συμμετρικά τοποθετημένες βαλβίδες και ένας θάλαμος καύσης ημισφαιρικής μορφής θα εξασφάλιζαν μια αποδοτική καύση. Λόγω όμως του κινδύνου της προανάφλεξης, πρέπει να αποφεύγεται ο σχεδιασμός οξειών ακμών κ εσοχών που εξαιτίας των επικαθίσεων του λιπαντικού και της ελλιπούς ψύξης μπορεί να δημιουργήσουν εστίες.

Γενικά το υδρογόνο έχει μεγάλη ταχύτητα καύσης, επομένως δεν χρειάζονται περιττές τεχνικές σχεδιασμού του θαλάμου καύσης. Επίσης για αυτό τον λόγο ,με ένα σύστημα εισαγωγής χωρίς στραγγαλιστική δικλείδα γίνεται ο έλεγχος του φορτίου της μηχανής(Wide open throttle).Με αυτό το σύστημα ρυθμίζεται ο λόγος αέρα-καυσίμου (ποιοτικός έλεγχος),σε αντίθεση με τον ποσοτικό έλεγχο που γίνεται σε μια ΜΕΚ βενζίνης, με μεταβολή της ποσότητας του μείγματος που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης με την βοήθεια της πεταλούδας στην εισαγωγή. Επίσης απαραίτητη είναι και η χρήση της “πεταλούδας” στην εξαγωγή, όπου εντοπίζονται ποσότητες άκαυστου υδρογόνου, σε συνδυασμό πάντοτε με έναν καταλύτη για τον περιορισμό των Nox.Η απουσία στραγγαλιστικής δικλείδας, μειώνει τις τριβές και τις απώλειες και αυξάνει την απόδοση του κινητήρα.

6.2 ΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΕ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

1. Οι ΜΕΚ υδρογόνου λόγω της ιδιαίτερης χαμηλής κατ’όγκο θερμογόνου δύναμης σε σχέση με την βενζίνη, αποδίδουν πολύ μικρότερη μέγιστη ισχύ και απαιτείται να έχει πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτό αυξάνει τις απώλειες βέβαια καθώς και τις μηχανικές τριβές.

2. Το υδρογόνο περιέχει μικρή ενέργεια κατά την καύση του, ανεξάρτητα από τον τρόπο αποθήκευσής του.

3. Η μεγάλη ταχύτητα καύσης του υδρογόνου αυξάνει την πίεση στον θάλαμο καύσης γεγονός που οδηγεί σε μεγάλους κραδασμούς και θόρυβο.

4. Οι υδρατμοί που παράγονται μπορεί να οδηγήσουν σε οξειδωση των εξαρτημάτων του κινητήρα καθώς και σε εξασθένιση των λιπαντικών ιδιοτήτων του λιπαντικού.

Η μεγάλη ταχύτητα καύσης του υδρογόνου έχει αποτέλεσμα τους υψηλούς ρυθμούς αύξησης της πίεσης. Επομένως, αποτελεί εμπόδιο για την ομαλή λειτουργία του κινητήρα. Η μικρή του πυκνότητα όμως έχει να κάνει με την πολύ μικρή κατ’όγκο περιεκτικότητα ενέργειας. Κατά βάρος όμως, περιέχει 2.5 φορές περισσότερη θερμογόνο δύναμη από εκείνη της βενζίνης και άλλων ορυκτών καυσίμων [$H_2=120000\text{kJ/kg}$ έναντι $40000=45000$ των συνήθων υγρών υδρογονανθράκων].

Σε σχέση με τα μίγματα αέρα-βενζίνης, τα μίγματα υδρογόνου-αέρα εξαιτίας της χαμηλότερης ενέργειας ανάφλεξης, είναι πιο ευαίσθητα στην πυρανόφλεξη, καθώς υπάρχουν πολλά πιθανά σημεία στον θάλαμο καύσης μιας ΜΕΚ υδρογόνου,

τα οποία μπορούν να υπερθερμανθούν (από εναποθέσεις άνθρακα λόγω πυρόλυσης του λιπαντικού, υπερθέρμανση των σπινθηριστών λόγω ανεπαρκούς ψύξης ή θερμικής αγωγιμότητας, προβληματική απαγωγή θερμότητας των βαλβίδων).

Μια ανεπιθύμητη προανάφλεξη, οδηγεί σε προανάφλεξη του μίγματος κατά τον χρόνο της συμπίεσης, πολύ πριν την παρουσία του πιστονιού στο ΑΝΣ του θαλάμου καύσης, καθώς και σε σημαντική φθορά στην μηχανή (λιώσιμο μετάλλων), λόγω της ανάπτυξης πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

Ότι προαναφέρθηκε (πυρανόφλεξη), αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα για την διαδικασία προσαρμογής μιας μηχανής εσωτερικής καύσης βενζίνης, σε καύση υδρογόνου. Οι θερμοκρασίες των αερίων, που αναπτύσσονται στο τέλος της καύσης μιας ΜΕΚ υδρογόνου, είναι υψηλότερες, επομένως και οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου από την καύση υδρογόνου. Επίσης, οι απώλειες ισχύος οδηγούν σε μη αξιόπιστη λειτουργία του κινητήρα.

6.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΚ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΟΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΝΟx

Πειράματα που έχουν γίνει, καταλήγουν στο ότι ο λόγος καυσίμου-αέρα είναι εκείνος που επιτρέπει την ομαλή λειτουργία του κινητήρα και αποτρέπει την παραγωγή ΝΟx. Ερευνητές μηχανολόγοι καταλήγουν σε μια περιοχή λόγου ισοδυναμίας αέρα-καυσίμου $\Phi(0.5 < \Phi < 1.1)$, εκτός της οποίας εξασφαλίζεται σταθερή λειτουργία με χαμηλές εκπομπές ΝΟx. Επίσης, παράγοντες όπως ο χρόνος έγχυσης και η πορεία της ανάφλεξης, πρέπει να ρυθμίζονται για κάθε κινητήρα υδρογόνου.

Η ΜΕΚ υδρογόνου απαιτεί μικρότερη προπορεία ανάφλεξης σε σχέση με μια ΜΕΚ βενζίνης, λόγω του ότι καίγεται ταχύτερα το υδρογόνο. Έτσι παράγονται λιγότερα ΝΟx.

Ακόμη, έχει αποδειχτεί ότι η χρήση “πεταλούδας” για τον έλεγχο του φορτίου του κινητήρα, αυξάνει τις εκπομπές των ΝΟx. Όμως ένας κινητήρας υδρογόνου, λόγω των ευρείων ορίων καύσης του, δεν χρειάζεται χρήση “πεταλούδας”. Επομένως, αυτό συνεπάγεται χαμηλότερες θερμοκρασίες στον θάλαμο της καύσης και μικρότερες εκπομπές ΝΟx.

Επίσης, η μεγάλη ταχύτητα διάχυσης επιτρέπει την ομογενοποίηση του μίγματος αέρα-καυσίμου, χωρίς την εφαρμογή των τεχνικών σχεδιασμού του θαλάμου καύσης που συνηθίζονται στους κινητήρες βενζίνης για την ενίσχυση της τυρβώδους ροής προς ομογενοποίηση του μίγματος. Έτσι, η τυρβώδης ροή περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τις ΜΕΚ βενζίνης ή ντίζελ και επιτυγχάνονται χαμηλότερες θερμοκρασίες στον θάλαμο καύσης, με επακόλουθη μείωση των εκπομπών ΝΟx. Τέλος, η επιλογή του υδρογόνου ως καύσιμο στην μορφή κρυογονικού υγρού, συμβάλλει στην διατήρηση του μίγματος στην εισαγωγή, σε χαμηλή θερμοκρασία και στην επίτευξη σχετικά χαμηλών μέγιστων θερμοκρασιών καύσης στην μηχανή.

Ένας μηχανισμός μείωσης των εκπομπών αυτών, είναι η ανακύκλωση καυσαερίων (EGR) και η κατάλυση των προϊόντων της καύσης στην εξαγωγή, καθώς και η έγχυση νερού στο μείγμα αέρα (μείωση της θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης).

7. ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Τα στοιχεία καυσίμου δεν είναι νέα ανακάλυψη. Σχεδόν 150 χρόνια έχουν περάσει από την πρωτοεμφάνισή τους, αλλά μέχρι πριν από μερικά χρόνια έπρεπε να είναι κανείς πολύ τολμηρός για να στοιχηματίσει πάνω στην εμπορική αξιοποίηση των στοιχείων καυσίμου και των υδρογόνων. Σήμερα όμως έχουν πληθύνει, τόσο οι υποστηρικτές τους, που μέχρι και ο αντιπρόεδρος της <GENERAL MOTORS> δήλωσε πρόσφατα ότι «στο μέλλον θα επιβληθεί ένα σύστημα μεταφορών βασισμένο στο υδρογόνο».

Το πρόβλημα είναι ένα-> Το σημείο αντιστροφής με 3 βασικά εμπόδια:

Το πρώτο αφορά την ασφάλεια. Το υδρογόνο αναφέρεται συχνά ως επικίνδυνο στοιχείο, κυρίως λόγω του ότι είναι εύφλεκτο. Εξάλλου δεν ξεχνιέται εύκολα η ανατίναξη του Τσάλεντζερ, λόγω ανάφλεξης του υδρογόνου. Πολλοί υποστηρίζουν, όμως, ότι δεν είναι πιο επικίνδυνο από την εξαιρετικά τοξική και διαβρωτική μεθανόλη ή το καρκινογόνο πετρέλαιο, που επίσης αναφλέγεται εύκολα.

Το δεύτερο πρόβλημα η αποθήκευση(θα αναφερθούμε εκτενώς παρακάτω). Το υδρογόνο έχει τη μικρότερη ατομική δομή απ' όλα τα στοιχεία, με αποτέλεσμα να μπορεί να περάσει ανάμεσα στην κρυσταλλική δομή του δοχείου του. Η διαρροή μπορεί να είναι πολύ σημαντική. Ταυτόχρονα είναι εξαιρετικά ελαφρύ. Η προφανής απάντηση είναι η συμπίεση του υδρογόνου. Ήδη δοκιμάζονται ντεπόζιτα που περιέχουν συμπιεσμένο υδρογόνο και μπορούν να εξασφαλίσουν αυτονομία μέχρι και 500 χιλιόμετρα. Η καλύτερη μορφή αποθήκευσης είναι βέβαια σε μορφή στερεού, που προσφέρει τόσο μεγαλύτερη ασφάλεια όσο και ευκολία χρήσης.

Μερικοί ερευνητές φιλοδοξούν να απαντήσουν σε αυτό το πρόβλημα με τους νανοαγωγούς άνθρακα, που πειραματικά δείχνουν να αποθηκεύουν εκπληκτικά μεγάλες ποσότητες μετατρέψιμου υδρογόνου. Αλλά προς το παρόν αυτή η λύση κινείται στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας. Γι' αυτό και προωθούνται μορφές αποθήκευσης που μοιάζουν με τις κλασικές μπαταρίες.

Το τρίτο και πιο σημαντικό πρόβλημα μοιάζει να είναι το οικονομικό. Όταν ο Μπέρναρντ Ρόμπερτσον, υπεύθυνος για την ανάπτυξη του υπερσύγχρονου αυτοκινήτου NGV της Ντέμλερ – Κράισλερ, ρωτήθηκε εάν είναι δυνατόν τα στοιχεία υδρογόνου να γίνουν κάποτε πιο φθηνά από τους συμβατικούς κινητήρες, απάντησε κατηγορηματικά. Ακόμα κι αν μοιάζει με εμμονή, συνάδει με τη σημερινή πραγματικότητα. Για παράδειγμα, οικιακά στοιχεία καυσίμου που έχουν ήδη εγκατασταθεί σε κατοικίες στη Νέα Υόρκη παράγουν την κιλοβατώρα σε τριπλάσιο κόστος απ' ό,τι αντίστοιχες πετρελαιογεννήτριες. Παρ' όλα αυτά οι ερευνητές πιστεύουν ότι μπορούν να κατεβάσουν σημαντικά το κόστος, ειδικά εάν αναπτυχθεί μαζικά η παραγωγή αντίστοιχων συστημάτων και εάν διαμορφωθεί δίκτυο διανομής.

Αλλά το ερώτημα του οικονομικού κόστους πρέπει να αντιμετωπίζεται πλέον σε συνολική όσο και πλανητική διάσταση. Με μια τέτοια ματιά, το κόστος της περιβαλλοντικής καταστροφής που προκαλείται από την καύση των υδρογονανθράκων είναι πραγματικά ανυπολόγιστο. Οι υποστηρικτές του υδρογόνου είναι πάντως ενθουσιώδεις όσον αφορά το μέλλον. Για παράδειγμα, ένα πειραματικό μοντέλο αυτοκινήτου, το Hypercar, κατασκευασμένο από την αρχή μέχρι το τέλος με τα νέα υλικά και με χρήση υδρογόνου, μπορεί ήδη να κινηθεί με το μισό κόστος από τα αυτοκίνητα που φέρουν τις πιο φθηνές μηχανές εσωτερικής καύσης.

Αλλά τα εμπόδια που πρέπει να υπερκεράσουν τα στοιχεία καυσίμου δεν τελειώνουν στα τρία βασικά. Υπάρχει ακόμα το πρόβλημα του όγκου και του βάρους τους, εξαιρετικά μεγάλα μείον για συσκευές προορισμένες για αυτοκίνηση. Πάντως, μέσα στα τελευταία χρόνια το στοιχείο καυσίμου σμικρύνθηκε από το μέγεθος ενός μεγάλου ψυγείου σε αυτό ενός φούρνου μικροκυμάτων.

Πολλά από τα προβλήματα μπορεί να τα υπερβεί η έρευνα, που αναμένεται πλέον να ενισχυθεί. Ας σημειωθεί ότι απέναντι στους δεκάδες χιλιάδες επιστήμονες που μισθώνονται για την αναζήτηση βέλτιστων μηχανών εσωτερικής καύσης, υπάρχουν μόνο 5.000 υποστηρικτές της νέας εποχής του υδρογόνου. Πάντως, πολλές εταιρείες υποστηρίζουν ότι δεν μπορεί το υδρογόνο να κυριαρχήσει με μια ανάσα, έστω και μετά την τελειοποίηση των συστημάτων του τα επόμενα 10-20 χρόνια, αλλά ότι πρέπει να προχωρήσουμε σταδιακά. Μια από τις σκέψεις είναι η καύση υδρογόνου μέσα σε μηχανή εσωτερικής καύσης. Η Φορντ, για παράδειγμα, πειραματίστηκε στο μοντέλο P2000 H21CE, το οποίο παρουσίασε άνοδο της απόδοσής του κατά 25 - 30%.Γ. Ε.

8. ΓΕΝΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ



Εικόνα 8.1



Εικόνα 8.2



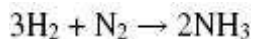
Εικόνα 8.3

8.1 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

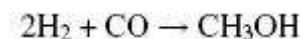
Το υδρογόνο χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία (Εικόνα 8.1) σε μεγάλο ποσοστό για την παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου, μεθανόλης, βενζινών και μυρμηκικού οξέος (HCOOH). Αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή άλλων προϊόντων, όπως εκρηκτικά, λιπάσματα, αντιψυκτικά κτλ. Η τεχνολογία τροφίμων χρησιμοποιεί το υδρογόνο για την παρασκευή τεχνητών λιπών με υδρογόνωση ελαίων. Το υδρογόνο επίσης χρησιμοποιείται από την επιστήμη της φυσικής με εφαρμογή στη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων. Με τη μορφή υγρού βρίσκει χρήση στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας

Αναλυτικά:

Η κυριότερη χρήση του είναι για την παραγωγή αμμωνίας (NH_3). Η αμμωνία είναι δυνατόν να παρασκευαστεί με την μέθοδο Haber, κατά την οποία το υδρογόνο και το άζωτο αντιδρούν μεταξύ τους παρουσία καταλυτών υπό πίεση 1000 atm και θερμοκρασία 500°C σύμφωνα με την αντίδραση:



Μεγάλα ποσά υδρογόνου, εξάλλου, χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή μεθυλικής αλκοόλης σύμφωνα με την αντίδραση:



