

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ
ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΛΙΝΤΖΗΡΗΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ :
ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ – 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην διερεύνηση χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων για χρήση στην κίνηση οχημάτων.

Ευχαριστούμε πολύ τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας και τον καθηγητή Κωνσταντίνο Μαυρίδη για την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την εκπόνηση της εργασίας.

Σεπτέμβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία περιγράφει την διερεύνηση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων για χρήση στην κίνηση των οχημάτων. Η εργασία αποτελείται από επτά (7) επιμέρους κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα φυτικά έλαια και συγκεκριμένα στον τρόπο παραγωγής τους, χρήσης τους σε διάφορες μηχανές καθώς επίσης μελετάται η απόδοση και οι αντοχές τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο καύσιμο του βιοντίζελ, στις ιδιότητές του και στα χαρακτηριστικά του καθώς επίσης μελετάται και το πώς αυτό το καύσιμο επιδρά στα διάφορα μέρη μιας μηχανής.

Στο κεφάλαιο τρία έχουμε εισαγωγή στη μεθανόλη, στις δυνατότητες που έχει και στον τρόπο με τον οποίο παράγεται. Γίνεται επίσης αναφορά στα οικονομικά της μεθανόλης και στα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της.

Στο κεφάλαιο τέσσερα αναφέρονται οι ιδιότητες της αιθανόλης και πως επιδρά αυτή σε διάφορες δοκιμές σε κινητήρες μηχανών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του υδρογόνου. Πως αυτό λειτουργεί σαν μεταφορέας ενέργειας, πως γίνεται ο σχηματισμός του, στις ιδιότητες που έχει σαν καύσιμο, τα οφέλη αλλά και τα εμπόδια που προκύπτουν από τη χρήση του σαν καύσιμο.

Στο κεφάλαιο έξι γίνεται αναφορά στις κυψέλες καυσίμου καθώς και στα οχήματα που λειτουργούν με αυτή την πηγή, στις απαιτήσεις σε ισχύ και ενέργεια ενός τέτοιου οχήματος αλλά και σε τεχνικά ζητήματα που αφορούν τα συγκεκριμένα οχήματα.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια ανάλυση των υβριδικών οχημάτων, των βασικών χαρακτηριστικών τους και στους διάφορους τρόπους λειτουργίας τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	σελ. 1
Περίληψη	σελ. 2
Εισαγωγή	σελ. 4
Κεφάλαιο 1: Φυτικά έλαια	σελ. 21
Κεφάλαιο 2 : Βιοντίζελ	σελ. 39
Κεφάλαιο 3 : Μεθανόλη	σελ. 61
Κεφάλαιο 4 : Αιθανόλη	σελ. 80
Κεφάλαιο 5 : Υδρογόνο	σελ. 90
Κεφάλαιο 6 : Κυψέλες καυσίμου	σελ. 123
Κεφάλαιο 7 : Υβριδικά οχήματα	σελ. 144
Βιβλιογραφία	σελ. 163

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ

1.1 Εισαγωγή

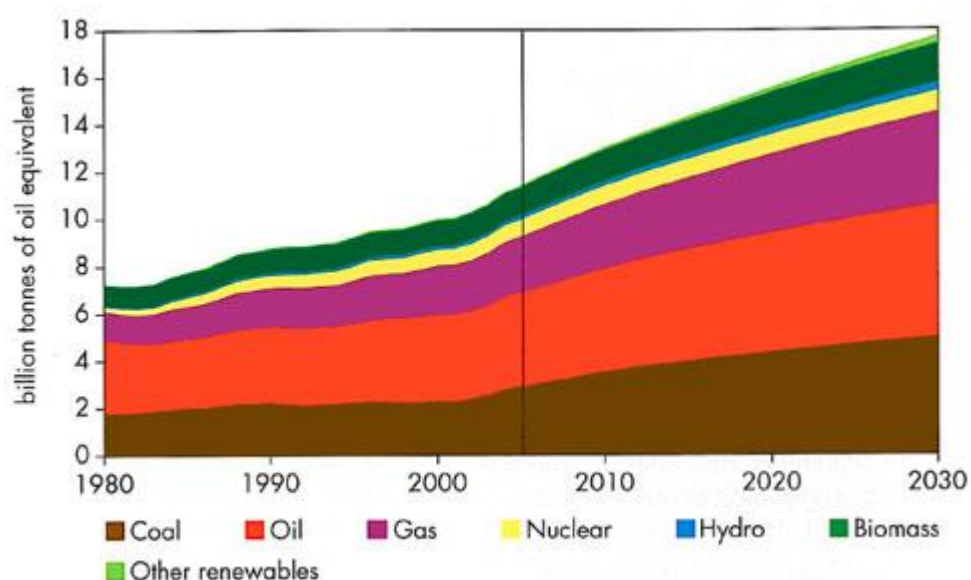
Η ενέργεια αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την οικονομική ανάπτυξη κάθε χώρας και είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της σύγχρονης οικονομίας. Η μελλοντική οικονομική ανάπτυξη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα της ενέργειας από πηγές οι οποίες είναι οικονομικά συμφέρουσες, προσιτές και συνάμα φιλικές προς το περιβάλλον. Την κύρια πηγή ενέργειας παγκοσμίως αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, κάρβουνο και φυσικό αέριο), οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (υδροηλεκτρική, αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, θαλάσσια ενέργεια και τα απόβλητα των καυσίμων) και η πυρηνική ενέργεια. Αυτές οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας μετατρέπονται σε δευτερογενείς όπως ακριβώς γίνεται με το κάρβουνο και το αργό πετρέλαιο που μετατρέπονται σε ηλεκτρισμό και ατμό.

Τα απόβλητα καυσίμων περιλαμβάνουν τα ζωικά προϊόντα, τη βιομάζα και τα βιομηχανικά απόβλητα. Το κάρβουνο είναι η κύρια πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως και τα προϊόντα πετρελαίου είναι για τον τομέα των μεταφορών. Η κατανάλωση της ενέργειας είναι άνισα κατανομημένη σε διάφορους τομείς των βιομηχανοποιημένων οικονομιών, όπως είναι άνισα κατανομημένη και στις γεωγραφικές περιοχές. Η κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, με το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης να επέρχεται απ' τη χρήση του πετρελαίου, του κάρβουνου και του φυσικού αερίου.

Το πετρέλαιο, είναι η πιο σημαντική και άφθονα διαθέσιμη πηγή ενέργειας, που καταναλώνεται σε μεγάλο βαθμό σε όλο τον κόσμο. Η τιμή του αργού πετρελαίου είναι πολύ ασταθής και ο εφοδιασμός εξαρτάται από την τιμή αγοράς. Όταν στις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες καταναλώνεται καθημερινά κατά μέσο όρο 43 εκατομμύρια βαρέλια, οι αναπτυσσόμενες χώρες καταναλώνουν μόνο 22 εκατομμύρια βαρέλια κάθε μέρα. Το κάρβουνο είναι η δεύτερη αφθονότερη πηγή ενέργειας στον κόσμο και χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φυσικό αέριο αποτελεί την ενεργειακή πηγή με το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης τα τελευταία χρόνια. Η υψηλή απόδοση του φυσικού αερίου κατά την τελική χρήση του το έχουν καταστήσει δημοφιλές σε έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει σημαντική χρήση από υδροηλεκτρικές πηγές σε όλο τον κόσμο. Επίσης οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Ωστόσο, οι τιμές των καυσίμων και των ρυθμιστικών πολιτικών των διαφόρων χωρών παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών. Η βιομηχανία υδρογονανθράκων σε όλο τον κόσμο έχει αποτελέσει σημαντικό κινητήριο μοχλό της οικονομικής μεγέθυνσης και ανάπτυξης τόσο για τις ανεπτυγμένες όσο και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Ο τομέας των εμπορικών μεταφορών χρησιμοποιεί ένα σημαντικό μερίδιο των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, όπως τα μέσα μαζικής μεταφοράς – δίκροχα και ελαφρά εμπορικά οχήματα – και η αγορά αυτοκινήτων εξαρτάται εντελώς από βενζινοκίνητες μηχανές. Προβλέπεται ότι η παγκόσμια ζήτηση αργού πετρελαίου θα αυξηθεί κατά 1.6 % δηλαδή από 75 εκατομμύρια βαρέλια τη μέρα το έτος 2000 σε 120 εκατομμύρια βαρέλια τη μέρα το 2030. Η πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου παγκοσμίως φαίνεται στον πίνακα 1.1

Πίνακας 1.1 : Πρωτογενής ζήτηση πετρελαίου παγκοσμίως (Εκατομμύρια βαρέλια ημερησίως)

	1980	2000	2006	2010	2015	2030	2006-2030(%)
Οργανισμός οικονομικής συνεργασίας και ανάπτυξης	41.8	46.0	47.3	49.0	50.8	52.9	0.5%
Ν.Αμερική	20.9	23.4	24.9	26.2	27.7	30.0	0.8%
Ευρώπη	14.7	14.2	14.3	14.5	14.7	14.7	0.1%
Ειρηνικός	6.3	8.4	8.1	8.3	8.3	8.1	0.0%
Μεταβατικές οικονομίες	9.4	4.2	4.5	4.7	5.1	5.6	0.9%
Ρωσία	-	2.6	2.6	2.8	3.0	3.3	0.9%
Αναπτυσσόμενες χώρες	11.3	23.1	28.8	33.7	38.7	53.3	2.6%
Κίνα	1.9	4.7	7.1	9.0	11.1	16.5	3.6%
Ινδία	0.7	2.3	2.6	3.1	3.7	6.5	3.9%
Λοιπή Ασία	1.8	4.5	5.5	6.2	6.9	8.9	2.0%
Μέση ανατολή	2.0	4.6	6.0	7.0	7.9	9.5	1.9%
Αφρική	1.3	2.3	2.8	3.1	3.4	4.8	2.2%
Λατ. Αμερική	3.5	4.7	4.8	5.2	5.6	7.1	1.6%
Διεθνή ναυσιπλοΐα	2.2	3.6	4.1	3.7	3.9	4.5	-
Παγκόσμια	64.8	77.0	84.7	91.1	98.5	116.3	1.3%
Ευρωπαϊκή ένωση	-	13.6	13.8	13.8	14.0	13.8	0.0%



Εικόνα 1.1 : Παγκόσμια τάση της κατανάλωσης ενέργειας

1.2 Ενεργειακή ασφάλεια

Η ενέργεια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα έσοδα για την οικονομική ανάπτυξη και πρόοδο κάθε χώρας. Παρ' όλο που το 80% του παγκόσμιου πληθυσμού ανήκει στις αναπτυσσόμενες χώρες η ενεργειακή τους κατανάλωση ανέρχεται σε μόλις 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Το υψηλό βιοτικό επίπεδο των ανεπτυγμένων χωρών οφείλεται στα υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης η ταχεία αύξηση του πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες έχει κρατήσει την κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας σε χαμηλό επίπεδο συγκρινόμενο με αυτό των ανεπτυγμένων χωρών. Η συνεχής διαθεσιμότητα της ενέργειας με διάφορους τρόπους σε επαρκή ποσότητα και λογικές τιμές είναι αυτό που απαιτείται. Παρ' όλο που τα αποθέματα του αργού πετρελαίου έχουν εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο, ωστόσο οι μεγάλοι πετρελαϊκοί πόροι είναι διαθέσιμοι σε συγκεκριμένες περιοχές παγκοσμίως και κυρίως στις χώρες της Μέσης ανατολής (περίπου το 63%). Το διεθνές εμπόριο πετρελαίου υπόκειται σε διακυμάνσεις και συχνά έχει οδηγήσει σε ετοιμοπόλεμες καταστάσεις στο παρελθόν ιδίως με την μέθοδο της προσφοράς στις χώρες του Κόλπου. Η ποσότητα του αργού πετρελαίου είναι το προϊόν της ταφής και μετατροπής της μάζας πάνω από 200 εκατομμυρίων ετών. Ακόμα και τώρα που τα ορυκτά καύσιμα δημιουργούνται υπό πίεση και θερμοκρασία καταναλώνονται πιο γρήγορα από ότι παράγονται. Οπότε υπάρχει σαν αποτέλεσμα μια πιθανότητα έλλειψης καυσίμων στο εγγύς μέλλον. Οι πηγές πετρελαίου βρίσκονται παγκοσμίως σε μια συνεχή κατανάλωση συνεπώς εξαντλούνται ταχέως. Αυτή η γρήγορη εξάντλησή τους οδηγεί σε έναν άλλο παγκόσμιο παράγοντα (το συνεχώς αυξανόμενο κόστος καυσίμων). Ως εκ τούτου υπάρχει επείγουσα ανάγκη να αντιληφθούμε την ενεργειακή κρίση και να μεταβούμε από τις συμβατικές στις μη συμβατικές βιώσιμες ενεργειακές πηγές. Η εικόνα 1.2 δείχνει την κατανάλωση των ενεργειακών πηγών παγκοσμίως.



Εικόνα 1.2 : Κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο

Χώρες που έχουν ανεπαρκή αποθέματα αργού πετρελαίου και βασίζονται στην εισαγωγή του ίσως επηρεάσουν σημαντικά την οικονομική ανάπτυξη και την κυριαρχία στις παγκόσμιες πολιτικές σχέσεις τους. Συνεπώς σαν θέμα της αναγκαιότητας και της εθνικής αυτάρκειας προσπαθούν οι χώρες αυτές να επιτύχουν ανεξαρτησία όσον αφορά τη διαθεσιμότητα καυσίμων. Γενικά ο κόσμος βασίζεται στα περιορισμένα αποθέματα πετρελαίου (κυρίως οι χώρες της Μέσης ανατολής) κι αν υπάρξει μείωση της παραγωγής του αργού πετρελαίου αυτό θα επηρεάσει την παγκόσμια οικονομία. Ο παρακάτω πίνακας 1.2 δείχνει την παραγωγή αργού πετρελαίου.

Πίνακας 1.2 : Παραγωγή αργού πετρελαίου

Παραγωγή	2007	Αναφορά(2030)	Χαμηλή τιμή πετρελαίου (2030)	Υψηλή τιμή πετρελαίου (2030)
<u>Συμβατικά υγρά</u>				
Συμβατικό αργό πετρέλαιο και συμπυκνωμένο	71.0	77.3	93.6	57.7
Υγρό φυσικό αέριο	8.0	12.4	11.2	12.1
Κέρδος διυλιστηρίου	2.1	2.7	3.2	2.1
Υποσύνολο	81.1	92.4	108.1	71.9
<u>Αντι -συμβατικά υγρά</u>				
Άμμος πετρελαίου, βαρύ αργό πετρέλαιο, πίσσα ασφάλτου	2.0	5.6	6.7	6.1
Υγρό κάρβουνο, υγρό αέριο	0.2	1.6	0.8	2.8
Βιοκαύσιμα	1.2	5.4	3.3	7.7
Άλλο	0.3	0.4	0.4	0.4
Υποσύνολο	3.7	13.0	11.2	17.0
Σύνολο	84.8	105.4	119.3	88.9

Ο Αραβο-ισραηλινός πόλεμος το 1967 και 1973, το εμπάργκο πετρελαίου το 1973, η ισλαμική επανάσταση στο Ιράν το 1979, ο πόλεμος μεταξύ Ιράν-Ιράκ το 1980, η ιρακινή επίθεση στο Κουβέιτ το 1990 κι ο πρόσφατος πόλεμος στο Ιράκ είχαν σαν αποτέλεσμα την ευαισθητοποίηση σχετικά με την ενεργειακή ανασφάλεια στον κόσμο. Κατά τη διάρκεια της ιρακικής επανάστασης το 1979-1980 και με την έναρξη του πολέμου Ιράν-Ιράκ το 1980 παρατηρήθηκε αύξηση στις τιμές του πετρελαίου και αντίστοιχη μείωση στην κατανάλωσή του, δηλαδή από τα 63 εκατομ. βαρέλια ημερησίως(EBH) το 1980 στα 59 EBH το 1983. Παρ' όλα αυτά η παγκόσμια κατανάλωση πετρελαίου το 2008 ήταν περίπου 87 EBH. Η κατανάλωση των διαφόρων προϊόντων του πετρελαίου εξαρτάται απ' την οικονομική ανάπτυξη, τις κυβερνητικές πολιτικές και την αύξηση των οχημάτων. Η ταχεία οικονομική ανάπτυξη της Κίνας και της Ινδίας έχει αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση πετρελαίου. Ως πέμπτη μεγαλύτερη ενεργειακά καταναλωτική χώρα παγκοσμίως, η Ινδία εισήγαγε περίπου το 70% απαιτούμενο πετρέλαιο την περίοδο 2003 και 2004.

Κατά τη διάρκεια του έτους 2007-2008 η τιμή του αργού πετρελαίου άγγιξε τα \$140 το βαρέλι. Αν η τιμή του πετρελαίου αυξάνεται αμέσως αυξάνεται και το κόστος εισαγωγών, εκτός απ' την ζητούμενη αύξηση τιμών λόγω της συνεχούς ανάγκης για πετρέλαιο στις μεταφορές και στους τομείς της βιομηχανίας. Ως εκ τούτου οι πληρωμές για εισαγωγές πετρελαίου έχουν σοβαρές συνέπειες για την οικονομία των εθνών. Η υποκατάσταση των καυσίμων με πετρελαιοειδή προϊόντα έχει επομένως, θετική επίδραση στην μείωση των εισαγωγών. Καταβάλλονται λοιπόν προσπάθειες για την μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων και να μεγιστοποιηθεί η χρήση των φιλικών προς το περιβάλλον ενεργειακών πηγών και καυσίμων που να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες.

1.3 Ρύπανση του περιβάλλοντος

Σήμερα ο κόσμος βρίσκεται αντιμέτωπος με το δίδυμο της κρίσης των ορυκτών καυσίμων που συνεχώς εξαντλούνται και της ανησυχίας για το περιβάλλον. Η μόλυνση του περιβάλλοντος αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τη δημόσια υγιεινή στις περισσότερες πόλεις του αναπτυσσόμενου κόσμου. Επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι η μόλυνση του αέρα στις αναπτυσσόμενες χώρες ευθύνεται για δεκάδες χιλιάδες θανάτους και κόστους δισεκατομμυρίων δολαρίων σε ιατρικά έξοδα και απώλεια της παραγωγικότητας κάθε χρόνο. Αυτές οι απώλειες και η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής, επιβάλλουν σημαντική επιβάρυνση στους ανθρώπους σε όλους τους τομείς της κοινωνίας, αλλά κυρίως τους φτωχούς.

Καύση οποιουδήποτε καυσίμου υδρογονανθράκων παράγει διοξείδιο του άνθρακα το οποίο συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο θερμοκηπίου που διοχετεύεται αργά στην ατμόσφαιρα και πιστεύεται ότι αυξάνει τη θερμοκρασία του πλανήτη, προκαλώντας δραματικές κλιματικές αλλαγές. Η πλειοψηφία των ανεπτυγμένων χωρών έχουν αναλάβει την δέσμευση για την προβλεπόμενη μείωση των εκπομπών μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997 το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή το Φεβρουάριο του 2005. Η καύση των υδρογονανθράκων δημιουργεί τόσο 'άμεσα' όσο και 'έμμεσα' αέρια του θερμοκηπίου. Άμεσα από την εκπομπή αερίων κατά τις μεταφορές, που περιλαμβάνει διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και ανθρακούχες κυψέλες αερίου. Έμμεσα δημιουργούνται από το μονοξείδιο του άνθρακα, διάφορα οξειδία του αζώτου και μη πτητικές οργανικές ενώσεις.

Σύμφωνα με την έκθεση για την ανθρώπινη ανάπτυξη του 2007 πρέπει οι αναπτυγμένες χώρες να περιορίσουν τις εκπομπές σε άνθρακα κατά 20-30% πριν το 2030 και κατά 80% τουλάχιστον το έτος 2050. Αν οι εκπομπές συνεχίζουν να αυξάνουν με τις τρέχουσες τάσεις τότε τα αποθέματα των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου θα αυξάνεται κατά 4-5ppm ανά χρόνο, κάτι που σημαίνει πως ως το 2035 ίσως η τιμή αυτή διπλασιαστεί. Η συσσώρευση των αποθεμάτων θα φτάσει τα 550ppm. Έστω και χωρίς καθόλου περεταίρω αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων τα αποθέματα θα ξεπεράσουν τα 600ppm το 2050 και τα 800ppm προς το τέλος του εικοστού πρώτου αιώνα. Ήδη η Ινδία μετράει το 5.5% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από το παγκόσμιο ποσοστό που είναι 17.2%. Η έκθεση επίσης

αναφέρει ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Ινδία πρέπει να περιορίσουν τις εκπομπές κατά 20%.

Αναμένεται ότι η καύση των υδρογονανθράκων παρουσία αέρα παράγει διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αλλά οι μηχανές εσωτερικής καύσης δεν καίνε τελείως τα πετρελαιοειδή προϊόντα. Αυτό έχει αποτέλεσμα να απελευθερώνουν μερικώς άκαυστα/οξειδωμένα αέρια και διάφορα οξείδια του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί κύριο παράγοντα της μόλυνσης του περιβάλλοντος στις πόλεις και η εκπομπή ρύπων των οχημάτων είναι η κύρια αιτία της μόλυνσης του αέρα στα αστικά κέντρα (60%), ακολουθούμενη από τα βιομηχανικά απόβλητα (20-30%) και τα ορυκτά καύσιμα. Οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα αντιδρούν με άλλους ρύπους (όπως οι φωτοχημικές αντιδράσεις) και διαταράσσουν την οικολογική ισορροπία. Ερχόμενες αντιμέτωπες με προβλήματα από την αυξανόμενη μόλυνση της ατμόσφαιρας ορισμένες χώρες έχουν καθιερώσει κάποιες προδιαγραφές για την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι κύριες εκπομπές ρύπων των μηχανών αφορούν άκαυστους υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και διάφορα οξείδια του αζώτου. Αυτοί οι ρύποι παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη υγεία. Οι έρευνες για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας γίνονται με κύριο σκοπό την μείωση των βλαβερών αυτών ρύπων. Σ' αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθούμε τις επιπτώσεις που έχουν στην υγεία οι διάφοροι ρύποι του πετρελαίου.

Η κύρια πηγή οξειδίων του αζώτου – μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂) – είναι γενικά γνωστή ως NO_x. Οι εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου από τα καυσαέρια των μηχανών οξειδώνονται και μετατρέπονται σε διοξείδιο του αζώτου, το οποίο με τη σειρά του μπορεί να αντιδράσει με άκαυστους υδρογονάνθρακες και άλλες πηγές που επιτρέπουν την αύξηση του όζοντος σε περιοχές μεγάλης κυκλοφορίας. Οι συγκεντρώσεις NO και NO₂ είναι μεγαλύτερες στα αστικά κέντρα όπου η κυκλοφορία είναι μεγαλύτερη. Έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου συνδέεται με αυξημένη ευαισθησία σε λοίμωξη του αναπνευστικού, ιογενείς λοιμώξεις όπως είναι η γρίπη, ερεθισμός των πνευμόνων, οίδημα των πνευμόνων, βρογχίτιδα και πνευμονία, μειωμένη πνευμονική λειτουργία, αύξηση της ευαισθησίας σε αλλεργιογόνα. Τα οξείδια του αζώτου αντιδρούν με τους υδρατμούς σχηματίζοντας νιτρικό οξύ και απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με άμεση απόθεση στο έδαφος ή μεταφέρονται με τα σύννεφα ή τη βροχή, συμβάλλοντας έτσι στην όξινη εναπόθεση.

Σημαντικότερες πηγές εκπομπών διοξειδίου του θείου αποτελούν τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και οι βιομηχανίες πετρελαίου. Το SO₂ μπορεί να βλάψει τη λειτουργία των πνευμόνων, καθώς επίσης και τον ιστό των πνευμόνων, να επιδεινώσει το άσθμα και το εμφύσημα και να οδηγήσει σε ασφυξία και ερεθισμό του λαιμού. Το SO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα συνδέεται επίσης με το άσθμα και τη χρόνια βρογχίτιδα. Το διοξείδιο του θείου είναι ένα διαβρωτικό αέριο οξύ το οποίο όταν συνδυαστεί με υδρατμούς στην ατμόσφαιρα παράγει όξινη βροχή. Προκαλεί αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ρευμάτων ενώ μπορεί να καταστρέψει δέντρα, καλλιέργειες, ιστορικά κτήρια και αγάλματα.

Οι ανησυχίες για τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του PM10 έχουν αυξηθεί κατακόρυφα τα τελευταία χρόνια. Τα αερομεταφερόμενα σωματίδια ποικίλουν στην φυσική και χημική προέλευσή τους, τη σύνθεση και το μέγεθος

των σωματιδίων. Αυτά που έχουν πολύ μικρό μέγεθος (<10 μ m) αποτελούν σημαντική ανησυχία συγκρινόμενα με μεγαλύτερα σωματίδια. Τα μικρά σωματίδια είναι τόσο μικρά ώστε να μπορούν να εισχωρούν στους πνεύμονες κι επομένως θέτουν σημαντικούς κινδύνους για την υγεία.

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι υδρογονανθράκων που πρέπει να μας ανησυχούν: πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCS) και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAHS). Οι πτητικές οργανικές ενώσεις απελευθερώνονται απ' τα καυσαέρια των οχημάτων είτε ως άκαυστα καύσιμα είτε ως προϊόντα της καύσης κι επίσης εκπέμπεται από την εξάτμιση των διαλυτών. Οι επιδράσεις των VOCS αφορούν ερεθισμό στα μάτια, στους πνεύμονες και καρκίνο. Τα VOC αντιδρούν με διοξείδιο του θείου δημιουργώντας σωματίδια συμπεριλαμβανομένου του καπνού και της σκόνης. Η περιεκτικότητα σε βενζόλιο στην ατμόσφαιρα προέρχεται κυρίως απ' τις εκπομπές των καυσαερίων των οχημάτων.

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άχρωμο, άοσμο και δηλητηριώδες αέριο που παράγεται απ' την ατελή καύση των υδρογονανθράκων. Το CO παρεμβαίνει στην ιδιότητα του οργανισμού να απορροφά το οξυγόνο κι έτσι μπορεί να επηρεάσει την αντίληψη και τη σκέψη, να επιβραδύνει τα αντανακλαστικά, να προκαλέσει υπνηλία και να προκαλέσει αναισθησία ή ακόμα και θάνατο σε υψηλά βέβαια επίπεδα εκπομπής του. Η εισπνοή του στις έγκυες γυναίκες μπορεί να απειλήσει την ανάπτυξη και την νοητική ανάπτυξη του εμβρύου.

Το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και τα CFCs αποκαλούνται αέρια του θερμοκηπίου. Η παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται εξ αιτίας αυτών των αερίων. Η μόλυνση που προκύπτει από το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι ο κύριος παράγοντας της θερμότητας του πλανήτη. Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την μείωση της καύσης των καυσίμων ή με τη χρήση μη - υδρογονοποιημένων καυσίμων όπως το υδρογόνο.

1.4 Εναλλακτικά καύσιμα

Η γρήγορη μείωση των ορυκτών καυσίμων, κυρίως των προϊόντων πετρελαίου, δημιουργεί κινδύνους ρύπανσης του περιβάλλοντος από την καύση τους. Προσπάθειες γίνονται ώστε να αναπτυχθούν μελλοντικές ενεργειακές τεχνολογίες που να είναι αποδοτικές, φιλικές προς το περιβάλλον και οικονομικά βιώσιμες. Μικρή σταδιακή βελτίωση των υφισταμένων τεχνολογιών ενέργειας είναι επαρκής για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και των περιβαλλοντολογικών προβλημάτων. Τα εναλλακτικά καύσιμα προέρχονται από άλλα των ακατέργαστων πετρελαϊκών πόρων. Γενικά, τα εναλλακτικά καύσιμα, είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στα οχήματα εκτός της βενζίνης και του πετρελαίου. Υπάρχουν αρκετά εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βενζινοκινητήρες ή πετρελαιοκινητήρες με μικρή ή καθόλου τροποποίηση. Στα πλεονεκτήματα περιλαμβάνεται το ότι γίνεται καθαρότερη καύση απ' ότι στα πετρελαιοειδή καύσιμα έχοντας μικρότερες εκπομπές ρύπων κι όταν πρόκειται για παράγωγα από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας τότε μειώνεται η εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές πετρελαίου. Ωστόσο τα εναλλακτικά καύσιμα δεν είναι απαραίτητο να αναφέρονται σε μια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Κάθε καύσιμο έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συναφή με το κόστος, τη διαθεσιμότητα, την επίδραση στο περιβάλλον, την τροποποίηση σε

μηχανές/οχήματα, την ασφάλεια και την αποδοχή απ' τους πελάτες κι απ' τη νομοθεσία. Τα εναλλακτικά καύσιμα χρίζουν προσοχής για τους παρακάτω λόγους:

- i) Τα εναλλακτικά καύσιμα κυρίως παράγονται από εγχώριους πόρους που μειώνουν την ενεργειακή εξάρτηση. Η χρησιμοποίηση των τοπικά διαθέσιμων πηγών για σκοπούς εξυπηρέτησης καυσίμων, μπορεί να μειώσει τις πληρωμές για εισαγωγές αργού πετρελαίου. Τα περισσότερα απ' τα εναλλακτικά καύσιμα, για παράδειγμα οι αλκοόλες, το βιοντίζελ, μπορούν να παραχθούν από πηγές βιομάζας κι απ' τα γεωργικά απόβλητα καθώς επίσης ο ηλεκτρισμός για οχήματα με μπαταρία μπορεί να παραχθεί απ' την ηλιακή ενέργεια κι από κυψέλες καυσίμου. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από αεριοποίηση βιομάζας ή ηλεκτρόλυση του νερού. Ως εκ τούτου, ακόμα κι ένα μικρό ποσοστό υποκατάστασης των διαφόρων εναλλακτικών καυσίμων μειώνει το εισαγόμενο αργό πετρέλαιο σημαντικά.
- ii) Τα εναλλακτικά καύσιμα γενικώς βοηθούν στη μείωση των εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων, συνεπώς τη βελτίωση της περιβαλλοντικής ποιότητας του αέρα. Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι ικανά στη μείωση των εκπομπών των μηχανών συγκρινόμενα με τα προϊόντα του πετρελαίου. Η μοριακή δομή των εναλλακτικών καυσίμων (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_4 κλπ) είναι πολύ απλούστερη από της βενζίνης/πετρελαίου (μίξη διαφόρων δομών). Επίσης μια χαμηλή αναλογία C:H των εναλλακτικών καυσίμων δημιουργεί λιγότερες εκπομπές υδρογονανθράκων κατά την καύση. Το υδρογόνο είναι ένα καθαρό καύσιμο και δεν έχει καθόλου εκπομπές υδρογονανθράκων. Οι εκπομπές που αποβάλλονται από μια κεντρική μονάδα μπορούν καλύτερα να ελεγχθούν απ' ότι οι εκπομπές των οχημάτων.
- iii) Μερικά εναλλακτικά καύσιμα έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε χαμηλότερο κόστος απ' ότι τα πετρελαιοειδή προϊόντα. Η επιτυχία ενός νέου προϊόντος ή καυσίμου εξαρτάται από το κόστος του. Σήμερα το κόστος των περισσότερων εναλλακτικών καυσίμων είναι λίγο υψηλότερο απ' των συμβατικών καυσίμων. Παρ' όλα αυτά το κόστος του βιοντίζελ και του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) είναι οικονομικά ανταγωνιστικό του πετρελαίου. Για την ανάπτυξη των εναλλακτικών καυσίμων απαιτούνται ως ένα βαθμό και οι κυβερνητικές νομοθεσίες. Η μεγάλης κλίμακας παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων μπορεί να κάνει το κόστος τους ανταγωνιστικό.

Οι παρακάτω παράμετροι θα πρέπει να θεωρούνται όταν πρόκειται για εναλλακτικά καύσιμα :

- Το καύσιμο πρέπει να έχει υψηλή ογκομετρική μάζα και πυκνότητα ενέργειας.
- Εύκολη μεταφορά απ' τη μονάδα παραγωγής στα σημεία παράδοσης.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής καυσίμων, ελάχιστη διακίνηση και προβλήματα διανομής.

- Περιβαλλοντική συμβατότητα : Με τη χρήση των εναλλακτικών καυσίμων η επίδοση του κινητήρα αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά όσον αφορά τις ρυθμίσεις των εκπομπών των ρύπων.
- Εγγύηση κατασκευαστή : το κάθε εναλλακτικό καύσιμο θα πρέπει να εγγυάται τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Η αξιοπιστία και η επιχειρησιακή ικανότητα δεν τροποποιούνται.
- Κόστος επένδυσης : Το κόστος για πρόσθετες επενδύσεις σε μια υπάρχουσα μηχανή πρέπει να είναι μικρό για να εξασφαλίσει ότι η ενέργεια είναι ανταγωνιστική του πετρελαίου.
- Τροποποίηση στις υπάρχουσες μηχανές : Η τροποποίηση πρέπει να είναι απλή, οικονομική, κι εύκολα αναστρέψιμη. Τέτοια τροποποίηση δεν θα πρέπει να επηρεάζει τη χρήση των παραδοσιακών καυσίμων προκειμένου να διαφυλαχθεί η συμβατότητα των μηχανών με τη χρήση δύο καυσίμων. Η μετάβαση της λειτουργίας από μορφή εναλλακτικού καυσίμου σε συμβατικό θα πρέπει να γίνεται εύκολα.

Η αναζήτηση εναλλακτικού καυσίμου παρήγαγε έναν μακρύ κατάλογο των νέων υποψηφίων και μια σειρά από επιχειρήματα, τα οποία υποστηρίζουν και το σχέδιο των χαρακτηριστικών τους. Η καταλληλότητα του καθενός απ' αυτά τα καύσιμα για μηχανές εσωτερικής καύσης είναι υπό έρευνα παγκοσμίως. Μερικά απ' τα πιο σημαντικά καύσιμα είναι τα εξής :

- i. Αλκοόλες (μεθανόλη και αιθανόλη)
- ii. Φυτικά έλαια και βιοντίζελ
- iii. Αέρια καύσιμα (φυσικό αέριο, υδρογόνο και υγροποιημένο αέριο πετρελαίου)
- iv. Αιθέρες
- v. Ηλεκτρισμός/ κυψέλες καυσίμου/ υβριδικά οχήματα
- vi. Μελλοντικά καύσιμα

1.4.1 Αλκοόλες

Οι αλκοόλες θεωρούνται ως υποκατάστατο ή πρόσθετο συστατικό της βενζίνης καθώς διαθέτουν μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων. Η στροφή προς την αμόλυβδη δημιούργησε υπερβολική εξάτμιση και φθορά των στις βαλβίδες των βενζινοκινητήρων. Το πρόβλημα λύθηκε ενσωματώνοντας σκληρυμένες έδρες βαλβίδων και με επίστρωση δορυφορικών των βαλβίδων. Αυτό οδήγησε σε αύξηση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων, ιδιαίτερα του μεθυλ-τριτο-βουτυλαιθέρα (MTBE), μίγματα μεθανόλης/αιθανόλης με βενζίνη εξαιτίας του υψηλού αριθμού οκτανίων τους.

1.4.1.1 Μεθανόλη

Η μεθανόλη χρησιμοποιούνταν σαν καύσιμο για αυτοκίνητα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '30 για να αντικαταστήσει τα αποθέματα βενζίνης σε κινητήρες υψηλής απόδοσης. Με την παρέμβαση της αμερικανικής κυβέρνησης μια μεθανόλη χαμηλής συγκέντρωσης που ανακαλύφθηκε φάνηκε σαν καλός μη-μεταλλικός αντικαταστάτης. Το MTBE αντικατέστησε τη

μεθανόλη και την τριτο-βουτυλοαλκοόλη για λίγο διάστημα. Ωστόσο υπήρξε σταδιακή κατάργηση του MTBE λόγω περιβαλλοντολογικών ανησυχιών.

Με την έλευση των οχημάτων ευέλικτου καυσίμου (FFV) στη δεκαετία του 1990, η μεθανόλη έγινε ο πρώτος υποψήφιος για χρήση στα οχήματα λόγω των χαμηλής εκπομπής χαρακτηριστικών του και των υψηλό αριθμό οκτανίων. Για να λυθούν τα προβλήματα εκκίνησης εν ψυχρώ στη μεθανόλη, προστίθεται ένα ποσοστό βενζίνης. Μίγματα με 15% βενζίνη και 85% μεθανόλης λέγονται M85. Τα FFV οχήματα μπορούν να λειτουργούν με βενζίνη, μεθανόλη, και μίγματα απ' αυτά. Για την προσαρμογή της αναλογίας αέρα/καυσίμου και του χρόνου σπινθηρισμού υπάρχει ένας αισθητήρας στη γραμμή καυσίμου που μετράει το επί τοις εκατό ποσοστό της μεθανόλης στη βενζίνη και μεταφέρει την πληροφορία στο κομπιούτερ της μηχανής. Παρά την εμπορική επιτυχία, η μεθανόλη δεν έχει καταφέρει να γίνει ανταγωνιστής της βενζίνης λόγω του υψηλότερου κόστους. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την άντληση υδρογόνου για την λειτουργία των κυψελών καυσίμου.

1.4.1.2 Αιθανόλη

Η αιθυλική αλκοόλη, γνωστή εμπορικά ως αιθανόλη, κατέχει ένα αριθμό χαρακτηριστικών που ευνοούν τη χρήση της σαν καύσιμο για αυτοκίνητα. Ο Nicolaus August Otto, ο Γερμανός εφευρέτης των μηχανών εσωτερικής καύσης, κατασκεύασε την ανακάλυψή του να κινείται με αιθανόλη. Η αιθανόλη είναι υποπροϊόν στην παραγωγή της ζάχαρης. Μπορεί να θεωρηθεί σαν ανανεώσιμο καύσιμο καθώς παράγεται απ' τις πηγές που αποτελούν το δυναμικό για την μείωση των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου. Η χρήση της αιθανόλης στους κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950 σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, Γερμανία και Γαλλία. Κατά τη διάρκεια του πρώτου αλλά και του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, η αιθανόλη χρησιμοποιούνταν σαν υποκατάστατο καύσιμο τόσο στο εμπόριο όσο και στα οχήματα του στρατού. Σήμερα το αναμειγνύουν με βενζίνη στις περισσότερες χώρες και αποτελεί το κύριο καύσιμο στη Βραζιλία.

Μια στενή παρατήρηση σχετικά με τις ιδιότητές της δείχνει ότι μπορεί να θεωρηθεί ως κατάλληλο καύσιμο για τα αυτοκίνητα. Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης της αιθανόλης είναι σημαντικά υψηλότερη της βενζίνης κι αυτό καθιστά την αιθανόλη λιγότερο ευπαθή σε ανάφλεξη. Επί του παρόντος, στόχος είναι η αιθανόλη να αντικαταστήσει το MTBE και τις οξυγονούχες ενώσεις στη βενζίνη. Σήμερα η αιθανόλη αναμειγνύεται με βενζίνη για τη βελτίωση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και την εξάλειψη του συνδυασμού του MTBE. Τα μόρια της αιθανόλης περιέχουν οξυγόνο και επιπλέον, επιτρέπουν στην μηχανή να καίει πλήρως το καύσιμο, με αποτέλεσμα την ελάχιστη εκπομπή καρκινογόνων αερίων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, NO_x, κλπ. Επιπλέον μειώνει τη συγκέντρωση των σωματιδίων και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Παρ' όλο που στις περισσότερες περιπτώσεις η αιθανόλη χρησιμοποιείται σαν υποκατάστατο της βενζίνης, μπορεί εξίσου να είναι κατάλληλο εναλλακτικό καύσιμο και για πετρελαιοκινητήρες (diesel). Η εξάτμιση της αιθανόλης σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα είναι ένας ανέξοδος τρόπος για τη χρήση της αιθανόλης στους πετρελαιοκινητήρες και αντικαθιστά το 60% περίπου της κατανάλωσης πετρελαίου. Για μεγαλύτερα μίγματα αιθανόλης (>20%), απαιτείται μεγαλύτερη συγκέντρωση προσθετικών για την

σταθεροποίηση του μίγματος ή την επίτευξη του απαιτούμενου αριθμού κετανίων. Το υψηλότερο ποσοστό αιθανόλης στο πετρέλαιο απαιτεί συσκευή διπλού ψεκασμού ή αλλιώς διπλού καυσίμου ή συστήματα απολύμανσης. Τα απόβλητα αερίου και τα επίπεδα θορύβου της καύσης θα μπορούσαν να μειωθούν σημαντικά, αλλά η πολυπλοκότητα για τον έλεγχο αυτών των συσκευών είναι περιορισμένη. Ωστόσο, η 100% χρήση της αιθανόλης στους πετρελαιοκινητήρες απαιτεί μερική τροποποίηση στο σύστημα καυσίμου της μηχανής.

1.4.2 Φυτικά έλαια και βιοντίζελ

Ο Dr. Rudolf Diesel, εφευρέτης των πετρελαιοκινητήρων, έχει αποδείξει ότι η μηχανή του δουλεύει με λάδι από φιστίκια. Με την έλευση του αργού πετρελαίου χαμηλού κόστους, έγινε η κατάλληλη επεξεργασία αργού πετρελαίου για να χρησιμεύσει ως καύσιμο και ως εκ τούτου οι πετρελαιοκινητήρες και το πετρέλαιο εξελίσσονταν μαζί. Όταν προέκυψε η πρώτη ενεργειακή κρίση τη δεκαετία του 1970, η έρευνα για τα φυτικά έλαια για τις ανάγκες καυσίμου επιταχύνθηκε πάλι. Με τις αυξήσεις στις τιμές του αργού πετρελαίου, τους περιορισμένους πόρους του ορυκτού πετρελαίου και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες, έχει υπάρξει μια νέα προσέγγιση στα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη για την κατασκευή καυσίμου βιοντίζελ. Τα φυτικά έλαια δεν είναι ανταγωνιστικά του πετρελαίου γιατί είναι πολύ πιο ακριβά απ' αυτά. Ωστόσο τα φυτικά έλαια και τα παράγωγά τους έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν ένα μέρος των αποσταγμάτων πετρελαίου και των διαφόρων πετροχημικών που το έχουν σαν βάση, στο κοντινό μέλλον. Οι μηχανές που χρησιμοποιούν για καύσιμο φυτικά έλαια απαιτούν συχνή συντήρηση οπότε είναι κατάλληλες για σταθερούς κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σε ηλεκτροκίνητες αντλίες σε αγροτικές περιοχές. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει ένα σημαντικό ποσοστό της εξοικονόμησης ενέργειας όσον αφορά την κατανάλωση του πετρελαίου diesel ή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βιοντίζελ είναι μεθυλο- ή αιθυλο-εστέρας από λιπαρά οξέα παράγωγα από βρώσιμα ή μη-βρώσιμα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη. Οι κύριες πηγές για την παραγωγή βιοντίζελ είναι τα: jatropa, karanji, φοίνικας, σόγια και το ηλιοτρόπιο. Κατά τη διάρκεια των ετών 1970 και 1980 μια σημαντική ποσότητα της έρευνας πραγματοποιήθηκε με τα φυτικά έλαια και τα μίγματά τους και στα μερικώς στερεοποιημένα έλαια που ήταν αναμιγμένα με πετρέλαιο. Η χρήση των καθαρών ελαίων προκαλεί διάφορα προβλήματα στη μηχανή. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι έρευνες επικεντρώθηκαν στους εστέρες λόγω των υψηλών ιδιοτήτων του καυσίμου σε σχέση με τα καθαρά έλαια.

Η πρώτη ύλη καταλαμβάνει ποσοστό 60-80% του κόστους παραγωγής του βιοντίζελ. Οι τεχνολογίες επεξεργασίας του βιοντίζελ παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του απέναντι στο πετρέλαιο. Το βιοντίζελ αναμιγνύεται με το πετρέλαιο σε οποιαδήποτε αναλογία (παρ'όλα αυτά επί του παρόντος το μίγμα οριοθετείται στο 20%) και λειτουργεί τη μηχανή, που μπορεί να χρειάζεται μικρή ή καθόλου τροποποίηση. Η χρήση βιοντίζελ σε συμβατικές πετρελαιομηχανές μειώνει ουσιαστικά τις εκπομπές καυσαερίων.

Η ενεργειακή κατανάλωση του βιοντίζελ είναι υψηλότερη του ορυκτού πετρελαίου αλλά γενικά χαμηλότερη της βενζίνης. Οι εκπομπές του βιοντίζελ είναι παρόμοιες με αυτές του πετρελαίου οι οποίες είναι υψηλό NO_x και σωματίδια αλλά ιδιαίτερα χαμηλό CO και υδρογονάνθρακες και πολύ χαμηλό CO₂ επειδή προέρχεται από βιομάζα. Η jatrophha για τις Ινδίες, το φοινικέλαιο στη Μαλαισία και η σόγια για τις Ηνωμένες Πολιτείες είναι οι σημαντικότερες πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ. Η ετήσια παραγωγή βιοντίζελ αυξάνεται ραγδαία παγκοσμίως από 10.000 τόνους το έτος 2000 σε 3.5 εκατομμύρια τόνους το 2006. Σε αυτή τη περίπτωση είναι απαραίτητο να πάμε σε δεύτερης γενιάς βιοκαύσιμα έτσι ώστε η ποσότητα του βιοντίζελ να μπορεί να αυξηθεί και να σταθεί στην αγορά.



Εικόνα 1.3 : Το φυτό jatrophha (γνωστό και ως Barbados nut)

1.4.3 Αέρια καύσιμα

1.4.3.1 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον και έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα μέρη του κόσμου, όπως η Αργεντινή, η Ρωσία, η Ιταλία και η Ινδία όπου εφαρμόστηκε με επιτυχία στις μεταφορές. Το φυσικό αέριο εμφανίζεται ως αέριο υπό πίεση σε βράχους κάτω από την επιφάνεια της γης ή πιο συχνά σε διαλύματα αργού πετρελαίου όπως δημιουργείται το πτητικό κλάσμα του πετρελαίου κυρίως από μεθάνιο με ποικίλες ποσότητες απ' την οικογένεια των υδρογονανθράκων, το αιθάνιο, το προπάνιο και το βουτάνιο. Το φυσικό αέριο εμπορικά χρησιμοποιείται σαν καύσιμο αιώνες τώρα στην Κίνα. Ωστόσο λίγες δεκαετίες πριν το φυσικό αέριο εφίστασαι την προσοχή λόγω της αύξησης των τιμών στα πετρελαιοειδή προϊόντα.

Τα αποθέματα του φυσικού αερίου διανέμονται σε παγκόσμιο επίπεδο κι έτσι παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια εφοδιασμού. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται στον οικιακό αλλά και στον βιομηχανικό τομέα. Το φυσικό αέριο συνίσταται κυρίως από μεθάνιο (80-98%), ανάλογα με τη γεωγραφική προέλευση και οι ιδιότητές του είναι παρόμοιες του μεθανίου. Είναι επίσης από τα πιο ευρέως εφαρμοσμένα καύσιμα στην αντικατάσταση του υγρού πετρελαίου. Ο αριθμός οκτανίων του CNG είναι περίπου 130.

Το CNG έχει μεγάλο όριο ευφλεκτότητας κι έχει την ιδιότητα να μειώνει τις ρυθμιζόμενες μη-μεθανικές και εκπομπές υδρογονανθράκων συγκρινόμενο με μηχανές συμβατικών καυσίμων. Το φυσικό αέριο μπορεί να αποθηκευτεί σε αέρια μορφή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό υψηλή πίεση (περίπου 200 bar) σαν το CNG και σε υγρή μορφή σε θερμοκρασίες υγρού αζώτου (-161 °C) και σε ατμοσφαιρική πίεση όπως το υγροποιημένο φυσικό αέριο.

1.4.3.2 Υγραέριο

Το υγραέριο (LPG) ένα αέριο μίγμα από προπάνιο (C₃H₈) και βουτάνιο (C₄H₁₀) είναι ένα διαδεδομένο καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης. Είναι ένα μη ανανεώσιμο ορυκτό καύσιμο που παρασκευάζεται σε υγρή μορφή υπό ορισμένες συνθήκες. Αυτή η δημοτικότητά του προέρχεται από πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως ο υψηλός αριθμός οκτανίων για κινητήρες με σπινθήρα ανάφλεξης, συγκρινόμενη με τη βενζίνη που εξασφαλίζει παρόμοια ισχύ εξόδου. Το υγραέριο αποθηκεύεται σαν υγρό αέριο υπό πίεση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ποσοστιαία σύνθεση του μίγματος εξαρτάται απ' την εποχή, καθώς υψηλότερο ποσοστό προπανίου διατηρείται το χειμώνα, ενώ το ίδιο συμβαίνει με το βουτάνιο το καλοκαίρι.

1.4.3.3 Υδρογόνο

Η προετοιμασία σε παγκόσμιο επίπεδο για την διεθνή αντιμετώπιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τα οχήματα με τη χρήση του υδρογόνου και των κυψελών καυσίμου μπορεί να έχει σημαντική συμβολή στη μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Το υδρογόνο είναι από τα καθαρά καύσιμα παγκοσμίως, καθώς δεν περιέχει ενώσεις άνθρακα. Το υδρογόνο είναι μια καθαρή και αποδοτική πηγή ενέργειας με την δυνατότητα να αντικαθιστά τα υγρά και αέρια ορυκτά καύσιμα. Σημαντική εργασία για το υδρογόνο σε αυτοκίνητα και ηλεκτρικούς σταθμούς έχει εκτελεστεί σε όλο τον κόσμο.

Το υδρογόνο φλέγεται κατ' ευθείαν στους κινητήρες IC ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού, με την οποία λειτουργεί το αυτοκίνητο. Το υδρογόνο θα μπορούσε να εισαχθεί στην μηχανή με ένα συλλέκτη εισαγωγής, απ' ευθείας ψεκασμό στον κύλινδρο και με μορφή εναλλαγής υδρογόνου-πετρελαίου καυσίμου. Στην καύση του υδρογόνου, μόνο υδρατμοί εκπέμπονται. Οπότε η χρήση του υδρογόνου σαν καύσιμο για τις μεταφορές θα είχε σαν αποτέλεσμα λίγες ή καθόλου εκπομπές που να επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα.

Το υδρογόνο παρασκευάζεται από νερό χρησιμοποιώντας ενέργεια από ορυκτές ή μη-ορυκτές πηγές καυσίμου. Η χρήση του υδρογόνου δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του αέρα και της κλιματικής αλλαγής. Οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου περιλαμβάνουν την ηλεκτρόλυση, φωτόλυση, θερμοχημική διάσπαση του νερού και θερμική διάσπαση του νερού. Στο εγγύς μέλλον, το υδρογόνο θα μπορεί επίσης να παραχθεί από την αεριοποίηση του άνθρακα και από πετρελαιοειδή και φυσικά αέρια. Το υδρογόνο επίσης παράγεται από διάφορες πηγές βιομάζας. Αέρια που παράγονται από αεριοποίηση μπορούν να μεταρρυθμιστούν μέσω ατμού για την παραγωγή υδρογόνου ακολουθούμενα από μια αντίδραση μετατόπισης νερού-αερίου για την περεταίρω ενίσχυση της παραγωγής υδρογόνου. Η θερμοχημική

μετατροπή της βιομάζας αποτελεί έναν από τους οικονομικούς τρόπους παραγωγής ανανεώσιμο υδρογόνο σε ευρεία κλίματα. Η αναερόβια ζύμωση ενεργοποιεί την μαζική παραγωγή υδρογόνου και την καθιστά μια σχετικά απλή διαδικασία χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα αξιοποιήσιμων υποστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των αποβλήτων. Εξάλλου, η παραγωγή υδρογόνου με ζύμωση γενικά προχωράει σε ένα υψηλότερο ποσοστό και δεν στηρίζεται στη διαθεσιμότητα των φωτεινών πηγών.

Το υδρογόνο είναι αέριο χαμηλής πυκνότητας. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε ατμοσφαιρική πίεση, 1kg αερίου έχει όγκο περίπου $11m^3$. Η αποθήκευση του υδρογόνου με συμπαγές και αποτελεσματικό τρόπο είναι μια σημαντική τεχνολογική πρόκληση κι αποτελεί σημαντικό τομέα της έρευνας για την χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η αποθήκευση του υδρογόνου συνεπάγεται τη μείωση ενός τεράστιου όγκου του αερίου υδρογόνου. Το υδρογόνο μπορεί να συμπιεστεί ώστε να αποθηκεύεται σε ένα κύλινδρο, η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται κάτω από την κρίσιμη θερμοκρασία. Ευρείς έρευνες σχετικά με διάφορες πτυχές που περιλαμβάνουν την παραγωγή υδρογόνου, την αποθήκευσή του, και τη χρήση του σε οχήματα θα βελτιώσουν την πρακτικότητα και την αποδοχή του.

1.4.4 Αιθέρες

Οι αιθέρες είναι οξυγονούχα καύσιμα που βελτιώνουν την απόδοση της καύσης. Ο διμεθυλ-αιθέρας είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό στο μίγμα του καυσίμου της βενζίνης. Ωστόσο ο διμεθυλ-αιθέρας είναι ένα σημαντικό εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες καθώς και επί των κυψελών καυσίμου υδρογόνου στα πλοία. Παράγεται από φυσικό αέριο και από αεριοποίηση του άνθρακα ή από σύνθεση βιομάζας. Ο DME είναι ο απλούστερος αιθέρας, αποτελούμενος από ομάδες συνδετικού μεθυλίου με το κεντρικό οξυγόνο και εκφράζεται με τη χημική μορφή CH_3OCH_3 . Περίπου 100.000 με 150.000 τόνους του DME παράγονται κατ' έτος παγκοσμίως. Ο διμεθυλ-αιθέρας είναι άχρωμο αέριο σε θερμοκρασία δωματίου με οσμή αιθέρα, έχει ατμοσφαιρική πίεση 5.93 bar στους 25 °C, και είναι λίαν εύφλεκτο στον αέρα. Ο DME δεν έχει διαβρωτική δράση στα μέταλλα αλλά είναι καλός διαλύτης. Έχει μεγάλο αριθμό κετανίων (55-60). Ωστόσο η θερμογόνος δύναμη του DME είναι 28.5MJ/Kg λαμβάνοντας υπ' όψη ότι του πετρελαίου είναι 42.5MJ/Kg. Περιέχει επίσης οξυγόνο αλλά όχι άνθρακα κι έχει το πλεονέκτημα της μείωσης των σωματιδίων του άνθρακα κατά το σχηματισμό των εκπομπών. Σε συνθήκες περιβάλλοντος ο διμεθυλ-αιθέρας είναι αέριο αλλά μπορεί να υγροποιηθεί υπό πίεση.

Ο διαιθυλ-αιθέρας (DEE) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο ανανεώσιμων καυσίμων. Ο DEE ήταν για καιρό γνωστός ως ψυκτικό στις μηχανές αλλά λίγα είναι γνωστά για τον διαιθυλ-αιθέρα ως μια σημαντική συνιστώσα σε ένα μείγμα ή σαν πλήρες αντικαταστάτη για καύσιμα. Αποτελεί εξαιρετικό καύσιμο για μηχανές με υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο απ' ότι η αιθανόλη. Ο DEE είναι σε υγρή μορφή σε συνθήκες περιβάλλοντος που το καθιστά ελκυστικό καύσιμο για χειρισμό και για απαιτήσεις υποδομής. Η σταθερότητα στην αποθήκευση του DEE και των μειγμάτων του εγείρουν ανησυχίες λόγω της τάσης τους να οξειδώνουν και να δημιουργούν υπεροξειδία στην αποθήκευσή τους. Ο DEE έχει πολλές ευνοϊκές ιδιότητες,

συμπεριλαμβανομένου ενός εξαιρετικού αριθμού κετανίων και εύλογη ενεργειακή πυκνότητα για εν πλω αποθήκευση.

1.4.5 Ηλεκτρισμός / κυψέλες καυσίμου / υβριδικά οχήματα

Ο έλεγχος των εκπομπών των εξατμίσεων και η μέγιστη δυνατή μείωση της κατανάλωσης καυσίμου είναι οι κύριες προτεραιότητες για κάθε σχεδιαστή και κατασκευαστή αυτοκινήτων. Ο ηλεκτρισμός που αποθηκεύεται στην μπαταρία χρησιμεύει στο χειρισμό του οχήματος με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Αυτά τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αθόρυβα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται κανονικά από κάρβουνο, εκ φύσεως, ηλιακά, από κυψέλες καυσίμου, εν πλω πετρελαιοκινητήρες, αέρια, και από πυρηνική ενέργεια. Αν ο ηλεκτρισμός παράγεται από μη-ορυκτά καύσιμα, τότε τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μετατρέπονται σε οχήματα μηδενικών εκπομπών. Η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική κι αποθηκεύεται στην μπαταρία, κι έπειτα μετατρέπεται πάλι σε έργο. Οπότε όταν υπολογίζουμε τη συνολική αποδοτικότητα των οχημάτων, αυτές οι αποδόσεις μετατροπής πρέπει να θεωρηθούν. Η ικανότητα αποθήκευσης της μπαταρίας παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Τα γνήσια ηλεκτρικά οχήματα σήμερα δεν έχουν ικανοποιητική εμβέλεια όταν τροφοδοτούνται μόνο από μπαταρίες, και συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οδήγηση μεγάλων αποστάσεων. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα απαιτούν φόρτιση της μπαταρίας. Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) συνδυάζουν τις εναλλακτικές ενεργειακές πηγές (κινητήρας / κυψέλες καυσίμου) για να κινούν το όχημα και να φορτίζουν την μπαταρία. Ως εκ τούτου τα HEV χρίζουν αποδοχής και ξεπερνούν μερικά από τα προβλήματα των γνήσιων ηλεκτρικών οχημάτων.

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα συνδυάζουν την μηχανή εσωτερικής καύσης ενός συμβατικού οχήματος με την μπαταρία και τον ηλεκτρικό κινητήρα ενός ηλεκτρικού οχήματος με αποτέλεσμα την καλύτερη οικονομία καυσίμου. Η ισχύς ενός υβριδικού οχήματος εσωτερικής καύσης γενικά κυμαίνεται από 1/10 th σε 1/4 th του συμβατικού οχήματος. Στα υβριδικά οχήματα όταν ο οδηγός πατήσει το φρένο. Ο κινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια, χρησιμοποιώντας την κινητική ενέργεια του οχήματος για την παραγωγή ηλεκτρισμού που μπορεί να αποθηκευτεί στην μπαταρία για μετέπειτα χρήση. Η υψηλή αποδοτικότητα και η οικονομία καυσίμου επιτυγχάνονται με προσεκτική προσαρμογή των παραμέτρων λειτουργίας της παραγωγής ενέργειας, πάντα γύρω απ' τις βέλτιστες συνθήκες απόδοσης. Τα υβριδικά μπορούν να πετύχουν το φάσμα πλεύσης και τα πλεονεκτήματα των επιδόσεων ενός συμβατικού οχήματος, με εκπομπές χαμηλού θορύβου και χαμηλών καυσαερίων καθώς και ενεργειακή ανεξαρτησία όπως ενός ηλεκτρικού οχήματος.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υβριδικά οχήματα για την φόρτιση της μπαταρίας αντί του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης κατευθείαν σε ηλεκτρική. Η βασική φυσική δομή μιας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από ένα στρώμα ηλεκτρολυτών σε επαφή με μια πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές. Τα αέρια καύσιμα τροφοδοτούνται συνεχώς στην άνοδο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) κι ένα οξειδωτικό (οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχόμενα στην κάθοδο

(θετικό ηλεκτρόδιο). Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στα ηλεκτρόδια για να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Αέρια καύσιμα βιομάζας όπως το υδρογόνο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου.

1.4.6 Καύσιμα του μέλλοντος

Τα καύσιμα της επόμενης γενιάς περιλαμβάνουν βιοντίζελ παραγόμενο από φύκια ή μη εδωδιμα προϊόντα, από κυτταρινική αιθανόλη και καύσιμα παραγόμενα από αεριοποίηση της βιομάζας. Τα συνθετικά καύσιμα είναι υγρά καύσιμα τα οποία προμηθεύονται από φυσικό αέριο, κάρβουνο, ασφαλτούχο σχιστόλιθο, και πηγές βιομάζας που προέρχονται απ' τη σύνθεση τύπου Fischer-Tropsch. Η παραγωγή των συνθετικών καυσίμων γίνεται γενικώς με τη μέθοδο προσθήκης υδρογόνου. Η πηγή του υδρογόνου μπορεί να είναι ενδομοριακή στην οποία παράγεται ένα ανθρακώδες υπόλειμμα χαμηλού υδρογόνου. Η υδρογονοποίηση μπορεί να γίνει άμεσα ή έμμεσα. Στην άμεση υδρογονοποίηση περιλαμβάνει έκθεση των πρώτων υλών με το υδρογόνο σε υψηλή πίεση. Η έμμεση υδρογονοποίηση περιλαμβάνει αντίδραση της πρώτης ύλης με ατμό και το υδρογόνο παράγεται μέσα στο ίδιο το σύστημα.

Η μέθοδος Fischer-Tropsch κατασκευάζει πετρέλαιο με την υγροποίηση του συνθετικού αερίου (μίγμα CO με H₂) παραγόμενο από αεριοποίηση της βιομάζας και από ορυκτά καύσιμα. Εξαρτώμενα από τη διαδικασία της σύνθεσης, μπορούν να παραχθούν διάφοροι τύποι καυσίμων. Οι Γερμανοί επιστήμονες Franz Fischer και Hans Tropsch καθιέρωσαν τη σύνθεση Fischer-Tropsch το 1923. Αυτή η σύνθεση ονομάστηκε πράσινο ντίζελ.

Το πράσινο ντίζελ μπορεί να αντικατασταθεί άμεσα με το συμβατικό ντίζελ σε καύσιμο για πετρελαιοκίνητα οχήματα, χωρίς να χρειάζεται τροποποίηση στη μηχανή του οχήματος. Η παραγωγή του Fischer-Tropsch είναι 50% υψηλής ποιότητας, χωρίς θείο, υψηλού αριθμού κετανίων συνθετικό καύσιμο, 30% νάφθα και 20% λοιπά προϊόντα. Μερικές από τις πηγές παραγωγής παγκοσμίως είναι οι παρακάτω :

Sasol, Νότια Αφρική: 156,000 bpd, κυρίως κάρβουνο

Shell, Μαλαισία: 15,000 bpd, φυσικό αέριο

Κατάρ: 2 x 34,000 bpd, φυσικό αέριο

Sasol Shell, ΗΠΑ: 5,000 bpd, άνθρακας αποβλήτων

Shell, Κατάρ: 140,000 bpd

Σήμερα οι επόμενες τρεις τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υγρών καυσίμων: άνθρακας σε υγρό, βιομάζα σε υγρό και αέριο σε υγρό. Η διαδικασία του άνθρακα σε υγρό γίνεται με απευθείας μετατροπή του άνθρακα (απευθείας υγροποίηση). Η υγροποίηση είναι μια θερμική διαδικασία μετατροπής της βιομάζας ή άλλης οργανικής ύλης σε κυρίως υγρό πετρέλαιο με την παρουσία μειωμένου αντιδραστήριου. Η υγροποίηση γενικά πραγματοποιείται σε μέτριες θερμοκρασίες (από 550 έως 675 °K) και σε

υψηλές πιέσεις. Τα υγρά καύσιμα από βιομάζα είναι ένας όρος που περιγράφει τη διαδικασία για την μετατροπή της βιομάζας σε μια σειρά από υγρά καύσιμα όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο, και πετρέλαιο τροφοδοσίας διυλιστηρίων. Η μετατροπή αφορά διάφορους τύπους βιομάζας όπως το ξύλο, γεωργικά υπολείμματα που είναι δύσκολα στη διαχείριση χρησιμοποιώντας άλλες διαδικασίες παραγωγής βιοκαυσίμων. Στην διαδικασία υδροποίησης του αερίου η βιομάζα μετατρέπεται σε συνθετικό αέριο με τη μέθοδο της αεριοποίησης. Το συνθετικό αυτό αέριο με απευθείας καύση παράγει ηλεκτρισμό ή μετατρέπεται σε υδρογονάνθρακες (όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο) αλκοόλες, αιθέρες ή χημικά προϊόντα. Μακροπρόθεσμα τα καύσιμα FT (Fischer-Tropsch) που θα είναι συμβατά για τα υπάρχοντα οχήματα προβλέπεται να προπορευτούν σαν εναλλακτικά καύσιμα στις μεταφορές.

Ο αριθμός των εναλλακτικών καυσίμων επί των οδών αυξάνεται κάθε χρόνο. Η ανάπτυξη των οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Η ολοένα αύξηση του αριθμού των οχημάτων επιδεινώνει την ζήτηση καυσίμων. Τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν εν μέρει να αντικαταστήσουν τη ζήτηση πετρελαίου. Η έρευνα για τη χρήση των εναλλακτικών καυσίμων στο εμπόριο βρίσκεται στην κορύφωσή της. Κατασκευαστές αυτοκινήτων, πετρελαϊκές βιομηχανίες και ακαδημαϊκά ιδρύματα κάνουν έρευνες για την παραγωγή και την αποθήκευση των εναλλακτικών καυσίμων με σκοπό τη μείωση των εκπομπών των οχημάτων και την αύξηση του ποσοστού χρήσης τους αντί των πετρελαιοειδών καυσίμων. Ωστόσο, η επιτυχία των εναλλακτικών καυσίμων εξαρτάται από τις κυβερνητικές πολιτικές και το κόστος των καυσίμων.

Πίνακας 1.3 : Επί των οδών οχήματα χρήσης εναλλακτικού καυσίμου

Τύπος καυσίμου/Διαμόρφωση	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Σύνολο
E85 Όχημα ευέλικτου καυσίμου	216.165	426.724	600.832	581.774	834.976	859.261	674.678	743.948	1.011.399	5.949.757
Πεπιεσμένου φυσικού αερίου	10.221	13.425	9.501	11.121	8.988	6.122	7.752	3.304	3.128	73.562
Ειδικά	4.143	4.891	3.997	5.506	5.397	3.397	4.398	2.276	2.066	36.071
Μη ειδικά	6.078	8.534	5.504	5.615	3.591	2.725	3.354	1.028	1.062	37.491
Ηλεκτρικά	1.844	1.957	6.215	6.682	15.484	12.395	2.200	2.281	2.715	51.773
Υγραερίου	5.620	5.955	4.435	3.201	1.667	2.111	2.150	700	473	26.312
Ειδικά	3.525	2.273	1.056	633	532	287	164	241	277	8.988
Μη ειδικά	2.095	3.682	3.379	2.568	1.135	1.824	1.986	459	196	17.324
Υδροποιημένου φυσικού αερίου	380	40	411	393	147	111	136	68	92	1.778
Υδρογόνου	0	0	0	0	2	6	31	74	40	153
Σύνολο	234.230	448.101	621.394	603.171	861.264	880.006	686.947	750.375	1.017.847	6.103.335

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΥΤΙΚΑ ΕΛΑΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Τα ορυκτά καύσιμα (π.χ., άνθρακας και προϊόντα πετρελαίου) αποτελούν τις κύριες πηγές ενέργεια στον κόσμο. Ο άνθρακας θεωρείται ως η κύρια πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και προϊόντων του πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών. Ποικίλες εναλλακτικές δοκιμάζονται για την αντικατάσταση των προϊόντων του πετρελαίου, που περιλαμβάνουν πηγές που παράγονται από βιομάζα όπως τα φυτικά έλαια, τα βιοκαύσιμα, τις αλκοόλες, άλλα καύσιμα σε αέρια μορφή, όπως το φυσικό αέριο και το LPG (υγραέριο) καθώς και τραίνα που κινούνται με κυψέλες καυσίμου και υβριδικά συστήματα. Αυτές οι προσπάθειες έγιναν για να μειωθούν οι εκπομπές των αερίων και για να βελτιωθεί η ασφάλεια του καυσίμου. Σημαντική ερευνητική εργασία διεξάγεται παγκοσμίως, τόσο στο κομμάτι της παραγωγής όσο και στην χρήση της ενέργειας από βιομάζα ως καύσιμο.

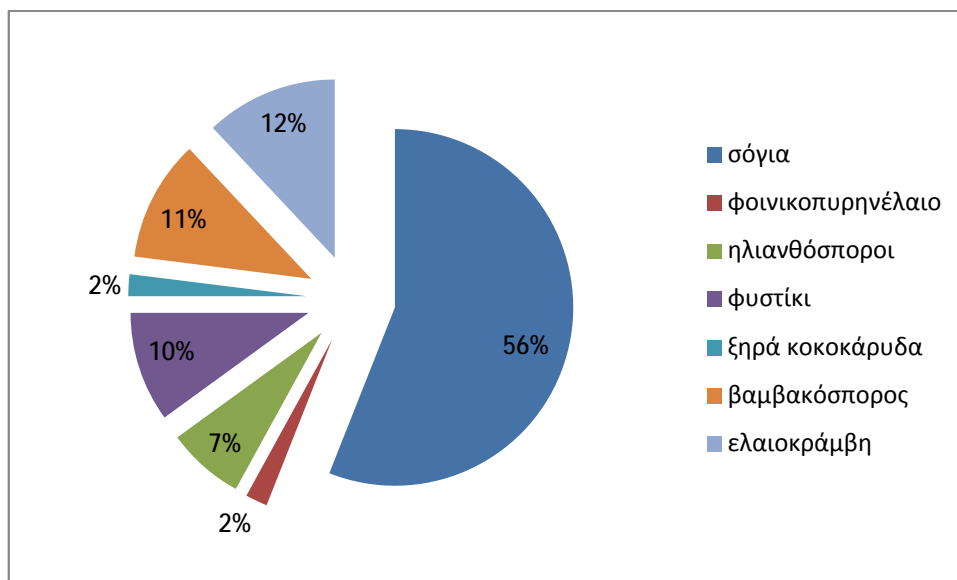
Η αντίληψη του να χρησιμοποιείς φυτικά έλαια ως καύσιμα, χρονολογείται από το 1895 όταν ο Δρ. Rudolf Diesel ανέπτυξε την πρώτη μηχανή diesel που λειτουργούσε με φυτικά έλαια. Ο Δρ. Diesel είχε παρουσιάσει την μηχανή του στην Παγκόσμια Έκθεση στο Παρίσι το 1900 χρησιμοποιώντας αραχιδέλαιο. Με την άφιξη του πετρελαίου και των κατάλληλων κλασμάτων του, πετρελαϊκά προϊόντα χαμηλού κόστους αντικατέστησαν τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε στις μηχανές. Ωστόσο κατά την διάρκεια των περιόδων της ενεργειακής κρίσης (δεκαετία του 1970), τα φυτικά έλαια και οι αλκοόλες χρησιμοποιούνταν ευρέως σαν καύσιμα για τις μηχανές. Εξαιτίας της συνεχόμενης αύξησης των τιμών του αργού πετρελαίου και του περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος, έχει αναζωπυρωθεί το ενδιαφέρον για τα φυτικά έλαια και τα παράγωγά τους για την χρήση σε μηχανές.

Τα φυτικά έλαια ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα βρώσιμα έλαια (ηλιέλαιο, σόγια, φοινικέλαιο, κτλ) και τα μη-βρώσιμα έλαια (jatrorha, karanjī, σπορέλαιο από καουτσούκ κτλ). Οι βρώσιμοι τύποι ελαίων χρησιμοποιούνται για διατροφικούς λόγους, ενώ τα μη βρώσιμα έλαια δεν χρησιμοποιούνται για διατροφικούς λόγους. Τα μη-βρώσιμα έλαια λειτουργούν ως ένα ακατέργαστο υλικό, πρώτη ύλη για την κατασκευή σαπουνιών, χρωμάτων, βερνικιών, διάφορα έλαια για τα μαλλιά, λιπαντικά, βοηθητικά υλικά κλωστοϋφαντουργίας, και πολλά άλλα περίπλοκα προϊόντα. Αφού εξαχθεί το έλαιο από τους σπόρους της ελιάς, ο ελαιοπλακούντας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τροφή για τα βοοειδή και ως λίπασμα. Επιπλέον, ο ελαιοπλακούντας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιομάζα τα αποθέματα των ζωοτροφών για την διαδικασία της αεριοποίησης. Τα φυτικά έλαια παράγονται κυρίως από τέσσερις πηγές. Αυτές είναι

1. Καλλιέργεια σπόρων ελιάς (π.χ. πινότσι/ γεωκαρύδι, rape-mustard, σόγια, σουσάμι, ηλιέλαιο, κνήκου, καστορέλαιο, λιναρόσπορο)
2. Πολυετή φυτά που παράγουν έλαια (π.χ. καρύδα και φοίνικας)
3. Παράγωγο υλικό των ελαίων (π.χ. βαμβακόσπορος και πίτουρο ρυζιού)

4. Ελαιούχοι σπόροι με προέλευση τα δάση και τα δέντρα (π.χ. karanji και σπορέλαιο από καουτσούκ)

Οι περισσότερες από τις χώρες ενθαρρύνουν προσπάθειες για καλλιέργεια του λαδιού που θα αποφέρει δέντρα για παραγωγή φυτικού ελαίου. Η παγκόσμια παραγωγή ελαιούχων σπόρων παγκοσμίως για την χρονιά 2007 ανέρχεται σε 370 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Η κατανομή των ελαιούχων σπόρων αναλύεται στην ακόλουθη εικόνα.

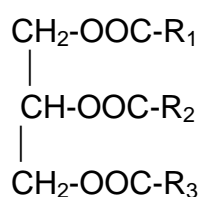


Εικόνα 1.1 : Παγκόσμια παραγωγή ελαιούχων σπόρων το 2007

1.2 Χαρακτηρισμός των φυτικών ελαίων

Τα μόρια των φυτικών ελαίων είναι τριγλυκερίδια με μη-διασπασμένες αλυσίδες διαφορετικού μήκους και διαφορετικού βαθμού κορεσμού. Το ντίζελ είναι μια περίπλοκη μείξη χιλιάδων επιμέρους ενώσεων, οι περισσότερες από τις οποίες με αριθμούς ανθράκων μεταξύ 10 και 22 και κυρίως από κορεσμένα. Η φυσική οργανική ένωση στα ζωικά και φυτικά λίπη είναι από διάφορους συνδυασμούς λιπαρών οξέων (σε ομάδες των τριών) που είναι συνδεδεμένες με ένα μόριο γλυκερόλης, κάνοντάς τα τριγλυκερίδια. Κάθε μόριο ενός λιπαρού οξέος αποτελείται από μια καρβοξυλική ομάδα (οξυγόνο, άνθρακα και υδρογόνο) προσκολλημένα σε μια αλυσίδα ατόμων άνθρακα με τα συνδεδεμένα άτομα υδρογόνου. Η αλυσίδα των ατόμων του άνθρακα μπορεί να συνδεθεί με μονούς δεσμούς υδρογόνου ανάμεσά τους, δημιουργώντας ένα κορεσμένο λίπος, ή μπορεί να συνδεθεί με διπλούς δεσμούς, δημιουργώντας ένα μη-κορεσμένο λίπος. Ο αριθμός των ατόμων άνθρακα και υδρογόνου στην αλυσίδα καθορίζει τις διάφορες ποιότητες του συγκεκριμένου λιπαρού οξέος.

Ο γενικός μοριακός τύπος, οποιοδήποτε φυτικού ελαίου δίδεται από



Δομικά, ένα μόριο γλυκερόλης αντιδρά, με τρία μόρια λιπαρών οξέων για να παράγει τρία μόρια νερού και ένα μόριο τριγλυκεριδίων. Τα λιπαρά οξέα ποικίλουν στο μήκος της αλυσίδας του άνθρακα και στον αριθμό των μη-κορεσμένων δεσμών, όταν είναι ανόμοια, το προϊόν είναι ένα ανάμεικτο τριγλυκερίδιο. Τα φυτικά έλαια είναι ανάμεικτα τριγλυκερίδια. Το C_{18:1} δηλώνει ότι ο άνθρακας έχει δεκαοχτώ άτομα με έναν διπλό δεσμό, επίσης C_{18:2} δηλώνει ότι ο άνθρακας έχει δεκαοχτώ άτομα με δύο διπλούς δεσμούς και C_{18:3} δηλώνει ότι ο άνθρακας έχει δεκαοχτώ άτομα με τρεις διπλούς δεσμούς. Η χημική δομή των λιπαρών οξέων δίδεται από τον πίνακα 1.2

Πίνακας 1.2 : Χημική Δομή των Κοινών Λιπαρών Οξέων

Χημική Δομή των Κοινών Λιπαρών Οξέων			
Λιπαρό Οξύ	Χημική Ονομασία	Δομή	Τύπος
Λαυρικό	Δωδεκανοϊκό	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂
Μυριστικό	Δεκατετρανοϊκό	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂
Παλμιτικό	Δεκαεξανοϊκό	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Στεατικό	Δεκαοκτανοϊκό	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
Αραχιδικό	Εικοσανοϊκό	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
Βcheric	Εικοσιδυανοϊκό	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂
Lignoceric	Εικοσιτετρανοϊκό	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂
Ελαϊκό	Cis-9-octadecenoic	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Λινελαϊκό	Cis-9, cis-12-octadecatrienoic	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Λινολενικό	Cis-9, cis-15-octadecatrienoic	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
Erucl	Cis-13-docosenoic	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂

Οι ιδιότητες των καυσίμων έχουν ομαδοποιηθεί συμβατικά σε φυσικές, χημικές και θερμικές ιδιότητες. Οι σημαντικές ιδιότητες των φυτικών ελαίων σε ομάδες χωρίζονται ως εξής:

Α) Φυσικές ιδιότητες (ιξώδες, σημείο θόλωσης, σημείο ροής, σημείο ανάφλεξης, κτλ.)

Β) Χημικές ιδιότητες (χημική δομή, οξύτητα, αξία σαπωνοποίησης, περιεκτικότητα σε θείο, διάβρωση χαλκού, αντίσταση στην οξειδωση και θερμική αποδόμηση, κτλ.)

Γ) Θερμικές ιδιότητες (θερμοκρασίες απόσταξης, θερμική αγωγιμότητα, υπολείμματα άνθρακα και θερμογόνος δύναμη, κτλ.)

Πίνακας 1.3 : Δοκιμαστικές μέθοδοι φυσικών και χημικών ιδιοτήτων

Ιδιότητα	Μέθοδος Δοκιμής ASTM	Μονάδες Μέτρησης
Πυκνότητα	D4502	g/ml
Υψηλότερη τιμή Θερμάνσεως	D2015	MJ/kg
Σημείο εξάτμισης	D2500	K
Σημείο ροής	D97	K
Σημείο Ανάφλεξης	D93	K
Αριθμός κετονών	D613	-
Κινηματικό ιξώδες στους 40°C	D445	mm ² /s
Θείο	D5453	wt%

Τα χαρακτηριστικά των φυτικών ελαίων ανήκουν σε μία σχετικά στενή κατηγορία και είναι πολύ κοντά με τα χαρακτηριστικά εκείνα του ντίζελ. Τα καύσιμα ντίζελ που έχουν ως βάση το πετρέλαιο περιέχουν μόνο άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Που είναι διατεταγμένα σε μία ευθεία αλυσίδα ή σε δομές διακλαδισμένης αλυσίδας καθώς επίσης και σε αρωματικές συνθέσεις. Οι δομές ευθείας αλυσίδας προτιμώνται για την καλύτερη ποιότητα ανάφλεξης τους, καθώς έχουν υψηλό αριθμό κετανών. Το καύσιμο ντίζελ περιέχει και κορεσμένους και ακόρεστους υδρογονάνθρακες (UHC). Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες είναι παρόντες σε μεγάλες ποσότητες στο ντίζελ καύσιμο εν συγκρίσει με ακόρεστους υδρογονάνθρακες. Ο υψηλός κορεσμός μειώνει το πρόβλημα της οξειδωσης. Επιπλέον τα αρωματικά είναι ανθεκτικά στην οξειδωση. Από την άλλη μεριά η αντίσταση των φυτικών ελαίων στην οξειδωση επηρεάζεται αξιολογικά από την σύνθεση σε λιπαρά οξέα. Η ποσότητα των ελεύθερων λιπαρών οξέων κατά κύριο λόγο επηρεάζει το σημείο ανάφλεξης των φυτικών ελαίων και ως εκ τούτου και τα χαρακτηριστικά της ανάφλεξης τους. Ο τύπος των λιπαρών οξέων που περιέχονται σε φυτικά έλαια εξαρτάται από το είδος του φυτού και στις συνθήκες ανάπτυξης του φυτού. Ο βαθμός ακορεστότητας (αριθμός διπλών δεσμών) καθορίζει την σταθερότητα της οξειδωσης. Η σταθερότητα της οξειδωσης του καυσίμου μειώνεται, με την αύξηση της ακορεστότητας. Αν και τα φυτικά έλαια είναι πολύ χαμηλής πτητικότητας στην φύση, μπορούν γρήγορα να παραχθούν πτητικές εύφλεκτες ουσίες ένα τα θερμάνουμε. Η ολεφινική φύση των φυτικών ελαίων μπορεί να δημιουργήσει αντιδράσεις θερμικού και οξειδωτικού πολυμερισμού. Αυτά τα πολυμερή δεν μπορούν πλέον να εξατμιστούν, αλλά επικάθονται στις διαθέσιμες επιφάνειες και εάν θερμανθούν επιπλέον σχηματίζουν ουσίες όπως το κοκ. Η σύνθεση λιπαρών οξέων φυτικών ελαίων απεικονίζεται στον πίνακα 1.4.

