



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Εξεταστική Επιτροπή:
Δρ. Ευστάθιος Κικινίδης,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΔΜ
Δρ. Γιώργος Μαρνέλλος,
Λέκτορας ΠΔΜ Δρ.
Δρ. Δημήτριος Μπούρης,
Επίκουρος Καθηγητής ΠΔΜ

Φοιτήτρια:
Σταφυλά Ειρήνη
Α.Ε.Μ. 97

Επιβλέπων Καθηγητής:
Γιώργος Μαρνέλλος

Κοζάνη 2004

Πίνακας Περιεχομένων

1. Περιεχόμενα.....	1
2. Περιεχόμενα Σχημάτων.....	4
3. Περιεχόμενα Πινάκων.....	6
4. Ονοματολογία.....	8
5. 1 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή.....	12
6. 1.1 Βασικοί λόγοι που οδήγησαν στα εναλλακτικά καύσιμα.....	12
7. 1.2 Εναλλακτικά Καύσιμα – Μια γενική προσέγγιση.....	20
8. 1.3 Εναλλακτικά του Πετρελαίου Ορυκτά Καύσιμα.....	21
9. 1.4 Συνθετικά Καύσιμα Υδρογονανθράκων.....	22
10. 1.5 Φυτικά έλαια ως καύσιμα για κινητήρες Diesel.....	23
11. 1.6 Καθαρές Αλκοόλες ή Αλκοόλες με Προσμίξεις ως Εναλλακτικά Καύσιμα.....	25
12. 1.7 Αέρια Καύσιμα για Κινητήρες: Φυσικό Αέριο και Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου (LPG).....	26
13. 1.8 Αναμορφωμένη Βενζίνη και άλλα Συνθετικά Καύσιμα.....	27
14. 1.9 Άλλες μορφές Εναλλακτικών Καυσίμων.....	27
15. 2 ^ο Κεφάλαιο: Εναλλακτικά Καύσιμα Αναλυτικά	
16. 2.1 Βιομάζα.....	29
17. 2.1.1 Ενεργειακές Καλλιέργειες.....	29
18. 2.1.2 Αγορά Βιοκαυσίμων.....	30
19. 2.1.3 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Βιομάζας.....	31
20. 2.2.1 Χαρακτηριστικά Biodiesel.....	32
21. 2.2.2 Παραγωγή Biodiesel.....	35
22. 2.2.3 Αγορά καυσίμων Biodiesel.....	43
23. 2.2.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Biodiesel.....	45
24. 2.2.5 Μειονεκτήματα χρήσης Biodiesel.....	46
25. 2.2.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Biodiesel.....	46
26. 2.3 Αιθανόλη.....	48
27. 2.3.1 Χαρακτηριστικά Αιθανόλης.....	49
28. 2.3.2 Παραγωγή Αιθανόλης.....	49
29. 2.3.3 Αγορά Αιθανόλης.....	51
30. 2.3.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Αιθανόλης.....	53
31. 2.3.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Αιθανόλης.....	53
32. 2.3.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Αιθανόλης.....	55
33. 2.4 1 Χαρακτηριστικά Μεθανόλης.....	57
34. 2.4.2 Παραγωγή Μεθανόλης.....	57

35. 2.4.3 Αγορά Μεθανόλης.....	58
36. 2.4.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Μεθανόλης.....	58
37. 2.4.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Μεθανόλης.....	60
38. 2.4.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Μεθανόλης.....	61
39. 2.5 Ηλεκτρική Ενέργεια.....	62
40. 2.5.1 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικής Ενέργειας	62
41. 2.5.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	63
42. 2.5.3 Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	63
43. 2.5.4 Πλεονεκτήματα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	64
44. 2.5.5 Μειονεκτήματα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	64
45. 2.5.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	65
46. 2.6 Φυσικό Αέριο.....	66
47. 2.6.1 Χαρακτηριστικά Φυσικού Αερίου.....	67
48. 2.6.2 Παραγωγή Φυσικού Αερίου.....	75
49. 2.6.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Φυσικού Αερίου.....	78
50. 2.6.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Φυσικού Αερίου.....	80
51. 2.7 Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου (LPG).....	82
52. 2.7.1 Χαρακτηριστικά LPG.....	82
53. 2.7.2 Παραγωγή LPG.....	86
54. 2.7.3 Αγορά LPG.....	87
55. 2.7.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης LPG.....	88
56. 2.7.5 Μειονεκτήματα Χρήσης LPG.....	89
57. 2.8 Υδρογόνο.....	91
58. 2.8.1 Χαρακτηριστικά Υδρογόνου.....	93
59. 2.8.2 Παραγωγή Υδρογόνου.....	93
60. 2.8.3 Αγορά Υδρογόνου.....	94
61. 2.8.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Υδρογόνου.....	98
62. 2.8.6 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χρήσης Υδρογόνου.....	100
63. 2.9 Σειρές-P.....	101
64. 2.9.1 Χαρακτηριστικά P-Series.....	102
65. 2.9.2 Παραγωγή P-Series.....	103
66. 2.9.3 Αγορά P-Series.....	103
67. 2.9.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης P-Series.....	104
68. 2.10 Αναμορφωμένη Βενζίνη.....	107
69. 2.10.1 Χαρακτηριστικά Αναμορφωμένης Βενζίνης.....	107
70. 2.10.2 Αγορά Αναμορφωμένης Βενζίνης.....	109
71. 2.10.4 Πλεονεκτήματα Αναμορφωμένης Βενζίνης.....	110

72. 3 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή στην Τεχνολογία Κινητήρων.....	111
73. 3.1 Ροπή, Ισχύς, Μέση Ενεργός Πίεση και Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου.....	112
74. 3.2 Απόδοση Κινητήρα.....	116
75. 3.4 Συστήματα Ελέγχου Κινητήρα.....	120
76. 4.1 Κινητήρες Diesel.....	124
77. 4.1.1 Χαρακτηριστικές Εκπομπές Εξάτμισης Κινητήρων Diesel (CI).....	126
78. 4.1.2 Καύση Αέριων Καυσίμων σε Κινητήρες Diesel.....	128
79. 4.1.3 Καύση Αλκοολών σε Κινητήρες Diesel.....	140
80. 4.1.4 Καύση Biodiesel σε Κινητήρες Diesel.....	141
81. 4.1.5 Εφαρμογές Αιθανόλης.....	142
82. 4.1.6 Εφαρμογές Μεθανόλης.....	142
83. 4.2 Μετατροπή Κινητήρων Έναυσης με Σπινθήρα (Otto).....	143
84. 4.2.1 Συστήματα Φυσικού Αερίου και LPG.....	145
85. 4.2.1.1 Αποθήκευση επάνω στο Όχημα.....	145
86. 4.2.1.2 Ασφάλεια των Εναλλακτικών Καυσίμων.....	146
87. 4.2.2 Συστήματα Μετατροπής.....	147
88. 4.2.2.1 Μηχανικό Σύστημα Μετατροπής.....	148
89. 4.2.2.2 Ηλεκτρονικά Συστήματα Μετατροπής.....	152
90. 4.2.3 Αξιολόγηση των Συστημάτων Μετατροπής CNG και LPG.....	155
91. 4.2.4 Οι Αλκοόλες ως Καύσιμα Κινητήρων με Σπινθηριστή.....	156
92. 4.2.4.2 Ποιότητα Οκτανίων των Αλκοολών.....	157
93. 4.2.5 Εφαρμογές Μεθανόλης.....	157
94. 4.2.6 Εφαρμογές Αιθανόλης.....	158
95. 2.4.7 Εφαρμογές Υδρογόνου.....	158
96. 4.3 Υβριδικά Οχήματα.....	161
97. 4.3.1 Ηλεκτρικά Οχήματα.....	165
98. 4.3.1.1 Οχήματα Κοντινών Αποστάσεων.....	166
99. 4.4 Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου.....	167
100. 4.4.1 Λειτουργία Κυψελών Καυσίμου.....	168
101. 4.4.2 Τεχνολογίες Κυψελών Καυσίμου.....	169
102. 4.4.3 Αγορά Οχημάτων Κυψελών Καυσίμου.....	170
103. Συγκριτικός Πίνακας.....	167
104. 5 ^ο Κεφάλαιο: Σύγκριση Εναλλακτικών Καυσίμων-Συμπεράσματα.....	178
105. Βιβλιογραφία.....	181

Περιεχόμενα Σχημάτων

1^ο Κεφάλαιο

1. Σχήμα 1.1 Επιρροή του αριθμού κετανίων στις εκπομπές CO σε κινητήρες diesel ελαφρών εφαρμογών14
2. Σχήμα 1.2 Επιρροή του αριθμού κετανίων σε κινητήρες diesel βαρέων εφαρμογών..14
3. Σχήμα 1.3 Επιρροή του Χρόνου Έγχυσης στις Εκπομπές των Καυσαερίων.....19

2^ο Κεφάλαιο

4. Σχήμα 2.1 Παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων σε χώρες της ΕΕ25 το 2003.....31
5. Σχήμα 2.2 Δέσμευση CO₂ με την παραγωγή βιοκαυσίμων.....31
6. Σχήμα 2.3: Σπόροι Σόγιας.....33
7. Σχήμα 2.4: Φυτά Σόγιας34
8. Σχήμα 2.5: Φυτείες Ηλίανθου.....37
9. Σχήμα 2.6: Ο Μηχανισμός Θερμικής Αποικοδόμησης των Τριγλυκεριδίων.....38
10. Σχήμα 2.7: Μετεστεροποίηση των Τριγλυκεριδίων με Αλκοόλη.....40
11. Σχήμα 2.8: Ο Μηχανισμός Μετεστεροποίησης με Αλκαλικό Καταλύτη των Τριγλυκεριδίων.....42
12. Σχήμα 2.9: Δυναμικότητα παραγωγής Biodiesel στη Γερμανία (1998-2004).....45
13. Σχήμα 2.10: Αραβόσιτος για Παραγωγή Αιθανόλης.....48
14. Σχήμα 2.11: Ζαχαροκάλαμα για Παραγωγή Αιθανόλης.....50
15. Σχήμα 2.12: Στόλοι δημοσίων Υπηρεσιών αποτελούμενοι από οχήματα που καταναλώνουν αιθανόλη.....51
16. Σχήμα 2.13: Στόλοι που αποτελούνται από Υβριδικά Λεωφορεία.....62
17. Σχήμα 2.14: Σταθμοί Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων.....63
18. Σχήμα 2.15: Εγκαταστάσεις Ανεφοδιασμού Φυσικού Αερίου.....66
19. Σχήμα 2.16: Επίδραση της Διαβάθμισης του αριθμού Wobbe στην Αναλογία.....69
Ισορροπίας σε Κινητήρες που χρησιμοποιούν Διαφορετικές Μετρητικές Τεχνολογίες
20. Σχήμα 2.17: Σταθμός Αργού Ανεφοδιασμού Οχημάτων Μεσαίου Τύπου.....73
21. Σχήμα 2.18: Όχημα CNG.....79
22. Σχήμα 2.19: Επιρροή της Διαβάθμισης της Σύστασης LPG στον Αριθμό Wobbe....84
23. Σχήμα 2.20: Οι σταθμοί Ανεφοδιασμού LPG βρίσκονται εξαπλωμένοι σε όλη την επικράτεια των Η.Π.Α.....87
24. Σχήμα 2.21: Παραγωγή Υδρογόνου σε Ειδική Γυάλινη Συσκευή.....91
25. Σχήμα 2.22: Σειρά 7 της BMW με Υδρογονοκινητήρα.....95
26. Σχήμα 2.23: Διαβαθμίσεις της Λειτουργίας με Φτωχά Μίγματα με Διαφορές στο Κλάσμα Συμπίεσης για Διάφορα Καύσιμα.....97

3^ο Κεφάλαιο

27. Σχήμα 3.1 Ισχύς και Ροπή Πέδησης σε σύγκριση με την Ταχύτητα ενός κινητήρα Βενζίνης Ελαφρού Οχήματος113
28. Σχήμα 3.2 Ισχύς και Ροπή Πέδησης σε σύγκριση με την Ταχύτητα ενός κινητήρα Diesel Βαρέου Οχήματος114
29. Σχήμα 3.3 Χάρτης Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου για κοινό Κινητήρα SI.....115
30. Σχήμα 3.4 Χάρτης Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου για κοινό Κινητήρα CI.....116
31. Σχήμα 3.5 Οπτική Σύγκριση των διαβαθμίσεων Οκτανίων-Κετανίων.....118

32. Σχήμα 3.6 Ιδανική Απόδοση Κινητήρα σε συνάρτηση με το κλάσμα συμπίεσης...	119
33. Σχήμα 3.7 Συνήθης Αύξηση Ισχύος Εξαιτίας της Μηχανικής Ενίσχυσης..	120
34. Σχήμα 3.8 Συνήθης Μείωση της Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου ως Αποτέλεσμα της Υπερπλήρωσης ..	121

4^ο Κεφάλαιο

35. Σχήμα 4.1: Εκπομπές από κινητήρα αποκλειστικής χρήσης Φυσικού Αερίου.....	131
36. Σχήμα 4.1.2: Εκπομπές HC σε σύγκριση με τις εκπομπές NO _x σε καύση Αερίου Καυσίμου.....	132
37. Σχήμα 4.3: Διαβάθμιση των συγκεντρώσεων NO, CO και HC σε μετατρέπομενο Κινητήρα Otto	133
38. Σχήμα 4.4: Προβλεπόμενη Μέγιστη Απόδοση Κινητήρων Φυσικού Αερίου.....	134
39. Σχήμα 4.5 : Απόδοση Κινητήρα Caterpillar 3406 Διπλού Καυσίμου.....	137
40. Σχήμα 4.6: Εκπομπές σε σύγκριση με την ταχύτητα του κινητήρα σε 100% φορτίο και διπλό καύσιμο και μόνο diesel σε κινητήρα Caterpillar 3406.....	138
41. Σχήμα 4.7: Εκπομπές σε 1500 rpm κινητήρα Caterpillar 3406 σε λειτουργία με διπλό καύσιμο και μόνο με diesel.....	138
42. Σχήμα 4.8: Αποπληρωμή από το Κόστος Καυσίμου για Μετατροπή 1.500\$ σε όχημα 10 mpg.....	144
43. Σχήμα 4.9: Αποπληρωμή από το Κόστος Καυσίμου για Μετατροπή 1.500\$ σε όχημα 20 mpg.....	144
44. Σχήμα 4.10: Σχηματικό Διάγραμμα ενός τυπικού CNG ή LPG Συστήματος Μετατροπής Διπλού Καυσίμου	149
45. Σχήμα 4.11: Πορεία Πίεσης Ρυθμιστή.....	151
46. Σχήμα 4.12: Σχηματική Σύγκριση Αποκρίσεων Μετρητικού Συστήματος Καυσίμου.....	153
47. Σχήμα 4.13: Σχηματικό Διάγραμμα τυπικής Ηλεκτρονικής Διάταξης μετατροπής CNG ή LPG Διπλού Καυσίμου.....	154
48. Σχήμα 4.14: Υβριδικό Αυτοκίνητο.....	162
49. Σχήμα 4.15: Βασικά Συστήματα Υβριδικού Αυτοκινήτου.....	163
50. Σχήμα 4.16: Ηλεκτρικό Ford Ranger.....	164
51. Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστικοί τύποι Οχημάτων Κοντινών Αποστάσεων.....	166
52. Σχήμα 4.18: Honda FCX με Κυψέλες Καυσίμου.....	167
53. Σχήμα 4.19: Αστικό Λεωφορείο με Κυψέλες Καυσίμου.....	168

Περιεχόμενα Πινάκων

1^ο Κεφάλαιο

1. Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά της Κηροζίνης και το Αερίου Ελαίου από τη Διεργασία Σύνθεσης Μεσαίων Αποσταγμάτων της Shell (SMDS).....23
2. Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά της Αιθανόλης και Μεθανόλης ως Εναλλακτικά Καύσιμα.....26

2^ο Κεφάλαιο

3. Πίνακας 2.1: Φυσικές Ιδιότητες του Biodiesel.....35
4. Πίνακας 2.2: Χημικές Ιδιότητες Φυτικών Ελαίων.....36
5. Πίνακας 2.3: Τα παραγόμενα Βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και οι αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και σε καύσιμο.....43
6. Πίνακας 2.4: Απόδοση Ά Υλών Παραγωγής Βιοαιθανόλης.....51
7. Πίνακας 2.5: Σύγκριση του Ενεργειακού Ογκομετρικού Περιεχομένου Βασικών Καυσίμων.....55
8. Πίνακας 2.6: Ενεργειακό Περιεχόμενο Καυσίμων σε σχέση με τη Βενζίνη.....56
9. Πίνακας 2.7: Μακροπρόθεσμες Δοκιμές Εκπομπών Οχήματος Μεθανόλης.....59
10. Πίνακας 2.8: Ιδιότητες Κυρίων Αέριων Υδρογονανθράκων.....67
11. Πίνακας 2.9: Ιδιότητες Συστατικών Φυσικού Αερίου.....68
12. Πίνακας 2.10: Τυπική Σύσταση και Ιδιότητες Φυσικού Αερίου.....68
13. Πίνακας 2.11: Ποικιλία στη σύνθεση του LPG σε διαφορετικά κράτη.....82
14. Πίνακας 2.12: MON των συστατικών του LPG.....86
15. Πίνακας 2.13: Συγκριτικές Αξίες Υδρογόνου, Μεθανίου και Βενζίνης.....92
16. Πίνακας 2.14: Εκπομπές Οχημάτων που καταναλώνουν Υδρογόνο..100
17. Πίνακας 2.15: Κατ' όγκο Σύσταση Καυσίμων Σειρών –Π.....102
18. Πίνακας 2.16: Πιστοποιημένο Ποσοστό Ενεργειακού Περιεχομένου Σειρών –Π που δεν προέρχεται από Πετρέλαιο.....104
19. Πίνακας 2.17: Σύγκριση των Αποτελεσμάτων των δοκιμών της Ομοσπονδιακής Διαδικασίας Δοκιμών.....106

4^ο Κεφάλαιο

20. Πίνακας 4.1: Επίπεδα Εκπομπών Βαρέων Οχημάτων (Detroit diesel Corporation 1989).....128
21. Πίνακας 4.2: Εκπομπές Από Κινητήρα Αποκλειστικά Φυσικού Αερίου (Πηγή Southwest Research Institute).....131
22. Πίνακας 4.3: Προβλεπόμενη Συγκριτική Απόδοση Κινητήρων Φυσικού Αερίου και Βενζίνης.....134
23. Πίνακας 4.4: Εκπομπές του Caterpillar 3406 σε λειτουργία Διπλού Καυσίμου και μόνο με Diesel.....137
24. Πίνακας 4.5: Εκπομπές του Κινητήρα Αιθανόλης Detroit 6V-92TA.....141
25. Πίνακας 4.6: Σύγκριση του Ενεργειακού Ογκομετρικού Περιεχομένου Βασικών Καυσίμων.....146
26. Πίνακας 4.7: Πλεονεκτήματα του Συστήματος Ηλεκτρονικού Ελέγχου.....153
27. Πίνακας 4.8: Σύγκριση Αλκοολών με βενζίνη σε βελτιστοποιημένα Οχήματα.....157
28. Πίνακας 4.9: Χαρακτηριστικά Υβριδικών Οχημάτων Honda.....158
29. 5^ο Κεφάλαιο: Συγκριτικός Πίνακας.....167

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ACEAE	ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ
AKI	ΑΝΤΙΚΡΟΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ
ANG	ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ
APU	ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
ASTM	ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ
BIODIESEL	ΚΑΥΣΙΜΟ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΟΜΟΙΑ ΜΕ ΤΟΥ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ DIESEL ΑΛΛΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΕΛΑΙΑ (ΣΟΓΙΑ, ΣΙΝΑΠΟΣΠΟΡΟΣ, ΗΛΙΑΝΘΟΣ). ΚΑΠΟΙΑ ΕΛΑΙΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΛΛΑ ΑΠΑΙΤΟΥΝ ΜΕΤΕΣΤΕΡΟΠΟΙΗΣΗ
BIOFUELS	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, ΟΠΩΣ ΞΥΛΟ, ΑΠΟΒΑΝΤΑ, ΚΑΙ ΑΛΚΟΟΛΕΣ, ΠΟΥ ΚΑΙΓΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥΣ ΣΚΟΠΟΥΣ
BIOMASS	ΥΛΙΚΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ, ΟΠΩΣ ΧΛΟΕΣ, ΔΕΝΤΡΑ ΚΑΙ ΛΕΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΑΝΤΑ
BMEP	ΟΡΙΑΚΗ ΜΕΣΗ ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΙΕΣΗ
BPV	ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ
BSFC	ΟΡΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
BSNO _x	ΕΙΔΙΚΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ NO _x
B20	ΜΙΓΜΑΤΑ ΜΕ 20% BIODIESEL ΚΑΙ 80% ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ DIESEL
B100	ΚΑΘΑΡΗ ΜΟΡΦΗ
CAFE	ΜΕΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
CARB	CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD/ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ
CARFG2	ΑΝΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΒΕΝΖΙΝΗ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ ΦΑΣΗΣ 2
CEN	ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ
CETANE	ΆΧΡΩΜΟΣ, ΥΓΡΟΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΑΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ (C ₁₆ H ₃₄) ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΩΣ ΠΡΟΤΥΠΟ ΣΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ DIESEL
CETANE NUMBER	Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΚΑΕΞΑΝΙΟΥ ΠΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΕΙ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΚΑΙ ΚΑΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗ
CFC	ΧΛΩΡΟΦΛΩΡΟΑΝΘΡΑΚΕΣ
CH ₄	ΜΕΘΑΝΙΟ
CI	ΈΝΑΥΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

CIDI	ΈΝΑΥΣΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΓΧΥΣΗΣ
CO	ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
CO ₂	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
CO ₂ EQUIV.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ: ΤΟ ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΠΟΣΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΕΚΠΕΜΠΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΘΑ ΠΑΡΗΓΕ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΩΣ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΕΝΟΣ ΑΛΛΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ. ΤΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ
COMPRESSION RATIO	ΣΕ ΕΝΑ ICE, ΕΙΝΑΙ Η ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ ΣΤΟ ΚΑΤΩΤΑΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΟΓΚΟ ΤΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ
CTV	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
EGR	ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ
EPAct	ΝΟΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ 1992
EPRI	ερευνητικό ίδρυμα ηλεκτρικής ενέργειας
EVs	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ
FCV	ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
FFVs	ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
FUEL CYCLE	ΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΕΝΑ ΚΑΥΣΙΜΟ: ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ, ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΕΩΣ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
GASOHOL	ΜΙΓΜΑ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ 10% ΚΑΙ ΒΕΝΖΙΝΗΣ 90% (ΕΠΙΣΗΣ ΑΠΟΚΑΛΟΥΜΕΝΟ E10)
GDI	ΆΜΕΣΗ ΈΓΧΥΣΗ ΒΕΝΖΙΝΗΣ
GHG	ΑΕΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ (Π.Χ. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ, ΜΕΘΑΝΙΟ, ΝΙΤΡΩΔΗ ΟΞΕΙΔΙΑ)
GREET	ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΥΚΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ARGONNE ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ: ΕΝΑΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΣΥΓΚΡΙΝΕΙ ΤΗΝ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ.
GWP	ΤΑ GWPs ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΙ ΩΣ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΟΕΚΥΠΤΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ 1 KG ΕΝΟΣ ΑΕΡΙΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ 1 KG

	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΝΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ
HC	ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ
HEV	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ
ICE	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ
INTERCOOLER	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΨΥΚΤΗΣ
I0	ΕΙΣΟΔΟΣ-ΕΞΟΔΟΣ
IPCC	ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ
ISO	ΔΙΕΘΝΗΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
LC	ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ
LCA*	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
LCC	ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
LDV	ΌΧΗΜΑ ΕΛΑΦΡΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ: ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ Η ΜΙΚΡΑ ΦΟΡΤΗΓΑ
LHV	ΧΑΜΗΛΗ ΚΑΤΩΤΕΡΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟ ΔΥΝΑΜΗ
LIGNOCELLULOSIC ETHANOL	ΑΙΘΑΝΟΛΗ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΖΥΜΩΣΗ ΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ ΠΟΥ ΕΞΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΛΙΓΝΟΚΥΤΑΡΙΝΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ
LIGNOCELLULOSIC FEEDSTOCKS	ΛΙΓΝΟΚΥΤΑΡΙΝΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΎΔΕΣ
LPG	ΥΓΡΟ ΑΕΡΙΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ
LSE	ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΣΕ ΥΓΡΟ ΔΙΑΛΥΤΗ
LSV	ΑΡΓΟΣΤΡΟΦΑ ΟΧΗΜΑΤΑ
MLCA	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΜΙΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΑΠΟ FORD MOTOR COMPANY)
MMBTU	ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΒΡΕΤΑΝΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
MN	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΟΚΤΑΝΙΩΝ ΑΛΛΑ
MON	ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΚΤΑΝΙΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ
MTBE	ΜΕΘΥΛΟ- ΤΡΙΤΟΤΑΓΗΣ ΒΟΥΤΥΛΑΙΘΕΡΑΣ
MEP	ΠΙΕΣΗ ΤΟΥ ΚΥΛΙΝΑΡΟΥ
METHF	ΜΕΤΗΛΤΕΤΡΑΗΥΔΡΟΦΟΥΡΑΝ
N ₂ O	ΝΙΤΡΩΔΕΣ ΟΞΕΙΔΙΟ
NAAQS	ΕΘΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ
NEPA	ΕΘΝΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ
NEVs	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΟΝΤΙΝΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ
NiMH	ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΥΔΡΙΔΙΟ ΝΙΚΕΛΙΟΥ
NMOG	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ ΜΗ-ΜΕΘΑΝΙΟΥ
NMHC	ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ
NHTSA	ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΕΘΝΙΚΗ ΕΘΝΙΚΩΝ ΟΔΩΝ
NO _x	ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ
NREL	ΕΘΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
OCTANE NUMBER	ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΡΟΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΥΤΟ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
O ₃	ΟΖΟΝ
OXYGENATE	ΧΗΜΙΚΟ ΠΟΥ ΠΡΟΣΤΙΘΕΤΑΙ ΣΤΗΝ BENZINΗ ΓΙΑ ΝΑ ΑΥΞΗΣΕΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΟΚΤΑΝΙΩΝ

PAFC	ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ
PEM	ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ
PEEC	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΧΑΝΩΝ
PM	ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ
PM ₁₀	ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟ ΜΕ ΔΙΑΜΕΤΡΟ 10 ΜΜ
PNGV	ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΜΙΑ ΝΕΑ ΓΕΝΕΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
POX	ΜΕΡΙΚΗ ΟΞΕΙΔΩΣΗ
PX-21	ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ ΑΜΟСО
RCRA	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΝΟΜΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
RFG	ΑΝΑΜΟΡΦΩΜΕΝΗ ΒΕΝΖΙΝΗ
RME	ΜΕΘΥΛΕΣΤΕΡΑΣ ΑΠΟ ΕΛΑΙΟΚΡΑΜΒΗ
RON	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΟΚΤΑΝΙΟΥ
RPV	ΠΤΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
QHV	ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΗ ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ
RVP	ΠΙΕΣΗ ΑΤΜΟΥ Reid
SAE	ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ
SETAC	ΚΟΙΝΩΝΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΕΙΑΣ
SFC	ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
SI	ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΜΕ ΣΠΙΝΘΗΡΑ
SIDI	ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΜΕ ΣΠΙΝΘΗΡΑ, ΑΜΕΣΗ ΕΓΧΥΣΗ (ΤΥΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ)
SMDS	ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΕΣΑΙΩΝ ΑΠΟΣΤΑΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ SHELL
SNI	ΜΗ ΙΟΝΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ SHIPP
STP	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
SO ₂	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΘΕΙΟΥ
SOME	ΜΕΘΥΛΕΣΤΕΡΑΣ ΤΗΣ ΣΟΓΙΑΣ
SULEV	ΟΧΗΜΑ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
TDC	ΑΝΩ ΝΕΚΡΟ ΣΗΜΕΙΟ
TLEV	ΟΧΗΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
TRI	ΤΟΞΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ
TURBO LAG	ΥΣΤΕΡΗΣΗ ΣΤΟ ΣΤΡΟΒΙΛΙΟ
ULEV	ΟΧΗΜΑ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
USAMP	ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΗΓΜΕΝΩΝ ΥΑΙΚΩΝ
VOC	ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ
ZEV	ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΗΔΕΝΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

1. Εισαγωγή

Η εισαγωγή νέων καυσίμων στις μεταφορές είναι μια ασυνήθιστη, αβέβαιη και αργή διαδικασία, κυρίως εξαιτίας των δυσκολιών που συναντώνται σε περιπτώσεις μεγάλων μεταβολών σε κοινωνικά και οικονομικά συστήματα στα οποία εισάγονται οι νέες τεχνολογίες. Στη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων, τα καύσιμα των μεταφορικών μέσων ήρθαν να διαδεχτούν τη μυϊκή ανθρώπινη δύναμη, τον άνεμο, την ξυλεία, τον άνθρακα, το πετρέλαιο και τον ηλεκτρισμό. Σε αυτές τις αλλαγές οδηγήθηκε η ανθρωπότητα από το γεγονός ότι τα καύσιμα αυτά αποδείχτηκαν πιο αποδοτικά, αν και η πρωτοβουλία για χρήση τους ανήκει σε ιδιωτικές προσπάθειες. Σήμερα η ενέργεια που δεν παράγεται από το πετρέλαιο φτάνει μόλις το 0.4% της συνολικής ενέργειας που δαπανάται σε μεταφορικά μέσα. Παρόλο που το φυσικό αέριο αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται για το 6% του στόλου των αστικών λεωφορείων και κάποιων δημόσιων οχημάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες, το κόστος των 2 δις δολαρίων που απαιτείται είναι απαγορευτικό για την περαιτέρω εξάπλωση της υποδομής ανεφοδιασμού των οχημάτων.

Τα παράγωγα του πετρελαίου κυριαρχούν στον τομέα των μεταφορών κυρίως εξαιτίας των φυσικών ιδιοτήτων τους που τα καθιστούν εύκολα στη χρήση σε κινητές εφαρμογές. Βασικά χαρακτηριστικά αποτελούν η συμβατότητα με όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης και τους στροβιλοσυμπιεστές, οι οποίοι έχουν υψηλές αναλογίες ισχύος/ βάρους και έτσι είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε οχήματα.

Επιπρόσθετα, υπάρχει ένα βασικό πρόβλημα όταν εισάγεται στην αγορά ένα καινούργιο καύσιμο και αφορά το συντονισμό επενδύσεων στην κατασκευή οχημάτων και στην κατασκευή υποδομής ανεφοδιασμού. Πιο απλά οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις είναι επιφυλακτικοί ως προς την αγορά ενός οχήματος για το οποίο δεν υπάρχει υποδομή ανεφοδιασμού και οι επενδυτές επιφυλάσονται να κατασκευάσουν υποδομή για την οποία πιθανόν να μην υπάρχει ζήτηση. Αυτές οι δυσκολίες έστρεψαν το ενδιαφέρον στην εισαγωγή νέων καυσίμων λιγότερο «εξωτικών» από ότι το υδρογόνο, όπως το φυσικό αέριο.

1.1 Βασικοί λόγοι που οδήγησαν στα Εναλλακτικά Καύσιμα

Η στροφή του βιομηχανικού κόσμου στα εναλλακτικά καύσιμα έγινε σταδιακά και για διάφορες αιτίες, οικονομικές αλλά και κοινωνικές. Οι πιο σημαντικές είναι οι εξής:

- A) Επίδραση της τιμής του αργού πετρελαίου και ανάγκη για ασφάλεια προμήθειας
- B) Περιβαλλοντικοί λόγοι
- Γ) Καινούργιες τεχνολογίες οχημάτων

Δ) Διάκριση των προϊόντων

Συνήθως δεν είναι δυνατή η αλλαγή στην κατανάλωση και στα χαρακτηριστικά ενός καυσίμου καθώς οι βενζίνες και τα πετρέλαια πρέπει να είναι κατάλληλα για υπάρχοντα και παλιότερα οχήματα όπως και για νέες προηγμένες τεχνολογίες. Η είσοδος στην αγορά καινούργιων προηγμένων καυσίμων είναι ακριβή και δύσκολη και έτσι δεν μπορεί να επιτευχθεί σημαντική βελτίωση της ποιότητας.

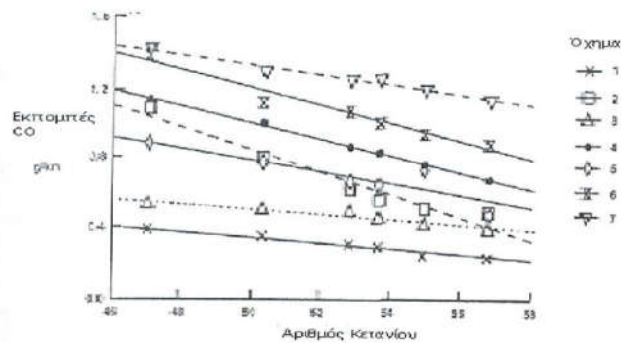
Α) Επίδραση της τιμής του αργού πετρελαίου και ανάγκη ασφάλειας αποθεμάτων

Υπάρχει μεγάλος προβληματισμός όσον αφορά στο μέλλον των τιμών του αργού πετρελαίου τα επόμενα είκοσι με τριάντα χρόνια και αποτελεί σημαντικό ζήτημα καθώς θα επηρεαστεί σημαντικά η κατανάλωση και η ποιότητα της βενζίνης και του πετρελαίου. Εντούτοις παραπάνω από το 50% των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου έχει συγκεντρωθεί στη Μέση Ανατολή και μια ασταθής κατάσταση (π.χ. πόλεμοι, εξεγέρσεις) μπορεί να καταστήσει τις τιμές ευμετάβλητες. Υπάρχει ξεκάθαρα ένας φυσικός περιορισμός στο πετρέλαιο που βρίσκεται στο υπέδαφος, τα υπάρχοντα αποθέματα εξαντλούνται και καθώς νέα κοιτάσματα ανακαλύπτονται πλέον σπανίως και ανακτώνται δύσκολα, οι τιμές διαρκώς αυξάνονται. Μια πιθανότητα ελέγχου της κατάστασης θα ήταν η αντικατάσταση του πετρελαίου με νέα εναλλακτικά καύσιμα, όπως η μεθανόλη, κυρίως εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους εκπεμπόμενους ρύπους και την ασφάλεια των προμηθειών. Είναι όμως πολύ δύσκολο να εφαρμοστούν τα παραπάνω πριν τα μέσα του αιώνα.

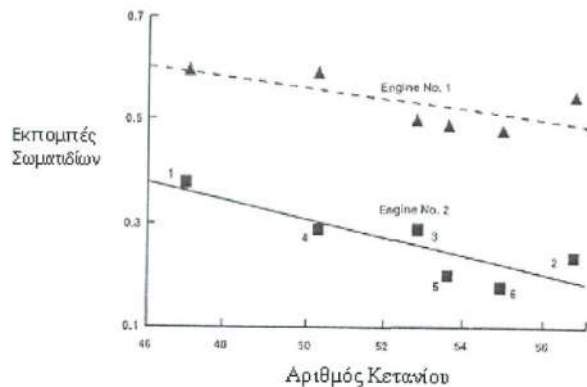
Οι υψηλές τιμές του αργού πετρελαίου μπορεί να οδηγήσουν στη χρήση βαρύτερων κλασμάτων τα οποία είναι φθηνότερα όμως θα έβλαπταν την αγορά καθώς χρησιμοποιούνται περιοριστικά όπως και ο άνθρακας. Θα ήταν όμως αναγκαία η πυρόλυση αυτών των καυσίμων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν από αυτοκίνητα, γεγονός που θα αύξανε τις μεταβολές στην κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου. Αυξημένη πυρόλυση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αστάθεια στην οξείδωση καθώς χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα ναφθένια και αέρια έλαια. Από την άλλη, εξαιτίας των περιορισμών στην ποιότητα όσον αφορά τα οκτάνια και τα κετάνια τέτοιων προϊόντων πυρόλυσης, μια μερίδα αυτών μπορεί να αναβαθμιστεί βελτιώνοντας έτσι την σταθερότητά τους. Χαμηλές τιμές του MON θα μπορούσαν να διορθωθούν με διαδικασίες όπως ο ισομερισμός και η αλκαλίωση.

Κάθε αύξηση σε χρήση προϊόντων πυρόλυσης θα οδηγούσε σε αύξηση των πρόσθετων σε βενζίνη και πετρέλαιο. Αυτά τα πρόσθετα μπορούν να είναι: αντιοξειδωτικά, ειδικά για τη βενζίνη για την πρόληψη της αποικοδόμησης των ολεφινών, βελτιωτικά

κετανίων για την βελτίωση της ποιότητας έναυσης και προσθετικά για τη διατήρηση της καθαρότητας του συστήματος η οποία θα βελτιώσει και την απόδοση. Η ανάγκη για βελτιωτικά κετανίων αναμένεται να επέλθει αργά καθώς απαιτείται η διασφάλιση κατώτερου αριθμού κετανίων ως ένδειξη της ποιότητας του καυσίμου. Η ευρωπαϊκή ένωση κατασκευαστών αυτοκινήτων (ACEAE) πιέζει για πιο αυστηρές προδιαγραφές του αριθμού κετανίων προκειμένου να επιτευχθούν χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων. Συγκεκριμένα το 1994 προτάθηκε ως ελάχιστος αριθμός κετανίων το 53, με ελάχιστο το 50. Δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί σε ελαφριά και βαρέα οχήματα και παρουσιάζονται στα σχήματα 1.1 και 1.2 αποδεικνύουν τη μείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων σε CO και αιωρούμενα σωματίδια καθώς αυξάνεται ο αριθμός κετανίων.



Σχήμα 1.1 Επίδραση του αριθμού κετανίων στις εκπομπές CO σε κινητήρες diesel ελαφρών οχημάτων



Σχήμα 1.2 Επίδραση του αριθμού κετανίων σε κινητήρες diesel βαρέων οχημάτων

Όσο πιο βαθιά γίνεται η εισχώρηση στα πετρώματα για την γεώτρηση του πετρελαίου, τόσο περισσότερο αυξάνεται το ποσό των κρυστάλλων κεριού που θα πρέπει να προστεθεί

προκειμένου να βελτιωθούν οι ιδιότητες της ψυχρής ροής. Τα βαρύτερα παραφινικά κλάσματα που σχηματίζονται καθώς βαθαίνει η γεώτρηση μπορούν να αποβούν ευεργετικά για τον αριθμό κετανίου.

Το υψηλό κόστος του αργού πετρελαίου μπορεί να οδηγήσει σε επανεξέταση της εξοικονόμησης πετρελαίου και τελικά σε χρήση περισσότερων νηζελοκινητήρων. Παρόλα αυτά, βελτιώσεις στην οικονομία του καυσίμου ενός κινητήρα έναυσης συμπίεσης θα εξασφαλίσουν πιθανόν τη συνέχιση της κυριαρχίας των συγκεκριμένων κινητήρων. Κάποιες άλλες μέθοδοι οικονομικής βελτίωσης, όπως η αύξηση του κλάσματος συμπίεσης με υπερπληρωτές, θα αύξαναν τις απαιτήσεις σε οκτάνια, εκτός αν κατέφευγαν σε άλλη λύση, όπως η ευρύτερη χρήση αισθητήρων κρότου του κινητήρα προκειμένου να μειωθεί η φθορά του.

Η ασφάλεια στην προμήθεια της ενέργειας είναι μέγιστης σημασίας για όλες τις κυβερνήσεις και αυτό μπορεί να αποτελέσει απειλή για τα κράτη που δεν έχουν αποθέματα πετρελαίου και θα πρέπει να αντιμετωπίσουν αυξημένες τιμές αργού πετρελαίου. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο ή η βιομάζα καθίσταται απολύτως σημαντική.

B) Περιβαλλοντικοί λόγοι

Οι περιβαλλοντικές πιέσεις θα εξακολουθήσουν να αποτελούν το μέγιστο παράγοντα που θα επηρεάζει την ποιότητα των καυσίμων. Για τη βενζίνη, σε περιοχές όπου χρησιμοποιείται ακόμα ο μόλυβδος, τα ποσοστά του μολύβδου θα συνεχίσουν να επηρεάζονται από οικονομικά κίνητρα. Αυτό, με τη σειρά του θα αποτελέσει εφιαλτήριο για την επίτευξη των απαιτούμενων επιπέδων οκτανίων όπως προκάλεσε και η αύξηση των οξειδίων όπως τα MTBE. Μια πιο αυστηρή επεξεργασία θα οδηγούσε ταχύτερα στη ζητούμενη ποιότητα σε οκτάνια, αλλά οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα υπήρχαν πάλι αφού προτεραιότητες αποτελούν η βελτίωση της απόδοσής και η παραγωγή πολλών αρωματικών ενώσεων. Στα καύσιμα diesel, τα όρια του θείου έχουν μειωθεί προκειμένου να μειωθούν και οι εκπομπές σε οξείδια και αιωρούμενα σωματίδια και επειδή χρησιμοποιείται η επεξεργασία με νερό, βελτιώνεται η σταθερότητα της οξειδωσης.

Εκπομπές καυσαερίων και εξατμιζόμενες εκπομπές θα συνεχίζουν να ελέγχονται με περιορισμούς που θα γίνονται όλο και στενότεροι σε παγκόσμια κλίμακα. Η χρήση αναμορφωμένης βενζίνης πιθανόν να εξαπλωθεί και σε άλλες χώρες που αντιμετωπίζουν προβλήματα με την ποιότητα του αέρα.

Εκπομπές προϊόντων τα οποία προς το παρόν παραμένουν εκτός κλίμακας θα ελέγχονται στενότερα. Υλικά όπως το 1,3 βουταδιένιο και αλδεύδες ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

Οι εκπομπές εξάτμισης της βενζίνης που προέρχονται από τα οχήματα και τη διαδικασία διύλισης θα ελέγχονται πλέον πιο αυστηρά έτσι ώστε τα συστήματα ελέγχου οχημάτων που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες να εξαπλωθούν σε όλο τον κόσμο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θερμοκρασίες των δεξαμενών καυσίμων αυξάνονται ως αποτέλεσμα της πολυπλοκότητας στη σχεδίαση των οχημάτων και επειδή έχουν γίνει εντατικές προσπάθειες προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές εξάτμισης οι οποίες έχουν αυξηθεί δραματικά. Τα συστήματα ελέγχου οχημάτων είναι πιο αποτελεσματικά όσον αφορά τη μείωση των εξατμιζόμενων εκπομπών από ότι οι μεταβολές στην πτητικότητα του καυσίμου. Παρόλα αυτά, επειδή σε κάθε πληθυσμό αυτοκινήτων υπάρχει και ένας αριθμός που ξεφεύγει από τον έλεγχο σε κάθε προσπάθεια μείωσης αυτών των ρυπαντών, τα κατώτερα επίπεδα RPV μπορούν να προκύψουν σε χώρες όπου τα επίπεδα αυτά είναι υψηλά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Κάθε μείωση RPV θα σημαίνει λιγότερο βουτάνιο στη βενζίνη και θα μειώσει την πιθανότητα χρήσης μεθανόλης ως συνθετικό σε νέα καύσιμα.

Η αυξανόμενη χρήση βελτιωτικών, όπως αναφέρθηκε λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή χρήση ολεφινικών ενώσεων, είναι σημαντική για τη διατήρηση της καθαρότητας των συστημάτων έγχυσης καυσίμου της μηχανής από επικαθίσεις οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν διαταραχές στο κλάσμα αέρα-καυσίμου, εμπλοκές στις βαλβίδες και αποφράξεις ακροφυσίων.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι επίσης μια απειλή, η οποία παρόλο που δεν είναι ακόμα πλήρως αποδεδειγμένη, προκαλεί ανησυχίες. Σημαντική αιτία πιστεύεται ότι αποτελεί το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και παρόλο που η κίνηση στους αυτοκινητόδρομους θεωρείται ότι συμβάλει κατά ένα πολύ μικρό ποσοστό στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως, θα μπορούσε να επηρεάσει το μελλοντικό σχεδιασμό και τον τύπο καυσίμων που χρησιμοποιούν. Άλλα καλούμενα αέρια του θερμοκηπίου είναι τα CFC's, το μεθάνιο (CH₄), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) αλλά το CO₂ είναι το πιο σημαντικό και πιο δύσκολο να απομακρυνθεί από πλευράς αυτοκινήτων. Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι: η παρότρυνση για οικονομία στα καύσιμα που μπορεί να σημαίνει στροφή προς τους ντηξελοκινητήρες εάν βέβαια οι υπόλοιπες εκπομπές βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Επίσης στροφή σε καύσιμα με χαμηλότερο κλάσμα άνθρακα-υδρογόνου όπως η μεθανόλη, το LPG, το CNG και άλλα. Το υδρογόνο αναμένεται να

αποδειχτεί καθαρό καύσιμο αλλά η έναυση του σε μηχανές εσωτερικής καύσης προκαλεί οξειδία του αζώτου και η παραγωγή υδρογόνου συνεπάγεται κάποιες εκπομπές CO₂.

Γ) Καινούργιες τεχνολογίες οχημάτων

Όσον αφορά τους κινητήρες με σπινθηριστή, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός προβλεπόμενων βελτιώσεων που μπορεί όμως να αλλάξει την ευαισθησία τους σε αλλαγές στην ποιότητα της βενζίνης, που με τη σειρά της μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά της. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Η αυξανόμενη χρήση ποικίλων συστημάτων μετάδοσης (CTV's) τα οποία εξαιτίας του γεγονότος ότι οι κινητήρες μπορούν και λειτουργούν σε υψηλότερες από την ονομαστική, ταχύτητες, μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα MON.
- Χαμηλότεροι συντελεστές αντίστασης σημαίνει ότι είναι πιο δύσκολη η εισαγωγή ατμών στα τμήματα του κινητήρα για ψύξη. Αυτό θα μπορούσε να αυξήσει τις κατώτερες θερμοκρασίες και να καταστήσει την τελική πτητικότητα της βενζίνης πιο κρίσιμη.
- Παρόλο που οι βελτιωμένοι εγχυτήρες καυσίμου είναι λιγότερο ευαίσθητοι σε ακαθαρσίες, θα συνεχίσει να υπάρχει η ανάγκη για πρόσθετα για να διασφαλιστεί η αποφυγή δημιουργίας στερεών υπολειμμάτων.
- Η εισαγωγή αέρα και εξαγωγή καυσαερίων μπορεί να βελτιωθεί με μεγαλύτερες ή περισσότερες βαλβίδες οι οποίες από την πλευρά τους μπορεί να είναι επιρρεπείς σε προβλήματα που προκύπτουν από επικαθίσεις. Επομένως και σε αυτήν την περίπτωση είναι πιθανή η χρήση προσθετικών.
- Το σύστημα ελέγχου του κινητήρα που είναι ενισχυμένο με αισθητήρες θα είναι σε θέση να διασφαλίσει ότι οι βέλτιστες συνθήκες αναλογίας αέρα-καυσίμου, τα πλεονεκτήματα στη φλόγα κ.τ.λ. βρίσκονται εντός ορίων και αυτό μπορεί να θέσει κάποια ζητήματα ποιότητας καυσίμου όπως τα οκτάνια και το οξυγόνο σε δεύτερη μοίρα. Από την άλλη, οι διαφορές στην επιτάχυνση σε καύσιμα χαμηλού και υψηλού αριθμού οκτανίων σε τέτοια οχήματα μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο προώθησης των οχημάτων στην αγορά και να καταστήσει πιο σημαντικό τον αριθμό οκτανίων αυξάνοντας και τις πωλήσεις υπεραμόλυβδων καυσίμων.
- Η πρωτοποριακή κατασκευή στην Καλιφόρνια των επονομαζόμενων Οχημάτων Χαμηλών Εκπομπών (TLEV), Πολύ Χαμηλών Εκπομπών (ULEV) και Μηδενικών Εκπομπών (ZEV) θα επηρεάσει σίγουρα την ποιότητα των καυσίμων. Καθένας από αυτούς

τους τύπους οχημάτων έχει μια ακολουθία κανονισμών οι οποίοι γίνονται όλο και πιο αυστηροί.

Πολλοί από τους παραπάνω παράγοντες είναι αμφιλεγόμενοι και πλέον θεωρείται απαραίτητο να παρακολουθούνται στενά οι τάσεις προκειμένου να αναδειχθούν αυτές που θα επηρεάσουν περισσότερο την ποιότητα της βενζίνης.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα των κινητήρων συμπίεσης, οι αλλαγές για τη βελτίωση των επιβλαβών εκπομπών περιλαμβάνουν αύξηση του αέρα φόρτισης, μετατροπές στα σημεία και το χρόνο ψεκασμού, επανακυκλοφορία των καυσαερίων, παγίδες σωματιδίων και ηλεκτρονική διαδικασία έναυσης:

- Ο στροβιλοσυμπιεστής προδίδει αυξημένη επίδοση και συγκεκριμένη ισχύ βελτιώνοντας επίσης τη διαδικασία της έναυσης μειώνοντας την υστέρηση και τη συχνότητα του κρότου diesel. Παρόλο που μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση σε μηχανές χαμηλών στροφών μέσω της μηχανικής υπεπλήρωσης και των σύνθετων τεχνικών κυμάτων πίεσης, ο στροβιλοσυμπιεστής θα συνεχίσει να αποτελεί τη πιο συνηθισμένη μορφή φόρτισης των νηξελοκινητήρων.

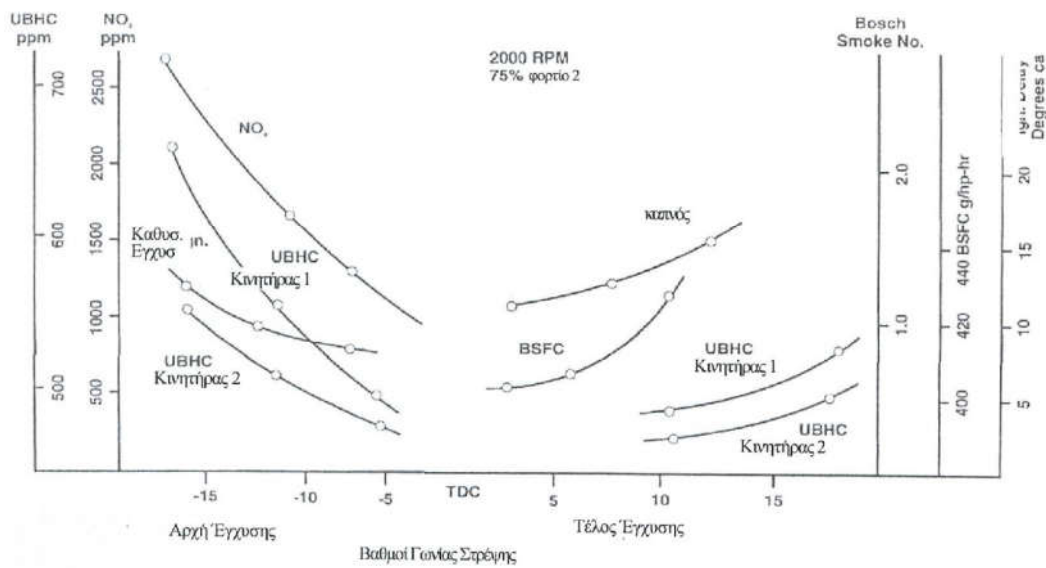
- Σημαντικές μελέτες έχουν λάβει χώρα για την επίδραση του χρόνου ψεκασμού κατά την έναυση του νηξελοκινητήρα και στην εκπομπή καυσαερίων. Επιβραδύνοντας την έναρξη του ψεκασμού μειώνεται η καθυστέρηση της έναυσης όπως επίσης και οι εκπομπές CO, NO_x και άκαυστων υδρογονανθράκων (HC). Από την άλλη, πολλά μπορούν να είναι τα πλεονεκτήματα αναβαθμίζοντας το τέλος της έγχυσης όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, τον καπνό και τα αιωρούμενα σωματίδια όπως και το CO και οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες.

Μειώνοντας τη διάρκεια έναυσης για να επιτευχθούν οι ιδανικές συνθήκες οι οποίες ενδείκνυται από τα αποτελέσματα μελέτης της, προκύπτουν άλλα προβλήματα όπως αύξηση της πίεσης, υψηλή μέγιστη πίεση και NO_x. Πιθανή λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η υψηλότερη πίεση ψεκασμού και τα τροποποιημένα ακροφύσια ψεκασμού, προκειμένου να ελεγχθεί το μέγεθος και η διανομή των σταγονιδίων καυσίμου καθώς και η καύση χωρίς να παραμείνει το καύσιμο στα τοιχώματα του θαλάμου έναυσης.

- Θα μπορούσε πάλι να εφαρμοστεί επανακυκλοφορία των καυσαερίων για τη μείωση των NO_x αλλά αυτό θα επηρεάσει αρνητικά την απόδοση, την κατανάλωση του καυσίμου και τις άλλες εκπομπές.

- Τα συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου κινητήρα έχουν βρει ευρεία εφαρμογή σε κινητήρες έναυσης με σπινθηριστή αλλά η εφαρμογή τους σε κινητήρες diesel είναι πιο

δύσκολη, καθώς σε αυτούς απαιτείται συστήματα έγχυσης υψηλής πίεσης. Παρόλα αυτά οι δυσκολίες έχουν ξεπεραστεί και έχουν αναπτυχθεί ηλεκτρονικοί έλεγχοι από την Stanadyne στις Η.Π.Α. και από άλλους μεγάλους ευρωπαϊούς κατασκευαστές, όπως η Bosch και η Lucas. Πλέον υπάρχουν διαθέσιμα συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου για βαρέα και ελαφριά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων και κινητήρων με συνδυασμό αντλίας ψεκασμού και άλλων συσκευών ψεκασμού.



Σχήμα 1.3 Επίδραση του Χρόνου Έγχυσης στις Εκπομπές των Καυσαερίων

Συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου της Bosch, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε αντλίες ψεκασμού γραμμικών και περιστροφικών κινητήρων, χρησιμοποιούνται από την σουηδική Scania σε κάποιους κινητήρες φορτηγών και από την BMW για τους 2,5 λίτρων, 6 κυλίνδρους κινητήρες με υπερπλήρωση, που εφαρμόζονται σε επιβατικά αυτοκίνητα. Το σύστημα Lucas EPIC για τις αντλίες διανομής ψεκασμού οι οποίες χρησιμοποιούνται από την Ford Motor Company Ltd για 2,5 λίτρους κινητήρες απευθείας έγχυσης σε ελαφριά οχήματα. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η λειτουργία της βοηθητικής αντλίας ψεκασμού η οποία καθορίζει την ποσότητα καυσίμου στους ψεκαστές στον κατάλληλο χρόνο, ρυθμίζεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Η αδυναμία να ρυθμιστεί το εύρος του χρόνου ανάλογα με τις ανάγκες κάθε κυλίνδρου χωριστά και τα αποτελέσματα της συμπίεσής σε σωλήνες υψηλής πίεσης με βοηθητικές αντλίες ψεκασμού, είναι δεσμευτικά που μπορούν όμως να αποφευχθούν με τη χρήση συνδυασμού αντλιών και άλλων συσκευών ψεκασμού. Οι Caterpillar και οι Volvo 12-λιτροι κινητήρες φορτηγών είναι εξοπλισμένοι με συσκευές ηλεκτρονικού ψεκασμού Lucas (EUI) αλλά και η Bosch έχει αναπτύξει τέτοια τεχνολογία. Ηλεκτρονικά σήματα δίνουν τη θέση του πεντάλ του επιταχυντή, του στροφαλοφόρου και του εκκεντροφόρου άξονα, των θερμοκρασιών και της ταχύτητας της μηχανής σε διάφορες θέσεις χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν του ιδανικού χρόνου έγχυσης και της ποσότητας σε κάθε κύλινδρο.

Δ) Διαφοροποίηση των προϊόντων

Ένα πλεονέκτημα στην προώθηση ενός καυσίμου είναι ο ισχυρισμός ότι αυτό είναι καλύτερο καθώς έχει πλεονεκτήματα που δεν συναντώνται σε άλλα καύσιμα. Κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να επιτευχθεί αλλάζοντας απλά κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του καυσίμου όπως η πτητικότητα, επειδή αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει τροχοπέδη στις συμφωνίες μεταξύ εταιριών. Θα κατέστρεφε την αξιοπιστία όσον αφορά την προμήθεια τους σε καύσιμο της ίδιας ποιότητας. Η χρήση βελτιωτικών προκειμένου να διαφοροποιηθεί η μια εταιρία από την άλλη είναι πιθανή και χρησιμοποιείται ευρέως. Τα βελτιωτικά προστίθενται στα καύσιμα πριν τη διανομή τους στα πρατήρια και αποτελούν αντικείμενο συμφωνίας για τη διασφάλιση της ποιότητας. Φαίνεται πιθανό ότι η χρήση βελτιωτικών για αυτό το σκοπό θα συνεχιστεί και θα επεκταθεί.

1.2 Εναλλακτικά Καύσιμα – Μια γενική προσέγγιση

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων είναι διαδεδομένη εδώ και αρκετά χρόνια, όπως για παράδειγμα η χρήση προπανίου και βουτανίου (LPG) σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες και αιθανόλης στη Βραζιλία. Παρόλο που κάθε υποκατάστατο της βενζίνης θα πρέπει να είναι είτε αέριο είτε πτητικό, στον κινητήρα συμπίεσης έναυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς καύση μεγάλη ποικιλία καυσίμων, από κονιορτοποιημένο άνθρακα σε κατάλοιπα πετρελαίου και μεσαία αποστάγματα έως και αέρια. Παρόλο λοιπόν που οι μεγάλοι, αργόστροφοι κινητήρες λειτουργούν συνήθως με δυο- τρεις τύπους καυσίμων, οι απαιτήσεις σε απόδοση και ευελιξία των κινητήρων diesel σε κινητές εφαρμογές, έχουν επηρεάσει και ορίσει την ποιότητα των καυσίμων σε μεσαίων αποσταγμάτων υδρογονάνθρακες. Τέτοια καύσιμα μπορούν να ανακτηθούν από άλλες εναλλακτικές πηγές όπως αναφέρεται παρακάτω. Η

περιβαλλοντική όμως μέριμνα επιβάλλει μερική ή και ολική ακόμα αντικατάσταση των καυσίμων με βάση το πετρέλαιο για τους νηξελοκινητήρες. Μελέτες πάνω σε αυτό έχουν γίνει σε πολλά μέρη του κόσμου. Εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να αποτελέσουν τα φυτικά έλαια από ελαιοπυρήνες και σόγια, η μεθανόλη και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG).

Οι βασικότεροι λόγοι για τους οποίους παρουσιάζει ενδιαφέρον η χρήση εναλλακτικών καυσίμων συνοψίζονται παρακάτω:

- Για να εξασφαλιστεί η ομαλή μετάβαση σε άλλα καύσιμα όταν τα αποθέματα αργού πετρελαίου θα έχουν μειωθεί δραματικά.
- Για να διασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη ασφάλεια δεδομένου ότι τα μισά αποθέματα αργού πετρελαίου προέρχονται από τη Μέση Ανατολή.
- Για να βελτιωθεί η ποιότητα αέρα αν ληφθεί υπόψη ότι από τα εναλλακτικά καύσιμα προκύπτουν καθαρότερα καυσαέρια όπως παραδείγματος χάρη από τη χρήση μεθανόλης αντί βενζίνης. Παρόλα αυτά οι βελτιώσεις στις εκπομπές καυσαερίων των αναμορφωμένων βενζινών θα καθυστερήσουν την γενική εισαγωγή των εναλλακτικών καυσίμων στην αγορά.
- Για να ξεπεραστεί η έλλειψη του φτωχού αργού πετρελαίου σε συνδυασμό με την ασταθή ισορροπία των τιμών. Εξαιρετικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση της αιθανόλης ως καύσιμο οχημάτων στη Βραζιλία, όπου το ακριβό αργό πετρέλαιο έπρεπε να εισαχθεί ενώ η αιθανόλη μπορούσε να παραχθεί σχετικά φθηνά, όταν οι παγκόσμιες τιμές της ζάχαρης είναι χαμηλές, από τη ζύμωση του ζαχαροκάλαμου.

Ένας άλλος τύπος εναλλακτικού καυσίμου που θα πρέπει να αναφερθεί και παρουσιάζει ενδιαφέρον σε στρατηγικές εφαρμογές, είναι ένα πετρέλαιο που προέκυψε από μεγάλο εύρος βρασμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια πολέμου σε διάφορους νηξελοκινητήρες. Δυστυχώς όμως ένα τέτοιο καύσιμο έχει μικρό αριθμό οκτανίων και κετανίων και άλλα μειονεκτήματα όπως τάση σχηματισμού υπολειμμάτων, χαρακτηριστικά που το καθιστούν ακατάλληλο για εφαρμογές σε κινητήρες με σπινθηριστή και κινητήρες συμπίεσης έναυσης. Παρόλα αυτά, η ικανότητα λειτουργίας υπό τέτοιες συνθήκες αποτελεί προϋπόθεση για κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές. Ο νηξελοκινητήρας είναι πιο ευέλικτος σε τέτοιες μετατροπές από ότι ο κινητήρας με σπινθηριστή.

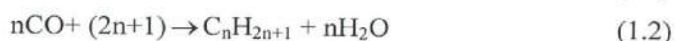
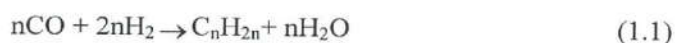
1.3 Εναλλακτικά του Πετρελαίου Ορυκτά Καύσιμα

Σε ορισμένες περιοχές, και ιδιαίτερα στην Βόρεια Αμερική, βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες πίσσα και διάφορα ορυκτέλαια και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχουν γίνει

κάποιες έρευνες που αφορούν τη χρήση καυσίμων που προέρχονται από αυτά. Η ανάκτηση όμως αξιοποιήσιμων καυσίμων από αυτά είναι ιδιαίτερα δύσκολη και δαπανηρή επειδή η απόδοση τους είναι χαμηλή και η συμπεριφορά τους πολύ διαφορετική από αυτή των συμβατικών καυσίμων. Παρόλα αυτά τα μεγάλα αποθέματα που προβλέπεται να ανακαλυφθούν αποτελούν μια σημαντική πηγή υδρογονανθράκων για καύσιμα σε μέσα μεταφοράς.

1.4 Συνθετικά Καύσιμα Υδρογονανθράκων

Η διαδικασία Fischer-Tropsch για παραγωγή συνθετικών υδρογονανθράκων από μονοξειδίο του άνθρακα και υδρογόνο, ανακαλύφθηκε το 1925. Το αέριο σύνθεσης που προκύπτει μπορεί να ανακτηθεί από πολλές διαφορετικές πηγές, συμπεριλαμβανομένου του στερεού άνθρακα και του φυσικού αερίου, από αναμόρφωση με ατμό ή μερική οξειδωση και πρέπει να περιέχει υδρογόνο και άνθρακα σε αναλογία περίπου δύο προς ένα. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία Fischer-Tropsch είναι οι παρακάτω:



Τα προϊόντα μπορούν να ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τις συνθήκες αντίδρασης και τους καταλύτες που χρησιμοποιούνται. Οι υγροί υδρογονάνθρακες μπορούν να εξευγενιστούν μέσω συμβατικών τεχνικών για παραγωγή βενζίνης, πετρελαίου diesel και άλλων προϊόντων.