η οποία πραγματοποιείται παρουσία ορισμένων μικτών καταλυτών, που περιέχουν τα ξειδία του ψευδαργύρου και του χρωμίου σε θερμοκρασίες μεταξύ 300 και 375°C και πιέσεις μεταξύ 275 και 350 atm. Επίσης μια άλλη σημαντική εφαρμογή αφορά την καταλυτική υδρογόνωση οργανικών ενώσεων. Τα ακόρεστα φυτικά και ζωικά λίπη και έλαια είναι δυνατόν να υποβληθούν σε υδρογόνωση για την παραγωγή μαργαρίνης κλπ. Επίσης χρησιμοποιείται για την αναγωγή αλδευδών και των κετόνων, όπως επίσης και των λιπαρών οξέων και των εστέρων τους στις αντίστοιχες αλκοόλες. Οι αρωματικές ενώσεις είναι επίσης δυνατόν να ανχθούν στις αντίστοιχες αλεικυκλικές ενώσεις, όπως συμβαίνει π.χ. κατά την μετατροπή του βενζολίου σε κυκλοεξάνιο και της φαινόλης σε κυκλοεξανόλη. Μια άλλη χρήση του υδρογόνου αφορά στην άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε μεταλλικό σίδηρο. Αναγωγικές ατμόσφαιρες χρησιμοποιούνται για την ψύξη μεγάλων ηλεκτροκινητήρων. Τα αεροπορικά αερόστατα του Β' Παγκοσμίου πολέμου χρησιμοποιούσαν υδρογόνο για την πλήρωσή τους.

8.2 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

Οι περισσότερες εφαρμογές του MRI- μαγνητικές ιδιότητες του πυρήνα-στηρίζονται στην απεικόνιση του υδρογόνου, που βρίσκεται στα μόρια του νερού. Στον μαγνητικό συντονισμό, ένα δείγμα τοποθετείται μέσα σε ισχυρό μαγνητικό πεδίο (περίπου χίλιες φορές μεγαλύτερο από αυτό της Γης) και στη συνέχεια ακτινοβολείται με ραδιοκύματα. Οι πυρήνες των ατόμων υδρογόνου στο δείγμα, απορροφούν τα ραδιοκύματα και στη συνέχεια τα επανεκπέμπουν σε συχνότητα που εξαρτάται από την μαγνητική ροπή του πυρήνα και την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Μετρώντας τα κύματα αυτά είναι δυνατόν να μάθουμε για τη χημική δομή του δείγματος. Οι ιστοί απεικονίζονται με διαφορετικό τρόπο, γιατί διαφέρει η περιεκτικότητά τους σε νερό. Όμως αυτοί που έχουν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε νερό φαίνονται πιο ανοικτοί, ενώ η κατανομή του νερού και άλλων μικρών μορίων που είναι πλούσια σε υδρογόνο π.χ. λιπίδια, αλλοιώνεται σε αρκετές παθολογικές καταστάσεις όπως στον καρκίνο. Είναι γνωστό ότι όταν βρεθούν μέσα σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, οι πυρήνες του υδρογόνου περιστρέφονται με συχνότητα που εξαρτάται από την ένταση του πεδίου, όπως και όλα τα άτομα του υδρογόνου είναι ευθυγραμμισμένα προς μια ιδιαίτερη κατεύθυνση. Η ενέργειά τους αυξάνεται αν απορροφήσουν ραδιοκύματα της ίδιας συχνότητας με την οποία περιστρέφονται (συντονισμός). Όταν ο παλμός τελειώσει οι πυρήνες επιστρέφουν πάλι στην προηγούμενη ενεργειακή τους κατάσταση και εκπέμπουν ραδιοκύματα. Αυτά λοιπόν τα ραδιοκύματα, που εκπέμπονται από τους πυρήνες- ραδιομεταδότες, συλλαμβάνονται και μετρούνται από ειδικά μηχανήματα. Έτσι εντοπίζοντας την

ακριβή θέση των πυρήνων υδρογόνου, ο μαγνητικός τομογράφος μπορεί να αναδημιουργήσει την ακριβή εικόνα ενός οργάνου. Και, φυσικά, ανάλογα επιτρέπουν στους υπολογιστές να καθορίσουν την περιεκτικότητα σε νερό κάθε τμήματος του ιστού που ανιχνεύεται.

8.3 ΤΟ ΥΔΡΟΓΟΝΟ ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η Διαστημική Τεχνολογία (Εικόνα 8.2) στηρίχτηκε πάνω στην καύση υδρογόνου. Κάθε πτήση ενός διαστημικού λεωφορείου εξαρτάται από τεχνολογία υψίστης αιχμής, ιδιαίτερα εκπαιδευμένους τεχνικούς, και 50 βυτιοφόρα καυσίμων. Τα βυτιοφόρα κουβαλούν πάνω από 150 τόνους καυσίμου υδρογόνου σε μια απόσταση 600 μιλίων, από εκεί που παράγεται, κοντά στη Νέα Ορλεάνη, στο διαστημικό κέντρο Kennedy, μια τρομακτική δηλαδή μεταφορική εργασία, που κοστίζει εκατοντάδες χιλιάδες δολαρίων κάθε φορά που τίθεται το διαστημικό λεωφορείο σε τροχιά.

Επιδιώκοντας να αναπτυχθεί νέα τεχνολογία για να παραχθεί το υδρογόνο πολύ πιο κοντά στο διαστημικό κέντρο -και με έναν φιλικότερο προς το περιβάλλον τρόπο- η NASA προκηρύσσει ένα βραβείο σε μια ομάδα Πανεπιστημίων της Φλώριδας ύψους 8.1 εκατομμυρίων δολαρίων για την έρευνα του υδρογόνου

8.4 ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Μια ομάδα επιστημόνων από την Πάτρα συνεργάζεται με τη Φολκσβάγκεν στην κατασκευή κυψελίδων υδρογόνου για τα αυτοκίνητα του μέλλοντος. Το Ινστιτούτο Μηχανικής Υψηλών Θερμοκρασιών και το Πανεπιστήμιο Πάτρας δημιούργησαν μια εταιρεία υψηλής τεχνολογίας που αναπτύσσει συνεργασία με διεθνή ερευνητικά κέντρα και μεγάλες βιομηχανίες όπως ο γερμανικός κολοσσός Φολκσβάγκεν, ενώ παράλληλα οι Έλληνες επιστήμονες απλώνουν τα φτερά τους αναζητώντας συνεργασίες και πέραν του Ατλαντικού, «Αυτήν τη στιγμή, η Advent Technologies διαθέτει διατάξεις μεμβράνης ηλεκτροδίου σε εταιρείες που κατασκευάζουν ολοκληρωμένα συστήματα κυψελίδων καυσίμου. Ανάμεσα στους πιο γνωστούς πελάτες της είναι η γερμανική εταιρεία Φολκσβάγκεν, η οποία αναπτύσσει οχήματα τεχνολογίας υδρογόνου υψηλής θερμοκρασίας», αναφέρει ο κ. Στέλιος Νεοφυτίδης, διευθυντής ερευνών στο Ινστιτούτο Μηχανικής Υψηλών Θερμοκρασιών του Πανεπιστημίου Πάτρας και πρόεδρος της (spin off) εταιρείας που δραστηριοποιείται στο Επιστημονικό πάρκο Πατρών. Η δημιουργία της Advent Technologies στηρίχθηκε σε τεχνογνωσία η οποία αναπτύχθηκε στο ΙΤΕ-ΕΙΧΗΜΥΘ και στο Πανεπιστήμιο Πατρών, ύστερα από ερευνητική προσπάθεια τα τελευταία 10 χρόνια, στο πλαίσιο κυρίως ευρωπαϊκών αλλά και εθνικών ερευνητικών έργων. Η κύρια δραστηριότητα της εταιρείας εστιάζεται στην πρωτοποριακή τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου υψηλής θερμοκρασίας.

Η αρχή λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμων είναι παρόμοια με μια μπαταρία. Πρόκειται για μια μηχανή υδρογόνου που παράγει απευθείας ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μπορεί να αξιοποιηθεί για την κίνηση οχημάτων. Το σύστημα

αυτό έχει βαθμό απόδοσης έως και 3 φορές μεγαλύτερο από τις υπάρχουσες συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης.

