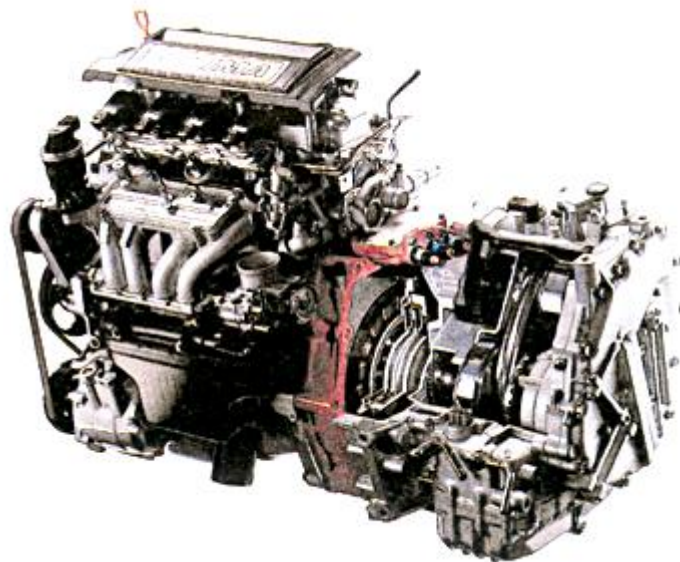


**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ  
ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ & ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**



Σπουδαστής : Παναγιώτης Χρ. Δρίτσας

Εισηγητής : Γιαννόπουλος Ανδρέας

ΠΑΤΡΑ 2006

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛ.

Πρόλογος	4
Εισαγωγή	5

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Μ.Ε.Κ & ΚΑΥΣΙΜΑ**

1.1 Ιστορία των Μ.Ε.Κ	7
1.2 Γενικά για καύσιμα	11
1.2.1 Εισαγωγή	11
1.2.2 Ιδιότητες της βενζίνης	11
1.2.3 Μίγμα Βενζίνης-Αιθανόλης	12
1.2.4 Μεθανόλη	12
1.2.5 Υγροποιημένο αέριο (LPG)	13
1.2.6 Συμπιεσμένο φυσικό αέριο (GNG)	13
1.3 Μελλοντικά καύσιμα	13

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : BENZINOKINΗΣΗ**

2.1 Εισαγωγή	16
2.2 Άμεσος ψεκασμός	16
2.3 Συστήματα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων	17

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΣΗ**

3.1 Εισαγωγή	22
3.2 Saab: Νέος Κινητήρας Diesel	22

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ**

4.1 Γενικά	29
4.2 Toyota Prius (THS System)	29
4.3 THS II (Toyota Hybrid System II)	33
4.4 Υβριδικός Κινητήρας 2 <sup>ης</sup> Γενιάς από τη Honda	36

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ (FUEL CELLS TECHNOLOGY)</b>	<b>37</b>
--	-----------

5.1 Γενικά για Fuel Cells	38
5.2 Fuel Cells: Χρησιμοποιούμενα Καύσιμα	40
5.3 Τύποι Η.Σ.Κ	42
5.4 Fuel Cells κ' Αυτοκίνηση	43
5.5 GM Hy-Wire & Hydrogen 3	45

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (HYDROGEN TECHNOLOGY)</b>	<b>51</b>
--	-----------

6.1 Εισαγωγή	52
6.2 Υδρογόνο κ' Περιβάλλον	53
6.3 Κυψέλες Καυσίμου κ' Μ.Ε.Κ	55
6.4 Η Καύση του Υδρογόνου σε Μηχανές	55
6.5 Το Φαινόμενο του Backfire	61
6.6 Συστήματα Ψεκασμού Υδρογόνου	62
6.7 Βαθμός Απόδοσης Μ.Ε.Κ Υδρογόνου	65

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΜΕ Μ.Ε.Κ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ (HYDROGEN PROJECT CARS)</b>	<b>70</b>
--	-----------

7.1 Γενικά	71
7.2 Ford Model U & Focus CMAX H2 ICE	80
7.3 Mazda RX-8 Hydrogen RE	84
7.4 BMW H2R – Η Τεχνολογία	86

Σχόλια-Συμπεράσματα	92
---------------------	----

Βιβλιογραφία	94
--------------	----

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « **Μελλοντικοί κινητήρες αυτοκινήτων** » πραγματοποιήθηκε με σκοπό να βοηθήσει τους μηχανικούς αυτοκινήτων καθώς και τους σπουδαστές του τμήματος Μηχανολογίας να εμπλουτίσουν τις γνώσεις τους πάνω στο ευρύ και σπουδαίο αντικείμενο των κινητήρων εσωτερικής καύσης με καύσιμο υδρογόνο, των κυψελίδων υδρογόνου, καθώς και της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας κινητήρων.

Από τις πληροφορίες που συλλέξαμε καταφέραμε να κατατάξουμε τους κινητήρες σε κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά τους και την τεχνολογίας τους.

Στην εργασία αυτή θα αναφερθούμε και θα εμβαθύνουμε κυρίως στην υδρογονική τεχνολογία με αναφορά σε κινητήρες και σε κυψελίδες υδρογόνου. Παρ'όλα αυτά η γνώση γι'αυτή την τόσο σημαντική και πρωτοποριακή τεχνολογία είναι σε πειραματικό ακόμη στάδιο και οι ήδη υπάρχουσες πληροφορίες είναι λίγες.

Επιθυμώ να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε αυτούς που βοήθησαν να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία και ιδιαίτερα στον καθηγητή μου Γιαννόπουλο Ανδρέα, στους μηχανικούς Κατσαμάκη Θεόδωρο & Λουκά, καθώς και στον Χατζόπουλο Γεώργιο (τεχνικός καυσίμων AVIN).

ΠΑΤΡΑ 2006

Π.Χ.ΔΡΙΤΣΑΣ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία θα αναφερθούμε κυρίως στην μελλοντική τεχνολογία των κινητήρων εσωτερικής καύσης και ιδιαίτερα στην τεχνολογία κίνησης με καύσιμο υδρογόνο. Θα γίνει αναφορά χρησιμοποίησης του υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου καθώς και απευθείας καύσης του σε κινητήρες. Ακόμη θα περιγράψουμε συστήματα ψεκασμού υδρογόνου, προβλήματα που δημιουργούνται εξαιτίας της εμφάνισης του backfire στον κινητήρα και θα μελετήσουμε το βαθμό απόδοσης μιας Μ.Ε.Κ(Μηχανή Εσωτερικής Καύσης) υδρογόνου. Επίσης θα παρουσιάσουμε κάποια πρωτότυπα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν κινητήρες υδρογόνου με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και θα αναφερθούμε στο παρόν και το μέλλον της υδρογονικής τεχνολογίας. Παρ'όλα αυτά όμως θα γίνει και μια μικρή αναφορά στις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες κινητήρων οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

**M.E.K & ΚΑΥΣΙΜΑ**

## **1.1 Ιστορία των Μ.Ε.Κ**

Η Μηχανή Εσωτερικής Καύσης(Μ.Ε.Κ) είναι μια από τις περισσότερο ενδιαφέρουσες μηχανολογικές συσκευές για τον άνθρωπο, εξαιτίας της έντονης ανταγωνιστικής φύσης της αγοράς του αυτοκινήτου (στο οποίο χρησιμοποιείται η πλειοψηφία των Μ.Ε.Κ) και της εμφάνισης με την πάροδο του χρόνου νέων σημαντικών προβλημάτων.

Αρχικά οι πρώτες προσπάθειες έγιναν για την αύξηση του χρόνου ζωής των Μ.Ε.Κ μεταξύ δυο γενικών επισκευών. Κατόπιν, εντάθηκαν τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και μέχρι σήμερα οι κατασκευαστές καταβάλλουν έντονες προσπάθειες για τη βελτίωση των μηχανών στον τομέα αυτόν. Επίσης, το πρόβλημα της μείωσης του θορύβου είναι υπαρκτό, περισσότερο σοβαρό για τον πετρελαιοκινητήρα. Η μεγάλη αύξηση του κόστους των καυσίμων οδήγησε τελευταία την προσοχή των αυτοκινητοβιομηχανιών στη βελτίωση της οικονομίας των καυσίμων και στην αλλαγή του παραδοσιακού σχεδιασμού του κινητήρα. Αξιοσημείωτο είναι ότι κάτω από την πίεση της μείωσης του κόστους των καυσίμων η θερμική απόδοση των μεγάλων ναυτικών πετρελαιομηχανών μπορεί σήμερα να υπερβεί το 50%. Επίσης η προσπάθεια επικεντρώνεται στην ανάπτυξη της λεγόμενης «αδιαβατικής μηχανής» με χρήση κεραμικών μερών και λειτουργία σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, με σκοπό την όλο και μεγαλύτερη αύξηση της θερμικής απόδοσης. Η τάση χειροτέρευσης των διαθέσιμων καυσίμων οδηγεί επίσης σε συνεχείς προσπάθειες διατήρησης της απόδοσης με τη χρήση πτωχής ποιότητας καυσίμων.

Για έναν αιώνα περίπου, δύο σπουδαία ονόματα – αυτά των Otto και Diesel - διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στη ραγδαία εξέλιξη των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης. Πιο παλιά η εμβολοφόρος ατμομηχανή ήταν η μόνη μέχρι τότε θερμική μηχανή που μπορούσε να αποδώσει μηχανικό έργο στον άνθρωπο,

αλλά ήταν δύσχρηστη λόγω των παρελκομένων (θερμαντήρας, λέβητας) και της απαίτησης ειδικευμένων τεχνιτών. Ο Lenoir (1822-1900) κατασκεύασε το 1860 μια μηχανή φωταερίου, η οποία στηριζόταν στον τρόπο κατασκευής της εμβολοφόρου ατμομηχανής και είχε ομοιότητες με μια δίχρονη μηχανή διπλής ενέργειας. Το έμβολο απορροφούσε το καύσιμο μίγμα (φωταέριο-αέρας), κατά τη διάρκεια της μισής διαδρομής του. Στη συνέχεια, το μίγμα αναφλεγόταν ηλεκτρικά και τα θερμά καυσαέρια ωθούσαν το έμβολο έως το τέλος της διαδρομής του. Στην επιστροφή του το έμβολο εξωθούσε τα καυσαέρια, ενώ στην άλλη πλευρά του ξεκινούσε ένας νέος κύκλος λειτουργίας. Η μηχανή του Lenoir ήταν υδρόψυκτη, είχε υψηλή κατανάλωση ρεύματος, απέδιδε ισχύ περίπου 0.4-2.2 Kw, και είχε κατανάλωση φωταερίου 4 m<sup>3</sup>/kWh. Ο θόρυβος λειτουργίας της ήταν μεγάλος και τραχύς, αλλά ήταν ευκολότερη στο στήσιμο και στη λειτουργία της από την ατμομηχανή και για το λόγο αυτό έγινε ένας περιζήτητος κινητήρας. Ο Nicolaus August Otto (1832-1891) εργάστηκε αρχικά πάνω στη βελτίωση της μηχανής του Lenoir και κατασκεύασε μια μηχανή φωταερίου, η οποία λειτουργούσε σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ο Otto σε συνεργασία με το μηχανικό Eugen Langen (1833-1895) μείωσαν το θόρυβο από τα κτυπήματα της καύσης και επίσης μείωσαν κατά πολύ την κατανάλωση φωταερίου σε σχέση με τη μηχανή του Lenoir. Η ισχύς των πρώτων μηχανών φωταερίου ήταν περίπου 0.7 kW και το ύψος κατασκευής έφθανε τα 2m. Μηχανές μεγαλύτερης ισχύος είχαν πολύ μεγάλο ύψος κατασκευής και παρουσίαζαν πολλά προβλήματα εγκατάστασης χώρου. Η ζήτηση για μηχανές μεγαλύτερης ισχύος ώθησε τον Otto στη σχεδίαση μιας μηχανής νέου τύπου, με άμεση σύνδεση εμβόλου-στροφαλοφόρου άξονα και εφαρμογή για πρώτη φορά της διαδικασίας λειτουργίας των τεσσάρων χρόνων: α) Αναρρόφηση μίγματος φωταερίου-αέρα, β) Συμπύεση μίγματος, γ) Καύση-εκτόνωση αερίου μίγματος, δ) Εξαγωγή καυσαερίων. Το επαναστατικό σημείο της καινούργιας μηχανής ήταν ο τετράχρονος κύκλος λειτουργίας και η για πρώτη φορά κατασκευή μηχανής στην οποία πριν από την καύση έχουμε συμπύεση του μίγματος. Ο



πρώτος 4-χρονος κινητήρας κατασκευάστηκε το 1876 και επέδιδε 2.2 kW στις 180 r.p.m. Η μηχανή αυτή αποτελεί τη βάση όλων των σημερινών 4-χρονων κινητήρων. Μερικά χρόνια αργότερα, κατασκευάστηκε μια νέα μηχανή, η μηχανή Diesel από το Rudolf Diesel (1858-1913). Η λειτουργία μηχανών με ατμό υψηλής θερμοκρασίας του έδωσε την ιδέα να κατασκευάσει μια μηχανή που θα λειτουργούσε με υπερσυμπιεσμένο αέρα υψηλής θερμοκρασίας. Ύστερα από επίπονες προσπάθειες και βελτιώσεις, το 1897 ο Diesel μπόρεσε να παρουσιάσει τη μηχανή του σε τελική μορφή, που απέδιδε 13.1 kW στις 154 r.p.m. Η κατανάλωση καυσίμου ανερχόταν στα 324 gr/kWh. Μ' αυτή τη μικρή κατανάλωση, ο ντηζελοκινητήρας ξεπέρασε από άποψη οικονομίας όλες τις μέχρι τότε γνωστές θερμοδυναμικές μηχανές, πλεονέκτημα που διατηρεί ακόμη.

Σήμερα έχει επικρατήσει να χαρακτηρίζονται οι Μ.Ε.Κ με εξωτερική ανάφλεξη ως μηχανές Otto και οι μηχανές με αυτανάφλεξη ως μηχανές Diesel. Οι θερμικές μηχανές, λοιπόν, μπορούν να ταξινομηθούν σε μηχανές εξωτερικής καύσης και μηχανές εσωτερικής καύσης. Στις πρώτες, το λειτουργούν ρευστό είναι εσωτερικά διαχωρισμένο από το μίγμα καυσίμου-αέρα και η θερμότητα καύσης μεταφέρεται από τα τοιχώματα του περιέχοντος δοχείου ή καζανιού. Στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, το περιεχόμενο ρευστό συνίσταται από τα παράγωγα της καύσης του ίδιου μίγματος καυσίμου-αέρα.

Σήμερα, οι παλινδρομικές Μηχανές Εσωτερικής Καύσης και οι ατμοστρόβιλοι είναι ως επί το πλείστον οι πιο κοινά χρησιμοποιούμενες θερμικές μηχανές, με τον αεριοστρόβιλο σε ευρεία χρήση στην προώθηση αεροσκαφών υψηλής ταχύτητας. Η παλινδρομική Μ.Ε.Κ κατέχει άλλο ένα σημαντικό και θεμελιώδες πλεονέκτημα συγκριτικά με τον αεριοστρόβιλο: ότι όλα τα τμήματα της μπορούν να λειτουργούν σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες της μέγιστης θερμοκρασίας του κύκλου. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες του κύκλου και έτσι να είναι δυνατές υψηλές αποδόσεις κύκλων. Στο σχεδιασμό αυτές οι βασικές διαφορές δίδουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα

στις παλινδρομικές Μ.Ε.Κ, ως προς την παραγωγή ισχύος, αν συγκριθούν με τους ατμοστρόβιλους: 1) υψηλότερη μέγιστη απόδοση, 2) χαμηλότερο λόγο βάρους κατασκευής ως προς το αποδιδόμενο έργο(εκτός ίσως της περίπτωσης μονάδων άνω των 10.000 hp), 3) μηχανική απλότητα και 4) το σύστημα ψύξεως σε μια Μ.Ε.Κ αντιμετωπίζει ένα μικρότερο ποσό θερμότητας από ένα συμπυκνωτή ατμοστρόβιλου ίδιας ιπποδύναμης και λειτουργεί κανονικά σε υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες. Το μικρότερο μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα σε μεταφορικά οχήματα και σε άλλες εφαρμογές, στις οποίες η ψύξη πρέπει να συμπληρώνεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτά τα πλεονεκτήματα είναι εν μέρει εμφανή στις μικρές μονάδες. Αντίθετα, πρακτικά πλεονεκτήματα των στροβιλοκινητήρων έναντι αυτών των παλινδρομικών Μ.Ε.Κ είναι: 1) οι στροβιλοκινητήρες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερη ποικιλία καυσίμων, ακόμη και στερεά καύσιμα, 2) μικρότερο πρόβλημα κραδασμών και 3) οι ατμοστρόβιλοι είναι πρακτικοί για μονάδες πολύ μεγάλης ισχύος( πάνω από 10.000 hp).

Τα πλεονεκτήματα των παλινδρομικών Μ.Ε.Κ θεωρούνται μεγάλης σπουδαιότητας στο πεδίο των χερσαίων μεταφορών, όπου μικρά βάρη, μικρός όγκος μηχανής και μικρή ποσότητα καυσίμων είναι συνήθως ουσιώδεις παράγοντες. Στη σημερινή εποχή, ο αριθμός των μονάδων και η ισχύς των Μ.Ε.Κ σε χρήση είναι πολύ μεγαλύτερες από όλα τα άλλα μέσα μεταφοράς. Επίσης, ο στροβιλοκινητήρας εσωτερικής καύσης δεν έχει καθιερωθεί πλήρως ως ανταγωνιστική μηχανή στον χώρο της παραγωγής ενέργειας εκτός από των αεροπλάνων. Η μηχανική απλότητα αυτής της μηχανής την καθιστά πολύ ενδιαφέρουσα και η απουσία παλινδρομικών εξαρτημάτων απαλείφει τους κραδασμούς σε αναλογία με την μηχανή εσωτερικής καύσης.

## **1.2 Γενικά για καύσιμα**

### **1.2.1 Εισαγωγή**

Το ευρύτετα χρησιμοποιημένο καύσιμο για τις μηχανές αυτοκινήτων είναι το υγρό καύσιμο βενζίνη. Η βενζίνη είναι ένας υδρογονάνθρακας (HC), δηλαδή αποτελείται από υδρογόνο(H) και άνθρακα(C). Κατά την «τέλεια καύση» όλη η βενζίνη στο θάλαμο καύσης θα καιγόταν εντελώς. Εντούτοις, πλήρης ή τέλεια καύση πρακτικά δεν συμβαίνει.

Το καύσιμο καίγεται παρουσία ατμοσφαιρικού αέρα (κατά βάση μίγμα αζώτου και οξυγόνου). Τα αέρια του κυλίνδρου διαστέλλονται λόγω της εκλυόμενης θερμότητας αναγκάζοντας το έμβολο να κινηθεί.

Εκτός από άκαυστους υδρογονάνθρακες, τα καυσαέρια περιέχουν μονοξείδιο άνθρακα (CO), διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), οξείδια αζώτου (NO<sub>x</sub>) και υδρατμούς. Το μονοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από ατελή καύση και είναι δηλητηριώδες αέριο.

Υψηλές θερμοκρασίες καύσης είναι αιτία για το σχηματισμό NO<sub>x</sub>. Όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 2500 F (1371<sup>0</sup>C), μέρος του αζώτου και του οξυγόνου του αέρα αντιδρούν σχηματίζοντας οξείδια του αζώτου. Οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα είναι μη επιβλαβή αέρια. Αντίθετα, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες (HC), και τα οξείδια αζώτου είναι ατμοσφαιρικοί ρύποι.

### **1.2.2 Ιδιότητες της βενζίνης**

Για ομαλή λειτουργία μιας βενζινομηχανής, η βενζίνη πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες:

1. Κατάλληλη πτητικότητα, η οποία καθορίζει πόσο εύκολα ατμοποιείται η βενζίνη.
2. Αντίσταση στο “κτύπημα” ή την προανάφλεξη.
3. Αντιοξειδωτική συμπεριφορά με προσθήκη κατάλληλων ουσιών.
4. Αντιπηκτική συμπεριφορά.
5. Ικανότητα καθαρισμού του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου.
6. Χρώμα για τον οπτικό προσδιορισμό του τύπου της.

### **1.2.3 Μίγμα βενζίνης-Αιθανόλης**

Το καύσιμο αυτό είναι συνήθως ένα μίγμα 10% αιθυλικής αλκοόλης ή αιθανόλης και 90% αμόλυβδης βενζίνης. Οι μηχανές μπορούν να λειτουργούν με το καύσιμο αυτό χωρίς οποιαδήποτε αλλαγή στο σύστημα τροφοδοσίας. Εάν στο μίγμα ξεπεραστεί το 10% της αιθανόλης, το σύστημα παροχής καυσίμου πρέπει να τροποποιηθεί. Η στοιχειομετρική αναλογία για το καύσιμο αυτό είναι 9:1 έναντι 14.7:1 για τη βενζίνη.

### **1.2.4 Μεθανόλη**

Μια άλλη μορφή αλκοόλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μηχανών είναι η μεθανόλη, ή ξυλόπνευμα. Αυτό το καύσιμο είναι ιδιαίτερα τοξικό. Έχει περίπου το μισό ενεργειακό περιεχόμενο της βενζίνης 15900 kJ/lit έναντι 32300 kJ/lit της τελευταίας. Η στοιχειομετρική της αναλογία είναι 6.4:1 και απαιτεί τροποποίηση του συστήματος τροφοδοσίας. Η μεθανόλη είναι εξαιρετικά διαβρωτική, και η χρήση της απαιτεί ειδικά υλικά. Η μεθανόλη δεν ατμοποιείται τόσο εύκολα όσο η βενζίνη και χρειάζεται προσθήκη ποσότητας βενζίνης για διευκόλυνση της ψυχρής εκκίνησης. Ένα τυπικό μίγμα είναι το M85 με 85% μεθανόλη και 15% βενζίνη. Η προσθήκη της βενζίνης καθιστά το μίγμα ασφαλέστερο επειδή η βενζίνη ατμοποιείται ευκολότερα. Φτωχό μίγμα μεθανόλης καίγεται με μια σχεδόν αόρατη φλόγα. Η προσθήκη της βενζίνης δίνει χρώμα στη φλόγα. Αυτό είναι σημαντικό σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ένα

πλεονέκτημα της μεθανόλης είναι ότι μπορεί να παραχθεί από κάρβουνο, ξύλο, λίπασμα, απορρίμματα και άλλα οργανικά υλικά.

### **1.2.5 Υγροποιημένο αέριο (LPG)**

Το υγροποιημένο αέριο (LPG) παράγεται από το αργό πετρέλαιο. Το LPG που χρησιμοποιείται σε πολλά οχήματα είναι μίγμα υδρογονανθράκων με κύριο συστατικό το προπάνιο. Το όχημα απαιτεί ένα ειδικό σύστημα αποθήκευσης που βρίσκεται σε πίεση 200 psi (1380 kPa) σε κυλινδρικά πιεστικά δοχεία στο οπίσθιο τμήμα του οχήματος. Ο ρυθμιστής πίεσης παρέχει LPG σε αέρια μορφή στη μηχανή.

Το πλεονέκτημα του LPG είναι ο βαθμός οκτανίου του που υπερβαίνει το 100. Οι μηχανές μπορούν να λειτουργούν σε υψηλό λόγο συμπίεσης παρέχοντας μεγαλύτερη ισχύ και απόδοση. Η καύση του είναι καθαρή και αφήνει λίγα κατάλοιπα στη μηχανή.

### **1.2.6 Συμπιεσμένο φυσικό αέριο (GNG)**

Αντίθετα από το LPG που αποθηκεύεται ως υγρό, το GNG παραμένει πάντα στην αέρια φάση. Καιγόμενο το GNG απελευθερώνει περίπου 20% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από τη βενζίνη, αλλά ελαφρώς περισσότερα NOx. Το καύσιμο αποθηκεύεται σε δοχεία υπό πίεση στο οπίσθιο τμήμα του οχήματος. Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο έχει αριθμό οκτανίων 113. Αυτό επιτρέπει στη μηχανή να λειτουργεί σε υψηλό λόγο συμπίεσης. Γενικά τα αέρια καύσιμα καταλαμβάνουν περισσότερο όγκο από την υγρή βενζίνη και έτσι με καύσιμο GNG η μηχανή παράγει 10%-15% λιγότερη ισχύ σε σχέση με μια παρόμοια που καίει βενζίνη.

## **1.3 Μελλοντικά καύσιμα**

Τα περισσότερα καύσιμα είναι υδρογονάνθρακες και η καύση τους απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το διοξείδιο του άνθρακα

συγκεντρώνεται στη γήινη ατμόσφαιρα και συνδέεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η θέρμανση της γης επιφέρει κλιματολογικές αλλαγές. Η απειλή έχει γίνει τόσο σοβαρή που πολλές κυβερνήσεις εργάζονται για να μειώσουν τη χρήση τους.