Στη νότια Αφρική χρησιμοποιείται ευρέως η διαδικασία SASOL από το 1955. Άνθρακας, ατμός και οξυγόνο αντιδρούν μαζί σε πίεση 30 atm σε αεριοποιητές Lurgi για να παράγουν αέριο σύνθεσης το οποίο αργότερα μέσω των αντιδράσεων Fischer-Tropsch και παρουσία κατάλληλου καταλύτη θα μετατραπεί στο ζητούμενο μείγμα υδρογονανθράκων. Η διαδικασία έχει χαμηλή απόδοση και χρησιμοποιείται μόνο εκεί που η προμήθεια αργού πετρελαίου κρίνεται ανεπαρκής.

Μια νέα εφαρμογή της διαδικασίας Fischer-Tropsch είναι η παραγωγή υγρών υδρογονανθράκων υψηλής ποιότητας από το φυσικό αέριο, παρουσία καταλύτη. Αυτή είναι η επανομαζόμενη διαδικασία Σύνθεσης Μεσαίων Αποσταγμάτων της Shell (SMDS).

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά της Κηροζίνης και το Αερίου Ελαίου από τη Διεργασία Σύνθεσης Μεσαίων Αποσταγμάτων της Shell (SMDS)

Συνιστώσα Κηροζίνης	Εύρος Χαρακτηριστικής Ιδιότητας
Εύρος Βρασμού °C	150 με 250
Πυκνότητα kg/m ³	740 με 760
Σημείο Πήξης °C	-47 με -30
Σωματίδια Καπνού mm	50
Συνιστώσα Αερίου Ελαίου	
Εύρος Βρασμού °C	250 με 360
Πυκνότητα kg/m ³	770 με 790
Ελάχιστη Θερμοκρασία ροής °C	+10 με -10
Αριθμός κετανίου Άλεσης	70 με 80

Η διαδικασία SMDS είναι μια διαδικασία δυο σταδίων η οποία μετατρέπει ένα αέριο μίγμα μονοξειδίου του άνθρακα σε προϊόντα καθαρά παραφινικά, απαλλαγμένα από θείο και άζωτο. Τα προϊόντα είναι κυρίως μέσα αποστάγματα, κηροζίνη και LPG με κάποια υψηλά ναφθεϊνικά κλάσματα τα οποία είναι κατάλληλα για ανάμιξη με τη βενζίνη μετά την αύξηση του αριθμού οκτανίων με κατάλυση. Ενδεικτική τιμή αποσύνθεσης είναι 60% LPG, 25% κηροζίνη και 15% ναφθεϊνικά αποστάγματα.

Η εκχύλιση σε υγρό διαλύτη (LSE) του άνθρακα για την παραγωγή αρωματικών αλυσίδων είναι μια ακόμα σημαντική διαδικασία από την οποία θα μπορούσε να παραχθούν καύσιμοι υδρογονάνθρακες.

Η διαδικασία παραγωγής βενζίνης από μεθανόλη ερευνάται στη Νέα Ζηλανδία και είναι εναλλακτική της διεργασίας Fischer- Tropsh.

1.5 Φυτικά έλαια ως καύσιμα για κινητήρες Diesel

Τα φυτικά έλαια αποτελούν ακόμα μια εναλλακτική του πετρελαίου diesel και έχουν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ανάγκης σε κάποια αφρικανικά και ασιατικά κράτη κατά την

περίοδο 1939-45. Πιο πρόσφατες μελέτες συμπεριλαμβάνουν τη χρήση τους και σε πιο αναπτυσσόμενα κράτη προκειμένου να καταστήσουν τους αγρότες πιο ανεξάρτητους του πετρελαίου diesel, μειώνοντας ταυτόχρονα και την εξάρτηση σε εισαγόμενο αργό πετρέλαιο.

Το ενδιαφέρον προς τα φυτικά έλαια δεν εκδηλώνεται μόνο στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα αναγνωρίζει φορολογικά προνόμια στα βιοκαύσιμα όπως η αιθανόλη, η μεθανόλη και τα κατάλοιπα από αγροτικά προϊόντα με σκοπό να δώσουν το κίνητρο για τη χρήση τους και να κρατήσουν χαμηλές τις τιμές. Παρόλα αυτά, ένα προτεινόμενο πιλοτικό πρόγραμμα, το οποίο ξεκίνησε το 1995 έδωσε την ευκαιρία στα κράτη-μέλη της να επιλέξουν χαμηλή φορολογία στα βιοκαύσιμα και όχι στην αμόλυβδη βενζίνη, όπως θα περίμενε κανείς.

Οι εκτιμήσεις πιθανών βιοκαυσίμων από φυτικές σοδιές κάλυψαν ένα ευρύ φάσμα εναλλακτικών εφαρμογών σε δοκιμές κινητήρων και οχημάτων, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται παρακάτω:

- 100% φυτικά έλαια
- Μείγματα με συμβατικά καύσιμα diesel
- Μείγματα διαφορετικών φυτικών ελαίων
- Μεθυλεστέρες των φυτικών ελαίων
- Γαλακτώματα νερού-φυτικών ελαίων

Στην Ευρώπη, το ενδιαφέρον στρέφεται περισσότερο σε ελαιοκράμβη ως βασική πηγή καυσίμου. Παρόλο που δεν υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις οικονομικών ή περιβαλλοντικών οφελών, έχει ενταχθεί η διαδικασία παραγωγής όπου μεγάλος αριθμός στρεμμάτων γης πρόκειται να ενταχθεί στην παραπάνω διαδικασία. Καύσιμα που περιέχουν διάφορα επίπεδα μεθυλεστέρων από ελαιοκράμβη (RME ή RSME) δοκιμάζονται στη Γαλλία, όπου λειτουργούν αρκετοί στόλοι λεωφορείων με μίγμα που περιέχει 30% RME. Η χρήση 100% RME ως καύσιμο ενθαρρύνθηκε στην Αυστρία επειδή είναι βιοδιασπώμενο.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες η σόγια και τα φιστίκια χαίρουν ιδιαίτερης εκτίμησης ως πιθανές πηγές εναλλακτικών καυσίμων για κινητήρες diesel. Έχουν λάβει χώρα δοκιμές με σογιέλαιο, φιστικέλαιο και μεθυλεστέρα της σόγιας (SOME).

Οι ιδιότητες αυτανάφλεξης των φυτικών ελαίων είναι παρόμοιες με αυτές του πετρελαίου diesel αλλά τα ιξώδη τους είναι γενικά σημαντικά υψηλότερα. Δοκιμές σε μονοκύλινδρους κινητήρες εσωτερικής καύσης απέδειξαν ότι το σογιέλαιο και το φιστικέλαιο αποδίδουν ικανοποιητικά χρησιμοποιώντας τον ίδιο εξοπλισμό έγχυσης. Υπήρξε μια μικρή απώλεια ισχύος από τη χρήση φιστικέλαιου σε σχέση με το σογιέλαιο και το diesel No2 ASTM. Τα επίπεδα καπνού ήταν κατά 10% χαμηλότερα ως προς το περιεχόμενο σε ενέργεια

των φυτικών ελαίων. Τα επίπεδα NO_x ήταν παρόμοια και για τα τρία καύσιμα αλλά επιτεύχθηκαν μειώσεις όταν άλλαζαν τα μεγέθη των ακροφυσίων. Αντίστοιχα λειτούργησε και ο σχηματισμός HC.

Μια εναλλακτική προσέγγιση της μείωσης της εξάρτησης από το εισαγόμενο αργό πετρέλαιο ή τα ραφινρισμένα προϊόντα του ήταν η χρήση των φυτικών ελαίων συμπληρωματικά με το diesel. Υπήρξε αντικείμενο αρκετών μελετών η απόδοση ενός λεωφορείου με διάφορα μίγματα σογιέλαιου και πετρελαίου diesel.

1.6 Καθαρές Αλκοόλες ή Αλκοόλες με Προσμίξεις ως Εναλλακτικά Καύσιμα

Δυο αλκοόλες, η μεθανόλη και η αιθανόλη είναι κατάλληλες ως εναλλακτικά καύσιμα για εφαρμογές σε οχήματα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα που προέρχονται από το αργό πετρέλαιο, είναι ότι προκύπτουν από πηγές οι οποίες είναι σε παγκόσμια κλίμακα διαδεδομένες σε αντίθεση με το αργό πετρέλαιο το οποίο βρίσκεται συγκεντρωμένο στη Μέση Ανατολή. Επιπρόσθετα, οι πρώτες ύλες είναι ανανεώσιμες ή διαρκούν περισσότερο από ότι το αργό πετρέλαιο, λαμβανομένου υπόψη του γεγονότος ότι η μεθανόλη προέρχεται από φυσικό αέριο και άνθρακα και η αιθανόλη από το μετασχηματισμό των αγροτικών προϊόντων.

Άλλο ένα πλεονέκτημα αυτών των καυσίμων είναι η πιθανότητα επίτευξης χαμηλότερων εκπομπών καυσαερίων σε σχέση με τους υδρογονάνθρακες και αυτό σε συνδυασμό με τη χαμηλή δραστηριότητα τους στο σχηματισμό φωτοχημικών οξειδωτικών τις καθιστά ελκυστικές σε περιοχές με υψηλή ατμοσφαιρική ρύπανση.

Το κύριο μειονέκτημά τους είναι το χαμηλό ενεργειακό τους περιεχόμενο σε σχέση με τη βενζίνη και το πετρέλαιο diesel. Παρόλα αυτά, το μειονέκτημα αυτό μπορεί να εξαλειφθεί με κατάλληλο σχεδιασμό του κινητήρα. Ένα ακόμη μειονέκτημά τους είναι ότι δεν είναι αρκετά πτητικές ώστε να χρησιμοποιηθούν στην ψυχρή εκκίνηση κινητήρων με σπινθηριστή, εκτός βέβαια αν προηγηθεί προθέρμανση, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσμίξεις με μικρές ποσότητες βενζίνης ή άλλες προσμίξεις για να αντιμετωπιστούν τέτοια προβλήματα. Μερικές φυσικές και χημικές ιδιότητες της μεθανόλης και της αιθανόλης συνοψίζονται στον πίνακα 1.2.

Στη Βραζιλία, χρησιμοποιείται με επιτυχία αιθανόλη με 5% περιεχόμενο νερό σε οχήματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί για αυτό το σκοπό. Αυτή η αιθανόλη έχει προέλθει από το μετασχηματισμό του ζαχαροκάλαμου και παρόλο που η παραγωγή του είναι σχετικά

ακριβή, υπήρξε αρκετά ελκυστική σε αυτή τη χώρα επειδή την καθιστά ανεξάρτητη από εισαγωγές αργού πετρελαίου. Εντούτοις, όταν η τιμή της ζάχαρης αυξήθηκε και έγινε εκμεταλλεύσιμο ένα τοπικό κοιτάσμα αργού πετρελαίου, η παραπάνω λύση έγινε αντιοικονομική και υπήρξε η ανάγκη προμοδότησής της. Η περίπτωση χρήσης βιοκαυσίμων μελετήθηκε εκτεταμένα και προέκυψε το συμπέρασμα ότι το οικονομικό ισοζύγιο είναι τόσο ευαίσθητο που καθιστά την αιθανόλη εξαρτημένη από τις επιχορηγήσεις, το ισοζύγιο CO₂ είναι αρνητικό και δεν υπάρχουν ουσιαστικά ενεργειακά κέρδη. Παρόλο που η βιοαιθανόλη παράγει χαμηλότερες εκπομπές HC και CO, τα NO_x και οι αλδεϋδες που εκλύονται κατά την καύση της είναι σημαντικά. Στις Η.Π.Α., στη Δυτική Γερμανία, Ιαπωνία και Νέα Ζηλανδία το ενδιαφέρον στις αλκοόλες στρέφεται περισσότερο στη μεθανόλη λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής και την εύκολη προμήθεια πρώτων υλών.

Πίνακας 1.2 Χαρακτηριστικά της Αιθανόλης και Μεθανόλης ως Εναλλακτικά Καύσιμα

	Μεθανόλη	Αιθανόλη	Βενζίνη
Περιεχόμενο Οξυγόνο, wt %	50	34,8	0
Σημείο Βρασμού °C	65	78	35-210
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη, MJ/kg	19,9	26,8	Περίπου 42,7
Θερμότητα Ατμοποίησης, MJ/kg	1,17	0,93	Περίπου 0,18
Στοιχειομετρική Αναλογία Αέρα/ Καυσίμου	6,45:1	9:1	Περίπου 14,6:1
Ειδική Ενέργεια, MJ/kg ανά κλάσμα A/K	3,08	3,00	Περίπου 2,92
RON	109	109	90-100
MON	89	90	80-90

1.7 Αέρια Καύσιμα για Κινητήρες: Φυσικό Αέριο και Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου (LPG)

Το φυσικό αέριο και το υγροποιημένο αέριο του πετρελαίου (LPG) χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη έκταση ως καύσιμα οχημάτων για περισσότερα από 50 χρόνια. Καίγονται χωρίς κατάλοιπα, είναι οικονομικά και άφθονα σε πολλά σημεία του πλανήτη. Έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη Ρωσία, την Αργεντινή, την Ιταλία, την Ολλανδία, τον Καναδά, τη Νέα Ζηλανδία και τις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά και σε πολλές ακόμη χώρες. Μέχρι προσφάτως, το μόνο κίνητρο για τη χρήση αυτών των καυσίμων ήταν οικονομικό: το

χαμηλό κόστος του φυσικού αερίου και του LPG συγκρινόμενο με αυτό της βενζίνης και του diesel κατέστησαν ελκυστική τη χρήση τους σε εφαρμογές όπως ταξί, όπου η οικονομία καυσίμου ήταν σημαντική για να επικαλύψει το υψηλό κόστος αποθήκευσης και συμπίεσης. Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον στράφηκε στα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη των αέριων καυσίμων. Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία για αέρια καύσιμα και οχήματα, νέες τεχνολογίες και διεθνή πιστοποίηση των κυλίνδρων αποθήκευσης συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) καθώς και η παραγωγή νέων οχημάτων κατασκευασμένων από αυτοκινητοβιομηχανίες συνδυάστηκαν για να αναδείξουν τις προοπτικές αγοράς αυτών των καυσίμων. Πλέον όλες αυτές οι τεχνολογίες βρίσκονται στο στάδιο της εξέλιξης.

Συμβατικά

1.8 Αναμορφωμένη Βενζίνη και άλλα Συνθετικά Καύσιμα

Ακόμα μια λύση η οποία υπαγορεύεται από τις ανάγκες για καύσιμα πιο φιλικά στο περιβάλλον αλλά το ίδιο αποδοτικά είναι η αναμορφωμένη ή «καθαρή» βενζίνη και τα συνθετικά καύσιμα P-series. Η αναμορφωμένη βενζίνη προέρχεται από τη συμβατική από την οποία όμως έχουν αφαιρεθεί κάποιοι ρυπαντές και στη θέση τους προστέθηκαν κάποια άλλα στοιχεία προκειμένου να διατηρηθεί ο ίδιος αριθμός οκτανίων ή ακόμα και να αυξηθεί. Δεν είναι τυποποιημένο προϊόν αλλά ποικίλει ανάλογα με την εταιρία που την παράγει καθώς κάθε εταιρία έχει την ευρεσιτεχνία της σε αυτόν τον τομέα.

Τη σειρά P αποτελούν συνθετικά καύσιμα τα οποία αναπτύχθηκαν υπό την αιγίδα του Αμερικανικού Υπουργείου Ανάπτυξης. Πρόκειται για μίγματα των υγρών του φυσικού αερίου, όπως πεντάνιο, της αιθανόλης και ενός αερίου (MeTHF) παραγόμενου από βιομάζα. Χρησιμοποιούνται και ως εναλλακτικά καύσιμα αλλά κυρίως ως πρόσθετα καυσίμων προκειμένου να ενισχύσουν την ανάφλεξη σε ψυχρές καιρικές συνθήκες και προορίζονται για χρήση σε ευέλικτα οχήματα.

1.9 Άλλες μορφές Εναλλακτικών Καυσίμων

Πέραν των υγρών και αέριων καυσίμων που προαναφέρθηκαν, ως κινητήρια δύναμη ενός οχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ηλεκτρισμός αλλά και το υδρογόνο. Ο ηλεκτρισμός είναι ίσως η πιο σημαντική ανακάλυψη του 20^{ου} αιώνα και φυσικά οι εφαρμογές του δεν θα μπορούσαν να λείπουν από τον τομέα των μεταφορών. Παράγεται από ποικίλες πηγές πρωτογενούς και δευτερογενούς ενέργειας, όπως ορυκτά καύσιμα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η παραγωγή του αθροιστικά είναι οικονομική και οι συνολικοί ρύποι που αφήνει είναι ελάχιστοι μπροστά στα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα. Ηλεκτρικά και υβριδικά



αυτοκίνητα έχουν κάνει την εμφάνισή τους τις τελευταίες δεκαετίες και διεκδικούν επάξια πλέον ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

Το υδρογόνο αποτελεί το στοιχείο της φύσης που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία. Το μόριο του έχει απλή μορφή και αυτό του προσδίδει ιδανική συμπεριφορά ως καύσιμο. Οι ρύποι που εκπέμπει αποτελούνται συνήθως μόνο από νερό οπότε είναι άκρως φιλικό προς το περιβάλλον. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κινητήρες εσωτερικής καύσης ή σε κυψέλες καυσίμου όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. Υπάρχει δυνατότητα παραγωγής του με διάφορες τεχνολογίες και από ποικίλες πρώτες ύλες οπότε παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον, παρόλο που μέχρι στιγμής η παραγωγή του κοστίζει ακριβά σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

2^ο Κεφάλαιο: Εναλλακτικά Καύσιμα Αναλυτικά

2.1 Βιομάζα

Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο οργανικής ύλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων.

Στην πράξη υπάρχουν δυο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Οι υπολειμματικές μορφές βιομάζας διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- υπολείμματα που παραμένουν στον αγρό ή το δάσος μετά τη συγκομιδή του κύριου προϊόντος. Τέτοιου είδους υπολείμματα είναι τα βαμβακοστελέχη, τα κλαδοδέματα και τα στάχυα.
- Υπολείμματα γεωργικών και δασικών βιομηχανιών όπως ελαιοπυρήνες υπολείμματα εκκοκκισμού, πριονίδια, κ.ά.
- Βιομηχανικά κι αστικά απόβλητα (το οργανικό τμήμα τους).

2.1.1 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα, ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων και άλλα.

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων θεωρούνται επίσης ενεργειακές καλλιέργειες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα κι ο ηλιάνθος όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και biodiesel).

Οι «νέες» ενεργειακές καλλιέργειες είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης κι αναφέρονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις γεωργικές και τις δασικές. Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται περαιτέρω σε ετήσιες και πολυετείς.

Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Δύο είδη ευκαλύπτων
- Ψευδακακία

Γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες

- Καλάμι
- Μίσχανθος
- Αγριαγκινάρα
- Switchgrass

- Ετήσιες

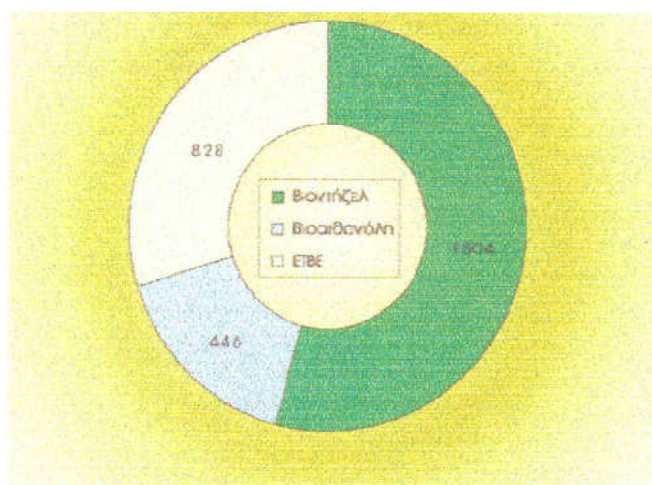
- Γλυκό και κυτταρινούχο σόργο
- Κενάφ
- Ελαιοκράμβη
- Ηλίανθος
- Σιτάρι
- Ζαχαρότευτλα
- Αραβόσιτος
- Κριθάρι

Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Σήμερα, ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται συνήθως για υγρά καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα των μεταφορών. Τα βιοκαύσιμα είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά γιατί έχουν λιγότερες εκπομπές, χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες και συμβάλλουν στη μείωση των εισαγωγών συμβατικών καυσίμων και στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. Τα πιο συνηθισμένα είναι το biodiesel και η βιοαιθανόλη και οι κύριες καλλιέργειες από τις οποίες προκύπτουν είναι ο ηλίανθος, το βαμβάκι, η σόγια και η ελαιοκράμβη για biodiesel και το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, το τεύτλο και το γλυκό σόργο.

2.1.2 Αγορά βιοκαυσίμων

Το Μάιο του 2003 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε μια νέα Οδηγία (2003/30/EK) σχετικά με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές. Η οδηγία θέτει συγκεκριμένο ελάχιστο ποσοστό σε αντικατάσταση του diesel και της βενζίνης, το οποίο θα τεθεί σε ισχύ από το 2005. Τα προτεινόμενα ποσοστά για τη διείσδυση των βιοκαυσίμων είναι: για το 2005-2%, για το 2006-2,75%, για το 2007-3,5 %, για το 2008-4,25 % για το 2009-5% και για το 2010-5,75 %.

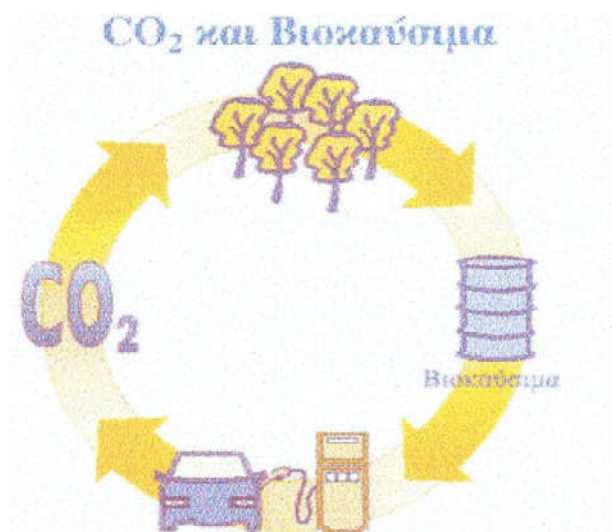
Η συνδυασμένη Ευρωπαϊκή παραγωγή (EE25) και των δυο βιοκαυσίμων ανήλθε σε 1.950.140 τόνους ενώ παράλληλα παρήχθησαν και 828.040 τόνοι αιθυλο-τριτοταγής βουτυλαιθέρας (ETBE)



Σχήμα 2.1 Παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων σε χώρες της ΕΕ25 το 2003

2.1.3 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Βιομάζας

Η αξιοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς είναι υλικό ανεξάντλητο, όντας η ίδια μια «αποθήκη» ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 2.2 Δέσμευση CO₂ με την παραγωγή βιοκαυσίμων

Ακόμη, θεωρείται καύσιμο ουδέτερο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αφού το CO₂ που παράγεται κατά την καύση της δεσμεύεται και πάλι από τα φυτά με τη φωτοσύνθεση, ενώ

συμμετέχει πολλαπλά στο ισοζύγιο του CO₂ δίνοντας τη δυνατότητα δέσμευσης άνθρακα σε οργανική μορφή (στα φυτά και τους άλλους οργανισμούς) και εξοικονόμησης ισοδύναμου ποσού CO₂.

2.2 Biodiesel

Πρόκειται για ένα εγχώριο καύσιμο που είναι ανανεώσιμο και μπορεί να προκύψει από φυτικά έλαια, ζωικά λίπη, ή ανακυκλωμένα λίπη εστιατορίων. Πιο πρόσφατα ο όρος αναφέρεται σε μεθυλεστέρες ή αιθυλεστέρες που παράγονται από φυτικά έλαια ή ζωικά λιπαρά. Το biodiesel θα μπορούσε να μειώσει την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο και να ανακουφίσει από το άγχος των περιορισμένων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Επιπλέον είναι ασφαλές, βιοδιασπώμενο, και μειώνει τους σοβαρούς ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως και τις ασθένειες που συνδέονται με αυτούς.



Σχήμα 2.3: Σπόροι Σόγιας

Γενικά, το biodiesel μπορεί να αποτελέσει υποκατάστατο του πετρελαίου, με κάποια προβλήματα βέβαια σε περιπτώσεις χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών εξαιτίας του υψηλού ιξώδους του και κάποια προβλήματα αποθήκευσης. Μίγματα με 20% biodiesel και 80% πετρέλαιο diesel (B20) μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές diesel χωρίς τροποποιήσεις. Εντούτοις, οι χρήστες πρέπει να συμβουλευθούν τις εγγυήσεις των κινητήρων. Το biodiesel μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με την καθαρή μορφή του (B100), αλλά σε αυτή την περίπτωση μπορεί να απαιτηθούν ορισμένες τροποποιήσεις των κινητήρων για την αποφυγή προβλημάτων συντήρησης και απόδοσης. Εδώ θα πρέπει όμως να αναφερθεί ότι έχει χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με το συμβατικό diesel (117000 σε σύγκριση με 131300 Btu/gal του συμβατικού). Όπως και με τα άλλα καύσιμα, έτσι και με το biodiesel η διαδικασία παράγωγής του είναι ουσιαστική για την τελική ποιότητα των προϊόντων. Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι πρώτες ύλες και κατ' επέκταση οι πιθανές ανάγκες σε καλλιεργήσιμη γη καθώς και η απαιτούμενη υποδομή. Συνήθως την παραγωγή biodiesel συνοδεύουν και δευτερεύοντα προϊόντα. Εάν όμως η αγορά των

δευτερευόντων προϊόντων κορεστεί, οι τιμές τους θα πέσουν και τα βιοκαύσιμα είναι αυτά που θα επιφορτιστούν τελικά την οικονομική διαφορά.

2.2.1 Χαρακτηριστικά Biodiesel

Το biodiesel (αλκυλικοί εστέρες λιπαρού οξέος) είναι ένα «καθαρό» καύσιμο αντικατάστασης του πετρελαίου diesel που παράγεται από φυσικές, ανανεώσιμες πηγές όπως καινούρια ή χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια ή ζωικά λίπη. Τα λίπη και τα έλαια είναι υδρόφοβες ουσίες αδιάλυτες στο νερό και προέρχονται από το φυτικό και ζωικό βασίλειο. Αποτελούνται από ένα mole γλυκερόλης και τρία moles λιπαρών οξέων και αναφέρονται κοινώς ως τριγλυκερίδια. Τα λιπαρά οξέα διαφέρουν ως προς το μήκος της ανθρακικής τους αλυσίδας και ως προς τον αριθμό των ακόρεστων δεσμών, τους διπλούς δηλαδή δεσμούς. Τα φυσικά φυτικά έλαια εκχειλίζονται ή συμπιέζονται για να προκύψει το ακατέργαστο έλαιο. Αυτά συνήθως περιέχουν λιπαρά οξέα, φωσφολιπίδια, στερόλες, νερό, αρωματικές ενώσεις και άλλες ακαθαρσίες. Ακόμα και τα κατεργασμένα έλαια περιέχουν μικρές ποσότητες ελεύθερων λιπαρών οξέων και νερού. Τα παραπάνω επηρεάζουν σημαντικά την μετεστεροποίηση των γλυκεριδίων με τις αλκοόλες χρησιμοποιώντας αλκαλικό ή όξινο καταλύτη. Επίσης επεμβαίνουν και στο διαχωρισμό των λιπαρών οξέων και της γλυκερόλης.



Σχήμα 2.4: Φύτευα Σόγιας

Έχει λάβει χώρα ιδιαίτερη έρευνα που αφορά τη χρήση φυτικών ελαίων ως εναλλακτικά του πετρελαίου diesel. Η έρευνα περιελάμβανε φοινικέλαιο, σογιέλαιο, ηλιέλαιο, έλαιο καρύδας, έλαιο από ελαιοπορρήνες και tung oil, έλαιο του δέντρου aleurites fordii. Επιπλέον εξετάστηκαν έλαια από φύκη, βακτήρια και μύκητες, όπως επίσης και

πλακτό, τερπένιο και κόμμι. Τα ζωτικά λιπαρά, παρόλο που αναφέρονται συχνά δεν έχουν εξεταστεί εκτενώς. Οι μέθοδοι που ισχύουν για τα φυτικά έλαια δεν είναι εφαρμόσιμες στα ζωικά εξαιτίας των διαφορετικών φυσικών ιδιοτήτων. Συνάμα, τα ζωικά λίπη είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου και έχουν ιδιαίτερα υψηλό ιξώδες, γεγονός που προκαλεί επικαθίσεις άνθρακα στη μηχανή. Επιπρόσθετα καθίσταται απαραίτητη η χρήση λιπαντικών με ότι και αν αυτό συνεπάγεται.

Η χρήση του biodiesel σε μια συμβατική μηχανή diesel μειώνει αισθητά τις εκπομπές των άκαυστων υδρογονανθράκων, του μονοξειδίου του άνθρακα, των θεικών αλάτων, των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, των νιτρικών οξέων και των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτές οι μειώσεις αυξάνονται με το ποσοστό αύξησης του biodiesel στο καύσιμο μίγμα. Το biodiesel έχει φυσικές ιδιότητες παρόμοιες με το συμβατικό diesel.

Πίνακας 2.1 Φυσικές Ιδιότητες του Biodiesel

Φυσικές Ιδιότητες Biodiesel:	
Ειδικό Βάρος	0.87 έως 0.89
Κινηματικό Ιξώδες @ 40°C	3.7 έως 5.8
Αριθμός Κετανίου	46 έως 70
Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (btu/lb)	16,928 έως 17,996
Θείο, % κατά βάρος	0.0 έως 0.0024
Θερμοκρασία Νεφελώματος °C	-11 έως 16
Ελάχιστη Θερμοκρασία Ροής °C	-15 έως 13
Αριθμός Ιωδίου	60 έως 135
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη (btu/lb)	15,700 έως 16,735

2.2.2 Παραγωγή Biodiesel

Τα καύσιμα biodiesel μπορούν να προκύψουν από καινούργια ή χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη, τα οποία είναι μη τοξικοί, βιοδιασπώμενοι, ανανεώσιμοι πόροι. Τα λίπη και τα έλαια αντιδρούν χημικά με μια αλκοόλη, με τη μεθανόλη ως πιο συνηθισμένη επιλογή, για να παραγάγουν χημικές ενώσεις γνωστές ως μεθυλικοί εστέρες λιπαρών οξέων.

Το biodiesel είναι το όνομα που δίνεται σε αυτούς τους εστέρες όταν είναι προοριζόμενοι για χρήση ως καύσιμα. Η γλυκερίνη, που χρησιμοποιείται σε φαρμακευτικά είδη και καλλυντικά, μεταξύ άλλων εφαρμογών, παράγεται ως παραπροϊόν.

Πίνακας 2.2: Χημικές Ιδιότητες Φυτικών Ελαίων

Φυτικά Έλαια	Κατά Βάρος Σύσταση Λιπαρών Οξέων (%)											
	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3	Αξία Οξέως	Ppm Φωσφόρου	Αξία Περοξειδίου
Μαμβάκι	11,67	1,85	0,24	0,0	0,0	25,16	0,0	60,6	0,48	0,11	7	18,4
Βαμβακόσπορος	28,33	0,89	0,0	0,0	0,0	13,27	0,0	57,51	0,0	0,07	8	64,8
Ράμβη	2,07	0,7	2,09	0,8	1,12	18,86	58,51	9,0	6,85	0,36	12	26,5
Φιστίκι	11,38	2,39	1,32	2,52	1,23	48,28	0,0	31,95	0,93	0,2	9	82,7
Λαιοκράμβη	3,49	0,85	0,0	0,0	0,0	64,40	0,0	22,3	8,23	1,14	18	30,2
Σογιέλαιο	11,75	3,15	0,0	0,0	0,0	23,26	0,0	55,53	6,31	0,2	32	30,2
Λιάνθος	6,08	3,26	0,0	0,0	0,0	16,93	0,0	73,73	0,0	0,15	15	44,5

Τέσσερις είναι οι βασικές μέθοδοι παραγωγής biodiesel: η άμεση χρήση και άλεση, τα μικρογαλακτώματα, η πυρόλυση και τέλος η μετεστεροποίηση.

Α) Άμεση χρήση και άλεση:

Στην αρχή του 1980 έλαβαν χώρα εκτεταμένες συζητήσεις για τη χρήση φυτικών ελαίων ως καύσιμα. Χαρακτηριστικά ο Bartholomew το 1981 ανέφερε ότι η χρήση τροφίμων για καύσιμα θα γινόταν επιτακτική προκειμένου τα εναλλακτικά και ανανεώσιμα καύσιμα να καταλάβουν τη θέση των συμβατικών. Η πιο εξεζητημένη έρευνα έγινε με ηλιοτρόπια στη Νότια Αφρική όταν της επιβλήθηκε εμπάργκο στο πετρέλαιο. Ενδιαφέρουσα είναι και η περίπτωση των Caterpillars στη Βραζιλία όπου χρησιμοποιήθηκε μίγμα 10% φυτικών ελαίων με diesel και είχε την ίδια απόδοση σε μηχανές diesel χωρίς μετατροπές. Φυτικά έλαια 100% δεν χρησιμοποιήθηκαν ακόμη, αλλά μίγματα 20% φυτικών ελαίων με 80% diesel παρουσίασαν επιτυχία, ενώ περιορισμένα δοκιμάστηκαν και μίγματα αναλογίας 50-50.



Σχήμα 2.5: Φυτείες Ηλίανθου

Ένας στόλος οχημάτων με κινητήρα diesel, εξοπλισμένος με φίλτρα, χρησιμοποίησε λάδι τηγανίσματος. Πιο συγκεκριμένα, το πείραμα συμπεριέλαβε τηγανισμένο λάδι και μίγμα 95% τηγανισμένου λαδιού και 5% diesel. Ήταν αναγκαίο το άλεσμα ή η προθέρμανση των ελαίων για να μπορούν να ανταποκριθούν στις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες του ψυκτικού κυκλώματος και δεν παρουσιάστηκαν προβλήματα σχηματισμού υπολειμμάτων άνθρακα. Η επιτυχία αποδόθηκε στο φίλτρο και το μοναδικό πρόβλημα ήταν η ρύπανση από τα λιπαντικά, τα οποία αύξησαν το ιξώδες εξαιτίας του πολυμερισμού των πολυακόρεστων φυτικών ελαίων. Το λιπαντικό έλαιο έπρεπε να ανανεώνεται κάθε 4000-4500 μίλια.

Μίγματα σογιέλαιου και diesel No2 σε αναλογίες 1:2 και 1:1 δοκιμάστηκαν όσον αφορά την απόδοση της μηχανής και το ιξώδες των λιπαντικών στον στροφαλοθάλαμο σε μια 6-κύλινδρο 6,6 λίτρων, απευθείας έγχυσης με στροβιλοσυμπιεστή μηχανή John Deere για συνολικά 600 ώρες. Η συμπύκνωση του λιπαντικού και η δημιουργία τζέλ παρατηρήθηκε στο μίγμα 1:1 αλλά όχι και στο μίγμα 1:2, το οποίο αποδείχτηκε κατάλληλο για αγροτικές εφαρμογές σε περιόδους μειωμένης διάθεσης πετρελαίου.

B) Μικρογαλακτώματα

Για να λυθεί το πρόβλημα του υψηλού ιξώδους των φυτικών ελαίων μελετήθηκαν μικρογαλακτώματα με διαλυτές όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη και το L-βουτάνιο. Ως μικρογαλάκτωμα ορίζεται ένα κολλοειδές διάλυμα ισοτροπικά οπτικών υγρών μικροδομών με διαστάσεις 1-150 nm που διαμορφώνεται ακαριαία από δυο αμιγή υγρά και ένα ή περισσότερα ιονικά ή μη ιονικά αμφίφιλα. Τα χαρακτηριστικά ψεκασμού του μπορούν να βελτιωθούν με εκτεθειμένη ατμοποίηση χαμηλού βρασμού των κολλοειδών σωματιδίων. Βραχυπρόθεσμες προσπάθειες με τη χρήση ιονικών και μη ιονικών μικρογαλακτωμάτων

υδατοδιαλυτής αιθανόλης στο σογιέλαιο αποδείχτηκαν τόσο αποδοτικές όσο και το diesel No2 παρά το μικρό αριθμό κετανίων και το μικρό ενεργειακό περιεχόμενο.

Ο Zwejewski ετοίμασε ένα γαλάκτωμα με 53% επεξεργασμένο με αλκάλια χειμερινό ηλιέλαιο, 13,3% αιθανόλη 190 οκτανίων και 33,4% 1-βουτανόλη. Αυτό το μονοϊονικό διάλυμα είχε ιξώδες 6,31 cSt στους 40 °C, αριθμό κετανίου 25 και περιεχόμενο σε στάχτη λιγότερο από 0,01%. Αυξάνοντας τη βουτανόλη επιτεύχθηκαν μικρότερο ιξώδες και καλύτερες ιδιότητες ψεκασμού. Το μη ιονικό καύσιμο Shipp (SNI) που περιείχε 50% diesel No2, 25% σογιέλαιο ραφιναρισμένο από αλκάλια, αιθανόλη 190 οκτανίων και 20% 1-βουτανόλη δοκιμάστηκε σε ένα πείραμα 200h και αποδείχτηκε ότι δημιουργεί επικαθίσεις στο εσωτερικό των κυλίνδρων αλλά απέδιδε καλύτερα από μίγμα 25% ηλιέλαιου σε diesel.

Ο Schwab χρησιμοποίησε ένα διάγραμμα ισοζυγίου τριαδικής βάσης και το διάγραμμα του ιξώδους σε σύγκριση με κλάσμα διαλύτη για να καθορίσει το σχηματισμό του γαλακτώματος του καυσίμου. Όλα τα μικρογαλακτώματα με βουτανόλη, εξανόλη, και οκτανόλη ήταν σύμφωνα με τις μέγιστες απαιτήσεις του diesel No2. Η 2-οκτανόλη ήταν ένα αποτελεσματικό αμφίφυλο του κολλώδους διαλύματος μεθανόλης σε τριολεΐνη και σογιέλαιο.

Γ) Θερμική διάσπαση (Πυρόλυση)

Ως πυρόλυση ορίζεται η μετατροπή μιας ουσίας σε μια άλλη μέσω θερμότητας με τη βοήθεια καταλύτη. Περιλαμβάνει θέρμανση απουσία αέρα ή οξυγόνου και μοριακό διαχωρισμό των χημικών δεσμών προς σχηματισμό μικρότερων μορίων. Η χημεία της πυρόλυσης χαρακτηρίζεται δύσκολα εξαιτίας της ποικιλίας των αντιδράσεων και των προϊόντων που μπορεί να συνοδεύουν μια αντίδραση. Το πυρολυθέν υλικό μπορεί να είναι φυτικά έλαια, ζωικά λίπη, φυσικά λιπαρά οξέα και μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων. Η πυρόλυση των λιπών ερευνάται εδώ και 100 χρόνια, ειδικά σε περιοχές με έλλειψη αποθεμάτων πετρελαίου.

περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα οξυγονωμένα καύσιμα. Παράγει υλικά χαμηλής αξίας και καμιά φορά περισσότερη βενζίνη από ότι πετρέλαιο.

Κατά την

Α) Μετεστεροποίηση (Αλκοόληση)

Η εστεροποίηση, γνωστή και ως αλκοόληση είναι η αντίδραση λίπους ή ελαίου προς σχηματισμό εστέρων και γλυκερόλης. Συχνά χρησιμοποιείται καταλύτης για να βελτιώσει την απόδοση της αντίδρασης. Εξαιτίας του γεγονότος της αντιστρεπτότητας της αντίδρασης, χρησιμοποιείται αλκοόλη για να στρέψει την αντίδραση προς την πλευρά των προϊόντων.

από την

και του

Με

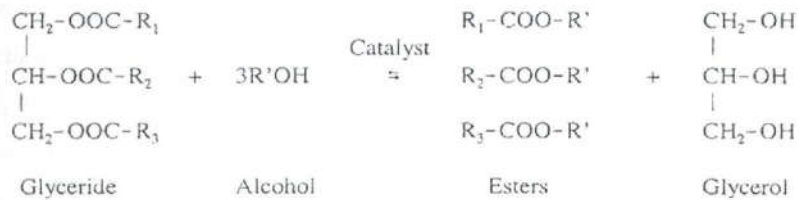
μέγιστο

καθαρό

μονογλυ

επιφέρει

από



Σχήμα 2.7: Μετεστεροποίηση των Τριγλυκεριδίων με Αλκοόλη

Οι αλκοόλες είναι πρωτεύουσες και δευτερεύουσες μονοϋδρικές αλειφατικές ενώσεις με 1 έως 8 άτομα άνθρακα. Κάποιες από τις αλκοόλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία της μετεστεροποίησης είναι η μεθανόλη, η αιθανόλη, η προπανόλη, η βουτανόλη και αμυλική αλκοόλη. Η μεθανόλη και η αιθανόλη χρησιμοποιούνται ευρύτερα, ιδιαίτερα η μεθανόλη εξαιτίας των φυσικών και χημικών πλεονεκτημάτων της. Μπορεί να αντιδράσει άμεσα με τρυγλυκερίδια και το καυστικό νάτριο (NaOH) διαλύεται εύκολα σε αυτή. Για μια πλήρη στοιχειομετρική μετεστεροποίηση απαιτείται αναλογία αλκοόλης-τρυγλυκεριδίων 1:3. Στην πραγματικότητα η αναλογία είναι μεγαλύτερη προκειμένου να οδηγηθεί το ισοζύγιο στη μεριά των προϊόντων, να επιτευχθεί δηλαδή μεγαλύτερη απόδοση. Η αντίδραση μπορεί να καταλυθεί από αλκάλια, οξέα και ένζυμα. Τα αλκάλια συμπεριλαμβάνουν NaOH, KOH, οξειδία του άνθρακα και αντιδρόν αλκοξειδίου του νατρίου ή καλίου, όπως μεθοξειδίου του νατρίου, αιθοξειδίου του νατρίου, προποξειδίου του νατρίου και βουτοξειδίου του νατρίου. Το θειικό οξύ και το υδροχλωρικό οξύ χρησιμοποιούνται συχνά ως καταλύτες οξέος. Ένζυμα αποικοδόμησης των λιπών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως βιοκαταλύτες. Η αλκαλική μετεστεροποίηση είναι πιο γρήγορη από την όξινη και χρησιμοποιείται ευρύτερα. Σε μια αλκαλική μετεστεροποίηση, τα γλυκερίδια πρέπει να είναι απόλυτα άνυδρα, επειδή το νερό στρέφει την αντίδραση προς αντίδραση σαπωνοποίησης. Το σχηματιζόμενο σαπούνι μειώνει την ποσότητα των εστέρων και καθιστά δύσκολο το διαχωρισμό εστέρων,

γλυκερόλης και νερού. Απαιτείται χαμηλό περιεχόμενο ελεύθερων λιπαρών οξέων στα τριγλυκερίδια σε μια αλκαλική μετεστεροποίηση. Αν το περιεχόμενο σε νερό και ελεύθερα λιπαρά οξέα είναι υψηλότερο, μπορεί να γίνει όξινη μετεστεροποίηση. Τα τριγλυκερίδια μπορούν να εξευγενιστούν με τη διεργασία της σαπωνοποίησης, γνωστή και ως αλκαλική επεξεργασία και μετά να εστεροποιηθούν με τη χρήση αλκαλικού καταλύτη.

Τα σημεία βρασμού και τήξης των λιπαρών οξέων, των μεθυλεστέρων, των μονο-, δι- και τριγλυκεριδίων αυξάνονται όσο αυξάνεται και το αριθμός των ανθράκων στις ανθρακικές αλυσίδες, αλλά μειώνονται όσο αυξάνεται ο αριθμός των διπλών δεσμών. Το σημείο τήξης αυξάνεται κατά σειρά στα τρι-, δι- και μονογλυκερίδια εξαιτίας της πολικότητας των μορίων και του δεσμού υδρογόνου.

Μετά την μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων, τα προϊόντα αποτελούνται από ένα μίγμα εστέρων, γλυκερόλης, αλκοόλης, καταλύτη και τρι-, δι-, μονογλυκεριδίων. Η ανάκτηση καθαρών εστέρων δεν ήταν εύκολη, επειδή υπήρχαν ακαθαρσίες στους εστέρες όπως δι- και μονογλυκερίδια. Τα μονογλυκερίδια προκάλεσαν θολούρα (κρυστάλλους) στο μίγμα των εστέρων. Αυτό το πρόβλημα ήταν πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα στην μετεστεροποίηση ζωικών λιπών όπως το βοδινό λίπος. Οι ακαθαρσίες αύξαναν το σημείο νεφελώματος και την ελάχιστη θερμοκρασία ροής. Από την άλλη όμως, υπήρχε μεγάλο ποσοστό κορεσμένων λιπαρών εστέρων στους εστέρες από βοδινό λίπος (περίπου 50 % κ. β.). Αυτή η αναλογία καθιστά το σημείο νεφελώματος και την ελάχιστη θερμοκρασία ροής υψηλότερη από ότι στα φυτικά έλαια. Παρόλα αυτά τα κορεσμένα παράγωγα έχουν άλλες εφαρμογές στα τρόφιμα, στα καθαριστικά και στα καλλυντικά.

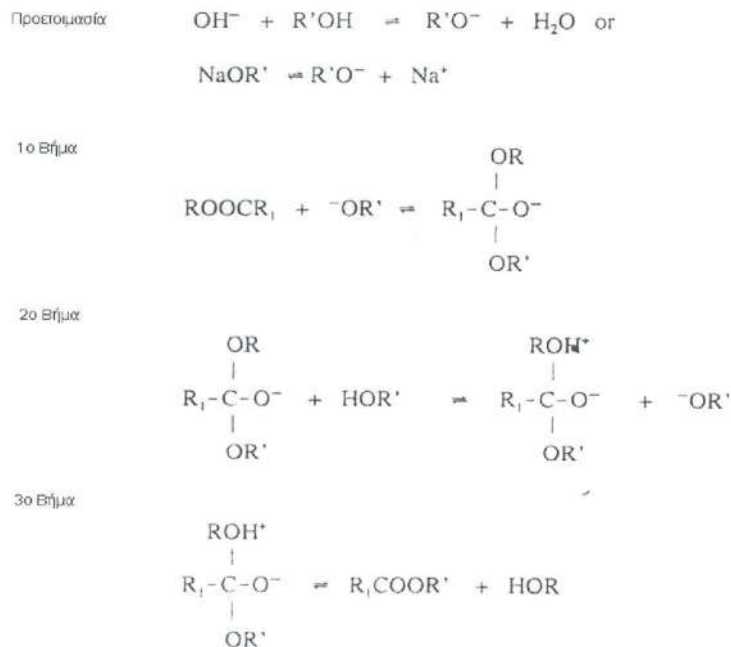
Το δευτερεύον προϊόν, η γλυκερόλη, πρέπει να ανακτηθεί επειδή έχει υψηλή αξία ως βιομηχανικό χημικό όπως η γλυκερόλη CP, η γλυκερόλη USP και η δυναμίτιδα. Η γλυκερόλη διαχωρίζεται βαρυτικά ή φυγοκεντρικά.

Η μετεστεροποίηση είναι η πιο διαδεδομένη διαδικασία παραγωγής biodiesel που χρησιμοποιείται σε Ευρώπη και Αμερική. Χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή μεθυλεστέρων για καλλυντικά και καθαριστικά.

Μηχανισμός και κινητική της αντίδρασης

Η μετεστεροποίηση αποτελείται από ένα σύνολο δευτερευουσών, αντιστρεπτών αντιδράσεων. Το τριγλυκερίδιο μετατρέπεται σταδιακά σε διγλυκερίδιο, μονογλυκερίδιο και τελικά σε γλυκερόλη. Ένα mole εστέρα απελευθερώνεται σε κάθε βήμα. Οι αντιδράσεις είναι αντιστρεπτές παρόλο που το ισοζύγιο είναι μετατοπισμένο προς την παραγωγή εστέρων των λιπαρών οξέων και γλυκερόλης.

Η αντίδραση της αλκαλικής μετεστεροποίησης χωρίζεται σε τρία στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η επίθεση του ανιόντος της αλκοόλης (ιόν μεθοξειδίου) στο καρβονυλικό άτομο του άνθρακα, που λαμβάνει χώρα στο μόριο του τριγλυκεριδίου, προς δημιουργία τετραεδρικούδιάμεσου. Στο δεύτερο στάδιο ο τετραεδρικός ενδιάμεσος αντιδρά με αλκοόλη (μεθονόλη) προς ανάκτηση του ανιόντος της αλκοόλης (ιόν μεθοξειδίου). Στο τελευταίο βήμα, ο επανασηματισμός του τετραεδρικού ενδιάμεσου οδηγεί στο σχηματισμό εστέρα του λιπαρού οξέος και διγλυκεριδίου. Όταν αναμιγνύονται με αλκοόλη το NaOH, το KOH, K₂CO₃ ή άλλοι παρόμοιοι καταλύτες, σχηματίζεται ο πραγματικός καταλύτης, η ομάδα των αλκοξειδίων. Μια μικρή ποσότητα νερού που απελευθερώνεται κατά την αντίδραση της μετεστεροποίησης μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία σαπουνιού. Το σχήμα 2.8 απεικονίζει τη διαδικασία της μετεστεροποίησης.



Σχήμα 2.8: Ο Μηχανισμός Μετεστεροποίησης με Αλκαλικό Καταλύτη των Τριγλυκεριδίων

Συμπερασματικά, περίπου το 55% της βιομηχανίας biodiesel μπορεί να χρησιμοποιήσει ως πρώτη ύλη οποιοδήποτε λίπος ή έλαιο, συμπεριλαμβανομένου του ανακυκλωμένου μαγειρικού λίπους. Το άλλο μισό της βιομηχανίας περιορίζεται στα φυτικά έλαια, το φθηνότερο των οποίων είναι το έλαιο σόγιας. Η βιομηχανία σόγιας είναι η κατευθυντήρια δύναμη πίσω από την εμπορευματοποίηση biodiesel λόγω της πλεονάζουσας παραγωγικής ικανότητας, των πλεονασμάτων προϊόντων, και των μειωμένων τιμών. Παρόμοια ζητήματα ισχύουν για το ανακυκλωμένο λίπος και τη βιομηχανία ζωικών λιπών, ακόμα κι αν αυτές οι πρώτες ύλες είναι λιγότερο ακριβές από τα έλαια της σόγιας.

Με βάση τους συνδυασμένους πόρους και των δύο βιομηχανιών, υπάρχει αρκετή πρώτη ύλη για την παραγωγή 1,9 δισεκατομμυρίου γαλονιών biodiesel, πολιτική με σκοπό την ενθάρρυνση της χρήσης biodiesel.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα για την παραγωγή biodiesel είναι ο ηλίανθος και η ελαιοκράμβη. Στον Πίνακα 2.3 παρακάτω φαίνονται οι αποδόσεις διαφόρων καλλιεργειών σε βιοκαύσιμα.

Πίνακας 2.3: Τα παραγόμενα Βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και οι αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και σε καύσιμο.

Βιοκαύσιμο	Πρώτη Ύλη	Απόδοση (κιλά/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (κιλά/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (λίτρα/στρέμμα)
Βιοντήζελ	Ηλίανθος	120 - 210	40 - 70	43 - 75
	Ελαιοκράμβη	120 - 250	40 - 83	43 - 90
	Βαμβάκι	120 - 160	17 - 23	18 - 25
	Σόγια	160 - 240	27 - 41	29 - 44

2.2.3 Αγορά καυσίμων Biodiesel

Η χρήση του biodiesel έχει αυξηθεί εντυπωσιακά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Ο νόμος ενεργειακής πολιτικής τροποποιήθηκε (1998) για να περιλάβει τη χρήση καυσίμων biodiesel ως τρόπο κάλυψης των απαιτήσεων σε εναλλακτικά καύσιμα για το ομοσπονδιακό κράτος των Η.Π.Α., και στόλους δημόσιας χρήσης όπως αστικά λεωφορεία.

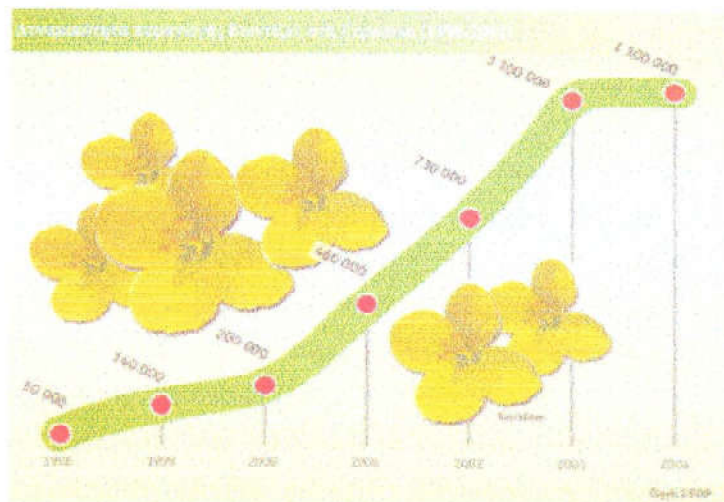
Εκείνη η τροποποίηση υπήρξε το εφαλτήριο της ραγδαίας αύξησης του αριθμού χρηστών biodiesel, τα οποία περιλαμβάνουν τώρα την Αμερικανική Ταχυδρομική Υπηρεσία

και τα Υπουργεία Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών, Ενέργειας, και Γεωργίας. Αμέτρητες σχολικές περιοχές, αρχές μεταφοράς, εθνικά πάρκα, δημόσιες επιχειρήσεις και επιχειρήσεις ανακύκλωσης χρησιμοποιούν επίσης τα καύσιμα αυτά.

Σύμφωνα με την Αμερικανική Ένωση Καυσίμων, με κυβερνητικά κίνητρα αντίστοιχα με εκείνα που δίνονταν για την αιθανόλη, οι πωλήσεις biodiesel μπορούν να φθάσουν περίπου 2 δισεκατομμύρια γαλόνια ανά έτος, ή αντικαθιστώντας περίπου το 8% της κατανάλωσης συμβατικού diesel. Σε αυτό το επίπεδο της διείσδυσης στην αγορά, το biodiesel θα χρησιμοποιηθεί πιθανών σε στόλους λεωφορείων και σε βαρέα φορτηγά, πρώτιστα σε μίγματα με το diesel μέχρι 20%, σε θαλάσσια σκάφη όπως πορθμεία, στις κατασκευές και σε γεωργικά οχήματα, σε συστήματα πετρελαίου τοπικής θέρμανσης και σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι δαπάνες πρώτων υλών αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό των άμεσων δαπανών παραγωγής biodiesel, συμπεριλαμβανομένου του βασικού κόστους και του κέρδους. Απαιτείται περίπου 7,3 λίβρες του ελαίου σόγιας, που κοστίζει περίπου 20 σεντς ανά λίβρα, για να παραχθεί ένα γαλόνι biodiesel. Η πρώτη ύλη κοστίζει μόνο \$1,50 ανά γαλόνι biodiesel σόγιας. Τα λίπη και τα έλαια κοστίζουν λιγότερο και παράγουν φθηνότερο biodiesel, μερικές φορές χαμηλότερο από \$1,00 ανά γαλόνι. Η ποιότητα των καυσίμων είναι παρόμοια με το biodiesel που παράγεται από σόγια.

Από τις παραγωγούς χώρες της Ευρώπης ηγετικό ρόλο έχει η Γερμανία. Η δυναμικότητα παραγωγής του 2003- 2004 (1100000 τόνοι) είναι 58,9% περισσότερη από την αντίστοιχη του 2002. Η ραγδαία εξέλιξη οφείλεται στην ευνοϊκή νομοθεσία και στις χαμηλές τιμές των φυτικών ελαίων σε συνδυασμό με την υψηλή τιμή του diesel.



Σχήμα 2.9: Δυναμικότητα παραγωγής Biodiesel στη Γερμανία (1998-2004).

2.2.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Biodiesel

Το biodiesel χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο ή αραιωτικό του παραδοσιακού πετρελαίου diesel, και δεν απαιτεί ειδικές αντλίες ή εξοπλισμό υψηλής πίεσης. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικές μηχανές diesel. Δεν απαιτούνται δηλαδή ειδικά οχήματα ή μηχανές για να χρησιμοποιηθεί. Εντούτοις, οι χρήστες πρέπει πάντα να ελέγχουν τις εγγυήσεις των μηχανών πριν χρησιμοποιήσουν το biodiesel.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του συνοψίζονται ως εξής : α) εύκολη μεταφορά του σε υγρή μορφή, β) 80% του ενεργειακού περιεχομένου του συμβατικού diesel, γ) άμεση διαθεσιμότητα και ανανεωσιμότητα.

Το biodiesel προσφέρει οφέλη ασφάλειας πέρα από του πετρελαίου diesel επειδή είναι λιγότερο εύφλεκτο καύσιμο, με σημείο ανάφλεξης μεγαλύτερο από 150°C, έναντι 77°C που ισχύει για το πετρέλαιο diesel. Είναι ασφαλές στη χρήση, στην αποθήκευση και στη μεταφορά.

Δεδομένου ότι το biodiesel μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συμβατικές μηχανές diesel, τα ανανεώσιμα καύσιμα μπορούν άμεσα να αντικαταστήσουν τα πετρελαιοειδή μειώνοντας την εξάρτηση της χώρας από εισαγόμενο πετρέλαιο.

2.2.5 Μειονεκτήματα χρήσης Biodiesel

Τα βασικά μειονεκτήματα των φυτικών ελαίων συνοψίζονται ως εξής : α) υψηλότερο ιξώδες, β) χαμηλότερη πτητικότητα και γ) αντιδραστικότητα των ακόρεστων αλυσίδων του άνθρακα. Τα προβλήματα εμφανίζονται όταν οι κινητήρες λειτουργούν για περισσότερες από τις προβλεπόμενες ώρες και συνήθως στους κινητήρες απευθείας έγχυσης. Τα προβλήματα συμπεριλαμβάνουν: α) σχηματισμό κωκ στους εγχυτήρες σε τέτοιο βαθμό που εμποδίζεται η ατομοποίηση όπως σε ένα φραγμένο ακροφύσιο, β) επικαθίσεις άνθρακα, γ) δημιουργία κολλώδους λιπαρού δακτύλου και δ) αύξηση της συγκέντρωσης των λιπαντικών ως αποτέλεσμα της νόθευσης από τα φυτικά έλαια.

Δυο βασικά προβλήματα που συνδέονται με τη χρήση φυτικών ελαίων ως καύσιμα είναι η φθορά του ελαίου και η ατελής καύση. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα είναι πολύ ευαίσθητα στον πολυμερισμό και στο σχηματισμό κολλοειδών που προκαλείται από την οξείδωση κατά την αποθήκευση ή κατά το σύνθετο πολυμερισμό που οφείλεται στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων κατά την καύση. Το κολλοειδές δεν καίγεται απόλυτα, οδηγώντας στο σχηματισμό υπολειμμάτων άνθρακα και στη συμπύκνωση των λιπαντικών. Ως καύσιμο μελετήθηκε και το χειμερινό έλαιο από ελαιοκράμβη εξαιτίας της αποδοτικής σοδιάς και του περιεχομένου της σε έλαιο (45%), όπως και το υψηλού περιεχομένου ερουρικού οξέος (45%). Ο σχηματισμός κολλοειδών ήταν πέντε φορές χαμηλότερος από του λινολεϊνικού ελαίου. Το ιξώδες του ελαίου από ελαιοκράμβη σε μίγματα με diesel 50/50 και 70/30 ήταν πολύ υψηλότερο (6-18 φορές) από ότι στο diesel No2. Μίγμα 70/30 τέτοιου ελαίου και diesel No1 χρησιμοποιήθηκε όμως επιτυχώς σε μονοκύλινδρο diesel κινητήρα για 850 ώρες, χωρίς να παρατηρηθούν φθορές και συμπύκνωση του λιπαντικού ή μείωση της ισχύος εξόδου.

2.2.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Biodiesel

Οι επιστήμονες θεωρούν ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το καθαρό biodiesel (biodiesel 100%) μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα περισσότερο από 75% σε σχέση με το diesel πετρελαίου. Η χρησιμοποίηση ενός μίγματος του biodiesel 20% μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 15% περίπου, ανάλογα πάντα με το μίγμα.

Η χρήση του biodiesel μειώνει τα αιωρούμενα σωματίδια στα καυσαέρια, δεδομένου ότι το οξυγόνο στο biodiesel επιτρέπει την πληρέστερη καύση προς CO₂, και μειώνει τη

δημιουργία θειικών ενώσεων (το biodiesel περιέχει λιγότερο από 24 ppm θείου), ενώ το κλάσμα των υδρογονανθράκων, παραμένει στα ίδια επίπεδα ή αυξάνεται. Επομένως, το biodiesel λειτουργεί καλά με τις νέες τεχνολογίες όπως καταλύτες οξειδωσης diesel οι οποίοι μειώνουν το διαλυτό μέρος του μορίου diesel αλλά όχι και το στερεό μέρος άνθρακα. Όλοι οι ατμοσφαιρικοί ρύποι βρίσκονται στα επίπεδα του νόμου περί καθαρού αέρα.

Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου αυξάνονται με την συγκέντρωση του biodiesel στα καύσιμα. Κάποια είδη biodiesel παράγουν περισσότερα οξείδια αζώτου από άλλα, και μερικές πρόσθετες ουσίες υπόσχονται τροποποίηση των αυξήσεων αυτών. Απαιτείται περισσότερη έρευνα για την επίλυση αυτού του ζητήματος.

2.3 Αιθανόλη

Η αιθανόλη είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο με βάση το αλκοόλ το οποίο παράγεται από τη ζύμωση και απόσταξη αμυλούχων προϊόντων που έχουν μετατραπεί σε απλά σάκχαρα. Πηγές για αυτά τα καύσιμα αποτελούν κυρίως το καλαμπόκι, το κριθάρι, και το σιτάρι. Η αιθανόλη μπορεί επίσης να παραχθεί και από "κυτταρική βιομάζα" όπως δέντρα και χλόες και καλείται βιοεθανόλη. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται για να αυξήσει τον αριθμό οκτανίων και να βελτιώσει την ποιότητα εκπομπών της βενζίνης.



Σχήμα 2.10: Αραβόσιτος για Παραγωγή Αιθανόλης

Έχει υψηλό αριθμό οκτανίων (RON= 108), ευρεία όρια αναφλεξιμότητας, υψηλή ταχύτητα ανάφλεξης και μεγαλύτερη ικανότητα εξάτμισης από ότι η βενζίνη. Αυτές οι ιδιότητες επιτρέπουν μεγάλο κλάσμα συμπίεσης, μικρότερο χρόνο καύσης και δημιουργία φτωχών μιγμάτων τα οποία είναι σημαντικά πλεονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται σε κινητήρα εσωτερικής καύσης έναντι της βενζίνης.

Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται ως βελτιωτικό της βενζίνης, ενισχυτικό του αριθμού οκτανίων, ως οξειδωτικό στα καύσιμα του χειμώνα και στην αναμορφωμένη βενζίνη. Η αιθανόλη μπορεί να συνδυαστεί με τη βενζίνη για να δημιουργήσει E85, ένα μίγμα αιθανόλης 85% και βενζίνης 15%. E85 και μίγματα με ακόμα υψηλότερες συγκεντρώσεις αιθανόλης, E95 παραδείγματος χάριν, είναι κατάλληλα ως εναλλακτικά καύσιμα στα πλαίσια του νόμου ενεργειακής πολιτικής του 1992 (EPAAct). Τα οχήματα που χρησιμοποιούν E85 καλούνται ευέλικτα οχήματα καυσίμων (FFVs) και παράγονται από διάφορους κατασκευαστές οχημάτων.