Δηλαδή είναι 3 φορές πιο αποτελεσματικό από τους κινητήρες των αυτοκινήτων. «Εμείς ασχολούμαστε με την καρδιά των υλικών που απαιτούνται, δηλαδή τις πολυμερικές μεμβράνες, τα ηλεκτρόδια και τις διατάξεις μεμβράνης ηλεκτροδίου. Όλα αυτά μαζί εισάγονται σε έναν αντιδραστήρα που αποκαλούμε συστοιχία και αποτελούν με άλλα λόγια την κινητήριο δύναμη αυτής της τεχνολογίας. Συνθέτουμε τα χημικά υλικά και τη διάταξη των ηλεκτροδίων. Αυτό το υλικό που μοιάζει με μια μεμβράνη είναι η καρδιά της κυψελίδας καυσίμου. Η Φολκσβάγκεν έχει ένα μεγάλο ερευνητικό κέντρο που ασχολείται με την ανάπτυξη κυψελίδων υψηλής θερμοκρασίας και έχουν ενδιαφερθεί να φορέσουν στην τεχνολογία τους, τα δικά μας υλικά. Τώρα είμαστε στο στάδιο των προτύπων. Η συνεργασία με τη Φολκσβάγκεν βρίσκεται σε εξέλιξη, αν και η παραγωγή αυτοκινήτων υπολογίζουμε να ξεκινήσει μετά το 2015. Τώρα χρησιμοποιούν τα δικά μας υλικά για τους κινητήρες του μέλλοντος», λέει ο κ. Βασίλης Γρηγορίου, ερευνητής στο Ινστιτούτο Μηχανικής Υψηλών Θερμοκρασιών. «Σήμερα στην εταιρεία απασχολούμε περίπου 20 άτομα, εκ των οποίων οι 14 έχουν κάνει διδακτορικά ή μεταπτυχιακά. Πολλοί είναι πρώην φοιτητές, καθώς κατέχουν εξειδικευμένη γνώση. Παράλληλα, έχουμε θυγατρική στις ΗΠΑ. Μαζί με το Πανεπιστήμιο Northeastern της Βοστώνης αναπτύσσουμε κοινή τεχνολογία, την οποία εκμεταλλεύεται εμπορικά η εταιρεία».

8.5 ΕΥΡΕΣΙΤΕΧΝΙΕΣ

Τηλεκατευθυνόμενο όχημα με καύσιμο υδρογόνο, χωρίς εκπομπή ρύπων
(Βραβεύτηκε από την περιφερειακή επιτροπή < Έργο Δαίδαλος 2003-2004 >):



Εικόνα 8.4

Φέρει μια φιάλη υδρογόνου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το υδρογόνο παρέχεται μέσω ειδικού συστήματος στην κυψέλη, η οποία παράγει την κατάλληλη τάση. Η παραγόμενη τάση διοχετεύεται μέσω αγωγών στην συστοιχία μπαταριών του οχήματος με αποτέλεσμα να είναι συνεχώς φορτισμένες οι μπαταρίες. Το όχημα παίρνει κίνηση από 2 ηλεκτροκινητήρες. Ένα δοχείο υδριδίων μετάλλων χωρητικότητας 75 cm^3 έχει αποθηκευμένο υδρογόνο 100 λίτρα, το οποίο παρέχει στην κυψέλη καυσίμου πίεση περίπου 2 Atm.

Η μελέτη και κατασκευή του έγινε στο Σύγχρονο Σχολικό Εργαστηριακό Κέντρο του Ηρακλείου.



Εικόνα 8.5

-Η πρώτη στον κόσμο εμπορική συσκευή παραγωγής υδρογόνου από βιοκαύσιμα, είναι γεγονός. Την κατασκεύασε η ελληνική εταιρεία «ΕΛΒΙΟ Α.Ε.-Συστημάτων Παραγωγής Υδρογόνου και Ενέργειας» και έχει τη δυνατότητα παράγωγής, υδρογόνου από αιθανόλη (οινόπνευμα)

Ο λόγος για τη συσκευή GH2 (Green HydroGenerator), η οποία λειτουργεί με επιτυχία στην έδρα της εταιρείας στο Επιστημονικό Πάρκο Πατρών από τον Δεκέμβριο 2004 και πλέον, έπειτα από εξαντλητικές δοκιμές, είναι έτοιμη για παραγωγή. Με το υδρογόνο να θεωρείται ήδη το καύσιμο του μέλλοντος, ως καύσιμο των κυψελίδων καυσίμου (fuel cells), που αντικαθιστούν ήδη τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, η συσκευή GH2 λύνει το πρόβλημα της ακριβής και επικίνδυνης μεταφοράς του. Η GH2 παράγει υδρογόνο επιτόπου, οικονομικά & οικολογικά.

Χάρη σε μια σειρά από ειδικούς και εξελιγμένους στο μέγιστο βαθμό καταλύτες, προκαλούνται μια σειρά από ελεγχόμενες αντιδράσεις στο διάλυμα αιθανόλης και νερού που εισάγεται στο σύστημα. Είναι η μοναδική στο είδος της που χρησιμοποιεί αιθανόλη ως πρώτη ύλη, ενώ στην διαδικασία χρησιμοποιούνται παγκόσμια πρωτοποριακές μέθοδοι, (όπως η εμπλοκή του παραγόμενου ατμού και θερμοκρασίας στην λειτουργία σαν ενισχυτικό της παράγοντα), που της χαρίζει αυτονομία.

Στην λειτουργία της ενσωματώνει το σύνολο της παγκόσμιας τεχνολογίας αιχμής, καθώς:

1. Λειτουργεί αθόρυβα, χωρίς να εκπέμπει κανένα απολύτως ρύπο στο περιβάλλον γεγονός που την κάνει ιδανική για προστατευόμενα οικοσυστήματα.

2. Λειτουργεί εντελώς αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται συνεχώς χειριστή, με απόλυτη ασφάλεια.

3. Δεν απαιτεί την συντήρηση που χρειάζονται τα μηχανικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, αφού λειτουργεί περίπου όπως οι μπαταρίες.

4. Καταλαμβάνει σαράντα φορές μικρότερο όγκο από αναμορφωτές συμβατικής τεχνολογίας.

5. Μπορεί να χρησιμοποιεί από ένα φάσμα πρώτων υλών –αιθανόλη, μεθάνιο LPG.

6. Είναι οικονομικότερη των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας, (όπως οι ηλεκτρογεννήτριες ντίζελ) συνεργαζόμενο με τα περισσότερα είδη fuel cell.

7. Είναι σχεδιασμένη για εύκολη εγκατάσταση και μεταφορά.

8. Χρησιμοποιώντας βιο-αιθανόλη δίνει για πρώτη φορά τη δυνατότητα για παραγωγή 100% ανανεώσιμης και φθηνής ενέργειας, αφού η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί φθηνά και οικολογικά από ειδικά φυτά (ή από αγροτικά και οργανικά απόβλητα) στα περισσότερα σημεία του πλανήτη.

8.6 ΣΧΕΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΠΟΥ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ:

HI2H2: Το έργο αυτό θα χρησιμοποιεί τα νεώτερα υλικά και διαδικασίες παραγωγής για να αναπτύξει και να δοκιμάσει μια καινοτόμο ηλεκτρολυτική κυψέλη υψηλής θερμοκρασίας για αποτελεσματική και οικονομική παραγωγή υδρογόνου.

BIO-H2-Το έργο αυτό ερευνά τη δυνατότητα αναμόρφωσης της βιοαιθανόλης για την παραγωγή υδρογόνου εντός οχήματος.

HyNet: Το θεματικό αυτό δίκτυο φέρνει σε επικοινωνία ενδιαφερόμενους φορείς για την πρόταση ενός ευρωπαϊκού χάρτη υδρογόνου που θα εντοπίζει στρατηγικές μετάβασης από τα σημερινά ενεργειακά συστήματα με βάση τα ορυκτά σε μελλοντικά συστήματα βιώσιμης ενέργειας, που θα βασίζονται κατά μεγάλο βαθμό στην ηλεκτρική ενέργεια και το υδρογόνο. Η πρωτοβουλία αυτή οδήγησε στο έργο HYWAYS, το οποίο διεξάγει μια εις βάθος τεχνικο-κοινωνικο-οικονομική ανάλυση των δυνατοτήτων παραγωγής υδρογόνου.