Οι επιστήμονες προσπαθούν να βρουν εναλλακτικά καύσιμα. Αν και όλα τα καύσιμα υδρογονανθράκων παράγουν CO<sub>2</sub> όταν καίγονται, μερικά όπως η μεθανόλη παράγουν λιγότερο CO<sub>2</sub> από άλλα. Το υδρογόνο και το φυσικό αέριο είναι επίσης πιθανά εναλλακτικά καύσιμα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**  
**BENZINOKINΗΣΗ**

## **2.1 Εισαγωγή**

Στα 1876 οι Otto και Langen βάζουν σε παραγωγή την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης που ονομάζεται και μηχανή Otto. Από τότε ο κινητήρας αυτός έχει υποστεί αναρίθμητες βελτιώσεις και εξελίξεις διατηρώντας πάντα την ίδια αρχή λειτουργίας. Στόχο είχαν και έχουν την αύξηση της ισχύος, την μείωση της κατανάλωσης, την μείωση των εκπομπών ρύπων, την μείωση του θορύβου και την φιλικότητα προς το περιβάλλον.

## **2.2 Άμεσος ψεκασμός**

Μια από τις τελευταίες εξελίξεις αφορούν το σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα, ακούει στο όνομα « άμεσος ψεκασμός » και έχει άμεσες επιπτώσεις σε κατανάλωση και ισχύ. Τα συστήματα άμεσου ψεκασμού εφαρμόζονταν μέχρι πρότινος μόνο σε κινητήρες diesel. Αν και η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια, στους βενζινοκινητήρες η πίεση ψεκασμού είναι μικρότερη, λόγω των διαφορετικών χημικών ιδιοτήτων των δυο καυσίμων.

Ο άμεσος ψεκασμός ήταν και είναι όραμα των μηχανικών που ασχολούνται με την εξέλιξη των βενζινοκινητήρων. Οι λόγοι πρώτα απ' όλα είναι οικονομικοί. Η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται στον κύλινδρο και η σύσταση του καυσίμου μίγματος μπορούν να ελεγχθούν με εξαιρετική ακρίβεια, επιτρέποντας την καύση πολύ φτωχού μίγματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη οικονομίας στα καύσιμα μεγαλύτερης και από αυτή των κινητήρων diesel. Στους οικονομικούς λόγους μπορούμε να προσθέσουμε την αύξηση της ισχύος αλλά και τη βελτίωση της απόκρισης στο γκάζι σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες. Αυτή οφείλεται στην υψηλή σχέση συμπίεσης που μπορεί να επιτευχθεί στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού. Η μείωση των ρύπων που μπορεί



να προκύψει με την κατάλληλη διαχείριση του συστήματος είναι ένας ακόμα λόγος που κάνουν τον άμεσο ψεκασμό άκρως επιθυμητό.

### **2.3 Συστήματα μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων**

Μιλώντας για κινητήρες, η πρώτη προτεραιότητα έχει να κάνει με την επίτευξη όσο το δυνατό μεγαλύτερων τιμών ισχύος και ροπής σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας τους. Μια άλλη πάλι σημαντική προτεραιότητα είναι πως η κατανάλωση και κατ' επέκταση οι ρύποι που εκπέμπει ένα μηχανικό σύνολο να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Όπως όμως είναι εύκολα κατανοητό, αυτές οι δύο απαιτήσεις δεν είναι δυνατό να καλυφθούν ταυτόχρονα, αφού εκ των πραγμάτων είναι αντίθετες. Αυτό λοιπόν που επιδιώκουν οι διάφοροι κατασκευαστές είναι οι προτάσεις τους να κινούνται σε μια χρυσή τομή μεταξύ αυτών. Σύμμαχός τους σ' αυτή την προσπάθεια είναι η σύγχρονη τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα μία σειρά τεχνικών που έχουν εξελιχθεί για το σκοπό αυτό. Μια από αυτές και, ίσως, η κυριότερη είναι η μεταβολή του χρονισμού των βαλβίδων.

Τα συστήματα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων, όπως ονομάζονται, βρίσκονται σε χρήση από αρκετούς κατασκευαστές αυτοκινήτων και ακολουθούν διάφορες τεχνικές για να επιτύχουν το στόχο τους. Κατά κανόνα ελέγχουν τους χρόνους ανοίγματος μόνο των βαλβίδων εισαγωγής, αν και κάποια επενεργούν σε όλες τις βαλβίδες, ενώ κάποια άλλα πέραν του χρόνου ανοίγματος επηρεάζουν και το βύθισμα στο χώρο καύσης. Τα τρία χαρακτηριστικότερα συστήματα που βρίσκονται αυτήν τη στιγμή σε παραγωγή είναι το Valvetronic της BMW(εικόνα 2.1), το i-VTEC της Honda[εικόνα 2.2(α)] και τα VVT-i και VVTL-i της Toyota[εικόνα 2.2(β)].

Ξεκινώντας από το πρώτο, ενδεικτικά αναφέρουμε πως η εξέλιξή του αποτέλεσε το μεγαλύτερο πρόγραμμα στον τομέα των κινητήρων, στην ιστορία της βουαρικής εταιρίας. Αντικαθιστώντας για πρώτη φορά σε κινητήρα

παραγωγής την κλασική πεταλούδα του γκαζιού με μια ειδική βαλβίδα και παράλληλα ελέγχοντας πλήρως το σύνολο των βαλβίδων, επιτυγχάνει με μεγάλη ακρίβεια συνθήκες στοιχειομετρικής καύσης ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής και το φορτίο. Αυτό συνεπάγεται μείωση της κατανάλωσης κατά 10%, καθώς και των εκπομπών ρύπων, με αντίστοιχη βελτίωση της απόκρισης του μηχανικού συνόλου.



Εικόνα 2.1: Σύστημα Valvetronic της BMW.



(α)



(β)

Εικόνα 2.2: (α) Σύστημα i-VTEC της Honda, (β) Σύστημα VVT-i της Toyota.

Το Valvetronic λειτουργεί συμπληρωματικά των διπλών Vanos, ελέγχοντας επιπλέον το βύθισμα των βαλβίδων. Εδώ οι εκκεντροφόροι δεν επενεργούν άμεσα επάνω σ' αυτές, αλλά μέσω ενός έξυπνου μηχανισμού δίνουν την κίνηση σε κάποια ωστήρια, που μεταβάλλουν τη θέση τους με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα(εικόνα 2.3). Για τον έλεγχο του όλου συστήματος φροντίζει

ένας ισχυρός επεξεργαστής, διαφορετικός από αυτόν της διαχείρισης του κινητήρα. Το αποτέλεσμα είναι η μεταβολή στο βύθισμα των βαλβίδων από 0 έως 9.7 mm ανάλογα με τις απαιτήσεις.



Εικόνα 2.3: Σύστημα μεταβλητού βυθίσματος των βαλβίδων με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα.

Αυτή η ενέργεια δε χρειάζεται παρά 3 ms για τη μετακίνηση από την ανώτερη στην κατώτερη θέση, όσο δηλαδή χρόνο χρειάζεται και η αλλαγή της γωνίας των εκκεντροφόρων από τις 0 στο άλλο άκρο των 60 μοιρών.

Περνώντας τώρα στο i-VTEC(εικόνα 2.4), αυτό αποτελεί εξέλιξη του κλασικού VTEC και παρουσιάστηκε πρόσφατα στα Honda Stream και Civic TypeR. Σε αντίθεση με το απλό σύστημα, που χρησιμοποιεί δυο διαφορετικά έκκεντρα, για την ρύθμιση των βαλβίδων ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα, εδώ έχει προστεθεί το σύστημα VTC ( Variable Timing Control ), όπου ρυθμίζει συνεχώς τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους, όπως το φορτίο του κινητήρα. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το i-VTEC επιτυγχάνει αύξηση της συνολικής ισχύος κατά 20%, με παράλληλη αύξηση της ροπής στις χαμηλές και μέσες στροφές κατά 10%. Όσο για την κατανάλωση, επιτυγχάνει μείωση σε ποσοστά αντίστοιχα με τα παραπάνω.



Εικόνα 2.4: Σύστημα i-VTEC από την Honda.

Ιδιαίτερης μνείας τυγχάνουν και τα συστήματα VVT-i και VVTL-i της Toyota, αφού είναι από τις ελάχιστες εταιρείες, που εφοδιάζουν όλα τα μοντέλα τους με παρόμοια συστήματα. Καθώς το πρώτο δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τεχνολογικής σκοπιάς, θα επικεντρωθούμε στο πλέον προηγμένο VVTL-i ( Variable Valve Timing and Lift-intelligent ). Εδώ πέραν της συνεχούς ρύθμισης των χρόνων ανοίγματος, οι εκκεντροφόροι διαθέτουν ένα επιπλέον έκκεντρο που εμπλέκεται μετά τις 6000 r.p.m, βυθίζοντας περισσότερο, τόσο τις βαλβίδες εισαγωγής, όσο και αυτές τις εξαγωγής. Το δεύτερο αυτό έκκεντρο επενεργεί σε ένα μικρό άξονα, συνδεδεμένο με το ζύγωθρο. Ο άξονας αυτός 'κλειδώνει' μέσω ενός υδραυλικού πείρου στις υψηλές στροφές, εμπλέκοντας τον όλο μηχανισμό. Όταν οι στροφές πέσουν, τότε γίνεται απεμπλοκή του πείρου και κατά συνέπεια, αναλαμβάνουν πάλι δράση τα πρωτεύοντα έκκεντρα.

Ολοκληρώνοντας, οι μελλοντικές εξελίξεις θέλουν τη θέση των μηχανικών μερών να καταλαμβάνουν διάφορα ηλεκτροϋδραυλικά συστήματα, όπου δεν θα παίρνουν κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα, αλλά ελέγχονται μέσω ισχυρών υπολογιστικών κυκλωμάτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΣΗ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Ο κινητήρας που χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πετρέλαιο παρουσιάστηκε το 1897 και εφευρέτης του είναι ο γερμανός Rudolf Diesel γι' αυτό και ο κινητήρας πήρε το όνομα του εφευρέτη του και ονομάστηκε κινητήρας diesel. Βασικό χαρακτηριστικό του κινητήρα diesel αποτελεί η μικρή κατανάλωση και η μεγαλύτερη ροπή σε σχέση με ένα βενζινοκινητήρα ίδιας ισχύος. Αυτά τα στοιχεία έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διάδοση του. Σημαντικά μειονεκτήματα του αποτελούν το ότι χρειάζεται αρκετά μεγαλύτερη χωρητικότητα άρα μεγαλύτερο βάρος και όγκο για την παραγωγή της ίδιας ισχύος. Επιπλέον είναι θορυβώδης και αποδίδει ικανοποιητικά σε περιορισμένο αριθμό στροφών.

### **3.2 Saab: νέος κινητήρας diesel**



Εικόνα 3.1: **Saab 1.9 TiD.**

Ο νέος αυτός κινητήρας χαρακτηρίζεται από καλύτερες επιδόσεις, χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων και βελτιωμένη τεχνολογία καυσίμου, κάτι που αποδεικνύει ότι αυτός ο κινητήρας δεν έχει να ζηλέψει τίποτα απολύτως από τον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα, που ήδη εφοδιάζει το συγκεκριμένο μοντέλο της εταιρίας. Το εξελιγμένο σύστημα άμεσου και πολλαπλού ψεκασμού, τεχνολογίας common-rail σχεδιάστηκε για δυο διαφορετικές εκδόσεις του κινητήρα με απόδοση 150 και 120 hp. Ωστόσο το πιο σημαντικό

χαρακτηριστικό αυτού είναι ότι αυτό το σύστημα, προσφέρει μεγάλη δύναμη έλξης σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας του κινητήρα. Μάλιστα, το 90% της συνολικής μέγιστης ροπής που μπορεί να παράξει ο κινητήρας είναι διαθέσιμο σε ολόκληρη την περιοχή από 1750 έως 3250 rpm. Επίσης αυξάνει το χαρακτηρισμό ‘υψηλό επίπεδο τεχνολογίας’ με την εισαγωγή ενός προηγμένου φίλτρου ξεχωριστών σωματιδίων ( particulate filter ), το οποίο εξασφαλίζει επίπεδα ρύπων μέσα στα όρια του περιορισμού Euro4, που θα ισχύσει από την 01-01-2006. Ο νέος πετρελαιοκινητήρας της Saab στην έκδοση των 150 hp είναι 16βάλβιδος(εικόνα 3.2), σε αντίθεση με αυτόν των 120 hp που είναι 8βάλβιδος(εικόνα 3.3). Συγκρινόμενος με τον πετρελαιοκινητήρα των 2.2 λίτρων, αυτός των 150 hp, 1.9 TiD προσφέρει 20% περισσότερη δύναμη και περίπου 12.5% περισσότερη ροπή έλξης, καθώς επίσης και βελτιωμένη κατανάλωση καυσίμου και καλύτερη απόκριση στις επιταχύνσεις. Αυτή η αυξημένη απόδοση μεταφράζεται πολύ εύκολα σε εξαιρετικές επιδόσεις στο δρόμο, αρκεί να αναφέρουμε ότι αυτός ο κινητήρας μπορεί κάλλιστα να συγκριθεί μ’ αυτόν του δυναμικού και εκπληκτικού μοντέλου της εταιρίας, του 9-3 Aero, αφού επιταχύνει από στάση σε 100 km/h μόλις σε 9.5 sec.



Εικόνα 3.2: Πετρελαιοκινητήρας Saab 1.9, 16V με 2EEK και ισχύ 150hp.

Όσον αφορά τη ‘μικρότερη’ έκδοση του πετρελαιοκινητήρα, τον 8βάλβιδο, αυτός χαρακτηρίζεται για τη βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου που προσφέρει με 5.8 lt ανά 100 km σε μικτό κύκλο, που μεταφράζεται σε ένα ποσοστό βελτίωσης 12% σε αντίθεση με τον κινητήρα των 2.2 λίτρων.



Εικόνα 3.3: Πετρελαιοκινητήρας Saab 1.9, 8V με 1EEK και ισχύ 120hp.

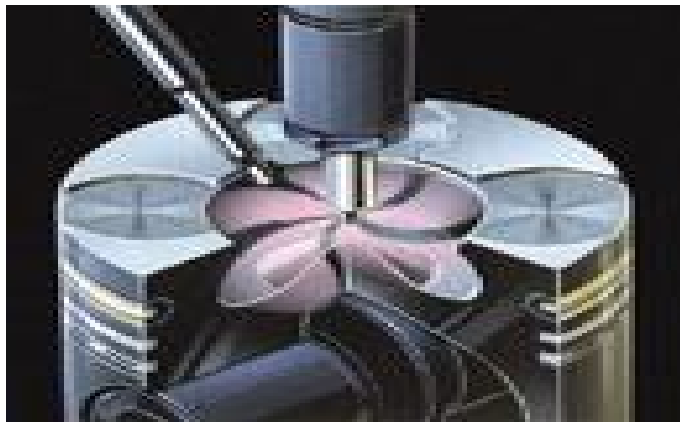
Από την άλλη πλευρά, οι εκπομπές διοξειδίων του άνθρακα είναι 157 gms/km, δηλαδή αποτελεί μείωση της τάξης του 11%. Και οι δύο κινητήρες είναι 4κύλινδροι με κορμό κατασκευασμένο από χυτοσίδηρο και κυλινδροκεφαλές κατασκευασμένες από ειδικά κράματα μετάλλων(εικόνα 3.4). Επίσης φέρουν, η μεν 16βάλβιδη έκδοση 2EEK συνδεδεμένους με καδένα και ταυτόχρονα υπάρχει ένας υδραυλικός μοχλός κίνησης, η δε 8βάλβιδη έκδοση φέρει έναν εκκεντροφόρο μόνο. Και οι δυο έχουν ατσαλένιο στροφαλοφόρο άξονα και διωστήρες, πολλαπλή εισαγωγής κατασκευασμένη από ελαφρά κράματα αλουμινίου, καθώς και σύστημα ελέγχου ανακύκλωσης καυσαερίων που λειτουργεί ηλεκτρονικά και βοηθά στο πιο γρήγορο ζέσταμα του κινητήρα και στις μειωμένες εκπομπές ρύπων.



Εικόνα 3.4: Πιστόνια, κυλινδροκεφαλές, βαλβίδες και πολλαπλή εισαγωγής κατασκευασμένα από μέταλλα υψηλής τεχνολογίας και αντοχής.



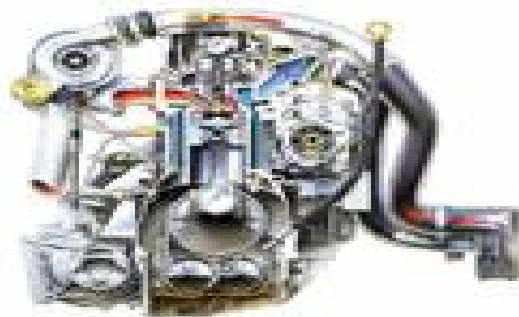
Όσον αφορά την τεχνολογία common-rail αυτή παρέχει υψηλές τιμές πίεσης ψεκασμού από τα μπεκ, περίπου 1.6 bar, ανεξαρτήτως των στροφών του κινητήρα και του εκάστοτε φορτίου(εικόνα 3.5). Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η χρήση μικρών, πολλαπλών ψεκασμών καυσίμου, μεταξύ 2 και 5, από όπου παράγεται μια καθ' όλα σημαντική ποσότητα ενέργειας. Ο έλεγχος του όλου συστήματος ψεκασμού γίνεται από την κεντρική ηλεκτρονική μονάδα διαχείρισης της Bosch, όπου ρυθμίζεται κάθε στιγμή η συχνότητα, ο αριθμός και το μέγεθος των μπεκ ψεκασμού, ανάλογα πάντα με τρεις βασικές παραμέτρους: i) τις στροφές του κινητήρα, ii) την απαίτηση του οδηγού σε επιτάχυνση και iii) τη θερμοκρασία ψύξης του κινητήρα. Κάθε διαδικασία ψεκασμού είναι σε θέση να λειτουργεί μόλις για 150 χιλιοστά του χιλιοστού του δευτερολέπτου, αποδίδοντας μια ποσότητα καυσίμου που έχει όγκο μόλις ένα κυβικό χιλιοστό.



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση της τεχνολογίας common-rail η οποία παρέχει υψηλές τιμές πίεσης ψεκασμού.

Στο δρόμο και οι δύο εκδόσεις του νέου πετρελαιοκινητήρα έχουν έντονο σπορ χαρακτήρα, και όπως αναφέραμε και παραπάνω δεν διαφέρουν καθόλου στις επιδόσεις τους από τους βενζινοκινητήρες. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι και το σύστημα του turbo του νέου κινητήρα, όπου η τουρμπίνα είναι κατασκευασμένη από την Garrett(εικόνα 3.6), με σύστημα intercooler και πίεση λειτουργίας 1.35 bar, περιλαμβάνει βαλβίδα μεταβλητής γεωμετρίας ( variable

vane geometry, VNT ), όπου το βήμα των περυγίων της ρυθμίζεται ηλεκτρονικά και προσαρμόζεται έτσι καλύτερα στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Από την άλλη, χαμηλά επίπεδα NVH( noise, vibration, harshness ), δηλαδή θορύβου, δονήσεων και τραχύτητας στο εσωτερικό του αυτοκινήτου οφείλονται στην προηγμένη τεχνολογία καύσης που χρησιμοποιείται, αλλά και στην προσεκτική και μελετημένη τοποθέτηση του κινητήρα πάνω στο πλαίσιο του αυτοκινήτου. Αυτό περιλαμβάνει την υιοθέτηση ενός ηλεκτροϋδραυλικού συστήματος διεύθυνσης, για βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου και επιπρόσθετη δυνατότητα ρύθμισης της μπροστινής ανάρτησης και των γωνιών των τροχών.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση του συστήματος turbo της Garrett που εφοδιάζει τον νέο κινητήρα.

Τέλος, όσον αφορά το φίλτρο ξεχωριστών σωματιδίων, που τοποθετείται και στις δύο εκδόσεις του πετρελαιοκινητήρα, αυτό είναι σχεδιασμένο κατ' αυτόν τον τρόπο προκειμένου ο κινητήρας να πληροί τους όρους του Euro4. Είναι τοποθετημένο στο εσωτερικό του συστήματος εξάτμισης στην κατεύθυνση προς τον καταλύτη, ενώ στο εσωτερικό του φέρει δευτερεύοντα οξειδωτικό καταλύτη ο οποίος απομακρύνει από τα καυσαέρια υπολείμματα υδρογονανθράκων ( HC ). Τα καυσαέρια λοιπόν διέρχονται πρώτα από τον δευτερεύοντα οξειδωτικό καταλύτη, προτού εισέλθουν στον κεραμικό πυρήνα του φίλτρου, που είναι κατασκευασμένος από κυψέλες καρβιδίου του πυριτίου. Αυτός είναι διάτρητος σε όλο του το μήκος από μικροσκοπικά κανάλια, τα οποία κατακρατούν τα σωματίδια σαν αποθέματα από τα καυσαέρια. Προκειμένου να καθαριστεί αυτό το φίλτρο και να διατηρηθεί η ροή των καυσαερίων, όσο ελεύθερη γίνεται, αυτά

τα αποθέματα καίγονται περιοδικά εξαιτίας μικρών ποσοτήτων καυσίμου, που παραμένουν άκαυτες.



Εικόνα 3.7: Η Saab έχει δείξει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και στους diesel κινητήρες και μέχρι σήμερα χαρακτηριζόταν από τον 2.2 λίτρων TiD, που αποδεικνύει άριστα την τεχνογνωσία των σουηδών μηχανικών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ**

## **4.1 Γενικά**

Υβριδικό ονομάζεται το αυτοκίνητο το οποίο κινείται με το συνδυασμό της ηλεκτρικής ενέργειας και της μηχανικής ενέργειας του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ένα υβριδικό αυτοκίνητο μπορεί να είναι εφοδιασμένο με έναν ηλεκτρικό κινητήρα και με ένα βενζινοκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα.

Ένας υπολογιστής ρυθμίζει τη λειτουργία και τον συγχρονισμό των δυο κινητήρων, ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη οικονομία. Τα στοιχεία που καθορίζουν τη δράση του υπολογιστή είναι οι απαιτήσεις του οδηγού για επιτάχυνση, η φόρτιση των συσσωρευτών και η ταχύτητα του αυτοκινήτου.

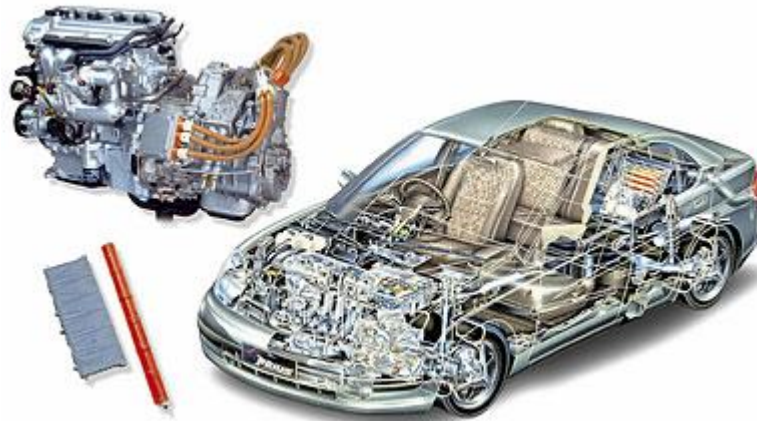
Η χρήση ενός υβριδικού αυτοκινήτου έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης βενζίνης και συνεπώς την μείωση των καυσαερίων που εκπέμπονται κατά την καύση της. Η κατασκευή των υβριδικών αυτοκινήτων περιορίζει το μειονέκτημα της περιορισμένης εμβέλειας κίνησης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, καθώς και του μεγάλου χρόνου φόρτισης της μπαταρίας.

Δεν είναι τυχαίο ότι τα υβριδικά συστήματα θεωρούνται ως ο συνδετικός κρίκος μεταξύ των συμβατικών προτάσεων με κινητήρες εσωτερικής καύσης και των μονάδων κυψελών καυσίμου. Εφοδιασμένα με δυο κινητήρες ( ένας εσωτερικής καύσης και ένας ηλεκτροκινητήρας που αντλεί ενέργεια από την ίδια την κίνηση του οχήματος ), εξασφαλίζουν αυξημένη ισχύ, καταναλώνοντας παράλληλα μικρότερη ποσότητα καυσίμου. Αυτό όπως είναι φυσικό, πέρα από την οικονομία έχει άμεσο αντίκτυπο στην έκλυση ρυπογόνων αερίων και την προστασία του περιβάλλοντος.