Πίνακας 1.4 : Σύνθεση λιπαρών οξέων φυτικών ελαίων

Φυτικό έλαιο	Σύνθεση Λιπαρών Οξέων κατά Βάρος (%)								
	16:1	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Καλαμπόκι	11,67	1,85	0,24	0,00	0,00	25,16	0,00	60,60	0,48
Βαμβάκοςπορο	28,33	0,89	0,00	0,00	0,00	13,27	0,00	57,51	0,00
Κράμβη	20,70	0,70	2,09	0,80	1,12	18,86	58,51	9,00	6,85
Αραχιδέλαιο	11,38	2,39	1,32	2,52	1,23	48,28	0,00	31,95	0,93
Ελαιοκράμβη	3,49	0,85	0,00	0,00	0,00	64,4	0,00	22,30	8,23
Σόγια	11,75	3,15	0,00	0,00	0,00	23,26	0,00	55,53	6,31
Ηλιέλαιο	3,08	3,26	0,00	0,00	0,00	16,93	0,00	73,73	0,00

Τα φυτικά έλαια έχουν περίπου 10% λιγότερη θερμική αξία από το ντίζελ, εξαιτίας της παρουσίας οξυγόνου στα μόρια. Ο αριθμός κετανών στο ντίζελ/ βιοντίζελ καθορίζει την ποιότητα της ανάφλεξης. Ο υψηλότερος αριθμός κετανών του καυσίμου είναι μία ένδειξη καλύτερων ιδιοτήτων ανάφλεξης. Ο αριθμός κετανών επηρεάζει τις παραμέτρους απόδοσης των μηχανών όπως την ανάφλεξη, την σταθερότητα, την οδηγισιμότητα, τον λευκό καπνό, τον θόρυβο, και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων. Τα φυτικά έλαια έχουν ένα αριθμό κετονών που κυμαίνεται από 25 έως 45. Το μοριακό βάρος των φυτικών ελαίων είναι περίπου 3 με 4 φορές υψηλότερο από αυτό του ντίζελ. Το ιξώδες του φυτικού

ελαίου (25-60 cSt) είναι πολλές φορές υψηλότερο από εκείνο του ντίζελ. Το υψηλό ιξώδες, των μεγάλων σε μέγεθος μορίων του φυτικού ελαίου, είναι χαμηλής πτητικότητας στην φύση που αυτό οδηγεί σε φτωχό ψεκασμό (atomization) και ατελή ανάφλεξη του καυσίμου. Η αξία σαπωνοποίησης ενός ελαίου αυξάνει με την μείωση του μοριακού του βάρους. Τα ποσοστά άνθρακα και υδρογόνου στα έλαια αυξάνουν με μείωση του μοριακού βάρους. Η μείωση της αξίας σαπωνοποίησης έχει σαν επακόλουθο την αύξηση του θερμικού περιεχομένου του ελαίου. Η αύξηση του ιωδίου έχει σαν επακόλουθο την μείωση του θερμικού περιεχομένου του ελαίου. Το θερμικό περιεχόμενο του ελαίου εξαρτάται από το ιώδιο και την σαπωνοποίηση. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες διάφορων φυτικών ελαίων απεικονίζονται στον πίνακα 1.5 κατωτέρω.

Πίνακας 1.5 : Φυσικοχημικές ιδιότητες φυτικών ελαίων

Φυτικό έλαιο	Κινηματικό ιξώδες (cSt)	Κατάλοιπα Άνθρακα (m, %)	Αριθμός Κετονών	Υψηλότερη Θερμοκρασιακή Αξία (MJ/kg)	Τέφρα (wt, %)	Θειάφι (wt, %)	Τιμές Ιωδίου	Σαπωνοποίηση
Βαμβάκοςπορος	33,7	0,25	33,7	39,4	0,02	0,01	113,2	207,71
Σπόροι παπαρούνας	42,4	0,25	36,7	39,6	0,02	0,01	116,83	196,82
Κραμβέλαιο	37,3	0,31	37,5	39,7	0,006	0,01	108,05	197,07
Κνήκου	31,6	0,26	42,0	39,5	0,007	0,01	108,05	190,3
Ηλιέλαιο	34,4	0,28	34,7	39,6	0,01	0,01	91,76	210,34
Σησαμέλαιο	36,0	0,25	40,4	39,4	0,002	0,01	91,76	210,34
Λιναρόσπορος	28,0	0,24	27,6	39,3	0,02	0,02	120,96	205,68
Σπόροι σιταριού	32,6	0,23	35,2	39,3	0,02	0,02	120,96	205,68
Καλαμπόκι στενό	35,1	0,22	37,5	39,6	0,01	0,01	119,41	194,14
Καστορέλαιο	29,7	0,21	42,3	37,4	0,006	0,01	88,72	202,71
Σόγια	33,1	0,24	38,1	39,6	0,03	0,01	69,82	220,78
Bay laurel leaf	23,2	0,20	33,6	39,3	0,02	0,02	105,15	220,62
Αραχιδέλαιο	40,0	0,22	34,6	39,5	0,01	0,01	119,55	199,80
Πυρήνας φουντουκιού	24,0	0,21	52,9	39,8	0,01	0,02	98,62	197,63
Πυρήνας καρυδιάς	36,8	0,24	33,6	39,6	0,02	0,02	135,24	190,82
Πυρήνας αμυγδαλιάς	34,2	0,22	34,5	39,8	0,01	0,01	102,35	197,56
Πυρηνέλαιο	29,4	0,23	49,3	39,7	0,008	0,02	100,16	196,83

1.3 Μέθοδοι χρησιμοποίησης φυτικών ελαίων σε μηχανές

1.3.1 Πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μια υποσχόμενη μέθοδος για την παραγωγή υγρών καυσίμων φιλικών προς το περιβάλλον. Είναι η κλασσική χημική αντίδραση που προκαλείται από την εφαρμογή θερμικής ενέργειας με την απουσία αέρα. Τα φυτικά έλαια και τα ζωικά λίπη μπορούν να πυρολυθούν. Η διαδικασία της πυρόλυσης μπορεί να λάβει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες των 250- 400° C και σε υψηλότερους ρυθμούς θέρμανσης. Η θέρμανση των φυτικών ελαίων σπάζει τα μεγαλύτερα μόρια σε μικρότερα και μια ευρεία ποικιλία υδρογονανθράκων σχηματίζεται. Τα προϊόντα που έχουν πυρολυθεί μπορούν να χαριστούν σε αέρια και υγρά κλάσματα που αποτελούνται από παραφίνες, ολεφίνες και ναφθενίων και στερεών καταλοίπων. Τα πυρολυμένα φυτικά έλαια περιέχουν αποδεκτά ποσά, θείου, νερού και ιζημάτων και δίνουν αποδεκτές τιμές διάβρωσης του χαλκού αλλά μη αποδεκτές τιμές στάχτης, καταλοίπων άνθρακα και σημείο ροής. Τα πυρολυμένα φυτικά έλαια

περιέχουν ενώσεις στο σημείο βρασμού της βενζίνης. Οι ιδιότητες του βιο-πετρελαίου εξαρτώνται από την φύση της πρώτης ύλης, την θερμοκρασία της διαδικασίας πυρόλυσης, τον βαθμό θερμικής αποδόμησης, της καταλυτικής πυρόλυσης, το περιεχόμενο σε νερό της πυρόλυσης του ελαίου, την ποσότητα των ελαφρών τελικών προϊόντων που έχουν συλλεγεί, και την διαδικασία πυρόλυσης που έχει χρησιμοποιηθεί. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο που προήλθε από την πυρόλυση του ελαίου οδηγεί σε πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα εν συγκρίσει με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα. Οι ιδιότητες σύγκρισης των πυρολυμένων ελαίων με βιο- ντίζελ και ντίζελ παρατίθενται στον πίνακα 1.6.

Πίνακας 1.6 : Ιδιότητες ελαίου πυρόλυσης σε σύγκριση με ντίζελ και βιο-ντίζελ

Ιδιότητα	Δοκιμαστική Μέθοδος	ASTM D975 Diesel	ASTM D6571 (B100)	Έλαιο Πυρόλυσης
Σημείο ανάφλεξης (°C)	D93	52 °C	130	-
Φθορά και κατάλοιπα, μέγιστα, vol%	D2709	0,05	0,05	0,01- 0,04
Κινηματικό Ιξώδες, mm ² /s	D445	1,3- 4,1	1,9- 6,0	25- 1000
Θειούχα στάχτη μέγιστη wt%	D874	-	0,02	-
Στάχτη μεγ. wt%	D482	0,01	-	0,05- 0,01
Θειάφι μεγ. wt%	D5453	0,05	0,05	-
Θειάφι μεγ. wt%	D2622/129	-	-	0,001- 0,02
Αριθμός κετανών	D613	40	47	-
Αρωματικές ενώσεις, μεγ. Vol%	D1319	-	35	-
Κατάλοιπα άνθρακα, μεγ. μάζα %	D4530	-	0,05	0,001- 0,0
Κατάλοιπα άνθρακα, μεγ. μάζα %	D524	0,35	-	-

1.3.2 Μικρογαλακτοματοποίηση

Ο σχηματισμός μικρογαλακτωμάτων (συν-φερεγγυότητα) είναι μία πιθανή λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος του ιξώδους των φυτικών ελαίων. Οι γαλακτοματοποιητές ορίζονται ως διαφανείς και θερμοδυναμικά σταθερές κolloειδείς διασπορές. Οι διάμετρος των σταγονιδίων των μικρογαλακτωμάτων ποικίλουν από 100 έως 1000 Å. Τα μικρογαλακτώματα μπορούν να κατασκευαστούν από φυτικά έλαια με έναν εστέρα και ένα διαλύτη ή από φυτικά έλαια, με μία αλκοόλη και μία επιφανειοδραστική ουσία και ένα βελτιωτικό κετανίου, με ή χωρίς καύσιμα ντίζελ. Το νερό (υδατικό διάλυμα αιθανόλης) μπορεί να είναι παρόν για να χρησιμοποιήσουμε αιθανόλη, έτσι να αυξήσουμε την αντοχή των μικρογαλακτωμάτων σε νερό. Τα μικρογαλακτώματα μπορεί να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά ψεκασμού εξαιτίας της εκρηκτικής εξάτμισης των συστατικών στοιχείων χαμηλού βρασμού των επιφανειοδραστικών μορίων. Τα μικρογαλακτώματα της μεθανόλης με φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σαν ντίζελ καύσιμο. Ο σχηματισμός μικρογαλακτωμάτων, η σταθερότητα των γαλακτωμάτων καθορίζεται από την ενέργεια που εισάγεται σε αυτά και την ποσότητα του γαλακτοματοποιητή που απαιτείται . Ο Cherwinski (1994) προετοίμασε ένα γαλάκτωμα από 53% ηλιέλαιο, 13,3% αιθανόλη, και 33,4% βουτανόλη. Το γαλάκτωμα είχε ιξώδες 6,3 cSt στους 40° C και αριθμό κετανών 25. Χαμηλότερα επίπεδα ιξώδους και ροής ψεκασμού έχουν αναφερθεί με αύξηση του ποσοστού βουτανόλης.

1.3.3 Αραίωση

Τα φυτικά έλαια μπορούν απευθείας να αναμιχθούν με καύσιμα ντίζελ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λειτουργία μιας μηχανής ντίζελ. Ο Rudolf Diesel χρησιμοποιούσε αραχιδέλαιο για να λειτουργήσει την μηχανή του. Πλείστες μελέτες έχουν διεξαχθεί όσον αφορά την χρήση των φυτικών ελαίων απευθείας σαν καύσιμο σε μηχανές ντίζελ. Ο Wang και οι συνεργάτες του (2006) ανέφερε ότι οι σύγχρονες μηχανές ντίζελ που διαθέτουν συστήματα ανάφλεξης καυσίμου είναι ευαίσθητες στην αλλαγή του ιξώδους. Το υψηλό ιξώδες των φυτικών ελαίων μπορεί να οδηγήσει στον φτωχό ψεκασμό, την ατελή καύση, πνιγμό των εγχυτήρων καυσίμου, ring carbonization (ανθρακοποίηση σε σχήμα δαχτυλιδιού) και συγκέντρωση του καυσίμου στα λιπαντικά έλαια. Ένας τρόπος αποφυγής αυτών των προβλημάτων και για την βελτίωση της απόδοσης είναι η μείωση του ιξώδους των φυτικών ελαίων. Η αραίωση των φυτικών ελαίων μπορεί να επιτευχθεί με τέτοια υλικά όπως καύσιμα ντίζελ, διαλύτες ή αιθανόλη. Υπάρχει ένα αυξανόμενο πλεονέκτημα όταν αναμειγνύονται τα φυτικά έλαια με καύσιμο ντίζελ με την ελάχιστη επεξεργασία και τροποποίησης της μηχανής.

Η ανάμειξη ντίζελ με φυτικά έλαια μειώνει το ιξώδες και ως εκ τούτου αυξάνει τα χαρακτηριστικά της ανάφλεξης. Τα αγνά φυτικά έλαια (neat vegetable oil) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης με μερικές μικρές τροποποιήσεις στο σύστημα καυσίμου. Μηχανές που λειτουργούν με αγνό φυτικό έλαιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να λειτουργήσουν τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη για να παραχθεί ηλεκτρισμός σε χωριά όπου τα φυτικά έλαια είναι διαθέσιμα τοπικά. Αποτελέσματα βραχυπρόθεσμων δοκιμών που διεξήχθησαν από διάφορους ερευνητές βρέθηκαν να είναι επιτυχημένες. Ωστόσο, μερικά προβλήματα έγιναν αντιληπτά όταν διανύθηκαν αρκετά χιλιόμετρα.

1. Το υψηλό ιξώδες, ο χαμηλός αριθμός κετανών, και το υψηλό σημείο ανάφλεξης προκάλεσε προβλήματα κρύας εκκίνησης. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί προθερμαίνοντας το φυτικό έλαιο πριν την έγχυση ή προσθέτοντας τα κατάλληλα πρόσθετα για την βελτίωση της κρύας εκκίνησης.
2. Το υψηλό σημείο ανάφλεξης των φυτικών ελαίων συμβάλλει στην χαμηλή τους πτητικότητα.
3. Το σημείο εξάτμισης και το σημείο ροής είναι σημαντικά υψηλότερα από εκείνα του καυσίμου ντίζελ. Αυτές οι υψηλές τιμές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα κατά την διάρκεια του κρύου καιρού.
4. Τα φυτικά έλαια είναι πολύ χαμηλά σε αριθμό κετανών (25-35 CN) και ως εκ τούτου εμφανίζεται χτύπημα –μηχανής-. Ωστόσο, η χρήση υψηλότερης αναλογίας συμπίεσης στην μηχανή μειώνει την τάση χτυπήματος.
5. Τα φυτικά έλαια είναι χαμηλής αντοχής στην οξειδωση και συνεπώς προκαλούν την έμφραξη εγχυτήρα και σχηματισμό κόμμις. (gum). Το φιλτράρισμα των φυτικών ελαίων πριν την έγχυση θα μπορούσε να μειώσει την έμφραξη του εγχυτήρα.
6. Ο φτωχός ψεκασμός των φυτικών ελαίων προκαλεί ατελή καύση και αραίωση του στροφαλοθαλάμου εξαιτίας του πλήγματος από την

υπερβολική φθορά του κινητήρα, την οπτανθρακοποίηση των μπεκ, το κόλλημα του δαχτυλιδιού (ring sticking), την αραίωση του λιπαντικού, και αύξηση των καταλοίπων της καύσης. Αυτά μπορούν να ελεγχθούν με την λειτουργία της μηχανής με φυτικά έλαια με πλήρες φορτίο αποκλειστικά και εξαιτίας αυτού αυξάνει το διάστημα αλλαγών του πετρελαίου.

1.3.4 Μετεστεροποίηση

Η μετεστεροποίηση είναι μια χημική διαδικασία σχηματισμού μεγάλων διακλαδισμένων μορίων τριγλυκεριδίων από βιο- έλαια και λίπη σε μικρότερα, μόρια ευθείας αλυσίδας, σχεδόν όμοια σε μέγεθος με τα μόρια των ειδών που είναι παρόντα στα καύσιμα ντίζελ. Αυτή η διαδικασία έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί για την μείωση του ιξώδους των τριγλυκεριδίων. Η αντίδραση μετεστεροποίησης παρουσιάζεται από την γενική εξίσωση



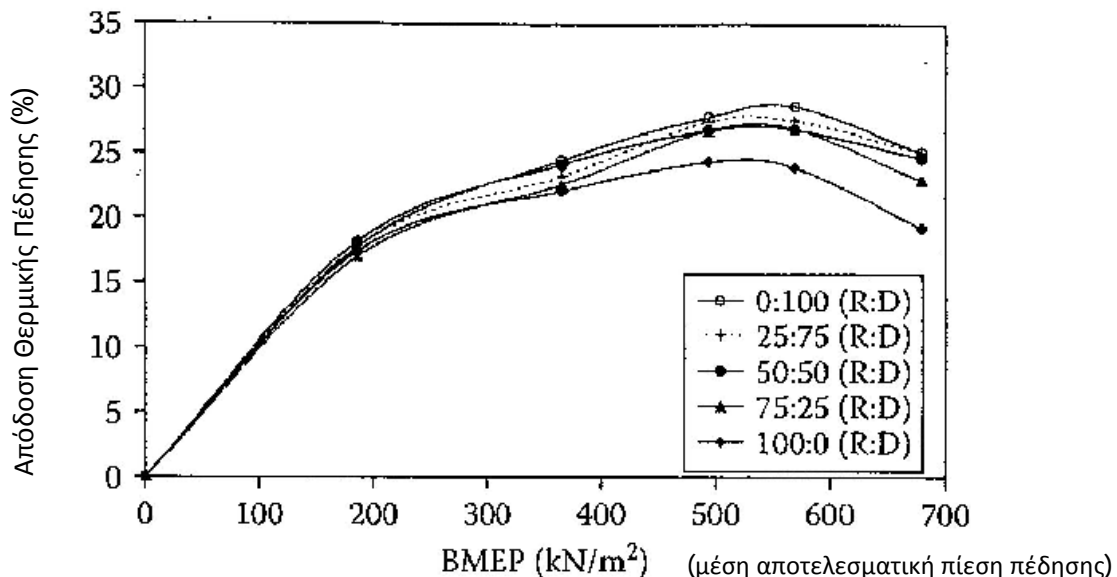
Τα τριγλυκερίδια άμεσα μετεστεροποιούνται με την παρουσία αλκαλικού καταλύτη σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασία περίπου 60-70°C με περίσσεια μεθανόλη. Το μείγμα στο τέλος της αντίδρασης αφήνεται να ηρεμήσει. Το χαμηλότερο στρώμα γλυκερόλης αφαιρείται ενώ το πάνω στρώμα μεθυλεστέρα ξεπλένεται για να αφαιρεθεί η παρασυρμένη γλυκερόλη και κατόπιν γίνεται αντικείμενο περεταίρω επεξεργασίας. Η περίσσεια μεθανόλη ανακτάται με απόσταξη και αποστέλλεται σε μια διορθωτική στήλη για καθαρισμό και ανακύκλωση. Η μετεστεροποίηση λειτουργεί καλά όταν η πρώτη ύλη των ελαίων είναι υψηλής ποιότητας. Ωστόσο, αρκετά συχνά έλαια χαμηλής ποιότητας χρησιμοποιούνται ως πρωτογενή υλικά για Παρασκευή βιοντίζελ. Σε περιπτώσεις όπου τα ελεύθερα λιπαρά οξέα του ελαίου είναι πάνω από 1%, ανακύπτουν δυσκολίες εξαιτίας του σχηματισμού σαπουνιού, που προωθεί την γαλακτωματοποίηση κατά την διάρκεια της φάσης του ξεπλύματος με νερό και σε ένα επίπεδο ελεύθερων λιπαρών (FFA) οξέων άνω του 2% η διαδικασία καθίσταται μη εφαρμόσιμη. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τον χρόνο και την μετατροπή της αντίδρασης της μετεστεροποίησης είναι

1. Η θερμοκρασία του ελαίου.
2. Η θερμοκρασία της αντίδρασης
3. Η αναλογία αλκοόλης με έλαιο.
4. Ο τύπος του καταλύτη και συγκέντρωσης.
5. Ένταση της ανάμιξης.
6. Καθαρότητα των αντιδραστηρίων.

1.4 Δοκιμές μηχανών

1.4.1 Μελέτες στην απόδοση και τις εκπομπές των μηχανών

Η καταλληλότητα των φυτικών ελαίων ως καύσιμα έχει ερευνηθεί από πολλούς ερευνητές ανά τον κόσμο κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Μια τυπική δοκιμή σε μία μηχανή που διεξήχθη από τον Ramadhas και τους συνεργάτες του (2005) περιγράφεται ως ακολούθως. Μη βρώσιμο έλαιο καουτσούκ χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της βραχυπρόθεσμης απόδοσης της μηχανής και των χαρακτηριστικών των εκπομπών ρύπων. Οι δοκιμές διεξήχθησαν σε μηχανές τύπου ντίζελ χρησιμοποιώντας διάφορα μείγματα ελαίου τύπου καουτσούκ. Η μεταβολή της θερμικής απόδοσης πέδησης της μηχανής με με διάφορα μείγματα απεικονίζεται στην εικόνα 1.2 παρακάτω.



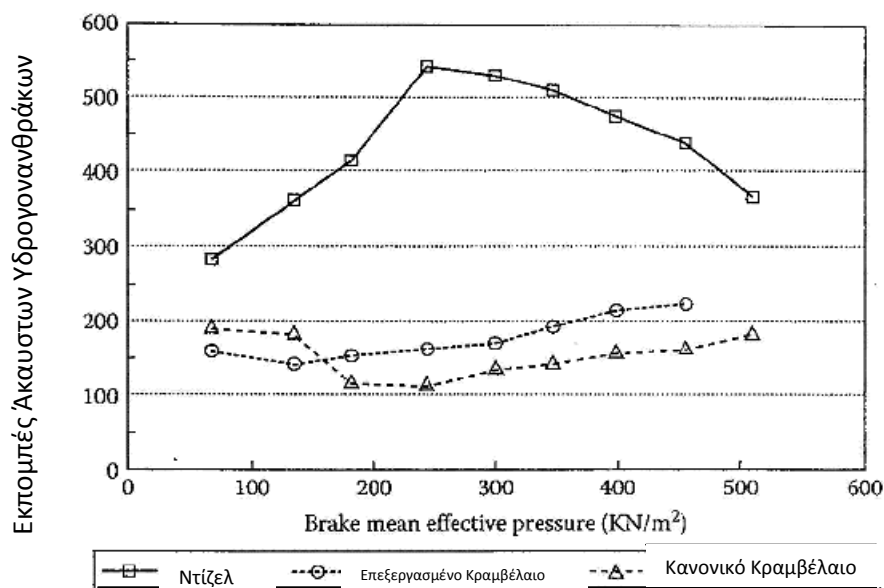
Εικόνα 1.2 : Θερμική απόδοση πέδησης μειγμάτων ελαίων τύπου ντίζελ από καουτσούκ

Τα πειραματικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι με αύξηση της δύναμης πέδησης, αυξάνεται και η θερμική απόδοση πέδησης των μειγμάτων. Υπήρξε σημαντική αύξηση της απόδοσης της μηχανής με τα μείγματα εν συγκρίσει με το αδιάλυτο σπορέλαιο καουτσούκ. Η θερμική απόδοση πέδησης του μείγματος της αναλογίας 80:20 (σπορέλαιο καουτσούκ: ντίζελ), ταιριάζει στενά με εκείνη του ντίζελ. Το υψηλότερο ποσοστό στα μείγματα σπορέλαιου καουτσούκ έχει προσδώσει χαμηλότερη θερμική απόδοση εν συγκρίσει με το ντίζελ. Ο λόγος για αυτήν την πτώση σε θερμική απόδοση αποδίδεται στο υψηλό ιξώδες και στα φτωχά χαρακτηριστικά καύσης του σπορέλαιο τύπου καουτσούκ.

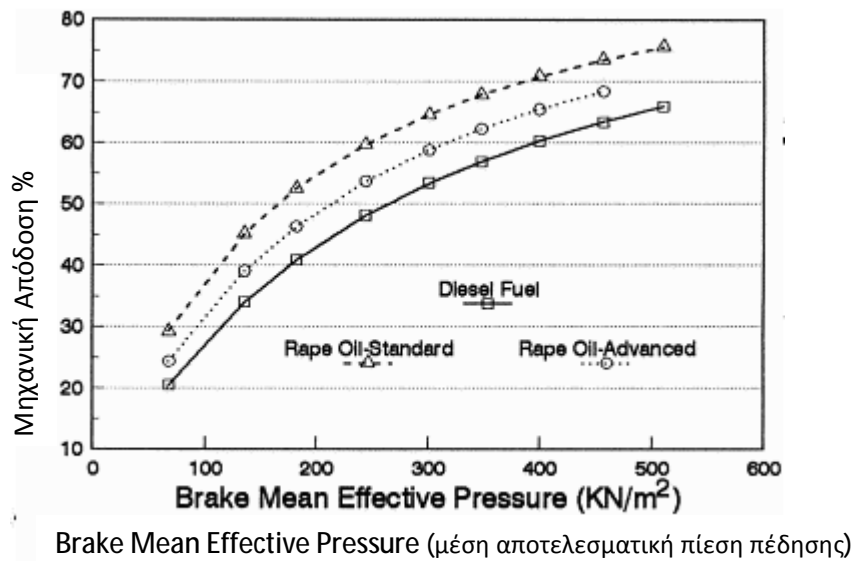
Οι Nwafor, Rice και Ogbonna (2000) διεξήγαγαν δοκιμές χρησιμοποιώντας κραμβέλαιο σε μονοκύλινδρο μηχανή ντίζελ και ανέφεραν

ότι το κραμβέλαιο σε συγχρονισμό υπό κανονικές συνθήκες παρήγαγε την υψηλότερη μηχανική απόδοση (βλ. εικόνα 1.3). Τα φυτικά έλαια με μακρύτερη καθυστέρηση ανάφλεξης και μακρύτερη διάρκεια καύσης δεν απαιτούν καμία προηγμένη έγχυση όταν η μηχανή δουλεύει σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτοί ανέφεραν ότι η λειτουργία με καύσιμο ντίζελ έδειξε υψηλότερες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων στην εξάτμιση (εικόνα 1.4). Η μονάδα προχωρημένης έγχυσης έδωσε μια οριακή αύξηση σε εκπομπές υδρογονανθράκων σε σχέση με την μονάδα χρονισμού κανονικής έγχυσης. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων μπορεί να αυξηθούν από πολλούς παράγοντες όπως η φλόγα βαφής (quenched= βάψιμο δια εμβαπτίσεως flame), η φτωχή καύση, η ψυχρή εκκίνηση, και φτωχή προετοιμασία του μείγματος. Επιπλέον, το υψηλό ιξώδες των φυτικών ελαίων έχει αποτελέσει ένα καλό στεγανοποιητικό ανάμεσα στα δακτυλιοειδή πιστόνια και στα τοιχώματα του κυλίνδρου, και ως εκ τούτου βελτίωσε την συμπίεση της μηχανής για αποτελεσματική καύση.

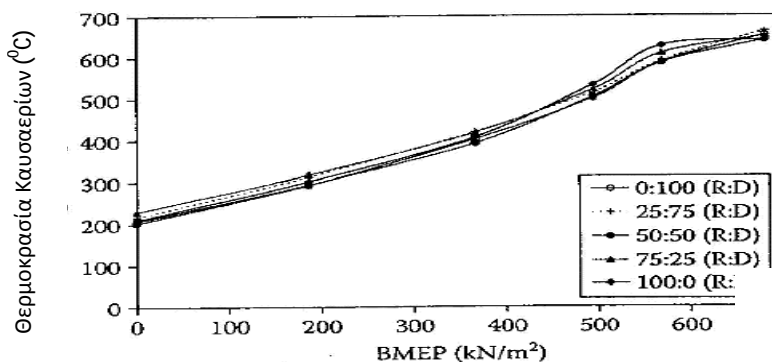
Οι Ramadhas, Jayaraj, και Muraleedharan (2005) ανέφεραν ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων επίσης αυξάνει με την αύξηση με την συγκέντρωση του σπορέλαιο τύπου καουτσούκ στο μείγμα (εικόνα 1.5). Το σπορέλαιο τύπου καουτσούκ, που περιέχει κάποια ποσότητα μορίων οξυγόνου, λαμβάνει επίσης μέρος στην καύση. Ως εκ τούτου, ενώ η χρήση καθαρού σπορέλαιου τύπου καουτσούκ, η υψηλότερη θερμοκρασία καυσαερίων επετεύχθη. Αυτό δεικνύει περισσότερη απώλεια ενέργειας σε αυτή την περίπτωση.



Εικόνα 1.3 : Εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων κραμβελαίου



Εικόνα 1.4 : Μηχανική απόδοση κραμβελαιίου



μέση αποτελεσματική πίεση πέδησης

Εικόνα 1.5 : Θερμοκρασία καυσαερίων μείγματος σπορέλαιο καουτσούκ και ντίζελ

Η θερμοκρασία καυσαερίου αυξάνει με την αύξηση του φόρτου με όλα τα δοκιμασμένα καύσιμα. Η εκπομπή NO_x σχετίζεται άμεσα με τις θερμοκρασίες του θαλάμου καύσης του κινητήρα, ο οποίος με την σειρά του επισημαίνεται από την επικρατούσα θερμοκρασία καυσαερίων. Οι μηχανές φυτικών ελαίων έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν περισσότερο NO_x εν συγκρίσει με τις μηχανές που τροφοδοτούνται με ντίζελ.

1.4.2 Δοκιμασίες αντοχής

Οι δοκιμασίες αντοχής διεξάγονται για την αξιολόγηση της επίδρασης του καυσίμου επί των εξαρτημάτων του κινητήρα όπως στους εγχυτήρες, στην φθορά των δακτυλιοειδών πιστονιών, τα κατάλοιπα του θαλάμου καύσης του κινητήρα, και στην ανάλυση των μετάλλων της φθοράς από τα λιπαντικά της μηχανής. Τα φυτικά έλαια μπορούν να παραχθούν τοπικά και μπορούν να

χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε αγροτικές περιοχές για άντληση νερού και παραγωγή ενέργειας. Για αυτό τον λόγο, οι μηχανές ντίζελ είναι κατάλληλες για τις εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην γεωργική άντληση νερού. Η μηχανή που λειτουργούσε συνεχώς σε συνθήκες πλήρους φόρτου χρησιμοποιώντας μείγμα 50:50 (σπορέλαιο τύπου καουτσούκ και ντίζελ) εν συγκρίσει με εκείνη του ντίζελ. Η κυλινδροκεφαλή της μηχανής αποσυναρμολογείται για οπτική επιθεώρηση και για ποιοτική ανάλυση των σωματιδίων του άνθρακα που έχουν επικαθίσει πάνω της.

Η περιοχή θαλάμου καύσεως της κυλινδροκεφαλής έδειξε ομοιόμορφη και επίπεδη συσσώρευση του άνθρακα και για τα δύο καύσιμα κινητήρων. Δεν εντοπίστηκε καμία διαφορά στις συνθήκες εδρών εισαγωγής και εξαγωγής των βαλβίδων ανάμεσα στο μείγμα και στο ντίζελ. Ένα λεπτό στρώμα σωματιδίων άνθρακα είναι διασκορπισμένο γύρω από την περιφέρεια των εδρών των βαλβίδων. Οι έδρες των βαλβίδων καθώς επίσης και η πρόσοψη των βαλβίδων, έδειξε το reething (φαινόμενο που προκαλείται από τον βομβαρδισμό μιας επιφάνειας με σκληρό μέταλο) που προκλήθηκε από τα σκληρά σωματίδια που απελευθερώθηκαν από τα κατάλοιπα του θαλάμου καύσεως. Η συσσώρευση άνθρακα στην άνω επιφάνεια του πιστονιού δεν είναι ομοιόμορφη.

Οι εικόνες 1.6 και 1.7 (βλ. σελ.37) παρουσιάζουν τα κατάλοιπα του άνθρακα σε μηχανές που τροφοδοτούνται με καύσιμο ντίζελ και μείγμα αντιστοίχως. Υπήρχαν περισσότερα κατάλοιπα άνθρακα στην κυλινδροκεφαλή της μηχανής που τροφοδοτείται με μείγμα παρά την μηχανής που τροφοδοτείται με ντίζελ. Επίσης παρατηρείται μια γρήγορη συσσώρευση καταλοίπων άνθρακα στην μηχανή που τροφοδοτείται με μείγμα στα ακροφύσια του εγχυτήρα. Η ατελής καύση είχε προωθήσει τον σχηματισμό επιπλέον στερεών καταλοίπων, που επικάθισαν στα τοιχώματα του θαλάμου καύσεως και της κυλινδροκεφαλής.

Οι εικόνες 1.8 και 1.9 (βλ. σελ. 38) παρουσιάζουν κατάλοιπα άνθρακα στην επιφάνεια του πιστονιού της μηχανής που τροφοδοτείται με ντίζελ και στην μηχανή που τροφοδοτείται με το μείγμα αντιστοίχως. Περισσότερα κατάλοιπα σχηματίστηκαν εξαιτίας της ατελούς καύσης του μείγματος ντίζελ με σπορέλαιο καουτσούκ. Το υψηλό ιξώδες του καυσίμου που οδηγεί σε φτωχά χαρακτηριστικά εξάτμισης προκαλεί ατελή καύση του καυσίμου. Επιπλέον η gumming φύση του φυτικού ελαίου σχημάτισε σωματίδια άνθρακα στα τοιχώματα ανάφλεξης του θαλάμου.

Ο Bruwer και οι συνεργάτες του (1981) ανέφεραν ότι υπήρξε μια απώλεια δύναμης 8% ύστερα από 1000 ώρες λειτουργίας με καθαρό ηλιέλαιο. Η απώλεια ενέργειας διορθώθηκε αντικαθιστώντας τους εγχυτήρες καυσίμου και την αντλία των εγχυτήρων.

Μετά από 1300 ώρες λειτουργίας, τα κατάλοιπα άνθρακα της μηχανής αναφέρθηκε ότι ήταν ίσα με εκείνα της μηχανής που τροφοδοτείται με ντίζελ εκτός από τις άκρες των εγχυτήρων, που παρουσίασαν υπερβολική συσσώρευση άνθρακα. Ο Tadashi και οι συνεργάτες του αξιολόγησαν το κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση κραμβελαίου και φοινικέλαιου σαν καύσιμο ντίζελ σε μηχανές τύπου ντίζελ αερόψυκτες που χρησιμοποιούν άμεσο ψεκασμό.

Έχει αναφερθεί ότι οι μηχανές που λειτουργούν με φυτικά έλαια προσέδωσαν μια αποδεκτή απόδοση της μηχανής και επίπεδα εκπομπών καυσαερίου για βραχυπρόθεσμη λειτουργία. Ωστόσο αυτά τα φυτικά έλαια

προκάλεσαν συσσωρεύσεις καταλοίπων άνθρακα και εμπλοκή των δακτυλιδιών του πιστονιού μετά από εκτεταμένη λειτουργία.

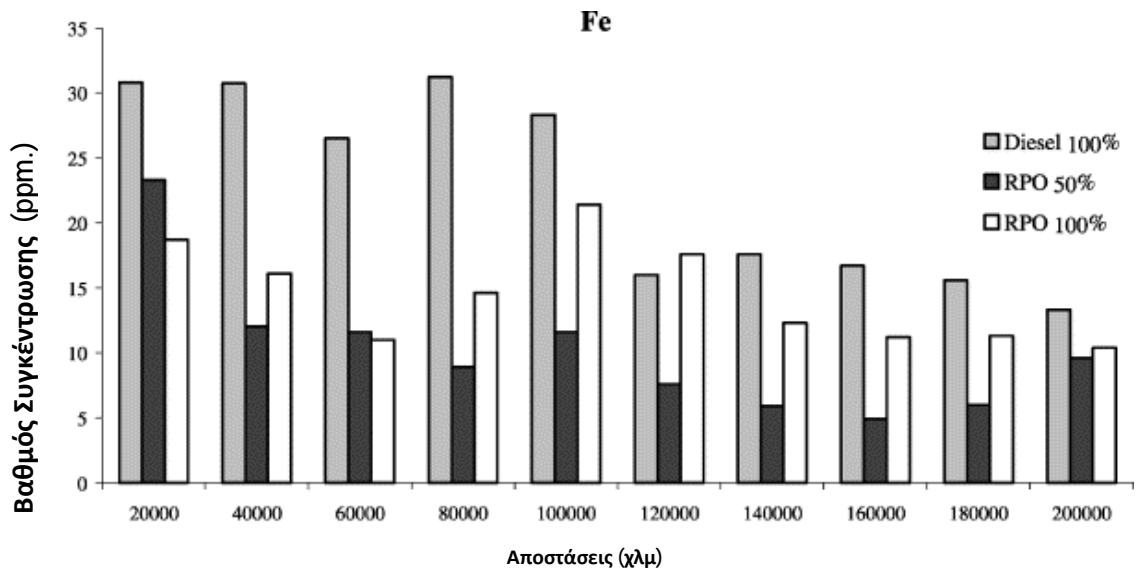
Ο German και οι συνεργάτες του διεξήγαγαν δοκιμές χρησιμοποιώντας έξι τρακτέρ τύπου John Deere & Case με μέσο όρο λειτουργίας 1300 ώρες. Τα κατάλοιπα άνθρακα στον θάλαμο ανάφλεξης ήταν μεγαλύτερα για τα τρακτέρ που τροφοδοτούνταν με ηλιέλαιο και ντίζελ (50:50) από εκείνα που τροφοδοτούνταν από το ίδιο μείγμα σε αναλογία (25:75). Όλες αυτές οι δοκιμαστικές μηχανές που λειτούργησαν με φυτικά έλαια/ μείγματα είχαν μεγαλύτερη συσσώρευση άνθρακα από ότι εκείνες που τροφοδοτούνταν με ντίζελ.

Η Malaysia χρησιμοποιεί φοινικέλαιο σαν κύρια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας αντί του ντίζελ σε μηχανές. Οι Saraun, Masjuki και Azlan (1996) ανέφεραν ότι το φοινικέλαιο σαν υποκατάστατο του καυσίμου ντίζελ παρουσίασε ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η απόδοση σε ενέργεια ήταν σχεδόν ίδια για το φοινικέλαιο, τα μείγματα του φοινικέλαιου και του ντίζελ και του καυσίμου ντίζελ σε ποσοστό 100%. Βραχυπρόθεσμα τεστ που χρησιμοποίησαν ως καύσιμη ύλη το φοινικέλαιο δεν έδειξαν καθόλου σημάδια φθοράς του θαλάμου καυσίμου, αύξηση των καταλοίπων του άνθρακα, ή μόλυνση του λιπαντικού ελαίου lubricating oil contamination.

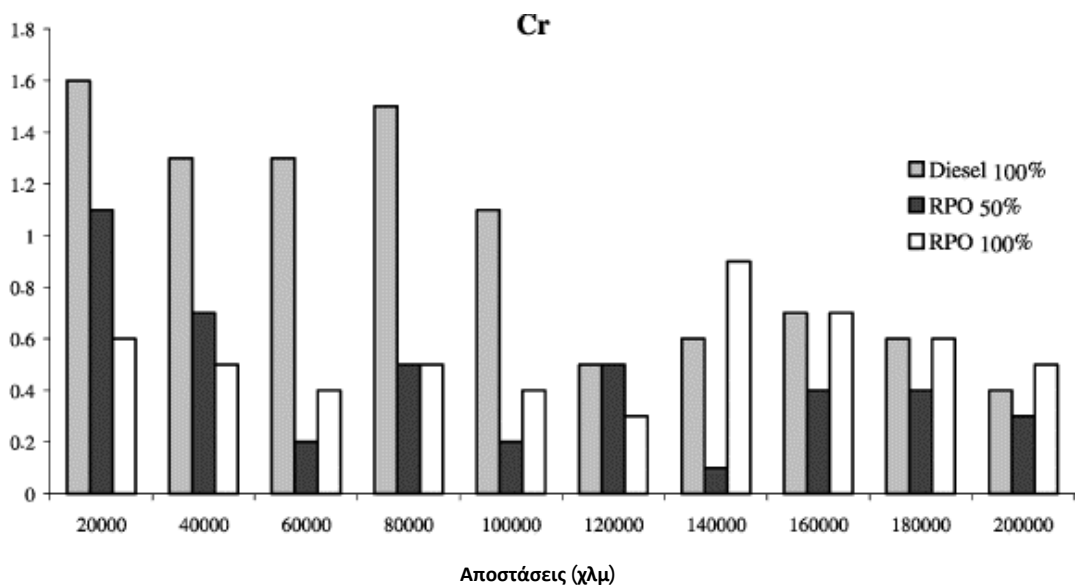
Το Southwest Research Institute (Reid, Hansen και Goering, 1989) αξιολόγησαν τις χημικές και φυσικές ιδιότητες 14 φυτικών ελαίων. Οι μελέτες επί των εγχυτήρων έδειξαν ότι τα έλαια συμπεριφέρονται πολύ διαφορετικά από τα καύσιμα που βασίζονται στο πετρέλαιο. Αυτές οι αλλαγές στην συμπεριφορά αποδόθηκαν στο υψηλό ιξώδες των φυτικών ελαίων. Ωστόσο το να προθερμαίνεις τα φυτικά έλαια πριν περάσουν τους εγχυτήρες μείωσε τα κατάλοιπα του άνθρακα. Επιπλέον έχει αναφερθεί ότι τα έλαια με παρόμοια ιξώδη προσέφεραν διαφορετικά επίπεδα καταλοίπων άνθρακα.

1.4.3 Ανάλυση λιπαντικών ελαίων

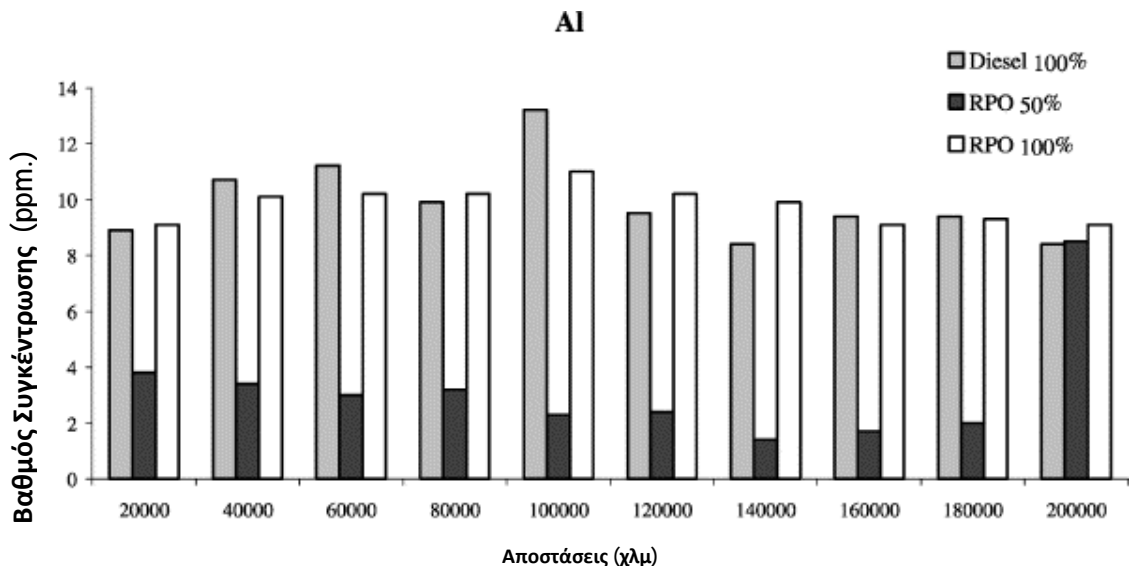
Ο Raadhui και οι συνεργάτες του (2003) διεξήγαγαν μια ανάλυση φθοράς καυσίμου ντίζελ 100% συμβατικό, ένα καύσιμο που αποτελείται από 50% επεξεργασμένο φοινικέλαιο (RPO, refined palm oil) και από 50% ντίζελ, και από ένα καύσιμο 100% επεξεργασμένο φοινικέλαιο (RPO) σε μια σειρά δοκιμών. Οι ποσότητες της φθοράς του μετάλλου στις μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγματα όταν οι μηχανές αποστραγγίστηκαν από τις λιπαντικά έλαια εν συγκρίσει με τις μηχανές εκείνες που βασίζονται στο πετρέλαιο. Οι φθορά του μετάλλου στο έλαιο λίπανσης σε μία συσσώρευση μιλίων απεικονίζεται στις εικόνες 1.10 έως 1.13.



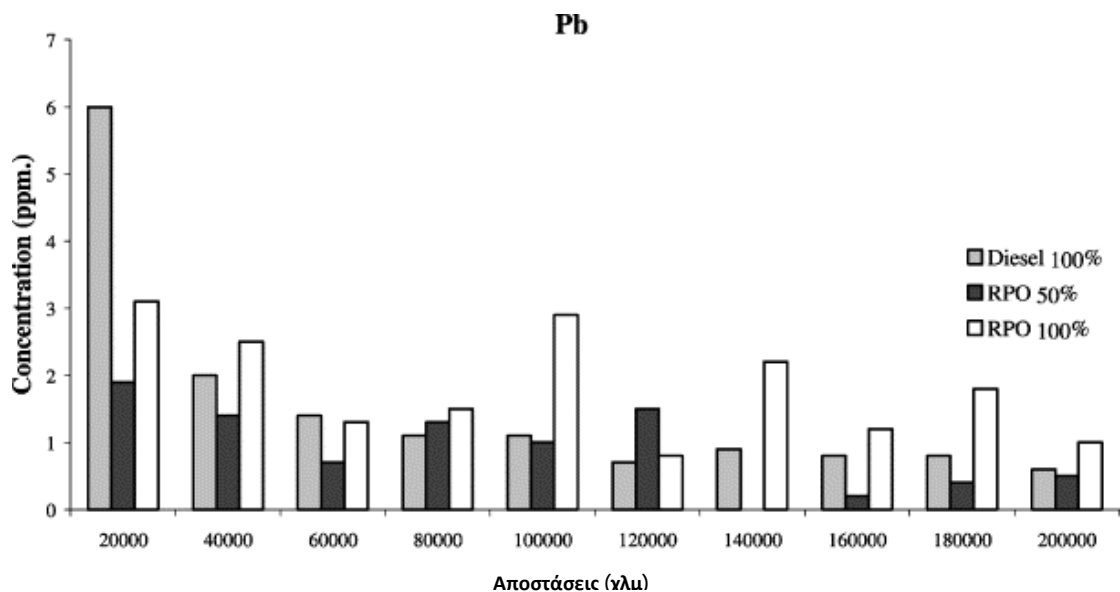
Εικόνα 1.6 : Συγκέντρωση σιδήρου κατόπιν συσσώρευσης χιλιομέτρων



Εικόνα 1.7 : Συγκέντρωση χρωμίου κατόπιν συσσώρευσης χιλιομέτρων



Εικόνα 1.8 : Συγκέντρωση αργίλου κατόπιν συσσώρευσης χιλιομέτρων



Εικόνα 1.9 : Συγκέντρωση μολύβδου κατόπιν συσσώρευσης χιλιομέτρων

Αυτές οι μελέτες απέδειξαν την επιδείνωση σχηματισμού καταλοίπων και σχηματισμό κοκ στους εγχυτήρες σε μηχανές που τροφοδοτούνταν με φυτικά έλαια. Αυτά τα φυτικά έλαια θα έπρεπε να χρησιμοποιούνται κατόπιν σωστού φιλτραρίσματος, απογόμεσης και αποκήρωσης. Για μακρόχρονη χρήση και για χρήση του κινητήρα για βαριές εφαρμογές, τα μείγματα ντίζελ

και τα φυτικά έλαια προτείνονται για χρήση. Η μηχανή θα πρέπει να εκκινήσει και πριν σταματήσει η λειτουργία της να χρησιμοποιείται ντίζελ αποκλειστικά. Αφού προθερμανθεί θα πρέπει να γίνει η μετάβαση σε μείγμα φυτικών ελαίων. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεκαθαριστούν με καθημερινή και αποτρεπτική συντήρηση της μηχανής. Η θέρμανση των φυτικών ελαίων θα μπορούσε να μειώσει τα ιξώδη του και ως εκ τούτου να βελτιώσει τον ψεκασμό του φυτικού ελαίου που οδηγεί σε βελτίωση της απόδοσης της μηχανής. Καθώς η μηχανή απαιτεί συχνή συντήρηση, βρίσκει καλύτερη εφαρμογή ιδιαίτερος σε εφαρμογές των στατικών μηχανών, όπως για την παραγωγή ενέργειας και σε μοτέρ άντλησης υδάτων παρά σε εφαρμογές μηχανών αυτοκίνησης.

1.5 Τα πλεονεκτήματα των φυτικών ελαίων

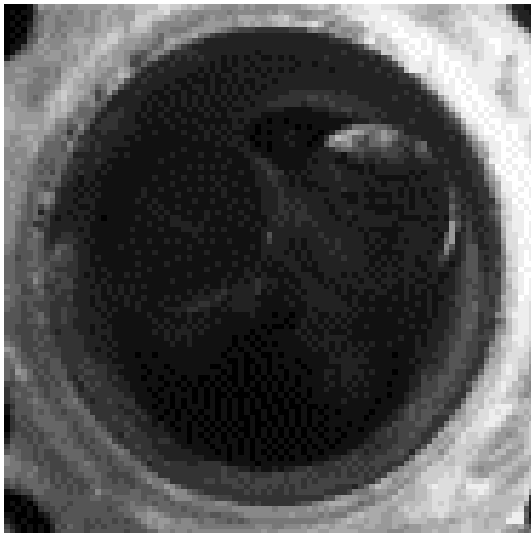
1. Τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατο καύσιμο σε μηχανές ντίζελ.
2. Η χρήση φυτικών ελαίων ως καύσιμο μειώνει την εισαγωγή του δαπανηρού πετρελαίου και βελτιώνει την οικονομία των αγροτικών χωρών.
3. Τα φυτικά έλαια είναι βιοδιασπώμενα και μη- τοξικά.
4. Τα φυτικά έλαια είναι χαμηλά σε αρωματικές ενώσεις και ενώσεις θείου και ως εκ τούτου μειώνουν την εκπομπή σωματιδίων.
5. Διαθέτουν έναν λογικό αριθμό κετονών και ως εκ τούτου κατέχουν μικρότερη τάση να δημιουργούν χτύπημα στην μηχανή.
6. Τα φυτικά έλαια είναι καύσιμα φιλικά προς το περιβάλλον.
7. Διαθέτουν ενισχυμένη λιπαντική ικανότητα, και για αυτό δεν απαιτείται καμία σημαντική μετατροπή στην μηχανή.
8. Η χρήση φυτικών ελαίων βελτιώνει την προσωπική ασφάλεια επίσης (σημείο ανάφλεξης των φυτικών ελαίων είναι πάνω από 100°C).
9. Αυτά είναι χρήσιμα μέσα στην υπάρχουσα πετρελαϊκή βιομηχανία με μικρές ή καθόλου τροποποιήσεις στις μηχανές.

1.6 Προκλήσεις για τα φυτικά έλαια

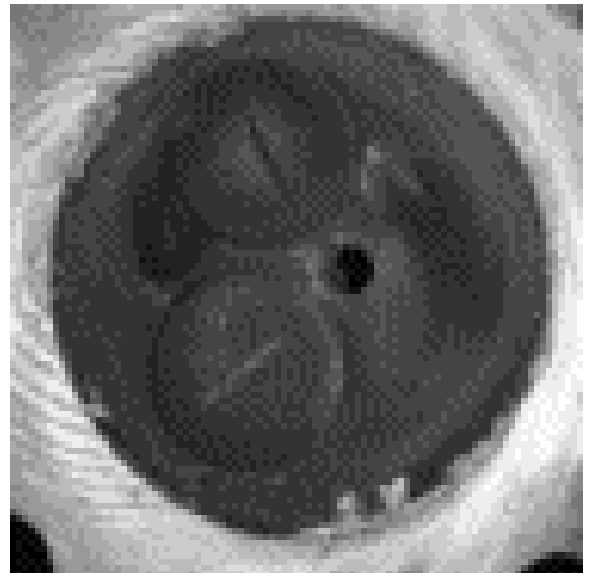
Οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζονται από τα φυτικά έλαια για χρήση ως καύσιμη ύλη παρατίθενται κατωτέρω (Peterson, 1999):

1. Η τομή των φυτικών ελαίων εξαρτάται από την τιμή του σπόρου και βασίζεται στους νόμους της αγοράς. Επιπλέον η ομοιογένεια του υλικού των ζωοτροφών, η συνέπεια και η αξιοπιστία είναι αμφισβητήσιμες.
2. Η παραγωγή φυτικών ελαίων από όπου προέρχονται τα βιοκαύσιμα είναι σε ένα βέλτιστο κόστος.
3. Απαιτούνται μελέτες για την μείωση του κόστους παραγωγής και η αναγνώριση των πιθανών αγορών για να ισορροπήσει το κόστος και η διαθεσιμότητα.

4. Επίσης μελέτες χρειάζονται για την σταθερότητα της οξείδωσης και την μακρά αποθήκευση των φυτικών ελαίων.
5. Επιπλέον χρήζει περαιτέρω μελέτης το ζήτημα της εγγύησης του κατασκευαστή και της συμβατότητας του υλικού με τις μηχανές εσωτερικής καύσεως.
6. Θα πρέπει επίσης να γίνει δοκιμή επί της διάρκειας και των εκπομπών με ευρεία ποικιλία ζωοτροφών ως πρώτη ύλη.
7. Τα περιβαλλοντικά οφέλη που προσφέρονται από τα φυτικά έλαια έναντι των καυσίμων ντίζελ χρειάζεται να διαδοθούν ευρύτερα.
8. Θα πρέπει να σημειωθεί ανάπτυξη για την δημιουργία διαφόρων πρόσθετων υλικών που θα βελτιώνουν τις ιδιότητες των ψυχρών ρευμάτων (cold flows), την συμβατότητα των υλικών, και την αποτροπή της οξείδωσης κατά την αποθήκευση κτλ.
9. Απαιτείται συνεχή και μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα των φυτικών ελαίων.

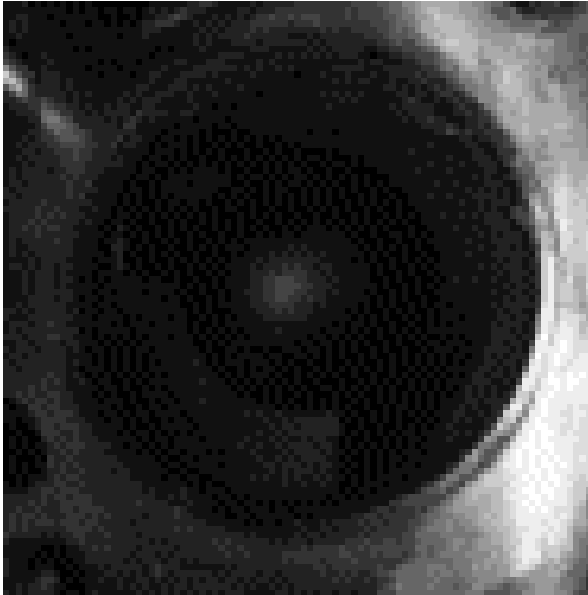


Εικόνα 1.6 : Κυλινδροκεφαλή μηχανής που τροφοδοτείται με ντίζελ

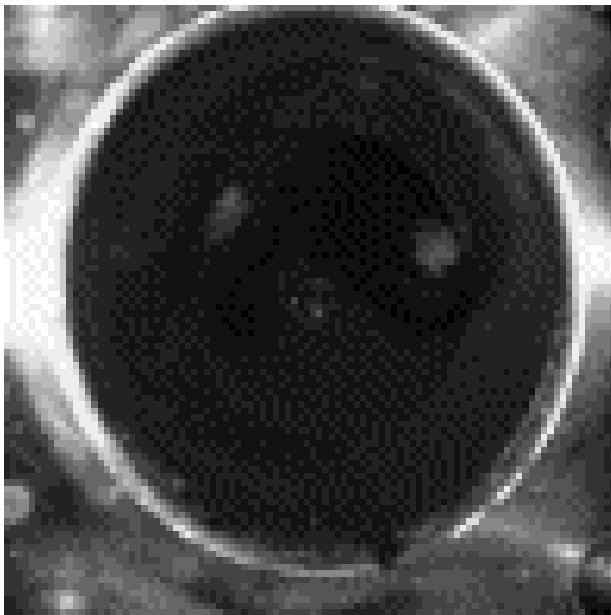


Εικόνα 1.7 Κυλινδροκεφαλή μηχανής που τροφοδοτείται με το μείγμα

(φυτικά έλαια – ντίζελ)



Εικόνα 1.8 : Άνω μέρος πιστονίου μηχανής που τροφοδοτείται με ντίζελ



Εικόνα 1.9 : Άνω μέρος πιστονίου μηχανής που τροφοδοτείται με φυτικά έλαια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

2.1 Εισαγωγή

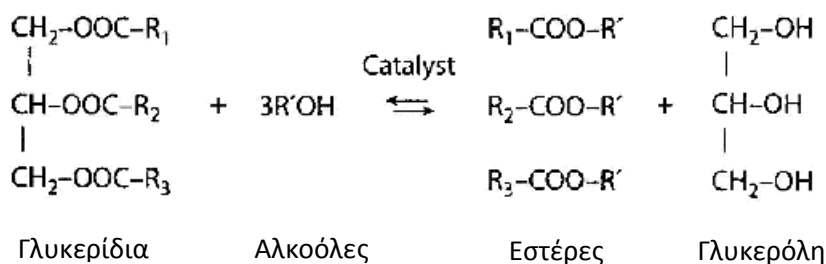
Η κατανάλωση πετρελαϊκών προϊόντων αυξάνεται μέρα με την ημέρα καθώς ο αριθμός των οχημάτων αυξάνει. Η ανάφλεξη των υδρογονανθράκων των καυσίμων αυξάνει επίσης και την περιβαλλοντική συγκέντρωση. Υπάρχει ανάγκη επίλυσης αυτού του διπλού προβλήματος- η προσφορά καυσίμων από την μία πλευρά και η περιβαλλοντική μόλυνση από την άλλη. Τα μη-ανανεώσιμα καύσιμα εκπέμπουν περισσότερους υδρογονάνθρακες, οξειδία του αζώτου, θείο, μονοξείδιο του άνθρακα, εν συγκρίσει με τα ανανεώσιμα βιοκαύσιμα. Ποικιλία εναλλακτικών καυσίμων θεωρούνται ως υποκατάστατα καύσιμα για τα πετρελαϊκά προϊόντα και γίνονται προσπάθειες για την ανάλυση της καταλληλότητας των καυσίμων και της παρουσίας τους. Τα ανανεώσιμα καύσιμα έχουν λάβει περισσότερη προσοχή καθώς μειώνουν την περιβαλλοντική μόλυνση (συμπληρώνοντας τον κύκλο του άνθρακα) και μειώνουν παράλληλα και τις εισαγωγές σε πετρέλαιο. Ως εκ τούτου οι ερευνητές και η επιστημονική κοινότητα παγκοσμίως έχει εστιάσει το ενδιαφέρον της στην ανάπτυξη των βιοκαυσίμων και στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών για να μπορούν να ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές που απαιτούνται προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπορικά.

Σημαντική έρευνα διεξάγεται παγκοσμίως πάνω στην παραγωγή και εφαρμογή ενέργειας από βιομάζα για εξυπηρέτηση αναγκών σε καύσιμα. Αλκοόλες, φυτικά έλαια, και τα παράγωγά τους αποτελούν τις υποσχόμενες πηγές βιομάζας για χρήση από μηχανές. Η χρήση των βιοκαυσίμων, και ιδιαίτερος του βιοντίζελ που παράγεται από φυτικά έλαια, αποκτά περισσότερη σημασία την παρούσα περίοδο καθώς δεν απαιτεί καμία τροποποίηση στον μηχανολογικό εξοπλισμό, χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση της μηχανής, χωρίς καθόλου εκπομπές θείου, και με μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου. Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη, και υλικά από άλγη. Ο Δρ. Rudolf Diesel, εφευρέτης της μηχανής ντίζελ δημιούργησε ένα ενδιαφέρον ανάμεσα στο κοινό για την χρήση φυτικού ελαίου σαν καύσιμο μηχανής ντίζελ εξαιτίας της άφθονης διαθεσιμότητάς του. Ωστόσο, κατά την διάρκεια των περιόδων της ενεργειακών κρίσεων (δεκαετία του 1970), τα φυτικά έλαια και οι αλκοόλες χρησιμοποιούνταν ευρέως σαν καύσιμο μηχανής. Εξαιτίας των συνεχιζόμενα αυξανόμενων τιμών του αργού πετρελαίου και της περιβαλλοντικής ανησυχίας, υπάρχει μία ανακίνηση του ενδιαφέροντος πάνω στα φυτικά έλαια και τα παράγωγά του για χρήση ως καύσιμα μηχανών.

2.1.1 Αλκαλική μετεστεροποίηση

Η διαδικασία μετεστεροποίησης με την χρήση καταλυτών αλκαλίων είναι η εμπορικά καλά αναπτυγμένη διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ. Οι Καταλύτες αλκαλίων (NaOH, KOH) χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του ρυθμού αντίδρασης και για την αύξηση της απόδοσης της διαδικασίας. Για να συμπληρωθεί στοιχειομετρικά η μετεστεροποίηση, 3:1 αναλογία μορίων αλκοόλης προς τριγλυκερίδια απαιτούνται. Στην πράξη, η αναλογία απαιτείται

να είναι υψηλότερη για να οδηγήσει την ισορροπία σε μία μέγιστη απόδοση εστέρων. Μιας και η αντίδραση μετεστεροποίησης είναι μια αναστρέψιμη διαδικασία, επιπλέον αλκοόλ απαιτείται για να οδηγήσει την ισορροπία αντίδρασης στην μεριά των προϊόντων. Αλκοόλες όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη ή η βουτανόλη χρησιμοποιούνται στην μετεστεροποίηση. Η κάτωθι εικόνα απεικονίζει την εξίσωση μετεστεροποίησης των φυτικών ελαίων με αλκοόλες.



Εικόνα 2.1 : Εξίσωση μετεστεροποίησης

2.1.2 Σύγκριση των μεθόδων παραγωγής βιοντίζελ

Το βιοντίζελ που παράγεται από διάφορες μεθόδους εξαρτάται από την ποιότητα των πρώτων υλών και την σύνθεση σε λιπαρά οξέα. Έχει αναφερθεί ότι 459 φυτά που παράγουν βιοντίζελ σε όλο τον κόσμο έχουν την δυνατότητα να παράγουν 76.793 δισεκατομμύρια λίτρα. Η κάθε διαδικασία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες. Είναι σημαντικό να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο που βασίζεται στις ανάγκες μας και στις πρώτες ύλες που διαθέτουμε. Ο πίνακας 2.1 δείχνει μία σύγκριση των διαφόρων μεθόδων παραγωγής βιοντίζελ.

Πίνακας 2.1 : Σύγκριση μεθόδων παραγωγής βιοντίζελ

Μεταβλητή	Αλκάλια	Οξέα	Δύο- Σταδίων	Υπερηχητική	Λιπάση	Υπέρ κρίσιμο
Θερμοκρασία αντίδρασης (°C)	40- 70	55- 80	40- 70	30- 40	30- 403	240- 385
Απόδοση	Κανονική	Κανονική	Καλή	Υψηλότερη	Υψηλή	Καλή
Αφαίρεση γλυκερόλης	Δύσκολη	Δύσκολη	Δύσκολη	Δύσκολη	Εύκολη	-
Καθαρισμός των εστέρων	Πλύσιμο	Πλύσιμο	Πλύσιμο	Πλύσιμο	-	-
Κόστος παραγωγής	Φτηνό	Φτηνό	Φτηνό	Φτηνό	Ακριβή	Μέτρια

2.2 Εξοπλισμός διαδικασίας παραγωγής βιοντίζελ

Οι βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στα εργοστάσια παραγωγής βιοντίζελ, είναι ο αντιδραστήρας βιοντίζελ, οι αντλίες, οι δεξαμενές βύθισης, οι στήλες απόσταξης, και οι δεξαμενές αποθήκευσης. Η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: η μέθοδος της δέσμευσης και η συνεχής μέθοδος. Στην διαδικασία παραγωγής δέσμευσης (batch), οι

μετρημένες ποσότητες των αντιδραστήρων φορτίζονται - γεμίζουν και λαμβάνει χώρα η αντίδραση σε προσδιορισμένες συνθήκες. Για την διαδικασία μετεστεροποίησης βασικών καταλυτών, χρησιμοποιείται ανοξειδωτο ασάλι για την κατασκευή του αντιδραστήρα.

Στην συνεχόμενη διαδικασία, οι αντιστάτες τροφοδοτούνται στην μία πλευρά του αντιδραστήρα. Η χημική σύσταση αλλάζει καθώς οι αντιστάτες μετακινείται στο πώμα ροής διαμέσου του αντιδραστήρα. Οι αντλίες οδοντωτών τροχών χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των αντιστατών και των προϊόντων από το ένα μέρος στο άλλο. Ο διαχωρισμός του βιοντίζελ και της γλυκερόλης επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίησης μιας δεξαμενής βύθισης. Αν και η βύθιση / καθίζηση είναι φθηνότερη, η φυγοκέντριση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει τον ρυθμό διαχωρισμού σε σχέση με μια δεξαμενή βύθισης. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται με το να εκθέσουμε το μείγμα σε μία φυγόκεντρο δύναμη. Η φάση πύκνωσης χωρίζεται στην εξωτερική επιφάνεια όταν υποβάλλεται σε φυγόκεντρο δύναμη. Η στήλη απόσταξης διαχωρίζει τα υγρά με παρόμοια σημεία βρασμού.

2.3 Ιδιότητες καυσίμων βιοντίζελ

Η ποιότητα των καυσίμων βιοντίζελ εξαρτάται από την σύνθεση των πρώτων υλών, την διαδικασία παραγωγής, της αποθήκευσης και του χειρισμού. Η ποιότητα του βιοντίζελ αξιολογείται μέσω του καθορισμού της χημικής σύνθεσης και των φυσικών ιδιοτήτων του καυσίμου. Οι μολυντές και άλλα συστατικά σε μικρότερες ποσότητες, εξαιτίας των ατελών αντιδράσεων, αποτελούν τα κύρια ζητήματα της ποιότητας των βιοντίζελ καυσίμων. (π.χ. γλυκερόλες, μονο, δι, τριγλυκερίδια, αλκοόλες, καταλύτες και ελεύθερα λιπαρά οξέα FFA είναι παρόντα στα βιοντίζελ καύσιμα). Επιπλέον, η σύνθεση των βιοντίζελ καυσίμων μπορεί να αλλάξει κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και του χειρισμού. Το βιοντίζελ μπορεί να απορροφήσει νερό ή να υφίσταται οξείδωση κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Για αυτό η σημασία αυτών των παραμέτρων και οι μέθοδοι αναλυτικών και μηχανολογικών δοκιμασιών αναφέρονται στα πρότυπα. Κάθε χώρα διαθέτει τις δικές της μεθόδους ελέγχου ποιότητας και προτύπων για να συγκεκριμενοποιήσει τις ιδιότητες του καυσίμου. Στην παρούσα εργασία οι μέθοδοι και τα όρια περιγράφονται όσον αφορά τα πρότυπα ASTM/EN/IS.

2.3.1 Σημείο ανάφλεξης

Το σημείο ανάφλεξης ορίζεται ως η χαμηλότερη θερμοκρασία διορθωμένη προς μία βαρομετρική πίεση των 101.3 kPa (760 mm Hg), στην οποία η εφαρμογή μιας πηγής ανάφλεξης προκαλεί την ανάφλεξη των ατμών του δείγματος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ενός δείγματος. Το σημείο ανάφλεξης του καυσίμου αξιολογείται με την μέθοδο δοκιμασίας ASTM D93.

Το σημείο ανάφλεξης του βιοντίζελ είναι υψηλότερο από εκείνο του ντίζελ (>130°C), καθιστώντας το βιοντίζελ ασφαλέστερο από το ντίζελ όσον αφορά τον χειρισμό του, και την αποθήκευσή του. Ένα ελάχιστο σημείο ανάφλεξης για τα βιοντίζελ καθορίζεται με τον περιορισμό του περιεχομένου του σε αλκοόλες. Το σημείο ανάφλεξης του βιοντίζελ θα μειωθεί δραστικά εάν η αλκοόλη που χρησιμοποιείται στην παραγωγή βιοντίζελ δεν έχει αφαιρεθεί εντελώς. Επιπλέον, μειώνει την ποιότητα ανάφλεξης του καυσίμου.

Πλεονάζουσα μεθανόλη στο καύσιμο μπορεί να επηρεάσει τα κλείστρα της μηχανής και τα ελαστόμετρα και να διαβρώσει τα μεταλλικά εξαρτήματα.

2.3.2 Καθαλάτωση λέβητα

Το νερό και το ίζημα είναι δοκιμασίες που καθορίζουν τον όγκο του νερού και των ιζημάτων στο μέσο των αποσταγμένων καυσίμων έχοντας ιξώδη στους 40°C μεταξύ του εύρους 1,0- 4,1 mm²/s και πυκνότητες που κυμαίνονται στο εύρος του 700- 900 kg/m³. Η μέθοδος δοκιμασίας ASTM D 2709 αξιολογεί το περιεχόμενο του νερού στο βιοντίζελ. Εάν είναι παρόν καθόλου νερό στο βιοντίζελ, αυτό μπορεί να αντιδράσει με το βιοντίζελ δημιουργώντας ελεύθερα λιπαρά οξέα και μπορεί να υποστηρίξει την μικροβιακή ανάπτυξη στις αποθηκευτικές δεξαμενές.

Το περιεχόμενο σε νερό και ίζημα δεν άλλαξε στις περισσότερες των περιπτώσεων με αυξημένο περιεχόμενο τριγλυκεριδίων, ενώ το βιοντίζελ γενικά θεωρείται αδιάλυτο στο νερό, στην πραγματικότητα συγκρατεί πολύ περισσότερο νερό από το καύσιμο ντίζελ. Ωστόσο, το νερό προστίθεται εσκεμμένα κατά την διαδικασία πλύσης για να αφαιρέσει τις μολυσμένες ουσίες από το βιοντίζελ. Η διαδικασία πλύσης θα πρέπει να ακολουθηθεί από μια διαδικασία ξηράνσεως για να επιβεβαιώσει ότι το τελικό προϊόν ανταποκρίνεται στα πρότυπα του ASTM D 2709. Τα ιζήματα μπορεί να επικαθίσουν στα φίλτρα καυσίμων και μπορεί να συνεισφέρουν στον σχηματισμό καταλοίπων επί των εγχυτήρων καυσίμου καθώς επίσης και άλλες καταστροφές στην μηχανή. Τα επίπεδα ιζήματος στα βιοντίζελ μπορεί να αυξηθούν με το πέρασμα του χρόνου καθώς το καύσιμο φθείρεται κατά την διάρκεια εκτεταμένης αποθήκευσης.

2.3.3 Κινηματικό ιξώδες

Το κινηματικό ιξώδες είναι η αντίσταση του υγρού να ρέει κάτω από βαρύτητα. Λαμβάνεται για έναν σταθερό όγκο καυσίμου που ρέει υπό την βαρύτητα μέσω ενός τριχοειδή σωλήνα του ροόμετρου που είναι βυθισμένο σε ένα θερμοστατικά ελεγχόμενο λουτρό στους 40°C. Είναι το προϊόν μετρημένης ροής χρόνου και σταθερού διαμετρήματος ιξωδεσίμετρο. Το κινηματικό ιξώδες είναι μια βασική παράμετρος σχεδιασμού για τους εγχυτήρες του καυσίμου που χρησιμοποιούνται σε μηχανές ντίζελ. Το ιξώδες του καυσίμου έχει ασκεί επίδραση στο μέγεθος σταγόνας του καυσίμου και στα χαρακτηριστικά του ψεκασμού. Το ιξώδες είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας. Το ιξώδες των βιοντίζελ αυξάνει σε σχέση με το μέγεθος της αλυσίδας και τον βαθμό κορεσμού.

Οι προδιαγραφές του βιοντίζελ διασφαλίζουν ότι σε ένα άνω όριο του ιξώδους, το καύσιμο θα ρέει εύκολα κατά την διάρκεια της κρύας εκκίνησης. Το υψηλότερο ιξώδες των καυσίμων οδηγεί σε φτωχό ψεκασμό, ατελή καύση, και αυξάνει τα κατάλοιπα του άνθρακα. Επιπλέον, το υψηλότερο ιξώδες του καυσίμου απαιτεί επίσης μεγαλύτερη δύναμη άντλησης. Καύσιμα με χαμηλότερο ιξώδες διαρρέουν περνώντας από το έμβολο στο διάκενο, ανάμεσα στο έμβολο και τον κύλινδρο κατά την διάρκεια συμπίεσεως του καυσίμου.

2.3.4 Πυκνότητα

Πυκνότητα είναι η μάζα που καταλαμβάνει μια ουσία κατά μονάδα όγκου σε θερμοκρασίας 15°C. Η πυκνότητα του καυσίμου αξιολογείται με την μέθοδο ASTM D4052. Υδρόμετρα χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την πυκνότητα των καυσίμων. Το βιοντίζελ είναι ελαφρώς πιο πυκνό από το συμβατικό ντίζελ. Οι εγχυτήρες των μηχανών ντίζελ λειτουργούν με ένα μετρικό σύστημα κατ' όγκο. Εάν το καύσιμο είναι υψηλότερης πυκνότητας, μια μεγάλη μάζα καυσίμου εγχέεται και έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ισχύ και εκπομπές σε ρύπους.

2.3.5 Αριθμός κετονών

Ο αριθμός κετονών του καυσίμου είναι ένα μέτρο της απόδοσης της ανάφλεξης του καυσίμου ντίζελ που παρέχεται με το να το συγκρίνεις με κάποια καύσιμα αναφοράς σε ένα τυποποιημένο τεστ μηχανών, δηλαδή πρόκειται για μία συνεργατική έρευνα των κετονών του καυσίμου (CFR, cooperative fuel research), ακολουθώντας την δοκιμαστική μέθοδο ASTM D613. Όσο υψηλότερος είναι ο αριθμός κετονών στο καύσιμο, τόσο καλύτερες ιδιότητες ανάφλεξης του. Ο αριθμός κετονών επηρεάζει τις παραμέτρους της μηχανής όπως την ανάφλεξη, στην σταθερότητα, στην μετάδοση της κίνησης, τον καπνό που εκπέμπεται, τους ρύπους και τον θόρυβο. Ο αριθμός κετονών του βιοντίζελ είναι υψηλότερος από εκείνο του ντίζελ. Επαρκής αριθμός κετονών απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία της μηχανής. Ο υψηλός αριθμός κετονών διασφαλίζει καλές ιδιότητες κατά την κρύα εκκίνηση και ελαχιστοποιεί τον σχηματισμό του λευκού καπνού.

Ο αριθμός κετονών του βιοντίζελ εξαρτάται από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του βιοντίζελ. Ο αριθμός κετονών του βιοντίζελ μειώνεται με μια αύξηση σε ακόρεστα (ελαϊκό και λινελαϊκό) και αυξάνει με μία αύξηση στο μέγεθος της αλυσίδας της ένωσης. Οι εστέρες των κορεσμένων λιπαρών οξέων όπως τα παλμιτικά και στεατικά οξέα έχουν υψηλότερο αριθμό κετονών.

2.3.6 Χαρακτηριστικά απόσταξης

Το βιοντίζελ δεν περιέχει καθόλου συστατικά υψηλής πτητικότητας, ως εκ τούτου εξατμίζεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τα συστατικά του βιοντίζελ έχουν πολύ κοντινό σημείο βρασμού. Το σημείο βρασμού του βιοντίζελ γενικά κυμαίνεται από 330°C- 360°C.

2.3.7 Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου

Σημείο απόφραξης ψυχρού φίλτρου (CFPP, cold filter plugging point), είναι οι θερμοκρασίες στις οποίες ένα καύσιμο θα προκαλέσει ένα φίλτρο καυσίμου να βουλώσει εξαιτίας του ότι τα συστατικά του καυσίμου έχουν αρχίσει να κρυσταλλοποιούνται ή να γίνονται μια πηχτή ουσία. Το CFPP του βιοντίζελ καθορίζεται από την μέθοδο EN 116. Το CFPP αντανάκλα την απόδοση του καυσίμου σε κρύο καιρό. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν θα ρέει σωστά και θα επηρεάζει τις αντλίες καυσίμου και τους εγχυτήρες καυσίμου. Το CFPP είναι ένα λιγότερο συντηρητικό μέτρο από το σημείο

εξάτμισης, και θεωρείται από ορισμένους ότι αποτελεί την αληθινή ένδειξη λειτουργικότητας του καυσίμου ε χαμηλές θερμοκρασίες.

2.3.8 Σημείο ροής και νέφωσης

Το σημείο νέφωσης είναι η θερμοκρασία στην οποία ένα νέφος ή κρύσταλλοι κεριού εμφανιστούν στο κάτω μέρος του δοκιμαστικού βάζου όταν το έλαιο ψύχεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Το σημείο ροής είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία το έλαιο παρατηρείται να ρέει όταν ψύχεται και εξετάζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Το βιοντίζελ έχει γενικά υψηλότερο σημείο νέφωσης και σημείο ροής από το ντίζελ. Σε κορεσμένα λιπαρά οξέα ο άνθρακας είναι βέβαιο ότι θα δημιουργήσει δύο άτομα υδρογόνου με διπλούς δεσμούς. Οι περισσότεροι διπλοί δεσμοί στο βιοντίζελ δείχνουν χαμηλότερο σημείο νέφωσης.

2.3.9 Σταθερότητα

Το βιοντίζελ παλαιώνει πιο γρήγορα από το ντίζελ εξαιτίας της χημικής δομής των μεθυλεστέρων που είναι παρόντες στο βιοντίζελ. Οι κορεσμένοι μεθυλεστέρες στο βιοντίζελ αυξάνουν το σημείο νέφωσης και των αριθμό κετονών και βελτιώνουν την σταθερότητά του. Τα μη κορεσμένα λιπαρά οξέα από την άλλη, μειώνουν το σημείο νέφωσης και των αριθμό κετονών και μειώνουν την σταθερότητα.