EIHPII: Το Ευρωπαϊκό ενοποιημένο σχέδιο υδρογόνου είναι ένα προ-τυποποιητικό σχέδιο E&TA, 20 εταίρων, που ασχολείται με τη συνολική εναρμόνιση των κανονισμών της ΕΕ για τα οχήματα που κινούνται με υγρό και συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο και την απαραίτητη υποδομή ανεφοδιασμού.

HYSAFE: Αυτό το δίκτυο αριστείας φέρνει σε επικοινωνία σημαντικές βιομηχανικές εταιρείες και ερευνητικούς οργανισμούς για να συνεργαστούν στον τομέα της έρευνας σε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων ασφάλειας υδρογόνου για οχήματα υδρογόνου και υποδομές.

STORHY: Το έργο αυτό, που προωθείται από μεγάλους ευρωπαϊκούς κατασκευαστές αυτοκινήτων και προμηθευτές υδρογόνου, έχει ως στόχο την ανάπτυξη ανθεκτικών, ασφαλών και αποτελεσματικών συστημάτων αποθήκευσης υδρογόνου εντός του οχήματος, τα οποία θα είναι κατάλληλα για χρήση σε οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης ή στοιχεία καυσίμου.

CUTE: Αυτό είναι το μεγαλύτερο έργο επίδειξης παγκοσμίως και περιλαμβάνει ένα στόλο λεωφορείων που κινούνται με στοιχεία καυσίμου. Εννέα ευρωπαϊκές πόλεις λειτουργούν 27 τέτοια λεωφορεία σε κανονικά δρομολόγια.

9. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ

Το 98% της ενέργειας που καταναλώνεται στις μεταφορές προέρχεται από πετρέλαιο και τα παράγωγά του. Η εξέλιξη της τεχνολογίας που τώρα χρησιμοποιούμε, ελάχιστα μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση όσον αφορά το επίπεδο του CO₂. Υπάρχει επομένως ανάγκη να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες στους τομείς των μηχανών και των καυσίμων. Δύσκολα μπορεί να αναφερθεί κάποια περίπτωση μεταφορικού μέσου όπου το υδρογόνο δεν θα μπορούσε να βρει εφαρμογή. Από την στρατηγική της Ε.Ε. για τη μείωση των εκπομπών CO₂ δεν θα μπορούσε βεβαίως να λείπει ο τομέας των αυτοκινήτων, αφού είναι υπεύθυνος για το 12% των συνολικών εκπομπών. Στις προτάσεις της Ε.Ε., η αυτοκινητοβιομηχανία ανταποκρίνεται ενεργά και μέσω προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης κατάφερε να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές CO₂ από τα σύγχρονα αυτοκίνητα. Όμως οι νέες απαιτήσεις θέλουν τη μείωση να φθάσει σε ποσοστό 20% μέσα σε 7 χρόνια.

9.1 ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΠΟΥ ΚΑΝΟΥΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ H₂

-Μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Mazda, Bmw, Honda, Mercedes, Ford, General Motors, έχουν κατασκευάσει πρωτότυπα οχήματα Υδρογόνου που λειτουργούν, είτε με κυψέλες καυσίμου, είτε με μετατροπές ήδη υπάρχοντων κινητήρων.

Η εξέλιξη του περιστροφικού κινητήρα υδρογόνου για την Mazda:

1991: Παρουσιάστηκε στην έκθεση του Τόκιο το μοντέλο HRX με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου.

1993: Παρουσιάστηκε στην έκθεση του Τόκιο το 2ο μοντέλο HRX-II με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου. Η Mazda εξέλιξε επίσης ένα πρωτότυπο Roadster με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου.



Εικόνα 9.1: Τα πρωτότυπα μοντέλα της MAZDA, HR-X και HR-X2

1995:Το μοντέλο Capella Cargo κινούμενο επίσης με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου έγινε το πρώτο όχημα τέτοιου τύπου το οποίο κυκλοφόρησε σε δημόσιο δρόμο της Ιαπωνίας.

2003:Παρουσιάστηκε η πρωτότυπη έκδοση του RX-8 Hydrogen RE (Εικ. 9.2) στην έκθεση του Tokyo .

2006:Η Mazda ξεκίνησε την εμπορική προώθηση, με την μορφή εκμίσθωσης, του RX-8 Hydrogen RE, του πρώτου μοντέλου παγκοσμίως με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου .

2006:Παρουσιάστηκε το πρωτότυπο Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid στην έκθεση της Γενεύης.

2007:Η Mazda ανακοίνωσε ότι η οργάνωση HyNor , η οποία είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση της Λεωφόρου Υδρογόνου της Νορβηγίας (Hydrogen Road of Norway), θα αποκτήσει 30 RX-8 Hydrogen RE, στα πλαίσια του προγράμματος εξάπλωσης των υποδομών υδρογόνου στην Νορβηγία.

2008:Η Mazda ξεκίνησε την εμπορική προώθηση, με την μορφή εκμίσθωσης, του Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid στην Ιαπωνία.

Η Mazda για την αποθήκευση του υδρογόνου χρησιμοποιεί την μέθοδο της απορρόφησης υδρογόνου σε υδρίδια μετάλλων και αποφάσισε να κάνει το επόμενο βήμα στην χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, και πιο συγκεκριμένα του υδρογόνου, εξελίσσοντας την υβριδική έκδοση του sport πολυμορφικού μοντέλου της γκάμας, του Mazda5 Hydrogen RE Hybrid..



Εικόνα 9.2: Το πρωτότυπο μοντέλο υδρογόνου της MAZDA,RX-8 με τον κινητήρα περιστρεφόμενου εμβόλου Wankel

Το νέο υβριδικό πολυμορφικό της Mazda, με τις εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές ρύπων, είναι ιδιαίτερα πρακτικό, αφού μπορεί να μεταφέρει πέντε επιβάτες με τις αποσκευές τους, ενώ χάρη στις βελτιώσεις που δέχθηκε ο κινητήρας υδρογόνου και σε συνδυασμό με την χρήση νέου ηλεκτρικού - υβριδικού συστήματος, το μοντέλο διαθέτει εξαιρετική οδική συμπεριφορά όπως επίσης και διπλάσια αυτονομία - με την αποκλειστική χρήση υδρογόνου - σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα υδρογόνου που έχει κατασκευάσει η εταιρεία στο παρελθόν.

Το Mazda5 Hydrogen RE Hybrid είναι ότι πιο νέο στην προσπάθεια της Mazda για την εξέλιξη και κατασκευή ρεαλιστικών οχημάτων που κινούνται με υδρογόνο. Το 2006, η Mazda ήταν η πρώτη κατασκευάστρια εταιρεία στον κόσμο που κυκλοφόρησε εμπορικά στην Ιαπωνία (με την μορφή χρονομίσθωσης) το πρώτο

μοντέλο με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου, το coupe RX-8 Hydrogen RE, ένα sport μοντέλο το οποίο μπορεί να κινηθεί είτε με υδρογόνο είτε με βενζίνη, προσφέροντας "καθαρές" επιδόσεις αλλά και οδηγική απόλαυση. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί τον γνωστό περιστροφικό κινητήρα RENESIS του κανονικού RX-8, με ειδική όμως μετατροπή ώστε να καταναλώνει υδρογόνο. Η διαδικασία αυτή απαιτεί μικρές αλλαγές στον κινητήρα, έτσι ώστε μετά την μετατροπή, ο ίδιος περιστροφικός κινητήρας, να μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του με την χρήση βενζίνης, όπως και πριν.

Το 2006 επίσης, η Mazda παρουσίασε στην διεθνή έκθεση της Γενεύης το πρωτότυπο Mazda5 Hydrogen RE Hybrid concept, το οποίο απέσπασε ιδιαίτερα κολακευτικά σχόλια. Τέλος το 2007 η Νορβηγική εταιρεία HyNor (Hydrogen Road of Norway) ανακοίνωσε την εκμίσθωση τριάντα οχημάτων RX-8 Hydrogen RE, με σκοπό την προώθηση του προγράμματος χρήσης υδρογόνου σαν εναλλακτικό καύσιμο.