## **4.2 Toyota Prius (THS system)**

Ξεκινώντας από την Toyota, αυτή πρώτη πίστεψε στην αξιοποίηση των δικινητήριων οχημάτων, παρουσιάζοντας το 1997 το Prius. Το αυτοκίνητο αυτό έφερε το σύστημα THS ( Toyota Hybrid System ) στην πρώτη του έκδοση, που αποτελείτο από έναν βενζινοκινητήρα χωρητικότητας 1.5 λίτρων, με μεταβλητό

χρονισμό των βαλβίδων ( VVT-i ), το ανάλογο ηλεκτρικό μοτέρ ισχύος 33 kw ( 45 PS ), ένα συσσωρευτή στοιχείων Ni-MH και ένα κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων ( CVT )(εικόνα 4.1).

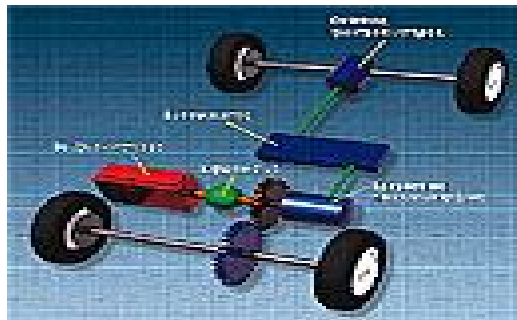


Εικόνα 4.1: Σχεδιάγραμμα των συστημάτων του Prius με το σύστημα THS και τον κινητήρα που το εφοδιάζει.

Ο τρόπος λειτουργίας του THS, χωρίς να είναι ιδιαίτερα περίπλοκος, είναι αρκετά ευφυής, αφού αξιοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την ενέργεια του ίδιου του οχήματος. Με βάση μια κεντρική υπολογιστική μονάδα, που επεξεργάζεται τα διάφορα δεδομένα της κίνησης και την κατάλληλη διάταξη ηλεκτρονικού ελέγχου της ροής ισχύος, ελέγχεται η ισχύς που παρέχει ο βενζινοκινητήρας και, αν αυτή είναι περισσότερη από ό,τι χρειάζεται ( ανάλογα πάντα με το βύθισμα του δεξιού πεντάλ ), τότε διοχετεύεται στο συσσωρευτή του ηλεκτροκινητήρα. Ο συσσωρευτής-που φορτίζεται επίσης και κατά τις διάφορες επιβραδύνσεις- με τη σειρά του τροφοδοτεί όποτε χρειάζεται το ηλεκτρικό μοτέρ, ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή των ενεργειακών απαιτήσεων μεταξύ των δυο κινητήρων. Επιπλέον, σε ειδικές περιπτώσεις που δεν απαιτείται ιδιαίτερη ισχύς, όπως π.χ σε μια κατηφόρα ή όταν το αυτοκίνητο είναι ακινητοποιημένο, ο συμβατικός κινητήρας απενεργοποιείται αφήνοντας το ηλεκτρικό μοτέρ να καλύπτει το 100% των απαιτήσεων.

Αφήνοντας κατά μέρος το THS, μια σημαντική εξέλιξή του αποτέλεσε το THS-C που εφοδιάζει το MPV Estima ( Previa ). Αυτό αποτελεί το πρώτο

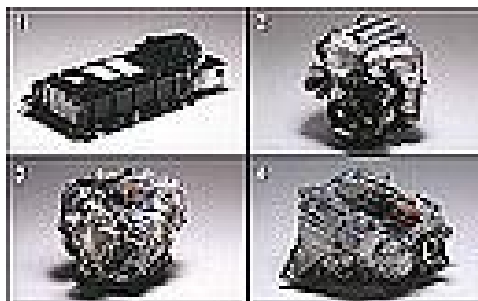
υβριδικό σύστημα τετρακίνησης στον κόσμο που χρησιμοποιεί δυο ξεχωριστούς ηλεκτροκινητήρες, από ένα σε κάθε άξονα(εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Σύστημα THS-C με δύο ηλεκτροκινητήρες(έναν σε κάθε άξονα) και κίνηση σε όλους τους τροχούς.

Ο έλεγχος των τελευταίων επιτυγχάνεται μέσω του E-Four, που ελέγχει και κατανέμει ανάλογα στους τέσσερις τροχούς τα κατάλληλα ποσοστά της ηλεκτρικής ισχύος. Παρότι στην προκειμένη περίπτωση η χωρητικότητα του κινητήρα ανέρχεται στα 2.4 λίτρα, η κατανάλωση περιορίζεται σε μόλις 5.2 lt/100km. Παράλληλα, μέσω του συσσωρευτή μπορεί να διατεθεί για οποιαδήποτε άλλη χρήση βοηθητική ισχύς μέχρι 1500W σε τάση 100V εναλλασσομένου ρεύματος. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι πέρα από τα THS-C και E-Four, το Pnevια εφοδιάζεται με ένα ιδιαίτερα προηγμένο σύστημα δυναμικής διαχείρισης των διαφόρων συστημάτων του οχήματος. Το Vehicle Dynamics Management System, όπως ονομάζεται, έχει υπό την εποπτεία του το ECB, που αποτελεί το πρώτο ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα πέδησης, που εφοδιάζει αυτοκίνητο παραγωγής, το ABS το EDB, το Brake Assist, καθώς και τα συστήματα ελέγχου πρόσφυσης και ευστάθειας του οχήματος.





Εικόνα 4.3: Toyota Estima Hybrid. Διακρίνονται: 1) συσσωρευτής, 2) κυρίως κινητήρας 2.4 λίτρων, 3) εμπρόσθιος ηλεκτροκινητήρας και 4) οπίσθιος ηλεκτροκινητήρας.

Η οικογένεια των υβριδικών συστημάτων THS συμπληρώνεται με το νεώτερο THS-M(Mild), που εφοδιάζει το Toyota Crown. Όντας το πρώτο ημι-υβριδικό σύστημα στον κόσμο, λόγω του μειωμένου όγκου του και της ευκολίας προσαρμογής του μπορεί να εξοπλίσει αρκετούς τύπους αυτοκινήτων(εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Σύστημα THS-M με μειωμένο όγκο και ευκολίες προσαρμογής σε διάφορους τύπους αυτοκινήτων.

Το THS-M αποτελείται από ένα μικρό ηλεκτρικό μοτέρ, που συνδέεται με τον κυρίως κινητήρα μέσω ενός ηλεκτρικά κινούμενου ιμάντα., μια δευτερεύουσα μπαταρία 36V ώστε να υποστηρίζει τα μελλοντικά συστήματα των 42V, έναν εξομοιωτή ροής και βέβαια τη μονάδα ελέγχου. Οι λειτουργίες του συγκεκριμένου συστήματος είναι σαφώς περιορισμένες σε σχέση με τα δυο προηγούμενα, ωστόσο όμως δύναται να εξασφαλίσει μείωση της κατανάλωσης κατά 15%, ενώ σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το ότι φροντίζει να τροφοδοτεί το σύστημα κλιματισμού, ακόμα και όταν ο βενζινοκινητήρας είναι σβηστός.





Εικόνα 4.5: Toyota Crown. Διακρίνονται: 1) μπαταρία 36V, 2) εναλλάκτης συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος, 3) βενζινοκινητήρας και 4) ηλεκτροκινητήρας.

Μ' αυτά τα τρία συστήματα η Toyota βρίσκεται στην κορυφή της υβριδικής τεχνολογίας, κάτι που φαίνεται και από τις πωλήσεις, αφού το Prius έχει ήδη διατεθεί σε περισσότερα από 70.000 κομμάτια, ενώ το Estima τον πρώτο μήνα της κυκλοφορίας του στην Ιαπωνία σημείωσε 4.000 πωλήσεις.

### **4.3 THS II(Toyota Hybrid System II)**

Όπως φαίνεται και από την ονομασία, το σύστημα THS II αποτελεί διάδοχο του πρώτου υβριδικού συστήματος που είχε παρουσιάσει η Toyota το 1997 στο μοντέλο της Prius, και το οποίο αποτελεί σημαντικό χαρτί για βελτίωση της προστασίας του περιβάλλοντος.

Το σύστημα THS II παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων συστημάτων, που αποτέλεσαν τον πρόδρομό του. Το THS II(Toyota Hybrid

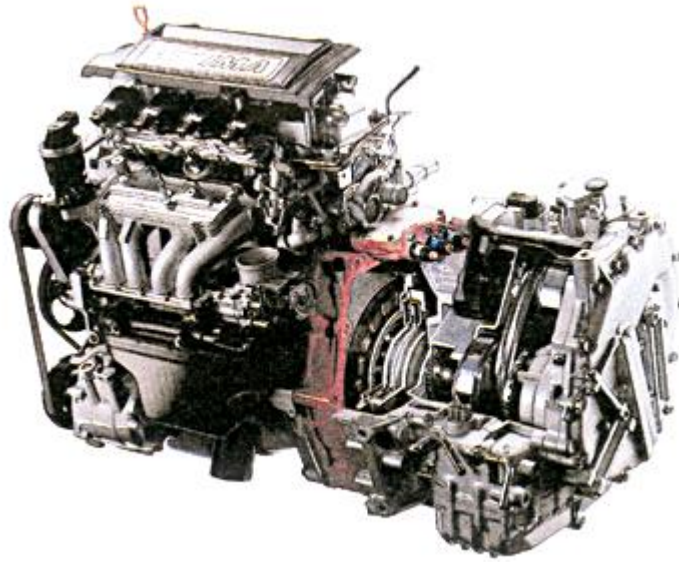
System II) επιτρέπει την πλήρη λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής όταν η αποδοτικότητα της κύριας μηχανής(μηχανής εσωτερικής καύσης) είναι μειωμένη. Πληροί όλους τους κανονισμούς των επιπέδων εκπομπής καυσαερίων που ισχύουν σε κάθε χώρα, ενώ σημαντικές αλλαγές έχουν γίνει σε θέματα που σχετίζονται με τον τρόπο λειτουργίας αυτού. Υψηλότερη τιμή τάσης λειτουργίας του κυκλώματος της ηλεκτρικής μηχανής(500V), υβριδική μπαταρία υψηλής απόδοσης και χωρητικότητας, καθώς και χρήση καλύτερου μαγνήτη για την μεταβολή των στροφών του κινητήρα. Μ' αυτές τις αλλαγές που έχουν γίνει στο νέο αυτό σύστημα, η απόδοση του κινητήρα αυξάνεται κατά 1.5 φορές, ενώ ο κινητήρας εσωτερικής καύσης χωρητικότητας 1.5 λίτρων μπορεί να επιτύχει επιτάχυνση ίση η και μεγαλύτερη από αυτήν ενός συμβατικού οχήματος, που λειτουργεί με μια μηχανή εσωτερικής καύσης χωρητικότητας 2 λίτρων. Αν και το THS II είναι βασισμένο στο THS της πρώτης γενιάς Prius, είναι αρκετά πιο αποδοτικό, λόγω της μεγαλύτερης τάσης που εφαρμόζεται στον ηλεκτρικό κινητήρα και στην ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία μάλιστα μειώνει την ενεργειακή απώλεια κατά την διάρκεια της μετάδοσης της κίνησης και γενικά αυξάνει την ενεργειακή αποδοτικότητα του αυτοκινήτου. Σύμφωνα με τις αρχές του προηγούμενου συστήματος(THS), το οποίο παίζει τον καθοριστικό ρόλο στον υβριδικό χαρακτήρα του αυτοκινήτου, το THS II χρησιμοποιεί έναν κινητήρα υψηλής απόδοσης, που έχει μάλιστα το μεγαλύτερο ποσοστό αποδιδόμενης ισχύος(ηλεκτρικής) σε σχέση με άλλα ανάλογα συστήματα της κατηγορίας του.

Όταν το αυτοκίνητο κινείται σε αργούς ρυθμούς, δηλαδή χαμηλή ταχύτητα, το ειδικό αυτό σύστημα ρυθμίζει έτσι τη λειτουργία του αυτοκινήτου, οπότε διακόπτεται πλήρως η λειτουργία της κύριας μηχανής(του βενζινοκινητήρα) και παρέχεται κίνηση μόνο από την ηλεκτρική γεννήτρια του ηλεκτρικού κινητήρα, που λειτουργεί παράλληλα και εναλλάξ με την κύρια μηχανή. Από την άλλη, όταν οι συνθήκες είναι οι συνήθειες, η κίνηση του αυτοκινήτου δίδεται από την κύρια μηχανή, το βενζινοκινητήρα. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί ότι δεν έχουμε

πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας που παράγεται από την κύρια μηχανή, αλλά μέσω μιας ειδικής διάταξης, ένα μέρος μόνο αξιοποιείται για την κίνηση του αυτοκινήτου. Το υπόλοιπο ποσό της ενέργειας που παράγεται από τον βενζινοκινητήρα διανέμεται στην ηλεκτρική γεννήτρια, όπου παράγει ηλεκτρική ενέργεια και αποθηκεύεται στις συστοιχίες μπαταριών, που υπάρχουν στο αυτοκίνητο. Αν βέβαια, οι απαιτήσεις γίνουν μεγάλες(απότομη επιτάχυνση του αυτοκινήτου), η κίνηση στους τροχούς δίνεται και από τον βενζινοκινητήρα και από τον ηλεκτρικό κινητήρα, ενώ σε απότομο φρενάρισμα ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ανάστροφα, δηλαδή εκμεταλλεύεται τη μείωση της κινητικής ενέργειας και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική που αποθηκεύεται στις μπαταρίες.

Γίνεται σαφές ότι με την διάταξη του βενζινοκινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα, καθώς και άλλων ειδικών διατάξεων, το υβριδικό σύστημα THS II, ελέγχει και ρυθμίζει συνεχώς την αναλογία, ανάμεσα στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας που διανέμεται στους τροχούς για την κίνηση του αυτοκινήτου, προκειμένου να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση.

#### 4.4 Υβριδικός κινητήρας 2<sup>ης</sup> γενιάς από την Honda



Εικόνα 4.6: Υβριδικός κινητήρας της Honda εφοδιασμένος με το νέο σύστημα IMA 2<sup>ης</sup> γενιάς.

Μέσα στο 2002 η Honda έθεσε σε παραγωγή ένα νέο υβριδικό Civic, εφοδιασμένο με την 2<sup>η</sup> γενιά του γνωστού από το Insight, IMA (Integrated Motor Assist) (εικόνα 4.6). Σύμφωνα δε με τους υπεύθυνους εξέλιξης, αυτή η τεχνολογία είναι πλέον έτοιμη να παίξει πρωταρχικό ρόλο στις διάφορες μετακινήσεις. Στα βασικά χαρακτηριστικά του ξεχωρίζει το i-DSI (Dual and Sequential Ignition) που εξασφαλίζει άριστη καύση, με φτωχό μίγμα, καθώς και το σύστημα απενεργοποίησης κυλίνδρων. Παρότι δεν πρόκειται για ένα δωδεκακύλινδρο σύνολο, αλλά για ένα τετρακύλινδρο χωρητικότητας 1.3 λίτρων, όταν δεν υπάρχουν αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις, η ηλεκτρονική μονάδα του κινητήρα διακόπτει την παροχή στους 3 κυλίνδρους και αφήνει τον ένα, σε συνεργασία με τον ηλεκτροκινητήρα για την κίνηση του οχήματος. Με αυτό, επιτυγχάνεται μειωμένη κατανάλωση της τάξης των 3.4 λίτρων /100 χλμ, και αντίστοιχα μειωμένες τιμές ρύπων. Αξίζει να αναφέρουμε ότι ο συνδυασμός της ηλεκτρικής μονάδας ελέγχου με τον συσσωρευτή, μείωσαν τον όγκο του όλου συνόλου στο 50% αυξάνοντας έτσι αισθητά της μεταφορικές ικανότητες του οχήματος που εφοδιάζει.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ( FUEL CELLS TECHNOLOGY )**

## 5.1 Γενικά για fuel cells

Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία καυσίμου – Η.Σ.Κ ή αλλιώς ενεργειακές κυψέλες(fuel cells), είναι συστήματα τα οποία μετατρέπουν απευθείας την χημική ενέργεια ενός καυσίμου(φυσικό αέριο, υδρογόνο κ.λ.π) σε ηλεκτρική, παρακάμπτοντας το ενδιάμεσο και ενεργοβόρο στάδιο της μετατροπής της σε θερμότητα, όπως γίνεται στα συμβατικά συστήματα παραγωγής ισχύος.

Τα fuel cells αποτελούνται από έναν ηλεκτρολύτη και δύο ηλεκτρόδια(άνοδος και κάθοδος), παρόμοια με τις κοινές μπαταρίες, διαφέροντας όμως ουσιαστικά στο ότι τα fuel cells δύνανται να παράγουν συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια, και μάλιστα με πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, χωρίς να χρειάζονται ποτέ φόρτιση.

Τα Η.Σ.Κ έχουν την δυνατότητα της απευθείας μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική χωρίς να υπόκεινται στους περιορισμούς του κύκλου Carnot, κυρίως εξαιτίας της έλλειψης του ενδιάμεσου σταδίου της μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμότητα. Παρ' όλα αυτά τα Η.Σ.Κ παράγουν και θερμότητα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η απόδοση των fuel cells, να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια με τις συμβατικές θερμικές μηχανές ή ακόμη και για θέρμανση.

Η σημαντικότερη διαφορά των ενεργειακών κυψελών από τις μπαταρίες εντοπίζεται στο εξής σημείο: τα πρώτα δεν χρειάζονται φόρτιση και αν τροφοδοτηθούν συνεχώς με κάποιο καύσιμο όπως π.χ υδρογόνο ή φυσικό αέριο, καθώς και με κάποιο οξειδωτικό(αέρας ή οξυγόνο), μπορούν να παράγουν συνεχώς ηλεκτρικό φορτίο. Η διαδικασία της παραγωγής του ηλεκτρικού φορτίου έχει ως εξής: το οξυγόνο, που αποτελεί το οξειδωτικό μέσο και τροφοδοτείται στην κάθοδο, δέχεται ηλεκτρόνια από την κάθοδο και στη συνέχεια το σχηματιζόμενο ιόν διαχέεται διαμέσου του στερεού ηλεκτρολύτη προς την άνοδο όπου εκεί αντιδρά με το καύσιμο, αποδίδοντας τα προσληφθέντα ηλεκτρόνια τα οποία με τη σειρά τους οδηγούνται σε κάποιο

συλλέκτη ηλεκτρικού ρεύματος(Current Collector). Η προηγούμενη λειτουργία των Η.Σ.Κ βασίζεται στην εξίσωση των Gibbs – Helmholtz η οποία λέει ότι “ **η χημική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική με μία απόδοση θεωρητικά ίση με την μετατροπή σε θερμότητα**”. Με άλλα λόγια, η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται απευθείας από ένα καύσιμο, είναι σχεδόν ίση με την θερμαντική του ισχύ. Σύμφωνα με τους εφευρέτες της εξίσωσης, η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, οι οποίες διεξάγονται στην διεπιφάνεια ηλεκτροδίου-ηλεκτρολύτη, ισούται με την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, που παρέχει το ηλεκτροχημικό στοιχείο καυσίμου. Παρά το γεγονός ότι οι αντιδράσεις που διεξάγονται στη διεπιφάνεια ηλεκτροδίου-ηλεκτρολύτη, είναι εξαρτώμενες από το είδος του ηλεκτρολύτη καθώς και από το καύσιμο που χρησιμοποιείται, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η υλική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η ακόλουθη:



όπου A = το οξειδωτικό(οξυγόνο ή αέρας)

B = το καύσιμο(υδρογόνο, μεθάνιο, αλκοόλη κ.α)

D = τα προϊόντα της αντίδρασης

Ο τύπος του ηλεκτρολύτη καθώς και των ηλεκτροδίων-καταλυτών που συνθέτουν ένα Η.Σ.Κ αποτελούν τα δύο βασικά χαρακτηριστικά τα οποία ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό απόδοσης, λειτουργικότητας και χρόνου ζωής του ηλεκτροχημικού στοιχείου. Στην πλειοψηφία των Η.Σ.Κ σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται κάποιο κατάλληλο διάλυμα (π.χ διάλυμα  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ή διάλυμα  $\text{KOH}$ ), ενώ τον τελευταίο καιρό αναπτύσσονται ηλεκτροχημικά στοιχεία των οποίων ο ηλεκτρολύτης είναι σε στερεή κατάσταση. Η βασική λειτουργία ενός ηλεκτρολύτη είναι να επιτρέπει την μετακίνηση ιόντων από την κάθοδο στην άνοδο. Όταν όμως από αυτόν περνούν και ηλεκτρόνια, τότε το στοιχείο δεν λειτουργεί ομαλά, με αποτέλεσμα να υπάρχει πρόβλημα

βραχυκυκλώματος. Παράλληλα με τα προηγούμενα, ο ηλεκτρολύτης δρα και σαν διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα σε οξειδωτικό και καύσιμο, ώστε να αποφεύγεται η απευθείας αντίδρασή τους μέσα στο στοιχείο.

Εκτός από τα προαναφερθέντα, ένας ηλεκτρολύτης καθορίζει επίσης και τις συνθήκες λειτουργίας ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι, η θερμοκρασία λειτουργίας ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου εξαρτάται άμεσα από το είδος του ηλεκτρολύτη. Έτσι σε στοιχεία με υγρό ηλεκτρολύτη, η θερμοκρασία όπου αυτά λειτουργούν είναι σχετικά χαμηλή (<250 °C). Σε μεγαλύτερες των 250 °C θερμοκρασίες ο ηλεκτρολύτης αλλοιώνεται κυρίως λόγω εξάτμισης. Από την άλλη, αν ο ηλεκτρολύτης είναι στερεός, δύναται να λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 650 °C.

Τα ηλεκτρόδια-καταλύτες στα ηλεκτροχημικά στοιχεία, δεν αρκούνται μόνο στην κατάλυση των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μέσα στο ηλεκτροχημικό στοιχείο. Ταυτόχρονα με την καταλυτική τους δράση, επιτρέπουν επίσης και την διέλευση των ηλεκτρονίων, τα οποία αποδίδονται από το καύσιμο στην άνοδο, προς το κύκλωμα του στοιχείου επιτυγχάνοντας έτσι την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα.

## **5.2 Fuel cells:χρησιμοποιούμενα καύσιμα**

Στην αρχή της εξέλιξης των fuel cells προτάθηκαν για χρησιμοποίηση πολλά καύσιμα όπως οι καθαροί υδρογονάνθρακες(δεκάνιο), η μεθανόλη, η αιθανόλη, οι υδραζίνες η αμμωνία και το φυσικό αέριο.

Σαν καύσιμα για τα fuel cells μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα σημερινά καύσιμα, όπως diesel, απόσταγμα νάφθας και η βενζίνη. Επίσης δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε την χρησιμοποίηση νέων καυσίμων όπως η βιομάζα και τα RDF(Refuse-Derived-Fuels).

Ας επανέρθουμε τώρα στο υδρογόνο. Για να χρησιμοποιηθεί ένα υλικό ως καύσιμο σε fuel cells, οι προδιαγραφές που θα πρέπει αυτό να ικανοποιεί είναι



πολλές και απαιτητικές. Κατ' αρχήν θα πρέπει να βρίσκεται σε μεγάλες ή, αν αυτό είναι δυνατόν, σε απεριόριστες συγκεντρώσεις, και η κατεργασία του να κοστίζει ελάχιστα. Μετά θα πρέπει να είναι φιλικό προς το περιβάλλον, να μην εγκυμονεί κινδύνους κατά την μεταφορά και την τροφοδοσία του και βέβαια να προσφέρει ικανή θερμοδυναμική απόδοση σε σχέση με τον όγκο του.

Ξεκινώντας λοιπόν από το ίδιο το υδρογόνο, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι αποτελεί την επιλογή των περισσότερων κατασκευαστών. Ενώ όμως στα πλεονεκτήματά του περιλαμβάνονται οι μηδενικές εκπομπές ρύπων και το κόστος παρασκευής, ανάλογα με τον τρόπο αποθήκευσης(σε υγροποιημένη μορφή ή υπό πίεση) υπάρχουν και τα αντίστοιχα μειονεκτήματα. Στην πρώτη περίπτωση απαιτούνται πανάκριβες κρυογονικές δεξαμενές και ειδικά συστήματα ψύξης. Στη δεύτερη πάλι χρειάζονται ακριβά ρεζερβουάρ υψηλής πίεσης 10,000 psi, ενώ ακόμη και έτσι ο χώρος που καταλαμβάνει το υδρογόνο είναι τουλάχιστον 8πλάσιος από αυτόν ενός ρεζερβουάρ βενζίνης για την ίδια αυτονομία.