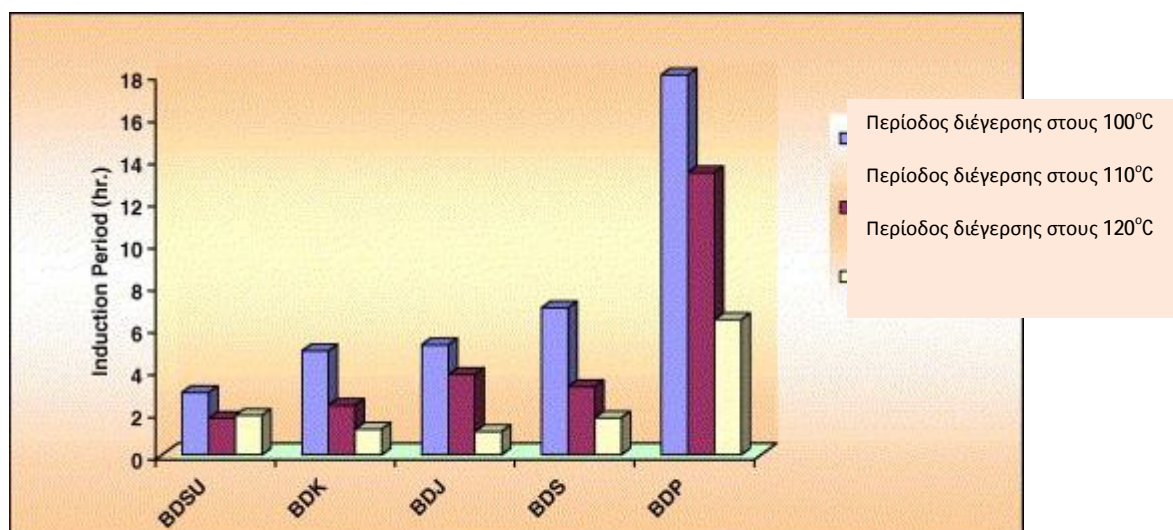
Η σταθερότητα της οξειδωσης του βιοντίζελ αξιολογείται με την δοκιμαστική μέθοδο EN 14214. Η συσκευή Rancimat χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της σταθερότητας της οξειδωσης του βιοντίζελ. Οι μεθυλεστέρες θερμαίνονται κάτω από σταθερό ρεύμα αέρα στους 110°C με ρυθμό 101/h. Οι ατμοί που απελευθερώνονται κατά την διαδικασία της οξειδωσης, μαζί με τον αέρα, περνούν στο δοχείο που περιέχει 60ml νερό και ένα ηλεκτρόδιο. Όταν η αγωγιμότητα αρχίζει να αυξάνεται γρήγορα, αυτό δεικνύει μία περίοδο διέγερσης. Αυτή η επιταχυμένη αύξηση προκαλείται από την αποσύνδεση των πτητικών καρβοξυλικών οξέων που παράγονται κατά την διαδικασία της οξειδωσης και απορροφώνται από το νερό. Η περίοδος διέγερσης Rancimat διαρκεί 6 ώρες και ορίζεται για τα δείγματα βιοντίζελ σύμφωνα με τις προδιαγραφές των καυσίμων βιοντίζελ.

Τα περισσότερα είδη βιοντίζελ δεν ανταποκρίνονται στις προδιαγραφές, εκτός αν προστεθούν τα κατάλληλα αντιοξειδωτικά στον κατάλληλο ρυθμό επεξεργασίας. Η σταθερότητα του βιοντίζελ επηρεάζεται από παράγοντες όπως ο ατμοσφαιρικός αέρας, η ζέστη, τα ίχνη μετάλλων, τα υπεροξειδία, το φως και τον αριθμό των διπλών δεσμών. Η σταθερότητα οξειδωσης του βιοντίζελ θα μειωθεί, με την αύξηση των πολυακόρεστων μεθυλεστέρων. Η σταθερότητα της οξειδωσης του βιοντίζελ εξαρτάται από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του. Φυτικά έλαια όπως το ηλιέλαιο και η σόγια (πλούσια σε λινελαϊκό και λινελαϊκά οξέα) έχουν φτωχή οξειδωτική σταθερότητα.

Ο αριθμός ιωδίου (ASTM D11520 ή EN 14111 δοκιμαστική μέθοδος) δεικνύει την τάση του καυσίμου να είναι μη σταθερό. Ο αριθμός ιωδίου αναφέρεται στην ποσότητα που απαιτείται για να μετατρέψεις μη κορεσμένα έλαια σε κορεσμένα έλαια. Δεν αναφέρεται στην ποσότητα ιωδίου στο έλαιο,

αλλά στην παρουσία μη κορεσμένων λιπαρών οξέων στο καύσιμο. Δεικνύει την τάση του καυσίμου να είναι ασταθές. Τα μη κορεσμένα λιπαρά οξέα είναι επιρρεπή στην οξείδωση.

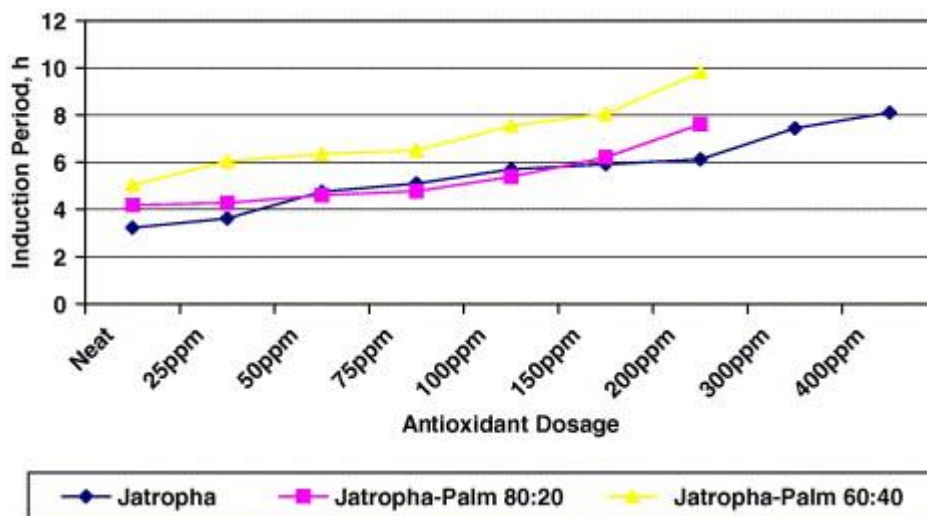
Το C_{18:3} είναι τρεις φορές πιο ασταθές από C_{18:0}. Η φτωχή σταθερότητα της οξείδωσης μπορεί να προκαλέσει πύκνωση του καυσίμου, σχηματισμό γόμας, απόφραξη του φίλτρου και συγκέντρωση ακαθαρσιών στον εγχυτήρα. Επιπλέον, ο μεγάλος αριθμός ιωδίων στο βιοντίζελ αυξάνει τον κίνδυνο πολυμερισμού στο καύσιμο της μηχανής. Η ξαφνική αύξηση του ιξώδους του ελαίου αποδίδεται στην οξείδωση και τον πολυμερισμό των ακόρεστων καυσίμων που εισέρχονται στο έλαιο κατά την διάρκεια της διύλισης. Επιπλέον, καύσιμα που έχουν υψηλό αριθμό ιωδίων τείνουν να πολυμερίζονται και να σχηματίζουν κατάλοιπα στα ακροφύσια των εγχυτήρων, ελατήριο του εμβόλου και στις εγκοπές του εμβόλου. Όσο υψηλότερη η θερμοκρασία του καυσίμου, τόσο μειώνεται. Οι διάφορες παραλλαγές της περιόδου διέγερσης του καυσίμου όσον αφορά την θερμοκρασία του καυσίμου παρουσιάζεται στην εικόνα 2.2 κάτωθι.



- BDSU (Sunflower Biodiesel), BDK (Karanjia Biodiesel), BDJ (Jatropha Biodiesel), BDS (Soybean Biodiesel), BDP (Palm Biodiesel)

Εικόνα 2.2 : Παραλλαγή στην περίοδο διέγερσης των καυσίμων σε σχέση με την θερμοκρασία του καυσίμου

Η σταθερότητα οξείδωσης του φοινικέλαιου είναι καλή εξαιτίας της παρουσίας μιας υψηλότερης συγκέντρωσης κορεσμένων λιπαρών οξέων (43,4 κορεσμένα και 56,6 μη κορεσμένα, ενώ το έλαιο jatropha έχει περισσότερα μη κορεσμένα (21,1 κορεσμένα και 78,9 μη κορεσμένα). Η εικόνα 2.3 παρουσιάζει την περίοδο διέγερσης καθαρού βιοκαυσίμου jatropha, και μειγμάτων jatropha με φοινικέλαιο. Έχει αναφερθεί ότι η περίοδος διέγερσης του καθαρού βιοντίζελ είναι σημαντικά χαμηλή, και ως εκ τούτου απαιτείται η παρουσία αντιοξειδωτικών για την βελτίωση της σταθερότητας της οξείδωσης.



Εικόνα 2.3 : Η επίδραση της αντιοξειδωτικής δοσολογίας στο καύσιμο κατά την περίοδο διέγερσης

2.3.10 Ελεύθερη και συνολική γλυκερόλη

Ο βαθμός ολοκλήρωσης της διαδικασίας εστεροποίησης υποδεικνύεται από την ποσότητα των ελεύθερων και συνολικών γλυκερών στο βιοκαύσιμο. Αυτές αξιολογούνται με τις δοκιμαστικές μεθόδους ASTM D6584 και EN 14105.

Οι ελεύθερες γλυκερόλες είναι τα γλυκερίδια που απομένουν στο βιοκαύσιμο καθώς τα αιρούμενα σταγονίδια διαλύονται. Οι ελεύθερες γλυκερόλες προκύπτουν από τον ατελή διαχωρισμό των προϊόντων του εστέρα και της γλυκερόλης μετά την διαδικασία μετεστεροποίησης. Οι γλυκερόλες θα έπρεπε να αφαιρεθούν κατά την διάρκεια της διαδικασίας πλύσεως. Το βιοκαύσιμο που έχει υποστεί πλύση με νερό (water washed) είναι πολύ χαμηλό σε ελεύθερες γλυκερόλες, και ειδικότερα αν χρησιμοποιείται καυτό νερό κατά την διαδικασία της πλύσεως. Αυτό μπορεί να συμβαίνει εξαιτίας της ατελούς μετατροπής, ή καθαρισμού/ πλύσεως που δεν μπόρεσε να διαχωρίσει την γλυκερόλη από το βιοκαύσιμο. Οι ελεύθερες γλυκερόλες μπορεί να αποτελέσουν πηγή δημιουργίας καταλοίπων άνθρακα σε μηχανές, εξαιτίας της ατελούς ανάφλεξης. Τα γλυκερίδια έχουν πολύ υψηλότερο σημείο ανάφλεξης από ότι το βιοντίζελ ή τα συμβατικά καύσιμα ντίζελ και μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία καταλοίπων άνθρακα στην μηχανή και σε προβλήματα αντοχής. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερες γλυκερόλες προκαλεί προβλήματα στο σύστημα αποθήκευσης και στο σύστημα καυσίμου εξαιτίας του διαχωρισμού της γλυκερόλης.

Η συνολική γλυκερόλη είναι συνδεδεμένη γλυκερόλη (αναλογία γλυκερόλης μονό-, δι-, τρι- γλυκερίδια) που προστίθενται σε ελεύθερες γλυκερόλες. Η συνολικές γλυκερόλες έχουν υψηλότερο σημείο βρασμού και προκαλούν την δημιουργία καταλοίπων στον θάλαμο καύσεως της μηχανής και προβλήματα εν σχέση με την ανθεκτικότητά της.

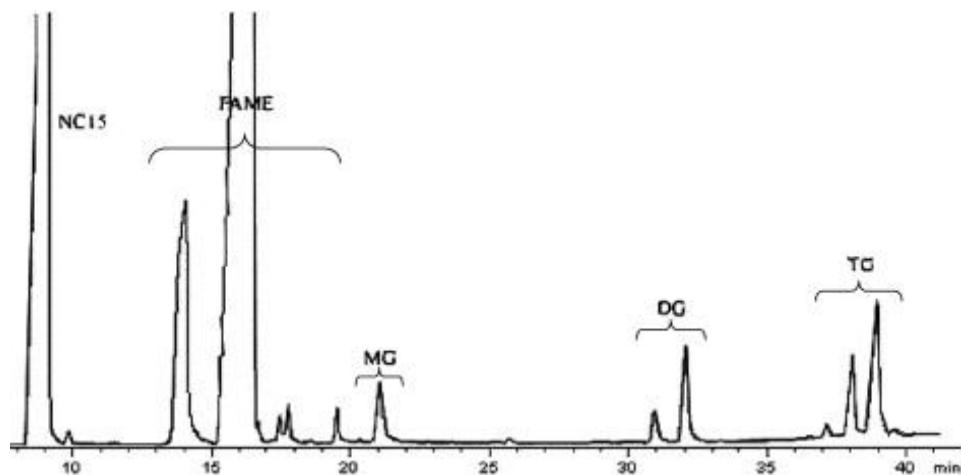
2.3.11 Περιεκτικότητα σε εστέρες

Η ποσότητα των εστέρων στο βιοντίζελ καθορίζεται από την δοκιμαστική μέθοδο EN 14104. Το βιοκαύσιμο περιέχει μεθυλεστέρες περιεκτικότητας από C₁₄-C₂₄. Αυτό μετριέται με την συσκευή χρωματογραφίας αερίων. Από το περιεχόμενο σε εστέρα, μπορεί να επιβεβαιωθεί, το εάν η μετεστεροποίηση είναι ολοκληρωμένη ή όχι, και το εάν είναι κατάλληλο για χρήση σε μηχανή εσωτερικής καύσεως.

Ο Hu και οι συνεργάτες του (2005) ανέφεραν ότι, γενικότερα, αδιύλιστο βιοντίζελ περιέχει λιγότερο από 97% ποσοστό σε εστέρες και μικρές ποσότητες από μονό-, δι-, τρι-, γλυκερίδια, ενώ μεθυλεστέρες εντοπίζονται μόνο σε επεξεργασμένο βιοκαύσιμο. Για να αναλύσουμε την καθαρότητα των βιοντίζελ, μετρήθηκε η ποσότητά τους σε οξέα. Η εικόνα 2.4, κάτωθι, παρουσιάζει το χρωματογράφημα του βιοντίζελ και ο πίνακας 2.2 περιγράφει την ποσότητα των Λιπαρών Οξέων των Μεθυλεστέρων (Fatty Acids Methyl Esters, FAME) και των γλυκεριδίων στο βιοντίζελ.

2.3.12 Θειάφι

Το θειάφι στο βιοντίζελ μετριέται με ογκομετρική ανάλυση με την δοκιμαστική μέθοδο ASTM D5453. Υψηλότερη ποσότητα σε θειάφι στο βιοντίζελ αυξάνει την φθορά ανάμεσα στα ελατήρια του εμβόλου και τα χιτώνια των κυλίνδρων, αυξάνει τα κατάλοιπα στους θαλάμους καύσεως, αυξάνει την εκπομπή σωματιδίων, και μειώνει την απόδοση των μετεπεξεργασμένων συσκευών. Τα πρότυπα για τις εκπομπές συνηγορούν στην μείωση των περιεχομένων σε θείο καυσίμου για να μειωθούν οι εκπομπές καυσαερίων.



Εικόνα 2.4 : Ο χρωματογράφος για το βιοντίζελ

2.3.13 Κατάλοιπα άνθρακα

Τα κατάλοιπα άνθρακα κατά Conradson (Conradson Carbon Residue, CCR), είναι το μέτρο της τάσης ενός καυσίμου να παράγει κατάλοιπα στα ακροφύσια των εγχυτήρων και του θαλάμου ανάφλεξης, αυτό μετριέται με την

δοκιμαστική μέθοδο ASTM D4530. Το τεστ εκτελείται με το να θερμάνουμε μια συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου σε θερμοκρασία 500°C κάτω από ατμοσφαιρικό άζωτο για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Σε αυτές τις συνθήκες οποιεσδήποτε πτητικές ουσίες που σχηματίζονται εκκαθαρίζονται από το άζωτο και τα κατάλοιπα που επικάθονται και ονομάζονται κατάλοιπα άνθρακα. Το ανώτερο όριο για τα κατάλοιπα άνθρακα στο βιοντίζελ είναι 0,05% κατά μάζα. Η κοινή πηγή καταλοίπων άνθρακα στο βιοντίζελ οφείλεται στο υπερβολικό επίπεδο των συνολικών γλυκερινών. Αυτό δίνει μια ένδειξη της ποσότητας γλυκεριδίων, ελεύθερων λιπαρών οξέων (Free Fat Acids, FFA), σαπουνιού, τριτοβάθμια ακόρεστα λιπαρά οξέα (higher unsaturated fatty acids), ανόργανες προσμείξεις, προσθετικά και υπολείμματα καταλύτη μέσα στο δείγμα.

Πίνακας 2.2 : Σύνθεση και τιμές οξέων βιοντίζελ

Βιοντίζελ	Βιοντίζε ληλιέλαι ου	Βιοντίζελ καλαμποκι ού	Βιοντίζ ελ canola	Βιοντίζ ελ σόγιας	Εξευγενισμέ νο βιοντίζελ ηλιέλαιου	Εξευγενισμέ νο βιοντίζελ canola	Εξευγενισμέ νο βιοντίζελ σόγιας
Μεθυλεστέρες (w/w%)	96,46	94,88	96,16	96,70	98,48	98	-
Μονογλυκερίδια (w/w%)	0,34	0,27	0,35	0,49	ND	ND	-
Διγλυκερίδια (w/w%)	0,44	1,64	0,78	ND	ND	ND	
Τιμές οξέων (mgKOH/g)	0,14	0,21	0,20	0,18	-	0,30	0,38

2.3.14 Διάβρωση ταινίας χαλκού

Η Διάβρωση Ταινίας Χαλκού του βιοντίζελ αξιολογείται με την δοκιμαστική μέθοδο ASTM D130. Οι γραμμές καυσίμου ενός συστήματος εγχυτήρων μπορεί να είναι κατασκευασμένα από χαλκό. Το βιοντίζελ ενδεχομένως μπορεί να περιέχει αλκοόλες και οξέα τα οποία δεν καλά καθαρισμένα. Ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να αξιολογήσουμε την διαβρωτικότητα του καυσίμου. Μια γυαλισμένη ταινία χαλκού βυθίζεται σε δείγμα βιοντίζελ και θερμαίνεται για συγκεκριμένη διάρκεια χρόνου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η ταινία χαλκού αφαιρείται, ξεπλένεται και κατόπιν συγκρίνεται με τα πιστοποιημένα πρότυπα της διαβρωτικής μεθόδου ASTM. Η παρουσία οξέων ή θείου στις ενώσεις που περιέχονται μπορεί να θαμπώσει την ταινία χαλκού και να αποτελεί ένδειξη για πιθανή διάβρωση.

2.3.15 Θειική τέφρα

Η θειική τέφρα είναι το ποσοστό στάχτης κατά μάζα στην μάζα του δείγματος. Η θειική τέφρα στο βιοντίζελ αξιολογείται με την μέθοδο ASTM D 874. Η στάχτη που παραμένει αφού το δείγμα έχει ανθρακοποιηθεί και ακολούθως τα κατάλοιπα έχουν επεξεργαστεί με θειικό οξύ και θερμανθεί στους 775°C, και κατόπιν ψυχθεί και ζυγιστεί. Αυτή η επεξεργασία επιβεβαιώνει την αφαίρεση των καταλυτών (Na, K, κτλ) που χρησιμοποιούνται

στο βιοντίζελ. Τα διαλυτά μεταλλικά σαπούνια, οι καταλύτες, τα λειαντικά στερεά αποτελούν τις κύριες πηγές θειικής τέφρας. Τα διαλυτά μεταλλική σαπούνια ασκούν μικρή επίδραση στην φθορά της μηχανής αλλά συμβάλλουν στο βούλωμα των φίλτρων και στην δημιουργία καταλοίπων στην μηχανή. Τα λειαντικά υλικά και οι καταλύτες συμβάλλουν στην φθορά των εγχυτήρων, της αντλίας καυσίμου, των πιστονιών και των ελατηρίων των εμβόλων και στον σχηματισμό υπολειμμάτων της μηχανής.

2.3.16 Οξύτητα

Ο αριθμός οξύτητας προσδιορίζεται για να εξασφαλιστούν οι σωστές ιδιότητες ωρίμανσης του καυσίμου και αντανakλά την παρουσία ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ. Ο αριθμός οξύτητας αποτελεί μια σημαντική παράμετρο όταν χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες πλούσιες σε ελεύθερα λιπαρά οξέα για να παραχθεί βιοντίζελ. Ο αριθμός οξύτητας σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο σε ελεύθερα λιπαρά οξέα και την σταθερότητα στην οξειδωση.

Ο αριθμός οξύτητας είναι η ποσότητα βάσης (mgKOH) που απαιτείται για την ουδετεροποίηση όλων των όξινων συστατικών που είναι παρόντα σε ένα γραμμάριο δείγματος. Μετριέται με την μέθοδο EN 14104. Ένα δείγμα που διαλύεται σε οργανικό διαλύτη (2,0 gr σε 100 ml) ογκομετρείται με διάλυμα υδροξειδίου του καλίου γνωστής συγκέντρωσης και φαινολοφθαλεΐνη σαν ένδειξη.

Ο αριθμός οξύτητας μπορεί να παράσχει μια ένδειξη του επιπέδου υποβάθμισης του λιπαντικού ενώ το καύσιμο βρίσκεται σε λειτουργία. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας έγχυσης καυσίμου, περισσότερο καύσιμο επιστρέφει από τον εγχυτήρα παρά από το να εγχυθεί στον θάλαμο ανάφλεξης της μηχανής. Η θερμοκρασία της γραμμής επιστροφής του καυσίμου (return line fuel) μπορεί να ξεπεράσει τους 60°C και έτσι μπορεί να επιταχυνθεί την υποβάθμιση του βιοντίζελ. Η υψηλή οξύτητα οδηγεί σε διάβρωση των μηχανικών μερών, στον σχηματισμό καταλοίπων στο σύστημα καυσίμου και επιδρά στην διάρκεια ζωής της αντλίας καυσίμου.

2.3.17 Φωσφόρος

Το επίπεδο φωσφόρου στο βιοντίζελ μετριέται με την δοκιμαστική μέθοδο ASTM D 4951 χρησιμοποιώντας ατομικές εκπομπές πλάσματος φασματομετρίας. Η περιεκτικότητα σε φώσφορο στο καύσιμο εξαρτάται από τις πρώτες ύλες. Με την χρήση του φασματογράφου εκπομπών συγκρίνουμε με τα επίπεδα εκπομπών που έχουμε θέσει ως σημείο αναφοράς. Ο φώσφορος μπορεί να καταστρέψει τους καταλυτικούς μετατροπείς που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ελέγχου εκπομπών και προκαλούν την συγκέντρωση ακαθαρσιών στους εγχυτήρες. Προς το παρόν, για να ανταποκριθούν στις πιο πρόσφατες νόρμες εκπομπών οι κατασκευαστές οχημάτων χρησιμοποιούν καταλυτικούς μετατροπείς και ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να διατηρούν τα επίπεδα φωσφόρου στα καύσιμα σε χαμηλά επίπεδα.

2.3.18 Περιεκτικότητα σε μεθανόλη / αιθανόλη

Η αλκοόλη είναι το κύριο συστατικό κατά την διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ. Γενικότερα, ο επεξεργαστής θα αφαιρέσει την πλεονάζουσα μεθανόλη με την διαδικασία διαχωρισμού υπό κενό. Όσο μεθανόλη περισσεύει μετά από αυτή την διαδικασία θα πρέπει να αφαιρείται δια πλύσεως. Γι' αυτό, τα υπολείμματα επιπέδων αλκοόλης θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλά. Ακόμα και 1% μεθανόλης στο βιοντίζελ μπορεί να χαμηλώσει το σημείο ανάφλεξης από 170°C έως 40°C. Εκεί ακριβώς, που από τις προδιαγραφές περιλαμβάνεται το σημείο ανάφλεξης, τα πρότυπα περιορίζουν την αλκοόλη σε επίπεδο πολύ χαμηλότερο του 1%.

Το περιεχόμενο σε αλκοόλ στο βιοντίζελ ποσοτικοποιείται με την δοκιμαστική μέθοδο EN 14110. Το δείγμα θερμαίνεται στους 80 °C για να επιτραπεί η εκρόφηση της μεθανόλης που περιέχεται κατά την φάση που είναι αέριο. Ένα καθορισμένο μέρος της αέριας αυτής φάσης εγχέεται σε gas chromatography GC (χρωματογράφος αερίων) όπου η μεθανόλη ανιχνεύεται με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας. Η ποσότητα της μεθανόλης καθορίζεται βασιζόμενη στην αιχμή που παρατηρήθηκε σε σύγκριση με τα πρότυπα. Η περιεχόμενη αλκοόλη στο βιοντίζελ επιταχύνει την αλλοίωση των ελαστικών κλείστρων και των παρεμβυσμάτων, καταστρέφει τις αντλίες καυσίμων και τους εγχύτες, και μειώνει το σημείο ανάφλεξης.

2.3.19 Λίπανση

Η υπερβολική φθορά εξαιτίας της χαμηλής λίπανσης μειώνει την διάρκεια ζωής των αντλιών καυσίμου και των εγχυτήρων. Η αστασία του καυσίμου, εξαρτάται από την ακατέργαστη πηγή, από την διαδικασία επεξεργασίας για την μείωση του θείου και τον τύπο των προσθετικών που χρησιμοποιούνται. Η διαδικασία μέτρησης της λίπανσης (BOCLE), και η υψηλής συχνότητας παλινδρομική εξέδρα (HFRR) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αστασίας του καυσίμου.

Η μέθοδος HFRR προτείνει το όριο των 460 μικρομέτρων φθοράς ουλής διαμέτρου για το ντίζελ (wear scar diameter, WSD). Μικρότερη διαμετρική φθορά αποτελεί ένδειξη καλύτερης ιδιότητας αστασίας του καυσίμου. Ακόμα και με 2% βιοντίζελ αναμεμειγμένο με ντίζελ τύπου WSD μειώνεται σε 325 μικρόμετρα φθοράς. Οι πετρελαϊκές εταιρείες μειώνουν το περιεχόμενο σε θειάφι για να ανταποκρίνονται στους κανόνες EURO IV/V, και η απώλεια στα επίπεδα θείου μπορεί να αντισταθμιστεί με την πρόσθεση βιοντίζελ σε ντίζελ. Ακόμα και 2% βιοντίζελ σε ντίζελ είναι αρκετά να ρυθμίσουν όλα τα προβλήματα που σχετίζονται με την αστασία.

Ο Hu και οι συνεργάτες (2005) του διεξήγαγαν μελέτες για να διεξάγουν τις ιδιότητες αστασίας του βιοντίζελ (επεξεργασμένο κα χωρίς επεξεργασία) που είναι αναμεμειγμένο με ντίζελ. Ο ακόλουθος πίνακας (πίνακας 2.3) δείχνει τον τύπο WSD ντίζελ αναμεμειγμένο με 2% w/w βιοντίζελ.

Πίνακας 2.3 : WSD (wear scar diameter) του βιοντίζελ

Βιοντί ζελ	Βιοντί ζελ ηλιέλ αιου	Βιοντίζε λ καλαμπ οκιού	Βιοντί ζελ canola	Βιοντί ζελ σόγια ς	Επεξεργα σμένο ηλιέλαιο	Επεξεργα σμένο καλαμποκ έλαιο	Επεξεργα σμένη canola	Επεξεργα σμένο βιοντίζελ σόγιας
WSD(μm)	429	366	351	375	528	567	543	540

Όταν το μη επεξεργασμένο βιοντίζελ χρησιμοποιήθηκε σαν βελτιωτικό αστασίας, η τιμή WSD του βιοντίζελ μειώθηκε σημαντικά από 735 σε 351- 429 μικρομέτρων, και ήταν χαμηλότερο από το επιτρεπτό όριο των 460 μικρομέτρων που ορίζει η δοκιμαστική μέθοδος EN 590. Όταν χρησιμοποιήθηκαν επεξεργασμένα βιοντίζελ, οι τιμές WSD μειώθηκαν σε 528-567 μικρόμετρα, αλλά συνέχιζαν να βρίσκονται πάνω από το επιτρεπτό όριο των 460 μικρομέτρων. Μπορεί να γίνει εμφανώς αντιληπτό ότι όλα τα μη επεξεργασμένα βιοντίζελ έδειξαν βελτιωμένες ιδιότητες αστασίας σε σχέση με τα επεξεργασμένα βιοντίζελ. Αναμένεται ότι τα MG, DG, και TG είναι οι πιο πιθανές ενώσεις που επηρεάζουν τις ιδιότητες αστασίας αυτών (των βιοκαυσίμων).

2.3.20 Νάτριο και κάλιο

Η παρουσία Na και K καθορίζεται από την δοκιμαστική μέθοδο EN 14108. Δείγμα βιοντίζελ (0,001- 2 g) αραιώνεται με διαλυτικό μέσο και το αφήνουμε να καεί στην φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης. Εντοπίζει Na και K στα 589nm και 766,5 nm μήκος κύματος, αντιστοίχως. Το νάτριο και το κάλιο χρησιμοποιούνται ως καταλύτης βάση στην διαδικασία καταλυτικής μετεστεροποίησης. Αυτοί οι καταλύτες πρέπει να αφαιρεθούν εντελώς κατά την διαδικασία καθαρισμού, αλλιώς μπορεί να προκαλέσουν κατάλοιπα στην μηχανή και υψηλά επίπεδα λειαντικής φθοράς. Τα λειαντικά στερεά μπορεί να συμβάλλουν στην φθορά των εγχυτήρων, της αντλίας καυσίμου, των πιστονιών και του εμβόλου καθώς επίσης και στη δημιουργία καταλοίπων στην μηχανή. Τα διαλυτά μεταλλικά σαπούνια ασκούν μικρή επίδραση στην φθορά, αλλά ίσως συμβάλλουν στο βούλωμα των φίλτρων και την δημιουργία καταλοίπων στην μηχανή. Υψηλά επίπεδα ενώσεων Na και K που εγκαθίστανται στους συλλέκτες σωματιδίων των καυσαερίων μπορεί να δημιουργήσουν αυξημένη αντίθλιψη και να αυξήσουν την συντήρηση.

2.4 Πρότυπα ποιότητας βιοντίζελ

Η επεξεργασία βιοντίζελ και η ποιότητά του σχετίζονται στενά. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τις πρώτες ύλες σε βιοντίζελ καθορίζουν το εάν του προϊόν θα ανταποκρίνεται στην επιθυμητή παραγωγή του βιοντίζελ ή όχι. Η ποιότητα του βιοντίζελ μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες.

- Ποιότητα των πρώτων υλών
- Σύνθεση των λιπαρών οξέων των φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών
- Διαδικασία παραγωγής και συστατικά που χρησιμοποιούνται
- Μετά- παραγωγικές παράμετροι

Εάν το βιοντίζελ επιτύχει τα επιθυμητά όρια, μόνο τότε μπορεί το βιοντίζελ να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές ενώ παράλληλα να διατηρεί την αντοχή και την αξιοπιστία της μηχανής όπως την έχει ορίσει ο κατασκευαστής. Το βιοντίζελ θα πρέπει να ανταποκρίνεται σε κάποια χαρακτηριστικά όταν αναμειγνύεται με ντίζελ ακόμα και σε μικρές ποσότητες. Ο πίνακας 2.4 παρουσιάζει τα πρότυπα του βιοντίζελ όπως χρησιμοποιούνται από διαφορετικές χώρες. Οι πίνακες 2.5 έως 2.7 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του βιοντίζελ σε Αμερική, Ευρώπη και Ινδία αντιστοίχως.

Πίνακας 2.4 : Πρότυπα βιοντίζελ

Χώρα	Πρότυπα
Ευρώπη	EN14214
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	ASTM D 6751
Γερμανία	DIN E 51601
Ινδία	IS 15607
Βραζιλία	ANP 42
Ιαπωνία	JASO M360

Πίνακας 2.5 : Χαρακτηριστικά βιοντίζελ στην Αμερική

Ιδιότητα	Δοκιμαστική μέθοδος	ASTM D6751-07b
Σημείο ανάφλεξης (°C) (κλειστό καψύλλιο), ελάχιστο	D93	130
Νερό και ιζήματα (%ν), μέγιστο	D2709	0.05
Θειική τέφρα (μάζα %), μεγ	D874	0.02
Κινηματικό ιξώδες στους 40°C (cSt)	D445	1.9- 6.0
Ολική περιεκτικότητα (μάζα%) μεγ.	D5453	0.05
Κατάλοιπα άνθρακα (μάζα%) μεγ.	D4530	0.05
Αριθμός κετονών, ελαχ.	D613	47
Αριθμός οξύτητας (mgKOH/g) μεγ.	D664	0.5
Διάβρωση ταινίας χαλκού, μέγιστο	D130	No.3
Ελεύθερες γλυκερίνες (μάζα%)	D6584	0.02
Συνολικές γλυκερίνες (μάζα%)	D6584	0.24
Περιεχόμενο σε φώσφορο (μάζα%) μεγ.	D4951	0.001
Θερμοκρασία απόσταξης (αφαίρεση σε ποσοστό 90% (°C)), μέγιστο	D1160	360
Συνδυασμός ασβεστίου και μαγνησίου, μέγιστο	EN14538	5
Περιεχόμενο σε μεθανόλη % μέγιστο	EN14110	0.2
Σταθερότητα στην οξείδωση, ώρες	EN14112	3

Πίνακας 2.6 : Χαρακτηριστικά βιοντίζελ στην Ευρώπη

Ιδιότητα	Δοκιμαστική μέθοδος	EN 14214
Σημείο ανάφλεξης (°C) (κλειστό καψύλλιο), ελάχιστο	ISO 3679	120
Νερό και ιζήματα (%v), μέγιστο	12937	500
Θειική τέφρα (μάζα %), μεγ	EN ISO 3987	0.02
Κινηματικό ιξώδες στους 40°C (cSt)	EN 3104	3.5- 5.0
Ολική περιεκτικότητα (μάζα%) μεγ.	EN 3675	860- 890
Κατάλοιπα άνθρακα (μάζα%) μεγ.	EN ISO 5165	51
Αριθμός κετονών, ελαχ.	EN ISO 14104	0.5
Αριθμός οξύτητας (mgKOH/g) μεγ.	EN ISO 14111	120
Διάβρωση ταινίας χαλκού, μέγιστο	EN ISO 2160	1
Ελεύθερες γλυκερίνες (μάζα%)	EN ISO 14105	0.02
Συνολικές γλυκερίνες (μάζα%)	EN ISO 14105	0.25
Περιεχόμενο σε φώσφορο (μάζα%) μεγ.	EN ISO 14107	10
Θερμοκρασία απόσταξης (αφαίρεση σε ποσοστό 90% (°C)), μέγιστο	EN ISO 12662	24
Συνδυασμός ασβεστίου και μαγνησίου, μέγιστο	EN ISO 14110	0.2
Περιεχόμενο σε μεθανόλη % μέγιστο	EN ISO 14112	6
Σταθερότητα στην οξειδωση, ώρες	EN 14103	96.5

Πίνακας 2.7 : Χαρακτηριστικά βιοντίζελ στην Ινδία

Αριθ.	Χαρακτηριστικά	Μονάδες	Απαιτήσεις	Δοκιμαστική μέθοδος ISO, ASTM, EN/IS 1448
1	Πυκνότητα στους 15°C	Kg/m ³	860- 900	ISO 3675/ P 32
2	Κινηματικό ιξώδες στους 40°C (cSt)	cSt	2.5- 6.0	ISO 3104/ P 25
3	Σημείο ανάφλεξης (°C) (κλειστό καψύλλιο), ελάχιστο	°C	120	P 21
4	Θείο μέγιστο	mg/kg	50	D 5443/ P83
5	Κατάλοιπα άνθρακα (Ramsbottom) μέγιστο	%m	0.05	D 4530
6	Θειική τέφρα (μάζα %), μεγ	%m	0.02	ISO 6245/ P4
7	Περιεχόμενο σε νερό, μέγιστο	mg/kg	500	D 2709/ P40
8	Συνολική μόλυνση, μέγ.	mg/kg	24	EN 12662
9	Διάβρωση χαλκού σε 3 ώρες στους 50°C, μέγ.	-	1	ISO 2160/ P15
10	Αριθμός κετονών, ελαχ	-	51	ISO 5156/ P9
11	Οξύτητα, μέγιστο	mg KOH/g	0.50	P1
12	Περιεχόμενο σε μεθανόλη % μέγιστο	%m	0.20	EN 14110
13	Αιθανόλη μέγ.	%m	0.20	-
14	Περιεχόμενο σε εστέρες, ελαχ.	%m	96.5	EN 14103
15	Ελεύθερες γλυκερόλες, μέγ	%m	0.02	D 6584

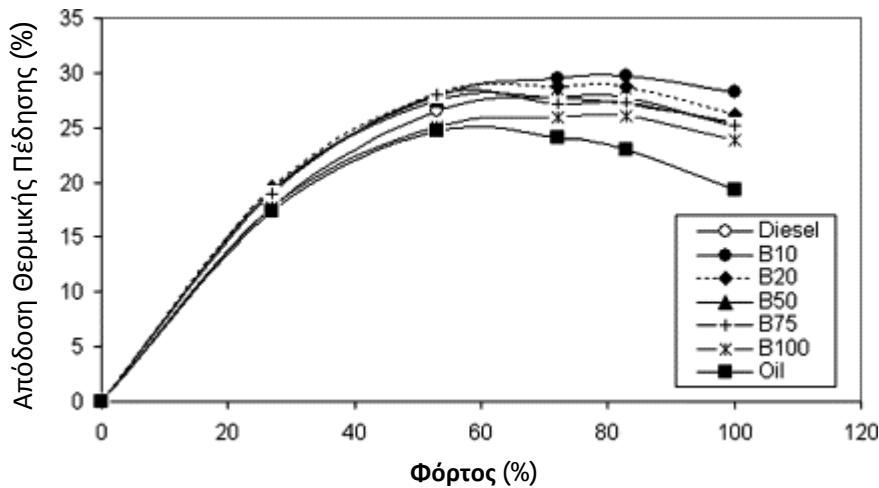
16	Συνολικές γλυκερόλες, μέγ	%m	0.25	D 6584
17	Φώσφορος, μεγ.	mg/kg	10.0	D 4951
18	Νάτριο και κάλιο μέγ.	mg/kg	Να υποβληθεί σε έκθεση	EN 14108
19	Ασβέστιο και μαγνήσιο, μεγ.	mg/kg	Να υποβληθεί σε έκθεση	-
20	ιώδιο	-	Να υποβληθεί σε έκθεση	EN 14104
21	Σταθερότητα στην οξείδωση στους 110°C, ανά λεπτό	Hr	6	EN 14112

2.5 Δοκιμές του κινητήρα

Οι ιδιότητες του βιοντίζελ είναι σχεδόν όμοιες με εκείνες του ντίζελ και ως εκ τούτου μπορεί να αναμειχθεί με ντίζελ σε οποιοσδήποτε ποσότητες και να χρησιμοποιηθεί για να λειτουργήσουν μηχανές ντίζελ. Διάφορες δοκιμές μηχανών διεξήχθησαν για την μελέτη της απόδοσης μηχανών, των εκπομπών και της αντοχή τους από ακαδημαϊκά ιδρύματα, αυτοκινητοβιομηχανίες και πετρελαϊκές εταιρείες. Αυτές οι μελέτες ανέφεραν ότι τα μείγματα βιοντίζελ ή μηχανές που λειτουργούσαν με βιοντίζελ θα μπορούσαν να μειώσουν αξιοσημείωτα τα επίπεδα τα επίπεδα εκπομπών καυσαερίων.

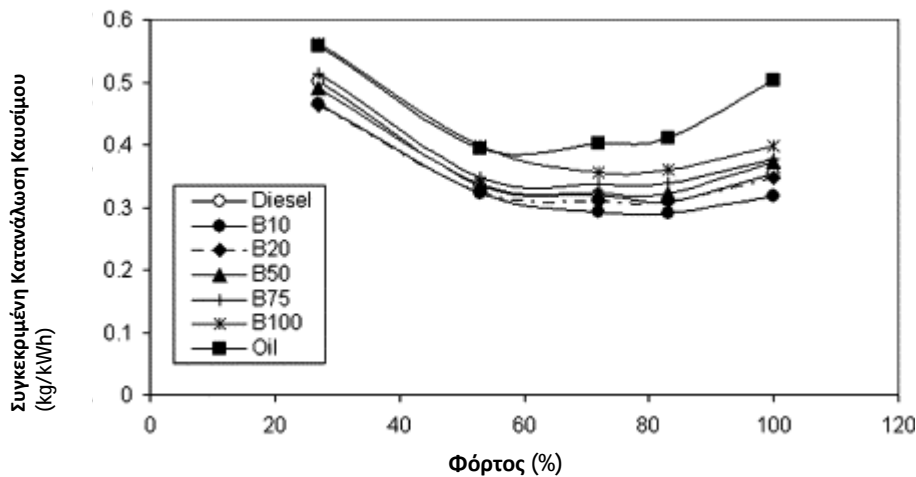
2.5.1 Μελέτες για την απόδοση και τα επίπεδα εκπομπών των μηχανών

Οι παράμετροι απόδοσης των μηχανών όπως η θερμική απόδοση, η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου, μελετήθηκαν από πολλούς ερευνητές και μηχανικούς. Οι παρατηρήσεις αυτών των μελετών βρέθηκαν να είναι παρόμοιες. Όπως ακολούθως και μια τυπική μελέτη που διεξήχθη σε μηχανή ντίζελ φυσικής αναρρόφησης που χρησιμοποιούσε μεθυλεστέρες από πετρέλαιο από καουτσούκ. Η θερμική απόδοση πέδησης της μηχανής παρατηρήθηκε να είναι αυξημένη σε εφαρμοσμένο φορτίο. Αυτό συνέβη εξαιτίας της μείωσης της απώλειας θερμότητας και αύξησης της ιπποδύναμης που αναπτύχθηκε με την αύξηση του φόρτου. Η μέγιστη θερμική απόδοση πέδησης που επιτεύχθηκε είναι περίπου 27% για το B10, που είναι υψηλότερο από εκείνο του ντίζελ (25%). Σε χαμηλότερο επίπεδο συγκέντρωσης του βιοντίζελ, η θερμική απόδοση πέδησης της μηχανής είναι βελτιωμένη (εικόνα 2.5). Αυτό οφείλεται εξαιτίας της πρόσθετης λίπανσης που παρέχεται από το βιοντίζελ. Τα μόρια του βιοντίζελ (π.χ. μεθυλεστέρες του πετρελαίου) περιέχουν μια ποσότητα οξυγόνου, που λαμβάνει μέρος στην διαδικασία ανάφλεξης. Ωστόσο, στην υψηλή συγκέντρωση του βιοντίζελ, μειώνεται η θερμική απόδοση πέδησης ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του μείγματος. Αυτή η χαμηλή θερμική απόδοση πέδησης επιτεύχθηκε για το B100, το οποίο θα μπορούσε εξαιτίας της μείωσης της θερμογόνου δύναμης και της αύξησης σε κατανάλωση καυσίμου σε σύγκριση με το B10 ή το ντίζελ.



Εικόνα 2.5 Θερμική απόδοση πέδησης των μειγμάτων βιοντίζελ- ντίζελ μειγμάτων

Η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου μιας μηχανής μειώνεται με την αύξηση του φορτίου. Αυτό οφείλεται στο υψηλότερο ποσοστό αύξησης της ισχύς πέδησης με φόρτο εν συγκρίσει με μια αύξηση στην κατανάλωση καυσίμου. Χρησιμοποιώντας χαμηλότερο ποσοστό βιοντίζελ στα μείγματα, η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου της μηχανής είναι χαμηλότερη εν συγκρίσει με εκείνη του ντίζελ για όλα τα φορτία. Η απόκλιση της συγκεκριμένης κατανάλωσης καυσίμου όσον αφορά την μέση πίεση απόδοσης πέδησης των διαφορετικών καυσίμων παρουσιάζεται στην εικόνα 2.6. Στην περίπτωση του B50- B100, η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου έχει βρεθεί να είναι υψηλότερη από του ντίζελ.



Εικόνα 2.6 : Συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου σε μηχανή βιοντίζελ- ντίζελ

Σε συνθήκες πλήρους φόρτου, η συγκεκριμένη κατανάλωση καθαρού καυσίμου βιοντίζελ είναι περίπου 12% υψηλότερη από εκείνη του ντίζελ. Η θερμογόνος δύναμη του βιοκαυσίμου που προέρχεται από καουτσούκ είναι περίπου 14% λιγότερο από το ντίζελ. Η θερμογόνος δύναμη των μειγμάτων βιοντίζελ μειώνεται με την αύξηση της ποσοστιαίας συγκέντρωσης βιοντίζελ. Ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου υψηλότερης

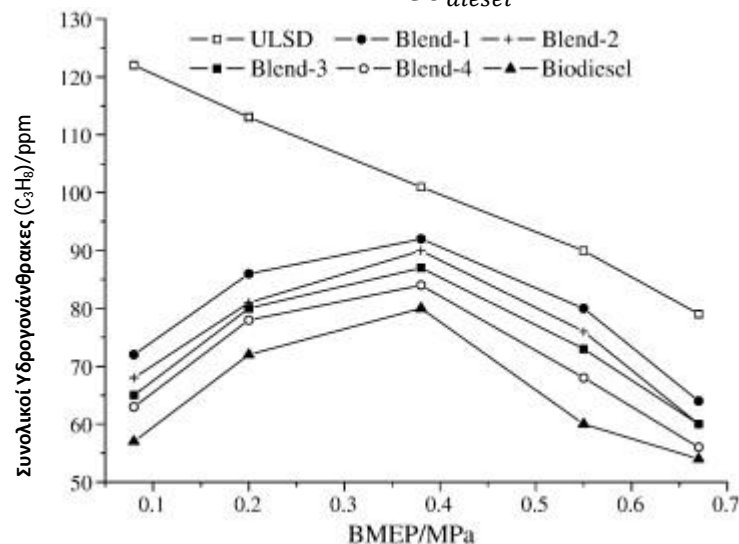
συγκέντρωσης του βιοντίζελ στα καύσιμα αυξάνει εν συγκρίσει με εκείνη του ντίζελ.

Ο Di και οι συνεργάτες του (2009) διεξήγαγαν δοκιμές σε μηχανές για να αξιολογήσουν την δυνατότητα μείωσης των εκπομπών του βιοντίζελ (εικόνα 2.7). Χρησιμοποίησαν ποίκιλα μείγματα βιοντίζελ που παρήχθησαν από μαγειρικό λάδι μέχρι και ντίζελ εξαιρετικά χαμηλό σε θείο σε μια τετρακύλινδρη μηχανή ντίζελ. Μείγματα βιοντίζελ αντίστοιχων ποσοστών 19,4%, 39,4%, 59,4%, 79,4%, σημειώνονται σαν μείγμα 1, 2, 3, και 4 αντιστοίχως. Η μείωση των εκπομπών υδρογονανθράκων με αύξηση του φόρτου μηχανής εξαιτίας μιας αύξησης σε υψηλότερη θερμοκρασία που συνδέεται με υψηλότερο φόρτο μηχανής. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού βιοντίζελ στο μείγμα. Η χαμηλότερη πτητικότητα του βιοντίζελ μειώνει τις εκπομπές υδρογονανθράκων σε συνθήκες χαμηλού φορτίου. Οι Lapuerta, Armas και Jose (2008) ανέφεραν ότι η EPA των Η.Π.Α. παρέιχε την ακόλουθη εξίσωση για τις συνολικές εκπομπές άνθρακα.

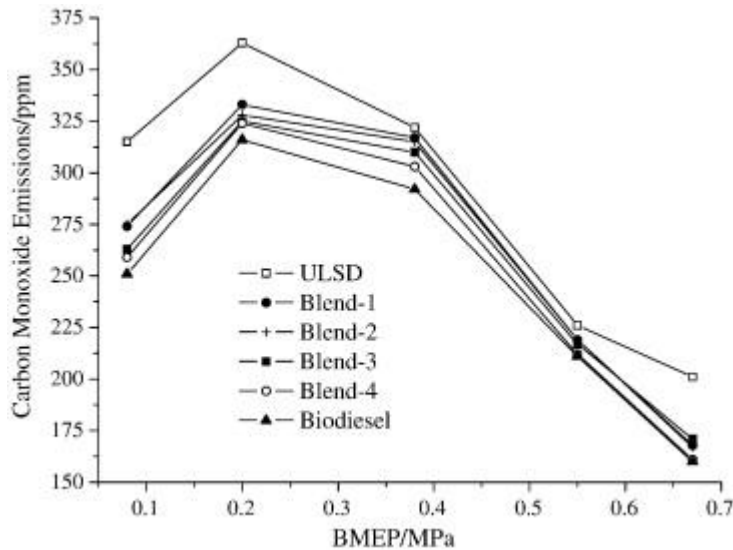
$$\frac{THC}{THC_{diesel}} = e^{-0.011199\%B}$$

Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στις εκπομπές των καυσαερίων είναι αμελητέα μικρή όταν καίγεται με την στοιχειομετρική αναλογία αέρα- καυσίμου ή με την ισχνή στοιχειομετρική πλευρά. Με την προσθήκη του βιοντίζελ, οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα επίσης μειώνονται. Το βιοντίζελ από μόνο του περιέχει οξυγόνο που προωθεί την τέλεια καύση του καυσίμου και ως εκ τούτου μειώνει τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (εικόνα 2.8). Οι Lapuerta, Armas και Jose (2008) ανέφεραν ότι η EPA των Η.Π.Α. παρέιχε την ακόλουθη εξίσωση για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα.

$$\frac{CO}{CO_{diesel}} = e^{-0.006561\%B}$$



Εικόνα 2.7 : Εκπομπές υδρογονανθράκων από μείγματα βιοντίζελ



Εικόνα 2.8 : Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα των μειγμάτων βιοντίζελ

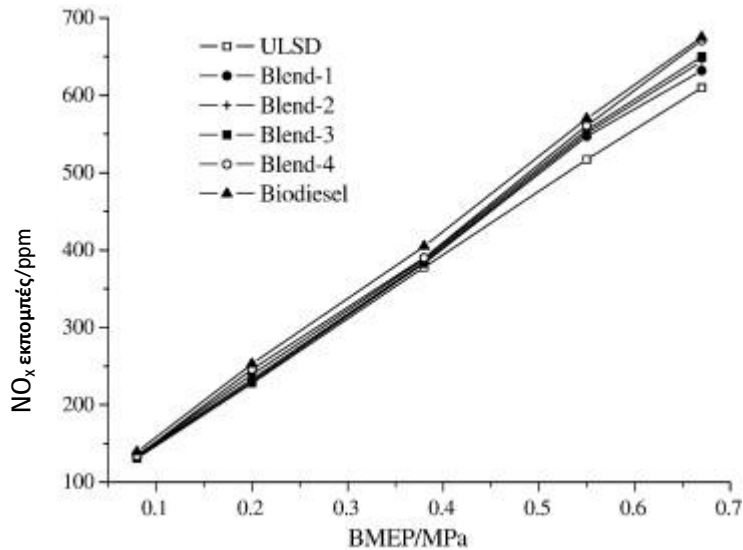
Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου αυξάνουν με την αύξηση του φόρτου για όλες τις συνθήκες φόρτωσης. Τα μείγματα βιοντίζελ αυξάνουν τις εκπομπές των NO_x σε όλες τις συνθήκες φόρτου. Το βιοντίζελ που περιέχει οξυγόνο λαμβάνει μέρος σε καύσεις και ως εκ τούτου αυξάνει την θερμοκρασία του θαλάμου καύσης. Οι Lapuerta, Armas και Jose (2008) ανέφεραν ότι η ΕΡ των Η.Π.Α. παρείχε την ακόλουθη εξίσωση για τις εκπομπές μονοξειδίου του αζώτου.

$$\frac{NO}{NO_{x_{diesel}}} = e^{-0.0009794\%B}$$

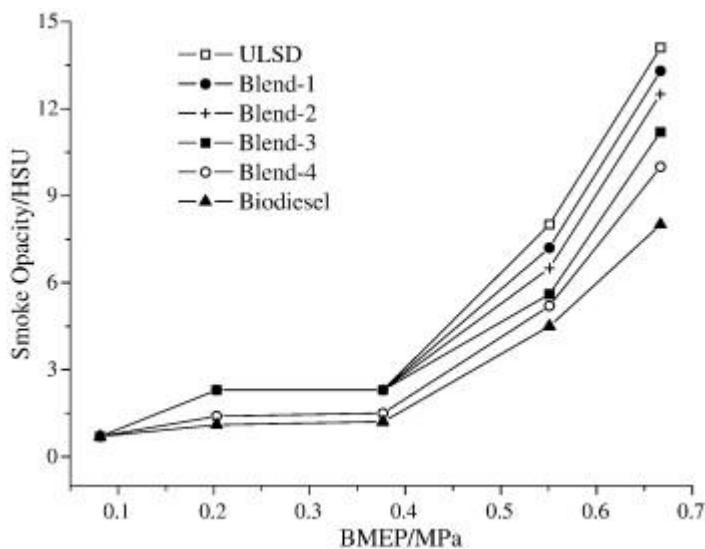
Τα μείγματα βιοντίζελ μειώνουν και τον καπνό και τα σωματίδια κατά μάζα συγκέντρωσης των καυσαερίων που εκπέμπονται. Οι Lapuerta, Armas και Jose (2008) ανέφεραν ότι η ΕΡ των Η.Π.Α. παρείχε την ακόλουθη εξίσωση για τις εκπομπές σωματιδίων κατά μάζα.

$$\frac{PM}{PM_{diesel}} = e^{-0.006384\%B}$$

Η μείωση των εκπομπών σωματιδίων κατά μάζα (Particle Mass, PM) συνδέεται με την μείωση στον σχηματισμό αιθάλης και θειικών. Το βιοντίζελ περιέχει περίπου 11- 14% οξυγόνο και καθόλου θείο. Η μείωση του θείου στα καύσιμα οδηγεί στην μείωση του σχηματισμού θειικών. Αυτό με την σειρά του οδηγεί στην μείωση του σχηματισμού αιθάλης και μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων (Particle Mass, PM) (εικόνα 2.9). Αρωματικοί και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons), αποτελούν πρόδρομο της αιθάλης και πηγές της σωματιδιακής φάσης των PAH. Το βιοντίζελ δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και ως εκ τούτου αυτό οδηγεί στην μείωση εκπομπών μάζας σωματιδίων.



Εικόνα 2.9 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου NO_x σε μείγματα βιοντίζελ



Εικόνα 2.10 : Μάζα εκπομπών σωματιδίων των μειγμάτων βιοντίζελ (θολότητα καπνού)

Η GMD (μέση γεωμετρική διάμετρος) αυξάνει με μια αύξηση του φόρτου. Σε υψηλά φορτία, περισσότερο καύσιμο καταναλώνεται κατά τον τρόπο διάχυσης και ως εκ τούτου περισσότερα σωματίδια σχηματίζονται. Με μια αύξηση του αριθμού σωματιδίων, αυξάνει ο ρυθμός πήξης και ως εκ τούτου σχηματίζονται μεγαλύτερα σωματίδια και αυτό οδηγεί σε αύξηση της GMD. Τα μείγματα βιοντίζελ ευνοούν την μείωση των πυρήνων αιθάλης και ως εκ τούτου την συγκέντρωση αριθμού σωματιδίων. Ωστόσο, η πήξη και η συσσώρευση των μικρών σωματιδίων και ο σχηματισμός ακόμα μεγαλύτερων σωματιδίων

επίσης επιβραδύνεται, οδηγώντας σε μια αύξηση των μικρότερων σε μέγεθος σωματιδίων.

2.5.2 Μελέτες ανθεκτικότητας της μηχανής

Τα προβλήματα που μπορούν να συσχετιστούν με την μηχανή μπορούν να μελετηθούν διεξάγοντας μια δοκιμή σε μια μηχανή για μεγάλη διάρκεια ή τις δοκιμασίες αντοχής. Γενικότερα, τα μείγματα βιοντίζελ μέχρι 5% δεν δημιουργούν προβλήματα που να σχετίζονται με την μηχανή. Η χρήση μεγαλύτερου ποσοστού βιοντίζελ στις μηχανές, δημιουργεί προβλήματα στους εγχυτήρες επειδή είναι σχεδιασμένοι για ντίζελ και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι επίσης συμβατά με το ντίζελ και μόνο. Κακής ποιότητας βιοντίζελ μπορεί να περιέχει οργανικά οξέα, νερό, ελεύθερες γλυκερόλες, συνολικές γλυκερόλες και άλλες προσμείξεις που μπορούν να υποστούν πολυμερισμό και να βλάψουν τα μέρη της μηχανής. Οι εγχυτήρες καυσίμου έχουν την τάση να υποβάλλονται σε προβλήματα απόφραξης των ακροφυσίων του εγχυτήρα. Αν και οι περισσότεροι κατασκευαστές εγχυτήρων καυσίμου και κατασκευαστές οχημάτων επεκτείνουν την εγγύηση των μερών της μηχανής με την χρήση βιοντίζελ (B5). Είναι απαραίτητο, βεβαίως, να αποθηκεύσουμε το βιοντίζελ από ακραίες θερμοκρασίες για να αποφύγουμε την οξειδωση του καυσίμου. Τα πιο κοινά προβλήματα που παρατηρούνται στα εξαρτήματα του κινητήρα με την χρήση βιοντίζελ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.8).

Πίνακας 2.8 : Επιδράσεις του βιοντίζελ στα μέρη της μηχανής

Χαρακτηριστικά Καυσίμου	Αποτέλεσμα
Ελεύθερη μεθανόλη	Χαμηλώνει το σημείο ανάφλεξης και διαβρώνει τις γραμμές καυσίμου και τα μέρη που είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και ψευδάργυρο
Νερό	Αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του καυσίμου και την διάβρωση των μερών. Προωθεί την ανάπτυξη βακτηρίων
Ελεύθερες γλυκερίνες	Διαποτισμός των φίλτρων και σχηματισμός οππάνθρα στους εγχυτήρες
Ελεύθερα λιπαρά οξέα	Σχηματισμός οργανικών οξέων και άλατα οργανικών οξέων που προκαλούν το βούλωμα των φίλτρων και διάβρωση των εγχυτήρων καυσίμου
Υψηλότερο ιξώδες	Υπερβολική παραγωγή θερμότητας στις περιστροφικές αντλίες διανομέα και υψηλότερο πίεση
Καταλύτες	Οι ενώσεις Na και K προκαλούν φράξιμο των ακροφυσίων των εγχυτήρων
Προϊόντα πολυμερισμού	Σχηματισμός καταλοίπων και φράξιμο των φίλτρων
Στέρεες προσμείξεις	Προκαλεί προβλήματα αστασίας και μειώνει την διάρκεια ζωής

Η μηχανή εσωτερικής καύσης έχει πολλά κινητά μέρη που σε κανονικές συνθήκες υποβάλλονται σε διαδικασία φθοράς, συμπεριλαμβανομένου του πιστονιού, του εμβόλου του πιστονιού, των ρουλεμάν, του στροφαλοφόρου άξονα και των βαλβίδων της μηχανής. Τα μεταλλικά μέρη κατόπιν της φθοράς

κατευθύνονται στο σύστημα λίπανσης της μηχανής και θα είναι σε μορφή αναστολής/ λανθάνουσα μορφή. Οι Agarwal, Bijwe και Das (2003) διεξήγαγαν λεπτομερείς έρευνες για να εκτιμήσουν την φθορά των μηχανικών μερών με την χρήση καυσίμου βιοντίζελ. Διερεύνησαν την επίδραση της μακροπρόθεσμης λειτουργίας της μηχανής από την φθορά λόγω της χρήσης ενός μείγματος από 20% LOME (linseed oil methyl ester) και ντίζελ, για ανάλυση της φθοράς και ανάλυση λίπανσης του λαδιού. Κατά την διάρκεια αυτών των δοκιμών, κάθε μηχανή λειτούργησε για 512 ώρες σε σταθερή ταχύτητα και διαφορετικές συνθήκες φόρτου.

Η αραίωση του καυσίμου είναι μια άμεση συνέπεια της κάθαρσης ανάμεσα στο ελατηρίου του εμβόλου και των χιτωνίων. Εάν η φθορά ανάμεσα στο ελατήριο του εμβόλου και του κυλίνδρου αυξάνει, τόσο μεγαλύτερη αραίωση του καυσίμου θα προκληθεί. Το βιοντίζελ βοηθά στην προστασία των ελατηρίων του εμβόλου από το να φθαρεί δραστικά. Το σχετικά υψηλότερο ιξώδες του βιοντίζελ βοηθά στην απόφραξη ανάμεσα στο ελατήριο του εμβόλου και τα χιτώνια αποτελεσματικά, και γι' αυτό μειώνονται οι παράπλευρες απώλειες και η αραίωση του καυσίμου και τις λίπανσης. Ως εκ τούτου το βιοντίζελ έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο αποτελεσματικό στο να προστατεύει τα κινούμενα μέρη της μηχανής.

Ο Agarwal (2007) ανέλυσε την συγκέντρωση διάφορων μετάλλων που είναι παρόντα στο λιπαντικό λάδι με χρήση φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS, atomic absorption spectroscopy) για ποσοτική και ποιοτική ανάλυση. Ανέφερε ότι οι μελέτες AAS για τα λιπαντικά έλαια έδειξαν ότι τα καύσιμα βιοντίζελ οδηγούσαν σε λιγότερη φθορά των κινητών μερών της μηχανής σε όρους λιγότερης ποσότητας από μεταλλικά συντρίμια (όπως Fe, Cu, Zn, Mg, Cr, Pb και Co) τα οποία υπήρχαν μέσα στα δείγματα λιπαντικών ελαίων. Αυτά τα μεταλλικά στοιχεία προήλθαν από την φθορά ανάμεσα στα κινητά μέρη της μηχανής. Έχει αναφερθεί ότι η φθορά μειώθηκε με την χρήση βιοντίζελ.

2.6 Προκλήσεις για το βιοντίζελ

1. Τα οχήματα που κινούνται με βιοντίζελ αυξάνουν τις εκπομπές NO_x.
2. Θα πρέπει να διεξαχθούν μελέτες όπου όταν χρησιμοποιείται βιοντίζελ με καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, τότε δεν θα παραχθούν οφέλη ακόμα και σε μηχανές τελευταίας γενιάς.
3. Ενώ οχήματα που λειτουργούν με B20 και αντικαταστήσουν κάποια ποσότητα με πετρέλαιο, ακόμα και τότε συνεχίζουν να εξαρτώνται από το ντίζελ για να λειτουργήσουν.
4. Το βιοντίζελ είναι σημαντικά πιο ακριβό από το ντίζελ και ως εκ τούτου και τα κίνητρα των κυβερνήσεων για την προώθησή του.
5. Επειδή υπάρχει λιγότερη ενέργεια σε ένα γαλόνι βιοντίζελ από ότι σε ένα γαλόνι πετρελαίου, η απόσταση που μπορεί να διανυθεί είναι μικρότερη.
6. Απαιτήσης εγγύησης για τα οχήματα που κινούνται με καύσιμα βιοντίζελ από τους κατασκευαστές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΑΝΟΛΗ

3.1 Εισαγωγή

Οι μηχανές τύπου ντίζελ προτιμώνται ευρέως σε σχέση με τις μηχανές βενζίνης για βαριές εφαρμογές στην γεωργία, τις κατασκευές, την βιομηχανία και τον τομέα των μεταφορών, εξαιτίας της υψηλότερης θερμικής απόδοσης. Ωστόσο είναι γνωστά ότι αποτελούν τις κύριες πηγές εκπομπών όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, την αιθάλη, τον καπνό, τα οξειδία του αζώτου (NO_x). Από την άλλη μεριά, οι περιορισμοί επί των εκπομπών, σε πολλές χώρες έχει προκαλέσει την έρευνα σε τομείς οικονομίας των καυσίμων και τις μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων εξαιτίας του αυξανόμενου ενδιαφέροντος σε περιβαλλοντικά ζητήματα και έλλειψη καυσίμων. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων είναι μια από τις πιο ελκυστικές μεθόδους για την βελτίωση της οικονομίας των καυσίμων και την μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης. Ανάμεσα στα εναλλακτικά καύσιμα, οι αλκοόλες (όπως η μεθανόλη και η αιθανόλη), τα φυτικά έλαια, τα ζωικά λίπη, και το υδροποιημένο αέριο του πετρελαίου (liquefied petroleum gas, LPG), λαμβάνουν αρκετό ενδιαφέρον. Αυτά τα εναλλακτικά καύσιμα είναι φιλικά προς το περιβάλλον, αλλά θα πρέπει να αξιολογηθούν για τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους, εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μηχανημάτων. Αν και διαθέτουν χαμηλό αριθμό κετονών και κακή διαλυτότητα σαν καύσιμο ντίζελ, η μεθανόλη αποτελεί ένα από τα πιο ελκυστικά εναλλακτικά καύσιμα επειδή είναι ανανεώσιμο και οξυγονωμένο. Πρακτικά, για να μειωθούν οι εκπομπές αερίων των μηχανών χωρίς μηχανικές τροποποιήσεις, το να προσθέσουμε οξυγονωμένες ενώσεις στα καύσιμα αποτελεί την πιο ελκυστική λύση. Γι' αυτό η μεθανόλη, διαθέτει την δυνατότητα του να μειώσουμε τις εκπομπές ρύπων σε μηχανές ντίζελ. Αυτό το κεφάλαιο επανεξετάζει την δυνατότητα, παραγωγικών μεθόδων, και της ιδιότητες που διαθέτει η μεθανόλη ως καύσιμο καθώς επίσης και την απόδοση της μηχανής, της ανάφλεξης και των εκπομπών.

3.2 Δυνατότητες της μεθανόλης

Τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να παραχθούν από πηγές μη αργού πετρελαίου. Τα αργό πετρέλαιο είναι καύσιμα που έχουν ως βάση το πετρέλαιο. Ανάμεσα, στα πιο διάσημα εναλλακτικά καύσιμα είναι το βιοντίζελ, το φυσικό αέριο, το προπάνιο, η μεθανόλη, η αιθανόλη, και το υδρογόνο. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων στο μέλλον είναι αναπόφευκτη με τις ολοένα και αυξανόμενες τιμές του πετρελαίου και την παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη να αποτελούν κυρίαρχα ζητήματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Οι κύριοι στόχοι για ενεργειακή ασφάλεια και προγράμματα καθαρής ατμόσφαιρας έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον στις παγκόσμιες εφαρμογές των εναλλακτικών καυσίμων στους καυστήρες και τις μηχανές.

Η μεθανόλη είναι χημικά η απλούστερη αλκοόλη, που περιέχει ένα άτομο άνθρακα ανά μόριο. Είναι ένα τοξικό, άχρωμο και άγευστο υγρό με μια

ελαφρά οσμή και γνωστό ευρέως ως «ξυλόπνευμα». Επειδή παράγεται σε υγρή μορφή, η μεθανόλη αποθηκεύεται όπως η βενζίνη, Γενικότερα η μεθανόλη σήμερα παράγεται από το φυσικό αέριο, μπορεί όμως επίσης να παραχθεί από μια ευρεία γκάμα ανανεώσιμων πηγών, όπως το ξύλο, απορρίμματα χαρτιού, κάρβουνο και βιομάζα. Η μεθανόλη είναι υποψήφια στις έρευνες για εναλλακτικά καύσιμα λόγω της αφθονίας της και των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της.

Ως εναλλακτικό καύσιμο, η μεθανόλη δέχεται μεγαλύτερη προσοχή και βρίσκει πιθανή εφαρμογή τόσο στις μεταφορές όσο και στους τομείς παραγωγής ενέργειας. Η μεθανόλη έχει το πλεονέκτημα να είναι υγρό καύσιμο που μπορεί να συντεθεί από αεριοποίηση και να μεταρρυθμιστεί σε μια ποικιλία πρώτων υλών όπως κάρβουνο και φυσικό αέριο χρησιμοποιώντας μια καθορισμένη θερμοχημική τεχνολογία. Επίσης μπορεί να παραχθεί από ένα εύρος βιομάζας περιλαμβάνοντας τα δημοτικά και βιομηχανικά απόβλητα. Κατά συνέπεια μπορεί να λειτουργήσει ως καύσιμο χαμηλής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα. Η μεθανόλη αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αντικατάσταση της βενζίνης. Οι κύριες χρήσεις τις μεθανόλης ως εναλλακτικό καύσιμο είναι: άμεση χρήση: μίξη με πετρέλαιο ή βενζίνη και έμμεση χρήση: μετατροπή μεθανόλης σε διμεθυλ-αιθέρα, συστατικό στην παραγωγή του βιοντίζελ και του υδρογόνου για χρήση σε οχήματα κυψελών καυσίμου.

3.2.1 Μεθανόλη : μίγματα βενζίνης

Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν σαν καύσιμο μηχανής όπως ακριβώς το LPG και η αιθανόλη. Η κατευθείαν χρήση της μεθανόλης σαν καύσιμο έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η σχετικά υψηλά άδηλη θερμότητα εξάτμισης της μεθανόλης έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερη θερμοκρασία καύσης στους κυλίνδρους της μηχανής όπως γίνεται και με την αιθανόλη. Η απευθείας χρήση της σαν καύσιμο μηχανής στα επιβατικά οχήματα απαιτεί μη τετριμμένες μετατροπές στον κινητήρα και ουσιαστικές αλλαγές στο λιπαντικό σύστημα. Λόγω της υψηλής πίεσης ατμών που είναι ένα μέτρο της επηρεαζόμενης μεταβλητότητας της αναμειγνυόμενης βενζίνης, η χρήση της μεθανόλης σαν μίγμα βενζίνης είναι περιορισμένη παρόλο που έχει υψηλό αριθμό οκτανίων και αποτελεί εξαιρετικό υποψήφιο οξυγονούχων υδρογονανθράκων. Όταν χρησιμοποιείται αγνή μεθανόλη μπορεί να εμφανιστούν τα προβλήματα ψυχρής εκκίνησης λόγω έλλειψης των λίαν πτητικών ενώσεων που παρέχουν εύφλεκτους ατμούς στη μηχανή ακόμα και υπό τις πιο ψυχρές συνθήκες. Η προσθήκη περισσότερων πτητικών συστατικών στη μεθανόλη είναι η πιο συνηθισμένη λύση.

3.2.2 Μεθανόλη : μίγματα πετρελαίου

Η μεθανόλη και το πετρέλαιο δεν είναι πολύ αναμίξιμα, κάτι που καθιστά δύσκολο τη μίξη PM ως καύσιμο για τη μηχανή. Το μίγμα μεθανόλης-ντίζελ δίνει καλή απόδοση όταν το ποσό της μεθανόλης στο αναμιγμένο καύσιμο δεν υπερβαίνει το 30% κατά βάρος και τα χαρακτηριστικά καύσης όταν το μέγιστο κλάσμα μάζας της μεθανόλης είναι 20% κατά βάρος. Η μεθανόλη

μπορεί να αναμιχθεί με πετρέλαιο αν και η διαβρωτική φύση του δημιουργεί την ανάγκη για προσοχή στο σχεδιασμό της μηχανής και του συστήματος καυσίμου, όπως στην αιθανόλη. Η μεθανόλη έχει τη μισή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα σχετικά με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο. Συνήθως αναμιγνύεται σε ποσοστά μεταξύ 5 και 85%. Όταν το ποσοστό μεθανόλης στο καύσιμο είναι 85%, τότε αυτό λέγεται M85. Ταυτόχρονα η σύνθεση αλδεΐδης που προκύπτει από την καύση της μεθανόλης σχηματίζει ένα ισχυρό οξύ. Οπότε οι έρευνες θα πρέπει να είναι πιο προσεκτικές σε αυτό το καύσιμο.

3.2.3 Διμεθυλ-εθέρας

Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό μεθυλ-τριτοβουτυλαιθέρα (MTBE), που είναι αναμιγμένος με βενζίνη για την ενίσχυση των οκτανίων και τη δημιουργία καθαρότερου καυσίμου. Αλλά η παραγωγή και χρήση του MTBE έχει και πλεονεκτήματα γιατί μολύνει τα υπόγεια ύδατα. Το στενά συνδεδεμένο παράγωγο της μεθανόλης, ο διμεθυλ-αιθέρας (DME) είναι ένα ιδιαίτερα επιθυμητό εναλλακτικό καύσιμο. Συνήθως παράγεται από την αφυδάτωση της μεθανόλης. Επίσης είναι γνωστό σαν υπερ-καθαρό καύσιμο, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πετρελαιοκινητήρες, στα νοικοκυριά, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και για άλλους σκοπούς. Λόγω του τεραστίου δυναμικού αγοράς η έρευνα για τη σύνθεση και τη χρήση του DME κεντρίζει ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον. Ο DME επίσης παράγεται κυρίως από συνθετικό αέριο μέσω της σύνθεσης μεθανόλης και της αφυδάτωσης της μεθανόλης, γνωστή και ως μέθοδος των δύο βημάτων. Λόγω του υψηλού αριθμού κετανίων και τις ευνοϊκές ιδιότητες καύσης, είναι ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό καύσιμο για μηχανές πετρελαίου. Ο DME δίνει καλά με βενζίνη ή πετρέλαιο για τη χρήση ως καύσιμα σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή σε παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί επίσης δυναμικό υποκατάστατο για το υγροποιημένο φυσικό αέριο όπως και για το υγροποιημένο πετρελαιοειδές αέριο για οικιακή θέρμανση και σε βιομηχανικές χρήσεις. Άλλο ένα παράγωγο της μεθανόλης είναι ο διμεθυλο-άνθρακας (DMC) ο οποίος μπορεί να ληφθεί με τη μετατροπή της μεθανόλης με φωσγένιο ή με οξειδωτική καρβονυλίωση της μεθανόλης. Ο DMC έχει υψηλό βαθμό κετανίων και μπορεί να αναμιγνύεται σε καύσιμο πετρελαίου με συγκέντρωση πάνω του 10%, μειώνοντας το ιξώδες του καυσίμου και βελτιώνοντας τις εκπομπές.

3.2.4 Συστατικό παραγωγής βιοντίζελ

Ένας άλλος τρόπος χρήσης της μεθανόλης σε μηχανές πετρελαίου ή κινητήρες είναι μέσω βιοντίζελ. Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από μια μεγάλη ποικιλία φυτικών ελαίων και ζωικών λιπών που αντιδρούν με τη μεθανόλη με τη διαδικασία της μετεστεροποίησης για την παραγωγή βιοντίζελ. Το βιοντίζελ μπορεί να αναμιχθεί χωρίς μείζονα προβλήματα με το πετρέλαιο σε οποιαδήποτε αναλογία. Η μεθανόλη και τα παράγωγά της έχουν πολλές υφιστάμενες και πιθανές χρήσεις. Μπορούν για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθούν σαν υποκατάστατο καύσιμο στα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα με μικρή τροποποίηση στη μηχανή και στο σύστημα καυσίμου.

3.2.5 Κυψέλες καυσίμου

Η μεθανόλη μπορεί αν χρησιμοποιηθεί ως κυψέλη καυσίμου – για οχήματα κυψέλης καυσίμου – και η οποία θεωρείται ως το καλύτερο εναλλακτικό καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης στον τομέα των μεταφορών. Μια από τις πιο αποτελεσματικές χρήσεις της μεθανόλης είναι στις κυψέλες καυσίμου, ιδιαίτερα στην κυψέλη καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC), στην οποία η μεθανόλη άμεσα οξειδώνεται με τον αέρα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό ενώ παράγεται ηλεκτρισμός. Αυτά τα συστήματα επί του παρόντος αναπτύσσονται ως αντικαταστάτες μπαταριών στην αγορά ενέργειας φορητών. Με εξαίρεση του συμπιεσμένου υδρογόνου και του DMFC, ο σχεδιασμός σε όλα τα οχήματα κυψελών καυσίμου απαιτεί ένα είδος αναμόρφωσης ή μερικής οξειδωσης για την απελευθέρωση του υδρογόνου στο καύσιμο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να δημιουργήσει εκπομπές NO_x που ακόμα και σε μικρές ποσότητες μπορούν να συμβιβάσουν την ποιότητα του αέρα, όταν πολλαπλασιάζεται με τα εκατομμύρια οχήματα σε χρήση. Τα NO_x είναι ουσιώδης προάγγελος στο σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος, ή αιθαλομίχλης. Ακριβώς επειδή το DMFC διασπάει τη μεθανόλη σε υδρογόνο και οξυγόνο κατευθείαν χωρίς την απαίτηση αναμόρφωσης ή μερικής οξειδωσης, δεν υπάρχουν εκπομπές NO_x από τα οχήματα.

3.3 Παραγωγή μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι ένα από τα 10 κορυφαία χημικά που παράγονται παγκοσμίως, επειδή μπορεί να παραχθεί από διάφορες πρώτες ύλες, συμπεριλαμβανομένου των ορυκτών καυσίμων (π.χ. φυσικό αέριο, αργό πετρέλαιο, κάρβουνο) και από ανανεώσιμες πηγές (π.χ. ξύλο και δημοτικά στερεά απόβλητα).

3.3.1 Παραγωγή μεθανόλης μέσω αερίου σύνθεσης

Το αέριο σύνθεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για ένα εύρος προϊόντων συμπεριλαμβανομένου της μεθανόλης. Η παραγωγή μεθανόλης μέσω αερίου σύνθεσης εξαρτάται από την πρώτη ύλη επιλογής σε διάφορες αναλογίες. Το αέριο σύνθεσης μπορεί να προέρχεται από ένα αριθμό διαφορετικών διευθύνσεων, συμπεριλαμβάνοντας την αεριοποίηση του άνθρακα, μερική οξειδωση των βαριών πετρελαίων, αναμόρφωση του φυσικού αερίου (με ή χωρίς την παρουσία CO_2), αναμόρφωση των πρώτων υλών LPG και νάφθα, αναμόρφωση ενισχυμένη με οξυγόνο και αναμόρφωση ανταλλαγής θερμότητας. Αυτοί είναι οι κύριοι τρόποι όπου μπορεί να παραχθεί μεθανόλη από αέριο σύνθεσης.

Η μεθανόλη αρχικά παραγόταν ως υποπροϊόν στην παραγωγή ξυλάνθρακα κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης του ξύλου, με αποδόσεις 19 – 24 λίτρα ανά τόνο ξύλου. Μπορεί επίσης να παραχθεί με διάφορους άλλους τρόπους, αλλά σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό παράγεται από φυσικό αέριο. Το αέριο αρχικά συμπιέζεται και μετά καθαρίζεται απομακρύνοντας τις θειούχες ενώσεις. Το καθαρό πλέον φυσικό αέριο είναι κορεσμένο με θερμαινόμενο νερό. Το μίγμα φυσικού αερίου και υδρατμών κατευθύνεται στον αναμορφωτή για να γίνει μερικώς μετατρεπόμενο σε αέριο σύνθεσης, ένα μίγμα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και υδρογόνου (H_2). Το αέριο σύνθεσης υφίσταται σε ένα δεύτερο στάδιο υπό

υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων για να συνδυαστούν CO και H₂ για την παραγωγή μεθανόλης. Συχνά γίνεται και προσθήκη CO₂ σε αυτό το στάδιο για περισσότερη μεθανόλη και προϊόν. Αρχικά αρκετά ανθρακοειδή υλικά μπορούν να αντικατασταθούν για το φυσικό αέριο σαν αρχικά υλικά. Αυτό περιλαμβάνει άνθρακα, λιγνίτη, και δημοτικά απόβλητα εκτός του ξύλου. Καθ' ένα από αυτά τα ακατέργαστα υλικά, ωστόσο, πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης.

Το φυσικό αέριο είναι η μεγαλύτερη πηγή παραγωγής του συνθετικού αερίου. Το μεθάνιο(CH₄) είναι επικεφαλής του στοιχείου του φυσικού αερίου. Η μεθανόλη παράγεται από CH₄ σε μια σειρά από τρεις αντιδράσεις.

- Αντίδραση της αναμόρφωσης



Στην αντίδραση αναμόρφωσης, το CH₄ αντιδρά σε μια υψηλή ενδοθερμική αντίδραση ατμού πάνω από τον καταλύτη, τυπικά βασιζόμενο σε νικέλιο, σε υψηλές θερμοκρασίες (800-1000°C, 20-30atm) για το σχηματισμό CO και H₂.