Κύρια Χαρακτηριστικά:

Περιστροφικός κινητήρας RENESIS, υβριδικής τεχνολογίας δύο τύπων καυσίμου (υδρογόνου & βενζίνης), ο οποίος αποδίδει συνολική ισχύ 150 ίππων (110Kw), 40% περισσότερη ισχύ από την υβριδική έκδοση του RX-8 Hydrogen RE.

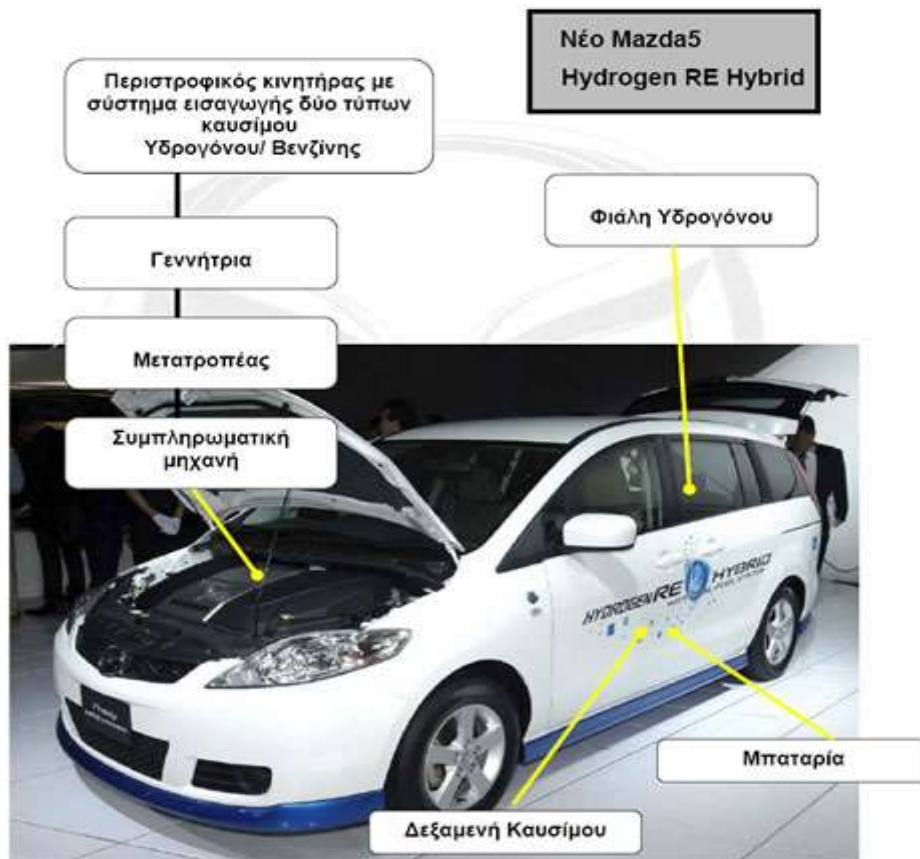
Με την χρήση είτε υδρογόνου, είτε βενζίνης, ο περιστροφικός κινητήρας δίνει ενέργεια σε μία μηχανική γεννήτρια και σε μία μπαταρία ιόντων λιθίου, η οποία με την σειρά της ενεργοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα, αποδίδοντας στους τροχούς συνολική ισχύ 150 ίππων.

Μειωμένη κατανάλωση χάρη στο "έξυπνο" σύστημα απενεργοποίησης του κινητήρα, όταν το αυτοκίνητο είναι σε στάση.

100% αύξηση της αυτονομίας, κατά την χρήση καυσίμου υδρογόνου, στα 200χλμ (από τα 100χλμ. του RX-8 Hydrogen RE). Ηλεκτρικές μπαταρίες τοποθετημένες κάτω από το δάπεδο του αυτοκινήτου.

Το Mazda5 Hydrogen RE Hybrid (Εικ. 9.3) περιλαμβάνει έναν ειδικά εξελιγμένο περιστροφικό κινητήρα RENESIS, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο διαφορετικούς τύπους καυσίμου (υδρογόνο + βενζίνη), ενώ διαθέτει αυξημένη χωρητικότητα υδρογόνου, όπως επίσης και έναν ηλεκτροκινητήρα, με αποτέλεσμα να παράγει 40% περισσότερη ισχύ σε σχέση με το ευχάριστο οδηγικά RX-8 Hydrogen RE. Για να επιτύχουν την αύξηση της απόδοσης, οι μηχανικοί άλλαξαν την γενικότερη αρχιτεκτονική του κινητήρα - από την εμπρόσθια, διαμήκη τοποθέτηση και την πίσω κίνηση του RX-8 Hydrogen RE, στην εμπρόσθια, εγκάρσια τοποθέτηση με κίνηση στους εμπρός τροχούς του Mazda5 Hydrogen RE Hybrid - όπως επίσης και την λειτουργία του συστήματος εισαγωγής/εξαγωγής με αποτέλεσμα την περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας καύσης. Ο κινητήρας επίσης, διαθέτει ένα νέο υβριδικό σύστημα το οποίο μετατρέπει την ενέργεια από την καύση του υδρογόνου ή της βενζίνης, σε ηλεκτρισμό, ενέργεια που χρησιμοποιείται για την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα.

Χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης, το σύστημα προσφέρει εξαιρετική απόδοση και άμεση απόκριση για δυναμικές επιδόσεις σε συνδυασμό με χαμηλή κατανάλωση και μειωμένες εκπομπές ρύπων.



Εικόνα 9.3

Τα κύρια σημεία του υβριδικού συστήματος περιλαμβάνουν τον περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου/βενζίνης, την γεννήτρια, τον μετατροπέα, την συμπληρωματική μηχανή και την μπαταρία. Όλα τα μέρη συνεργάζονται ώστε να παράγουν ηλεκτρισμό και να φορτίζουν ή να αποφορτίζουν την μπαταρία ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης στις παρακάτω καταστάσεις:

Κατά την επιτάχυνση από στάση, η ενέργεια για την κίνηση του οχήματος προέρχεται από την μπαταρία.

Κατά την οδήγηση με σταθερή ταχύτητα η ενέργεια για την κίνηση του οχήματος προέρχεται από την ενέργεια που παράγει η γεννήτρια μέσω του περιστροφικού κινητήρα και της μπαταρίας. Κατά την επιβράδυνση, η ενέργεια που παράγεται χρησιμεύει στην επαναφόρτιση με την βοήθεια της μηχανής. Όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο, ο περιστροφικός κινητήρας υδρογόνου διακόπτει την λειτουργία του, εκτός εάν η μπαταρία χρειάζεται επαναφόρτιση.

Το Mazda5 Hydrogen RE Hybrid με το υβριδικό σύστημα κίνησης όχι μόνο δείχνει τον δρόμο για το μέλλον της κίνησης με υδρογόνο αλλά πηγαίνει και ένα βήμα παραπάνω, αφού το εσωτερικό του μοντέλου είναι κατασκευασμένο με νέα υλικά από βιοπλαστικό (bioplastic) τα οποία είναι ανακυκλώσιμα και δεν βλάπτουν το περιβάλλον. Η Mazda είναι η πρώτη κατασκευάστρια εταιρεία η οποία εξέλιξε ένα νέο είδος πλαστικού (βιο-πλαστικό) με βάση φυτικά στοιχεία. Το νέο αυτό υλικό προσφέρει ποιοτική εμφάνιση στο εσωτερικό αλλά και ανθεκτικότητα στην καθημερινή χρήση. Η γενικότερη προσπάθεια για την κατασκευή του νέου αυτού "πράσινου" υλικού, έγινε από την Mazda σε συνεργασία με διάφορα πανεπιστήμια αλλά και της τοπικής κυβέρνησης της επαρχίας της Χιροσίμα, όπου ευρίσκεται η Mazda.

Για την εξέλιξη του νέου προϊόντος συνεργάστηκε το τμήμα έρευνας και εξέλιξης της Mazda με την εταιρεία Teijin Ltd, η οποία ειδικεύεται σε αυτόν τον τομέα. Η παραπάνω συνεργασία είχε σαν αποτέλεσμα - για πρώτη φορά στην ιστορία της αυτοκινητοβιομηχανίας - την κατασκευή υφάσματος από 100% βιολογικά υλικά, τα οποία είναι άφλεκτα, αδιάβροχα και ιδιαίτερα ανθεκτικά, ιδανικά για χρήση στα καθίσματα αυτοκινήτων.