Μια ακόμη πρόταση είναι η μεθανόλη. Όντας σε υγρή μορφή ευνοεί την μεταφορά και τον ανεφοδιασμό, είναι όμως αρκετά τοξική για το περιβάλλον και τον άνθρωπο και μάλλον δεν έχει ιδιαίτερες ελπίδες “πρόκρισης”. Τα υδρίδια μετάλλου είναι ασφαλή στη χρήση και την μεταφορά τους, ενώ προσφέρουν μεγάλα αποθέματα ενέργειας σε σχέση με τον όγκο που καταλαμβάνουν. Από την άλλη όμως, ενέχουν σαφώς περισσότερο βάρος και αποτελούν, ίσως, την πιο ακριβή από θέμα κόστους επιλογή. Αντίστοιχα ισχύουν και για το υδρίδιο βορίου-νατρίου που παρουσίασε πρόσφατα η Daimler-Chrysler. Παρ' ότι ατοξικό, άφλεκτο και φιλικό προς το περιβάλλον, είναι σχετικά ακριβό και επιπροσθέτως λόγω του χαρακτήρα του απαιτεί ένα δεύτερο ρεζερβουάρ ίδιας χωρητικότητας για το χρησιμοποιημένο καύσιμο, ώστε αυτό να ανακυκλώνεται.

Όπως εύκολα κατανοεί κάποιος, το θέμα του καυσίμου που θα επιλεγεί τελικά από το σύνολο των κατασκευαστών, όχι μόνο παραμένει ανοιχτό, αλλά μάλλον θα αργήσει να κλείσει.



Εικόνα 5.1: Τροφοδότηση των ενεργειακών κυψελών(fuel cells) αυτοκινήτου με καύσιμο.

### **5.3 Τύποι Η.Σ.Κ**

Ο σχεδιασμός ενός Η.Σ.Κ εξαρτάται κυρίως από το είδος και τον τύπο του ηλεκτρολύτη και των ηλεκτροδίων-καταλυτών(άνοδος κ' κάθοδος), που το συνθέτουν. Η βασική λειτουργία του ηλεκτρολύτη στηρίζεται στην εύκολη μετακίνηση των ιόντων στο εσωτερικό του και στην ελάχιστη ηλεκτρονιακή αγωγιμότητα, με στόχο να αποφεύγονται οι απώλειες και να διατηρείται η ομαλή λειτουργία του Η.Σ.Κ. Παράλληλα, ο ηλεκτρολύτης λειτουργεί και σαν διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο οξειδωτικό και στο καύσιμο, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η απευθείας αντίδρασή τους μέσα στο ηλεκτροχημικό στοιχείο. Ανάλογα με τον τύπο του ηλεκτρολύτη το Η.Σ.Κ μπορεί να ταξινομηθεί σε επτά κύρια είδη:

**Θ Αλκαλικό στοιχείο καυσίμου (Alkaline Fuel Cell-AFC)**

**Θ Στοιχείο καυσίμου με ηλεκτρολύτη από φωσφορικό οξύ (Phosphoric Acid Fuel Cell-PAFC)**

**Θ Στοιχείο καυσίμου αγωγού πρωτονίων (Proton Exchange Membrane Fuel Cell-PEMFC)**

**Θ Στοιχείο καυσίμου με ηλεκτρολύτη από τηγμένα ανθρακικά άλατα (Molten Carbonate Fuel Cell-MCFC)**

**Θ Ηλεκτροχημικό στοιχείο καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη (Solid Oxide Fuel Cell-SOFC)**

**Θ Στοιχείο καυσίμου με βιοκαύσιμο (Biofuel Cell-BFC)**

**Θ Στοιχείο καυσίμου άμεσης επαφής μεθανόλης (Direct Methanol Fuel Cell-DMFC)**

#### **5.4 Fuel Cells κ' αυτοκίνηση**

Η κατανάλωση ενέργειας των αυτοκινήτων που λειτουργούν με κυψέλες καυσίμου, παρά το αυξημένο βάρος της κατασκευής τους, είναι μέχρι και 52% χαμηλότερη από αυτή των αντίστοιχων συμβατικών. Σύμφωνα με σχετική μελέτη, αν γινόταν αντικατάσταση του 10% των συμβατικών Ι.Χ στις Η.Π.Α με αυτοκίνητα που θα λειτουργούσαν με κυψέλες καυσίμου, θα γινόταν εξοικονόμηση 800,000 βαρελιών πετρελαίου την ημέρα, ενώ οι εκπεμπόμενοι στην ατμόσφαιρα ρύποι(CO, HC, NO<sub>x</sub>), θα μειώνονταν κατά 1,000,000 τόνους.

Τα fuel cells μπορούν να δώσουν νέο νόημα στην ηλεκτροκίνηση, αφού προσφέρουν αυτονομία(ακόμα και επιδόσεις) συγκρίσιμη μ' αυτήν των συμβατικών οχημάτων, έχοντας παράλληλα και το πλεονέκτημα του γρήγορου

ανεφοδιασμού. Μπορούν δε να χρησιμοποιηθούν τόσο σε επιβατικά οχήματα όσο και σε φορτηγά αυτοκίνητα, λεωφορεία αλλά και σε τρένα, πλοία κ.λ.π.

Οι ενεργειακές κυψέλες παρουσιάζουν 2.5-3 φορές καλύτερη οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα fuel cells, κινεί έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι με την σειρά τους μεταδίδουν την κίνηση στους τροχούς του αυτοκινήτου. Οι ηλεκτροκινητήρες αυτοί είναι της ίδιας τεχνολογίας μ' αυτούς των ηλεκτρικών οχημάτων «μηδενικών εκπομπών ρύπων» που παίρνουν την ενέργειά τους από συσσωρευτές. Με την διαφορά όμως ότι αντί να φορτίζονται από κάποια ειδική συσκευή που βρίσκεται εκτός αυτοκινήτου, όπως γίνεται με τους συσσωρευτές, οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ενέργεια καταναλώνοντας καύσιμο που βρίσκεται αποθηκευμένο πάνω στο αυτοκίνητο.

Όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες έτσι και τα αυτοκίνητα με ενεργειακές κυψέλες είναι πολύ πιο αθόρυβα και με μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης από αυτά με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ένα από τα πλεονεκτήματα των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες είναι η κίνησή τους με ηλεκτροκινητήρα. Οι ηλεκτροκινητήρες αποδίδουν περισσότερη ροπή, άρα και ισχύ, στις χαμηλότερες ταχύτητες, όπως επίσης και η απόκρισή τους στο γκάζι είναι πιο άμεση. Αυτά τα δύο έχουν σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ευκολία χρήσης των αυτοκινήτων με ενεργειακές κυψέλες. Για να είναι άμεσα διαθέσιμη όλη η ισχύς στις εκκινήσεις και τα προσπεράσματα, οι ενεργειακές κυψέλες συμπληρώνονται από κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως μια συστοιχία από μπαταρίες, ένας σφόνδυλος ή ένας υπερπυκνωτής. Το σύστημα αποθήκευσης «φορτώνει» από τον ηλεκτροκινητήρα, την ισχύ που θα απαιτείται σε κάθε περίπτωση. Επίσης, κατά το φρενάρισμα η λειτουργία του κινητήρα αντιστρέφεται, οπότε η κινητική ενέργεια του οχήματος μετατρέπεται σε ηλεκτρική(από τον κινητήρα που λειτουργεί σαν γεννήτρια) και αποθηκεύεται πάλι στο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των fuel cells είναι ότι τα αυτοκίνητα που τις χρησιμοποιούν μπορούν να ανεφοδιάζονται με καύσιμα με τρόπο και σε ανάλογο χρόνο με τα σημερινά αυτοκίνητα. Αυτό τους δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με μπαταρίες που χρειάζεται πολλές ώρες επαναφόρτισης σε πλήρη ακινησία. Όσο για την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα αυτοκίνητο ενεργειακών κυψελών μ' ένα γέμισμα του ρεζερβουάρ εξαρτάται από τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται στις ενεργειακές του κυψέλες.

### **5.5 GM Hy-wire & Hydrogen 3**



Εικόνα 5.2: GM Hy-wire και Hydrogen 3

Από τον τίτλο γίνεται κατανοητό ότι τα GM Hy-wire και Hydrogen 3 (εικόνα 5.2) αποτελούν οχήματα κυψελών καυσίμου της General Motors. Εννέα μήνες από την παρουσίαση του πατώματος τύπου skateboard(εικόνα 5.4), οι τεχνικοί της GM έστησαν το πρώτο αμάξωμα με τα δύο συστατικά του ονόματός του να προκύπτουν από το καύσιμο που χρησιμοποιεί(Hydrogen) και τον ηλεκτρονικά ολοκληρωμένο(by-wire) χαρακτήρα του(εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3: Το αμάξωμα του Hy-wire το οποίο σχεδιάστηκε εντός εννέα μηνών.

Το συγκεκριμένο πάτωμα είναι το πρώτο που έχει εξελιχθεί για να αξιοποιηθεί αποκλειστικά και μόνο από οχήματα τεχνολογίας κυψελών καυσίμου. Το πάχος του κυμαίνεται από 228-280mm, ενώ εντός αυτού βρίσκονται δομημένα όλα τα επιμέρους στοιχεία, που εξασφαλίζουν την κίνησή του(κυψέλες καυσίμου, ρεζερβουάρ υδρογόνου υψηλής πίεσης, ηλεκτροκινητήρας κ.λ.π).



Εικόνα 5.4: Φωτογραφία του επονομαζόμενου «skateboard» του Hy-wire.

Το πλέον εντυπωσιακό στην προκειμένη περίπτωση είναι πως η βάση αυτή μπορεί να δεχτεί μια πληθώρα αμαξωμάτων που έχουν την δυνατότητα να εναλλάσσονται εύκολα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Το “δέσιμο” του αμαξώματος με το πάτωμα γίνεται μέσω δέκα μηχανικών συνδέσμων συν μιας γενικής ηλεκτρικής παροχής για τις διάφορες λειτουργίες(Universal Docking Connection). Από εκεί και πέρα αρκούν 12 λεπτά και στο μέλλον τα sedan θα μετατρέπονται σε cabrio, σε SUV, πολυμορφικό ή ότι άλλο επιλεγεί!



Εικόνα 5.5: Φωτογραφία του εσωτερικού του Hy-wire.

Πέραν της τεχνολογίας fuel cell και της δυνατότητας αλλαγής του αμαξώματος, το τρίτο, εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι, όπως αναφέρθηκε και πριν, η απόλυτη χρήση by-wire συστημάτων για όλες της κύριες λειτουργίες. Εδώ κάπου μπαίνει και η πολυεθνική SKF, με μεγάλη πείρα στα αντίστοιχα Fly-by-wire συστήματα των αεροσκαφών. Με μία εξελιγμένη έκδοση του συστήματος που εξόπλιζε πριν από δύο χρόνια το Filo, δίνει στον οδηγό την δυνατότητα να χειρίζεται την ισχύ του κινητήρα, τα φρένα και φυσικά το σύστημα διεύθυνσης, μέσω ενός και μοναδικού χειριστηρίου(εικόνα 5.6). Το τελευταίο θυμίζει κάπως τιμόνι αεροπλάνου και όταν δεν βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, επάνω από την κεντρική κονσόλα, μπορεί να μετακινείται αριστερά και δεξιά, ανάλογα με το ποιος επιθυμεί να οδηγήσει. Στην πράξη η γωνία κλίσης του αγγίζει τις 20°, το τελικό, όμως, τόξο που διαγράφει το όχημα προκύπτει σε συνάρτηση με την ταχύτητα, αφού όσο μικρότερη είναι αυτή, τόσο μικραίνει και η ακτίνα στροφής. Παράλληλα, οι δύο λαβές έχουν αντικαταστήσει τα πεντάλ του γκαζιού και του φρένου. Έτσι, όταν θέλει ο οδηγός να επιταχύνει, το μόνο που έχει να κάνει είναι να τις περιστρέψει(όπως ακριβώς και με τις μοτοσικλέτες), ενώ για να φρενάρι αρκεί να τις σφίξει και ειδικοί αισθητήρες πίεσης θα μεταδώσουν τις εντολές του στα φρένα.



Εικόνα 5.6: Το τιμόνι-χειριστήριο του Hy-wire το οποίο εξασφαλίζει στον οδηγό τον έλεγχο του συστήματος διεύθυνσης, καθώς και την αυξομείωση του γκαζιού και την λειτουργία των φρένων.

Μιλώντας για φρένα και αυτά με την σειρά τους έχουν κατασκευαστεί από την SKF σε συνεργασία με την Brembo. Επάνω στις δαγκάνες έχουν τοποθετηθεί

ηλεκτροκινητήρες, καταργώντας κάθε είδους υδραυλικά συστήματα, κυκλώματα υψηλής πίεσης και σωληνάκια.



Εικόνα 5.7: Η οθόνη του Hy-wire η οποία ελέγχει ηλεκτρονικά όλες τις λειτουργίες του αυτοκινήτου.

Επανερχόμενοι στο θέμα της κατασκευής, η ενσωμάτωση ρεζερβουάρ, κυψελών καυσίμου και κινητήρα στο πάτωμα, σε συνεργασία με την εξάλειψη των πεντάλ, δίνει την δυνατότητα στους σχεδιαστές να επεκτείνουν σε “άλλα επίπεδα” τις ανησυχίες τους. Η πλήρης αξιοποίηση και του τελευταίου εκατοστού του μήκους της πλατφόρμας μπορεί να αποδώσει σχήματα αδύνατα να πραγματοποιηθούν μέχρι πρότινος, καθώς και μεταφορικές ικανότητες πρωτόγνωρες για τα σημερινά δεδομένα. Αργότερα, μάλιστα, υπάρχει η σκέψη μείωσης του πάχους της βάσης, κάτι που θα γίνει με την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας. Αναφορικά, πάντως, με τα ισχύοντα δεδομένα, όλη η ενέργεια προέρχεται από 200 μονές κυψέλες καυσίμου, συνδεδεμένες εν σειρά με τάση 125-200 Volts. Η πίεση λειτουργίας εντός αυτών είναι 1.5-2.7 bar και η συνεχής διαθέσιμη ισχύς που παράγουν είναι 94 kw με μέγιστη τα 129 kw.

Το συνεχές αυτό ρεύμα, αφού μετατρέπεται μέσω των κατάλληλων διατάξεων σε τριφασικό, τροφοδοτεί έναν αντίστοιχο, ασύγχρονο ηλεκτροκινητήρα με ενσωματωμένο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος και πλανητικό σύστημα γρاناζιών(λόγος μετάδοσης 8.67-1). Με τάση λειτουργίας τα 250-380 Volt η ισχύς που παράγει είναι 60 kw ή 80 PS και η μέγιστη ροπή 215 Nm.

Περνώντας τώρα στο Hydrogen 3(εικόνα 5.8) αποτελεί εξέλιξη του προγενέστερου Hydrogen 1, που παρουσιάστηκε πριν 2,5 χρόνια. Τα



πλεονεκτήματα τώρα που ενέχει σε σχέση με τον προκάτοχό του, έχουν να κάνουν κύρια με το σύστημα προώθησης και αποθήκευσης του καυσίμου. Το μεν πρώτο(κυψέλες, ηλεκτροκινητήρας, μετατροπέας τάσης, μετασχηματιστής και συστήματα εισαγωγής και ψύξης) προσυναρμολογείται πλέον σε μια ενιαία μονάδα με την ονομασία PDU(Propulsion Dress-Up) με περιορισμένες διαστάσεις και βάρος.



Εικόνα 5.8: **GM Hydrogen 3**

Το δεύτερο έχει να κάνει με τα νέα ρεζερβουάρ καυσίμου, που χρησιμοποιούνται, δύο τον αριθμό, που μπορούν να μεταφέρουν αέριο υδρογόνο, υπό πίεση μάλιστα 700 bar, αρκετό για να του προσδώσει αυτονομία 270 km.



Εικόνα 5.9: **Ανεφοδιασμός του Hydrogen 3 με καύσιμο υδρογόνο.**

Με την ομαδοποίηση των διαφόρων συστημάτων σε μια μονάδα, οι χώροι που απομένουν είναι ακριβώς οι ίδιοι με αυτούς που προσφέρει και ένα Opel Zafira, όχημα στο οποίο έχει βασιστεί. Ο κινητήρας μάλιστα και οι κυψέλες είναι οι

ίδιες που χρησιμοποιούνται και στο Hy-wire, αποδίδοντας ειδική ισχύ 1.6 kw/lit. Μ' αυτά η τελική ταχύτητα του οχήματος αγγίζει τα 160 χλμ/ώρα και η επιτάχυνση 0-100 τα 16 sec.



Εικόνα 5.10: Το εσωτερικό του Hydrogen 3 το οποίο εξασφαλίζει τους ίδιους χώρους με ένα απλό Opel Zafira στο οποίο και βασίζεται.

Αναμφίβολα οι κυψέλες καυσίμου θα αποτελέσουν το μέλλον της αυτοκίνησης και η GM βαδίζει ξεκάθαρα από θέση ισχύος να οδηγεί τις εξελίξεις στον συγκεκριμένο τομέα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ  
( HYDROGEN TECHNOLOGY )**

## **6.1 Εισαγωγή**

Το υδρογόνο μελετάται ως εν δυνάμει καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης για πάνω από 150 χρόνια. Στην πραγματικότητα, ο ίδιος ο Nikolaus Otto (1832-1891) δούλεψε πάνω στην εφεύρεση και καταξίωση των μηχανών έναυσης με σπινθήρα, χρησιμοποιώντας συνθετικό αέριο ως καύσιμο, το οποίο λέγεται ότι περιείχε πάνω από 50% υδρογόνο!

Η χρήση του υδρογόνου άρχισε να γίνεται αρκετά δημοφιλής στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και μάλιστα, λίγο πριν τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, το ενδιαφέρον για τις εφαρμογές του υδρογόνου απογειώθηκε. Όμως, μετά την καταστροφή του δημοφιλούς γερμανικού υπερατλαντικού επιβατικού αερόπλοιου Hindenburg, κατά την προσγείωσή του στο New Jersey των Η.Π.Α το Μάιο του 1937, ο φόβος για την αποθήκευση και χρήση του υδρογόνου σε ευρεία κλίμακα οδήγησε στην κατάληψη όλων των «εμπορικών» σχεδίων χρήσης του υδρογόνου, τόσο σαν αέριο άνωσης για αερόπλοια, όσο και σαν καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης.

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 οδήγησε τους μηχανικούς στο να θυμηθούν ξανά το υδρογόνο ως πηγή ενέργειας και να αρχίσουν να εξετάζουν την χρήση του σαν καύσιμο σε μηχανές αυτοκινήτων. Έτσι, πολλά πιλοτικά προγράμματα εξέλιξης μηχανών αυτοκινήτου, που να μπορούν να λειτουργήσουν με υδρογόνο, ξεκίνησαν εκείνη την εποχή σταδιακά, τόσο στην Αμερική, όσο και στην Γερμανία αλλά και στην Ιαπωνία. Παρ' όλα αυτά όμως, μόλις τα τελευταία δέκα χρόνια, μεγάλες εταιρίες αυτοκινήτου έχουν αρχίσει να δημοσιεύουν κάποια μέρη της δουλειάς τους πάνω σε μηχανές εσωτερικής καύσης υδρογόνου. Για παράδειγμα, δημοσιευμένη δουλειά πάνω σε μηχανές υδρογόνου σε επιστημονικά περιοδικά και συνέδρια, μπορούμε να βρούμε από τις Nissan, Hyundai, Toyota, DaimlerChrysler, Mazda, Ford και BMW. Μάλιστα, οι τρεις τελευταίες εταιρίες έχουν προχωρήσει πολύ τη δουλειά τους και έχουν φθάσει μέχρι και την επίσημη παρουσίαση πρωτοτύπων αυτοκινήτων

που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο σε μηχανές «στάνταρ» γεωμετρίας βενζίνης και έναυσης με μπουζί.

## **6.2 Υδρογόνο κ' Περιβάλλον**

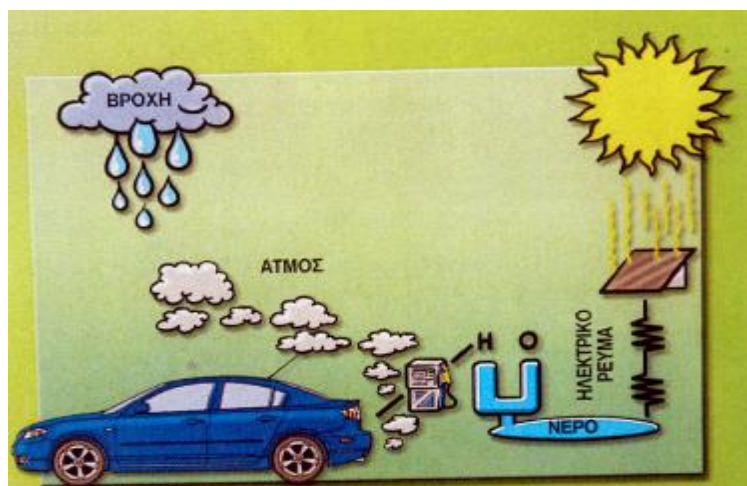
Δύο τεράστια ερωτηματικά απασχολούν αυτή τη στιγμή την παγκόσμια ιστορία της αυτοκίνησης: πώς μπορούμε να απαλλαγούμε από την εκπομπή ρύπων, όπως είναι τα οξείδια του αζώτου( $\text{NO}_x$ ), οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες(UHC), τα σωματίδια καπνού, το μονοξείδιο του άνθρακα(CO), αλλά φυσικά και το διοξείδιο του άνθρακα( $\text{CO}_2$ ) το οποίο συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος; Αλλά και κάτι επιπλέον: πόσο καιρό ακόμα μπορεί να κρατήσουν τα αποθέματα πετρελαίου;

Οι σημερινοί κινητήρες πετρελαίου (Diesel) εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα απ' ό,τι οι κινητήρες βενζίνης έναυσης με μπουζί (Otto), αλλά γενικά πιστεύεται ότι θα είναι πολύ δύσκολο για τις Diesel να καταφέρουν να “συμμορφωθούν” σε μελλοντικές νομοθεσίες καυσαερίων, κυρίως όσον αφορά στην εκπομπή οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων. Από την άλλη μεριά, οι κατασκευαστές κινητήρων βενζίνης έπαιξαν τα τελευταία χρόνια το χαρτί του άμεσου ψεκασμού, αλλά παρ' όλες τις προσπάθειες των ερευνητών μηχανικών-οι οποίες οδήγησαν σε πραγματικά άλματα όσον αφορά στην εξέλιξη των συστημάτων αυτών-, οι βενζινοκινητήρες άμεσου ψεκασμού δεν έχουν καταφέρει να πάρουν ακόμα μεγάλο μέρος της αγοράς του αυτοκινήτου. Και εξακολουθούν να παρουσιάζουν και κάποια προβλήματα εκπομπής, τόσο άκαυτων υδρογονανθράκων, όσο και σωματιδίων καπνού, τα οποία χρειάζεται να επιλυθούν στην ρίζα τους ώστε το πραγματικό δυναμικό των κινητήρων αυτών να εμφανιστεί, σε ευρεία μορφή, στην πράξη.

Μια θεαματική πρόοδος στο θέμα της εκπομπής ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση κινητήρων ελεγχόμενης αυτανάφλεξης βενζίνης και πετρελαίου, αλλά υπάρχουν αρκετά ακόμα θέματα

που χρειάζονται περαιτέρω δουλειά στα ερευνητικά εργαστήρια, πριν οι κινητήρες αυτοί πάρουν το τελικό “OK” για να μουν στην αγορά του αυτοκινήτου.

Το σημαντικό θέμα όμως για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων είναι πλέον, όχι τόσο η εκπομπή ρύπων, αλλά το γεγονός ότι, με τις παρούσες συνθήκες, το μέλλον τους εξαρτάται από καύσιμα που προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά και μόνο από την εξόρυξη και διύλιση του αργού πετρελαίου. Για να αντιμετωπιστεί η εξάρτηση αυτή, τα μελλοντικά σενάρια της αυτοκίνησης έχουν αρχίσει να βασίζονται στη χρήση του υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί τόσο από υδρογονάνθρακες, για παράδειγμα από το φυσικό αέριο, όσο και από μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον που σχετίζονται κυρίως με την ηλεκτρόλυση του νερού. Στη θεωρία αλλά και στην πράξη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε φωτοβολταϊκά τόξα για τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο και στην συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα για την ηλεκτρόλυση νερού ώστε να παράγουμε τελικά υδρογόνο και οξυγόνο. Το οξυγόνο που θα παραχθεί μπορούμε να το αφήσουμε να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα και το υδρογόνο να το αποθηκεύσουμε για περαιτέρω μεταφορά και κατανάλωση. Ο κύκλος παραγωγής και καύσης του υδρογόνου φαίνεται παρακάτω(εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.1: Ο φιλικός προς το περιβάλλον κύκλος παραγωγής και καύσης του υδρογόνου.