Σε κάποιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, η βενζίνη αναμειγνύεται με χαμηλότερες συγκεντρώσεις αιθανόλης. Το πιο κοινό μίγμα χαμηλής συγκέντρωσης είναι το E10 (αιθανόλη 10% και βενζίνη 90%) και χρησιμοποιείται από το 1973. Παρόλο που το E10

μειώνει τις εκπομπές αέριων ρύπων, δεν θεωρείται εναλλακτικό καύσιμο στο πλαίσιο των κανονισμών EPAct. Στα προγράμματα οξυγονωμένων καυσίμων χρησιμοποιείται συνήθως 10 ή 7,7% αιθανόλη, ενώ για δημιουργία αναμορφωμένης Βενζίνης (RFG) 5,7% για να αποδώσει 2% κατά βάρος οξυγόνο. Προς το παρόν το 0,25% των μιγμάτων αιθανόλης που πωλούνται στις Η.Π.Α. είναι μίγματα υψηλών επιπέδων και η κατανάλωση ανέρχεται σε πέντε δισεκατομμύρια λίτρα ετησίως, αντιπροσωπεύοντας το 1% της αγοράς των καυσίμων σε Η.Π.Α. και Καναδά.

2.3.1 Χαρακτηριστικά Αιθανόλης

Η αιθανόλη (C_2H_5OH) (αιθυλική αλκοόλη, οινόπνευμα σιταριού, EtOH) είναι ένα καθαρό, άχρωμο υγρό. Σε αραιό υδατικό διάλυμα, έχει γλυκιά γεύση, αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να γίνει καυστική. Η αιθανόλη (CH_3CH_2OH), αποτελείται από μια ομάδα χημικών ενώσεων τα μόρια των οποίων περιέχουν μια ομάδα υδροξυλίου, -OH, που συνδέεται με ένα άτομο άνθρακα. Αυτή παράγεται από κυτταρικά υλικά βιομάζας αντί των παραδοσιακών πρώτων υλών (φορείς αμύλου) καλείται βιοαιθανόλη.

Οι νόμοι για τροποποιήσεις καθαρισμού του αέρα το 1990, εξουσιοδότησαν την πώληση οξυγονωμένων καυσίμων σε περιοχές με υψηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα. Από τότε, έχει υπάρξει ισχυρή απαίτηση για αιθανόλη ως οξειδωτικό αλεσμένο με βενζίνη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, περίπου 2 δισεκατομμύρια γαλόνια προστίθενται κάθε έτος στη βενζίνη για αύξηση του αριθμού οκτανίων και βελτίωση της ποιότητας των εκπομπών της.

Τα μίγματα 85% αιθανόλης θεωρούνται εναλλακτικά καύσιμα στο πλαίσιο του νόμου ενεργειακής πολιτικής του 1992 (EPAct). Το E85, ένα μίγμα 85% αιθανόλης και 15% βενζίνης, χρησιμοποιείται στα ευέλικτα οχήματα (FFVs) που προσφέρονται αυτήν την περίοδο από τους περισσότερους σημαντικούς κατασκευαστές αυτοκινήτων.

2.3.2 Παραγωγή Αιθανόλης

Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί μέσω τριών βασικών μεθόδων :

- A) Από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο με ενυδάτωση του αιθυλενίου (C_2H_4)
- B) Από τη βιομάζα με ζύμωση των σακχάρων που προέρχονται από το άμυλο των σπόρων ή της σοδιές ζαχαροκάλαμου και
- Γ) Από τη βιομάζα μέσω χρήσης των μη σακχαρωδών λιγνοκυτταρινικών κλασμάτων των σοδιών ή των αποβλήτων.



Σχήμα 2.11: Ζαχαροκάλαμα για Παραγωγή Αιθανόλης

Η αιθανόλη που παράγεται από καλαμπόκι είναι το πιο διαδεδομένο καύσιμο οχημάτων στις Η.Π.Α., παρόλο που η μακροσκοπική παραγωγή της από καλαμπόκι δεν είναι επιθυμητή ούτε από κοινωνικής ούτε από περιβαλλοντικής πλευράς. Η αιθανόλη που παράγεται από οργανικές πρώτες ύλες (ξυλώδης και φυλλώδης βιομάζα) θα μπορούσε εύκολα να αποτελέσει ανανεώσιμο καύσιμο.

Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί από οποιεσδήποτε βιολογικές πρώτες ύλες οι οποίες περιέχουν αξιόλογα ποσά σακχάρων ή υλικών που μπορούν να μετατραπούν σε σάκχαρα, όπως το άμυλο ή η κνιταρίνη. Τα ζαχαρότευτλα και τα ζαχαροκάλαμα είναι παραδείγματα πρώτων υλών που περιέχουν υψηλά ποσοστά σακχάρων. Το καλαμπόκι περιέχει άμυλο που μπορεί σχετικά εύκολα να μετατραπεί σε σάκχαρο. Ένα σημαντικό ποσοστό των δέντρων και οι γλόες αποτελούνται από κνιταρίνη, η οποία μπορεί επίσης να μετατραπεί σε σάκχαρο, πιο δύσκολα όμως από ότι μετατρέπεται το άμυλο.

Η διαδικασία παραγωγής αιθανόλης ξεκινά με άλεση της πρώτης ύλης έτσι ώστε να μπορέσει ευκολότερα και γρηγορότερα να υποβληθεί σε επεξεργασία κατά τα ακόλουθα βήματα. Με την άλεση, είτε διαλύονται τα σάκχαρα από το υλικό είτε το άμυλο ή η κνιταρίνη μετατρέπεται σε σάκχαρο. Τα σάκχαρα έπειτα εκτίθενται σε μικρόβια που την χρησιμοποιούν για τροφή, παράγοντας αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα στο τέλος αυτής της διαδικασίας. Έπειτα η αιθανόλη καθαρίζεται έως την επιθυμητή συγκέντρωση.

Η αιθανόλη παρασκευάζεται επίσης από μια διαδικασία υγρής άλεσης. Πολλοί από τους μεγαλύτερους παραγωγούς αιθανόλης χρησιμοποιούν αυτήν την διαδικασία, η οποία παράγει επίσης προϊόντα όπως η γλυκαντική φρουκτόζη του καλαμποκιού.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Ελλάδα για την παραγωγή βιοαιθανόλης είναι το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, το τεύτλο και το γλυκό σόργο. Στον παρακάτω πίνακα 2.3.1 παρουσιάζονται οι πρώτες ύλες και οι αποδόσεις τους σε βιοαιθανόλη

Πίνακας 2.4 : Απόδοση Α Υλών Παραγωγής Βιοαιθανόλης

Βιοκαύσιμο	Πρώτη Υλη	Απόδοση (λίτρο/στρέμμα)	Απόδοση σε Βιοκαύσιμο (λίτρο/στρέμμα)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (λίτρο/στρέμμα)
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150 - 800	36 - 190	45 - 240
	Αραβόσιτος	900	213	270
	Τεύτλα	6.000	475	600
	Σόργο	7.000 - 10.000	553 - 790	675 - 900

2.3.3 Αγορά Αιθανόλης

Πολλά οχήματα στον δρόμο σήμερα μπορούν να χρησιμοποιήσουν μίγματα αιθανόλης και βενζίνης - περισσότερο μίγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε αιθανόλη όπως το E10 (αιθανόλη 10% και βενζίνη 90%), αλλά και πολλά μίγματα πιο υψηλού επιπέδου συγκέντρωσης όπως E85 (αιθανόλη 85% και βενζίνη 15%). Λόγω της αφθονίας συμβατικών οχημάτων αιθανόλης, το μέλλον παρουσιάζεται ελπιδοφόρο για αυτό το καύσιμο.



Σχήμα 2.12: Στόλοι δημοσίων Υπηρεσιών αποτελούμενοι από οχήματα που καταναλώνουν αιθανόλη

Τα περισσότερα από τα σημερινά εμπορικά διαθέσιμα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν μίγματα E10, τα οποία εξουσιοδοτούνται σε κάποιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών για να χρησιμοποιηθούν ως οξειδωτικά καύσιμα προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα της ατμόσφαιρας. Επιπλέον, πιο σύγχρονα οχήματα μπορούν να

χρησιμοποιήσουν το E85, το οποίο είναι κατάλληλο ως εναλλακτικό καύσιμο στο πλαίσιο του νόμου ενεργειακής πολιτικής του 1992. Τα οχήματα που μπορούν να χρησιμοποιήσουν E85, ή βενζίνη, ή οποιοδήποτε μίγμα των δύο καλούνται ευέλικτα οχήματα καυσίμων (FFVs). Τα FFVs είναι ευρέως διαθέσιμα και περιλαμβάνουν τα sedans, τα minivan, τα οχήματα αθλητικών εφαρμογών, και τα μικρά φορτηγά. Περισσότερα από 3 εκατομμύρια FFVs έχουν πωληθεί ήδη στις Ηνωμένες Πολιτείες, αν και πολλοί από τους αγοραστές δεν έχουν πληροφορηθεί ότι έχουν την επιλογή τροφοδοσίας με καύσιμα E85.

Λόγω των περιορισμένων προμηθειών ακατέργαστου πετρελαίου και δυνατότητας επεξεργασίας, καθώς και της αυξανόμενης ανησυχίας σχετικά με την περιβαλλοντική υποβάθμιση, υπάρχει καλή προοπτική αγοράς για την αιθανόλη. Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί όχι μόνο από το καλαμπόκι, το κριθάρι, και το σίτο, αλλά και από πρώτες ύλες κυτταρίνης όπως μίσχοι καλαμποκιού, άχυρο ρυζιού, στέλεχος των ζαχαροκάλαμων, πολτός του ξύλου, switch grass, και αστικά στερεά απόβλητα. Λόγω της ποικιλίας των πρώτων υλών από τις οποίες μπορεί να παραχθεί, η αιθανόλη προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες για νέες θέσεις απασχόληση και οικονομική ανάπτυξη έξω από την παραδοσιακή "ζώνη σιταριού."

Αυτήν την περίοδο, οι περισσότεροι χρήστες E85 βρίσκονται δυτικά των Ηνωμένων Πολιτειών, αλλά υπάρχουν περίπου 200 σταθμοί τροφοδοσίας E85 διασκορπισμένοι σε ολόκληρη την χώρα. Πλέον όλα τα FFVs μπορούν να τροφοδοτηθούν με καύσιμα σε αυτούς τους σταθμούς.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αποτελέσματα έρευνας (CIEMAT, Ισπανία) δείχνουν ότι η παραγωγή ενός λίτρου αιθανόλης από 6 κιλά άχυρου σιτηρών κοστίζει 0,18 ευρώ ενώ η αντίστοιχη παραγωγή από το σπόρο σιταριού, κριθαριού κοστίζει 0,36 ευρώ. Αν αυτά τα αποτελέσματα επαληθευτούν και σε εμπορική κλίμακα η παραγωγή βιοαιθανόλης θα είναι ανταγωνιστική με το πετρέλαιο (Biofuels Barometer-June 2004, EUROBSERVER)

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι από το Μάιο 2004 λειτουργεί στη Σουηδία (Omskoldsvik) πιλοτική μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης από κυτταρίνες προερχόμενες από διάφορα είδη ξύλου, άχυρο ή υπολείμματα.

Εξετάζοντας το μέλλον, η βιομηχανία αιθανόλης προβλέπει την εποχή που η αιθανόλη θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για να παραγάγει το υδρογόνο για εφαρμογές σε οχήματα κυψελών καυσίμου.

2.3.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Αιθανόλης

Η αιθανόλη μειώνει την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο επειδή μπορεί να παραχθεί τοπικά. Σήμερα, η αιθανόλη μειώνει την απαίτηση για βενζίνη και τις εισαγωγές μεθυλο- τριτοταγούς βουτυλαιθέρα (MTBE) οι οποίες ανέρχονται σε 98.000 βαρέλια ανά ημέρα. Η αντικατάσταση 98.000 βαρελιών ανά ημέρα εισαγόμενου MTBE αντιπροσωπεύει μια μείωση \$1,1 δισεκατομμυρίων στο ετήσιο εμπορικό έλλειμμα των Ηνωμένων Πολιτειών. Επιπλέον, επειδή η βιομηχανία επεξεργασίας πετρελαίου λειτουργεί οριακά, η βιομηχανία της αιθανόλης βοηθά στην επέκταση της διάρκειας των αποθεμάτων πετρελαίου, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στη μείωση των δαπανών των καυσίμων για τους καταναλωτές.

Η αιθανόλη είναι ένα ανανεώσιμο καύσιμο που δημιουργεί περισσότερες από 40.000 θέσεις εργασίας στις Ηνωμένες Πολιτείες, δημιουργώντας περισσότερα από \$1,3 δισεκατομμύρια αύξηση στο ετήσιο κατά κεφαλήν εισόδημα. Και η βιομηχανία αιθανόλης άμεσα και έμμεσα προσθέτει περισσότερα από \$6 δισεκατομμύρια στη αμερικανική οικονομία κάθε έτος. Η παραγωγή αιθανόλης είναι εξαιρετικά ενεργειακά αποδοτική, με θετική ενεργειακή ισορροπία 125%, έναντι 85% για τη βενζίνη. Η ανάμειξη με τη βενζίνη αυξάνει την πτητικότητα του καυσίμου, το RPV, βελτιώνοντας την απόδοση σε ψυχρή εκκίνηση ενός κινητήρα.

Ίσως η μεγαλύτερη προοπτική χρήσης αιθανόλης ως καύσιμο είναι η παραγωγή αιθυλο-τριτογενούς βουτυλαιθέρα (ETBE), ο οποίος είναι οξειδωτικό πρόσθετο της αναμορφωμένης βενζίνης.

Η καθαρή αλκοόλη (E100) είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει μικρούς κινητήρες εσωτερικής καύσης παράλληλης χρήσης με ηλεκτροκινητήρα και μπαταρίες, πρόγραμμα που επιχορηγείται από τη FORD και τη SAE και εφαρμόζεται σε πάρα πολλά πανεπιστημιακά ιδρύματα.

2.3.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Αιθανόλης

Η αιθανόλη παρουσιάζει χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας από ότι η βενζίνη (περίπου 35% υψηλότερη από ότι η μεθανόλη), είναι διαβρωτική, έχει χαμηλή φωτεινότητα φλόγας και χαμηλή πίεση ατμού, γεγονός που καθιστά την ψυχρή εκκίνηση πιο δύσκολη, χαμηλή αναμειξιμότητα με το νερό και είναι τοξική προς το οικοσύστημα. Επίσης αυξάνει τις εκπομπές εξάτμισης. Προς το παρόν, η αιθανόλη που παράγεται από τη βιομάζα έχει διπλάσια τιμή από αυτή της βενζίνης χωρίς φόρους, λαμβανομένης βέβαια και της πυκνότητας ενέργειας που περιέχει.

Παρόλο που δεν είναι τόσο διαβρωτική όσο η μεθανόλη, εξακολουθεί να παρουσιάζει ασυμβατότητα με κάποια υλικά. Εξαιτίας της τάσης που παρουσιάζει να απορροφά υγρασία από τον αέρα, οι δεξαμενές καυσίμων, οι αντλίες και ο εξοπλισμός διάθεσης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση. Η παρουσία νερού τη διαχωρίζει από τους υδρογονάνθρακες, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε διάφορα μίγματα καυσίμου όπως η γκαζόλη (E10) και το E85.

Σε χαμηλές θερμοκρασίες η θερμότητα ατμοποίησης λειτουργεί ως μειονέκτημα της αιθανόλης και πλεονέκτημα της βενζίνης και του φυσικού αερίου. Ένα υγρό καύσιμο θα πρέπει να ατμοποιηθεί για να ξεκινήσει η έναυση. Σε χαμηλές θερμοκρασίες εκκίνησης, κάτω από 20⁰F, η εξάτμιση της αιθανόλης παρουσιάζεται εξαιρετικά δύσκολη εξαιτίας της χαμηλής πίεσης ατμού και της υψηλής θερμότητας εξάτμισης που απαιτείται. Ως αποτέλεσμα, θα πρέπει η έναυση να επιτευχθεί σε αυτές τις συνθήκες με βοηθητικά μέσα. Ως τέτοια συμπεριλαμβάνονται εναρκτήρια καύσιμα που έχουν υψηλότερη πίεση ατμοποίησης και χαμηλότερη θερμότητα εξάτμισης, χρήση προθερμαντών και άλλων συσκευών ατμοποίησης ή αποικοδόμησης του καυσίμου, διπλά καύσιμα και απευθείας έγχυση σε χαμηλές πιέσεις κυλίνδρων χρησιμοποιώντας τη θερμότητα που εκλύεται από τη διαδικασία της συμπίεσης.

Η αιθανόλη έχει χαμηλή κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV) συγκρινόμενη με άλλα καύσιμα. Δεδομένου ότι η LHV είναι ένα χαρακτηριστικό της ενεργειακής απόδοσης ενός καυσίμου, καθορίζει την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα όχημα σε συγκεκριμένη ποσότητα (όγκο) καυσίμου. Από προηγούμενους πίνακες λοιπόν, προκύπτει ότι η αιθανόλη απαιτεί 1,5 φορές μεγαλύτερη δεξαμενή αποθήκευσης καυσίμου για να κινηθεί έως μια συγκεκριμένη απόσταση. Ευτυχώς όμως έχει άλλα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν μετατροπές στο σχεδιασμό του κινητήρα, εξισορροπώντας έτσι αυτό το μειονέκτημα.

Όπως η μεθανόλη, έτσι και η αιθανόλη δεν συνιστάται για εφαρμογές σε κοινούς κινητήρες συμπίεσης έναυσης. Παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα αυτανάφλεξης και έτσι η χρήση της σε CI κινητήρες επιβάλλει κάποια μέσα παροχής σπινθήρα. Για εφαρμογές ενός μόνο καυσίμου η λύση δίνεται με την τοποθέτηση σπινθηριστή, προσθετικά ανάφλεξης ή ενισχυμένη αυτανάφλεξη μέσω της επανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Σε κινητήρες διπλού καυσίμου, η έναυση της αιθανόλης επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός καυσίμου με μεγάλη ικανότητα αυτανάφλεξης όπως το πετρέλαιο diesel.

Τέλος, η παραγωγή αιθανόλης απαιτεί μεγάλες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργεια τροφίμων. Το γεγονός αυτό θέτει την αιθανόλη εκτός ανταγωνισμού ως καύσιμο ανά τον κόσμο καθώς η ανάγκη για τροφή είναι πολύ πιο σημαντική.

Πίνακας 2.5: Σύγκριση του Ενεργειακού Ογκομετρικού Περιεχομένου Βασικών Καυσίμων

Καύσιμο	BTU/ft ³	Αναλογία προς Βενζίνη	Αναλογία προς Diesel
Βενζίνη	854,698	1.000	0.911
Diesel	937,801	1.097	1.000
CNG (3,000 psi)	272,686	0.319	0.291
LNG	507,029	0.593	0.541
LPG	625,119	0.731	0.667
Μεθανόλη	421,535	0.493	0.449
Αιθανόλη	564,863	0.661	0.602
Υδρογόνο (3.000 psi)	44,413	0.052	0.047

2.3.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Αιθανόλης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί επίσης να μειωθεί με τη χρήση της αιθανόλης. Η αιθανόλη έχει χαμηλή ικανότητα άμεσης αντίδρασης και υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, που την καθιστά ένα αποτελεσματικό εργαλείο στη μείωση της ρύπανσης του στρώματος του όζοντος. Αποτελεί επίσης μια ασφαλής αντικατάσταση των τοξικών πρόσθετων αύξησης του αριθμού των οκτανίων της βενζίνης όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, και το ξυλόλιο.

Το βασικό πρόβλημα εκπομπών της αιθανόλης είναι ο σχηματισμός ενεργών αλδεϋδων και κυρίως ακεταλδεϋδης και φορμαλδεϋδης. Η ακεταλδεϋδη είναι ένα προϊόν αποσύνθεσης της αιθανόλης. Από τα οχήματα που εφαρμόζεται συχνά εκλύεται άκαυστη αιθανόλη. Η εκλύομενη όμως αυτή ποσότητα είναι πάντως λιγότερο ενεργή από τους άκαυστους υδρογονάνθρακες που εκλύονται από τα βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα οχήματα. Η λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να δοθεί με τη χρήση ειδικών καταλυτών ελέγχου των αλδεϋδών.

2.4 Μεθανόλη

Το φυσικό αέριο και το προπάνιο δεν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως και το πετρέλαιο. Έτσι υπάρχει η ανάγκη για εναλλακτικά καύσιμα που δεν εξαρτώνται απόλυτα από ορυκτούς πόρους.

Η μεθανόλη λοιπόν, επίσης γνωστή και ως ξυλόπνευμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό καύσιμο σε ευέλικτα οχήματα που χρησιμοποιούν M85, ένα μίγμα 85% μεθανόλης και 15% βενζίνης. Εντούτοις, δεν χρησιμοποιείται συνήθως επειδή οι αυτοκινητοβιομηχανίες δεν παρέχουν πλέον οχήματα που τροφοδοτούνται με μεθανόλη.

Πίνακας 2.6: Ενεργειακό Περιεχόμενο Καυσίμων σε σχέση με τη Βενζίνη

Καύσιμο	Πυκνότητα (lbm/gal)	Ενεργειακό Περιεχόμενο (BTU/gal)	Ενέργεια σε Σχέση με τη Βενζίνη	Ενέργεια σε Σχέση με το Diesel
Βενζίνη	6.23	114,264	100%	91%
Diesel	6.75	126,000	110%	100%
LPG	4.23	83,572	73%	66%
Προπάνιο	4.25	84,486	74%	67%
Μεθανόλη	6.60	56,351	49%	45%
Αιθανόλη	6.54	75,511	66%	60%
LNG	3.52	75,535	66%	60%

Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει το μέθυλο- τριτοταγή-βουτυλαιθέρα (MTBE), οξειδωτικό που συνδυάζεται με τη βενζίνη για να ενισχύσει τον αριθμό οκτανίων και να δημιουργήσει καθαρότερα καύσιμα. Η παραγωγή MTBE και η χρήση του έχουν μειωθεί επειδή έχει βρεθεί ότι μολύνει το υπόγειο νερό. Στο μέλλον, η μεθανόλη θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι ένα από τα καύσιμα επιλογής για παροχή του απαραίτητου υδρογόνου στα οχήματα κυψελών καυσίμων.

2.4.1 Χαρακτηριστικά Μεθανόλης

Η μεθανόλη (CH_3OH) είναι ένα αλκοολούχο καύσιμο. Έχει υψηλό αριθμό οκτανίων ($\text{RON}=107$), είναι εύφλεκτη, έχει μεγάλη ταχύτητα φλόγας και καίγεται παράγοντας περιορισμένους ρύπους. Τα υψηλά όρια ευφλεκτότητας επιτρέπουν τη λειτουργία ενός κινητήρα με φτωχά μίγματα μεθανόλης. Η μεθανόλη έχει πολύ μικρότερη πιθανότητα να αναφλεγεί σε περίπτωση που χυθεί εκτός δεξαμενής από ότι η βενζίνη. Εντούτοις, ο ατμός του καθαρού καυσίμου μπορεί να αναφλεγεί σε κλειστή δεξαμενή αν υπάρχει επαρκής ενέργεια έναυσης. Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας ποσότητας μεθανόλης παράγεται χρησιμοποιώντας το φυσικό αέριο ως πρώτη ύλη. Εντούτοις, η δυνατότητα να παραχθεί μεθανόλη από πρώτες ύλες μη πετρελαϊκής προελεύσεως όπως ο άνθρακας ή η βιομάζα παρουσιάζει ενδιαφέρον για τη μείωση των εισαγωγών πετρελαίου.

Ως καύσιμα κινητήρων, η αιθανόλη και η μεθανόλη έχουν παρόμοια χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά. Η μεθανόλη είναι μεθάνιο όπου το ένα μόριο υδρογόνου αντικαθίσταται από ένα υδροξύλιο (OH). Είναι διαβρωτική, ιδιαίτερα τοξική, άχρωμη, άοσμη και άγευστη. Επιπρόσθετα η φλόγα της είναι σχεδόν αόρατη στο φως της ημέρας. Σε κατά μάζα αναλογία, η βενζίνη παρέχει το διπλάσιο της ενέργειας της μεθανόλης. Η καθαρή μεθανόλη έχει το ίδιο πρόβλημα με την αιθανόλη όσον αφορά την εκκίνηση του κινητήρα σε ψυχρές καιρικές συνθήκες εξαιτίας της χαμηλής της πτητικότητας, πρόβλημα που επιλύεται με τη χρήση μιγμάτων. Έχει μικρή αναλογία άνθρακα προς υδρογόνο από ότι η βενζίνη ή το πετρέλαιο diesel και αυτός είναι ο λόγος που παράγει λιγότερο CO_2 .

2.4.2 Παραγωγή Μεθανόλης

Η μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από το φυσικό αέριο, τον άνθρακα, τη βιομάζα και από αστικά λύματα. Κυρίως όμως παράγεται με την αναμόρφωση του ατμού του φυσικού αερίου προς δημιουργία ενός αερίου σύνθεσης (διαδικασία Fisher Tropsh), το οποίο τροφοδοτείται έπειτα σε μια σειρά αντιδραστήρων παρουσία καταλύτη για να καταλήξει σε μεθανόλη και υδρατμό. Προς το παρόν, ο πιο οικονομικός τρόπος ανάκτησης είναι το φυσικό αέριο παρόλο που χάνεται σημαντικό ποσό ενέργειας και αυτή η διαδικασία δεν αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση.

Το αέριο σύνθεσης αποτελείται από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδρογόνο. Ενώ ένα μεγάλο ποσό αερίου σύνθεσης χρησιμοποιείται για να παραχθεί η μεθανόλη, το μεγαλύτερο μέρος του μετατρέπεται σε αμμωνία. Κατά συνέπεια, οι περισσότερες εγκαταστάσεις μεθανόλης είναι δίπλα ή είναι μέρος εγκαταστάσεων παραγωγής αμμωνίας.

Το αέριο σύνθεσης τροφοδοτεί μια άλλη σειρά αντιδραστήρων κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, και το CO και το υδρογόνο συνδυάζονται παρουσία ενός καταλύτη για να παραγάγουν μεθανόλη. Τέλος, το προϊόν των αντιδραστήρων αποστάζεται για να καθαριστεί και να διαχωριστεί η μεθανόλη από τα απόβλητα των αντιδραστήρων.

Το φυσικό αέριο μπορεί να παραχθεί και από ορυκτό άνθρακα. Παρόλο που η λύση αυτή μπορεί να φαίνεται μακροπρόθεσμη δεν είναι η ιδανική, καθώς και σε αυτή την περίπτωση σπαταλάται σημαντικό ποσό ενέργειας και εκτός αυτού, η ποσότητα CO₂ που παράγεται είναι μεγαλύτερη από αυτή που προκύπτει κατά τον εξευγενισμό και τη χρήση της συμβατικής βενζίνης.

2.4.3 Αγορά Μεθανόλης

Συνήθως χρησιμοποιείται ως μίγμα M85 αλλά και ως καθαρή μεθανόλη. Κάποια οχήματα είναι σε θέση να κάψουν οποιοδήποτε μίγμα βενζίνης και μεθανόλης μέχρι 85%. Όταν χρησιμοποιείται αναμεμιγμένη με βενζίνη είναι προφανές ότι έχει κάποια μειονεκτήματα, κυρίως όσον αφορά τις εκπομπές.

2.4.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Μεθανόλης

Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της μεθανόλης την καθιστούν εξαιρετικό καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσης. Μερικά από τα οφέλη της μεθανόλης αποτελούν οι χαμηλότερες εκπομπές, η υψηλότερη απόδοση, και ο χαμηλότερος κίνδυνος ανάφλεξης σε σύγκριση πάντα με τη βενζίνη. Επιπλέον, η μεθανόλη μπορεί να κατασκευαστεί από ποικίλες πρώτες ύλες βασισμένες σε άνθρακα όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, και η βιομάζα (π.χ., ξύλο) και η χρήση της μεθανόλης θα μειώνει σημαντικά την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο. Παράλληλα όμως, η μεθανόλη παράγει υψηλό ποσό φορμαλδεϋδης στις εκπομπές των καυσαερίων.

Τα οχήματα που μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε μεθανόλη είτε βενζίνη κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν αποδοτικά μόνο σε ένα από τα δυο καύσιμα. Η μεθανόλη χρησιμοποιήθηκε ως αγωνιστικό καύσιμο για πολλά χρόνια εξαιτίας της εξαιρετικής ποιότητας της απόδοσής της και του υψηλού αριθμού οκτανίων. Για αυτούς τους αποκλειστικούς κινητήρες, η μεθανόλη προσφέρει σημαντική αύξηση στην απόδοσή τους, 15 με 30% παραπάνω, ανάλογα με το βαθμό μετατροπής τους σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες βενζίνης. Στον πίνακα 2.7 φαίνονται τα αποτελέσματα μιας δοκιμής που έγινε σε τρία οχήματα με βενζινοκινητήρα που μεταπονήθηκαν ώστε να λειτουργούν με

μεθανόλη. Η βελτίωση της απόδοσης αυτών των κινητήρων είναι σημαντική και οι μετατροπές στον κινητήρα δεν θεωρούνται οι καλύτερες δυνατές δεδομένου ότι αυτά τα οχήματα σχεδιάστηκαν για να καταναλώνουν είτε βενζίνη είτε μεθανόλη και όχι αποκλειστικά μεθανόλη.

Πίνακας 2.7: Μακροπρόθεσμες Δοκιμές Εκπομπών Οχήματος Μεθανόλης

Συστατικά	SRI (g/mi)	ULEV (g/mi)	Συστατικό	SRI (g/mi)	ULEV (g/mi)
THC	0,48	-	Ακρολεΐνη	0,0	-
CO	0,96	1,7	Ακετόνη	0,0012	-
NO _x	0,15	0,2	Propionald	0,0	-
CH ₄	0,035	-	Crotonald	0,0	-
NMHC	0,011	-	Ισοβουτύλιο+MEK	0,0002	-
Καρβονύλια	0,0005	-	Βενζαλδεϋδη	0,0	-
Αλκοόλες	0,464	-	Εξαναλδεϋδη	0,0	-
NMOG	0,479	0,04	Μεθανόλη	0,464	-
Φορμαλδεϋδες	0,003	0,008	Αιθανόλη	0,0	-
Ακεταλδεϋδες	0,0002	-	-	-	-

Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί αύξηση στην απόδοση του οχήματος αντικαθιστώντας τον κινητήρα της βενζίνης με ένα μικρότερο και ελαφρύτερο, σχεδιασμένο να λειτουργεί με μεθανόλη. Οι μικρότεροι κινητήρες καταναλώνουν λιγότερο καύσιμο και μειώνουν το βάρος του οχήματος και έτσι παρέχουν επιπρόσθετη οικονομία καυσίμου.

Ο πιο σημαντικός λόγος ανάπτυξης τεχνολογίας της μεθανόλης είναι ότι υπάρχει η προοπτική της παραγωγής της από βιομάζα και αστικά λύματα. Ήδη στις Ηνωμένες Πολιτείες παρατηρείται μια κρίση διάθεσης των αποβλήτων. Όταν λοιπόν η μεθανόλη προέρχεται από βιομάζα και αστικά λύματα, παράγεται σημαντική ενέργεια και καταναλώνονται ελάχιστα έως καθόλου ορυκτά καύσιμα. Το κλάσμα παραγωγής, δηλαδή η διαθέσιμη ενέργεια από τη μεθανόλη διαιρεμένη με την μη ανανεώσιμη ενέργεια που καταναλώνεται είναι 2,3 και αφορά

την παραγωγή μεθανόλης από βιομάζα. Αν πάλι χρησιμοποιηθούν αστικά λύματα, το κλάσμα φτάνει το άπειρο.

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι η μεθανόλη μπορεί να διανεμηθεί από το ήδη υπάρχον σύστημα για τη βενζίνη. Λόγω όμως της ασυμβατότητας της μεθανόλης με κάποια υλικά, οι δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου, οι αντλίες και ο εξοπλισμός διάθεσης θα πρέπει να κατασκευάζεται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση και τα μαλακά τελειώματα όπως διαφράγματα, βαλβίδες, φλάντζες από υλικά ανθεκτικά στα αλκοολικά διαλύματα.

Επιπλέον, η μεθανόλη μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε υδρογόνο. Μερικοί ερευνητές εργάζονται αυτήν την περίοδο για να υπερνικήσουν τα εμπόδια στη χρησιμοποίηση της μεθανόλης ως πηγή καυσίμων υδρογόνου. Έτσι μπορεί ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει υδρογόνο για τα οχήματα κυψελών καυσίμων στο μέλλον.

2.4.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Μεθανόλης

Σε χαμηλές θερμοκρασίες η θερμότητα εξάτμισης, η οποία είναι η θερμότητα που απαιτείται για να μετατραπεί το καύσιμο από υγρό σε ατμό λειτουργεί αρνητικά στη σύγκριση της αιθανόλης και της μεθανόλης με το φυσικό αέριο και το LPG. Έτσι θα πρέπει να εξατμιστεί ένα υγρό καύσιμο για την εκκίνηση της έναυσης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες εκκίνησης (λιγότερο από 20⁰F) η εξάτμιση της μεθανόλης παρουσιάζεται εξαιρετικά δύσκολη εξαιτίας της χαμηλής πίεσης του ατμού και της υψηλής θερμότητας ατμοποίησης που απαιτείται. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη ύπαρξης συστήματος έναυσης το οποίο θα παρέχει αξιόπιστη και γρήγορη εκκίνηση τις ψυχρές μέρες. Εφαρμόστηκαν πολλές μέθοδοι συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης εναρκτήριων καυσίμων, προθερμαντών ή άλλων συσκευών που θα προκαλούσαν εξάτμιση ή θα αποικοδομούσαν τη μεθανόλη κατά την εκκίνηση. Αλλά καμία δεν έχει ακόμα αποδειχτεί εξολοκλήρου αποδεκτή.

Επιπλέον, δεν αποτελεί το ιδανικότερο καύσιμο για χρήση σε κινητήρες συμπίεσης έναυσης που δεν έχουν υποστεί τις κατάλληλες μετατροπές. Έχει χαμηλή ικανότητα αυτανάφλεξης και αυτό καθιστά αναγκαία την ύπαρξη πηγής έναυσης. Σε κινητήρες ενός καυσίμου εγκαθίσταται σπινθηριστής, βελτιωτικά αυτανάφλεξης ή ενισχύεται η αυτανάφλεξη με επανακυκλοφορία των καυσαερίων

Η Μεθανόλη όπως προκύπτει από τον πίνακα 2.6 έχει χαμηλότερη κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LHV) από τα άλλα καύσιμα. Δεδομένου ότι η LHV είναι ένδειξη της ενέργειας που αποδίδει ένα καύσιμο, καθορίζει την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα όχημα με συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου. Απαιτείται λοιπόν διπλάσια ποσότητα

μεθανόλης από ότι βενζίνης για να κινηθεί ένα όχημα σε συγκεκριμένη απόσταση και δημιουργείται αμέσως η ανάγκη για μεγαλύτερες δεξαμενές αποθήκευσης, σχεδόν στην προηγούμενη αναλογία. Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα όχημα που λειτουργεί με μεθανόλη είναι σαφώς μεγαλύτερο από ότι με CNG σε πίεση 3,000 psi. Και αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για επιβατικά και ελαφριά οχήματα τα οποία διαθέτουν περιορισμένο χώρο για δεξαμενή καυσίμου. Η έλλειψη διαθεσιμότητας της μεθανόλης είναι σημαντικό εμπόδιο στην εξάπλωση της χρήσης της ως καύσιμο αυτοκίνησης.

2.4.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Μεθανόλης

Οι εκπομπές των καυσαερίων παρουσιάζονται σημαντικά βελτιωμένες με τη χρήση μεθανόλης. Παρόλα αυτά όμως από τα πρωταρχικά προβλήματα εκπομπών που συνδέονται με τη χρήση της είναι η παραγωγή αλδεϊδών και κυρίως φορμαλδεΐδης. Τα οχήματα που καταναλώνουν μεθανόλη εκλύουν επίσης άκαυστη μεθανόλη η οποία όμως εξακολουθεί να είναι λιγότερη από τους άκαυστους υδρογονάνθρακες που εκλύονται από τους βενζινοκινητήρες. Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο λεκανοπέδιο του Los Angeles απέδειξαν ότι η μεθανόλη έχει την προοπτική να μειώσει τις μέγιστες εκπομπές και τα μακροχρόνια επίπεδα του όζοντος. Το μειονέκτημα ήταν τα υψηλά ποσοστά φορμαλδεΐδης αλλά παρόλα αυτά ήταν η πιο αποτελεσματική μέθοδος μείωσης των επιπέδων όζοντος στην ατμόσφαιρα που εφαρμόστηκε. Η χρήση καταλυτών παρουσιάζεται ελπιδοφόρα όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών των αλδεϊδών. Δοκιμές της EPA σε οχήματα σε διάφορα πανεπιστήμια για το σχέδιο της SAE «Η πρόκληση της Μεθανόλης» το 1990 κατέληξαν ότι 8 στα 10 οχήματα είχαν πολύ χαμηλότερες εκπομπές φορμαλδεΐδης που είχαν προκύψει σε άλλη δοκιμή πριν από δυο χρόνια. Στον πίνακα 2.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών σε μια Chevrolet Corsica του 1988 που έχει τροποποιηθεί για να λειτουργεί με M100. Παρόλο που το συγκεκριμένο όχημα δεν αύξησε την σημαντικά την απόσταση που διήνυσε, προέκυψε σύμφωνο με τα πρότυπα ULEV και σημείωσε οικονομία καυσίμου 9,91 mpg.

2.5 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφοράς με τη μορφή ηλεκτρικής μπαταρίας ή μέσω των οχημάτων με κυψέλες καυσίμου. Όταν χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει ηλεκτρικά οχήματα (EVs), η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μια συσκευή ενεργειακής αποθήκευσης όπως μια μπαταρία. Οι μπαταρίες των EV έχουν περιορισμένη ικανότητα αποθήκευσης και επανατροφοδοτούνται με τη σύνδεση του οχήματος με μια ηλεκτρική πηγή. Η ηλεκτρική ενέργεια για την επαναφόρτιση των μπαταριών μπορεί να προέλθει από το υπάρχον δίκτυο, ή από ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή ή αιολική ενέργεια.

Τα οχήματα που τροφοδοτούνται από μπαταρία (BPV) προωθούνται στην αγορά ως οχήματα μηδενικών εκπομπών (ZEV). Παρόλα αυτά θεωρείται σημαντική η πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται για να φορτιστούν οι μπαταρίες.



Σχήμα 2.13: Στόλοι που αποτελούνται από Υβριδικά Λεωφορεία

Τα οχήματα κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια ηλεκτροχημική αντίδραση που πραγματοποιείται όταν αντιδρούν το υδρογόνο και το οξυγόνο στη κυψέλη καυσίμου. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί τις κυψέλες καυσίμου πραγματοποιείται χωρίς καύση υδρογονανθράκων ή ρύπανση και παράγει μόνο θερμότητα και νερό.

2.5.1 Χαρακτηριστικά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μοναδική μεταξύ των εναλλακτικών καυσίμων δεδομένου ότι η μηχανική ενέργεια προέρχεται άμεσα από αυτήν, ενώ τα υπόλοιπα εναλλακτικά καύσιμα παράγουν μηχανική ενέργεια μέσω της χημικής ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση. Πρόκειται ουσιαστικά για κίνηση ηλεκτρονίων σε ένα κλειστό κύκλωμα η οποία οφείλεται στη διαφορά δυναμικού που δημιουργείται, τη λεγόμενη τάση. Αιτία της

διαφοράς είναι μια πηγή ηλεκτρονίων, όπως μια μπαταρία. Όσο πιο μεγάλη είναι η διαφορά δυναμικού τόσο πιο έντονο είναι και το αποτέλεσμα της. Η κινητήρια δύναμη παράγεται από την ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτρικής μηχανής. Η ενέργεια που χρησιμοποιούν τα οχήματα παρέχεται συνήθως από μπαταρία, αλλά ερευνούνται επίσης και οι κυψέλες καυσίμου. Οι μπαταρίες είναι συσκευές ενεργειακής αποθήκευσης, αλλά αντίθετα από τις μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμων μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική.

2.5.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται τοποθετημένες σε όλη την επικράτεια ενός κράτους και διαβιβάζεται στους υποσταθμούς μέσω δικτύου μετάδοσης υψηλής τάσης, υποβιβάζεται σε χαμηλότερες τάσεις, και διανέμεται στα σπίτια και τις επιχειρήσεις μέσω του δικτύου διανομής.



Σχήμα 2.14: Σταθμοί Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

Το ερευνητικό ίδρυμα ηλεκτρικής ενέργειας (EPRI) θεωρεί ότι η ηλεκτρική υποδομή των οχημάτων έχει απόδοση συνήθως 98%. Το υπόλοιπο 2% περιλαμβάνει την ανάπτυξη της σύνδεσης δικτύου και οχήματος και τον καθορισμό των επιπτώσεων της επαναφόρτισης των οχημάτων στο δίκτυο.

Μερικές συσκευές έχουν αναπτύξει ειδικούς μετρητές χρόνου-χρήσης και μετρητές αιχμής για να ελέγξουν χωριστά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ένα EV από το υπόλοιπο σπίτι και να παράσχουν τα κίνητρα για επαναφορτισμό τη νύχτα που το ολικό φορτίο είναι χαμηλό.

Η ηλεκτρική ενέργεια των οχημάτων μπορεί επίσης να προκύψει από τη χρήση ανανεώσιμων πηγών όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Το κόστος τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας για τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) είναι λογικό, ειδικά εάν οι καταναλωτές εκμεταλλεύονται τις χρεώσεις εκτός ωρών αιχμής. Εντούτοις, το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλει από κράτος σε κράτος ανάλογα με τη θέση, τον τύπο παραγωγής, και το χρόνο της χρήσης.

Εκτός από αποκλειστικά ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα (EVs), μερικοί κατασκευαστές προσφέρουν ηλεκτρικά οχήματα για κοντινές αποστάσεις (NEVs). Τα NEVs είναι αργόστροφες, αθόρυβες, με μηδενικές εκπομπές συσκευές που ταξιδεύουν έως 25 μίλια την ώρα και δεν έχουν κινητήρα και εξάτμιση.

2.5.4 Πλεονεκτήματα χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα οχήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια δεν έχουν εκπομπές καυσαερίων. Αυτό είναι το αρχικό όφελος ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV). Οι εκπομπές που μπορούν να αποδοθούν σε EVs παράγονται στη διαδικασία ηλεκτρικής παραγωγής στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.

Τα EVs έχουν χαμηλότερο κόστος καυσίμου και δαπάνες συντήρησης από τα βενζινοκίνητα οχήματα. Το κόστος ενός ισοδύναμου ποσού καυσίμων για EVs κοστίζει λιγότερο από την τιμή της βενζίνης. Επίσης, η συντήρηση των EVs γίνεται σπανιότερα, δεδομένου ότι έχουν λιγότερα κινούμενα μέρη, αν και οι μπαταρίες πρέπει να αντικαθίστανται κάθε τρία έως έξι έτη.

Επιπλέον, παρέχονται οικονομικά και άλλα κίνητρα για αγορά και χρήση στόλου EVs αλλά και για ιδιωτικά οχήματα.

2.5.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μπαταρία είναι μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας. Οι μπαταρίες οξειδίων του μολύβδου ήταν οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν σε ηλεκτρικά οχήματα εξαιτίας του χαμηλού κόστους τους, της μεγάλης αξιοπιστίας τους και της δυνατότητας ανακύκλωσης που προσφέρουν. Παρόλα αυτά οι μπαταρίες είναι πολύ λιγότερο αποδοτικές σε σύγκριση με τις δεξαμενές αποθήκευσης βενζίνης ή πετρελαίου diesel. Οι υπάρχουσες μπαταρίες έχουν χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και έτσι απαιτείται μεγάλη μάζα μπαταρίας για να παρέχει στο όχημα το επιθυμητό εύρος ταχυτήτων και φορτίων. Οι μπαταρίες οξειδίων του μολύβδου που χρησιμοποιήθηκαν στο EV-1 της General Motor ζύγιζαν 1100 lb και παρείχαν ανεξαρτησία στο όχημα για 70 μίλια. Αν ένα παρόμοιο όχημα χρησιμοποιούσε βενζίνη θα χρειαζόταν για την ίδια απόσταση 2 γαλόνια βενζίνης και μαζί με τη δεξαμενή θα ζύγιζαν 27 lb το 1/50 του

βάρους των μπαταριών. Μια μπαταρία υδριδίου του Νικελίου θα μείωνε αυτό το βάρος στο 1/30.

Οι μπαταρίες δεν λειτουργούν ικανοποιητικά σε χαμηλές θερμοκρασίες και ο αριθμός φορτίσεων τους είναι περιορισμένος. Τέλος μια μπαταρία κοστίζει πολύ περισσότερο από ότι μια δεξαμενή με βενζίνη ή πετρέλαιο που έχει την ίδια απόδοση ισχύος. Βέβαια τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των μπαταριών αλλά προς το παρόν δεν υπάρχει η τεχνολογία που θα αποδώσει την απαιτούμενη ισχύ και αυτονομία με λογικό οικονομικό αντάλλαγμα.

2.5.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν πολύ χαμηλότερες εκπομπές από κάθε άλλο εναλλακτικό καύσιμο, ακόμα και αν ληφθούν υπόψη οι εκπομπές των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν οι εκπομπές αυτές κατανεμηθούν ανά όχημα, οι εκπομπές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος παραμένουν χαμηλές εξαιτίας του γεγονότος ότι η ισχύς αυτή παράγεται σε μια μόνο τοποθεσία στην οποία μπορούν να ελεγχθούν οι εκπομπές πιο αποτελεσματικά από ότι σε κάθε όχημα χωριστά. Τα επίπεδα εκπομπών που αναλογούν στα ηλεκτρικά οχήματα είναι ακόμα χαμηλότερα αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι το ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται και από ανανεώσιμες πηγές όπως το νερό και ο αέρας αλλά και πυρηνική ενέργεια.

Τέλος, δεδομένου του γεγονότος ότι σχεδόν όλα τα υλικά των μπαταριών είναι τοξικά βαρέα μέταλλα, παρατηρείται επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την εξόρυξη και κατεργασία των μετάλλων και την κατασκευή και ανακύκλωση των μπαταριών.

2.6 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα καύσιμο που βρίσκεται ευρέως στη φύση. Πρόκειται για ορυκτό καύσιμο και γι' αυτό δεν θεωρείται ανανεώσιμο. Παράγεται συνήθως τοπικά ή μεταφέρεται σε ειδικά δίκτυα σωληνώσεων και είναι εύκολα διαθέσιμο στους τελικούς χρήστες μέσω κατάλληλης υποδομής. Στις Ηνωμένες Πολιτείες ενδεικτικά παρήχθησαν το 1988, 1188 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια φυσικού αερίου και ο αριθμός αυτός αυξάνεται σταθερά ανά έτος, υπολογίζοντας 70 χρόνια χρονικό ορίζοντα ζωής των ταμειωτήρων. Αξιόλογοι ταμειωτήρες υπάρχουν επίσης στον Καναδά, το Μεξικό, τη Ρωσία, το Καζακστάν, το Ιράν και την Ινδονησία. Μεγάλες ποσότητες παραμένουν δεσμευμένες σε σκληρά πετρώματα, σε αρμούς άνθρακα και σε γεωπρεσαρισμένα άλατα. Είναι επίσης καθαρό καύσιμο, βρίσκεται σε αφθονία και παράγει σημαντικά λιγότερες επιβλαβείς εκπομπές από την αναμορφωμένη βενζίνη ή το diesel όταν χρησιμοποιείται σε οχήματα φυσικού αερίου. Επιπλέον, τα εμπορικά διαθέσιμα μεσαία και βαρέα οχήματα φυσικού αερίου έχουν καταδείξει μειώσεις πάνω από 90% του μονοξειδίου άνθρακα (CO) και των αιωρούμενων σωματιδίων καθώς και μείωση περισσότερο από 50% των οξειδίων αζώτου (NOx) συγκριτικά με τα οχήματα diesel που διατίθενται στο εμπόριο.



Σχήμα 2.15: Εγκαταστάσεις Ανεφοδιασμού Φυσικού Αερίου

Παρόλα αυτά όμως η ετήσια αύξηση της κατανάλωσης του είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό της παραγωγής του. Το φυσικό αέριο μπορεί είτε να αποθηκευτεί επί ενός οχήματος ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) σε 3.000 ή 3.600 psi είτε ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) σε 20-150 psi. Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις ανέδειξαν και το

απορροφημένο σε ειδικά υλικά φυσικό αέριο (ANG). Συνήθως όμως όταν γίνεται λόγος για το καύσιμο φυσικό αέριο εννοείται το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG). Τέλος, το φυσικό αέριο μπορεί επίσης να συνδυαστεί αποτελεσματικά και με το υδρογόνο.

2.6.1 Χαρακτηριστικά Φυσικού Αερίου

Η σύνθεση του φυσικού αερίου είναι μοναδική σε κάθε ταμειυτήρα. Το βασικό βέβαια συστατικό του είναι το μεθάνιο που αγγίζει το 85 με 95% του συνολικού περιεχομένου του ενώ το υπόλοιπο περιλαμβάνει βαρύτερους υδρογονάνθρακες, άζωτο και νερό. Το μεθάνιο έχει αριθμό οκτανίων (RON) ίσο με 130 και επιπλέον το φυσικό αέριο παρουσιάζει εξαιρετική αντικροτική ικανότητα, που επιτρέπει την αύξηση του κλάσματος συμπίεσης αυξάνοντας έτσι και την απόδοση. Το μόριο του μεθανίου (CH_4) οξειδώνεται χωρίς ενδιάμεσα προϊόντα υδρογονανθράκων, με επαρκή έναυση και χαμηλές εκπομπές με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει επαρκές οξυγόνο. Όταν το φυσικό αέριο καίγεται σε ιδανικές συνθήκες τα καυσαέρια θα περιέχουν μόνο τρία προϊόντα: υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο. Στην πραγματική διεργασία καύσης στα καυσαέρια περιέχονται και καύσιμο που έχει αντιδράσει μερικώς ή δεν έχει αντιδράσει καθόλου, μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του θείου, μονοξείδιο και διοξείδιο του αζώτου (NO , NO_2), που κατηγοριοποιούνται με το ακρωνύμιο NO_x καθώς και αιωρούμενα σωματίδια.

Πίνακας 2.8: Ιδιότητες Κυρίων Αέριων Υδρογονανθράκων

	Μεθάνιο	Αιθάνιο	Προπάνιο	Προπένιο	n-Βουτάνιο	Ισοβουτάνιο	Βουτένια
Ενεργειακό Περιεχόμενο (LHV) (MJ/kg)	50.01	47.48	4635	45.78	45.74	45.59	45.32
Ενεργειακή Πυκνότητα Υγρού (kg/L)	0.466	0.572	0.501	0.519	0.601	0.549	0.607
Ενεργειακή Πυκνότητα Υγρού (MJ/L)	23.30	27.16	23.22	23.76	27.49	25.03	27.51
Ενεργειακή Πυκνότητα Αερίου (MJ/m ³)	32.6	58.4	84.4	79.4	111.4	110.4	113.0
Ειδικό Βάρος Αερίου στους 25 ⁰ C	0.55	1.05	1.55	1.47	2.07	2.06	1,93
Σημείο Βρασμού ⁰ C	-164	-89	-42	-47	-0.5	-12	-6.3 to 3.1
Ερευνητικός αριθμός Οκτανίου	>127	-	109	-	-	-	-
Πραγματικός Αριθμός Οκτανίου	122	101	96	84	89	97	77
Περιεχόμενο Αριθμού Wobbe (MJ/m ³)	5,66	65.11	74.54	71.97	85.46	84.71	81.27

Πίνακας 2.9: Ιδιότητες Συστατικών Φυσικού Αερίου

	Κατώτερη Θερμογόνος δύναμη (Btu/l)	Θερμοκρασία έναυσης (°F)	Αριθμός Οκτανίων (R+M)/2	Στοιχειομετρικό Κλάσμα Αέρα/Καυσίμου
Μεθάνιο	21,297	1350	120	17,2:1
Αιθάνιο	20,270	940	107	16,1:1
Προπάνιο	19,768	878	105	15,7:1
Κανονικό Βουτάνιο	19,494	807	92	15,5:1

Πίνακας 2.10: Τυπική Σύσταση και Ιδιότητες Φυσικού Αερίου

Συστατικό	Χημικός τύπος	Ποσοστό Όγκου	Ποσοστό Μάζας
Μεθάνιο	CH ₄	92,29	84,37
Αιθάνιο	C ₂ H ₆	3,6	6,23
Προπάνιο	C ₃ H ₈	0,80	2,06
Βουτάνια	C ₄ H ₁₀	0,29	0,99
Πεντάνια	C ₅ H ₁₂	0,13	0,53
Εξάνια	C ₆ H ₁₄	0,08	0,39
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1,0	2,52
Άζωτο	N	1,8	2,89
Νερό	H ₂ O	0,01	0,01
Σύνολο		100,00	100,00

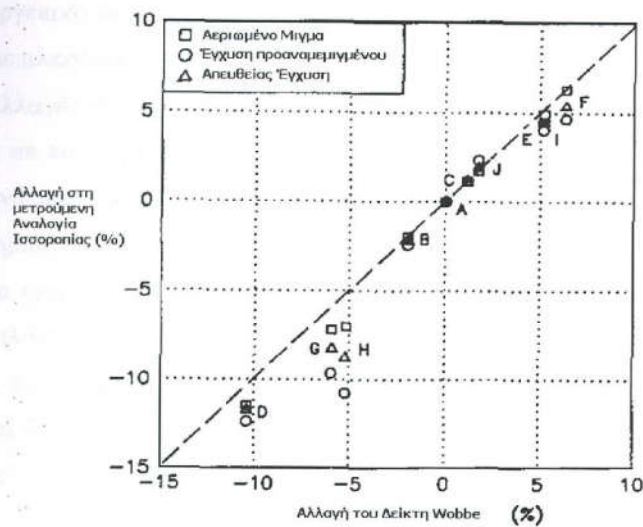
Παράγοντας Συμπιεστότητας Z=0,99769
 Ειδική Βαρύτητα (Αέρας =1) Ιδανικό = 0,6091
 Ειδική Βαρύτητα (Αέρας =1) Κορεσμένο = 0,6162
 Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη στους 60°F και 14,73 psi Ιδανική 1074,5 Btu/ft³

Ο αριθμός Wobbe ή δείκτης Wobbe είναι μια σημαντική παράμετρος στη λειτουργία των κινητήρων φυσικού αερίου. Ουσιαστικά, αυτή η παράμετρος καθορίζει το ποσό της ενέργειας που θα ρεύσει μέσω ενός ακροφύσιου σε συγκεκριμένη πτώση πίεσης. Ο δείκτης Wobbe αεριωδών καυσίμων καθορίζεται από τη σύνθεσή του. Η αξία του, W , υπολογίζεται ως εξής:

$$W = H/\sqrt{\rho} \quad (2.1)$$

όπου το H είναι η ογκομετρική θερμογόνος δύναμη του αερίου, και το ρ είναι η ειδική πυκνότητα. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη πυκνότητα είναι αδιάστατη, ο δείκτης Wobbe έχει τις ίδιες μονάδες με το H : MJ ανά τυποποιημένο κυβικό μέτρο στο SI και BTU ανά τυποποιημένο κυβικό πόδι στο αγγλικό σύστημα μονάδων. Οι δείκτες Wobbe μπορούν να υπολογιστούν από στοιχεία μετρήσεων σύνθεσης του αερίου ή της θερμογόνου δύναμης και της πυκνότητας.

Ο δείκτης Wobbe ενός αερίου είναι ανάλογος προς τη θερμογόνο δύναμη της ποσότητας αερίου που θα διέλθει ενός ακροφύσιου ως αντίδραση σε συγκεκριμένη πτώση πίεσης. Δεδομένου ότι ουσιαστικά όλα τα μετρητικά συστήματα αερίων καυσίμων είναι βασισμένα σε ακροφύσια, μια αλλαγή στον δείκτη Wobbe θα οδηγήσει σε μια σχεδόν ανάλογη αλλαγή στο ποσοστό ενεργειακής ροής, και κατά συνέπεια στην αναλογία αέρα-καυσίμου. Οι αποκλίσεις από την ακριβή αναλογικότητα μπορούν να εμφανιστούν στα συστήματα καυσίμων χρησιμοποιώντας στραγγαλισμένη ροή, ή λόγω των αλλαγών στη αναλογία των καυσίμων HC. Ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις, ο δείκτης Wobbe παρέχει έναν καλό δείκτη της αλλαγής στην αναλογία αέρος-καυσίμου. Το σχήμα 2.16 παρουσιάζει την επίδραση από τις μεταβολές του δείκτη Wobbe στην αναλογία ισοδυναμίας σε έναν κινητήρα φυσικού αερίου που χρησιμοποιεί ποικίλους διαφορετικούς τύπους δοσολογιών καυσίμων.



Σχήμα 2.16: Επίδραση της Διαβάθμισης του αριθμού Wobbe στην Αναλογία Ισορροπίας σε Κινητήρες που χρησιμοποιούν Διαφορετικές Μετρητικές Τεχνολογίες

Η επίδραση των μεταβολών στον δείκτη Wobbe για τα οχήματα αέριων καυσίμων είναι παρόμοια με την έννοια της απόκλισης του ογκομετρικού ενεργειακού περιεχομένου των καυσίμων στα οχήματα βενζίνης. Χαμηλός δείκτης Wobbe οδηγεί σε πιο αδύναμη αναλογία αέρα-καυσίμου, ενώ ένας υψηλότερος δείκτης δίνει πλουσιότερο μίγμα. Ανάλογα με την τεχνολογία δοσολογίας καυσίμων, οι παραλλαγές στον δείκτη Wobbe μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην απόδοση και τις εκπομπές μηχανών. Αν χρησιμοποιηθεί σε όχημα συστήματος ελέγχου κινητήρα ανοιχτού βρόγχου φυσικό αέριο με διαφορετικούς αριθμούς Wobbe, θα επηρεαστούν η απόδοση και οι εκπομπές του κινητήρα. Για τα συστήματα ελέγχου μηχανών χωρίς ανατροφοδότηση αναλογίας αέρα-καυσίμου, όμοια με εκείνο που χρησιμοποιείται στα βαρέα οχήματα, οι παραλλαγές στη σύνθεση καυσίμων μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό πρόβλημα με ενδεχόμενη κατάληξη είτε σε αναποτελεσματική απόδοση του κινητήρα λόγω του πολύ φτωχού μίγματος είτε σε ζημία του κινητήρα λόγω υπερθέρμανσης όταν αυτός λειτουργεί με πλούσιο μίγμα. Αντίθετα σε κινητήρες κλειστού βρόγχου η αλλαγή του αριθμού Wobbe θα έχει ελάχιστα αποτελέσματα στη λειτουργία του κινητήρα δεδομένου ότι θα αντιδράσει μετά το σήμα του αισθητήρα ελέγχου του οξυγόνου στα καυσαέρια και θα διορθώσει το κλάσμα της ισοδυναμίας. Οι σύγχρονες, στοιχειομετρικές μηχανές μίξας με έλεγχο κλειστών βρόγχων αέρος-καυσίμου είναι σε θέση να αντισταθμίσουν τις λογικές μεταβολές στον δείκτη Wobbe, ακριβώς όπως αντισταθμίζουν τις

μεταβολές στο ενεργειακό περιεχόμενο της βενζίνης λόγω των διαφορών καθαρισμού ή της χρήσης μιγμάτων με αλκοόλες.

Επειδή οι αλλαγές στην αναλογία αέρος-καυσίμου έχουν επιπτώσεις στην καύση και την αποδοτικότητα σε πολλές συσκευές που καταναλώνουν φυσικό αέριο και κυρίως στους κινητήρες, οι σωληνώσεις φυσικού αερίου και οι εγκαταστάσεις διανομής έχουν προσπαθήσει από καιρό να διατηρήσουν το στενό έλεγχο του δείκτη Wobbe του αερίου που παραδίδουν. Το καθαρό μεθάνιο έχει έναν δείκτη Wobbe 1361 btu/scf (50,66 MJ/m³). Οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις υψηλότερων υδρογονανθράκων όπως το αιθάνιο και το προπάνιο αυξάνουν τον δείκτη Wobbe, ενώ αυξάνοντας τις συγκεντρώσεις των αδρανών αερίων τον μειώνουν. Στην πράξη, αυτά τα δύο αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για να ακυρώσουν το ένα το άλλο, ώστε να διατηρηθεί ο δείκτης Wobbe του φυσικού αερίου στα επίπεδα της ονομαστικής προδιαγραφής του.

Ο αριθμός Wobbe ελέγχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας φυσικού αερίου όπου αναμιγνύονται τα διάφορα είδη προκειμένου να δημιουργηθεί αέριο με σταθερά χαρακτηριστικά.

Όπως συμβαίνει με την υγρή βενζίνη, ο βαθμός αντίστασης στον κρότο του κινητήρα είναι μια σημαντική ιδιότητα των αέριων καυσίμων. Αυτή η τάση μετριέται με διάφορους τρόπους. Συχνά, η αντικροτική ιδιότητα των αέριων καυσίμων αναφέρεται στα πλαίσια των γνωστών αριθμών οκτανίου έρευνας και κινητήρα (RON και MON) που χρησιμοποιούνται για τη βενζίνη. Εντούτοις, οι παρούσες μέθοδοι RON και MON είναι προοριζόμενες για τα υγρά καύσιμα και δεν προσαρμόζονται καλά για τη μέτρηση της αντικροτικής ιδιότητας του φυσικού αερίου. Ο ASTM έχει καθορίσει πρότυπα (το D 2623) για τη μέτρηση του MON των μιγμάτων LPG, αλλά καμία μέθοδος RON δεν έχει υιοθετηθεί ακόμα για τα αέρια καύσιμα. Το φυσικό αέριο έχει γενικά άριστες αντικροτικές ιδιότητες. Η αντίσταση στον κρότο των περισσότερων μιγμάτων φυσικού αερίου υπερβαίνει την μέγιστη σειρά της κλίμακας (120.34) οκτανίου κατά ASTM. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δεν υπάρχει καμία τυποποιημένη μέθοδος μέτρησης του αριθμού οκτανίου για το φυσικό αέριο.

Προκειμένου να μετρηθεί καλύτερα η αντίσταση κρότου των μιγμάτων φυσικού αερίου, δημιουργήθηκε μια χωριστή κλίμακα αριθμού μεθανίου. Σε αυτήν την κλίμακα, τα καύσιμα αναφοράς είναι μίγματα μεθανίου και υδρογόνου. Το καθαρό μεθάνιο έχει έναν αριθμό μεθανίου 100, και το καθαρό υδρογόνο έχει έναν αριθμό μεθανίου 0. Για να καθορίσουν την σχέση μεταξύ MON και του αριθμού μεθανίου, οι εργαζόμενοι στο Ινστιτούτο Southwest Research επέκτειναν την μέθοδο ASTM MON για τα LPG (MN) σε διάφορα χαρακτηριστικά μίγματα φυσικού αερίου, καθώς επίσης και δείγμα του καθαρού

μεθανίου, του αιθανίου, του προπανίου, και των μιγμάτων μεθάνιο-προπανίου. Διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός MON και μεθανίου MN είναι πολύ σχετικός. Οι σχέσεις που περιγράφουν καλύτερα τους αριθμούς μεθανίου και οκτανίου βρέθηκαν ότι είναι:

$$\text{MON} = 0,679 \times \text{MN} + 72,32 \quad (2.2)$$

$$\text{MN} = 1,445 \times \text{MON} - 103,42 \quad (2.3)$$

Με R^2 σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερο από 0,95.