Αναλυτικότερα τα σημεία όπου έχουν χρησιμοποιηθεί τα νέα βιολογικά υλικά Mazda 5 Hydrogen RE Hybrid είναι τα εξής:

-Επενδύσεις καθισμάτων, Κεντρική κονσόλα, Κονσόλα κιβωτίου ταχυτήτων, Κάτω μέρος πίνακα οργάνων, Ντουλαπάκι συνοδηγού

α	Όχημα	Μήκος	4,555mm
		Πλάτος	1,745mm
		Ύψος	1,615mm
		Μεταξόνιο	2,750mm
		Επιβάτες	5
Κινητήρας	Κινητήρας	Τύπος	Περιστροφικός κινητήρας RENESES υδρογόνου/βενζίνης (δύο τύπων καυσίμου)
		Καύσιμ	Υδρογόνο & Βενζίνη
Μηχανή	Μηχανή	Μέγιστη Ισχύς	150hp/110kw
		Τύπος	Συγχρονισμένη μηχανή
Γεννήτρια	Γεννήτρια		Συγχρονισμένη μηχανή
Μπαταρία	Μπαταρία	Τύπος	Ιόντων Λιθίου
Ελαστικά	Ελαστικά	Εμπρός	195/65 R15 DUNLOP ENASAVE (ελαστικά άνευ πετρελαίου)
		Πίσω	

Πίν. 9.4: Προδιαγραφές Mazda5 Hydrogen RE Hybrid



Εικόνα 9.5: Η δεξαμενή υδρογόνου στον χώρο αποσκευών του οχήματος

-Mazda 5/Premacy Hydrogen RE Hybrid Minivan(2005)

Διαθέτει ηλεκτροκινητήρα για την εκκίνηση του οχήματος από στάση, σύστημα επανάκτησης της ενέργειας κατά την επιβράδυνση, καθώς και σύστημα διακοπής της λειτουργίας του κινητήρα κατά την ακινητοποίηση του οχήματος. Οι μηχανικοί βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά του και αποδίδει ιπποδύναμη 140 hp, αυξημένη κατά 27% σε σχέση με το προηγούμενο. Το ρεζερβουάρ υδρογόνου περιέχει ποσότητα ικανή να προσφέρει αυτονομία έως 200 km.



Εικόνα 9.6: Το πρωτότυπο MAZDA Premacy Hydrogen RE Hybrid Minivan

Η Grupo Hidrógeno (Υδρογόνο Group)

από το Πανεπιστήμιο της Ναβέρα στην Ισπανία, έχει αναπτύξει μια μέθοδο για κινητήρα εσωτερικής καύσης, ώστε να λειτουργεί με υδρογόνο. Το Πανεπιστήμιο

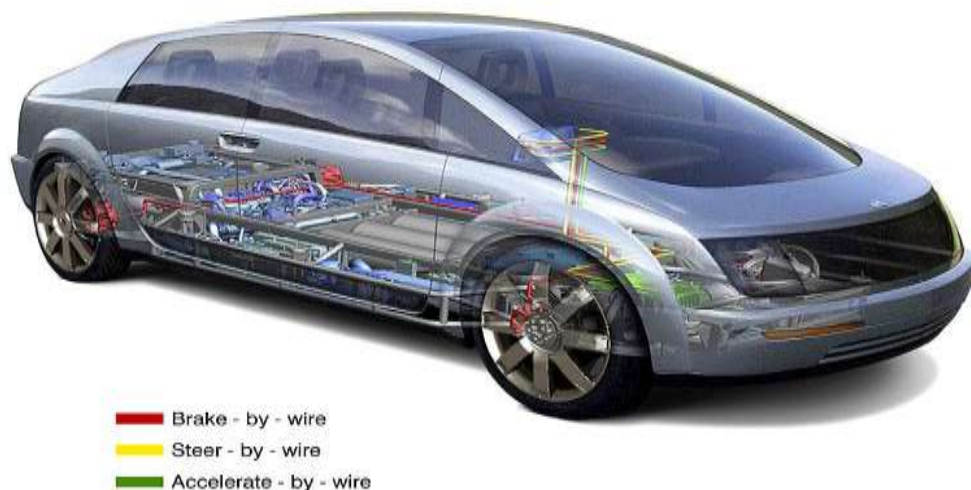
χρησιμοποιεί την αιολική ενέργεια (powered emulator) για να ηλεκτρολύει το νερό και να δημιουργεί υδρογόνο για τον κινητήρα.



Εικόνα 9.7: Η ισπανική μηχανή υδρογόνου, είναι σε ονομαστική ταχύτητα της τάξης των 84 μίλια/ώρα και φτάνει σε RPM τις 5000 στροφές.

Η General Motors

αποκάλυψε στην περσινή έκθεση αυτοκινήτου στο Παρίσι το πρώτο, σύμφωνα με την εταιρία, αυτοκίνητο που θα μπορούσε να μπει σε ευρεία παραγωγή και να κυκλοφορήσει στους δρόμους (Εικ. 9.8).



Εικόνα 9.8: Το Hy-Wire ίσως αποδειχθεί το πρώτο, μαζικής παραγωγής, αυτοκίνητο μηδενικών ρύπων και σε χρόνο πολύ μικρότερο από τον αναμενόμενο.

Οχήματα υδρογόνου από την BMW:

-Η πρώτη παρουσίαση κινητήρα υδρογόνου από την BMW, έγινε το 1998. Το BMW 728Hi, είχε εξακύλινδρο κινητήρα καύσης υδρογόνου χωρητικότητας 2800κ.εκ και απόδοσης 110 hp(80kW).



Εικόνα 9.9: BMW 728hL (1998)

-Το BMW 745hL, ήταν ένα ακόμη όχημα με οκτακύλινδρο κινητήρα σε διάταξη V, χωρητικότητας 4400κ.εκ., με δυνατότητα διπλής επιλογής καυσίμου(υδρογόνου ή βενζίνης) και αποδίδει μέγιστη ισχύ 135kw ή 184hp. Η δεξαμενή του κρυογονικώς αποθηκευμένου υδρογόνου, χωρητικότητας 170 λίτρων ,εξασφαλίζει στο όχημα αυτονομία έως 300 χιλιόμετρα. Η δεξαμενή διπλού τοιχώματος και κενού θαλάμου είναι κατασκευασμένη έτσι, ώστε να διατηρεί το υγροποιημένο υδρογόνο σε θερμοκρασία -253°C και μέγιστη πίεση 5-7bar. Ανάμεσα στα τοιχώματα της δεξαμενής παρεμβάλλονται 100 στρώσεις μονωτικού υλικού για την ελαχιστοποίηση της αεριοποίησης του υδρογόνου.

Η συμβατική μπαταρία έχει αντικατασταθεί από μια κυψέλη καυσίμου, τύπου πολυμερισμένης μεμβράνης, με ισχύ 5 kW που τροφοδοτείται από την δεξαμενή του υδρογόνου ανεξάρτητα από τον κινητήρα. Επομένως τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα του αυτοκινήτου μπορούν να λειτουργούν ακόμη και με κινητήρα εκτός λειτουργίας.

Η συνέχεια αυτού αποτελεί το BMW Hydrogen 7, με 12-κύλινδρο κινητήρα 6 λίτρων , με μεθοδολογία έγχυσης καυσίμου πανομοιότυπη με του H₂R(θα αναφερθεί παρακάτω).



Εικόνα 9.10: BMW Hydrogen 7 και ο κινητήρας του

-Ένα άλλο μοντέλο είναι το BMW Mini cooper Hydrogen,το οποίο ενσωματώνει μια νέα τεχνολογία ψεκασμού καυσίμου κατά την οποία το υδρογόνο ,ΔΕΝ θερμαίνεται από τους -253°C σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πριν την καύση, αλλά ψεκάζεται σε υγρή κατάσταση στους αυλούς εισαγωγής όπου αναμιγνύεται με τον αέρα πριν την εισαγωγή του στον θάλαμο καύσης. Ένα πλεονέκτημά του είναι το ρεζερβουάρ υδρογόνου που έχει τις διαστάσεις ενός συμβατικού ρεζερβουάρ καυσίμου.