### **6.3 Κυψέλες Καυσίμου και Μηχανές Εσωτερικής Καύσης**

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ισχύος, τόσο σε μηχανές εσωτερικής καύσης, όσο και σε κυψέλες καυσίμου(fuel cells). Οι κυψέλες καυσίμου έχουν, στις μέρες μας, μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τις μηχανές εσωτερικής καύσης, ακόμα και αν οι τελευταίες δουλεύουν με υδρογόνο. Αρκετές όμως είναι οι εταιρίες αυτοκινήτων που πιστεύουν ότι μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των μηχανών εσωτερικής καύσης(κυρίως αυτών που καίνε υδρογόνο), σε επίπεδα που θα αγγίζουν, ή ακόμα και θα ξεπερνούν, αυτά της απόδοσης των κυψελών καυσίμου. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόφαση της μαζικής παραγωγής κάποιου προϊόντος αυτοκίνησης είναι όχι μόνο το κόστος χρήσης του, αλλά και η επίτευξη της απαιτούμενης ισχύος και αυτονομίας από αυτό. Με αυτό το σκεπτικό, συγκρίνοντας τις κυψέλες υδρογόνου με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, μπορούμε να πούμε ότι, αδιαμφισβήτητα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης κερδίζουν με διαφορά αυτή τη στιγμή. Ταυτόχρονα, με την χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης υδρογόνου στα καθημερινά αυτοκίνητα, πιστεύεται ότι θα έχει εξελιχθεί και η κατάλληλη υποδομή της διαχείρισης του υδρογόνου σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε η μετάβαση στις κυψέλες υδρογόνου να γίνει εύκολα και γρήγορα όταν η κατάλληλη στιγμή φθάσει. Η ιδέα λοιπόν σήμερα είναι ότι η χρήση των μηχανών αυτοκινήτου με καύσιμο το υδρογόνο θα λειτουργήσει τελικά σαν μια ακόμα γέφυρα μεταξύ της παρούσας κατάστασης αυτοκίνησης, μέσω μηχανών εσωτερικής καύσης (βενζίνης κ' πετρελαίου), και της μελλοντικής αυτοκίνησης μέσω κυψελών υδρογόνου.

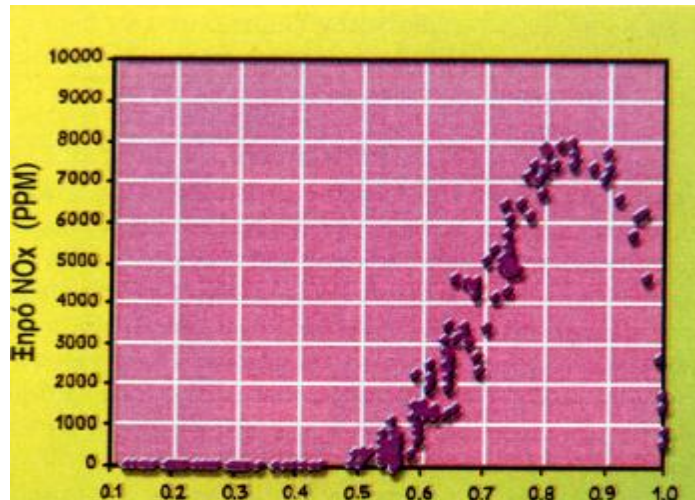
### **6.4 Η Καύση του Υδρογόνου σε Μηχανές**

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο σε μία μηχανή αυτοκινήτου. Η αντίδραση καύσης του υδρογόνου δεν είναι τίποτε άλλο στην

πράξη από την επανένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο, η οποία οδηγεί στην παραγωγή νερού (ατμού) και ταυτόχρονα στην απελευθέρωση ενέργειας, που τελικά μετατρέπεται σε έργο από την παλινδρομική κίνηση του πιστονιού. Ο ατμός επιστρέφει από την εξάτμιση του αυτοκινήτου πίσω στο περιβάλλον και μπαίνει ξανά στον κύκλο ζωής του νερού του περιβάλλοντος, δηλαδή θα γίνει σύννεφο, θα συμπυκνωθεί και θα επιστρέψει πίσω στην γη πάλι σαν βροχή, όπου θα ηλεκτρολυθεί ξανά και ο κύκλος του θα ξαναρχίσει από την αρχή(εικόνα 6.1). Αυτό λοιπόν σημαίνει ότι το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μία πηγή ενέργειας, που είναι όχι μόνο ανανεώσιμη, αλλά και δεν οδηγεί σε καμία εκπομπή ρύπων του τύπου των άκαυτων υδρογονανθράκων, σωματιδίων καπνού, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.

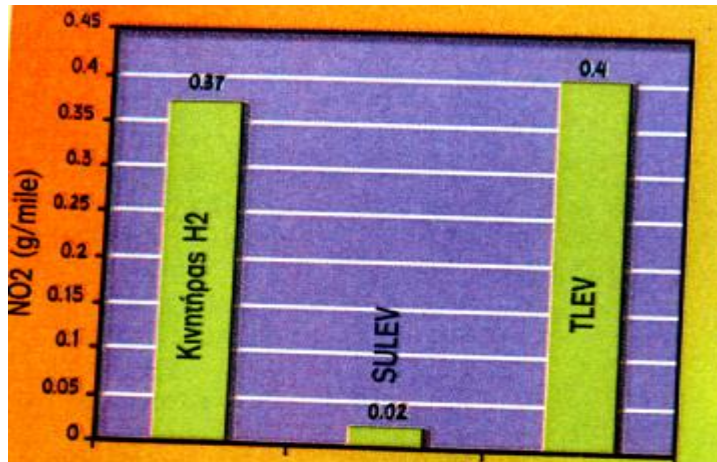
Οξείδια του αζώτου συνεχίζουν να παράγονται από την στοιχειομετρική καύση υδρογόνου (σε παρόμοια ποσότητα μ' αυτή που παράγεται από τη στοιχειομετρική καύση βενζίνης), αλλά επειδή το υδρογόνο έχει πολύ ευρεία περιοχή καύσης, τα οξείδια του αζώτου μπορούν να εξαλειφθούν με την ρύθμιση του κινητήρα να καίει σε περιοχή πολύ φτωχών μιγμάτων υδρογόνου-αέρα. Στο παρακάτω διάγραμμα παριστάνεται η εκπομπή οξειδίων του αζώτου από ένα κινητήρα υδρογόνου για διάφορους λόγους αέρα-καυσίμου. Σε αυτό το διάγραμμα, ο λόγος αέρα-καυσίμου παρουσιάζεται σαν ποσοστό του στοιχειομετρικού λόγου αέρα καυσίμου  $\Phi$ . Αυτό σημαίνει ότι το  $\Phi=1$  αντιστοιχεί σε στοιχειομετρικό μίγμα, ενώ όταν  $\Phi<1$  το μίγμα είναι φτωχό, δηλαδή για παράδειγμα, όταν  $\Phi=0.5$ , το μίγμα περιέχει το μισό καύσιμο- ή τον διπλάσιο αέρα- απ' ότι αντιστοιχεί στο στοιχειομετρικό μίγμα. Σύμφωνα με το διάγραμμα, αν το μίγμα υδρογόνου-αέρα κρατηθεί φτωχότερο του 0.5, η εκπομπή οξειδίων του αζώτου είναι πολύ μικρή(εικόνα 6.2).





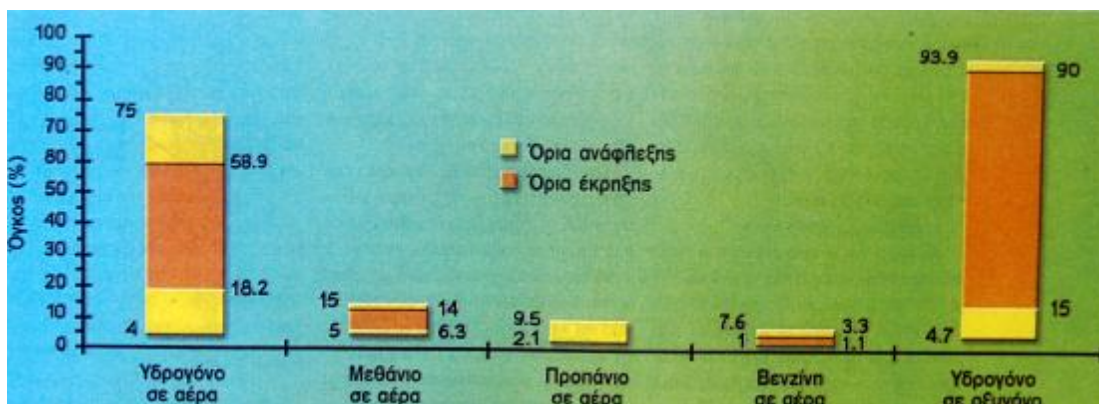
Εικόνα 6.2: Εκπομπή οξειδίων του αζώτου από μια μηχανή υδρογόνου για διάφορους λόγους αέρα-καυσίμου.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στην πράξη οι κινητήρες υδρογόνου εκπέμπουν, εκτός από οξείδια του αζώτου, και κάποιους άκαυτους υδρογονάνθρακες, καθώς και λίγο μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Κι' αυτό συμβαίνει απλούστατα διότι μέρος του λιπαντικού της μηχανής καταφέρνει, πάντοτε, να βρει τρόπο να εισέρθει στο θάλαμο καύσης και να καεί! Έχει μετρηθεί πάντως ότι χρειάζονται 300 κινητήρες υδρογόνου να λειτουργούν μαζί για να εκλυθεί διοξείδιο του άνθρακα ίσο μ' αυτό που εκλύεται από έναν κινητήρα βενζίνης! Και, όσον αφορά στη σχετική νομοθεσία, το ποσό εκπομπής άκαυτων υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα από ένα κινητήρα υδρογόνου είναι κάπου το 1/10 από το, ήδη πάρα πολύ μικρό, ποσό εκπομπής ρύπων με την επωνυμία SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) που έχει θεσπίσει η Πολιτεία της California. Παρακάτω γίνεται σύγκριση μεταξύ της εκπομπής οξειδίων του αζώτου από ένα κινητήρα υδρογόνου και τα όρια εκπομπής ρύπων SULEV και TLEV . Ο κινητήρας δεν πιάνει τα πολύ αυστηρά όρια SULEV, αλλά καταφέρνει να πιάσει τα όρια TLEV. Η καύση στη μηχανή γίνεται με σχετικό λόγο αέρα-καυσίμου  $\Phi=0.55$ , δηλαδή χρησιμοποιώντας κάπου το μισό καύσιμο απ' ότι χρειάζεται για στοιχειομετρική καύση(εικόνα 6.3).



Εικόνα 6.3: Σύγκριση μεταξύ της εκπομπής οξειδίων του αζώτου από ένα κινητήρα υδρογόνου και τα όρια εκπομπής ρύπων SULEV και TLEV που έχει θεσπίσει η Πολιτεία της Καλιφόρνια.

Όπως είπαμε νωρίτερα, τα πολύ φτωχά μίγματα υδρογόνου-αέρα μπορούν να αναφλεγούν σχετικά εύκολα και να οδηγήσουν σε πλήρη καύση. Αυτό σημαίνει ότι οι κινητήρες υδρογόνου μπορούν να λειτουργήσουν με πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης απ' ό,τι οι κινητήρες που καίνε βενζίνη. Επιπλέον, η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτή των περισσότερων καυσίμων (εικόνα 6.4), γεγονός που οδηγεί στην επίτευξη μεγαλύτερων λόγων συμπίεσης στις μηχανές εσωτερικής καύσης, χωρίς το φόβο ύπαρξης κρουστικής ανάφλεξης. Η ευρύτητα των ορίων καύσης του υδρογόνου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των άλλων καυσίμων και, κατ' επέκταση, πολύ επικίνδυνη. Γι' αυτό και τα αυτοκίνητα υδρογόνου χρησιμοποιούν πολλούς αισθητήρες ύπαρξης υδρογόνου σε διάφορους χώρους του αυτοκινήτου. Τα όρια που είναι ρυθμισμένοι να «μυρίζουν» οι αισθητήρες είναι συνήθως σε διάφορα επίπεδα, που αντιστοιχούν από περίπου 0.5%-1% κατ' όγκο, αρκετά μικρότερο ποσό από αυτό που αντιστοιχεί στο φτωχότερο αναφλέξιμο μίγμα του 4%. Ας σημειωθεί εδώ ότι η ταχύτητα καύσης του υδρογόνου είναι μεγαλύτερη από αυτή της βενζίνης και, τελικά, για στοιχειομετρικές συνθήκες λειτουργίας, οι κινητήρες υδρογόνου αγγίζουν θερμοδυναμικά τον ιδανικό κύκλο του Otto. Από την άλλη, όμως, η ταχύτητα της καύσης μειώνεται σημαντικά στα φτωχά μίγματα υδρογόνου-αέρα.

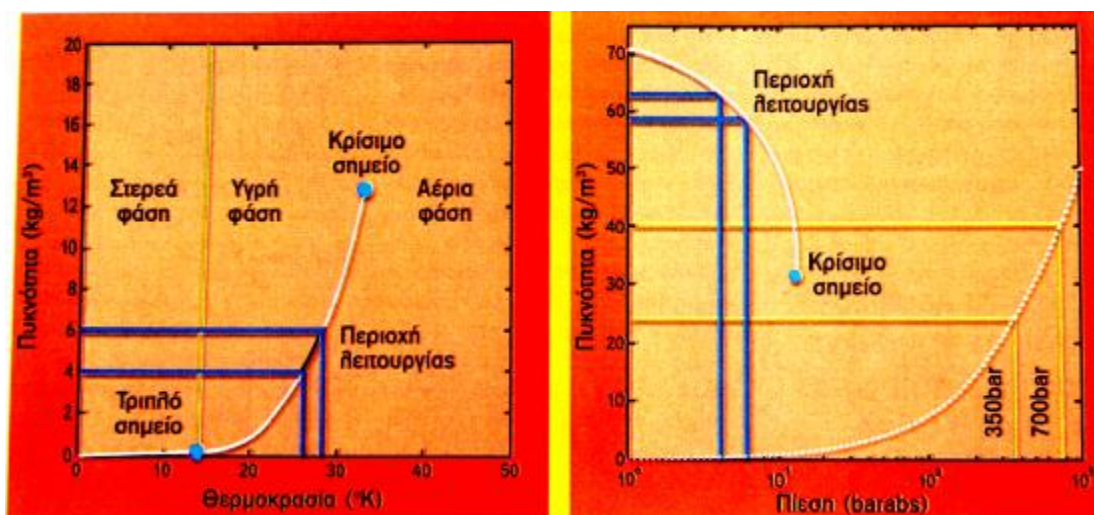


Εικόνα 6.4: Όρια ανάφλεξης και έκρηξης του υδρογόνου, σε σύγκριση μ' αυτά του μεθανίου, του προπανίου και της βενζίνης.

Όλα αυτά ισχύουν από την στιγμή που το υδρογόνο φθάνει στο χώρο καύσης. Το «πριν», όμως, εμπεριέχει κάμποση πολυπλοκότητα. Κι ας ξεκινήσουμε από την πολύ μικρή πυκνότητα του υδρογόνου, πράγμα που σημαίνει ότι πολύ μεγάλοι όγκοι καυσίμου είναι απαραίτητοι για την αποθήκευση και καύση του. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένα κυβικό μέτρο βενζίνης ζυγίζει κάπου λιγότερο από ένα τόνο, ένα κυβικό μέτρο αέρα ζυγίζει 1.2kg και ένα κυβικό μέτρο υδρογόνου ζυγίζει μόλις κάτι παραπάνω από 80gr. Με όλα τα προηγούμενα θέλουμε να πούμε ότι η θερμαντική ικανότητα του υδρογόνου μπορεί να είναι, μεν, πολύ μεγάλη ανά μονάδα βάρους, αλλά ανά μονάδα όγκου είναι από τις μικρότερες ανάμεσα σε όλα τα καύσιμα. Επιπλέον, το υδρογόνο έχει πολύ μεγάλο συντελεστή διάχυσης, που σημαίνει ότι όταν διαφύγει ή αφηθεί ελεύθερο σε ένα χώρο, μπορεί να φθάσει σε διάφορα μέρη αυτού του χώρου πολύ γρήγορα, ενώ μπορεί να αναφλεγεί από πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας, κάπου 10 φορές μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να αναφλεγεί η βενζίνη.

Όλες αυτές οι ιδιότητες του υδρογόνου, είναι αρκετές για να το κάνουν να θεωρείται ως μια πολύ καλή καύσιμη ύλη σε κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά αυτές ακριβώς είναι επίσης και οι ιδιότητες που οδηγούν στην εμφάνιση πολλών προβλημάτων σε σχέση με την ασφαλή αποθήκευση, μεταφορά και τροφοδότηση των κυλίνδρων των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Είναι λοιπόν προφανής η προσοχή που χρειάζεται στην παραγωγή και εκμετάλλευση του

υδρογόνου. Αυτό σημαίνει σχεδιασμό και χρήση πολύ ασφαλών νεπόζιτων αποθήκευσης και ανεφοδιασμού, αλλά και χρήση ειδικών αισθητήρων, σε κάθε σημείο της «γειτονιάς» του, που να μπορούν να διαιθανθούν ακόμα και την παραμικρή διαφυγή υδρογόνου, ώστε να σταματήσουν έγκαιρα και αυτόματα την πηγή της διαρροής, ανά πάσα στιγμή, πριν από οποιαδήποτε ανεπιθύμητα φαινόμενα ανάφλεξης. Παρακάτω(εικόνα 6.5) φαίνονται τα διαγράμματα φάσης του υδρογόνου. Σε πίεση 4-6bar και θερμοκρασία 26-28° K(περίπου -245° C), το υδρογόνο βρίσκεται ανάμεσα στην υγρή και στην αέρια φάση(στα όριά τους). Τα νεπόζιτα υδρογόνου που έχει σχεδιάσει η BMW λειτουργούν με το υδρογόνο σε 20.2° K(-253° C), δηλαδή με το υδρογόνο σε πλήρως υγρή μορφή. Η πυκνότητα του υδρογόνου, όταν αυτό είναι αποθηκευμένο σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία και υγρή μορφή(σε πίεση 4-6bar), είναι μεγαλύτερη απ' ότι όταν αυτό είναι αποθηκευμένο σε συμπιεσμένη αέρια μορφή και πίεση που μπορεί να φτάνει και τα 700-1000bar. Μεγαλύτερη πυκνότητα σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα για τον ίδιο όγκο αποθήκευσης, άρα η «κρύα» αποθήκευση του υδρογόνου σε υγρή μορφή κερδίζει με διαφορά.



Εικόνα 6.5: Διάγραμμα φάσης του υδρογόνου. Τυπικά, σε πίεση 4-6bar και θερμοκρασία 26-28° K(περίπου -245° C), το υδρογόνο είναι στα όρια υγρής και αέριας φάσης.

## 6.5 Το φαινόμενο του Backfire

Ακόμα και αν κατασκευαστεί ένα σύστημα που να επιτρέπει στο υδρογόνο να φτάνει με απόλυτη ασφάλεια από την παραγωγή μέχρι την κατανάλωση, δηλαδή μέχρι και το ντεπόζιτο του αυτοκινήτου, πολλά προβλήματα μπορούν να υπάρξουν από τη στιγμή που το υδρογόνο θα ψεκαστεί στους αυλούς της πολλαπλής εισαγωγής της μηχανής ενός αυτοκινήτου. Ένα από τα σημαντικότερα επικίνδυνα φαινόμενα καύσης σε μηχανές υδρογόνου είναι το λεγόμενο «**backfire**», που για πολλά χρόνια δημιουργούσε - και ακόμα δημιουργεί - διάφορα προβλήματα στην εξέλιξη των μηχανών υδρογόνου.

Το φαινόμενο του backfire (τα «σκασίματα», δηλαδή, στο χώρο της πολλαπλής εισαγωγής) είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθεί. Στην πραγματικότητα, το backfire είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιαδήποτε μηχανή που λειτουργεί με «προετοιμασία» του μίγματος αέρα-καυσίμου στην πολλαπλή εισαγωγής (είτε γίνεται με ψεκασμό είτε με την χρήση καρμπυρατέρ) και εμφανίζεται όταν το μίγμα αέρα-καυσίμου αναφλέγεται κατά το χρόνο εισαγωγής του μίγματος στη μηχανή, δηλαδή όσο οι βαλβίδες εισαγωγής είναι ακόμα ανοιχτές.

Η αιτία για την απρόσμενη αυτή ανάφλεξη εντοπίζεται στην ύπαρξη κάποιων θερμών σημείων μέσα στην μηχανή - για παράδειγμα, κάποιο σημείο που έχει υψηλή θερμοκρασία πάνω στο τοίχωμα της μηχανής, το θερμό ηλεκτρόδιο του ίδιου του μπουζί, κάποιο πολύ θερμό σημείο μέσα στο καμένο μίγμα που παραμένει στον κύλινδρο από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας της μηχανής, κάποιο ζεστό σημείο πάνω στις ζεστές βαλβίδες εξαγωγής, κάποιο υπέρθερμο κατάλοιπο λιπαντικού μέσα στο χώρο καύσης του κυλίνδρου, κλπ.

Το backfire οδηγεί στην γένεση ενός κύματος καύσης μέσα στον κύλινδρο κατά την εισαγωγή του μίγματος, το οποίο μπορεί να περάσει από τις ανοικτές βαλβίδες εισαγωγής και να αρχίσει να καίει και το καύσιμο που έχει να μην ψεκαστεί στους αυλούς εισαγωγής, αλλά δεν έχει εισροφηθεί ακόμα μέσα στον



κύλινδρο κατά τον συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας της μηχανής. Στην καλύτερη περίπτωση, η εμφάνιση του backfire οδηγεί την μηχανή σε άσχημη και θορυβώδη λειτουργία, που καταλήγει σε σβήσιμο καθώς δεν προλαβαίνει φρέσκο μίγμα να μπει μέσα στον κύλινδρο για να καεί επί κάποιους συνεχόμενους κύκλους λειτουργίας ώστε να παραχθεί έργο που θα κρατήσει την μηχανή «ζωντανή».

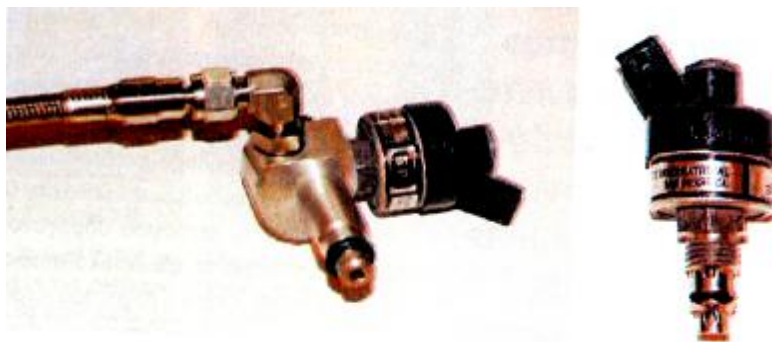
Ένας τρόπος για να αποφευχθεί το backfire σε συνθήκες στοιχειομετρικής λειτουργίας της μηχανής, είναι ο ταυτόχρονος ψεκασμός νερού στους αυλούς της πολλαπλής εισαγωγής. Τυπικά, ψεκάζοντας σε ποσότητα που αντιστοιχεί σε ένα λόγο «νερού προς υδρογόνο» ίσο με περίπου 4, οδηγεί σε περιορισμό του backfire. Επειδή η χρήση αυτού του μέτρου δεν είναι και πολύ πρακτική, έχει βρεθεί ότι όταν ο λόγος αέρα-καυσίμου γίνει πολύ φτωχός, κάπου διπλάσιος του στοιχειομετρικού, το backfire μπορεί να περιοριστεί εν τη γενέσει του χωρίς την χρήση άλλων μέτρων όπως ο ψεκασμός νερού. Βέβαια, η καύση φτωχού μίγματος οδηγεί άμεσα σε παραγωγή μικρότερης ισχύος από την μηχανή, αλλά μέρος αυτής της χαμένης ισχύος μπορεί να ανακτηθεί άμεσα με κατάλληλη αναπροσαρμογή του χρονισμού του ψεκασμού του καυσίμου, αλλά και του χρονισμού του σπινθήρα από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου της μηχανής.