Λόγω της άριστης αντικροτικής ικανότητας του φυσικού αερίου, οι μηχανές που σχεδιάζονται συγκεκριμένα για τα καύσιμα φυσικού αερίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν υψηλότερες αναλογίες συμπίεσης από τις μηχανές βενζίνης, με μια επακόλουθη βελτίωση στην αποδοτικότητα. Οι χαρακτηριστικές αναλογίες συμπίεσης για τις μηχανές φυσικού αερίου κυμαίνονται από 10:1 (για τις μεγάλες μηχανές) έως 13:1. Η αντικροτική ικανότητα του φυσικού αερίου επιτρέπει επίσης πολύ υψηλότερες πιέσεις ώθησης στους κινητήρες βενζίνης, επιτρέποντας σε αυτές τις μηχανές να επιτύχουν επίπεδα BMEP συγκρίσιμα με εκείνα των σύγχρονων μηχανών diesel βαρέων εφαρμογών. Η αντικροτική απόδοση του φυσικού αερίου είναι καλύτερη για το καθαρό μεθάνιο ή τα μίγματα μεθανίου/ αδρανούς αερίου, και μειώνεται κάπως με την αύξηση των συγκεντρώσεων των μη μεθανικών υδρογονανθράκων. Αυτή η επίδραση δεν είναι συνήθως σημαντική για τη σύνθεση του δικτύου των σωληνώσεων του αερίου, αλλά μπορεί να γίνει σημαντική σε μηχανές υψηλής συμπίεσης που καταναλώνουν μη επεξεργασμένα μίγματα αερίου ή προπανίου αέρα.

Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG):

Το φυσικό αέριο μετατρέπεται σε αυτή τη μορφή του μέσω συνδυασμού συμπίεσης και ψύξης που καταναλώνουν το 10% της ενέργειας που τελικά θα αποδώσει. Εκτός από την απαιτούμενη ενέργεια η υγροποίηση και συμπίεση απαιτεί και ακριβό εξοπλισμό. Το LNG αποτελεί εναλλακτική μέθοδο τροφοδοσίας αυτοκινήτων καθώς ο όγκος του φυσικού αερίου μειώνεται με ένα συντελεστή 600, καθιστώντας οικονομικά εφικτή τη μεταφορά με δεξαμενή. Η χρήση όμως στα οχήματα παρουσιάζει προβλήματα που συμπεριλαμβάνουν βρασμό και μετάδοση θερμότητας από τις αποθηκευτικές δεξαμενές στις οποίες η θερμοκρασία θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στους -259°F . Οι δεξαμενές αυτές συνήθως έχουν διπλά τοιχώματα με κενό ανάμεσά τους, αλλά εξακολουθούν να είναι ελαφρύτερες από αυτές του CNG. Εξαιτίας αυτών των περιορισμών, το LNG δεν θεωρείται ιδανικό για ελαφριές εφαρμογές αλλά εξακολουθεί να ερευνάται η περίπτωση για χρήση σε στόλους οχημάτων υπηρεσιών που κινούνται στο κέντρο κάποιων πόλεων.

Τα συστήματα ανεφοδιασμού συμπιεσμένου φυσικού αερίου μπορούν να διακριθούν σε “αργού ανεφοδιασμού” και “ γρήγορου ανεφοδιασμού ” . Τα κύρια εξαρτήματα ενός χαρακτηριστικού σταθμού “γρήγορου ανεφοδιασμού” είναι ένας συμπιεστής για να αυξήσει την πίεση του αερίου από την πίεση στον σωλήνα διανομής σε περίπου 5000 psi, μια συστάδα δεξαμενών αποθήκευσης η οποία συχνά ονομάζεται “σειριακή”, για να αποθηκεύσει το υψηλής πίεσης αέριο και ένας διανομέας, ο οποίος μοιάζει εξωτερικά με μια κοινή αντλία βενζίνης αλλά είναι πολύ διαφορετικά διαμορφωμένος εσωτερικά. Ο συμπιεστής κινείται από μια ηλεκτρική μηχανή ή μια μηχανή φυσικού αερίου, και απαιτεί αξιοσημείωτη ισχύ.



Σχήμα 2.17: Σταθμός Αργού Ανεφοδιασμού Οχημάτων Μεσαίου Τύπου

Το κόστος του συμπιεστή και η μηχανή αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των γενικών δαπανών ενός συστήματος ανεφοδιασμού CNG. Αυτές οι δαπάνες είναι χαρακτηριστικά πολύ υψηλότερες από εκείνες του ανεφοδιασμού σε καύσιμα των συστημάτων υγρών καυσίμων. Η πλήρης συσκευασία περιλαμβάνει επίσης ελέγχους και συσκευές ασφαλείας, φίλτρα για να αποβάλει το πετρέλαιο και τα σωματίδια από το συμπιεσμένο αέριο. Ένικά, ο συμπιεστής, η μηχανή, οι έλεγχοι, και το υπόλοιπο βοηθητικό σύστημα συσκευάζονται και πωλούνται ως μια ενιαία προκατασκευασμένη μονάδα. Το σύστημα μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη συστοιχία της αποθήκευσης και του διανομέα, αλλά μπορούν να πωλούνται και χωριστά. Το σύστημα CNG γρήγορου ανεφοδιασμού σχεδιάστηκε για να ανεφοδιάσει με καύσιμα ένα ή δύο οχήματα ταυτόχρονα και γρήγορα, μέσα σε περίπου 5 λεπτά. Λόγω της γρήγορης πλήρωσης των συστημάτων “γρήγορου ανεφοδιασμού”, το αέριο στους κυλίνδρους δεν προλαβαίνει να αποδώσει θερμότητα στο περιβάλλον. Στο τέλος του ανεφοδιασμού, το αέριο στους κυλίνδρους οχημάτων θα είναι αρκετά θερμότερο από την περιβαλλοντική θερμοκρασία. Αυτό καθιστά δύσκολο τη λήψη ενός πλήρους ανεφοδιασμού σε καύσιμα από

το σύστημα "γρήγορου ανεφοδιασμού". Παρόλο που η πίεση των δεξαμενών βρίσκεται στο ονομαστικό "πλήρες" επίπεδο μετά από τον ανεφοδιασμό του καυσίμου, θα μειωθεί στη συνέχεια καθώς το αέριο στους κυλίνδρους θα ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ένα σύστημα τροφοδοσίας "αργού ανεφοδιασμού" CNG έχει ως σκοπό να ανεφοδιάσει με καύσιμα οχήματα όπως λεωφορεία που μπορούν να σταθμεύσουν καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Όλα τα οχήματα συνδέονται παράλληλα με το συμπιεστή, περιορίζοντας την ανάγκη αποθήκευσης σε συστοιχίες, αλλά πλέον απαιτείται μεγάλος αριθμός από μάνικες και συνδέσεις υψηλής πίεσης. Αυτή η ρύθμιση καθιστά πιθανή την αποδοτική χρησιμοποίηση των συμπιεστών, δεδομένου ότι μπορούν να λειτουργούν συνεχώς όλη τη νύχτα. Για ακόμη πιο αποτελεσματική χρησιμοποίηση των συμπιεστών, είναι επίσης δυνατό να σχεδιαστεί ένα "υβριδικό" σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γρήγορο ανεφοδιασμό κατά τη διάρκεια της ημέρας και να επιβραδύνει τον ανεφοδιασμό τη νύχτα

Απορροφούμενο φυσικό αέριο (ANG):

Εκτός από τις ήδη διαδεδομένες μορφές του φυσικού αερίου, το συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) στο μέλλον φαίνεται να αξιοποιείται και μια ακόμη μορφή του, το απορροφούμενο φυσικό αέριο (ANG). Η μορφή αυτή δημιουργήθηκε από την ανάγκη για αποθήκευση του φυσικού αερίου σε χαμηλότερες πιέσεις και συγκρίθηκε με τις ιδιότητες κυρίως του CNG. Σε μια δεξαμενή ενεργού άνθρακα αποθήκευσης ANG το ένα τρίτο του φυσικού αερίου έχει αποθηκευτεί κανονικά ως ελεύθερο αέριο και τα δυο τρίτα ως απορροφημένο φυσικό αέριο. Μέχρι τα 20 MPa οι δεξαμενές CNG και ANG αποθηκεύουν την ίδια περίπου ποσότητα φυσικού αερίου. Κάτω από αυτή την πίεση η δεξαμενή ANG αποθηκεύει περισσότερο. Η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τον ανεφοδιασμό των δεξαμενών είναι αρκετά χαμηλή ώστε να μπορεί εύκολα να ελεγχθεί.

Πιο αναλυτικά, η πυκνότητα αποθήκευσης του ενεργού άνθρακα για το φυσικό αέριο έχει υπολογιστεί σε 0,13-0,16 g/cc. Το ελκυστικό χαρακτηριστικό του απορροφημένου φυσικού αερίου είναι ότι η πίεση αποθήκευσής του είναι 3,5 MPa, η οποία είναι πολύ μικρότερη από αυτή του συμπιεσμένου φυσικού αερίου. Η χαμηλότερη πίεση παρέχει τη δυνατότητα χρήσης πολύ πιο οικονομικών υλικών για τη κατασκευή των δεξαμενών αποθήκευσης των οχημάτων. Η δεξαμενή του ANG θα μπορούσε βέβαια να είναι και πολύ μεγαλύτερη από αυτή του CNG αλλά προσαρμόζεται πάντα στο δεδομένο χώρο. Η αυξημένη αποθηκευτική του ικανότητα θα έδινε τη λύση στον περιορισμό της απόστασης που μπορεί να διανύσει ένα όχημα φυσικού αερίου και ένας συμβατικός συμπιεστής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για το γέμισμα αυτής της δεξαμενής. Το πιο αξιόλογο υλικό που

χρησιμοποιείται για αυτές τις δεξαμενές είναι ο ενεργός άνθρακας Amoco (PX-21) ως υλικό απορρόφησης του φυσικού αερίου, ο οποίος είναι ανώτερος του κοινού άνθρακα όσον αφορά την απορρόφηση σε κατά βάρος αναλογία και ενδιαφέρον από πλευράς όγκου εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας στην κύρια μάζα του αερίου.

2.6.2 Παραγωγή Φυσικού Αερίου

Τέσσερα είναι τα βασικά στάδια που ακολουθεί το φυσικό αέριο: παραγωγή φυσικού αερίου, επεξεργασία, μεταφορά και αποθήκευση και τέλος διανομή. Κατά το στάδιο της παραγωγής, το φυσικό αέριο ανακτάται και συγκεντρώνεται σε πεδία αερίου και πετρελαίου, ενώ έπειτα μεταφέρεται με σωλήνες στο εργοστάσιο επεξεργασίας. Εκεί το αέριο διαχωρίζεται από τα ελεύθερα υγρά όπως το αργό πετρέλαιο, το συμπύκνωμα υδρογονανθράκων, το νερό και τα παρασυρόμενα στερεά. Πιο συγκεκριμένα διαχωρίζονται τα υγρά υψηλής αξίας όπως το προπάνιο και το βουτάνιο και καθαρίζεται από τις άλλες άχρηστες ενώσεις όπως το CO₂ και το θείο, καταλήγοντας στη μορφή που θα διανεμηθεί με τους σωλήνες. Το φυσικό αέριο βρίσκεται στη φύση αναμεμιγμένο με ποικίλα ποσά υδρογονανθράκων εκτός του μεθανίου (HC), υδρόθειο (H₂S), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ατμό (H₂O), άζωτο (N), ήλιο (He), αργό (Ar) και άλλα ίχνη αερίων. Το νερό και το υδρόθειο πρέπει οπωσδήποτε να αφαιρεθούν καθώς αποτελούν τη βασική πηγή της διάβρωσης των σωληνώσεων αλλά και οι ανώτεροι υδρογονάνθρακες για να αποφευχθεί η συμπίεσή τους σε υψηλές πιέσεις στο δίκτυο των σωληνώσεων. Υπάρχει επίσης σημαντικό οικονομικό όφελος της αφαίρεσης αυτών των υδρογονανθράκων καθώς αποτελούν την πρώτη ύλη για βενζίνη ή LPG. Το ήλιο, το οποίο βρίσκεται σε σημαντικές ποσότητες είναι επίσης ένα πολύτιμο υποπροϊόν. Συνάμα, αφαιρούνται κατά την επεξεργασία και οι ποσότητες των αδρανών αερίων που βρίσκονται σε περίσσεια όπως CO₂, Ar και N₂. Το διαχωρισμένο αέριο υποβάλλεται σε περαιτέρω επεξεργασία για να καλύψει συγκεκριμένες απαιτήσεις. Παραδείγματος χάριν, το φυσικό αέριο που προορίζεται για τις εταιρίες διανομής πρέπει γενικά να ανταποκρίνεται σε ορισμένες ποιοτικές προδιαγραφές σωληνώσεων όσον αφορά την περιεκτικότητα σε νερό, το σημείο δρόσου των υδρογονανθράκων, την θερμική του αξία, και την περιεκτικότητα του σε υδρόθειο. Εγκαταστάσεις αφυδάτωσης ελέγχουν την περιεκτικότητα σε νερό, εγκαταστάσεις επεξεργασίας αερίου αφαιρούν ορισμένους υδρογονάνθρακες κατά τις προδιαγραφές του σημείου δρόσου υδρογονανθράκων και εγκαταστάσεις εξευγενισμού του αερίου αφαιρούν το υδρόθειο και τις άλλες θειούχες ενώσεις. Η μετέπειτα μεταφορά γίνεται μέσω δικτύου σωληνώσεων, βυτίων, πλοίων και

τραίνων στις κατά τόπους εταιρίες διανομής. Στους κατά τόπους σταθμούς το φυσικό αέριο υψηλής πίεσης αποσυμπιέζεται και διανέμεται στον τελικό καταναλωτή.

Αν και το αέριο που διανέμεται με σωληνώσεις παρουσιάζει γενικά περιορισμένη ποικιλία σύνθεσης και ιδιοτήτων, το φυσικό αέριο που βρίσκεται στα κεντρικά συστήματα μεταφοράς μπορεί να έχει μεγάλη μεταβλητότητα. Σε μερικές περιπτώσεις, τα συστήματα διανομής στην περιοχή παραγωγής λαμβάνουν το αέριο άμεσα από γεωτρήσεις, με ελάχιστη επεξεργασία. Το αέριο που προκύπτει μπορεί να είναι πλούσιο σε μη-μεθανικούς υδρογονάνθρακες, αδρανή αέρια, ή και στα δύο. Ένας άλλος παράγοντας που έχει επιπτώσεις στη σύνθεση αερίου στα συστήματα διανομής είναι η περιστασιακή συμπλήρωση των ποσοτήτων φυσικού αερίου με μίγματα αέρα προπανίου για να ικανοποιηθεί η μέγιστη χειμερινή ζήτηση. Πολλές εταιρίες διανομής στις ανατολικές Η.Π.Α. έχουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης μίγματος αέρα-προπανίου, οι οποίες χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά μόνο για μερικές ημέρες ετησίως. Υψηλά επίπεδα προπανίου ως αποτέλεσμα τέτοιας χρήσης μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στα συστήματα καυσίμων CNG, δεδομένου ότι το προπάνιο μπορεί να υγροποιηθεί στις χαρακτηριστικές πιέσεις αποθήκευσης του CNG.

Το περισσότερο φυσικό αέριο που καταναλώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες παράγεται εσωτερικά. Τα ρεύματα του αερίου παράγονται από τις υπόγειες δεξαμενές που περιέχουν το φυσικό αέριο σε συνδυασμό με πετρέλαιο, άλλα υγρά και υλικά. Επιπλέον, το φυσικό αέριο (μεθάνιο) μπορεί επίσης να προέλθει από το αέριο υλικών οδόστρωσης και την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

Μεμονωμένα

2.6.3 Αγορά καυσίμων φυσικού αερίου

Εξ' αιτίας της δυσκολίας της μεταφοράς, η τιμή του φυσικού αερίου ποικίλλει σημαντικά από χώρα σε χώρα, και ακόμη και μέσα στις ίδιες χώρες. Όπου το αέριο είναι διαθέσιμο από τη σωλήνωση μέχρι τον ταμιευτήρα, η τιμή του προκύπτει ανταγωνιστικά με τα υπόλοιπα πετρελαϊκά καύσιμα ή τον άνθρακα ως καύσιμα καυστήρων. Η καθαρή τιμή αγοράς του αερίου στους βιομηχανικούς πελάτες υπό αυτούς τους όρους, που αναφέρονται στη Βόρεια Αμερική, ένα μεγάλο μέρος της Ευρώπης, και εκείνα τα μέρη της λατινικής Αμερικής και της Ασίας που εξυπηρετούνται από δίκτυο σωληνώσεων του αερίου, ήταν χαρακτηριστικά περίπου από 2,00\$ έως 4,00 \$ ανά εκατομμύριο btu στη δεκαετία του '90. Αυτό είναι ίσο με περίπου 0,25 \$ έως 0,50\$ ανά ισοδύναμο γαλόνι βενζίνης. Για τη χαρακτηριστική σύνθεση αερίου, ένα εκατομμύριο btu είναι ισοδύναμο με περίπου 960 κανονικοποιημένα κυβικά πόδια (scf), ή 35 κανονικοποιημένα κυβικά μέτρα.

Για να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα θα πρέπει να συμπιεστεί ή να υγροποιηθεί. Το βασικό και λειτουργικό κόστος ενός συστήματος συμπίεσης μπορεί να προσθέσει ακόμα 0,5 με 2 \$ ανά εκατομμύριο Btu ή 0,06 με 0,25 \$ ανά ισοδύναμο γαλόνι βενζίνης στο κόστος του CNG για χρήση σε οχήματα, αναλογικά πάντα με το μέγεθος του εξοπλισμού και την πίεση παροχής του φυσικού αερίου. Άλλες δαπάνες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι οι φόροι της χρήσης στο δρόμο και το κέρδος του εμπόρου.

Το κόστος LNG ποικίλλει αρκετά, ανάλογα με τους συγκεκριμένους όρους συμβάσεων. ο κόστος της μικρής κλίμακας ρευστοποίησης του φυσικού αερίου είναι περίπου \$2,00 ανά εκατομμύριο btu, που το καθιστούν αντικοινομικό σε σύγκριση με το CNG στις περισσότερες περιπτώσεις. Εντούτοις, όπου βρίσκεται μακριά η διάθεση του χαμηλού κόστους αερίου, η παραγωγή LNG μπορεί να είναι αρκετά οικονομική. Οι χαρακτηριστικές δαπάνες του 1993 για LNG που παραδόθηκε στην Ιαπωνία ήταν περίπου \$3,50 έως \$4,00 ανά εκατομμύριο btu.

Το φυσικό αέριο διανέμεται σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες με εκτενή συστήματα σωληνώσεων που επεκτείνονται από την πηγή έως τον τελικό χρήστη. Κάθε ηπειρωτική πολιτεία έχει πρόσβαση στο φυσικό αέριο μέσω των σωληνώσεων. Το σύστημα σωληνώσεων αποτελείται από μεγάλης απόστασης συστήματα μετάδοσης, ακολουθούμενα από τα τοπικά συστήματα διανομής.

Τα οχήματα φυσικού αερίου μπορούν εύκολα να τροφοδοτηθούν με καύσιμα στους δημόσιους σταθμούς ή μπορεί να επιτευχθεί ανεφοδιασμός σε άλλους σταθμούς. Οι μεμονωμένοι εγχώριοι συμπίεστες χρησιμοποιούν ένα σύστημα αργής τροφοδοσίας που λειτουργεί συνήθως τη νύχτα. Ένας μικρός συμπίεστής βρίσκεται συνήθως στην περιοχή του γκαράζ ενός σπιτιού και συνδέεται άμεσα με τον ανεφοδιασμό του φυσικού αερίου στο σπίτι. Στις βαρέων καθηκόντων εφαρμογές, το κόστος ενός ιδιωτικού ή δημόσιου σταθμού γρήγορης τροφοδοσίας και υψηλής χωρητικότητας θα μπορούσε να είναι οπουδήποτε μεταξύ 200 έως 3 εκατομμύρια δολάρια.

Το μέλλον φαίνεται αισιόδοξο για το φυσικό αέριο επειδή μπορεί ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα κυψελών καυσίμου για να παράγει υδρογόνο. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα οχήματα κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιούν υδρογόνο που παράγεται από φυσικό αέριο θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια ελκυστική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου.

2.6.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ένα από τα καθαρότερα διαθέσιμα εναλλακτικά καύσιμα και προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα πέρα από τη βενζίνη. Στις ελαφριές εφαρμογές, οι εκπομπές αερίων από τα οχήματα φυσικού αερίου είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνες των βενζινοκίνητων οχημάτων. Επιπλέον, η παραγωγή αερίων αιθαλομίχλης, όπως το μονοξειδίο του άνθρακα και τα οξειδία του αζώτου, μειώνεται περισσότερο από 90% και 60% αντίστοιχα και το διοξείδιο του άνθρακα, το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, μειώνεται από 30% έως 40%.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι το CNG βρίσκεται στην αέρια φάση, δεν εξατμίζεται όπως τα υπόλοιπα υγρά καύσιμα και έτσι δεν απαιτεί εμπλουτισμό για να ξεκινήσει σε απότομες μεταβολές της λειτουργίας του και αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες εκπομπές CO. Επιπρόσθετα ελαχιστοποιούνται οι εκπομπές αερίων ρύπων. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι περιορίζεται η ρύπανση από άκαυστο καύσιμο κατά την ψυχρή εκκίνηση. Αυτό το γεγονός επεκτείνει τα κενά της αλλαγής καυσίμου και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του κινητήρα.

Επιπρόσθετα, παρουσιάζει μεγάλο εύρος αναφλεξιμότητας, γεγονός που επιτρέπει τη λειτουργία με φτωχά μίγματα. Η χαμηλή θερμοκρασία φλόγας περιορίζει το σχηματισμό NO_x και δεδομένου ότι περιέχει μόνο 75% άνθρακα ανά μάζα σε σύγκριση με το πετρέλαιο diesel και τη συμβατική βενζίνη που περιέχουν 86-88% παράγει λιγότερο CO₂ ανά μονάδα ενέργειας που απελευθερώνεται. Επίσης βασικό πλεονέκτημα είναι ότι το φυσικό αέριο δεν είναι ούτε καρκινογόνο ούτε τοξικό. Έχει χαμηλή πυκνότητα, υψηλή θερμοκρασία έναυσης (540 °C), υψηλά όρια αναφλεξιμότητας και έτσι διαλύεται εύκολα στην ατμόσφαιρα γεγονός που καθιστά δύσκολη την έναυσή του. Για τους παραπάνω λοιπόν λόγους είναι πιο ασφαλές από τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα.

2.6.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Φυσικού Αερίου

Το μεθάνιο έχει υψηλή αντίσταση στην αυτανάφλεξη. Η ελάχιστη ενέργεια ανάφλεξης που απαιτείται είναι πολύ υψηλότερη από κάθε άλλο υδρογονάνθρακα. Επίσης όσο αυξάνεται ο όγκος του μεθανίου, τόσο μειώνεται η απόδοση του κινητήρα καθώς ο όγκος του αερίου μειώνει την ικανότητα εισαγωγής αέρα στο εσωτερικό του.



Σχήμα 2.18: Οχημα CNG

Η λειτουργία σε φτωχά μίγματα μειώνει τη δυνατότητα του καταλύτη να ελαττώσει επιπλέον τα επίπεδα NO_x εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων, της υπερίσχυσης του οξειδωτικού παράγοντα (O_2) και έλλειψης ενός μειωτικού παράγοντα (CO) στα καυσαέρια που είναι απαραίτητος για τη διάσπαση των μορίων του NO_x . Για κινητήρες φυσικού αερίου που λειτουργούν με στοιχειομετρική καύση, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x) μπορούν να ελεγχθούν με ένα κοινό τριοδικό καταλύτη σε συνδυασμό με ανάδραση επιπέδων οξυγόνου κλειστού βρόγχου και επανακυκλοφορίας των καυσαερίων (EGR). Οι εκπομπές NO_x είναι το αποτέλεσμα των αερίων υψηλής θερμοκρασίας που δημιουργούνται κατά τη διεργασία της καύσης σε συνδυασμό με το άζωτο (N_2) του εισαγόμενου ατμοσφαιρικού αέρα. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία των καυσαερίων τόσο πιο έντονος είναι ο σχηματισμός των οξειδίων του αζώτου. Η λύση στο πρόβλημα δίνεται αυξάνοντας την επανακυκλοφορία των καυσαερίων ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία της έναυσης. Στους κινητήρες έναυσης με σπινθήρα (SI) οι εκπομπές NO_x συνδέονται άμεσα με αυτές των υδρογονανθράκων (HC). Οι ελάχιστες εκπομπές HC επιτυγχάνονται όταν η στοιχειομετρία της αντίδρασης κλίνει προς την πλευρά του φτωχού μίγματος (η αναλογία ισοδυναμίας φ ελαφρώς μικρότερη της μονάδας). Δυστυχώς σε αυτό το σημείο η θερμοκρασία έναυσης είναι σχεδόν η μέγιστη. Έτσι ο καθορισμός των ποσοστών NO_x και HC γίνεται με την εκλογή του χρόνου έναυσης η οποία θα ρυθμίσει και τη διάρκεια της έναυσης αλλά και τη μέγιστη θερμοκρασία καύσης.

Το φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε κυλίνδρους σε πίεση 220 bar (3150 psi). Το σγκομετρικό του περιεχόμενο σε ενέργεια είναι 8 MJ/l το οποίο είναι 75% λιγότερο από το αντίστοιχο της βενζίνης και 78% λιγότερο του πετρελαίου diesel. Είναι λοιπόν αυτονόητο ότι

το γεγονός αυτό επηρεάζει τη απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα όχημα, ειδικά για τα επιβατικά αυτοκίνητα, όπου ο διαθέσιμος χώρος της δεξαμενής καυσίμου είναι περιορισμένος. Εκτός από το χώρο, πρόβλημα αποτελεί και το ιδιαίτερα αυξημένο βάρος των κυλίνδρων. Επιπρόσθετα οι απαιτήσεις ασφάλειας για τους κυλίνδρους αυτούς είναι αρκετά υψηλές και έτσι κάθε κύλινδρος δοκιμάζεται χωριστά σε υψηλές πιέσεις και αντίξοες συνθήκες.

Κάποια άλλα ζητήματα που προκύπτουν από τη χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου για μεταφορικά μέσα αφορούν την υποδομή τροφοδοσίας, την περιορισμένη παραγωγή οχημάτων, την επιλογή της μετατροπής ενός οχήματος ώστε να καταναλώνει φυσικό αέριο μετά την αγορά του και άλλα. Καινοτόμες προσπάθειες για την προμήθεια CNG περιλαμβάνουν μεταφορά με φορτηγά σε απομακρυσμένους σταθμούς ανεφοδιασμού και μεταφορά με φορτηγά LNG σε περιφερειακούς σταθμούς τροφοδοσίας. Επίσης αρκετές εταιρίες πετρελαίου παρέχουν CNG σε συμβατικούς σταθμούς ανεφοδιασμού άλλων καυσίμων.

2.6.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Φυσικού Αερίου

Το μόριο του μεθανίου περιέχει ένα άτομο άνθρακα και τέσσερα άτομα υδρογόνου. Ως αποτέλεσμα αυτού το φυσικό αέριο είναι γνωστό ως καύσιμο φτωχό σε άνθρακα και αυτή είναι η αιτία των χαμηλών εκπομπών μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα που παράγει. Για τις βαριές και μεσαίες εφαρμογές, οι μηχανές φυσικού αερίου έχουν καταδείξει μείωση περισσότερο από 90% του CO και των αιωρούμενων σωματιδίων και περισσότερο από 50% των NO_x σχετικά με τις εμπορικές μηχανές diesel. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της καύσης και είναι αποτέλεσμα πλούσιων μιγμάτων καυσίμου όπου δεν υπάρχει επαρκής αέρας για να οξειδώσει πλήρως τον άνθρακα προς διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Ο βασικός ρυπαντής του φυσικού αερίου είναι το άκαυστο μεθάνιο, που είναι το αποτέλεσμα του δυσανάλογου κλάσματος καυσίμου /αέρα και της ανομοιογενούς ανάμιξης. Οι εκπομπές μεθανίου είναι πολύ λιγότερο ενεργές από τις αντίστοιχες εκπομπές βαρέων υδρογονανθράκων που εκλύονται από την καύση της βενζίνης και του diesel. Όπως και στα δυο τελευταία καύσιμα, έτσι και με το φυσικό αέριο παρουσιάζονται προβλήματα με τις εκπομπές NO_x οι οποίες κυμαίνονται στα επίπεδα των υπόλοιπων συμβατικών καυσίμων. Ο παραπάνω αέρας που συνδέεται με την καύση φτωχών μιγμάτων, που χρησιμοποιείται για να μεγιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση, θα είναι η αιτία της μείωσης των NO_x σε αυτούς τους

κινητήρες, αλλά στο βαθμό που απαιτείται για να είναι σύμφωνες με τη μελλοντική νομοθεσία για τους αέριου ρύπους.

Το μικρό ποσοστό θείου στο φυσικό αέριο οφείλεται κυρίως στις αρωματικές ενώσεις που προστίθενται για τον εντοπισμό των διαρροών. Το θείο αυτό οξειδώνεται κατά τη διεργασία της καύσης και έτσι δημιουργούνται οξειδία του θείου στα καυσαέρια. Ευτυχώς αυτό δεν είναι σημαντικό πρόβλημα καθώς οι ποσότητες τους είναι περιορισμένες

2.7 Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου (LPG)

Το προπάνιο ή το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) είναι μια δημοφιλής εναλλακτική επιλογή καυσίμων για οχήματα επειδή υπάρχει ήδη μια υποδομή σωληνώσεων, εγκαταστάσεις επεξεργασίας, και αποθήκευσης για την αποδοτική διανομή του.

Εκτός από το γεγονός ότι είναι εύκολα διαθέσιμο στο ευρύ κοινό, το LPG παράγει λιγότερες εκπομπές όταν εφαρμόζεται σε οχήματα ακόμα και από την αναμορφωμένη βενζίνη. Το LPG παράγεται ως υποπροϊόν της επεξεργασίας φυσικού αερίου και του καθαρισμού ακατέργαστου πετρελαίου

Πίνακας 2.11 Ποικιλία στη σύνθεση του LPG σε διαφορετικά κράτη

Κράτος	Προπάνιο και Προπένιο (%)
Βέλγιο	40-60
Χιλή:	
Εμπορικό Προπάνιο	70-100
Εμπορικό Βουτάνιο	0-30
Φιλανδία	100
Γαλλία	20-50
Γερμανία	100
Ολλανδία	30-70
Ηνωμένο Βασίλειο	50-100
Ηνωμένες Πολιτείες	98-100

2.7.1 Χαρακτηριστικά LPG

Το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) αποτελείται κυρίως από προπάνιο, προπυλένιο, βουτάνιο, και βουτένιο σε διάφορες αναλογίες. Εντούτοις, το κύριο συστατικό του μίγματος είναι το προπάνιο. Τα συστατικά του LPG είναι αέρια σε κανονικές θερμοκρασίες και πιέσεις.

Ο όρος "υγροποιημένο αέριο πετρελαίου," ή LPG, αναφέρεται σε μίγματα υδρογονανθράκων με τρία και τέσσερα άτομα άνθρακα όπως το προπάνιο (C_3H_8), το

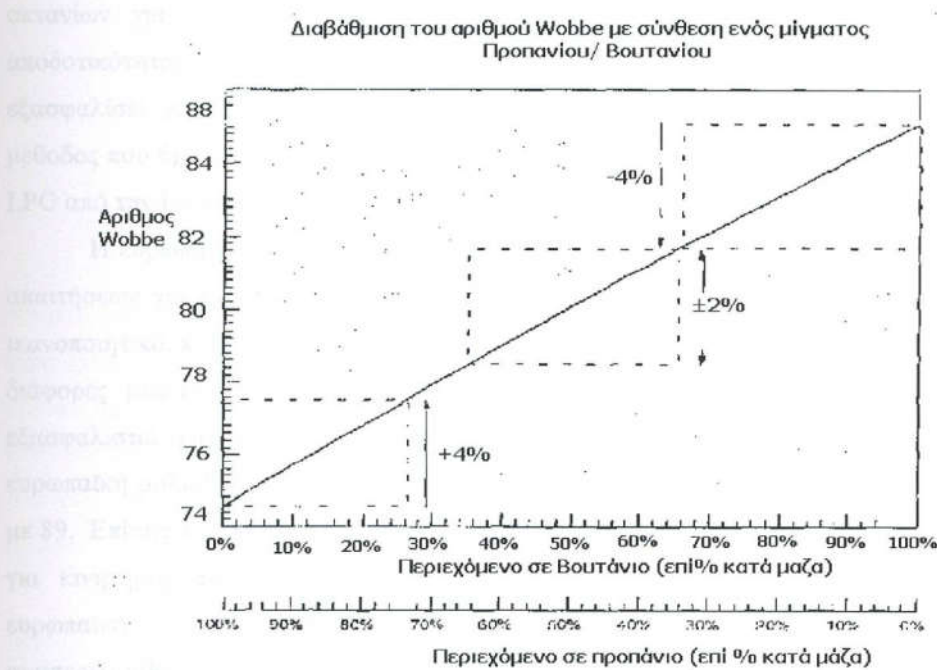
προπένιο (C_3H_6), το ν-βουτάνιο (C_4H_{10}), το ισοβουτάνιο (μεθυλοπροπάνιο), και διάφορα βουτένια (C_4H_8). Μπορούν επίσης να περιληφθούν μικρά ποσά αιθανίου (C_2H_6).

Το LPG είναι ουσιαστικά ένα υποπροϊόν, είτε παράγεται από την επεξεργασία του φυσικού αερίου είτε από τον εξευγενισμό του πετρελαίου. Οι χρήσεις του LPG, εκτός από καύσιμο αυτοκινήτων, περιλαμβάνουν την πετροχημική παραγωγή, διάφορες οικιακές εφαρμογές όπως μαγείρεμα και θέρμανση, και εφαρμογές στη βιομηχανία. Η σύνθεση του εμπορικού LPG ποικίλλει πολύ από χώρα σε χώρα. Στις Η.Π.Α., το καύσιμο LPG για εφαρμογές αυτοκινήτων είναι γενικά περισσότερο από 80% προπάνιο με μικρά ποσοστά αιθανίου και βουτανίου και μέχρι 10% προπένιο. Στην Ευρώπη, οι χώρες που έχουν σχετικά κρύο κλίμα τείνουν να χρησιμοποιήσουν υψηλά ποσοστά προπανίου και προπένιο προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής πίεση ατμού στα καύσιμα το χειμώνα, ενώ οι θερμότερες χώρες όπως η Ιταλία χρησιμοποιούν συνήθως το βουτάνιο και το βουτένιο. Η σύσταση του LPG μπορεί επίσης να ποικίλει μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα, με υψηλότερο ποσοστό προπανίου και προπένια τους χειμωνιάτικους μήνες. Ο πίνακας 2.11 συνοψίζει το ποσοστό C_3 των υδρογονανθράκων στο LPG του εμπορίου για διάφορες χώρες.

Τα LPG με τρία και τέσσερα άτομα άνθρακα διαφέρουν στο ογκομετρικό ενεργειακό τους περιεχόμενο, έτσι ώστε μια αλλαγή στη σύσταση του LPG μπορεί να επηρεάσει την αναλογία αέρα-καυσίμου στους κινητήρες και τις άλλες συσκευές καύσης που λειτουργούν με LPG. Αν και χρησιμοποιείται σπάνια στην αναφορά του LPG, ο δείκτης Wobbe ισχύει εξίσου στην αξιολόγηση της επίδρασης της διαφορετικής σύνθεσης καυσίμου στην αναλογία αέρα-καυσίμου.

Η επίδραση των μεταβολών στον δείκτη Wobbe για τα οχήματα LPG είναι παρόμοια με αυτή των μεταβολών στην πυκνότητα της υγρής βενζίνης. Τα επίπεδα διαφοροποίησης στην πυκνότητα της βενζίνης που θεωρούνται αποδεκτά μπορούν να χρησιμεύσουν ως ένας οδηγός στα αποδεκτά επίπεδα παραλλαγής στον δείκτη Wobbe. Η ειδική πυκνότητα της βενζίνης ποικίλλει από περίπου 0,72 έως 0,75, διαβάθμιση δηλαδή της τάξεως του 4% περίπου. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτό το κριτήριο, μια αποδεκτή διαβάθμιση στον δείκτη Wobbe του LPG θα ήταν περίπου 4% με $\pm 2\%$ γύρω από την ονομαστική αξία του. Στο σχήμα 2.19 παρουσιάζεται ο δείκτης Wobbe σε σχέση με τη σύνθεση καυσίμων για ένα διπλό μίγμα προπανίου και ίσων μερών κανονικού βουτανίου και ισοβουτανίου. Επίσης παρουσιάζονται στο σχήμα τα τετράγωνα που αντιστοιχούν στις επιτρεπόμενες διαβαθμίσεις στον δείκτη Wobbe για σύνθεση τριών μιγμάτων LPG: προπάνιο 100%, βουτάνιο 100%, και ένα μίγμα προπανίου 50%/βουτανίου 50%. Για μια ονομαστική προδιαγραφή βασισμένη σε 100% προπάνιο, η αποδεκτή απόκλιση στη σύνθεση θα ήταν τόσο χαμηλή όπως το προπάνιο

75% και βουτάνιο 25%, χρησιμοποιώντας το κριτήριο της απόκλισης του 4% στον δείκτη Wobbe. Για ένα ονομαστικό μίγμα 50/50, η αποδεκτή απόκλιση από την περιεκτικότητα σε βουτάνιο θα ήταν μεταξύ 35% και 65%, εάν το υπόλοιπο ήταν προπάνιο. Για ονομαστική προδιαγραφή βουτανίου 100%, η αποδεκτή διαβάθμιση θα ήταν τόσο χαμηλή όσο το μίγμα 65% βουτανίου και 35% προπανίου. Κατά συνέπεια, αυτό το κριτήριο παρέχει έλεγχο της διαβάθμισης της αναλογίας του μίγματος αέρα-καυσίμου, ενώ επιτρέπει σημαντική ευελιξία στη σύνθεση LPG.



Σχήμα 2.19: Επιρροή της Διαβάθμισης της Σύστασης LPG στον Αριθμό Wobbe

Από τους υδρογονάνθρακες που συνήθως συμπεριλαμβάνονται στο LPG, το προπάνιο έχει καλύτερη αντικροτική ικανότητα έναντι της βενζίνης. Η αντικροτική απόδοση των άλλων συστατικών του LPG είναι εμφανώς κατώτερη από αυτήν του προπανίου, που καθιστά προφανές ότι μια μηχανή που κατασκευάζεται για χρήση σε μεγάλο αριθμού οκτανίων προπάνιο να πάθει ζημία από τον κρότο εάν χρησιμοποιούνται LPG που περιέχουν σημαντικές ποσότητες προπυλενίου, βουτανίων, ή βουτενίων. Αυτό είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο τα αυτοκίνητα που είναι τυποποιημένα για χρήση LPG χρησιμοποιούν σχεδόν καθαρό προπάνιο. Αυτά τα πρότυπα αναπτύχθηκαν προκειμένου να προσαρμοστούν σε κινητήρες ειδικού, υψηλής συμπίεσης προπανίου που χρησιμοποιούνται σε βαρέα οχήματα όπως τρακτέρ.

Με εξαίρεση τα ειδικής χρήσης βαρέα οχήματα, σχεδόν όλο το εύρος μηχανών LPG που μετατράπηκαν από κινητήρες που σχεδιάστηκαν αρχικά για βενζίνη, διατηρούν σχετικά χαμηλές αναλογίες συμπίεσης τις οποίες έχει επιβάλλει η χρήση βενζίνης. Κατά συνέπεια, για τις περισσότερες μηχανές, η πρόσθετη ποιότητα οκτανίου του καθαρού προπανίου υπερβαίνει κατά πολύ το επίπεδο οκτανίου που απαιτείται, και δεν παρέχει κανένα όφελος. Δεδομένου ότι το καθαρό προπάνιο μπορεί να μην είναι από τα οικονομικότερα καύσιμα, θα μπορούσε να γίνει μια πρακτικότερη προσέγγιση να διευκρινιστεί η ελάχιστη απαίτηση οκτανίων για το LPG, βασισμένη σε εκτιμήσεις της οικονομικής και της τεχνικής αποδοτικότητας. Τουλάχιστον, αυτή η απαίτηση οκτανίου πρέπει να τεθεί αρκετά υψηλή να εξασφαλίσει χωρίς προβλήματα τη λειτουργία στους κινητήρες βενζίνης. Αυτή είναι η μέθοδος που έχει υιοθετηθεί στην Ευρώπη με την ανάπτυξη των κανόνων για τα αυτοκίνητα LPG από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN).

Η ευρωπαϊκή εμπειρία δείχνει ότι η κρίσιμη αξία στην καθιέρωση των αντικροτικών απαιτήσεων για το LPG είναι ο μηχανικός αριθμός οκτανίου (MON). Εάν το MON είναι ικανοποιητικό, και ο ερευνητικός αριθμός οκτανίου (RON) θα είναι αρκετά υψηλός. Από τις διάφορες μελέτες, η ομάδα εργασίας της CEN κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για να εξασφαλιστεί η ικανοποιητική λειτουργία στους κινητήρες LPG που σχεδιάζονται για την ευρωπαϊκή μολυβδόχο βενζίνη που έχει MON 87 το ελάχιστο MON θα πρέπει να είναι ίσο με 89. Επίσης προέκυψε το συμπέρασμα ότι LPG με MON ίσο με 87 θα ήταν ικανοποιητικό για κινητήρες που σχεδιάζονται για κανονικά ή αμόλυβδα καύσιμα. Το πραγματικό ευρωπαϊκό πρότυπο διευκρινίζει ότι το MON θα πρέπει να είναι ίσο με 89, συμπεριλαμβάνοντας κατά συνέπεια ακόμη και τους κινητήρες που σχεδιάζονται για μολυβδόχο βενζίνη. Ο πίνακας 2.12 παρουσιάζει τιμές MON που αποδίδονται σε κοινά συστατικά του LPG από την ομάδα εργασίας του CEN. Όπως αυτός ο πίνακας παρουσιάζει, οι τιμές MON του προπανίου και του ισοβουτανίου υπερβαίνουν σημαντικά το απαραίτητο επίπεδο MON, ενώ το κανονικό βουτάνιο το συναντά ακριβώς, και οι ολεφίνες (προπένια και ειδικά βουτένια) υπολείπονται. Κάτω από τα ευρωπαϊκά πρότυπα, ένα διπλό μίγμα προπανίου προπενίου θα μπορούσε να περιέχει τουλάχιστον 53% προπένιο, έναντι ενός μεγίστου 5% που αποδίδεται από τα αμερικανικά πρότυπα.HD-5.

Πίνακας 2.12 : MON των συστατικών του LPG

Αέριο Συστατικό	MON κατά βάση μάζας
Προπάνιο	95,9
Προπένιο	82,9
Κανονικό Βουτάνιο	88,9
Ισομερή Βουτάνια	97,1
Βουτένια	76,8

2.7.2 Παραγωγή LPG

Το LPG είναι ένα υποπροϊόν που προέρχεται από δύο πηγές: επεξεργασία φυσικού αερίου και καθαρισμός ακατέργαστου πετρελαίου. Το περισσότερο από το LPG που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες παράγεται εσωτερικά. Όταν παράγεται το φυσικό αέριο, περιέχει μεθάνιο και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες που διαχωρίζονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας φυσικού αερίου. Επειδή το προπάνιο βράζει στους -44°F και το αιθάνιο στους -127°F , διαχωρίζεται από το μεθάνιο με συνδυασμό αύξησης της πίεσης και μείωσης της θερμοκρασίας.

Οι σημαντικότερες πηγές του εμπορικού LPG είναι η επεξεργασία του φυσικού αερίου και ο εξευγενισμός του πετρελαίου. Στη μορφή που βρίσκεται στο έδαφος, το φυσικό αέριο περιέχει συχνά υπερβολικά προπάνιο και βουτάνια που πρέπει να αφαιρεθούν για να αποτρέψουν τη συμπίκνωσή του σε σωληνώσεις υψηλών πιέσεων, και να ελεγχθεί η απόκλιση που παρατηρείται στις ιδιότητες του αερίου. Το LPG που ανακτάται από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού περιλαμβάνει ελαφρούς υδρογονάνθρακες που διαλύονται σε ακατέργαστο πετρέλαιο και που χωρίζονται αρχικά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απόσταξης, καθώς επίσης και εκείνους που παράγονται στο στάδιο της πυρόλυσης των βαρέων υδρογονανθράκων σε ελαφρύτερα προϊόντα. Οι εγκαταστάσεις εξευγενισμού LPG περιέχουν συχνά σημαντικές ποσότητες ολεφινικών ενώσεων, προπένια και βουτένια, που παράγονται κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης.

Τα υγρά τμήματα του φυσικού αερίου που ανακτώνται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας περιλαμβάνουν το αιθάνιο, το προπάνιο, και το βουτάνιο, καθώς επίσης και βαρύτερους υδρογονάνθρακες.

Το προπάνιο και το βουτάνιο, μαζί με άλλα αέρια, παράγονται επίσης κατά τη διάρκεια του ακατέργαστου καθαρισμού του πετρελαίου ως υποπροϊόντα των διαδικασιών που ρυθμίζουν εκ νέου ή χωρίζουν τη μοριακή δομή για να ληφθούν οι πιο επιθυμητές ενώσεις πετρελαίου.

2.7.3 Αγορά LPG

Προς το παρόν, ο ανεφοδιασμός LPG υπερβαίνει την απαίτηση στα περισσότερα αέριο-και πετρελαιοπαραγωγά κράτη και έτσι η τιμή του είναι χαμηλή έναντι άλλων υδρογονανθράκων. Οι τιμές χονδρικής του βουτανίου και του προπανίου στις Η.Π.Α. είναι χαρακτηριστικά περίπου 30% χαμηλότερες από το κόστος του diesel ως προς την ενέργεια. Ανάλογα με την περιοχή, εντούτοις, οι συμπληρωματικές δαπάνες αποθήκευσης και μεταφοράς του LPG μπορεί να αντισταθμίζουν αυτό το πλεονέκτημα. Επειδή ο ανεφοδιασμός των LPG είναι περιορισμένος, και μικρός σε σχέση με άλλα καύσιμα υδρογονανθράκων, η μετατροπή των οχημάτων για χρήση LPG σε μεγάλη κλίμακα θα απορροφούσε πιθανώς το υπάρχον πλεόνασμα, ωθώντας σε μια αύξηση των τιμών.



Σχήμα 2.20: Οι σταθμοί Ανεφοδιασμού LPG βρίσκονται εξάπλωμένοι σε όλη την επικράτεια των Η.Π.Α.

Περισσότερα από 200.000 οχήματα, συνήθως ενταγμένα σε στόλους, ταξιδεύουν τις εθνικές οδούς των Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας LPG. Το LPG τροφοδοτεί ταξί, σχολικά λεωφορεία, αυτοκίνητα αστυνομίας, και εκατοντάδες άλλα οχήματα. Χρησιμοποιείται σε ελαφρά και μεσαίου τύπου οχήματα και σε όλο τον κόσμο για περισσότερο από 60 έτη.

Η υποδομή πρατηρίων βενζίνης που χρησιμοποιείται για συμβατικά καύσιμα μπορεί να τροποποιηθεί για να διανείμει LPG. Οι συμπληρωματικές δαπάνες σε ένα σταθμό για τη χρήση LPG είναι χαμηλές έναντι των απαιτήσεων για άλλα εναλλακτικά καύσιμα.

Υπάρχουν περισσότεροι από 4.000 σταθμοί τροφοδοσίας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο αριθμός αυτός υπερβαίνει κατά πολύ όλα τα άλλα εναλλακτικά καύσιμα.

2.7.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης LPG

Όπως και το φυσικό αέριο, έτσι και το LPG δεν είναι τοξικό. Εξαιτίας λοιπόν της μη τοξικής του σύνθεσης και της αέριας μορφής του δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του νερού ή του εδάφους, πρόβλημα που παρατηρείται έντονα με τη χρήση βενζίνης και πετρελαίου diesel.

Αποθηκεύεται σε δεξαμενές πάνω στα οχήματα οι οποίες είναι πιο ανθεκτικές από αυτές της βενζίνης. Η πιθανότητα διάρρηξης μιας τέτοιας δεξαμενής είναι πολύ μικρή. Η σφραγισμένη δεξαμενή αυξάνει την πιθανότητα έκρηξης λόγω ατμών αλλά με τη βοήθεια τυποποίησης στην κατασκευή, όπως βαλβίδες αποσυμφόρησης της πίεσης το καθιστούν αδύνατο.

Τα οχήματα που καταναλώνουν LPG απαιτούν λιγότερο σύνθετα συστήματα ελέγχου εκπομπών από άλλα οχήματα βενζίνης ή άλλων υγρών καυσίμων, προκειμένου να μειώσουν τις επιβλαβείς εκπομπές. Ανάμεσα στους λόγους ανώτερης απόδοσης των οχημάτων που καταναλώνουν LPG είναι και οι ακόλουθοι:

- Χαμηλότερες εκπομπές μη προπανικών υδρογονανθράκων δεδομένου ότι το καύσιμο είναι κυρίως προπάνιο
- Χαμηλά ποσοστά σχηματισμού όζοντος των κατάλοιπων των μη προπανικών υδρογονανθράκων
- Χαμηλές εκπομπές αέριων τοξικών ρυπαντών όπως βενζένιο και 1,3 βουταδιένιο.
- Χαμηλές εκπομπές εκτός κύκλου καυσίμου. Σε αντίθεση με τα οχήματα βενζίνης, τα LPG δεν είναι κατασκευασμένα για ενίσχυση ισχύος σε υψηλά φορτία, έτσι οι εκπομπές HC και CO δεν αυξάνονται κατακόρυφα όταν θέτονται απότομα εκτός λειτουργίας τα βοηθητικά αυτά συστήματα.
- Χαμηλές εκπομπές ψυχρής εκκίνησης. Δεν απαιτούν εμπλουτισμό για εκκινήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι δεν επηρεάζονται και οι εκπομπές HC και CO σε αυτές τις συνθήκες.
- Διάρκεια των χαμηλών εκπομπών καθώς βελτιώνεται η πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου καυσαερίων των οχημάτων LPG και ελαχιστοποιείται η συγκέντρωσή τους.

καταστροφή του καταλύτη από την υπερθέρμανση που προκαλούν οι ενώσεις εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης.

- Μηδενικές εκπομπές εξάτμισης και λειτουργίας εξαιτίας της βαλβίδας του συστήματος και ελεγχόμενες εκπομπές κατά τον ανεφοδιασμό

2.7.5 Μειονεκτήματα Χρήσης LPG

Το LPG είναι πιο επικίνδυνο σε σχέση με το CNG. Σε αντίθεση με το φυσικό αέριο, οι ατμοί του LPG είναι βαρύτεροι από τον αέρα, έτσι σε περίπτωση διαρροών υπάρχει σημαντικός κίνδυνος ανάφλεξης αν υπάρχει πηγή σπινθήρα. Επίσης τα όρια αναφλεξιμότητάς του είναι ευρύτερα από του φυσικού αερίου. Έχουν σημειωθεί αρκετές καταστροφικές εκρήξεις σε κτίρια από διαρροές LPG.

Το LPG αποθηκεύεται στο όχημα ως υγρό υπό πίεση. Οι δεξαμενές LPG πρέπει να σχεδιαστούν για να λειτουργούν με εσωτερική πίεση 240-250 psig (1.6-1.7 MPa). Είναι γενικά κυλινδρικές, με στρογγυλεμένες άκρες, και είναι πολύ πιο ανθεκτικές από τις δεξαμενές που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση καυσίμων βενζίνης ή diesel, πολύ λιγότερο όμως από εκείνες που χρησιμοποιούνται για CNG. Το LPG μπορεί να αντληθεί από μια δεξαμενή σε άλλη όπως οποιοδήποτε υγρό, αλλά η ανάγκη να διατηρηθεί η πίεση απαιτεί μια ανεπίστροφη βαλβίδα αερίου. Εκτός από την ανάγκη για μια τυποποιημένη, ανεπίστροφη σύνδεση, το LPG που χρησιμοποιείται ως καύσιμο οχημάτων μπορεί να διανεμηθεί με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με τα καύσιμα βενζίνης ή diesel. Για να εξασφαλιστεί ότι υπάρχει πάντα διαθέσιμος χώρος ατμού, οι δεξαμενές LPG που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα δεν πρέπει ποτέ να είναι γεμάτες περισσότερο από 80%. Υπάρχουν λοιπόν ειδικά μετρητικά συστήματα που ενσωματώνονται στις δεξαμενές για να εξασφαλιστεί αυτό το κενό. Έτσι το σύστημα αποθήκευσης καθίσταται πιο περίπλοκο και βαρύ σε σχέση με αυτά των συμβατικών καυσίμων.

2.7.6 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χρήσης LPG

Το LPG, όπως και το φυσικό αέριο, εξαιτίας της αυξημένης αναλογίας συμπίεσης που μπορεί να δεχτεί, παρουσιάζει ενεργειακή απόδοση ανώτερη από της βενζίνης. Επίσης συμβάλλει στη μείωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς παράγει χαμηλές εκπομπές CO. Παρόλο που το CO δεν είναι το ίδιο αέριο του θερμοκηπίου, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία καθώς καθορίζει τις συγκεντρώσεις του μεθανίου, του όζοντος και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Στην

ατμόσφαιρα, το CO οξειδώνεται φωτοχημικά παράγοντας τροποσφαιρικό όζον, μεθάνιο και ελεύθερες ρίζες -OH. Η μείωση του CO εξαιτίας της χρήσης LPG θα αύξανε την αποικοδόμηση του μεθανίου παγκοσμίως και έτσι θα μείωνε τη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα.

ΚΕΙΜΕΝΟ
ΕΠΙΧΡ
ΔΙΑΚΤ
ΕΥΡΩ
ΚΙΝΗ
ΕΠΙΧ

2.8 Υδρογόνο

Το υδρογόνο (H_2) θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των μεταφορών σε ολόκληρο τον κόσμο, επειδή στο μέλλον θα μπορεί να παράγεται σε ουσιαστικά απεριόριστες ποσότητες χρησιμοποιώντας ανανεώσιμους πόρους. Το υδρογόνο έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε διάφορα οχήματα μηχανών εσωτερικής καύσεως ως καθαρό υδρογόνο αναμειγμένο με φυσικό αέριο.

Επιπλέον, το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε όλο και περισσότερα δοκιμαστικά οχήματα κυψέλων καυσίμου. Υδρογόνο και οξυγόνο από τον αέρα τροφοδοτούν "συστοιχίες" κυψέλων καυσίμου και μέσω μεμβρανών ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) παράγεται αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσει ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο, χωρίς όμως την παραγωγή των επιβλαβών εκπομπών. Το βασικό χαρακτηριστικό του υδρογόνου είναι ότι δε βρίσκεται στο περιβάλλον σε ελεύθερη κατάσταση αλλά παράγεται από ποικίλες μεθόδους που απαιτούν πολύ ενέργεια και αρχικές πρώτες ύλες. Σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να παραχθεί σχετικά φθηνά και ίσως και ανταγωνιστικά προς το πετρέλαιο. Ο μετασχηματισμός των ατμών του μεθανίου παραμένει η πιο φθηνή και διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής.



Σχήμα 2.21: Παραγωγή Υδρογόνου σε Ειδική Γυάλινη Συσκευή

Είναι γεγονός ότι το υδρογόνο είναι ένα εξαιρετικά ελαφρύ αέριο που απαιτεί για την καύση του σε ογκομετρική βάση τουλάχιστον στοιχειομετρικό αέρα, ενώ σε βάση κατά μάζα απαιτεί την υψηλότερη σχετική μάζα αέρα. Η έντασή του είναι επίσης συνδεδεμένη με πλήρη συστολή του μορίου του της τάξεως του 15%. Η θερμική κατά μάζα αξία του είναι η υψηλότερη αλλά κατ' όγκο η χαμηλότερη. Επίσης επειδή το προϊόν της καύσης του είναι κυρίως νερό, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της κατώτερης και της ανώτερης θερμογόνου δύναμης.

Πίνακας 2.13 : Συγκριτικές Αξίες Υδρογόνου, Μεθανίου και Βενζίνης
και όσων για πηγή ενέργειας.

Ιδιότητα	Υδρογόνο	Μεθάνιο	Βενζίνη
Πυκνότητα σε 1atm και 300 K (kg/m^3)	0.082	0.717	5.11
Στοιχειομετρική σύνθεση στον αέρα (επί % κατ' όγκο)	29.53	9.48	1.65
Στοιχειομετρικό Κλάσμα αέρα/ καυσίμου	0.029	0.058	0.0664
Αριθμός των moles μετά την έναυση	0.85	1.0	1.058
Θερμογόνες Δυνάμεις			
HHV	141.7	52.68	48.29
LHV	119.7	46.72	44.79
HHV	12.1	37.71	233.29
LHV	10.22	33.95	216.38
νέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση σε στοιχειομετρικό μίγμα (MJ)	3.37	2.56	2.79
Κινηματικό Ιξώδες σε 300 K (mm^2/s)	110	17.2	1.18
Θερμική Αγωγιμότητα σε 300 K (mW/mK)	182	34	11.2

Το υδρογόνο έχει εξαιρετικά υψηλές τιμές των βασικών ιδιοτήτων του που είναι σημαντικές σε εφαρμογές στις μεταφορές, όπως το κινηματικό ιξώδες, η θερμική αγωγιμότητα και ο συντελεστής διάχυσης. Αυτές οι διαφορές σε συνδυασμό με τη χαμηλή πυκνότητα και ακτινοβολία προσδίδουν στο υδρογόνο τα μοναδικά χαρακτηριστικά διάχυσης και μεταφοράς θερμότητας.

Στον πίνακα 2.13 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά του που επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του υδρογόνου ως καύσιμο γενικά. Φαίνονται επίσης οι αντίστοιχες τιμές για το μεθάνιο και τη συμβατική βενζίνη για να γίνει καλύτερη σύγκριση.

Προκύπτει λοιπόν ότι το υδρογόνο παρουσιάζει αναφλεξιμότητα για μεγάλο εύρος μιγμάτων, από τα πιο φτωχά έως τα πιο πλούσια. Απαιτεί, επίσης, χαμηλή ενέργεια προκειμένου να αναφλεγεί και ανταποκρίνεται πιο γρήγορα στη φλόγα από ότι τα υπόλοιπα μίγματα μεθανίου ή ισοοκτανίου. Παρόλα αυτά, οι τιμές της θερμοκρασίας έναυσης είναι παρόμοιες με αυτές των άλλων δυο δειγμάτων και οι τιμές της αδιαβατικής θερμοκρασίας

έναυσης στον αέρα είναι υψηλότερες. Πρόκειται για φορέα ενέργειας, όπως ο ηλεκτρισμός, και όχι για πηγή ενέργειας.

2.8.1 Χαρακτηριστικά Υδρογόνου

Το απλούστερο και ελαφρύτερο καύσιμο είναι το υδρογόνο που προέρχεται από το αέριο υδρογόνο (H_2). Το υδρογόνο σε ατμοσφαιρική πίεση και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι σε αέρια κατάσταση. Μπορεί να περιέχει χαμηλά επίπεδα μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, ανάλογα με την πηγή. Πρόκειται για ένα άοσμο και άχρωμο αέριο στο οποίο συχνά προστίθεται μια αρωματική ένωση για να γίνεται ευκολότερα η ανίχνευσή του σε περίπτωση διαρροής. Έχει υψηλό αριθμό οκτανίων, μεγαλύτερο εύρος αναφλεξιμότητας από ότι η βενζίνη και δεν είναι τοξικό ή καρκινογενές.

Το υδρογόνο ερευνάται για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα μηχανών εσωτερικής καύσεως και σε κυψέλες καυσίμου. Σε ογκομετρική βάση, η ενεργειακή πυκνότητα του υδρογόνου είναι πολύ χαμηλή σε συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό παρουσιάζει μεγάλα προβλήματα στις μεταφορές και στην αποθήκευση απ' ότι τα υπόλοιπα υγρά καύσιμα. Τα συστήματα αποθήκευσης που αναπτύσσονται περιλαμβάνουν συμπιεσμένο υδρογόνο, υγρό υδρογόνο, και φυσική ή χημική απορρόφηση μεταξύ υδρογόνου και ενός υλικού αποθήκευσης (παραδείγματος χάριν, υδρίδια μετάλλων και νανοϊνες άνθρακα).

Η δυνατότητα να παραχθεί υδρογόνο από ποικίλους πόρους και η ιδιότητά του να καίγεται χωρίς να αφήνει ρύπους, το καθιστά επιθυμητό εναλλακτικό καύσιμο. Αν και δεν υπάρχει κανένα σημαντικό σύστημα διανομής αυτήν την περίοδο για τη χρήση υδρογόνου στις μεταφορές, μπορεί να μεταφερθεί και να παραδοθεί για να γίνει η αρχική διείσδυση στην αγορά χρησιμοποιώντας την καθιερωμένη υποδομή LPG. Για αξιολογή όμως εξάπλωση, η υπάρχουσα υποδομή θα χρειαστεί περαιτέρω ανάπτυξη.

2.8.2 Παραγωγή Υδρογόνου

Σήμερα οι δύο πιο κοινές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν το υδρογόνο είναι:

- Αναμόρφωση των ατμών του φυσικού αερίου
- Ηλεκτρόλυση του νερού

Η κυρίαρχη μέθοδος για την παραγωγή αερίου σύνθεσης είναι η αναμόρφωση των ατμών του φυσικού αερίου, του πετρελαίου και αν και άλλοι υδρογονάνθρακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτες ύλες. Παραδείγματος χάριν, η βιομάζα και ο άνθρακας μπορούν

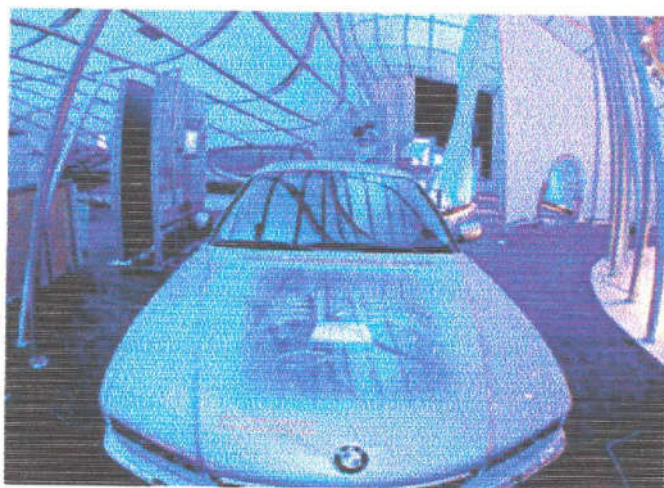
να εξαερωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε μια διαδικασία αναμόρφωσης των ατμών τους ή να οξειδωθούν μερικώς προς παραγωγή υδρογόνου. Η πιο συνηθισμένη και οικονομική μέθοδος είναι η αναμόρφωση των ατμών του μεθανίου. Από αυτήν προκύπτουν υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο όμως μπορεί εύκολα να οδηγηθεί στο υπέδαφος προς δημιουργία γεωλογικών σχηματισμών. Συχνά είναι απαραίτητη η παρουσία καταλύτη αλλά υπάρχουν και διεργασίες που δεν απαιτείται. Το υδρογόνο που παράγεται από αυτές τις διεργασίες συνδέεται άμεσα με την παραγωγή κάποιων υποπροϊόντων, όπως ανθρακικά παράγωγα όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέτοια μίγματα επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία προκειμένου να εξυγениστεί όσο το δυνατόν περισσότερο το υδρογόνο για να χρησιμοποιηθούν είτε σε εφαρμογές στη χημική και πετροχημική βιομηχανία είτε σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Παρόλα αυτά εφαρμογές όπως οι κυψέλες καυσίμου απαιτούν άριστη ποιότητα υδρογόνου, σχεδόν σε καθαρή μορφή, καθιστώντας τις παραπάνω μεθόδους ακατάλληλες για παραγωγή αυτής της ποιότητας.