- Αντίδραση εναλλαγής νερού – αερίου (WGS)



Ένα μέρος του σχηματιζόμενου CO αντιδρά κατά συνέπεια με ατμό κατά την αντίδραση εναλλαγής νερού – αερίου και παράγει περισσότερο H₂ καθώς και CO₂. Έτσι το αέριο που λαμβάνεται είναι ένα μίγμα από H₂, CO και CO₂. Το συμπιεσμένο αέριο σύνθεσης εισέρχεται στο μετατροπέα εμπεριέχοντας ψευδάργυρο, χαλκό και καταλύτη κι έτσι προκύπτει η σύνθεση μεθανόλης σύμφωνα με τη αντίδραση σύνθεσης της μεθανόλης.

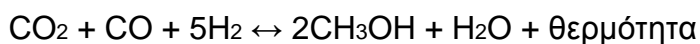
- Αντίδραση σύνθεσης μεθανόλης



Αν εξαντληθεί το CO στην αντίδραση σύνθεσης μεθανόλης τότε η αντίδραση εναλλαγής νερού – αερίου αντιστρέφεται παράγοντας περισσότερο CO.



Αυτή η αντίδραση συνδυάζεται για την παραγωγή περίπου του 40% της μετατροπής του CO σε μεθανόλη. Το μίγμα αερίου ψύχεται κι έτσι μεθανόλη και νερό συμπυκνώνονται. Το εναπομείναν αέριο επιστρέφει στον κυκλοφορητή ανακατεύεται με το εισερχόμενο συμπιεσμένο αέριο σύνθεσης κι ανακυκλώνεται μέσω του μετατροπέα μεθανόλης. Ως εκ τούτου, οι συνολικές αντιδράσεις απ' τις οποίες παράγεται μεθανόλη από συνθετικό αέριο μπορούν να συμπεριληφθούν στην παρακάτω εξίσωση:



Το αέριο σύνθεσης συνήθως το παίρνουμε από CH₄ ή από φυσικό αέριο σε μια διαδικασία που λέγεται CO₂ ή ξερή μεταρρύθμιση, διότι δεν περιλαμβάνει

ατμό. Αυτή η αντίδραση είναι πιο ενδοθερμική ($\Delta H = 206 \text{ KJ/mol}$) από την αναμόρφωση με μια αντίδραση ενθαλπίας με $\Delta H = 246 \text{ KJ/mol}$:



Ένας άλλος τρόπος παραγωγής συνθετικού αερίου από φυσικό αέριο είναι η απ' ευθείας οξειδωση του CH_4 . Η αντίδραση αυτή είναι εξώθερμη και η αναλογία H_2 και CO του προϊόντος είναι πιο επιθυμητή (2 :1) για κατάντη της διαδικασίας:



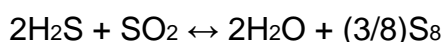
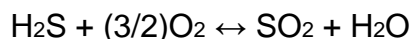
Η παραγωγή μεθανόλης από κάρβουνο δεν είναι τόσο απλή. Το κάρβουνο περιέχει διάφορες άλλες ενώσεις και προσμείξεις που θα μπορούσαν να παρέμβουν στη διαδικασία σύνθεσης της μεθανόλης. Συχνά περιέχει τόσες ενώσεις όπως το άζωτο, το θείο, στάκτη, οξυγόνο και νερό. Προτού το κάρβουνο αεριοποιηθεί, πρέπει πρώτα να στεγνώσει. Η παραγωγή της μεθανόλης από κάρβουνο περιλαμβάνει διάφορα βήματα, τα οποία είναι αεριοποίηση του κάρβουνου, απομάκρυνση του όξινου αερίου, αντίδραση WGS, σύνθεση μεθανόλης και διύλιση μεθανόλης.

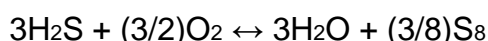
Το πρώτο βήμα της παραγωγής της μεθανόλης είναι η αεριοποίηση του κάρβουνου σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και νερό (H_2O). Η συνολική αντίδραση είναι:



όπου x και y να εξαρτώνται από την πραγματική σύνθεση του άνθρακα. Το κύριο υποπροϊόν της αεριοποίησης του άνθρακα είναι το όξινο αέριο, που προκύπτει από υδροθείο (H_2S) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το H_2S πρέπει να απομακρυνθεί από το αέριο σύνθεσης.

Η ανάκτηση του θείου μπορεί να εφαρμοστεί με μια μέθοδο γνωστή ως μέθοδος Claus. Τα παραγόμενα προϊόντα είναι είτε υγρά είτε στερεά του στοιχείου θείου, ή θειικό οξύ. Μια τροποποιημένη μέθοδος Claus περιλαμβάνει 2 στάδια. Το πρώτο περιλαμβάνει την καύση του 1/3 του συνολικού H_2S για το σχηματισμό διοξειδίου του θείου (SO_2) και νερού. Το δεύτερο είναι ένα χαμηλής θερμοκρασίας καταλυτικό στάδιο που περιλαμβάνει την αντίδραση του SO_2 με το εναπομείναν H_2S για να αποφέρει τελικά νερό και στοιχειακό θείο. Η αντίδραση έχει ως εξής:





Τα ακόλουθα βήματα της αντίδρασης WGS συνήθως αξιοποιούν μια υψηλής θερμοκρασίας αντίδραση αλλαγής με καταλύτη Fe_3O_4 . Ο σκοπός της αντίδρασης αυτής είναι να ρυθμίσει την αναλογία του υδρογόνου (H_2) στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σε 2:1. Προκειμένου να συνθέσουμε τη μεθανόλη, το συνθετικό αέριο πρέπει να έχει 2 μέρη H_2 και ένα μέρος CO . Η

αντίδραση WGS επιτρέπει τη σύνθεση του αερίου αυτού στο επιθυμητό ποσοστό. Στο τελευταίο βήμα, το CO και το H₂, παράγουν μεθανόλη από την αντίδραση σύνθεσης μεθανόλης. Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος καταλύτης είναι ένα μίγμα από χαλκό, οξειδίο του ψευδαργύρου, και αλουμίνιο και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να καταλύσουμε την παραγωγή της μεθανόλης με καλύτερη εκλεκτικότητα. Οι αντιδράσεις μεθανόλης και WGS έχουν παρουσιαστεί προηγουμένως.

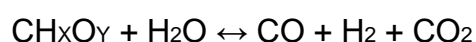
3.3.2 Παραγωγή μεθανόλης από ανανεώσιμες πηγές

Η βιομάζα είναι μοναδική στο να παρέχει την μοναδική ανανεώσιμη πηγή δεσμευμένου άνθρακα, που είναι ένα ουσιώδες συστατικό που συναντάμε σε πολλά απ' τα καύσιμά μας. Η βιομάζα αποτελεί οργανική ύλη, όπως το αστικά απόβλητα ξύλου, τα πρωτογενή υπολείμματα μύλων, τα δασικά υπολείμματα, τα γεωργικά υπολείμματα και διάφορα ενεργειακά απόβλητα(π.χ. ζαχαροκάλαμα, ζαχαρότευτλα) που μπορούν να γίνουν καύσιμο. Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης με μια μέθοδο που ονομάζεται μερική οξειδωση κι αργότερα μετατρέπεται σε μεθανόλη.

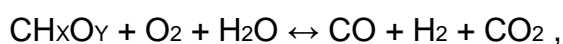
Ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό μεθανόλης παράγεται από φυσικό αέριο και άνθρακα, οι τεχνολογίες για την παραγωγή μεθανόλης από ανανεώσιμες πρώτες ύλες βρίσκονται ήδη σε εμπορική χρήση, με τις τιμές τους να προσεγγίζουν της συμβατικής παραγωγής πρώτων υλών. Για περισσότερα από 350 χρόνια, οι επιστήμονες μετατρέπουν το ξύλο σε μεθανόλη. Ιστορικά πάντως, τα χαμηλά ποσοστά απόδοσης από εκχυλίσσεις αλκοολούχου ξύλου μετέτρεψαν την εξαγωγή μεθανόλης οικονομικά μη-ρεαλιστική. Αλλά η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει στους δασολόγους να μετατρέψουν τα απόβλητα της ξυλείας σε μεθανόλη σε ποσοστά πάνω του 50%. Η μεθανόλη είναι επίσης ένα πιο αποδοτικό προϊόν για παραγωγή, γιατί οι περισσότερες από τις χημικές ενώσεις που βρίσκονται στο ξύλο μπορούν να μετατραπούν. Ένας τόνος ξηρού ξύλου μπορεί να παράγει περισσότερα από 186 γαλόνια μεθανόλης, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό απόδοσης περίπου 50%. Ενώ η μεθανόλη μπορεί επίσης να παραχθεί από φυσικό αέριο, χρησιμοποιώντας ξύλο σαν πηγή μεθανόλης αποδεικνύεται πιο οικονομικά βιώσιμο από τη χρήση του φυσικού αερίου. Η εναλλακτική βιομάζα μετατρέπεται τη μεθανόλη σε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με την παρακάτω απλοποιημένη αντίδραση:



Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης με μια μέθοδο που ονομάζεται μερική οξειδωση και που αργότερα μετατρέπεται σε μεθανόλη. Στο πρώτο βήμα η βιομάζα υφίσταται αεριοποίηση για να παραχθεί αέριο σύνθεσης. Η πηγή άνθρακα αντιδρά με ατμό (ή με υδρατμό) σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και παράγει CO και H₂ στην αεριοποίηση, κάτι το οποίο συνοψίζεται στην παρακάτω εξίσωση:



Η αντίδραση μπορεί επίσης να εκτελεστεί και ως εξής:



όπου το οξυγόνο (O₂) καίει κάποιο ποσοστό της βιομάζας για να προμηθεύσει θερμότητα για την αντίδραση. Η επόμενη εξίσωση δείχνει ότι το αέριο σύνθεσης έπειτα αντιδρά με την παρουσία καταλύτη για να αποδώσει CH₃OH από αντίδραση σύνθεσης μεθανόλης που παρουσιάστηκε προηγουμένως:



3.4 Τα οικονομικά της μεθανόλης

Από την εμπορική της εφαρμογή το 1923, η σύνθεση μεθανόλης έχει υποστεί αρκετές βελτιώσεις. Αυτές κυρίως καθοδηγούνται από την μείωση του κόστους επένδυσης που κυριαρχούν στο παραγωγικό κόστος της μεθανόλης. Στις αρχές της δεκαετίας του '80, η μεθανόλη σταδιακά αναδείχθηκε σαν πρωτοπόρος στις μελέτες που επικεντρώνονταν στους αντικαταστάτες των ορυκτών καυσίμων και θεωρούνταν ευρέως ως μια από τις πιθανότερες λύσεις στον ενεργειακό τομέα. Οι ικανότητες της παραγόμενης μεθανόλης ανά τον κόσμο αυξήθηκαν από 18 εκατομμύρια τόνους το χρόνο το 1985 σε 25 εκατομμύρια τόνους το χρόνο το 1990. Από τις αρχές της δεκαετίας του '80, οι λιγότερο αποδοτικές μικρές εγκαταστάσεις αντικαθίστανται από μεγαλύτερες μονάδες χρησιμοποιώντας νέες αποδοτικές τεχνολογίες χαμηλής πίεσης. Η βιομηχανία έχει επίσης μετακινηθεί από το να προμηθεύει δέσμιους πελάτες, κυρίως για την παραγωγή φορμαλδεΐδης (CH₂O) που τυπικά αποτελεί το μισό των παγκοσμίων απαιτήσεων και εξυπηρετεί τις σπιτικές ανάγκες, σε μεγάλους παγκόσμιους προσανατολισμένους συνεταιρισμούς. Οι δομές της ζήτησης έχουν επίσης αλλάξει στην Ευρώπη όπου η μεθανόλη κάποτε αναμιγνύονταν σε βενζίνη όταν η τιμή της ήταν περίπου το μισό αυτής της βενζίνης. Συμψηφίζοντας αυτή ήταν η σταδιακή κατάργηση της μολυβδούχου βενζίνης στην αναπτυσσόμενες χώρες που απαιτούσε τη χρήση μιας αναδιατυπωμένης βενζίνης, όπως στις Ηνωμένες Πολιτείες, που προωθούσε τη χρήση MTBE παραγόμενου από μεθανόλη.

Η παγκόσμια αγορά μεθανόλης έχει αντιμετωπίσει σημαντικές διαρθρωτικές αλλαγές από τη δεκαετία του 1990. Η παγκόσμια ανάγκη για μεθανόλη συνέχισε να αυξάνει σύμφωνα με την αυξανόμενη βιομηχανική παραγωγή των χημικών εμπορευμάτων και την διαδεδομένη χρήση του MTBE σαν πρόσθετο βενζίνης. Κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1990 όμως, οι προοπτικές πρόγνωσης αγοράς άρχισαν να βλέπουν τις μακροπρόθεσμες προοπτικές στην σημαντική αγορά της μεθανόλης σαν αυξανόμενη αβεβαιότητα. Η παγκόσμια ζήτηση σε μεθανόλη αυξήθηκε περίπου 8% το χρόνο από το 1991 έως το 1995, μετά 3 – 4% το χρόνο μέσα στην επόμενη 10 –χρονη περίοδο από το 1995. Οι ικανότητες παραγωγής μεθανόλης που εγκαταστάθηκαν παντού στον κόσμο αυξήθηκαν από 25 εκατομμύρια τόνους το χρόνο το 1990 σε 33.5 εκατομμύρια τόνους το χρόνο το 1997. Η βιομηχανία έχει εξελιχθεί από ένα σχετικά μεγάλο αριθμό μεμονωμένων παραγωγών σε ένα γκρουπ με πολύ περισσότερους, εξελιγμένους διεθνώς διανομείς και εμπόρους. Αυτή η διαρθρωτική αλλαγή έχει δει την εμφάνιση τόσων ηγετών αγοράς όπως η Methanex και η SABIC και την ενοποίηση της παραγωγής στις κυριότερες κομβικά χώρες όπως η Χιλή, το Τρινιντάντ, η Σαουδική Αραβία και η Νέα Ζηλανδία.

Η παγκόσμια ζήτηση μεθανόλης έφτασε τους 31 εκατομμύρια τόνους το 2000, έχοντας αυξηθεί κατά ένα μέσο όρο 6% στη δεκαετία το 1990. Η παγκόσμια ικανότητα ανάπτυξης της μεθανόλης έχει περισσότερο συμβαδίσει με την παγκόσμια ζήτηση μεθανόλης μετά το 1990. Το έτος 2000 η παγκόσμια παραγωγή μεθανόλης ήταν περίπου 40 εκατομμύρια τόνοι το χρόνο ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες και τη δυτική Ευρώπη ήταν 6.6 και 4.1 εκατομμύρια τόνοι, αντίστοιχα. Η αύξηση της χωρητικότητας επικεντρώθηκε στην παραγωγή μεθανόλης σε περιοχές με πρόσβαση στο χαμηλό κόστος ή λανθάνοντος αερίου. Κατά την περίοδο 1995-2000, περισσότεροι από 5 εκατομμύρια τόνοι νέας χωρητικότητας μεθανόλης προστέθηκαν στη Χιλή, το Τρινιδάντ και τη Σαουδική Αραβία. Σημαντικές επεκτάσεις επίσης εμφανίστηκαν στις χώρες της Νορβηγίας, Νέας Ζηλανδίας και Βενεζουέλας κατά την ίδια περίοδο. Το 2005, η παγκόσμια ζήτηση σε μεθανόλη υπολογίστηκε σε περίπου 32 εκατομμύρια τόνους το χρόνο ενώ ήταν 29.4 εκατομμύρια τόνους το 2001. Το 2006, η παγκόσμια χωρητικότητα παραγωγής μεθανόλης ήταν πάνω από 46 εκατομμύρια τόνους. Κι σχεδόν 35 εκατομμύρια τόνοι καταναλώνονται κάθε χρόνο. Μια αναλυτική ανάλυση της αγοράς μεθανόλης εκδίδεται κάθε χρόνο από την Chemical Market Associates, Inc. (CMAI). Η αναφορά προβλέπει πληροφορίες για την προμήθεια, τη ζήτηση, την παραγωγή την ιστορία και την πρόβλεψη για την χωρητικότητα της μεθανόλης, το εμπόριο και την τιμή της.

Οι σύμβουλοι της CMAI εκτιμούν ότι η βιομηχανία μεθανόλης παραπάτησε το 2008 παρ' όλα αυτά χρόνο με το χρόνο έχει παρατηρηθεί μια ανάπτυξη στα τελευταία χρόνια. Οι υψηλές τιμές του αργού πετρελαίου είχαν καταστροφικά αποτελέσματα στη στεγαστική αγορά παγκοσμίως και μια εμφανή πτώση στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας είχε επηρεάσει αρνητικά το έτος 2008 την ζήτηση μεθανόλης. Η όρεξη της Κίνας για μεθανόλη, συν την ανάμειξη της μεθανόλης σε βενζίνη και DME θα συνεχίσουν να τρέφουν την ανάπτυξη της μεθανόλης. Η ζήτηση το 2009, το 2010 και πέρα κατά πάσα πιθανότητα θα είναι διψήφια λόγω της μεγαλύτερης ανάμειξης της βενζίνης, της ζήτησης DME και της 'μεθανόλης σε ολεφίνη' και της 'μεθανόλης σε προπυλένιο' απαιτούμενες ως πρώτη ύλη.

Το διάγραμμα μας δείχνει τις εξελίξεις των τιμών της μεθανόλης σε ευρώ/ μετρικούς τόνους απ' τις αρχές του 2000. Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων ετών, η τιμή της μεθανόλης μας έχει δείξει ένα μοναδικό σχέδιο. Οι τιμές των περισσότερων χημικών πρώτων υλών εκτινάχθηκαν στα ύψη όπως και οι τιμές του αργού πετρελαίου, ενώ η τιμή της μεθανόλης διακυμαινόταν μεταξύ 167 και 869 US \$/ton στην αμερικάνικη αγορά. Επί του παρόντος, η τιμή της βρίσκεται κάπου ανάμεσα αυτής της μέτρησης, χωρίς να εμφανίζει ανοδικές τάσεις. Η τιμή της μεθανόλης έχει ιδιαίτερη σημασία στην αναζήτηση της προόδου και των πρώτων υλών σαν εναλλακτική πηγή λύση στην κλασική χημεία των πετρελαιοειδών.

Η μεθανόλη είναι από τα βασικά χημικά που έχουν μια ποικιλία παραγώγων, και κυρίως χρησιμοποιούνται σαν ακατέργαστη ύλη στο CH_2O , στο οξικό οξύ (CH_3COOH), και ούτω καθ' εξής. Η κατανομή των χρήσεων της μεθανόλης φαίνεται στο κυκλικό διάγραμμα. Επίσης αναμένεται ότι η ζήτηση μεθανόλης θα αυξηθεί έχοντας πιθανές εφαρμογές όπως το βιοντίζελ και το DME στο μέλλον. Η μεθανόλη ήδη παίζει ένα ρόλο κλειδί σε πολλές εφαρμογές. Από κυψέλες καυσίμου σε χημικά αλλά και σε μερικούς

συγγραφείς όπως ο νομπελίστας G. Olah, βλέποντας ένα μέλλον οικονομικά βασισμένο στη μεθανόλη σαν πιο πιθανό.



Εικόνα 3.1 : Χρήσεις της μεθανόλης

3.5 Ασφαλείς πτυχές της μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι ένα καθαρό, άχρωμο και πτητικό υγρό με μια αμυδρά αλκοολική οσμή, άρα είναι δύσκολο να ανιχνευτεί σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες των 10 ppm. Η μεθανόλη είναι η πιο απλή από τις αλκοόλες, έχοντας μόνο ένα άτομο άνθρακα και είναι εντελώς αναμίξιμη με το νερό. Διαλύεται εύκολα σε άλλες αλκοόλες και σε χλωριούχους υδρογονάνθρακες, αλλά έχει περιορισμένη διαλυτότητα στο πετρέλαιο κίνησης, το φυτικό λάδι και σε αλειφατικούς υδρογονάνθρακες. Οι ιδιότητες της μεθανόλης συγκρίνονται με αυτές της συμβατικής βενζίνης στον πίνακα 4.1. Αρκετές ανησυχίες για την ασφάλεια σχετικά με τη χρήση της μεθανόλης σαν πηγή καυσίμου έχουν προσδιοριστεί με βάση τις χημικές και φυσικές ιδιότητες της που απαιτούνται για την εκτενή χρήση του καυσίμου της μεθανόλης.

Η μεθανόλη είναι ένα εύφλεκτο υγρό οπότε εμφανίζει κίνδυνο φωτιάς. Η αγνή μεθανόλη αναφλέγεται πιο δύσκολα από τη βενζίνη και καίει 60% πιο αργά. Η φλόγα της μεθανόλης μόλις που φαίνεται στο φως του ήλιου, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις η φωτιά της είναι ορατή. Το M85 παράγει μια φλόγα αρκετά ορατή υπό κανονικές συνθήκες φωτός. Η μεθανόλη επίσης καίγεται με λίγη ή καθόλου παρουσία καπνού και το M85 παράγει χαμηλά επίπεδα καπνού. Αυτό το αποτέλεσμα αποτελεί σημαντική δικλειδα ασφαλείας, εφόσον μειώνει το ρίσκο ατυχημάτων εισπνοής καπνού κι επιτρέπει αυξημένη ορατότητα γύρω απ' τη φωτιά όταν συγκρίνεται με συμβατικά καύσιμα. Η μεθανόλη καίει ψυχρότερα, απελευθερώνοντας ενέργεια ίση με το ένα πέμπτο (1/5) του ρυθμού της φλεγόμενης βενζίνης. Η αξιολόγηση της επικινδυνότητας στη χρήση της μεθανόλης θα οδηγούσε σε πολύ χαμηλότερη συχνότητα πυρκαγιών που αφορούν τα αυτοκίνητα και σε λιγότερο κίνδυνο τους ανθρώπους και τις περιουσίες σε περίπτωση πυρκαγιάς όταν συγκρίνεται με τις φωτιές λόγω βενζίνης. Η βάση για αυτές τις διαπιστώσεις είναι ότι η μεθανόλη έχει ιδιότητες καυσίμου που καθιστούν πιο δύσκολη την ανάφλεξη από τη βενζίνη και, όταν αναφλέγεται, η μεθανόλη καίγεται με πιο ελεγχόμενο τρόπο με λιγότερη θερμότητα και παραγωγή καπνού απ' ότι τα συμβατικά καύσιμα. Ο ατμός της μεθανόλης μπορεί να σχηματίσει ένα εύφλεκτο μίγμα με αέρα μέσα σε μια κλειστή δεξαμενή καυσίμων. Απλές τροποποιήσεις στις δεξαμενές καυσίμου ή προσθήκη μιας πτητικής ουσίας εξαλείφουν την πιθανότητα κινδύνου.

Οι περισσότερες αξιολογήσεις των πιθανών περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων εξ αιτίας της αποδέσμευσης της μεθανόλης έχουν εστιάσει πρωτίστως στη μοίρα της μεθανόλης και στο πως θα παρακαμφθούν τυχόν παρεπόμενες επιπτώσεις. Οι κύριες φυσικές και χημικές ιδιότητες της μεθανόλης που θα επηρεάσουν τη μοίρα της, τη μεταφορά της και την επιμονή της στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, είναι η αναμιξιμότητά της, η συγγένεια με άλλα υλικά και η βιοαποικοδόμησή της.

Η μεθανόλη μπορεί να απελευθερωθεί στο περιβάλλον σε σημαντικά ποσά κατά την παραγωγή της, την αποθήκευση, την μεταφορά και τη χρήση της. Επίσης συναντάται φυσικά στο περιβάλλον και είναι βιοαποικοδομητική σε υγρές συνθήκες. Όπως και στην περίπτωση της βενζίνης και των πετρελαιοειδών καυσίμων, ο ακατάλληλος χειρισμός και αποθήκευση της μεθανόλης – ιδιαίτερα από διαρροές υπόγειων αποθηκευτικών δεξαμενών- έχει τη δυνατότητα να μολύνει τα υπόγεια ύδατα.

Ένας αυξημένος αριθμός ανθρώπων ενδέχεται να εκτεθεί στην περιβαλλοντική μεθανόλη σαν αποτέλεσμα της προβλεπόμενης διευρυμένης χρήσης της μεθανόλης στα αναμιγμένα με μεθανόλη καύσιμα. Η έκθεση ανακύπτει κυρίως από τις εξατμίσεις, τις αναθυμιάσεις και της κανονικής θέρμανσης του κινητήρα. Τα μοντέλα προσομοίωσης βασιζόμενα 100% σε όλα τα οχήματα που κινούνται με καύσιμα βασισμένα στη μεθανόλη προβλέπουν συγκέντρωση μεθανόλης στις αστικές οδούς, στους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, στις σιδηροδρομικές σήραγγες ή στα παρκινγκ που κυμαίνονται από χαμηλότερη τιμή 1 mg/m^3 (0.77 ppm) έως μέγιστη 60 mg/m^3 (46 ppm).

Πίνακας 3.1 : Ιδιότητες της μεθανόλης και της βενζίνης

Χαρακτηριστικά	Μεθανόλη	Βενζίνη
Μοριακό βάρος (g/mol)	32.04	≈ 100
Χημική σύσταση κατά βάρος		
% οξυγόνο	50%	Μίξη από C4 έως C14 υδρογονανθράκων
% άνθρακας	37.5%	-
% υδρογόνο	12.5%	-
Ειδικό βάρος (15.5°C)	0.79	0.72 – 0.78
Σημείο βρασμού (°C)	64.7	27 - 225
Διαλυτότητα στο νερό (mg/L)	αναμίξιμο	100 - 200
Πίεση ατμών (mm Hg @ 25°C)	126	-
(psi) @ 100°F	4.63	7 - 15
Θερμότητα καύσης (kj/kg)	19,930	43,030
Νόμος του Henry (atm m ³ g-1 mole ⁻¹)	4.55×10^{-6}	-
Νόμος του Henry (25°C)	1.087×10^{-4}	-
Διασπορά συντελεστή υγρού (m ² /sec) 25°C	1.65×10^{-9}	-
Κατιόντα (LFL)	6.0	1.4
Θερμοκρασία της εκατό του όγκου (°C)	7	-43
Της εκατό του όγκου	36.5	7.6
Θερμοκρασία (°C)	43	-30 έως -12
Σημείο ανάφλεξης (°C)	12	-43
Πυκνότητα ατμών (1atm ; 10°C)	1.4	2 έως 5

Οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις κατά των ανεφοδιασμό των οχημάτων κυμαίνονται από 30 έως 50 mg/m³ (23 – 38.5 ppm). Για λόγους σύγκρισης και αναφοράς, το τρέχον όριο επαγγελματικής έκθεσης για την μεθανόλη σε διάφορες χώρες είναι 260 mg/m³ (200 ppm) για μια μέρα οκτάωρης εργασίας. Υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα για τη έκθεση του δέρματος του ανθρώπου σε μεθανόλη, αλλά η δυνατότητα να διευρυνθεί η χρήση της μεθανόλης των καυσίμων κίνησης θα αυξήσει το ενδεχόμενο της δερματικής έκθεσης σε ένα μεγάλο αριθμό ανθρώπων.

Η τοξικότητα της μεθανόλης είναι γνωστή. Η κατάποση σχετικά μικρών ποσών θα οδηγήσει σε τύφλωση και ελαφρώς μεγαλύτερα ποσά, στο θάνατο. Ενώ οι μεμονωμένες απαντήσεις για τη μεθανόλη ποικίλουν ευρέως, μια αναφορά ισχυρίζεται ότι η κατάποση μόλις 300 – 1000 mg/kg (0.85 – 2.85 ούγιες για 150 λίρες) μπορούν να προκαλέσουν θάνατο. Η μεθανόλη απορροφάται εύκολα και ραγδαία από όλους τους τρόπους έκθεσης και διανέμεται γρήγορα σε όλο το σώμα. Οι άνθρωποι απορροφούν το 60 – 85% της εισπνεόμενης μεθανόλης. Ένα μικρό ποσοστό εκκρίνεται από τους πνεύμονες και τα νεφρά χωρίς να μεταβολίζεται. Ο ρυθμός μεταβολισμού της μεθανόλης από τον ανθρώπινο οργανισμό είναι 25 mg/kg την ώρα, που σημαίνει επτά φορές πιο αργή από την αιθανόλη και είναι ανεξάρτητη των συγκεντρώσεων στο αίμα. Οι άνθρωποι μεταβολίζουν τη μεθανόλη σε CH₂O αρχικά. Το CH₂O στη συνέχεια μετατρέπεται σε μυρμηκικό οξύ (CH₂O₂), το οποίο μπορεί να είναι τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις, και τελικά σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και νερό (H₂O). Ο χρόνος της ημισείας ζωής της αποβολής μεθανόλης στον εκπνεόμενο αέρα μετά από του στόματος ή δερματική έκθεση είναι 1.5 ώρες. Λόγω τα περιορισμένης ικανότητας των ανθρώπων στον μεταβολισμό του CH₂O₂ σε CO₂, οι άνθρωποι συσσωρεύουν το CH₂O₂ στο σώμα τους ύστερα από υψηλής δόσης έκθεση στη μεθανόλη. Αν η γενιά του CH₂O₂ συνεχίσει με ρυθμό που υπερβαίνει το ρυθμό του μεταβολισμού του, τότε τίθεται η τοξικότητα της μεθανόλης. Υποβόσκοντα επίπεδα μεθανόλης στο ανθρώπινο σώμα δεν θα έχουν σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση CH₂O₂ ή αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Έρευνες έχουν δείξει ότι βραχυπρόθεσμη έκθεση μέσω της εισπνοής σε 200 ppm μεθανόλης έχει σαν αποτέλεσμα συγκεντρώσεις μεθανόλης στο αίμα μικρότερες των 10 mg/l και δεν παρατηρείται αύξηση του CH₂O₂ στη συγκέντρωση του αίματος.

Εφόσον η μεθανόλη εμφανίζεται σε αέρια φάση στην ατμόσφαιρα, αντιδρά φωτοχημικά με τις παραγόμενες ρίζες υδροξυλίου για την παραγωγή CH₂O. Η μεθανόλη μπορεί επίσης να αντιδράσει με NO_x σε μολυσμένο αέρα για το σχηματισμό νιτρώδους μεθυλίου. Ημιζωές των 7 – 18 ημερών έχουν αναφερθεί για την ατμοσφαιρική αντίδραση της μεθανόλης με τις ρίζες υδροξυλίου. Η βιοαποικοδόμηση είναι η κύρια δίοδος της απομάκρυνσης της μεθανόλης από τα εδάφη. Διάφορα είδη του μεθυλοβακτηριδίου που απομονώνονται από το έδαφος είναι ικανά να χρησιμοποιήσουν τη μεθανόλη σαν μοναδική πηγή άνθρακα. Σε μια ευρείας κλίμακας ποικιλία των στοιχείων του περιβάλλοντος, η μεθανόλη είναι εύκολα βιοαποικοδομήσιμη υπό

αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. Διαλύεται γρήγορα σε χαμηλές συγκεντρώσεις που απεκκρίνονται πολύ πιο γρήγορα από τα φυσικά βακτηρίδια της βενζίνης, όταν εκτίθεται στον αέρα αλλά και όταν ο αέρας είναι περιορισμένος όπως συμβαίνει κάτω από το έδαφος. Η χρήση των δεξαμενών διπλού τοιχώματος συγκράτησης και οι οθόνες ανίχνευσης διαρροών μειώνουν σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα διαρροής της μεθανόλης. Επίσης η περισσότερη μεθανόλη αφαιρείται από το νερό μέσω βιοαποικοδόμησης. Τα προϊόντα της βιοαποικοδόμησης CH_4 και CO_2 ανιχνεύθηκαν από τις υδάτινες καλλιέργειες των μικτών βακτηριδίων που απομονώνονται από τα απόβλητα της λάσπης. Τα αερόβια βακτήρια που απομονώνονται από το θαλασσινό νερό, την άμμο, τη λάσπη και από ζιζάνια θαλάσσιας προέλευσης χρησιμοποιούν τη μεθανόλη ως τη μοναδική πηγή άνθρακα. Η υδρόβια υδρόλυση, οξειδωση και φωτόλυση δεν είναι σημαντικές διαδικασίες όσον αφορά τη μοίρα της μεθανόλης.

3.6 Οι ιδιότητες της μεθανόλης

Προκειμένου να κατανοήσουμε την καύση και τις εκπομπές μιας μηχανής diesel, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τις βασικές ιδιότητες του καυσίμου που χρησιμοποιείται στη μηχανή αυτή. Συνεπώς, μερικές φυσικοχημικές ιδιότητες του καυσίμου της μεθανόλης και του πετρελαίου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μεθανόλη θεωρείται ένα από τα πιο ευνοϊκά καύσιμα για μηχανές και έχει μελετηθεί σε εφαρμογή ανάφλεξης του κινητήρα. Παρ' όλα αυτά είναι δυσκολότερο να εφοδιάσουμε τις πετρελαιομηχανές με μεθανόλη λόγω του πολύ μικρού αριθμού κετανίων, της μεγάλης θερμότητας εξάτμισης και κάποιων άλλων φυσικοχημικών ιδιοτήτων.

Η μεθανόλη (CH_3OH) είναι μια απλή ένωση. Δεν περιέχει θείο ή κάποιο άλλο σύμπλεγμα οργανικών ενώσεων. Ωστόσο, το καύσιμο του πετρελαίου είναι ένα σύμπλεγμα από ένα μεγάλο αριθμό υδρογονανθράκων (όπως οι υδρογονάνθρακες $\text{C}_3 - \text{C}_{25}$). Γι' αυτό το λόγο, οι ιδιότητες του καυσίμου αυτού μπορούν να αλλάξουν εξαρτώμενες από την αναλογία των υδρογονανθρακικών τύπων που χρησιμοποιούνται στο μίγμα καυσίμου. Η μεθανόλη περιέχει ένα άτομο οξυγόνου οπότε γίνεται αποδεκτή ως μερικά οξειδωμένος υδρογονάνθρακας. Έχει χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με το πετρέλαιο. Συνεπώς, χρειάζεται περισσότερο καύσιμο για να λάβει το ίδιο ποσότητα ενέργειας με αυτή μιας πετρελαιοκίνητης μηχανής. Η χαμηλή της στοιχειομετρική αναλογία αέρα – καυσίμου, η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο και η υψηλή αναλογία H/C ίσως είναι επωφελής για τη βελτίωση της καύσης και τη μείωση του καπνού.

Η μεθανόλη έχει υψηλότερη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης απ' ότι το πετρέλαιο έτσι εξαγει περισσότερη θερμότητα ενώ εξατμίζεται. Ως εκ τούτου, μπορεί να έχει επίδραση ψύξης στη φροντίδα του κυλίνδρου. Απ' τη στιγμή που η μεθανόλη έχει πολύ χαμηλό ιξώδες σε σύγκριση με το πετρέλαιο, μπορεί εύκολα να εμβάλλει, να κορνιοτιστοποιηθεί και να αναμιχθεί με τον αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο. Η μεθανόλη έχει κακή συμπεριφορά ανάφλεξης λόγω του χαμηλού αριθμού κετανίων της, της υψηλής λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης και υψηλής θερμοκρασίας ανάφλεξης. Ωστόσο, μπορεί

να προκαλέσει μια αύξηση στην καθυστέρηση ανάφλεξης. Εκ τούτου, ένα βελτιωτικό ανάφλεξης, όπως ο διαιθυλαιθέρας, μπορεί να προστεθεί στο μίγμα καυσίμου για την αντιστάθμιση του αριθμού κετανίων.

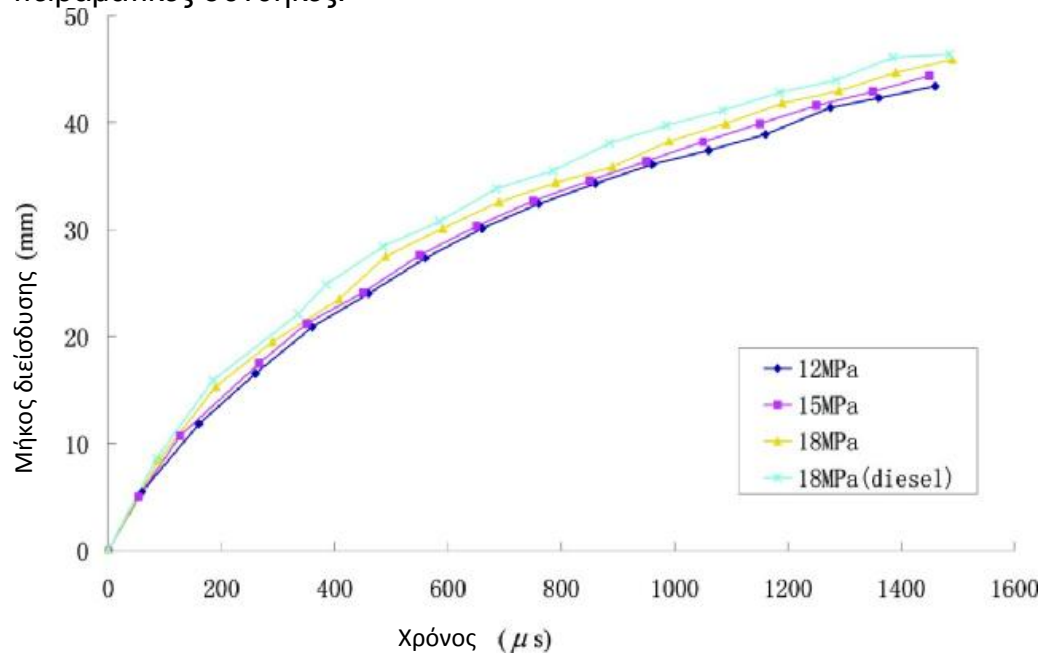
Πίνακας 3.2: Ιδιότητες της μεθανόλης και του πετρελαίου diesel

<u>Ιδιότητες</u>	<u>Μεθανόλη</u>	<u>Πετρέλαιο diesel</u>
Χημικός τύπος	CH ₃ OH	C ₁₄ H ₂₈
Μοριακό βάρος (g)	32	196
Θερμ/σία βρασμού (°C)	64,7	190-280
Πυκνότητα (gm/cm ³ , 20°C)	0,79	0,84
Σημείο ανάφλεξης (°C)	11	78
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης (°C)	316	464
Χαμηλότερη τιμή θέρμανσης (Mj/kg)	20,27	42,74
Αριθμός κετανίων	4	56,5
Αριθμός οκτανίων	110	-
Αναλογία C/H	0,25	0.50
Ιξώδες (mm ² /s , 25°C)	0.59	3,35
Περιεχόμενο σε άνθρακα (wt%)	37,5	86
Περιεχόμενο σε υδρογόνο (wt%)	12,5	14
Περιεχόμενο σε οξυγόνο (wt%)	50	0
Περιεχόμενο σε θείο (wt%)	0	<50
Στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου	6,66	14,28
Θερμότητα εξάτμισης (Mj/kg)	1,11	0,27
Θερμοκρασία φλόγας	1890	2054

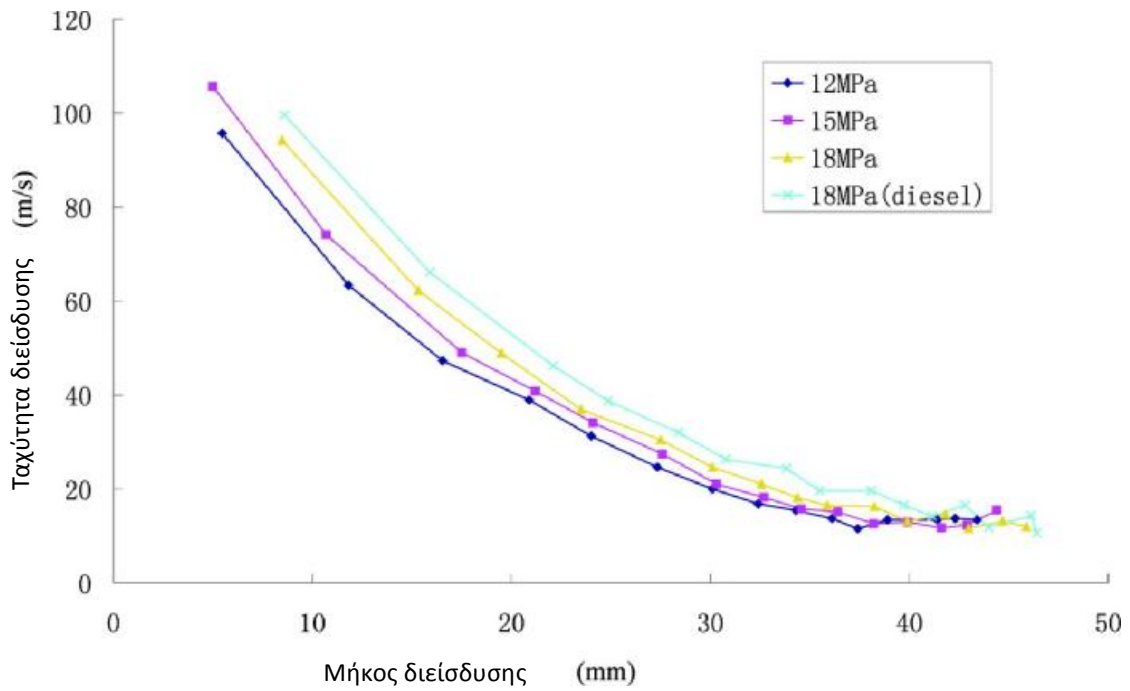
Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης της μεθανόλης είναι υψηλότερη απ' αυτή του πετρελαίου κάτι που την κάνει ασφαλέστερη για μεταφορά και αποθήκευση. Απ' την άλλη μεριά, η μεθανόλη έχει πολύ χαμηλό σημείο ανάφλεξης απ' ότι το πετρέλαιο diesel, κάτι που αποτελεί μειονέκτημα για την ασφάλεια της. Την ίδια στιγμή όμως θα μπορούσαμε να προσθέσουμε κάποιο βελτιωτικό για τη βελτίωση της λίπανσής της. Λόγω της χαμηλής διαλυτότητας της μεθανόλης στο πετρέλαιο, ένας διαλύτης όπως το ελαϊκό οξύ και η ισοβουτανόλη προστίθενται στα μίγματα μεθανόλης -πετρελαίου. Σε ορισμένες μελέτες, χρησιμοποιήθηκε αναμικτήρας για την αποφυγή διαχωρισμού φάσης. Ένα άλλο μειονέκτημα της μεθανόλης είναι η διαβρωτικότητά της που είναι περισσότερη από του πετρελαίου σε χαλκό, ορείχαλκο, αλουμίνιο, καουτσούκ και πολλών πλαστικών. Αυτά θέτουν κάποιους περιορισμούς στο σχεδιασμό και την κατασκευή των μηχανών που χρησιμοποιούν αυτό το καύσιμο.

Για της μηχανές diesel, τα χαρακτηριστικά της καύσης και της εκπομπής επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά ψεκασμού του καυσίμου, τη γεωμετρία του ακροφυσίου, την πίεση ψεκασμού κλπ. Ωστόσο οι Yanfeng, Shengua και Yu (2007), ανακάλυψαν τα αποτελέσματα του ανοίγματος της πίεσης, της ατμοσφαιρικής πυκνότητας, της διαμέτρου του ακροφυσίου με το μήκος διεύθυνσης και την γωνία κώνου των ψεκασμών της μεθανόλης. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Βρήκαν ότι το μήκος διεύθυνσης ψεκασμού μεθανόλης αυξάνεται με την

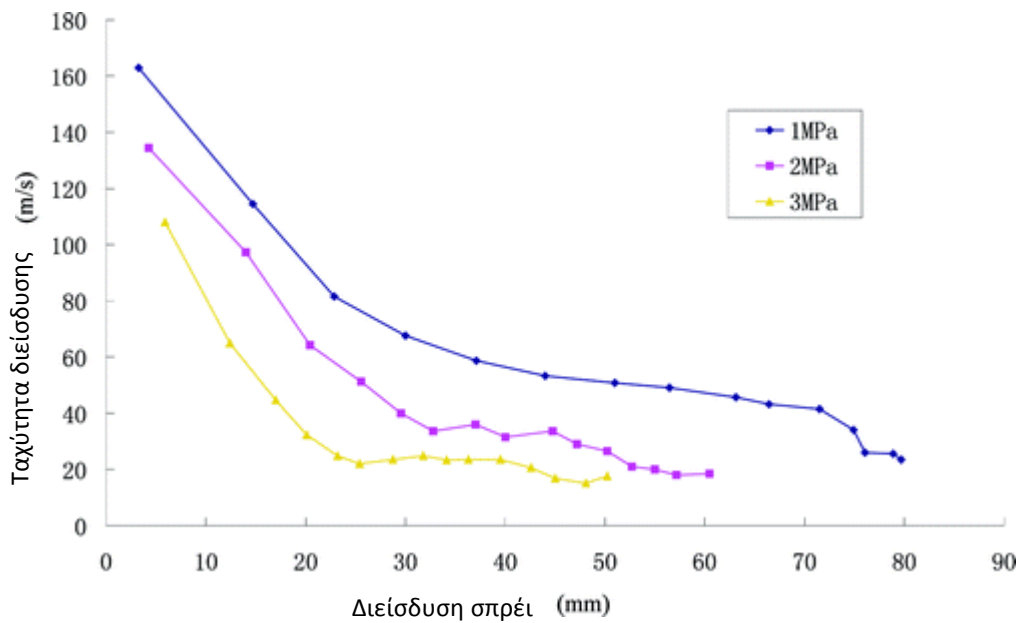
αύξηση της πίεσης του ανοίγματος. Η διείσδυση με ψεκασμό της μεθανόλης ή ταχύτητα άκρων μειώνονται γρήγορα με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πυκνότητας. Αντιθέτως αυξάνονται με την αύξηση της διαμέτρου του ακροφυσίου. Μεταξύ 12 και 18 MPa, η πίεση ανοίγματος έχει μικρή επίδραση στη γωνία ψεκασμού και η γωνία παραμένει σχεδόν σταθερή καθόλη τη διάρκεια της έγχυσης. Η γωνία ψεκασμού του κώνου αυξάνεται με την αύξηση της ατμοσφαιρικής πυκνότητας ή τη διάμετρο του ακροφυσίου. Σε σύγκριση με το καύσιμο του πετρελαίου, βρήκαν ότι η διείσδυση της μεθανόλης είναι συντομότερη και η γωνία κώνου είναι μεγαλύτερη κάτω από τις ίδιες πειραματικές συνθήκες.



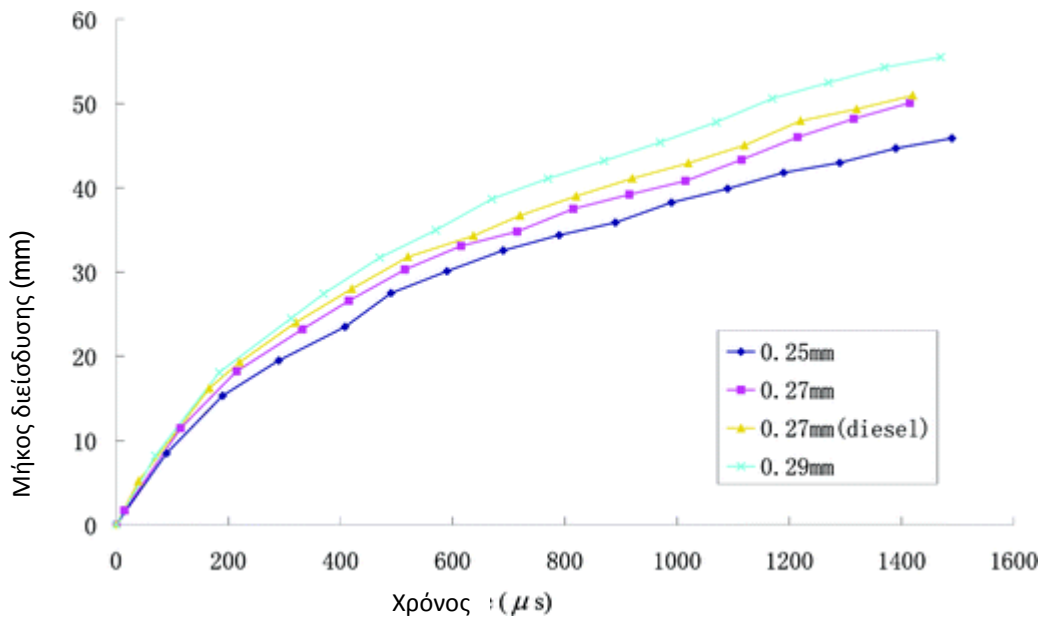
Εικόνα 3.2 : Επίδραση της περιβάλλουσας πυκνότητα στην διείσδυση με σπρέι



Εικόνα 3.3 : Επίδραση στην πίεση ανοίγματος προς την ταχύτητα ψεκασμού



Εικόνα 3.4 : Επίδραση της περιβάλλουσας πυκνότητας στην ταχύτητα του σπρέι



Εικόνα 3.5 : Επίδραση της διαμέτρου του ακροφυσίου επί της διεύθυνσης του σπρέι

3.7 Οφέλη και προκλήσεις της μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι μια από τις πιο υποσχόμενες πηγές υδρογόνου για συστήματα κυψελών καυσίμου και συνθετικών καυσίμων στο μέλλον με πλεονεκτήματα την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, την εύκολη διαθεσιμότητα και την ασφαλή αποθήκευση. Η χρησιμοποίηση της μεθανόλης είναι από άποψη στην ισχύ της και σε άλλα χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούν βενζίνη ή πετρέλαιο. Η μεθανόλη έχει μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Οι τεχνολογίες παραγωγής της μεθανόλης είναι πλέον αποδεδειγμένες στην πράξη. Είναι αξιόπιστες και ευρέως χρησιμοποιούμενες (παραγωγή αλκοόλης). Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθανόλης ως καύσιμο είναι υψηλή περιεκτικότητα ενέργειας ανά όγκο απ'ότι άλλα εναλλακτικά καύσιμα όπως το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) ή το LPG και τις ελάχιστες απαιτούμενες αλλαγές στο υπάρχων δίκτυο διανομής καυσίμων. Η μεθανόλη μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές των αυτοκινήτων και ίσως χρειαστεί μερικά πρόσθετα λόγω των ιδιοτήτων της ως καύσιμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν σαν αντικαταστάτης της βενζίνης στα μίγματα βενζίνης και πετρελαίου. Ο υψηλότερος βαθμός οκτανίων επιτρέπει υψηλότερη συμπίεση και παρακολουθείται καλύτερα η αποτελεσματικότητα του κινητήρα.

Ο λόγος της έρευνας είναι πώς να χρησιμοποιηθεί στις κυψέλες καυσίμου καθώς η μεθανόλη έχει υψηλή αναλογία ατόμων υδρογόνου και πολύ μεγαλύτερη ενεργητική πυκνότητα από το υγρό υδρογόνο. Η μεθανόλη μπορεί να φτιάχεται από καλαμπόκι, ξύλο ή άλλες μορφές κυτταρίνης που έχουν χαμηλότερες εκπομπές από όλα τα στοιχεία που βλάπτουν (20-70%). Η μεθανόλη είναι επιπλέον πιο φθηνή από την αιθανόλη. Ο χειρισμός της είναι πιο εύκολος από της βενζίνης, γιατί είναι ασφαλέστερη στα ατυχήματα και η εξάλειψη πυρκαγιάς μπορεί να γίνει με νερό, γιατί το νερό την αραιώνει. Η μεθανόλη επίσης ευνοείται των συμβατικών καυσίμων λόγω του χαμηλότερου

σχηματισμού όζοντος, των χαμηλότερων εκπομπών ρύπων ιδίως βενζόλιο, PAH, ενώσεις του θείου και χαμηλότερων εκπομπών των εξαερούμενων καυσίμων.

Η μεθανόλη είναι εξαιρετικά διαβρωτική και τοξική στην κατάποση ή την απορρόφηση από το δέρμα. Προκαλεί κηλίδες στα μεταλλικά μέρη, αφαιρεί το πετρέλαιο από τις αναγκαίες θέσεις και επηρεάζει αρνητικά τα πλαστικά μέρη. Λόγω των διαβρωτικών ιδιοτήτων της μεθανόλης, τα μέρη του κινητήρα χρειάζονται συχνές αλλαγές. Τα οχήματα μεθανόλης παράγουν ένα σημαντικό ποσό φορμαλδεΐδης. Συγκρινόμενη με τα συμβατικά καύσιμα, τα μειονεκτήματά της περιλαμβάνουν την πιθανότητα υψηλότερης εκπομπής CH₂O, υψηλότερη τοξικότητα και χαμηλότερη αποτελεσματικότητα κόστους.

Η καύση της μεθανόλης είναι αόρατη. Η εκκίνηση του κινητήρα κάτω από το σημείο ψύξης είναι εξίσου δύσκολο. Η θέρμανση του καυσίμου ομοίως του πετρελαίου βοηθά να λυθεί αυτό το πρόβλημα. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι το CH₂O μυρίζει κατά την ψυχρή εκκίνηση. Οι καταλύτες βοηθούν να μειωθεί αυτό κατά 2 λεπτά. Οριστική εξάλειψη αυτών των εκπομπών μπορεί να εξασφαλιστεί με ένα σύστημα θέρμανσης της υγρασίας πριν από την είσοδο στον καταλύτη. Η ενεργειακή αξία της μεθανόλης είναι το μισό του πετρελαίου. Επειδή υπάρχει λιγότερη ενέργεια στο M85 από τη βενζίνη, το ποσοστό των οχημάτων που λειτουργούν με M85 είναι λιγότερο. Ωστόσο τα οχήματα χρειάζονται το διπλάσιο ποσό καυσίμου για το ίδιο σημείο προορισμού.

3.8 Περαιτέρω μελέτες

Αυτές οι προτάσεις θα παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για τις ιδιότητες του καυσίμου της μεθανόλης και για την επίδρασή της στην επίδοση του κινητήρα, των εκπομπών και των χαρακτηριστικών της καύσης. Ωστόσο, το θέμα που ακολουθεί θα πρέπει να διερευνηθεί για την ουσιαστική κατανόηση εάν η αγνή μεθανόλη ή μίγματα μεθανόλης – diesel χρησιμοποιήθηκαν στους κινητήρες CI, και ειδικότερα στους κινητήρες CI της νέας τεχνολογίας. Το κυρίως θέμα μπορεί να γραφτεί ως:

- Μακροπρόθεσμες δοκιμές αντοχής και μετατροπές στον κινητήρα
- Ικανότητα εκκίνησης σε κρύο καιρό και εκπομπές ψυχρής εκκίνησης
- Λιπαντικές ικανότητες μιγμάτων μεθανόλης – diesel
- Διαβρωτικές ικανότητες της μεθανόλης και επιπτώσεις φθοράς του κινητήρα και στα τμήματα του συστήματος καυσίμου
- Δοκιμές του κινητήρα σε διαφορετικές λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (επίδραση EGR, αναλογία συμπίεσης κλπ)
- Δοκιμές κινητήρα σε διαφορετικές παραμέτρους έγχυσης όπως η πολλαπλή έγχυση και χρονισμός έγχυσης
- Χαρακτηριστικά ψεκασμού μιγμάτων καυσίμου μεθανόλης – diesel χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ψεκαστήρες
- Παραγωγή θορύβου (επίπεδο θορύβου)

- Χρήση βελτιωτικών κετανίου για τροποποίηση καθυστέρησης ανάφλεξης
- Βέλτιστο μίγμα μεθανόλης – diesel σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα
- Την επίδραση των καυσαερίων χρήσης μετεπεξεργασίας σε ρυθμίσεις των εκπομπών

Εκτός από ένα συνδυασμό των παραπάνω θεμάτων, για να διερευνήσουμε τις σχέσεις μεταξύ των ιδιοτήτων καυσίμου και της καύσης, τα φυσικά και χημικά φαινόμενα στο θάλαμο καύσης μπορούν να παρατηρηθούν με τη χρήση μιας κάμερας υψηλής ταχύτητας. Αυτό θα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τη φύση της διαδικασίας καύσης για να βοηθήσουν τους ερευνητές και τους σχεδιαστές κινητήρων για τις μελλοντικές τους μελέτες που σχετίζονται με τις ιδιότητες καυσίμου και την μεθανόλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΙΘΑΝΟΛΗ

4.1 Εισαγωγή

Η αιθανόλη είναι ένα οξυγονωμένο καύσιμο, που παράγεται από τη ζύμωση των βιολογικών ανανεώσιμων πόρων όπως μελάσα, ζαχαροκάλαμο ή άμυλο. Λόγω των οφελών που συνδέονται με την αιθανόλη, μερικές χώρες άρχισαν να χρησιμοποιούν την αιθανόλη σαν αντικαταστάτη της βενζίνης ή του πετρελαίου. Διατηρώντας καθαρό το περιβάλλον έχει γίνει σημαντικό θέμα στις ολοένα και πιο βιομηχανικές κοινωνίες. Η αιθανόλη κρίθηκε ως 'το καύσιμο του μέλλοντος' από τον Henry Ford κι εξακολουθεί να είναι το πιο δημοφιλές καύσιμο με βάση την αλκοόλη για διάφορους λόγους συμπεριλαμβανομένου την παραγωγή της από ανανεώσιμα γεωργικά προϊόντα κι επίσης επειδή η ατελής οξειδωση στα υποπροϊόντα της αιθανόλης (οξικό οξύ και ακεταλδεϋδη) είναι λιγότερο τοξικά από την ατελή οξειδωση των υποπροϊόντων άλλων αλκοολών.

Η χρήση της αιθανόλης για μηχανές εσωτερικής καύσης διερευνήθηκε για πρώτη φορά το 1897. Ωστόσο, η χρησιμοποίηση της αιθανόλης επιταχύνθηκε και πάλι κατά τη διάρκεια της κρίσης των καυσίμων που εμφανίστηκε από τον πρώτο και δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο τον 20ό αιώνα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ένα ομοσπονδιακό πρόγραμμα αιθανόλης ξεκίνησε κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης τη δεκαετία του 1970. Η δράση αυτή του 1970 επέτρεψε στον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) να θέσει κάποια πρότυπα για τις εκπομπές των οχημάτων. Αυτό οδήγησε σε ζήτηση των οξυγονωμένων καυσίμων για την μείωση των εκπομπών των αυτοκινήτων από τους βενζινοκινητήρες. Η απαίτηση αντιστοίχησε σε περίπου 7,5% σε αιθανόλη ή 15% μεθυλ-τριτοβουτυλαιθέρων (MTBE) στη βενζίνη κατ' όγκο.

Τα βενζινοκίνητα οχήματα τυπικά εκπέμπουν λιγότερα σωματίδια σε σύγκριση με τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Έρευνες έχουν δείξει ότι η αιθανόλη αναμιγμένη με βενζίνη θα μπορούσε να μειώσει την μόλυνση του περιβάλλοντος κι επίσης την εξάντληση των πετρελαϊκών αποθεμάτων. Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων, πολλές χώρες άρχισαν να χρησιμοποιούν την αιθανόλη σαν αντικαταστάτη ή σαν μερικό αντικαταστάτη για τη βενζίνη ή το πετρέλαιο. Εάν η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί άφθονα και οικονομικά, θα αποτελέσει ένα ελκυστικό εναλλακτικό καύσιμο για τους κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν καθαρό καύσιμο είτε σαν μείγμα βενζίνης. Και οι δύο εκδοχές παρέχουν μερικά πλεονεκτήματα για την απόδοση του κινητήρα, την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων. Η κυρίαρχη χρήση της αιθανόλης ως καύσιμο έχει τη μορφή ενός στοιχείου αναμιγμένου με βενζίνη για να τροφοδοτεί μηχανές με κινητήρα ανάφλεξης. Ο υψηλός αριθμός οκτανίων της την κάνει ελκυστική για χρήση σε τέτοιες μηχανές.

Με την ραγδαία αύξηση της παραγωγής της αιθανόλης και του μειωμένου κόστους σε σχέση με τα πετρελαιοειδή καύσιμα σε χώρες όπως η Βραζιλία, το ενδιαφέρον για τη χρήση της αιθανόλης σαν αναμίξιμο υλικό σε καύσιμο πετρελαίου έχει φυσικά εμφανιστεί. Εναλλακτικές μέθοδοι για τη θέσπιση της αιθανόλης σε μια μηχανή με κινητήρα ανάφλεξης λόγω συμπύεσης, όπως στον υποκαπνισμό έχουν επίσης ερευνηθεί. Στη δεκαετία

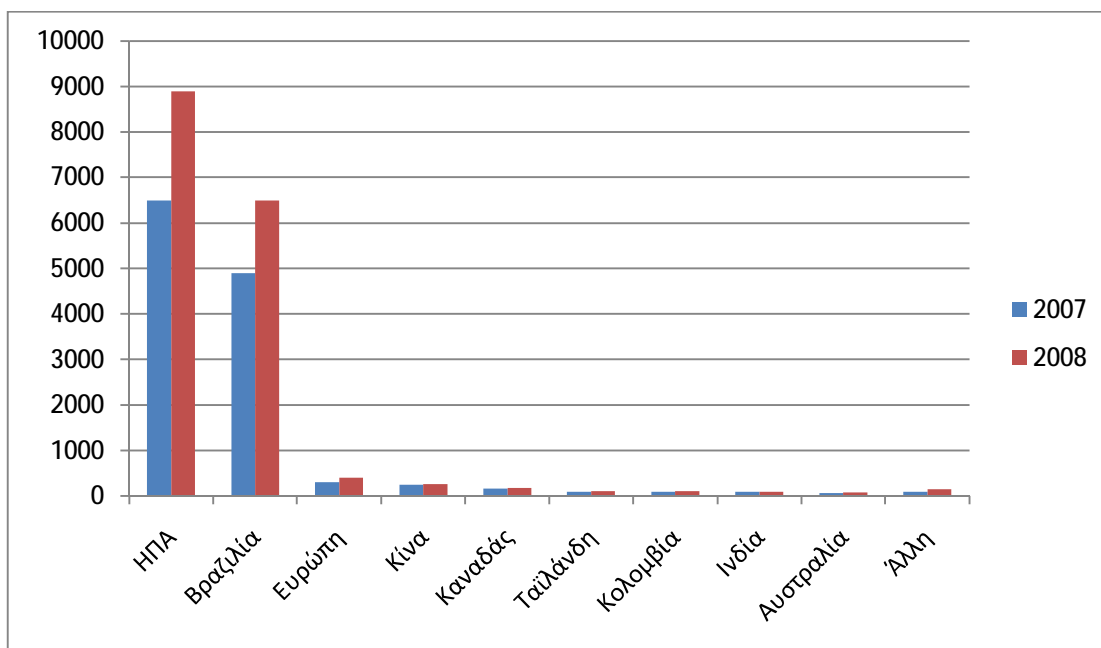
του 1970 το ενδιαφέρον οδηγήθηκε από μια παγκόσμια κρίση καυσίμων και τα μίγματα αιθανόλης – βενζίνης έγιναν ένα σημαντικό θέμα έρευνας. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 κι εμπρός, ανανεωμένες προσπάθειες για τη θέσπιση της βιωσιμότητας των μιγμάτων αιθανόλης – βενζίνης σαν εμπορικά καύσιμα πήραν θέση. Το Αμερικάνικο τμήμα ενέργειας (U.S. Department of Energy) έκδωσε μια μελέτη σχετικά με τα τεχνικά εμπόδια στη χρήση της αιθανόλης σε καύσιμα πετρελαίου. Μελέτες διεξήχθησαν ώστε να δημιουργηθούν σταθερά μίγματα αιθανόλης – diesel με ιδιότητες που θα ήταν σχετικά όπως του πετρελαίου. Επί πλέον, τα εργαστηριακά τεστ έχουν πραγματοποιηθεί για να εκτιμηθεί η επίπτωση της αιθανόλης σε μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση, στις εκπομπές τους και στην αντοχή.

Η σταδιακή κατάργηση του MTBE σαν πρόσθετο βενζίνης στην Καλιφόρνια και διάφορες άλλες χώρες των ΗΠΑ έχει δημιουργήσει νέο ενδιαφέρον στη χρήση της αιθανόλης ως οξυγονούχες ενώσεις της βενζίνης. Παγκοσμίως, η αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιείται περίπου κατά 8% v σε οξυγονούχες ενώσεις της βενζίνης ή περίπου 6% v αναδιατυπωμένης βενζίνης (RFG-reformulated gasoline). Η πιο σημαντική χρήση της αιθανόλης στα οχήματα άρχισε στη Βραζιλία τη δεκαετία του 1970. Σ' αυτή τη χώρα, το National Alcohol Program (εθνικό πρόγραμμα αλκοόλης) δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση των υψηλών τιμών πετρελαίου των δεκαετιών 1970 και 1980. Ομοσπονδιακά κίνητρα, σε συνδυασμό με τη συμμετοχή της αυτοκινητοβιομηχανίας και της ισχυρής περιβαλλοντικής επίκλησης, έκανα το πρόγραμμα επιτυχές. Μαζί με την παραγωγή και τη χρησιμοποίηση είναι και η ανάγκη για την ρύθμιση της ποιότητας των καυσίμων για να διασφαλίζουν την συμβατότητα και ασφάλεια της μηχανής.

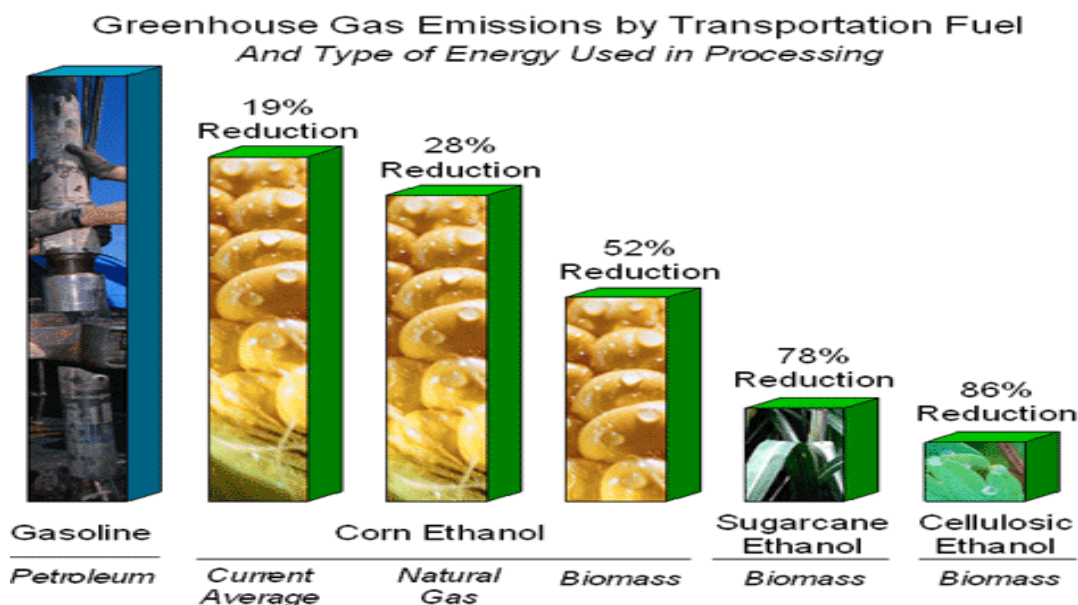
4.2 Παραγωγή αιθανόλης

Η παραγωγή καυσίμου αιθανόλης αναπτύσσεται με ταχύς ρυθμούς παντού στον κόσμο. Ωστόσο, η Βραζιλία είναι παγκοσμίως ο ηγέτης στην παραγωγή κι εμπορευματοποίηση της αιθανόλης σαν καύσιμο για μηχανές. Στην Βραζιλία, από το σύνολο του ζαχαροκάλαμου που είναι διαθέσιμο για σύνθλιψη, το 45% πάει για παραγωγή ζάχαρης και το υπόλοιπο 55% για παραγωγή αιθανόλης κατευθείαν απ' το ζαχαροκάλαμο. Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή αιθανόλης ποικίλουν από χώρα σε χώρα εξαρτώμενες από τη διαθεσιμότητα που υπάρχει. Σαν παράδειγμα, το ζαχαροκάλαμο χρησιμοποιείται στη Βραζιλία, τα σιτηρά στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα ζαχαρότευτλα στην Ευρώπη και η μελάσα στην Ιδία. Η Βραζιλία χρησιμοποιεί την αιθανόλη αποκλειστικά σαν καύσιμο περίπου στο 25% των οχημάτων της και 75% σε μίγματα βενζίνης στα εναπομείναντα οχήματα. Το 1999, περίπου το 75% όλων των οχημάτων στη Βραζιλία έκαιγαν βενζίνη περιεχόμενη 24% αιθανόλη, με συνολική κατανάλωση αλκοολούχου καυσίμου $13.8 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{χρόνο}$. Με τη ραγδαία αύξηση της παραγωγής της αιθανόλης και του χαμηλότερου κόστους της συγκριτικά με το πετρελαιοειδή καύσιμα σε χώρες όπως η Βραζιλία, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον στη χρήση της αιθανόλης ως υλικό ανάμειξης. Η παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης το 2008 ήταν 17 δισεκατομμύρια γαλόνια συγκρινόμενα με τα 13 δις. γαλόνια τη χρονιά 2007. Η παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης παρουσιάζεται στον πίνακα 4.1 παρακάτω.

Πίνακας 4.1 : Παγκόσμια παραγωγή αιθανόλης



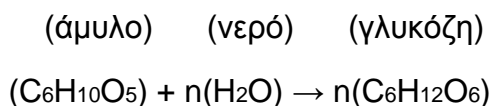
Επιπροσθέτως του ζαχαροκάλαμου και του άμυλου, η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί κι από φυσικό αέριο, ασφαλτούχο σχιστόλιθο και κυτταρίνη βιομάζας. Μια τυπική εκτίμηση της μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τους πόρους της αιθανόλης απεικονίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



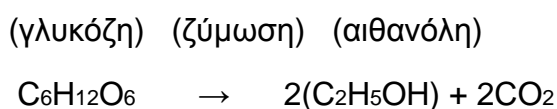
Sources: Wang et al, *Environ. Research Letters*, May 2007; Wang et al, *Life-Cycle Energy Use and GHG Implications of Brazilian Sugarcane Ethanol Simulated with GREET Model*, Dec. 2007

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η πιο διαδεδομένη πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμου αιθανόλης είναι το άμυλο λαμβανόμενο από το καλαμπόκι (αραβόσιτος). Η μετατροπή του καλαμποκιού σε αιθανόλη απαιτεί

διαδικασία πολλαπλών βημάτων. Το καλαμπόκι αποτελεί έδαφος για να αφαιρέσουμε το άμυλο από τον πυρήνα του. Το άμυλο περιλαμβάνει περίπου το 72% του πυρήνα του καλαμποκιού. Το άμυλο μετατρέπεται σε γλυκόζη. Η γλυκόζη ζυμώνεται σε μια μπίρα αιθανόλης. Μετά γίνεται απόσταξη της μπίρας για να απομακρυνθεί το περισσότερο νερό και τελικά ένα μοριακό κόσκινο χρησιμοποιείται για να πάρουμε άνυδρη αιθανόλη. Η σακχαροποίηση, η διαδικασία δηλαδή της μετατροπής του άμυλου σε ζάχαρη, εμφανίζεται ως εξής:



Η διαδικασία τυπικά παράγει 1.11 κιλά γλυκόζης για κάθε κιλό αμύλου του καλαμποκιού. Η ζύμωση της γλυκόζης σε αιθανόλη έχει ως εξής:



Η διαδικασία θεωρητικά παράγει 0,511 κιλά αιθανόλης για κάθε κιλό γλυκόζης. Σε Αγγλικές μονάδες είναι, 19.46 rounds ή 2.97 γαλόνια άνυδρης αιθανόλης παράγονται θεωρητικά για κάθε ‘μπουσέλ’ καλαμποκιού. Σε μετρικές μονάδες, η μέθοδος παράγει 250 κιλά ή 319 λίτρα άνυδρης αιθανόλης για κάθε κυβικό μέτρο καλαμποκιού. Τουλάχιστον το 85% της θεωρητικής απόδοσης επιτυγχάνεται στην πράξη. Η μαγιά δεν είναι αντιδρών συστατικό στη διαδικασία. Η βιοτική ζύμη καταναλώνει τη γλυκόζη και παράγει την αιθανόλη. Η διαδικασία δεν μπορεί να προχωρήσει πέραν του σημείου όπου η συγκέντρωση της αιθανόλης στην μπίρα γίνεται τοξική για τη μαγιά, σε μια συγκέντρωση αιθανόλης περίπου 15%. Το ποσοστό μπίρας είναι το ελάχιστο ένα 85% νερό και με την απόσταξη διαχωρίζεται η αιθανόλη. Ωστόσο, όσο η αιθανόλη εξατμίζεται και συμπυκνώνεται σε υγρό, μερικό νερό συνοδεύει την αιθανόλη. Η απόσταξη δεν μπορεί να αφαιρέσει το τελευταίο 5% του νερού. Συνήθως, χρησιμοποιείται ένα μοριακό κόσκινο για να απομακρύνει το ποσοστό αυτό του νερού κι έτσι να παραχθεί άνυδρη αιθανόλη. Η διαδικασία «καλαμποκιού – σε – αιθανόλη» επίσης παράγει ένα υλικό υψηλής πρωτεΐνης όπου, μετά το στέγνωμα, ονομάζεται distilled dried grains (DDG) που σημαίνει αποξηραμένα δημητριακά οινόπνευματοποιών και χρησιμοποιείται σαν ζωοτροφή.

Για σακχαρώδεις καλλιέργειες όπως το ζαχαροκάλαμο ή τα ζαχαρότευτλα, η μετατροπή του αμύλου σε γλυκόζη δεν είναι απαραίτητη. Η ζάχαρη εξάγεται κατευθείαν από την καλλιέργεια και το υπόλοιπο της διαδικασίας είναι το ίδιο όπως της μετατροπής αμύλου του καλαμποκιού σε αιθανόλη. Το ζαχαροκάλαμο αποτελεί την πρωταρχική πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμου αιθανόλης στη Βραζιλία.

Εάν οι πρώτες ύλες παραγωγής περιορίζονται στο καλαμπόκι, το ζαχαροκάλαμο ή το ζαχαρότευτλο, τότε δεν έχουμε επαρκή παραγωγή αιθανόλης ώστε να καλύψει τις συνολικές ανάγκες σε καύσιμο για τις μηχανές. Για παράδειγμα, η αιθανόλη που βασίζεται στο καλαμπόκι πληρεί λιγότερο από 10% του συνολικού απαιτούμενου ποσοστού σαν καύσιμο για μεταφορές. Έτσι, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στην επέκταση της πρώτης ύλης να συμπεριλάβει κυταρινικές ύλες. Το σύνολο των δυνητικών

κυτταρινικών πρώτων υλών είναι αρκετά μεγάλο ώστε, όταν μετατρέπεται σε αιθανόλη, μπορεί να τροφοδοτήσει τις περισσότερες αν όχι όλες τις ανάγκες σε καύσιμα μεταφορών.

Η τεχνολογία για τη μετατροπή κυτταρίνης είναι ακόμα σε πρωταρχικό στάδιο. Ένα σημαντικό πρόβλημα-κλειδί είναι η αποδόμηση του κηρώδους λιγνίνη που παρέχει η φυτική διαρθρωτική στήριξη περιέχοντας και προστατεύοντας την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη εντός. Η λιγνίνη από μόνης της δεν περιέχει σάκχαρα αλλά πρέπει να αποδομηθεί για επιτρέψει την πρόσβαση στην κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη. Το αναπτυσσόμενο ενδιαφέρον στην αιθανόλη ως καύσιμο που βασίζεται στην κυτταρίνη πυροδότησε ένα μεγάλο ποσό έρευνας στη αποδόμηση της λιγνίνης. Τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις (φυσική, χημική, βιολογική και συνδυασμοί αυτών) μελετώνται. Η κονιοποίηση είναι ένα παράδειγμα της φυσικής προσέγγισης. Θεραπεία με πυκνό υδροχλωρικό οξύ είναι μια χημική προσέγγιση. Η γενετική τροποποίηση των φυτών για να παράγουν ευκολότερα αποδομημένη λιγνίνη είναι μια βιολογική προσέγγιση. Μια επιτυχημένη προσέγγιση πρέπει να είναι ικανή να απελευθερώνει ένα μεγάλο ποσοστό των σακχάρων, να είναι λογικά γρήγορη και να μην καταναλώνει υπερβολική ενέργεια. Μερικά από τα σάκχαρα στην κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη δεν είναι άμεσα ζυμώσιμα με την αιθανόλη. Έτσι, αφού η λιγνίνη έχει αποδομηθεί και αφαιρεθεί, ένζυμα χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν αυτά τα μη ζυμώσιμα σάκχαρα σε ζυμώσιμα. Το υπόλοιπο της διαδικασίας είναι παρόμοιο με αυτό της παραγωγής καυσίμου αιθανόλης από καλαμπόκι.

Πέρα απ' την μετατροπή της κυτταρίνης σε αιθανόλη, κάποια άλλα προβλήματα πρέπει να λυθούν πριν η κυτταρίνη μπορεί να γίνει χρήσιμη πρώτη ύλη για παραγωγή αιθανόλης. Αυτό περιλαμβάνει μια επιλογή από τα καλύτερα φυτικά είδη και ανάπτυξη των διαδικασιών για τη συγκομιδή, την πύκνωση, την μεταφορά και αποθήκευση των κυτταρινικών καλλιεργειών. Ανάμεσα στα είδη θεωρούνται τα αγρωστώδη όπως ο μίσχανθος. Σήμερα αχρησιμοποίητα υπολείμματα καλλιεργειών όπως τα στάχυα καλαμποκιού, τα κοτσάνια του καλαμποκιού ή ζαχαροκάλαμου είναι επίσης πιθανά για χρήση. Προϊόντα όπως απόβλητα χαρτιού ή ξύλου μπορούν επίσης να αποτελέσουν πηγή κυτταρίνης. Για κάθε πηγή κυτταρίνης, θα ήταν απαραίτητο να αναπτυχθούν οικονομικές διαδικασίες για τη συγκομιδή ή τη συλλογή υλικών και ίσως αύξηση της πυκνότητάς τους με στόχο τη μεταφορά από το σημείο συλλογής/συγκομιδής στο εργοστάσιο παραγωγής αιθανόλης. Επίσης, εφόσον η φυτική παραγωγή είναι εποχιακή αλλά η παραγωγή αιθανόλης απαιτεί μια σταθερή εισροή πρώτων υλών, πρέπει να βρεθούν τρόποι να αποθηκεύουν προσωρινά τις κυτταρινικές ύλες χωρίς να υπόκειται σε υπερβολική υποβάθμιση.

Όλη η διαδικασία μετατροπής αμυλούχων ή ζαχαρούχων καλλιεργειών σε καύσιμο αιθανόλης έχει αποδειχθεί. Παρατεταμένες έρευνες σ' αυτόν τον τομέα έχουν οδηγήσει τη διαδικασία να γίνει πιο αποδοτική. Αρκετή απ' την πορεία για την παραγωγή κυτταρινικού καυσίμου αιθανόλης βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Σχέδια για την κατασκευή φυτών κυτταρινικής αιθανόλης βρίσκονται υπό εξέταση. Το Μάιο του 2008, η εταιρεία Verenum στο Cambridge της Μασσαχουσέτης δημιούργησε ένα φυτό αιθανόλης για την μετατροπή ζαχαροκάλαμου βγάσης σε αιθανόλη. Με την πάροδο του χρόνου, όσο περισσότερα προβλήματα επεξεργάζονται μέσω ερευνών, η διαδικασία για μετατροπή κυτταρινικών υλικών σε καύσιμο αιθανόλης θα

γίνεται πιο εφικτή, όπως ακριβώς συνέβη με τα αμυλούχες ή ζαχαρούχες καλλιέργειες μετατροπής σε αιθανόλη.