## **6.6 Συστήματα Ψεκασμού Υδρογόνου**

Εξαιτίας του προβλήματος του backfire, του θέματος της εκπομπής οξειδίων του αζώτου, αλλά και λόγω του ότι μια μηχανή υδρογόνου αναπόφευκτα υστερεί σε σχέση με μία μηχανή βενζίνης, η προετοιμασία του μίγματος αέρα-καυσίμου στις μηχανές υδρογόνου έχει απασχολήσει σημαντικό μέρος της έρευνας. Η εμφάνιση των συστημάτων ηλεκτρονικά ελεγχόμενου ψεκασμού του καυσίμου αποδείχτηκε ανεκτίμητη για την εξέλιξη των μηχανών υδρογόνου, αλλά πολύ γρήγορα έγινε αντιληπτό ότι τα ακροφύσια ψεκασμού υδρογόνου θα

έπρεπε να έχουν πολύ διαφορετικό σχεδιασμό και τρόπο λειτουργίας από τα αντίστοιχα “injectors” ακροφύσια βενζίνης.

Σήμερα, δεν υπάρχουν ακόμα στο εμπόριο injectors αποκλειστικά σχεδιασμένοι για ψεκασμό υδρογόνου και κατά συνέπεια, κατά την μετατροπή μηχανών εσωτερικής καύσης βενζίνης ώστε αυτές να λειτουργούν με υδρογόνο, χρησιμοποιούνται injectors που έχουν σχεδιαστεί για ψεκασμό φυσικού αερίου(εικόνα 6.6)! Εδώ όμως πρέπει να σημειωθεί ένα σημαντικό πρόβλημα σχετικά με την χρήση injectors φυσικού αερίου σε μηχανές υδρογόνου, το οποίο έχει να κάνει με τον χρόνο ζωής αυτών των injectors, όταν καλούνται να ψεκάσουν υδρογόνο στην μηχανή. Κι' αυτό διότι το υδρογόνο προσφέρει την μικρότερη «λιπαντικότητα» σε σχέση με άλλα καύσιμα, ακόμα και σε σχέση με το φυσικό αέριο.

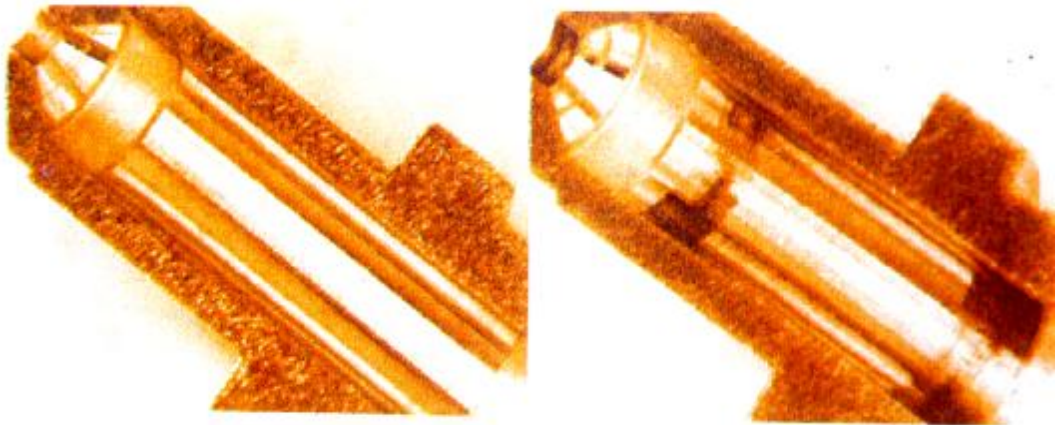


Εικόνα 6.6: Σύστημα ψεκασμού υδρογόνου, που αποτελείται ουσιαστικά από βαλβίδα αερίου.

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG, Compressed Natural Gas) περιέχει πάντα λίγο λάδι με την μορφή αεροζόλ και ουσιαστικά προσφέρει λίπανση στον injector όταν αυτός ανοίγει και κλείνει, κρατώντας τα κινούμενα μέρη του χωρίς φθορές. Το λάδι αυτό προέρχεται από τις εσωτερικές μικροδιαρροές στους βιομηχανικούς συμπιεστές του αερίου.

Οι συμπιεστές, όμως, του υδρογόνου είναι πολύ καλύτερα στεγανοποιημένοι από αυτούς του φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα το υδρογόνο να είναι πολύ «ξηρό» σαν καύσιμο και αυτός, ακριβώς, είναι και ο λόγος που εμφανίζονται

πολύ γρήγορα φθορές στους injectors φυσικού αερίου όταν αυτοί ψεκάσουν υδρογόνο(εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.7: Αριστερά φωτογραφία του εσωτερικού του injector, μετά από ζωή 115.000 km (περίπου 800 ώρες λειτουργίας) με χρήση φυσικού αερίου. Δεξιά, φωτογραφία του ίδιου injector, μετά από μόλις 80 ώρες λειτουργίας του με υδρογόνο. Φαίνονται καθαρά τα σημεία φθοράς.

Για παράδειγμα, τέσσερις τύποι injector ελέγχθηκαν από την Ford για 800 ώρες λειτουργίας και βρέθηκε ότι μόλις ένας από αυτούς πέρασε την δοκιμασία χωρίς σοβαρή φθορά. Από τους άλλους τρεις injectors, ο ένας κολλούσε μετά από μόλις 80 ώρες λειτουργίας, ο επόμενος μετά από 200 ώρες λειτουργίας και ο τρίτος επέζησε μεν από την δοκιμασία αλλά με σημαντικές φθορές, που για να αποφευχθούν θα χρειαζόταν ειδικός επανασχεδιασμός και κατεργασίες κατά την παραγωγή του.

Injectors αερίου υπάρχουν τόσο για έμμεσο ψεκασμό, δηλαδή ψεκασμό στους αυλούς εισαγωγής της μηχανής, όσο και για άμεσο ψεκασμό, δηλαδή ψεκασμό απευθείας μέσα στον κύλινδρο της μηχανής. Οι injectors άμεσου ψεκασμού υδρογόνου βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο, και αυτός ακριβώς είναι ο λόγος που η χρήση συστημάτων έμμεσου ψεκασμού υδρογόνου είναι, εκ των πραγμάτων, δημοφιλέστερη στις μέρες μας. Ο άμεσος ψεκασμός όμως μάλλον θα επικρατήσει στο μέλλον, καθώς προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, οδηγεί σε σχεδόν πλήρη εξαφάνιση του προβλήματος του backfire,

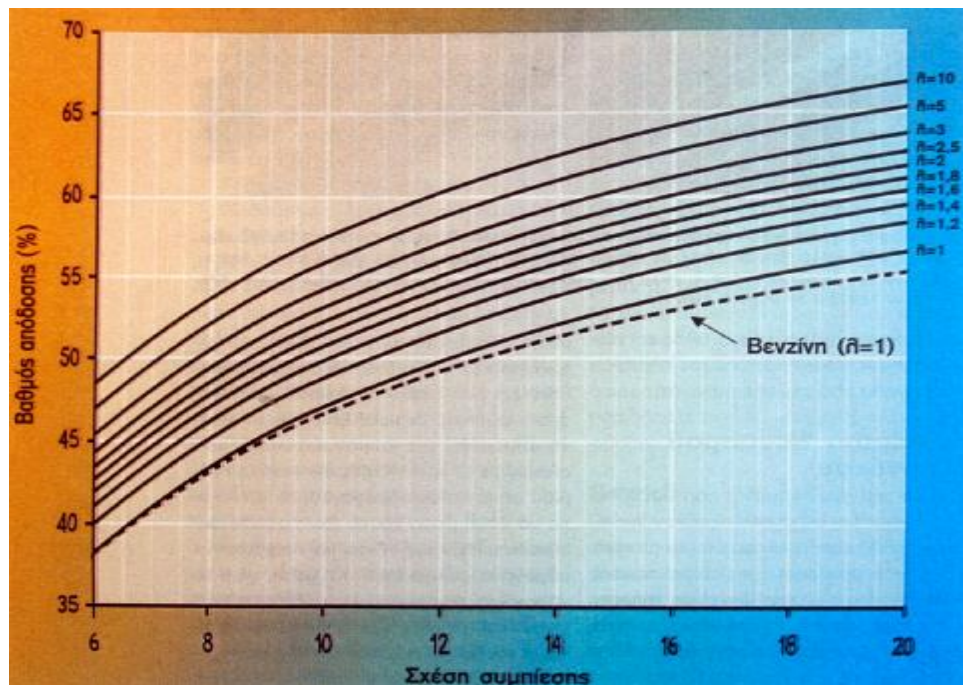


καθώς το υδρογόνο ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο όταν πια οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές. Επιπλέον, με την χρήση άμεσου ψεκασμού υδρογόνου μέσα στον κύλινδρο, μπορούμε να πετύχουμε έως και 15% μεγαλύτερη παραγωγή έργου ανά κυβικό εκατοστό της μηχανής (εκφραζόμενο από την ενδεικνυόμενη μέση ενεργό πίεση  $i_{meper}$ , indicated mean effective pressure) απ' ότι για λειτουργία της μηχανής με έμμεσο ψεκασμό στους αυλούς εισαγωγής. Η μικρότερη τιμή της  $i_{meper}$  στην περίπτωση του έμμεσου ψεκασμού οφείλεται κυρίως στον περιορισμό της ποσότητας του εισερχόμενου αέρα από την εισαγωγή, καθώς αυτός αντικαθίσταται από το ψεκαζόμενο υδρογόνο. Αντιθέτως, με τον άμεσο ψεκασμό υδρογόνου κατευθείαν μέσα στον κύλινδρο, το ψεκαζόμενο υδρογόνο δεν αντικαθιστά καμία ποσότητα αέρα - κατά συνέπεια, η ποσότητα του αέρα που, τελικά, παραμένει μέσα στον κύλινδρο, είναι η μεγαλύτερη δυνατή (άρα και η ποσότητα καυσίμου την οποία μπορεί να κάψει κατά περίπτωση, άρα και η απόδοση!).

### **6.7 Βαθμός Απόδοσης MEK Υδρογόνου**

Αν κοιτάξουμε το βαθμό απόδοσης μιας μηχανής με χρήση διαφορετικών καυσίμων, αλλά με τον ίδιο λόγο συμπίεσης και ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, οι τιμές που θα προκύψουν θα διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους για τα διάφορα καύσιμα – και μάλιστα, η απόδοση της μηχανής με χρήση υδρογόνου είναι, έστω και ελάχιστα, μεγαλύτερη από αυτήν που επιτυγχάνεται με άλλα καύσιμα. Όμως, αν πειραματιστούμε, τόσο με τον λόγο συμπίεσης όσο και με τον λόγο αέρα-καυσίμου, μπορούμε να καταλάβουμε καλύτερα το πλεονέκτημα χρήσης υδρογόνου, κυρίως επειδή το υδρογόνο μπορεί να καεί σε εξαιρετικά φτωχά μίγματα και να αντέξει σημαντικά μεγαλύτερους λόγους συμπίεσης της μηχανής. Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα το οποίο προέρχεται από θεωρητική ανάλυση, για  $\lambda=10$ , δηλαδή το φτωχότερο μίγμα αέρα-υδρογόνου που μπορούμε να αναφλέξουμε σε πίεση 1bar και για ένα λόγο συμπίεσης που

φτάνει το 20, μπορούμε να πετύχουμε βαθμό απόδοσης μέχρι και 67%! Ακόμα και αν μια σημερινή μηχανή βενζίνης, που τυπικά λειτουργεί με στοιχειομετρικό μίγμα, μπορούσε να λειτουργήσει και με τόσο μεγάλο λόγο συμπίεσης χωρίς να παρουσιάζει κρουστική αυτανάφλεξη, η απόδοσή της θα ήταν κάπου 55%.



Εικόνα 6.8: Διάγραμμα απόδοσης υδρογονοκινητήρα για διάφορους λόγους αέρα-υδρογόνου και σχέσεων συμπίεσης.

Συγκρίνοντας, λοιπόν, την απόδοση μηχανών με μίγματα διαφορετικών καυσίμων, μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα: ο βαθμός απόδοσης μιας «ιδανικής μηχανής Otto» που καίει φυσικό αέριο είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν μιας μηχανής βενζίνης – κυρίως λόγω του μεγαλύτερου λόγου συμπίεσης που μπορεί να αντέξει το μίγμα αέρα-φυσικού αερίου. Από την άλλη, η μηχανή φυσικού αερίου χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο μεταβολής του φορτίου με την μηχανή βενζίνης: η τιμή του λόγου αέρα-καυσίμου διατηρείται στοιχειομετρική, με βάση το άνοιγμα της πεταλούδας του γκαζιού. Έτσι, οι διάφορες παρασιτικές απώλειες της μηχανής φυσικού αερίου είναι ίδιες με αυτές της μηχανής βενζίνης και οφείλονται, ακριβώς, στην παρεμβολή μιας πεταλούδας στη ροή αέρα προς τους κυλίνδρους.

Αν συγκρίνουμε τώρα, το βενζινοκινητήρα με μια «ιδανική μηχανή Otto» όπου το καύσιμο είναι το υδρογόνο, το οποίο αναμιγνύεται με τον αέρα μέσω άμεσου ψεκασμού, θα διαπιστώσουμε ότι ο κινητήρας υδρογόνου, ακόμα κι αν έχει λίγο μικρότερο λόγο συμπίεσης, θα έχει ελαφρά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από το βενζινοκινητήρα. Η αιτία γι' αυτό βρίσκεται στην δυνατότητα του κινητήρα υδρογόνου να λειτουργήσει με μεγαλύτερο λόγο αέρα-καυσίμου( δηλαδή με φτωχότερο μίγμα). Η λειτουργία, όμως, με φτωχό μίγμα προκαλεί κάποιες απώλειες απόδοσης, οι οποίες προέρχονται κυρίως από το γεγονός ότι, λόγω της χαμηλής ταχύτητας διάδοσης του μετώπου της, η καύση δεν προλαβαίνει να ολοκληρωθεί κανονικά μέχρι το τέλος του χρόνου εκτόνωσης της μηχανής, ενώ υπάρχουν και κάποιες επιπρόσθετες απώλειες που σχετίζονται με τις «μη ιδανικές» συνθήκες καύσης των φτωχών μιγμάτων. Από την άλλη όμως, οι απώλειες θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων της μηχανής είναι μικρότερες, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας καύσης του φτωχότερου μίγματος.

Ένα σημαντικό όμως πλεονέκτημα της μηχανής υδρογόνου είναι οι χαμηλότερες απώλειες κατά την εισρόφηση του μίγματος αέρα-καυσίμου μέσα στον κύλινδρο. Κι' αυτό, η μηχανή λειτουργεί με την πεταλούδα του γκαζιού τελείως ανοιχτή και ο εκάστοτε καθορισμός του λόγου αέρα-καυσίμου γίνεται με προσαρμογή της ποσότητας ψεκασμού του υδρογόνου για την συγκεκριμένη και σταθερή ποσότητα αέρα που περνάει από την εισαγωγή της μηχανής.

Αν ανεβάσουμε σε μία «ιδανική μηχανή Otto», το λόγο συμπίεσης στο 13:1 και την τροφοδοτήσουμε με υδρογόνο μέσω άμεσου ψεκασμού μέσα στον κύλινδρο, η απόδοσή της φτάνει να είναι σχεδόν ίδια με αυτή μιας μηχανής βενζίνης στρωματοποιημένου μίγματος. Παρά τον μεγαλύτερο λόγο αέρα-καυσίμου (φτωχότερο μίγμα), το πλεονέκτημα της μηχανής υδρογόνου προέρχεται από την μεγαλύτερη ταχύτητα καύσης του υδρογόνου από αυτή της βενζίνης. Έτσι, οι απώλειες που σχετίζονται με την πραγματική καύση του υδρογόνου, αποδεικνύεται ότι, τελικά, είναι λιγότερες από αυτές της καύσης

ενός βενζινοκινητήρα που λειτουργεί με άμεσο ψεκασμό και διαστρωμάτωση του μίγματος.

Αν τώρα πάμε σε ακόμα μεγαλύτερο λόγο συμπίεσης, έστω 18:1, τότε ο βαθμός απόδοσης της «ιδανικής μηχανής Otto» που καίει υδρογόνο ξεπερνάει αυτόν μιας μηχανής Diesel με παρόμοιο λόγο συμπίεσης. Οι απώλειες που σχετίζονται με την «μη ιδανική» καύση του υδρογόνου είναι, τώρα, μικρότερες από αυτές της καύσης Diesel. Βέβαια, όμως, λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας καύσης του υδρογόνου, η πίεση και η θερμοκρασία που επιτυγχάνονται μέσα στην μηχανή είναι μεγαλύτερες, γεγονός που τελικά, οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας.



Εικόνα 6.9: Σύγκριση του βαθμού απόδοσης μιας σημερινής τυπικής μηχανής βενζίνης στοιχειομετρικού μίγματος με άμεσο ψεκασμό(1), μιας σημερινής τυπικής μηχανής πετρελαίου με ανακύκλωση καυσαερίων(2) και μιας μηχανής υδρογόνου(3).

Για συνθήκες χαμηλού φορτίου της μηχανής (2000 r.p.m κ' ίμερ=2.7 bar), η μηχανή υδρογόνου έχει σίγουρα μεγαλύτερη θερμική απόδοση από μια μηχανή βενζίνης, λόγω του υψηλότερου λόγου αέρα-καυσίμου. Η θερμική της απόδοση είναι όμως λίγο χαμηλότερη από αυτή της μηχανής πετρελαίου, αλλά, από την

άλλη, η ενδεικνύμενη απόδοσή της είναι μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει, κατά πρώτον, λόγω της γρηγορότερης ταχύτητας καύσης του υδρογόνου, που μειώνει τις απώλειες «μη ιδανικής» καύσης, και, κατά δεύτερο, λόγω των σημαντικά μικρότερων απωλειών κατά την εισαγωγή του μίγματος στην μηχανή, καθώς η πεταλούδα του γκαζιού παραμένει πάντα τελείως ανοιχτή. Η διαφορά της τάξης του 8%, μεταξύ της ενδεικνυόμενης απόδοσης της μηχανής βενζίνης και της αντίστοιχης της μηχανής υδρογόνου, οδηγεί σε μια μικρότερη κατανάλωση καυσίμου από την μηχανή υδρογόνου, της τάξης του 25%(εικόνα 6.9).!

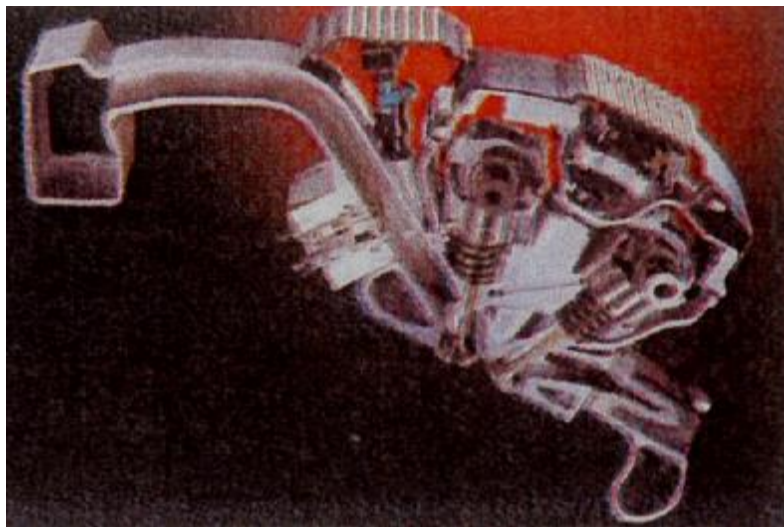
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

**Πρωτότυπα με Μ.Ε.Κ Υδρογόνου  
( Hydrogen Project Cars )**

## 7.1 Γενικά

Από το έτος 2000 και μετά, έχουν αρχίσει να παρουσιάζονται επισήμως κάποια αυτοκίνητα με μηχανές υδρογόνου.

Το πιο γνωστό, ίσως, από όλα αυτά είναι η BMW 750hL, που παρουσιάστηκε το 2000 και ήταν ουσιαστικά το αποτέλεσμα σχεδόν 30 ολόκληρων χρόνων έρευνας της BMW πάνω στην τεχνολογία χρήσης υδρογόνου. Η BMW 750hL είναι ένα αυτοκίνητο με την καρότσα της «στάνταρ» BMW 750hL, το οποίο χρησιμοποιεί μια μηχανή εσωτερικής καύσης που μπορεί να λειτουργήσει τόσο με βενζίνη όσο και με υδρογόνο, χρησιμοποιώντας δύο τελείως ανεξάρτητα συστήματα ψεκασμού για το κάθε καύσιμο, ξεχωριστά(εικόνα 7.1). Η μηχανή αυτή είναι 12κύλινδρη, 5.400 cc η οποία με την καύση υδρογόνου αποδίδει ονομαστική ισχύ 200 hp.



Εικόνα 7.1: Τομή της κυλινδροκεφαλής της BMW 750hL. Διακρίνονται οι injectors βενζίνης και υδρογόνου στον αυλό εισαγωγής.

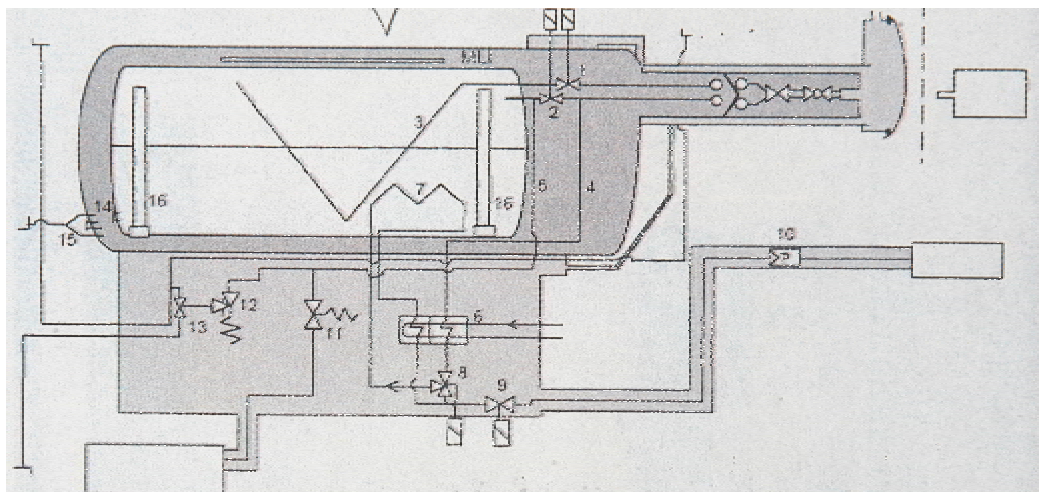
Η ιδέα πίσω από την ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογίας γι' αυτήν την μηχανή βασίστηκε στην χρήση υδρογόνου το οποίο έχει παραχθεί από ηλεκτρόλυση νερού και το οποίο υδρογόνο αποθηκεύεται σε ντεπόζιτο χωρητικότητας 140 λίτρων και σε θερμοκρασία  $-253^{\circ}\text{C}$ . Σε αυτή τη θερμοκρασία (μόλις  $-20.2$  βαθμούς πάνω από το «απόλυτο μηδέν»!), το υδρογόνο είναι σε υγρή μορφή και



καταλαμβάνει μόλις το ένα χιλιοστό του αρχικού του όγκου. Για να διατηρηθεί όμως η θερμοκρασία του υδρογόνου σε τόσο χαμηλή τιμή, το ντεπόζιτο είναι μονωμένο από 70 επάλληλα στρώματα αλουμινίου και fiberglass μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού τοιχώματός του.

Αντί για την συμβατική μπαταρία, η BMW 750hL χρησιμοποιεί μια κυψέλη υδρογόνου, η οποία παράγει αρκετή ισχύ για να τροφοδοτεί πλήρως όλα τα ηλεκτρικά συστήματα του αυτοκινήτου, ακόμα και όταν η μηχανή είναι εκτός λειτουργίας. Η αυτονομία του αυτοκινήτου είναι 400 χλμ. και πρέπει να σημειωθεί ότι η λειτουργία του κλιματισμού μέσω της κυψέλης καυσίμου επιτρέπει στη μηχανή να καταναλώνει κάπου 1 λίτρο καυσίμου λιγότερο ανά 100 χλμ.

Σε συνεργασία με την Shell, η BMW εξέλιξε μια νέα τεχνολογία για τον ανεφοδιασμό αυτοκινήτων υδρογόνου σε ειδικούς σταθμούς ανεφοδιασμού, σχεδιασμένους με βάση το πρωτοποριακό ντεπόζιτο της 750hL(εικόνα 7.2).



Εικόνα 7.2: Ντεπόζιτο υγρού υδρογόνου της BMW.