Η παραγωγή του υδρογόνου εν κινήσει μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Από την ηλεκτρόλυση του νερού μπορεί να παραχθεί επαρκώς καθαρό υδρογόνο με θερμική απόδοση της τάξεως του 60-75 %. Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια για να διαχωρίσει τα μόρια του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να προέλθει από οποιαδήποτε πηγή ηλεκτρικής παραγωγής συμπεριλαμβανομένων και των πυρηνικών και ορυκτών καυσίμων. Στην περίπτωση αυτή η συνολική απόδοση του υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα, σε ενεργειακή πάντα βάση, μπορεί να μειωθεί κατά 35%. Περιορισμένες όμως ποσότητες μπορούν να προκύψουν και από άλλες ανανεώσιμες πηγές όπως ο άνεμος, η ηλιακή και η κυματική ενέργεια. Προς το παρόν η παραγωγή αξιόλογων ποσοτήτων υδρογόνου από βιολογικές διαδικασίες, χημικούς κύκλους και οξείδωση μετάλλων παραμένει ελάχιστη. Τυπικά το κόστος του υδρογόνου κυμαίνεται από δύο έως και δέκα φορές υψηλότερο από αυτό του φυσικού αερίου που παρέχεται σε σωλήνες, σε ενεργειακή πάντα βάση.

2.8.3 Αγορά Υδρογόνου

Η αγορά υδρογόνου προκύπτει ελπιδοφόρα για χρήση του στο σύστημα των μεταφορών. Εντούτοις, αυτήν την περίοδο δεν υπάρχει διαθέσιμος κανένας φορέας κατασκευαστών αρχικού εξοπλισμού για την πώληση στο ευρύ κοινό. Το υδρογόνο παρουσιάζει ελάχιστα κίνητρα για τους ιδιώτες σε σχέση με τα λιγότερο προβληματικά παράγωγα του πετρελαίου και αυτός είναι και ο λόγος για την εξάπλωση του απαιτούνται

ριζικές αλλαγές στις συνθήκες της αγοράς και φυσικά νέες πολιτικές. Οι εμπειρογνώμονες υπολογίζουν ότι σε περίπου 10-20 χρόνια τα οχήματα υδρογόνου, και η απαραίτητη υποδομή, θα αρχίσουν να εξαπλώνονται σημαντικά. Η εξάπλωση λοιπόν της χρήσης υδρογόνου πιθανόν να γίνει και έπειτα από κυβερνητικές οδηγίες ή φοροαπαλλαγές. Αυτή τη στιγμή, κυβερνητικοί φορείς και βιομηχανία συνεργάζονται για να υπερνικήσουν τα τεχνικά και οικονομικά εμπόδια. Υπάρχουν τρεις τρόποι προώθησης του υδρογόνου στην αγορά. Ο πρώτος είναι η παραγωγή σε κεντρικές εγκαταστάσεις και έπειτα η διάθεση με αγωγούς ή με φορτηγά σε σταθμούς ανεφοδιασμού. Δεύτερος είναι η επιλογή της παραγωγής υδρογόνου σε μια πληθώρα αποκεντρωμένων εγκαταστάσεων, όπως σταθμοί εξυπηρέτησης, από όπου θα διανέμεται στα οχήματα. Τελικά, το υδρογόνο θα μπορούσε να παραχθεί από μετασχηματισμό ενός καυσίμου υδρογονανθράκων πάνω στο όχημα.



Σχήμα 2.22: Σειρά 7 της BMW με Υδρογονοκινητήρα

Υπό κατασκευή βρίσκονται διάφοροι σταθμοί τροφοδοσίας υδρογόνου. Εντούτοις, οι περισσότεροι είναι ιδιωτικοί σταθμοί που χρησιμοποιούνται σε πειραματικά προγράμματα. Τα πειραματικά προγράμματα έχουν ως σκοπό να αξιολογήσουν τις τεχνολογίες υδρογόνου και να στρώσουν στο μέλλον τον δρόμο των οχημάτων υδρογόνου. Μερικοί από αυτούς τους σταθμούς υδρογόνου είναι επίσης διαθέσιμοι για δημόσια χρήση.

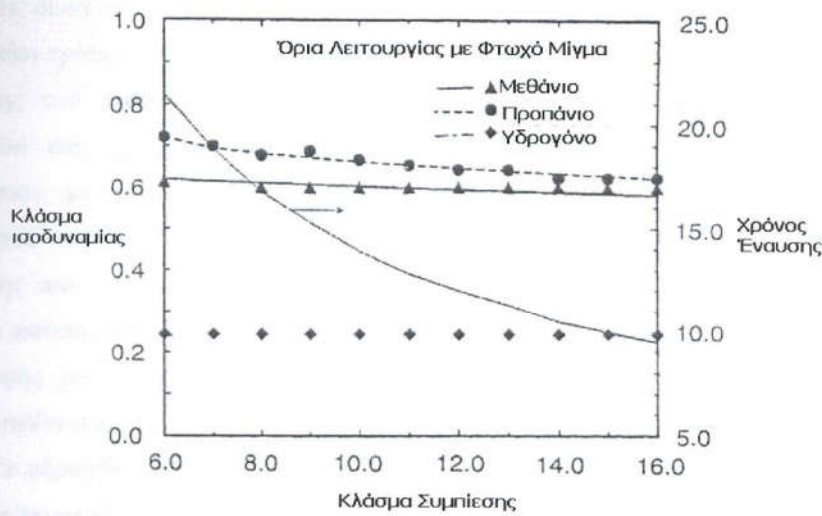
2.8.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης Υδρογόνου

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του υδρογόνου απέναντι στα άλλα καύσιμα είναι ότι το μοναδικό προϊόν της οξείδωσής του είναι ατμός και καθόλου CO₂

Η διαδεδομένη χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας θα μπορούσε να δώσει τη λύση σε προβλήματα ενεργειακής ασφάλειας, στη παρατηρούμενη σφαιρική αλλαγή του κλίματος, και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας. Οι κυψέλες καυσίμων είναι μια σημαντική τεχνολογία για το μέλλον υδρογόνου και δίνουν τη δυνατότητα αλλαγής του τρόπου τροφοδοσίας των καυσίμων, προσφέροντας καθαρότερες περισσότερο αποδοτικές, εναλλακτικές λύσεις από την καύση της βενζίνης και των άλλων ορυκτών καυσίμων. Τα κύρια οφέλη του υδρογόνου είναι:

- Ισχυρότερη εθνική ενεργειακή ασφάλεια
- Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου
- Βελτιωμένη ποιότητα αέρα
- Αυξανόμενη ενεργειακή αυτόαρκεια
- Σε περίπτωση διαρροής της δεξαμενής αποθήκευσής τους, το υδρογόνο διαλύεται στην ατμόσφαιρα πιο γρήγορα από ότι η βενζίνη. Το υδρογόνο έχει, για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και πιέσεων, πολύ υψηλό ρυθμό διάδοσης της φλόγας στους κινητήρες με κυλίνδρους από ότι τα άλλα καύσιμα. Αυτός ο ρυθμός παραμένει σταθερό ακόμα και για φτωχά μίγματα πολύ φτωχότερα από τα στοιχειομετρικά. Η απελευθέρωση της ενέργειας είναι τόσο γρήγορη που η διάρκεια της έναυσης είναι πολύ σύντομη και συνεισφέρει στην παραγωγή υψηλής ισχύος και υψηλών πιέσεων που ακολουθούν την έναυση.

Το όριο λειτουργίας με φτωχό μίγμα είναι πολύ χαμηλότερο από ότι τα υπόλοιπα καύσιμα όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 2.23 για ένα μεγάλο εύρος συμπίεσης. Αυτό επιτρέπει σταθερή και ελεγχόμενη λειτουργία ακόμη και με φτωχά μίγματα.



Σχήμα 2.23: Διαβαθμίσεις της Λειτουργίας με Φτωχά Μίγματα με Διαφορές στο Κλάσμα Συμπίεσης για Διάφορα Καύσιμα

Η λειτουργία σε φτωχά μίγματα, σε συνδυασμό με τη ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται κατά την καύση κοντά στο άνω νεκρό σημείο, συνδέεται με την ταχεία καύση των μιγμάτων υδρογόνου-αέρα και οδηγεί σε τιμές υψηλής απόδοσης. Φυσικά, αυτού του είδους η λειτουργία οδηγεί ταυτόχρονα σε μια χαμηλότερη παραγωγή δύναμης για οποιοδήποτε μέγεθος μηχανών.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της λειτουργίας μηχανών υδρογόνου είναι ότι συνδέεται με λιγότερες ανεπιθύμητες εκπομπές εξάτμισης απ' ό,τι η λειτουργία με άλλα καύσιμα. Όσο αφορά τη συμβολή των καυσίμων υδρογόνου στις συνολικές εκπομπές, δεν υπάρχουν άκαυστοι υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, και οξείδιο του θείου ή μόρια καπνού. Η συμβολή του λιπαντικού στις εκπομπές σε καλοδιατηρημένες μηχανές τείνει να γίνει αμελητέα. Μόνο τα οξείδια του αζώτου και οι υδρατμοί είναι τα κύρια προϊόντα της καύσης που εκπέμπονται. Επίσης, σε λειτουργία με φτωχό μίγμα σε NO_x , συνήθως είναι σημαντικά μικρότερο από εκείνο που αντιμετωπίζεται στη λειτουργία με άλλα καύσιμα

Η γρήγορη καύση του υδρογόνου καθιστά πιο ικανοποιητική τη λειτουργία σε μεγάλους κινητήρες. Αυτό θα επέτρεπε μια αύξηση στην παραγωγή ισχύος με μειωμένο κόστος της λειτουργίας φτωχών μιγμάτων. Επίσης, η εξαιρετικά χαμηλή θερμοκρασία βρασμού του υδρογόνου και η αέρια κατάστασή του έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερα προβλήματα σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών.

Η ποικιλία του χρονισμού έναυσης σε λειτουργία μηχανών υδρογόνου αποτελεί ασυνήθιστο τρόπο αποτελεσματικής απόδοσης του κινητήρα μηχανών και την αποφυγή της επίπτωσης του κρότου. Επίσης, τα χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας της καύσης υδρογόνου στις μηχανές είναι σημαντικά διαφορετικά από εκείνα στις μηχανές που λειτουργούν με άλλα καύσιμα. Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και η μεταφορά θερμότητας του υδρογόνου τείνουν να παραγάγουν υψηλές θερμοκρασίες και κλάσματα συμπίεσης που συμβάλλουν σε βελτίωση της αποδοτικότητας του κινητήρα. Τα υψηλά ποσοστά καύσης του υδρογόνου καθιστούν τον κινητήρα λιγότερο ευαίσθητο στις αλλαγές της μορφής του θαλάμου καύσης, του επιπέδου στροβιλότητας και της εισαγωγής του στροβιλισμένου αέρα.

Το υδρογόνο μπορεί να ανεχτεί καλύτερα την παρουσία διαλυτών. Αυτό θα επέτρεπε καλύτερη εκμετάλλευση των μιγμάτων καυσίμων χαμηλής θερμιδικής αξίας.

Η ευαισθησία των αντιδράσεων οξειδωσης του υδρογόνου στην καταλυτική δράση με τον κατάλληλο έλεγχο μπορεί να γίνει για να εξυπηρετήσει θετικά την ενίσχυση της απόδοσης του κινητήρα. Τα ποσοστά αντίδρασης του υδρογόνου είναι ευαίσθητα στην παρουσία ενός ευρέος φάσματος καταλυτών. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα βοηθά τη βελτίωση της καύση του και την επεξεργασία των εκπομπών εξάτμισής του.

Το υδρογόνο έχει αποδειχθεί άριστο προσθετικό σε σχετικά μικρές συγκεντρώσεις, σε μερικά κοινά καύσιμα όπως το μεθάνιο.

2.8.5 Μειονεκτήματα Χρήσης Υδρογόνου

Τα προβλήματα των κινητήρων υδρογόνου δεν συνδέονται με την απόδοσή τους ή τις εκπομπές τους, αλλά με τη διαθεσιμότητα, την προμήθεια, την αποθήκευση και την ασφάλεια. Το υδρογόνο έχει χαμηλή ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας, είναι δύσκολη η συμπίεση του και απαιτεί εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες για να υγροποιηθεί. Τα συστήματα αποθήκευσης υδρογόνου είναι μεγαλύτερα αλλά ελαφρύτερα από τα ισοδύναμα για πετρελαιοειδή καύσιμα και πιο ακριβά. Το υγροποιημένο υδρογόνο παρουσιάζει μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από το συμπιεσμένο αέριο αλλά απαιτεί το 1/3 της ενέργειας του για να υγροποιηθεί, ενώ για τη συμπίεση απαιτείται μόνο το 1/10. Ως συμπιεσμένο αέριο σε πίεση 200 atm περιέχει μόνο το 5% του ενεργειακού περιεχομένου της βενζίνης.

Σε εφαρμογές κινητήρων η αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου παραμένουν τα πιο σημαντικά προβλήματα. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί ως συμπιεσμένο αέριο σε

κατάλληλα σχεδιασμένες δεξαμενές υψηλής πίεσης. Παρόλα αυτά η χαμηλή πυκνότητα του υδρογόνου σε σύγκριση με άλλα αέρια καύσιμα, υποδεικνύει τη χρήση ελαφρών και μικρού όγκου κυλίνδρων οι οποίοι όμως να έχουν εξαιρετική αντοχή σε υψηλές πιέσεις. Η συμπίεση σε τέτοιους κυλίνδρους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλου εξοπλισμού και δαπάνης ενέργειας. Προς το παρόν το βάρος και το κόστος του συνολικού κύκλου του καυσίμου σε ένα όχημα που χρησιμοποιεί υδρογόνο, το θέτει εκτός ανταγωνισμού.

Το υδρογόνο, επίσης, μπορεί να αποθηκεύεται και να μετακινείται πάνω σε μεταλλικά υδρίδια, από τα οποία θα απελευθερώνεται σταδιακά με τη θερμότητα που θα προσδίδεται από τα καυσαέρια ή το ψυκτικό νερό. Αυτές οι μέθοδοι, όμως, παραμένουν ασύμφορες λύσεις καθώς προσθέτουν σημαντικό βάρος στο όχημα και αυξάνουν το κόστος του.

Η μετακίνηση του υδρογόνου μπορεί να γίνει και ως κρυογονικό υγρό αλλά παρουσιάζει επίσης προβλήματα. Το βασικό του πρόβλημα είναι ο βρασμός των ατμών. Καθώς θερμαίνεται το υγρό υδρογόνο, απελευθερώνεται αέριο ατμών το οποίο θα πρέπει να εκτονώνεται μέσω βαλβίδας της δεξαμενής. Σε περιορισμένους λοιπόν χώρους προκύπτει σημαντικός κίνδυνος έκρηξης σε περίπτωση επαφής με φλόγα. Η διαδικασία και η υποδομή για τη μετατροπή του σε υγρό κοστίζει περίπου το 1/3 της θερμογόνου δύναμής του. Επίσης οι δεξαμενές μεταφοράς του κρυογονικού υδρογόνου παρά της ουσιαστικής προόδου που έχει γίνει όσον αφορά την ασφάλεια, το σχεδιασμό και την κατασκευή παραμένουν σχετικά ακριβές και ογκώδεις παρά τις εκτεταμένες έρευνες των τελευταίων δεκαετιών. Συνάμα η επαφή με υγρό υδρογόνο καταστρέφει κάθε ζωντανό ιστό εξαιτίας της θερμοκρασίας των - 253 °C και ένα τόσο σοβαρό έγκλημα θα μπορούσε να προκληθεί από επαφή με μια τυχαία διαρροή από δοχείο υπό πίεση.

Η μάζα του εισαγόμενου αέρα μειώνεται σε οποιοδήποτε μέγεθος κινητήρα λόγω του σχετικά υψηλού στοιχειομετρικού υδρογόνου στην αναλογία αέρα. Υπάρχει σοβαρό πιθανό λειτουργικό πρόβλημα που συνδέεται με την ανεξέλεγκτη προανάφλεξη. Οι κινητήρες υδρογόνου είναι επιρρεπείς σε υπερβολικά υψηλή πίεση κυλίνδρων. Ο ισοδύναμος αριθμός οκτανίου το υδρογόνο είναι μάλλον χαμηλός σε σύγκριση με τη βενζίνη και το μεθάνιο. Τα υψηλά ποσοστά καύσης του υδρογόνου παράγουν υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της καύσης στις μηχανές σε λειτουργία με στοιχειομετρικά μίγματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές εκπομπές εξάτμισης των οξειδίων του αζώτου. Υπάρχουν σοβαροί περιορισμοί στη εφαρμογή της κρύας επανακυκλοφορίας αερίου εξάτμισης για τον έλεγχο των εκπομπών εξάτμισης. Οι κινητήρες υδρογόνου μπορούν να προκαλέσουν κάποιους σοβαρούς περιορισμούς στην αποτελεσματική υπερπλήρωση.

Η λειτουργία των κινητήρων υδρογόνου μπορεί να συνδεθεί με χαρακτηριστικό θόρυβο και δονήσεις που οφείλονται κυρίως στα υψηλά ποσοστά ανόδου πίεσης ως αποτέλεσμα της γρήγορης καύσης του. Επιπλέον, φλόγα του είναι πολύ θερμή αλλά δεν εκπέμπει ιδιαίτερη θερμότητα, καθιστώντας δύσκολο τον εντοπισμό των εστιών πυρκαγιάς.

Σε ορισμένες εφαρμογές, όπως σε πολύ κρύο κλίμα, η εκπομπή εξάτμισης του ατμού μπορεί να είναι ένα ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό γνώρισμα που οδηγεί σε περιορισμένη ορατότητα και προβλήματα σχηματισμού πάγου. Επίσης υπάρχει το ενδεχόμενο ανεπιθύμητης διάβρωσης και ρύπανσης από τα λιπαντικά λόγω της συμπύκνωσης υδρατμού εξάτμισης.

Παρόλα αυτά, η τεχνολογία μεταφοράς και διανομής του υδρογόνου σε μεγάλες αποστάσεις μέσω αγωγών, ακτοπλοϊκώς και σιδηροδρομικώς παρουσιάζεται αρκετά ανεπτυγμένη.

2.8.6 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Χρήσης Υδρογόνου

Το μόριο του υδρογόνου είναι το πιο απλό στη φύση και όταν οξειδώνεται σχηματίζει νερό. Δυστυχώς όμως το άζωτο που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα μετατρέπεται σε NO_x όταν καίγεται. Επίσης, τα λιπαντικά έλαια που βρίσκονται στις επιφάνειες του θαλάμου καύσης και στα έμβολα συνεισφέρουν στο σχηματισμό εκπομπών HC και CO από τους κινητήρες που χρησιμοποιούν υδρογόνο. Ο πίνακας 2.14 παρουσιάζει τις εκπομπές ενός Gremlin του 1972 και ενός λεωφορείου 25 ατόμων της Mitsubishi. Από τον πίνακα προκύπτει ότι οι εκπομπές ενός κινητήρα υδρογόνου είναι εξαιρετικά χαμηλές, γεγονός που καθιστά τέτοια οχήματα ιδανικά για υπόγειες εφαρμογές όπως ορυχεία. Μια ενδιαφέρουσα άποψη για τη μετατροπή ενός φορτηγού ορυχείου θα ήταν η χρήση αποθηκευτικής δεξαμενής καυσίμου με μεταλλικά υδρίδια.

Πίνακας 2.14 : Εκπομπές Οχημάτων που καταναλώνουν Υδρογόνο

	Γραμμάρια ανά μίλι		
	HC	CO	NO_x
H₂ Gremlin (1972)(3500lb)	0,0	0,0	0,205
Λεωφορείο H₂ Roza (8890lb)	0,015	0,043	1,393
H₂ Roza Auto (2200lbs)	0,004	0,011	0,345
H₂ eimco H₂ Auto (2200lbs)	0,004	0,011	0,04
Κυψέλη Καυσίμου H₂/ A	0,0	0,0	0,0

2.9 Σειρές-P

Στις 16 Δεκεμβρίου του 1997, το γραφείο Ηνωμένων Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων διένειμε το Αμερικανικό Δίπλωμα Ευρεσιτεχνίας αριθ. 5.697.987, με τον τίτλο εναλλακτικά καύσιμα, στο πανεπιστήμιο Princeton για το νέο μη-πετρελαϊκό καύσιμο για κινητήρες Otto, αποκαλούμενο π-σειρές. Περίληψη του γραφείου Ηνωμένων Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων για αυτό το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας διαβάξει: Μια σύνθεση καυσίμων κινητήρων Otto που αποτελείται ουσιαστικά από α) ένα τμήμα υδρογονανθράκων που περιέχει έναν ή περισσότερους υδρογονάνθρακες με περιθώριο επιλογής από πέντε έως οκτώ άτομα άνθρακα ευθείας ανθρακικής αλυσίδας ή διακλαδωμένα αλκάνια χωρίς ολεφίνες, αρωματικές ουσίες, βενζόλιο και θείο, όπου το τμήμα υδρογονανθράκων έχει ελάχιστο αντικροτικό δείκτη 65 όπως μετρείται από την ASTM με D-2699 και D-2700 και μέγιστο DVPE 15 psi όπως μετρείται από την ASTM με D-5191. β) Μια αλκοόλη που χρησιμοποιείται ως καύσιμο. γ) και ένα κοινό διαλύτη για το τμήμα υδρογονανθράκων και την αλκοόλη. Ο υδρογονάνθρακας, η αλκοόλη και ο κοινός διαλύτης έχουν επιλεγεί για να παρέχουν ένα καύσιμο κινητήρα με ελάχιστο αντικροτικό δείκτη 87 όπως μετράται από την ASTM με D-2699 και D-2700, και μέγιστη DVPE 15 psi όπως μετράται από ASTM με D-5191. Αποκαλύπτεται επίσης μια μέθοδος για την πίεση ατμού ενός μίγματος υδρογονάνθρακα-αλκοόλης με την προσθήκη ενός κοινού διαλύτη για τον υδρογονάνθρακα και την αλκοόλη στο μίγμα.

Οι σειρές-Π είναι ένα μοναδικό μίγμα υγρών του φυσικού αερίου, κυρίως πεντάνια, της αιθανόλης, και του παραγόμενου από βιομάζα διαλυτικού μεθυλο- τριτογενούς – υδροφουράνιου (MeTHF). Τα καύσιμα π-σειρών είναι σαφή, άχρωμα, 89-93 οκτανίων, υγρά μίγματα που διατυπώθηκαν για να χρησιμοποιηθούν σε ευέλικτα οχήματα καυσίμων (FFV). Οι σειρές-π έχουν ως σκοπό να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα ή να αναμιχθούν ελεύθερα με τη βενζίνη σε οποιαδήποτε αναλογία μέσα στη δεξαμενή αερίου του FFV. Αυτά τα καύσιμα δεν παράγονται αυτήν την περίοδο σε μεγάλες ποσότητες και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως.

Από το 1992, όταν πέρασαν τον νόμο ενεργειακής πολιτικής (EPAAct), μόνο ένα νέο καύσιμο έχει αναγνωριστεί ως εναλλακτικό στο πλαίσιο της παροχής αιτήσεων EPAAct. Τα καύσιμα π-σειρών προστέθηκαν στον κατάλογο εναλλακτικών καυσίμων το 1999.

2.9.1 Χαρακτηριστικά P-Series

Τα καύσιμα σειράς- Π της Εταιρίας Καθαρής Ενέργειας είναι μίγματα αιθανόλης, μεθυλο- τριτογενούς – υδροφουράνιου (MTHF), και πεντανίων συν βουτανίου που προστίθεται στα μίγματα που θα χρησιμοποιηθούν σε ψυχρές καιρικές συνθήκες για να καλύψουν τις απαιτήσεις ψυχρής εκκίνησης των κινητήρων. Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας υπερασπίζεται ότι και η αιθανόλη και το MTHF μπορούν να προέλθουν από ανανεώσιμες πηγές, όπως κυτταρινική βιομάζα από άχρηστα χαρτιά, γεωργικά απόβλητα και αστικά/ βιομηχανικά απόβλητα ξυλείας. Προγραμματίζει να χρησιμοποιήσει τα πεντάνια που προέρχονται από την επεξεργασία και την παραγωγή του φυσικού αερίου, σε αντιδιαστολή με εκείνα που προέρχονται από τις διαδικασίες καθαρισμού πετρελαίου. Κρατά την αποκλειστική παγκόσμια άδεια για να κατασκευάσει και να διανείμει τα καύσιμα σειρών-Π, τα οποία αναπτύχθηκαν από το Δρ Stephen Paul του πανεπιστημίου Princeton .

Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας έχει αναπτύξει διάφορους τύπους καυσίμων σειράς-Π. Η επιχείρηση σκοπεύει να ποικίλει τα συστατικά των καυσίμων σειράς-Π για να ικανοποιήσει την ιδιαίτερη ζήτηση στην αγορά. Στον πίνακα 2.15 περιγράφονται τρεις τύποι (καθαρός κανονικός, καθαρός ανώτερης ποιότητας και καθαρός ψυχρού καιρού) και είναι εκείνοι για τους οποίους η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας μπορεί να παρέχει συγκεκριμένα στοιχεία για το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις εκπομπές τους.

Πίνακας 2.15: Κατ' όγκο Σύσταση Καυσίμων σειράς Π

Συστατικό	Κανονικό	Βελτιωμένο	Ψυχρού Καιρού
Πεντάνια +	32.5%	27.5%	16.0%
MTHF	32.5%	17.5%	26.0%
Αιθανόλη	35.0%	55.0%	47.0%
Κανονικό Βουτάνιο	0.0%	0.0%	11.0%

Η επιχείρηση υποστηρίζει ότι τα ογκομετρικά ποσοστά σε κάθε ένα από τα συστατικά των καυσίμων σειράς Π μπορούν να κυμανθούν από 10 ως 50 τοις εκατό για τα ενισχυμένα πεντάνια, από 15 ως 55 τοις εκατό για MeTHF, από 25 ως 55 τοις εκατό για την αιθανόλη και από 0 έως 15 τοις εκατό για το κανονικό βουτάνιο. Ο πίνακας 2.15 παρέχει τη σύνθεση κατά όγκο τριών ειδικών καυσίμων της σειράς-Π.

Με βάση τα στοιχεία παρεχόμενα στη αίτηση, η σύνθεση των καυσίμων π-σειρών ποικίλλει από 60 έως 100 τοις εκατό μη-πετρελαίου, σε μια ενεργειακή βάση, ανάλογα με την πηγή των πεντανίων συν και των τμημάτων ν-βουτανίου των μιγμάτων.

Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας σκοπεύει να εμπορευτεί τα καύσιμα π-σειρών στους ιδιοκτήτες ευέλικτων οχημάτων καυσίμων (FFVs) που λειτουργούν με E85 (85 % αιθανόλη/15 % βενζίνη), με βενζίνη, ή σε οποιοδήποτε μίγμα των δύο καυσίμων. Τα ευέλικτα οχήματα καυσίμων είναι διαθέσιμα σήμερα από δύο σημαντικούς εσωτερικούς κατασκευαστές αυτοκινήτων ως minivans και μεσαίου τύπου φορτηγά.

2.9.2 Παραγωγή P-Series

Για να συντεθούν τα καύσιμα σειρών Π, η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας, θα παράγει αιθανόλη και MeTHF μέσω μιας σταδιακής διαδικασίας. Η επιχείρηση αναμένει να χρησιμοποιήσει συγκεντρωμένη όξινη υδρόλυση ως τεχνολογία βάσης για αυτήν την σταδιακή διαδικασία παραγωγής. Το MeTHF παράγεται αυτήν την περίοδο σε περιορισμένες ποσότητες από τη φουρφουρόλη (που προέρχεται από πρώτες ύλες όπως βιομάζα και πετρέλαιο) για να χρησιμοποιηθεί ως ειδική χημική ουσία σε καταναλωτικά προϊόντα και βιομηχανίες διαδικασίας. Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας έχει αναπτύξει μια θερμοχημική τεχνολογία για να παράγει MTHF από κυτταρινικές πρώτες ύλες μέσω διαδικασίας σακχαρώδους οξέος. Το σακχαρώδες οξύ είναι ένα κρυστάλλινο οξύ κετονών που αποκτήθηκε από τη δράση διαλυτικών οξέων σε εξόσες (σάκχαρα με έξι άτομα άνθρακα όπως η γλυκόζη και η φρουκτόζη) και σε ουσίες, όπως άμυλο ή σακχαρόζη, οι οποίες παράγουν εξόσες κατά την υδρόλυση. Η επιχείρηση ενσωματώνει αυτήν την διαδικασία σε ένα σύστημα παραγωγής αιθανόλης για να επιτύχει τεχνικές και οικονομικές αποδοτικότητες. Σε αυτήν την διαδικασία, η πρώτη ύλη της λιγνοκυτταρίνης μετατρέπεται σε σάκχαρα με πέντε και έξι άτομα άνθρακα, τα οποία είναι έπειτα διαχωρίζονται προς ζύμωση και προς θερμοχημικές διεργασίες για να παράγουν αιθανόλη και MeTHF αντίστοιχα

2.9.3 Αγορά P-Series

Στις 30 Ιουνίου του 1997 η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας υπέβαλε αίτηση στο DOE για μια τροπολογία για να προσθέσει τα καύσιμα προϊόντα της στην κατηγορία των "εναλλακτικών καυσίμων" στο πλαίσιο του προγράμματος εναλλακτικών καυσίμων σε μέσα μεταφοράς. Η τροπολογία εγκρίθηκε μόλις το 1999 και οι ρυθμοί με τους οποίους εισάγεται

είναι εξαιρετικά αργοί καθώς πρέπει να εκτοπίσει άλλα εναλλακτικά και ακόμα και συμβατικά καύσιμα από την αγορά.

2.9.4 Πλεονεκτήματα Χρήσης P-Series

Τα καύσιμα των τριών σειρών-π παράγονται 100 τοις εκατό στις Η.Π.Α.. Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας σημειώνει ότι κάθε γαλόνι των π-σειρών που τροφοδοτείται ως καύσιμο άμεσα μετατοπίζει 0,88 γαλόνια RFG σε χρήση οχημάτων. Επίσης δηλώνει ότι η ενέργεια που απαιτείται για να παραχθεί ένα ισοδύναμο γαλόνι των καυσίμων είναι περίπου 13.800 BTU λιγότερο από αυτό που απαιτείται για την παραγωγή ενός γαλονιού RFG.

Η αποδοτικότητα της διαδικασίας (BTU που παράγεται ανά BTU πρώτης ύλης) των καυσίμων π-σειρών είναι περίπου 2,25 όταν η αιθανόλη παράγεται από ανανεώσιμους πόρους όπως η βιομάζα. Εάν, παράγεται από καλαμπόκι, η αποδοτικότητα της διαδικασίας είναι ελαφρώς χαμηλότερη, μεταξύ 1,75 και 1,88. Αν και η αποδοτικότητα της διαδικασίας είναι ελαφρώς χαμηλότερη όταν η αιθανόλη προέρχεται από το καλαμπόκι, η παραγωγή της από τέτοιες πρώτες ύλες αντιπροσωπεύουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για τον κύκλο ζωής των καυσίμων.

Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας ισχυρίζεται ότι τουλάχιστον το 60 % αλλά ακόμα και το 100% των καυσίμων αυτών δεν έχουν πετρελαϊκή βάση. Αυτό φαίνεται στον πίνακα 2.16 αναλυτικά για κάθε συστατικό. Οι αναλύσεις DOE υποστηρίζουν την αξίωση της Εταιρία Καθαρής Ενέργειας που κάνει λόγο για σημαντική μετατόπιση του πετρελαίου, αν και η αξίωση της επιχείρησης για 100 τοις εκατό εσωτερική παραγωγή εμφανίζεται ελαφρώς απίθανη.

Πίνακας 2.16: Πιστοποιημένο Ποσοστό Ενεργειακού Περιεχομένου Σειρών –Π που δεν προέρχεται από Πετρέλαιο

Συστατικό	Κανονικό	Βελτιωμένο	Ψυχρού Καιρού
Πεντάνια +	36.2%	33.3%	19.1%
MTHF	37.7%	22.1%	32.3%
Αιθανόλη	26.1%	44.6%	37.5%
Κανονικό Βουτάνιο	0.0%	0.0%	11.2%

2.9.5 Μειονεκτήματα Χρήσης P-Series

Ως μειονεκτήματα αυτής της σειράς καυσίμων θα πρέπει να ληφθούν όσα ισχύουν για τα επί μέρους συστατικά τους, δηλαδή της αιθανόλης, του MeTHF και του μίγματος πεντανίων και βουτανίων. Γενικά τα συστατικά τους δεν παράγουν ιδιαίτερα προβλήματα και ρύπους καθώς ο αριθμός των ανθράκων που περιέχουν είναι μικρός.

Παρόλα αυτά δεν έχει ξεκαθαριστεί τελείως για το αν πρόκειται για εναλλακτικό καύσιμο επειδή για να αντιπροσωπεύει αυτόν τον ορισμό θα πρέπει να περιέχει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60% συστατικά μη πετρελαϊκής προέλευσης. Οι εφευρέτες του υποστηρίζουν ότι πληρεί αυτήν την προϋπόθεση και μάλιστα μπορεί να γίνει και 100% αυτόνομο του πετρελαίου.

2.9.6 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης P-Series

Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας μελέτησε τις δοκιμές εκπομπών της εξάτμισης και της ατμοποίησης. Τα οχήματα δοκιμής της Εταιρία Καθαρής Ενέργειας, δύο ευέλικτα Ford Taurus του 1997 που καταναλώνουν E85, χρησιμοποιήθηκαν σε οκτώ καύσιμα: καύσιμα τριών σειρών-π (κανονικά, βελτιωμένα και ψυχρού καιρού), E85, βενζίνη πιστοποίησης, RFG φάσης II Καλιφόρνιας και δύο εμπορικές βενζίνες (καλοκαιρινό και χειμερινό μίγμα). Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν στο DOE ως τμήμα της αίτησης της επιχείρησης και παρουσιάζονται στον πίνακα 2.17. Η Εταιρία Καθαρής Ενέργειας παρείχε επίσης ανάλυση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που συνδέονται με την παραγωγή, τη διανομή και τη χρήση των καυσίμων τριών π-σειρών και τους σύγκρινε με εκείνους της βενζίνης και E 85.

Και τα αποτελέσματα της δοκιμής μολυσματικών εκπομπών και η ανάλυση των αερίων θερμοκηπίου υποστηρίζουν την αξίωση της Εταιρία Καθαρής Ενέργειας των ουσιαστικών περιβαλλοντικών οφελών που προκύπτουν από την χρήση των καυσίμων σειρών-π. Τα κριτήρια των μολυσματικών εκπομπών από τα καύσιμα σειρών-π ήταν μεταξύ των χαμηλότερων όλων των καυσίμων δοκιμής, όπως επίσης και η τοξικότητά τους ήταν χαμηλότερη από της βενζίνης.

Πίνακας 2.17: Σύγκριση των Αποτελεσμάτων των δοκιμών της Ομοσπονδιακής Διαδικασίας Δοκιμών

	NMHC	Μονοξείδιο του Άνθρακα	Οξείδια Αζώτου
Κανονικό	0.074	1.081	0.064
Βελτιωμένο	0.064	1.062	0.059
RFG Φάσης II	0.115	1.247	0.039
Πρότυπα Tier 1	0.250	3.4	0.4
Πρότυπα Tier 2	0.125	1.7	0.2

2.10 Αναμορφωμένη Βενζίνη

Οι εκπομπές των καυσαερίων ενός οχήματος καθορίζονται από το καύσιμο που αυτό καταναλώνει, όπως και από το σχεδιασμό του κινητήρα και το σύστημα επεξεργασίας των καυσαερίων. Έτσι αν αναμορφωθεί το καύσιμο ώστε να αφαιρεθούν κάποιοι από τους πιθανούς ρυπαντές του, τα οχήματα θα έχουν καλύτερα καυσαέρια. Οι εταιρίες παραγωγής καυσίμων λοιπόν, εφαρμόζουν διάφορα μίγματα βενζίνης για να μειωθούν οι επικείμενες εκπομπές. Αυτές οι αναμορφωμένες βενζίνες (RFG) ή «καθαρές» βενζίνες, δημιουργούνται από την αφαίρεση των συστατικών των υδρογονανθράκων που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία ομίχλης και την προσθήκη άλλων ώστε να διατηρηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του καυσίμου. Σχεδιάστηκαν για να μειώσουν τις εκπομπές καυσαερίων και την εξάτμιση του καυσίμου. Η αναμορφωμένη βενζίνη δεν είναι κάποιος συγκεκριμένος τύπος βενζίνης, αλλά πατέντα κάθε εταιρίας παραγωγής καυσίμων. Η χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας που έχει η αναμορφωμένη βενζίνη δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την οικονομία του καυσίμου.

2.10.1 Χαρακτηριστικά Αναμορφωμένης Βενζίνης

Όλες οι RFG έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά την απόδοση και τη χημική σύνθεση. Για παράδειγμα, εκτός από τον απαιτούμενο αριθμό οκτανίων και την πίεση του ατμού, αυτές οι απαιτήσεις συμπεριλαμβάνουν θερμοκρασία T90, μέγιστο περιεχόμενο σε θείο και ολεφίνες. Προς το παρόν για τα παραπάνω απαιτείται οξειδωτής 2-2,7 % κατά μάζα.

Οξειδωτές: Το οξυγόνο δεν είναι φυσικό συστατικό της βενζίνης. Από το 1979 προστίθεται στις Ηνωμένες Πολιτείες με τη μορφή MTBE και αιθανόλης. Αρχικά χρησιμοποιούνταν ως ενισχυτικό για να αντικαταστάσει το μόλυβδο. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 προστέθηκαν οξειδωτές σε μεγαλύτερη κλίμακα για να ελεγχθούν οι εκπομπές του CO σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η χρήση υψηλών ποσοστών οξειδωτών έλαβε χώρα μετά τις βελτιώσεις του Κινήματος για Καθαρό Αέρα (CAA) του 1990 όπου ορίστηκε ότι θα προστίθενται εποχιακά (15% MTBE κατ' όγκο) ή σε ετήσια βάση (15% MTBE κατ' όγκο) σε κάποιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών όπου τα επίπεδα CO το χειμώνα ή οι συγκεντρώσεις όζοντος το καλοκαίρι ξεπερνούσαν τα όρια της Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα.

Οι οξειδωτές έχουν υψηλό μοριακό περιεχόμενο σε οξυγόνο και είναι συνήθως αλκοόλες ή αιθέρες. Η δράση τους αφορά την ενίσχυση της καύσης, οδηγώντας σε

χαμηλότερες εκπομπές CO και HCs εξαιτίας της παρουσίας πρόσθετου οξυγόνου. Επίσης παρουσιάζουν μεγαλύτερους αριθμούς οκτανίων και αναμιγνύονται συνήθως με βενζίνες χαμηλών οκτανίων για να φτάσουν τον επιθυμητό αριθμό. Η βελτίωση στις εκπομπές είναι πιο εμφανής σε περιπτώσεις οχημάτων παλιάς τεχνολογίας ανοιχτού κύκλου. Τα νέα οχήματα κλειστού κύκλου που ελέγχονται από υπολογιστή παρουσιάζουν μικρότερη βελτίωση και ελάχιστη έχουν τα οχήματα προηγμένης τεχνολογίας. Αυτά τα οχήματα έχουν ECS ανάδρασης που επικαλύπτουν τα οφέλη των οξειδωτών. Γενικά, η απαίτηση των οξειδωτών παραμένει για τους εξής λόγους: είναι ενισχυτές οκτανίων, βελτιώνουν την απόδοση παλαιότερων οχημάτων και παράγονται τοπικά, μειώνοντας την εξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο.

Ο πιο συνηθισμένος οξειδωτής στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι το MTBE, εξαιτίας της εξαιρετικής ικανότητας ανάμιξης που παρουσιάζει, του υψηλού αριθμού οκτανίων, της χαμηλής πίεσης ατμών, της ευρείας διαθεσιμότητας του και του χαμηλού του κόστους. Παρόλα αυτά, ο συγκεκριμένος οξειδωτής εγκαταλείπεται σταδιακά εξαιτίας της τοξικότητας του και της ποσότητας που ανιχνεύτηκε σε υπόγεια νερά. Οι περισσότερες ανιχνεύσεις ήταν κάτω από τα όρια για τη δημόσια υγεία αλλά η μυρωδιά του και η γεύση του αποτελούν πρόβλημα. Πληθώρα ερευνών έλαβε χώρα προκειμένου να αντικατασταθεί αυτός ο οξειδωτής και ο μοναδικός αξιόλογος αντικαταστάτης του είναι προς το παρόν η αιθανόλη. Υπάρχουν όμως προβλήματα κόστους και προμήθειας της αιθανόλης καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες. Επιπλέον, η αιθανόλη αυξάνει την πίεση των ατμών του καύσιμου μίγματος έχοντας ως αποτέλεσμα αυξημένες εκπομπές εξάτμισης.

Πλέον έχουν νομοθετηθεί άλλες απαιτήσεις για τον εξευγενισμό της βενζίνης. Οι απαιτήσεις πλέον της βενζίνης μείωσαν τις εκπομπές υδρογονανθράκων κατά 15% και συνεχίζονται. Οι μετατροπές που γίνονται στη βενζίνη για να θεωρηθεί αναμορφωμένη είναι οι ακόλουθες:

- Μείωση της πίεσης του ατμού για να μειωθούν οι εκπομπές αιωρούμενων οργανικών σωματιδίων (VOCs) στα καυσαέρια.
- Μείωση του βενζενίου το οποίο θεωρείται καρκινογόνο, για να μειωθεί η τοξικότητα των εκπομπών.
- Προσθήκη οξειδωτικών για να μειωθούν τα VOCs και τα NO_x και να ελεγχθούν η τοξικότητα και οι αρωματικές ενώσεις.
- Μείωση της πτητικότητας και των ολεφινών.

2.10.2 Αγορά Αναμορφωμένης Βενζίνης

Μετά το Μάρτη του 1997 έγιναν πρόσθετες αλλαγές που συνδέονται με μείωση του θείου και πυρόλυση των βαρύτερων κλασμάτων των υδρογονανθράκων. Στην Καλιφόρνια το πρόβλημα της μόλυνσης της ατμόσφαιρας είναι ιδιαίτερα οξυμένο και έχει έτσι την πιο αυστηρή νομοθεσία στον κόσμο όσον αφορά τις βενζίνες, η αναμορφωμένη βενζίνη (RFG) πέρασε σε πρώτο πλάνο προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές NO_x και VOCs κατά 180 τόνους την ημέρα ενώ του CO κατά 1.200 τόνους ανά ημέρα. Οι εκτιμήσεις του κόστους της αναμορφωμένης βενζίνης είναι 0,12 με 0,17\$ ανά γαλόνι.

2.10.3 Πλεονεκτήματα Αναμορφωμένης Βενζίνης

Η EPA των Ηνωμένων Πολιτειών αναδεικνύει την τεράστια επίδραση που έχει το θείο στη βενζίνη. Το θείο δηλητηριάζει τον καταλύτη. Τα οξειδία του εμποδίζουν την αντίδραση των HC, CO και NO_x και εμποδίζει τη διακίνηση του οξυγόνου στην επιφάνεια του καταλύτη. Το οξυγόνο πρέπει να βρίσκεται σε συγκεκριμένη ποσότητα προκειμένου να ελέγχονται οι εκπομπές. Όσο μειώνονται τα όρια των εκπομπών κατά τη νομοθεσία, ανακαλύπτονται τεχνολογίες για να μειώσουν την ευαισθησία των οχημάτων προς το θείο. Τέτοια είναι η χρήση του ρόδιου στον καταλύτη και η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Το θείο είναι ακόμα μεγαλύτερο πρόβλημα για τα οχήματα απευθείας έγχυσης και τις κυψέλες καυσίμου, τα οποία απαιτούν βενζίνες απαλλαγμένες από θείο. Έτσι η αφαίρεση του δεν είναι μόνο απαραίτητη για τη μείωση των εκπομπών αλλά και για τη ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Η αναμορφωμένη βενζίνη λοιπόν άνοιξε το δρόμο για καύσιμα απαλλαγμένα από θείο.

2.10.4 Μειονεκτήματα Αναμορφωμένης Βενζίνης

Από πλευράς κύκλου ζωής, υπάρχουν και άλλα μειονεκτήματα. Η επιπλέον επεξεργασία της RFG απαιτεί και επιπλέον χρήση ενέργειας και καταλήγει σε επιπλέον εκπομπές σε σύγκριση με τον εξευγενισμό της συμβατικής βενζίνης. Τα κόστη όμως αυτά θα πρέπει να συγκριθούν και με τη μείωση των εκπομπών του οχήματος που χρησιμοποιεί αναμορφωμένη βενζίνη.

2.10.5 Περιβαλλοντικές Συνέπειες Χρήσης Αναμορφωμένης Βενζίνης

Οι βελτιώσεις της Κίνησης για καθαρό Αέρα (CAA) του 1990 αποτέλεσαν τη μεγαλύτερη πρόκληση για τη βιομηχανία επεξεργασίας καυσίμων των Ηνωμένων Πολιτειών

μετά την αφαίρεση του μολύβδου από τη βενζίνη. Ως αποτέλεσμα των βελτιώσεων αυτών, αλλαγές εξευγενισμού της βενζίνης είναι απαραίτητες, γεγονός που θα επηρεάσει αρνητικά την τιμή της. Στις αρχές της δεκαετίας του '70 η νομοθεσία περιόρισε τα πρόσθετα μολύβδου στη βενζίνη. Παρήχθησαν νέες βενζίνες όπου τα χαμένα αυτά οκτάνια αντικαταστάθηκαν από τη χρήση διεργασιών εξευγενισμού. Τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα ήταν θετικά. Οι αμόλυβδες βενζίνες επέτρεψαν στους κατασκευαστές αυτοκινήτων να εγκαταστήσουν καταλυτικούς μετατροπείς και ο συνδυασμός νέων καυσίμων και τεχνολογιών είχε ως αποτέλεσμα μείωση 96% των εκπομπών υδρογονανθράκων και CO και 76% των NO_x από τις εξατμίσεις των οχημάτων.

3^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή στην Τεχνολογία Κινητήρων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η λειτουργία του συστήματος του κινητήρα και της απόδοσής του η οποία είναι ουσιαστική προκειμένου να γίνει καλύτερη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των διαφόρων εναλλακτικών καυσίμων. Είναι σημαντική η κατανόηση της ανταπόκρισης των διαφόρων συστημάτων και εξαρτημάτων μιας μηχανής και η επίδραση που έχουν στις απαιτήσεις και την κατανάλωση καυσίμου του οχήματος. Ο κινητήρας είναι κατά πολλούς τρόπους η καρδιά του οχήματος. Προμηθεύει την απαιτούμενη ισχύ για τη λειτουργία του οχήματος και των περιφερειακών εξοπλισμών του. Κύριο μέλημα κατά την επιλογή του είναι να πληρεί τις απαιτήσεις σε ισχύ και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του οχήματος.

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι κινητήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως: ο κινητήρας ανάφλεξης με σπινθηριστή (Spark Ignition), ή βενζινοκινητήρας (Otto), και ο κινητήρας ανάφλεξης συμπίεσης (Compression Ignition), ή ντηζελοκινητήρας (Diesel). Οι κινητήρες βενζίνης χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτοκίνητα, ημιφορτηγά, μικρά φορτηγά ενώ οι κινητήρες diesel σε μεσαίου μεγέθους και μεγάλα οχήματα καθώς και σε λεωφορεία. Οι κινητήρες diesel, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τους κινητήρες βενζίνης, παρέχουν γενικότερα μεγαλύτερη ροπή και λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες. Παρόλα αυτά δεν παρέχουν την απόκριση στις εναλλαγές της ταχύτητας και την ευελιξία που απαιτείται από ελαφρύτερα οχήματα.

Στους βενζινοκίνητους κινητήρες ο αέρας αναμιγνύεται αρχικά με το καύσιμο και μετά οδηγούνται προς καύση στους κυλίνδρους του κινητήρα. Τα υγρά καύσιμα διασπώνται ατομικά και αεριοποιούνται μερικώς κατά τη διαδικασία ανάμιξης. Όταν βρίσκεται στον κύλινδρο, το μίγμα συμπιέζεται κατά την ανάντι κίνηση του εμβόλου στο άνω νεκρό σημείο (TDC). Το συμπιεσμένο μίγμα αέρα-καυσίμου, το οποίο αναφλέγεται από εξωτερικό σπινθήρα, ο οποίος παρέχεται με σπινθηριστή, καίγεται, απελευθερώνοντας τη χημική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο καύσιμο. Οι μηχανές CI, μηχανές απευθείας έγχυσης βαρέων συνήθως οχημάτων, εγχέουν μόνο αέρα στους κυλίνδρους. Ο αέρας συμπιέζεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση στον κύλινδρο από το πιστόνι. Το καύσιμο εγχέεται απευθείας στο θερμό αέρα υψηλής πίεσης όπου αναφλέγεται και καίγεται καθώς αναμιγνύεται με αυτόν. Για τους κινητήρες CI δεν απαιτείται εξωτερικός σπινθήρας.

3.1 Ροπή, Ισχύς, Μέση Ενεργός Πίεση και Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου

Για την κατανόηση της επίδρασης που έχει η απόδοση του κινητήρα στη συνολική απόδοση του οχήματος, θα πρέπει να κατανοηθούν κάποιοι όροι και συνθήκες. Τις τρεις βασικότερες παραμέτρους αποτελούν η ροπή, η ισχύς και η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Επιπρόσθετα, συχνά συγκρίνεται η απόδοση της μηχανής με τη μέση ενεργή πίεση. Οι όροι οριακή πίεση, οριακή ισχύς, οριακή μέση ενεργή πίεση και οριακή ειδική κατανάλωση καυσίμου χρησιμοποιούνται συχνά για να αναδείξουν σταθερές του άξονα της μηχανής όπως μετρώνται από ένα δυναμόμετρο. Συγκρίσεις της ισχύος και ροπής του κινητήρα πρέπει να βασίζονται σε διορθωμένες, μετρούμενες τιμές. Η πραγματική έξοδος ισχύος του κινητήρα εξαρτάται από τον ατμοσφαιρικό αέρα και την πίεση στο δοκιμαστικό κινητήρα. Συνηθίζεται η αναγωγή όλων των μετρήσεων ισχύος και ροπής σε συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία. Οι διαφημιζόμενες τιμές απόδοσης του κινητήρα θα πρέπει να είναι οι διορθωμένες οριακές τιμές του.

Η ροπή είναι η μέτρηση της ικανότητας περιστροφής του άξονα του κινητήρα. Αυτή καθορίζει πόσο φορτίο μπορεί να σύρει το όχημα ή σε πόσο απότομη κλίση μπορεί ανεβεί. Εντούτοις, η ροπή δε μετρά πόσο γρήγορα μπορεί να μεταφέρει το φορτίο του ή πόσο γρήγορα μπορεί να ανέβει μια κλίση. Η ισχύς ισούται με έργο προς μονάδα χρόνου. Η ισχύς του κινητήρα, μετρούμενη σε ίππους (Hp) ή κιλοβάτ (Kw), γενικά δίνει μια ένδειξη της ταχύτητας με την οποία ένα όχημα μπορεί να μεταφέρει ένα φορτίο ή να ανέβει σε ένα λόφο. Ο όρος οριακή ισχύς συχνά χρησιμοποιείται για να δείξει την οριακή έξοδο ισχύος του κινητήρα. Βαρέα οχήματα απαιτούν υψηλές τιμές ροπής προκειμένου να ανέβουν κάποιες κλίσεις ή να ξεκινήσουν με μεγάλο φορτίο. Η μέγιστη ταχύτητα ενός οχήματος περιορίζεται από την ισχύ που παρέχεται στους τροχούς και τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του.

Η μέση ενεργός πίεση (MEP), ορίζεται ως το έργο ανά κύκλο μηχανής προς τον όγκο που εκτοπίζεται ανά κύκλο. Ουσιαστικά, η MEP είναι η ροπή της μηχανής προς το εκτόπισμα όγκου. Αποτελεί χαρακτηριστική παράμετρο σύγκρισης της απόδοσης διαφορετικών μηχανών. Η Οριακή Μέση Ενεργός Πίεση (BMEP), μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$BMEP = \frac{150,8T}{V_d} \quad (3.1)$$

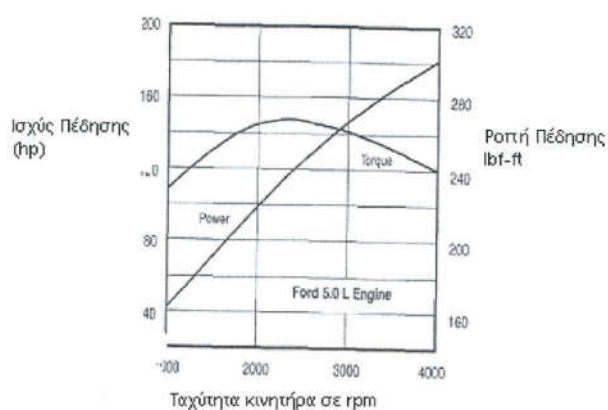
όπου BMEP: είναι η οριακή μέση ενεργός πίεση σε psi

T: είναι η οριακή ροπή σε Lbf-ft

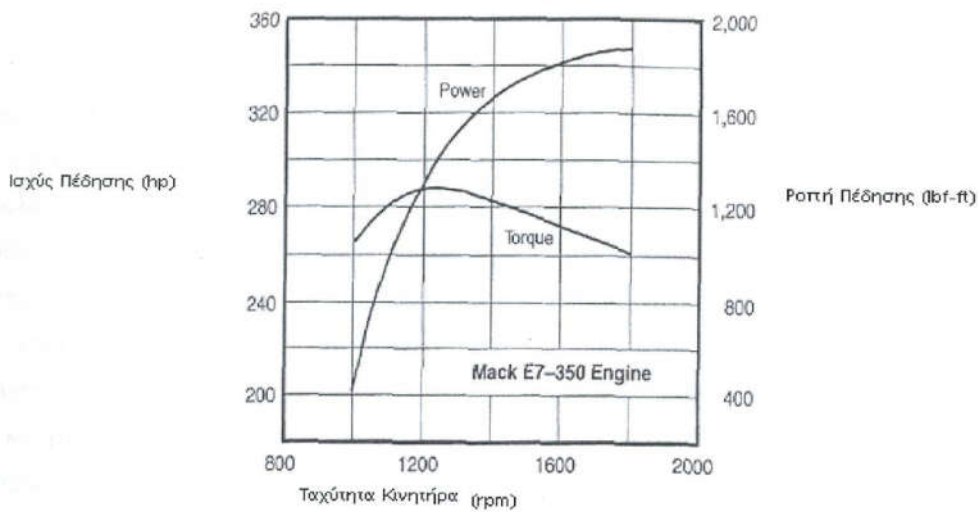
V_d : είναι το εκτόπισμα του κινητήρα σε in^3

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου, συχνά αναφερόμενη ως οριακή ειδική κατανάλωση καυσίμου (BSFC), αποτελεί μέτρο της απόδοσης του κινητήρα. Η BSFC είναι το κλάσμα της κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα προς την ισχύ εξόδου του. Χαμηλές τιμές της BSFC σημαίνει ότι απαιτείται λιγότερο καύσιμο για μια κιλοβατώρα έργου. Συνεπώς ο κινητήρας θα πρέπει να λειτουργεί εκεί που η BSFC είναι η χαμηλότερη. Για χαρακτηριστικές μηχανές SI η τιμή της κυμαίνεται γύρω στο 0,47 lbm/bhp-hr . Για μεγάλους κινητήρες diesel μπορεί να πέσει σε 0,32 lbm/bhp-hr .

Η ροπή του κινητήρα, η ισχύς εξόδου, η BMEP και η BSFC ποικίλουν ανάλογα με την ταχύτητα του, η οποία εκφράζεται συνήθως σε περιστροφές ανά λεπτό ή rpm. Τα σχήματα 3.1 και 3.2 δείχνουν χαρακτηριστικές τιμές ροπής και ισχύος για μεσαίου μεγέθους βενζινοκινητήρα και μεγάλο κινητήρα diesel.



Σχήμα 3.1 Ισχύς και Ροπή Πέδησης σε σύγκριση με την Ταχύτητα ενός κινητήρα Βενζίνης Ελαφρού Οχήματος



Σχήμα 3.2 Ισχύς και Ροπή Πέδησης σε σύγκριση με την Ταχύτητα ενός κινητήρα Diesel Βαρέου Οχήματος

Παρατηρείται ότι οι καμπύλες ροπής φθάνουν τα μέγιστα σε χαμηλές και μέσες τιμές της ταχύτητας του κινητήρα ενώ οι καμπύλες ισχύος αυξάνονται κατά μήκος της ταχύτητάς του. Η ταχύτητα στην οποία ο κινητήρας αναπτύσσει τη μέγιστη ροπή του είναι χαρακτηριστικά το σημείο σχεδιασμού του. Ο κινητήρας συνήθως λειτουργεί πιο αποδοτικά κοντά στο σημείο μέγιστης ροπής και έτσι τα οδηγητικά συστήματα του οχήματος σχεδιάζονται ώστε να επιτρέπουν τη λειτουργία του κοντά σε αυτή την ταχύτητα κατά την κίνηση. Οι κινητήρες των αυτοκινήτων συνήθως λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες περιστροφής, έως 7.500 rpm σε πολλές περιπτώσεις. Η μέγιστη έξοδος ισχύος συνήθως επιτυγχάνεται σε μεσαίες προς μεγάλες τιμές ταχύτητας. Μετά από αυτές τις τιμές η ισχύς εξόδου μειώνεται. Η σχέση μεταξύ ροπής και ισχύος σε συγκεκριμένη ταχύτητα του κινητήρα δίνεται ως:

$$P = \frac{TN}{5252} \quad (3.2)$$

όπου

P: είναι η ισχύς σε ίππους

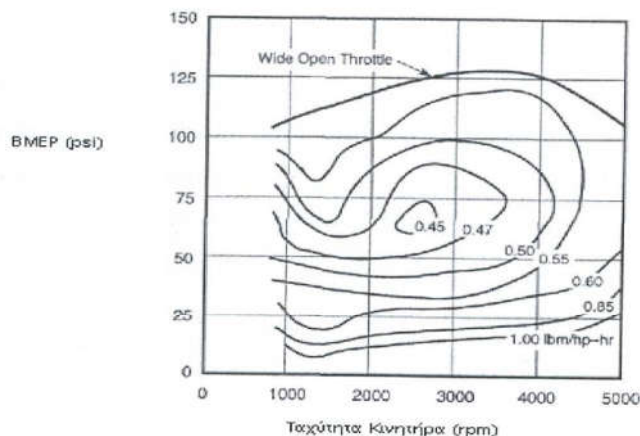
T: είναι η ροπή σε lbf-ft

N: είναι η ταχύτητα του κινητήρα σε rpm

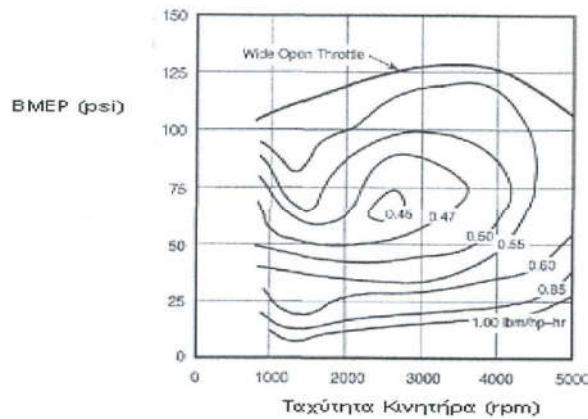
5252: σταθερά.

Σε ταχύτητα κινητήρα 5,252 rpm, η ροπή σε lbf-ft είναι αριθμητικά ίση με την ισχύ σε ίππους για όλους τους κινητήρες, εάν βέβαια ο κινητήρας μπορεί να φτάσει τα 5,252 rpm. Είναι επιθυμητό να τείνουν σε ευθεία οι καμπύλες ροπής και ισχύος, γεγονός που προσδίδει ένα πολύ ευρύτερο πεδίο αποδοτικής λειτουργίας και καθιστά το αυτοκίνητο πιο εύκολο στην οδήγηση. Γενικά, οι διαβαθμίσεις της ισχύος του κινητήρα ανταποκρίνονται σε καταστάσεις μέγιστης και όχι μέσης ισχύος. Αυτό το γεγονός μπορεί να λειτουργήσει παραπλανητικά. Ένας κινητήρας με χαμηλότερη μέγιστη ισχύ εξόδου αλλά με πιο σταθερή καμπύλη λειτουργίας μπορεί να παρέχει περισσότερη χρήσιμη ισχύ σε συνήθεις ταχύτητες από ότι ένας κινητήρας με μεγαλύτερη μέγιστη ισχύ. Ακραίο παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή κινητήρα αγωνιστικού αυτοκινήτου σε κοινό όχημα δρόμου. Παρόλο που ο κινητήρας του αγωνιστικού αυτοκινήτου έχει μεγαλύτερη μέγιστη ισχύ εξόδου από ένα συνηθισμένο αυτοκίνητο, παράγεται σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και οι καμπύλες ροπής και ισχύος είναι πιο απότομες. Έτσι, η επιπλέον ισχύς δεν καθίσταται εκμεταλλεύσιμη στις συνθήκες οδήγησης του δρόμου.

Τα σχήματα 3.3 και 3.4 παριστάνουν συνήθη διαγράμματα BSFC για SI και CI κινητήρες. Παρατηρείται ότι η BSFC αυξάνεται και σε χαμηλές και σε υψηλές ταχύτητες αλλά και σε χαμηλό φορτίο. Η BSFC μειώνεται σε υψηλότερα φορτία και μέσες ταχύτητες. Χαμηλή BSFC συνεπάγεται αποδοτικό κινητήρα. Η διαβάθμιση των ταχυτήτων θα πρέπει να γίνει ώστε να επιτρέπει τη λειτουργία σε χαμηλές και σε μεσαίες ταχύτητες κινητήρα. Δεδομένα BSFC υπάρχουν περισσότερο διαθέσιμα από έμπορους και κατασκευαστές μεγάλων φορτηγών ενώ είναι περιορισμένα για αυτοκίνητα και μικρά φορτηγά.