4.3 Ιδιότητες της αιθανόλης

Η ποιότητα της αιθανόλης σαν καύσιμο έχει μείζον επιρροή σε παράγοντες όπως σταθερότητα μείγματος, συμβατότητα υλικού με τον κινητήρα και στη διάβρωση των εξαρτημάτων του κινητήρα. Πρότυπα ποιότητας για μίγματα καυσίμου αιθανόλης με βενζίνη έχουν καθιερωθεί σε ένα αριθμό χωρών. Τα ASTM D4806 και D5798 πρότυπα για τις Ηνωμένες Πολιτείες είναι δύο προδιαγραφές που αφορούν την ποιότητα του μίγματος αιθανόλης με τη βενζίνη. Το D4806 πρωτοεμφανίστηκε το 1999 και καλύπτει ένα μετουσιωμένο άνυδρο καύσιμο αιθανόλης που προορίζεται να αναμιχθεί με αμόλυβδη ή με μόλυβδο βενζίνη από 1 – 10 ογκομετρικά ποσοστά για χρήση ως καύσιμο σε κινητήρες οχημάτων τύπου SI. Το D5798 επίσης εκδόθηκε το 1999 για να ρυθμίσει την ποιότητα του E85, ένα καύσιμο μίγμα που ορίζεται ως 75 – 85%ν μετουσιωμένου καυσίμου αιθανόλης και 15 – 25%ν υδρογονάνθρακες για χρήση στα SI αυτοκίνητα. Το ASTM D4806 έχει χρησιμοποιηθεί ως βάση για την ανάπτυξη προτύπων σε χώρες όπως η Αυστραλία, ο Καναδάς και η Κίνα. Στην Ευρώπη, το πρότυπο EN15376 οριστικοποιήθηκε το 2008 για τη χρήση της αιθανόλης ως αναμίξιμο συστατικό για βενζίνη πάνω του 5%ν.

Η βενζίνη αποτελείται από υδρογονάνθρακες C₄ – C₁₂ και συνεπώς έχει ευρύτερες μεταβατικές ιδιότητες από την αιθανόλη. Η αλκοόλη περιέχει ένα άτομο οξυγόνου έτσι ώστε να φαίνεται σαν μερικώς οξειδωμένος υδρογονάνθρακας. Η αιθανόλη είναι ισομετρική με τον διμεθυλ-αιθέρα (DME) και τα δύο μαζί αιθανόλη και DME μπορούν να εκφραστούν απ' την χημική σύσταση C₂H₆O. Το άτομο του οξυγόνου στην αιθανόλη πιθανόν περιέχει τρεις δεσμούς υδρογόνου. Ενώ, μπορεί να έχουν την ίδια φυσική σύσταση, η θερμοδυναμική συμπεριφορά της αιθανόλης διαφέρει σημαντικά από αυτή του DME λόγω της ισχυρότερης μοριακής σύνδεσης μέσω δεσμών υδρογόνου στην αιθανόλη. Η αιθανόλη περιέχει περίπου 35% οξυγόνο, το οποίο βελτιώνει την καύση και μειώνει την μερική καύση του καυσίμου. Η αιθανόλη είναι το προτεινόμενο συστατικό για την παραγωγή βιοντίζελ μετεστεροποίησης εφόσον παράγεται από γεωργικά προϊόντα και ανανεώσιμα στη φύση και είναι λιγότερο καταστροφικά για το περιβάλλον. Οι ιδιότητες της αιθανόλης ες σύγκριση με τη βενζίνη και το πετρέλαιο φαίνονται στον πίνακα 4.2 της επόμενης σελίδας.

Πίνακας 4.2 : Ιδιότητες της αιθανόλης σε σύγκριση με τη βενζίνη και το πετρέλαιο

Ιδιότητα	Αιθανόλη	Βενζίνη	Πετρέλαιο Νο 2
Χημική σύσταση	C ₂ H ₅ OH	C ₄ – C ₁₂	C ₃ – C ₂₅
Μοριακό βάρος	46.07	100 – 105	≈ 200
Άνθρακας %w	52.2	85 - 88	84 - 87
Υδρογόνο %w	13.1	12 - 15	33 - 16
Οξυγόνο %w	34.7	0	0
Ειδικό βάρος 15.5%C	0.796	0.72 – 0.78	0.81 – 0.89
Πυκνότητα, kg/m ³	735	719 - 779	848
Σημείο βρασμού, °C	78	27 - 225	180 - 340
Πίεση ατμών, bar	0.16	0.55 – 1.03	<0.01
Αριθμός οκτανίων έρευνας	108	90 - 100	-
Αριθμός οκτανίων κινητήρα	92	81 - 90	-
(R + M) / 2	100	86 - 94	N/A
Καύσιμο στο νερό, volume %	100	αμελητέα	αμελητέα
Νερό στο καύσιμο, volume %	100	αμελητέα	αμελητέα
Σημείο ψύξης, °C	-114	-40	-40 έως -1(σημείο ροής)
Ιξώδες, 20°C	1.50	0.5 – 0.6	2.8 – 5.0
Σημείο ανάφλεξης, °C	13	-43	60 - 80
Θερμοκρασία αυτανάφλεξης, °C	423	257	316
Όρια αναφλεξιμότητας, v%	4.3 – 19.0	1.4 – 7.6	1.0 – 6.0
Υψηλότερη τιμή θέρμανσης, Mj/kg	29.84	46.53	45.76
Στοιχειομετρική αναλογία	9.0	14.7	14.7

Η αιθανόλη έχει μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων έρευνας (RON>100) απ' ότι η βενζίνη. Όταν η αιθανόλη αναμιγνύεται με η βενζίνη, ο RON τονώνεται αλλά υπάρχει μια ελάχιστη ή καθόλου αύξηση στον αριθμό οκτανίων του κινητήρα (MON). Τα μίγματα αιθανόλης – βενζίνης με τον ίδιο RON δίνουν καλύτερη απόδοση σε καταστάσεις χαμηλών ταχυτήτων και επιταχυνόμενες συνθήκες σε σύγκριση με τη βενζίνη. Ο MON μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη κατάλληλου συστατικού στο διυλιστήριο κι έτσι το ρίσκο της καταστροφής του κινητήρα μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

Ο υψηλός αριθμός οκτανίων βοηθά στην πρόληψη του κινητήρα απ' τα χτυπήματα και είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε κινητήρες που είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν σε υψηλή αναλογία συμπίεσης για παράγουν μεγαλύτερη ισχύ. Η υψηλή αναλογία συμπίεσης οδηγεί σε υψηλότερη ενεργειακή απόδοση. Τα χαμηλού επιπέδου μίγματα αιθανόλης, όπως το E10 (10% αιθανόλη, 90% βενζίνη), γενικά έχουν ένα υψηλό βαθμό οκτανίων από την αμόλυβδη βενζίνη. Η χαμηλών οκτανίων βενζίνη μπορεί να αναμιχθεί με 10% αιθανόλη για να φθάσει τα στάνταρ του λόγου (M + R) / 2 να είναι 87 για κοινή βενζίνη. Ο λόγος (M +R) / 2 είναι ο αριθμητικός μέσος όρος του MON και RON. Οι Abdel – Rahman και Osman (1997) έκανα τεστ για 10%, 20%, 30% και 40% ν μιγμάτων αιθανόλης στη βενζίνη για χρήση σε κινητήρες διαφόρων αναλογιών συμπίεσης. Βρήκαν ότι αυξημένη αιθανόλη περιέχει αυξημένο

αριθμό οκτανίων, αλλά μειωμένη θερμαντική αξία. Ανέφεραν ότι το E10 είναι ένα βέλτιστο μίγμα για της απαιτήσεις ενός βενζινοκινητήρα.

Η αιθανόλη είναι ένας αποτελεσματικός διαλύτης και μπορεί να θεωρηθεί σαν απορρυπαντικό καυσίμων. Έτσι, η χρήση της αιθανόλης σαν πρόσθετο βενζίνης βοηθά στην απομάκρυνση της κόμης και των εναποθεμάτων από τα συστήματα καυσίμου. Τα εναποθέματα στις δεξαμενές καυσίμου και στα καρμπυρατέρ τελικά θα προκαλέσουν προβλήματα σε κινητήρες που λειτουργούν με απευθείας βενζίνη. Ωστόσο, τα μίγματα αιθανόλης μπορεί να επιταχύνουν στην αποδέσμευση των εναποθεμάτων. Έχει αναφερθεί πως η αιθανόλη έχει μερικές απολυμαντικές ιδιότητες που μειώνουν στη συσσώρευση, που κρατούν τους κινητήρες να λειτουργούν ομαλά και τα συστήματα ψεκασμού καθαρά για καλύτερη απόδοση.

Τα μίγματα βενζίνης και αιθανόλης από ισότροπα προκαλούν μια δυσανάλογη αύξηση στην πίεση ατμών και μια μείωση στη θερμοκρασία απόσταξης. Αυτό ποικίλλει ανάλογα με το ποσό της αιθανόλης αλλά είναι σημαντικός για συγκεντρώσεις αιθανόλης του 10%. Η αύξηση στην πίεση των ατμών μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα θέρμανσης κατά την οδήγηση στα οχήματα. Έτσι, η τυχαία μίξη βενζίνης και αιθανόλης πρέπει να αποφεύγεται για αυτά τα προβλήματα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, είναι απαραίτητη η αφαίρεση των συστατικών υψηλής μεταβλητότητας όπως το βουτάνιο από τη βενζίνη. Εξάλλου, υψηλές συγκεντρώσεις αιθανόλης σε μίγματα μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ψυχρής οδήγησης γιατί η αιθανόλη έχει υψηλότερη άδηλη θερμότητα εξάτμισης από τη βενζίνη.

Μολονότι η πίεση των ατμών της γνήσιας αιθανόλης είναι χαμηλή σε σύγκριση με τη βενζίνη, ο RVP των μιγμάτων αιθανόλης – βενζίνης αυξάνεται εξαρτώμενος από την αναλογία της αιθανόλης στο μίγμα. Χαμηλό RVP μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ψυχρής εκκίνησης. Ως εκ τούτου, πτητικά πρόσθετα πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν έχουμε χρήση αγνής αιθανόλης.

Η αλκοόλη είναι εντελώς αναμίξιμη με το νερό σε όλες τις αναλογίες, ενώ η βενζίνη και το νερό είναι άμεικτα. Η αιθανόλη είναι κι αυτή αναμίξιμη με τη βενζίνη. Αλλά ένα μικρό ποσοστό και μόνο νερού σε βενζίνη ή αιθανόλη μπορεί να οδηγήσει σε διαχωρισμό φάσης. Ένας τέτοιος διαχωρισμός μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλή απόδοση κινητήρα και καταστροφή της μηχανής. Έτσι, είναι απαραίτητο να εξασφαλίσουμε ότι η αιθανόλη που αναμιγνύεται με τη βενζίνη θα είναι άνυδρη.

Εάν τα μίγματα αιθανόλης – βενζίνης περιέχουν νερό, μπορεί να έχουμε διάβρωση των μηχανικών εξαρτημάτων, ειδικά εξαρτημάτων που είναι φτιαγμένα από χαλκό, ορείχαλκο ή αλουμίνιο. Έτσι, αυτά τα υλικά πρέπει να αποφεύγονται στα συστήματα μεταφοράς καυσίμου. Η αλκοόλη μπορεί να αντιδράσει με το πιο πλαστικό, προκαλώντας αλλοίωση που μπορεί να λιώσει στις γραμμές μεταφοράς καυσίμου. Ως εκ τούτου, όταν η αιθανόλη συμπεριλαμβάνεται στο καύσιμο, είναι καλύτερα να χρησιμοποιούμε καουτσούκ φθορανθράκων σαν αντικαταστάτη του καουτσούκ.

Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης και το σημείο ανάφλεξης της αλκοόλης είναι υψηλότερα αυτού της βενζίνης, που την καθιστούν ασφαλέστερη για μεταφορά και αποθήκευση. Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης της αλκοόλης είναι περισσότερο από τρεις φορές υψηλότερη από αυτή της βενζίνης. Αυτό οδηγεί σε μια μείωση της εισερχόμενης θερμοκρασίας στην πολλαπλή κι έτσι αυξάνει την ογκομετρική απόδοση. Η θερμογόνο δύναμη της αιθανόλης είναι

χαμηλότερη από της βενζίνης κι έτσι απαιτείται περισσότερη αιθανόλη για να πετύχουμε την ίδια ενέργεια εξόδου. Εφόσον η αιθανόλη από μόνη της περιέχει οξυγόνο, το ποσό του απαιτούμενου αέρα για πλήρη καύση είναι μικρότερο για την αλκοόλη. Η στοιχειομετρική αναλογία αέρα – καυσίμου (AFR) της αλκοόλης είναι περίπου 9 συγκρινόμενη με της βενζίνης, που είναι 14,7.

Τα μείγματα βενζίνης – αλκοόλης μπορούν να παρασκευαστούν με την προσθήκη ενός ορισμένου ποσού αιθανόλης στη βενζίνη. Τα μείγματα βενζίνης – αιθανόλης, που περιέχουν πάνω από 20% αιθανόλη, μπορούν να χρησιμοποιούνται με ασφάλεια χωρίς να προκαλούν κάποια ζημιά στον κινητήρα. Για τη χρήση μειγμάτων βενζίνης – αιθανόλης σαν καύσιμο κινητήρων, το μείγμα πρέπει να είναι σταθερό και να μην υπάρχει διαχωρισμός των φάσεων. Στα συστήματα βενζίνης – αιθανόλης – νερού, ο διαχωρισμός των φάσεων εξαρτάται από το περιεχόμενο της αιθανόλης και του νερού του μείγματος, την θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη σύνθεση της βενζίνης. Με σκοπό να μειώσουμε τη θερμοκρασία της φάσης διαχωρισμού, υψηλοί αλειφατικές αλκοόλες όπως η τριτογενής βουτυλική αλκοόλη, η βενζυλική αλκοόλη, το κυκλοεξάνιο ή το τολουόλιο προστίθενται στα μείγματα βενζίνης – αλκοόλης.

Οι οικολόγοι προτιμούν καύσιμα χαμηλών περιεκτικοτήτων σε άνθρακα για να βοηθήσουν στη μείωση της εκπομπής του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το καύσιμο αιθανόλης περιέχει ένα χαμηλότερο ποσοστό άνθρακα από τα καύσιμα της βενζίνης ή του πετρελαίου. Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος του πλεονεκτήματος χάνεται λόγω του ότι το χαμηλότερο ποσοστό θέρμανσης της αιθανόλης, σε σύγκριση με τη βενζίνη ή το πετρέλαιο, απαιτεί η αιθανόλη να καταναλώνεται σε υψηλότερο ποσοστό για να επιτύχει την ίδια ισχύ εξόδου όπως το καύσιμο του πετρελαίου.

Η βιοαποικοδομησιμότητα είναι μια χρήσιμη ιδιότητα του καυσίμου όταν το καύσιμο διαρρέει ακούσια. Οι Speidel και Ahmad (1999) μελέτησαν την βιοαποικοδομησιμότητα ενός αριθμού καυσίμων. Η τεχνική τους ήταν να εμβολιάσουν το καύσιμο με μικρόβια, να σφραγίσουν το καύσιμο σε ένα κλειστό θάλαμο και να παρακολουθούν την παραγωγή CO₂ καθώς τα μικρόβια καταναλώνουν το καύσιμο. Υψηλότερη παραγωγή CO₂ σημαίνει υψηλότερο επίπεδο βιοαποικοδόμησης του καυσίμου. Τα σχετικά αποτελέσματα της έρευνάς τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3 : Βιοαποικοδομησιμότητα επιλεγμένων καυσίμων

Καύσιμο	Ποσοστό (%)
Σακχαρόζη	100
Αιθανόλη	58
Οξύ - diesel	50
Πετρέλαιο	28

Η σακχαρόζη είναι εύκολα βιοαποδομήσιμη και ορίστηκε στην τιμή του 100%. Σε αυτή τη σχετική κλίμακα, η αιθανόλη είναι διπλάσια βιοαποδομήσιμη του καυσίμου πετρελαίου diesel. Το οξύ – diesel αποτελείται από 80% πετρέλαιο diesel, 15% αιθανόλη και 5% PEC, ένα ιδιόκτητο πρόσθετο της Pure Energy Corporation. Το οξύ – diesel περιέχει και τα δύο,

αιθανόλη και πετρέλαιο κι έτσι, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός, ότι είναι στη μέση αυτών των δύο σε βιοαποικοδομησιμότητα.

4.4 Δοκιμές κινητήρα αιθανόλης - βενζίνης

Η αιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν αγνό καύσιμο είτε σαν πρόσθετο βενζίνης. Και οι δύο αυτές επιλογές μπορούν να παρέχουν ορισμένα πλεονεκτήματα για την λειτουργία του κινητήρα, την οικονομία καυσίμου και την εκπομπή καυσαερίων. Η αιθανόλη μπορεί να αναμιγνύεται με τη βενζίνη σε οποιαδήποτε αναλογία σε καθαρή μορφή και να χρησιμοποιείται στους κινητήρες SI. Τα μείγματα βενζίνης – αιθανόλης χαμηλής αναλογίας μπορούν να χρησιμοποιούνται χωρίς κάποια τροποποίηση του κινητήρα αλλά η αγνή αιθανόλη απαιτεί σημαντικές μετατροπές στο σχεδιασμό του κινητήρα και στο σύστημα καυσίμου.

4.4.1 Δοκιμές δυναμομέτρου του κινητήρα

Ο Palmer (1986) χρησιμοποίησε διάφορα ποσοστά ανάμειξης της αιθανόλης – βενζίνης σε δοκιμές κινητήρων. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι πρόσθεση αιθανόλης 10% αυξάνει την ισχύ του κινητήρα κατά 5% και ο αριθμός οκτανίων αυξάνεται κατά 5% για κάθε 10% πρόσθετης αιθανόλης. Η μείωση των εκπομπών του CO προφανώς προέρχεται λόγω της ευρείας αναφλεξιμότητας και των οξυγονωμένων χαρακτηριστικών της αιθανόλης. Συνεπώς, τα μείγματα αιθανόλης παρέχουν βελτιώσεις στην ισχύ εξόδου, στην αποδοτικότητα και στην οικονομία καυσίμου. Ο Al Hasan (2003) διεξήγαγε κάποιες δοκιμές χρησιμοποιώντας ένα τετρακύλινδρο, τετράχρονο κινητήρα SI με όγκο σάρωσης 1452 c.c., αναλογία συμπίεσης 9:1 και μέγιστη ισχύ 52kW στις 5600 rpm.

Η θερμική απόδοση του φρένου της μηχανής αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης αιθανόλης στο μείγμα. Η μέγιστη θερμική απόδοση του φρένου επιτεύχθηκε με το μίγμα E20. Η ροπή και η ισχύς αυξήθηκαν με περιεχόμενο αιθανόλης μέχρι 20% αλλά μειώθηκαν με παραπάνω συγκεντρώσεις αιθανόλης.

Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, η εξάτμιση του καυσίμου τείνει να μειώσει τη θερμοκρασία του μίγματος καυσίμου – αέρα και να αυξήσει την ποσότητα των ατμών. Ωστόσο, όταν μια χαμηλή λανθάνουσα θερμότητα καυσίμου όπως της βενζίνης χρησιμοποιείται, το φαινόμενο της ψύξης είναι ανεπαρκή να εξαλείψουν την επίδραση των πρόσθετων ατμών. Αυξάνοντας τη λανθάνουσα θερμότητα του μίγματος καυσίμου που χρησιμοποιείται μέσω αύξησης της συγκέντρωσης αιθανόλης που αυξάνει το φαινόμενο της ψύξης, που μειώνει τις εργασίες συμπίεσης. Καθώς η συγκέντρωση αιθανόλης αυξάνει στο μείγμα καυσίμου, η πίεση και η θερμοκρασία μειώνονται στην αρχή της καύσης. Ωστόσο, αυξάνοντας τη συγκέντρωση αιθανόλης αυξάνεται ο AFR. Ήτοι, μειώνει τη μεταφορά θερμότητας στα τοιχώματα του κυλίνδρου λόγω της ημιτελούς καύσης κι έτσι, αυξάνει την τιμή της μέγιστης πίεσης. Οπότε, αυξάνοντας τη συγκέντρωση της αιθανόλης στο μίγμα καυσίμου αυξάνει την ένδειξη της αποτελεσματικότητας εξαιρετικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΥΔΡΟΓΟΝΟ

5.1 Εισαγωγή

Το υδρογόνο είναι ένα πολλά υποσχόμενο εναλλακτικό καύσιμο και λαμβάνει ολοένα και περισσότερη προσοχή σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια. Δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης έχουν διεξαχθεί από περιέργεια, κυρίως έχοντας ως στόχευση την καταλληλότητα του υδρογόνου ως καύσιμο για μηχανές. Κατά την διάρκεια μιας ενεργειακής κρίσης και του Πρώτου και Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου, το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μηχανές διπλής ή μονής λειτουργίας. Η αφθονία των προϊόντων πετρελαίου πιέζει προς τα κάτω την εμπορευματοποίηση του υδρογόνου ως καύσιμο για οχήματα. Στην παρούσα φάση η έρευνα για εναλλακτικά καύσιμα έχει επιταχυνθεί σε όλον τον κόσμο και ως εκ τούτου, η έρευνα και η επίδειξη οχημάτων που λειτουργούν με εναλλακτικά καύσιμα έχει ξεκινήσει. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, πολλά καύσιμα ανανεώσιμα και καθαρής καύσεως έχουν μελετηθεί.

Το υδρογόνο αποτελεί τον ιδανικό μεταφορέα ενέργειας και για κινητές αλλά και για στατικές εφαρμογές ενώ αποτρέπει τις αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και μειώνει την εξάρτηση από την εισαγωγή πετρελαίου για χώρες που δεν έχουν φυσικούς πόρους. Το βιοντίζελ, οι αλκοόλες (και αιθανόλη και μεθανόλη), το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG), υγροποιημένο αέριο του πετρελαίου (LPG) βιοαέριο, αέριο παραγωγών, και το υδρογόνο είχαν μελετηθεί σαν εναλλακτικά καύσιμα για ανάφλεξη μηχανών τόσο με σπινθήρα (SI) όσο και με συμπίεση (CI).

Το υδρογόνο μερικές φορές ονομάζεται ως το καύσιμο του μέλλοντος και βεβαίως διαθέτει έναν αριθμό σύμφυτων ελκυστικών χαρακτηριστικών όταν σχετίζεται με τα καύσιμα που είναι κατάλληλα για την χρήση οχημάτων. Το υδρογόνο είναι κατά πολύ το πλέον άφθονο στοιχείο στο σύμπαν (το 90% βάσει του αριθμού των ατόμων) και στον φλοιό της γης είναι ένα από τα πλέον άφθονα στοιχεία. Στην Γη, το υδρογόνο είναι εντοπίζεται αποκλειστικά σε χημικές ενώσεις, σε αντιδιαστολή με τα ελεύθερα μόρια υδρογόνου που κατά κυριολεξία είναι αόρατα στην φύση. Συνέπεια αυτού είναι ότι το υδρογόνο δεν είναι μια πηγή ενέργειας, αλλά μάλλον ένα βολικό εργαλείο για τον χειρισμό της ενέργειας. Από πολλές απόψεις μια επεξηγηματική παραλλαγή μπορεί να γίνει με τον ηλεκτρισμό, ο οποίος δεν είναι πηγή ενέργειας, αλλά αντιθέτως ένα κατάλληλο μέσο ως ενδιάμεσος στην μεταφορά και μετατροπή ενέργειας.

Η παραγωγή υδρογόνου για βιομηχανική χρήση την παρούσα περίοδο βασίζεται κυρίως στα ορυκτά καύσιμα, αλλά έως κάποιου σημείου χρησιμοποιείται και ο ηλεκτρισμός. Εάν θεωρηθεί ως ένα εναλλακτικό καύσιμο, το υδρογόνο δεν θα έπρεπε να παράγεται από ορυκτά καύσιμα, μιας και αυτό δεν θα οδηγούσε γενικότερα στην μείωση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου (green house gases, GHG's). Το υδρογόνο αποτελεί ένα πολύ ελκυστικό καύσιμο μεταφορών για δύο σημαντικούς λόγους. Είναι το λιγότερο ρυπογόνο καύσιμο (καθώς δεν περιέχει άνθρακα) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης (ICE- MEK) και δυνητικά είναι διαθέσιμο όπου υπάρχει νερό και μια καθαρή πηγή ενέργειας. Μηχανές εσωτερικής καύσεως που τροφοδοτούνται με υδρογόνο (H₂-ICE) λειτουργούν

ως καθαρές και αποδοτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής για τα οχήματα. Το υδρογόνο παράγει νερό μόνο όταν αναφλέγεται στην ΜΕΚ και παράγει ένα πολύ περιβαλλοντικά καθαρό καύσιμο. Η ανάφλεξη του υδρογόνου δεν παράγει κανέναν από τους σημαντικούς ρυπαντές όπως το CO, το HC, το SO_x, τον καπνό, τον μόλυβδο, ή άλλα τοξικά μέταλλα εκτός από NO_x. Τα κατάλοιπα θειικού οξέως, το βενζόλιο και άλλες καρκινογόνες ενώσεις, το όζον και άλλα οξειδωτικά είναι εγγενώς απόντα σε μια καθαρή και καλοσχεδιασμένη μηχανή υδρογόνου.

Ένας ειδικός λόγος για το τεχνολογικό ενδιαφέρον στο υδρογόνο είναι ότι το υδρογόνο λειτουργεί πολύ καλά σε κυψέλες καυσίμου. Οι περισσότερες κυψέλες καυσίμου βασικά λειτουργούν με υδρογόνο, ακόμα και αν το πρωταρχικό καύσιμο δεν είναι πάντα το καθαρό υδρογόνο. Η χρήση υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου οδηγεί σε βελτιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση (όσον αφορά την μετατροπή της χημικής σε μηχανική ενέργεια, εν συγκρίσει με την χρήση του υδρογόνου σε ΜΕΚ. Η απόδοση τη μετατροπής ενδέχεται να φτάσει και το 70% (αν και εξαρτάται σημαντικά από τον τρόπο λειτουργίας και τις συνθήκες) και αυτό είναι όμως τουλάχιστον δύο φορές καλύτερο από την απόδοση της μετατροπής της ενέργειας που παρατηρείται από τις ΜΕΚ. Σε αυτό το κεφάλαιο συζητούνται, η παραγωγή υδρογόνου, οι ιδιότητες των καυσίμων, το πώς να χρησιμοποιούμε αέρια καύσιμα σε οχήματα, η αποθήκευση, η ασφάλεια, και οι προκλήσεις που συνδέονται με την οικονομία του υδρογόνου.

5.2 Το υδρογόνο μεταφοράς ενέργειας

5.2.1 Η ανάγκη για μεταφορείς ενέργειας

Οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας στην γη είναι οι εξής: πυρηνικές αντιδράσεις, η ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και έμμεση, λαμβάνοντας υπόψη ότι με τον άνεμο και το νερό λαμβάνουμε ενέργεια για την κίνησή τους από την ηλιακή ακτινοβολία) και τα ορυκτά καύσιμα. Στην παρούσα εργασία θεωρούνται ως πηγές πρωτογενούς ενέργειας. Το υδρογόνο δεν είναι ανάμεσά τους.

Το δυναμικό της ενέργειας από τις πρωταρχικές πηγές πρέπει να μετασχηματιστεί σε άλλη μορφή για να γίνει χρησιμοποιήσιμη. Οι πιο σημαντικές μορφές ενέργειας για την τελική τους χρήση από το ανθρώπινο είδος είναι: η θερμική ενέργεια (χρησιμοποιείται για την θέρμανση), η μηχανική ενέργεια (για την μετακίνηση αντικειμένων), και η ηλεκτρική ενέργεια (για να τροφοδοτούμε τις ηλεκτρικές μας συσκευές, υπολογιστές, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης κ.λπ.).

Η μετατροπή αυτή μπορεί κατ' αρχήν να γίνει με δύο τρόπους: συγκεντρωμένη σε λίγους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς ή σε πολλές ηλεκτρικές συσκευές που εντοπίζονται κοντά στις αντίστοιχες συσκευές τελικής χρήσης. Είναι εμφανές ότι για να λάβει χώρα η δεύτερη περίπτωση, η τελική μορφή ενέργειας πρέπει να μεταφέρεται εύκολα, το οποίο δεν συμβαίνει πάντα. Για τεχνικούς λόγους, η δυναμική ενέργεια από τους πυρηνικούς αντιδραστήρες δεν μπορεί να μετατραπεί σε μικρά συστήματα διανομής, απαιτούνται μεγάλοι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί. Προς το παρόν, πράγματι, ενέργεια από πυρηνικούς αντιδραστήρες μετατρέπεται σε μεγάλες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες σε θερμότητα. Η θερμότητα κατόπιν

μετασχηματίζεται σε μηχανική κίνηση, και μετά πάλι σε ηλεκτρισμό που τροφοδοτείται στο σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ηλεκτρισμός είναι ένα πολύ καλό μέσο μεταφοράς ενέργειας από συγκεντρωμένες μονάδες στον τόπο όπου θα προορίζεται για την τελική χρήση της ενέργειας.

Όσον αφορά την δυνητική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα, μπορεί να μετατραπεί σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια είτε σε μια συγκεντρωτική μονάδα παραγωγής ή να είναι με διανεμημένο τρόπο (ΜΕΚ για οχήματα, καυστήρες για κοινή χρήση κ.λπ.). η συγκεντρωτική μετατροπή έχει το πλεονέκτημα ότι η περιβαλλοντική μόλυνση που δημιουργείται κατά την διάρκεια της διαδικασίας μπορεί να ελεγχθεί πολύ καλύτερα σε μεγάλες μονάδες παραγωγής παρά σε μικρές. Επίσης η αποδοτικότητα της μετατροπής μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη, απλά για να αναφέρουμε ένα παράδειγμα, η ενέργεια του καυσίμου μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό σε ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες συνδυασμένου κύκλου με αποδόσεις που φθάνουν το 58% ενώ η καλύτερη ΜΕΚ σχεδόν φθάνει το 40%. Επιπλέον, η συγκεντρωμένη μετατροπή γίνεται σε μέρη τα οποία βρίσκονται αρκετά μακριά από πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και γι' αυτό οι εκπομπές που παράγονται μπορούν να σκορπιστούν πάνω από πολύ μεγάλες περιοχές πριν φθάσουν σε μεγάλες μάζες κοινού, έτσι μειώνουν κατά πολύ οποιαδήποτε επίδραση στην δημόσια υγεία από τις εκπομπές. Συμπεραίνεται, ότι εάν ένας μεταφορέας ενέργειας που είναι διαθέσιμος μπορεί να μεταφέρει ενέργεια σε σημεία τελικής κατανάλωσης, και μπορεί να παράγει ενέργεια στην τελική της μορφή με αμελητέα παραγωγή ρύπων, αυτό μπορεί να επιφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα.

5.2.2 Ο ρόλος του ηλεκτρισμού

Σήμερα κατά ένα μεγάλο ποσοστό, ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος μεταφορέας ενέργειας είναι ο ηλεκτρισμός. Ο ηλεκτρισμός είναι ένα πολύ ευέλικτο μέσο μεταφοράς ενέργειας από σημείο συγκεντρωμένης μετατροπής σε περιοχές τελικής χρήσης., ωστόσο, ο ηλεκτρισμός έχει το πλεονέκτημα ότι χρειάζεται καλωδίωση για να μεταφερθεί. Αυτό εκμεταλλεύονται και οι σιδηροδρομικές γραμμές που χρησιμοποιούν ηλεκτρικές γραμμές και αλυσοειδή για την μεταφορά του ηλεκτρισμού στα τραίνα. Ένας τρόπος για να εκμεταλλευτούμε τον ηλεκτρισμό σε κινητά οχήματα που δεν διαθέτουν καλωδίωση για να τα συνδέει με την γη είναι να τον αποθηκεύουμε επί του οχήματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετατρέποντας χημική δυνητικά ενέργεια σε επί του οχήματος αποθηκευτικούς χώρους που είναι γνωστά ως «μπαταρίες». Πράγματι, αυτό δεν είναι πολύ αποτελεσματικό για δύο κυρίως λόγους:

- Η ενέργεια ανά μονάδα όγκου που μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες και η μάζα του είναι κατά πολύ μικρότερη από αυτή των ορυκτών καυσίμων (περισσότερο από μια τάξη μεγέθους).
- Ο «χρόνος επαναγεμίματος», ο οποίος για μια μπαταρία είναι ο χρόνος φόρτισης, είναι πολύ μεγαλύτερος από τον χρόνο επαναγεμίματος μιας παραδοσιακής δεξαμενής καυσίμου (περισσότερο από μια τάξη μεγέθους).

Κάποιος μπορεί κατά αυτόν τον τρόπο να συμπεράνει ότι αν και ο ηλεκτρισμός είναι ένας πολύ χρήσιμος και ευέλικτος ενεργειακός μεταφορέας, άλλοι μεταφορείς θα μπορούσαν να ξεπεράσουν την ανάγκη των καλωδίων για να διανείμουν και/ ή για να μπορούν να την αποθηκεύουν με έναν πιο αποτελεσματικό τρόπο, αυτό θα ασκούσε σημαντική επίδραση στον μελλοντικό τρόπο ζωής του ανθρωπίνου είδους.

5.2.3 Ο ρόλος του υδρογόνου

Όταν το υδρογόνο έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο, αντιδρά με αυτό και απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Εάν αυτή η επαφή είναι άμεση, η ενέργεια που απελευθερώνεται παίρνει την μορφή θερμότητας. Εάν η επαφή γίνεται αφού πρώτα ιονίσουμε το υδρογόνο και χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά μονοπάτια για τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια, τότε λαμβάνει την μορφή του ηλεκτρισμού (η θερμοδυναμική των δύο αντιδράσεων είναι διαφορετική, οι διαφορές στις ποσότητες της δυνητικά διαθέσιμης ενέργειας ωστόσο δεν είναι πολύ μεγάλη, και δεν λαμβάνεται υπόψη εξαιτίας αυτού). Ως συνέπεια αυτού, δοθείσης της ευρείας διαθεσιμότητας του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, μπορεί να υποστηριχθεί ότι το υδρογόνο μεταφέρει ενέργεια με τον εαυτό του. Από την άλλη μεριά, το υδρογόνο δεν απαντάται ελεύθερο στην φύση, είναι ενσωματωμένο σε πλείστες φυσικές ουσίες όπως το νερό, τους υδαάνθρακες και υδρογονάνθρακες. Για να αποσπάσουμε το υδρογόνο από αυτές τις ουσίες, πρέπει να σπαταληθεί ενέργεια. Εάν για παράδειγμα, αποσπάσουμε το υδρογόνο από το νερό χρησιμοποιώντας ηλεκτρόλυση, η θεωρητική ενέργεια που απαιτείται για αυτή την λειτουργία είναι ίδια θεωρητικά με αυτήν που έγινε διαθέσιμη κατά την διάρκεια του ανασυνδυασμού με το οξυγόνο. Αυτές οι δίδυμες αντιδράσεις που επιτρέπουν την δημιουργία του υδρογόνου από φυσικές ουσίες (πχ. νερό) δαπανώντας ενέργεια και αναδημιουργία νερού από την αντίδραση του υδρογόνου με το οξυγόνο, καθιστά το υδρογόνο ως πιθανό μέσο μεταφοράς ενέργειας.

5.3 Παραγωγή υδρογόνου

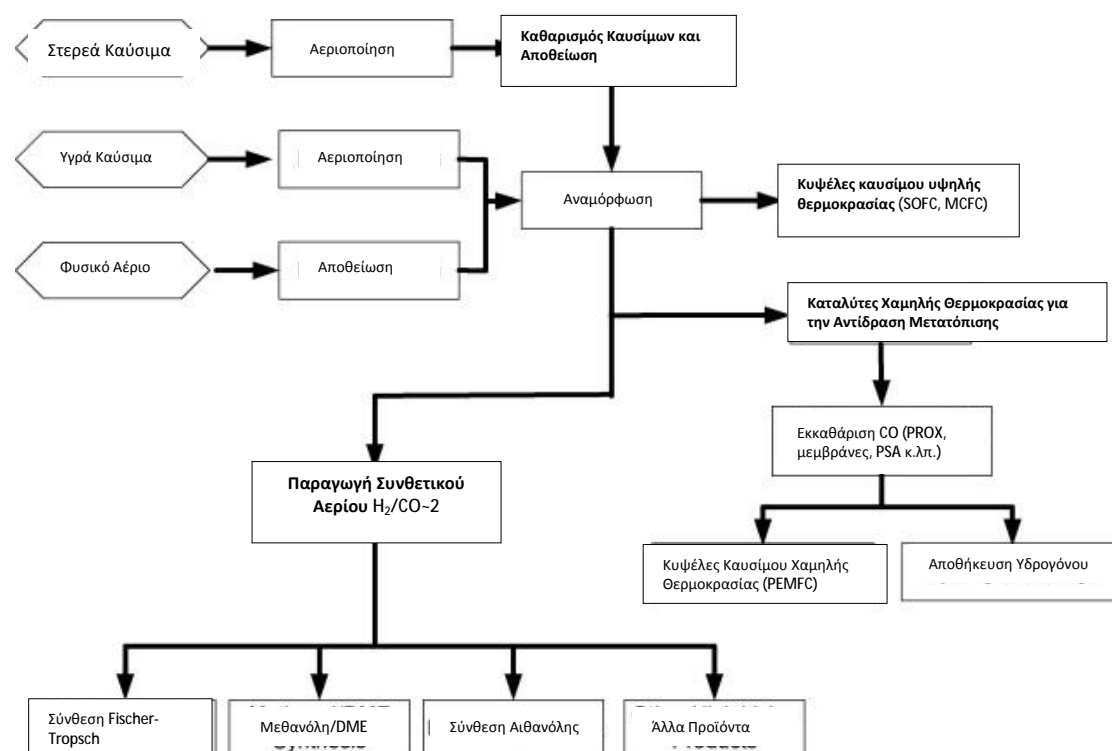
Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες και μη πηγές καυσίμων. Οι ανανεώσιμες πηγές καυσίμων περιλαμβάνουν το νερό, την βιομάζα, και συμβατικά καύσιμα. Οι τεχνολογίες επεξεργασίας καυσίμων μετατρέπουν ένα υλικό που περιέχει υδρογόνο όπως η βενζίνη, η αμμωνία, ή η μεθανόλη σε ένα ρεύμα πλούσιο σε υδρογόνο. Η επεξεργασία του μεθανίου είναι η πιο κοινή μέθοδος παραγωγής υδρογόνου με εμπορική χρήση σήμερα. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου.

5.3.1 Σχηματισμός υδρογόνου

Υπάρχουν τρεις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου από καύσιμα υδρογονανθράκων: αναμόρφωση ατμού, μερική οξειδωση (POX), και ο αυτοθερμικός ανασχηματισμός (ATR). Η διαδικασία αναμόρφωσης παράγει ένα ρεύμα αερίου που έχει κυρίως συντεθεί από υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, και διοξείδιο του άνθρακα. Η αναμόρφωση ατμού δεν απαιτεί οξυγόνο, έχει μια χαμηλότερη λειτουργική θερμοκρασία από την POX και την ATR, και παράγει ανασχηματισμένο ρεύμα H_2/CO (αναλογίας 3:1).

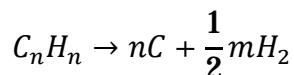
Η μερική οξειδωση μετατρέπει τους υδρογονάνθρακες σε υδρογόνο οξειδώνοντας εν μέρει (καύση) τους υδρογονάνθρακες με το οξυγόνο. Η αυτόθερμη αναμόρφωση χρησιμοποιεί την POX για να παράσχει την θερμότητα και το ρεύμα που αναμορφώνει για να αυξήσει την παραγωγή υδρογόνου που οδηγεί σε μια θερμικά ουδέτερη διαδικασία. Αφού η POX είναι εξώθερμη και η ATR ενσωματώνει POX, αυτές οι διαδικασίες δεν απαιτούν μια εξωτερική πηγή θερμότητας για την αντίδραση. Ωστόσο, αυτές απαιτούν είτε μια ακριβή και περίπλοκη μονάδα διαχωρισμού του οξυγόνου για να τροφοδοτήσουν με καθαρό οξυγόνο τον αντιδραστήρα, είτε τα προϊόντα του αερίου διυλίζονται με άζωτο.

Πίνακας 5.1 : Επεξεργασία καυσίμων αερίων, υγρών και στερεών για την παραγωγή υδρογόνου



5.3.2 Πυρόλυση

Η πυρόλυση μετατρέπει τον υδρογονάνθρακα σε υδρογόνο και άνθρακα χωρίς την παρουσία αέρα/νερού/ οξυγόνου. Η πυρόλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με οποιοδήποτε οργανικό υλικό. Εάν αέρας ή νερό είναι παρόντα τότε σημαντικές εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να παραχθούν. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι η ευελιξία του καυσίμου, η σχετική απλότητα και το γεγονός το γεγονός του ότι είναι συμπαγές, τα καθαρά υποπροϊόντα άνθρακα, και η μείωση των εκπομπών CO₂ καθώς και CO. Η χημική αντίδραση μπορεί να γραφτεί ως εξής:

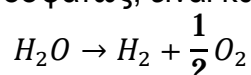


5.3.3 Αναμόρφωση πλάσματος

Στην αναμόρφωση πλάσματος οι γενικές αντιδράσεις αναμόρφωσης είναι οι ίδιες όπως και στην περίπτωση της συμβατικής αναμόρφωσης, ωστόσο, η ενέργεια και οι ελεύθερες ρίζες που χρησιμοποιούνται για την αναμόρφωση πλάσματος παρέχονται από πλάσμα το οποίο έχει τυπικά παραχθεί από ηλεκτρισμό ή θερμότητα. Όταν το νερό ή ο ατμός εγχέονται μαζί με το καύσιμο, ρίζες H, OH και O σχηματίζονται μαζί με ηλεκτρόνια, έτσι δημιουργούν τις συνθήκες για να συμβούν αναγωγικές και οξειδωτικές αντιδράσεις. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από την παραδοσιακή αναμόρφωση και είναι ανεκτή σε υψηλή ποσότητα θείου.

5.3.4 Υδρογόνο από το νερό

Η ηλεκτρόλυση του νερού μπορεί να παράξει πολλής μεγάλης καθαρότητας υδρογόνο με μεγάλη αποτελεσματικότητα. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνά δια μέσω δύο ηλεκτροδίων για να διαχωρίσει το υδρογόνο από το οξυγόνο. Εμπορικοί ηλεκτρολύτες με δυνατότητα να επιτυγχάνουν χαμηλές θερμοκρασίες έχουν απόδοση στο σύστημα από 56% έως 73%. Οι κυψέλες οξείδωσης στερεών ηλεκτρολυτών (SOEC) είναι πιο αποτελεσματικοί. Η τεχνολογία SOEC έχει προβλήματα με την διάβρωση, την σφράγιση συγκεκριμένων σημείων, την θερμική ανακύκλωση και την απόσπαση χρωμίου. Οι ηλεκτρολύτες δεν είναι μόνο ικανοί να παράγουν υψηλής ποιότητας υδρογόνο, αλλά προσφάτως, είναι και μονάδες υψηλής πίεσης.



5.4 Ιδιότητες του υδρογόνου

5.4.1 Φυσικές ιδιότητες

Το υδρογόνο είναι καθαρό καύσιμο. Το υδρογόνο είναι το πιο ελαφρύ στοιχείο και διαθέτει ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το υδρογόνο με

ατομικό βάρος 1,00797 και ατομικό αριθμό 1 είναι το πρώτο στοιχείο του περιοδικού πίνακα. Υπάρχουν τρία ισότοπα του υδρογόνου, το υδρογόνο, το δευτέριο και το τρίτιο, αντιστοίχως. Το υδρογόνο είναι άχρωμο, άοσμο, άγευστο και περίπου 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα. Διαχέεται στον αέρα με γρηγορότερο ρυθμό από όλα τα άλλα αέρια. Οι φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου δίνονται στον κάτωθι πίνακα (πίνακας 5.2).

Ένα ρεύμα υδρογόνου από μια διαρροή είναι αόρατο κατά την διάρκεια της μέρας. Το υδρογόνο έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα περίπου 0.09kg/m^3 στους 20°C . Η υγρή πυκνότητα του υδρογόνου είναι 70.03kg/m^3 . Μεγαλύτερη χωρητικότητα των κυλίνδρων απαιτείται για να αποθηκευτούν επαρκείς ποσότητες υδρογόνου για την λειτουργία ενός οχήματος. Επιπλέον, καθώς η ενεργειακή πυκνότητα μειώνεται, επίσης μειώνεται και η απόδοση.

Οι μηχανές υδρογόνου δεν θα αντιμετωπίζουν κανένα πρόβλημα κατά την εκκίνηση καθώς διαθέτουν πολύ χαμηλό σημείο βρασμού. Ακόμα και στις ακραίες χειμερινές θερμοκρασίες μια μηχανή υδρογόνου θα ξεκινήσει εύκολα. Ο λόγος εκτόνωση, είναι ο λόγος του όγκου στον οποίο ένα υγρό ή αέριο αποθηκεύονται στον όγκο του αερίου ή του υγρού σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία. Η αναλογία εκτόνωσης του υδρογόνου είναι 1:848, με άλλα λόγια, το αέριο υδρογόνο καταλαμβάνει έναν όγκο 848 φορές μεγαλύτερο από ότι σε υγρή μορφή. Όταν το υδρογόνο αποθηκεύεται σαν αέριο υψηλής πίεσης 250 bar και ατμοσφαιρικής πίεσης, η αναλογία εκτόνωσης του σε σχέση με την ατμόσφαιρά είναι 1:240. Αυτό απαιτεί ότι ένας μεγάλος όγκος υδρογόνου απαιτείται προκειμένου να μεταφερθεί αρκετή ποσότητα υδρογόνου που θα μπορέσει να κινήσει ένα όχημα.

Πίνακας 5.2 : Φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου

Ιδιότητες	p-Hydrogen	n-Hydrogen
<i>Τριπλό σημείο</i>		
Θερμοκρασία (K)	13.803	13.957
Πίεση(kPa)	7.04	7.2
Πυκνότητα (στερεών) (kg/m^3)	86.48	86.71
Πυκνότητα (υγρών) (kg/m^3)	77.03	77.21
Πυκνότητα (αερίων) (kg/m^3)	0.126	0.130
Σημείο Βρασμού (K)	20.268	20.39
Θερμότητα εξάτμισης (J/mol)	898.30	899.1
<i>Υγρή φάση</i>		
Πυκνότητα (kg/m^3)	70.78	70.96
C_p (J/mol/K)	19.70	19.7
C_v (J/mol/K)	11.60	11.6
Ενθαλπία (J mol)	-516.6	548.3
Εντροπία (J/molK)	16.08	34.92
Ιξώδες(mPa s)	13.2×10^{-3}	13.3×10^{-3}
Ταχύτητα του ήχου (m/s)	1089	1101
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)	98.92×10^{-3}	100×10^{-3}
Παράγοντας Συμπίεστικότητας	0.01712	0.01698
<i>Αέρια φάση</i>		
Πυκνότητα (kg/m^3)	1.338	1.331
C_p (J/mol/K)	24.49	24.60
C_v (J/mol/K)	13.10	13.2
Ενθαλπία (J/mol)	381.61	1447.4
Εντροπία (J/molK)	60.41	78.94

Ιδιότητες	p-Hydrogen	n-Hydrogen
Ιξώδες (mPa s)	1.13×10^{-3}	1.11×10^{-3}
Ταχύτητα του ήχου (m/s)	355	357
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)	60.49×10^{-3}	16.5×10^{-3}
Παράγοντας Συμπιεστότητας	0.906	0.906
<i>Κριτικό Σημείο</i>		
Θερμοκρασία (K)	32.976	33.19
Πίεση (MPa)	1.29	1.325
Πυκνότητα (kg/m ³)	31.43	30.12
Ιδιότητες σε καν. θερμ. & πίεση (273.15 K, 101.3 K pa)		
Πυκνότητα (kg/m ³)	0.0899	0.0899
C _p (J/mol/K)	30.35	28.59
C _v (J/mol/K)	21.87	20.3
Ιξώδες (mPa s)	8.34×10^{-3}	8.34×10^{-3}
Ταχύτητα του ήχου (m/s)	1246	1246
Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)	182.6×10^{-3}	173.9×10^{-3}
Παράγοντας Συμπιεστότητας	1.0005	1.00042
Διηλεκτρικό πρότυπο	1.00027	1.000271
Αριθμός Prandtl	0.6873	0.680

5.4.2 Χημικές ιδιότητες

Τα άτομα του υδρογόνου είναι χημικά πολύ δραστήρια. Όταν μια μικρή ποσότητα ενέργειας ανάφλεξης σε μορφή σπίθας παρέχεται στο μείγμα υδρογόνου- αέρα, τα μόρια αντιδρούν με τον αέρα στην ατμόσφαιρα πολύ δραστήρια και απελευθερώνουν σημαντικές ποσότητες θερμότητας και υδρατμών. Σε θερμοκρασία δωματίου αυτές οι αντιδράσεις είναι πολύ αργές, αλλά επιταχύνεται από καταλύτες όπως η πλατίνα και η σπίθα. Πολύ υψηλές θερμοκρασίες απαιτούνται (>5000 K) για να διαχωριστούν τα μόρια υδρογόνου σε άτομα υδρογόνου εντελώς. Το υδρογόνο θεωρείται μεταφορέας ενέργειας για να αποθηκεύει και να μεταδίδει ενέργεια από πρωταρχικές πηγές ενέργειας.

5.4.3 Ιδιότητες καυσίμου

Το υδρογόνο είναι ένα κατάλληλο αέριο καύσιμο για ανάφλεξη μηχανών τόσο με σπινθήρα (spark ignition, SI) όσο και με συμπίεση (compressed ignition, CI). Οι ιδιότητες του υδρογόνου δίνονται στον κάτωθι πίνακα (πίνακας 5.3). Η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου είναι πολύ υψηλή και ταιριάζει καλύτερα με μηχανές τύπου SI. Αυτή η θερμοκρασία παίζει έναν σημαντικό ρόλο στην πίεση αποθήκευσης του υδρογόνου επειδή καθώς η πίεση του υδρογόνου μέσα στον κύλινδρο αυξάνει, αυξάνει και η θερμοκρασία. Η υψηλότερη η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του υδρογόνου επιτρέπει την χρήση μεγαλύτερης αναλογίας συμπίεσης χωρίς να προκαλείται πρόωρη ανάφλεξη. Είναι γνωστό τοίς πάση ότι καθώς η αναλογία συμπίεσης της μηχανής αυξάνει, θα αυξηθεί και η θερμική απόδοση της. Το υδρογόνο μπορεί να αναφλεγεί στην χαμηλή ενεργειακή του ανάφλεξη των 0,02mJ εν συγκρίσει με τα 0,24mJ για την βενζίνη και τα 0.28mJ για το μεθάνιο σε στοιχειομετρική μέτρηση.

5.4.3.1 Ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης

Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για ανάφλεξη είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερη από αυτή που απαιτείται για την βενζίνη. Η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης είναι μια συνάρτηση ισοδυναμίας λόγων. Στην ισοδυναμία λόγων που είναι πιο κοντά στο 1, η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης για το μείγμα υδρογόνου- αέρα είναι πολύ χαμηλή. Καθώς πολύ λίγη ενέργεια απαιτείται για την ανάφλεξη του υδρογόνου, οποιοδήποτε μείγμα υδρογόνου- αέρα μπορεί να αναφλεγεί εξαιτίας των ευρέων ορίων αναφλεξιμότητας του υδρογόνου. Τα καυτά σημεία στον θάλαμο ανάφλεξης μπορεί να προκαλέσουν πρόωρη ανάφλεξη στον θάλαμο καυσίμου και αναδρομή επίσης.

5.4.3.2 Ταχύτητα φλόγας

Η ταχύτητα της φλόγας στα μείγματα υδρογόνου - αέρα είναι μια συνάρτηση ισοδύναμων λόγων. Το υδρογόνο έχει πολύ υψηλή δύναμη φλόγας ίση με 1,85m/s εν συγκρίσει με την αντίστοιχη για την βενζίνη που είναι ίση με 0,42m/s και 0,38m/s για το ντίζελ.

5.4.3.3 Θερμοκρασία φλόγας

Η θερμοκρασία φλόγας για τα μείγματα υδρογόνου- αέρα είναι περίπου 2207°C εν συγκρίσει με τους 1917 °C για το μεθάνιο, και τους 2307°C για την βενζίνη. Αλλά η γρήγορη ανάφλεξη επιτρέπει πολύ λίγη απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον και ως εκ τούτου παράγονται υψηλές στιγμιαίες θερμοκρασίες που οδηγούν στον σχηματισμό υψηλών οξειδίων του αζώτου.

Πίνακας 5.3 : Ιδιότητες καυσίμου υδρογόνου

Ιδιότητες	Υδρογόνο
Πυκνότητα σε STP (kg/m ³)	0.084
Θερμότητα Εξάτμισης (J/g)	445.6
Χαμηλότερη Τιμή Θέρμανσης (kJ/g)	119.93
Υψηλή Τιμή Θέρμανσης (kJ/g)	141.8
Θερμική Αγωγιμότητα σε καν. συνθ. (mW/cm/K)	1.897
Συντ. Διάχυσ. σε καν. συνθ. (cm ² s)	0.61
Όρια Ευφλεκτότητας στον Αέρα (vol%)	4.0–75
Όρια Εκρηκτικότητας στον Αέρα (vol%)	18.3–59
Περιοριστικός Δείκτης Οξυγόνου (vol%)	5.0
Στοιχειομετρική Σύνθεση στον Αέρα (vol%)	29.53
Ελάχιστη Ενέργεια Ανάφλεξης στον Αέρα (Mj)	0.02
Θερμοκρασία Αυτό- Ανάφλεξης (K)	858
Θερμοκρασία Φλόγας στον Αέρα (K)	2318
Μεγ. Ταχύτητα Καύσεως στον Αέρα σε Καν. Συνθ. (m/s)	3.46
Ταχύτητα Εκρηκτικότητας στον Αέρα σε Καν. Συνθ. (km/s)	1.48–2.15
Ενέργεια Μάζας Σχετιζόμενη με την Έκρηξη g TNT (g)	24.0
Ενέργεια κατ' όγκο Σχετιζόμενη με την Έκρηξη g TNT (m ³) (STP)	2.02

5.4.3.4 Διαχυτότητα

Η διαχυτότητα του υδρογόνου στην ατμόσφαιρα είναι πολύ υψηλότερη από την βενζίνη και το ντίζελ. Η υψηλότερη διαχυτότητα βοηθάει στον σχηματισμό ομογενών μειγμάτων υδρογόνου και αέρα. Επιπλέον, εάν υπάρχει οποιαδήποτε διαρροή από τον κύλινδρο, θα διασκορπιστεί γρήγορα στην ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου σχηματίζονται απλά μείγματα και μειώνεται ο κίνδυνος μιας ξαφνικής ανάφλεξης. Τα μόρια του υδρογόνου είναι μικρότερα από ότι στα άλλα αέρια και ως εκ τούτου μπορούν να διαχυθούν διαμέσου πολλών άλλων υλικών που θεωρούνται αεροστεγή ή αδιαπέραστα σε άλλα αέρια. Η διαρροή υγρού υδρογόνου εξατμίζεται γρήγορα καθώς το σημείο βρασμού του είναι πολύ χαμηλό (-253 °C)

Σε περίπτωση διαρροής υδρογόνου, οι επιπτώσεις πλευστότητας και διάχυσης στην ατμόσφαιρα συχνά επισκιάζονται από την παρουσία ρευμάτων αέρα από έναν ελαφρύ ατμοσφαιρικό αέρα και πολύ αργή κίνηση των οχημάτων. Γενικότερα, χρησιμεύει στο να διαλύει το υδρογόνο που έχει διαρρεύσει πιο γρήγορα.

5.4.3.5 Αναφλεξιμότητα

Τα όρια της αναφλεξιμότητας είναι η έκταση στην οποία η μηχανή μπορεί να λειτουργήσει με το ευρύ φάσμα μειγμάτων αέρα και υδρογόνου. Τα μείγματα υδρογόνου - αέρα είναι εύφλεκτα σε ευρύ φάσμα 4 - 75% συγκέντρωση, ενώ η αναφλεξιμότητα της βενζίνης ποικίλει λιγότερο από 10%. Στο μείγμα υδρογόνου - αέρα, 4% υδρογόνο μπορεί να παράσχει μείγματα ανάφλεξης ενώ η στοιχειομετρική αναλογία αέρα- καυσίμου είναι 29,5%. Το υδρογόνο παράσχει σταθερή λειτουργία ακόμα και σε αραιωμένη κατάσταση επίσης. Όσον αφορά την ισοδυναμία αναλογίας η ευρύτητα αναφλεξιμότητας για το υδρογόνο είναι 0,1 - 7,1 και για την βενζίνη είναι 0,7 - 4,0. Οι μηχανές υδρογόνου μπορούν να λειτουργήσουν με πιο απλά μείγματα από ότι οι μηχανές βενζίνης. Η λειτουργία της μηχανής με απλό καύσιμο μειώνει την κατανάλωση καυσίμου καθώς επίσης και την θερμοκρασία στον θάλαμο ανάφλεξης. Ωστόσο, η απλή λειτουργία μειώνει την απόδοση της μηχανής εξαιτίας της μείωσης της ογκομετρικής απόδοσης της μηχανής.

5.4.3.6 Απόσταση σβέσης

Οι φλόγες ανάφλεξης συνήθως σβήνουν από μια συγκεκριμένη απόσταση από το τοίχωμα του κυλίνδρου εξαιτίας απωλειών θερμότητας που αποκαλείται απόσταση σβέσης. Η απόσταση σβέσης για το υδρογόνο είναι (0,64mm) λιγότερη από εκείνη της βενζίνης (2mm). Έτσι, οι φλόγες του υδρογόνου ταξιδεύουν πολύ κοντά στο τοίχωμα πριν σβήσουν. Η μικρότερη απόσταση σβέσης αυξάνει την τάση πρόωρης ανάφλεξης και περνά σχεδόν από την βαλβίδα εισαγωγής.

Οι ιδιότητες της ανάφλεξης και της ευφλεκτότητας του υδρογόνου εν συγκρίσει με το μεθάνιο και την βενζίνη δίνονται από τον πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 : Ιδιότητες ανάφλεξης υδρογόνου σε σχέση με το μεθάνιο, προπάνιο και τη βενζίνη

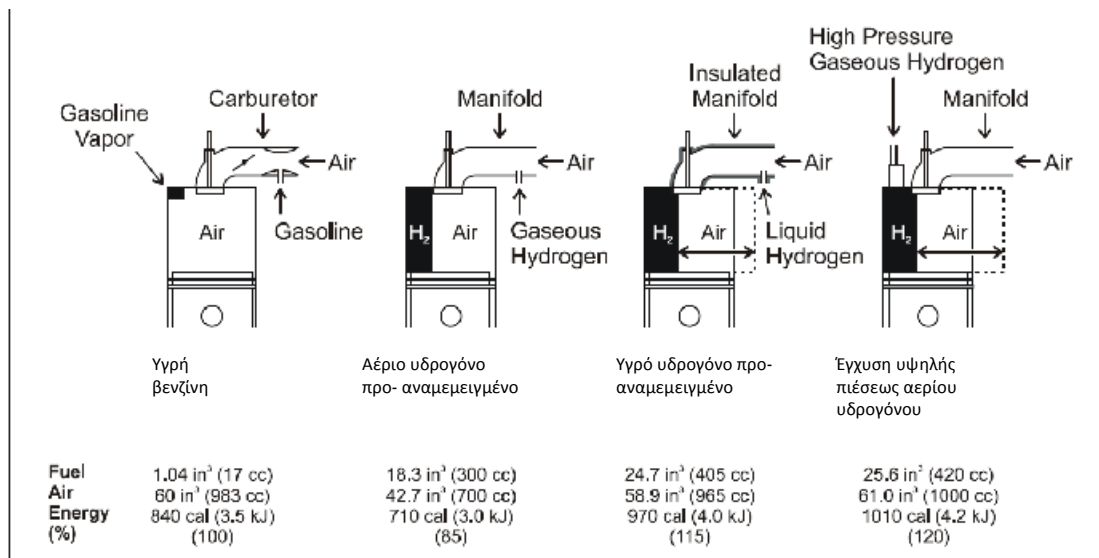
Ιδιότητα	Υδρογόνο	Μεθάνιο	Προπάνιο	Βενζίνη
Ελάχιστη Ενέργεια Ανάφλεξης (mJ)	0.02	0.28	0.25	0.25
Θερμοκρασία Ανάφλεξης (K)	858	810	783	530
Αδιαβατική Θερμοκρασία Φλόγας (K)	2384	2227	2268	2270
Όρια Αναφλεξιμότητας (% στον αέρα)	4.1-75	4.3-15	2.2-9.5	1.5-7.6
Μέγιστη ταχύτητα στρωτής φλόγας (cm/s)	270	38	40	30
Διαχυτότητα (cm ² /s)	0.63	0.20	—	0.08
Ελάχιστη Απόσταση Σβέσης στο 1 σκέλος (cm)	0.06	0.25	0.19	—
Κανονικοποιημένη Εκπομπή Φλόγας (200 K & 1 aim)	1.00	1.7	1.7	1.7

5.4.3.7 Αναλογία αέρα - καυσίμου

Η αναλογία αέρα- καυσίμου για την βενζίνη είναι σχεδόν 15:1 ενώ για το υδρογόνο είναι 34:1. Καθώς το καύσιμο υδρογόνο σε αέρια μορφή μπαίνει στο σύστημα εισαγωγής, καταλαμβάνει περισσότερο όγκο στον θάλαμο ανάφλεξης από ότι το υγρό καύσιμο και ως εκ τούτου μειώνει την ποσότητα του αέρα που εισάγεται μέσα σε αυτόν (εικόνα 2). Σε στοιχειομετρικές συνθήκες, το υδρογόνο καταλαμβάνει περίπου 30% του θαλάμου ανάφλεξης, εν συγκρίσει με την βενζίνη που καταλαμβάνει περίπου το 1-2%. Αυτό μειώνει την ογκομετρική απόδοση της μηχανής καθώς επίσης και της αναπτυσσόμενης δύναμης. Καθώς το υδρογόνο διαθέτει ένα ευρύ φάσμα αναφλεξιμότητας, η μηχανή υδρογόνου μπορεί να λειτουργήσει με εύρος αναλογίας αέρα/ καυσίμου 34:1 - 180:1.

5.4.3.8 Ευθραυστότητα υδρογόνου

Εξαιτίας της ευθραυστότητας του υδρογόνου, οι μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών των συστημάτων υδρογόνου ενδέχεται να υποβαθμιστούν και να αποτύχει η λειτουργία τους, οδηγώντας σε διαρροές. Η ευθραυστότητα του υδρογόνου εξαρτάται από την περιβάλλουσα θερμοκρασία και την πίεση, την συγκέντρωση και τον χρόνο έκθεσης του υδρογόνου, την δύναμη και την ποιότητα του υλικού, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες, τις συνθήκες επιφανείας και τα λοιπά. Ο έλεγχος της ευθραυστότητας του υδρογόνου μπορεί να επιτευχθεί με το επίστρωμα οξειδίου, αφαίρεση των συγκεντρωμένων τάσεων, των προσθετικών του υδρογόνου, επιλογή των υλικών κράματος και τα λοιπά. Η ευθραυστότητα του εσωτερικού και περιβαλλοντικού υδρογόνου μεγιστοποιείται στο εύρος θερμοκρασιών από -73°C έως 27 °C ενώ η συνάρτηση ευθραυστότητας του υδρογόνου λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίες πάνω από τις θερμοκρασίες δωματίου.



Εικόνα 5.1 : Ογκομετρική και ενεργειακή σύγκριση θαλάμου ανάφλεξης για μηχανές που τροφοδοτούνται με βενζίνη και υδρογόνο

5.4.3.9 Θερμιδική αξία

Η θερμιδική αξία του υδρογόνου εν συγκρίσει με αυτή άλλων καυσίμων απεικονίζεται στον πίνακα 5.5. Το υδρογόνο περιλαμβάνει 2,75 φορές την ενέργεια εν συγκρίσει με αυτή της βενζίνης με βάση την μάζα. Ωστόσο, με βάση τον όγκο είναι χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου.

Πίνακας 5.5 : Σύγκριση του Ενεργειακού Περιεχομένου Διαφόρων Καυσίμων

Καύσιμο	Χημικός Τύπος	Κατάσταση	Ενέργεια α (MJ/kg)	Ενέργεια α (gj/m ³)
Βενζίνη	C ₅₋₁₀ H ₁₂₋₂₂	Υγρό	47.4	34.85
LPG	C ₃₋₄ H ₈₋₁₀	Υγρό	48.8	24.4
LNG	CH ₄	Υγρό	-50.0	-230.0
Μεθανόλη	CH ₃ OH	Υγρό	22.3	18.10
Αιθανόλη	C ₂ H ₅ OH	Υγρό	29.9	23.60
Υγρό Υδρογόνου	H ₂	Υγρό	141.9	10.10
Υδρογόνο	H ₂	Αέριο	141.9	0.013
Φυσικό Αέριο	CH ₄	Αέριο	-50.0	0.040

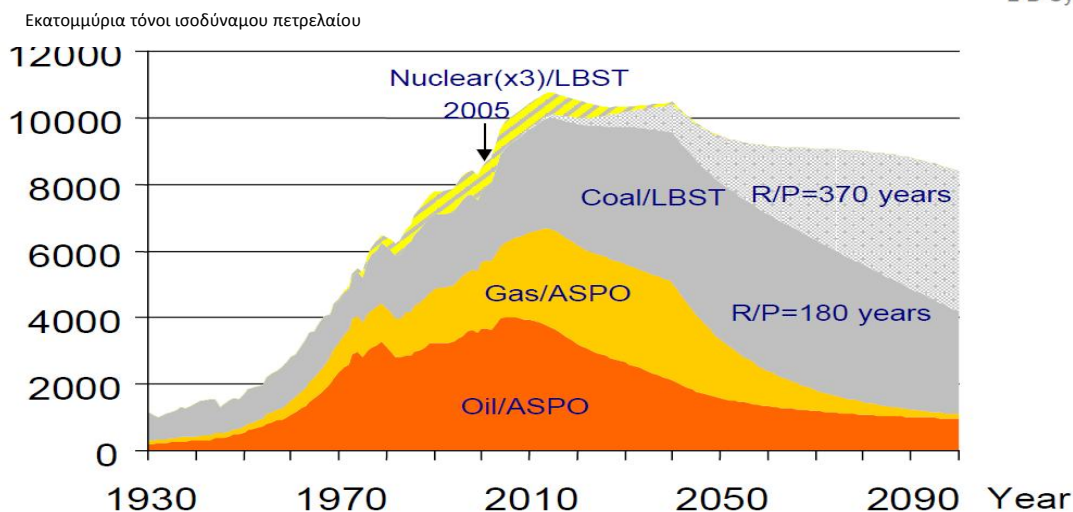
5.5 Οικονομικά του υδρογόνου

Εκτός από τα κόστη για τα υλικά και τις υποδομές, το κόστος καυσίμων, είναι φυσικά, ζωτικής σημασίας όταν οι φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων είναι να επιλέξουν ανάμεσα σε διαφορετικές τεχνολογίες προώθησης. Για λόγους δοκιμής και επίδειξης τα παρόντα κόστη καυσίμων δεν είναι τόσο σημαντικά – αλλά τα μελλοντικά λειτουργικά κόστη (όπου τα κόστη καυσίμου θα είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους) θα πρέπει περίπου να είναι στο ίδιο επίπεδο όπως και στις παραδοσιακές τεχνολογίες, εάν τα οχήματα

που τροφοδοτούνται με υδρογόνο έχει επιτύχει μια μεγάλη ανακάλυψη. Στην παρούσα περίοδο το καύσιμο υδρογόνο είναι πολύ πιο ακριβό από το ντίζελ, αλλά αυτό είναι απίθανο να παραμείνει έτσι για πάντα. Όταν συζητάμε για την μελλοντική προσφορά και τις πιθανότητες αντίστοιχες μελλοντικές τιμές στο ντίζελ και στα άλλα ορυκτά καύσιμα η σχετική ερώτηση που δεν θα πρέπει να ρωτήσουμε είναι: «Για πόσα χρόνια έχουμε διαθέσιμους πόρους πετρελαίου, αερίου και άνθρακα;» αλλά, «Πότε δεν θα μπορεί άλλο πια η προσφορά να συμβαδίζει με την ζήτηση;».

Σύμφωνα με μια έρευνα του 2006 από των Ludwig – Bolkow - Systemtechnik για την Ευρωπαϊκή Ένωση Υδρογόνου αυτό θα συμβεί σε πολύ λίγα χρόνια . Όταν η προσφορά ορυκτών καυσίμων δεν θα μπορεί άλλο πια να συμβαδίζει με την ζήτηση οι τιμές θα ανέβουν και οι πηγές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα γίνουν ολοένα και πιο ανταγωνιστικές. Η εικόνα παραγωγής πετρελαίου εμφανίζεται στην εικόνα παρακάτω (εικόνα 5.2). Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, η προσφορά πετρελαίου θα κορυφωθεί πριν το 2010, και με την τωρινή ζήτηση των 4000 MTOE (Million Tonnes of Oil Equivalent) που έχει προβλεφθεί ότι θα αυξηθούν έως και 6000 MTOE μέχρι το 2030, είναι ξεκάθαρο ότι οι τιμές του ντίζελ και του πετρελαίου θα αυξηθούν σημαντικά τα επερχόμενα χρόνια. Επιπλέον η εικόνα 5.2 παρουσιάζει και το τεράστιο κενό στην συνολική ενεργειακή προσφορά που δημιουργείται από την ολοένα μειούμενη παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στην καλύτερη περίπτωση, ο άνθρακας ενδεχομένως να ισοπεδώσει/ κατακρημνίσει την συνολική μείωση για μερικά χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι στον ενεργειακό τομέα εξολοκλήρου, και ειδικότερα στον τομέα των μεταφορών, με την υψηλή του εξάρτηση από το πετρέλαιο, θα πρέπει να υποκαταστήσει την ποσότητα του ολοένα μειούμενου πετρελαίου με ένα εναλλακτικό καύσιμο. Τα μέσα μεταφοράς που θα υιοθετήσουν αυτή την μετάβαση γρηγορότερα, αναμφίβολα θα αποκτήσουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι όσων αργήσουν να υιοθετήσουν αυτή την τεχνολογία.

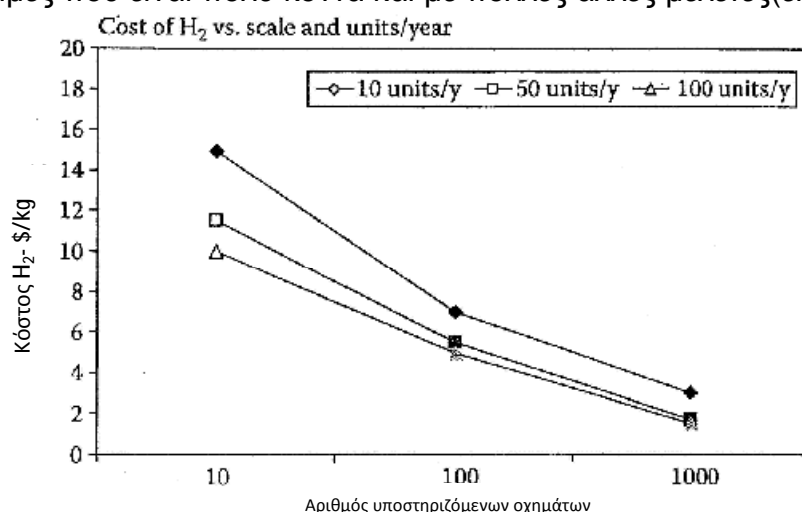
L-B-Sysl



Εικόνα 5.2 : Εικόνα παραγωγής πετρελαίου

Υπάρχει ένα αριθμός διαφορετικών μελετών που προσπαθούν να προβάλουν τις μελλοντικές τιμές του υδρογόνου. Μια έκδοση από τον Οργανισμό για την Οικονομική Ανάπτυξη και Συνεργασία (OECD)/ την Διεθνή Επιτροπή Ενέργειας από το 2005, εκτιμούν ότι μεσο-μακροπρόθεσμα,

ποικίλες επιλογές συγκεντρωτικής παραγωγής μπορούν να παράγουν υδρογόνο σε τιμή μικρότερη των USD 10- 15 / GJ H₂ (1,2- 1,8 USD/kg) που αντιστοιχίζεται με μια τιμή των 0,27- 0,39 ευρώ ανά λίτρο ισοδύναμου ντίζελ, τιμές που είναι πολύ κοντά και με πολλές άλλες μελέτες(εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3 : Προβλέψεις Κόστους Υδρογόνου

Μια μελέτη της Intelligent Energy Europe που βρίσκεται σε εξέλιξη εκτιμά ότι το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί μέσω ηλεκτρολυτών χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό εκτός ωρών αιχμής με τιμή σχεδόν 0,6 ευρώ ανά ισοδύναμο λίτρο του ντίζελ. Οι τρέχουσες τιμές του πλεονάζοντος βιομηχανικού υδρογόνου, είναι σχεδόν 0,5 ευρώ ανά λίτρο ισοδύναμου ντίζελ. Οι δηλωμένες τιμές δεν περιλαμβάνουν φόρους και κόστη ανά σταθμό καυσίμων, ή τόκους πληρωμών επί των ηλεκτρολυτών.

5.6 Ασφάλεια του υδρογόνου

Η ασφαλής χρήση του υδρογόνου αναλύθηκε εκτενώς από του Carcassi και Grasso (2004) και η περίληψη των ευρημάτων τους έχει ως ακολούθως: Αναλύσαμε τους κινδύνους ασφαλείας (ακούσιοι κίνδυνοι εξαιτίας φυσικών ή τεχνολογικών αιτιών) περισσότερο από τους κινδύνους που σχετίζονται με την ασφάλεια (εκούσιοι κίνδυνοι που σχετίζονται με κακόβουλες ενέργειες) και συγκεκριμένα με τους κινδύνους εξαιτίας της χρήσης του υδρογόνου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι βασικό στοιχείο στον κόσμο που ζούμε. Οι δημόσιες αρχές, η κοινωνία και η κοινότητα, εκτός από το να καθιστά τις τεχνολογίες λειτουργικές και να τις ευνοεί, θα έπρεπε να είναι υπεύθυνη για την ασφαλή χρήση τους. Κάθε τεχνολογική καινοτομία θα έπρεπε να εγγυάται ένα επίπεδο ασφαλείας και αξιοπιστίας που αποτρέπει δυνητικούς κινδύνους για τα ανθρώπινα όντα. Συνεπάγεται ότι, σε κάθε τεχνολογία, οι κανόνες πρέπει να ρυθμίζουν τις τεχνικές πτυχές ενώ οι επιλογές επί της ευθύνης και της διαχείρισης του επακόλουθου κινδύνου θα πρέπει να λαμβάνονται σε πολιτικό επίπεδο.

Γι' αυτό, μια βαθιά γνώση επί της σχέσης ανάμεσα στα τεχνικά και νομικά σημεία απόψεων είναι απαραίτητα για την διαχείριση οποιουδήποτε κινδύνου, αυτή η γνώση είναι πιθανή μόνο κατόπιν μια σαφούς συμφωνίας επί της βασικής φιλοσοφίας, της οποίας η αποδοχή εξαρτάται από την θέση

που λαμβάνεται από την κοινωνία, σε σχέση με τις διάφορες τεχνολογίες και τους σχετιζόμενους κινδύνους. Την ίδια στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη την σημασία της τεχνολογίας στην ζωή και την εργασία, η αντιμετώπιση των ορίων που τίθενται από τις τεχνολογικές διαδικασίες χρειάζεται να οριστούν σε ένα πολιτικό επίπεδο.

Η τεχνολογία που σχετίζεται με το υδρογόνο είναι μια δυνητικά μελλοντική ενεργειακή επιλογή με την δυνατότητα να περιορίσει το αυξανόμενο παγκόσμιο κλιματικό πρόβλημα και τις επιδράσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο, οι αυξανόμενες απαιτήσεις για ασφάλεια θα πρέπει να ικανοποιηθούν για να ελαχιστοποιηθούν οι βιομηχανικοί κίνδυνοι και να εναρμονιστεί η αντίληψη που έχουμε για την ασφάλεια επίσης από τον τομέα των μεταφορών. Ένα μεγάλο μέρος της φιλολογίας, που σχετίζεται με την ασφάλεια του υδρογόνου, είναι τώρα διαθέσιμο, καθώς επίσης και πολλοί ιστότοποι στο διαδίκτυο που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια του υδρογόνου. Η αφετηρία μιας αξιολόγησης ασφαλείας είναι η γνώση του κινδύνου του υδρογόνου. Η προκαταρκτική λίστα με τους κινδύνους που τίθενται από τις ιδιότητες του αερίου υδρογόνου παρατίθενται κατωτέρω:

1) Φυσικές Ιδιότητες

- Ελαφρύτερος από τον αέρα, άοσμο και άχρωμο αέριο
- Χαμηλό ιξώδες (εύκολες οι διαρροές)
- Μεγάλη διάχυση

2) Πίεση

- Αποθηκεύεται σε υψηλή πίεση κάτι που μπορεί να προκαλέσει ρήξη πίεσεως, και αιωρούμενα συντρίμια.
- Το υψηλής πίεσης αεριωθούμενο αέριο κατά την πρόσπτωση μπορεί να κόψει γυμνό δέρμα.
- Εκτόπιση οξυγόνου σε περιορισμένους χώρους.

3) Χημικές Ιδιότητες

- Εύφλεκτο με μη- φωτεινή φλόγα, μη τοξικά προϊόντα ανάφλεξης.
- Εκρηκτικό, από 4-74% κατ' όγκο μπορεί να προκαλέσει κατάκαυση (συνήθως μόνο μέτρια υπέρ-πίεση, ~λίγα psi σε ανοιχτές περιοχές) μπορεί επίσης να εκπυρσοκροτήσει (ψηλότερα πάνω από το κρουστικό κύμα πίεσης, ~ πολλές ατμόσφαιρες)
- Χαμηλή ενέργεια ανάφλεξης , 0.02-1 mJ σπίθα για να πυροδοτηθεί μια ανάφλεξη.
- Μέτρια θερμοκρασία αυτανάφλεξης, 574°C

4) Θερμοκρασία

- Θα μπορούσε να αποθηκευτεί σε θερμοκρασία δωματίου

5) Ζητήματα υλικών

- Ευθραυστότητα μετάλλων και πλαστικών

6) Τοξικολογικές ιδιότητες

- Ασφυξία σε κλειστούς- περιορισμένους χώρους
- Καμία άλλη τοξική επίδραση

Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με το υγρό υδρογόνο εξαιτίας των ιδιοτήτων του δίνονται κατωτέρω.

1) Φυσικές ιδιότητες

- Άοσμο, άχρωμο, δεν μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό από την όσφρηση μιας και οι αρωματικές ουσίες παγώνουν σε κρυογενικές θερμοκρασίες.
- Οι ατμοί των αερίων (boiloff gas) θερμαίνονται γρήγορα και κατόπιν είναι ελαφρύτεροι από τον αέρα.
- Το boiloff αέριο διαθέτει μεγάλη διάχυση
- Παραγωγή ροής που οφείλεται σε στατικά φορτία.
- Ο ρυθμός εξαερισμού του boiloff αερίου από τις δεξαμενές αποθήκευσης/ δεξαμενές καυσίμου είναι τυπικό χαρακτηριστικό της διατήρησης κρύας θερμοκρασίας στην δεξαμενή.
- Υγροποιείται γρήγορα, βράζει εύκολα από μεταφορά θερμότητας στο υγρό των 20 K.
- Γρήγορη φάση μετάβασης από υγρό σε αέριο μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις πίεσης
- Η υγροποίηση γρήγορα μολύνει το ίδιο το υλικό με το να συμπυκνώνει αέρια από την επαφή με την ατμόσφαιρα.

2) Πίεση

- Αποθηκεύεται σε μέτρια πίεση που καταστέλλει τον βρασμό.

3) Χημικά

- Το εκλυόμενο αέριο είναι κρύο, διαφορετικά το ίδιο αφορά και το αέριο υδρογόνο.

4) Θερμοκρασία

- Οι κρυογενικές θερμοκρασίες προκαλούν εγκαύματα ιδιαίτερα στα μάτια.
- Καταστροφή πνευμόνων από εισπνοή κρύου ατμού.
- Πιθανή υποθερμία για όσους εργάζονται κοντά σε τέτοια συστήματα.
- Η συμπύκνωση του αέρα κοντά σε συστήματα LH₂, εάν η μόνωση επιτρέπει την δημιουργία μονοπατιών διαρροής θερμότητας, μπορεί αυτό να οδηγήσει σε ζώνες πλούσιες σε οξυγόνο κοντά σε αυτά τα συστήματα.

5) Ζητήματα υλικών

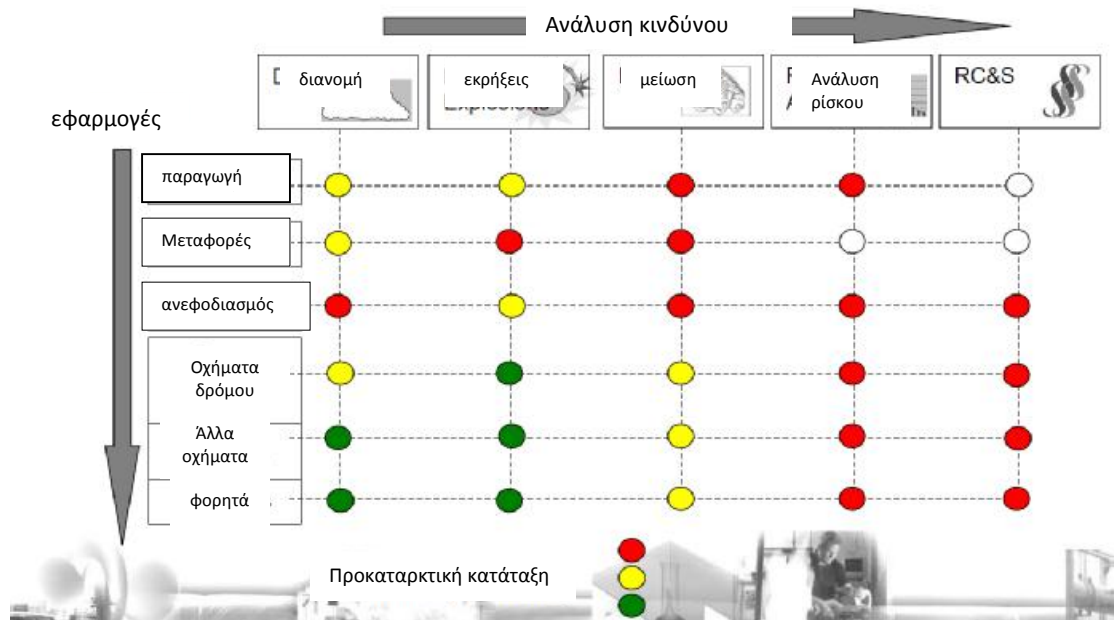
- Μηχανικές καταπονήσεις που παράγονται από θερμική συστολή.
- Ευθραυστότητα των μετάλλων.
- Οι μαλακοί χάλυβες είναι επιρρεπείς σε ρωγμές σε κρυογενικές θερμοκρασίες.
- Τα υλικά διαθέτουν χαμηλές ειδικές θερμότητες σε κρυογενικές θερμοκρασίες, και εύκολη μεταφορά θερμότητας.

6) Τοξικολογικές ιδιότητες

- Ασφυξία σε κλειστούς- περιορισμένους χώρους
- Κρυοπαγήματα από την οξεία έκθεση.

- Πιθανή υποθερμία από μακρά έκθεση
- Καμία άλλη τοξική επίδραση

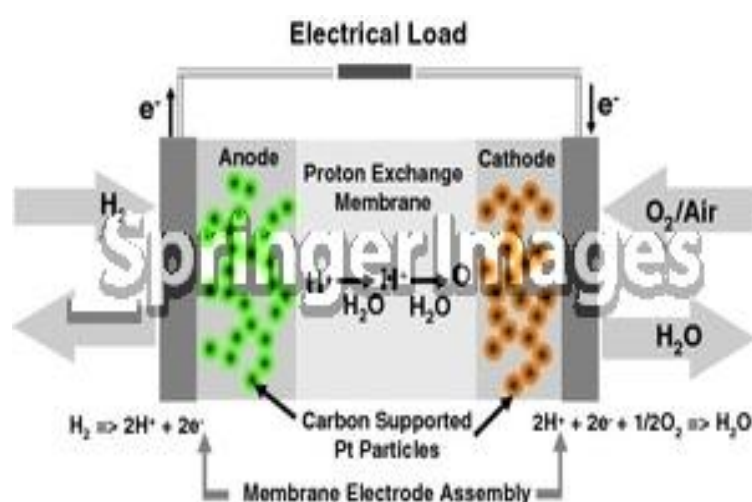
Από την λίστα παραπάνω, ο κίνδυνος εξαιτίας υψηλής πίεσης, αποθήκευσης σε αέρια μορφή, και η γρήγορη φάση μετάβασης από υγρή σε αέρια μορφή, σε περιπτώσεις υγρής αποθήκευσης, φαίνεται να είναι το πλέον επικίνδυνο σενάριο για τον τομέα των μεταφορών εξαιτίας του γεγονότος ότι αυτοί οι κίνδυνοι αναπτύσσονται στο τελικό σενάριο μια πυρκαγιάς ή μιας έκρηξης. Αυτά τα ζητήματα είναι ιδιαίτερης σημασίας για το ρίσκο που σχετίζεται με την αποθήκευση του υδρογόνου όταν υπάρξει ρήξη του σκάφους, γενικότερα και ειδικότερα μελέτες διεξάγονται για τις σήραγγες και τα μέτρα άμβλυσης και την διεξαγωγή δοκιμών. Παγκόσμια προγράμματα που σχετίζονται με ζητήματα ασφάλειας του υδρογόνου όπως το: HYSAFE, IEA Task 19 - για την Ασφάλεια του Υδρογόνου, μελετούν αυτούς τους κινδύνους. Ως παράδειγμα, είναι ενδιαφέρον να δείξουμε πώς το πρόγραμμα HYSAFE αντιμετωπίζει ζητήματα ασφαλείας: η κάτωθι εικόνα παρουσιάζει αυτές τις δραστηριότητες. Οι μελέτες έχουν οργανωθεί ως μια μήτρα όπου οι σειρές είναι οι κίνδυνοι.



Εικόνα 5.4 : Μήτρα Δραστηριοτήτων HYSAFE

5.7 Το υδρογόνο στις κυψέλες καυσίμου

Το υδρογόνο μπορεί να συνδυαστεί με οξυγόνο σε συστήματα που πρώτα το ιονίζουν με τέτοιο τρόπο που τα ιόντα υδρογόνου και τα ηλεκτρόνια ακολουθούν διαφορετικές πορείες και αυτό συνεπάγεται την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας του υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου, και παρουσιάζεται με έναν απλοποιημένο τρόπο στην εικόνα 5.5. Υπάρχουν και άλλα είδη κυψελών καυσίμου που έχουν παρόμοια αρχή λειτουργίας με αυτή της εικόνας 5.5 αλλά χρησιμοποιούν ιόντα διαφορετικά από τα ιόντα υδρογόνου (H^+) όπως οι μεταφορείς ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με τα ηλεκτρόνια.



Εικόνα 5.5 : Αρχή λειτουργίας υδρογόνου στις κυψέλες καυσίμου

Αυτή η διαφορά, ωστόσο, είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής της εν λόγω εργασίας. Οι κυψέλες καυσίμου που μας απασχολούν στην παρούσα εργασία είναι εκείνες που παράγουν ηλεκτρισμό με το συνδυασμό υδρογόνου και οξυγόνου για να σχηματίσουν νερό. Μια τυπική σχηματική αναπαράσταση των κυψελών καυσίμου παρουσιάζεται ανωτέρω στην εικόνα 6.

Υπάρχουν μερικές πιθανές επιλογές

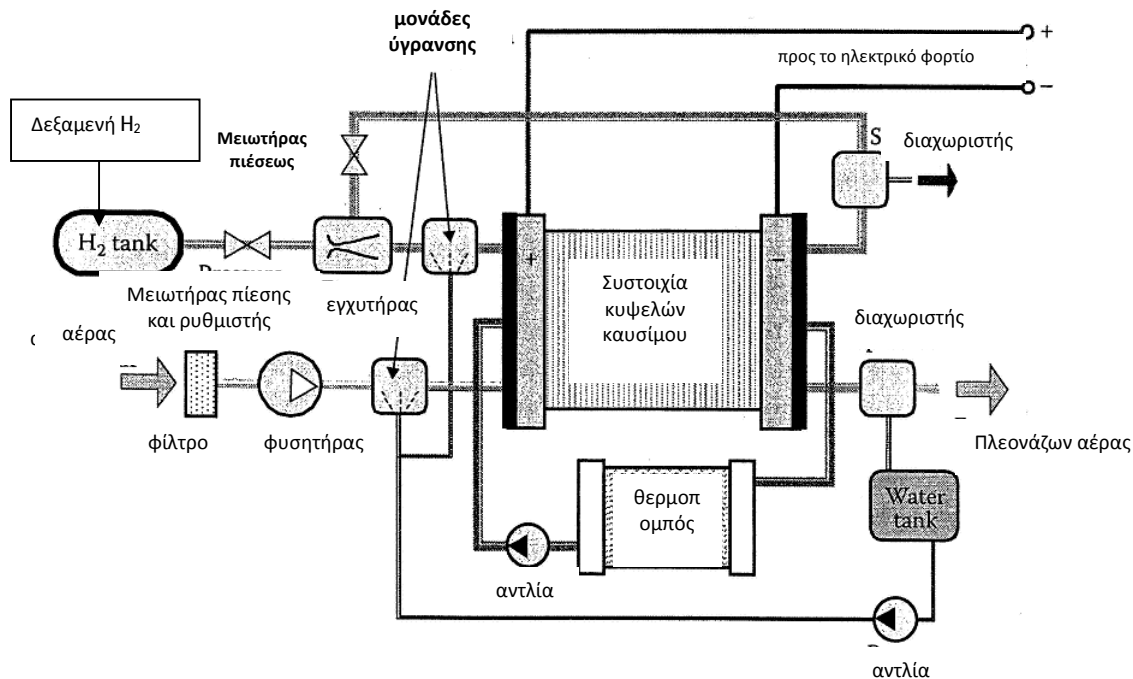
- Αλκαλικές Κυψέλες Καυσίμου (Alkaline Fuel Cells): Έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στο διάστημα των τελευταίων λίγων δεκαετιών. Η επίγεια χρήση τους είναι περιορισμένη από την ευκολία με την οποία μπορούν να μολυνθούν: η ίδια η περιεκτικότητα διοξειδίου του άνθρακα του αέρα είναι ένα δηλητήριο για τις κυψέλες. Οι περιορισμοί τους έχουν επιφέρει μια διαδοχική εγκατάλειψη της χρήσης τους και δεν θα ασχοληθούμε περαιτέρω με αυτούς σε αυτή την εργασία.
- Κυψέλες Καυσίμου Πολυμερικών Ηλεκτρολυτών (Polymeric Electrolyte Fuel Cells): Αυτοί είναι οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενοι στον τομέα των μεταφορών επειδή λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ($60-80^\circ C$), μπορούν να εκκινήσουν και να σταματήσουν πολύ γρήγορα, είναι μικροί σε μέγεθος και αποτελεσματικοί, και το κόστος λειτουργίας

τους έχει σταθερά μειωθεί κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων, τουλάχιστον στο μισό κάθε 1-2 χρόνια.

- Κυψέλες Καυσίμου Φωσφορικού Οξέως (Phosphoric Acid Fuel Cells): Αυτές λειτουργούν στους 200°C περίπου και διαθέτουν μια τεχνολογία που είναι επαρκώς ώριμη για στατικές χρήσεις, μονάδες με απόδοση ιπποδύναμης λίγων εκατοντάδων kW είναι κάτι το εφικτό και ολοένα πιο διαδεδομένο.
- Κυψέλες Καυσίμου Τηγμένου Ανθρακικού Υδρογόνου (Hydrogen Molten Carbonate Fuel Cells) : Λειτουργούν σε μια θερμοκρασία περίπου 650 °C και προς το παρόν χρησιμοποιούνται κυρίως για στατικές εφαρμογές.
- Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου Στερεού Ηλεκτρολύτη (Hydrogen Solid Oxide Fuel Cells) : Αυτά λειτουργούν στην υψηλότερη θερμοκρασία (900-1000 °C). Όπως και με τους MCFC-Molten Carbonate Fuel Cells, προς το παρόν χρησιμοποιούνται για στατικές εφαρμογές.

Τα συστήματα που βασίζονται στις κυψέλες καυσίμου για πρόωση των οχημάτων έχουν μελετηθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως για εφαρμογές κυρίως σε δρόμους (λεωφορεία, αυτοκίνητα, ακόμα και σε σκούτερ), για αυτά η πιο επαρκής τυπολογία αποτελείται από PEFC (Polymeric Electrolyte Fuel Cells), εξαιτίας του γεγονότος ότι λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ωστόσο, για εφαρμογή επί των αμαξοστοιχιών μπορεί να συμβεί η επιλογή των υψηλότερων θερμοκρασιών είναι ανταγωνιστικές σε σχέση με την επιλογή των PEFC. Μια και μόνη κυψέλη καυσίμου είναι ικανή να προσφέρει μόνο πολύ μικρά ποσά ενέργειας: μια χαρακτηριστική τάση λειτουργίας είναι περίπου 0.6V, λιγότερο από το μισό από όσο ένα παιδικό παιχνίδι με μπαταρίες. Ωστόσο στοιβάζονται εύκολα για να μπορέσουν να φθάσουν υψηλότερη τάση, και έχουν κατασκευαστεί στοίβες μέχρι και 100kW ονομαστικής ενέργειας, αν και συχνά προτιμώνται από τους κατασκευαστές μικρότερες στοίβες (μέχρι 50-60kW) και συνδυάζουν πολλαπλές στοίβες για να αυξήσουν την δύναμη ισχύος του συστήματος. Οι στοιβαγμένες κυψέλες καυσίμου δεν αποτελούν συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ακόμα: απαιτούνται βοηθητικά συστήματα για να εκτελούν πολλαπλές παράλληλες λειτουργίες όπως την κυκλοφορία του υδρογόνου και του αέρα, της ψύξης, και της διαχείρισης της υγρασίας της μεμβράνης, όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από την κάτωθι εικόνα (εικόνα 5.6), που παρουσιάζει μια τυπική στοίβα από κυψέλες καυσίμου συν την βοηθητική διάταξη.

Η διάρκεια ζωής μιας γεννήτριας κυψελών καυσίμου PEM (Proton Exchange Membrane) είναι περιορισμένη από την υποβάθμιση/ φθορά της μεμβράνης, έχει περιοριστεί σε 1500 ώρες σύμφωνα με την τεχνολογία της περσινής χρονιάς, σήμερα φαίνεται πιθανό να φθάσουμε τον στόχο λίγων χιλιάδων ωρών. Ωστόσο, η αξιοπιστία που απαιτείται για τις εφαρμογές των σιδηροδρόμων/ οχημάτων σταθερής τροχιάς είναι πάνω από 100.000 ώρες λειτουργίας, και για όσα οχήματα τύπου τραμ ο κύκλος σταματήματος-εκκίνησης ανάμεσα στους σταθμούς είναι πάνω από 5 εκατομμύρια φορές. Μόνο οι PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells) μπορούν να φθάσουν τις 40000 ώρες, που αντιστοιχεί τουλάχιστον σε 1.000.000 χλμ περίπου, αλλά προς το παρόν χρησιμοποιούνται μόνο για στατικές εφαρμογές.



Εικόνα 5.6 : Σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού βασισμένο στις κυψέλες καυσίμου

5.8 Υβριδοποίηση οχημάτων κυψελών καυσίμου

Οι γεννήτριες κυψελών καυσίμου δεν είναι καλά προσαρμοσμένες στην διακύμανση της ισχύος. Ερευνητικά προγράμματα FC (Fuel Combustion = Ανάφλεξης Καυσίμων) κινητών εφαρμογών περιλαμβάνουν αποθήκευση της ενέργειας σε μπαταρίες για να μπορέσουν να προσφέρουν δύναμη έλξης σε συνδυασμό με τις γεννήτριες τύπου FC. Εν συντομία, μια αποθηκευτική μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με μια γεννήτρια τύπου FC για να:

- Μειωθεί το μέγεθος της γεννήτριας τύπου FC, το πλέον ακριβό εξάρτημα, και κατά αυτό τον τρόπο μειώνεται το συνολικό κόστος του συστήματος κινητήρα μετάδοσης. Το προβλεπόμενο κόστος των συστημάτων αποθήκευσης των αυτοκινήτων είναι χαμηλότερο, ακόμα και στην περίπτωση μαζικής παραγωγής από ότι το προβλεπόμενο κόστος των κυψελών καυσίμου. Έτσι είναι εύκολο να προβλέψουμε ότι, για μια δοθείσα απόδοση ενός οχήματος, ένα υβριδικό σύστημα μετάδοσης θα είναι φθηνότερο από ένα καθαρό σύστημα με κυψέλες καυσίμου, και ιδιαίτερα σε εφαρμογές (αστικούς κύκλους) όπου η αναλογία κορυφαία ισχύς/ μέση ισχύς είναι υψηλότερη.
- Μείωση των μεταβάσεων ισχύος, όχι όπως συμβαίνει με την μείωση των ρύπων σε κινητήρες συμβατικών αυτοκινήτων, αλλά για να απλοποιήσουμε το «ισοζύγιο των εγκαταστάσεων» ρυθμίζοντας και ενισχύοντας την απόδοσή του: κυρίως στην περίπτωση των γεννητριών τύπου FC τα οχήματα με καύσιμα διαφορετικά από το υδρογόνο, εξαιτίας του ότι η σταθερά του χρόνου σε ορισμένα

υποσυστήματα (τυπικά στους επεξεργαστές καυσίμου) είναι πολύ περισσότερο χρονοβόρα από όσο απαιτείται από τον κύκλο οδήγησης. Σε αυτή την περίπτωση ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί όπως ένας ρυθμιστής (buffer) κατά την διάρκεια της αιχμής της ισχύος του κινητήρα, καθιστώντας ένα όχημα πιο άνετο στην οδήγηση.

- Μείωση των μεταβάσεων ισχύος κατά την εκκίνηση που μπορεί να είναι σημαντικές κάτι που εξαρτάται από το σύστημα ρύθμισης FC, επί παραδείγματι, ή άμεση τροφοδότηση με υδρογόνο ή μεθανόλη. Πράγματι, στην περίπτωση κρύας εκκίνησης, η αποθηκευμένη ενέργεια επί του οχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να επιταχύνει το σύστημα θέρμανσης και να μεταφέρει το όχημα καθ' όλη την διάρκεια αυτής της φάσης.
- Ανάκτηση ενέργειας πέδησης που παράγεται επιπλέον και είναι διαθέσιμη με την μορφή ηλεκτρισμού (αλλιώς αυτή η ενέργεια διαχέεται με την μορφή θερμότητας). Η ποσότητα ενέργειας που εξοικονομείται απλά με την ανάκτηση ενέργειας πέδησης είναι του επιπέδου από 3,5% έως 20%, αρκετή για να δικαιολογήσει από μόνη της την χρήση ενός υβριδικού συστήματος.

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν υπάρχει πλέον η ανάγκη για βελτιστοποίηση των FC μηχανών, κατά την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας τους επειδή η καμπύλη απόδοσης της γεννήτριας ταιριάζει καλύτερα με την ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά τους αστικούς κύκλους. Πράγματι, εν συγκρίσει με μια θερμική μηχανή, η κορυφή της ισχύος είναι περισσότερο προς την μέση και χαμηλή ισχύ και γι' αυτό προσαρμόζεται καλύτερα σε αστικούς κύκλους. Ωστόσο, το σύστημα κυψελών καυσίμου θα μπορούσε να ωφεληθεί επίσης από κάποια μείωση μεγέθους για να αποτραπεί η υπερβολική λειτουργία με ελαφρύ φόρτο ή στην λειτουργία εκκίνησης/σταματήματος εξαιτίας των ελάχιστων απαιτήσεων σε ενέργεια.

Συμπερασματικά. Εάν η ενέργεια που απαιτείται από τον κινητήρα μοιράζεται ανάμεσα σε δυο συσκευές, ένα οικονομικό όφελος από την μείωση του κόστους δημιουργείται καθώς οι αποθηκευτικές συσκευές είναι βαρύτερες αλλά φθηνότερες από τις κυψέλες καυσίμου, ιδιαίτερα όταν η αναλογία αιχμής ισχύος προς μέση ισχύ είναι υψηλή. Η διαχείριση κόστους του καυσίμου επίσης μειώνεται όταν συγκρίνεται με ένα σύστημα πλήρους ισχύος αφού η ενέργεια ανάκτηση πέδησης μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε εκείνες τις εφαρμογές (αστικές συγκοινωνίες) όπου το φρενάρισμα/πέδηση είναι πολύ συχνό και γι' αυτό η ανάκτηση ενέργειας μέσω της πέδησης είναι πιθανότατα μεγαλύτερη από την απώλεια ενέργειας κατά την αποθήκευση.

5.9 Το υδρογόνο σε κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ΜΕΚ με ανάφλεξη σπινθήρα με έναν τρόπο που είναι πολύ παρόμοιος με την χρήση βενζίνης. Η χρήση των ΜΕΚ με υδρογόνο παράγει ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Αυτό οφείλεται σε δύο κυρίως παράγοντες:

- Θεωρητικά, τα οξείδια του αζώτου (NO_x), που προέρχονται από οξείδωση του ατμοσφαιρικού αζώτου είναι οι μόνες ανεπιθύμητες εκπομπές που παράγονται από αυτή την μηχανή.
- Το χαμηλό όριο έκρηξης του υδρογόνου επιτρέπει μια σταθερή ανάφλεξη, ακόμα και κάτω από συνθήκες αραιώσης. Ακόμα και με ένα μείγμα από ένα μικρό ποσοστό αέρα με υδρογόνο, η θερμοκρασία ανάφλεξης είναι χαμηλή και η ταχύτητα σχηματισμού NO_x χαμηλή. Το όριο έκρηξης υδρογόνου επίσης συμβάλλει στην καλή απόδοση της μηχανής με υδρογόνο κάτω από αδύναμο φορτίο.

Επιπλέον, οι ΜΕΚ με H_2 φαίνεται να είναι αποδοτικές. Η BMW πέτυχε μια απόδοση της τάξεως 37,5% με το όχημά της. Γι' αυτό, τα χαρακτηριστικά της ανάφλεξης του υδρογόνου φαίνεται ότι επιτρέπουν ένα αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα προώθησης. Αυτό το πλεονέκτημα θα μπορούσε να αποκτηθεί σε πολύ λογικά επίπεδα κόστους, με τις σημερινές τιμές πολύ κάτω από εκείνες τις ηλεκτρικές γεννήτριες που βασίζονται στις κυψέλες καυσίμου. Οι τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες στοχεύουν στο να βελτιώσουν τις ΜΕΚ με υδρογόνο με βελτιωμένες πυκνότητες ρεύματος και μειωμένες εκπομπές NO_x κάτω από υψηλά φορτία.

Ανάμεσα στις πιο πρόσφατες εμπειρίες σας παραθέτουμε τα ακόλουθα:

- Το πρόγραμμα HyFleet προτείνει να δοκιμάσει 14 λεωφορεία υδρογόνου εσωτερικής καύσης στο Βερολίνο σε συνεργασία με την TOTAL, BVG, και Vattenfall Europe. Αυτά τα λεωφορεία κοστίζουν περίπου 50% περισσότερο από τα συμβατικά λεωφορεία. Δύο τύποι λεωφορείων αναπτύχθηκαν, χρησιμοποιώντας διαφορετικές στρατηγικές ανάφλεξης, ένα αστικό λεωφορείο υδρογόνου εξοπλισμένο με μια μηχανή 150kW που χρησιμοποιεί πετρέλαιο και H_2 σε στοιχειομετρική αναλογία, και ένα αστικό λεωφορείο υδρογόνου εξοπλισμένο με νέο και πιο αποδοτικό κινητήρα φτωχής καύσης των 200kW με ενισχυμένη συμπίεση καυσαερίων και σύστημα inter-cooling
- Η νέα 12-κύλινδρη μηχανή υδρογόνου της BMW που μπορεί να λειτουργεί και με υδρογόνο και πετρέλαιο.
- Μια απλοποιημένη σύγκριση ανάμεσα στην χρήση του υδρογόνου σε ΜΕΚ και σε γεννήτριες κυψελών καυσίμου – ΓΚΚ- (FCG-fuel cell generators) μπορεί να βασιστεί στα ακόλουθα θέματα

Οι ΓΚΚ διαθέτουν υψηλότερη απόδοση και ρυπαίνουν πολύ λιγότερο (είναι χαμηλού θορύβου και οι αέριες εκπομπές τους είναι ουδέτερες, για

χαμηλών θερμοκρασιών κυψέλες καυσίμων, είναι πολύ χαμηλές), προς το παρόν MEK έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος και μακρύτερη διάρκεια ζωής.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης και υδρογόνου είναι πολύ φθηνότερες από αυτές των κυψελών καυσίμου και υδρογόνου, και άμεσα και με όρους κόστους καυσίμου (με τις απαιτήσεις για υψηλή καθαρότητα καυσίμου σε μηχανές κυψελών καυσίμου και υδρογόνο- H₂-FC). Επιπλέον χρησιμοποιώντας MEK επιτρέπει το να διαθέτεις λειτουργία με διπλά- καύσιμα (η μηχανή μπορεί να λειτουργεί και με βενζίνη και με υδρογόνο). Αν και τα οχήματα κυψελών καυσίμου με συνέπεια επιτυγχάνουν την υψηλότερη απόδοση καυσίμων, η μηχανές H₂-MEK μπορούν να αποτελέσουν την τεχνολογία που γεφυρώνει τις δύο μεθόδους και μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη των υποδομών που απαιτούνται για την χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μηχανές ανάφλεξης με σπινθήρα (Spark Ignition- SI) με τρεις τρόπους: την πολυειδής επαγωγή (manifold induction), την απευθείας έγχυση υδρογόνου στους κυλίνδρους και ως συμπληρωματικό στην βενζίνη.

5.10 Το υδρογόνο σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση με δύο τρόπους: επιλογή διπλών καυσίμων και ανάφλεξη επιφανείας.

5.10.1 Επιλογή λειτουργίας διπλών καυσίμων

Κατά αυτή την μέθοδο, το υδρογόνο εισάγεται στον θάλαμο ανάφλεξης μαζί με φρέσκο αέρα και συμπιέζεται και κατόπιν αναφλέγεται από ένα σπρέι έγχυσης υγρών καυσίμων (ντίζελ). Οι Lkegami, Miwa, και Shioji (1982) μελέτησαν την ανάφλεξη του υδρογόνου σε ένα συμβατικό θάλαμο στροβιλισμού μηχανής τύπου ντίζελ. Έχει αναφερθεί από τους ερευνητές ότι η ανάφλεξη του τροφοδοτούμενου υδρογόνου και ντίζελ θα μπορούσε να επιτευχθεί σε έναν περιορισμένο βαθμό εξαιτίας των χαρακτηριστικών αυτανάφλεξης του καυσίμου. Τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτή την μέθοδο είναι τα εξής: όταν ανεπαρκής ποσότητα καυσίμου εγχέεται στην μηχανή, τότε λαμβάνει χώρα ατελής καύση και όταν το μείγμα υδρογόνου-αερίου γίνει πλούσιο, τότε η ανάφλεξη γίνεται ανεξέλεγκτη. Μια υπερβολική εισαγωγή του προκαταρκτικού καυσίμου μπορεί να προκαλέσει αυτό-ανάφλεξη και να προκαλέσει ακατέργαστη καύση. Περίπου 30% του υδρογόνου μπορεί να αντικατασταθεί με αυτή την μέθοδο. Εισαγωγή υδρογόνου σε μεγαλύτερο ποσοστό μπορεί να προκαλέσει ανεξέλεγκτη αύξηση της πίεσης.

Οι Das και Polly (2005) διεξήγαγαν έρευνες σε μηχανές ανάφλεξης με συμπίεση για να επιτύχουν knock - free απρόσκοπτη λειτουργία σε ποικίλες

αναλογίες χρησιμοποιώντας αραιωτικά/διαλυτικά όπως το άζωτο, το ήλιο και το νερό. Μια συγκριτική αξιολόγηση ανάμεσα σε τρεις διαλύτες έδειξε ότι συμβατικές μηχανές ντίζελ μπορούν να μετατραπούν για να λειτουργούν με διπλό καύσιμο υδρογόνο- ντίζελ μέχρι και 38% υποκαθιστώντας την ενέργεια πλήρους φόρτου χωρίς καμία θυσία στις παραμέτρους επιδόσεων όπως η ισχύς και η απόδοση. Μια μελέτη μακροπρόθεσμης αντοχής αυτού του συστήματος έδειξε ότι δεν υπήρχε πρόβλημα που να σχετίζεται με την συμβατότητα των υλικών σε τέτοιες ρυθμίσεις και ως τέτοιες μπορούν με ασφάλεια να υιοθετηθούν.

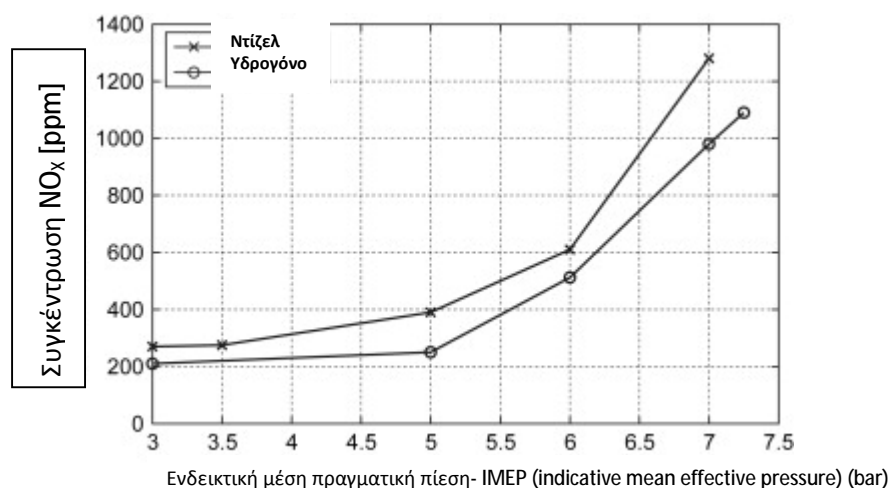
Οι Kumar, Ramesh, και Nagalingam (2003) ανέφεραν ότι με την επαγωγή του υδρογόνου, εξαιτίας του υψηλού ρυθμού ανάφλεξης, τα επίπεδα NO ήταν αυξημένα σε πλήρη απόδοση. Ανέφεραν ότι η υστέρηση της ανάφλεξης, η μέγιστη πίεση και ο μέγιστος ρυθμός αύξησης της πίεσης αυξήθηκε κατά την λειτουργία της μηχανής που τροφοδοτείται με διπλά καύσιμα. Η διάρκεια της ανάφλεξης μειώθηκε εξαιτίας της υψηλότερης ταχύτητας φλόγας με την επαγωγή του υδρογόνου. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ένα υψηλότερος ρυθμός προαναμεμιγμένης ανάφλεξης με την επαγωγή του υδρογόνου. Οι Welch και Wallace (1990) διεξήγαγαν έρευνες επί της ανάφλεξης του υδρογόνου από την αυτό- ανάφλεξή του με την συνδρομή των μπουζί σε μια παλινδρομική μηχανή σε μια αναλογία συμπίεση ίση με 17. Οι μηχανές ντίζελ που τροφοδοτούνται με υδρογόνο μπορούν να παράγουν μεγαλύτερη απόδοση από μια συνηθισμένη μηχανή ντίζελ με μείωση στα NO_x και μηδενικές εκπομπές καπνού.

5.10.2 Απευθείας ανάφλεξη

Κατά αυτή την μέθοδο, το υδρογόνο απευθείας εισάγεται μέσα στον κύλινδρο στο τέλος της συμπίεσης. Το αέριο προσκρούει στο μπουζί στον θάλαμο καύσης και ως εκ τούτου λαμβάνει χώρα ανάφλεξη στην επιφάνεια του καυσίμου. Επιπλέον, είναι πιθανό να εισάγουμε αδύναμο lean μείγμα υδρογόνου αέρα κατά την διάρκεια εισαγωγής μιας μηχανής και κατόπιν να εγχύσουμε το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου προς το τέλος της συμπίεσης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η επιφανειακή ανάφλεξη δεν εξαρτάται στην αναλογία συμπίεσης για ανάφλεξη. Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι έχει παρατηρηθεί μια πολύ μικρή διαφορά στην θερμική απόδοση πέδησης στην αναλογία συμπίεσης 12-18.

Με το υδρογόνο να εγχέεται απευθείας στον θάλαμο ανάφλεξης σε μηχανές ανάφλεξης δια συμπίεσεως, η απόδοση ισχύος θα είναι περίπου διπλάσια από εκείνη της ίδιας μηχανής που λειτουργεί με την επιλογή του προαναμεμιγμένου μείγματος. Η χρήση του υδρογόνου απευθείας εγχύσεως σε μια μηχανή ντίζελ έχει δώσει υψηλότερη απόδοση στην αναλογία βάρους εν συγκρίσει με την συμβατική λειτουργία μηχανών που τροφοδοτούνται με ντίζελ, με την υψηλότερη ισχύ να είναι περίπου 14% υψηλότερη. Η απόδοση ισχύος μια τέτοιας μηχανής θα ήταν επίσης υψηλότερη από εκείνη μιας μηχανής με βενζίνη, μιας και η στοιχειομετρική θέρμανση της ανάφλεξης ανά τυπικό χιλιόγραμμο αέρα είναι υψηλότερο για το υδρογόνο (περίπου 3,36 MJ

για το υδρογόνο εν συγκρίσει με 2,83 MJ για την βενζίνη). Η υψηλότερη διαχυτότητα και η χαμηλότερη αδράνεια του εγχέομένου αερίου υδρογόνου εν συγκρίσει με το καύσιμο ντίζελ, βελτιώνει την διαδικασία ανάμειξης καυσίμου-αέρα μετά την έγχυση. Αυτό μειώνει τις τοπικά υψηλότερες θερμοκρασίες στον θάλαμο ανάφλεξης. Η απευθείας έγχυση του υδρογόνου επιτρέπει πολύ καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας της μηχανής εν συγκρίσει με το όταν λειτουργεί από την οπή στην οποία εισάγεται το καύσιμο, κατά την επιλογή HCCI (homogeneous charge compression ignition- ομοιογενής ανάφλεξη συμπίεσης) (εικόνα 5.7)



Εικόνα 5.7 Εκπομπές NO_x σε μηχανές υδρογόνου

Η απευθείας έγχυση υδρογόνου επιτρέπει πολύ καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας της μηχανής εν συγκρίσει με το όταν λειτουργεί με την επιλογή HCCI εισαγωγής καυσίμου στην οπή. Πρέπει να ληφθεί υπόψη στον έλεγχο του συγχρονισμού της έγχυσης και της διάρκειας, καθώς αυτές οι μεταβλητές επηρεάζουν βαθύτατα παράγοντες όπως ο ρυθμός αύξησης της πίεσης και η μέγιστη πίεση ανάφλεξης. Η απευθείας ανάφλεξη προσφέρει την πιθανότητα να ελέγχει και να περιορίζει τις υπερβολικές μηχανικές καταπονήσεις ενώ αυτό είναι πρακτικά ανεξέλεγκτο στην επιλογή λειτουργίας HCCI.

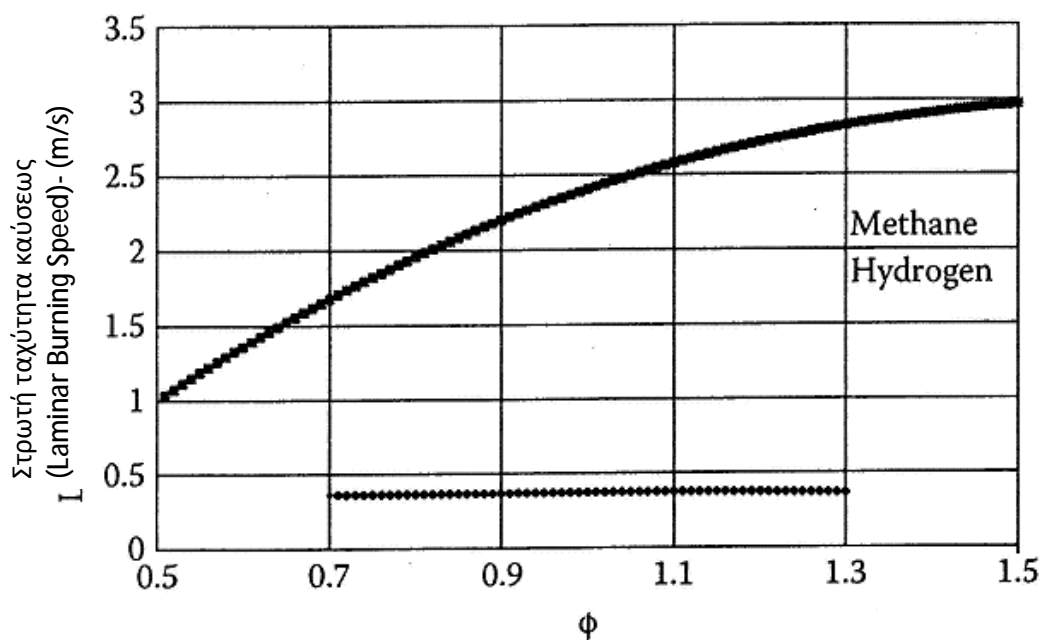
5.11 Υδρογόνο-μηχανές με συμπιεσμένο φυσικό αέριο (ΣΦΑ)

Μια καλή ευκαιρία βραχυπρόθεσμα μπορεί να παρουσιαστεί από την χρήση μειγμάτων υδρογόνου με άλλα καύσιμα, πρώτα απ' όλα με το φυσικό αέριο (HCNG- Hydrogen Compressed Natural Gas). Όταν χρησιμοποιείται σε MEK, ακόμα και η πρόσθεση μιας μικρής ποσότητας υδρογόνου στο φυσικό αέριο (5-30% κατά όγκο, που σημαίνει ~1,5-10% σε ενέργεια) οδηγεί σε πολλαπλά πλεονεκτήματα, λόγω μερικών ειδικότερων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των δύο καυσίμων.

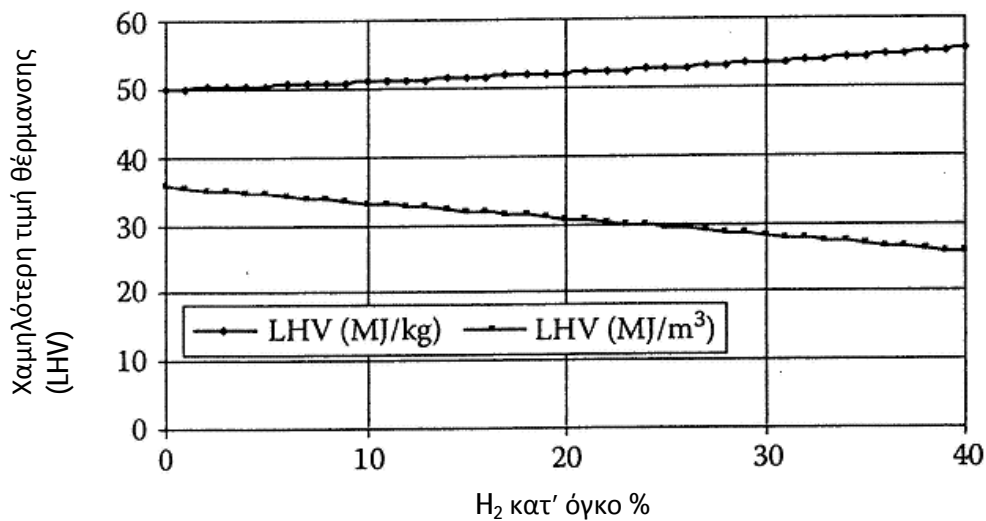
Το μεθάνιο διαθέτει χαμηλή ταχύτητα φλόγας ενώ το υδρογόνο διαθέτει μια ταχύτητα φλόγας περίπου 8 φορές μεγαλύτερη (εικόνα 5.8), γι' αυτό, όταν η ισοδύναμη αναλογία (λάμδα) είναι πολύ υψηλότερη από ότι για τις

στοιχειομετρικές συνθήκες, η ανάφλεξη του μεθανίου δεν είναι τόσο σταθερή όσο με το HCNG.

Ως συνέπεια της πρόσθεσης του υδρογόνου στο φυσικό αέριο έχει επιβεβαιωθεί μια γενικότερα καλύτερη ανάφλεξη, ακόμα και σε μια ευρεία ποικιλία συνθηκών (λάμδα, αναλογία συμπίεσης κ.λπ.), ανακαλύπτομε τα ακόλουθα κύρια οφέλη: μια υψηλότερη αποτελεσματικότητα, κα χαμηλότερη παραγωγή CO₂ και ρύπων. Εξαιτίας των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του υδρογόνου, το HCNG, παρά το υψηλότερο LHV (lower heating value- χαμηλότερη τιμή θέρμανσης) ανά κιλό, διαθέτει χαμηλότερο LHV ανά Nm³ (εικόνα 5.9), που εξαρτάται από το περιεχόμενο σε υδρογόνο. Γι' αυτό, μια μηχανή που λειτουργεί με φυσικό αέριο, όταν τροφοδοτείται με HCNG, παρουσιάζει χαμηλότερη απόδοση ισχύος, ενώ διατηρεί καλύτερη απόδοση



Εικόνα 5.8 Στρωτή ταχύτητα καύσης για το μεθάνιο και το HCNG15



Εικόνα 5.9 : Χαμηλότερη τιμή θέρμανσης για διαφορετικά ποσοστά υδρογόνου

Για να αποθηκεύσεις μια καλή τιμή της δύναμης ισχύος, ακόμα και για φτωχής καύσεως μείγματα (για «λάμδα»= 1,4, ένας ατμοσφαιρικός κινητήρας χάνει 50% της ισχύος του), μια καλή λύση θα μπορούσε να παρουσιαστεί από μια μηχανή με συμπιεστή με υψηλότερη συμπίεση.

Επιπλέον, οι εκπομπές CO₂ μπορούν να μειωθούν ως αποτέλεσμα της υποκατάστασης του συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) με υδρογόνο. Οι ειδικές ιδιότητες του υδρογόνου σαν διεγερτικό καύσεως μπορεί να δημιουργήσει παράγοντες μόχλευσης πολύ μεγαλύτερους της μονάδας με το να βελτιώνουμε τα ορυκτά καύσιμα και όχι απλώς να τα αντικαθιστούμε.

Η μόχλευση του υδρογόνου ορίζεται ως η ακόλουθη αναλογία:

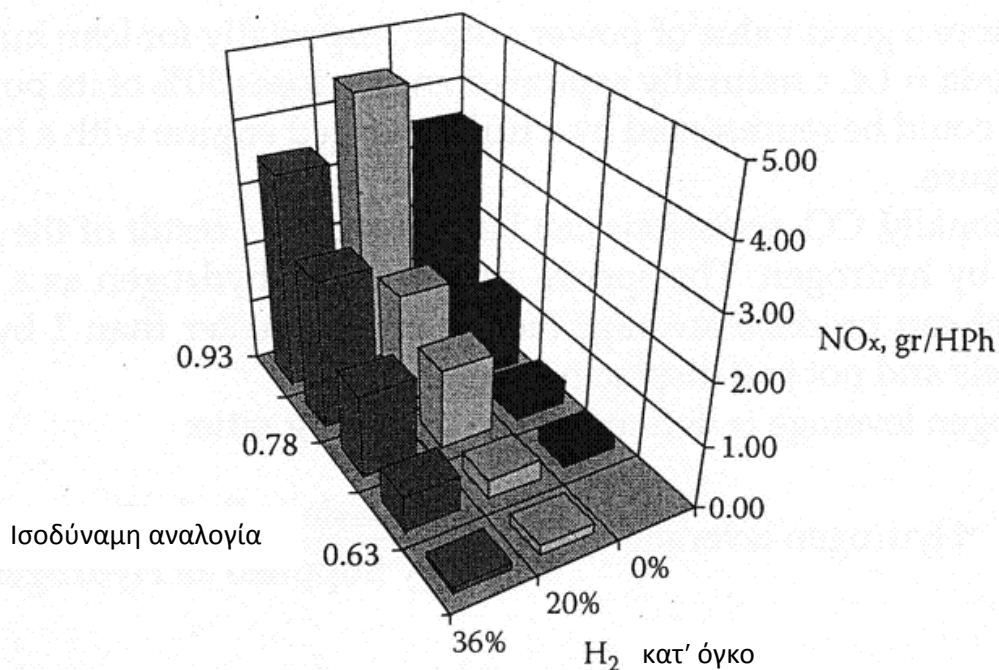
Η αυξημένη απόδοση καθιστά αυτή την αξία μεγαλύτερη της μονάδας. Ένα προφανές όφελος του αποτελέσματος της μόχλευσης είναι ότι η μείωση του CO₂ είναι εφικτή εάν το υδρογόνο που χρησιμοποιείται έχει παραχθεί από φυσικό αέριο χωρίς καμία κατάσχεση/κατακράτηση CO₂.

Πειράματα στην εφαρμογή των μειγμάτων του υδρογόνου και του φυσικού αερίου σε MEK ξεκίνησαν το 1991, στο πλαίσιο ενός ερευνητικού προγράμματος από την DoE και NREL, που ονομάστηκε «Πρόγραμμα Υθανίου¹ του Ντένβερ». Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον πίνακα 5.6:

Πίνακας 5.6 : Πρόγραμμα υθανίου του Ντένβερ

Fuel	NMHC (g/μίλι)	CO (g/μίλι)	NO _x (g/μίλι)
Βενζίνη	059	141	12
ULEV	0.04	1.7	0.2
Φυσικό αέριο	0.01	2.96	0.9
Υθάνιο	0.01	0.7	0.2

Την ίδια χρονική περίοδο, το Πανεπιστήμιο της Πίζα και ο ENEA συνέχισαν κάποιες δραστηριότητες με τα ακόλουθα ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Κατά την διάρκεια των τελευταίων 15 ετών πολλά πειράματα έχουν διεξαχθεί σε όλον τον κόσμο. Όλα τα πειράματα έχουν κυρίως εξετάσει την μείωση των εκπομπών του NO_x σε σχέση με τις διαφορετικές αναλογίες αέρα/ καυσίμου (τιμές του λ) και ποσοστά του υδρογόνου κατ' όγκο (εικόνα 5.10). Όλα τα πειράματα έχουν δείξει ότι τα μείγματα



Εικόνα 5.10 : Εκπομπές Διοξειδίων του Αζώτου σε συνάρτηση με την ισοδύναμη αναλογία και του ποσοστό υδρογόνου κατ' όγκο

υδρογόνου και φυσικού αερίου μειώνουν τους εκπεμπόμενους ρύπους και από τους ελεγχόμενους ρύπους και του CO₂ και αυξάνει την απόδοση μια μηχανής ανάφλεξης με σπινθήρα. Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών, ένας αριθμός πλειάδας δοκιμών έχουν διεξαχθεί.

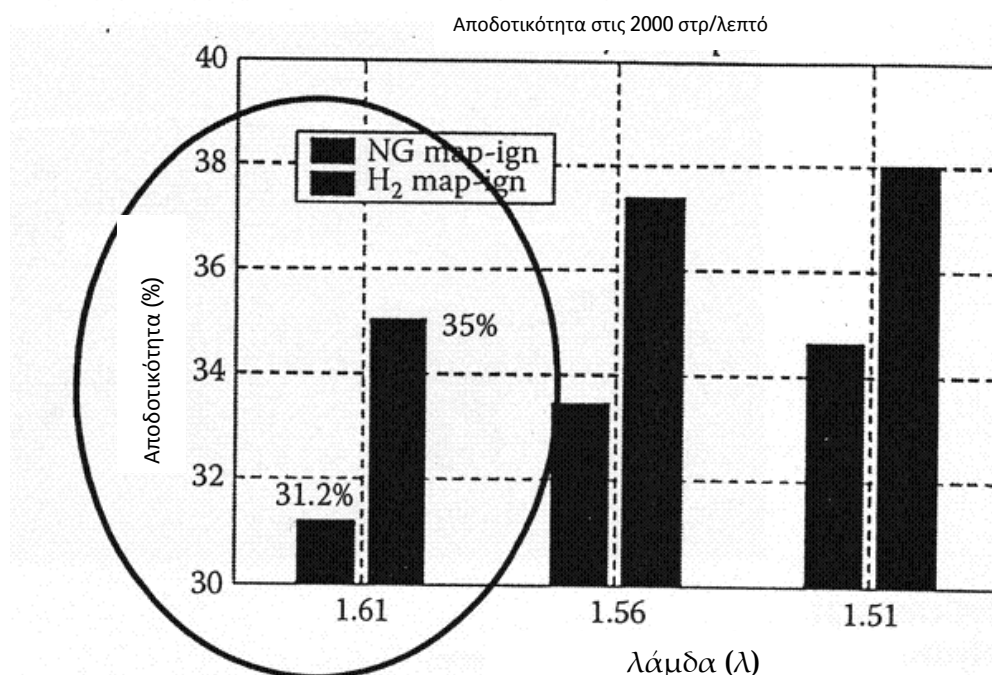
Το πλέον πρόσφατο Hythane[®] (24,8% κατ' όγκο υδρογόνο, Frank Lynch, Συστατικά Υδρογόνου, Inc. HCl), το πρόγραμμα επίδειξης με την χρήση λεωφορείων μεταφορών στο Sunlite της Καλιφόρνιας χρησιμοποίησαν 7% υδρογόνο από μια ενεργειακή φόρμουλα και οι εκπομπές NO_x μειώθηκαν κατά 50%. Βασισμένη στην επιτυχία των λεωφορείων Hythane[®], και το μειωμένο κόστος του Hythane[®] εν συγκρίσει με την διαθέσιμη τεχνολογία κυψελών καυσίμου, ένας αριθμός προγραμμάτων διεξάγονται αυτή την στιγμή παντού στον κόσμο, όπως το Πρόγραμμα Λεωφορείων Hythane[®] στο Πεκίνο, του οποίου η φάση επίδειξης στοχεύει να προσαρμόσει 30 μηχανές φυσικού αερίου για την λειτουργία Hythane[®] λεωφορείων πριν το 2010. Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, το πιο σημαντικό παράδειγμα εφαρμογής των μειγμάτων του υδρογόνου και του φυσικού αερίου σε ΜΕΚ δίδεται από τις δοκιμές που ακόμα συνεχίζονται στο Μάλμε (Σουηδίας) σε αστικά λεωφορεία.

Τα πειραματικά αποτελέσματα είναι διαθέσιμα για μείγματα με ένα μείγμα περιεκτικότητας σε υδρογόνο του 7% κατ' όγκο για χρήση σε

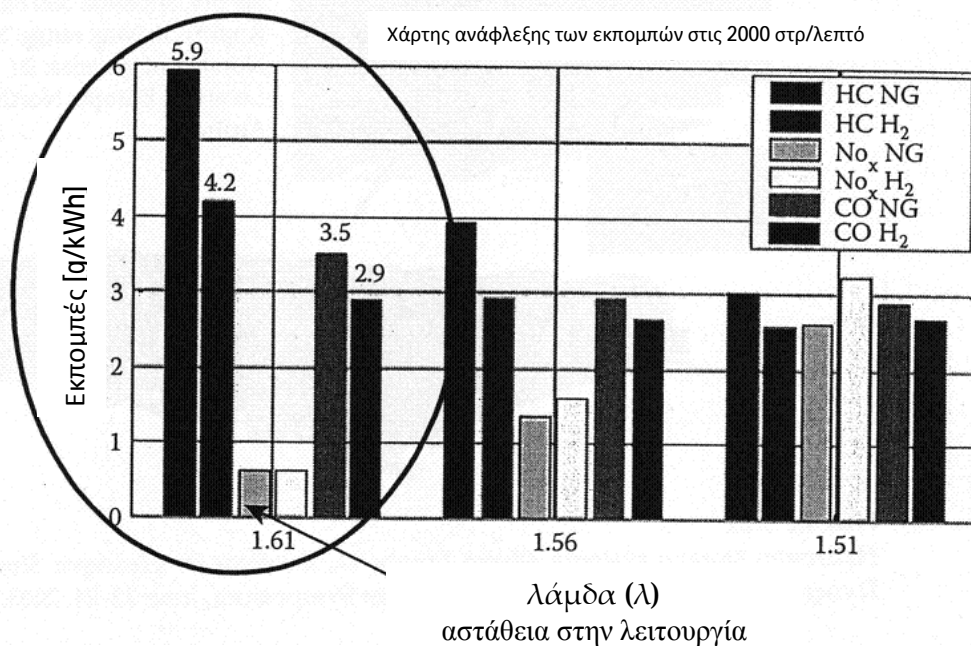
πραγματικούς οδηγικούς κύκλους, ενώ δεδομένα σχετικά με ένα μείγμα 25% κατ' όγκο είναι διαθέσιμα μόνο για δοκιμές μηχανών σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας. Τα διαθέσιμα δεδομένα δεικνύουν μια αύξηση της απόδοσης της μηχανής με την αύξηση της ποσότητας υδρογόνου στο μείγμα. Επιπλέον, ανάλογα με τις λ τιμές που σχετίζονται με την ανάφλεξη των μειγμάτων, ένα γενικότερο περιβαλλοντικό όφελος μπορεί να παρατηρηθεί για τιμές του λ μεγαλύτερες της μονάδος.

Από την εικόνα 5.11 μια αύξηση στην απόδοση από 31,2- 35% για μια τιμή του λ ίση με 1,61 απεικονίζεται. Για κατώτερες τιμές του λ η αποδοτικότητα είναι μεγαλύτερη, ωστόσο μιας και ο στόχος που σχετίζεται με την χρήση των μειγμάτων είναι η μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών των αστικών ρύπων και του CO₂ οι δοκιμές οφείλουν να βελτιστοποιήσουν την ανάφλεξη και να προσπαθήσουν να παράσχουν την μέγιστη μείωση των συνολικών υδρογονανθράκων (HC), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

Από την εικόνα 5.12 προκύπτει ότι για λ=1,61 υπάρχει μια μείωση όλων των ρυπογόνων εκπομπών με εξαίρεση των οξειδίων του αζώτου των οποίων οι εκπομπές δεν μειώνονται όσον αφορά την χρήση καθαρού φυσικού αερίου (NG- natural gas). Ωστόσο, για τα μείγματα υδρογόνου και φυσικού αερίου η ανάφλεξη παραμένει σταθερή ακόμα και για αναλογίες αέρα/ καυσίμου που υπερβαίνουν εκείνες που σχετίζονται με το φυσικό αέριο, ίσες με 1,6 δηλαδή, πάνω από τι οποίες η ανάφλεξη παραμένει ασταθής.



Εικόνα 5.11 : Απόδοση και εκπομπές μιας MEK τροφοδοτούμενης με μείγμα HCNG8



Εικόνα 5.12 : Εκπομπές μιας MEK τροφοδοτούμενης με μείγμα HCNG8

5.12 Τα οφέλη του υδρογόνου

Ο Karim (2003) ανέφερε τις θετικές όψεις της χρήσης του υδρογόνου για τις εφαρμογές του σε μηχανές που περιλαμβάνουν :

1. Περιβαλλοντικά καθαρά καύσιμα για τα αυτοκίνητα κατάλληλα για MEK. Διαρροή καυσίμων στην ατμόσφαιρά δεν αποτελεί ρυπογόνες εκπομπές.
2. Μπορεί να παραχθεί από μια πληθώρα πρώτων υλών, όπως το νερό
3. Το υδρογόνο είναι ένα εξαιρετικό πρόσθετο σε σχετικά χαμηλή συγκεντρώσεις στα καύσιμα.
4. Οι υψηλές ταχύτητες καύση του υδρογόνου καθιστούν τις μηχανές που τροφοδοτούνται με υδρογόνο θα έχουν απόδοση λιγότερο ευαίσθητη στις αλλαγές του σχήματος του θαλάμου ανάφλεξης, του επιπέδου αναταράξεων, και των επιδράσεων της εισαγωγής συμπίεσης στο στροβιλιστή.
5. Τα όρια ανάφλεξης του υδρογόνου είναι πολύ ευρύτερα από της βενζίνης έτσι καίγεται εύκολα και προσδίδει μεγαλύτερη απόδοση.
6. Η προϋπόθεση μικρότερου σπινθήρα σε προηγούμενο στάδιο συνεισφέρει στην καλύτερη απόδοση και βελτιωμένη απόδοση ισχύος.
7. Το υδρογόνο καίγεται δέκα φορές γρηγορότερα από τα μείγματα βενζίνης.
8. Μέτρια αναλογία υψηλής συμπίεσης λειτουργία είναι πιθανή με φτωχά μείγματα υδρογόνου στον αέρα που επιτρέπουν υψηλότερη απόδοση και αυξημένη ισχύ.
9. Η θερμότητα των καυσαερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποσπώμε το υδρογόνο από το υδρίδιο.
10. Τα χαρακτηριστικά θερμοδυναμικής και θερμικής μεταφοράς από το υδρογόνο τείνουν να παράγουν υψηλές θερμοκρασίες συμπίεσης

που συμβάλλουν στην απόδοση της μηχανής και στην λειτουργία των φτωχών μειγμάτων.

5.13 Εμπόδια και προκλήσεις για το υδρογόνο

Το να μεταφερθούμε από το ντίζελ στο υδρογόνο παράσχει έναν αριθμό περιβαλλοντικών ωφελειών, και σε κάθε περίπτωση αποφεύγει την τοπική μόλυνση (NO_x, CO₂, και σωματιδίων). Εάν ο ηλεκτρισμός παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί στο όνομα των ηλεκτρικών τραίνων καθώς επίσης και των τραίνων υδρογόνου “ZEV, zero emission vehicles” (οχήματα μηδενικών ρύπων - OMP). Με το υδρογόνο και τις κυψέλες καυσίμου, η αποδοτικότητα της ενέργειας είναι χαμηλότερη εξαιτίας των απωλειών της μετατροπής κατά την ηλεκτρόλυση (0,8), της αποθήκευσης του υδρογόνου (0,9), των κυψελών καυσίμου (0,45), και των ηλεκτρικών κινητήρων (0,9). Το καύσιμο υδρογόνο που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διατηρήσει επίσης μια συγκρίσιμη γενικότερη ενεργειακή αποδοτικότητα σε σχέση με την ροπή του ντίζελ.- σχεδόν 30%, πριν λάβουμε υπόψη τα σημαντικά ενεργειακά οφέλη που θα επιτευχθούν όταν προσθέσουμε το σύστημα «αναγέννησης μέσω της πέδησης».

Το γενικό ενεργειακό κενό είναι πιθανόν να συμπληρωθεί από έναν αριθμό διαφορετικών ενεργειακών πηγών, κυρίως από ανανεώσιμες πηγές. Εξαιτίας της απρόβλεπτης φύσης της αιολικής ενέργειας, οι τιμές του ηλεκτρισμού είναι πολύ πιθανόν να κυμαίνονται σε μεγαλύτερο εύρος από ότι βιώνουμε σήμερα. Αυτό σημαίνει ότι η ηλεκτρόλυση σε περισσότερες περιόδους από ότι σήμερα θα μπορεί να αγοράσει σχετικά φθηνό ηλεκτρισμό.

Εκτός από τις αναμενόμενες μειώσεις των τιμών στον εξοπλισμό της ηλεκτρόλυσης, άλλος ένας παράγοντας που συνηγορεί υπέρ της αυξημένης ανταγωνιστικότητας του υδρογόνου που παράγεται από την ηλεκτρόλυση στο μέλλον είναι ότι η αναμενόμενη αύξηση των τιμών του ηλεκτρισμού δεν αντανακλάται πλήρως στην αύξηση της τιμής του υδρογόνου αφού η υποτίμηση της ηλεκτρόλυσης περιλαμβάνεται στις τιμές.

Εάν μια χώρα σκοπεύει να αυξήσει την εξάρτησή της από την αιολική ενέργεια στο μέλλον περισσότερο από 15- 20%, τότε κάποιο είδος επιλογής αποθήκευσης του ηλεκτρισμού απαιτείται για να ισορροπήσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα μέρος της λύσης του προβλήματος είναι να δημιουργήσουμε εγκαταστάσεις ηλεκτρόλυσης και αποθήκευσης H₂ και χρήση του υδρογόνου στον τομέα των μεταφορών. Ακόμα και αν η γενική ανάπτυξη του υδρογόνου και η τεχνολογία κυψελών καυσίμου φέρει χαμηλότερες τιμές, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κυψελών καυσίμου, και φθηνότερες λύσεις για την αποθήκευση του υδρογόνου, οφέλη παραγωγής και άλλα, κάποιες περιοχές ανάπτυξης είναι συγκεκριμένα για χρήση σε σιδηροδρόμους, και η

τεχνολογία χρειάζεται να δοκιμαστεί, να προσαρμοστεί και να παρουσιαστεί στα οχήματα σταθερής τροχιάς για να διασφαλιστεί το εφικτό των λύσεων.

Το υδρογόνο έχει την δυνατότητα για χρήση ως πηγή καυσίμου για μηχανές καθώς επίσης και για κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, όπως και άλλα καύσιμα έχει και τα δικά του προβλήματα.

- Φτωχή ογκομετρική απόδοση της μηχανής.
- Υψηλότερες εκπομπές NO_x εξαιτίας της υψηλότερης θερμοκρασίας φλόγας.
- Υψηλότερο κόστος καυσίμου.
- Υποδομές για δίκτυο διανομής.
- Αποθήκευση υδρογόνου στα οχήματα.
- Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα.
- Απαραίτητες οι παγίδες φλόγας και τα ανασχετικά των flash back για τα συστήματα υδρογόνου.
- Το υδρογόνο απαιτεί το 1/50^ο της ενέργειας των μειγμάτων βενζίνης αέρα για να αναφλεγεί.

Η χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου στον τομέα των μεταφορών θα απαιτούσε σημαντικές αλλαγές στις υποδομές. Η διανομή του υδρογόνου και το σύστημα τοπικής τροφοδότησης των καυσίμων δεν θα μπορούσε να γίνει με τον ίδιο τρόπο που χειριζόμαστε την βενζίνη σήμερα. Γι' αυτό στα προβλήματα υποδομών θα πρέπει να δοθεί βαρύνουσα σημασία, και όσον αφορά την οικονομία και την ασφάλεια, σε σχέση με την πιθανή χρήση του υδρογόνου ως μεταφορέα ενέργειας.

Το υδρογόνο θα αναδυθεί ως το κυρίαρχο καύσιμο όταν η κλιματική αλλαγή ή οι επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου είναι δριμείες και οι τιμές των συμβατικών καυσίμων θα γίνουν πολύ ακριβές. Πολλά από τα συγκεντρωτικά συστήματα εστιάζουν στην χρήση του υδρογόνου στις οδικές μεταφορές, και εξετάζουν τους τοπικούς αγωγούς δικτύων υδρογόνου που συνδέουν μεταξύ τους με προγράμματα πρώιμης επίδειξης και οι αποθήκες ανεφοδιασμού του στόλου οχημάτων, δημιουργούν «μονοπάτια» υδρογόνου σε περιοχές υψηλής ζήτησης. Αλλά η αποκεντρωμένη παραγωγή υδρογόνου ξεπερνά τα εμπόδια των υποδομών που σχετίζονται με την οικονομία του υδρογόνου. Αυτό επιτρέπει στην γενιά της διανομής, τον οικιακό ανεφοδιασμό με καύσιμα, και δίδει την εξουσία στο κοινό να μπορεί να ελέγχει την ενέργεια. Για τα αποκεντρωμένα συστήματα, η κύρια τεχνολογική πρόκληση είναι η δαπάνη του υδρογόνου από τους μικρής κλίμακος μεταρρυθμιστές του φυσικού αερίου και τους ηλεκτρολύτες, ενώ τα συγκεντρωτικά συστήματα βασίζονται πάνω στην βιωσιμότητα των υποδομών διανομής υδρογόνου σε μεγάλη κλίμακα, και οι προοπτικές για συγκεντρωτικά συστήματα έχουν αυξηθεί σημαντικά από την αποδοτική αεριοποίηση του άνθρακα ή την θερμοπυρηνική διάσπαση των υδάτων.

Ωστόσο, η εμπορευματοποίηση του υδρογόνου που σχετίζεται με το κόστος καυσίμου, τις υποδομές και την βιωσιμότητα της τεχνολογίας

εξαρτάται από: τα υψηλά κόστη με την αποθήκευση του υδρογόνου επί των οχημάτων ή την παραγωγή υδρογόνου και των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου καθώς υπάρχουν περιορισμένες υποδομές για την διανομή του υδρογόνου, θα είναι δύσκολο να καθιερωθούν αγορές για οχήματα υδρογόνου ή οχήματα κυψελών καυσίμου και αντίστροφα. Η τεχνολογική πρόοδος επί της αναπτύξεως των οχημάτων κυψελών καυσίμου και της δυνατότητας κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων, καθώς και την δημιουργία συνείδησης στο κοινό για την ασφάλεια και την αποδοχή των καυσίμων αυτών. Αυτά τα προβλήματα πρέπει να ξεπεραστούν από κυβερνητικές πολιτικές καθώς επίσης και από τις απαραίτητες δράσεις προστασίας του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Η μόλυνση της ατμόσφαιρας και η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας εξαιτίας της ολοένα αυξανόμενης χρήσης της ενέργειας έχει καταστεί πρόβλημα παγκόσμιας ανησυχίας. Η παγκόσμια ατμοσφαιρική ανησυχία έχει καταστεί πλέον ένα αποδεκτό γεγονός, αν και υπάρχει ακόμα μια δημόσια συζήτηση για την αληθινή προέλευση του γεγονότος. Ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή και την επίδραση των εκπεμπόμενων ρύπων και της ενεργειακής ασφάλειας έχουν δώσει ώθηση για αναζήτηση εναλλακτικών καυσίμων/ενεργειακών πηγών για τις εφαρμογές της αυτοκίνησης. Σύμφωνα με την Αναφορά του Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Environmental Protection Agency- EPA), τα οχήματα των Ηνωμένων Πολιτειών συμβάλλουν για το 75% των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα (CO), περίπου το 45% των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NO_x), και σχεδόν για το 40% των πτητικών εκπομπών των οργανικών ενώσεων. Οι Ευρωπαϊκές χώρες συμβάλλουν στο 20% των αερίων του θερμοκηπίου από τα οχήματα μεταφοράς.

Οι ολοένα αυξανόμενες ανησυχίες των περιβαλλοντικών ζητημάτων απαιτούν σταθερά πιο καθαρά και ενεργειακά αποδοτικά οχήματα χωρίς συμβιβασμό στην άνεση των συμβατικών οχημάτων με MEK (ICEV- internal combustion engine vehicles). Για να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις, οι κύριοι κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν προσπαθήσει να εισαγάγουν τα ηλεκτρικά οχήματα (EV- electric vehicles), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV- hybrid electric vehicles) και τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα (PHEV- plug-in electric vehicles) ως εναλλακτικές προτάσεις σε αυτοκίνητα με MEK. Ωστόσο, τέτοια οχήματα αντιμετωπίζουν πληθώρα τεχνικών και οικονομικών ζητημάτων που θα πρέπει να διευθετηθούν. Ανάμεσα στα οχήματα μηδενικών εκπομπών (ZEV- zero emissions vehicles), τα οχήματα που τροφοδοτούνται με μπαταρίες (BEV- battery-powered electric vehicles) αποτελούν τις πιο βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις. Αλλά τα BEV έχουν πολλές ελλείψεις, δηλαδή περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, μακρόχρονη επαναφόρτιση, μικρό εύρος θερμοκρασίας στο οποίο να είναι λειτουργικά, χαμηλός κύκλος ζωής, και υψηλό κόστος.

Οι κυψέλες καυσίμου που μπορούν να ξεπεράσουν τους κύριους τεχνικούς περιορισμούς της αποθήκευσης της ενέργειας σε μπαταρίες, δηλαδή της ενεργειακής πυκνότητας, έχουν δείξει μια πολλά υποσχόμενη προοπτική στον χώρο των εφαρμογών αυτοκίνησης. Ένα όχημα κυψελών καυσίμου (FCV- fuel cell vehicle) χρησιμοποιεί μια συστοιχία κυψελών καυσίμου ως πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας για να κατευθύνει έναν ηλεκτρικό κινητήρα έλξης. Σε αντίθεση με τις MEK, οι κυψέλες καυσίμου δεν

περιορίζονται από τον κύκλο του Carnot και ως εκ τούτου μπορεί να λειτουργεί με μεγάλη απόδοση.

Διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου είναι: αλκαλικές κυψέλες καυσίμου, κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως, κυψέλες καυσίμου πολυμερών ηλεκτρολυτών (PEFC- Polymer Electrolyte Fuel Cells), κυψέλες καυσίμου τετηγμένων ανθρακικών και κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων. Ανάμεσα σε αυτά οι PEFC φαίνεται ότι αποτελούν την πιο ελκυστική λύση για εφαρμογές σε αυτοκίνητα εξαιτίας της γρήγορης εκκίνησης που διαθέτουν και της χαμηλής θερμοκρασίας κατά την διάρκεια λειτουργίας. Οι PEFC χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο και το οξυγόνο και το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα ως οξειδωτικό. Ειρωνικά, ωστόσο, το υδρογόνο δεν υπάρχει ελεύθερο στην φύση και ως εκ τούτου θα πρέπει να παραχθεί από άλλο καύσιμο που περιέχει υδρογόνο. Έχει προβλεφθεί ότι η χρήση οχημάτων με κυψέλες καυσίμων (FCV- fuel cell vehicles) θα βοηθήσει στο να μειωθούν οι εκπομπές αερίων διοξειδίου του άνθρακα κατά 33% και δεν θα υπάρχουν στην πραγματικότητα άλλα αέρια που να μολύνουν. Σε αυτή την εργασία, εκτιμούμε την ισχύ και την κατανάλωση ενέργειας ενός μοντέρνου οχήματος, και εξετάζουμε το κατά πόσο είναι εφικτή η χρήση των PEFC για την πραγματοποίηση ενός βιώσιμου FCV.

6.2 Απαιτήσεις σε ισχύ και ενέργεια ενός FCV (fuel cell vehicle)

Για να αξιολογήσεις τις απαιτήσεις σε ισχύ και ενέργεια ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, είναι κατάλληλο να εκτιμήσουμε ποσοτικά την ισχύ και την ενέργεια που απαιτείται για την οδήγηση ενός μοντέρνου οχήματος με ΜΕΚ ως ακολούθως. Αγνοώντας σχετικά μικρές απώλειες εξαιτίας του κυρτώματος του δρόμου και της καμπυλότητας, η ισχύς που απαιτείται κατά την κίνηση ($P_{traction}$) μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$P_{traction} = P_{grade} + P_{accel} + P_{tires} + P_{aero} \quad (6.1)$$

Όπου P_{grade} είναι η ισχύς που απαιτείται για την διαβάθμιση

P_{accel} , είναι η ισχύς που απαιτείται για την επιτάχυνση,

P_{tires} , είναι η δύναμη κύλισης αντίστασης που καταναλώνεται από το ελαστικό, και

P_{aero} , είναι η δύναμη που καταναλώνεται από την αεροδυναμική οπισθέλκουσα.

Οι πρώτοι δύο όροι της εξίσωσης 6.1 περιγράφουν τους ρυθμούς μεταβολής της δυναμικής (PE- potential energy) και κινητικής ενέργειας (KE- kinetic energy) που σχετίζονται κατά την διάρκεια της ανάβασης και της επιτάχυνσης, αντιστοίχως. Η δύναμη που απαιτείται για αυτές τις ενέργειες μπορεί να εκτιμηθεί από την Νευτώνεια Μηχανική ως ακολούθως:

$$P_{grade} = d(PE)/dt = Mgv \sin \theta \quad (6.2)$$

και

$$P_{accel} = d(KE)/dt = d(1/2Mv^2)/dt = Mav \quad (6.3)$$

Στις εξισώσεις 6.2 και 6.3 M είναι η μάζα (kg) του αυτοκινήτου, v είναι η ταχύτητά του (m/s), a η επιτάχυνσή του (m/s²), και $\tan \theta$ είναι η κλίση. Η δυναμική και κινητική ενέργεια που αποκτώνται από το αυτοκίνητο ως αποτέλεσμα της ανάβασης και της επιτάχυνσης αναπαριστούν αντίστροφα αποθηκευμένες ενέργειες και, κατ' αρχήν, μπορούν να ανακτηθούν με κατάλληλες αναγεννητικές μεθόδους όπου η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται και αποθηκεύεται σαν ηλεκτρική ενέργεια.

Οι δύο τελευταία όροι της εξίσωσης 6.1 περιγράφουν την ισχύ που απαιτείται για να ξεπεραστεί η τριβή των ελαστικών και η αεροδυναμική οπισθέλκουσα που χάνονται οριστικώς και αμετακλήτως, κυρίως ως θερμότητα και θόρυβος και δεν μπορούν να ανακτηθούν, η ισχύς που απαιτείται εδώ μπορεί να υπολογιστεί από τις ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις:

$$P_{tires} = C_t M g v \quad (6.4)$$

και

$$P_{aero} = 0,5 d C_a A (v + w)^2 v \quad (6.5)$$

Στις εξισώσεις 6.4 και 6.5, τα C_t και C_a είναι αδιάστατοι συντελεστές της τριβής των ελαστικών και της αεροδυναμικής οπισθέλκουσας, αντιστοίχως, d είναι η πυκνότητα του αέρα (kg/m³), w είναι η ταχύτητα του αντίθετου ανέμου (m/s), $g (=9.8 \text{ m/s}^2)$ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, και A το εμβαδό της μετωπικής εγκάρσιας διατομής του αυτοκινήτου (m²).

Από τις παραμέτρους που συνδέονται με ένα τυπικό μοντέρνο μεσαίου μεγέθους αυτοκίνητο που ζυγίζει $M=1400\text{kg}$, $A=2,2\text{m}^2$, $C_t=0,01$, $C_a=0,03$, $d=1,17\text{kg/m}^3$, οι απαιτήσεις σε ισχύ μπορούν να υπολογιστούν από τις εξισώσεις 2 έως 5. Για τις αμετάκλητες απώλειες, οι εξισώσεις 4 και 5 δείχνουν ότι η P_{tires} είναι γραμμικά εξαρτώμενη από την ταχύτητα, η P_{aero} ποικίλει ως η τρίτη δύναμη της ταχύτητας και αν και αμελητέα σε χαμηλές ταχύτητες, αυτό το τελευταίο αποτελεί την κυρίαρχη αμετάκλητη απώλεια σε υψηλές ταχύτητες. Για παράδειγμα, για αυτές τις παραμέτρους, για ένα αυτοκίνητο που ταξιδεύει περίπου με 50χλμ/ώρα, η τριβή των ελαστικών είναι διπλή από την αεροδυναμική οπισθέλκουσα και μαζί ανέρχονται σε 3kW. Στα 100χλμ/ώρα οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο, η αεροδυναμική οπισθέλκουσα αυξάνει σημαντικά σε πάνω από την διπλάσια τιμή της τριβής των ελαστικών, αυξάνοντας την συνολική απαίτηση σε ισχύ σε 12kW. Αξίζει να σημειωθεί, ότι και για τις δύο εκτιμήσεις, η ταχύτητα του ανέμου (w) θεωρείται ότι είναι ίση με το μηδέν για χάρη απλότητας. Αλλά, στην πράξη, η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στην απόδοση του αυτοκινήτου θα μπορούσε να είναι αρκετά ουσιαστική. Για παράδειγμα, P_{aero} με ευνοϊκό άνεμο εκ των όπισθεν των 30χλμ/ώρα θα προσέφερε ενέργεια ίση με 0,8kW, αλλά θα ανερχόταν σε ενέργεια ίση με 4kW εάν επρόκειτο για άνεμο αντίθετης κατεύθυνσης ίδιας πάντα ταχύτητας. Αντιστοίχως, η ενεργειακή απόδοση του αυτοκινήτου θα μειωθεί από τα 40χλμ/kWh στα 15χλμ/kWh. Λαμβάνοντας το παράδειγμα ενός λόφου με ουσιαστική κλίση 10%, η ανάβαση του με 100χλμ/ώρα απαιτεί περίπου 50kW, συμπεριλαμβανομένης της τριβής των ελαστικών και της αεροδυναμικής οπισθέλκουσας. Η επιτάχυνση είναι περισσότερο απαιτητική και ιδιαιτέρως σε υψηλές ταχύτητες. Για παράδειγμα, η επιτάχυνση των

5χλμ/ώρα/ δευτερόλεπτο απαιτεί 30kW στα 50χλμ/ώρα αλλά αυξάνει στα 66kW στα 100χλμ/ώρα.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις είναι για την ενέργεια που παρέχεται στον τροχό του αυτοκινήτου και δεν περιλαμβάνει τις απώλειες που λαμβάνουν χώρα όσον αφορά την ενέργεια των τροχών. Αυτή την φορά στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών συστημάτων έλξης, μια ακριβής μέτρηση αυτού είναι δύσκολο αν επιτευχθεί αλλά ανεκδοτολογικού τύπου πληροφορίες προτείνουν η αποδοτικότητα των ηλεκτρονικών συνθηκών για την ισχύ μαζί με τα μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη του συστήματος μετάδοσης της κίνησης είναι περίπου ίσο με 0,85. Επιπλέον ενέργεια ίσως απαιτείται για να τροφοδοτήσει αξεσουάρ όπως το ραδιόφωνο τα φώτα, το τιμόνι, τον κλιματισμό, και τα λοιπά, κάτι το οποίο μπορεί να προσθέσει περίπου 5kW στις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του οχήματος.

Μια ανάλυση αυτού του είδους δεικνύει ότι η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός μοντέρνου αυτοκινήτου πρέπει να είναι ικανή να προσφέρει περίπου 65kW σταθερής ισχύος για διάφορες λειτουργίες και για ανάβαση, με απαίτηση για ισχύ ροπής για λίγα δέκατα του δευτερολέπτου περίπου 105kW κατά την διάρκεια της επιτάχυνσης. Για ένα αυτοκίνητο αυτών των χαρακτηριστικών απόδοσης, αυτό θέτει τα άνω όριο ισχύος, αλλά με κοινή χρήση σπάνια υπερβαίνει τα 20kW ενώ ταξιδεύεις.

Η θερμική αξία της βενζίνης- καυσίμου είναι 32,MJ/l αλλά μια θερμική αξία μόνο 6,5 MJ/l θα είναι διαθέσιμη σε ένα όχημα με MEK αποδοτικότητας σχεδόν 20%. Αυτό είναι περίπου 1,82 MJ/l της βενζίνης- καυσίμου και θεωρώντας ως μέσο εύρος κίνησης του αυτοκινήτου με τις παραμέτρους όπως τις ορίσαμε παραπάνω περίπου ~10km/l, αυτό θα ανερχόταν σε 182Wh/km. Η θερμική αξία του καυσίμου ντίζελ είναι ίση με 35,95 MJ/l και αναλόγως η εκτιμώμενη ενέργεια θα είναι 201Wh/km για οχήματα που κινούνται με ντίζελ, τα οποία έχουν τελική κατανάλωση περίπου 30% και εύρος κίνησης περίπου 15 km/l. Είναι υποχρεωτικό, ότι τα ηλεκτρικά οχήματα να ανταποκρίνονται σε αυτές τις απαιτήσεις ισχύος και ενέργειας. Διάφορες πτυχές των οχημάτων κυψελών καυσίμου θα μας απασχολήσουν στις επόμενες ενότητες.

6.3 Οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell Vehicles-FCV)

Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου δεν είναι νέα και έχει μακρά ιστορία. Η πρώτη κυψέλη καυσίμου εφευρέθηκε το 1839 από τον Sir William Grove και ένα πειραματικό όχημα που τροφοδοτείται από μια αλκαλική κυψέλη καυσίμου εμφανίστηκε το 1970. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ανάμεσα στις κυψέλες καυσίμου που βασίζονται στο υδρογόνο ως καύσιμο, το PEFC (Polymeric Electrolyte Fuel Cells) είναι ευρέως αποδεκτά για εφαρμογές αυτοκίνησης. Το PEFC αποτελούνται από μια σταθερή μεμβράνη πολυμερών ηλεκτρολυτών που βρίσκεται ανάμεσα σε μια άνοδο και μια κάθοδο και πλάκες. Μια συστοιχία PEFC αποτελείται από πολλές κυψέλες σε σειρά με ηλεκτρικά αγώγιμες διπολικές πλάκες που διαθέτουν πεδία ροής που διανέμουν το καύσιμο υδρογόνο και οξειδωτικό αέρα στην άνοδο και την κάθοδο αντιστοίχως. Το καύσιμο υδρογόνο μπορεί να παρασχεθεί είτε ως συμπιεσμένο αέριο από έναν κύλινδρο, είτε από μια κρυογονική δεξαμενή, αλλά και οι δύο αυτές επιλογές έχουν μειονεκτήματα. Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες της αποθήκευσης του υδρογόνου και του συστήματος διανομής του

υδρογόνου, ένας επεξεργαστής που τροφοδοτείται με μεθανόλη ή βενζίνη ενσωματώνεται για να παράξει ένα ρεύμα αερίου πλούσιο σε υδρογόνο επί του οχήματος κυψελών καυσίμου.

Ο Ballard τον Μάη του 2005 έδωσε έμφαση σε τέσσερις περιοχές σημαντικές για την εμπορική προσαρμογή της τεχνολογίας συστοιχιών PEFC σε αυτοκίνητα, δηλαδή, ανθεκτικότητα, κόστος, κρύα εκκίνηση, ογκομετρική πυκνότητα ισχύος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά για το σύστημα PEFC τέθηκαν ως εξής: πυκνότητα ισχύος ~2500W/l, αντοχή του οδηγικού κύκλου 5000 ώρες, χωρητικότητα της ψυχρής εκκίνησης των 30 δευτερολέπτων έως του 50% της ισχύος σε -30°C, και κόστος συστοιχίας κυψελών καυσίμου των 30\$ ανά kW_e καθαρό σε ένα όγκο των 500.000 μονάδων.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης κυψελών καυσίμου για της εφαρμογές αυτοκίνησης είναι:

1. Υψηλής ενέργεια πυκνότητα που υπόκειται σε περιορισμό του μεγέθους της δεξαμενής αποθήκευσης του καυσίμου.
2. Σταθερή ισχύς, σε αντίθεση με τις μπαταρίες όπου η πυκνότητα ποικίλει ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης
3. Γρήγορο ξαναγέμισμα

Οι περιορισμοί που αντιμετωπίζονται προσωρινά είναι:

1. Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα (kW/kg & kW/l)
2. Υψηλό κόστος
3. Προβλήματα σχετικά με την παραγωγή καυσίμου και την αποθήκευσή του.

Μια πρόσφατη πρόοδος στις τεχνολογίες κυψελών καυσίμου αποτελεί η ανάπτυξη των άμεσων στοιχείων καύσης μεθανόλης (DMFC- Direct Methanol Fuel Cells). Αν και τα DMFC έχουν επιτύχει ουσιαστικές βελτιώσεις στα πρόσφατα χρόνια, ακόμα απαιτούν σημαντικά υψηλότερα ποσά από καταλύτες πολύτιμων μετάλλων από ότι με το απευθείας υδρογόνο των PEFC. Ένα άλλο ζήτημα είναι να αμβλύνουν το πρόβλημα του περάσματος της μεθανόλης μέσω της μεμβράνης.

Το υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί από το νερό ηλεκτρολυτικά χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές που μπορούν να μειώσουν τη ρύπανση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Το υδρογόνο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε MEK. Όμως, η αποδοτικότητα των MEK είναι αρκετά χαμηλή. Η επί του οχήματος αποθήκευση του υδρογόνου, μολονότι έχει κόστος και απαιτεί όγκο σε σχέση με τις δεξαμενές βενζίνης ή του ντίζελ είναι πιο στενά συνδεδεμένη με τα κόστη ενός αυτοκινήτου και με τους αριθμούς της απόδοσής του. Οι κυψέλες καυσίμου δεν είχαν το πλεονέκτημα υπέρ των μηχανών εσωτερικής καύσεως ή των μπαταριών επί μακρόν παρά τις επιδείξεις ποικίλων οχημάτων κυψελών καυσίμων όπως το Allis-Calmers Fuel Cell Tractor το 1959 και το GM Electrovan το 1966 εξαιτίας της περιορισμένης πυκνότητας ισχύος. Η έλευση νέων υλικών για την κατασκευή ηλεκτρολυτών έχει προσφέρει την πιθανότητα για μικροσκοπικούς και ελαφρούς κινητήρες κυψελών καυσίμου. Αν και η πυκνότητα ισχύος έχει αυξηθεί με το πέρασμα των ετών, οι κυψέλες καυσίμου παραμένουν βαρύτερες και πιο ογκώδεις από

τα συμβατικά συστήματα μετάδοσης. Αναλόγως, περεταίρω τεχνολογική ανάπτυξη που εστιάζει σε πρόσθετη μείωση του μεγέθους και αυξημένη απόδοση είναι επιθυμητή.

Μια μηχανή που λειτουργεί με κυψέλες καυσίμου που τροφοδοτείται με υδρογόνο φαίνεται μακροπρόθεσμα μια πιο ελκυστική λύση για επιβατηγά αυτοκίνητα καθώς εξαφανίζει τις εκπομπές στην διαδρομή δεξαμενή έως τον τροχό. Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από πολλές πηγές, και διαθέτει ελκυστικά χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την αποδοτικότητά του. Αξίζει να σημειωθεί ότι μια μηχανή κυψελών καυσίμου φθάνει το υψηλότερο σημείο απόδοσης σε μερικό φόρτο και υπάρχει μικρό πλεονέκτημα έναντι πλήρους φόρτου μιας ΜΕΚ. Κατά ένα ενδιαφέροντα τρόπο, τα επιβατηγά αυτοκίνητα λειτουργούν ως επί το πλείστον με μερικό φόρτο, σημαντικά πιο χαμηλά από την ονομαστική ισχύ του, έτσι ώστε το όφελος της απόδοσης που προσφέρεται από τις κυψέλες καυσίμου θα μπορούσε να είναι μέγιστο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε χαμηλής απόδοσης σύστημα ακόμα και το σύστημα κυψελών καυσίμου η απόδοσή του πέφτει καθώς πολλές από τις υπόλοιπες των μονάδων παραγωγής ενέργειας πρέπει να λειτουργεί ακόμα και στο ρεζαντί της ισχύος. Αναλόγως, θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί το σύστημα και σε συνθήκες χαμηλής κατανάλωσης για να «κεφαλαιοποιεί» μέρους του φόρτου απόδοσης των κυψελών καυσίμου. Επιδόσεις σε υψηλής ισχύος πυκνότητα και απόδοση όσον αφορά την υψηλή τάση των κυψελών έχει γίνει το στήριγμα στην ανάπτυξη των κυψελών καυσίμου. Κατά τα τελευταία έτη, αυτά έχουν συμπληρωθεί από άλλους παράγοντες, όπως το χαμηλό κόστος σε υψηλό όγκο παραγωγής με αυξημένη αξιοπιστία και αντοχή. Οι στόχοι παράγονται από ανταγωνιστικά συστήματα προώθησης αυτοκινήτων, που έχουν σχεδιαστεί για λειτουργικό κύκλο ζωής των 5500 ωρών σε κόστος των 50\$/kW, συμπεριλαμβανομένου και της αποθήκευσης καυσίμου.

Η αντοχή είναι ένα κύριο ζητούμενο για τις συστοιχίες κυψελών καυσίμου, ιδιαίτερα με τις λεπτότερες μεμβράνες και τα χαμηλότερα φορτία των καταλυτών σε αποδοτικότητα του κόστους. Ανάμεσα στους παράγοντες που περιορίζουν την διάρκεια ζωής των PEFC, η χημική αποικοδόμηση έχει ταυτοποιηθεί ως το κύριο πρόβλημα. Ωστόσο, έχει προέλθει αξιοσημείωτη πρόοδος στην αξιοπιστία του συστήματος εξαιτίας των συνεχόμενων βελτιώσεων στην μηχανική και στην λειτουργία του πλήρους συστήματος κυψελών καυσίμου και οχημάτων.

Οι PEFC είναι οι πιο ευρέως γνωστές κυψέλες καυσίμου για εφαρμογές στον τομέα των μεταφορών. Εκτιμάται ότι περισσότερα από το 90% των οχημάτων κυψελών καυσίμων στον δρόμο είναι εξοπλισμένα με PEFC. Το PEFC παρουσιάζει υψηλή πυκνότητα σε θερμοκρασίες λειτουργίας των περίπου 70°C. Υπάρχουν ακόμα κάποια μειονεκτήματα με τους τωρινούς τελευταίας γενιάς PEFC: ένα ζήτημα είναι η χαμηλή ανοχή σε CO. Οι περισσότερες συστοιχίες PEFC απαιτούν επίπεδα CO πολύ κάτω των 10 ppm για να μετριάσουν τις απώλειες στην απόδοση. Ένας δεύτερος παράγοντας είναι η θερμοκρασία λειτουργίας των PEFC που ίσως απαιτεί μια μη-αποδεκτή

περιοχή ψύξης της συστοιχίας κυψελών καυσίμων. Αυτοί οι δύο παράγοντες έχουν οδηγήσει τις ερευνητικές προσπάθειες στις μεμβράνες απαγωγής πρωτονίων σε υψηλές θερμοκρασίες. Προβλέπεται ότι, αυτές οι εξελίξεις θα χρειαστούν πολύ χρόνο πριν βρουν μια χρήση σε συστήματα πρακτικών εφαρμογών. Αυτός ο τύπος των PEFC υψηλών θερμοκρασιών μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα δεύτερης γενιάς. Οι συμβατικές συστοιχίες PEFC χαμηλών θερμοκρασιών θα αποτελέσουν τα πρώτα προϊόντα σε πρακτικές εφαρμογές που απαιτούν σχετικά καθαρό υδρογόνο. Οι συστοιχίες PEFC στις εφαρμογές των μεταφορών θα χρησιμοποιηθούν με μια υβριδική ρύθμιση με μπαταρίες/υπερ- πυκνωτές.

Για τις μονάδες βοηθητικής ενέργειας (MBE- APU, auxiliary power units) στα οχήματα κυψελών καυσίμου, οι κυψέλες καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη (SOFC-solid oxide fuel cell) επίσης θεωρούνται ως ένας πιθανός υποψήφιος. Οι SOFC χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες- τελευταίας τεχνολογίας ζirkονίας σταθεροποιημένης με ύττρια που βασίζονται σε SOFC- των 1000°C. Υπάρχουν δύο βασικές ρυθμίσεις των SOFC, η σωληναριακή και η επίπεδη. Η σωληναριακή SOFC θεωρούνται ως κατάλληλοι για μεγάλης κλίμακος στατικές εφαρμογές ενώ οι επίπεδες SOFC προτιμώνται για εφαρμογές αυτοκίνησης εξαιτίας της υψηλότερης ενεργειακής τους πυκνότητας. Οι SOFC προσφέρουν δύο κύρια πλεονεκτήματα έναντι των PEFC, δηλαδή δεν έχουν ανάγκη για έναν καταλύτη πλατίνας και για μεγαλύτερη ευελιξία καυσίμων χωρίς εξωτερική ρύθμιση. Ωστόσο, η ικανότητάς του να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και η επακόλουθη χαμηλότερη αντοχής και μακρούς χρόνους εκκίνησης, θέτουν σημαντικά εμπόδια για την χρήση σε εφαρμογές αυτοκίνησης. Πρόοδοι στην χρήση των υλικών έχουν επιφέρει την ενδιάμεση θερμοκρασία (intermediate temperature- IT) σε SOFC που λειτουργούν ανάμεσα σε 500 και 750 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των IT - SOFC, και ο επακόλουθος ταχύτερος χρόνος εκκίνησης, η μεγαλύτερη διάρκεια, και τα χαμηλότερου κόστους υλικά, τους καθιστούν πιθανούς υποψήφιους για εφαρμογές αυτοκίνησης. Οι IT-SOFC προσφέρουν υψηλή ευελιξία καυσίμου, αποδοτικότητα, και μεγαλύτερη ανοχή σε προσμείξεις από ότι οι PEFC και αντιθέτως από τους PEFC, δεν απαιτούν εξωτερική ρύθμιση καυσίμου. Ωστόσο, παρουσιάζουν μειωμένη δραστηριότητα ως προς τις αντιδράσεις μείωσης οξυγόνου στην κάθοδο εν συγκρίσει με τις υψηλές θερμοκρασίες των SOFC. Αλλά, οι IT - SOFC ίσως είναι υποσχόμενοι μόνο ως MBE σε βαριές εφαρμογές των οχημάτων κυψελών καυσίμων. Η χρήση των SOFC στην αυτοκίνηση θα ήταν καλύτερο να περιοριστεί σε MBE και δεν φαίνεται βιώσιμο για χρήσεις αυτοκίνησης εν γένει, εξαιτίας των συγκεκριμένων απαιτήσεων που σχετίζονται με την έλξη, και συγκεκριμένα με την συμπεριφορά κατά την εκκίνηση και τις δυναμικές αλλαγές φόρτου. Υπό το φως των ανωτέρω, μόνο οι PEFC θεωρούνται κατάλληλοι για εφαρμογές οχημάτων από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων.

6.4 Αποδοτικότητα των συστημάτων PEFC

Η αποδοτικότητα του συστήματος ορίζεται ως εξής:

$$\eta_{\text{σύστημα}} = \frac{P_{\text{καθαρό}}}{P_{\text{σύστημα}}}$$

Όπου $P_{\text{net}} = \text{FCPS}$ καθαρή ενέργεια (W), και P_{fuel} ισχύς καυσίμου, που είναι ίση με ρυθμό ροής καυσίμου* θερμική αξία καυσίμου (W). Το πρότυπο αυτοκίνησης είναι να χρησιμοποιούμε την χαμηλότερη θερμική αξία, που είναι 242 kJmol^{-1} . Η στοιβία απόδοσης ορίζεται ως εξής:

$$\eta_{\text{στοίβα}} = \frac{P_{\text{ακαθάριστο}}}{P_{\text{H}_2\text{καταναλωμένο}}} \frac{P_{\text{καθαρό}}}{P_{\text{σύστημα}}}$$

όπου $P_{\text{ακαθάριστο}}$ = ακαθάριστη ενέργεια στοιβας κυψελών καυσίμου (W), και $P_{\text{H}_2\text{καταναλωμένο}}$ = ισχύς καυσίμου υδρογόνου καταναλωμένου ηλεκτροχημικά.

$$\eta_{\text{στοίβα}} = \frac{V_{\text{κυψέλες}}}{1,23V}$$

όπου $V_{\text{κυψέλες}}$ είναι μετρημένο σε βολτ. Η αποδοτικότητα του συστήματος μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\eta_{\text{συστήματος}} = \eta_{\text{H}_2\text{χρησιμοποιούμενο}} \eta_{\text{στοίβας}} \eta_{\text{παρασιτικό}}$$

όπου $\eta_{\text{H}_2} = P_{\text{καθαρό}} / P_{\text{ακαθάριστο}}$.

Για ένα τυπικό σύστημα άμεσου υδρογόνου, το $\eta_{\text{H}_2\text{χρησιμοποιούμενο}}$ είναι κοντά στην μονάδα και $\eta_{\text{παρασιτικό}}$ κανονικά κυριαρχείται από την βοηθητική ισχύ του συμπιεστή και μπορεί να ποικίλει ανάμεσα σε 80 και 95%. Για την τάση λειτουργίας των κυψελών ανάμεσα σε 1V σε ανοιχτό κύκλωμα και 0,6-0,7 στην αιχμή της ισχύος, η $\eta_{\text{στοίβα}}$ ποικίλει από σχεδόν 80% σε ανοιχτό κύκλωμα έως 50-60% στην αιχμή της ισχύος.

6.5 Οχήματα κυψελών καυσίμου εναντίον υβριδικών οχημάτων

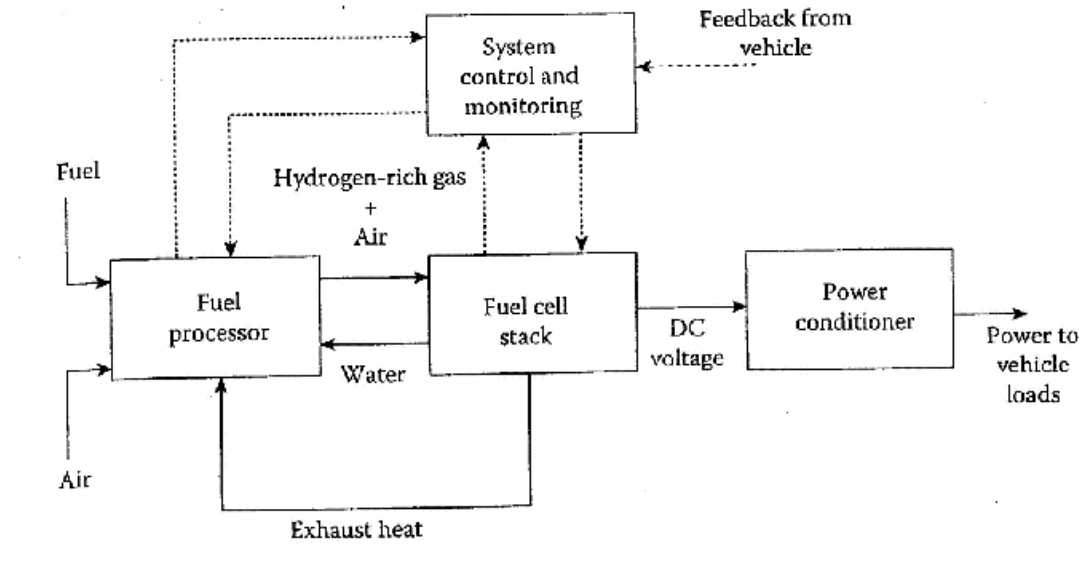
Έχει τεκμηριωθεί ότι οι μπαταρίες PEFC-Ni/MH και PEFC-Li-ion που τροφοδοτούν υβριδικά αυτοκίνητα είναι πιο αποδοτικά από τις κυψέλες καυσίμου οχημάτων. Οι Demirdoven και Deutch (2004) έχουν τονίσει σχετικά με την προτεραιότητα για την ανάπτυξη υβριδικών οχημάτων έναντι κυψελών καυσίμου. Σε αντίθεση με τις MEK, τα συστήματα κυψελών καυσίμων παρουσιάζουν υψηλότερη αποδοτικότητα στα μερικά φορτία. Αυτό είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό για τις εφαρμογές της αυτοκίνησης αφού τα οχήματα κυρίως λειτουργούν σε συνθήκες μερικού φόρτου, η μέση ζήτηση επί των συνηθισμένων οδηγικών κύκλων των Η.Π.Α είναι <20% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής. Μια πρόσφατη μελέτη προτείνει ότι η οικονομία καυσίμου του υδρογόνου στα οχήματα κυψελών καυσίμου θα μπορούσε να είναι περίπου τρεις φορές της οικονομίας καυσίμων των MEK.

Μιας και οι κυψέλες καυσίμου είναι πιο αποδοτικές σε μερικό φόρτο από ότι στην πλήρη ονομαστική ισχύ, υβριδοποιώντας ένα όχημα κυψελών καυσίμου είναι διαφορετικό από το να υβριδοποιείς ένα όχημα με MEK. Ένα κίνητρο για να υβριδοποιήσεις το ένα όχημα κυψελών καυσίμου είναι το να βελτιώσεις την οικονομία καυσίμου ανακτώντας ένα ποσοστό από την ενέργεια πέδησης. Η υβριδοποίηση μπορεί επίσης να βοηθήσει εάν η

συσκευή αποθήκευσης της ενέργειας διαθέτει υψηλότερη συγκεκριμένη απόδοση (kWkg^{-1}) με μικρότερο κόστος ($\text{\$kW}^{-1}$) σε σχέση με τα συστήματα κυψελών καυσίμων για να καταστήσουν τα υβριδικά συστήματα ελαφρύτερα και λιγότερο ακριβά. Εξαιτίας της υψηλότερης απόδοσης του μερικού φορτίου, ακόμα και σε υβριδική ρύθμιση, φέρεται ως η πλέον καλή λύση που προτιμάται σε συστήματα κυψελών καυσίμου για ένα φορτίο με την ακόλουθη λειτουργία και να χρησιμοποιεί ενέργεια ανάλογα με την ζήτηση.

Η αυτοκινητοβιομηχανία εναποθέτει τις ελπίδες τη σε δύο κύριες τεχνολογικές καινοτομίες των αυτοκινητοβιομηχανιών, ήτοι τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (ΥΗΟ- Hybrid Electric Vehicles, HEV) και τα οχήματα κυψελών καυσίμου (ΚΚΟ- Fuel Cell Vehicles, FCV). Ο σχεδιασμός συστημάτων κυψελών καυσίμου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας που γενικότερα είναι συγκεκριμένων εφαρμογών. Η μέγιστη ενέργεια της μηχανής καθορίζεται συνήθως από τον βαθμό επιτάχυνσης, τον βαθμό ή την απόδοση της κορυφαίας ταχύτητας που έχει τεθεί ως στόχος. Η μέγιστη ονομαστική ισχύς μπορεί να είναι συνεχώς απαιτητή ή για μια πεπερασμένη χρονική διάρκεια, μπορεί να διαρκεί και δέκατα του δευτερολέπτου. Για το τελευταίο, η υβριδοποίηση, ο συνδυασμός συρρικνωμένου συστήματος κυψελών καυσίμου που έχει σχεδιαστεί για συνεχή μέγιστη απόδοση ενέργειας με ένα συγκεκριμένο ποσό ανάσχεσης της ενέργειας (buffer), ουσιαστικά μια τράπεζα μπαταριών, το να ενισχύσει την κορυφαία ισχύ μπορεί να αποτελεί μια επιλογή. Έως σήμερα, πρώιμα πρωτότυπα οχήματα μικρού βάρους για μεταφορά προσωπικού σχεδιάζονται ανάμεσα σε 50 και 80kW και με και χωρίς υβριδοποίηση. Οι εφαρμογές πλήρους μεγέθους όπως στα λεωφορεία επίσης εστιάζουν σε 100 έως 200 kW και με και χωρίς υβριδοποίηση. Η General Motors έχει αναπτύξει ένα σύστημα και υβριδικό ("HydroGen 1" & "Gasoline Fuel Cell S-10" καθώς επίσης και μη υβριδικό ("HydrGen 2" & "HydroGen 3") όχημα κυψελών καυσίμου. Οι δυνάμεις της αγοράς, οι απαιτήσεις στόχοι των οχημάτων και οι ανταλλαγή των συστημάτων κυψελών καυσίμου θα καθορίζουν και την ισχύ και τα επίπεδα υβριδοποίησης των ΚΚΟ.

Μια χαμηλής τάσεως σταθερό ρεύμα παράγεται καθώς η απόδοση της μηχανής κυψελών καυσίμου, που εφαρμόζεται σε μια ηλεκτρική μηχανή μέσω ενός κατάλληλου μετατροπέα σταθερού-σταθερού ή σταθερού-εναλλασσόμενου ρεύματος. Η ηλεκτρική μηχανή έλκει τους τροχούς του οχήματος. Το σχηματικό διάγραμμα ενός βασικού συστήματος ισχύος ενός ΚΚΟ με έναν επί του οχήματος επεξεργαστή καυσίμων απεικονίζεται στην εικόνα 6.1 κατωτέρω.



Εικόνα 6.10 : Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος κυψελών καυσίμου με επεξεργαστή καυσίμων

Υπάρχουν τρία κύρια βήματα που περιλαμβάνονται στην παραγωγή ισχύος από μια κυψέλη καυσίμου. Το πρώτο βήμα είναι να επιτευχθεί η καθαρότητα του διαθέσιμου υδρογόνου από έναν επεξεργαστή καυσίμου, όπου τροφοδοτείται με το κατάλληλο καύσιμο υδρογονανθράκων, με την σειρά τους, παράγει ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο στην έξοδό του. Κατόπιν το ρεύμα αερίου πλούσιο σε υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο των κυψελών καυσίμου. Η παραγωγή ρεύματος σταθερής τάσης μέσω των κυψελών καυσίμου αποτελεί το δεύτερο στάδιο μονάδας επεξεργασίας ισχύος. Εν τέλει, ο συντηρητής ισχύος πρέπει να έχει τις ελάχιστες απώλειες για υψηλότερη απόδοση. Οι αποδοτικότητες του συντηρητή ισχύος μπορούν ουσιαστικά να είναι μεγαλύτερες από 80%.

Επιπλέον, υπάρχει και ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας σύνδεσμος ανάμεσα στο σύστημα κυψελών καυσίμου και του φορτίου. Αυτός ο ελεγκτής λαμβάνει ανατροφοδότηση από το όχημα και στέλνει σήματα ελέγχου πίσω στην συστοιχία κυψελών καυσίμου. Η μονάδα συντηρήσεως της ισχύος (PCU- Power Conditioning Unit/ ΜΣΙ), με τη σειρά της παράσχει την κατάλληλη ισχύ στο φορτίο. Ο έλεγχος μεθοδολογίας της ΜΣΙ γενικά περιλαμβάνει ένα προχωρημένο ηλεκτρονικό ελεγκτή ισχύος.

6.6 Επιλογές τροφοδοσίας οχημάτων κυψελών καυσίμου

Επιπλέον της συστοιχίας κυψελών καυσίμου, άλλο ένα υποσύστημα που επηρεάζει, το κόστος του οχήματος και την απόδοσή του είναι το μέρος αποθήκευσης του καυσίμου. Το σημαντικό ζήτημα στην χρήση των κυψελών καυσίμου για εφαρμογές αυτοκίνησης είναι η διαθεσιμότητα του καυσίμου

υδρογόνου. Δίχως ένα ευρύ δίκτυο σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου, χωρίς την δυνατότητα εισαγωγής μεγάλης κλίμακας οχημάτων κυψελών καυσίμου, και χωρίς ουσιαστικά ένα μεγάλο δίκτυο οχημάτων κυψελών καυσίμων, είναι απίθανες οι μεγάλες επενδύσεις στις υποδομές υδρογόνου. Η αποθήκευση του υδρογόνου επί του οχήματος είναι σημαντική για την επιτυχία των ΚΚΟ για να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα που αφορούν το οδηγικό εύρος εν συγκρίσει με τα οχήματα βενζίνης, ο χαμηλός όγκος αποθήκευσης, το χαμηλό βάρος και το χαμηλό κόστος.

Η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στις επιλογές αποθήκευσης υδρογόνου περιλαμβάνουν το συμπιεσμένο υδρογόνο, το υγρό υδρογόνο, και μεταλλικά υδρίδια. Το τμήμα ενέργειας των Η.Π.Α. έχει θέσει στόχους για τις συσκευές αποθήκευσης υδρογόνου επί των οχημάτων. Η ενεργειακή πυκνότητα αποθήκευσης για το υδρογόνο (σε MJ/l) ανέρχεται σε 2,8 για το υδρογόνο όπως και το αέριο σε 345 bar σε μια τιμή ανάμεσα σε 7 και 12 για τα μεταλλικά υδρίδια, 8,4 για το υγρό υδρογόνο, και 31,1 για την βενζίνη.

Το τμήμα ενέργειας των Η.Π.Α. έχει θεσπίσει μια σειρά στόχων ως ενδεδειγμένων που παρατίθενται κατωτέρω:

- Σταθμική ενεργειακή πυκνότητα: 2kWh/kg
- Ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα: 1,5kWh/l
- Ικανότητα αποθήκευσης H₂ (κλάσμα μάζας) σε 6wt% (σε σύστημα βάσης)
- Θερμοκρασία λειτουργίας (-30°C έως +50°C)
- Χρόνος ανεφοδιασμού <5λεπτά
- Ρυθμός ανεφοδιασμού: 1,5kg H₂/λεπτό
- Ανακτήσιμο ποσό υδρογόνου: 90%
- Κύκλος ζωής: 500 φορές (απαιτήσεις για τις φυσικές ιδιότητες των υλικών αποθήκευσης)
- Στόχος κόστους: 5US\$/kWh (υλικά αποθήκευσης χωρίς περιφερειακά εξαρτήματα)

Υπάρχουν τέσσερις επιλογές για επί του οχήματος αποθήκευση του υδρογόνου, ήτοι α) υγρό υδρογόνο σε 20-30 K, 0,5-1 MPa, β) συμπιεσμένο αέριο υδρογόνο σε 35-70 MPa και σε θερμοκρασία δωματίου, γ) αποθήκευση στερεάς μορφής χρησιμοποιώντας υδρίδια ή υλικά υψηλής επιφάνειας και δ) πορώδη στερεά προσρόφηση του μοριακού υδρογόνου. Οι πρώτες δύο μέθοδοι έχουν φθάσει στο στάδιο μηχανολογικής/ κατασκευαστικής πρωτοτυπίας ενώ οι δύο τελευταίες μέθοδοι κατά πολύ παραμένουν στο να ανακαλύψουν το βέλτιστο σύστημα για περαιτέρω ανάπτυξη.

Το υγρό υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί επί του οχήματος όπως παρουσιάστηκε στην BMW. Σε αυτά τα οχήματα, το περισσότερο υδρογόνο παράσχεται σε μια MEK με ένα μέρος που καταλήγει σε μια κυψέλη καυσίμου που παράσχει την ηλεκτρική ενέργεια για τον κλιματισμό, και τόσα άλλα. Αυτή η προσέγγιση αποφέρει μια σταθμική ενεργειακή πυκνότητα του 100% του H₂ χωρίς το βάρος του περιεχομένου. Ωστόσο, εάν η μάζα της δεξαμενής

περιλαμβάνεται, μειώνεται σε περίπου 10% της σταθμικής αποθηκευτικής πυκνότητας του H_2 . Αυτό έχει δύο κύρια μειονεκτήματα, ήτοι έναν αναπόφευκτο ρυθμό εξάτμισης που είναι περίπου ~1% ανά ημέρα και υπάρχει μια υψηλή ενεργειακή απώλεια εξαιτίας της διαδικασίας ψύξεως που ανέρχεται στο 30% της διαθέσιμης ενέργειας που είναι διαθέσιμη κατά την καύση του υδρογόνου. Μέχρι προσφάτως, το υγρό υδρογόνο έχει επίσης θεωρηθεί ως μια τεχνολογικά βιώσιμη επιλογή για εφαρμογές στην αυτοκίνηση. Αλλά τα μειονεκτήματά του όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της θερμικής μονώσεως θα πρέπει να διευθετηθεί ικανοποιητικά. Επίσης, εξαιτίας των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας ανάμεσα στους 20 και 30 K, η ροή θερμότητας μοιάζει αναπόφευκτη. Αυτή η εισαγωγή θερμότητας αποτελείται από τρία κλάσματα, ήτοι την θερμική απαγωγή, την διάδοση θερμότητας και την θερμική ακτινοβολία. Ανάμεσα σε αυτές, η θερμική απαγωγή δια μέσου σωλήνων και καλωδίων στο εσωτερικό δοχείο αποθήκευσης και η θερμική ακτινοβολία από το περιβάλλον στο κρυογενικό υγρό επικρατούν. Για να επιτευχθούν οι χαμηλές τιμές γενικά της προαναφερθείσας μεταφοράς θερμότητας, είναι σημαντικό να δουλεύουν με δομές κυλινδρικών δεξαμενών καθώς αυτή η γεωμετρία είναι πιο κοντά στην βέλτιστη αναλογία επιφάνειας προς όγκο. Επιπλέον, απαιτείται να χρησιμοποιήσουμε αποδοτικό πολυστρωματικό κενό υψηλής μόνωσης με περίπου 40 στρώσεις από μεταλλικά φύλλα. Τυλίγοντας τα μεταλλικά φύλλα γύρω από την δεξαμενή αποθήκευσης εν γένει και την περιοχή του θόλου πιο συγκεκριμένα είναι χρονοβόρο και υψηλών απαιτήσεων διαδικασία. Η εναπομείνασα εισαγωγή θερμότητας οδηγεί σε βελτιωμένη εξάτμιση του υγρού υδρογόνου που είναι αποθηκευμένο εντός που εν τέλει προκαλεί μια αύξηση της πίεσεως. Συνήθως, όταν ενός συστήματος η πίεση φθάνει περίπου το 1 MPa, μια βαλβίδα απαιτείται να ανοίξει για τον εξαερισμό του υδρογόνου. Η πολυπλοκότητα της αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου μαζί με την πρόκληση του να μειώσεις τον εξαερισμό προσθέτει κόστος στο σύστημα αποθήκευσης του υγρού υδρογόνου που δεν είναι υπέρ/ ευνοϊκά των συστημάτων αποθήκευσης πεπιεσμένου αέριου υδρογόνου. Επίσης, η ενέργεια που απαιτείται για να υδροποιήσεις το υδρογόνο είναι περίπου το 30% της χημικής ενέργειας που αποθηκεύεται εν συγκρίσει με το μόλις 15% για 70 MPa συμπιεσμένου υδρογόνου όσον αφορά την καθαρή θερμιδική αξία των 120 MJ kg⁻¹ του υδρογόνου.

Η δεύτερη προσέγγιση είναι να αποθηκεύουμε το υδρογόνο σε υψηλή πίεση. Μιας και η ογκομετρική αποθηκευτική πυκνότητα της δεξαμενής συμπιεσμένου υδρογόνου είναι μάλλον μικρή, η συσκευασία ενός τέτοιου συστήματος καυσίμων στην υπάρχουσα μαζική παραγωγή αρχιτεκτονική οχημάτων παραμένει μια πρόκληση. Εξαιτίας της συγκριτικά υψηλής λειτουργικής πίεσεως αυτών των δεξαμενών, είναι υποχρεωτικός ο κυλινδρικός σχεδιασμός. Ανεξάρτητα, από τους περιορισμούς της προσέγγισης του συμπιεσμένου αέριου υδρογόνου, αυτή η επιλογή αποφέρει

την βέλτιστη τεχνικά απόδοση και διαθέτει την υψηλότερη ωριμότητα για εφαρμογές αυτοκίνησης.

Ένας συμβατικός χαλύβδινος κύλινδρος αποθηκεύει περίπου 1% σταθμικού υδρογόνου. Πρόσφατες εξελίξεις μελετών με την χρήση ρητινών ενισχυμένων με ίνες έχουν φθάσει σε πιέσεις των 700 bar, που αντιστοιχεί στο μισό περίπου της πυκνότητας του υγρού υδρογόνου. Τα λεωφορεία που τροφοδοτούνται με υδρογόνο, υπό την οδηγία Καθαρές Αστικές Μεταφορές για την Ευρώπη (Clean Urban Transport for Europe- CUTE) χρησιμοποιούν δεξαμενές υδρογόνου σε συμβατικούς χαλύβδινους κυλίνδρους των 150 bar.

Αποσβεστήρες στερεάς κατάστασης του υδρογόνου προσφέρουν μια εντυπωσιακή ογκομετρική πυκνότητα του υδρογόνου. Η απαίτηση σε βραχύ χρόνο ανεφοδιασμού προκαλεί ένα σημαντικό κατασκευαστικό βάρος στο σύστημα. Αν θεωρήσουμε μια 6 κιλών δεξαμενή H₂ που περιλαμβάνει ένα αποθηκευτικό υλικό M με την θερμότητα του μετασχηματισμού ΔH (M+H₂→MH₂+ΔH) που είναι περίπου 25 MJ kg⁻¹ H₂, ένα θερμικό φορτίο των 150 MJ απαιτείται κατά την διάρκεια του ανεφοδιασμού.

Αυτό οδηγεί σε μια μέση ανταλλαγή θερμότητας των 800kW. Μια τέτοια συσκευή υψηλής απόδοσης είναι απίθανο να βρίσκεται επί του οχήματος εξαιτίας του κόστους, του όγκου, και του βάρους. Ένας επιπλέον περιορισμός είναι ότι πλείστοι αποσβεστήρες στερεάς κατάστασης θα πρέπει να περιορίζονται στους 70°C για να είναι λειτουργικοί, που θα μπορούσε να επιτευχθεί με το να χρησιμοποιούν τα θερμικά απόβλητα του συστήματος κυψελών καυσίμου. Οι αποσβεστήρες υδρογόνου συχνά αποτελούνται από υλικά σε σκόνη. Οι αποσβεστήρες υπολογίζονται/ μετράνε για το 50% του συνολικού βάρους ενώ το 50% οφείλεται στις βαλβίδες, τις σωληνώσεις, την πίεση της δεξαμενής, του εναλλάκτη θερμότητας και τόσα άλλα. Ένα αποθηκευτικό σύστημα συμπιεσμένου υδρογόνου των 70 MPa αποτελεί προς το παρόν την βέλτιστη επιλογή για επί του οχήματος αποθήκευση υδρογόνου.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία των οχημάτων κυψελών καυσίμου βρίσκεται στην επιτυχία της οικονομίας του υδρογόνου και των σχετικών τεχνολογιών. Οι McNicol, Rand, & Williams (2001) ανέφεραν ότι ένα σύστημα κυψελών καυσίμου που είναι εξοπλισμένο με ένα επεξεργαστή καυσίμου άμεσης μετατροπής θα μπορούσε να συναγωνιστεί με επιτυχία ένα όχημα με MEK. Λεωφορεία και οχήματα αναψυχής έχουν περισσότερο χώρο για να φιλοξενήσουν τον επεξεργαστή καυσίμου από ότι τα επιβατηγά οχήματα. Ο μετασχηματισμός καυσίμου επί του οχήματος είναι άλλη μια επιλογή για να χρησιμοποιήσουμε την υπάρχουσα υποδομή των καυσίμων υγρών υδρογονανθράκων και να παράγουμε υδρογόνο επί του οχήματος. Ο επιθυμητός μετασχηματιστής- κυψελών καυσίμου είναι προφανώς πιο περίπλοκος εν συγκρίσει με το επί του οχήματος σύστημα αποθήκευσης του υδρογόνου σε μηχανή κυψελών καυσίμου.

Ο μετασχηματισμός για εφαρμογές αυτοκίνησης απαιτεί έναν πρωτογενή υποβοηθούμενο από αέρα μετασχηματιστή που ονομάζεται Καταλύτης Μερικής Οξειδωσης (Catalytic Partial- Oxidation, CPO) ή

Αυτόματος Θερμικός Μετασχηματιστής (Auto- Thermal Reforming, ATR). Κατά την διάρκεια της χρήσης του CPO, αέρας εισάγεται μαζί με καύσιμο υδρογονάνθρακα, ενώ κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ATR ο αέρας παρέχεται μαζί με ατμό καύσιμο υδρογονάνθρακα. Η επεξεργασία αερίων που αποτελείται από μεταβολή μετατροπής και αφαίρεση CO.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος ανασχηματισμού επηρεάζεται από το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν πλείστα υποψήφια καύσιμα όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη, η νάφθα, η βενζίνη χαμηλή σε θείο, και ο διμεθυλαιθέρας. Είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται η υπάρχουσα υποδομή για την τροφοδότηση των οχημάτων κυψελών καυσίμου. Η απόδοση επίσης επηρεάζεται από την αρχιτεκτονική του συστήματος μετασχηματισμού. Ένα όχημα βενζίνης κυψελών καυσίμου που είναι εξοπλισμένο με ATR εκτιμάται ότι εκπέμπει σχεδόν τα ίδια επίπεδα CO₂ με ένα ντίζελ υβριδικό ηλεκτρικό όχημα. Αναλόγως, η απόδοση θα έπρεπε να βελτιωθεί για να είναι ανταγωνιστική με εκείνη των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων σε όρους οικονομίας καυσίμων. Εάν ο στόχος, για την ογκομετρική πυκνότητα ισχύος επιτευχθεί, ένα σύστημα μετασχηματισμού με έναν όγκο των 60 λίτρων θα είναι ικανό να παράσχει μια απόδοση ισχύος ίση με 100kW μέχρι το 2010. Ένα σύστημα τέτοιου μεγέθους θα μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί κάτω από το πάτωμα της καμπίνας. Ένα σύστημα μετασχηματισμού μικρό σε όγκο θα μειώσει την απώλεια θερμότητας και θα οδηγήσει σε βελτιωμένη απόδοση του συστήματος. Για να μειωθεί ο όγκος του κάθε εξαρτήματος, είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η απόδοση του καταλύτη που χρησιμοποιείται στο ATR, αλλαγή στους αντιδραστήρες, και αντιδραστήρες προνομιακής οξειδωσης (PrO_x), ειδικά για δραστηριότητα κάτω από συνθήκες αερίου υψηλής ταχύτητας χώρου (gas high space velocity, GHSV). Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιώντας κεραμικό αφρό ως υπόστρωμα καταλύτη βοηθά να μειωθεί ο όγκος του αντιδραστήρα ATR.

Ο επί του οχήματος μετασχηματιστής παρουσιάζει έναν αριθμό τεχνικών και οικονομικών προκλήσεων που περιλαμβάνουν στόχους στον όγκο που καταλαμβάνουν, στο βάρος, και στις απαιτήσεις κατά την εκκίνηση. Αυτές οι απαιτήσεις θέτουν έναν αριθμό χαρακτηριστικών για το σύστημα μετασχηματισμού και συγκεκριμένα για τους καταλύτες που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικούς αντιδραστήρες όπως υποδεικνύεται κατωτέρω:

- Υψηλότερη δραστηριότητα καταλύτη από ότι συμβατικοί καταλύτες σε παλέτες
- Καλή σταθερότητα και δυναμική λειτουργία και γρήγορες αλλαγές φορτίου.
- Μη- πυροφόρες ιδιότητες, ικανότητα να λειτουργεί κάτω από ατμοσφαιρικό αέρα.
- Καλή αντίσταση στο θείο.
- Μικρό μέγεθος και μικρό βάρος του GHSV όπως φαίνεται και στον πίνακα κατωτέρω

- Χαμηλά κόστη.
- Γρήγορη και ασφαλή εκκίνηση/ σβήσιμο
- Υψηλή δυναμικότητα αναλογίας turn- down.
- Χαμηλή πίεση (0 έως λίγα bar)
- Ελάχιστος αριθμός θερμικών εναλλακτών.
- Ενσωμάτωση των εναλλακτών θερμότητας με αντιδραστήρες.

Η μείωση του χρόνου εκκίνησης είναι ένα δύσκολο θέμα. Ένα συμπαγές σύστημα μετασχηματισμού θα ήταν αποτελεσματικό στο να επιτυγχάνει γρηγορότερες εκκινήσεις. Ωστόσο, ένα αποδοτικό σύστημα εκκίνησης πρέπει να εξελιχθεί. Ένας αναφλεκτήρας εκκίνησης σε συνδυασμό με έναν ψεκαστήρα μπορεί να είναι χρήσιμος γι αυτό τον σκοπό. Τα συστήματα μετασχηματισμού ATR εμφανίζονται υποσχόμενα για εφαρμογές αυτοκίνησης στο εγγύς μέλλον. Αν και πολλές εταιρείες έχουν εγκαταλείψει την ιδέα του μετασχηματισμού επί του οχήματος, η Nuvera, μαζί με την Renault αναπτύσσουν μια ιδέα ενός αυτόματου θερμικού μετασχηματιστή επί οχήματος για επιβατηγά αυτοκίνητα.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με την εμπορευματοποίηση των οχημάτων κυψελών καυσίμων, μια σύντομη συζήτηση στην λειτουργία των PEFC (Polymeric Electrolyte Fuel Cells), που σχετίζεται με υποσυστήματα, και ρυθμίσεις κίνησης εισάγονται στο ακόλουθο τμήμα της εν λόγω εργασίας.

Πίνακας 6.1 : Στόχοι επεξεργαστή καυσίμου και βιομηχανικής πρακτικής

Διαδικασία	Επεξεργαστής Καυσίμου για Εφαρμογές Αυτοκίνησης	Βιομηχανία Παραγωγής Υδρογόνου
	GHSV (h^{-1})	GHSV (h^{-1})
Αναμορφωτής	200,000	1000
Αντίδραση μετατόπισης CO (HTS)	60,000	1000
Αντίδραση μετατόπισης CO (LTS)	60,000	3000
Αφαίρεση CO	150,000	3000
Πίεση (bar)	1-10	>30

6.7 Ολοκλήρωση / ενσωμάτωση οχημάτων κυψελών καυσίμου (ΟΚΚ)

Η ανάπτυξη των ΟΚΚ απαιτεί την ολοκλήρωση/ ενσωμάτωση ενός συστήματος κυψελών καυσίμου και συσκευής αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας με ένα κατάλληλο σύστημα ενεργειακής διαχείρισης. Για να αξιολογήσουμε το ΟΚΚ με επί του οχήματος PEFC (Polymeric Electrolyte Fuel Cells- Κυψέλες Καυσίμου Πολυμερικών Ηλεκτρολυτών), είναι σημαντικό να δοκιμάζονται σύμφωνα με έναν καθιερωμένο κύκλο οδήγησης που περιλαμβάνει επαναλήψεις όπως εκκίνηση/ σταμάτημα, επιτάχυνση, κάλυψη διαδρομών και φρενάρισμα. Η ενσωμάτωση των συστημάτων κυψελών

καυσίμων στα οχήματα μπορεί να επιτευχθεί με έναν τρόπο συγγενικό με εκείνο των οχημάτων με ΜΕΚ. Έχει αποδειχθεί ότι επαρκώς αποδοτικά και συμπαγή συστήματα μετάδοσης είναι εφικτά. Τα κυλινδρικά δοχεία απαιτούνται για την αποθήκευση του υδρογόνου. Τα υπάρχοντα οχήματα στερούνται χώρου για την αποθήκευση του υδρογόνου για να παρέχουν μεγάλη ευρύτητα κίνησης. Ο σχεδιασμός του συστήματος και η ενσωμάτωση περιλαμβάνουν μια ποικιλία μεγεθών σε συστοιχίες κυψελών καυσίμων, σε συνθήκες λειτουργίας όπως οι πιέσεις στα επιμέρους συστήματα, θερμοκρασία, επίπεδα ύγρανσης, εξαρτήματα υποσυστημάτων, στρατηγικές ελέγχου, και μια πληθώρα άλλων παραμέτρων που θα πρέπει να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του συστήματος, ήτοι, μικρή μάζα, περιορισμένος χώρος, γρήγορη εκκίνηση, γρήγορη δυναμική λειτουργία, μεγάλη αναλογία turn-down, δηλαδή η αναλογία σε μέγιστη έως ελάχιστη ισχύ, ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, ανοχή στο κρύο, μεγάλη διάρκεια ζωής, αποτελεσματικότητα, και αποδοτικότητα κόστους. Λεπτομερής δυναμικός σχεδιασμός σταθερής κατάστασης και εργαλεία προσομοίωσης καθώς επίσης, δοκιμές στα εξαρτήματα, τα υποσυστήματα και του οχήματος είναι επιθυμητά για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων.

6.8 Τεχνικά ζητήματα σε οχήματα κυψελών καυσίμου (ΟΚΚ)

Ο Μ. Arita (2002) τονίζει τα τεχνικά ζητήματα των συστημάτων κυψελών καυσίμων για εφαρμογές αυτοκίνησης. Ο Μ. Arita πρόσθεσε ότι επιτυγχάνοντας τους στόχους για εφαρμογές αυτοκίνησης αυτό απαιτεί τεχνικές ανακαλύψεις στην αποδοτικότητα, στο μικρό μέγεθος, στην διαχείριση του ύδατος και της θερμότητας, στην ανθεκτικότητα και στο κόστος των PEFC (Polymeric Electrolyte Fuel Cells- Κυψέλες Καυσίμου Πολυμερικών Ηλεκτρολυτών) (πίνακας 6.2)

Πίνακας 6.2 : Παρούσα κατάσταση και στόχοι των PEFCs

Παράμετρος	Μέρος	Τωρινή Κατάσταση	Στόχος
Αποδοτικότητα	Ονομαστική(A/cm ²)	περίπου 50% (ακαθάριστο)	>60% (ακαθάριστο)
Πυκνότητα Ισχύος	Συστοιχία	0.9-1.5 kW/1	>3 kW/1
Θερμοκρασία Λειτουργίας	Ψυκτική Ουσία	80°C	>80°C
Πίεση Λειτουργίας		Περιβάλλουσα - 2 bar	Περιβάλλουσα - 2 bar
Ύγρανση		Απαραίτητη	Καμία Εξωτερική ύγρανση
Εκκίνηση σε χαμηλή θερμοκρασία	Κρύα σταθερότητα	>0°C	-30°C
	Θερμοκρασία αποθήκευσης	>0°C	-40°C
Αξιοπιστία		>1,000 h	>5,000 h
Κόστος		περίπου \$4,500/kW	περίπου \$10-15/kW

Για να βελτιωθεί η συνολική αποδοτικότητα των συστοιχιών PEFC, είναι απαραίτητο να βελτιώσουμε τις κυψέλες που το αποτελούν. Μειώνοντας τις απώλειες ενεργοποίησης στην κάθοδο αποτελεί μόνο ένα μικρό μέρος του να βελτιώσεις την αποδοτικότητα. Ένα από τα πλέον υποσχόμενα εξαρτήματα όσον αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα είναι η εφαρμογή ενός καταλύτη κράματος Pt (πλατίνα). Γενικότερα, το αέριο στρώμα διάχυσης (GDL- gas diffusion layer) πρέπει να βελτιστοποιηθεί για να αποφευχθεί η απώλεια μεταφοράς μάζας, και μείωση της αντίστασης της μεμβράνης είναι απαραίτητη για να χαμηλώσει τις ωμικές απώλειες και την αντίσταση επαφής ανάμεσα σε κάθε εξάρτημα. Το μικρό μέγεθος είναι μια σημαντική παράμετρος για την εγκατάσταση συστοιχιών κυψελών καυσίμων σε ένα όχημα. Είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η πυκνότητα ισχύος για να επιτευχθεί ακόμα μικρότερο μέγεθος. Για να επιτύχουμε υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, ο σχεδιασμός του πεδίου ροής των διπολικών πλακών θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί για να βελτιωθεί η απόδοση της συνδεσμολογίας των μεμβρανών των ηλεκτροδίων. (MEA- membrane electrode assembly). Άλλο ένα υποσχόμενο μέτρο για την επίτευξη μικρού μεγέθους είναι η χρήση λεπτότερων διπολικών πλακών. Τα κανάλια ροής παρέχονται επί των επιφανειών των διπολικών πλακών σε βάθος μέχρι και περίπου 0,5 χιλιοστών. Γι' αυτό, είναι δύσκολο να μειώσουμε το πάχος των πλακών κάτω από το 1 χιλιοστό με κανάλια εκατέρωθεν.

Σε έναν PEFC, η ιονική αγωγιμότητα της μεμβράνης είναι ανάλογη του περιεχομένου της σε νερό και τα πρωτόνια έλκουν μόρια νερού από την άνοδο στην κάθοδο κατά την διάρκεια λειτουργίας της κυψέλης. Αν και το νερό είναι απαραίτητο για την διατήρηση της σταθερής λειτουργίας, παγώνει κάτω από 0°C, αλλά το ΟΚΚ θα πρέπει να έχει την ικανότητα να εκκινεί και να λειτουργεί σε θερμοκρασίες αρκετά κάτω από το σημείο ψύξης του νερού. Το νερό στις μεμβράνες των ηλεκτρολυτών δεν παγώνει στους -20 °C, έτσι η συστοιχία μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό σε αυτές τις θερμοκρασίες. Από την άλλη μεριά, αφού το νερό το νερό στο GDL (αέριο στρώμα διάχυσης) και στο στρώμα του καταλύτη παγώνει, είναι απαραίτητο η συστοιχία να λειτουργεί με τέτοιο τρόπο που η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτραπεί η ψύξη του ύδατος σε αυτά τα εξαρτήματα. Η απόδοση ισχύος της συστοιχίας είναι περιορισμένη σε αυτές τις θερμοκρασίες. Γι' αυτό, το πρόβλημα ψύξης αποτελεί ένα από τα σημαντικά ζητήματα που χρήζει λύσεως πριν τα ΟΚΚ βγουν στην αγορά. Μια λύση στο πρόβλημα είναι να εξαλειφθεί ο εξωτερικός υγραντήρας στην συστοιχία κυψελών καυσίμου. Ο διαχύτης που γυρνά πίσω το νερό φαίνεται ότι αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο μέτρο που διευκολύνει την διαδικασία μη- ύγρανσης. Η εταιρεία Intelligent Energy στο Η.Β. στοχεύει σε εφαρμογές αυτοκίνησης με την χρήση εξατμιστικών συστοιχιών ψύξεως (evaporative cooled stacks). Η συστοιχία δεν απαιτεί εξωτερική ύγρανση, διαθέτει λειτουργία χαμηλής πίεσεως, και απαιτεί την ελάχιστη ισορροπία της εγκατάστασης.

Άλλο ένα σημαντικό ζήτημα είναι η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του συστήματος κυψελών καυσίμου υπό όλες τις οδηγικές συνθήκες. Προς το παρόν, η θερμοκρασία λειτουργίας των PEFC συστοιχιών με μεμβράνες Nafion είναι περίπου 80 °C, το οποίο είναι χαμηλότερο σε σχέση με εκείνη των ΜΕΚ. Αλλά οι χαμηλότερες συνθήκες δεν είναι επιθυμητές για εφαρμογές αυτοκίνησης. Η θερμότητα από το ψυκτικό απελευθερώνεται στον αέρα χρησιμοποιώντας την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο ψυκτικό και τον αέρα. Στην περίπτωση μιας συμβατικής ΜΕΚ, η υψηλότερη θερμοκρασία του

ψυκτικού είναι 110 °C περίπου, έτσι υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά των 80 °C όταν ο περιβάλλον αέρας είναι 30 °C. Στην περίπτωση της συστοιχίας των PEFC, η διαφορά είναι μόνο -50 °C. Γι' αυτό το ψυγείο του PEFC συστήματος συστοιχιών πρέπει να είναι κατά 60% μεγαλύτερο σε μέγεθος εν συγκρίσει με εκείνη των MEK.. ωστόσο, είναι δύσκολο να βρεις χώρο για να εγκαταστήσεις ένα τόσο μεγάλο ψυγείο στο όχημα. Μια μεμβράνη που να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες ανάμεσα στους 110 και 120 °C θα πρέπει να αναπτυχθεί για να λυθεί το συγκεκριμένο ζήτημα.

Οι υποδομές προσφοράς καυσίμων για ΟΚΚ είναι κρίσιμης σημασίας για την εκλαΐκευσή τους. Ωστόσο, οι υποδομές προσφοράς υδρογόνου μόλις που υπάρχουν στην παρούσα φάση. Τα ΟΚΚ διαθέτουν το ίδιο εύρος με τα οχήματα με MEK. Η απόσταση που μπορούν να καλύψουν τα ΟΚΚ με ένα ντεπόζιτο είναι τουλάχιστον 500χλμ. Τα τωρινά ΟΚΚ μπορούν να καλύψουν απόσταση 100χλμ. με ένα κιλό υδρογόνου. Γι' αυτό το υλικό αποθήκευσης υδρογόνου και το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να αποθηκεύει τουλάχιστον 5 κιλά υδρογόνου. Υπάρχουν πολλά υποψήφια υλικά και συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου. Μια δεξαμενή αερίου υδρογόνου υψηλής πίεσεως μπορεί να είναι πολλά υποσχόμενη στην παρούσα φάση. Η ικανότητα των δεξαμενών αερίου υδρογόνου έχει αυξηθεί από 25-30MPa, και αναμένεται να αυξηθεί σε 50 έως 70 MPa στο εγγύς μέλλον. Οι ανθρακικοί νανοσωλήνες θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα πολλά υποσχόμενο υλικό, αλλά μπορούν να αποθηκεύσουν μόνο 0,5wt% υδρογόνο. Τα μεταλλικά υδρίδια μπορούν να αποθηκεύσουν μόνο 2wt.% αλλά η ικανότητά τους να αποθηκεύουν υδρογόνο πρέπει να βελτιωθεί κατά >5wt.%. άλλο ένα σημαντικό ζήτημα για την χρήση των μεταλλικών υδριδίων είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποθηκευτεί το υδρογόνο. Πολλές δεκάδες λεπτών απαιτούνται για τον ανεφοδιασμό. Αλκαλικές ενώσεις του υδριδίου διαθέτουν μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα του υδρογόνου, αλλά είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν. Είναι ίσως δύσκολο να χρησιμοποιήσουμε τα υπάρχοντα υλικά αποθήκευσης υδρογόνου σε αυτοκίνητα. Προσφάτως το βοράνιο της αμμωνίας έχει παρουσιαστεί ως ένας πολλά υποσχόμενος μεταφορέας υδρογόνου. Η αποδοτικότητα των περιφερειακών συστημάτων όπως το σύστημα προσφοράς αέρα και η ικανότητα του συστήματος ψύξεως να απελευθερώνει θερμότητα επίσης χρειάζεται να βελτιωθούν για να επιτευχθεί ένα μικρό και υψηλών αποδόσεων σύστημα κυψελών καυσίμου.

6.9 Η αγορά των οχημάτων κυψελών καυσίμου (ΟΚΚ)

Κανένα όχημα δεν είναι ακόμα έτοιμο για εμπορευματοποίηση. Το 2007, ο συνολικός αριθμός ελαφρού τύπου ΟΚΚ που αναπτύχθηκαν παγκοσμίως ήταν περίπου 800, με επιπλέον 3000 εξειδικευμένα οχήματα για να τροφοδοτούν περνοφόρα, μοτοσυκλέτες και θαλάσσια σκάφη. Ο Schaefer και οι συνεργάτες του προβλέπουν ότι μια αγορά ανταγωνιστική, ελαφρού τύπου ΟΚΚ θα ήταν περίπου διαθέσιμη σε 15 έτη αλλά μια μείζονα διείσδυση στόλου τέτοιων οχημάτων θα μπορούσε να χρειαστεί και περισσότερο από 50 χρόνια. Κατά την διάρκεια του 2008, οι εταιρείες Daimler, Ford, GM, Honda, Hyundai, και Toyota ανακοίνωσαν σχέδια για να εμπορευματοποιηθούν ΟΚΚ οποτεδήποτε ανάμεσα στο 2012 και 2025. Για να φθάσουν σε αυτό το στάδιο, ωστόσο, είναι απαραίτητες επαναστατικές μέθοδοι σε υλικά και κατασκευές.

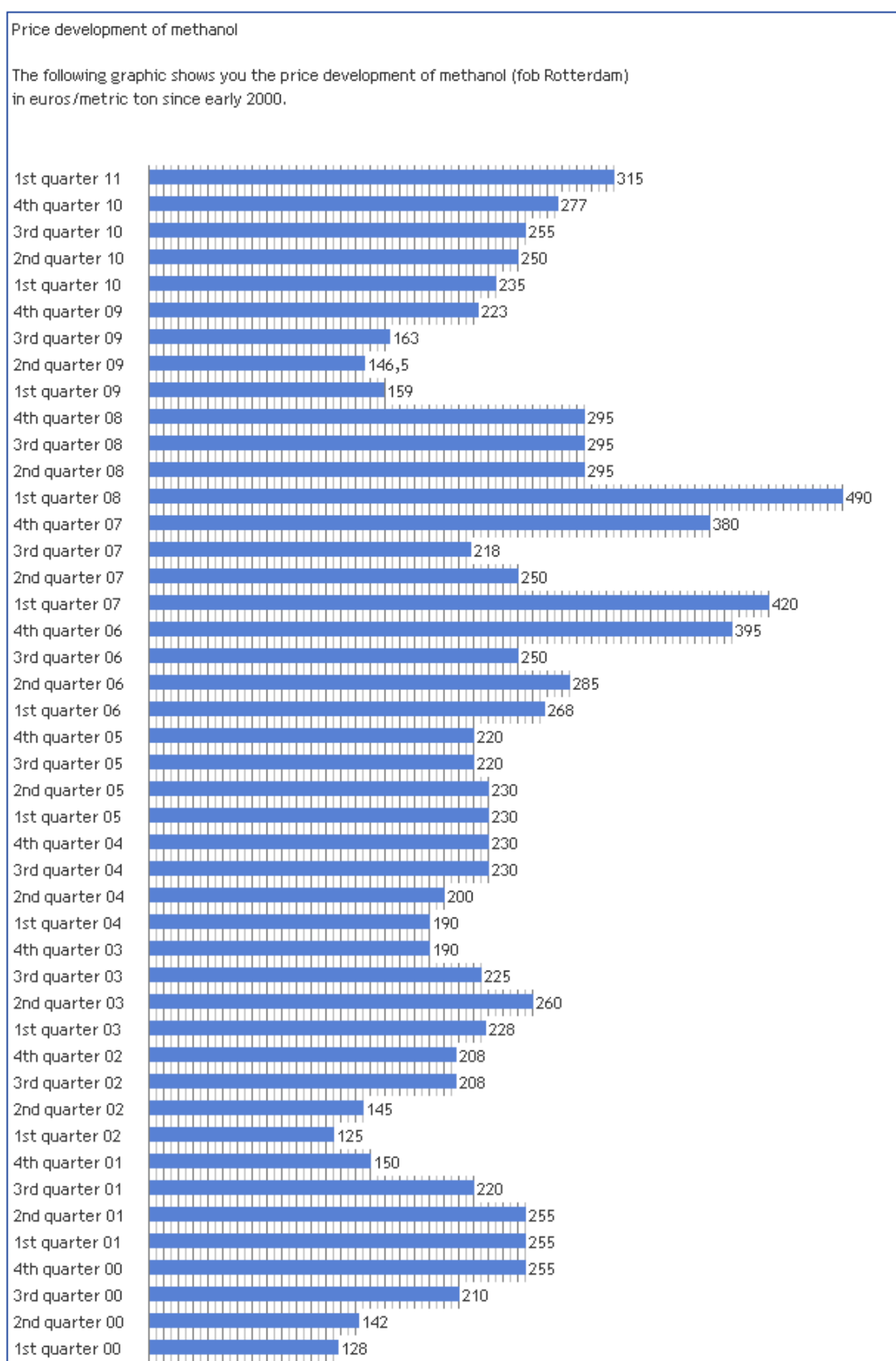
Τα ΟΚΚ θα φθάσουν στην αγορά μαζικά μόνο εάν μπορούν να παραχθούν σε ένα προσιτό κόστος των περίπου 50US\$ ανά kW. Προβλέψεις προτείνουν ότι αυτό αποτελεί έναν λογικό στόχο, εάν τα ΟΚΚ παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Το βέλτιστο προβλεπόμενο κόστος μπορεί να γίνει για τα εξαρτήματα όπου τα υλικά κατασκευής είναι καλά καθιερωμένα με χρήση τεχνολογιών που είναι αποδεδειγμένα αποδοτικές. Εξαρτήματα όπως αεροσυμπιεστές και αντλίες ανακύκλωσης υδρογόνου που βασίζονται σε παραδοσιακές κατασκευαστικές διαδικασίες, απαιτείται να παραχθούν με τον υπάρχοντα εξοπλισμό έτσι ώστε το κόστος να καταστεί συγκρίσιμο με τον στόχο που έχει θέσει η αυτοκινητοβιομηχανία. Για τα νέα τεχνολογικά στοιχεία όπου δεν υπάρχει καθιερωμένη διαδικασία παραγωγής και το μέγεθος της παραγωγής και η κατασκευαστική διαδικασία παραμένουν αβέβια. Όσον αφορά τα υλικά, για παράδειγμα, οι καταλύτες πολυμερικής μεμβράνης, που χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες, θα απαιτείτο παραγωγή σε μεγάλες ποσότητες. Το κόστος των συστημάτων κυψελών καυσίμων για κινητές εφαρμογές προς το παρόν ανέρχεται σε 325 US\$ ανά kW σε ένα επίπεδο παραγωγής των 500.000 μονάδων τον χρόνο. Το Τμήμα Ενέργειας των Η.Π.Α. έχει θέσει και τεχνικούς και στόχους κόστους για τα συστήματα κυψελών καυσίμων επί κινητών εφαρμογών τα οποία θα πρέπει να ανταποκρίνονται οι διάφορες συσκευές προκειμένου να γίνουν ανταγωνιστικά σε σχέση με τις ΜΕΚ. Το σύστημα άμεσης τροφοδοσίας των κυψελών καυσίμου με υδρογόνο θα πρέπει να διαθέτει πάνω από 60% ηλεκτρική αποδοτικότητα σε ένα κόστος των 40US\$ ανά kW μέχρι το 2010 και 30US\$ ανά kW μέχρι το 2015. Εναλλακτικά ένα σύστημα ισχύος που βασίζεται σε αναμορφωτή των κυψελών καυσίμου και λειτουργεί με καθαρό υδρογονάνθρακες ή αλκοόλες που ανταποκρίνονται με τα πρότυπα εκπομπών θα πρέπει να διαθέτουν 45% ηλεκτρική απόδοση σε ένα κόστος των 40US\$ ανά kW μέχρι το 2010 και 30US\$ ανά kW μέχρι το 2015. Ο χρόνος εκκίνησης για ένα σύστημα που βασίζεται σε αναμορφωτή θα πρέπει να είναι μικρότερος των 30 δευτερολέπτων. Το συνολικό κόστος αποτελείται από 5US\$ ανά kW για την μεμβράνη, 5US\$ ανά kW για τα ηλεκτρόδια και 10US\$ ανά kW για την διάταξη μεμβράνης ηλεκτρολύτη (MEA- membrane electrolyte assembly) και 10US\$ ανά kW για τις διπολικές πλάκες. Για τους PEFC, η πρόκληση είναι η μείωση του κόστους του καταλύτη.

Η έρευνα για τους καταλύτες που δεν περιέχουν πλατίνα συνεχίζεται για περισσότερο από 40 χρόνια. Σε χαμηλές θερμοκρασίες και χρησιμοποιώντας υδρογόνο, οι καταλύτες που βασίζονται σε πλατίνα παραμένουν περισσότερο ενεργοί. Κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια μεγαλύτερη ποσότητα ενός φθηνότερου και λιγότερο ενεργού καταλύτη, αλλά το όξινο περιβάλλον των PEFC αποκλείει μη ευγενή μέταλλα προς το παρόν. Μια άλλη επιλογή είναι να μειώσουμε τις φορτίσεις της πλατίνας αλλά αυτό παρουσιάζει το πρόβλημα της μείωσης της ανθεκτικότητας του καταλύτη. Η ανάγκη για εναλλακτικούς καταλύτες είναι επίσης κατευθυνόμενη από την διαθεσιμότητα της πλατίνας. Οι καταλύτες από πλατίνα στην αυτοκίνηση ανέρχονται σε σχεδόν το 50% της πλατίνας που πωλείται παγκοσμίως κάθε χρόνο. Αν δεν σημειωθούν κάποιες καινοτομίες, οι κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας θα συνεχίσουν να απαιτούν καταλύτες πλατίνας στο άμεσο μέλλον. Ωστόσο, το πιο σημαντικό ζήτημα είναι η μείωση των φορτίσεων Pt (πλατίνας). Ο μέσος όρος φορτίσεων Pt είναι περίπου 0,5mg/cm² και η συνολική ποσότητα Pt που χρησιμοποιείται προς το παρόν είναι των 80kW

συστοιχιών τάξεως εκτιμάται ότι είναι περίπου 100-120g. Από την σκοπιά του κόστους και την διατήρηση των πόρων, δεν είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί αυτή η ποσότητα Pt για εμπορική χρήση. Εν συγκρίσει, η ποσότητα Pt που χρησιμοποιείται στο σύστημα μετεπεξεργασίας αερίου εξάτμισης για οχήματα με MEK είναι < 10g. Για να επιτευχθεί ένα ρεαλιστικό κόστος η ποσότητα Pt που χρησιμοποιείται θα έπρεπε να μειωθεί στο ένα δέκατο του παρόντος επιπέδου. Ωστόσο, δεν υπάρχει προς το παρόν καμία διαθέσιμη τεχνολογία για την μείωση της ποσότητας φορτίσεων Pt σε αυτό το μέγεθος. Οι καινοτομικές ιδέες για την βελτίωση της απόδοσης των ηλεκτροδίων των καταλυτών γι' αυτό είναι η πλέον επιθυμητή.

Κάποιος μπορεί να αναμένει συνεχείς βελτιώσεις και εξελίξεις στους συμβατικούς κινητήρες. Η μείωση του μεγέθους των μηχανών και η υβριδοποίηση τους θα αντισταθμίσει εν μέρει το έλλειμμα απόδοσης χαμηλού φόρτου των οχημάτων με MEK. Καθώς τα ηλεκτρικά εξαρτήματα έχουν αντικαταστήσει πολλά μηχανικά μέρη του οχήματος, η υβριδοποίηση σε συνδυασμό με το σύστημα ανάκτησης πέδησης θα προσφέρει αυξημένη ηλεκτροδότηση των κινητήρων. Καθώς πολλά στοιχεία της μετάδοσης κίνησης και των υποδομών ανεφοδιασμού είναι καινούργια, υπάρχει ακόμα ανάγκη για βελτιώσεις για ΟΚΚ για να καταστούν εξίσου ανταγωνιστικά με τις MEK. Σήμερα, το κόστος, το εύρος και οι παράμετροι ανεφοδιασμού για τα ΟΚΚ είναι κατώτεροι από εκείνες των συστημάτων μετάδοσης που βασίζονται στην βενζίνη. Ωστόσο, αυτοί οι αριθμοί είναι καλύτεροι από εκείνους των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων που λειτουργούν με Μπαταρίες (BEV- battery electric vehicles) και προβλέψεις δείχνουν ότι ΟΚΚ μπορούν να γίνουν ανταγωνιστικά ως προς το κόστος με τα οχήματα με MEK. Μέχρις ότου τα ΟΚΚ καταστούν ανταγωνιστικά σε κόστος και άνεση με τα οχήματα με MEK και μέχρις ότου σημαντική πρόοδος σημειωθεί στην παραγωγή υδρογόνου και την αποθήκευση, τα ΟΚΚ θα παραμείνουν μια εξειδικευμένη τεχνολογία. Για να ανταποκριθούμε με τις προκλήσεις του να μειώσουμε το κόστος του συστήματος αυτού, προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης (R&D- research and development) επί των κυψελών καυσίμων για την αυτοκίνηση είναι επιθυμητά για να αναπτυχθούν εξαρτήματα χαμηλού κόστους, προηγμένες κατασκευαστικές διαδικασίες, και υψηλότερη λειτουργική αποδοτικότητα. Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι κύριος οδηγός για την εξέλιξη των ΟΚΚ θα είναι μια εγγενώς υψηλότερη απόδοση σε μια βάση που θα αποδίδεται η ισχύς στους τροχούς, ειδικότερα όταν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα καταστούν εφικτές για την παραγωγή υδρογόνου.

Πίνακας 6.3 : Εξέλιξη των τιμών της μεθανόλης (2000-2011)



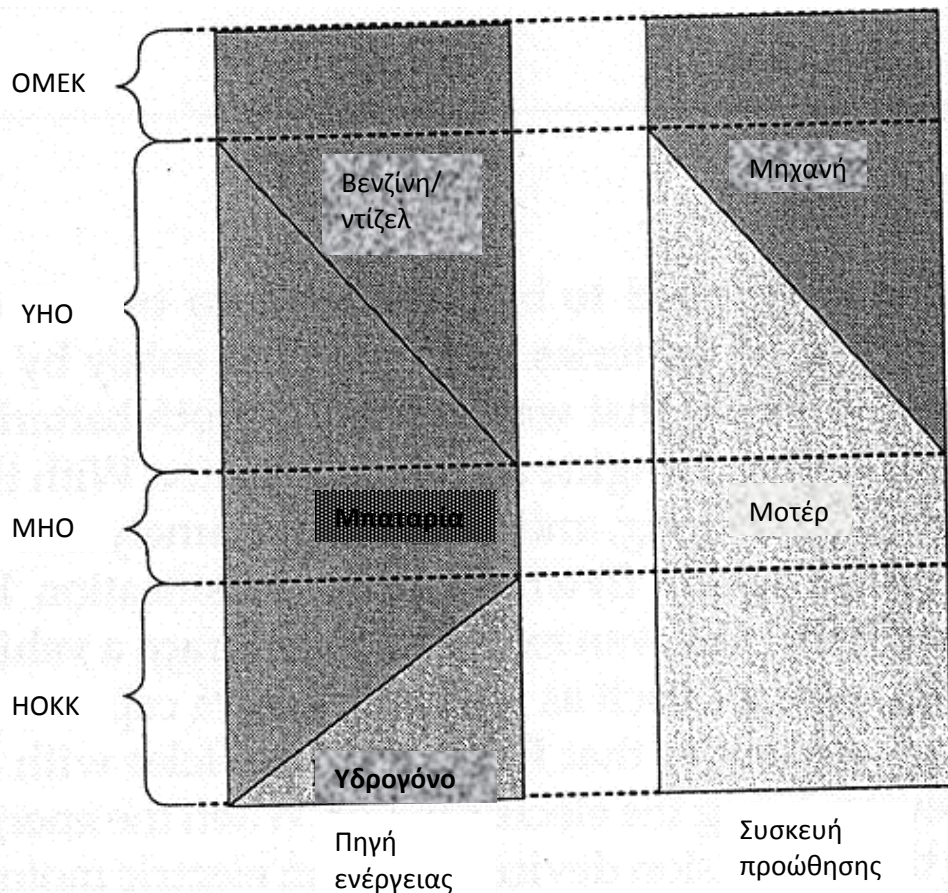
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

7.1 Εισαγωγή

Τα Ηλεκτρικά Οχήματα (HO- Electric Vehicles) συνηθίζεται να κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες: τα αμιγώς HO τα οποία αμιγώς τροφοδοτούνται από μπαταρίες και που αυτοκινούνται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ, και τα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (YHO- Hybrid Electric Vehicles) που τροφοδοτούνται και από μπαταρίες και από υγρό καύσιμο που δίδει ισχύ και σε μηχανή και σε ηλεκτρικό μοτέρ. Με την πρόοδο και των άλλων πηγών ενέργειας, ήτοι των κυψελών καυσίμων, υπέρ- πυκνωτών και των σφονδύλων υπέρ- υψηλών ταχυτήτων, αυτή η κατηγοριοποίηση κατέστη μη λειτουργική. Μερικές φορές τα YHO είχαν ακόμα επεκταθεί στο να περιλαμβάνουν ένα όχημα που χρησιμοποιούσε οποιοσδήποτε διαφορετικές πηγές ενέργειας όπως το υβρίδιο μπαταρία- υπέρ πυκνωτή. Προσφάτως, υπάρχει ομοφωνία του ότι τα HO αναφέρονται σε οχήματα με μια τουλάχιστον από τις προωθητικές μηχανές να είναι ηλεκτρικό μοτέρ. Όταν η πηγή ενέργειας είναι αποκλειστικά οι μπαταρίες και η προωθητική συσκευή είναι μόνο ένα ηλεκτρικό μοτέρ, αυτά αναφέρονται ως Μπαταριών Ηλεκτρικά Οχήματα (MHO- Battery Electric Vehicles) ή μερικές φορές αναφέρονται πιο απλά ως HO. Όταν η πηγή ενέργειας περιλαμβάνει κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν μαζί με μπαταρίες και η συσκευή προώθησης είναι μόνο ένα ηλεκτρικό μοτέρ, αυτά ονομάζονται Ηλεκτρικά Οχήματα Κυψελών Καυσίμων- HOKK (FCEV- Fuel Cell lectric Vehicles) ή απλά οχήματα κυψελών καυσίμων. Όταν και μπαταρίες και καύσιμα ντίζελ ή βενζίνης αποτελούν πηγές ενέργειας καθώς επίσης και μηχανή και ηλεκτρικό μοτέρ αποτελούν προωθητικές μηχανές, ονομάζονται ως YHO (Hybridic Electric Vehicles- HEV) ή πιο απλά υβριδικό όχημα. Η εικόνα 7.1 κατωτέρω απεικονίζει την κατηγοριοποίηση των Οχημάτων με Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (OMEK), των YHO, των MHO, και των HOKK που βασίζονται στην ενεργειακή πηγή και την προωθητική μηχανή.

Το 1834, το πρώτο HO, στην πραγματικότητα ένα MHO, κατασκευάστηκε από τον Thomas Davenport. Με τις δραστικές βελτιώσεις στα OMEK, το MHO σχεδόν εξαφανίστηκε από την σκηνή μέχρι το 1930. Η αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος των MHO ξεκίνησε με το ξέσπασμα της ενεργειακής κρίσης και την έλλειψη του πετρελαίου την δεκαετία του 1970. Η πραγματική αναβίωση των MHO ήταν εξαιτίας των ολοένα αυξανόμενων ανησυχιών για την διατήρηση των πηγών ενέργειας και της προστασίας του περιβάλλοντος σε όλον τον κόσμο την δεκαετία του 1990. Ονομαστικά, τα MHO, προσφέρουν υψηλής ενέργειας αποδοτικότητα επιτρέπουν την διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών, καθιστούν ικανή την εξισορρόπηση φορτίων των συστημάτων ισχύος, εμφανίζουν μηδενικές εκπομπές ρύπων σε τοπικό επίπεδο και ελάχιστους σε παγκόσμιο επίπεδο, και λειτουργούν αθόρυβα. Ωστόσο, υπάρχουν δύο κύριοι φραγμοί που παρεμποδίζουν την διάδοση των MHO- βραχεία ευρύτητα οδήγησης και υψηλό αρχικό κόστος. Αυτοί οι φραγμοί δεν μπορούν να επιλυθούν εύκολα από τις διαθέσιμες ενεργειακών πηγών τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένου των μπαταριών, των κυψελών καυσίμου, των υπέρ- πυκνωτών, και των υπέρ υψηλής ταχύτητας σφονδύλων.



Εικόνα 7.1 : Ταξινόμηση Οχημάτων

Οι άνθρωποι μπορεί να μην αγοράσουν ένα ΜΗΟ, άσχετα από το πόσο φιλικό προς το περιβάλλον είναι, εάν το εύρος οδήγησής του είναι μόνο από 1 έως 200 χλμ. Για τον ίδιο λόγο, οι άνθρωποι ίσως δεν αγοράσουν ένα ΗΟΚΚ, όσο φιλικό κι αν είναι προς το περιβάλλον, εάν η τιμή του είναι πάνω από 10 φορές μεγαλύτερη από το αντίστοιχο όχημα με ΜΕΚ. Το ΥΗΟ, που ενσωματώνει και την μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ, εισήχθει ως μια προσωρινή λύση πριν την πλήρη εφαρμογή των καθαρών ΗΟ, όπου και υπάρχει μια ανακάλυψη στις πηγές ενέργειας. Τα σαφή πλεονεκτήματα των ΥΗΟ αοτελούν σε εκτεταμένο βαθμό εκείνα των αρχικών ΜΗΟ που η ευρύτητα οδήγησής είναι από 2 έως 4 φορές μεγαλύτερη και προσφέρουν ταχύ ανεφοδιασμό της βενζίνης ή του ντίζελ υγρού καυσίμου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι απαιτεί μόνο μικρές αλλαγές στην υποδομή παροχής ενέργειας. Τα σημαντικά μειονεκτήματα των ΥΗΟ είναι η απώλεια της ιδέα των οχημάτων με μηδενικές εκπομπές (ΟΜΕ- zero emissions vehicles, ZEV) και της αυξημένης πολυπλοκότητας. Ωστόσο το ΥΗΟ είναι κατά τεράστια βαθμό λιγότερο επιβλαβές για το περιβάλλον και καταναλώνει και λιγότερα καύσιμα από ένα όχημα με ΜΕΚ ενώ διαθέτει την ίδια ικανότητα να καλύπτει αποστάσεις. Αυτά τα προσόντα εξαιτίας του γεγονότος ότι η μηχανή των ΥΗΟ μπορεί πάντα να λειτουργεί με τον πιο αποδοτικό τρόπο, αποφέροντας χαμηλούς ρύπους και χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Επίσης, τα ΥΗΟ μπορεί σκοπίμως να λειτουργούν σαν ένα ΜΗΟ στην ζώνη των μηδενικών εκπομπών. Συναινείται ότι το ΥΗΟ δεν είναι μόνο μια προσωρινή λύση για την

εφαρμογή των OME, αλλά επίσης μια πρακτική λύση για την εμπορευματοποίηση των σούπερ υπέρ χαμηλών εκπομπών οχημάτων (SULEV- super ultra low emissions vehicles).

Η ιδέα των ΥΗΟ δεν είναι μια καινούργια ιδέα. Μια πατέντα του 1905 οριοθέτησε το ότι ένα ηλεκτρικό μοτέρ που τροφοδοτείτο από μια μπαταρία χρησιμοποιείτο για να ενισχύσει την επιτάχυνση ενός οχήματος με ΜΕΚ. Ωστόσο, με το πέρασμα των ετών, η ανάπτυξη των ΥΗΟ είναι αποθαρρυντική. Ένας πιθανός λόγος είναι εξαιτίας της πολυπλοκότητάς τους, ειδικά στο πώς να συντονίσουν και να συνδυάσουν τις μηχανικές δυνάμεις οδήγησης από την μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ. Το σημείο καμπής της ανάπτυξης των ΥΗΟ ήταν η έλευση του Toyota Prius το 1997. Επακολούθως η ανάπτυξη των ΥΗΟ έχει λάβει ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό.

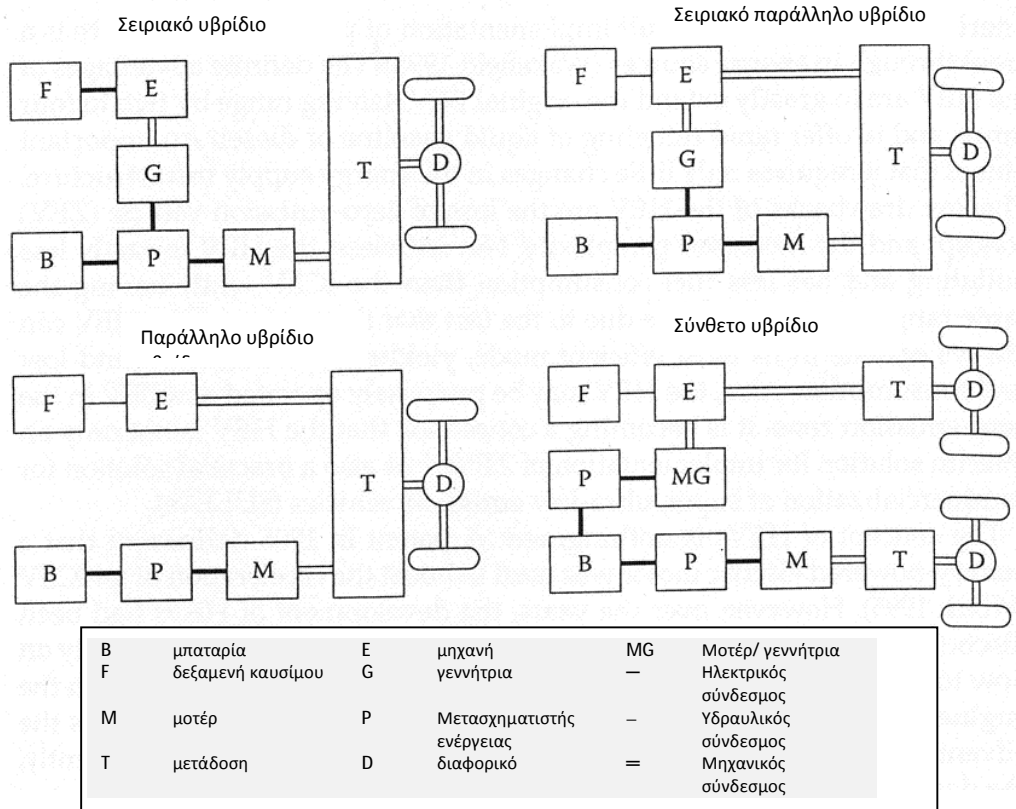
7.2 Διαμόρφωση / σύνθεση υβριδικών οχημάτων

Βασισμένο σε ροές ισχύος ηλεκτρικών και μηχανικών κινητήρων, τα ΥΗΟ συνήθιζαν να έχουν 2 βασικές συνθέσεις- τον σειριακό υβριδικό και τον παράλληλο υβριδικό. Με την εισαγωγή μερικών υβριδικών που διέθεταν τα χαρακτηριστικά και των σειριακών υβριδικών και των παράλληλων υβριδικών, οι βασικές συνθέσεις έχουν επεκταθεί σε τρία είδη- σειριακά, παράλληλα και σειριακά-παράλληλα. Επιπλέον, μερικά ΥΗΟ με κίνηση και στον εμπρός και στον πίσω άξονα δεν μπορούν να αναπαρασταθούν από αυτά τα τρία είδη. Έτσι, έχουν επεκταθεί και σε μια τέταρτη κατηγορία: σειριακά υβριδικά, παράλληλα υβριδικά, σειριακά- παράλληλα υβριδικά και πολύπλοκα υβριδικά.

Η εικόνα 7.2 δεικνύει τα αντίστοιχα λειτουργικά διαγράμματα μπλοκ, στα οποία η ηλεκτρική σύνδεση είναι αμφίδρομα, ο υδραυλικός σύνδεσμος είναι μονής κατεύθυνσης, και ο μηχανικός σύνδεσμος (συμπεριλαμβανομένων των αξόνων, φρένων, του συμπλέκτη και των ταχυτήτων) είναι επίσης αμφίδρομος. Μπορεί να βρεθεί ότι το βασικό χαρακτηριστικό των σειριακών υβριδίων είναι να συνδυαστεί η μηχανή με την γεννήτρια για να παραχθεί ηλεκτρισμός για αμιγώς ηλεκτρική ώθηση, ενώ το βασικό σημείο του παράλληλου υβριδίου είναι να λειτουργούν μαζί και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ με την μετάδοση μέσω του ίδιου συστήματος μετάδοσης της κίνησης για να δώσει ώθηση στους τροχούς. Το σειριακό- παράλληλο υβρίδιο είναι ένας συνδυασμός και σειριακού και παράλληλου υβριδίου. Στην κορυφή των σειριακών- παράλληλων υβριδίων, το πολύπλοκο υβρίδιο μπορεί να προσφέρει πρόσθετα και πολύπλευρα χαρακτηριστικά.

Τα σειριακά υβριδικά είναι το απλούστερο είδος των ΥΗΟ. Η μηχανική απόδοση της μηχανής μετατρέπεται αρχικά σε ηλεκτρισμό χρησιμοποιώντας μια γεννήτρια. Ο μετασχηματισμένος ηλεκτρισμός μπορεί να φορτίσει την μπαταρία και/ή να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό μοτέρ για να δώσει ώθηση στους τροχούς και το διαφορικό. Εξαιτίας της απουσίας των συμπλεχτών σε όλο το μηχανικό σύνδεσμο, έχει το αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα της ευελιξίας για την τοποθέτηση του συνόλου μηχανής- γεννήτριας. Αν και διαθέτει το πλεονέκτημα της απλότητας του συστήματος μετάδοσης της κίνησης, χρειάζεται τρεις συσκευές προώθησης- την μηχανή, την γεννήτρια και το ηλεκτρικό μοτέρ. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι ότι όλες αυτές οι προωθητικές συσκευές θα πρέπει να ρυθμιστούν για την μέγιστη απόδοση ισχύος εάν σχεδιαστεί να ανεβαίνει μια μεγάλη ανηφόρα. Εκτός αν χρειάζεται μόνο να εξυπηρετεί μικρές μετακινήσεις έως την δουλειά και για τα ψώνια, το

αντίστοιχο σύνολο μηχανής- γεννήτριας μπορεί να προσαρμοστεί σε χαμηλότερο ρυθμό.



Εικόνα 7.11 : Βασικά χαρακτηριστικά των ΥΗΟ

Διαφορετική από την υβριδική σειρά, τα παράλληλα υβριδικά επιτρέπουν και στην μηχανή και στο ηλεκτρικό μοτέρ να αποδίδει ισχύ στους τροχούς. Αφού γενικότερα και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ είναι συνδεδεμένα με την μετάδοση της κίνησης των τροχών, μέσω δύο συμπλεχτών, η ισχύς προώθησης μπορεί να παράσχεται από την μηχανή μόνο, ή μόνο από την ηλεκτρική γεννήτρια ή και από τα δύο. Το ηλεκτρικό μοτέρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια γεννήτρια για να φορτίσει την μπαταρία από την πέδηση ή την απορρόφηση της ενέργειας από την μηχανή όταν η απόδοση ισχύος είναι μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτείται για την έλξη των τροχών. Καλύτερα παό τα σειριακά υβριδικά, τα παράλληλα υβριδικά απαιτούν μόνο δύο προωθητικές συσκευές- την μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ. Άλλο ένα πλεονέκτημα υπέρ των σειριακών υβριδικών είναι ότι μια μικρότερη μηχανή και ένα μικρότερο ηλεκτρικό μοτέρ μπορούν να ρυθμιστούν επειδή μοιράζονται την μέγιστη απόδοση ισχύος. Ακόμα και για λειτουργία μακρών ταξιδιών, μόνο η μηχανή απαιτείται να ρυθμιστεί για να αποδίδει την μέγιστη ισχύ ενώ το ηλεκτρικό μοτέρ μπορεί να λειτουργεί στο ήμισυ της ισχύος του.

Στα παράλληλα - σειριακά υβριδικά οχήματα, η ρύθμιση ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά και των σειριακών και των παράλληλων υβριδικών, αλλά περιλαμβάνει έναν πρόσθετο μηχανικό σύνδεσμο εν συγκρίσει με το σειριακό υβριδικό, και επίσης μια επιπρόσθετη γεννήτρια με το παράλληλο υβριδικό. Αν και η κατοχή των πλεονεκτικών χαρακτηριστικών και των σειριακών υβριδικών και παράλληλων υβριδικών, τα παράλληλα- σειριακά υβριδικά είναι σχετικώς

και πιο περίπλοκα και πιο ακριβά. Ωστόσο, με την πρόοδο στον έλεγχο και την τεχνολογία κατασκευής, μερικά μοντέρνα ΥΗΟ προτιμούν να υιοθετούν αυτό το σύστημα.

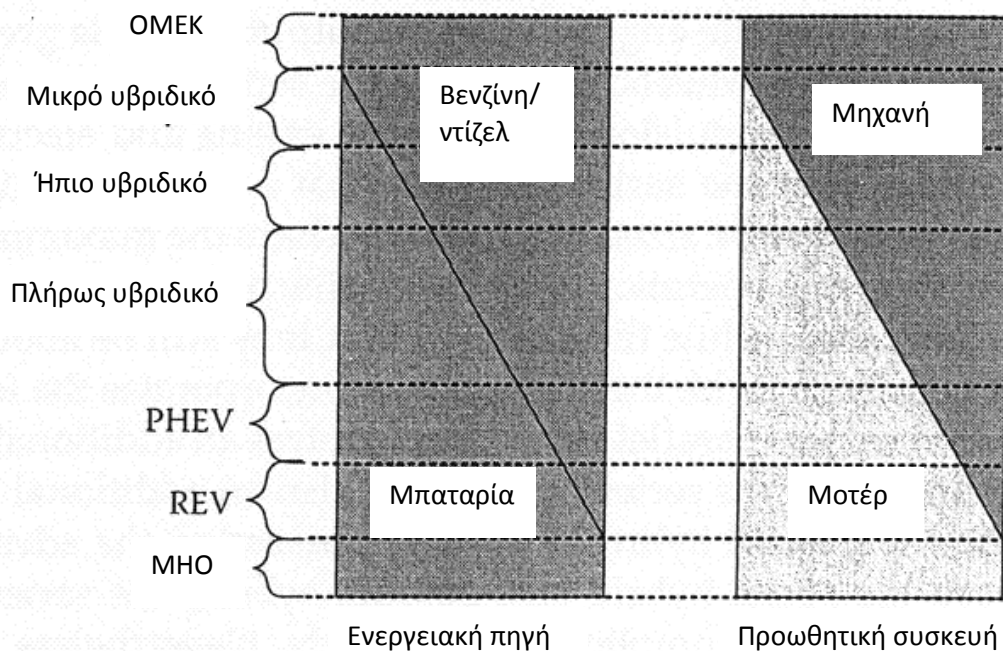
Όπως το δηλώνει και το όνομά του, το περίπλοκο υβριδικό όχημα περιλαμβάνει μια περίπλοκη ρύθμιση που δεν μπορεί να το κατατάξει στις ανωτέρω τρεις κατηγορίες. Φαίνεται ότι είναι παρόμοιο με τα παράλληλα-σειριακά υβριδικά, αφού η γεννήτρια και το ηλεκτρικό μοτέρ είναι και τα δύο ηλεκτρικές μηχανές. Ωστόσο, η ειδοποιός διαφορά έγκειται στην αμφίδρομη ροή ισχύος της ηλεκτρικής μηχανής στο περίπλοκο υβριδικό σύστημα και την μονή κατεύθυνση στην ροή ισχύος της γεννήτριας στο παράλληλα-σειριακά υβριδικά οχήματα. Αυτή η αμφίδρομη ροή ισχύος μπορεί να επιτρέψει ευπροσάρμοστες λειτουργικές επιλογές, ειδικότερα η επιλογή των τριών προωθητικών μηχανών (εξαιτίας της μηχανής και των δύο ηλεκτρικών μοτέρ) που δεν μπορεί να προσφερθεί από παράλληλα-σειριακά υβριδικά οχήματα. Εν συγκρίσει με τα παράλληλα-σειριακά υβριδικά, το περίπλοκο υβριδικό υστερεί στο περίπλοκο σύστημα και το υψηλότερο κόστος. Ωστόσο, μερικά προηγμένα ΥΗΟ υιοθετούν αυτό το σύστημα για προώθηση διπλού άξονα.

7.3 Ταξινόμηση υβριδικών οχημάτων

Βασισμένο στο επίπεδο υβριδοποίησης και στα λειτουργικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στα μηχανικά και τα ηλεκτρικά μοτέρ, τα ΥΗΟ έχουν ταξινομηθεί ως μικρό-υβριδικά, ήπια υβριδικά και πλήρως υβριδικά. Προσφάτως, αυτή η ταξινόμηση έχει επεκταθεί περαιτέρω και περιλαμβάνει τα πιο πρόσφατα plug in hybrid electric vehicles (PHEV) και τα εκτεταμένης αυτονομίας ηλεκτρικά οχήματα range-extended electric vehicles (REV). Η εικόνα 7.3 απεικονίζει αυτή την ταξινόμηση σε όρους ενεργειακής πηγής και προωθητικής μηχανής.

Για τα μικρό-υβριδικά, το συμβατικό μοτέρ εκκίνησης εξαφανίζεται ενώ η συμβατική γεννήτρια αντικαθίσταται από μια γεννήτρια με ενσωματωμένη μίζα και ιμάντα (ISG integrated starter generator). Το ISG είναι συνήθως από 3 έως 5 kW. Αντί να ωθείται το όχημα, προσφέρει δύο βασικά χαρακτηριστικά των υβριδικών οχημάτων. Ένα είναι ότι κλείνει την μηχανή όταν το αυτοκίνητο είναι εν αναμονή, το επονομαζόμενο χαρακτηριστικό του αδρανούς σταματήματος (idle stop), και ως εκ τούτου βελτιώνει την οικονομία καυσίμου για οδήγηση σε πόλη. Το άλλο είναι ότι φορτίζει πρωταρχικά την μπαταρία κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης του οχήματος και του φρεναρίσματος, και γι' αυτό προσφέρει ένα ήπιο ποσό ανάκτησης ενέργειας μέσω της πέδησης. Η τάση της μπαταρίας είναι γενικότερα 12V.

Για το ήπιο υβριδικό όχημα, το ISG είναι γενικότερα τοποθετημένο ανάμεσα στην μηχανή και την μετάδοση. Το ISG είναι συνήθως από 7 έως 12 kW. Μπορεί να παράσχει τα χαρακτηριστικά του αδρανούς σταματήματος και της ανάκτησης πέδησης. Επίσης το ISG βοηθά την μηχανή να προωθήσει το όχημα, μπορεί να επιτρέψει για μια μικρού μεγέθους μηχανή. Ωστόσο, μιας και η μηχανή και το ISG μοιράζονται τον ίδιο άξονα, δεν μπορούν να προσφέρουν το χαρακτηριστικό της ηλεκτρικής προώθησης, ήτοι επιτάχυνσης μόνο υπό ηλεκτρικής ενέργειας. Η τάση της μπαταρίας είναι γενικότερα από 36 έως 144V.



Εικόνα 7.12 : Κατάταξη των ΥΗΟ

Για το πλήρως υβριδικό, η βασική τεχνολογία είναι το σύστημα ηλεκτρονικής συνεχώς μεταβαλλόμενης μετάδοσης (ECVT- electronic continuously variable transmission) που λειτουργεί για να επιτελεί διαίρεση ισχύος και ρύθμιση της. Έτσι, μπορεί να προσφέρει όλα τα υβριδικά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής προώθησης, του αδρανούς σταματήματος, το σύστημα ανάκτησης ενέργειας μέσω της πέδησης, και το μικρό μέγεθος μηχανής. Οι αντίστοιχες ονομαστικές τιμές του ηλεκτρικού μοτέρ και της μπαταρίας είναι από 30 έως 50 kW και από 200 έως 500V, αντιστοίχως. Αντί του να μειώνεις το μέγεθος της μηχανής, το ηλεκτρικό μοτέρ μπορεί να παράσχει επιπλέον ροπή και γι' αυτό καλύτερη απόδοση επιτάχυνσης από ένα συμβατικό όχημα με το ίδιο μέγεθος μηχανής.

Για τα plug in hybrid electric vehicles (PHEV), προσφέρουν όλα τα χαρακτηριστικά όπως τα πλήρως υβριδικά, ενώ έχουν ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του ότι είναι plug- in φορτίσιμα. Αφού ενσωματώνει μια μπαταρία υψηλής πυκνότητας που μπορεί να φορτιστεί με το να συνδεθείς σε μια εξωτερική θύρα φόρτισης ή χρησιμοποιώντας τις επί του οχήματος ικανότητες φόρτισης του πλήρως υβριδικού οχήματος, μπορεί να προσφέρει περισσότερη ηλεκτρική οδήγηση και να μειώσει την ανάγκη επαναφόρτισης/ανεφοδιασμού. Οι αντίστοιχες τιμές του ηλεκτρικού μοτέρ και της μπαταρίας είναι συνήθως από 30 έως 50 kW και από 400 έως 500V, αντιστοίχως.

Για τα εκτεταμένης αυτονομίας ηλεκτρικά οχήματα range- extended electric vehicles (REV), παράσχει όλα τα χαρακτηριστικά των υβριδικών που συνδέονται σε θύρα φόρτισης, αλλά με μια μικρή μηχανή που είναι συνδεδεμένη με μια γεννήτρια για να φορτίζει την μπαταρία όταν η χωρητικότητα είναι χαμηλότερη από ένα κατώτατο όριο/ κατώφλι. Αυτό απομακρύνει το άγχος της αυτονομίας που συνδέεται με τα ΜΗΟ. Έτσι

μπορεί να προσφέρει μια αποδοτικής ενέργειας ηλεκτρική οδήγηση με το αρχικά καθαρή αμιγώς αυτονομία του και ως εκ τούτου σημαντική μείωση της ανάγκης για ανεφοδιασμό. Οι αντίστοιχες τιμές για το ηλεκτρικό μοτέρ και την μπαταρία είναι όμοιες με εκείνες του υβριδικού που συνδέεται με εξωτερική θύρα φόρτισης plug-in, και είναι συνήθως από 30 έως 50 kW και 400 έως 500V.

7.4 Λειτουργίες των υβριδικών οχημάτων

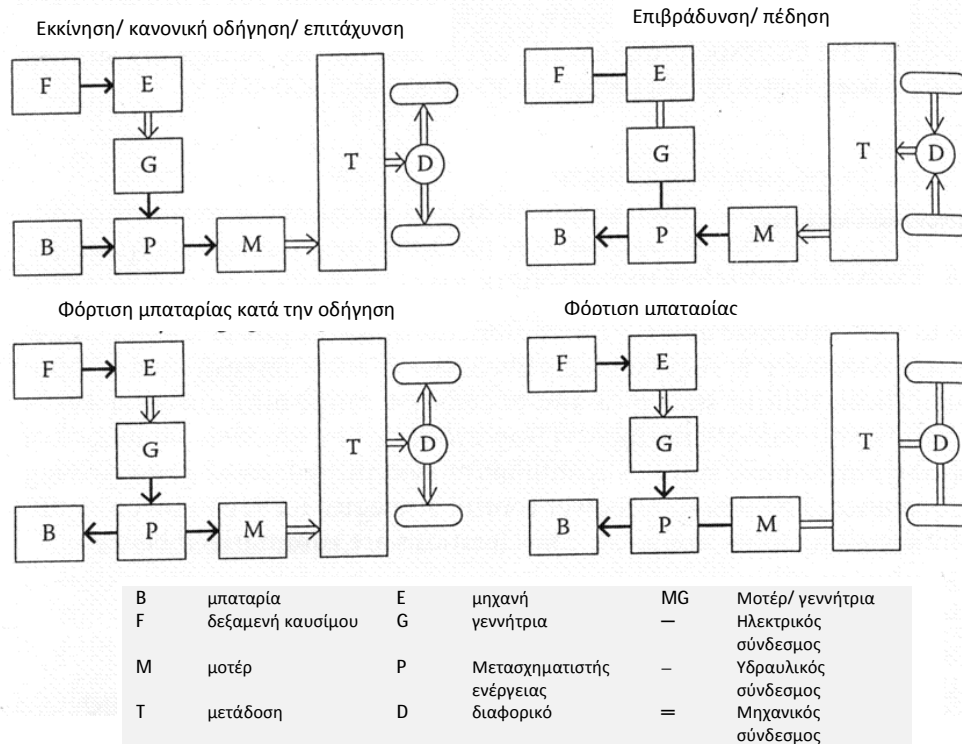
Εξαιτίας των παραλλαγών των ρυθμίσεων των ΥΗΟ, διαφορετικές στρατηγικές ελέγχου της ισχύος είναι απαραίτητες για να ρυθμίσουν την ροή ενέργειας από και προς διαφορετικά εξαρτήματα. Αυτές οι στρατηγικές ελέγχου στοχεύουν στο να ικανοποιήσουν ένα αριθμό στόχων των ΥΗΟ. Υπάρχουν τέσσερις σημαντικοί στόχοι, μέγιστη οικονομία καυσίμου, ελάχιστες εκπομπές, ελάχιστο κόστος συστήματος, και καλή οδηγική απόδοση. Ο σχεδιασμός των στρατηγικών ελέγχου των ΥΗΟ περιλαμβάνει διαφορετικές εκτιμήσεις. Μερικές από τις εκτιμήσεις αυτές ανακεφαλαιώνονται παρακάτω:

- Βέλτιστο σημείο λειτουργίας μηχανής: το βέλτιστο σημείο λειτουργίας σχετικά με το επίπεδο ροπής- ταχύτητας του κινητήρα μπορεί να βασιστεί στην βελτιστοποίηση της οικονομίας καυσίμου, την ελαχιστοποίηση των εκπομπών, ή ακόμα και ο συμβιβασμός της οικονομίας καυσίμου και των εκπομπών.
- Βέλτιστη γραμμή λειτουργίας της μηχανής: σε περίπτωση που η μηχανή απαιτείται να παραδίδει διαφορετικές αποδόσεις ισχύος, τα αντίστοιχα βέλτιστα σημεία λειτουργίας αποτελούν μια βέλτιστη γραμμή λειτουργίας.
- Βέλτιστη περιοχή λειτουργίας της μηχανής: η μηχανή διαθέτει μια προτιμώμενη περιοχή λειτουργίας για το επίπεδο ροπής- ταχύτητας, στο οποίο η οικονομία καυσίμου και οι εκπομπές παραμένουν βέλτιστες.
- Ορθή κατανομή ισχύος: το αίτημα της κατανομής ισχύος ανάμεσα στην μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ θα έπρεπε ορθώς να διαχωριστεί κατά την διάρκεια του οδηγικού κύκλου, στοχεύοντας στο να επιβεβαιώσει το ότι η μπαταρία μπορεί να παράσχει στιγμιαία αποφόρτιση σε περίπτωση ανάβασης λόφου ή επιτάχυνσης, και να επιτρέπει στιγμιαία φόρτιση σε περίπτωση ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση.
- Πολιτική των μηδενικών εκπομπών: σε μερικές περιοχές, τα ΥΗΟ θα πρέπει να λειτουργεί ως ένα όχημα μηδενικών εκπομπών. Η μετάβαση ανάμεσα στην αμιγώς ηλεκτρική λειτουργία στην υβριδική θα πρέπει να ελέγχεται χειροκίνητα από τον οδηγό ή αυτόματα από έναν ελεγκτή που βασίζεται στο GPS.

7.4.1 Λειτουργία σειριακού υβριδικού οχήματος

Στο σειριακό υβριδικό όχημα, ο έλεγχος ροής της ισχύος μπορεί να αναπαρασταθεί από τέσσερις λειτουργίες που απεικονίζονται στην εικόνα 7.4. Κατά την διάρκεια της εκκίνησης, της κανονικής οδήγησης ή της επιτάχυνσης, και η μηχανή (μέσω της γεννήτριας) και η μπαταρία προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στον μετατροπέα ισχύος που κατόπιν τροφοδοτεί το ηλεκτρικό μοτέρ και τους τροχούς μέσω της μετάδοσης. Με ελαφρύ φόρτο η απόδοση ισχύος της μηχανής είναι μεγαλύτερη από εκείνο το σημείο που απαιτείται για την έλξη των τροχών έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια επίσης να

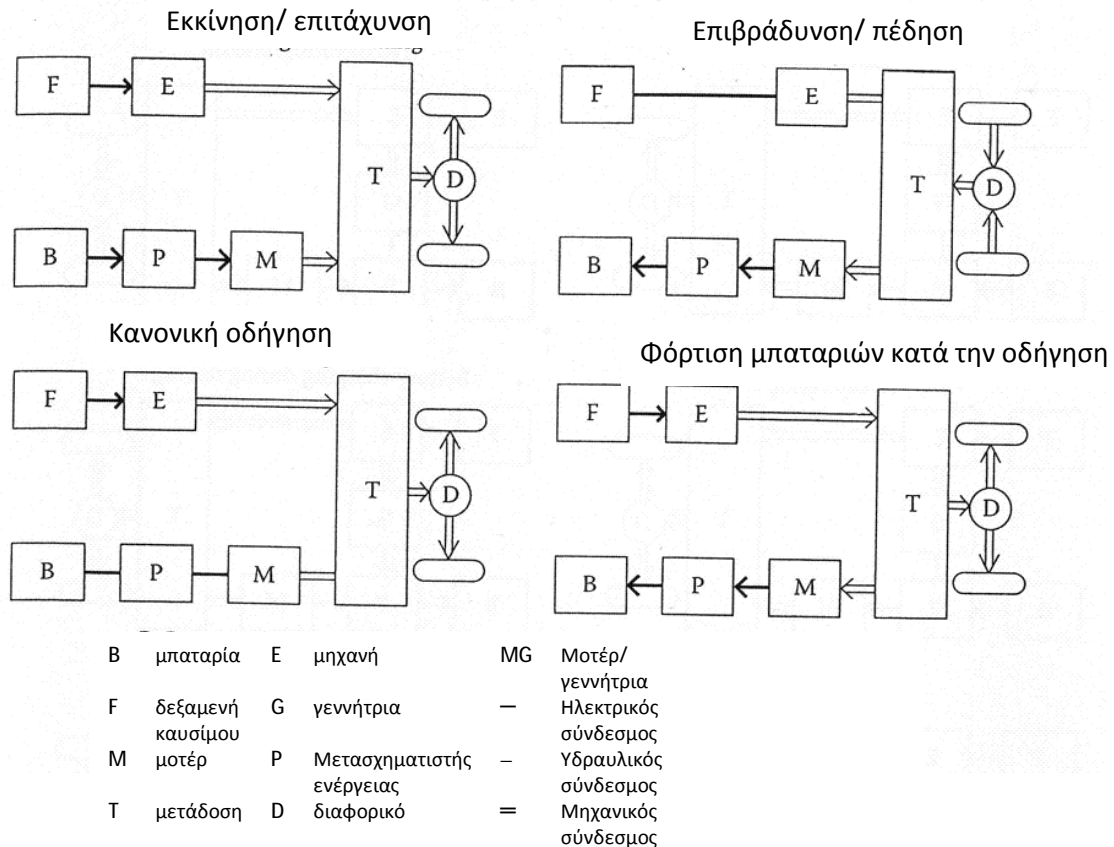
χρησιμοποιείται για να φορτίσει τις μπαταρίες μέχρι που η χωρητικότητα να φθάσει ένα κατάλληλο επίπεδο. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης ή της πέδησης, το ηλεκτρικό μοτέρ δρα ως μια γεννήτρια που μετατρέπει την μείωση της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, και ως εκ τούτου φορτίζει την μπαταρία μέσω του μετασχηματιστή ισχύος. Επίσης η μπαταρία μπορεί να φορτιστεί από την μηχανή δια μέσω της γεννήτριας και του μετασχηματιστή ενέργειας, ακόμα και όταν το όχημα είναι εντελώς ακίνητο.



Εικόνα 7.4 : Επιλογές λειτουργίας σειριακού υβριδικού

7.4.2 Παράλληλη υβριδική λειτουργία

Η εικόνα 7.5 παρουσιάζει τις τέσσερις επιλογές λειτουργίας των παράλληλων υβριδικών οχημάτων. Κατά την διάρκεια της εκκίνησης ή της επιτάχυνσης, και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ αναλογικά μοιράζουν την απαιτούμενη ισχύ απόδοσης για να προωθούν το όχημα. Συνήθως, η σχετική διανομή ανάμεσα στη μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ είναι 80% και 20%. Κατά την διάρκεια της κανονικής οδήγησης, η μηχανή προσφέρει μόνο την απαραίτητη ισχύ για να προωθήσει το όχημα ενώ το ηλεκτρικό μοτέρ παραμένει εκτός λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης και της πέδησης, το ηλεκτρικό μοτέρ λειτουργεί ως μια γεννήτρια για να φορτίσει την μπαταρία μέσω του μετασχηματιστή ισχύος. Επίσης, μιας και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ είναι τοποθετημένα στον ίδιο άξονα κίνησης, η μπαταρία μπορεί να φορτιστεί από την μηχανή μέσω του ηλεκτρικού μοτέρ όταν το όχημα είναι με χαμηλό φόρτο.



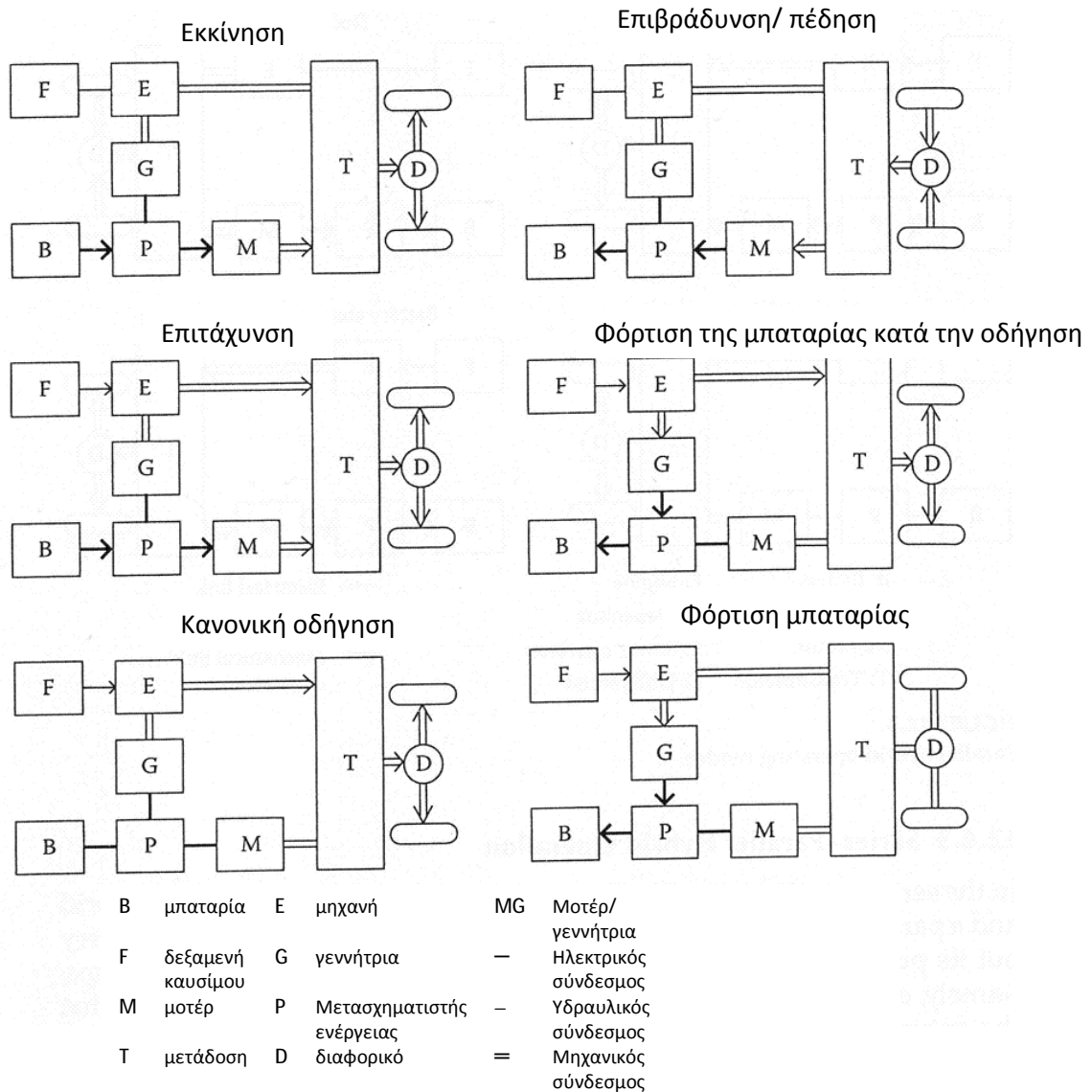
Εικόνα 7.13 Επιλογή λειτουργίας παράλληλου υβριδικού

7.4.3 Σειριακή – παράλληλη υβριδική λειτουργία

Το σύστημα σειριακής-παράλληλης υβριδικής λειτουργίας περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά και του σειριακού και του παράλληλου υβριδικού, έτσι, υπάρχουν πολλές πιθανές επιλογές λειτουργίας για να εκτελέσει τον έλεγχο ροής ισχύος. Βασικά, μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες, ήτοι, όσα βασίζονται στην μηχανή και σε όσα βασίζονται στο μοτέρ. Τα μεν πρώτα, δηλώνουν ότι η μηχανή είναι πιο ενεργή από το ηλεκτρικό μοτέρ για την ώθηση των σειριακών- παράλληλων υβριδικών οχημάτων, ενώ τα δεύτερα δεικνύουν ότι το ηλεκτρικό μοτέρ παίζει έναν πιο ενεργό ρόλο.

Η εικόνα 7.6 παρουσιάζει ένα υβριδικό σύστημα σειριακό- παράλληλο που βασίζεται στην μηχανή, στο οποίο υπάρχουν έξι επιλογές λειτουργίας. Για την εκκίνηση, η μπαταρία μόνη της παράσχει την απαραίτητη ισχύ για να τροφοδοτήσει το ηλεκτρικό μοτέρ για να ωθήσει το όχημα ενώ η μηχανή είναι εκτός λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της επιτάχυνσης, και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ αναλογικά μοιράζουν την απαιτούμενη ισχύ για να προωθήσουν το όχημα. Κατά την διάρκεια της κανονικής οδήγησης, η μηχανή μόνη της παράσχει την απαιτούμενη ισχύ για να προωθήσει το όχημα ενώ το ηλεκτρικό μοτέρ παραμένει εκτός λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης ή της πέδησης, το ηλεκτρικό μοτέρ δρα ως γεννήτρια για να

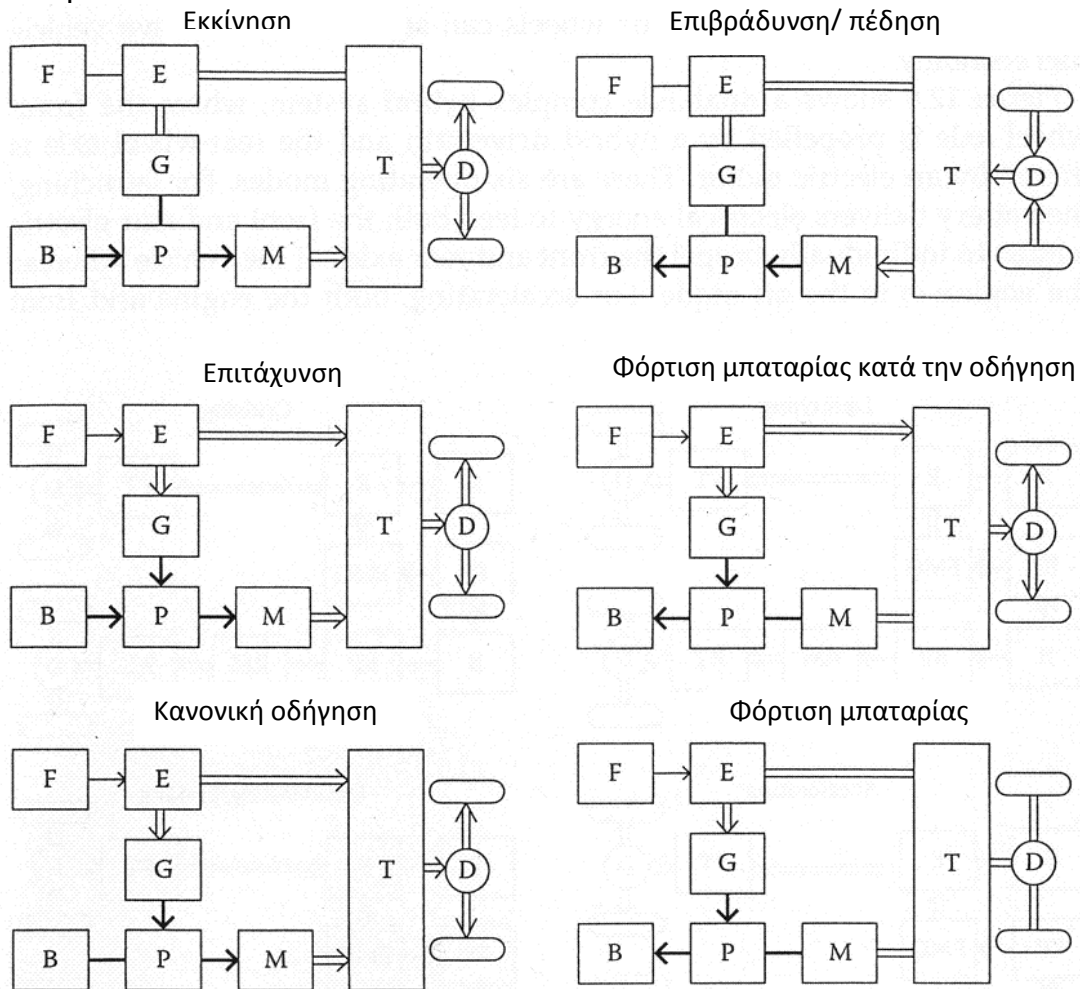
φορτίσει την μπαταρία μέσω του μετασχηματιστή ισχύος. Με ελαφρύ φόρτο, η μηχανή μόνο έλκει το όχημα αλλά επίσης η γεννήτρια φορτίζει την μπαταρία μέσω του μετασχηματιστή ισχύος. Όταν το όχημα είναι ακίνητο, η μηχανή μπορεί μεμονωμένα να κινήσει την γεννήτρια να φορτίσει την μπαταρία.



Εικόνα 7.14 Επιλογή λειτουργίας σειριακού παράλληλου υβριδικού με μηχανή

Η εικόνα 7.7 κατωτέρω παρουσιάζει ένα σύστημα σειριακού-παράλληλου υβριδικού οχήματος που βασίζεται σχετικά στο μοτέρ για την κίνησή του, στο οποίο υπάρχουν έξι διαφορετικές επιλογές λειτουργίας. Για την εκκίνηση, η μπαταρία από μόνη της τροφοδοτεί το ηλεκτρικό μοτέρ για να ωθήσει το όχημα ενώ η μηχανή είναι εκτός λειτουργίας. Και για την επιτάχυνση και για την κανονική οδήγηση, και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ λειτουργούν μαζί για να ωθήσουν το όχημα. Η βασική διαφορά είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση προέρχεται από την γεννήτρια και την μπαταρία ενώ εκείνη για την κανονική οδήγηση

προέρχεται μόνο από την γεννήτρια που τροφοδοτεί την μηχανή. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης και της πέδησης, το ηλεκτρικό μοτέρ λειτουργεί ως μια γεννήτρια για να φορτίσει την μπαταρία μέσω του μετασχηματιστή ενέργειας. Επίσης με ελαφρύ φορτίο, η μηχανή δεν έλκει μόνο το όχημα αλλά επίσης η γεννήτρια φορτίζει την μπαταρία. Όταν το όχημα είναι σταματημένο μπορεί να διατηρήσει την τροφοδοσία της γεννήτριας για να φορτίσει την μπαταρία.



B	μπαταρία	E	μηχανή	MG	Μοτέρ/ γεννήτρια
F	δεξαμενή καυσίμου	G	γεννήτρια	-	Ηλεκτρικός σύνδεσμος
M	μοτέρ	P	Μετασχηματιστής ενέργειας	-	Υδραυλικός σύνδεσμος
T	μετάδοση	D	διαφορικό	=	Μηχανικός σύνδεσμος

Εικόνα 7.15 : Επιλογή λειτουργίας σειριακού παράλληλου υβριδικού με μοτέρ

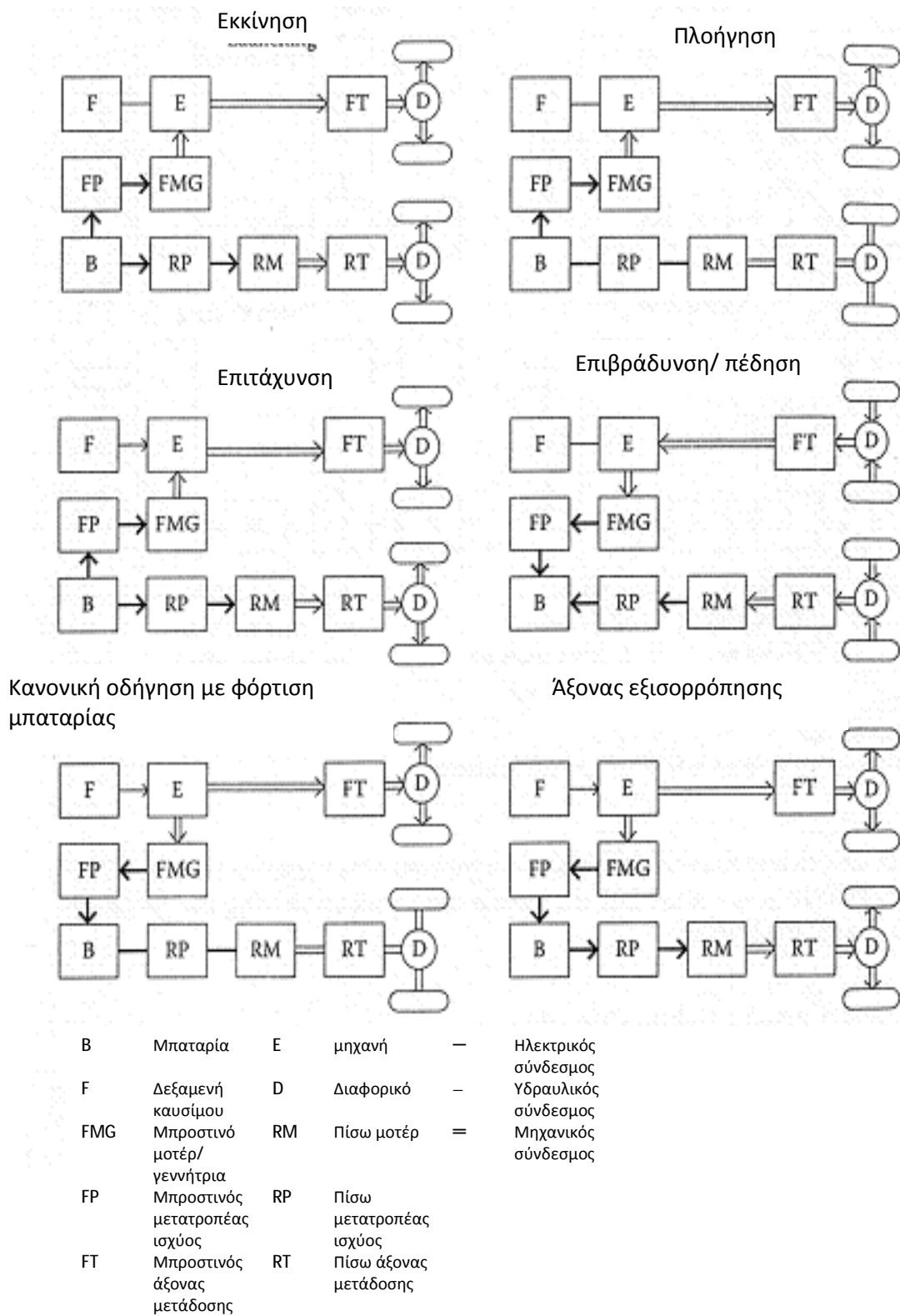
7.4.4 Λειτουργία σύνθετου υβριδικού

Η ανάπτυξη του σύνθετου υβριδικού ελέγχου έχει εστιαστεί στο σύστημα προώθησης διπλού άξονα των ΥΗΟ. Σε αυτό το σύστημα, ο άξονας των μπροστινών τροχών και ο αντίστοιχος άξονας των πίσω τροχών κινούνται ξεχωριστά. Δεν υπάρχει μηχανικός άξονας ή σύστημα μετάδοσης για να συνδέει τον μπροστινό και τον πίσω άξονα, έτσι καθίσταται εφικτό ένα ελαφρύτερο σύστημα ώθησης και αυξάνεται η ευελιξία συσκευασίας του οχήματος. Επιπλέον, το σύστημα ανάκτησης ενέργειας μέσω της πέδησης και στους τέσσερις τροχούς μπορεί σημαντικά να βελτιώσει την οικονομία καυσίμου του οχήματος.

Η εικόνα 7.8 κατωτέρω, παρουσιάζει ένα σύνθετο υβριδικό σύστημα διπλού άξονα, όπου ο μπροστινός άξονας ωθείται από ένα υβριδικό σύστημα κίνησης και ο πίσω άξονας κινείται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ. Υπάρχουν έξι επιλογές λειτουργίας. Για την εκκίνηση, η μπαταρία προσφέρει την ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσει και το μπροστινό και το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ για ωθήσουν μεμονωμένα τον μπροστινό και τον πίσω άξονα του οχήματος ενώ η μηχανή είναι εκτός λειτουργίας. Για την επιτάχυνση και η μηχανή και το ηλεκτρικό μοτέρ δουλεύουν μαζί για να ωθήσουν τον μπροστινό άξονα, ενώ το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ επίσης κινεί τον πίσω άξονα. Παρατηρήστε ότι αυτή η επιλογή λειτουργίας συμπεριλαμβάνει τρεις προωθητικές μηχανές (μια μηχανή και δύο ηλεκτρικά μοτέρ) για προωθούν το όχημα ταυτόχρονα. Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας με την φόρτιση της μπαταρίας, η απόδοση διαχωρίζεται για να κινεί τον μπροστινό άξονα και για να τροφοδοτεί την μπροστινή γεννήτρια για να φορτίζει την μπαταρία. Η αντίστοιχη συσκευή που συνδέει μηχανικά την μηχανή, το μπροστινό ηλεκτρικό μοτέρ και το μπροστινό άξονα όλα μαζί συνήθως βασίζονται σε ένα σύστημα γραναζιών μετάδοσης. Κατά την διάρκεια της οδήγησης, η μπαταρία προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια στο μπροστινό ηλεκτρικό μοτέρ μόνο για να κινήσει τον μπροστινό άξονα, ενώ και η μηχανή και το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ είναι εκτός λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης ή της πέδησης, και η μπροστινή γεννήτρια και το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ (το οποίο λειτουργεί ως γεννήτρια) εξυπηρετούν την ταυτόχρονη φόρτιση της μπαταρίας. Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος διπλών αξόνων είναι η ικανότητα ισορροπίας μεταξύ των αξόνων. Σε περίπτωση που οι μπροστινοί τροχοί γλιστρήσουν, η μπροστινή γεννήτρια απορροφά την αλλαγή της αποδόσεως ισχύος της μηχανής, μέσω της μπαταρίας, αυτή η διαφορά ισχύος κατόπιν χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το πίσω μοτέρ για να κινήσει τους πίσω τροχούς.

Εν συνεχεία θα παρουσιάσουμε ένα σύνθετο υβριδικό σύστημα διπλού άξονα, όπου η μπροστινός άξονας οδηγείται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ και ο πίσω άξονας ωθείται από ένα υβριδικό σύστημα κίνησης (το αντίστροφο της εικόνας ανωτέρω). Εστιάζοντας στο σύστημα προώθησης του οχήματος, υπάρχουν έξι διαφορετικές επιλογές λειτουργίας. Για την εκκίνηση, η μπαταρία προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια μόνο στο μπροστινό ηλεκτρικό μοτέρ το οποίο με την σειρά του κινεί τον μπροστινό άξονα του οχήματος ενώ και η μηχανή και το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ είναι εκτός λειτουργίας. Μόλις το όχημα μετακινηθεί εμπρός, η μπαταρία επίσης προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια στο πίσω ηλεκτρικό μοτέρ που λειτουργεί για να αυξήσει γρήγορα την ταχύτητα

της μηχανής, για να αυξήσει τις στροφές της μηχανής. Για την επιτάχυνση, το μπροστινό ηλεκτρικό μοτέρ κινεί τον μπροστινό άξονα ενώ και η μηχανή και το πίσω ηλεκτρικό μοτέρ λειτουργούν μαζί για να ωθήσουν τον πίσω άξονα.



Εικόνα 7.16 : Διπλού άξονα (μπροστά υβριδικό, πίσω ηλεκτρικό) περίπλοκο υβριδικό σύστημα λειτουργίας

Έτσι υπάρχουν τρεις προωθητικές συσκευές (μια μηχανή και δύο ηλεκτρικά μοτέρ) που παράλληλα προωθούν το όχημα. Κατά την διάρκεια της κανονικής οδήγησης, η μηχανή λειτουργεί μόνη για να προωθήσει τον πίσω άξονα του οχήματος. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης και της πέδησης, και το μπροστινό μοτέρ (που λειτουργεί ως γεννήτρια) και η πίσω γεννήτρια λειτουργούν για να φορτίζουν την μπαταρία ταυτόχρονα. Για την φόρτιση της μπαταρίας κατά την διάρκεια της οδήγησης, η απόδοση της ισχύος διαχωρίζεται στο κομμάτι εκείνο που προωθεί τον πίσω άξονα και για να κινήσει την πίσω γεννήτρια να φορτίσει την μπαταρία.

7.5 Τα πλεονεκτήματα των υβριδικών οχημάτων

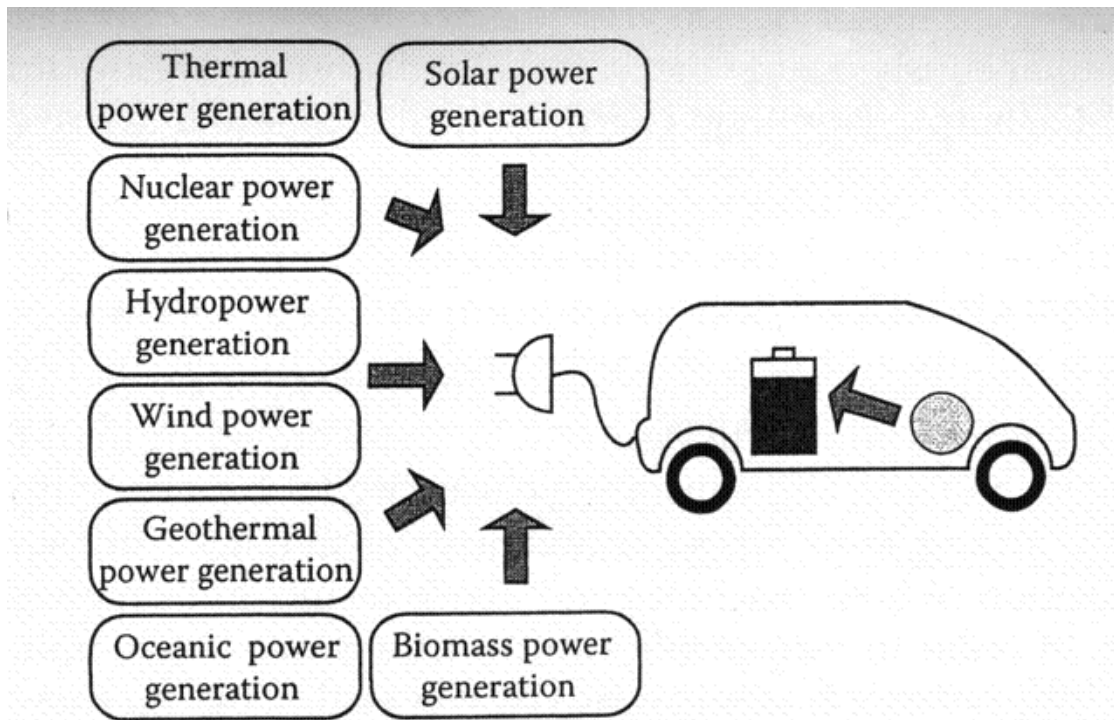
Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, είτε πρόκειται για ΜΗΟ, είτε ΥΗΟ, είτε για ΗΟΚΚ μπορούν να προσφέρουν δύο κύρια πλεονεκτήματα. Με άλλα λόγια, τα ενεργειακά οφέλη που προέρχονται από την ενεργειακή διαφοροποίηση και την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, καθώς επίσης και τα περιβαλλοντικά οφέλη από την καλύτερη ποιότητα της ατμόσφαιρας και την χαμηλότερη ηχορρύπανση.

7.5.1 Ενεργειακά οφέλη

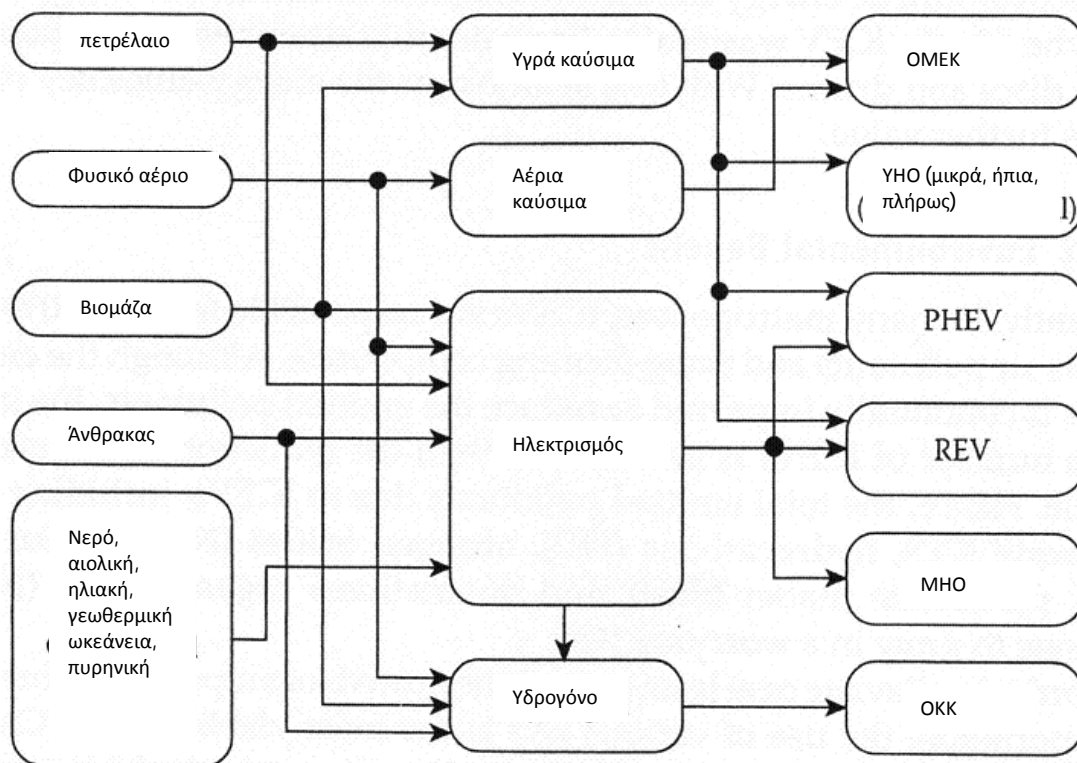
Τα παράγωγα του πετρελαίου, της βενζίνης και του ντίζελ είναι τα κύρια καύσιμα των ΜΕΚ. Αν και η ανάπτυξη των βιοκαυσίμων έχει λάβει έναν ολοένα και αυξανόμενο ρυθμό τα τελευταία χρόνια, τα τωρινά μέσα μεταφοράς είναι κατά μεγάλο βαθμό εξαρτώμενα από το αργό πετρέλαιο επειδή ο ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί από σχεδόν οποιαδήποτε πηγή ενέργειας στον κόσμο. Η εικόνα 7.9 κατωτέρω παρουσιάζει την αξία της ενεργειακής διαφοροποίησης για δύο τύπους ΥΗΟ (των plug in hybrid electric vehicles (PHEV) και τα εκτεταμένης αυτονομίας ηλεκτρικά οχήματα range-extended electric vehicles (REV)) στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποκτηθεί από το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω της θερμικής, της ηλιακής, της πυρηνικής, της υδροδυναμικής, της αιολικής, της γεωθερμικής, των ρευμάτων των ωκεανών, και της βιομάζας, καθώς πείσης από μια γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με μια μηχανή.

Οι διαδικασίες μετασχηματισμού της ενέργειας από ποικίλες ενεργειακές πηγές, ήτοι, το πετρέλαιο (και το συμβατικό και το μη- συμβατικό), το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, οι ανανεώσιμες πηγές (συμπεριλαμβανομένων της βιομάζας, της υδροηλεκτρικής, της αιολικής, της ηλιακής, της, γεωθερμικής, και των ρευμάτων των ωκεανών), και της πυρηνικής, καθώς επίσης ποικίλα είδη ΗΟ (ηλεκτρικών οχημάτων), ήτοι τα οχήματα ΜΕΚ, τα ΥΗΟ (μίκρο, ήπια, πληρη), PHEV, τα REV, τα ΜΗΟ και τα ΗΟΚΚ, απεικονίζονται στην εικόνα 7.10. Μπορεί να θεωρηθεί ότι ο ηλεκτρισμός είναι η πλέον βολική μορφή μεταφοράς ενέργειας ανάμεσα σε ποικίλες ενεργειακές πηγές και ποικίλα ΗΟ (ηλεκτρικά οχήματα), ενώ τα υγρά καύσιμα (συμπεριλαμβανομένου της βενζίνης, του ντίζελ, του LPG, και των βιοκαυσίμων) είναι οι κύριοι μεταφορείς ενέργειας για τα οχήματα με ΜΕΚ και ποικίλα ΥΗΟ. Συνεπώς, μπορεί κάποιος να συμπεράνει ότι οι δύο τελευταίοι τύποι ΥΗΟ, ήτοι τα PHEV και REV,

μπορούν να παράσχουν την μεγαλύτερη ενεργειακή διαφοροποίηση με το να δέχονται και τα υγρά καύσιμα και τον ηλεκτρισμό.

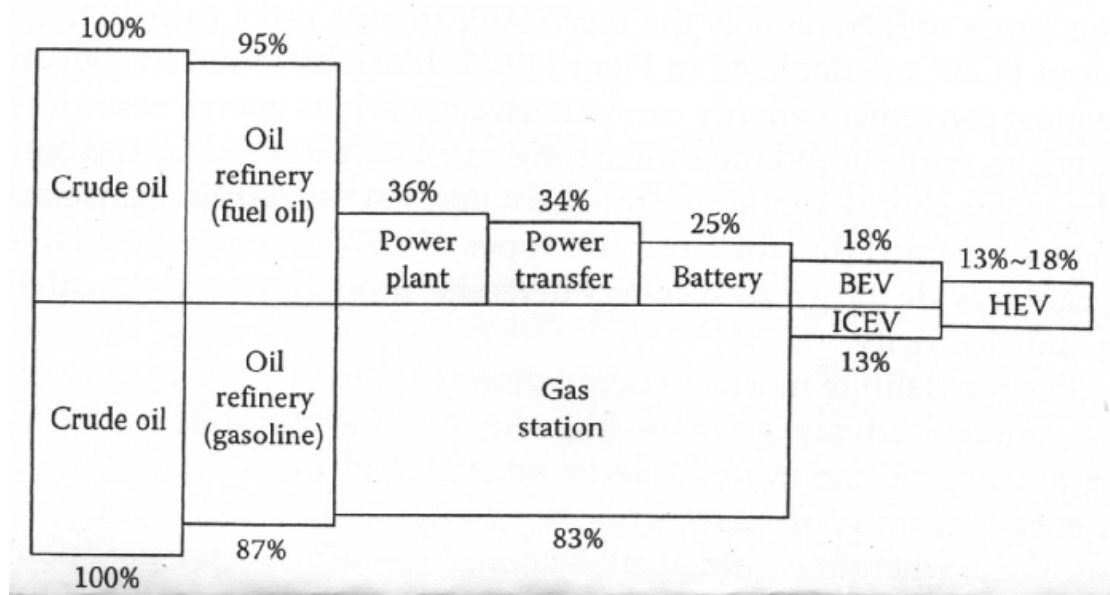


Εικόνα 7.9 : Παραγωγή ισχύος ηλεκτρισμού για δυο είδη ΥΗΟ-PHEN και REV



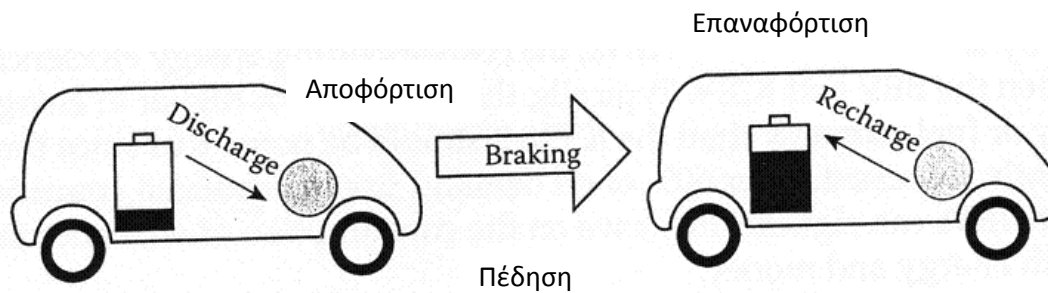
Εικόνα 7.17 : Μετασχηματισμοί ενέργειας για διάφορα ηλεκτρικά οχήματα

Επιπλέον, η αδιαμφισβήτητη αξία της ενεργειακής διαφοροποίησης συντελεί στην χρήση των ΗΟ, άλλο ένα πλεονέκτημα είναι η αποδοτικότητα υψηλής ενέργειας που προσφέρεται από ΗΟ. Για να συγκριθεί η συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα των ΜΗΟ με εκείνη των οχημάτων με ΜΕΚ, οι ροές μετασχηματισμού ενέργειας από το αργό πετρέλαιο μέχρι του φορτίου πορείας απεικονίζονται στην εικόνα 7.11 όπου τα αριθμητικά δεδομένα για ενδεικτικούς λόγους μόνο. Λαμβάνοντας το 100% του αργού πετρελαίου, οι συνολικές ενεργειακές αποδόσεις για τα ΜΗΟ και τα οχήματα με ΜΕΚ είναι 18% και 13% αντίστοιχα. Γι' αυτό, ακόμα και όταν όλη η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ενέργειας που τροφοδοτούνται από πετρέλαιο, τα ΜΗΟ είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από τα οχήματα με ΜΕΚ κατά 37%. Για τα ΥΗΟ, οι αντίστοιχες ενεργειακές αποδοτικότητες είναι ανάμεσα σε εκείνες των ΜΗΟ και των οχημάτων με ΜΕΚ. Συνήθως, είναι 20-30% ενεργειακά υψηλότερα ή με μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου από ότι τα οχήματα με ΜΕΚ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αφού τα οχήματα με ΜΕΚ αντιπροσωπεύουν πάνω από το 60% της ζήτησης για πετρέλαιο στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, η χρήση των ΥΗΟ μπορεί σημαντικά να βοηθήσει στο να μειωθεί η κατανάλωση του πετρελαίου, και ως εκ τούτου να εξοικονομήσουμε ενέργεια και χρήματα.



Εικόνα 7.18 : Αποδοτικότητα Ενέργειας των ΥΗΟ

Επιπλέον, τα ΗΟ κατέχουν ένα διακριτό πλεονέκτημα υπέρ των οχημάτων με ΜΕΚ, που ονομάζεται οπισθοδρομική πέδηση. Όπως απεικονίζεται στην εικόνα 7.12, τα ΥΗΟ μπορούν να ανακτήσουν κινητική ενέργεια κατά την διάρκεια του φρεναρίσματος και να την χρησιμοποιούν για την επαναφόρτιση της μπαταρίας, ενώ τα οχήματα με ΜΕΚ σπάταλα διαλύει αυτή την κινητική ενέργεια με την μορφή θερμότητας στα δισκόφρενα και στα ταμπόουρα. Με αυτή την τεχνολογία, η ικανότητα των ΥΗΟ, προκύπτει μεγαλύτερη αξία.



Εικόνα 7.19 : Εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας της πέδησης

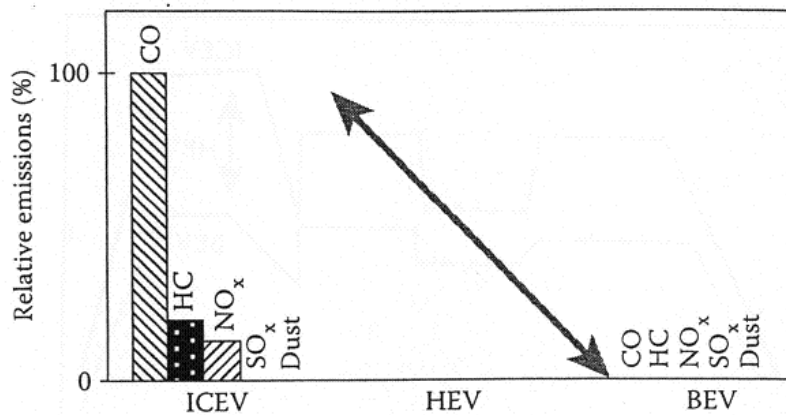
7.5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη

Προς το παρόν, σε μητροπολιτικά κέντρα, τα ΟΜΕΚ είναι υπεύθυνα για το πάνω από 50% των επικίνδυνων ατμοσφαιρικών ρύπων και νεφών που σχηματίζουν ενώσεις. Αν και η μηχανή των ΟΜΕΚ βελτιώνεται συνεχώς για να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι, η αύξηση των ΟΜΕΚ είναι κατά πολύ γρηγορότερη από την μείωση των εκπομπών ανά όχημα. Γι' αυτό, οι συνολικοί εκπεμπόμενοι ρύποι εξαιτίας των ΟΜΕΚ, περιλαμβάνουν μονοξείδιο του άνθρακα (CO), υδρογονάνθρακες (HC), οξείδια του αζώτου (NO_x), οξείδια του θείου (SO_x), σωματίδια και μη οργανικά αέρια του μεθανίου (NMOG), που συνεχίζουν να αυξάνονται σε ανησυχητικό ρυθμό.

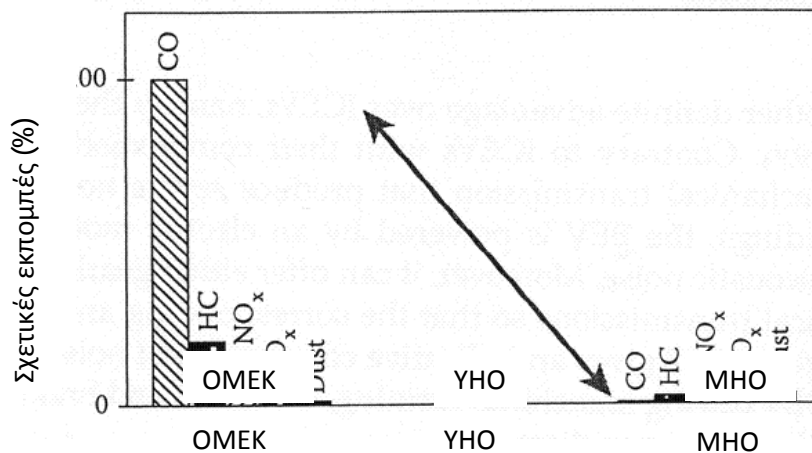
Για να ελαφρύνουμε ή τουλάχιστον να ελέγξουμε την ανάπτυξη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαιτίας των οδικών μεταφορών, η χρήση των διαφόρων ΗΟ είναι η πλέον βιώσιμη λύση. Η εικόνα 7.13 κατωτέρω παρουσιάζει μια ενδεικτική σύγκριση των βλαβερών εκπομπών που παράγονται τοπικά από ΟΜΕΚ και από ΜΗΟ, ενώ εκείνες των ΥΗΟ βρίσκονται ανάμεσά τους. Όπως αναμένεται, τα ΜΗΟ προσφέρουν μηδενικούς τοπικούς ρύπους. Λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές που παράγονται από τα διυλιστήρια για να παράγουν βενζίνη και ντίζελ για τα ΟΜΕΚ καθώς επίσης από τις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες για να παραχθεί ηλεκτρισμός για τα ΜΗΟ, μια ενδεικτική σύγκριση των παγκόσμιων επιβλαβών εκπομπών παρουσιάζεται στην εικόνα 7.14. Μπορεί να βρεθεί ότι οι παγκόσμιες επιβλαβές εκπομπές των ΜΗΟ είναι ακόμα κατά πολύ χαμηλότερες από εκείνες των ΟΜΕΚ. Για τα ΥΗΟ, οι αντίστοιχες παγκόσμιες επιβλαβείς εκπομπές είναι επίσης ανάμεσα σε εκείνες των ΜΗΟ και ΟΜΕΚ.

Σήμερα, πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες κατασκευάζουν ΥΗΟ, τα οποία δεν είναι μόνο εμπορικώς διαθέσιμα, αλλά και οικονομικά βιώσιμα. Οι τελευταίες ναυαρχίδες περιλαμβάνουν τα υβριδικά μοντέλα, Chevrolet C15 Silverado, το Ford Fusion, το Honda Civic hybrid, το Mercedes Benz S400, το Nissan Altima, το Saturn VUE, και το Toyota Prius. Γενικά, αυτά τα ΥΗΟ παρουσιάζουν σημαντικές μειώσεις σε εκπομπές καυσαερίων από τους ομολόγους τους τα ΟΜΕΚ. Ωστόσο, διαφορετικά ΥΗΟ έχουν διαφορετικά επίπεδα εκπομπών των διαφορετικών ρύπων. Για παράδειγμα, βασιζόμενοι στα δεδομένα που είναι καταχωρημένα από την Επιτροπή για την Ποιότητα της Ατμόσφαιρας του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος της Καλιφόρνια (Air Resources Board, 2009), το Toyota Prius μπορεί να

προσφέρει ένα πολύ χαμηλό επίπεδο εκπομπών CO ενώ το Mercedes Benz S400 hybrid μπορεί να παράσχει ένα πολύ μικρό περιεχόμενο εκπομπών NMOG.

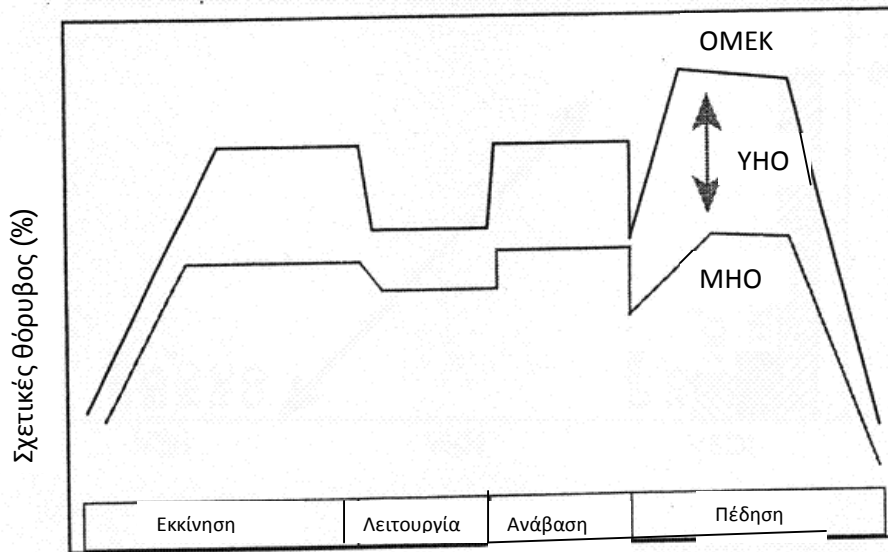


Εικόνα 7.13 : Σύγκριση των τοπικών επιβλαβών εκπομπών



Εικόνα 7.14 : Σύγκριση των παγκόσμιων επιβλαβών εκπομπών

Τα ΗΟ, διαθέτουν άλλο ένα αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα έναντι των ΟΜΕΚ, ήτοι την καταστολή της ηχορρύπανσης. Σε αντίθεση με τα ΟΜΕΚ με την μηχανή ανάφλεξης που διαθέτουν και την πολύπλοκη μηχανή μετάδοσης που παράγει σοβαρά προβλήματα θορύβου στον περιβάλλοντα χώρο, τα ΜΗΟ τροφοδοτούνται από ένα ηλεκτρικό μοτέρ που λειτουργεί σε πολύ χαμηλά ακουστικά επίπεδα θορύβου. Επιπλέον, μπορεί να προσφέρει είτε μηχανισμό δίχως κιβώτιο ταχυτήτων, είτε μηχανική μετάδοση μιας ταχύτητας έτσι ώστε τα αντίστοιχα επίπεδα θορύβου να είναι τα ελάχιστα. Η εικόνα 7.15, δίνει μια ενδεικτική σύγκριση του θορύβου που δημιουργείται από τον ΟΜΕΚ και ένα ΜΗΟ κατά την διάρκεια της εκκίνησης, επιτάχυνσης, ανάβασης και πέδησης ενώ εκείνη του ΥΗΟ βρίσκεται ανάμεσά τους.



Εικόνα 7.15 : Σύγκριση των επιπέδων θορύβου των οχημάτων

7.6 Τάσεις των υβριδικών οχημάτων

Σήμερα, πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες δια μέσω του κόσμου επιταχύνουν την ανάπτυξη των ΗΟ για την επερχόμενη τεράστια αγορά. Αναμένεται ότι τα ΥΗΟ θα αποτελέσουν μια πρακτική και βιώσιμη λύση για τα SULEV- super ultra low emissions vehicles, ενώ τα ΜΗΟ και τα ΟΚΚ (οχήματα κυψελών καυσίμου) θα μοιραστούν την αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων μηδενικών ρύπων. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα μικρο-υβριδικά οχήματα είναι κυριολεκτικά ένα ΟΜΕΚ υποβοηθούμενο από ένα μοτέρ ενώ των REV τα εκτεταμένης αυτονομίας ηλεκτρικά οχήματα range-extended electric vehicles είναι ουσιαστικά ένα ΜΗΟ υποβοηθούμενο από μια μηχανή, τα ΥΗΟ θα είναι κυρίαρχα στην αγορά αυτοκινήτου στο εγγύς μέλλον.

Εστιάζοντας στα ΥΗΟ, οι τάσεις ανάπτυξής τους θα λάβουν δύο ερευνητικές κατευθύνσεις. Από την μια μεριά, και το ηλεκτρικό μοτέρ καθώς επίσης και η μπαταρία και η τεχνολογία κυψελών καυσίμου θα αναπτυχθούν περαιτέρω έτσι ώστε η ηλεκτρική προώθηση να παίξει έναν πιο ενεργό ρόλο στην περαιτέρω άυξηση της οικονομίας καυσίμου και να μειωθούν οι εκπεμπόμενοι ρύποι. Από την άλλη μεριά, και οι προηγμένες τεχνολογίες στις μηχανές και στα βιοκαύσιμα θα αναπτυχθούν ενεργητικά έτσι ώστε η αποδοτικότητα του καυσίμου και η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων να βελτιωθεί. Οριστικά και αμετάκλητα, αυτές οι δύο αναπτυξιακές τάσεις θα καταστήσουν το μέλλον των ΥΗΟ και πιο καθαρό και πιο οικολογικό.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdel - Rahman, A.A. 1998. On the emission from internal combustion engines: A review. *International Journal of Energy Research* 22:483-513
- Agarwal, A. K. 1999. Performance evaluation and tribological studies on biodiesel fueled compression ignition engine. PHD Thesis, IIT Delhi, India.
- Agarwal, A. K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 33:233-71.
- Agarwal, A. K., J. Bijwe, and L. M. Das. 2003. Effect of biodiesel utilization of wear of vital parts in compression ignition engines. *Journal of Power Engineering* 125:604-11
- ASTM International. 2009. ASTM book of standards 5.0 petroleum products, lubricants, and fossil fuels. West Conshohocken, PA : ASTM International.
- Barnwal, B. K., and M.P. Sharma. 2005. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9:363-78.
- Cheng, C. H., C. S. Cheung, T. L. Chan, S. C. LEE, C. D. Yao, and K. S. Tsang. 2008b. Comparison of emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel with emulsified and fumigated methanol. *Fuel* 87:1870-79
- Cheng, W. H., and H.H Kung. 1994. Methanol production and use. New York: Marcel Dekker.
- Di, Y., C.S. Cheung, and Z. Huang. 2009. Experimental investigation on regulated and unregulated emissions of a diesel engine fueled with ultra-low sulfur diesel fuel blended with biodiesel from waste cooking oil. *Science of the total environment* 407:835-46
- Deimbras, A. 2009. Biofuels. London: Springer.
- Faiz, A., S. Christofer, and M. P. WEAVER. 1996. Air pollution from motor vehicles. Washington, DC: The World Bank.
- Ganesan, V. 1994. Internal combustion engines. New York: McGraw - Hill.
- Heywood, J. B. 1984. Internal combustion engines. New York: McGraw - Hill.
- Kusdiana, D., and S. Saka. 2004. Effect of water on biodiesel fuel production by super - critical methanol treatment. *Bio-resource Technology* 91:289-95

Lapuerta, M., O. Armas, and R. F. Jose. 2008. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy Combustion* 34:198-223

Marchetti, J. M., V. U. Miguel, and A. F. Errazu. 2007. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11:1300-11.

Ozsezen, A. N., M. Canakci, and C. Sayin. 2008. Effects of biodiesel from used frying palm oil on the performance, injection, and combustion characteristics of an indirect injection diesel engine. *Energy and Fuels* 22:1297-1305

Pons, J. H. 2009. Methanol - An alternative fuel. University of Southwestern Louisiana.

Pukrakek, W. W. 1997. *Engineering fundamentals of the internal combustion engines*. New York: Simon and Schuster Co.

Raadnui, S., and A. Meenak. 2003. Effects of refined palm oil (PRO) fuel on wear of diesel engine components. *Wear* 254:1281-8

Reid, J. F., A. C. Hansen, and C. E. Goering. 1989. Quantifying diesel injector coking with computer vision. *ASAE* 32:1503-6.

Risinen, R., and J. KRAUSHAAR. 2006. *Energy and environment*. New York: John Wiley and Sons.

Sapaun, S. M., H. H. Masjuki, and A. Azlan. 1996. The use of palm oil as diesel fuel substitute. *Journal of Power Energy* 210:47-53

Wang, L. J., R. Z. Song, H. B. Zou, S. H. Liu, and L. B. Zhou. 2008. Study on combustion characteristics of a methanol - diesel dual fuel compression ignition engine. *Proceedings of Instrumental of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 222:619-27