Εικόνα 9.11: Το BMW Mini Cooper Hydrogen που αποκαλύφθηκε στην Έκθεση Αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης το 2001. Δεξιά,κατά την διάρκεια ανεφοδιασμού στο σταθμό ανεφοδιασμού του Μονάχου

-Το 2003 αποκαλύφθηκε το BMW 7-series 6.0 liter V12 Hydrogen με χωρητικότητα 6 λίτρων και 12-κύλινδρο κινητήρα που αποδίδει μέγιστη ισχύ 231 ίππους στις 5500 στροφές και φτάνει τα 337 Nm της μέγιστης ροπής. Το όχημα αυτό λειτουργεί και με υδρογόνο καθώς και με βενζίνη.

Σε αυτό το όχημα το υδρογόνο είναι αποθηκευμένο σε υγρή κατάσταση σε ντεπόζιτο χωρητικότητας 140 λίτρων και παρέχει στο όχημα αυτονομία έως 200χλμ.Με τον νέο εξάλιτρο κινητήρα, το σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων και το σύστημα μεταβλητού χρονισμού βυθίσματος των βαλβίδων εισαγωγής, κατάφεραν να αντιμετωπίσουν τα φαινόμενα ανώμαλης καύσης(σωστή καύση στοιχειομετρικών μιγμάτων αέρα-υδρογόνου).



Εικόνα 9.12: Το BMW 7-series

-Την επόμενη χρονιά κατασκευάστηκε το πρωτότυπο H2R-Hydrogen Race Car. Ένα πρωτότυπο σπόρ όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης υδρογόνου. Με συνολική χωρητικότητα 6 λίτρων, αποδίδει 285hp κατά την λειτουργία του με τελική ταχύτητα 320χλμ/ώρα χωρίς την επιλογή καύσης βενζίνης. Το αμάξωμα είναι κατασκευασμένο από ανθρακονήματα και το σασί από χρωδοκτύωμα αλουμινίου για περιορισμό του βάρους. Το καύσιμο εγχύεται στους αυλούς εισαγωγής και το μίγμα σχηματίζεται εκτός του θαλάμου καύσης με αποτέλεσμα την μεγιστοποίηση της ισχύος και της απόδοσης.



Εικόνα 9.13: Το σπορ πρωτότυπο όχημα H2R

Οχήματα υδρογόνου της Ford:

-Το Ford P2000 Hydrogen ICE (Εικ. 9.14), ήταν το πρώτο όχημα τροποποιημένο για την καύση συμπιεσμένου αερίου υδρογόνου. Ο κινητήρας με 16 βαλβίδες και 2 εκκεντροφόρους άξονες, έχει πολύ αυξημένο βαθμό συμπίεσης 14.5:1 και απόδοση 25-30% μεγαλύτερη σε σχέση με συμβατικό κινητήρα.



Εικόνα: 9.14: Κινητήρας καύσης υδρογόνου και δεξαμενές καυσίμου στο χώρο αποσκευών του Ford P2000

-Το H2RV του 2003 έχει απόδοση 110 ίππων από κινητήρα υδρογόνου συνδυαζόμενος με ηλεκτροκινητήρα απόδοσης 33 ίππων. Είναι το πρώτο όχημα με στροβιλουπερπληρωμένο κινητήρα υδρογόνου. Το υδρογόνο είναι αποθηκευμένο σε αέρια φάση στα 350 bar.



Εικόνες 9.15: Το Ford H2RV, η δεξαμενή καυσίμου και ο κινητήρας του

9.2 ΜΕΣΑ ΜΑΖΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ-ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η εταιρία MAN

κατασκεύασε κινητήρα H 2866 UH για την καύση υδρογόνου-βενζίνης, ο οποίος τοποθετήθηκε σε συμβατικό λεωφορείο στο Μοναχό (1996-1998), με 6-κύλινδρο κινητήρα χωρητικότητας 12 λίτρων και απέδιδε ισχύ 140kw ή 190hp στις 2200rpm με την μέγιστη ροπή των 750Nm να αποδίδεται στις 1000 στροφές, ενώ κατά την λειτουργία του με βενζίνη απέδιδε 230 ίππους στις 2200 με την μέγιστη ροπή των 840 Nm. Το υδρογόνο ήταν κρυογονικώς αποθηκευμένο σε 3 δεξαμενές της εταιρίας Linde AG, χωρητικότητας 570 λίτρων με εξασφάλιση αυτονομίας έως 250χλμ.



Εικόνα 9.16

-Στην πορεία η MAN κατασκεύασε 4-χρονο εξακύλινδρο κινητήρα φυσικής αναπνοής, χωρητικότητας 12 λίτρων απόδοσης 200 ίππων(H 2876 UH01).



Εικόνα 9.17

Το HYDROGEN FUEL CELL MINIBUS (30 θέσεων)

είναι ένα μικρό λεωφορείο, το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για αστικά κέντρα και εξοπλισμένο με έναν κινητήρα υδρογόνου – κυψέλης καυσίμου (Hydrogen Fuel Cell Engine) και με αντίστοιχης ισχύος ηλεκτρικό κινητήρα καθώς και δεξαμενή αποθήκευσης του αέριου υδρογόνου. Όλα τα συστήματα θα τοποθετηθούν σε ειδική σχάρα που θα τοποθετηθούν στην οροφή του λεωφορείου. Το λεωφορείο θα αναπτυχθεί από ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ και θα αποτελείται από: ΕΜΠ, ΚΑΠΕ, ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, ΕΛΒΙΟ ΑΕ, AIR LIQUIDE ΑΕ, ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΕ, PROS ΑΕ, TROPICAL ΑΕΒΕ (ΕΛΕΤΥ, ADVENT, PAROS LTD, ΕΑΣ ΑΕ)



Εικόνα 9.18: Το ελληνικό λεωφορείο υδρογόνου

Το HYDROGEN FUEL CELL TOURBUS

είναι ένα μικρό λεωφορείο (Εικ. 9.19), το οποίο είναι σχεδιασμένο και εξοπλισμένο με έναν κινητήρα υδρογόνου – κυψέλης καυσίμου (HydrogenFuel Cell Engine) και με αντίστοιχης ισχύος ηλεκτρικό κινητήρα καθώς και δεξαμενή αποθήκευσης του αέριου υδρογόνου. Όλα τα συστήματα θα τοποθετηθούν σε ειδική σχάρα που θα τοποθετηθούν στην οροφή του λεωφορείου. Τονίζεται ότι θα είναι το πρώτο τέτοιου τύπου λεωφορείου το οποίο θα κατασκευαστεί στην Ευρώπη.



Εικόνα 9.19

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Περιοδικό Ecotec.

2. Διαδίκτυο:

Google. gr & In.gr.

<http://www.physics4u.gr/faq/fuelcellhydro.html>

www2.rizospastis.gr/storyPlain.do?id=2396482&action=print

<http://www.tovima.gr/default.asp?pid=2&ct=75&artid=139682->

<http://www.ecotec.gr/article.php?ID=196>

«Fuel Cells: Powering the future», Office For Official Publications Of The European Communities,

<http://europa.eu.int/comm/research/energy>

«The hydrogen economy, fuel cells and electric cars», Technology in Society 25 (2003)

«Hydrogen and Electricity», Office For Official Publications Of The European Communities, European Commission,

<http://europa.eu.int/comm/research/energy>

<http://cull.gr/tags/4673>

<http://www.hellashy.org>

«Το μέλλον των κινητήρων εσωτερικής καύσης»

<http://library.techlink.gr/ptisi/article-main.asp?mag=2&issue=113&article=3120>

« Αυτοκίνητο και τεχνολογία- in.gr»

<http://www.in.gr/auto/cartechnology/technology.htm>

«Φωτογραφικό αρχείο - Μηχανή αναζήτησης»

www.google.com<http://www.hi2h2.com/>

<http://www.hynet.info/>

<http://www.eihp.org/>

www.hysafe.net

www.storhy.net

<http://www.fuel-cell-bus-club.com/>

<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid= ... bid=616482>