Σχήμα 3.3 Χάρτης Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου για κοινό Κινητήρα SI



Σχήμα 3.4 Χάρτης Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου για κοινό Κινητήρα CI

Είναι σημαντική η μελέτη των καμπυλών ροπής, ισχύος και BSFC κατά την επιλογή κινητήρα προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του οχήματος. Αυτές οι χαρακτηριστικές αποδόσεις επηρεάζουν επίσης τις τεχνολογίες οδήγησης και την οικονομία καυσίμου. Έτσι η διαβάθμιση των ταχυτήτων θα πρέπει να επιλεγεί ώστε να παρέχει φυσιολογικές ταχύτητες οδήγησης κοντά στην ταχύτητα του κινητήρα με το ελάχιστο BSFC, σχεδόν δηλαδή κοντά στη μέγιστη ροπή και για να παρέχει επαρκή επιτάχυνση και δυνατότητα αναρρίχησης σε κλίση όταν το όχημα λειτουργεί υπό φορτίο. Οι κινητήρες δε θα πρέπει να λειτουργούν σε μεγαλύτερη ταχύτητα κατά την οδήγηση όταν το όχημα κινείται σε χαμηλές ταχύτητες ή αναρριχάται σε κλίση.

3.2 Απόδοση Κινητήρα

Οι κινητήρες είναι βασικά αντλίες αέρα. Ο αέρας είναι απαραίτητος για να παρέχει το οξυγόνο στη διαδικασία της καύσης που λαμβάνει χώρα στους κυλίνδρους του κινητήρα. Για την αύξηση της ισχύος, θα πρέπει να καταναλώνεται περισσότερο καύσιμο που συνεπάγεται ότι θα πρέπει να εισέρχεται περισσότερος αέρας στους κυλίνδρους. Το ποσό του αέρα εισαγωγής εξαρτάται από την αντίσταση που συναντά κατά την είσοδό του στον κύλινδρο και στο κύκλωμα των καυσαερίων και αποτελεί την επονομαζόμενη δυνατότητα αναπνοής του κινητήρα. Η ικανότητα άντλησης αέρα ενός κινητήρα ονομάζεται ογκομετρική απόδοση. Οι σχεδιαστές κινητήρων επικεντρώνονται στην ανάπτυξη του κυκλώματος εισαγωγής αέρα για

την επίτευξη υψηλότερης ογκομετρικής απόδοσης και απόκρισης στις διακυμάνσεις της ροής του αέρα. Το σχήμα των αγωγών προσαγωγής αέρα και απαγωγής καυσαερίων, του θαλάμου καύσης, το κλείσιμο και η διάρκεια των βαλβίδων και άλλα καθορίζουν την ογκομετρική απόδοση.

Αν μειωθεί η ογκομετρική απόδοση οποιασδήποτε μηχανής, θα μειωθεί κατά αναλογία και η μέγιστη ισχύς εξίσου. Ένα γεμάτο φίλτρο αέρα μπορεί να προβάλλει σημαντική αντίσταση και συνεπώς μείωση της ογκομετρικής παροχής. Τα υγρά καύσιμα, όταν διασπώνται σε άτομα, καταλαμβάνουν γενικά ένα μικρό όγκο του συστήματος εισαγωγής αέρα και έτσι δεν επηρεάζουν σημαντικά την ογκομετρική απόδοση. Από την άλλη, τα αέρια καύσιμα μπορεί να απαιτούν 4-15% του όγκου αυτού του συστήματος. Ο χώρος που καταλαμβάνει το καύσιμο μειώνει το ποσό του αέρα εισαγωγής και επομένως την ισχύ εξόδου του κινητήρα. Η απώλεια ισχύος ακολουθεί συνήθως τα αέρια καύσιμα και δεν μπορεί εύκολα να αντιμετωπιστεί. Η πυκνότητα του αέριου καυσίμου στο σύστημα εισαγωγής αέρα του κινητήρα θα καθορίσει την ακριβή απώλεια ισχύος. Θεωρητικά, το LPG προκαλεί απώλεια της τάξεως του 4% και το φυσικό αέριο του 9,5 %.

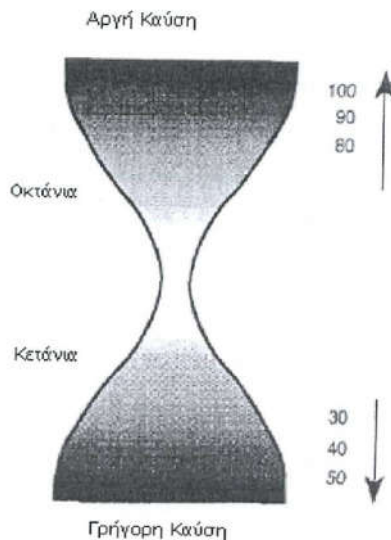
Τα αέρια καύσιμα αεριοποιούνται κατά την ανάμιξή τους με αέρα στο σύστημα εισαγωγής της μηχανής και μετά εγχέονται στους κυλίνδρους. Αυτή η αεριοποίηση απορροφά ενέργεια και ψύχει το μίγμα αέρα-καυσίμου. Όσο πιο ψυχρό είναι το μίγμα, τόσο πιο πυκνό είναι και τόσο μεγαλύτερη είναι η ογκομετρική απόδοση του κινητήρα. Τα αέρια καύσιμα, από την άλλη, βρίσκονται ήδη σε αέρια μορφή και δεν παρέχουν ψύξη στο μίγμα αέρα-καυσίμου. Αυτή η απώλεια ψύξης αποτελεί μια επιπλέον απώλεια ισχύος στους κινητήρες αέριων καυσίμων σε σύγκριση με τους κινητήρες υγρών καυσίμων. Τα αλκοολούχα καύσιμα όπως η μεθανόλη και η αιθανόλη, παρέχουν περισσότερη ψύξη από ότι η βενζίνη όταν εξατμίζονται. Η επιπλέον αυτή ψύξη αυξάνει την ογκομετρική απόδοση και συνεπώς και την ισχύ εξόδου.

Ο στροβιλοσυμπιεστής και ο υπερσυμπιεστής μπορούν να αυξήσουν την τελική ισχύ εξόδου ενός κινητήρα. Παρόλα αυτά ένας κινητήρας με στροβιλοσυμπιεστή και υπερσυμπιεστή θα παρέχει περισσότερη ισχύ με τη χρήση βενζίνης παρά με τη χρήση LPG ή φυσικού αερίου. Η απευθείας έγχυση στους κυλίνδρους του θα περιόριζε την απώλεια ισχύος οφειλόμενη σε ογκομετρική απόδοση. Εντούτοις, δεν έχουν παρουσιαστεί ακόμα συστήματα απευθείας έγχυσης για LPG και φυσικό αέριο.

Ακόμη απώλεια στην ογκομετρική απόδοση συνδέεται με τις συσκευές μετατροπής του κινητήρα σε κινητήρα εναλλακτικών καυσίμων. Οι περισσότεροι κινητήρες που μεταλλάσσονται σε κινητήρες φυσικού αερίου ή LPG παρουσιάζουν απώλειες ισχύος της

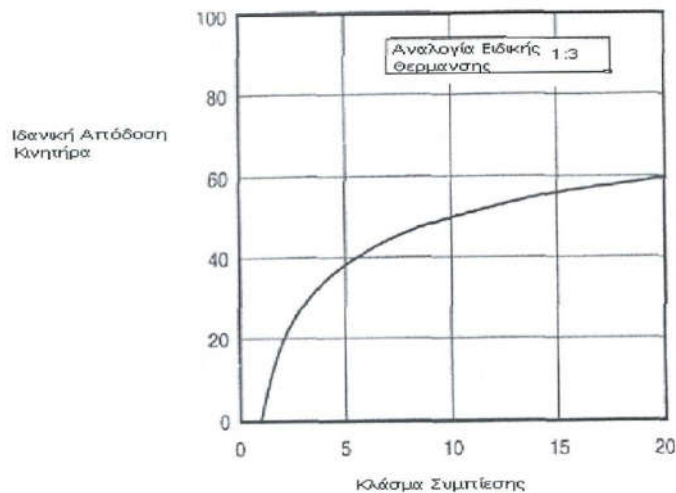
τάξεως του 10-20% που οφείλονται στα εμπόδια που συναντά η ροή στις συσκευές μετατροπής. Έτσι οι συνολικές απώλειες ισχύος εξαιτίας της ογκομετρικής απόδοσης που συνδέονται με την μετατροπή του κινητήρα και την πυκνότητα των αέριων καυσίμων φτάνουν το 20 % για το LPG και το 30 % για το φυσικό αέριο. Οι απώλειες που οφείλονται στις συσκευές μετατροπής θα παρουσιαστούν ακόμα και αν ο κινητήρας λειτουργήσει με βενζίνη ενώ υπάρχουν ακόμα αυτές οι συσκευές.

Οι κινητήρες ανάφλεξης με σπινθήρα λειτουργούν με μίγμα αέρα-καυσίμου. Ο αέρας και το καύσιμο αναμιγνύονται πριν την εισαγωγή τους στους κυλίνδρους. Έπειτα αυτό το μίγμα συμπιέζεται από το έμβολο καθώς αυτό κινείται ανάντι στον κύλινδρο πριν να αναφλεγεί το μίγμα από το σπινθηριστή. Το κλάσμα συμπίεσης ενός κινητήρα είναι ένα μέτρο της συμπίεσης αέρα-καυσίμου που λαμβάνει χώρα στον κύλινδρο. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας με 10 προς 1 κλάσμα συμπίεσης θα συμπιέσει το μίγμα αέρα-καυσίμου στο 1/10 του αρχικού του όγκου κατά τη διάρκεια μιας παλινδρόμησης. Η κατάταξη με βάση τον αριθμό οκτανίων δείχνει πόσο αργά καίγεται το μίγμα και πόσο καλά αντιστέκεται στην προανάφλεξη πριν το σπινθήρα από το καλώδιο του σπινθηριστή. Το σχήμα 3.5 είναι μια απεικόνιση της διαβάθμισης οκτανίων και κετανίων. Όσο πιο υψηλό είναι το κλάσμα συμπίεσης, τόσο πιο πιθανή είναι η προανάφλεξη και η πρόκληση κρότου (knock) στον κινητήρα. Καύσιμα υψηλού αριθμού οκτανίων μπορούν να καούν σε υψηλά κλάσματα συμπίεσης.



Σχήμα 3.5 Οπτική Σύγκριση των διαβαθμίσεων Οκτανίων-Κετανίων

Η ισχύς και η απόδοση ενός κινητήρα αυξάνεται αναλογικά με το κλάσμα συμπίεσης για συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου. Το σχήμα 2.6 αναπαριστά την ιδανική απόδοση ενός κινητήρα σε συνάρτηση με το κλάσμα συμπίεσης. Οι συνηθισμένοι κινητήρες βενζίνης έχουν κλάσματα συμπίεσης της τάξεως του 8:1 έως 9,5:1. το φυσικό αέριο, το LPG και η μεθανόλη έχουν σχετικά υψηλό αριθμό οκτανίων που επιτρέπει κλάσματα συμπίεσης της τάξεως του 15:1.



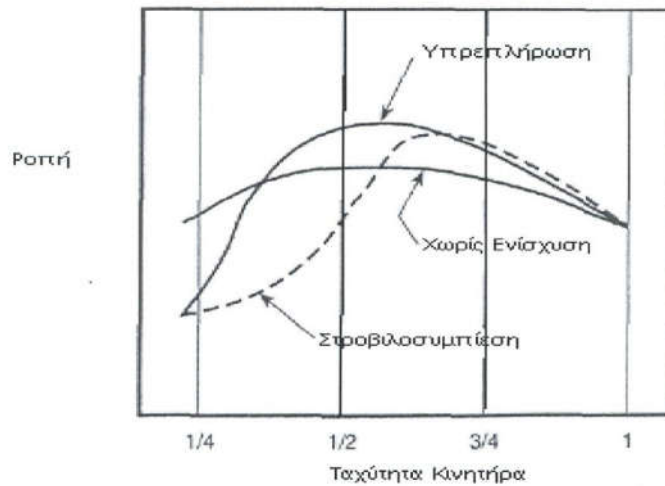
Σχήμα 3.6 Ιδανική Απόδοση Κινητήρα σε συνάρτηση με το κλάσμα συμπίεσης

Η αύξηση του κλάσματος συμπίεσης μπορεί να καλύψει μερικώς τις απώλειες σε ογκομετρική απόδοση και ισχύ που παρουσιάζουν τα αέρια καύσιμα. Δε θα πρέπει όμως να λησμονηθεί και η αύξηση που προκαλείται στις εκπομπές NO_x .

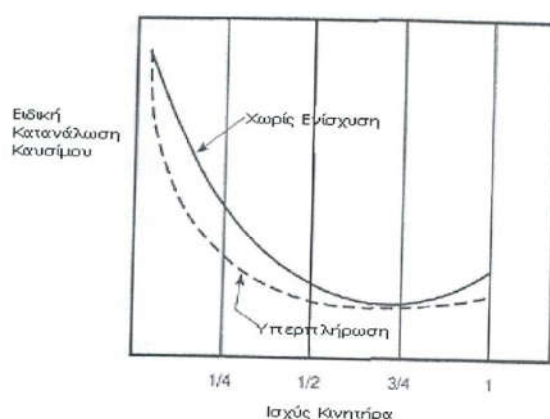
Οι κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση ουσιαστικά εισάγουν αέρα στον κύλινδρο, τον συμπιέζουν μέσω της κίνησης του εμβόλου και έπειτα εγχέουν το καύσιμο στο θερμό, συμπιεσμένο αέρα για να ξεκινήσει η ανάφλεξη. Ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου είναι ενδεικτικός της ταχύτητας καύσης του και της συμπεριφοράς του σε κινητήρα ανάφλεξης με συμπίεση. Το φυσικό αέριο, το προπάνιο και η μεθανόλη έχουν χαμηλό αριθμό κετανίων και δεν αποδίδουν ικανοποιητικά όταν εισάγονται σε κινητήρα CI. Οι κινητήρες diesel λειτουργούν με πολύ φτωχά μίγματα ανάφλεξης (0,014 έως 0,056) γεγονός που προσδίδει καλύτερη απόδοση και οικονομία καυσίμου, από ότι οι κινητήρες ανάφλεξης με σπινθηριστή, οι οποίοι λειτουργούν με σχεδόν στοιχειομετρικά μίγματα καυσίμου-αέρα (0,056 έως 0,083).

3.3 Συσκευές Αύξησης Ισχύος

Συχνά χρησιμοποιούνται σε κινητήρες στροβιλοσυμπιεστές και υπερσυμπιεστές προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ισορροπία μεταξύ ισχύος και οικονομίας καυσίμου. Οι στροβιλοσυμπιεστές και υπερσυμπιεστές συμπιέζουν τον αέρα έναυσης κατά την εισαγωγή του στους κυλίνδρους επιτρέποντας την καύση περισσότερου καυσίμου και την αύξηση της ισχύος ενός δεδομένου μεγέθους κινητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7. Αυξάνοντας τη μέγιστη ισχύ, ένας μεγαλύτερος κινητήρας μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο μικρότερο και να εξακολουθεί να αποδίδει την ίδια απαιτούμενη ισχύ για δεδομένα φορτία, καίγοντας όμως λιγότερο καύσιμο κατά την οδήγηση. Οι στροβιλοσυμπιεστές και οι υπερσυμπιεστές αυξάνουν την ογκομετρική απόδοση, μειώνοντας παράλληλα τη BSFC. Το σχήμα 3.8 παριστάνει τη μείωση της BSFC ως αποτέλεσμα του στροβιλοσυμπιεστή.



Σχήμα 3.7 Συνήθης Αύξηση Ισχύος Εξαιτίας της Μηχανικής Ενίσχυσης



Σχήμα 3.8 Συνήθης Μείωση της Ειδικής Κατανάλωσης Καυσίμου ως Αποτέλεσμα της Υπερπλήρωσης

Ένας στροβιλοσυμπιεστής είναι και στρόβιλος και συμπιεστής εγκατεστημένος στον ίδιο άξονα. Ο στρόβιλος λειτουργεί με τα καυσαέρια του κινητήρα. Ένα μέρος της απορριπτόμενης ενέργειας των καυσαερίων ανακτάται και έτσι αυξάνεται η γενική απόδοση μέσω του στροβιλοσυμπιεστή. Ο στρόβιλος μετακινεί και το συμπιεστή. Από τον στροβιλοσυμπιεστή περνά μέσα στη μηχανή θερμός, συμπιεσμένος αέρας. Συχνά παρεμβαίνει μεταξύ του στροβιλοσυμπιεστή και της μηχανής ένας ενδιάμεσος ψύκτης (intercooler) προκειμένου να ψύξει το συμπιεσμένο αέρα πριν την είσοδό του στους κυλίνδρους. Αυτός ο ψύκτης αυξάνει την πυκνότητα του συμπιεσμένου αέρα. Ένας υπερσυμπιεστής λειτουργεί όμοια με ένα στροβιλοσυμπιεστή. Ο υπερσυμπιεστής είναι απλά ένας συμπιεστής που συνδέεται με τον στροφαλοφόρο άξονα του κινητήρα μέσω ιμάντα, αλυσίδας ή κιβωτίου ταχυτήτων.

Οι στροβιλοσυμπιεστές και οι υπερσυμπιεστές έχουν πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Οι στροβιλοσυμπιεστές παρουσιάζουν υστέρηση στο στρόβιλο (turbo lag). Η υστέρηση αυτή είναι, συγκεκριμένα, υστέρηση μεταξύ της εισρόφησης και του στραγγαλισμού του αέρα επειδή ο στρόβιλος περιστρέφεται γρηγορότερα όταν αυξάνονται ξαφνικά τα καυσαέρια. Σε μικρούς κινητήρες ανάφλεξης με σπινθηριστή αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα. Παρόλα αυτά δεν παρουσιάζεται σε μεγάλους κινητήρες diesel. Επιπλέον, ο στροβιλοσυμπιεστής μπορεί να προσαρμοστεί αυτόματα κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Όταν το ποσοστό των καυσαερίων μειώνεται και γίνεται σταθερό, ο στροβιλοσυμπιεστής παρέχει την ελάχιστη προώθηση στον κινητήρα. Αυτό αποτελεί σημαντικό όφελος καθώς σε συνθήκες οδήγησης απαιτείται η ελάχιστη ισχύς προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η ταχύτητα. Όταν υπάρξει ανάγκη επιπλέον ισχύος, κατά τη διάρκεια της

ανάβασης σε ένα λόφο παραδείγματος χάρη, ο στροβιλοσυμπιεστής παρέχει την απαιτούμενη ώθηση για την αύξηση της ισχύος.

Οι υπερσυμπιεστές ανταποκρίνονται σε καταστάσεις στραγγαλισμού πολύ πιο γρήγορα από ότι οι στροβιλοσυμπιεστές εξαιτίας της μηχανικής τους ζεύξης με τον κινητήρα. Έτσι αυξάνεται σημαντικά η χαμηλή ισχύς του. Οι υπερσυμπιεστές όμως δεν μειώνουν την ώθηση σε συνθήκες οδήγησης τόσο εύκολα όσο οι στροβιλοσυμπιεστές εξαιτίας της μηχανικής τους ζεύξης με το στροφαλοφόρο άξονα. Αυτή η επιπλέον ώθηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου καθώς ο κινητήρας αναπτύσσει περισσότερη ισχύ από αυτή που απαιτείται από το όχημα. Μπορεί όμως να τοποθετηθεί ένας ηλεκτρικός συμπλέκτης στο άκρο του υπερσυμπιεστή ο οποίος θα λειτουργεί προσαρμοσμένος στις συνθήκες του αέρα και θα θέτει τον υπερσυμπιεστή εντός και εκτός λειτουργίας ανάλογα με τις ανάγκες. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται από τη Toyota στο MR2. Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν να εγκατασταθεί μια παράκαμψη ή ένα σύστημα ανακυκλοφορίας το οποίο θα επανεισάγει στον υπερσυμπιεστή τον αέρα από την έξοδο των καυσαερίων σε συνθήκες μειωμένου φορτίου. Η Ford χρησιμοποιεί αυτό το σύστημα στο Thunderbird Super Coupe.

Τα συστήματα ενίσχυσης της ώθησης λειτουργούν ικανοποιητικά και χρησιμοποιούνται ευρέως. Τα περισσότερα μεγάλα φορτηγά χρησιμοποιούν ένα στροβιλοσυμπιεστή για να αυξήσουν την ιπποδύναμή τους. Πολλοί δίχρονοι κινητήρες diesel έχουν και στροβιλοσυμπιεστή και υπερσυμπιεστή. Η χρήση λοιπόν στροβιλοσυμπιεστών και υπερσυμπιεστών για την ενίσχυση της παροχής αέρα καύσης βοηθά σημαντικά στην υπέρβαση των απωλειών της ογκομετρικής απόδοσης που προκύπτουν από την εγκατάσταση του εξοπλισμού μετατροπής σε κινητήρες εναλλακτικών καυσίμων των κλασσικών βενζινοκινητήρων.

3.4 Συστήματα Ελέγχου Κινητήρα

Οι σύγχρονοι κινητήρες ελέγχονται με σύνθετα συστήματα υπολογιστών τα οποία κατέχουν ενεργό ρόλο στη λειτουργία του κινητήρα. Σε κινητήρες ανάφλεξης με σπινθηριστή ο υπολογιστής ελέγχει το ρυθμό έγχυσης, το προβάδισμα ανάφλεξης, την αναλογία καυσίμου-αέρα και άλλα για να παρέχει τη μέγιστη απόδοση καυσίμου. Στους κινητήρες diesel το σύστημα ελέγχου, καθορίζει τις βασικές λειτουργίες του κινητήρα συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρονικής πλοήγησης, της αναλογίας καυσίμου-αέρα, της απότομης αύξησης της ροπής, της αναλογίας ύψους και ισχύος, του χρόνου έγχυσης καυσίμου, του ελέγχου πλοήγησης, του

ορίου ταχύτητας και του διαγνωστικού συστήματος. Τα προηγούμενα συστήματα ελέγχου συνοδεύουν πλέον τα περισσότερα αυτοκίνητα και φορτηγά.

Εκτός από τον υπολογιστή ελέγχου του κινητήρα, είναι διαθέσιμα και άλλα συστήματα συλλογής πληροφοριών όπως της απόδοσης του κινητήρα, της κατανάλωσης καυσίμου, του χρόνου αδράνειας και της ταχύτητας του οχήματος. Αυτοί οι υπολογιστές εγκαθίστανται στα οχήματα και αυτόματα συλλέγουν πληροφορίες, ενώ πολλά δέχονται και εισαγωγή δεδομένων από τον οδηγό. Τα δεδομένα των υπολογιστών αυτών συλλέγονται σε έναν υπολογιστή στα γραφεία της εταιρίας και σε συνδυασμό με στοιχεία άλλων οχημάτων αποδίδουν κάποια συμπεράσματα. Ο διευθυντής αυτού του στόλου μπορεί να καταλήξει σε συμπεράσματα που αφορούν τη συνολική απόδοση του στόλου, κάποιους συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν στα οχήματα, κάποια ιδιαίτερα οχήματα ή ιδιαίτερους οδηγούς. Οι αναφορές περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως ο χρόνος αδράνειας του κινητήρα, οι ώρες διαδρομής με ταχύτητα πάνω από το όριο, οι ώρες του κινητήρα πάνω από το όριο rpm, πληροφορίες για τη διαδρομή και άλλα. Η διαθεσιμότητα αυτών των δεδομένων αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του διευθυντή του στόλου ειδικά για τα φορτηγά, καθώς παρέχει τη βάση για τον προγραμματισμό της συντήρησής τους, την ανασκόπηση των διαδρομών και για την απόδοση του οδηγού.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι μπορεί να συλλέξει δεδομένα πριν από ένα ατύχημα. Πολλά συστήματα της αγοράς καταγράφουν δευτερόλεπτο προς δευτερόλεπτο την ταχύτητα του οχήματος και του κινητήρα και άλλα. Παρόλα αυτά τα δεδομένα δεν μπορούν να αποθηκευτούν μόνιμα άλλα διαγράφονται μετά από μερικά λεπτά. Έτσι υπάρχουν αρκετά λεπτά καταγεγραμμένα πριν από ένα ατύχημα για περαιτέρω ανάλυση, από τα οποία μπορεί τελικά να προκύψουν και τα αίτια ενός δυστυχήματος.

Τα παραπάνω συστήματα είναι διαθέσιμα από τους περισσότερους μεγάλους κατασκευαστές οχημάτων και εξοπλισμού. Ο διευθυντής του κάθε στόλου, λοιπόν, καλείται να επιλέξει το καταλληλότερο από αυτό προκειμένου να εξασφαλίσει μεγαλύτερη οικονομία στο καύσιμο και χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

4.1 Κινητήρες Diesel

Οι κινητήρες diesel ή έναυσης συμπίεσης (CI) χρησιμοποιούνται ευρέως σε βαρέα οχήματα όπως φορτηγά και λεωφορεία επειδή παρέχουν καλύτερη οικονομία καυσίμου, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, και ασφαλέστερη λειτουργία από τους κινητήρες Otto ή έναυσης με σπινθήρα (SI). Ενώ στις μηχανές SI συμπιέζεται στους κυλίνδρους ένα ομοιογενές, προαναμεμιγμένο μίγμα καυσίμου και αέρα και η καύση ξεκινά με έναν σπινθήρα, στους κινητήρες diesel ο αέρας συμπιέζεται αρχικά στον κύλινδρο και έπειτα το καύσιμα εγχέεται στον καυτό, συμπιεσμένο αέρα υψηλής πίεσης. Κατά συνέπεια, ο κύλινδρος μιας μηχανής diesel περιέχει ένα ετερογενές μίγμα αέρα και σταγονιδίων υγρού καυσίμου. Η καύση ξεκινά από την χαρακτηριστική αυτανάφλεξη του καυσίμου και τη δραστική μίξη στη διεπαφή των εγχυμένων σταγονιδίων καυσίμων και αέρα. Το τοπικό μίγμα καυσίμου-αέρα στη διεπαφή μίξης είναι σχεδόν στοιχειομετρικό και έτσι καίγεται αποτελεσματικά. Εντούτοις, το συνολικό μίγμα καυσίμου-αέρα στον κύλινδρο είναι πολύ φτωχό. Το συνολικά φτωχό μίγμα παρέχει άφθονο οξυγόνο για να προωθήσει την πλήρη καύση των καυσίμων στον κύλινδρο και ο πρόσθετος αέρας τείνει να μειώσει την συνολική θερμοκρασία της καύσης γεγονός που μειώνει το σχηματισμό NOx. Χαμηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν επίσης μικρότερη φθορά στα τμήματα των κυλίνδρων και της εξάτμισης. Επειδή το μίγμα καυσίμου-αέρα αναφλέγεται από την εισαγωγή του καυσίμου στο συμπιεσμένο αέρα και όχι από σπινθήρα, οι κινητήρες CI απαιτούν καύσιμα με υψηλή ικανότητα αυτανάφλεξης ή υψηλό αριθμό κετανίου.

Οι κινητήρες CI δεν περιλαμβάνουν ρυθμιστική βαλβίδα και κατά συνέπεια, οι απώλειες άντλησης που συνδέονται με την κίνηση του αέρα μέσα στον κινητήρα είναι πολύ μικρότερες απ' ό,τι σε ένα κινητήρα έναυσης με σπινθηριστή.

Η έλλειψη ρυθμιστικής βαλβίδας, η καύση φτωχών μισμάτων, και η υψηλή συμπίεση είναι τα χαρακτηριστικά που αυξάνουν την αποδοτικότητα μιας μηχανής CI. Υψηλότερη αποδοτικότητα μηχανών μεταφράζεται σε μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου. Το κλάσμα συμπίεσης των κινητήρων κυμαίνεται από 15:1 έως 20:1, τιμές που είναι πολύ υψηλότερες από το κλάσμα συμπίεσης 8:1 έως 10:1, χαρακτηριστικό των κινητήρων SI.

Τα τμήματα των κινητήρων είναι συνήθως πολύ βαρύτερα και πιο στιβαρά από τα αντίστοιχα τμήματα κινητήρων SI. Αυτή η βαριά κατασκευή αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του κινητήρα και έτσι απαιτείται λιγότερο συχνός έλεγχος ή αντικατάσταση. Το φτωχό μίγμα της καύσης των μηχανών CI παρέχει χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, γεγονός που συμβάλλει επίσης στη μείωση της φθοράς του κινητήρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι πλούσια

μίγματα αέρα-καυσίμου καίγονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα στοιχειομετρικά μίγματα, επειδή σε αυτή την περίπτωση δεν οξειδώνεται όλο το καύσιμο λόγω έλλειψης διαθέσιμου οξυγόνου. Ένα ελαφρώς φτωχότερο μίγμα παράγει πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από τα στοιχειομετρικά μίγματα επειδή είναι διαθέσιμο άφθονο οξυγόνο για να οξειδώσει όλο το καύσιμο ακόμα κι αν η μίξη καυσίμου-αέρα δεν είναι ιδανική. Εντούτοις, η θέρμανση μεγάλου ποσού περίσσειας αέρα στο πολύ φτωχό μίγμα ψύχει τη διαδικασία της καύσης και χαμηλώνει τις θερμοκρασίες. Δεν υπάρχει ανάγκη αντικατάστασης των υποδοχών των σπινθηριστών ή άλλων τμημάτων των συστημάτων ανάφλεξης, παρόλο που οι μηχανές CI δεν περιλαμβάνουν τέτοια συστήματα. Εντούτοις, το σύστημα έγχυσης καυσίμου υψηλής πίεσης απαιτεί ειδική συντήρηση. Τα καύσιμα diesel, τα χαρακτηριστικά καύσιμα για τις μηχανές CI, έχουν πολύ μικρότερες πιθανότητες να αναφλέγουν κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος από ότι η βενζίνη και κατά συνέπεια, τα οχήματα που χρησιμοποιούν diesel είναι ασφαλέστερα από τα οχήματα που χρησιμοποιούν βενζίνη. Στην πραγματικότητα, οι κατασκευαστές μερικών πλαισίων σχολικών λεωφορείων αποφεύγουν να παραγάγουν και να πωλήσουν λεωφορεία που τροφοδοτούνται με βενζίνη για τον παραπάνω λόγο.

Οι κινητήρες έναυσης συμπίεσης λειτουργούν με διαφορετικό θερμοδυναμικό κύκλο από τους κινητήρες (SI). Οι προκύπτουσες διαφορές στις παραμέτρους μηχανών και τα λειτουργούντα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη χρήση των εναλλακτικών καυσίμων σε μηχανές CI. Όπως σημειώνεται παραπάνω, οι ιδιότητες των εναλλακτικών καυσίμων είναι σημαντικά διαφορετικές από τις ιδιότητες των καυσίμων diesel και γενικά τα εναλλακτικά καύσιμα δεν μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές CI. Το φυσικό αέριο, το LPG, και οι αλκοόλες έχουν υψηλούς αριθμούς οκτανίου αλλά χαμηλούς αριθμούς κετανίου, ακριβώς το αντίθετο των αποδοτικών καυσίμων για κινητήρες CI. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να γίνουν σημαντικές αλλαγές στο υλικό και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας μηχανής CI προκειμένου να χρησιμοποιεί τα περισσότερα εναλλακτικά καύσιμα.

Σύμφωνα με μια πρόσφατη νομοθεσία για καύσιμα στην πολιτεία του Τέξας, υπάρχει η απαίτηση από κάποιες αντιπροσωπείες μετατροπής των οχημάτων τους ώστε να λειτουργούν και με εναλλακτικά καύσιμα. Σχολικές περιοχές έχουν αγοράσει λεωφορεία με κινητήρα CI για αρκετά έτη επειδή το κόστος κύκλου της ζωής των λεωφορείων είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο για κινητήρες βενζίνης. Κατά συνέπεια, πολλές σχολικές περιοχές έχουν στόλους που αποτελούνται κυρίως από πετρελαιοκίνητα λεωφορεία. Δυστυχώς, πριν από το 1993 δεν υπήρχε κανένα εγκεκριμένο σύστημα μετατροπής για να

μετατρέψει μια μηχανή diesel σε κινητήρα που χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα. Πλέον όμως πωλούνται και κάποιοι κινητήρες που κατασκευάζονται έτσι ώστε να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ή μεθανόλη. Εντούτοις, η διαθεσιμότητα τους είναι περιορισμένη και οι δαπάνες υψηλές. Η τεχνολογία παρέχει εδώ και λίγα μόνο χρόνια ρεαλιστικές λύσεις για αποτελεσματική καύση εναλλακτικών καυσίμων σε κινητήρες CI.

4.1.1 Χαρακτηριστικές Εκπομπές Εξάτμισης Κινητήρων Diesel (CI)

Η πιο γνωστή εκπομπή ρύπων από μια μηχανή CI είναι το χαρακτηριστικό ίχνος καπνού που παράγεται όταν λειτουργεί το όχημα με φορτίο. Αυτός ο καπνός αποτελείται από στερεά μόρια και υγρά σταγονίδια που παράγονται από ατελή καύση. Ο καπνός από τους κινητήρες CI μπορεί να είναι είτε μπλε-άσπρος είτε γκριζόμαυρος. Ο μπλε καπνός προκαλείται χαρακτηριστικά από την υπερβολική λίπανση στο θάλαμο καύσης εξαιτίας της ελλιπούς σφράγισης των δαχτυλιδιών των εμβόλων ή της φθοράς των οδηγητικών βαλβίδων. Μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ή να αποβληθεί με την κατάλληλη συντήρηση. Ο λευκός καπνός, παράγεται όταν η θερμοκρασία καύσης στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της έγχυσης καυσίμων είναι χαμηλή, αλλά μπορεί να παραχθεί κατά τη διάρκεια παροδικής λειτουργίας ή τη διάρκεια έναρξης, ειδικά σε συνθήκες χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών ή σε μεγάλα ύψη. Ο λευκός καπνός μπορεί επίσης να παραχθεί όταν ξεκινά αργά η έγχυση του καυσίμου κατά τη διάρκεια του κύκλου του κινητήρα ή όταν η αναλογία συμπίεσης είναι χαμηλή.

Ο γκριζόμαυρος καπνός παράγεται χαρακτηριστικά όταν η μηχανή λειτουργεί σε πλήρες φορτίο ή κοντά σε πλήρες φορτίο και εγχέεται πάρα πολύ καύσιμο ή όταν εμποδίζεται μερικώς η εισαγωγή αέρα, όπως παράδειγμα από ένα βρώμικο φίλτρο αέρα. Ο βαρύς καπνός από μια μηχανή diesel δείχνει συνήθως απώλειες στη θερμική αποδοτικότητα, την παραγωγή ισχύος, και την οικονομία καυσίμων. Ο γκριζόμαυρος καπνός προκύπτει από τη ελλιπή συντήρηση των φίλτρων αέρα και των εγχυτήρων ή από την ανάρμοστη ρύθμιση της αντλίας εγχύσεως του καυσίμου. Αυτός ο τύπος καπνού είναι μια συλλογή των μορίων άνθρακα ή συσσωματωμάτων σε ευρύ φάσμα μεγεθών (0,02 mm.- 0,12 mm.). Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι ουσιαστικά αδύνατο να αποβληθεί πλήρως ο καπνός που παράγεται από τους κινητήρες diesel. Κατά συνέπεια, θα υπάρχουν πάντα κάποια μόρια άνθρακα στη εξάτμιση των μηχανών diesel. Διάφορες τεχνικές μέτρησης έχουν αναπτυχθεί για να καθορίσουν αντικειμενικά το επίπεδο αυτού του καπνού. Η οπτική επιθεώρηση οδηγεί σε τεράστιες διαφορές στον χαρακτηρισμό της παραγωγής καπνού όταν αξιολογείται από διαφορετικά άτομα.

Όταν οι ενώσεις υδρογονανθράκων, όπως εκείνοι που βρίσκονται στα καύσιμα diesel, καίγονται ή οξειδώνονται εντελώς, τα μόνα προϊόντα που παράγονται είναι νερό (H_2O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Η διαδικασία καύσης σε μια μηχανή diesel εμφανίζεται μόνο στη διεπαφή μεταξύ του εγχυμένου ρεύματος καυσίμου και του αέρα που συμπιέζεται στον κύλινδρο. Κατά συνέπεια, η οξείδωση των καυσίμων δεν είναι πάντα πλήρης. Η ελλιπής καύση των καυσίμων παράγει μονοξείδιο του άνθρακα (CO), ενώσεις υδρογονανθράκων (HC), και ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο όπως οι αλδεύδες. Επιπλέον, η θερμοκρασία στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια της καύσης ευνοεί την παραγωγή οξειδίων του αζώτου (NO_x) από το άζωτο και το οξυγόνο του αέρα της καύσης. Αυτά τα προϊόντα ελλιπούς καύσης θεωρούνται επιβλαβείς εκπομπές εξάτμισης και ελέγχονται από τη νομοθεσία.

Οι ιδιότητες των καυσίμων μπορούν να επηρεάσουν τις εκπομπές δημιουργώντας τις χαρακτηριστικές καμπύλες ενός κινητήρα CI. Καύσιμα με υψηλότερο αριθμό κετανίου και πτητικότητα τείνουν να μειώσουν την παραγωγή λευκού καπνού. Η χημική σύνθεση των καυσίμων, ο αριθμός κετανίου, και η πτητικότητα, έχουν επιπτώσεις στην παραγωγή γκριζομαυρού καπνού. Εντούτοις, η ακριβής σχέση αυτών των αποτελεσμάτων δεν είναι απόλυτα κατανοητή. Μερικές πρόσθετες ουσίες όπως το βάριο μπορούν να μειώσουν την παραγωγή καπνού. Η σύνθεση καυσίμων αφορά επίσης την παραγωγή του διοξειδίου θείου (SO_2) και άλλων ενώσεων του θείου. Πρόσφατες απαιτήσεις για καθαρά καύσιμα diesel (καύσιμα diesel μειωμένου θείου) στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών από τους κινητήρες diesel. Εναλλακτικά καύσιμα που έχουν συνήθως απλούστερες μοριακές δομές και είναι φτωχά σε άνθρακα σε σύγκριση με τα καύσιμα diesel, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τα επίπεδα εκπομπών σε εξάτμιση από κινητήρα diesel.

Τα ομοσπονδιακά πρότυπα εκπομπών για τις μηχανές βαρέων οχημάτων δηλώνονται χαρακτηριστικά ως ο αριθμός των γραμμαρίων του συστατικού εκπομπής ανά ιπποδύναμη και ώρα ($g/bhp-hr.$). Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει την πρόοδο των επιπέδων των εκπομπών για βαρέα φορτηγά και λεωφορεία από το 1988 ως το 1994.

Πίνακας 4.1: Επίπεδα Εκπομπών Βαρέων Οχημάτων (Detroit diesel Corporation 1989)

Έτος μοντέλου	Επίπεδα Εκπομπών Κινητήρων Λεωφορείων			
	NO _x	HC	CO	PM
1988	10.7	1.3	15.5	0.60
1990	6.0	1.3	15.5	0.60
1991	5.0	1.3	15.5	0.10
1994	5.0	1.3	15.5	0.10
1998	4.0	1.3	15.5	0.07
Έτος μοντέλου	Επίπεδα Εκπομπών Κινητήρων Φορηγών			
	NO _x	HC	CO	PM
1988	10.7	1.3	15.5	0.60
1990	6.0	1.3	15.5	0.60
1991	5.0	1.3	15.5	0.25
1994	5.0	1.3	15.5	0.10
1998	4.0	1.3	15.5	0.10

4.1.2 Καύση Αέριων Καυσίμων σε Κινητήρες Diesel

Η αποθήκευση των αέριων καυσίμων πάνω στο όχημα για τα οχήματα με κινητήρες diesel είναι ουσιαστικά η ίδια όπως για οχήματα με κινητήρες Otto. Οι δεξαμενές, οι παροχές καυσίμων, οι ρυθμιστές, οι βαλβίδες, τα συστήματα ανεφοδιασμού κ.λπ. για CNG, LNG, ή LPG δεν αλλάζουν. Εντούτοις, ο έλεγχος της οδήγησης καυσίμου στη μηχανή και η λειτουργία της είναι διαφορετικά. Το φυσικό αέριο και το LPG δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες diesel. Αυτά τα καύσιμα έχουν φτωχή ικανότητα αυτανάφλεξης και έτσι απαιτούν μια εξωτερική πηγή ανάφλεξης. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι καύσης αέριων καυσίμων σε μηχανή diesel:

- 1) η μετατροπή της μηχανής ώστε να λειτουργεί αποκλειστικά με αέρια καύσιμα, ή
- 2) η μετατροπή ώστε να λειτουργεί με δυο καύσιμα.

4.1.2.1 Αποκλειστική Λειτουργία Καυσίμου: Μετατροπή σε Κινητήρα Otto

Επειδή το φυσικό αέριο και το LPG δεν έχουν καλές ιδιότητες αυτανάφλεξης (αριθμό κετανίου), δεν μπορούν να καούν απευθείας σε κινητήρα diesel. Είναι υποχρεωτική η παρουσία μιας πηγής έναυσης για να αναφλεγεί το μίγμα καυσίμου-αέρα στους κυλίνδρους της μηχανής. Μια προφανής προσέγγιση προκειμένου να παραχθεί αυτή η απαραίτητη πηγή έναυσης, είναι η μετατροπή του κινητήρα από diesel σε Otto. Μια τέτοια μετατροπή είναι δαπανηρή και πολύπλοκη όταν γίνεται μετά την αγορά του οχήματος. Οι πιο απαραίτητες αλλαγές που απαιτούνται βρίσκονται παρακάτω:

- εγκατάσταση μετρητικού συστήματος αέριου καυσίμου
- αφαίρεση συστήματος έγχυσης καυσίμου diesel
- προσθήκη ρυθμιστικής βαλβίδας
- μείωση του κλάσματος συμπίεσης
- προσθήκη συστήματος έναυσης και διακόπτη έναυσης
- αφαίρεση από την κεφαλή των κυλίνδρων του συστήματος έγχυσης και προσθήκη σπινθηριστών
- μεταποίηση του καλύμματος της βαλβίδας
- αντικατάσταση εμβόλων, στεγανοποιητών και σφραγίδων των βαλβίδων

Αρχικά θα πρέπει να αφαιρεθεί το σύστημα του καυσίμου diesel και της αντλίας έγχυσης, επειδή δεν χρειάζεται πλέον. Θα πρέπει να αντικατασταθεί από ένα μετρητικό σύστημα για αέρια καύσιμα και ρυθμιστική βαλβίδα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε σύστημα βρίσκει εφαρμογή σε κινητήρες Otto. Εδώ προκύπτουν τα ίδια προβλήματα στη επιλογή μετρητικού συστήματος και διανομής που έχουν ήδη προαναφερθεί. Απλά μηχανικά συστήματα ανάμιξης είναι σχετικά οικονομικά αλλά δεν μπορούν να ελέγξουν σε επιθυμητό βαθμό τις εκπομπές. Προτιμώνται πιο προηγμένα μηχανικά συστήματα ελέγχου ανάδρασης και συστήματα με υπολογιστή που χρησιμοποιούν εγχυτήρες καυσίμου ή αναλογικές βαλβίδες για να μετρήσουν την ιδανική αναλογία. Δυστυχώς, όσο πιο ακριβή είναι αυτά τα συστήματα τόσο πιο δαπανηρά γίνονται. Η εισαγωγή του καυσίμου στο ρεύμα αέρα εισαγωγής μπορεί να γίνεται ολοκληρωτικά σε ένα σημείο (έγχυση με ρυθμιστικές βαλβίδες) ή σε πολλά σημεία (μεμονωμένη έγχυση σε τμήματα των κυλίνδρων). Περαιτέρω, η πολλαπλή έγχυση μπορεί να είναι παλμική, σε ομάδες, ή διαδοχικά παράλληλη με την έναυση κάθε μεμονωμένου κυλίνδρου. Ο στόχος είναι η παροχή ενός ακριβούς και ομοιογενούς

μίγματος καύσιμου και αέρα για κάθε κύλινδρο. Η ανάμιξη καυσίμου-αέρα μπορεί συχνά να ενισχυθεί με την εισαγωγή καυσίμου στο ρεύμα αέρα ενός στροβιλοσυμπιεστή ή ενός υπερπληρωτή.

Η αναλογία συμπίεσης των περισσότερων μηχανών diesel είναι επίσης υψηλή για λειτουργία ως μηχανή Otto ακόμη και για τους μεγάλους αριθμούς οκτανίου του φυσικού αερίου και του LPG. Κατά συνέπεια, για να αποτρέψουν την πρόωρη έναυση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, τα έμβολα πρέπει να τροποποιηθούν ή να αντικατασταθούν και ο θάλαμος καύσης στην κεφαλή των κυλίνδρων να διευρυνθεί και να αναδιαμορφωθεί για να μειώσει την αναλογία συμπίεσης και για να προωθήσει τη ανάμιξη της τροφοδοσίας καυσίμου-αέρα καθώς εισάγεται στον κύλινδρο. Η κεφαλή των κυλίνδρων πρέπει επίσης να τροποποιηθεί για να δεχτεί τους σπινθηριστές και η κάλυψη βαλβίδων μπορεί να απαιτήσει τροποποιήσεις για να επιτρέψει την εγκατάστασή τους. Η εισαγωγή μιας ρυθμιστικής βαλβίδας θα παρέχει πολύ μεγαλύτερο επίπεδο κενού στους κυλίνδρους, επομένως, τα δαχτυλίδια των εμβόλων και οι σφραγίδες των καλωδίων των βαλβίδων πρέπει να αλλάξουν για να αποτρέψουν την υπερβολική κατανάλωση λιπαντικού. Με αυτές τις αλλαγές η μηχανή γίνεται μια μηχανή Otto με χαρακτηριστικά βαρέων οχημάτων.

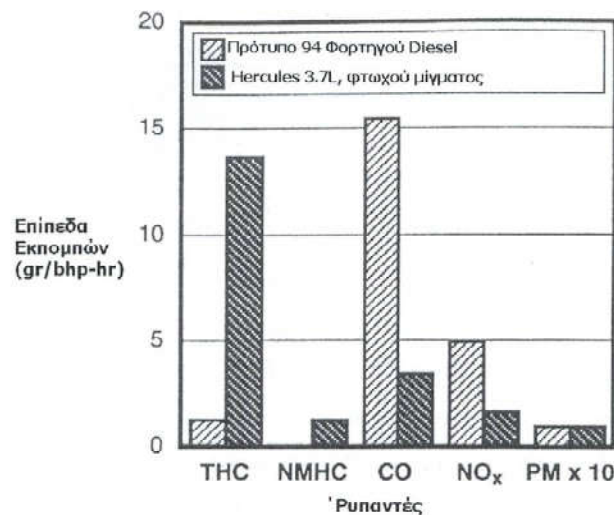
Σαφώς οι τροποποιήσεις που περιγράφονται ανωτέρω απαιτούν πολλές προσπάθειες και δαπάνη, ειδικά η μετατροπή μιας μηχανής μετά την αγορά της. Οι δαπάνες μετατροπής υπολογίζονται από τον προμηθευτή και είναι περίπου \$5.000 συν τις δαπάνες δεξαμενών καυσίμων και εγκαταστάσεων. Κάποιες επιχειρήσεις αναπτύσσουν συστήματα μετατροπής ή προγραμματίζουν να παράσχουν υπηρεσίες μετατροπής για να τροποποιήσουν μηχανές diesel ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά με αέρια καύσιμα. Επιπλέον, διάφοροι OEMs έχουν αναπτύξει ή αναπτύσσουν κινητήρες αποκλειστικής χρήσης αέριων καυσίμων. Η Detroit Diesel έχει αναγγείλει πρόσφατα μηχανή αποκλειστικής χρήσης φυσικού αερίου και άλλες αμερικανικές εταιρίες ακολουθούν το παράδειγμά της.

Οι κινητήρες που τροφοδοτούνται αποκλειστικά με αέρια καύσιμα απολαμβάνουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα από την άποψη των εκπομπών εξάτμισης σε σύγκριση με τους κινητήρες diesel. Ο καπνός αποβάλλεται κατά το μεγαλύτερο μέρος του και τα άλλα συστατικά των εκπομπών μπορούν να μειωθούν σημαντικά. Ο πίνακας 4.2 και το σχήμα 4.1 συγκρίνουν τις εκπομπές από ένα όχημα Hercules 3,7 l που καταναλώνει φυσικό αέριο με τα πρότυπα πετρελαιοκίνητων EPA φορτηγών του 1994. Οι εκπομπές NO_x και CO παρουσιάζονται πολύ ευνοϊκές σε σύγκριση με τα πρότυπα ακόμη και χωρίς καταλυτική

μετέπειτα επεξεργασία. Η ίδια μηχανή δεν ικανοποιεί τα πρότυπα εκπομπών κατά λειτουργία της με καύσιμο diesel.

Πίνακας 4.2: Εκπομπές Από Κινητήρα Αποκλειστικά Φυσικού Αερίου (Πηγή Southwest Research Institute)

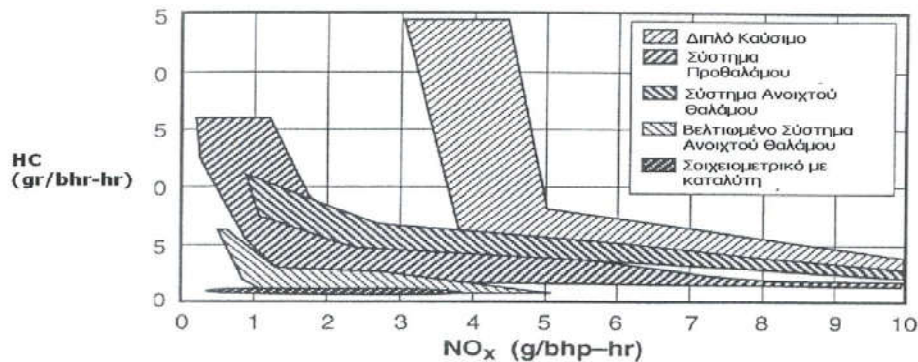
Ποσά Εκπομπών σε g/bhp-hr	THC	NMH	NO	PM	C
Δεδομένα φορτηγού A1994 Diesel	1.3	—	5.00	0.1	15.50
Φτωχό μίγμα χωρίς καταλύτη Hercules 3.7 L	13.7	1.3	1.68	0.1	3.55



Σχήμα 4.1: Εκπομπές από κινητήρα αποκλειστικής χρήσης Φυσικού Αερίου

Από το Southwest Research Institute ερευνούνται δύο γενικοί τύποι διαμορφώσεων θαλάμων καύσης, προθαλάμου με στρωματοποιημένη φόρτιση και ανοικτού θαλάμου με φτωχό καύσιμο μίγμα, αποκλειστικά για κινητήρες φυσικού αερίου. Το σύστημα προθαλάμου με στρωματοποιημένη φόρτιση καύσης, παρέχει υψηλή θερμική αποδοτικότητα και ικανοποιητική αύξηση ροπής. Η μεταβλητή αναλογία καυσίμου-αέρα αυτού του σχεδίου επιτρέπει ελάχιστο στραγγαλισμό που ελαχιστοποιεί τις απώλειες άντλησης. Οι χαμηλές

θερμοκρασίες εξάτμισης παρέχουν άριστη διάρκεια ζωής των συστημάτων μηχανών και εξάτμισης. Εντούτοις, τα συστήματα προθαλάμων απαιτούν σύστημα σύνθετου ελέγχου και παράγουν HC με υψηλές εκπομπές σωματιδίων. Στο σύστημα ανοιχτού θαλάμου καύσης με φτωχό μίγμα, χαρακτηριστικό των περισσότερων κινητήρων diesel, απαιτεί πολύ απλούστερες συσκευές και έλεγχο. Επιπλέον, οι δοκιμές δείχνουν καλύτερη ανταλλαγή μεταξύ NO_x και HC απ' ό,τι για το σύστημα προθαλάμων. Το σχήμα 4.2 παρουσιάζει ένα διάγραμμα χαρακτηριστικών ανταλλαγών μεταξύ του NO_x και HC για κινητήρες αερίων καυσίμων βαρέων εφαρμογών.



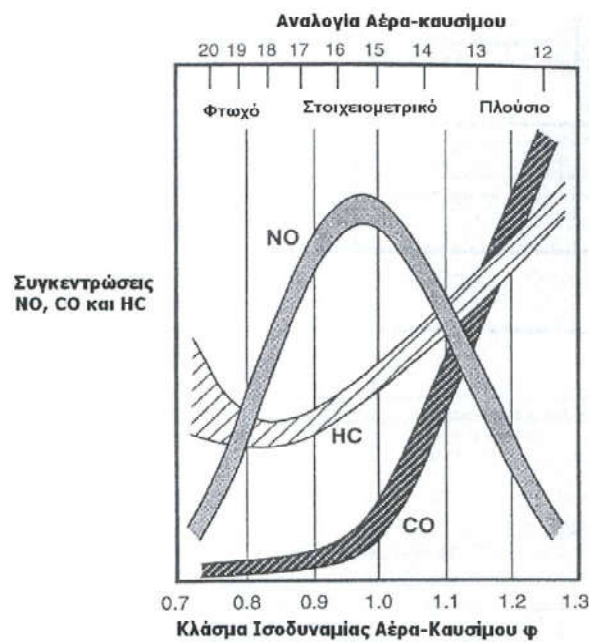
Σχήμα 4.2: Εκπομπές HC σε σύγκριση με τις εκπομπές NO_x σε καύση Αέριων Καυσίμων.

Πολλοί από τους κινητήρες που τροφοδοτούνται αποκλειστικά με αέρια καύσιμα απαιτούν περαιτέρω καταλυτική επεξεργασία παρόμοια με άλλους κινητήρες Otto για να είναι σύμφωνοι με τα πρότυπα εκπομπών. Εντούτοις, οι περισσότερες μηχανές diesel τροποποιημένες ή κατασκευασμένες ώστε να δέχονται αέρια καύσιμα, είναι το ίδιο αποδοτικές και παράγουν την ίδια ισχύ σε σύγκριση με τις κοινές μηχανές diesel. Οι μηχανές diesel λειτουργούν με φτωχό καύσιμο και οι περισσότερες μηχανές βαρέων οχημάτων είναι εξοπλισμένες με στροβιλοσυμπιεστές. Οι εξοπλισμένες με στροβιλοσυμπιεστή, μηχανές φτωχών μιγμάτων μπορεί όχι μόνο να είναι πολύ πιο αποδοτικότερες, έχουν δηλαδή χαμηλό BSFC, αλλά μπορούν να εκλύουν επιπλέον χαμηλά επίπεδα NO_x. Οι εκπομπές από τις μηχανές Otto προκύπτουν όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο σχήμα 4.3 όσον αφορά την αναλογία ισοδυναμίας. Η αναλογία ισοδυναμίας είναι η πραγματική αναλογία καυσίμου-αέρα που διαιρείται με την στοιχειομετρική αναλογία καυσίμου-αέρα όπως καθορίζεται από

την εξίσωση 4.1. Το αντίστροφο της αναλογίας ισοδυναμίας είναι το σχετικό κλάσμα αέρα - καυσίμου που καθορίζεται από την εξίσωση 5.2.

$$\phi = \frac{(\text{καύσιμο} / \text{αέρας})_{\text{πραγματικό}}}{(\text{καύσιμο} / \text{αέρας})_{\text{στοιχειομετρικό}}} \quad (4.1)$$

$$\lambda = \frac{(\text{αέρας} / \text{καυσίμο})_{\text{πραγματικό}}}{(\text{αέρας} / \text{καύσιμο})_{\text{στοιχειομετρικό}}} \quad (4.2)$$

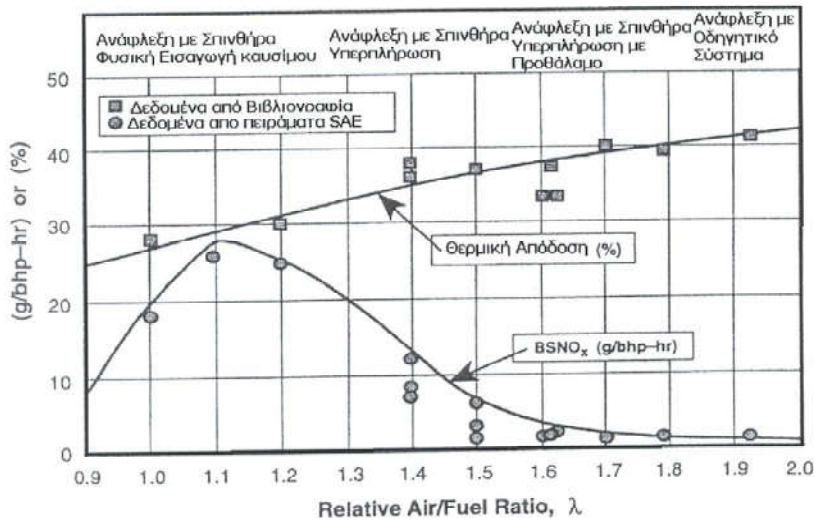


Στο σχήμα 4.3 φαίνεται ότι το NO, που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ποσότητα των NO_x, είναι μέγιστο για αναλογία ισορροπίας 0,95 και μειώνεται όσο το κλάσμα φ αυξάνεται ή μειώνεται υπερβολικά. Όταν το φ μειώνεται κάτω από 1.0 η θερμοκρασία έναυσης αυξάνεται αρχικά και έπειτα μειώνεται. Έτσι, όταν ένας κινητήρας λειτουργεί σε πολύ χαμηλό φ τα μειώνονται σημαντικά τα NO_x. Ο πίνακας 4.3 παρουσιάζει την αυξανόμενη ισχύ εξόδου και απόδοση και το μειωμένο BSNO_x από κινητήρα που καίει αποκλειστικά αέρια καύσιμα. Το BSNO_x είναι το ειδικό παραγόμενο NO_x ή το NO_x εξόδου διαιρεμένο με την ισχύ εξόδου της μηχανής σε g/bhp-hr. Το σχήμα 4.4 παρουσιάζει το σχετικό κλάσμα αέρα-καυσίμου φ σε σχέση με τη θερμική απόδοση και BSNO_x. Όσο πιο φτωχό γίνεται το

κλάσμα αέρα-καυσίμου (υψηλό λ και χαμηλό φ) δυσχεραίνεται η έναυση και τέλεια καύση. Οι κινητήρες με στροβίλοσυμπιεστές, αποκλειστικά φυσικού αερίου και φτωχού μίγματος έχουν την προοπτική να ανταγωνιστούν τους κινητήρες diesel όσον αφορά την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές NO_x.

Πίνακας 4.3: Προβλεπόμενη Συγκριτική Απόδοση Κινητήρων Φυσικού Αερίου και Βενζίνης

	Στοιχειομετρική Φυσικά Εισαγόμενη Βενζίνη	Στοιχειομετρικό Φυσικά Εισαγόμενο Φυσικό Αέριο	Φυσικό Αέριο Φτωχού Μίγματος εισαγόμενο με υπερπλήρωση
Ισχύς (%)	100 %	90 %	125 %
Θερμική Απόδοση (%)	25 %	25 %	30 %
BSNO _x (g/bhp-hr)	15	10	3



Σχήμα 4.4: Προβλεπόμενη Μέγιστη Απόδοση Κινητήρων Φυσικού Αερίου

4.1.2.2 Λειτουργία με Διπλό Καύσιμο

Η λειτουργία διπλού καυσίμου περιλαμβάνει την καύση και αέριων και καυσίμων diesel ταυτόχρονα σε μια μηχανή diesel. Οι φτωχές ιδιότητες αυτανάφλεξης του φυσικού αερίου και του LPG απαιτούν παροχή πηγής ανάφλεξης. Πηγή ανάφλεξης μπορεί να αποτελέσει η παροχή μιας μικρής ποσότητας diesel στον κύλινδρο του κινητήρα. Το diesel αναφλέγεται και παράλληλα αναφλέγει και το μίγμα αερίου καυσίμου και αέρα που ήδη βρίσκεται στον κύλινδρο. Οι κινητήρες διπλών καυσίμων μπορούν να τροποποιηθούν ώστε για να λειτουργούν κυρίως με μίγμα καυσίμων diesel με τα μικρά ποσά αέριων καυσίμων ή μπορούν να μεταποιηθούν ώστε να καίνε κυρίως αέρια καύσιμα με μόνο μια μικρή ποσότητα diesel το οποίο παρέχει μια πειραματική πηγή ανάφλεξης.

Η μετατροπή μιας μηχανής diesel ώστε να λειτουργεί με διπλό καύσιμο απαιτεί γενικά την προσθήκη ενός μετρητικού συστήματος αερίου καυσίμου και την τροποποίηση του συστήματος δοσολογίας και διανομής του καυσίμου diesel. Το μετρητικό σύστημα αερίου καυσίμου μπορεί να είναι ένας απλός εξαεριωτής/ αναμείκτης που περιγράφεται ως μηχανικό σύστημα σε προηγούμενο κεφάλαιο ή ένα πιο περίπλοκο ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα. Τα αέρια καύσιμα εισάγονται συνήθως στο σύστημα εισαγωγής αέρα της μηχανής. Κατά συνέπεια, εισάγεται στους κυλίνδρους της μηχανής ένα μίγμα αερίου καυσίμου και αέρα, ένα πολύ φτωχό όμως μίγμα, όπως στη λειτουργία μιας μηχανής Otto. Όταν το diesel εγχέεται, όπως το έμβολο πλησιάζει το άνω νεκρό σημείο, αναφλέγεται και καθίσταται η αναγκαία πηγή ανάφλεξης για το φτωχό μίγμα αερίου καυσίμου και αέρα που ήδη υπάρχει στον κύλινδρο. Η προσθήκη ρυθμιστικής βαλβίδας στο σύστημα διπλού καυσίμου δεν κρίνεται απαραίτητη.

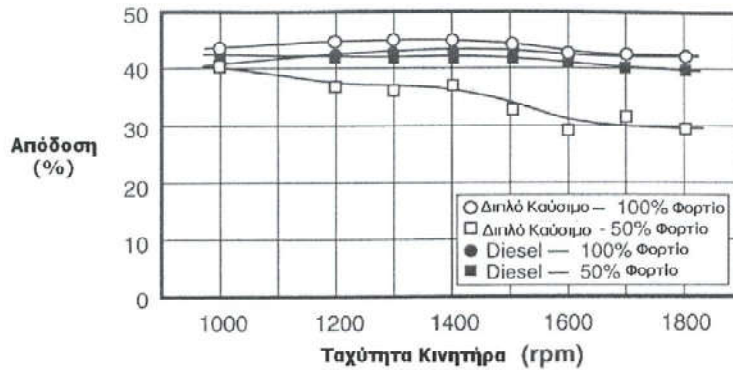
Μια σημαντική παράμετρος σχεδιασμού των κινητήρων διπλού καυσίμου είναι η ποσότητα των αερίων καυσίμων που καταναλώνεται πέρα από το όριο λειτουργίας της μηχανής. Ο σημαντικότερος στόχος από τη μετατροπή ενός κοινού κινητήρα diesel σε κινητήρα διπλού καυσίμου είναι η αντικατάσταση ενός μεγάλου μέρους του καυσίμου diesel που ήδη κυκλοφορεί στην αγορά με εναλλακτικά καύσιμα. Κατά συνέπεια, μια λύση του προβλήματος αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων είναι η χρήση πρώτιστα εναλλακτικών καυσίμων, με παράλληλη χρήση μιας μικρής ποσότητας diesel που απαιτείται για να προωθήσει την επαρκή ανάφλεξη του μίγματος αερίου-αέρα. Οι Gettel και Perry συνεργάστηκαν με την Caterpillar για να μετατρέψουν μια μηχανή 3406B με ένα προγραμματιζόμενο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου μηχανών (PEEC) σε μηχανή διπλού καυσίμου. Οι σημαντικότεροι στόχοι για μια τέτοια μετατροπή είναι:

- η απαίτηση ελάχιστων μηχανικών τροποποιήσεων στον κινητήρα
- η λειτουργία και μόνο με diesel
- οι μειωμένες απώλειες στην ισχύ του κινητήρα
- η διατήρηση μέγιστης πίεσης μέσα σε επιτρεπτά όρια
- η διατήρηση της αδράνειας και της διαβάθμισης των ταχυτήτων του κινητήρα diesel
- η παροχή λειτουργίας fail-safe σε στιγμή εμφάνισης ανωμαλιών
- η πρόληψη υπερέκκρισης καυσίμου στον κινητήρα
- η παροχή αποδοτικών και οικονομικών υποκατάστατων

Ο κινητήρας τροποποιήθηκε για να συμπεριλάβει έναν εγχυτήρα φυσικού αερίου στη διαδρομή εισόδου του αέρα μετά τον ψύκτη. Αυτός ο εγχυτήρας ελέγχεται από ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου διπλού καυσίμου ή DFCM. Το DFCM επικοινωνούσε επίσης με το PEEC για να ελέγχει τις δοσολογίες και του diesel και του φυσικού αερίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με δυο καύσιμα. Έτσι η προστασία αύξησης της ταχύτητας και υπερέκκρισης καυσίμου όπως και η λειτουργία fail-safe παρέχονται από την υπολογιστή ελέγχου του συστήματος. Στη λειτουργία μόνο με diesel το PEEC ελέγχει τη μηχανή σε κανονική λειτουργία. Οι μόνες τροποποιήσεις που έχουν λάβει χώρα σε αυτή την περίπτωση είναι η εγκατάσταση των ρυθμιστών και εγχυτήρων του φυσικού αερίου συμπληρωματικά με το DFCM και την ένωση του με το PEEC. Δεν έγινε καμία εσωτερική τροποποίηση. Το σύστημα μπορεί να παρέχει την ίδια ισχύ με ένα κινητήρα που εργάζεται με diesel με υποκατάστατο φυσικού αερίου της τάξεως του 97 %. Παρόλα αυτά η καλύτερη απόδοση σε όλο το εύρος λειτουργίας παρατηρήθηκε με μίγμα 90 %. Η μέγιστη πίεση κυλίνδρου ελέγχεται καθυστερώντας την οδηγική έγχυση του diesel. Το σύστημα PEEC του Caterpillar παρέχει έλεγχο της έγχυσης του diesel σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Η υστέρηση της έγχυσης diesel σε λειτουργία διπλού καυσίμου επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός DFCM που παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες στο PEEC το οποίο με τη σειρά του ελέγχει την υστέρηση της έγχυσης του diesel. Η δυνατότητα ελέγχου της υστέρησης έγχυσης επιτρέπει τη λειτουργία διπλού καυσίμου σε ποσοστό υποκατάστασης 90 % χωρίς να μειώνεται το κλάσμα συμπίεσης του κινητήρα. Παρόλα αυτά η υστέρηση της έγχυσης αυξάνει τις εκπομπές HC και CO. Το σχήμα 4.5 παρουσιάζει τη σύγκριση της απόδοσης του κινητήρα σε λειτουργία μόνο με diesel και σε λειτουργία διπλού καυσίμου στο 50 και 100 % των μέγιστων φορτίων. Προκύπτει λοιπόν ότι σε κίνηση με υψηλό φορτίο και οι δυο

λειτουργίες αποδίδουν το ίδιο, ενώ για μικρά φορτία η απόδοση της λειτουργίας με διπλό καύσιμο μειώνεται σημαντικά.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5 και στα σχήματα 4.6 και 4.7 οι εκπομπές NO_x σε λειτουργία με διπλό καύσιμο ήταν χαμηλότερες ενώ αυξημένες εμφανίστηκαν οι εκπομπές CO και HC σε σχέση με τη λειτουργία μόνο με diesel.



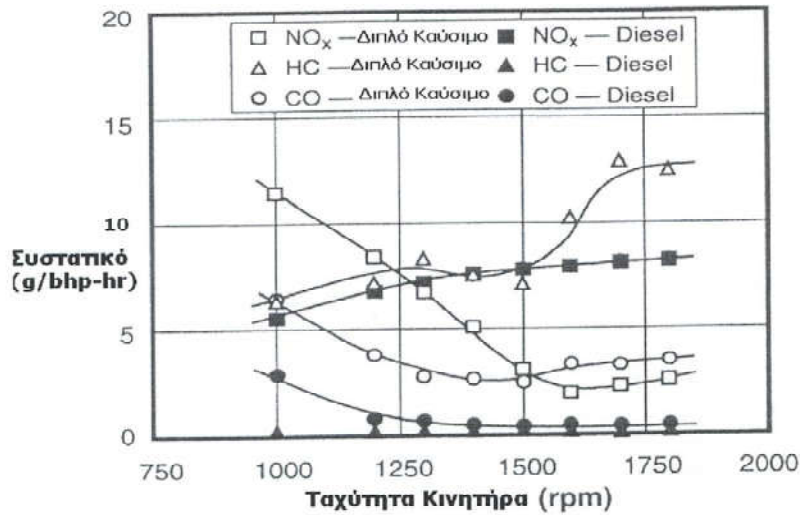
Σχήμα 4.5: Απόδοση Κινητήρα Caterpillar 3406 Διπλού Καυσίμου

Πίνακας 4.4: Εκπομπές του Caterpillar 3406 σε λειτουργία Διπλού Καυσίμου και μόνο με Diesel

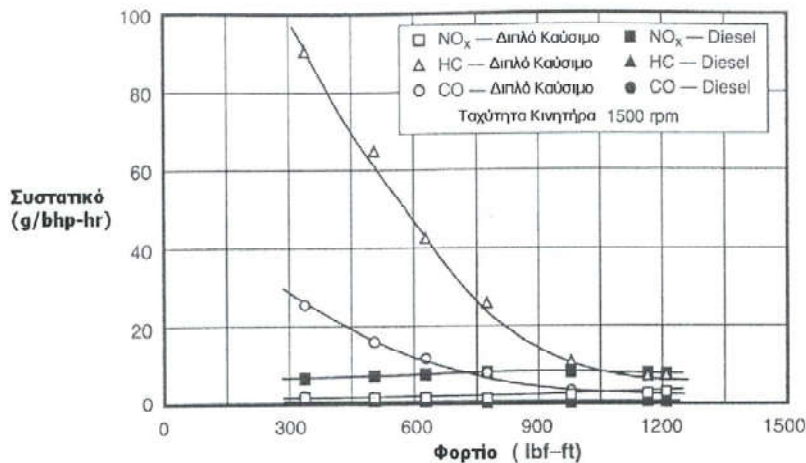
Συστατικό	Ελαφρύ Φορτίο	Βαρύ Φορτίο
NO_x	Χαμηλές	Χαμηλές
HC	Πολύ Υψηλότερες	Πολύ Υψηλότερες
CO	Υψηλές	Υψηλές

Η υστέρησης της έγχυσης που απαιτείται για να αποφευχθεί η έκρηξη παράγει μικρότερες θερμοκρασίες έναυσης και έτσι χαμηλότερες εκπομπές NO_x . Παρόλα αυτά, η καθυστερημένη έναυση του φτωχού μίγματος αερίου και αέρα οδηγεί σε ατελή καύση και συνεπώς σε δημιουργία περισσότερων εκπομπών HC και CO. Αυτή η ατελής καύση είναι μάλλον υπεύθυνη για την απώλεια ισχύος που παρατηρείται σε μειωμένο φορτίο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές NO_x , HC και CO συγκρίνονται σε πλήρες φορτίο κατά μήκος όλου του εύρους ταχυτήτων στο σχήμα 4.6 και σε διάφορα φορτία σε ταχύτητα 1,500 rpm στο σχήμα 4.7. Οι τάσεις είναι παρόμοιες και για τις δυο συγκρίσεις. Αυτή η μετατροπή διπλού καυσίμου είναι βασισμένη σε επιμελημένο ηλεκτρονικό έλεγχο και των αέριων

καυσίμων και της πειραματικής έγχυσης diesel. Εντούτοις, οι γενικές εκπομπές δεν βελτιώθηκαν. Η μετατροπή παρείχε την ίδια απόδοση μηχανών από άποψη παραγωγής ισχύος και επαρκούς ελέγχου των δύο καυσίμων για να αποτρέψει την υπερβολική επιτάχυνση και την υπερέκκριση καυσίμου.



Σχήμα 4.6: Εκπομπές σε σύγκριση με την ταχύτητα του κινητήρα σε 100% φορτίο και διπλό καύσιμο και μόνο diesel σε κινητήρα Caterpillar 3406



Σχήμα 4.7: Εκπομπές σε 1500 rpm κινητήρα Caterpillar 3406 σε λειτουργία με διπλό καύσιμο και μόνο με diesel

Η ιδανική μετατροπή ενός κινητήρα diesel για να λειτουργεί με διπλό καύσιμο χρησιμοποιεί αρχικά το μικρότερο πιθανό ποσό καυσίμου diesel και φτάνει σε 100% αντικατάσταση από αέρια καύσιμα. Τέτοια συστήματα έχουν αναφερθεί ως συστήματα εγχύσεως οδηγούμενα από μικροϋπολογιστή (micro-pilot injection systems). Είναι δυνατό να αλλαχθούν ή να τροποποιηθούν οι εγχυτήρες μιας μηχανής diesel για λειτουργία με διπλό καύσιμο για να παρέχεται μόνο το 1% έως 3% των συνολικών καυσίμων που απαιτούνται σε όλο το εύρος λειτουργίας του κινητήρα, δεν θα είναι πλέον όμως δυνατή η λειτουργία της μηχανής με μόνο diesel. Εντούτοις, εάν ο συγχρονισμός εγχύσεων diesel δεν μπορεί να ελεγχθεί από την ενότητα ελέγχου του κινητήρα όπως στη περίπτωση που περιγράφεται ανωτέρω, η αναλογία συμπίεσης της μηχανής πρέπει να μειωθεί για να ελέγχεται η μέγιστη πίεση των κυλίνδρων και να αποτραπεί η έκρηξη. Η λειτουργία με οδηγητικό μικροϋπολογιστή ενός κινητήρα διπλού καυσίμου μηχανή είναι ουσιαστικά ένας κινητήρας Otto όπου ο σπινθήρας παρέχεται από τον μικροϋπολογιστή έγχυσης του diesel. Εντούτοις, μόλις μειωθεί η αναλογία συμπίεσης, η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά όπως μηχανή που χρησιμοποιεί μόνο diesel. Ένας κινητήρας με οδηγητικό μικροϋπολογιστή κατάλληλα διαμορφωμένος μπορεί να παράγει εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές, απόδοση, αποδοτικότητα, και αξιοπιστία. Η έναυση που οφείλεται στην έγχυση με τη βοήθεια οδηγητικού μικροϋπολογιστή παρέχει μια πολύ μεγαλύτερη και θερμότερη πηγή ανάφλεξης για το μίγμα αερίου καυσίμου και αέρα στον κύλινδρο από ότι ένας κοινός σπινθηριστής σε απλό κινητήρα αερίου καυσίμου. Κατά συνέπεια, η μηχανή μπορεί να λειτουργήσει με φτωχότερο μίγμα καυσίμου-αέρα και να παρέχει πλήρη καύση. Τα τελευταία δεδομένα στη δεξιά πλευρά του σχήματος 4.4 αντιπροσωπεύουν αυτόν τον τρόπο λειτουργίας. Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει εμπορικά διαθέσιμη καμία τέτοια μηχανή.

Αυτήν την περίοδο υπάρχουν δύο συστήματα μετατροπής διπλού καυσίμου επικυρωμένα από τον CARB. Ένα από αυτά τα συστήματα λειτουργεί με αντικατάσταση αερίου περίπου 40%. Ο κατασκευαστής δεν συστήνει αλλαγή στην αναλογία συμπίεσης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει και λειτουργία μόνο με diesel αλλά και λειτουργία με διπλό καύσιμο. Δεν υπάρχουν στοιχεία διαθέσιμα για τις εκπομπές και την απόδοση για το συγκεκριμένο σύστημα, εκτός από την πιστοποίηση του CARB. Το άλλο σύστημα επιτρέπει αντικατάσταση από αέριο καύσιμο μέχρι και 80%. Θα πρέπει να λάβει ιδιαίτερης προσοχής η μέγιστη πίεση των κυλίνδρων η οποία δεν θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή σε αυτό το επίπεδο της αντικατάστασης αερίου. Δεν είναι διαθέσιμο κανένα στοιχείο και για αυτό το σύστημα.

Οποιοδήποτε σύστημα διπλού καυσίμου έχει την δυνατότητα αισθητής αύξησης της πίεσης του κυλίνδρου (MEP) και την παραγωγή ισχύος του κινητήρα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι μια μηχανή diesel λειτουργεί κανονικά με φτωχό μίγμα καυσίμου, η προσθήκη των πρόσθετων καυσίμων θα αυξήσει την παραγωγή ισχύος. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας πρέπει να αποφευχθεί, δεδομένου ότι μπορεί να προκύψει σοβαρή ζημία στον κινητήρα από την παραγωγή υπερβολικής ισχύος. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή για να εξασφαλιστεί ότι τα δύο συστήματα καυσίμων (diesel και αερίου καυσίμου) ελέγχονται κατάλληλα για να αποτρέψουν την υπερέκκριση καυσίμου και την υπερβολική επιτάχυνση. Οι περισσότεροι κατασκευαστές κινητήρων diesel δεν συστήνουν τους κινητήρες τους για λειτουργία διπλού καυσίμου.

4.1.3 Καύση Αλκοολών σε Κινητήρες Diesel

Λόγω του χαμηλού αριθμού κετανίου τους, οι αλκοόλες (μεθανόλη και αιθανόλη) δεν καίγονται εύκολα στους κινητήρες diesel. Εντούτοις, έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες προσέγγισης για να τροφοδοτηθούν με αλκοόλες οι κινητήρες αυτοί - μια προσέγγιση είναι υποκαπνισμός (fumigation), όμοιος με τον αεριώδη υποκαπνισμό, στον οποίο ένας εξαερωτήρας ή ένας εγχυτήρας καυσίμων χρησιμοποιείται για να μετρήσει το ποσοστό της αλκοόλης στο σύστημα εισαγωγής αέρα της μηχανής. Μπορούν επίσης να εγχυθούν στη μηχανή μίγματα αλκοολών και diesel αντί απλού diesel. Αυτά τα μίγματα είναι σταθερά ή ασταθή. Μια αλκοόλη, με ένα μικρό ποσό βελτιωτή ανάφλεξης, μπορεί να εγχυθεί στον κινητήρα αντί του diesel. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης έγχυσης καθαρής αλκοόλης στον κύλινδρο εάν αυξηθεί το κλάσμα συμπίεσης και υπάρχει ένα πυρακτωμένο καλώδιο στην κεφαλή για συνθήκες περιορισμένου φορτίου. Ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα στο Southwest Research Institute μελέτησε τη χρήση της αιθανόλης μέσα σε μηχανές Caterpillar. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μέγιστο ποσό αντικατάστασης αιθανόλης περιορίζει τον κρότο καύσης και ότι οι θερμικές αποδοτικότητες ήταν ουσιαστικά ίδιες με αιθανόλη, μίγματα αιθανόλης όπως με το diesel. Οι εκπομπές ήταν καλύτερες για μερικούς από τους χρησιμοποιούμενους συνδυασμούς και όχι τόσο ικανοποιητικές όσο η απόδοση του diesel σε άλλους συνδυασμούς και συνθήκες λειτουργίας. Τέλος, η μελέτη δεν προσδιόρισε οποιαδήποτε ανωμαλίες και φθορά λόγω των καυσίμων αιθανόλης.

Το Μάρτιο του 1991 η εταιρία Detroit Diesel άρχισε την παραγωγή μιας μηχανής λεωφορείων 6V-92TA τροφοδοτημένης με καύσιμα μεθανόλη που ικανοποιεί τις απαιτήσεις πιστοποίησης της EPA και της CARB. Οι αλλαγές του συστήματος που απαιτούνται για να επιτρέψουν την αποτελεσματική συμπίεση μηχανής 2-κύκλων προκειμένου να αναφλεγεί η

μεθανόλη ή η αιθανόλη περιλαμβάνουν υψηλότερο κλάσμα συμπίεσης (περίπου 23:1), τροποποιημένο σύστημα ανεμιστήρων και ελέγχου, ισχυρότερους εγχυτήρες ροής, και σπινθηριστές για να βοηθήσουν κατά τη διάρκεια της έναρξης και της προθέρμανσης. Η μηχανή περιλαμβάνει επίσης έναν καταλυτικό μετατροπέα ως τυποποιημένο εξοπλισμό. Ο πίνακας 4.1.5 συνοψίζει την απόδοση των εκπομπών του κινητήρα μεθανόλης. Οι εκπομπές είναι χαμηλότερες για το μίγμα M100 αλλά ο κινητήρας μπορεί να χρησιμοποιήσει επίσης και μίγμα M85. Η ισχύς εξόδου της μηχανής και η απόδοσή της είναι παρόμοιες με την ισοδύναμη diesel.

Πίνακας 4.5: Εκπομπές του Κινητήρα Αιθανόλης Detroit 6V-92TA

Όλα τα μεγέθη σε (g/bhp-hr)	HC	CO	NO _x	PM	Φορμαλδεΐδη
6V-92TA σε M100	0.3	1.3	2.0	0.04	0.05
6V-92TA σε M85	0.6	3.2	2.5	0.04	0.05
1991 6V-92TA σε Diesel	0.5	1.6	4.6	0.21	—
1991 California Πρότυπο Αστικό Λεωφορείο	1.3	15.5	5.0	0.10	—

4.1.4 Καύση Biodiesel σε Κινητήρες Diesel

Το biodiesel λειτουργεί στους κινητήρες diesel ακριβώς όπως το πετρέλαιο diesel. Τα μίγματα με 20% περιεχόμενο biodiesel αναμεμιγμένου με πετρέλαιο diesel μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλο τον εξοπλισμό diesel και είναι συμβατά με σχεδόν όλο τον εξοπλισμό αποθήκευσης και διανομής. Αυτά τα χαμηλού επιπέδου μίγματα της τάξεως του 20% και λιγότερο, δεν απαιτούν γενικά οποιεσδήποτε τροποποιήσεις μηχανών.

Τα μεγαλύτερης αναλογίας μίγματα, ακόμη και το καθαρό 100% biodiesel, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές μηχανές που κατασκευάζονται από το 1994 με ελάχιστη ή καμία τροποποίηση. Η μεταφορά και η αποθήκευση, εντούτοις, απαιτούν την ειδική μεταχείριση.

4.1.5 Εφαρμογές Αιθανόλης

Επεκτείνοντας την τάση του 2000, αναμένεται ότι μέχρι το 2010 οι κινητήρες συμπίεσης έναυσης θα συνεχίσουν να έχουν προβάδισμα 2% στην απόδοση σε σχέση με τους αντίστοιχους κινητήρες diesel. Τα δεδομένα για εφαρμογές της αιθανόλης σε κινητήρες συμπίεσης έναυσης είναι περιορισμένα αλλά ενδεικτικά προκύπτουν τα εξής:

- Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα είναι σημαντικά υψηλότερες
- Οι εκπομπές NO_x είναι χαμηλότερες
- Οι εκπομπές VOCs παρουσιάζονται αυξημένες
- Οι εκπομπές ακεταλδεϋδών παρουσιάζονται αυξημένες
- Οι εκπομπές σωματιδίων είναι κατά πολύ χαμηλότερες όπως και αυτές των αρωματικών υδρογονανθράκων.

4.1.6 Εφαρμογές Μεθανόλης

Αρκετοί κατασκευαστές βαρέων οχημάτων κατασκεύασαν κινητήρες μεθανόλης ως παράγωγα της γραμμής των κινητήρων diesel που ήδη κατασκεύαζαν προσθέτοντας τις μετατροπές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

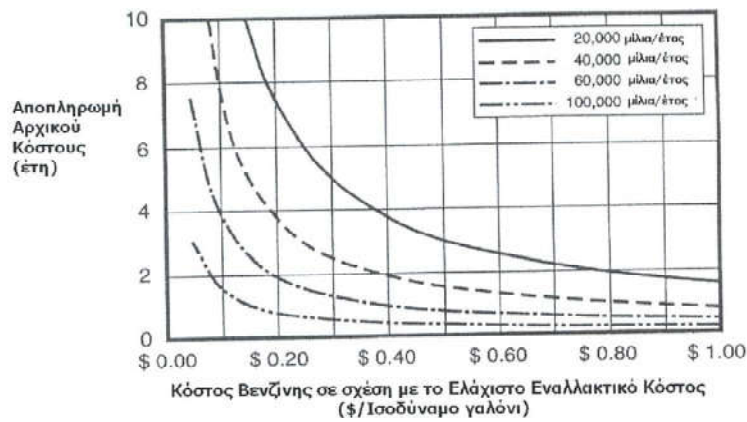
4.2 Μετατροπή Κινητήρων Έναυσης με Σπινθήρα (Otto)

Τα συστήματα μετατροπής των εναλλακτικών καυσίμων χρησιμοποιούνται πάνω από 60 χρόνια. Στη δεκαετία του '20 το προπάνιο (LPG) χρησιμοποιούνταν ευρέως για θέρμανση και μαγείρεμα σε απομακρυσμένες κοινότητες όπου το δίκτυο φυσικού αερίου ήταν δύσκολο να φτάσει. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνταν οι δεξαμενές αποθήκευσης LPG έναντι των δεξαμενών φυσικού αερίου χάριν του πλεονεκτήματος της ογκομετρικής πυκνότητας ενέργειας που παρουσιάζουν. Συνήθως τοποθετούνταν μια μεγάλη δεξαμενή, ικανή να παρέχει καύσιμο για αρκετές εβδομάδες, δίπλα στο σπίτι, από όπου αντλίες μετέφεραν το LPG μέσα στο σπίτι για θέρμανση και μαγείρεμα. Η δεξαμενή επανατροφοδοτούνταν περιοδικά με βυτία. Από τη στιγμή που το LPG ήταν τόσο προσιτό και φθινό στους αγρότες γεννήθηκε η ιδέα της χρήση του ως καύσιμο σε οχήματα. Τα οχήματα λοιπόν τροφοδοτούνταν από τις σπιτικές δεξαμενές και λόγω της μεγάλης ποσότητας που αγοράζονταν κάθε φορά, το οικονομικό όφελος ήταν ελκυστικό.

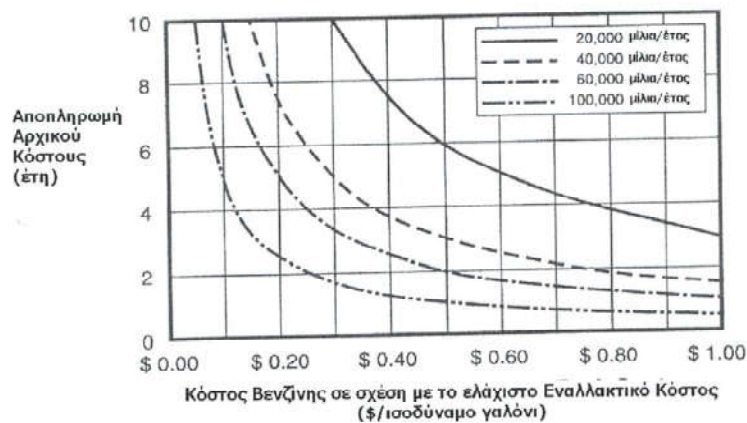
Οι μετατροπές στα οχήματα παρατηρήθηκαν επίσης σε κράτη όπου η παροχή αργού πετρελαίου δεν ήταν εξασφαλισμένη. Έτσι σε κράτη όπως η Ιταλία και η Νέα Ζηλανδία λειτουργούσαν για πολλά χρόνια οχήματα με CNG. Στην Ιαπωνία αναφέρθηκαν πάνω από 1,5 εκατομμύρια οχήματα που λειτουργούν με LPG. Πρόσφατα, έχουν αναφερθεί στον Καναδά και στις Η.Π.Α. οχήματα που χρησιμοποιούν και LPG και φυσικό αέριο, ως αποτέλεσμα της αυστηρής νομοθεσίας για τις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον.

Η αιθανόλη χρησιμοποιείται ευρέως στη Νότια Αμερική. Το κόστος εισαγωγής πετρελαϊκών προϊόντων και η μεγάλη διαθεσιμότητα ζαχαροκάλαμου κατέστησαν πολύ προσιτό το κόστος παραγωγής αιθανόλης. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχουν απλά συστήματα μετατροπής του βενζινοκινητήρα σε κινητήρα που καταναλώνει αλκοόλες. Παρόλα αυτά, η Ford, η General Motor και η Chrysler έχουν ήδη παράγει οχήματα που κινούνται με μεθανόλη. Συνήθως πρόκειται για οχήματα με δυνατότητα επιλογής καυσίμου και έτσι έχουν τη δυνατότητα να καταναλώνουν μίγματα μεθανόλης και βενζίνης από 100 % βενζίνη έως 85 % μεθανόλη και 15 % βενζίνη (M85). Αυτά τα οχήματα κοστίζουν περίπου όσο ένα συμβατικό όχημα με τα ίδια χαρακτηριστικά.

Η μετατροπή ενός οχήματος προκειμένου να λειτουργεί με εναλλακτικά καύσιμα είναι μια επένδυση που θα αποσβεστεί με τον καιρό. Η περίοδος αποπληρωμής μπορεί να εκτιμηθεί από τα παρακάτω σχήματα 4.8, 4.9. Εδώ φαίνονται τα χρόνια αποπληρωμής ως διαφορά του κόστους της βενζίνης και του ισοδύναμου ανά γαλόνι βενζίνης κόστους των εναλλακτικών καυσίμων.



Σχήμα 4.8: Αποπληρωμή από το Κόστος Καυσίμου για Μετατροπή 1.500\$ σε όχημα 10 mpg



Σχήμα 4.9: Αποπληρωμή από το Κόστος Καυσίμου για Μετατροπή 1.500\$ σε όχημα 20 mpg

Αυτές οι καμπύλες δείχνουν το κόστος μετατροπής του οχήματος μόνο και δεν λαμβάνουν υπόψη τη χρονική αξία του χρήματος. Αξιοσημείωτο είναι ότι θα πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος εισαγωγής του καυσίμου στον κινητήρα όπως άντληση, συμπίεση και άλλα. Το κόστος μετατροπής είναι 1.500 και 3.000 \$ και η οικονομία στο καύσιμο 10 και 20 mpg και συμπεριλαμβάνονται στα νούμερα. Κάθε οικογένεια καμπυλών σε κάθε διάγραμμα αναπαριστά τα μίλια που διανύει το όχημα κάθε χρόνο (από 20.000 έως 100.000 μίλια).

4.2.1 Συστήματα Φυσικού Αερίου και LPG

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός μετατροπής ενός οχήματος προκειμένου να λειτουργεί με φυσικό αέριο και LPG είναι παρόμοιος.

4.2.1.1 Αποθήκευση επάνω στο Όχημα

Η αποθήκευση φυσικού αερίου πάνω στο όχημα προκειμένου να αποκτήσει αυτονομία απαιτεί δεξαμενές υψηλής πίεσεως της τάξεως των 3.600 psi τόσο αν πρόκειται για συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) όσο και για κρυογενικό υγρό φυσικό αέριο (LNG) σε ένα επαρκώς μονωμένο δοχείο. Απαιτείται και ένας ρυθμιστής χαμηλής πίεσης για να μειώσει την πίεση του CNG σε 100 με 200 psi πριν εισαχθεί στο ρυθμιστή χαμηλής πίεσης, που αποτελεί το μηχανικό σύστημα μετατροπής, ή στη βαλβίδα μέτρησης καυσίμου ή εγχυτήρα, το ηλεκτρονικό δηλαδή σύστημα μετατροπής. Στο LNG το υγροποιημένο αέριο θα πρέπει να περάσει από έναν αεριοποιητή μετά τη δεξαμενή αποθήκευσης. Η δεξαμενή LNG έχει διπλά τοιχώματα και υπάρχει κενό ανάμεσα σε αυτά το οποίο συμπληρώνεται με μονωτικό υλικό. Μετά τον αεριοποιητή το σύστημα μετατροπής του LNG είναι ίδιο με αυτό του CNG.

Το LPG το οποίο βράζει σε πολύ υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το LNG μπορεί να αποθηκευτεί σε δεξαμενή αποθήκευσης υγρών καυσίμων σε ονομαστική πίεση. Σε πίεση 188 psi, το προπάνιο μπορεί να αποθηκευτεί ως υγρό σε θερμοκρασία 100 ° F. Έτσι το σύστημα LPG δεν απαιτεί ρυθμιστή υψηλής πίεσεως αλλά απαεριοτή, ο οποίος είναι συχνά ενσωματωμένος στο ρυθμιστή χαμηλής πίεσεως και υπάρχει απλά για να εξασφαλίσει τη μετατροπή του υγρού LPG σε αέριο. Συνεπώς η δεξαμενή αποθήκευσης LPG είναι μονού τοιχώματος που αυτόματα συνεπάγεται ότι κοστίζει και ζυγίζει λιγότερο από μια δεξαμενή LNG ή CNG. Το γεγονός ότι το LPG μπορεί να αποθηκευτεί ως υγρό, συνεπάγεται ότι μπορεί να αποθηκευτεί μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου σε λιγότερο διάστημα από ότι απαιτεί το CNG. Το LPG, λοιπόν, έχει σημαντικό προβάδισμα στην αυτονομία καυσίμου έναντι του CNG. Ένα κυβικό πόδι υγρού LPG περιέχει 625.163 BTU ενώ το ίδιο ποσό CNG σε 3.000 psi πίεση περιέχει 186.386 BTU, αναλογία 3,4 :1. Αντίστοιχα ένα κυβικό πόδι LNG περιέχει 401.287 BTU. Ο πίνακας 4.6 παρουσιάζει την ογκομετρική πυκνότητα ενέργειας μερικών καυσίμων από όπου και προκύπτει ότι τα υγρά καύσιμα έχουν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των αερίων.

Πίνακας 4.6: Σύγκριση του Ενεργειακού Ογκομετρικού Περιεχομένου Βασικών Καυσίμων

Καύσιμο	BTU/ft ³	Αναλογία προς Βενζίνη	Αναλογία προς Diesel
Βενζίνη	854,698	1.000	0.911
Diesel	937,801	1.097	1.000
CNG (3,000 psi)	272,686	0.319	0.291
LNG	507,029	0.593	0.541
LPG	625,119	0.731	0.667
Μεθανόλη	421,535	0.493	0.449
Αιθανόλη	564,863	0.661	0.602
Υδρογόνο (3.000 psi)	44,413	0.052	0.047

4.2.1.2 Ασφάλεια των Εναλλακτικών Καυσίμων

Υπάρχει διαφορά στη σχετική ασφάλεια των LPG, LNG και CNG. Το LPG είναι βαρύτερο από τον αέρα και στην περίπτωση διαρροής λόγω ατυχήματος μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά δεδομένου ότι οι ατμοί παραμένουν στην περιοχή του ατυχήματος και μπορούν να αναφλεγούν από αυξημένη θερμοκρασία, ηλεκτρικούς σπινθήρες και άλλα αίτια. Το CNG είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έτσι διασκορπείται μακριά από το χώρο σε περίπτωση ατυχήματος. Το LNG συμπεριφέρεται παρόμοια με το LPG και όταν χυθεί δημιουργείται μια λίμνη από όπου μετά εξατμίζεται. Μεγάλη συσσώρευση ατμών φυσικού αερίου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πυρκαγιά ή έκρηξη αν υπάρξει η πηγή της έναυσης. Οι δεξαμενές LPG, LNG και CNG είναι αρκετά ανθεκτικές και απίθανο να διατρηθούν σε κάποιο ατύχημα. Είναι πιο ασφαλείς από αυτές της βενζίνης καθώς σχεδιάζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές των δοχείων υψηλής πίεσης. Σε δοκιμές όπου ένα δοχείο CNG γεμάτο αέριο σε πίεση 3.000 psi πυροδοτήθηκε με οπλισμένες διατρητικές συσκευές, εκτέθηκε σε φλόγα και σε έκρηξη, δεν παρατηρήθηκε φωτιά.

Οι δεξαμενές CNG και κατ' ακολουθία οι δεξαμενές LPG και LNG είναι τόσο ανθεκτικές κατασκευές που σε περιπτώσεις ατυχήματος είναι τα μοναδικά ανέπαφα στοιχεία των οχημάτων. Οι δεξαμενές CNG κατασκευάζονται από ατσάλι ή είναι μια συνθετική κατασκευή με επίστρωση από ατσάλι ή αλουμίνιο με εξωτερικό κάλυμμα από fiberglass ή

Kelvar. Στην προσπάθεια να μειωθεί ακόμα περισσότερο το βάρος αυτών των δεξαμενών υψηλής πίεσης, κάποιοι κατασκευαστές ανέπτυξαν δεξαμενές CNG υψηλών πιέσεων αποκλειστικά από υψηλής αντοχής συνθετικά υλικά. Οι δεξαμενές αυτές διατίθενται σε πιέσεις 2.400, 3.000 και 3.600 psi. Το εσωτερικό μιας δεξαμενής LNG κατασκευάζεται συνήθως από ανοξείδωτο ατσάλι με μέγιστη αντοχή πίεσεως λειτουργίας της τάξεως των 230 psi. Το εξωτερικό της δεξαμενής μπορεί να κατασκευαστεί από πιο οικονομικά υλικά δεδομένου ότι δεν εκτίθεται σε LNG χαμηλών θερμοκρασιών (-260 °F). Οι δεξαμενές LNG περιλαμβάνουν χειροκίνητη τροφοδοσία και βαλβίδα αποκοπής, βαλβίδες εκτόνωσης, μια ακόμη βαλβίδα διακοπής ροής και τέλος ένα ακροφύσιο ρύθμισης της ποσότητας καυσίμου. Οι δεξαμενές LNG κατασκευάζονται συνήθως από ατσάλι με πίεση λειτουργίας 250 psi.

Η στάθμευση των οχημάτων LPG και LNG σε κλειστό χώρο μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε περίπτωση διαρροής. Το LNG παρουσιάζει ένα ακόμα πρόβλημα δεδομένου ότι το φυσικό αέριο αεριοποιείται περιοδικά εξαιτίας της μετάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό της δεξαμενής αποθήκευσης. Με τον κατάλληλο αερισμό της οροφής, το φυσικό αέριο ενώ βρίσκεται στην αέρια φάση του μπορεί να διοχετευτεί στην ατμόσφαιρα και να πάψει να αποτελεί απειλή έκρηξης στο κτίριο. Μια υγρή διαρροή LNG σε κλειστό χώρο θεωρείται πιο επικίνδυνη επειδή οι ατμοί του θα απλωθούν στη γύρω περιοχή και η έκρηξη θα είναι αναπόφευκτη όταν βρεθεί σπινθήρας. Το ίδιο ισχύει και για τις υγρές διαρροές LPG και βενζίνης.

Συμπερασματικά, η χρήση LPG και LNG ως καύσιμα οχημάτων αποδεικνύεται πιο ασφαλής καθώς εξαιτίας των στιβαρότερων δεξαμενών καυσίμων που απαιτούνται δύσκολα προκύπτει διαρροή σε περίπτωση ατυχήματος. Εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας του CNG δεν υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος πρόκλησης πυρκαγιάς σε περίπτωση ατυχήματος ακόμα και αν υπάρξει διάρρηξη των τοιχωμάτων της δεξαμενής καυσίμου. Επιπλέον οι δεξαμενές CNG σχεδιάζονται για πιέσεις της τάξεως των 3.600 psi και η πιθανότητα διάρρηξής τους είναι εξαιρετικά σπάνια.

4.2.2 Συστήματα Μετατροπής

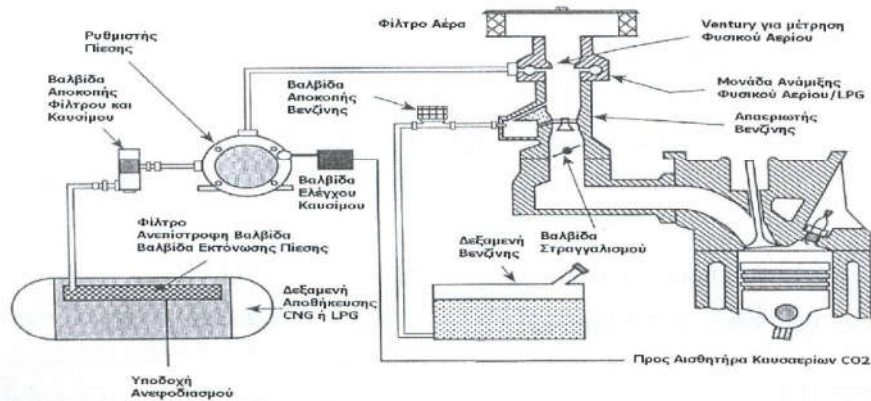
Τα συστήματα μετατροπής οχημάτων για τη χρήση φυσικού αερίου και LPG αποτελούνται βασικά από δυο είδη: το μηχανικό (απαεριοτής) και το ηλεκτρονικό (έγχυση καυσίμου). Τα μηχανικά συστήματα λειτουργούν εδώ και πολλά χρόνια με τις ίδιες αρχές λειτουργίας που έχουν οι απαεριοτές βενζίνης όπου το καύσιμο αναμιγνύεται με εισαγόμενο αέρα. Στα ηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιούνται εγχυτές ή βαλβίδες ελέγχου ροής για να

καθορίζουν την ποσότητα του καυσίμου στο μίγμα. Άλλα στοιχεία αυτών των συστημάτων είναι παρόμοια ή και όμοια με αυτά της βενζίνης.

4.2.2.1 Μηχανικό Σύστημα Μετατροπής

Το σχήμα 4.10 απεικονίζει ένα τυπικό μηχανικό σύστημα μετατροπής. Τα μηχανικά συστήματα μετατροπής για το LNG, CNG και LPG είναι όμοια με κάποιες διαφοροποιήσεις στις δεξαμενές καυσίμου, στους ατμοποιητές (μόνο για το LPG και LNG) και στο ρυθμιστή υψηλής πίεσης (μόνο για το CNG). Τα μηχανικά συστήματα αποτελούνται από έναν αναμίκτη αέρα-καυσίμου, βαλβίδες αποκοπής των αερίων καυσίμων, βαλβίδες ελέγχου καυσίμου, φίλτρα, βαλβίδα αποκοπής της βενζίνης, σύστημα ρύθμισης της πίεσης, υποδοχή επανατροφοδότησης και κύκλωμα ηλεκτρονικών. Το κύκλωμα ηλεκτρονικών μπορεί να είναι ένα «έξυπνο» σύστημα που λειτουργεί σε κλειστό ή ανοιχτό βρόγχο ή απλά μια συσκευή ανοιχτού βρόγχου που στέλνει ηλεκτρονικά σήματα στον υπολογιστή του κινητήρα για να εξασφαλίσει την κατάλληλη λειτουργία και να αποκαταστήσει τα λανθασμένα σήματα που προκύπτουν όταν ο κινητήρας λειτουργεί με εναλλακτικά καύσιμα.

Ο αναμίκτης αέρα καυσίμου εισάγει το αέριο καύσιμο στο ρεύμα εισαγωγής του κινητήρα. Ο αναμίκτης εγκαθίσταται ανάντι της βαλβίδας ροής μίγματος και ανταποκρίνεται σε πολλαπλασιασμένη πίεση για να μετρήσει την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου τροφοδοσίας για το ενισχυμένο φορτίο του κινητήρα. Κάποιοι αναμίκτες ελέγχουν και τη ροή του αέρα χρησιμοποιώντας βαλβίδα αέρα. Χρησιμοποιούν συνήθως προσαρμοσμένη βελονοειδής βαλβίδα η οποία προσαρμόζει την παροχή καυσίμου σε πλήρες και ελάχιστο φορτίο.



Σχήμα 4.10: Σχηματικό Διάγραμμα ενός τυπικού CNG ή LPG διπλού Καυσίμου Συστήματος Μετατροπής

Οι αναμίκτες επιλέγονται ανάλογα με τη δυνατότητα παροχής αέρα που απαιτείται για να αποδίδει στον κινητήρα την ανάλογη ποσότητα αέρα με τις συνθήκες φόρτισής του. Αν ο αναμίκτης είναι πολύ μικρός για τον κινητήρα, η μέγιστη αποδιδόμενη υποδύναμη θα εμφανιστεί μειωμένη. Η απόδοση του θα είναι αποδεκτή μέχρι το σημείο κατά το οποίο ο αναμίκτης θα αρχίσει να μειώνει την ποσότητα του αέρα εισαγωγής. Σε αυτό το σημείο κινητήρας δεν μπορεί πλέον να ανταποκριθεί στο άνοιγμα της βαλβίδας ροής μίγματος. Αν πάλι ο αναμίκτης είναι πολύ μεγάλος, ανεπαρκής να ελέγξει την είσοδο αέρα, δημιουργείται κενό όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε αδράνεια και η απόδοσή του σε χαμηλές ταχύτητες θα υστερεί. Επιπλέον μπορεί να γίνει δύσκολη και η εκκίνηση της μηχανής. Οι κινητήρες, οι οποίοι δεν λειτουργούν ποτέ με εντελώς ανοιχτή βαλβίδα ροής καυσίμου πιθανόν να λειτουργούν με μικρότερο από τον απαιτούμενο αναμίκτη, γεγονός που τους προσδίδει καλύτερη εκκίνηση και καλύτερη απόδοση σε χαμηλές στροφές. Αντίστοιχα σε εκτός δρόμου εφαρμογές, οι κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιούν μεγαλύτερους αναμίκτες για να υπάρχει η δυνατότητα της μέγιστης απόδοσης σε πολύ υψηλές στροφές και μεγάλα φορτία. Η απαιτούμενη παροχή αέρα V_a μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 4.3 για συγκεκριμένη ταχύτητα του κινητήρα και ενώ είναι γνωστό το εκτόπισμά του

αυξανόμενου

βαλβίδα

κερδίσκου

$$V_a = \frac{n_v ND}{2(1,728)} \quad (4.3)$$

όπου

V_a είναι η απαιτούμενη παροχή του αέρα σε ft/min

n_v είναι η ογκομετρική απόδοση του κινητήρα (υποθετικά γύρω στο 85%)

N είναι η ταχύτητά του σε rpm

D το εκτόπισμα σε in³

Για παράδειγμα, σε ένα Ford Pickup με κινητήρα με κινητήρα 320 cid είναι να μετατραπεί σε κινητήρα που θα χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ή LPG ο αναμίκτης θα πρέπει να έχει παροχή αέρα :

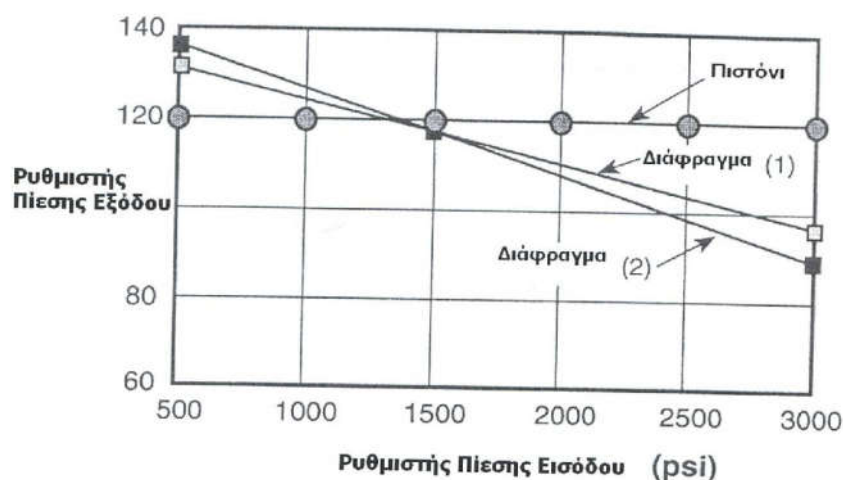
$$V_a = \frac{0,85(4,00)(302)}{2(1,728)} = 297 \text{ cm}$$

Ένας αναμίκτης που θα δημιουργεί πίεση λειτουργίας 297 cfm στα 4,000 rpm θα παρέχει ικανοποιητική απόδοση για αυτό το όχημα. Αν πάλι το όχημα κινείται συνήθως σε μεγάλες κλίσεις ή με μεγάλα φορτία θα ήταν προτιμότερος ένας μεγαλύτερος αναμίκτης.

Η βαλβίδα αποκοπής αερίων διακόπτει την παροχή του φυσικού αερίου ή LPG όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί. Αυτή η βαλβίδα συνήθως λειτουργεί υπό κενό. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί ή ξεκινά η βαλβίδα ανοίγει, επιτρέποντας τη ροή καυσίμου από τη δεξαμενή αποθήκευσης στον ρυθμιστή. Κάποια συστήματα μετατροπής έχουν εγκατεστημένο ένα φίλτρο το οποίο φιλτράρει το καύσιμο πριν την εισαγωγή του στον ρυθμιστή. Η βαλβίδα αποκοπής λειτουργεί σωληνοειδώς και ρυθμίζεται από το διακόπτη επιλογής καυσίμου. Όταν επιλέγεται το εναλλακτικό καύσιμο, αυτή η βαλβίδα αποκόπτει τη ροή της βενζίνης προς τον κινητήρα. Θα πρέπει επίσης να διακόπτεται η παροχή της βενζίνης σε όσους κινητήρες διαθέτουν εγχυτήρες για να αποφευχθεί η φθορά τους όταν το όχημα λειτουργεί με εναλλακτικά καύσιμα.

Μια βαλβίδα ελέγχου καυσίμου αντιδρά στο σήμα του υπολογιστή του συστήματος μετατροπής για πλουσιότερο ή φτωχότερο καύσιμο μίγμα. Σε ένα σύνηθες σύστημα, η βαλβίδα αυτή λειτουργεί παράλληλα με τον ρυθμιστή δευτέρου σταδίου για να μειώσει ακαριαία το μίγμα αέρα καυσίμου κατά την επιβράδυνση του οχήματος. Ο υπολογιστή του συστήματος μετατροπής καθοδηγεί τη βαλβίδα καυσίμου με βάση τις ενδείξεις O₂ που παίρνει από τον αισθητήρα που βρίσκεται στην απαγωγή των καυσαερίων. Συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές που αφορούν συστήματα μετατροπής χρησιμοποιούν ευρέως αυτή τη βαλβίδα προκειμένου να περάσουν τις δοκιμές των εκπομπών των καυσαερίων και να κερδίσουν την πιστοποίηση.

Για μετατροπή καυσίμου CNG απαιτούνται δυο στάδια ελέγχου της πίεσης προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω έλεγχος. Αυτό γίνεται με τη χρήση ενός ρυθμιστή δύο βαθμίδων ή με δυο διαφορετικούς ρυθμιστήρες. Γενικά, η πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιείται για να μειώσει την πίεση από τη δεξαμενή καυσίμου σε περίπου 100 psi. Η δεύτερη βαθμίδα ρύθμισης μειώνει την πίεση μερικές ίντσες νερού, τόσο ώστε να ωθήσει το καύσιμο στον αναμίκτη και έπειτα στο ρεύμα εισαγωγής καυσίμου μίγματος. Υπάρχουν δύο τύποι πρωτοβάθμιων ρυθμιστών, ο διαφραγματικός και ο κυλινδρικός. Ο ρυθμιστή με σχήμα κυλίνδρου παρέχει καλύτερο έλεγχο της ρυθμιζόμενης πίεσης με κυμαινόμενη πίεση δεξαμενής καυσίμου. Το διάγραμμα 4.11 απεικονίζει την πορεία αυτής της πίεσης εξόδου σε συνάρτηση με την πίεση εισόδου. Στα μηχανικά συστήματα, αυτή τη πίεση είναι μικρότερης σημασίας επειδή ο ρυθμιστής της δεύτερης βαθμίδας μπορεί να ρυθμίσει την πίεση εξόδου με κυμαινόμενη πίεση εισόδου. Παρόλα αυτά, σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα χωρίς ρυθμιστή δεύτερου σταδίου οι διακυμάνσεις στην πίεση θα επηρεάσουν την ποσότητα του καυσίμου που εγχέεται.



Σχήμα 4.11: Πορεία Πίεσης Ρυθμιστή

Η υποδοχή ανεφοδιασμού θα πρέπει να είναι τύπου ακαριαίας αποκοπής, ασφαλής και εύκολη στη χρήση με το ελάχιστο δυνατό εναπομένον αέριο ή ατμό όταν αποσυνδέεται. Οι υποδοχές αυτές κατασκευάζονται από υλικό που δεν δημιουργεί σπινθήρες, συνήθως χαλκό με εσωτερικά τμήματα ανθεκτικά στην διάβρωση. Η οδηγία ANSI (NGV-1) έχει συνταχθεί για CNG και πολλές από τις προϋποθέσεις μπορούν να εφαρμοστούν και σε εξαρτήματα LNG και LPG.

Οι προϋποθέσεις NGV-1 συμπεριλαμβάνουν:

1. Τα ακροφύσια και οι υποδοχές ανεφοδιασμού δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή ή καύσιμο.
2. Τα πρότυπα θα πρέπει να είναι κοινά για τις Η.Π.Α. και τον Καναδά
3. Οι υποδοχές ανεφοδιασμού θα πρέπει:
 - να είναι ανεκτικές στους σπινθήρες
 - να είναι εφαρμόσιμες σε κάθε είδους κινητήρα, έτσι ώστε να εναλλάσσονται μεταξύ των κατασκευαστών
 - να είναι σχεδιασμένες να μην επιτρέπουν τον ανεφοδιασμό καυσίμου σε χαμηλότερη πίεση από σταθμό με υψηλή πίεση εφοδιασμού
 - να έχουν βαλβίδα ελέγχου η οποία να αποτελείται από ένα χυτό κομμάτι

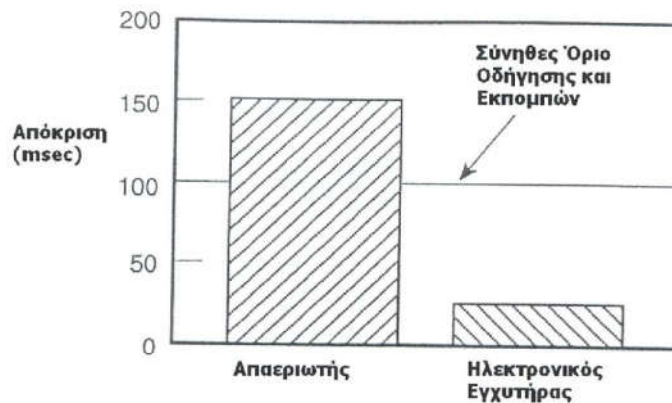
Τα προβλήματα με τα ακροφύσια ανεφοδιασμού εντοπίζονται συνήθως σε διαρροές της βαλβίδας ελέγχου, που οφείλεται συνήθως σε επικαθίσεις σωματιδίων ή συγκέντρωση πάγου και υγρασίας.

Οι ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου χρησιμοποιούνται παράλληλα με το μηχανικό σύστημα μετατροπής και ποικίλουν από απλές συσκευές που ουσιαστικά περιορίζουν τα λανθασμένα σήματα της συσκευής ηλεκτρονικού ελέγχου (ECM), σε έξυπνες συσκευές με προσαρμόσιμη μνήμη που ελέγχουν δυναμικά την έναυση και την αναλογία καυσίμου-αέρα. Οι απλές συσκευές λειτουργούν παράλληλα με το ECM του OEM προκειμένου να αποφευχθούν λανθασμένα σήματα εκπομπών O₂, του EGR, και των αισθητήρων κρότου. Σε λειτουργία κλειστού βρόγχου το σύστημα αντίδρασης χρησιμοποιεί σήματα από όλους τους αισθητήρες του κινητήρα προκειμένου να ρυθμίσει την αναλογία καυσίμου-αέρα, την έναυση και άλλους ελέγχους του κινητήρα. Σε κάποιες συνθήκες ελέγχου του κινητήρα, όπως η ψυχρή εκκίνηση και η ελεύθερη έγχυση, τα παραπάνω συστήματα ελέγχου λειτουργούν σε ανοιχτό βρόγχο και χρησιμοποιούν προγράμματα από τη μνήμη του υπολογιστή.

4.2.2.2 Ηλεκτρονικά Συστήματα Μετατροπής

Τα ηλεκτρονικά συστήματα μετατροπής είναι προς το παρόν διαθέσιμα για φυσικό αέριο και LPG. Η κύρια διαφορά μεταξύ των ηλεκτρονικών και μηχανικών συστημάτων είναι η χρήση οδηγητικών σωληνοειδών εγχυτήρων ή αναλογικών μετρητικών βαλβίδων για τη μέτρηση του αέρα εισαγωγής αντί του αναμίκτη καυσίμου-αέρα που χρησιμοποιείται στα μηχανικά συστήματα. Το σχήμα 4.12 παρουσιάζει το τυπικό χρόνο απόκρισης της

ηλεκτρονικής έγχυσης και του απαερωτή σε σύγκριση με το χρόνο απόκρισης που απαιτείται για ομαλή λειτουργία και αποδεκτές εκπομπές. Είναι προφανές ότι η έγχυση καυσίμου προσφέρει σημαντική βελτίωση πέρα από αυτήν των απαερωτών ή των αναμικτών καυσίμου-αέρα. Τα πλεονεκτήματα της ηλεκτρονικής έγχυσης έναντι στους απαερωτές απαριθμούνται στον πίνακα 4.2.2.



Σχήμα 4.12: Σχηματική Σύγκριση Αποκρίσεων Μετρητικού Συστήματος Καυσίμου

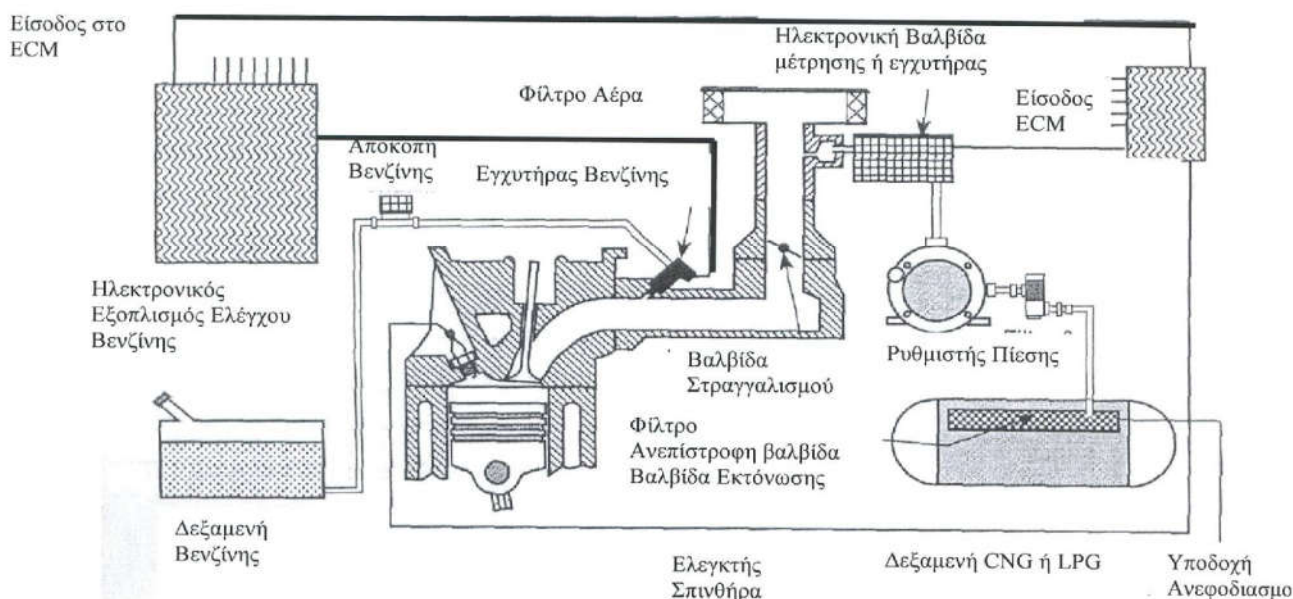
Οι εγχυτήρες λειτουργούν με έλεγχο της ροής (η μάζα του καυσίμου παραμένει σταθερή) εφ' όσον η πίεση ανεφοδιασμού καυσίμου διατηρείται πάνω από ένα ελάχιστο όριο. Με αυτή τη μετρητική μέθοδο το ποσό του καυσίμου που εγχέεται στον κινητήρα μπορεί να ελεγχθεί αυξομειώνοντας το πλάτος του παλμού (το χρονικό διάστημα που παραμένει ανοιχτή η βαλβίδα).

Πίνακας 4.12: Πλεονεκτήματα του Συστήματος Ηλεκτρονικού Ελέγχου

Ακριβής Έλεγχος Καυσίμου
Αυτόματη Απόκριση Μείωσης της Πίεσης
Στρατηγική Ελέγχου Πλάτους Παλμού (PWM)
Γρήγορη Εκκίνηση, Ιδιαίτερα σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες
Βελτιωμένο BSFC
Έλεγχος της Ροής Καυσίμου κατά την επιβράδυνση
Δεν απαιτείται Ρυθμιστής Χαμηλής Πίεσης
Ανώτερος Έλεγχος Εκπομπών

Όταν χρησιμοποιούνται αναλογικές βαλβίδες ελέγχου ροής αντί σωληνοειδών εγχυτήρων, ο ρυθμός ροής καυσίμων ελέγχεται από έναν αισθητήρα μαζικής ροής που στέλνει σήμα στον μικροεπεξεργαστή εναλλακτικού καυσίμου που, στη συνέχεια, ελέγχει την βαλβίδα. Η χρήση εγχυτήρων (ή μετρητικών βαλβίδων) επιτρέπει την ακριβή μέτρηση του καυσίμου ακριβώς έτσι ώστε ο κινητήρας να μπορεί να λειτουργήσει υπό όλες τις συνθήκες και φορτία με την επιθυμητή κάθε φορά αναλογία μισμάτων. Οι εκπομπές και η οικονομία καυσίμων μπορούν έτσι να βελτιστοποιηθούν σε βαθμό ο οποίος δεν επιτυγχάνεται με συστήματα ρυθμιστών χαμηλής πίεσης και αναμίκτες καυσίμου-αέρα. Ο συγχρονισμός της έναυσης ελέγχεται επίσης από τον μικροεπεξεργαστή εναλλακτικού καυσίμου. Οι περισσότεροι μικροεπεξεργαστές περιλαμβάνουν υπολογιστές με προσαρμοστική μνήμη που επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση του ελέγχου του κινητήρα. Όπως τα μηχανικά συστήματα έτσι και τα ηλεκτρονικά, περιλαμβάνουν ρυθμιστή υψηλής πίεσης για να μειώσουν την πίεση της δεξαμενής από το ύψος των 3.600 psi για παράδειγμα σε πίεση εγχυτήρων εισόδου καυσίμου, συνήθως 50 με 100 psi. Κάποια ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούν μετρητικές βαλβίδες απαιτούν επίσης και ένα ρυθμιστή δευτέρου σταδίου. Το σχήμα 4.13 απεικονίζει μια συνηθισμένη εγκατάσταση ηλεκτρονικής μετατροπής που χρησιμοποιεί βαλβίδα για τον έλεγχο της ροής του καυσίμου.

Σχήμα 4.13: Σχηματικό Διάγραμμα τοπικής Ηλεκτρονικής Διάταξης μετατροπής CNG ή LPG Διπλού Καυσίμου



4.2.3 Αξιολόγηση των Συστημάτων Μετατροπής CNG και LPG

Τα πρότυπα των εκπομπών για τα οχήματα που τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο και LPG σχεδιάζονται να εκδοθούν από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος στο εγγύς μέλλον. Πολλά από τα μηχανικά συστήματα μετατροπής εν ενεργεία δεν μπορούν να μετρήσουν αυστηρότερα από τα παρόντα επίπεδα εκπομπών της βενζίνης. Αυτή η έλλειψη βελτίωσης εκπομπών για τα μηχανικά συστήματα οφείλεται στον σχετικά αργό χρόνο απόκρισης που συνδέεται με τον ρυθμιστή χαμηλής πίεσης στο σύστημα καθώς επίσης και τη χρήση των υπαρχόντων καταλυτών οχημάτων βενζίνης που δεν σχεδιάζονται για να επεξεργαστούν προϊόντα φυσικού αερίου ή εξάτμισης LPG. Με τους κινητήρες διπλού καυσίμου, οι εκπομπές εξάτμισης, που αποτελούν το μισό των συνολικών εκπομπών των οχημάτων, συνιστούν επίσης ακόμα ένα σημαντικό παράγοντα. Προς το παρόν, τα πρότυπα εκπομπής που εφαρμόζονται για τις μετατροπές φυσικού αερίου και LPG καθιστούν απαγορευτική την αύξηση των επιπέδων εκπομπής των μη μεθανικών υδρογονανθράκων (NMHC), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), και των NO_x. Ο Κανονισμός Ατμοσφαιρικών Συνθηκών της Καλιφόρνιας (CARB) έχει πιστοποιήσει ορισμένα συστήματα μετατροπής που καλύπτουν αυτήν την απαίτηση όπως και άλλες πολιτείες έχουν εγκρίνει αυτά τα συστήματα μετατροπών. Αν και τα περισσότερα από τα εγκεκριμένα συστήματα είναι μηχανικού τύπου, τα ηλεκτρονικά συστήματα μετατροπής παρέχουν πολύ καλύτερη απόκριση και έλεγχο των υπόλοιπων συστημάτων και επομένως είναι ικανότερα να ικανοποιήσουν πιο αυστηρές απαιτήσεις εκπομπών μελλοντικά. Τα δοκιμαστικά, λοιπόν, οχήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά συστήματα θα μπορούν να παρέχουν ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση εκπομπών. Εντούτοις, ο εξοπλισμός που

απαιτείται για την αξιολόγηση των εκπομπών είναι ακριβός (ειδικότερα ο εξοπλισμός ανάλυσης NO_x) και πολύ λίγα καταστήματα μετατροπής μπορούν να καλύψουν τέτοιες δαπάνες (περίπου \$25.000). Μια φορητή συσκευή ανάλυσης NO_x για την χρήση σε αυτοκίνητα που θα κοστίσει σύμφωνα με τις υπάρχουσες πληροφορίες περίπου \$5.000, είναι υπό ανάπτυξη. Αυτή η συσκευή ανάλυσης σχεδιάζεται για να είναι διαθέσιμη στο εγγύς μέλλον.

Μια άλλη δυσκολία για τα καταστήματα μετατροπής παρουσιάζεται στη σύγκριση της απόδοσης των οχημάτων με την προηγούμενη απόδοσή τους σε λειτουργία με βενζίνη, λόγω της έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού δοκιμής. Απαιτείται δυναμόμετρο πλαισίου για να μετρήσει την υποδύναμη των φρένων που μεταδίδεται στους τροχούς ένα όχημα. Τα περισσότερα καταστήματα μετατροπής δεν θα έχουν δυναμόμετρο πλαισίου και η δαπάνη (μέχρι \$30.000) για την εγκατάστασή του δεν μπορεί να δικαιολογηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις.

4.2.4 Οι Αλκοόλες ως Καύσιμα Κινητήρων με Σπινθηριστή

Η μεθανόλη και η αιθανόλη έχουν εξαιρετική ποιότητα οκτανίων, βράζουν σε συνηθισμένες θερμοκρασίες, δεν αφήνουν κατάλοιπα κατά την καύση και έτσι έχουν πολλές ιδιότητες των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε κινητήρες με σπινθηριστή. Είναι ευρέως γνωστά ως καύσιμα για κινητήρες αγώνων όπου ο υψηλός αριθμός οκτανίων επιτρέπει και υψηλό κλάσμα συμπίεσης και η ικανότητά τους να καίγονται σε πλούσια μίγματα και υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης είναι τα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την παραγωγή περισσότερης ισχύος από ότι η συμβατική βενζίνη.

4.2.4.1 Οικονομία Καυσίμου και Ισχύς από τη Χρήση Αλκοολών

Για να εξασφαλιστούν οι καλύτερες δυνατές ιδιότητες των Αλκοολών απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός στους κινητήρες. Εξαιτίας του χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου, το οποίο για τη μεθανόλη είναι λιγότερο από το μισό της συμβατικής βενζίνης, η ογκομετρική οικονομία καυσίμου θα είναι πάντα χαμηλότερη από αυτή της βενζίνης. Ωστόσο εξαιτίας των διαφορετικών χαρακτηριστικών στην έναυση που παρουσιάζονται παρακάτω είναι εφικτές οι βελτιώσεις στη θερμική απόδοση:

- Οι αλκοόλες καίγονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και φως και έτσι χάνεται λιγότερη θερμότητα από αγωγή και ακτινοβολία.
- Οι αλκοόλες καίγονται γρηγορότερα παρέχοντας έτσι περισσότερη ροπή στον κινητήρα.

- Η έναυση των αλκοολών παράγει περισσότερα προϊόντα έναυσης αναπτύσσοντας έτσι

	Βελτιστοποιημένη Μεθανόλη	Βελτιστοποιημένη Αιθανόλη	Βενζίνη
Απόδοση			
0-100 km/h	9	10,1	10
V _{max} km/h	214	207	210
Κατανάλωση Καυσίμου (L/100 km)			
Κύκλος Πόλης	27	22,8	17,3
Με 90 km/h	15,8	13,9	9,1
Με 120 km/h	18,9	17	11,3

υψηλότερες πιέσεις στους κυλίνδρους

Επιπρόσθετα, ο υψηλός αριθμός οκτανίων επιτρέπει τη χρήση μεγαλύτερων αναλογιών καυσίμου μίγματος από ότι οι βενζινοκίνητοι κινητήρες γεγονός που βελτιώνει την οικονομία καυσίμου και την ισχύ τους. Αύξηση 10% της απόδοσης αναφέρθηκε με την αύξηση της αναλογίας αέρα/ καυσίμου ενός μονοκύλινδρου κινητήρα από 8:1 σε 18:1 όταν χρησιμοποιείται μεθανόλη. Ο πίνακας 4.8 συνοψίζει δεδομένα απόδοσης ορισμένων ερευνών. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι παρόλο που μπορεί να διατηρηθεί σταθερή η ισχύς εξόδου για ένα συγκεκριμένο όχημα, η κατανάλωση καυσίμου είναι πάντα υψηλότερη. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερη δεξαμενή προκειμένου να καλυφθεί η ίδια απόσταση με ένα μόνο γέμισμα της δεξαμενής καυσίμου.

Η χρήση υπερσυμπιεστών θα επιτρέψει και άλλη βελτίωση στην οικονομία καυσίμου ελαχιστοποιώντας το βάρος του οχήματος με την ίδια ισχύ.

Πίνακας 4.8 : Σύγκριση Αλκοολών με Βενζίνη σε βελτιστοποιημένα Οχήματα

4.2.4.2 Ποιότητα Οκτανίων των Αλκοολών

Παρόλο που και η αιθανόλη και η μεθανόλη έχουν παρόμοια αντικροτικά χαρακτηριστικά, με πολύ υψηλά RON παρουσιάζουν ιδιαίτερες ευαισθησίες, όπως διαφορές σε RON και MON και συνεπώς δεν μπορεί να περιγραφεί ακριβώς η συμπεριφορά τους στον κινητήρα. Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες αλκοόλες έχουν εξαιρετική αντικροτική ικανότητα

που επιτρέπει υψηλά κλάσματα συμπίεσης και έτσι έχουν σημαντικές θερμικές αποδόσεις συγκρινόμενες με τη βενζίνη.

4.2.5 Εφαρμογές Μεθανόλης

Η μεθανόλη χρησιμοποιούνταν σε αγωνιστικά αυτοκίνητα για πολλά χρόνια, κυρίως εξαιτίας του υψηλού αριθμού οκτανίων και των υψηλών κλασμάτων συμπίεσης (περίπου 15:1). Η βελτίωση της απόδοσης με τη χρήση μεθανόλης σε τέτοιου τύπου οχήματα ήταν αξιοσημείωτη όμως οι μετατροπές του κινητήρα δεν ήταν οι ιδανικότερες καθώς αυτά τα οχήματα σχεδιάζονται ώστε να καταναλώνουν είτε μεθανόλη είτε βενζίνη.

Αρκετοί κατασκευαστές βαρέων οχημάτων κατασκεύασαν κινητήρες μεθανόλης ως παράγωγα της γραμμής των κινητήρων diesel που ήδη κατασκεύαζαν προσθέτοντας τις μετατροπές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Επίσης οι κατασκευαστές έχουν ήδη προβεί σε κατασκευή οχημάτων με πολλαπλές επιλογές καυσίμων μιγμάτων μεθανόλης και βενζίνης στην πολιτεία της Καλιφόρνια. Επιπλέον υπάρχει ανερχόμενη βιομηχανία κατασκευής σταθμών τροφοδοσίας M85 στην ίδια πολιτεία. Η επιπλέον διαθεσιμότητα της θα οδηγήσει σίγουρα στην ανάπτυξη της αγοράς οχημάτων μεθανόλης. Δεδομένου συνάμα και του γεγονότος ότι το κόστος μετατροπής ενός συμβατικού οχήματος σε όχημα μεθανόλης είναι απαγορευτικό, οι κατασκευαστές θα πρέπει να στραφούν σε παραγωγή αποκλειστικών οχημάτων.

4.2.6 Εφαρμογές Αιθανόλης

Οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO) της E10 μειώθηκαν κατά 20 % σε μετρήσεις που έγιναν βέβαια σε παλαιότερα οχήματα συγκριτικά πάντα με την κοινή βενζίνη. Η μείωση αυτή των εκπομπών οφείλεται στο γεγονός ότι το μίγμα με οξειδωτές (το 10 % της αιθανόλης στην προκειμένη περίπτωση) γίνεται πιο φτωχό. Από τις μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι μίγματα με υψηλότερο ποσοστό αιθανόλης δεν απέδωσαν σημαντική διαφορά στη μείωση των εκπομπών CO.

Εντατικά δεδομένα για τις εκπομπές NO_x της E10 παρουσιάζουν μια μέση αύξηση της τάξεως του 3,3 % σε σύγκριση με τη συμβατική βενζίνη. Επίσης εξαιτίας της υψηλής πίεσης ατμών του μίγματος E10 είναι ξεκάθαρο ότι οι εκπομπές εξάτμισης παρουσιάζονται αυξημένες, όμως από μίγματα με υψηλότερη συγκέντρωση μειώνεται σε σύγκριση πάντα με τη βενζίνη εξαιτίας της χαμηλότερης πίεσης ατμών.

Για μίγματα E10 η ακεταλδεϋδη που εκλύεται κατά την καύση τους είναι μέχρι και δυο φορές όση αυτή που εκλύεται από την καύση της συμβατικής βενζίνης, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά φορμαλδεϋδης παρουσιάζονται αυξημένα κατά 30 %. Σε μίγματα υψηλότερης συγκέντρωσης αιθανόλης η φορμαλδεϋδη παραμένει στα ίδια επίπεδα, η ακεταλδεϋδη όμως αυξάνεται γεωμετρικά.

Τα αιωρούμενα σωματίδια που εκλύονται από την καύση E10 παρουσιάζονται μειωμένα κατά 7 % και έτσι παρουσιάζεται η προοπτική μείωσης μέχρι και 30 % των εκπομπών για μίγματα με μεγαλύτερη αναλογία αιθανόλης.

2.4.7 Εφαρμογές Υδρογόνου

Η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο κινητήρων έγινε αντικείμενο διαφόρων ερευνών τις τελευταίες δεκαετίες με μικρή όμως επιτυχία. Οι παροντικές έρευνες στρέφονται περισσότερο στη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο σε συμβατικούς κινητήρες έναυσης με σπινθηριστή (Otto). Υπάρχουν επίσης πολλές έρευνες που αφορούν κινητήρες έναυσης με συμπίεση διπλού τύπου, κινητήρες ομογενούς φόρτισης έναυσης με συμπίεση οι οποίοι είναι γνωστοί και ως κινητήρες HCCI και κινητήρες όπου η έναυση επιτυγχάνεται είτε μέσω επιφάνειας είτε μέσω καταλυτικής έναυσης.

Ιδανικό λόγω των χαμηλών εκπομπών ρύπων θα ήταν η χρήση ενός οχήματος που χρησιμοποιεί καύσιμο υδρογόνο σε ορυχεία.

Η μετατροπή του υδρογόνου εν κινήσει μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Στρόβιλοι που χρησιμοποιούσαν αέριο υδρογόνο ερευνώνται από τα μέσα της δεκαετίας του '50 και ήδη κυκλοφορούν στην αγορά κάποιες τέτοιες εφαρμογές. Επίσης έχουν δοκιμαστεί κινητήρες εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν υδρογόνο. Αυτές οι τεχνολογίες διαφέρουν ελάχιστα από αυτές που χρησιμοποιούνται για το φυσικό αέριο. Επίσης έχουν δοκιμαστεί και κινητήρες που χρησιμοποιούν μίγματα φυσικού αερίου και υδρογόνου. Το τελευταίο τεχνολογικό επίτευγμα είναι οι κυψέλες καυσίμου οι οποίες μπορούν να παρέχουν επαρκή ισχύ για την κίνηση ενός οχήματος αλλά η τιμή τους καθιστά την εμπορική τους εκμετάλλευση αδύνατη προς το παρόν. Οι κυψέλες υδρογόνου παράγουν μόνο νερό έναντι ρύπων ενώ οι κινητήρες εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές εκπομπές.

2.4.8 Εφαρμογές Φυσικού Αερίου

Οι εξειδικευμένοι κινητήρες φυσικού αερίου είναι πιο αποδοτικοί από τους αντίστοιχους βενζινοκινητήρες. Στην πραγματικότητα οι κινητήρες αυτή που λειτουργούν με

φτωχά μίγματα πλησιάζουν την απόδοση των βενζινοκινητήρων. Οι βενζινοκινητήρες που μεταποιούνται μηχανικά έτσι ώστε να καταναλώνουν φυσικό αέριο παρουσιάζουν απώλεια 20 με 30 % της μέγιστης ισχύος και κάποια απώλεια στις βαλβίδες. Η απώλεια είναι αποτέλεσμα της μείωσης της ογκομετρικής απόδοσης του οχήματος που οφείλεται στη χαμηλή πυκνότητα ενέργειας του καυσίμου και στον περιορισμό της ροής που προκύπτει από τον επιπρόσθετο αναμίκτη αερίου καυσίμου. Οχήματα που έχουν υποστεί ηλεκτρονική μεταποίηση παρουσιάζουν απώλεια ισχύος μόνο εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας του καυσίμου και της απουσίας ψύξης που οφειλόταν στην εξάτμιση του υγρού καυσίμου. Αυτή η απώλεια ισχύος δεν είναι σημαντική για τα οχήματα που έχουν σημαντική περίσσεια ισχύος και δεν χρησιμοποιούνται για βαριές εφαρμογές. Στις περιπτώσεις αυτές η επιτάχυνση γίνεται πιο αργά και η απόδοση του οχήματος δεν είναι ικανοποιητική. Αρκετά είναι τα οχήματα που μπορούν να μεταποιηθούν χωρίς σημαντικές απώλειες όμως κάποια σχολικά λεωφορεία υπόκεινται σε σημαντική απώλεια ισχύος ειδικά όταν προσπαθούν να αναπτύξουν ταχύτητα υπό κλίση και με πλήρες φορτίο.

Η πιο αποτελεσματική εφαρμογή για να ελέγχονται οι ρυπαντές και να πετυχαίνεται μέγιστη απόδοση είναι οι κινητήρες φτωχών μιγμάτων. Το φυσικό αέριο είναι το ιδανικότερο καύσιμο για τέτοιους κινητήρες εξαιτίας της αντοχής του σε αραιή καύση όπως και της ομοιογένειας του μίγματος αέρα/ καυσίμου που μπορεί να επιτευχθεί. Οι αντικροτικές ιδιότητες του φτωχού μίγματος αυξάνουν το κλάσμα συμπίεσης, αυξάνουν τη θερμική απόδοση, μειώνουν τη θερμοκρασία των καυσαερίων.

4.3 Υβριδικά Οχήματα

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEVs) δεν προορίζονται για εφαρμογές επίδειξης πλέον. Είναι διαθέσιμα σε διάφορα μορφές και μεγέθη και χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο σε ποικίλες εφαρμογές. Η ποικιλία τους, η ευκολία της χρήσης, η ευκολία ανεφοδιασμού και οι διάφορες επιλογές διαμόρφωσης οχημάτων, τα καθιστούν κυρίαρχα οχήματα για κάθε χρήση. Τα σημερινά HEVs γίνονται εξίσου ασφαλή, άνετα, και αξιόπιστα όπως τα συμβατικά οχήματα, αλλά παρέχουν περίπου διπλάσια οικονομία καυσίμων. Η τιμή ενός HEV είναι πολύ ανταγωνιστική λόγω των φορολογικών κινήτρων. Η Toyota και η Honda πωλούν επιτυχώς τα υπάρχοντα πρότυπα HEV για ελαφρές εφαρμογές και προγραμματίζουν και άλλες επιλογές, όπως υβριδοποιημένο Camrys και Accords, στα προσεχή έτη. Άλλοι κατασκευαστές επίσης επιταχύνουν τις διαδικασίες για πωλήσουν HEVs. Υπάρχουν διάφορα υβριδικά λεωφορεία διαθέσιμα που μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν ως αστικά λεωφορεία, λεωφορεία μεγάλων αποστάσεων και σχολικά λεωφορεία. Τα προηγμένα βαριά υβριδικά οχήματα θα εμπορευματοποιηθούν πιθανώς σε διάφορες κατηγορίες οχημάτων αργότερα σε αυτήν την δεκαετία και θα βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα των καυσίμων, μειώνοντας ταυτόχρονα τις εκπομπές των οχημάτων. Τα βαρέων καθηκόντων φορτηγά μπορούν εύκολα να υβριδοποιηθούν και σίγουρα θα έχουν έναν σημαντικά θετικό αντίκτυπο στην οικονομία και τις εκπομπές καυσίμων

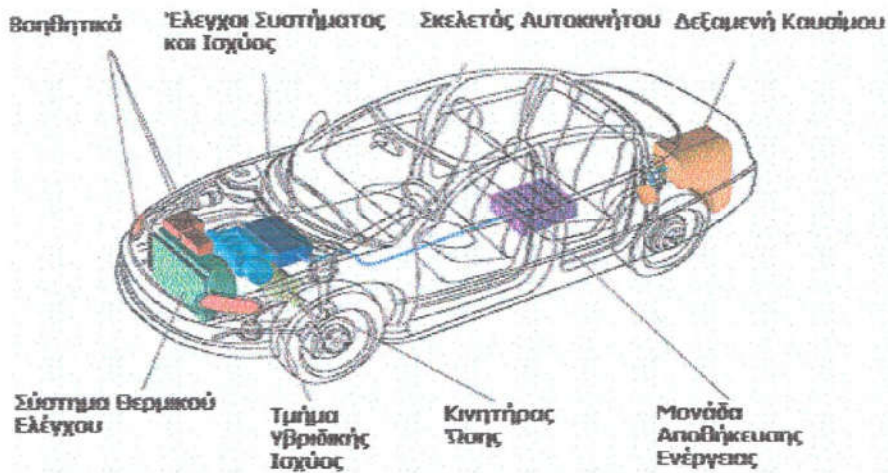
Τα υβριδικά συστήματα ισχύος συλλήφθηκαν ως τρόπος αντιστάθμισης του ελλείμματος στην τεχνολογία μπαταριών όταν εισήχθησαν τα ηλεκτρικά οχήματα. Επειδή οι μπαταρίες μπόρεσαν να παράσχουν μόνο αρκετή ενέργεια για τα σύντομα ταξίδια, θα μπορούσε να εγκατασταθεί και να χρησιμοποιηθεί για τα πιο μακρινά ταξίδια μια γεννήτρια πάνω στο όχημα, που τροφοδοτείται από μηχανή εσωτερικής καύσεως. Σε παλαιότερες εποχές, οι ερευνητές σκέφτηκαν ότι με την προκατάληψη του συστήματος προς την μπαταρία-ηλεκτρική δύναμη και τη λειτουργία στην ηλεκτρική ενέργεια τοίχος-βουλωμάτων όσο το δυνατόν περισσότερο, η αποδοτικότητα και οι εκπομπές θα βελτιστοποιούνταν έπειτα έως ότου ήρθαν εμπρός οι καλύτερες μπαταρίες. Το φυσικό συμπέρασμα αυτής της έννοιας ήταν ότι, με καλύτερες μπαταρίες, πιθανώς δεν θα χρειάζονται καθόλου τα υβρίδια οχήματα. Αλλά μετά από 20 έτη μελέτης, φαίνεται ότι τα υβρίδια παίρνουν το κεντρικό στάδιο και τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται μόνο στις εφαρμογές αγοράς θέσεων όπου λιγότερα μίλια ταξιδεύουν.



Σχήμα 4.14: Υβριδικό Οχημα

Τα αποδοτικότερα αυτοκίνητα μπορούν να κάνουν μια μεγάλη διαφορά στην κοινωνία από άποψη περιβαλλοντικών οφελών, και η σοβαρή επιδείνωση του αστικού αέρα έχει παρακινήσει τις κυβερνήσεις ώστε να απαιτούν καθαρότερα αυτοκίνητα. Η παραγωγή HEVs θα μειώσει την αθαλομίχλη και τη διαμόρφωση ρύπων πέρα από τον ισχύον μέσο όρο. Τα υβρίδια δεν θα είναι ποτέ φορείς μηδενικών εκπομπών, λόγω της μηχανής εσωτερικής καύσεως. Αλλά τα πρώτα υβρίδια στη αγορά μειώνουν τις εκπομπές της παγκόσμιας θέρμανσης από ρύπους από ένα τρίτο στο μισό, και τα πιο πρόσφατα πρότυπα μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές ακόμη περισσότερο.

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) συνδυάζουν ένα σύστημα μετατροπής ενέργειας με ένα ή περισσότερα συστήματα αποθήκευσης. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης με βενζίνη και μπαταρία, ο οποίος θα μπορούσε βέβαια να αντικατασταθεί από κινητήρα οποιουδήποτε καυσίμου, μια κυψέλη καυσίμου ή στροβιλοσυμπίεστη αερίου καυσίμου, ενώ έναντι μπαταρίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί υπερπυκνωτής ή δυναμό. Στις δεκαετίες του '70 και '80 η προσοχή των κατασκευαστών είχε στραφεί στη βελτίωση του εύρους των BPVs αλλά πλέον το φλέγον ζήτημα είναι η οικονομία καυσίμου και οι χαμηλότερες εκπομπές.



Σχήμα 4.15.: Βασικά Συστήματα Υβριδικού Αυτοκινήτου




Ένα υβριδικό όχημα μπορεί να έχει τις εξής μορφές:

- Ένα όχημα με συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) με ηλεκτρικό σύστημα 42V και μια ελαφρώς μεγαλύτερη μπαταρία από ότι ένα συμβατικό ICE
- Ένα συμβατικό HEV με μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και ένας ICE ο οποίος είτε απλά φορτίζει τις μπαταρίες είτε φορτίζει τις μπαταρίες και παρέχει απευθείας ισχύ στους τροχούς (παράλληλο υβριδικό)
- Ή τέλος ένα όχημα του οποίου οι μπαταρίες φορτίζονται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, με κινητήρα ICE για να παρέχει βοηθητική ισχύ για την επαναφόρτιση των μπαταριών.

Αυτές είναι τρεις επιλογές που περιλαμβάνουν ένα φάσμα οχημάτων από ένα όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης ως ένα όχημα που κινείται σχεδόν αποκλειστικά με μπαταρίες.

Στην πολιτεία της Καλιφόρνια, όπου ο νόμος πιέζει τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να οδηγηθούν σε οχήματα με μηδενικές εκπομπές (ZEVs), προβλέπεται να προτιμηθούν τα ηλεκτρικά οχήματα. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μόλις πριν από μερικά χρόνια μπόρεσαν να διατεθούν στην αγορά. Παρόλα αυτά θα πρέπει να περάσει αρκετός καιρός μέχρι να γίνουν ανταγωνιστικές οι τιμές τους με αυτές των συμβατικών.

Πίνακας 4.16: Χαρακτηριστικά Υβριδικών Οχημάτων Honda

	2005 Honda Civic Hybrid		2005 Honda Insight		2005 Toyota Prius
					
Οικονομία Καυσίμου					
Τύπος Καυσίμου	Τυπικό		Τυπικό		Τυπικό
Μετάδοση Κίνησης	Αυτόματο (CVT)	Χειρ(5 sp)	Αυτόματο (CVT)	Χειρ (5 sp)	Αυτο Αυτόματο (CVT)
MPG (εντός πόλης)	48	46	57	61	60
MPG (εκτός πόλης)	47	51	56	66	51
MPG (μεικτή)	48	48	56	63	55
Ετήσιο Κόστος Καυσίμου	\$562	\$562	\$483	\$429	\$491
Παγκόσμια Θέρμανση					
Ετήσιες Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπιού*	Χειρότερη Καλύτερη		Χειρότερη Καλύτερη		Χειρότερη Καλύτερη
	15.3	3.1	15.3	3.1	15.3
	4.1 τόνοι		3.5 τόνοι		3.5 τόνοι
Ασφάλεια					
Εθνική Υπηρεσία Οδικής Ασφάλειας	Μη Διαθέσιμα Δεδομένα		<u>Αποτελέσματα Δοκιμών Σύγκρουσης</u>	<u>Αποτελέσματα Δοκιμών Σύγκρουσης</u>	
Μόλυνση Ατμόσφαιρας					
Αποτέλεσμα Ελέγχου της EPA 0 έως 10	Μη Διαθέσιμα Δεδομένα		Μη Διαθέσιμα Δεδομένα	Μη Διαθέσιμα Δεδομένα	
Τάξη Μεγέθους EPA Μέγεθος Κινητήρα (Λίτρα)	Μικρά Οχήματα		Διθέσια Οχήματα	Μεσαίας Τάξης Οχήματα	
Κύλινδροι Κίνησης	4		3	4	
Καταναλωτής Αερίου Καυσίμου	Όχι		Όχι	Όχι	
Turbocharger Supercharger	Όχι		Όχι	Όχι	
Καμπίνα Επιβατών	91 ft ³ (4D)		Μη Διαθέσιμα Δεδομένα	96 ft ³ (HB)	
Αποθηκευτικός Χώρος	10 ft ³ (4D)		Μη Διαθέσιμα Δεδομένα	16 ft ³ (HB)	
Επιπλέον Χαρακτηριστικά Κινητήρα	HEV LB		HEV	HEV	

* Με βάση 45% οδήγηση εκτός πόλης, 55% οδήγηση εντός πόλης, 15000 μίλια ανά έτος με την ακόλουθη τιμή βενζίνης: Κανονική Βενζίνη: \$1.80 Ανά γαλόνι

MPG: Miles per Gallon: μίλια ανά γαλόνι

4.3.1 Ηλεκτρικά Οχήματα

Μερικά από τα πρώτα αυτοκίνητα τροφοδοτήθηκαν από ηλεκτρικούς κινητήρες που τροφοδοτούνταν με μπαταρίες. Αλλά η πρόοδος στις μηχανές εσωτερικής καύσεως οδήγησε γρήγορα το βαρύτερο και περιορισμένο σε ποικιλία EV εκτός αγοράς. Η ανάγκη να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση μαζί με την κατασκευή νέων προηγμένων μπαταριών και κινητήρων, έχει καταστήσει επιτακτική την ανάγκη της επανεμφάνισης του EV ως καθαρή εναλλακτική λύση στα οχήματα εσωτερικής καύσης. Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης είναι ουσιαστικά μη ρυπαντικά και εξαιρετικά αποδοτικά όσον αφορά την ενέργεια. Εκτιμώντας ότι μόνο περίπου 20% της χημικής ενέργειας στη βενζίνη μεταδίδεται σε έργο στους τροχούς ενός οχήματος εσωτερικής καύσης, σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο 75% ή περισσότερο της ενέργειας από την μπαταρία του φθάνει στους τροχούς του.



Σχήμα 4.16: Ηλεκτρικό Ford Ranger

Τελικά είναι οι μπαταρίες που θα καθορίσουν το κόστος και την απόδοση ενός EV. Υπάρχουν διάφοροι διαθέσιμοι τύποι μπαταριών αυτοκινήτων υπό ανάπτυξη, από τις προηγμένες μπαταρίες οξέως μολύβδου όπως εκείνες που δίνουν την εκκίνηση στα οχήματα μηχανών εσωτερικής καύσεως, έως τα υδρίδια μετάλλων νικελίου και τις πολυμερείς μπαταρίες λιθίου. Εντούτοις ακόμη και οι καλύτερες από αυτές, μπορούν να αποθηκεύσουν μόνο ένα ποσοστό της ενέργειας ενός γαλονιού βενζίνης στον ίδιο όγκο. Είναι σημαντική η μεγαλύτερη αποδοτικότητα των ηλεκτρικών μηχανών, αλλά το εύρος των μπαταριών είναι ακόμα περιορισμένο. Υπάρχουν κάποια συστήματα διαθέσιμα που επαναφορτίζουν τις μπαταρίες στο σπίτι και είναι σχετικά απλά και παρέχουν στα EVs ένα επιπλέον πλεονέκτημα. Η επαναφόρτιση σε περιοχές μακριά από το σπίτι είναι ακόμα περιορισμένη και ο χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη φόρτιση μπορεί να είναι ουσιαστικός.

Ένα πλεονέκτημα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι η δυνατότητα τους να παρέχουν ισχύ σχεδόν σε οποιαδήποτε ταχύτητα, ενώ μια εσωτερικής καύσεως πρέπει να αυξήσει τον αριθμό στροφών σε υψηλές περιστροφές ανά λεπτό να επιτύχει μέγιστη ισχύ. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παρέχουν σχεδόν μέγιστη ισχύ ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτό δίνει στα ηλεκτρικά οχήματα ισχυρή απόδοση επιτάχυνσης κατά την εκκίνηση.

4.3.1.1 Οχήματα Κοντινών Αποστάσεων

Τα ηλεκτρικά οχήματα κοντινών αποστάσεων (NEVs) μπορούν ενδεχομένως να ικανοποιήσουν τις ανάγκες πολλών ανθρώπων και επιχειρήσεων. Τα ηλεκτρικά οχήματα κοντινών αποστάσεων (NEVs), ή τα αργότροφα οχήματα (LSVs), είναι μικρά, ενός έως τεσσάρων επιβατών και τροφοδοτούνται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή ηλεκτρικούς κινητήρες.

Στις 17 Ιουνίου του 1998, η εθνική διοίκηση ασφάλειας κυκλοφορίας εθνικών οδών (NIHSA) των Η.Π.Α. επίσημα αναγνώρισε NEVs ως μέσο μεταφοράς. Από τότε, 37 πολιτείες έχουν ψηφίσει σχετική νομοθεσία που επιτρέπει σε αυτά τα οχήματα για να οδηγούνται σε δρόμους με τα όρια ταχύτητας 35 μιλίων ανά ώρα ή χαμηλότερα.



Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστικοί τύποι Οχημάτων Κοντινών Αποστάσεων

Τα NEVs σχεδιάζονται για τους οδηγούς που ταξιδεύουν σύντομες αποστάσεις με αργές ταχύτητες όπου η κυκλοφορία, ο χώρος στάθμευσης, και η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορούν να είναι απαγορευτικές για τη χρήση άλλων οχημάτων. Ένα NEV είναι μια οικονομικώς αποδοτική λύση σε αυτά τα προβλήματα επειδή είναι μικρότερο από ένα συμβατικό όχημα και απαιτεί λιγότερο χώρο στάθμευσης και λιγότερο χρόνο στο δρόμο. Όπως ένα μεγάλο EV, έτσι και ένα NEV είναι φορέας μηδενικών εκπομπών. Επίσης η ισχύς που είναι απαραίτητη για την κίνηση του παρέχεται από οικονομική πηγή ενέργειας. Είναι λοιπόν φανερά τα πλεονεκτήματα των μικρών αυτών οχημάτων.

4.4 Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου

Μια κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια άμεσα από την αντίδραση μεταξύ του υδρογόνου, που προέρχεται από υδρογόνο που περιέχεται στα καύσιμα ή που παράγεται από την ηλεκτρόλυση του νερού και του οξυγόνου από τον αέρα. Όπως μια μηχανή εσωτερικής καύσεως σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο, μετατρέπει τα καύσιμα σε ισχύ. Σε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως, τα καύσιμα καίγονται με μικροσκοπικές εκρήξεις που ωθούν τα έμβολα πάνω-κάτω. Όταν καίγονται τα καύσιμα, ουσιαστικά οξειδώνονται. Με άλλα λόγια, τα καύσιμα συνδυάζονται με το οξυγόνο και, κατά συνέπεια, παράγουν ενέργεια υπό μορφή θερμότητας και μηχανικής κίνησης. Σε μια κυψέλη καυσίμου, τα καύσιμα είναι επίσης οξειδωμένα, αλλά η προκύπτουσα ενέργεια λαμβάνει την μορφή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν τροφοδοτείται από καθαρό υδρογόνο, τα μόνα υποπροϊόντα της αντίδρασης είναι θερμότητα και νερό.

Ένα σύστημα ισχύος κυψελών καυσίμου έχει πολλά συστατικά, αλλά η καρδιά του είναι η συστοιχία των κυψελών καυσίμων, η οποία αποτελείται από πολλά λεπτά, επίπεδα κώτταρα που τοποθετούνται σε στρώσεις από κοινού. Αν και ο όρος κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει ολόκληρη τη συστοιχία, κυριολεκτικά, αναφέρεται μόνο στις μεμονωμένες κυψέλες. Κάθε κυψέλη παράγει ηλεκτρική ενέργεια, και η παραγωγή όλων των κυψελών συνδυάζεται για να τροφοδοτήσει το όχημα.



Σχήμα 4.18: Honda FCX με Κυψέλες Καυσίμου

Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου αποτελούν την τελευταία και πολλά υποσχόμενη εξέλιξη στον τομέα της ηλεκτροκίνησης. Έχουν την προοπτική των μηδενικών εκπομπών και της μεγάλης απόδοσης όταν τροφοδοτούνται με υδρογόνο. Οι κυψέλες καυσίμου μετατρέπουν την ενέργεια που αποθηκεύεται στο καύσιμο απευθείας σε ηλεκτρισμό χωρίς να μεσολαβεί έναυση. Σε αντίθεση με τις μπαταρίες όπου η παροχή των χημικών περιορίζεται από το μέγεθος της μπαταρίας, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν έπ' αόριστον να παράγουν ηλεκτρισμό όταν τροφοδοτούνται με καύσιμο. Μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται από μια

άνοδο, μια κάθοδο και έναν ηλεκτρολύτη. Χαρακτηρίζονται αρχικά από το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και υποκατηγοριοποιούνται από το είδος του καυσίμου που ηλεκτρολύουν.



Σχήμα 4.19: Αστικό Λεωφορείο με Κυψέλες Καυσίμου

4.4.1 Λειτουργία Κυψελών Καυσίμου

Σε μια τυπική κυψέλη καυσίμου, το υδρογόνο εισάγεται στην άνοδο και διαχωρίζεται σε ιόντα υδρογόνου και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ιόντα υδρογόνου ρέουν μέσω του ηλεκτρολύτη προς την κάθοδο, όπου εισάγεται και το οξυγόνο. Στην κάθοδο, το οξυγόνο ενώνεται με τα ιόντα του υδρογόνου προς σχηματισμό νερού. Για να ολοκληρωθεί η διεργασία, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται στην άνοδο, θα πρέπει να ενωθούν με το υδρογόνο και το οξυγόνο στην κάθοδο. Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο δημιουργεί ένα ρεύμα το οποίο χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει μια ηλεκτρική συσκευή.

Δυο κατηγορίες κυψελών καυσίμου που έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών είναι οι αλκαλικές και οι όξινες και προσδιορίζονται από το είδος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν. Το βασικό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το υδρογόνο αλλά υπάρχει και η προοπτική χρήσης άλλων καυσίμων στο εγγύς μέλλον. Παρόλα αυτά, αναπτύσσονται διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου για κινητές και σταθερές εφαρμογές: Μемβράνη ανταλλαγής πρωτονίων, στερεού οξειδίου, χυτού ανθρακικού οξέως, φωσφορικού οξέως και άλλες. Κάθε μία από τις εναλλακτικές ποικίλει σε μέγεθος, βάρος, ενεργειακό αποτέλεσμα ηλεκτρισμού και θερμότητας, κόστους και άλλων παραμέτρων. Οι κυψέλες καυσίμου που προορίζονται για εφαρμογές σε μέσα μεταφοράς θα πρέπει να είναι σύμφωνες με αυστηρούς κανονισμούς όσον αφορά το βάρος και το μέγεθος τους.

4.4.2 Τεχνολογίες Κυψελών Καυσίμου

Η κυρίαρχη όμως τεχνολογία που εφαρμόζεται σε αυτοκίνητα είναι η μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), η οποία έχει απόδοση μεγαλύτερη από 55% όταν λειτουργεί με υδρογόνο. Σύμφωνα με τον Pepprey, οι PEM έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά που τις καθιστούν κατάλληλες για εφαρμογές σε αυτοκίνητα:

- Μπορούν να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, χαμηλότερες από 90°C
- Έχουν υψηλή πυκνότητα ισχύος και άμεση απόκριση
- Έχουν εύκολη μεταχείριση κατά την κατασκευή και λειτουργία τους
- Έχουν γρήγορη εκκίνηση και σταμάτημα και δεν αναμένεται ιδιαίτερη συντήρηση

Η κυψέλη Καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC) αποτελείται από μια άνοδο και μια κάθοδο φτιαγμένες από λεπτά διασκορπισμένο καταλύτη λευκόχρυσου σε χαρτί άνθρακα, και μια μήτρα καρβιδίου του πυριτίου που συγκρατεί τον ηλεκτρολύτη φωσφορικού οξέος. Αυτό είναι ο εμπορικότερα αναπτυγμένος τύπος κυψελών καυσίμου και χρησιμοποιείται σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, και κτήρια γραφείων. Η κυψέλη Καυσίμου φωσφορικού οξέος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σε μεγάλα οχήματα, όπως λεωφορεία.

Οι Κυψέλες Στερεού Οξειδίου (SOFC) αυτήν την περίοδο κάτω από τη χρήση ανάπτυξης ένα λεπτό στρώμα του οξειδίου ζirkονίου ως στερεό κεραμικό ηλεκτρολύτη, και περιλαμβάνουν μια κάθοδο λανθανίου και μια άνοδο Νικελίου-Ζirkονίου. Αυτό είναι μια ελπιδοφόρος επιλογή για τις μεγάλης ισχύος εφαρμογές, όπως βιομηχανικές χρήσεις ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα σχετικά νέο μέλος της οικογένειας των κυψελών καυσίμου, είναι η κυψέλη καθαρής μεθανόλης (DMFC) και είναι παρόμοια με την PEM δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μια πολυμερή μεμβράνη ως ηλεκτρολύτη. Εντούτοις, ένας καταλύτης στη άνοδο DMFC ωθεί το υδρογόνο από την υγρή μεθανόλη, αποβάλλοντας την ανάγκη για έναν μεταρρυθμιστή καυσίμων.

Η Τηγμένη Κυψέλη Καυσίμου Ανθρακικού Άλατος χρησιμοποιεί ένα λειωμένο ανθρακικό άλας ως ηλεκτρολύτη. Έχει την δυνατότητα να τροφοδοτείται με αέρια καύσιμα που προέρχονται από γαιάνθρακα ή φυσικό αέριο.

Η Αλκαλική Κυψέλη Καυσίμου χρησιμοποιεί έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη όπως το υδροξείδιο του Καλίου. Αρχικά χρησιμοποιημένο από τη NASA στις διαστημικές αποστολές, βρίσκει τώρα τις εφαρμογές στα οχήματα που τροφοδοτούνται με υδρογόνο.

Αυτή η ειδική κατηγορία Κυψελών Καυσίμου παράγει ηλεκτρική ενέργεια από υδρογόνο και οξυγόνο, αλλά μπορεί να αντιστραφεί και να τροφοδοτηθεί με την ηλεκτρική ενέργεια για να παραγάγει το υδρογόνο και το οξυγόνο.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν σημαντικά ζητήματα που αφορούν την εμπορευματοποίηση και πραγματεύονται το κόστος του καταλύτη, των μεμβρανών και βιομηχανοποίησης. Τα υλικά των μεμβρανών, τα δίπολα ελάσματα και το σύστημα αντοχής δηλητηρίων του καταλύτη είναι ευαίσθητο σε ακαθαρσίες και έτσι απαιτείται καθαρό υδρογόνο. Επιπλέον υπάρχουν ελλείψεις στην υποδομή ανεφοδιασμού.

4.4.3 Αγορά Οχημάτων Κυψελών Καυσίμου

Αν και δεν υπάρχει αυτήν την περίοδο κανένα όχημα κυψελών καυσίμου διαθέσιμο στην αγορά, υπάρχουν διάφορα προγράμματα επίδειξης οχημάτων κυττάρων καυσίμων υπό μελέτη. Επιπλέον, σχεδόν κάθε αξιόλογη αυτοκινητοβιομηχανία έχει ένα πρόγραμμα οχημάτων κυψελών καυσίμου, με στόχο την επίδειξη στην αγορά το 2004 ως το 2006.

Αρκετοί στόλοι φορτηγών λειτουργούν σε συνεργασία με κατασκευαστές ελαφρών και μεσαίου τύπου οχημάτων για να δοκιμαστούν τα οχήματα που τροφοδοτούνται με κυψέλες καυσίμου. Στην πραγματικότητα, τα ελαφρά οχήματα κυψελών καυσίμου έχουν συμμετάσχει ήδη σε επίδειξης στην Καλιφόρνια. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν μεγάλα λεωφορεία επιβατών και φορτηγά μεγάλης απόστασης. Επιπλέον, βοηθητικές μονάδες κυψελών καυσίμου (APUs) για εμπορικά φορτηγά μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή χρήση και τις εκπομπές, δεδομένου ότι αυτός ο όχημα πρέπει συχνά να λειτουργούν εν κενό για να παρέχουν ενέργεια για ψύξη, θέρμανση και κλιματισμό.

5ο Κεφάλαιο: Συγκριτικός Πίνακας

	Βενζίνη	Diesel No. 2	Biodiesel (B20)	Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο(CNG)	Ηλεκτρισμός	Αιθανόλη (E85)	Υδρογόνο	Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)	Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου(Προπάνιο) (LPG)	Μεθανόλη (M85)
Χημική Δομή	C ₄ έως C ₁₂	C ₁₀ έως C ₂₀	Λιπαρά Οξέα των Μεθυλεστέρων των C ₁₆ έως C ₁₈	CH ₄	N/A	CH ₃ CH ₂ OH H	H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	CH ₃ OH
Αριθμός Κετανίου	5 έως 20	40 έως 55	46 έως 60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Αριθμός Οκτανίου	86 έως 94	8 έως 15	~25	120+	N/A	100	130+	120+	104	100
Βασική Πηγή Καυσίμου	Αργό Πετρέλαιο	Αργό Πετρέλαιο	Σογιέλαιο, χρησιμοποιούμενα μαγειρικά έλαια, ζωικά λίπη και έλαιο ελαιοκράμβης	Υπόγειες Πηγές	Άνθρακας, πυρηνική Ενέργεια, φυσικό Αέριο υδροηλεκτρική Ενέργεια, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Καλαμπόκι, Σπόροι, Αγροτικά Υπολείμματα	Φυσικό Αέριο, Μεθανόλη και άλλες πηγές ενέργειας sources.	Υπόγειες Πηγές	Συμπαραγωγή από εξευγενισμό πετρελαίου ή επεξεργασία φυσικού Αερίου	Φυσικό Αέριο, Άνθρακας, Ξυλώδης Βιομάζα

Ενεργειακό Περιεχόμενο ανά γαλόνι	109,000 - 125,000 Btu	128,000 - 130,000 Btu	117,000 - 120,000 Btu (σε σύγκριση με το diesel #2)	33,000 - 38,000 Btu @ 3000 psi; 38,000 - 44,000 @ 3600 psi	N/A	~ 80,000 Btu	113,000 - 134,000 Btu	~73,500 Btu	~84,000 Btu	56,000 - 66,000 Btu
Ενεργειακή Αναλογία με τη Βενζίνη			1.1 to 1 or 90% (σε σύγκριση με το diesel)	3.94 έως 1 ή 25% σε 3000 psi; 3.0 έως 1 @ 3600 psi		1.42 έως 1 ή 70%		1.55 έως 1 ή 66%	1.36 έως 1 ή 74%	1.75 έως 1 ή 57%
Φυσική Κατάσταση	Υγρό	Υγρό	Υγρό	Συμπιεσμένο Αέριο	Ηλεκτρισμός	Υγρό	Συμπιεσμένο Αέριο ή Υγρό	Υγρό	Υγρό	Υγρό

Διαθέσιμοι Τύποι Οχημάτων Σήμερα	Όλες οι Κατηγορίες Οχημάτων	Αρκετές Κατηγορίες Οχημάτων	Οποιοδήποτε Όχημα λειτουργεί με κοινό diesel για μίγματα έως 5 %. Κάποιοι κινητήρες είναι συμβατοί και με μίγματα 20 %	Αρκετές Κατηγορίες Οχημάτων	Ηλεκτρικά Οχήματα μικρών αποστάσεων, ποδήλατα, ελαφριά οχήματα, μεσαία και βαρέα φορτηγά	Ελαφριά Οχήματα, μεσαία και βαρέα φορτηγά και λεωφορεία - αυτά τα οχήματα είναι ευέλικτα γιατί μπορούν να ανεφοδιαστούν με E85 (αιθανόλη), βενζίνη, ή άλλους συνδυασμούς των δυο καυσίμων	Δεν υπάρχουν ακόμα οχήματα σε εμπορική διάθεση αλλά χρησιμοποιούνται κάποια οχήματα για επίδειξη.	Μεσαίου και Βαρέου τύπου Οχήματα	Ελαφριά Οχήματα, που μπορούν να τροφοδοτηθούν με προπάνιο ή βενζίνη, μεσαίου και βαρέου τύπου οχήματα που χρησιμοποιούν προπάνιο.	Περισσότερο διαθέσιμα Βαρέου τύπου .
----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Καύσης κάθε Καυσίμου	Παράγει Βλαβερές Εκπομπές, Παρόλα αυτά και η τεχνολογία βενζίνη και οι τεχνολογίες οχημάτων βελτιώνονται και παράγονται και λιγότερα βελτιώνονται και παράγονται ολόκληρα ειδικά με λιγότερα εκπομπές	Παράγει Βλαβερές Εκπομπές, Παρόλα αυτά και η τεχνολογία βενζίνη και οι τεχνολογίες οχημάτων βελτιώνονται και παράγονται ολόκληρα ειδικά με λιγότερα εκπομπές	Μειώνει τις εκπομπές σωματιδίων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αν χρησιμοποιηθεί έναντι του συμβατικού diesel. Παρόλα αυτά οι εκπομπές NOx μπορεί να αυξηθούν	Τα οχήματα CNG παρουσιάζουν μειώσεις στα επιβλαβή για την ατμόσφαιρα αέρια (CO και NOx) σε σύγκριση με κάποια συμβατικά καύσιμα; Παρόλα αυτά οι εκπομπές HC μπορεί να αυξηθούν	Τα EVs παρουσιάζουν μηδενικές εκπομπές. Παρόλα αυτά παράγονται κάποιες εκπομπές από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Τα οχήματα που χρησιμοποιούν E-85 μπορούν να επιδείξουν μείωση μέχρι και 25% των αερίων οχημάτων του οξυγόνου (CO and NOx) σε σύγκριση με την αναμειγμένη βενζίνη	Είναι πιθανές μηδενικές εκπομπές για τα οχήματα που λειτουργούν με κψέλες καυσίμου και μόνο εκπομπές NOx για τις μηχανές εσωτερικής καύσεως που λειτουργούν με υδρογόνο	Τα οχήματα LNG μπορούν να καταδείξουν μείωση της διαμόρφωσης του όζοντος-των εκπομπών (CO και NOx) έναντι των μερικών συμβατικών καυσίμων	Τα οχήματα LPG μπορούν να καταδείξουν μείωση των εκπομπών διαμόρφωσης όζοντος (CO και NOx) έναντι της αναμειγμένης βενζίνης	Τα οχήματα M-85 μπορούν να καταδείξουν μείωση 40% των εκπομπών διαμόρφωσης του όζοντος (CO και NOx) έναντι της αναμειγμένης βενζίνης
-----------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ασφάλεια Προμήθειας Ενέργειας	Χρήσιμο ποιείται εισαγόμενα πετρέλαια, το οποίο δεν είναι μια ενεργειακά ασφαλής επιλογή	Χρήσιμο ποιείται εισαγόμενα πετρέλαια, το οποίο δεν είναι μια ενεργειακά ασφαλής επιλογή	Το Biodiesel παράγεται εσωτερικά και έχει μια ορυκτή ενεργειακή αναλογία 3,3-έως 1, το οποίο σημαίνει ότι οι ορυκτές ενεργειακές εισαγωγές του είναι παρόμοιες με εκείνες του πετρελαίου.	Το CNG παράγεται εσωτερικά ή εισάγεται όπως το πετρέλαιο. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν απέραντα αποθέματα φυσικού αερίου.	Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως μέσω της καύσης άνθρακα σε μονάδες παραγωγής ενέργειας. Ο άνθρακας είναι ο πιο άφθονος ορυκτός ενεργειακός πόρος και το πιο οικονομικό και σταθερό σε τιμή ορυκτό καύσιμο.	Η αιθανόλη παράγεται εσωτερικά και είναι ανανεώσιμη.	Το υδρογόνο μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από το ξένο πετρέλαιο με παραγωγή από ανανεώσιμους πόρους	Η αιθανόλη μπορεί να παραχθεί εσωτερικά από ανανεώσιμους πόρους.	Το LNG παράγεται εσωτερικά και κοστίζει χαρκτηριστικά λιγότερο από τα καύσιμα βενζίνης και diesel.	Τα LPG είναι από τα ευρύτετα διαθέσιμα εναλλακτικά καύσιμα. Το μειονέκτημα του LPG είναι ότι προέρχεται από το πετρέλαιο.
-------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Θέματα Συντήρησης	Σωλήνες και βαλβίδες μπορούν να επηρεαστούν από μίγματα με υψηλότερα ποσοστά σε biodiesel. Η λιπανση βελτιώνεται περισσότερο από των συμβατικών καυσίμων diesel	Οι δεξαμενές υψηλών πιέσεων απαιτούν περιοδική επιθεώρηση και πιστοποίηση.	Οι απαιτήσεις αναμένονται να μειωθούν. Δεν απαιτούνται αλλαγές λαδιών, ζώνες συγχρονισμού, υδραντλίες, προθερμαστής, ή εγχυτήρες καυσίμων.	Απαιτούνται ειδικά λιπαντικά. Οι πρακτικές είναι παρόμοιες, εάν όχι ίδιες, με εκείνες για τα συμβατικά καύσιμα.	Όταν το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κυψελών καυσίμου, η συντήρηση είναι ελάχιστη	Οι δεξαμενές υψηλών πιέσεων απαιτούν περιοδική επιθεώρηση και πιστοποίηση	Μερικοί στόλοι αναφέρουν διάρκεια ζωής υπηρεσιών 2-3 έτη μακρύτερες, καθώς επίσης και εκτεταμένα διαστήματα μεταξύ της απαραίτητης συντήρησης.	Πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά λιπαντικά σύμφωνα με τις οδηγίες των προμηθευτών ή και πρέπει να χρησιμοποιηθούν συστήματα συμβατά με M85.
-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Θέματα Ασφάλειας (Χωρίς εξαίρεση, όλα τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς ασφαλείας του OEM)	Η βενζίνη είναι σχετικά ασφαλή καύσιμο δεδομένου ότι οι άνθρωποι έχουν μάθει να τη χρησιμοποιούν. Η βενζίνη δεν είναι βιοδιασπώμενη και έτσι διαρροή θα μπορούσε να μολύνει το έδαφος και το νερό.	Το Diesel είναι σχετικά ασφαλή καύσιμο δεδομένου ότι οι άνθρωποι έχουν μάθει να τη χρησιμοποιούν. Το diesel δεν είναι βιοδιασπώμενο και έτσι διαρροή θα μπορούσε να μολύνει το έδαφος και το νερό.	Λιγότερο τοξικό και περισσότερο βιοδιασπώμενο από τα συμβατικά καύσιμα, μπορεί να μεταφερθεί, και να αποθηκευτεί χρησιμοποιώντας τον ίδιο εξοπλισμό όπως για τα καύσιμα diesel.	Οι δεξαμενές υψηλής πίεσης έχουν σχεδιαστεί για να αντισταθούν σε πολύ αντίξοες συνθήκες, υψηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, και έκθεση στις περιβαλλοντικές συνθήκες.	Τα OEM EVs είναι σύμφωνα με τα ίδια πρότυπα ασφαλείας οχημάτων με τα συμβατικά οχήματα	Η αιθανόλη μπορεί να διαμορφώσει κρηκτικές ομίχρες δεξαμενών καυσίμων. Στα ατυχήματα εντούτοις, η αιθανόλη είναι λιγότερο επικίνδυνη από τη βενζίνη επειδή η χαμηλή ταχύτητα εξάτμισής της συμβάλλει στη διατήρηση του συγκεντρωμένου αλκοόλης στον αέρα σε χαμηλά και ασφαλή επίπεδα.	Το υδρογόνο έχει αναφερθεί βιομηχανικά ασφαλές, όμως οι κώδικες και τα πρότυπα για την ευρεία χρήση του σε οχήματα είναι υπό ανάπτυξη.	Τα κρυογόνια καύσιμα απαιτούν ειδικές διαδικασίες διαχείρισης και κατάλληλο εξοπλισμό αποθήκευσης και διανομής	Ο επαρκής εξοπλισμός είναι σημαντικό για την τροφοδότηση ενός οχήματος LPG λόγω της αυξημένης ευφλεκτότητας των δεξαμενών LPG Οι δεξαμενές LPG είναι 20 φορές περισσότερο ανθεκτικές σε διάτρηση από τις δεξαμενές βενζίνης και μπορούν να αντισταθούν σε αντίξοες συνθήκες.	Η μεθανόλη μπορεί να διαμορφώσει κρηκτικές ομίχρες δεξαμενών καυσίμων. Στα ατυχήματα εντούτοις, η μεθανόλη είναι λιγότερο επικίνδυνη από τη βενζίνη επειδή η χαμηλή ταχύτητα εξάτμισής της συμβάλλει στη διατήρηση του συγκεντρωμένου αλκοόλης στον αέρα σε χαμηλά και ασφαλή επίπεδα.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5° Κεφάλαιο: Σύγκριση Εναλλακτικών Καυσίμων-Συμπεράσματα

Τα εναλλακτικά καύσιμα έχουν καταστεί πλέον επιτακτική ανάγκη προκειμένου να ανεξαρτητοποιήσουν τα κράτη ανά τον κόσμο από τα αποθέματα πετρελαίου, να μειώσουν την ατμοσφαιρική ρύπανση σε περιοχές με ιδιαίτερα οξυμένο πρόβλημα, να συμβαδίσουν με τις νέες τεχνολογίες και να προωθηθούν νέα, πιο αποδοτικά προϊόντα. Η επιλογή του εναλλακτικού καυσίμου καθορίζεται κάθε φορά από διαφορετικό παράγοντα, που υπερισχύει των υπολοίπων, έτσι η έννοια του καλύτερου καυσίμου γίνεται σχετική.

Σίγουρα εξαιτίας των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του από τη σύγκριση ξεχωρίζει το υδρογόνο, το οποίο έχει το μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά γαλόνι, είναι το πιο άφθονο στοιχείο στη φύση και μπορεί να παραχθεί από ποικίλες, διαφορετικές πηγές, επιδέχεται μεγάλη συμπίεση, καίγεται ομαλά και παράγει καυσαέρια τα οποία μπορούν να αποτελούνται μόνο από υδρατμούς. Προς το παρόν όμως, η ευρεία χρήση του περιορίζεται από τεχνικούς παράγοντες, όπως η αποθήκευσή του σε ακριβές δεξαμενές και τα αυξημένα μέτρα ασφάλειας που επιβάλλονται. Σε αυτά θα πρέπει να προστεθεί και η αντιμετώπιση του απλού πολίτη, η οποία είναι επιφυλακτική μπροστά σε οποιαδήποτε καινοτομία μέχρι να αποδειχτεί ιδανική μέσω της χρόνιας χρήσης της. Δε θα πρέπει όμως να λησμονηθούν τα πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα ενός κόσμου που βασιζόταν για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών στο πετρέλαιο. Προς το παρόν, οι τεχνολογίες αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς και η διαφήμιση προσπαθεί να διαμορφώσει οικολογικές συνειδήσεις και να στρέψει το ενδιαφέρον του κόσμου στην κατεύθυνση του υδρογόνου, ίσως μόνο όμως στα ανεπτυγμένα κράτη που μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υποδομών.

Μετά την αποδεκτή από όλους υπεροχή του υδρογόνου, τα καύσιμα κατατάσσονται ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κράτος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, όπου η ρύπανση σε κάποιες πολιτείες όπως της Καλιφόρνια αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα, το ενδιαφέρον των επιστημών έχει στραφεί έντονα προς την αναζήτηση νέων τεχνολογιών και καυσίμων, φιλικότερων προς το περιβάλλον. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι εννέα στις δέκα πηγές της εργασίας ήταν αμερικάνικης προελεύσεως. Βέβαια, δεν θα πρέπει να λησμονηθεί ότι το βιοτικό επίπεδο της κοινωνίας επιτρέπει την έρευνα και ανάπτυξη των νέων αυτών τεχνολογιών. Σε ένα κράτος που δεν έχει ιδιαίτερα ανεπτυγμένη οικολογική συνείδηση καθώς το βιοτικό επίπεδο είναι κάτω του μετρίου και οι άνθρωποι πασχίζουν να καλύψουν τις βασικές τους ανάγκες, λογικό είναι να προτιμάται το καύσιμο που θα του προσφέρει σχετική ανεξαρτησία από τα πετρελαϊκά αποθέματα και προϊόντα τα οποία είναι ακριβά για το μέσο πολίτη. Φυσικά προτιμάται ένα

καύσιμο που υπάρχει ή να μπορεί να παραχθεί σε πληθώρα, όπως η αιθανόλη που εύκολα παράγεται από ζαχαροκάλαμο και καταναλώθηκε σε μεγάλη έκταση τις προηγούμενες δεκαετίες στη Βραζιλία. Χαρακτηριστική είναι και η περίπτωση του φυσικού αερίου και LPG στη Ρωσία καθώς τα κοιτάσματα της Σιβηρίας επαρκούν για να καλύψουν όχι μόνο τις εγχώριες ανάγκες αλλά και να εξαχθούν σε νοτιότερες χώρες.

Επιπλέον σημαντική είναι και η τεχνολογική ανάπτυξη ενός κράτους. Σε κράτη όπου η τεχνολογία των οχημάτων δεν είναι εφικτό να αντικατασταθεί σύντομα, προτιμούνται καύσιμα όπως το biodiesel, η αιθανόλη και η μεθανόλη τα οποία μέχρι ορισμένης αναλογίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οχήματα όπως η συμβατική βενζίνη και το diesel χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες μετατροπές. Η εφαρμογή μιγμάτων υψηλών αναλογιών ή και 100% καθαρών καυσίμων απαιτεί τροποποιημένους στόλους οχημάτων, συχνή συντήρηση και ειδικές εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού.

Τέλος, από περιβαλλοντικής απόψεως προτιμώνται καύσιμα με χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή μικρές ανθρακικές αλυσίδες και μικρή περιεκτικότητα σε προσμίξεις, όπως θείο, άζωτο και μέταλλα, τα οποία καίγονται τέλεια υπό κατάλληλες συνθήκες και παράγουν περιορισμένους ρύπους. Η αντιρρυπαντική τεχνολογία πλέον είναι σε θέση να παρέχει μεγαλύτερη κατακράτηση επιβλαβών ρύπων και έτσι τα επίπεδα των εκπομπών μειώνονται ακόμα περισσότερο. Επίσης δεν θα πρέπει να λησμονηθεί η τοξικότητα ορισμένων καυσίμων όπως η μεθανόλη, η οποία καθιστά υποχρεωτική τη χρήση ειδικού εξοπλισμού, ανθεκτικού στη διάβρωση και θέτει έτσι ένα ακόμη εμπόδιο στην εξάπλωση της χρήσης της.

Οι τεχνολογίες κινητήρων, από την άλλη, δεν ευνοούν την προώθηση των παραπάνω καυσίμων καθώς τα μετατρέπόμενα οχήματα για χρήση με εναλλακτικά καύσιμα είναι κατά κανόνα πιο δαπανηρά προς το παρόν, χωρίς δηλαδή να επιβάλλονται ειδικοί πράσινοι φόροι στις εκπομπές τους ή στη χρήση συμβατικών καυσίμων. Υπάρχουν βέβαια σε περιορισμένη έκταση όπως στις Η.Π.Α. για παράδειγμα φοροαπαλλαγές σε υβριδικά οχήματα αλλά είναι περιορισμένης έκτασης. Υπάρχουν βέβαια και τεχνολογίες οι οποίες έχουν εφαρμοστεί εδώ και δεκαετίες όπως αυτές που επιτρέπουν τη χρήση φυσικού αερίου σε οχήματα βαρέου τύπου και ταξί, αλλά το ποσοστό που κατέχουν στην αγορά παραμένει σταθερό, δεδομένου ότι ο ανεφοδιασμός με φυσικό αέριο αποτελεί δαπανηρή διαδικασία καθώς απαιτούνται ειδικοί ακριβοί σταθμοί συμπίεσης.

Από όλη όμως τη μελέτη το γενικότερο συμπέρασμα είναι ότι τα εναλλακτικά καύσιμα θα καθυστερήσουν να αντικαταστήσουν τη βενζίνη και το diesel, τα οποία παραμένουν ελκυστικά από πλευράς ογκομετρικής ενεργειακής απόδοσης και τιμής. Εκτός

από αυτά θα πρέπει να δοθούν οικονομικά κίνητρα σε πολίτες και επιχειρήσεις για την αγορά εναλλακτικών οχημάτων και την κατασκευή της κατάλληλης υποδομής.

Δεν θα πρέπει να λησμονηθεί ότι υπάρχει το πρόβλημα του «Αυγού του Κολόμπου» με τα εναλλακτικά καύσιμα, δηλαδή εάν θα πρέπει πρώτα να κατασκευαστεί η υποδομή ανεφοδιασμού και έπειτα τα οχήματα, ή εάν θα πρέπει πρώτα να κατασκευαστούν τα οχήματα και ύστερα να δημιουργηθεί η υποδομή. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί καθιστά τα εναλλακτικά οχήματα και καύσιμα δύσχρηστα δεδομένου ότι προορίζονται για εφαρμογές σε καθημερινές δραστηριότητες. Ελάχιστα είναι τα κράτη που έχουν ανεπτυγμένο δίκτυο προμήθειας εναλλακτικών καυσίμων με κυρίαρχο τις Η.Π.Α.. Στα περισσότερα κράτη αναπτύσσεται μόνο το δίκτυο διακίνησης πετρελαίου, βενζίνης και φυσικού αερίου επειδή τα καύσιμα αυτά προορίζονται και για άλλες, εκτός δρόμου εφαρμογές.

Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια οι εταιρίες παραγωγής καυσίμων έχουν στραφεί προς την παραγωγή φιλικότερων προς το περιβάλλον αλλά και πιο αποδοτικών βενζινών και πετρελαίων κίνησης, η αντικατάσταση καθίσταται ακόμα πιο δύσκολη. Επιπλέον διακυβεύονται τεράστια οικονομικά και πολιτικά συμφέροντα από εταιρίες και κράτη και αυτό ίσως αποτελεί το μεγαλύτερο εμπόδιο στην ανάπτυξη και εξάπλωση των εναλλακτικών καυσίμων και οχημάτων. Η «κοινωνία λοιπόν του υδρογόνου» όπως την περιγράφει ο Jeremy Rifkin θα αργήσει να έρθει.

Βιβλιογραφία

1. Clean Fuels: progress and Experience of Demonstration Programs-SAE international
2. Absorbed Natural Gas (ANG): Fuel of the Future-Y.C.Lin/G.A.Huff
3. Natural Gas as a transportation Fuel-Stuart R. Bell
4. Natural Gas: A promising Fuel for I.C. Engines-Andrea Unich
5. Automobile Fuels Reference Book
6. Evaluating Automobile Fuel/Propulsion System technologies-Heather L. MacLean
7. The future of Hydrogen fueling systems for transportation-James Winebrake
8. Βήμα Science Κυριακή 4 Απριλίου 2004
9. Βήμα Science Κυριακή 6 Ιουνίου 2004
10. Οδηγώντας σε καλύτερο Περιβάλλον-Υπουργείο Ανάπτυξης
11. Ενέργεια για την Ελλάδα του 21^{ου} Αιώνα- Υπουργείο Ανάπτυξης
12. Πρακτικά Συνεδρίου HELECO'95
13. Ενεργειακές Καλλιέργειες για την Παραγωγή υγρών και στερεών Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα-Καπε
14. Alternative Motor Fuels to improve Air Quality, California Council for Environmental and Economic Balance
15. The Clean Fuels Report.-J.E. Sinor Consultants
16. Facts and Figures for Propane-Texas railroad Commission
17. The electric Vehicle Market the global outlook.
18. New Developments in Alternative Fuels and Gasolines for SI and CI Engines
19. Current and Potential Future Performance of Ethanol Fuels-Keisuke oda
20. Society lifecycle cost of cars with alternative fuels/engines-Joan M. Oden
21. Global Energy scenarios meeting stringent constrains-Christian Azar
22. Exploration of the ranges of global potential of Biomass-Mprique Hoogwijk
23. Hydrogen as a spark ignition engine fuel-Ghazi Karim
24. A quality Function Deployment Approach to identify Alternative Fuels and Vehicles Technology Needs-Thomas Elias
25. Hydrogen for reducing Emissions from Alternative Fuel Vehicles-Justin Fulton
26. The clean Air Refining Industry-UOP

27. www.eere.energy.gov
28. www.energyinstitution.org
29. www.methanol.org
30. www.ekpaa.gr
31. www.fuelcelleconomy.gov
32. www.newton.mec.edu
33. www.fueleconomy.gov
34. www.evworld.com
35. www.afdc.nrel.gov
36. www.knowledgepublications.com
37. www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/animation/swfs/fuelcellframe.html
38. www.ams.gr/pages/5_2003/showarticle_1.asp?articleID=25303&SystemSectionId=67&magazineID=10
39. www.sciencedirect.com
40. www.scirus.com
41. www.auth.gr
42. www.ypan.gr
43. www.kape.gr
44. www.certh.gr
- 45.