Για τον ανεφοδιασμό του ντεπόζιτου του υγρού υδρογόνου, ανοίγουν οι βαλβίδες (1) και (2) και το υδρογόνο ρέει στο ντεπόζιτο μέσω της βαλβίδας (1) και της γραμμής (3). Αν η πίεση στο ντεπόζιτο ανεβεί πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο, τότε αυτή η πίεση μπορεί να «ελευθερωθεί» πίσω στο σταθμό ανεφοδιασμού μέσω της βαλβίδας (2).



Όσον αφορά, τώρα, τον ψεκασμό του καυσίμου στον κινητήρα, πρέπει να πούμε ότι το υδρογόνο καταλήγει στα μπέκ σε αέρια μορφή - κατά συνέπεια, πρέπει να υπάρχει και μια υποδομή για το ελεγχόμενο πέρασμα του καυσίμου από την υγρή στην αέρια φάση. Αυτό επιτυγχάνεται με το άνοιγμα των βαλβίδων (2) και (9), μέσω των οποίων το υδρογόνο ρέει από την γραμμή (4) στον εναλλάκτη θερμότητας νερού (6). Εδώ, η θερμοκρασία του υδρογόνου ανεβαίνει σε θερμοκρασία «δωματίου» και, μέσω της βαλβίδας (9) και του ρυθμιστή πίεσης (10), αυτό διανέμεται στη μηχανή. Επειδή δεν υπάρχει αντλία καυσίμου, το ντεπόζιτο χρειάζεται να βρίσκεται πάντοτε σε μια συγκεκριμένη πίεση, ώστε να επιτυγχάνεται τροφοδοσία του καυσίμου στο σύστημα. Και η πίεση αυτή πρέπει να παραμένει, ανεξάρτητα από τον ρυθμό κατανάλωσης του υδρογόνου από τον κινητήρα. Πώς πραγματοποιείται αυτό; Απλά, όταν καταναλώνεται μια ποσότητα υδρογόνου που εμπεριέχεται στο ντεπόζιτο, με αποτέλεσμα την μείωση της πίεσής του, ένα μέρος από το υπόλοιπο υγρό υδρογόνο αεριοποιείται ώστε η πίεση να ανέβει και πάλι. Αυτό γίνεται με «ζεστό» υδρογόνο, που οδηγείται από το ρυθμιστή πίεσης (8) στον εναλλάκτη θερμότητας (7). Η θερμοκρασία του υδρογόνου ρυθμίζεται εκεί από το νερό ψύξης του εναλλάκτη, πριν επανέλθει πίσω στο σύστημα. Κάποιες, όμως, φορές η θερμοκρασία του υγρού υδρογόνου, παρά την πολύ καλή μόνωση του ντεπόζιτου, μπορεί να ανέβει και, κατά συνέπεια, το υγρό υδρογόνο να αεριοποιηθεί, ανεβάζοντας την πίεση που επικρατεί μέσα στο ντεπόζιτο σε επίπεδα υψηλότερα από το επιθυμητό. Στην περίπτωση αυτήν, η βαλβίδα (11) χρησιμοποιείται σαν ρυθμιστής πίεσης, που επιτρέπει στο αεριοποιημένο υδρογόνο να φύγει από το ντεπόζιτο και να μεταφερθεί στο λεγόμενο υποσύστημα «Boil-off». Εκεί μετατρέπεται σε νερό με την χρήση αέρα και ειδικού χημικού καταλύτη, χωρίς την ανάγκη να χρησιμοποιηθεί extra ενέργεια από το σύστημα γι' αυτήν τη μετατροπή.

Με φιλοσοφία παρόμοια με αυτή της BMW ήταν και η εξέλιξη ενός αυτοκινήτου υδρογόνου τύπου Mini, που παρουσιάστηκε το 2001 και του

οποίου η μηχανή υδρογόνου βασίστηκε στον βενζινοκινητήρα 1600cc του κανονικού Mini. Το ντεπόζιτο υδρογόνου, όμως, του συγκεκριμένου Mini καταλαμβάνει περίπου τον ίδιο χώρο με ένα standard ντεπόζιτο βενζίνης, χωρίς να περιορίζει τον χώρο επιβατών ή το χώρο του πορτ-μπαγκάζ!.



Εικόνα 7.3: Το υδρογονοκίνητο Mini της BMW

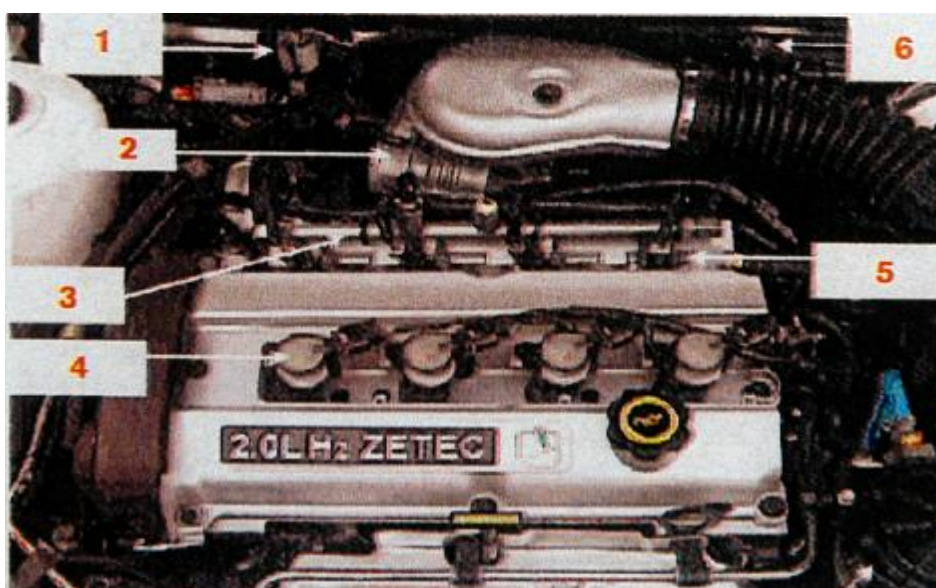
Ενώ όμως στην περίπτωση της BMW 750hL το υγρό υδρογόνο έπρεπε να θερμανθεί από τους  $-253^{\circ}\text{C}$  ώστε να φτάσει θερμοκρασία περιβάλλοντος πριν από την καύση, στο Mini δοκιμάστηκε μια νέα τεχνολογία, που επιτρέπει στο υδρογόνο να ψεκάζεται σε υγρή μορφή στους αυλούς εισαγωγής και να ατμοποιείται εκεί καθώς αναμιγνύεται με τον αέρα, πριν εισαχθεί στους κυλίνδρους της μηχανής για ανάφλεξη και καύση. Έτσι, το μίγμα αέρα-υδρογόνου που δημιουργείται αντιστοιχεί, σε μεγαλύτερη μάζα ανά κύκλο (λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλότερης πυκνότητάς του), με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερης ισχύος από την μηχανή και καλύτερο βαθμό απόδοσης.

Η BMW, μετά την παρουσίαση της 750hL, εργάστηκε πυρετωδώς πάνω στην εξέλιξη και βελτιστοποίηση όλων των συστημάτων αυτού του αυτοκινήτου. Έτσι, όταν ήρθε η στιγμή να ανανεώσει την σειρά "7", παρουσίασε ένα

καινούργιο πειραματικό μοντέλο που μπορούσε να λειτουργήσει τόσο με βενζίνη όσο και με υδρογόνο: την BMW 745h.

Το αυτοκίνητο αυτό έχει 8-κύλινδρη μηχανή σε διάταξη V, με χωρητικότητα 4.400cc. η συγκεκριμένη V8 διαθέτει διπλό σύστημα μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων bi-Vanos, σύστημα Valvetronic, πλήρως μεταβαλλόμενη πολλαπλή εισαγωγής και αποδίδει 184 ίππους, επιτρέποντας στην BMW 745h να ξεπερνάει τα 200 χλμ./ώρα σε τελική ταχύτητα. Η αυτονομία της 745h φτάνει τα 300χλμ. με αποκλειστική χρήση υδρογόνου και κάπου τα 650χλμ. με αποκλειστική χρήση βενζίνης. Και αυτό σημαίνει ότι, το συγκεκριμένο αυτοκίνητο μπορεί να καλύψει σχεδόν 1000χλμ. πριν χρειαστεί ανεφοδιασμό.

Αλλά και η Ford έχει εξελίξει και παρουσιάζει επίσημα αυτοκίνητα με μηχανές υδρογόνου, αρχής γενομένης από ένα Ford P2000. Η μηχανή του αυτοκινήτου αυτού, που παρουσιάστηκε το 2001 στην Αμερική, προέρχεται από το standard Ford Focus της εταιρείας, έχει χωρητικότητα 2000cc και λόγω συμπίεσης ανεβασμένο στο 14.5:1. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται η γραμμή τροφοδοσίας του καυσίμου(3) και οι injectors(5), η χρήση πηνίου ανάφλεξης πάνω σε κάθε μπουζί ξεχωριστά(4), η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του γκαζιού (ETC)(2), ο αισθητήρας ελέγχου ύπαρξης διαρροής υδρογόνου(1) και ο διαχωριστήρας του λαδιού που αποτρέπει ανακυκλοφορία του λαδιού στους θαλάμους καύσης για την αποφυγή της προανάφλεξης και του backfire και η HMB διακοπής παροχής(εικόνα 7.4).

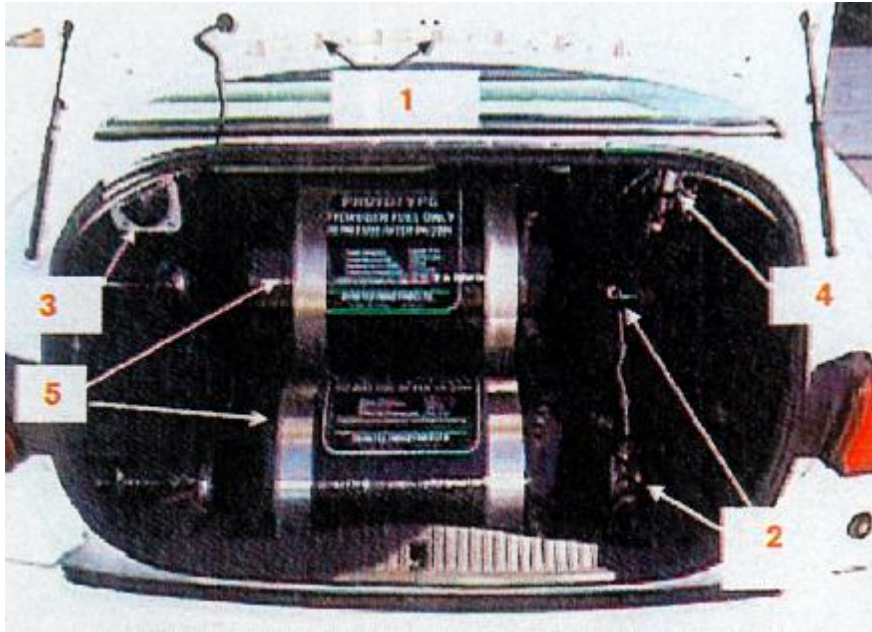


Εικόνα 7.4: Η μηχανή υδρογόνου του Ford P2000.

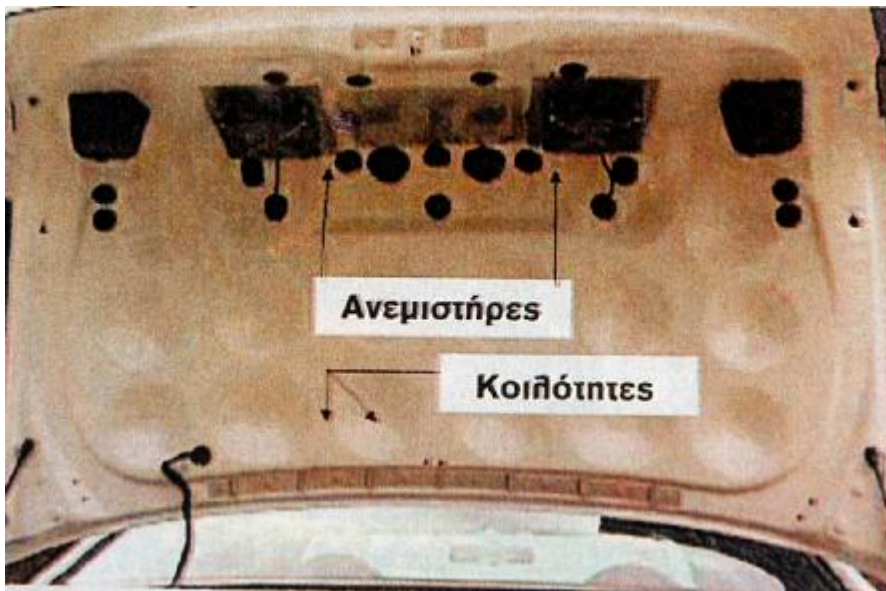
Η τροφοδοσία της μηχανής γίνεται από δύο ντεπόζιτα υδρογόνου, τα οποία είναι φτιαγμένα από αλουμίνιο τυλιγμένο με ανθρακονήματα και έχουν συνολική χωρητικότητα 87 λίτρα, λειτουργώντας σε πίεση 240 bar. Στην (εικόνα 7.5) διακρίνονται τα διπλά ντεπόζιτα του υδρογόνου(5), οι βαλβίδες των ντεπόζιτων(2), ο ανεμιστήρας αερισμού(3), οι οπές εξαερισμού(1) και ο αισθητήρας ελέγχου ύπαρξης διαρροής υδρογόνου(4). Ο λόγος που επιλέγονται «εξωτικά» υλικά για τις δεξαμενές υδρογόνου έχει σχέση με τα προβλήματα αλλοίωσης («ψαθυρότητα») που υφίστανται οι χάλυβες από την επαφή τους με αυτό το αέριο, γεγονός που τους καθιστά ακατάλληλους ως υλικό για την



αποθήκευσή του. Τα ντεπόζιτα του Ford P2000 εμπεριέχουν, συνολικά, 1.5Kg καυσίμου, το οποίο αντιστοιχεί σε ενέργεια 5.7 λίτρων βενζίνης.



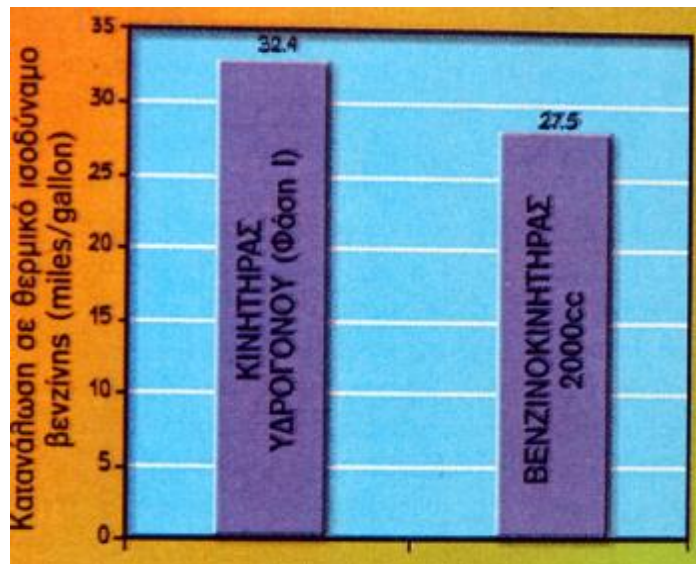
Εικόνα 7.5: Τα διπλά ντεπόζιτα υδρογόνου του Ford P2000.



Εικόνα 7.6: Το εσωτερικό του καπό του πορτ-μπαγκαζ όπου βρίσκονται τα ντεπόζιτα του Ford P2000. Ο χώρος χαρακτηρίζεται από τους ανεμιστήρες αερισμού καθώς και την ειδική διαμόρφωση με κοιλότητες στο εσωτερικό panel του καπό για καλύτερη κυκλοφορία του αέρα.

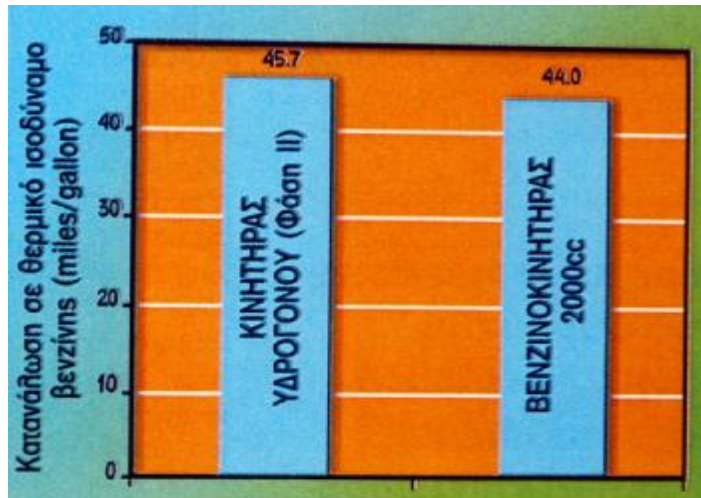
Σε πρώτη φάση, η μηχανή του αυτοκινήτου καλιμπραρίστηκε στο δυναμόμετρο για συνθήκες φτωχού μίγματος αέρα-υδρογόνου και απέκτησε

βελτιστοποιημένο χρονισμό ανάφλεξης σε όλο το πεδίο στροφών και φορτίων της μηχανής. Η εκπομπή ρύπων, αποδείχτηκε πολύ καλή και η οικονομία καυσίμου σχεδόν 18% καλύτερη από το αντίστοιχο αυτοκίνητο βενζίνης για συνθήκες οδήγησης πόλης. Επιπλέον, ο βαθμός απόδοσης της συγκεκριμένης μηχανής υπολογίστηκε στο 35% (κάπου 25-30% παραπάνω από τον βαθμό απόδοσης της ίδιας μηχανής όταν καίει βενζίνη). Η δυνατότητα, όμως, επιτάχυνσης του αυτοκινήτου αποδείχθηκε αρκετά μειωμένη, καθώς απαιτούνται περίπου 22 sec για τα 100χλμ./ώρα από στάση(εικόνα 7.8).



Εικόνα 7.8: Σύγκριση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου από το Ford 2000 για χρήση υδρογόνου και βενζίνης, για συνθήκες οδήγησης μέσα στην πόλη.

Προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη επιτάχυνση, η μηχανή επανακαλιμπραρίστηκε από την Ford για συνθήκες υψηλού φορτίου. Επιλέχθηκε, ξανά, φτωχό μίγμα αλλά, αυτή τη φορά, με λόγο αέρα-καυσίμου «μόνο» 40% μεγαλύτερο του στοιχειομετρικού. Το αυτοκίνητο επιτυγχάνει πλέον επιτάχυνση 0-100χλμ./ώρα σε 17sec, προσφέροντας 6% οικονομία καυσίμου σε σχέση με το αυτοκίνητο βενζίνης και διατηρώντας ταυτόχρονα μια οικονομία καυσίμου της τάξης του 14% για συνθήκες οδήγησης πόλης. Η αυτονομία του αυτοκινήτου για συνθήκες πόλης είναι σχεδόν 100χλμ., ενώ με την χρήση ντεπόζιτων 180 λίτρων σε πίεση 350bar, εικάζεται ότι η αυτονομία του αυτοκινήτου μπορεί να φτάσει τα 260-290χλμ(εικόνα 7.9).



Εικόνα 7.9: Σύγκριση μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου από το Ford 2000 για χρήση υδρογόνου και βενζίνης, για συνθήκες καλύτερης επιτάχυνσης.



Εικόνα 7.10: Η εξαγωγή αερισμού του αυτοκινήτου από τυχόν διαρροές υδρογόνου έχει τη μορφή κεραίας στην οροφή του Ford P2000.





Εικόνα 7.11: Αισθητήρας ελέγχου ύπαρξης διαρροής υδρογόνου στο χώρο των επιβατών του Ford P2000.

## **7.2 Ford Model U κ' Focus C-MAX H2 ICE**

Ένα ακόμη πιο εξελιγμένο αυτοκίνητο υδρογόνου παρουσιάστηκε από τη Ford το 2003, στο Motor Show του Detroit. Το αυτοκίνητο έχει την ονομασία Ford Model U και είναι ένα concept car με κινητήρα υδρογόνου και βιοδιασπώμενο αμάξωμα το οποίο λειτουργεί με μια 4-κύλινδρη μηχανή 2300cc που προέρχεται από το Ford Mondeo(εικόνα 7.12).



Εικόνα 7.12: Το Ford Model U είναι ένα concept car με υδρογονοκινητήρα και βιοδιασπώμενο αμάξωμα.

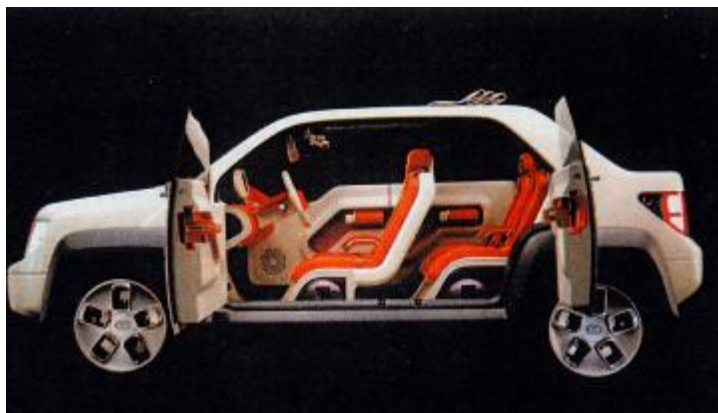


Η μηχανή αυτή έχει φυγοκεντρικό υπερσυμπιεστή που λειτουργεί σε πίεση λίγο πιο πάνω από το 1 bar, διπλά intercoolers, λόγο συμπίεσης 12.2:1, injectors αερίου υδρογόνου, ηλεκτρονική πεταλούδα γκαζιού και νέα χαρτογράφηση του κινητήρα μαζί με μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου(εικόνα 7.13).



Εικόνα 7.13: Ο υδρογονοκινητήρας των 2.3 λίτρων του Ford Model U.

Η λειτουργία της μηχανής αυτής στον αυτοκινητόδρομο γίνεται με πολύ φτωχό μίγμα, που φτάνει να έχει λόγο αέρα-καυσίμου 86:1. Με την χρήση, μάλιστα, του υπερσυμπιεστή, η ισχύς της μηχανής φτάνει να είναι παρόμοια με αυτήν που επιτυγχάνεται όταν αυτή δουλεύει με βενζίνη. Ο βαθμός απόδοσής της είναι 38%, δηλαδή κάπου 25% μεγαλύτερος από αυτόν μιας μηχανής βενζίνης. Το αυτοκίνητο χρησιμοποιεί επίσης ένα υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης και τελικά επιτυγχάνει κατανάλωση 1 λίτρου ανά 20χλμ.



Εικόνα 7.14: Το εσωτερικό του Ford Model U

Μόλις πριν μερικούς μήνες, η Ford παρουσίασε ένα ακόμα αυτοκίνητο υδρογόνου, αυτή τη φορά στη Γερμανία, στην πόλη της Στουτγάρδης. Το αυτοκίνητο είναι βασισμένο στην καρότσα του standard Ford Focus της εταιρίας και έχει την ονομασία Ford Focus C-MAX H2 ICE(εικόνα 7.15).



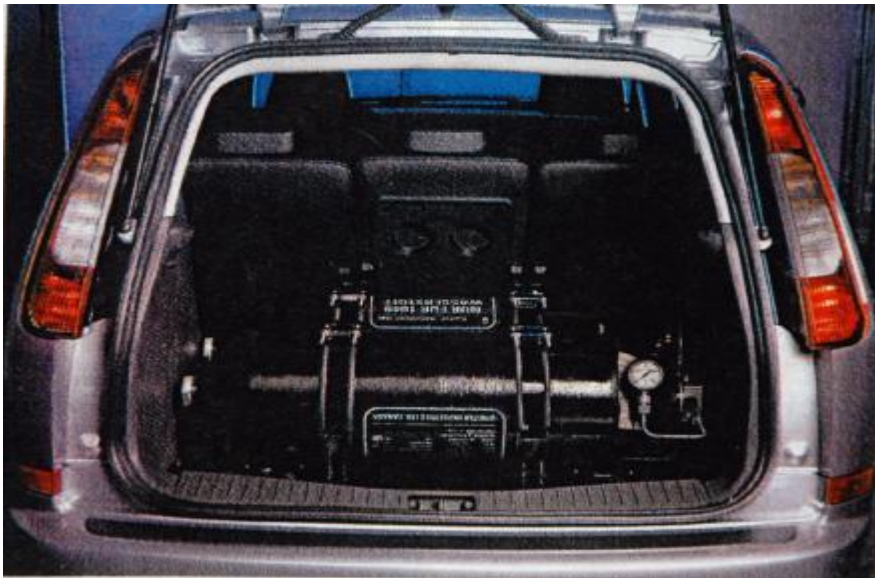
Εικόνα 7.15: Ford Focus C-MAX H2 ICE.

Η μηχανή του H2 ICE έχει χωρητικότητα 2300cc, παράγει 110 ίππους, διαθέτει δυο intercooler και είναι παρόμοια με αυτή του προηγούμενου Ford Model U(εικόνα 7.16).



Εικόνα 7.16: Ο κινητήρας των 2300cc του Ford Focus C-MAX H2 ICE.

Το υδρογόνο είναι αποθηκευμένο με πίεση 350 bar σε τρία ντεπόζιτα, δυο από τα οποία βρίσκονται στο πόρτ-μπαγκάζ του αυτοκινήτου και ένα κάτω από το πάτωμα(εικόνα 7.17). Τα τρία αυτά ντεπόζιτα χωράνε συνολικά κάπου 120 λίτρα και η αυτονομία του αυτοκινήτου είναι 200 χλμ., ενώ δυο ρυθμιστές κρατάνε την πίεση σταθερή στα 5.5 bar, στους injectors οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην πολλαπλή εισαγωγής.



Εικόνα 7.17: Δύο από τα ντεπόζιτα υδρογόνου τα οποία είναι τοποθετημένα στο πορτ-μπαγκάζ του Focus.

Μια επιπλέον διαφορά του C-MAX H2 ICE από το κανονικό βενζινοκίνητο Ford Focus, είναι η θέση της μπαταρίας που, τώρα, έχει μεταφερθεί έξω από τον χώρο του κινητήρα για να καταλήξει κάτω από το πίσω κάθισμα. Επίσης, υπάρχουν ειδικοί αισθητήρες ασφαλείας για τη διαρροή υδρογόνου και φυσικά ειδικά ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα. Ο λόγος αέρα-καυσίμου του κινητήρα αυτού προσαρμόζεται από την ηλεκτρονική μονάδα του αυτοκινήτου σε ευρεία κλίμακα ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.

### **7.3 Mazda RX-8 Hydrogen RE**

Το πρώτο αυτοκίνητο υδρογόνου που εξέλιξε η Mazda ήταν το Mazda HR-X το 1991, με περιστροφική μηχανή Wankel. Δυο χρόνια αργότερα, το 1993, η Mazda εξέλιξε Mazda MX-5 επίσης με μηχανή Wankel υδρογόνου σε πειραματική μορφή.

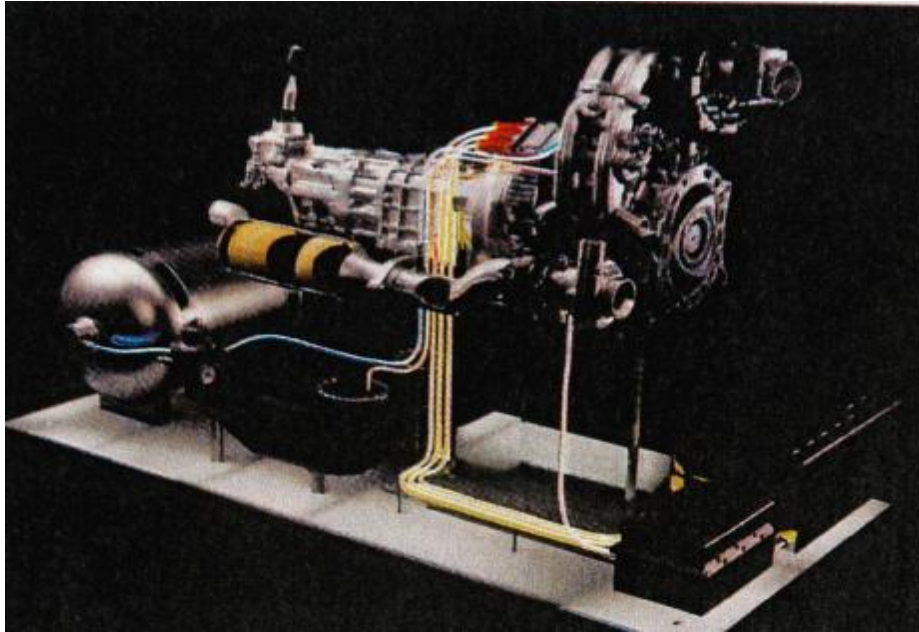
Το υπόλοιπο της δεκαετίας του '90, η Mazda ασχολήθηκε με την εξέλιξη αυτοκινήτων με κυψέλες υδρογόνου, αλλά συνέχισε παράλληλα και την ερευνά της στις μηχανές υδρογόνου τύπου Wankel και τελικά, το 2003, στο Motor Show του Τόκιο, παρουσίασε ένα Mazda RX-8 με περιστροφικό κινητήρα υδρογόνου και το ονόμασε Mazda RX-8 Hydrogen RE(εικόνα 7.18).



Εικόνα 7.18: **Mazda RX-8 Hydrogen RE**

Ο κινητήρας του ονομάζεται Mazda RENESIS(εικόνα 7.20) και λειτουργεί με απευθείας ψεκασμό του υδρογόνου (σε αέρια μορφή) μέσα στο θάλαμο του κάθε ρότορα. Για τον άμεσο αυτό ψεκασμό, χρησιμοποιούνται δυο injectors υδρογόνου ανά ρότορα, μια επιλογή που κρίθηκε απαραίτητη λόγω της πολύ χαμηλής πυκνότητας του υδρογόνου. Εδώ, θα πρέπει να αναφερθεί, επιπροσθέτως, ότι επειδή οι κινητήρες με ρότορα προσφέρουν διαφορετικούς θαλάμους για την εισαγωγή του μίγματος και την καύση του, δεν μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα backfire σαν αυτά που εμφανίζονται σε κινητήρες με πιστόνια.





Εικόνα 7.20: Ο περιστροφικός κινητήρας υδρογόνου RENESIS του MAZDA.



Εικόνα 7.21: Τομή του περιστροφικού κινητήρα Wankel.

Φυσικά, στην συγκεκριμένη μηχανή υπάρχουν και injectors βενζίνης, ώστε το αυτοκίνητο να λειτουργεί και με την κλασική μορφή ενέργειας, όποτε χρειαστεί. Η μετάβαση από καύση υδρογόνου σε καύση βενζίνης γίνεται πολύ απλά με την χρήση ενός διακόπτη από τη θέση του οδηγού. Φυσικά, υπάρχει διαφορά στην απόδοση ανάμεσα στα δυο καύσιμα: ο συγκεκριμένος κινητήρας RENESIS αποδίδει 210 ίππους με την χρήση βενζίνης και μόλις 110 ίππους με την χρήση υδρογόνου.

#### **7.4 BMW H2R - Η Τεχνολογία**

Δέκα μόλις μήνες μεσολάβησαν, ανάμεσα στην λήψη της απόφασης για την δημιουργία του H2R(εικόνα 7.22) και την ολοκλήρωση της κατασκευής του από την BMW Forschung und Technik GmbH (θυγατρική εταιρεία της BMW AG) υπό την καθοδήγηση του Juergen Kutoler.



Εικόνα 7.22: **BMW H2R**

Για την BMW τα πράγματα ήταν εύκολα καθώς δεν υπήρχαν ουσιαστικοί περιορισμοί ως προς το βάρος (που στην περίπτωση του H2R, φτάνει τα 1500 κιλά), γεγονός που επέτρεψε την αξιοποίηση πολλών εξαρτημάτων προερχομένων από τα αυτοκίνητα παραγωγής, απαλλάσσοντας την ομάδα από

την ανάγκη σχεδίασης και εξέλιξης νέων, ειδικά για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Το αλουμινένιο χωροδικτύωμα της BMW H2R, οι αναρτήσεις καθώς και το σύστημα διεύθυνσης προέρχονται από το roadster BMW Z8(εικόνα 7.23).



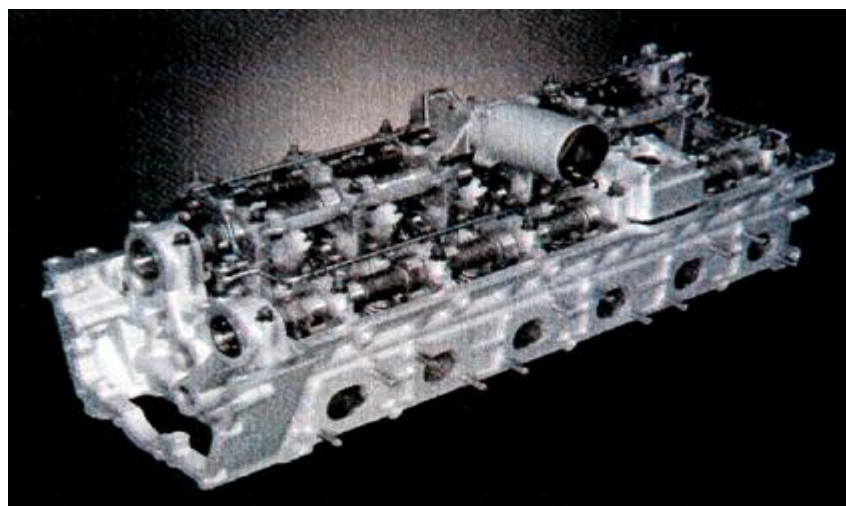
Εικόνα 7.23: Το αλουμινένιο χωροδικτύωμα της H2R, οι αναρτήσεις και το σύστημα διεύθυνσης προέρχονται από το roadster Z8.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, επικεντρώνεται στο μεταποιημένο βενζινοκινητήρα παραγωγής (προερχόμενο από την 760Li), στον οποίο προστέθηκε μια εγκατάσταση διαχείρισης υδρογόνου. Η εγκατάσταση αυτή θα αποτελέσει τμήμα του συνολικού συστήματος διαχείρισης του κινητήρα υπό καθεστώς «bi-fuel», για το υδρογονο-βενζινοκίνητο αυτοκίνητο παραγωγής που ετοιμάζεται. Ο 6λιτρος V-12 κινητήρας αποδίδει, καίγοντας υδρογόνο, 285 ίππους και ως προς τη βασική του δομή, η μόνη του διαφορά με τον βενζινοκινητήρα παραγωγής είναι το διαφορετικό υλικό στις έδρες των βαλβίδων. Η επιλογή αυτή ήταν απαραίτητη καθώς, όπως ήδη έχει αναφερθεί το υδρογόνο είναι ένα «ξηρό» αέριο χωρίς λιπαντικές ιδιότητες. Μια άλλη αξιοσημείωτη διαφορά εντοπίζεται στη θέση των ακροφυσίων παροχής καυσίμου που τώρα, βρίσκονται στους αυλούς εισαγωγής, την στιγμή που η βενζινοκίνητη εκδοχή 760Li διαθέτει άμεσο ψεκασμό. Από εκεί και πέρα όμως, οι διαφορές αρχίζουν να γίνονται σημαντικές καθώς το υδρογόνο έχει τελείως



διαφορετικά χαρακτηριστικά καύσης από αυτά της βενζίνης. Κατ' αρχήν δεν χρειάζεται να υπάρχει αβάνς! Στον κινητήρα H2R, η έναυση δίνεται αμέσως μόλις το πιστόνι περάσει το A.N.Σ και όχι πριν από αυτό, όπως στους βενζινοκινητήρες. Την δυνατότητα αυτή τη δίνει η πολύ ταχύτερη, εν συγκρίσει με την βενζίνη, διάδοση του μετώπου της φλόγας στο μίγμα αέρα-υδρογόνου. Και όπως είναι φυσικό, η ταχύτατη αυτή ανάπτυξη πίεσης στο θάλαμο καύσης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης του υδρογονοκινητήρα.

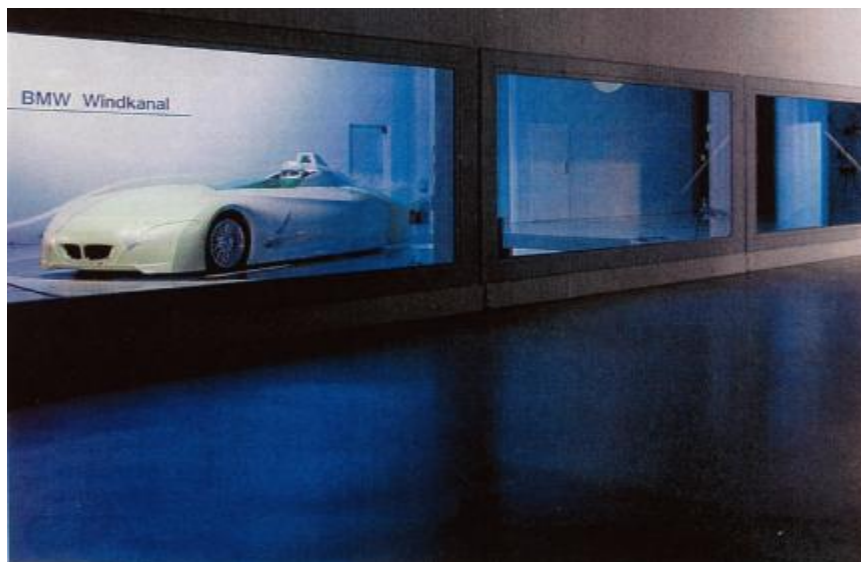
Όπως γνωρίζουμε ήδη, ο έμμεσος ψεκασμός υδρογόνου εμπεριέχει τον κίνδυνο του backfire μέσα στον αυλό εισαγωγής, στην περίπτωση που το μίγμα υδρογόνου-αέρα συναντήσει θερμά σημεία (hot spots) μέσα στον κύλινδρο, κατά την διάρκεια της εισαγωγής, όταν η αντίστοιχη βαλβίδα είναι ακόμη ανοιχτή. Στην περίπτωση του H2R, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί, καθώς οι μηχανικοί της BMW έχουν φροντίσει, πριν από την είσοδο του μίγματος στον κύλινδρο, να περάσει πρώτα από αυτόν ένα ρεύμα «σκέτου» αέρα, το οποίο ψύχει τις εσωτερικές επιφάνειες τις οποίες διατρέχει. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τις «συνεργασίας» των συστημάτων Vanos (που μεταβάλλει τον χρονισμό των εκκεντροφόρων) και Valvetronic (συνεχής ρύθμιση διάρκειας ανοίγματος και μεγέθους βυθίσματος των βαλβίδων εισαγωγής)(εικόνα 7.24).



Εικόνα 7.24: Συστήματα Vanos και Valvetronic τα οποία ρυθμίζουν επιλεκτικά ανά βαλβίδα τόσο χρονισμό ανοίγματός της όσο και το μέγεθος του βυθίσματος.



Σύμφωνα με τα παραπάνω, η έγχυση του υδρογόνου στον αυλό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί την τελευταία, ακριβώς, στιγμή πριν την ολοκλήρωση της φάσης εισαγωγής και το κλείσιμο της αντίστοιχης βαλβίδας. Αυτό σημαίνει ότι, μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, θα πρέπει να έχει εγχυθεί στον αυλό μια ποσότητα υδρογόνου της οποίας ο όγκος είναι πολλαπλάσιος του αντίστοιχου της «ισοδύναμης» ποσότητας βενζίνης. Κατά συνέπεια, ο injector θα πρέπει να διαθέτει πολύ μεγαλύτερη παροχή (σε όγκο) από τον αντίστοιχο ενός βενζινοκινητήρα.

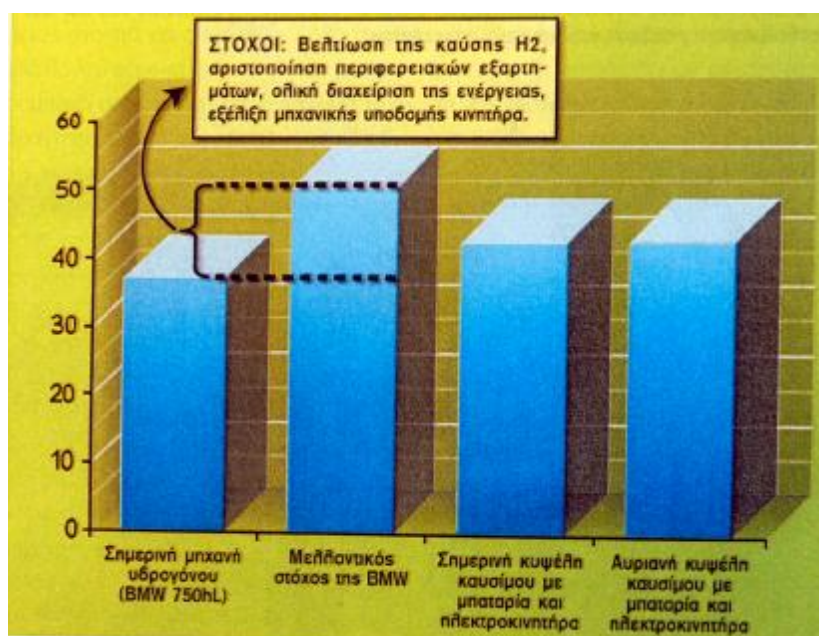


Εικόνα 7.25: Το H2R στην αεροδυναμική σήραγγα, όπου και επιτεύχθηκε ένας συντελεστής οπισθέλκουσας μόλις 0.21.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το θέμα των μιγμάτων που καίγονται στον κινητήρα, καθώς το ζητούμενο, εκτός από την απόδοση, είναι η μικρή κατανάλωση και, οπωσδήποτε, τα καθαρά καυσαέρια. Στο πλήρες φορτίο, το μίγμα με το οποίο λειτουργεί ο κινητήρας είναι το στοιχειομετρικό ( $\lambda=1$ ), όπως και στους βενζινοκινητήρες. Από εκεί και πέρα όμως, όσο το φορτίο μικραίνει, το μίγμα γίνεται συνεχώς και φτωχότερο ( $\lambda>1$ ) προς χάρη της οικονομίας. Εδώ, όμως, χρειάζεται προσοχή, διότι, τα φτωχότερα μίγματα υδρογόνου έχουν την τάση να παράγουν οξείδια του αζώτου, κατά την καύση τους, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται. Από τη στιγμή όμως που το μίγμα

γίνει φτωχότερο από την τιμή  $\lambda=2$ , η παρουσία  $\text{NO}_x$  στα καυσαέρια μειώνεται δραστικά (λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών καύσης) ώσπου εξαφανίζονται τελείως. Αυτός είναι και ο λόγος που το management του κινητήρα περνάει απευθείας από την περιοχή  $\lambda>1$  στην περιοχή  $\lambda>2$  χωρίς, ενδιάμεσως, να επιλέγει κάποια από τα ενδιάμεσα μίγματα. Η ομαλότητα της απόκρισης του κινητήρα, κατά την «μετάβαση» αυτή, ελέγχεται από το Valvetronic. Με τον τρόπο αυτόν, κάτω από όλες τις δυνατές συνθήκες λειτουργίας, ο κινητήρας του H2R παραμένει μονίμως «καθαρός».

Αυτή την στιγμή, η μηχανή υδρογόνου της BMW H2R έχει βαθμό απόδοσης 37%, όταν μια σημερινή κυψέλη καυσίμου αγγίζει το 42%. Η BMW πιστεύει ότι μπορεί να επιτύχει μέχρι και 50% απόδοση, αρκετά σύντομα, βελτιστοποιώντας την φυσική της καύσης του υδρογόνου μέσα στον κινητήρα, εξελίσσοντάς την μηχανή αυτή καθεαυτή και τα περιφερειακά συστήματά της, καθώς επίσης χρησιμοποιώντας γενικά καλύτερη «διαχείριση» της ενέργειας από την μηχανή. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται σύγκριση του βαθμού απόδοσης μηχανών υδρογόνου με αυτόν των κυψελών υδρογόνου(εικόνα 7.26).



Εικόνα 7.26: Σύγκριση του βαθμού απόδοσης μηχανών υδρογόνου με αυτόν των κυψελών υδρογόνου.

Μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακά τα ρεκόρ που πέτυχε, στην πρώτη του προσπάθεια, το H2R, αν τα συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα ενός βενζινοκινητήρα. Δεν παύει όμως να είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι, κατά την διέλευσή του μεταξύ των φωτοκυττάρων του πεδίου δοκιμών, το H2R, δεν άφησε πίσω του παρά μόνο καθαρό υδρατμό.

Τα ρεκόρ που κατέρριψε το BMW H2R		
	χρόνος (sec)	Ταχύτητα εξόδου (Km/h)
Χιλιόμετρο εν κινήσει	11,993	300,19
<i>Μίλι εν κινήσει</i>	19,912	290,962
1/8 του μιλίου από στάση	9,921	72,997
<i>1/4 του μιλίου από στάση</i>	14,933	96,994
1/2 χιλιόμετρο από στάση	17,269	104,233
<i>Ένα μίλι από στάση</i>	36,725	157,757
10 μίλια από στάση	221,052	262,094
<i>Ένα χιλιόμετρο από στάση</i>	26,557	135,557
10 χιλιόμετρα από στάση	146,406	245,892

## ΣΧΟΛΙΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εκπόνηση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας μελετήσαμε την ιστορία των μηχανών εσωτερικής καύσης(M.E.K), πώς αυτές εφευρέθηκαν και πώς εξελίχθηκαν ανά τα χρόνια, από την παλαιότερη εμβολοφόρο ατμομηχανή και την μηχανή φωταερίου του Lenoir(1822-1900) μέχρι τον σημερινό κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον κινητήρα υδρογόνου. Είδαμε τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά και την σημερινή τεχνολογία των βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων και μελετήσαμε την υβριδική τεχνολογία, η οποία είναι ουσιαστικά το πρώτο βήμα για ένα καθαρότερο περιβάλλον και για την εξοικονόμηση των υγρών καυσίμων. Αναφερθήκαμε στα βασικά υβριδικά συστήματα και τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζονται αυτά στα αυτοκίνητα.

Εκτεταμένη αναφορά έγινε για τις ενεργειακές κυψέλες καυσίμων(fuel cells), οι οποίες μαζί με την τεχνολογία καύσης υδρογόνου σε κινητήρες αποτελούν το μέλλον της αυτοκίνησης προσφέροντας μέγιστη οικονομία στα καύσιμα και σχεδόν μηδενική ρύπανση του περιβάλλοντος. Μελετήσαμε την βασική λειτουργία των fuel cells, τα χρησιμοποιούμενα σε αυτές καύσιμα καθώς και τους βασικότερους τύπους των ενεργειακών κυψελών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Με την εφαρμογή των fuel cells στις M.E.K έχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και λιγότερους εκπεμπόμενους αέριους ρύπους στην ατμόσφαιρα(CO, HC, NOx), καθώς αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από τα αυτοκίνητα(επιβατηγά, φορτηγά, λεωφορεία) ακόμη και σε τρένα, πλοία, κλπ. Τέλος μελετήσαμε τον τρόπο λειτουργίας και τις επιδόσεις δυο αυτοκινήτων τα οποία χρησιμοποιούν την τεχνολογία των ενεργειακών κυψελών και του υδρογόνου: τα GM Hy-wire και Hydrogen 3.

Η τελική και πιο εκτεταμένη αναφορά αφορά την υδρογονική τεχνολογία, η οποία είναι η τεχνολογία του μέλλοντος και η πιο «καθαρή», καθώς οι κινητήρες που καίνε καύσιμο υδρογόνο δεν εκπέμπουν παρά μόνο καθαρό υδρατμό, πράγμα που σημαίνει σχεδόν μηδενική ρύπανση του περιβάλλοντος.

Μελετήσαμε την καύση του υδρογόνου σε μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς και την εμφάνιση του φαινομένου του backfire το οποίο αποτελεί ίσως τον μοναδικό και πιο σοβαρό κίνδυνο για τους κινητήρες υδρογόνου. Έγινε αναφορά στα συστήματα ψεκασμού υδρογόνου και συγκρίναμε τον κινητήρα υδρογόνου με τους συμβατικούς(diesel, βενζίνης) σε θέμα απόδοσης και εκπεμπόμενων ρύπων και είδαμε ότι και στα δυο ο κινητήρας υδρογόνου είναι καλύτερος.

Τέλος παρουσιάσαμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο λειτουργίας και τις επιδόσεις ορισμένων πρότυπων αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία καύσης υδρογόνου στους κινητήρες τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Α) Διαδικτυακές θέσεις:

- i) <http://www.drive.gr>
- ii) <http://ams.gr>
- iii) <http://4troxoi.gr>
- iv) <http://r&d.gr>
- v) <http://elpa.gr>
- vi) <http://avin.gr>

### Β) Έντυπα μέσα:

- i) περιοδικό R&D
- ii) περιοδικό Auto Motor und Sport
- iii) περιοδικό DRIVE
- iv) περιοδικό 4troxoi

### Γ) Φορείς:

Βιβλιοθήκη Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΩΝ