



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Ανασκόπηση τεχνολογιών υβριδικών οχημάτων με ηλεκτροκινητήρα και εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ.”



ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Σ. ΒΑΜΒΑΡΑΠΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ε.Γ. ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007

Πρόλογος

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ευάγγελο Γιακουμή για την ανάθεση του θέματος και για την συνεχή και πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της μελέτης αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Κ. Ρακόπουλο και τον αναπληρωτή καθηγητή κύριο Δ. Χουντάλα, οι οποίοι συνδιδάσκουν τα μαθήματα που αφορούν τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Η διδασκαλία τους μου κίνησε το ενδιαφέρον για την περαιτέρω ενασχόλησή μου με τη μελέτη των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Συμεών και Μαρία, για την αμέριστη συμπαράστασή τους, την ηθική τους στήριξη και την πολύτιμη συνεισφορά τους σε κάθε μου βήμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εισαγωγή.....	6
Πίνακας Ακρωνυμίων.....	7
1. Ρύπανση του περιβάλλοντος	
1.1. Εισαγωγικά στοιχεία περί ρύπανσης.....	8
1.2. Εκπομπές ρύπων οχημάτων.....	9
1.3. Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων.....	13
1.3.1. Επιβατικά και ελαφρά φορτηγά με κινητήρες Diesel.....	14
1.3.2. Οχήματα βαρέος τύπου	18
1.3.3. Μέτρα μείωσης εκπομπών CO ₂	18
1.4. Ευρωπαϊκοί "Κύκλοι Πόλης".....	20
1.4.1. Επιβατικά ελαφρά οχήματα.....	20
1.4.2. Οχήματα βαρέος τύπου	23
2. Λειτουργία συμβατικού οχήματος	
2.1. Περιγραφή λειτουργίας.....	26
2.2. Μετατροπείας ροπής.....	27
2.3. Το κιβώτιο ταχυτήτων.....	30
2.4. Κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης.....	33
2.5. Δυναμική του οχήματος.....	37
2.6. Μεθοδολογία ολοκλήρωσης.....	37
3.Υβριδική τεχνολογία	
3.1. Ανάλυση υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος.....	39
3.2. Υπόλοιπες υβριδικές εκδοχές.....	44

3.2.1. Υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου.....	44
3.2.2. Υβριδικά υδραυλικά οχήματα.....	51
3.3.3. Υβριδικά πνευματικά οχήματα.....	53

4. Ανάλυση επιμέρους στοιχείων ηλεκτρικών υβριδικών οχημάτων

4.1. Η μπαταρία του υβριδικού συστήματος.....	55
4.1.1. Μπαταρία NiMH.....	55
4.1.2. Μπαταρία Li – ion.....	58
4.1.3. Συγκριτική αντιπαράθεση μεταξύ NiMH και Li - ion στα υβριδικά οχήματα.....	62
4.1.4. Μειονεκτήματα των σύγχρονων υβριδικών οχημάτων λόγω χρήσης μπαταριών.....	67
4.1.5. Οι υπερπυκνωτές.....	69
4.2. Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson.....	79

5. Σύστημα ελέγχου υβριδικού οχήματος

5.1. Ροή ισχύος σε HEV.....	84
5.2. Μεταβατική λειτουργία ενός HEV - Πειραματικά δεδομένα.....	88
5.3. Πειραματική σύγκριση μεταβατικής λειτουργίας συμβατικού οχήματος και HEV με κινητήρα Diesel.....	90
5.4. Επικυκλική μονάδα διασύνδεσης.....	95
5.5. Το σύστημα Synergy της Toyota.....	99

6. Plug - in υβριδικά οχήματα

6.1. Ορισμός – Περιγραφή.....	102
6.2. Η τεχνολογία των PHEVs.....	105
6.2.1. Σύστημα μετάδοσης ισχύος.....	105
6.2.2. Τρόποι λειτουργίας.....	106
6.2.3. Οι μπαταρίες ενός PHEV.....	108
6.3. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των PHEVs.....	109

6.4. Παραδείγματα PHEVs.....	113
7. Σύγχρονα υβριδικά οχήματα	
7.1. Toyota Prius THS και THS II.....	117
7.2. Ford Escape Hybrid.....	126
7.3. Honda Civic Hybrid.....	132
7.4. Toyota Camry Hybrid.....	135
7.5. Lexus LS 600h / LS 600h L.....	137
7.6. Nissan Altima Hybrid.....	138
7.7. Saturn Vue Green Line.....	139
Βιβλιογραφία.....	141

Εισαγωγή

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση της συμπεριφοράς ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος (Hybrid Electric Vehicle), οχήματος δηλαδή που κάνει χρήση ηλεκτροκινητήρα σε συνδυασμό με έναν εμβολοφόρο κινητήρα (M.E.K.) και η περιγραφή αυτής της υβριδικής τεχνολογίας.

Αρχικά επισημαίνεται η ρύπανση που προκαλείται από τη χρήση των αυτοκινήτων, παρουσιάζονται τα νέα πρότυπα εκπομπών ρύπων που έχουν υιοθετηθεί από την Ε.Ε. και δίνεται έμφαση στους «Κύκλους Πόλης» (transient cycles) που αποτελούν μεθόδους προσομοίωσης της καθημερινής μεταβατικής λειτουργίας των οχημάτων. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των βασικών στοιχείων του συστήματος μετάδοσης ισχύος ενός συμβατικού οχήματος για να ακολουθήσει η περιγραφή του υβριδικού συστήματος μετάδοσης ισχύος. Παρουσιάζονται επίσης και κάποιες άλλες υβριδικές εκδοχές, όπως τα υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου, τα υδραυλικά υβριδικά οχήματα και τα πνευματικά υβριδικά οχήματα. Γίνεται, επιπλέον, ανάλυση των επιμέρους στοιχείων του υβριδικού συστήματος μετάδοσης ισχύος, ενώ παρουσιάζονται και τα plug-in HEVs, υβριδικά οχήματα, δηλαδή, που επαναφορτίζονται συνδέοντας τα με πρίζα σε πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και που αποτελούν το μέλλον της υβριδικής τεχνολογίας. Τέλος γίνεται η παρουσίαση κάποιων σύγχρονων εμπορικών υβριδικών οχημάτων και η περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	
CVT	Continuously Variable Transmission
CAN	Controller Area Network
HEV	Hybrid Electric Vehicle
ZEV	Zero Emission Vehicle
AC	Analogue Converter
DC	Digital Converter
FCV	Fuel Cell Vehicle
HLA	Hydraulic Launch Assist
NiMH	Nickel Metal Hydride
NiCd	Nickel Cadmium
Li-ion	Lithium ion
EC	Electrochemical Capacitor
EDLC	Electric Double Layer Capacitor
mph	miles per hour
THS	Toyota Hybrid System
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
IMA	Integrated Motor Assist
BAS	Belt Alternator Starter
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
NEDC	New European Driving Cycle
ETC	European Transient Cycle
UDC	Urban Driving Cycle

1. Ρύπανση του περιβάλλοντος

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία περί ρύπανσης

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τα αυτοκίνητα, τη βιομηχανία και τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες έχει φτάσει σήμερα σε ανησυχητικά επίπεδα. Ένα μεγάλο ποσοστό της οφείλεται και στα αυτοκίνητα. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι έχει επιτευχθεί μεγάλη τεχνολογική πρόοδος στον τομέα της μείωσης των ρύπων που εκλύουν οι κινητήρες των αυτοκινήτων, στον τομέα της αεροδυναμικής (καλύτερη αεροδυναμική σημαίνει χαμηλότερη κατανάλωση, άρα εκπομπή λιγότερων ρύπων), στον τομέα του σχεδιασμού του θαλάμου καύσης και στην έρευνα για την χρήση εναλλακτικών καυσίμων, όπως το υδρογόνο, το υγραέριο και τις αλκοόλες (αιθανόλη, μεθανόλη). Τα ηλεκτρικά, τα υβριδικά, τα ηλιακά αυτοκίνητα, η νέα ώθηση που δόθηκε στην έρευνα για τους κινητήρες diesel, οι κεραμικοί κινητήρες και η νέα γενιά των δίχρονων κινητήρων είναι άμεση συνέπεια των οικολογικών ανησυχιών και της έντονης αναζήτησης για εναλλακτικά καύσιμα και κινητήρες.

Ο πρώτος συναγερμός για το πρόβλημα της ρύπανσης δόθηκε στις Η.Π.Α., όπου υπάρχουν και τα περισσότερα αυτοκίνητα ανά χιλιάδα κατοίκων. Στο Los Angeles που βρίσκεται στην πολιτεία της California, η αιθαλομίχλη είχε κάνει την ατμόσφαιρα αφόρητη για πολλά χρόνια. Γι' αυτό το λόγο το 1961 θεσπίστηκαν νόμοι που καθόριζαν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα έκλυσης άκαυστων υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του άνθρακα από τους εμβολοφόρους κινητήρες. Η ισχύς των νόμων αυτών επεκτάθηκε στις 20/10/1965 σε όλη την αμερικανική επικράτεια. Από τότε, οι νόμοι αυτοί γίνονται ολοένα και πιο αυστηροί ενώ άρχισαν να εφαρμόζονται σχεδόν σε όλες τις χώρες του κόσμου.

1.2 Εκπομπές ρύπων οχημάτων

Οι βλαβερές ουσίες που εκπέμπουν οι κινητήρες των οχημάτων είναι:

- **Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC)**

Οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες προέρχονται από την ατελή καύση του καυσίμου μίγματος ή διαφεύγουν από την ελαιολεκάνη του κινητήρα. Πρόκειται για υδρογονάνθρακες αλδεϊδικούς, παραφινικούς εκτεταμένης κυκλικής αλυσού και αρωματικούς οι οποίοι είναι σε θέση να ενωθούν με το οξυγόνο. Οι εργαστηριακές έρευνες απέδειξαν ότι οι ενώσεις αυτές αντιδρούν παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας και ερεθίζουν τα ανθρώπινα μάτια, μολύνουν την ατμόσφαιρα και προκαλούν ζημιές στη βλάστηση. Είναι ακόμα υπεύθυνες για την φωτοχημική αιθαλομίχλη και ορισμένες από αυτές (ιδιαίτερα το βενζόλιο) είναι καρκινογόνες.

- **Οξειδία του αζώτου (NOx)**

Πρόκειται για έναν από τους βασικούς συντελεστές της δημιουργίας του φωτοχημικού νέφους. Τα οξειδία του αζώτου κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας συμμετέχουν σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των άκαυστων υδρογονανθράκων στα λεγόμενα φωτοχημικά οξειδωτικά και την παραγωγή όζοντος που επίσης είναι τοξικό για το αναπνευστικό σύστημα. Με τη βοήθεια του όζοντος και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας τα οξειδία του αζώτου δημιουργούν κατόπιν ένα κύκλο δευτερογενούς ρύπανσης, η οποία κάτω από τις κατάλληλες καιρικές συνθήκες καταλήγει στο σχηματισμό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**

Προέρχεται κυρίως από τους βενζινοκινητήρες. Είναι βασικό προϊόν της ατελούς καύσης των υδρογονανθράκων (και του άνθρακα γενικότερα) και όταν η συγκέντρωσή του στον αέρα ξεπεράσει κάποια επίπεδα προκαλεί πονοκεφάλους και προβλήματα στο κυκλοφορικό σύστημα. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (που μπορούν να υπάρξουν όμως μόνο σε κλειστό χώρο) μπορεί να αποβεί θανατηφόρο. Το CO, πάντως, είναι ασταθής ένωση και

μόλις βρεθεί στον ελεύθερο αέρα μετατρέπεται αρκετά γρήγορα σε αβλαβές διοξείδιο του άνθρακα και γι' αυτό και έχει μόνο τοπική επίδραση.

Οι τρεις παραπάνω ρύποι είναι οι σημαντικότεροι που εκλύουν οι βενζινοκινητήρες.

- **Καπνός**

Προέρχεται κυρίως από τους πετρελαιοκινητήρες (diesel). Λόγω της συνήθους ορατής χροιάς των καυσαερίων του κινητήρα Diesel στα πιο μεγάλα φορτία εξαιτίας των σωματιδιακών εκπομπών, στην πράξη γίνεται διάκριση του λεγόμενου Καπνού (smoke) των εκπεμπομένων καυσαερίων του στις εξής τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την απόχρωση του:

- i. Λευκός Καπνός, που σύγκειται από ομίχλη υγρών ακαύστων σωματιδίων καυσίμου και εμφανίζεται κατά την εκκίνηση εν ψυχρώ.
- ii. Κυανός Καπνός, που σύγκειται από ομίχλη υγρών ακαύστων σωματιδίων λιπαντικού ελαίου και εμφανίζεται όταν υπάρχει πρόβλημα με την λίπανση (π.χ. φθαρμένα ή κολλημένα ελατήρια εμβόλου)
- iii. Μελανός Καπνός ή Καπνός "Τύπου Αιθάλης", που σύγκειται βασικώς από λεπτά σωματίδια στερεού άκαυστου άνθρακα (ανθρακώδες υλικό), δηλαδή την αιθάλη που δημιουργείται από την πυρόλυση του καυσίμου τοπικώς σε ζώνες με σχετική ανεπάρκεια οξυγόνου, εμφανιζόμενος στην περιοχή των υψηλών φορτίων (π.χ. >85% του μεγίστου).

- **Μόλυβδος (Pb)**

Ο μόλυβδος είναι τοξικός. Χρησιμοποιείτο στη βενζίνη για την αύξηση του βαθμού οκτανίου ώστε να αντέχει στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στους θαλάμους καύσης. Παίζει δηλαδή το ρόλο του αντικροτικού, εμποδίζοντας την αυτανάφλεξη της βενζίνης από την υψηλή συμπίεση πριν δημιουργηθεί ο σπινθήρας. Επειδή 'δηλητηριάζει' τους

καταλύτες και τους αχρηστεύει, τα καταλυτικά αυτοκίνητα λειτουργούν μόνο με αμόλυβδη βενζίνη.

- **Διοξείδιο του θείου (SO₂)**

Δημιουργείται από την αντίδραση του θείου που περιέχεται στα καύσιμα με το οξυγόνο. Η ουσία αυτή προκαλεί ερεθισμό των βρόγχων και των βλεννογόνων της μύτης και ελάττωση της ορατότητας. Η ποσότητα των εκλυόμενων ανυδριτών εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Συνήθως η μεγαλύτερη ποσότητα εκλύεται στο ρελαντί ή όταν αφήνουμε ελεύθερο τον επιταχυντή.

- **Όζον**

Το γεγονός ότι το όζον δεν αναφέρεται στους βασικούς ρύπους που εκπέμπονται από τα αυτοκίνητα και τις άλλες εστίες καύσης, οφείλεται στο ότι δεν αποτελεί πρωτογενή ρύπο αλλά δευτερογενή που σχηματίζεται στον αέρα από την αντίδραση ανάμεσα στα οξειδία του αζώτου και στους υδρογονάνθρακες. Επειδή για την αντίδραση αυτή χρειάζεται και η παρουσία του ηλιακού φωτός, σε μέρη όπως η χώρα μας, όπου η ηλιοφάνεια αποτελεί συνηθισμένο φαινόμενο στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς πόσο αυξημένη μπορεί να είναι η παραγωγή όζοντος. Ιδιαίτερα μάλιστα όταν η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι υπερβολικά αυξημένη, όπως συμβαίνει στην Αθήνα.

Το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο από μια περίεργη αντίφαση. Τα αυτοκίνητα παράγουν και μονοξείδιο του αζώτου, που οξειδώνεται στον αέρα και μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου. Μόνο το τελευταίο μπορεί να πάρει μέρος στη δημιουργία του όζοντος αντιδρώντας με τους υδρογονάνθρακες. Αλλά το ίδιο το μονοξείδιο του αζώτου καταστρέφει το όζον. Παρατηρείται λοιπόν το περίεργο φαινόμενο, ότι παρόλο που τα αυτοκίνητα θεωρούνται υπεύθυνα για το μεγαλύτερο μέρος της δημιουργίας όζοντος, στο κέντρο των μεγάλων πόλεων τα επίπεδα του όζοντος μπορεί να είναι χαμηλά και να είναι υψηλότερα στην περιφέρεια! Κι αυτό γιατί στο κέντρο της πόλης, λόγω της πυκνής κυκλοφορίας, παράγονται μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του αζώτου, που καταστρέφουν το δημιουργημένο όζον. Αντίθετα, στην

περιφέρεια των πόλεων η κυκλοφορία είναι χαμηλή κι έτσι υπάρχει πολύ λίγο μονοξείδιο του αζώτου. Καθώς λοιπόν ο άνεμος μεταφέρει προς τα εκεί τους διάφορους ρύπους (που βέβαια δεν προέρχονται μόνο από τα αυτοκίνητα), δημιουργείται βαθμιαία όζον από την αντίδραση υδρογονανθράκων και διοξειδίου του αζώτου κι επειδή δεν υπάρχει αρκετό μονοξείδιο για να το καταστρέψει, τα επίπεδα του όζοντος αυξάνονται.

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**

Βασικό συστατικό των καυσαερίων, αποτελεί ένα από τα κύρια προϊόντα της καύσης των υδρογονανθράκων και κάθε ανθρακούχου καυσίμου. Δεν είναι τοξικό και γι' αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ρύπος με την κλασική έννοια του όρου. Σε μακροπρόθεσμη βάση, όμως, πρέπει να ελεγχθούν οι εκπομπές του γιατί είναι υπεύθυνο για το 'φαινόμενο του θερμοκηπίου', που βαθμιαία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των θερμοκρασιών του πλανήτη μας.



Σχήμα 1.1 Μια ενδιαφέρουσα απεικόνιση της ρύπανσης των αυτοκινήτων από τη WWF

Είναι προφανές λοιπόν πως είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από τα εκατομμύρια των οχημάτων που κυκλοφορούν στις μεγαλουπόλεις. Για αυτόν ακριβώς το λόγο θεσπίστηκαν συγκεκριμένα πρότυπα εκπομπών καθώς και οι αντίστοιχες διαδικασίες ελέγχου της συμμόρφωσης των οχημάτων με αυτά.

Για τη μέτρηση των εκπεμπόμενων ρύπων από τα οχήματα έχουν καθιερωθεί πλέον από διάφορες χώρες τυποποιημένοι κύκλοι ελέγχου (test cycles), οι οποίοι ουσιαστικά ορίζουν μια προκαθορισμένη διαδικασία υπολογισμού των ρύπων. Η τυποποίηση αυτή είναι πολύ σημαντική και συμβάλει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στη μείωση των εκπομπών καθώς καθιστά δυνατή τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών οχημάτων που όμως επιτελούν το ίδιο έργο. Ένας κύκλος ελέγχου ή κύκλος πόλης πρέπει ιδανικά να προσομοιώνει τη καθημερινή κίνηση ενός οχήματος με τις συχνές στάσεις και εκκινήσεις που το χαρακτηρίζουν, δηλαδή να αναπαριστά τη μεταβατική λειτουργία στην οποία το όχημα υπόκειται, ώστε οι μετρήσεις να μπορούν να θεωρηθούν ρεαλιστικές. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν την εκπομπή ρύπων των οχημάτων τους στην περιοχή στην οποία ελέγχεται η συμμόρφωσή τους με τα πρότυπα, με αποτέλεσμα η πραγματική ρύπανση των οχημάτων να είναι μεγαλύτερη από το αναμενόμενο, υπονομεύοντας έτσι τα πρότυπα αλλά και τη δημόσια υγεία. Οι «Κύκλοι Πόλης» (transient cycles) λοιπόν, έρχονται να καλύψουν αυτό το κενό στις διαδικασίες ελέγχου εισάγοντας νέες πιο αυστηρές διαδικασίες που προσομοιώνουν την πραγματική λειτουργία του οχήματος και συμβάλουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πρότυπα εκπομπών ρύπων αλλά και οι «Κύκλοι Πόλης» που έχουν υιοθετηθεί στην Ευρώπη.

1.3 Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών ρύπων

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών είναι ένα σύνολο από απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζουν τα αποδεκτά όρια των εκπεμπόμενων ρύπων των νέων οχημάτων που πωλούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα πρότυπα καθορίζονται σε μια σειρά από οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίες κατευθύνονται στην σταδιακή επιβολή όλο και πιο αυστηρών προδιαγραφών. Εκπομπές NO_x, HC, CO και μικροσωματιδίων ρυθμίζονται σε διαφορετικά πρότυπα ανάλογα με τον τύπο του οχήματος ενώ ο έλεγχος της συμμόρφωσης με τις προδιαγραφές γίνεται με τυποποιημένους «Κύκλους

Πόλης» που έχει υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Οχήματα που δεν τηρούν τις προδιαγραφές δεν μπορούν να ταξινομηθούν στα κράτη μέλη της Ε.Ε. ενώ τα νέα πρότυπα δεν ισχύουν για οχήματα που βρίσκονται ήδη στη κυκλοφορία.

1.3.1 Επιβατικά και ελαφρά φορτηγά με κινητήρες Diesel

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών για τα καινούργια επιβατικά (Πίνακες 1.1,1.2) και ελαφρά φορτηγά (Πίνακες 1.3,1.4) με κινητήρες Diesel καθορίζονται από την Οδηγία 70/220/EEC η οποία έχει τροποποιηθεί αρκετές φορές.

Πίνακας 1.1
Πρότυπα εκπομπών Ε.Ε. για επιβατικά diesel οχήματα (Κατηγορία M1*), g/km

Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97(1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro 4	2005.01	0.5	-	0.30	0.25	0.025
Euro 5	2009.09 ^b	0.5	-	0.23	0.18	0.005 ^e
Euro 6	2014.09	0.5	-	0.17	0.08	0.005 ^e
* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N ₁ vehicles						
† Values in brackets are conformity of production (COP) limits						
a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)						
b - 2011.01 for vehicles > 2,500 kg						
e - proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure						

Σημείωση:

- **M1:** Κατηγορία οχημάτων για τη μεταφορά επιβατών, μέχρι 9 θέσεις, συμπεριλαμβανομένου του οδηγού.
- **N1:** Ελαφρά φορτηγά με μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος 3.5 tn.

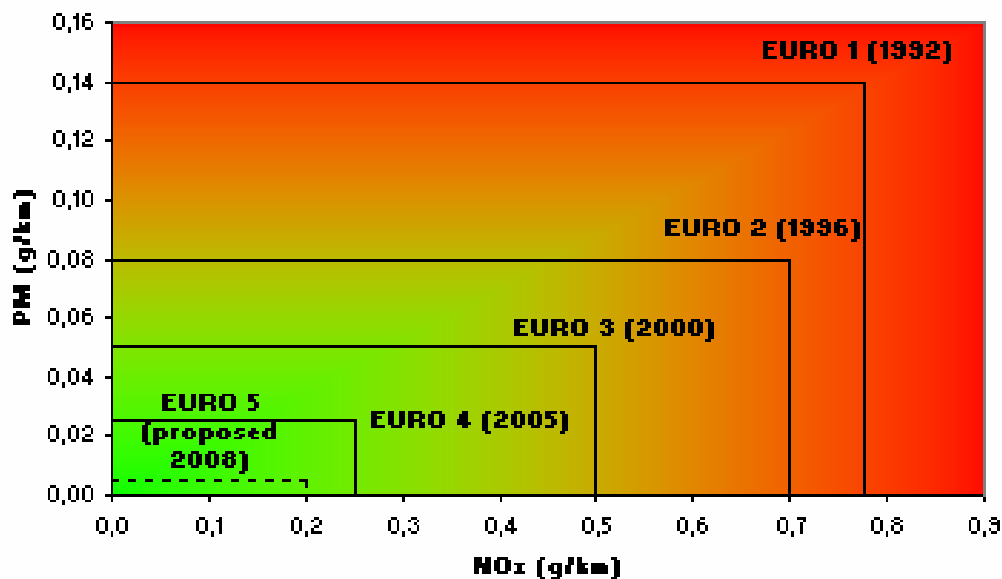
Πίνακας 1.2

Πρότυπα εκπομπών Ε.Ε. για επιβατικά βενζινοκίνητα οχήματα (Κατηγορία M1*), g/km

Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Petrol (Gasoline)						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97(1.13)	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	2000.01	2.3	0.2	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.1	-	0.08	-
Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.1 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
Euro 6	2014.09	1.0	0.1 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
† Values in brackets are conformity of production (COP) limits						
* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N ₁ vehicles						
b - 2010.09 for vehicles > 2,500 kg						
c - and NMHC = 0.068 g/km						
d - applicable only to vehicles using DI engines						
e - proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure						

Στο Σχήμα 1.2 όπου φαίνεται η εξέλιξη των ευρωπαϊκών προδιαγραφών είναι φανερή η προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στα diesel αυτοκίνητα.

NOx and PM emission standards for diesel cars



Σχήμα 1.2 Διαγραμματική αναπαράσταση της προόδου των ευρωπαϊκών προτύπων εκπομπών για αυτοκίνητα Diesel.

Πίνακας 1.3
Πρότυπα εκπομπών Ε.Ε. για ελαφρά φορτηγά με κινητήρες diesel, g/km

Category †	Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel							
N1, Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro 2, IDI	1998.01	1.00	-	0.70	-	0.08
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.00	-	0.90	-	0.10
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
	Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
	Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
N1, Class II ≤1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro 2, IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0.12
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.25	-	1.3	-	0.14
	Euro 3	2001.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04
	Euro 5	2010.09 ^c	0.63	-	0.295	0.235	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.63	-	0.195	0.105	0.005 ^e
N1, Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro 2, IDI	1998.01	1.5	-	1.20	-	0.17
	Euro 2, DI	1998.01 ^a	1.5	-	1.60	-	0.20
	Euro 3	2001.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06
	Euro 5	2010.09 ^c	0.74	-	0.350	0.280	0.005 ^e
	Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005 ^e
† For Euro 1/2 the Category N ₁ reference mass classes were Class I ≤ 1250 kg, Class II 1250-1700 kg, Class III > 1700 kg.							
‡ Proposed							
a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)							
b - applicable only to vehicles using DI engines							
c - 2012.01 for all models							
e – proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure							

Πίνακας 1.4
Πρότυπα εκπομπών Ε.Ε. για ελαφρά βενζινοκίνητα φορτηγά, g/km

Category †	Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Petrol (Gasoline)							
N1, Class I ≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	-
	Euro 2	1998.01	2.2	-	0.50	-	-
	Euro 3	2000.01	2.3	0.2	-	0.15	-
	Euro 4	2005.01	1.0	0.1	-	0.08	-
	Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.1 ^f	-	0.06	0.005 ^{d,e}
	Euro 6	2014.09	1.0	0.1 ^f	-	0.06	0.005 ^{d,e}
N1, Class II ≤1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	-
	Euro 2	1998.01	4.00	-	0.65	-	-
	Euro 3	2001.01	4.17	0.25	-	0.18	-
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	-	0.1	-
	Euro 5	2010.09 ^c	1.81	0.13 ^g	-	0.075	0.005 ^{d,e}
	Euro 6	2015.09	1.81	0.13 ^g	-	0.075	0.005 ^{d,e}
N1, Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	-
	Euro 2	1998.01	5.00	-	0.8	-	-
	Euro 3	2001.01	5.22	0.29	-	0.21	-
	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	-	0.11	-
	Euro 5	2010.09 ^c	2.27	0.16 ^h	-	0.082	0.005 ^{d,e}
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16 ^h	-	0.082	0.005 ^{d,e}
† For Euro 1/2 the Category N ₁ reference mass classes were Class I ≤ 1250 kg, Class II 1250-1700 kg, Class III > 1700 kg.							
b - applicable only to vehicles using DI engines							
c - 2012.01 for all models							
d - applicable only to vehicles using DI engines							
e - proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure							
f - and NMHC = 0.068 g/km							
g - and NMHC = 0.090 g/km							
h - and NMHC = 0.108 g/km							

1.3.2 Οχήματα βαρέος τύπου

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών για τα καινούργια βαρέος τύπου οχήματα με κινητήρες Diesel (Πίνακας 1.5) αρχικά υιοθετήθηκαν από την Οδηγία 88/77/EEC η οποία τροποποιήθηκε 3 φορές. Το 2005 οι προδιαγραφές αναθεωρήθηκαν και εδραιώθηκαν με την Οδηγία 05/55/EEC.

Πίνακας 1.5
Πρότυπα εκπομπών Ε.Ε. για βαρέος τύπου οχήματα, g/kWh (αιθάλη σε m^{-1})

Tier*	Date	Test	CO	HC	NOx	PM	Smoke
Euro I	1992, <85kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612	
	1992, >85kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25	
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
Euro III	1999.10, EEVs only	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10	ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13*	0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5

* for engines of less than 0.75 dm^3 swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min^{-1}

Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόκειται να δημοσιεύσει σύντομα μία πρόταση για το πρότυπο εκπομπών Euro VI το οποίο θα επιφέρει ρυθμίσεις για διάφορους ρύπους που δεν έχουν ακόμη οριοθετηθεί αλλά και θα επιβάλλει ακόμη πιο αυστηρά όρια εκπομπών.

1.3.3 Μέτρα μείωσης εκπομπών CO₂.

Εκτός από τους βασικούς ρύπους που είναι οι HC, τα NOx και το CO, βασικό συστατικό των καυσαερίων των αυτοκινήτων είναι και το CO₂. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, η Ευρωπαϊκή Ένωση υπέγραψε εθελοντικές συμφωνίες με την αυτοκινητοβιομηχανία για τη μείωση

των εκπομπών του CO₂. Οι συμφωνίες αυτές υπογράφηκαν την περίοδο 1998-99, με τους ακόλουθους οργανισμούς:

- ACEA – Ευρωπαϊκός Οργανισμός Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) : BMW, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Porsche, PSA Peugeot Citroën, Renault, VW Group.
- JAMA – Ιαπωνικός Οργανισμός Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (Japanese Automobile Manufacturers Association): Daihatsu, Honda, Isuzu, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Subaru, Suzuki, Toyota.
- KAMA – Κορεατικός Οργανισμός Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (Korean Automobile Manufacturers Association) : Daewoo, Hyundai, Kia, Ssangyong.

Οι παραπάνω εταιρείες κατέχουν το 90% των πωλήσεων αυτοκινήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σκοπεύει να επεκτείνει αυτές τις συμφωνίες για την υιοθέτηση ακόμα πιο φιλόδοξων στόχων στη μείωση των εκπομπών του CO₂. Οι μελλοντικές συμφωνίες θα περιλαμβάνουν μέτρα όπως φορολογικές ελαφρύνσεις και κίνητρα για μια πιο οικολογική οδήγηση. Σε περίπτωση όμως που αυτές οι συμφωνίες δεν υλοποιηθούν η Ε.Ε. θα προχωρήσει στη θέσπιση υποχρεωτικών ορίων εκπομπών.

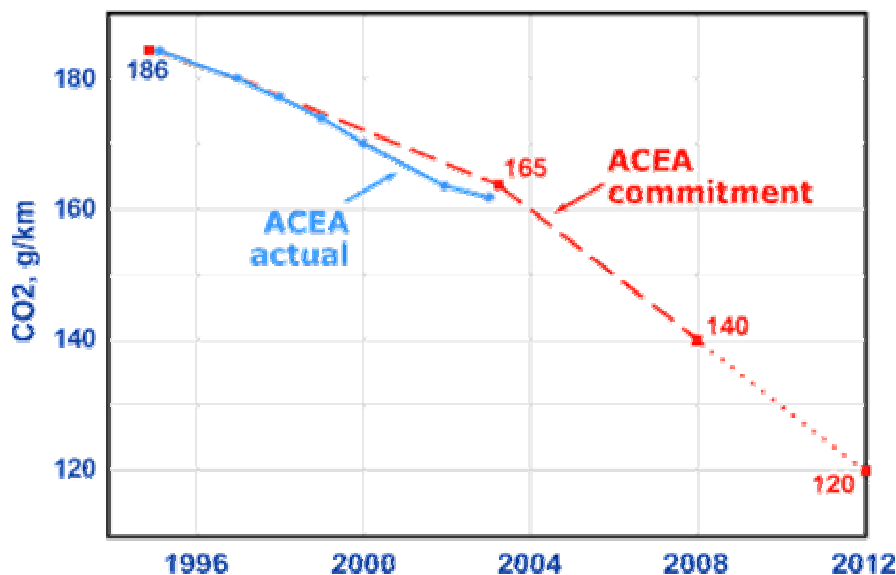
Η συμφωνία με την ACEA που υπογράφηκε τον Μάρτιο του 1998 περιλάμβανε τις παρακάτω διατάξεις:

1. Στόχος των 140 g/km για το CO₂ μέχρι το 2008 (στόχος που αντιπροσωπεύει 25% μείωση από το επίπεδο των 186 g/km το 1995).
2. Πιθανή μείωση του ορίου στα 120 g/km μέχρι το 2012.
3. Ενδιάμεσος στόχος των 165-170 g/km μέχρι το 2003.
4. Τα μέλη της ACEA να παρουσιάσουν μοντέλα μείωσης των εκπομπών του CO₂ στα 120 g/km ή ακόμα λιγότερο μέχρι το 2000.

Οι στόχοι αυτοί θα επιτευχθούν μέσω της τεχνολογίας εξοικονόμησης καυσίμων. Η Ε.Ε. υπολογίζει ότι τα επιβατικά αυτοκίνητα μέχρι το 2008/09 θα καταναλώνουν κατά μέσο όρο περίπου 5.8 λίτρα βενζίνης/100 km ή 5.25 λίτρα diesel/100 km.

Η πρόοδος που έχει συμφωνηθεί ελέγχεται από την Ε.Ε. και την ACEA. Ετήσιες αναφορές προόδου δημοσιεύονται από την Ε.Ε.. Η πρόοδος της

ACEA μέχρι το 2003 φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα και συγκρίνεται με τους στόχους που είχαν τεθεί.



Σχήμα 1.3 Μείωση CO₂ από την ACEA

Και οι τρεις οργανισμοί πάντως αντιμετωπίζουν προκλήσεις για την επίτευξη του στόχου των 140g/km μέχρι το 2008/09 αφού ο μέσος ετήσιος ρυθμός μείωσης τα επόμενα χρόνια πρέπει να είναι 2.8% για την ACEA, 3.1% για την JAMA και 3.6% για την KAMA.

1.4 Ευρωπαϊκοί «Κύκλοι Πόλης»

1.4.1 Επιβατικά-Ελαφρά οχήματα

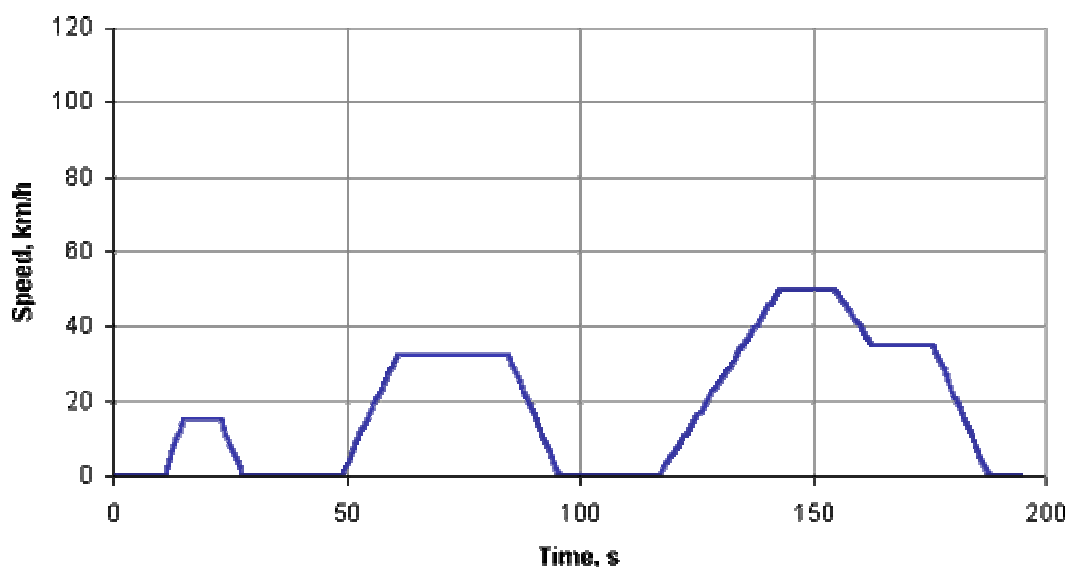
- «Κύκλος Πόλης» ECE+EUDC (NEDC)

Ο «κύκλος πόλης» ECE+EUDC εκτελείται σε μία πέδη οχημάτων και χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων από ελαφρά οχήματα-επιβατικά (light duty vehicles) στην Ευρώπη [Οδηγία 90/C81/01 της ΕΟΚ].

Ο κύκλος περιλαμβάνει τέσσερα ECE τμήματα, Σχήμα 1.4, επαναλαμβανόμενα χωρίς διακοπή, που ακολουθούνται από ένα EUDC (Extra Urban Driving Cycle) τμήμα, Σχήμα 1.5. Πριν από τη δοκιμή, το όχημα επιτρέπεται να παραμείνει για τουλάχιστον 6 ώρες σε μια θερμοκρασία δοκιμής 20-30°C. Έπειτα πραγματοποιείται η εκκίνησή του και επιτρέπεται να μείνει στο «ρελαντί» για 40 δευτερόλεπτα.

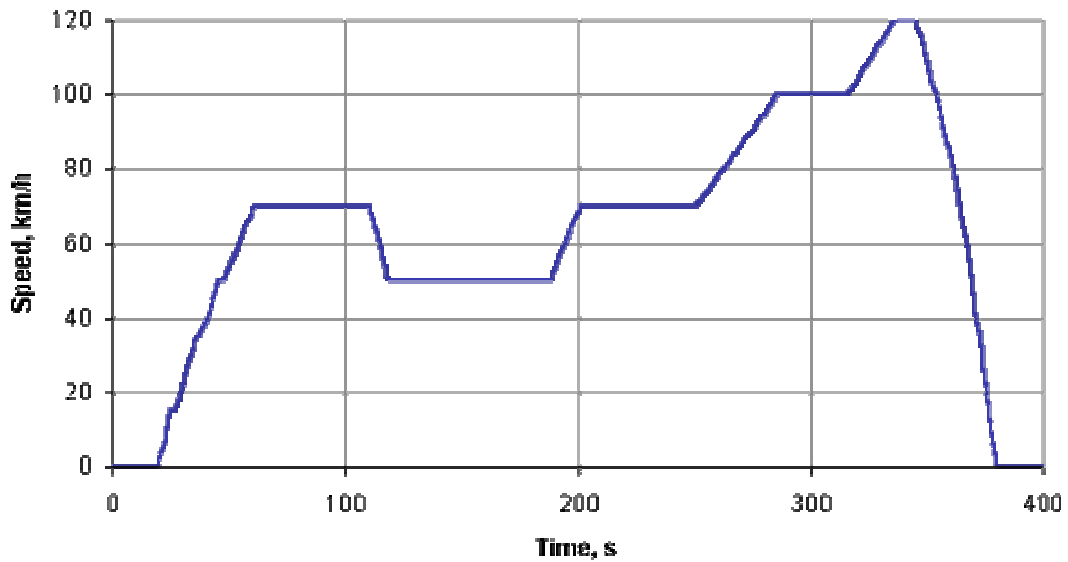
Από το έτος 2000, αυτή η περίοδος κατά την οποία το όχημα είναι στο «ρελαντί» καταργείται, δηλαδή, ο κινητήρας εκκινείται «κρύος» και η δειγματοληψία των εκπομπών αρχίζει αμέσως. Αυτή η τροποποιημένη διαδικασία ψυχρής εκκίνησης αναφέρεται επίσης ως NEDC (New European Driving Cycle).

Οι εκπομπές λαμβάνονται κατά τη διάρκεια του κύκλου σύμφωνα με τη μέθοδο «Σταθερών Όγκων» (Constant Volume Sampling), αναλύονται, και στη συνέχεια εκφράζονται σε g/km για κάθε έναν από τους μετρούμενους ρύπους.



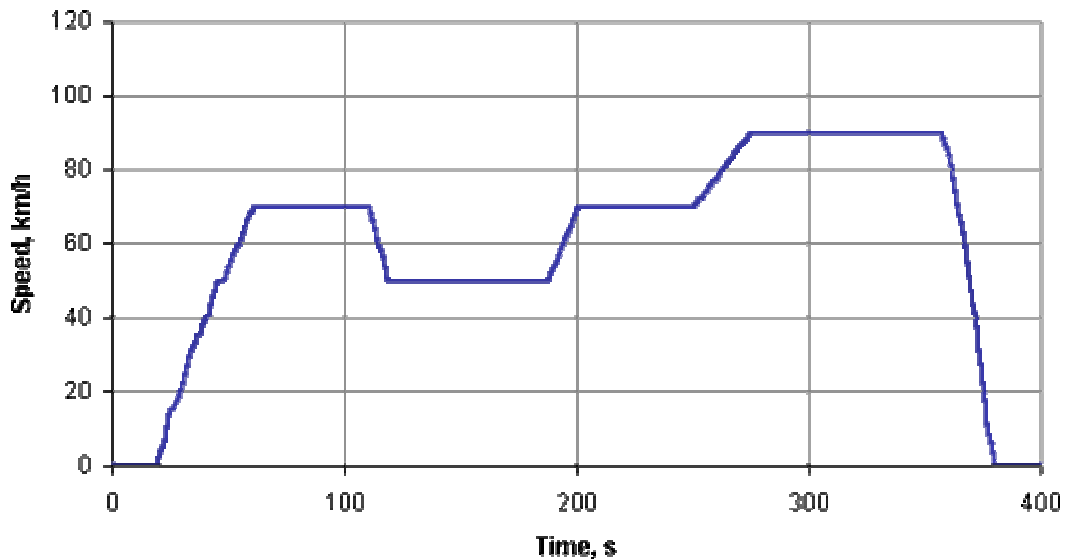
Σχήμα 1.4 «Κύκλος Πόλης» ECE

Ο ECE είναι ένας αστικός οδηγητικός κύκλος, επίσης γνωστός ως UDC (Urban Driving Cycle). Επινοήθηκε για να αντιπροσωπεύσει τις συνθήκες οδήγησης σε πόλεις όπως το Παρίσι και η Ρώμη. Χαρακτηρίζεται από τη χαμηλή ταχύτητα οχημάτων, το χαμηλό φορτίο του κινητήρα, και τη χαμηλή θερμοκρασία των καυσαερίων.



Σχήμα 1.5 «Κύκλος Πόλης» EUDC

Το τμήμα EUDC (Extra Urban Driving Cycle) έχει προστεθεί μετά από τον τέταρτο ECE κύκλο για να χαρακτηρίσει τον πιο “νευρικό” και με μεγάλη ταχύτητα τρόπο οδήγησης. Η μέγιστη ταχύτητα του κύκλου EUDC είναι 120 km/h. Επίσης έχει καθοριστεί ένας εναλλακτικός κύκλος EUDC για τα χαμηλής ισχύος οχήματα, με μέγιστη ταχύτητα που περιορίζεται σε 90 km/h (Σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6 «Κύκλος Πόλης» EUDC για χαμηλής ισχύος οχήματα

Ο Πίνακας 1.6 που ακολουθεί, περιλαμβάνει μια περίληψη των παραμέτρων για τους «κύκλους πόλης» ECE και EUDC.

Πίνακας 1.6

Χαρακτηριστικά	Μονάδα	ECE 15	EUDC
Απόσταση	km	4×1,013=4,052	6,955
Διάρκεια	s	4×195=780	400
Μέση ταχύτητα	km/h	18,7 (με ρελαντί)	62,6
Μέγιστη ταχύτητα	km/h	50	120

1.4.2 Οχήματα βαρέος τύπου

- **«Κύκλος Πόλης» ETC (European Transient Cycle)**

Ο «κύκλος πόλης» ETC (επίσης γνωστός ως FIGE, Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen) έχει εισαχθεί, μαζί με τον ESC (European Stationary Cycle), για την πιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων από βαρέος τύπου κινητήρες Diesel στην Ευρώπη ενώ η ισχύ του άρχισε το έτος 2000 (Οδηγία 1999/96/EC της 13ης Δεκεμβρίου 1999). Οι κύκλοι ESC και ETC αντικατέστησαν την παλαιότερη δοκιμή R-49.

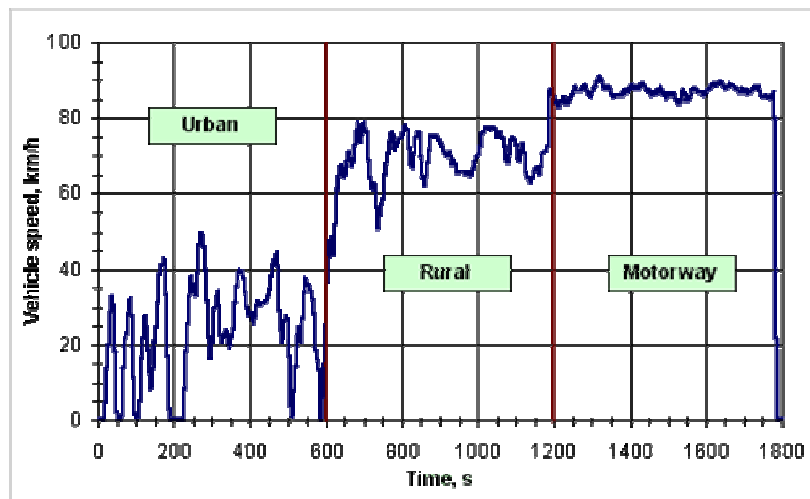
Ο κύκλος ETC έχει αναπτυχθεί από το ίδρυμα FIGE που εδρεύει στο Άαχεν της Γερμανίας, και βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε βαρέος τύπου οχήματα κατά τη διάρκεια της κυκλοφορίας τους (FIGE έκθεση 104 05 316, Ιανουάριος 1994). Ο τελικός κύκλος ETC που εφαρμόστηκε είναι μια μικρότερη και ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση της αρχικής πρότασης FIGE.

Οι διαφορετικές συνθήκες οδήγησης αντιπροσωπεύονται από τρία μέρη του κύκλου ETC, συμπεριλαμβανομένης της οδήγησης σε αστικό, επαρχιακό και εθνικό δίκτυο. Η διάρκεια ολόκληρου του κύκλου είναι 1800s. Η διάρκεια κάθε τμήματος είναι 600s.

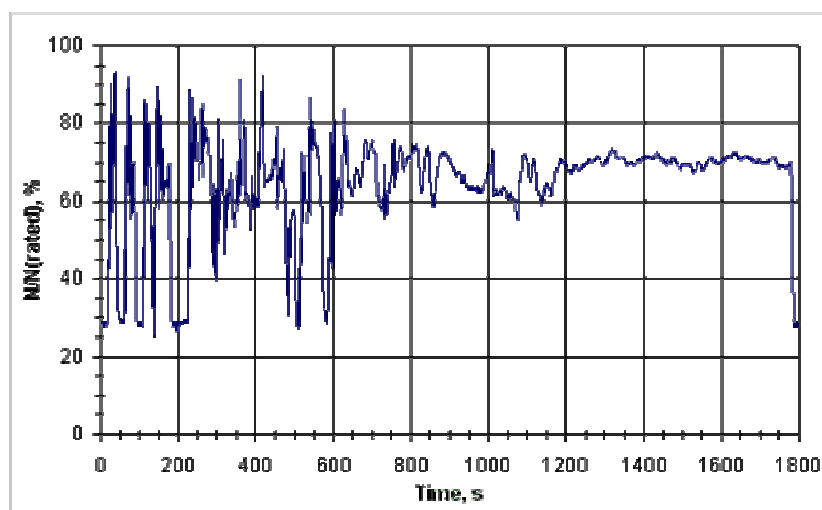
- Το πρώτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση μέσα στη πόλη (Urban) που χαρακτηρίζεται από συχνές εκκινήσεις και στάσεις και από μια μέγιστη ταχύτητα 50 km/h.

- Το δεύτερο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε επαρχιακό δίκτυο (Rural) αρχίζοντας από ένα απότομο τμήμα επιτάχυνσης. Η μέση ταχύτητα είναι περίπου 72 km/h
- Το τρίτο τμήμα αντιπροσωπεύει την οδήγηση σε δρόμο ταχείας κυκλοφορίας (Motorway) με μέση ταχύτητα περίπου 88 km/h.

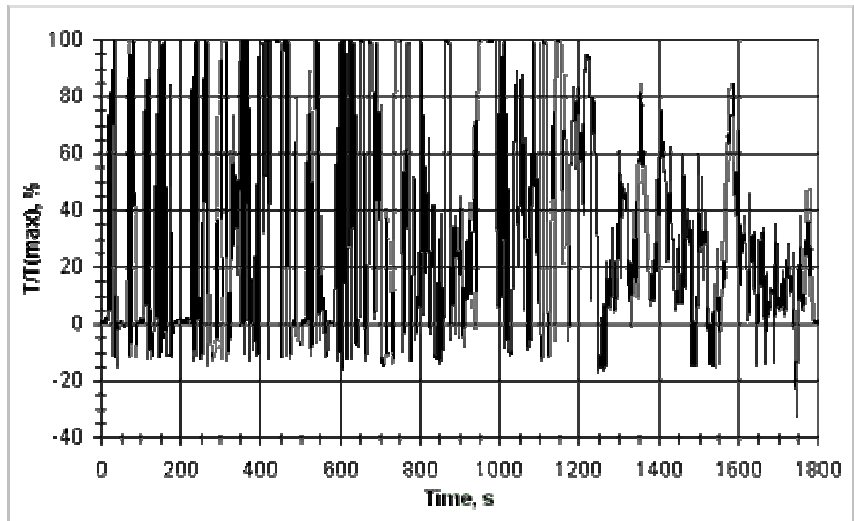
Με σκοπό την πιστοποίηση των κινητήρων, ο κύκλος ETC εκτελείται σε μία πέδη κινητήρων. Στο Σχήμα 1.7 φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος συναρτήσει του χρόνου. Οι καμπύλες της ανηγμένης ταχύτητας και ροπής του κινητήρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.8 και το Σχήμα 1.9 αντίστοιχα.



Σχήμα 1.7 «Κύκλος Πόλης» ETC – Ταχύτητα οχήματος



Σχήμα 1.8 «Κύκλος Πόλης» ETC – Ανηγμένη ταχύτητα κινητήρα

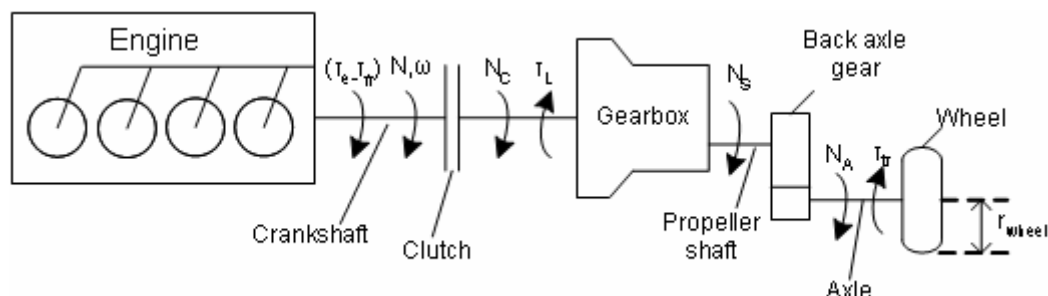


Σχήμα 1.9 «Κύκλος Πόλης» ETC – Ανηγμένη ροπή κινητήρα

2. Λειτουργία συμβατικού οχήματος

2.1 Περιγραφή λειτουργίας

Σε ένα συμβατικό όχημα η μεταφορά ροπής και η μετάδοση ισχύος από τον κινητήρα στον τροχό γίνεται όπως απεικονίζεται στο παρακάτω Σχήμα 2.1. Η κίνηση του τροχού γίνεται από τον κινητήρα διαμέσου του συμπλέκτη, του κιβωτίου ταχυτήτων και του ημιαξονίου του τροχού. Αυτό αποτελεί μια επαρκή πρώτη προσέγγιση στην ανάλυση της λειτουργίας ενός συμβατικού οχήματος.



Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση απλουστευμένης λειτουργίας συμβατικού οχήματος

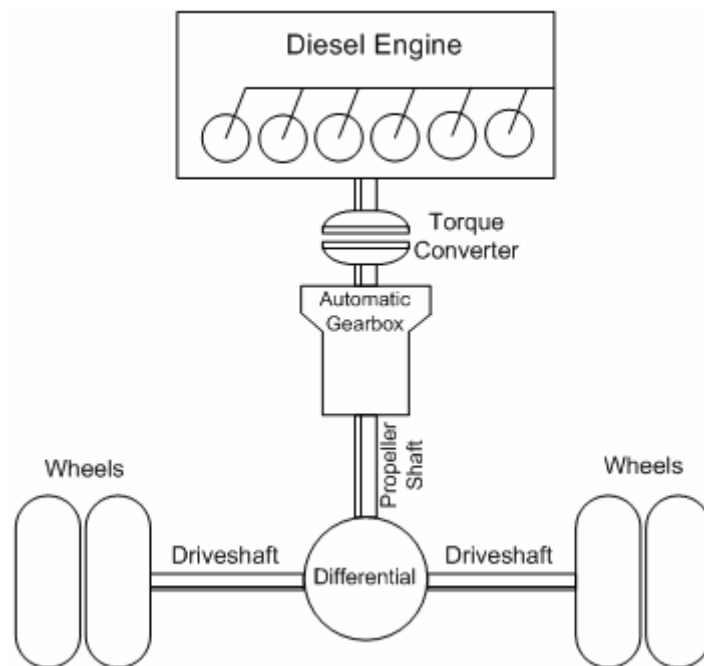
Μια πιο λεπτομερής ανάλυση της λειτουργίας ενός συμβατικού οχήματος περιλαμβάνει:

1. Το μοντέλο του κινητήρα περιγράφοντας τις θερμοδυναμικές διεργασίες στους κυλίνδρους και στις πολλαπλές σωληνώσεις εισαγωγής και εξαγωγής.
2. Το μοντέλο του συστήματος μετάδοσης ισχύος που αποτελείται από τον μετατροπέα ροπής, το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες μετάδοσης

κίνησης, το διαφορικό, τα ημιαξόνια: αυτή παρέχει τη σύνδεση μεταξύ του κινητήρα και του μοντέλου δυναμικής του οχήματος (Σχ.2.2).

3. Τη δυναμική του οχήματος.
4. Τις δυνάμεις αντίστασης στην κίνηση του οχήματος.

Ένα τυπικό σύστημα μετάδοσης ισχύος ενός 4x2 οχήματος (δηλαδή όχημα με δυο ακραξόνια, το κατευθυντήριο μπροστινό και το πίσω που ακολουθεί) απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2. Ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος στον μετατροπέα ροπής του οποίου η άτρακτος εξόδου είναι ενωμένη στο αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, στον άξονα μετάδοσης κίνησης, στο διαφορικό και σε δυο ημιαξόνια, ενώνοντας το διαφορικό με τους κινητήριους τροχούς. Όσον αφορά στο χειροκίνητο κιβώτιο ταχυτήτων, ο κινητήρας συνδέεται απευθείας στο κιβώτιο διαμέσου του συμπλέκτη.



Σχήμα 2.2 Σχηματική απεικόνιση μετάδοσης ισχύος σε φορτηγό με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων

2.2 Μετατροπέας ροπής

Ο μετατροπέας ροπής είναι ένα υδραυλικό σύστημα σύζευξης που παίζει το ρόλο του συμπλέκτη των χειροκίνητων κιβωτίων, συνδέοντας την άτρακτο του κινητήρα με αυτήν της εισόδου του κιβωτίου. Τα δυο βασικά του τμήματα

είναι η 'αντλία' που είναι μηχανικά συνδεδεμένη με τον κινητήρα και περιστρέφεται με τον ίδιο αριθμό στροφών μ' εκείνον και ο 'δέκτης' ή 'στρόβιλος'. Η αντλία είναι συγκολλημένη πάνω σε ένα περίβλημα που περικλείει ερμητικά ολόκληρο το σύστημα και είναι γεμάτο με λάδι.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί, η άτρακτος του περιστρέφει την αντλία που λειτουργεί ως φυγοκεντρική αναρροφώντας λάδι από το κέντρο του στροφείου της και διοχετεύοντας το στην περιφέρεια του μέσω των πτερυγίων του. Το λάδι έτσι τίθεται υπό πίεση και συνεχή κυκλοφορία και κατευθύνεται προς τα πτερύγια του στροβίλου τον οποίο εξαναγκάζει επίσης να περιστραφεί με την ίδια φορά. Ο στρόβιλος είναι συνδεδεμένος με τον άξονα εισόδου του κιβωτίου στον οποίο έτσι μεταδίδει την κίνηση του.

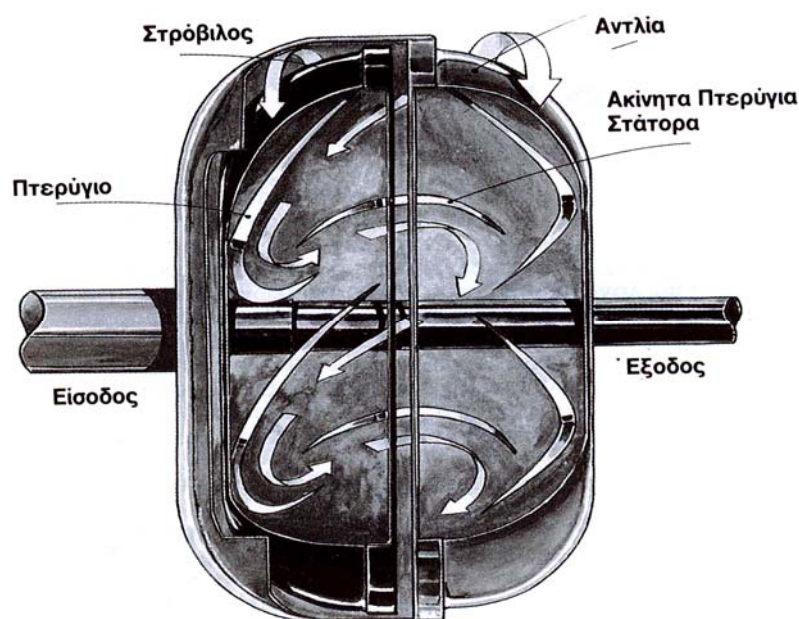
Η μεταφορά αυτή της κίνησης από την αντλία στο στρόβιλο δεν είναι άμεση, πράγμα βέβαια φυσιολογικό αφού δεν πρόκειται για άκαμπτη σύνδεση. Υπάρχει λοιπόν κάποια 'ολίσθηση' μεταξύ των δυο περιστρεφόμενων μερών μέχρι να 'προλάβει' ο στρόβιλος την αντλία και να αρχίσει να περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με αυτήν. Αυτό όμως είναι τελικά χρήσιμο, αφού είναι αυτή ακριβώς η ολίσθηση που επιτρέπει τη λειτουργία του κινητήρα στο ρελαντί όταν το αυτοκίνητο είναι σταματημένο. Σ' αυτήν την περίπτωση δηλαδή περιστρέφεται η αντλία και παραμένει ακίνητος ο στρόβιλος. Οι σχεδιαστές των αυτόματων κιβωτίων δεν άφησαν βέβαια στην τύχη της τη ροή του λαδιού μέσα στον μετατροπέα. Τα πτερύγια της αντλίας και του στροβίλου είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να σχηματίζεται ένα είδος σωληνωτού δακτυλίου και να διευθύνεται η ροή σε μια καθορισμένη πορεία. Παρ' όλα αυτά, δεν ήταν δυνατόν να εξουδετερωθεί κάθε αρνητική αλληλεπίδραση μεταξύ των δυο περιστρεφόμενων τμημάτων του μετατροπέα. Το λάδι, μετά τη μετάδοση της ροπής στο στρόβιλο και την έξοδο του από αυτόν, είχε ακόμα αρκετή ενέργεια ώστε να εμποδίζει την κίνηση της αντλίας και να επιβραδύνει τον κινητήρα.

Χρειαζόταν λοιπόν κάποια επέμβαση σ' εκείνο το σημείο και η επέμβαση αυτή έγινε με την τοποθέτηση μιας σειράς ακίνητων πτερυγίων μεταξύ της αντλίας και του στροβίλου. Έτσι το λάδι μετά την έξοδο του από το στρόβιλο περνούσε πλέον μέσα από τον 'στάτορα', η διαμόρφωση των πτερυγίων του οποίου το κατεύθυνε και πάλι προς τα πτερύγια του στροβίλου. Όπως διαπίστωσαν εκ των υστέρων οι μηχανικοί, το σύστημα αυτό όχι μόνο

εξουδετέρωσε τους ανεπιθύμητους στροβιλισμούς του λαδιού μέσα στο μετατροπέα αλλά με τη δευτερεύουσα ώθηση που έδινε το λάδι στο στρόβιλο πολλαπλασίαζε τελικά την αποδιδόμενη ροπή (γι' αυτό και το σύστημα ονομάστηκε μετατροπέας ροπής).

Η λύση του προβλήματος αυτού όμως δημιούργησε ένα άλλο: ενώ υπήρχε πολλαπλασιασμός της ροπής όταν η ταχύτητα περιστροφής του στρόβιλου ήταν μικρότερη από αυτήν της αντλίας, όταν οι δυο ταχύτητες εξισώνονταν τα ακίνητα πτερύγια του στάτορα προκαλούσαν το αντίθετο αποτέλεσμα, αποτελώντας ένα εμπόδιο στην ομαλή ροή του λαδιού. Για τη λύση αυτού του προβλήματος ο στάτορας εφοδιάστηκε με έναν συμπλέκτη που τον κρατάει ακίνητο (torque converter lock-up) μόνο όταν τα δυο περιστρεφόμενα μέρη του μετατροπέα έχουν διαφορετικές ταχύτητες. Μόλις ο στρόβιλος 'προλάβει' την αντλία, ο συμπλέκτης απελευθερώνει τον στάτορα επιτρέποντας του να περιστρέφεται μαζί με τα άλλα περιστρεφόμενα μέρη. Έτσι ο μετατροπέας ροπής παύει να είναι πλέον 'μετατροπέας' και λειτουργεί σαν υδροδυναμικός συμπλέκτης χωρίς πολλαπλασιασμό της ροπής. Για τη λειτουργία λοιπόν του αυτόματου κιβωτίου χρειάζεται ένα ολόκληρο υδραυλικό σύστημα που συνοδεύεται από μια αντλία, σκοπός της οποίας είναι η κυκλοφορία του λαδιού μέσα σε αυτό το σύστημα. Το λάδι διοχετεύεται πρώτα στο μετατροπέα ροπής κι από εκεί σε έναν εναλλάκτη ψύξης τοποθετημένο κοντά στο 'ψυγείο' του κινητήρα. Μετά την ψύξη του, το λάδι διοχετεύεται στο κύκλωμα λίπανσης του κιβωτίου. Η ίδια αντλία χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της υδραυλικής πίεσης στο σύστημα ελέγχου του κιβωτίου. Πέρα από το γεγονός ότι είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των αυτόματων κιβωτίων, η υδροδυναμική σύζευξη παρουσιάζει και ορισμένα επιπλέον πλεονεκτήματα σε σχέση με τη μηχανική, όπως π.χ. την απόσβεση κραδασμών και τη μείωση των τριβών. Από την άλλη πλευρά, όταν το σύστημα ελέγχου έχει επιλέξει τη μεγαλύτερη σχέση στο αυτόματο κιβώτιο, υπάρχει αυξημένη τάση για ολίσθηση μεταξύ των δυο περιστρεφόμενων μερών του μετατροπέα ροπής, σαν αποτέλεσμα της υψηλής ροπής που εφαρμόζεται σ' αυτά και των σχετικά χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής τους. Είναι χαρακτηριστικό ότι με τη μεγαλύτερη σχέση στο κιβώτιο η ολίσθηση στο μετατροπέα ροπής μπορεί να είναι μέχρι και δυο φορές μεγαλύτερη απ' ότι με την αμέσως μικρότερη σχέση. Για το λόγο αυτόν υπάρχει ένας μηχανικός

συμπλέκτης που σε αυτήν την περίπτωση ενεργοποιείται και συνδέει την αντλία με τον στρόβιλο έτσι ώστε να περιστρέφονται σαν ένα σώμα.



Σχήμα 2.3 Υδραυλικός μετατροπέας ροπής

Η παραπάνω σχηματική παράσταση δείχνει τη ροή του λαδιού μέσα στον υδραυλικό μετατροπέα ροπής. Παρατηρούμε τον τρόπο με τον οποίο τα πτερύγια του στάτορα επαναπροσανατολίζουν τη ροή προς τον στρόβιλο. Αυτό συμβαίνει μόνο μέχρι να 'προλάβει' ο στρόβιλος την αντλία και έχει σαν αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό της ροπής.

2.3 Το κιβώτιο ταχυτήτων

Ο υδραυλικός μετατροπέας ροπής παίζει το ρόλο του συμπλέκτη. Απ' αυτόν η κίνηση μεταδίδεται στο κιβώτιο ταχυτήτων όπου, όπως και στο χειροκίνητο κιβώτιο, ένας αριθμός γρاناζιών χρησιμοποιείται για τον υποπολλαπλασιασμό του αριθμού των στροφών του κινητήρα ανάλογα με τις απαιτήσεις κίνησης του αυτοκινήτου. Σε αντίθεση όμως με τα χειροκίνητα κιβώτια, όπου για κάθε σχέση υπάρχει άμεση εμπλοκή δυο γρاناζιών διαφορετικού μεγέθους (εκτός από την περίπτωση όπου μια σχέση είναι 1:1, οπότε τα δυο γρανάζια είναι ίδιου μεγέθους), στα αυτόματα κιβώτια υπάρχει

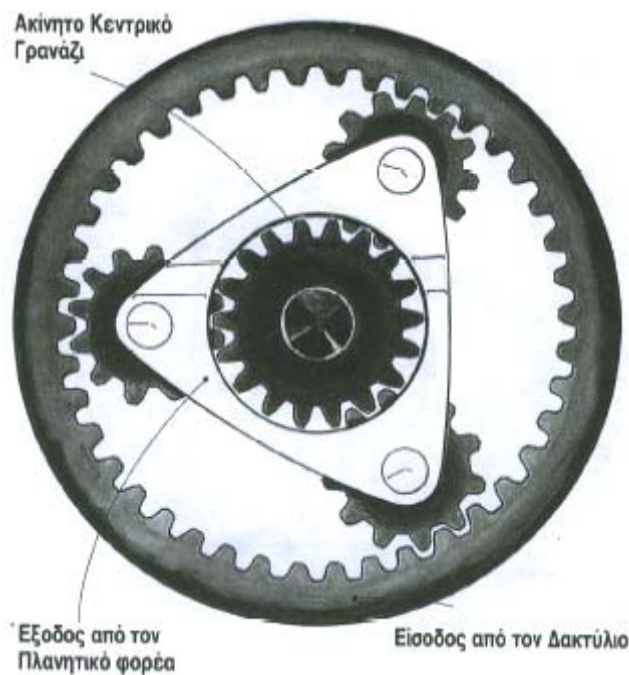
επικυκλικό σύστημα ή όπως ονομάζεται αλλιώς σύστημα πλανητικών γранаζιών.

Στο επικυκλικό σύστημα οδοντωτών τροχών υπάρχει ένα κεντρικό γρανάζι (ή «γρανάζι – ήλιος») γύρω από το οποίο κινούνται δυο μικρότερα γρανάζια, οι πλανήτες ή πλανητικά γρανάζια που συνδέονται με έναν κοινό φορέα, τον πλανητικό φορέα. Γύρω απ' αυτά υπάρχει ένας δακτύλιος με εσωτερική οδόντωση, έτσι ώστε να υπάρχει συνεχής εμπλοκή μεταξύ αυτών των τριών διαφορετικών τύπων γранаζιών. Το κεντρικό γρανάζι αποτελεί την κατάληξη του άξονα εισόδου, ο δακτύλιος είναι ακίνητος, ο πλανητικός φορέας συνδέεται με τον άξονα εξόδου και τα μεγέθη αυτών των τριών τύπων γранаζιών είναι εντελώς διαφορετικά. Κατά συνέπεια η μετάδοση ενός αριθμού στροφών στο ένα από αυτά, συνεπάγεται την περιστροφή των άλλων με μικρότερο ή μεγαλύτερο αριθμό στροφών, ακριβώς δηλαδή αυτό που έχει σαν σκοπό ένα κιβώτιο ταχυτήτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο άξονας εισόδου που μεταφέρει τη ροπή από τον υδραυλικό μετατροπέα, κινεί το κεντρικό γρανάζι. Καθώς αυτό περιστρέφεται, εξαναγκάζει σε περιστροφή τα δυο πλανητικά γρανάζια που βρίσκονται σε εμπλοκή μαζί του και καθώς αυτά βρίσκονται ταυτόχρονα σε εμπλοκή και με τον ακίνητο δακτύλιο, εξαναγκάζονται τελικά εκτός από την περιστροφή γύρω από τον εαυτό τους να κινούνται και γύρω από το κεντρικό γρανάζι (ακριβώς όπως οι πλανήτες γύρω από τον ήλιο). Η κίνηση αυτή έχει τελικά σαν αποτέλεσμα την περιστροφή του πλανητικού φορέα και του άξονα εξόδου, με ταχύτητα μικρότερη από αυτήν του άξονα εισόδου. Υπάρχει δηλαδή ένας υποπολλαπλασιασμός στροφών, όπως ακριβώς θα συνέβαινε και κατά τη μετάδοση της κίνησης από ένα μικρότερο σε ένα μεγαλύτερο γρανάζι σε μια από τις σχέσεις μετάδοσης ενός χειροκίνητου κιβωτίου.

Τα επικυκλικά συστήματα γранаζιών είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να βρίσκονται συνεχώς σε εμπλοκή μεταξύ τους αρκετά δόντια για να περιορίζονται οι τριγμοί κατά τις αλλαγές σχέσεων αλλά και για την κατανομή φορτίου της ροπής σε πολλά δόντια κάτι που αυξάνει την αντοχή του συστήματος. Επίσης, όλα τα γρανάζια του περιστρέφονται στο ίδιο επίπεδο.

Το σύστημα όμως που περιγράφηκε δεν αποτελεί παρά μόνο μια απλουστευμένη παρουσίαση των επικυκλικών συστημάτων των αυτόματων κιβωτίων. Στην πράξη τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα και δεν μεταδίδει την

κίνηση ο άξονας εισόδου μόνο στο κεντρικό γρανάζι, ούτε ο άξονας εξόδου κινείται μόνο από τον πλανητικό φορέα, ούτε τελικά ο δακτύλιος είναι ακίνητος. Αντίθετα, μέσω ενός αριθμού συμπλεκτών, που ενεργοποιούνται από ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου, η κίνηση από τον κινητήρα μεταδίδεται πότε στο ένα και πότε στο άλλο γρανάζι, από αυτό σε κάποιο από τα υπόλοιπα κι από εκεί στον άξονα εξόδου, έτσι ώστε να υπάρξουν τελικά από κάθε επικυκλικό σύστημα περισσότερες από μια σχέσεις μετάδοσης.



Σχήμα 2.4 Η μετάδοση της κίνησης μέσω επικυκλικού συστήματος.

Στο Σχήμα 2.4, η ισχύς μεταδίδεται από τον άξονα εισόδου στο δακτύλιο και το κεντρικό γρανάζι συγκρατείται ακίνητο. Μ' αυτό τον τρόπο η κίνηση από τον δακτύλιο μεταδίδεται τελικά στα πλανητικά γρανάζια που αναγκαστικά στρέφονται γύρω από το ακίνητο κεντρικό γρανάζι, περιστρέφοντας έτσι τον πλανητικό φορέα και μεταδίδοντας τελικά υποπολλαπλασιασμένη την κίνηση στον άξονα εξόδου.

Για καθαρά πρακτικούς λόγους - μια και χρειάζονται στο σύστημα μετάδοσης δυο σχέσεις υποπολλαπλασιασμού - σε καθένα από τα πλανητικά συστήματα των αυτομάτων κιβωτίων δεν χρησιμοποιούνται όλοι οι παραπάνω

συνδυασμοί. Σε κάθε κιβώτιο χρησιμοποιούνται τελικά δυο επικυκλικά συστήματα, με τα οποία είναι δυνατή η αυτόματη επιλογή δύο σχέσεων υποπολλαπλασιασμού και της άμεσης μετάδοσης (δηλαδή συνολικά 3 σχέσεων) για κίνηση προς τα εμπρός, «νεκράς» και όπισθεν. Στα αυτόματα κιβώτια που έχουν 4 σχέσεις μετάδοσης (υπάρχει και “overdrive”) προστίθεται και ένα τρίτο επικυκλικό σύστημα.

Η πιο συνηθισμένη διάταξη των επικυκλικών συστημάτων που χρησιμοποιείται στα αυτόματα κιβώτια είναι αυτή που περιλαμβάνει ένα κοινό κεντρικό γρανάζι ή για την ακρίβεια κεντρικά γρανάζια που βρίσκονται πάνω σε ένα κοινό άξονα και περιστρέφονται ταυτόχρονα. Έτσι, όταν ο δακτύλιος ή οι πλανήτες του μπροστινού συστήματος μεταδίδουν την ισχύ στο κεντρικό γρανάζι, αυτό με τη σειρά του τη μεταδίδει στο δακτύλιο και τους πλανήτες του πίσω συστήματος. Η διάταξη αυτή αφήνει δυνατότητες για πολλούς συνδυασμούς, καθώς είναι δυνατοί διάφοροι δρόμοι μετάδοσης της ισχύος μέσω των γραναζιών των δυο επικυκλικών συστημάτων, με κάποια από αυτά να περιστρέφονται και κάποια άλλα να συγκρατούνται ακίνητα. Οι συνδυασμοί αυτοί επιτυγχάνονται με μια σειρά συμπλεκτών και ταινιών συγκράτησης που ελέγχονται μέσω ενός αριθμού βαλβίδων από το κεντρικό υδραυλικό σύστημα.

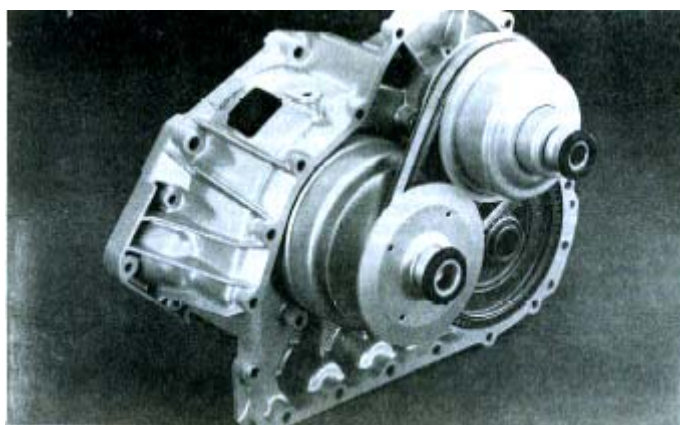
Όλα αυτά δείχνουν πόσο πιο πολύπλοκο είναι ένα αυτόματο κιβώτιο από ένα χειροκίνητο και εξηγούν γιατί το κόστος του πρώτου είναι μεγαλύτερο. Σήμερα βέβαια, με τη ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών και με την ευρεία εφαρμογή τους και στο αυτοκίνητο, υπάρχει αντίστοιχη εξέλιξη και στα συστήματα ελέγχου των αυτόματων κιβωτίων, ένα μέρος της δουλειάς των οποίων αναλαμβάνεται από τα ηλεκτρονικά που αντικαθιστούν έτσι κάποια υδραυλικά εξαρτήματα.

2.4 Κιβώτιο Συνεχώς Μεταβαλλόμενης Σχέσης Μετάδοσης (Continuously Variable Transmission)

Μια ειδική περίπτωση αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων είναι το κιβώτιο συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (CVT). Το ιδανικό κιβώτιο ταχυτήτων θα έπρεπε να διαθέτει έναν άπειρο αριθμό σχέσεων έτσι ώστε ο κινήτρας να εργάζεται στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας του. Το CVT ξεκίνησε

από την ιδέα ότι η κίνηση θα μπορούσε να μεταφέρεται από έναν ιμάντα ο οποίος θα εφαρμόζει σε δυο μεταβλητής διαμέτρου τροχαλίες. Η σχέση μετάδοσης, που ισούται με το λόγο των διαμέτρων των δυο τροχαλιών, μπορεί θεωρητικά να πάρει άπειρες τιμές ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη.

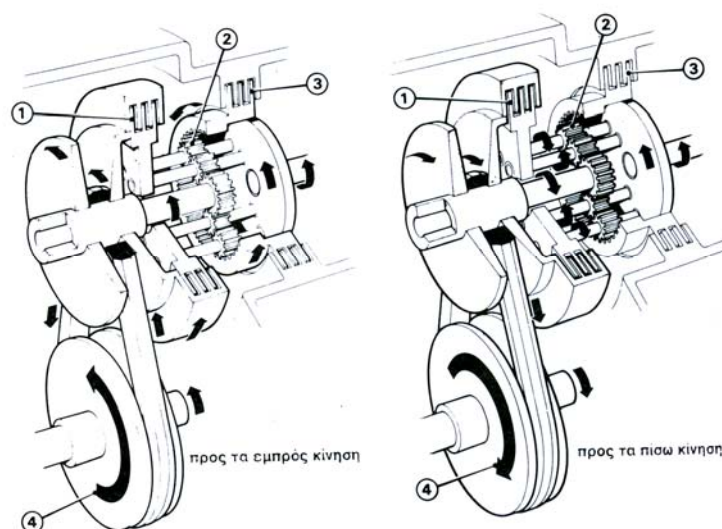
Στο CVT η επιλογή της σχέσης γίνεται με βάση έναν αλγόριθμο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα του αυτοκινήτου, το φορτίο και τις απαιτήσεις του οδηγού. Το εύρος των σχέσεων που μπορεί να προσφέρει το CVT είναι μεγαλύτερο ακόμα κι από ενός πεντατάχυτου κιβωτίου. Η 'πρώτη', ή καλύτερα η σχέση εκκίνησης, είναι πιο "κοντή" απ' ό τι συνήθως, ενώ η τελική πιο "μακριά" από overdrive. Το CVT, που περικλείεται από ένα χυτό αλουμινένιο κάλυμμα, περιλαμβάνει ένα πλανητικό σύστημα γραναζιών με δυο υγρούς πολύδισκους συμπλέκτες καθώς και το σύστημα ιμάντων – τροχαλιών. Το τελευταίο τμήμα αποτελεί και την καρδιά του κιβωτίου παρέχοντας ομαλή και σταδιακή μεταβολή της σχέσης μετάδοσης. Όταν η τροχαλία η συνδεδεμένη με τον κινητήρα βρίσκεται στην ελάχιστη της διάμετρο και η άλλη στη μέγιστη, τότε επιτυγχάνεται η πιο 'κοντή' σχέση (ακριβώς όπως στα ποδήλατα με ταχύτητες). Σταδιακά μεγαλώνει η διάμετρος της τροχαλίας του κινητήρα και μειώνεται η διάμετρος της άλλης, αλλάζοντας τη σχέση μετάδοσης. Η μεταβολή της διαμέτρου των δυο τροχαλιών γίνεται ταυτόχρονα έτσι που να διατηρείται σταθερό το μήκος του ιμάντα.



Σχήμα 2.5 Όταν η διάμετρος της τροχαλίας του κινητήρα έχει τη μικρότερη διάμετρο (και η δεύτερη τη μεγαλύτερη), τότε το CVT διαθέτει την "κοντύτερη" σχέση μετάδοσης. Στην ακριβώς αντίθετη περίπτωση το CVT λειτουργεί με τη "μακρύτερη" δυνατή σχέση.

Στην πραγματικότητα δεν είναι ακριβώς η διάμετρος της τροχαλίας που μεταβάλλεται αλλά τα δυο κωνικού σχήματος πλαϊνά τμήματα που μπορούν να απομακρύνονται και να πλησιάζουν, έτσι ώστε το αυλάκι σχήματος V που ορίζουν να μετατοπίζεται προς το κέντρο ή προς την περιφέρεια της τροχαλίας.

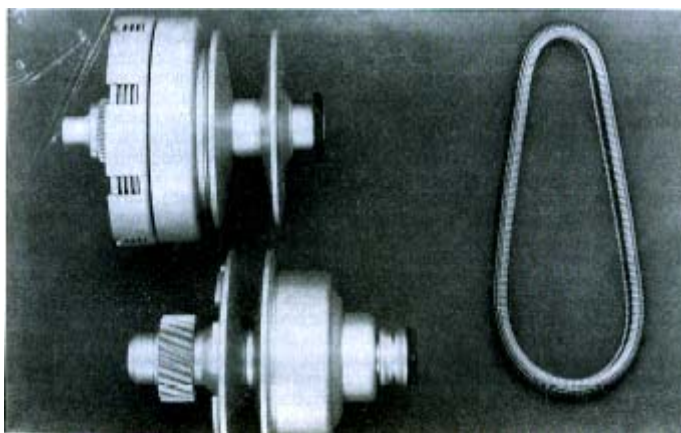
Ανάμεσα στο σφόνδυλο του κινητήρα και το σύστημα ιμάντα / τροχαλίας παρεμβάλλεται ένα σύστημα επικυκλικών γριναζιών που λειτουργεί με δύο τρόπους. Για την προς τα εμπρός κίνηση (Σχ.2.6) συμπλέκεται ο συμπλέκτης (1) με αποτέλεσμα να παρασύρεται όλο το πλανητικό σύστημα στη διεύθυνση περιστροφής του άξονα του κινητήρα. Όταν επιλεγεί η όπισθεν συμπλέκεται ο συμπλέκτης (3) σταθεροποιώντας το περιφερειακό γριναζί, οπότε οι πλανήτες αναγκάζουν τον ήλιο να περιστραφεί στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν του κινητήρα. Και οι δυο συμπλέκτες βρίσκονται μέσα σε λάδι ώστε να αποφεύγεται η φθορά και η υπερθέρμανση τους, ταυτόχρονα δίνοντας τη δυνατότητα στο αυτοκίνητο να κυλά πολύ αργά όταν ο κινητήρας εργάζεται στο 'ρελαντί', κάτι που προσφέρουν όλα τα αυτοκίνητα με αυτόματο κιβώτιο και βοηθάει πολύ στους τοπικούς ελιγμούς.



Σχήμα 2.6 Λειτουργία επικυκλικών γριναζιών

Ο έλεγχος της σχέσης μετάδοσης γίνεται με την μετακίνηση των πλαϊνών μερών των τροχαλιών. Αυτό επιτυγχάνεται με υδραυλική πίεση από μια αντλία που περιστρέφεται από τον κινητήρα. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται η σύμπλεξη των δυο πολύδισκων συμπλεκτών.

Η μετάδοση της κίνησης στο CVT δεν επιτυγχάνεται με έκταση αλλά με συμπίεση του ιμάντα. Ένας συμβατικός ιμάντας μόλις πιεστεί λυγίζει, όμως στην περίπτωση αυτή τα 320 μεταλλικά του στοιχεία σχήματος V (που ενώνονται με δυο ομάδες από πολύ λεπτούς μεταλλικούς 'ιμάντες', εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ευκαμψία) μπορούν να μεταφέρουν μια δύναμη πιέζοντας το ένα το άλλο. Το κάθε μεταλλικό στοιχείο είναι κατασκευασμένο με μεγάλη ακρίβεια και από μέταλλο μεγάλης τραχύτητας.



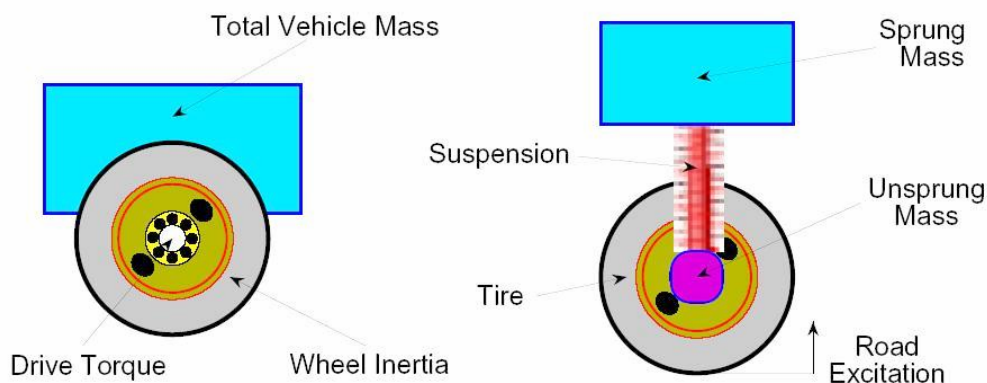
Σχήμα 2.7 Η δημιουργία της απαιτούμενης (για τη μετάδοση της κίνησης) τριβής μεταξύ του ιμάντα και των τροχαλιών δεν γίνεται με την πρόταση του ιμάντα αλλά με τη συμπίεση των πλαϊνών των μεταλλικών στοιχείων από τις παρειές της τροχαλίας

Ο χειρισμός του CVT είναι ανάλογος ενός συνηθισμένου αυτόματου κιβωτίου. Ο οδηγός επιλέγει την ταχύτητα που θέλει να κινηθεί χρησιμοποιώντας μόνο γκάζι και φρένο. Ο τρόπος που αλλάζουν οι ταχύτητες δίνει την εντύπωση οδήγησης ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Ο μοχλός διαθέτει τις συνήθειες (για τα αυτόματα κιβώτια) ενδείξεις P-R-N-D-L. Ο κινητήρας παίρνει μπρος μόνο στις θέσεις 'Park' και 'Neutral'. Όταν ο μοχλός τοποθετηθεί στη θέση 'Drive' ενεργοποιείται ο κατάλληλος υδραυλικός υγρός πολύδισκος συμπλέκτης ο οποίος μεταφέρει σταδιακά την κίνηση στους τροχούς. Όσο ο κινητήρας βρίσκεται στο ρελαντί, το αυτοκίνητο - εφόσον ο οδηγός δεν πατάει το φρένο – κυλά πολύ σιγά. Μόλις πατηθεί το πεντάλ του γκαζιού, αμέσως αρχίζει να μεταφέρεται η ισχύς του κινητήρα κατευθείαν στους τροχούς με τα επικυκλικά γρανάζια μπλοκαρισμένα ώστε να μην υπάρχουν απώλειες τριβής και φυσικά χωρίς τις γνωστές απώλειες ολίσθησης των μετατροπών ροπής.

Οι πληροφορίες για την ταχύτητα του οχήματος και θέση του επιταχυντή μεταφέρονται στην υδραυλική μονάδα ελέγχου που είναι προγραμματισμένη να εκμεταλλεύεται στο μέγιστο τις δυνατότητες του κινητήρα.

2.5 Δυναμική του οχήματος

Η δυναμική συμπεριφορά των ελαστικών και μη ελαστικών στοιχείων του οχήματος διαμορφώνεται μέσω της αλληλεπίδρασης δρόμου/ελαστικού. Το δεδομένο εισόδου στο σύστημα μελέτης είναι το προφίλ του δρόμου. Η ροπή του συστήματος μετάδοσης ισχύος μπορεί να θεωρηθεί ότι εφαρμόζεται στο κέντρο του τροχού και η ολίσθηση του τροχού επιδρά πάνω στη διαθέσιμη δύναμη έλξης που επιταχύνει το όχημα. Η δύναμη έλξης αυξάνεται γραμμικά με την ολίσθηση του τροχού και σταθεροποιείται όταν προσεγγίσει την τιμή που είναι ίση με το βάρος του τροχού πολλαπλασιασμένο με τον συντελεστή τριβής δρόμου/ελαστικού μ .

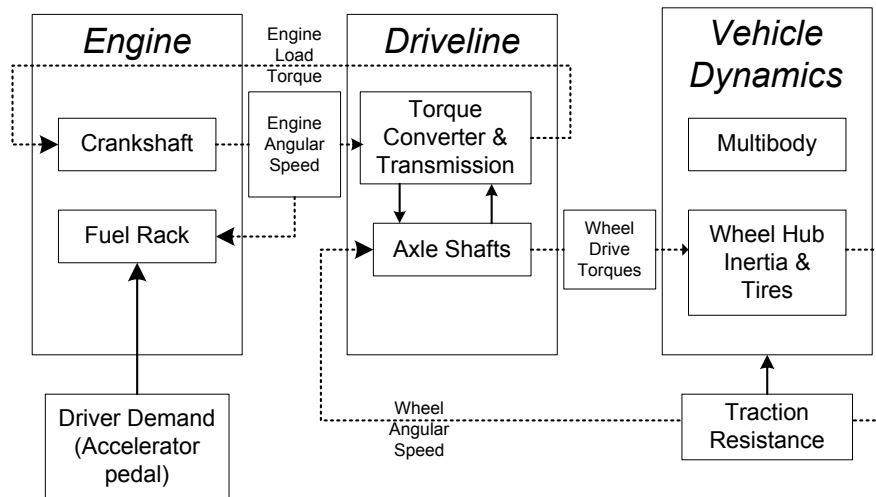


Σχήμα.2.8 Δυναμική οχήματος σε διαμήκεις (αριστερά) και καθ' ύψος (δεξιά) κατευθύνσεις

2.6 Μεθοδολογία Ολοκλήρωσης

Στο επόμενο σχεδιάγραμμα 2.9 απεικονίζεται η μεθοδολογία ολοκλήρωσης σε σύστημα μετάδοσης ισχύος της λεπτομερούς ανάλυσης της δυναμικής του οχήματος με έμφαση στις παραμέτρους κλειδιά του κάθε μοντέλου. Μια από τις κύριες δυσκολίες που αντιμετωπίζονται σε τέτοιου είδους μελέτες είναι ο κατάλληλος σύνδεσμος μεταξύ του μοντέλου προσομοίωσης του κινητήρα και του αντίστοιχου μοντέλου της δυναμικής του οχήματος. Η δυσκολία μεγαλώνει

εξαιτίας των διαφορετικών χρονικών βημάτων που απαιτούνται για την επίλυση των διαφορικών εξισώσεων σε κάθε μοντέλο. Το μοντέλο του κινητήρα απαιτεί ένα χρονικό βήμα της τάξης της μιας μοίρας γωνίας στροφάλου, το οποίο είναι πολύ μικρό για τη δυναμική του οχήματος.



Σχήμα 2.9 Μεθοδολογία ολοκλήρωσης σε σύστημα μετάδοσης ισχύος.

Σκοπός της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι να βρεθεί ο καλύτερος λειτουργικός τρόπος για όλο το σύστημα μετάδοσης ισχύος και όχι μόνο για το κάθε τμήμα χωριστά. Αυτό ισχύει για οποιοδήποτε συνδυασμό κινητήρα και κιβωτίου, ωστόσο τα CVTs είναι ιδιαίτερως κατάλληλα για ελαστικό, συνδυασμένο έλεγχο. Τα χειροκίνητα κιβώτια και οι συμπλέκτες είναι μηχανικά πιο αποδοτικά, ωστόσο ο αυτοματισμός απαιτείται για να ελαττώσει την επίδραση εκείνου του στοιχείου που μειώνει περισσότερο την αποτελεσματικότητά τους, όπως π.χ. ο οδηγός. Μέγιστη διευκόλυνση στην μεθοδολογία ολοκλήρωσης σε σύστημα μετάδοσης ισχύος αποτέλεσε η εισαγωγή της τεχνολογίας δίοδου CAN (Controller Area Network) ή παρόμοιων ψηφιακών συνδέσμων επικοινωνίας που τώρα πλέον σχεδόν σε παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιούνται στις μονάδες ηλεκτρονικού ελέγχου (ECU).

3. Υβριδική Τεχνολογία

3.1 Ανάλυση υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος

Η παγκόσμια ανησυχία, δεδομένου της συνεχούς ελάττωσης των αποθεμάτων πετρελαίου και της περιβαλλοντικής ρύπανσης, κινητοποίησε την έρευνα/ανάπτυξη των εναλλακτικών συστημάτων μετάδοσης ισχύος. Ένα τέτοιο εναλλακτικό σύστημα προώθησης είναι και το υβριδικό - ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Hybrid Electric Vehicle), το οποίο ευρέως θεωρείται ως το μεταβατικό στάδιο στην πορεία για το Όχημα Μηδενικών Εκπομπών (Zero Emission Vehicle). Το τελευταίο, πιθανότατα, θα έχει σύστημα κίνησης μέσω κυψελών καυσίμου ή μόνο από μπαταρίες. Τα συμβατικά συστήματα των αυτοκινήτων, των οποίων η περιγραφή έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να συνδυαστούν με ηλεκτροκινητήρες, με γεννήτριες, με μετασχηματιστές τάσης και με συσσωρευτές για να γίνουν τμήμα ενός υβριδικού συστήματος μετάδοσης ισχύος. Αυτός ο συνδυασμός προσφέρει τη δυνατότητα αποσύνδεσης της διαδικασίας μετατροπής ενέργειας από τον κύκλο λειτουργίας ενός συμβατικού οχήματος. Κατά συνέπεια, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει στη βέλτιστη απόδοση σε μεγαλύτερη έκταση κατά τη διάρκεια ζωής του και υπόκειται σε μικρότερη εξωτερική επίδραση (π.χ. συνθήκες οδοστρώματος) που έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση της κατανάλωσης τουλάχιστον κατά 15-20% σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα. Δυο είναι οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν :

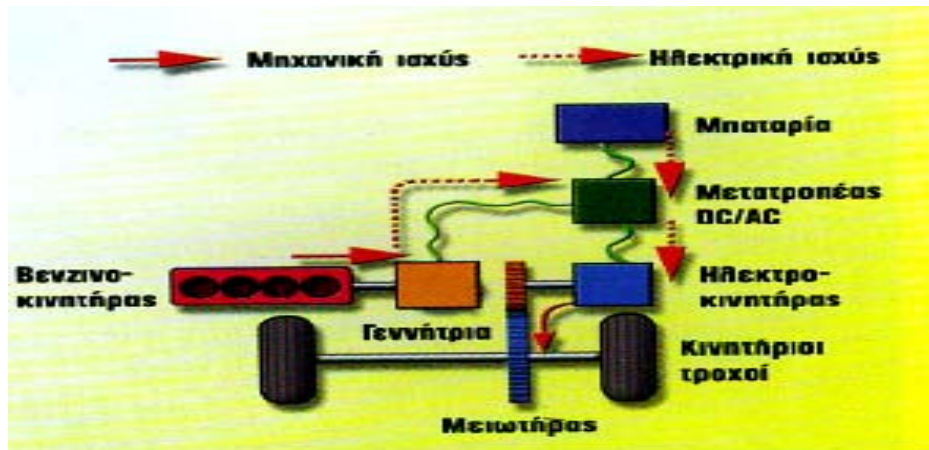
- α) το κόστος του οχήματος που είναι κατά 50% υψηλότερο από το αντίστοιχο συμβατικό
- β) το σύστημα ολοκλήρωσης και ελέγχου.

Τα διάφορα στοιχεία στο σύστημα μετάδοσης ισχύος πρέπει να συντονιστούν προσεκτικά για την μεγιστοποίηση των οφελών. Η βελτιστοποίηση απαιτείται στο σχεδιασμό και του συστήματος και της διαδικασίας ελέγχου. Η εμφάνιση των ηλεκτρονικών 42-Volt στα οχήματα κάνει την ολοκλήρωση των ηλεκτροκινητήρων/γεννητριών, των στροβιλοσυμπιεστών και των υπολοίπων συμπληρωματικών στοιχείων του κινητήρα μια ενδιαφέρουσα πρόταση για μελλοντικά ανεπτυγμένα συστήματα μετάδοσης ισχύος.

Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τύπους ανάλογα με τη συνδεσμολογία:

- Σειριακά
- Παράλληλα
- Μικτά, που είναι ουσιαστικά συνδυασμός σειριακών και παράλληλων.

Σε ένα σειριακό υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος (Σχήμα 3.1) την κίνηση δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας ο οποίος δέχεται ηλεκτρική ενέργεια είτε από μια συστοιχία μπαταριών είτε από μια Μ.Ε.Κ. μέσω γεννήτριας. Ο κινητήρας είναι συνήθως μικρότερος σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος καθώς έχει να αντιμετωπίσει μέτριες σε ισχύ οδηγικές απαιτήσεις. Αφού δεν είναι συνδεδεμένος απευθείας στο κιβώτιο ταχυτήτων, λειτουργεί σε συγκεκριμένες στροφές/φορτίο του πεδίου λειτουργίας όπου η απόδοση είναι υψηλή ή μπορεί να βρίσκεται προσωρινά ακόμα και εκτός λειτουργίας. Έτσι έχουμε ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της βενζίνης. Η συστοιχία των μπαταριών είναι γενικά μεγάλης ισχύος με σκοπό να ικανοποιεί επιπλέον υψηλές οδηγικές ανάγκες, προσθέτοντας όμως βάρος και επιπλέον κόστος στο αυτοκίνητο. Οι επιδόσεις του αυτοκινήτου με αυτόν τον σχηματισμό εξαρτώνται άμεσα από την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος πρέπει να διαθέτει μεγάλο μέγεθος προκειμένου να αποδώσει την απαιτούμενη ισχύ. Ένας τόσο ισχυρός κινητήρας απαιτεί, με τη σειρά του, μεγάλο μέγεθος και βάρος συσσωρευτών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του σε ρεύμα, όταν ο οδηγός επιταχύνει – έστω κι αν υπάρχει δευτερεύουσα γραμμή που να μεταφέρει το ρεύμα της γεννήτριας απευθείας στον ηλεκτροκινητήρα, παρακάμπτοντας τους συσσωρευτές.

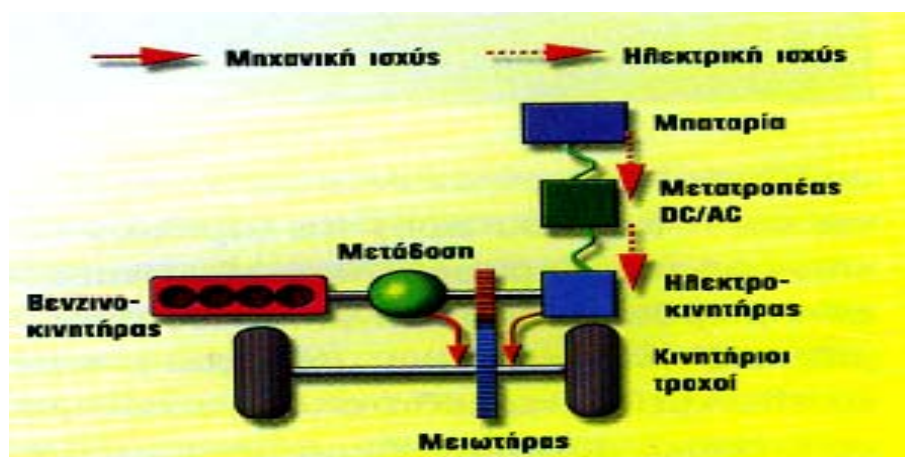


Σχήμα 3.1 Σειριακή συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα με βενζινοκινητήρα

Σε έναν παράλληλο υβριδικό σχηματισμό (Σχήμα 3.2) και ο κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την ισχύ για την κίνηση των τροχών όντας μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Αφού, σε αυτόν τον σχηματισμό, ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος απευθείας στους τροχούς, εξαλείφεται η μείωση της απόδοσης κατά την μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική, ενέργειας που συμβαίνει στα σειριακά HEVs, κάτι που καθιστά αυτό το είδος των υβριδικών κατάλληλα για οδήγηση σε αυτοκινητοδρόμους. Σε αυτόν τον σχηματισμό, ο ηλεκτροκινητήρας έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται για τη μετακίνηση του αυτοκινήτου, με μικρή ταχύτητα, μέσα στην πόλη. Ο εμβολοφόρος κινητήρας από την άλλη έχει το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που απαιτείται προκειμένου το αυτοκίνητο να μπορεί να κινείται με την επιθυμητή μέγιστη (σταθερή) ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο, με άπνοια. Ταυτόχρονα, διοχετεύει ένα μικρό μέρος της ισχύος του στη γεννήτρια, προκειμένου να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες του ηλεκτροκινητήρα. Τυπικά παραδείγματα πετρελαιο-κινητήρων ελαφριών φορτηγών HEVs με παράλληλη συνδεσμολογία είναι του DaimlerChrysler Dodge Ram (5.9 lt όγκος εμβολισμού με 242.5 kW κινητήρα diesel), το οποίο βγήκε στην παραγωγή στα τέλη του 2004, του Toyota – Hino Duetto (2,525 mm μεταξόνιο με 4 lt όγκο εμβολισμού, με σύστημα έγχυσης κοινού αυλού εισαγωγής, 4-κύλινδρος, σύστημα στροβιλο-υπερπλήρωσης με στρόβιλο μεταβλητής γεωμετρίας (VGT), 110 kW κινητήρα diesel σε σύνδεση με μια 23 kW, τριφασική AC σύγχρονη γεννήτρια/κινητήρα και μια 6.5 Ah NiMH συστοιχία μπαταριών), του Isuzu Elf (2,505 mm μεταξόνιο με 4.77 lt όγκο εμβολισμού, σύστημα έγχυσης

κοινού αυλού εισαγωγής ,4-κύλινδρο, 96 kW κινητήρα diesel σε σύνδεση με μια 25.5 kW, τριφασική AC σύγχρονη γεννήτρια και 346V συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου).

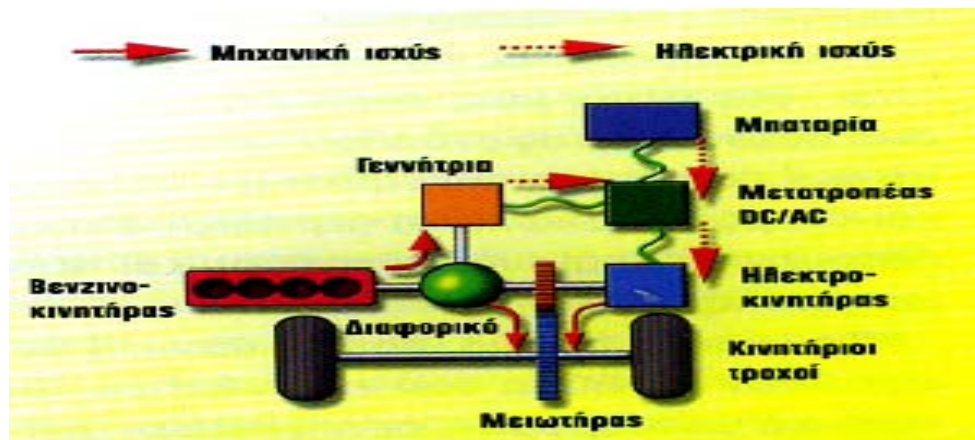
Το πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης εμβολοφόρου κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα βρίσκεται στη δυνατότητα που υπάρχει να 'αλληλοβοηθηθούν' τα δυο συστήματα. Για παράδειγμα τι γίνεται στην περίπτωση που απαιτηθεί από τον κινητήρα να αποδώσει (π.χ. κατά τη διάρκεια μιας επιτάχυνσης ή ανωφέρειας) μεγαλύτερη ισχύ από αυτήν που αντιστοιχεί στις συνθήκες ιδανικής θερμικής απόδοσης; Η λύση που προτείνεται από την παράλληλη υβριδική συνδεσμολογία είναι να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτροκινητήρας και να προσφέρει αυτός την επιπλέον ισχύ που χρειάζεται το αυτοκίνητο, χωρίς ο εμβολοφόρος κινητήρας να λειτουργήσει υπό συνθήκες που θα αύξαναν την κατανάλωση του και πιθανόν και τις εκπομπές καυσαερίου.



Σχήμα 3.2 Παράλληλη συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα

Ένας σειριακός/παράλληλος (μικτός) σχηματισμός (Σχήμα 3.3) εμφανίζει τα πλεονεκτήματα αλλά και τα προβλήματα των παράλληλων και των σειριακών σχηματισμών. Εδώ, ο κινητήρας μπορεί να κινεί τους τροχούς απευθείας αλλά μπορεί και να είναι αποσυνδεδεμένος από αυτούς έτσι ώστε να κινούνται μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα. Το Toyota Prius έκανε αυτή τη διάταξη διάσημη και μια παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιείται και στο υβριδικό Ford Escape. Το σύστημα αυτό είναι πιο ακριβό από ένα παράλληλου σχηματισμού αφού απαιτεί γεννήτρια, μεγαλύτερη συστοιχία μπαταριών και

ένα πιο σύνθετο και ανεπτυγμένο σύστημα ελέγχου. Ωστόσο, ο μικτός σχηματισμός έχει τη δυνατότητα καλύτερης απόδοσης απ' ό,τι ο κάθε σχηματισμός ξεχωριστά.

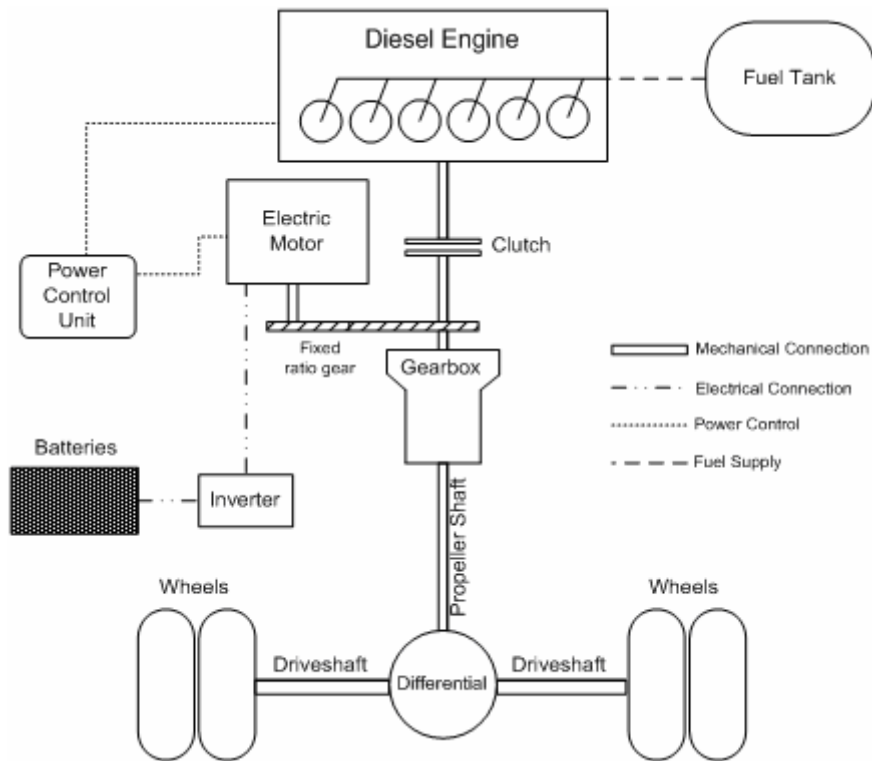


Σχήμα 3.3 Μικτή συνδεσμολογία σε υβριδικό όχημα

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα της υβριδοποίησης των αυτοκινήτων είναι τα εξής:

- 1) Μικρότερο μέγεθος Μ.Ε.Κ.
- 2) Η Μ.Ε.Κ. τίθεται προσωρινά εκτός λειτουργίας, οπότε έχουμε μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.
- 3) Η Μ.Ε.Κ. λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα/φορτίο του πεδίου λειτουργίας σε σχετικά υψηλή απόδοση
- 4) Ανάκτηση ισχύος και φόρτιση των μπαταριών κατά το φρενάρισμα

Στις σειριακές HEV συνδεσμολογίες ο κινητήρας πρακτικά 'προστατεύεται' από τη μεταβατική λειτουργία αφού δεν είναι απευθείας συνδεδεμένος στους τροχούς. Έτσι δεν χρειάζεται να ακολουθεί τον κύκλο λειτουργίας του οχήματος. Από την πλευρά πάντως της μεταβατικής λειτουργίας, ο πιο ενδιαφέρων σχηματισμός είναι ο παράλληλος, αφού σε αυτόν τον σχηματισμό ο κινητήρας diesel διατηρεί τον πρώτο ρόλο στην κίνηση του οχήματος έχοντας τον ηλεκτροκινητήρα και τις μπαταρίες για την περαιτέρω τροφοδότηση ισχύος όταν αυτή χρειαστεί. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η επέκταση του συμβατικού συστήματος μετάδοσης ισχύος του Σχήματος 2.2, διαμορφωμένο τώρα ως παράλληλη συνδεσμολογία σε όχημα HEV.



Σχήμα 3.4 Παράλληλη συνδεσμολογία σε diesel HEV

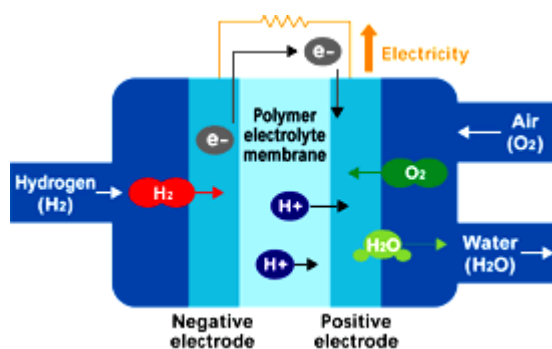
3.2 Υπόλοιπες Υβριδικές Εκδοχές

Εκτός όμως από τα υβριδικά οχήματα με χρήση ηλεκτροκινητήρα σε συνδυασμό με μια Μ.Ε.Κ. υπάρχουν και άλλες εκδοχές όπως τα υβριδικά με κυψέλες καυσίμου, τα υδραυλικά υβριδικά και τα πνευματικά υβριδικά.

3.2.1 Υβριδικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου

Καθώς τα HEV κερδίζουν έδαφος, η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) στα οχήματα αρχίζει να αποκτά ενδιαφέρον. Οι κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο χρησιμοποιούνται εδώ και καιρό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαστημικές εφαρμογές και ως βοηθητικές μονάδες παραγωγής ενέργειας σε περίπτωση αιχμής. Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω χημικής αντίδρασης μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου χωρίς να παράγουν βλαβερές εκπομπές. Ουσιαστικά, οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας

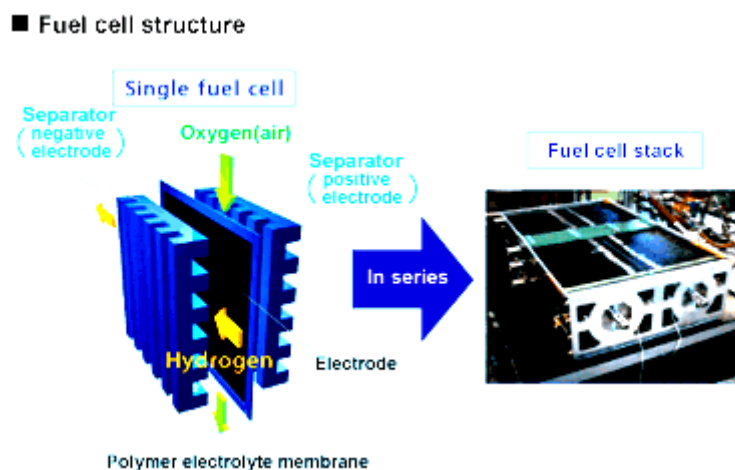
αντίδρασης απευθείας σε ηλεκτρική. Η βασική φυσική δομή μιας κυψέλης καυσίμου (Σχήμα 3.5) αποτελείται από μια λεπτή μεμβράνη ηλεκτρολύτη που έρχεται σε επαφή με μια πορώδη άνοδο από τη μια πλευρά και μια πορώδη κάθοδο από την άλλη. Μια σχηματική αναπαράσταση κυψέλης καυσίμου, με τα αντιδρώντα και τα παράγωγα καθώς και η πορεία των ιόντων διαμέσου της κυψέλης, φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου

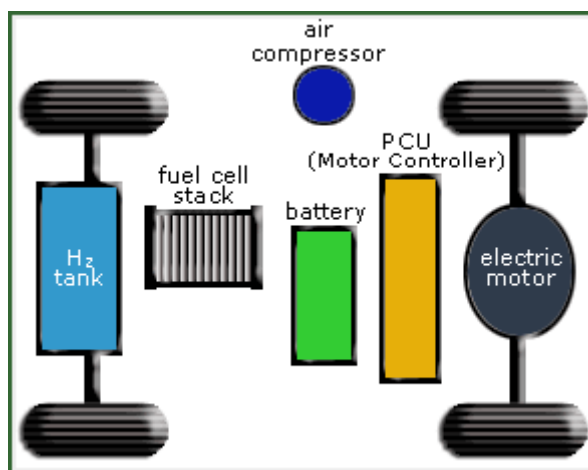
Σε μια συνήθη κυψέλη καυσίμου τα καύσιμα αέριας μορφής (π.χ. υδρογόνο) τροφοδοτούνται συνεχώς προς την άνοδο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (π.χ. οξυγόνο) τροφοδοτείται προς την κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο). Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στα ηλεκτρόδια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Μια κυψέλη καυσίμου, αν και έχει στοιχεία και χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά μιας μπαταρίας, διαφέρει με αυτήν αρκετά. Η μπαταρία είναι μονάδα αποθήκευσης ενέργειας. Η μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια καθορίζεται από την ποσότητα της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία. Η μπαταρία θα σταματήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν η χημική της ενέργεια καταναλωθεί, δηλαδή όταν αυτή αποφορτιστεί. Για την επαναφόρτιση της, πρέπει να την τροφοδοτήσουμε με ενέργεια από μια εξωτερική πηγή. Από την άλλη, η κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή μετατροπής ενέργειας που θεωρητικά έχει τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όσο το καύσιμο και το οξειδωτικό παρέχονται στα ηλεκτρόδια. Στην πραγματικότητα όμως, η χημική διάβρωση και η δυσλειτουργία των υλικών περιορίζει πρακτικά τη λειτουργική διάρκεια των κυψελών καυσίμου. Το αέριο υδρογόνο είναι το καύσιμο για τις περισσότερες εφαρμογές, εξαιτίας της υψηλής του αντιδραστικότητας, της

δυνατότητας να παράγεται από υδρογονάνθρακες και της υψηλής του ενεργειακής πυκνότητας όταν αποθηκεύεται κρυογενικά, όπως στο διάστημα. Παρομοίως, το οξυγόνο είναι το πιο κοινό οξειδωτικό αφού είναι ευρέως διαθέσιμο στην ατμόσφαιρα και εύκολα αποθηκεύεται.



Σχήμα 3.6 Η δομή μιας κυψέλης καυσίμου

Στα υβριδικά οχήματα κυψελών καυσίμου (FCVs), (Σχήμα 3.7), το υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενές καυσίμου που βρίσκονται επί του οχήματος και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την κυψέλη καυσίμου τροφοδοτεί μια μπαταρία που ενεργοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα που δίνει κίνηση στους τροχούς. Όσο λοιπόν είναι γεμάτη η δεξαμενή με το υδρογόνο, η αντίδραση οξυγόνου υδρογόνου θα εξακολουθεί να υφίσταται στην κυψέλη, οπότε και η μπαταρία θα φορτίζεται και το όχημα θα κινείται. Τα FCVs μπορεί να είναι δυο φορές πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα συμβατικού τύπου. Μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες για αύξηση της απόδοσης, όπως συστήματα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα που 'αιχμαλωτίζουν' την ενέργεια που χάνεται στο φρενάρισμα και την αποθηκεύουν σε μια μεγάλων διαστάσεων μπαταρία.



Σχήμα 3.7 Βασικά στοιχεία ενός υδρογονικού FCV

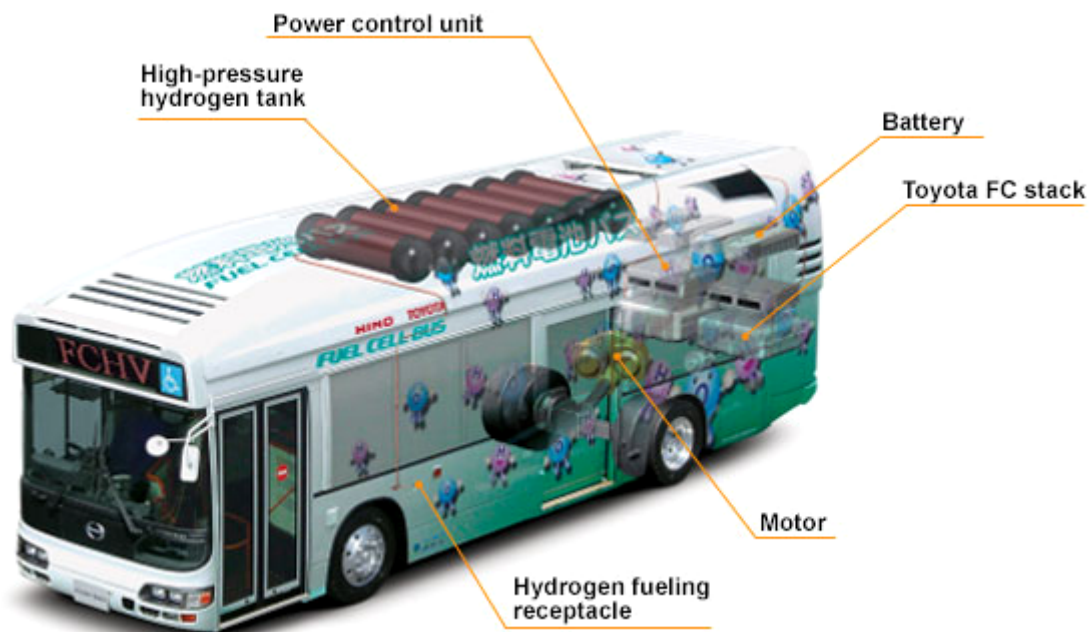
Τα FCVs μπορούν να τροφοδοτούνται με αέριο υδρογόνο που αποθηκεύεται απευθείας στο όχημα μέσα σε δεξαμενές ή παράγεται από ένα δευτερεύον καύσιμο, όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη ή το φυσικό αέριο που εμπεριέχει οξυγόνο. Αυτά τα δευτερεύοντα καύσιμα μετατρέπονται σε αέριο υδρογόνο από έναν αναμορφωτή καυσίμου (reformer) που είναι επί του οχήματος. Τα FCVs που τροφοδοτούνται αμέσως με υδρογόνο δεν εκπέμπουν ρύπους -μόνο υδρατμό και θερμότητα-, ενώ αυτά που κάνουν χρήση δευτερευόντων αερίων και ενός αναμορφωτή καυσίμου (reformer) παράγουν μικρές ποσότητες αερίων ρύπων. Όπως και με τα άλλα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οχήματα κυψελών καυσίμου είναι αθόρυβα, κινούνται ομαλά, είναι ευχάριστα στην οδήγηση και θα πρέπει να έχουν την ίδια αποδοχή όπως και τα συμβατικά. Τα λεωφορεία κυψελών καυσίμου ήδη λειτουργούν σε αρκετές πόλεις της Αμερικής.

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι πέρα από μια απλή προσφορά λύσης σε περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα. Επειδή οι κυψέλες καυσίμου παράγουν λίγη θερμότητα, λειτουργούν αθόρυβα χωρίς δονήσεις και μεταδίδουν την ενέργεια τους σε μορφή ηλεκτρισμού, μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε σε ένα όχημα. Η ισχύς δεν χρειάζεται να μεταδοθεί μηχανικά από έναν κινητήρα στους τροχούς, οπότε οι μηχανικοί έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια στη μελέτη κατασκευής του οχήματος. Αναιρώντας τους συμβατικούς σχεδιαστικούς περιορισμούς, οι κυψέλες καυσίμου δίνουν τη δυνατότητα για νέες ιδέες στον σχεδιασμό των

αυτοκινήτων. Το Toyota Fine-X που παρουσιάστηκε στην 39^η έκθεση στο Τόκιο είναι παράδειγμα αυτού του είδους της επαναστατικής, υψηλά αποδοτικής δημιουργίας. Χρησιμοποιώντας μια συμβατική κυψέλη καυσίμου κάτω από το δάπεδο του αυτοκινήτου και τέσσερις ηλεκτροκινητήρες στους τροχούς, το Fine-X προσφέρει άνεση στην εσωτερική καμπίνα.



Σχήμα 3.8 Toyota Fine-X

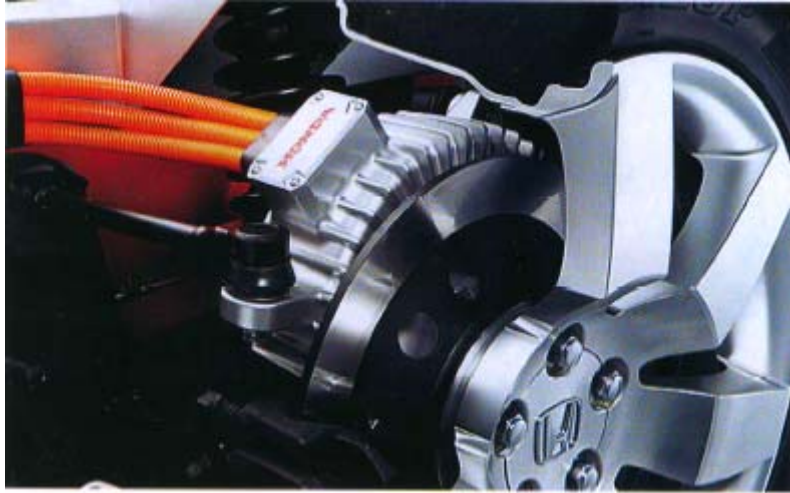


Σχήμα 3.9 Λεωφορείο με κυψέλες καυσίμου



Σχήμα 3.10 Εικονικός ιδιωτικός σταθμός ενός FCV

Το τετρακίνητο FCX Concept αποτελεί την τελευταία (και πλέον εξελιγμένη) έκδοση της μακράς σειράς των πειραματικών “κυψελωτών” FCX και αποτελεί φορέα για όλες εκείνες τις καινοτόμες τεχνολογίες που ανακοινώθηκαν από τη Honda τους τελευταίους μήνες. Για παράδειγμα, στην κυψέλη του έχει ενσωματωθεί η τεχνολογία εκείνη που παρέχει δυνατότητα λειτουργίας σε υπομηδενικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (και συγκεκριμένα έως τους -20°C) ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι οι εξωτερικές της διαστάσεις είναι αρκετά μικρές, είναι ταυτόχρονα και η ισχυρότερη της ιστορίας των FCX, αποδίδοντας 100kW. Για να καταφέρει η Honda να λειτουργεί την κυψέλη στους -20°C άλλαξε τη συνήθη - μέχρι τότε - οριζόντια ροή υδρογόνου και αέρα, στο εσωτερικό της κυψέλης, αντικαθιστώντας τη με μια κατακόρυφη. Τα δυο συνεργαζόμενα αέρια κινούνται, έτσι, με κατεύθυνση από την κορυφή της κυψέλης προς τον πυθμένα της – το αποτέλεσμα είναι να απομακρύνεται, λόγω της βαρύτητας, το παραγόμενο νερό από τα στοιχεία της κυψέλης και να καταλήγει στον πυθμένα, απ’ όπου και απορρέει προς το εξωτερικό. Αντίθετα, στις συμβατικές κυψέλες οριζόντιας ροής, η παραμονή του νερού στις επιφάνειες των στοιχείων οδηγεί σε παγοποίηση, άρα και αδρανοποίηση της κυψέλης. Με αυτά τα 100kW, η κυψέλη υδρογόνου τροφοδοτεί τρεις κινητήρες: έναν κεντρικό των 80 kW για τους πρόσθιους τροχούς (στους οποίους και μεταδίδει την κίνηση του μέσω συστήματος υποπολλαπλασιασμού και αρθρωτών ημιαξονίων) και δυο μικρούς των 25 kW - “τύπου in-hub/εσωτερικού ρότορα”- τοποθετημένους (“έκκεντρα”) στο εσωτερικό των πίσω τροχών.



Σχήμα 3.11 Οι μικροί “in-hub” ηλεκτροκινητήρες των πίσω τροχών, ισχύος 25kW ο καθένας.



Σχήμα 3.12 Το τετρακίνητο FCX Concept της Honda

Στο παρακάτω Σχήμα 3.13 παρουσιάζεται το πλαίσιο και τα ηλεκτρομηχανικά μέρη του FCX Concept. Οι δυο μικροσκοπικές δεξαμενές χωρούν τη διπλάσια (τουλάχιστον) ποσότητα υδρογόνου – για δεδομένη πίεση -, χάρη στο υλικό απορρόφησης το οποίο διαθέτουν στο εσωτερικό τους. Η κεντρική “ραχοκοκαλιά” δεν είναι άλλη από τη μικροσκοπική (αλλά πανίσχυρη) κυψέλη καυσίμου.



Σχήμα 3.13 Το πλαίσιο και τα ηλεκτρομηχανικά μέρη του FCX Concept

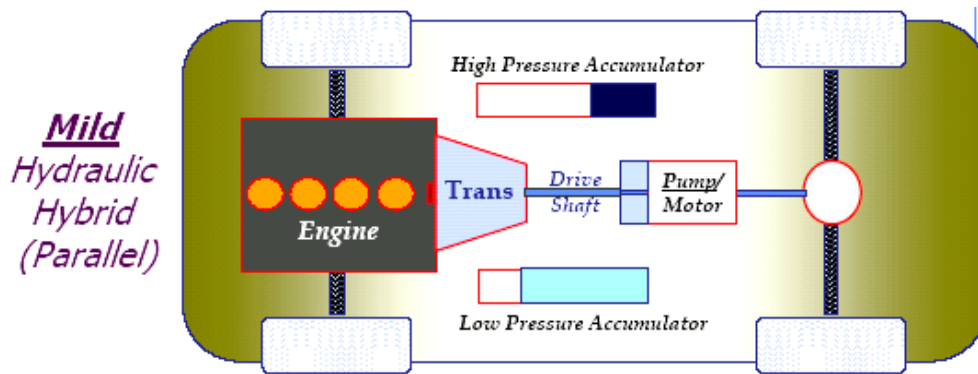
3.2.2 Υβριδικά Υδραυλικά Οχήματα

Ένα υδραυλικό υβριδικό όχημα χρησιμοποιεί υδραυλικά και μηχανικά στοιχεία αντί για ηλεκτρικά. Μια αντλία μεταβλητής μετατόπισης αντικαθιστά τον κινητήρα/γεννήτρια και ένας υδραυλικός συσσωρευτής (που αποθηκεύει ενέργεια στη μορφή υψηλά συμπιεσμένου αερίου αζώτου) αντικαθιστά τις μπαταρίες. Ο υδραυλικός συσσωρευτής, ο οποίος είναι υποχρεωτικά δεξαμενή πίεσης, είναι ενδεχομένως φτηνότερος και μεγαλύτερης διάρκειας από τις μπαταρίες. Η υδραυλική υβριδική τεχνολογία αναπτύχθηκε από την εταιρεία Volvo Flygmotor και χρησιμοποιήθηκε πειραματικά σε λεωφορεία από τις αρχές του 1980 και παραμένει ακόμα μια ενεργή περιοχή ερευνητικά. Η αρχική σύλληψη είχε να κάνει με έναν τεράστιο σφόνδυλο για αποθήκευση συνδεδεμένο σε ένα υδροστατικό κιβώτιο αλλά αργότερα μετατράπηκε σε απλούστερο σύστημα κάνοντας χρήση ενός υδραυλικού συσσωρευτή συνδεδεμένου σε μια υδραυλική αντλία. Αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε επίσης από την εταιρία Eaton αλλά και από άλλες σε βαρέος τύπου οχήματα όπως λεωφορεία, φορτηγά και στρατιωτικά οχήματα. Ένα παράδειγμα είναι το Ford F-350 Mighty Tonka το οποίο έκανε την εμφάνιση του το 2002. Το σύστημα αυτό στο συγκεκριμένο φορτηγό του δίνει τη δυνατότητα επιτάχυνσης σε ταχύτητες αυτοκινητόδρομου.



Σχήμα 3.14 Ford F-350 Mighty Tonka

Ένα από τα ισχύοντα υδραυλικά συστήματα σε υβριδικά οχήματα είναι το λεγόμενο Υδραυλικό Βοηθητικό Σύστημα Προώθησης (Hydraulic Launch Assist) της εταιρίας Eaton. Το υδραυλικό αυτό σύστημα χρησιμοποιεί σύστημα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα. Σε αντίθεση με τα άλλα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία χρησιμοποιούν σύστημα ανάκτησης ισχύος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας την οποία την αποθηκεύουν σε μια μπαταρία για χρήση από τον ηλεκτροκινητήρα, το υδραυλικό υβριδικό σύστημα ανακτά την ενέργεια στη μορφή πεπιεσμένου υδραυλικού ρευστού. Το HLA σύστημα (Σχήμα 3.15) κάνει χρήση ενός αναστρέψιμου κινητήρα/αντλίας που είναι συνδεδεμένος στον άξονα μετάδοσης κίνησης μέσω ενός συμπλέκτη και δυο συσσωρευτών. Όταν ο οδηγός πατάει το φρένο, η αντλία/κινητήρας ωθεί το υδραυλικό ρευστό από έναν χαμηλής πίεσης συσσωρευτή σε έναν υψηλής πίεσης συσσωρευτή, αυξάνοντας την πίεση του αερίου αζώτου στα 5000 psi. Κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης, το HLA σύστημα αλλάζει από τη λειτουργία της αντλίας στη λειτουργία του κινητήρα. Το αέριο άζωτο ωθεί το υδραυλικό ρευστό πίσω στον συσσωρευτή χαμηλής πίεσης και ο κινητήρας εφαρμόζει ροπή στον άξονα μετάδοσης κίνησης διαμέσου του συμπλέκτη. Το υδραυλικό υβριδικό όχημα χρησιμοποιεί την υδραυλική ενέργεια για την επιτάχυνση προώθησης, κάτι το οποίο οδηγεί σε σημαντική μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και σε βελτιωμένη επιτάχυνση χάρη στη μεγάλη ισχύ των υδραυλικών συστημάτων.



Σχήμα 3.15 Το Υδραυλικό Βοηθητικό Σύστημα Προώθησης σε υδραυλικό υβριδικό όχημα

3.2.3 Υβριδικά Πνευματικά Οχήματα

Αέρας σε συμπιεσμένη μορφή μπορεί να αποτελέσει μέσον για την προώθηση ενός υβριδικού οχήματος με συμπιεστή βενζίνης (gasoline compressor) για να παρέχει την ισχύ. Η M.D.I.(Moteur Developpement International) στη Γαλλία παράγει τέτοια οχήματα αέρος (Σχήμα 3.16).



Σχήμα 3.16 Το Minicat της M.D.I

Το σύστημα είναι παρόμοιο ενός υβριδικού-ηλεκτρικού οχήματος από την άποψη ότι η ενέργεια που προκύπτει από το φρενάρισμα δεσμεύεται και αποθηκεύεται για την ενίσχυση του κινητήρα κατά τη διάρκεια της

επιτάχυνσης. Μια άλλη εταιρία από την Κορέα, η Energiner, κατασκεύασε επίσης όχημα που κινείται με συμπιεσμένο αέρα (Σχήμα 3.17). Ο κινητήρας, που προωθεί το συγκεκριμένο πνευματικό υβριδικό όχημα λειτουργεί δίπλα σε έναν ηλεκτροκινητήρα. Το σύστημα εξαλείφει την ανάγκη για καύσιμα, κάνοντας το όχημα μη ρυπογόνο, και ελέγχεται από υπολογιστή που βρίσκεται μέσα στο όχημα και διαχειρίζεται την ακριβή λειτουργία του κινητήρα συμπιεσμένου αέρα και του ηλεκτροκινητήρα. Ο συμπιεσμένος αέρας οδηγεί τα έμβολα που δίνουν την τελική κίνηση στους τροχούς. Ο αέρας συμπιέζεται χρησιμοποιώντας έναν μικρό κινητήρα που τροφοδοτείται από μια 48-volt μπαταρία, η οποία τροφοδοτεί και τον συμπιεστή αέρα και τον ηλεκτροκινητήρα. Όταν ο αέρας συμπιεστεί, αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή που βρίσκεται επί του οχήματος. Ο συμπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται όταν το όχημα απαιτεί αρκετή ισχύ, όπως κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και της επιτάχυνσης. Ο ηλεκτροκινητήρας μπαίνει σε λειτουργία όταν το όχημα έχει αποκτήσει σταθερή ταχύτητα. Το σύστημα είναι εύκολο στην κατασκευή του και μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε συμβατικό σύστημα κινητήρα. Είναι ένα σύστημα με δυο ξεχωριστούς κινητήρες που λειτουργούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, και οι δυο όμως τη στιγμή που είναι πιο αποδοτικοί.



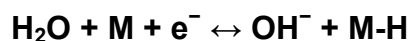
Σχήμα 3.17 Το PHEV της εταιρίας Energiner

4. Ανάλυση Επιμέρους Στοιχείων Ηλεκτρικών Υβριδικών Οχημάτων

4.1 Η μπαταρία του υβριδικού συστήματος

4.1.1 Μπαταρία NiMH

Στα σύγχρονα εμπορικά υβριδικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με την μπαταρία Νικελίου – Καδμίου (NiCd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε υδρογόνο. Στην κάθοδο, όπως και στις NiCd μπαταρίες, χρησιμοποιεί νικέλιο. Μια NiMH μπαταρία έχει δυο με τρεις φορές τη χωρητικότητα μιας ισοδύναμου μεγέθους μπαταρίας NiCd και το “φαινόμενο μνήμης” (memory effect) της δεν είναι τόσο σημαντικό όπως στις NiCd. Ωστόσο, συγκρινόμενη με την μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium-ion battery), η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλότερη και η αυτοεκφόρτιση μεγαλύτερη. Η ειδική ενεργειακή πυκνότητα για την NiMH είναι περίπου 80 W·h/kg, με την ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα να είναι γύρω στις 200 W·h/L. Η αντίδραση που συμβαίνει στην άνοδο μιας μπαταρίας NiMH είναι η ακόλουθη:

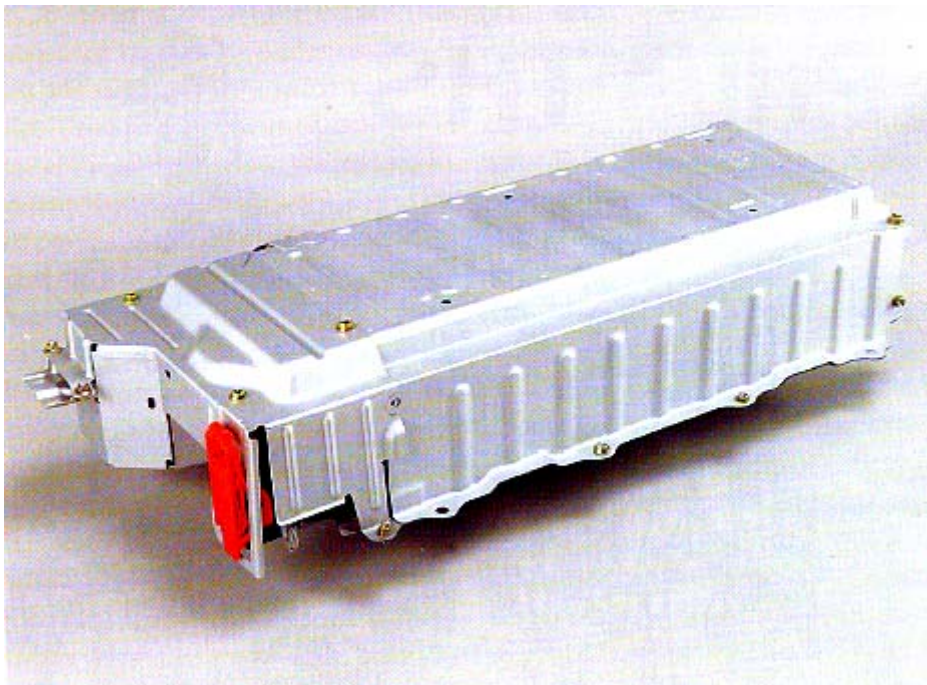


Η μπαταρία φορτίζεται προς την δεξιά κατεύθυνση της εξίσωσης και αποφορτίζεται προς την αριστερή.

Το υδροξείδιο του νικελίου είναι αυτό που σχηματίζει την κάθοδο. Το "Μέταλλο" στην άνοδο μιας NiMH μπαταρίας είναι ουσιαστικά μια σύνθετη μεταλλική ένωση. Πολλές χημικές ενώσεις έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή αυτή αλλά αυτές που εφαρμόζονται ανήκουν σε δυο κατηγορίες. Ο πιο κοινός χημικός τύπος είναι ο AB_5 , όπου A είναι ένα μίγμα σπάνιων γαιών, λανθανίου, δμητρίου, νεοδυμίου, πρασινοδυμίου και B είναι νικέλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, και αλουμίνιο. Μερικές άλλες μπαταρίες κάνουν χρήση αρνητικών ηλεκτροδίων υψηλότερης χωρητικότητας, βασισμένα σε χημικές ενώσεις τύπου AB_2 , όπου A είναι τιτάνιο ή βανάδιο και B είναι ζιρκόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με χρώμιο, κοβάλτιο, σίδηρο και μαγγάνιο, εξαιτίας της μειωμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες NiMH αποτελούνται από έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη συνήθως υδροξείδιο καλίου. Η τάση φόρτισης είναι 1.4 -1.6 V/στοιχείο. Ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο έχει τάση 1.35-1.4 V και παρέχει ονομαστική τάση 1.2V κατά μέσο όρο στη διάρκεια της αποφόρτισης και μέχρι 1.0V, διότι περαιτέρω αποφόρτιση μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στο στοιχείο της μπαταρίας. Το "φαινόμενο μνήμης" από την επαναλαμβανόμενη μερική αποφόρτιση μπορεί να συμβεί, κάτι όμως που είναι αναστρέψιμο μέσω του κύκλου φόρτισης. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης επηρεάζεται κατά πολύ από τη θερμοκρασία στην οποία οι μπαταρίες είναι αποθηκευμένες με τις πιο ψυχρές θερμοκρασίες αποθήκευσης να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αποφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη τα υψηλότερης χωρητικότητας στοιχεία που υπάρχουν στην αγορά (> 2700 mAh) φαίνονται να έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς αποφόρτισης.

Όσον αφορά τις επιδράσεις των μπαταριών NiMH στο περιβάλλον, αυτές είναι τουλάχιστον πολύ πιο φιλικές από τις μπαταρίες NiCd που περιέχουν το δηλητηριώδες κάδμιο και άλλωστε υπάρχουν προγράμματα ανακύκλωσης τους. Το κόστος τους δεν είναι υψηλό και η τάση τους και η επίδοση τους είναι παρόμοιες με τις πρότυπες αλκαλικές μπαταρίες του ίδιου μεγέθους. Η ικανότητα τους να επαναφορτίζονται εκατοντάδες φορές οδηγεί στην

εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων. Οι μπαταρίες NiMH είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής εντάσεως ρεύματος λόγω της χαμηλής τους εσωτερικής αντίστασης. Οι αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες έχουν περίπου 3000mAh χωρητικότητα σε απαιτήσεις χαμηλής έντασης ρεύματος (200mA), θα έχουν λιγότερο από 1000mAh χωρητικότητα σε απαίτηση ρεύματος 1000mA, για παράδειγμα. Οι μπαταρίες NiMH από την άλλη μπορούν να διαχειριστούν αυτά τα υψηλής έντασης ρεύματα διατηρώντας την πλήρη χωρητικότητά τους. Επίσης στον κύκλο αποφόρτισης οι μπαταρίες NiMH, λόγω της μικρής τους εσωτερικής αντίστασης, μπορούν και τροφοδοτούν το σύστημα με σταθερή περίπου τάση μέχρι να αποφορτιστούν πλήρως. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδρίδια μετάλλων είναι σχετικά ασφαλή υλικά για την αποθήκευση ενέργειας και έτσι η προτεινομένη λύση μέχρι τώρα στα υβριδικά οχήματα, της χρήσης ηλεκτροκινητήρων/ηλεκτρογεννητριών σε συνδυασμό με μια συστοιχία μπαταριών NiMH, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων ενέργειας κάτω από καθεστώς σχετικά αυξημένης ασφάλειας.



Σχήμα 4.1 Η μπαταρία Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου του Prius

4.1.2 Μπαταρία Li- ion

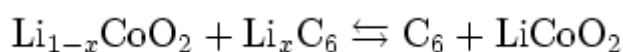
Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στο χώρο των υβριδικών οχημάτων ενός αλλού είδους μπαταρίας, της μπαταρίας ιόντων Λιθίου (Lithium-ion). Οι Li-ion μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα κάθε είδους ηλεκτρονικά. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος, χωρίς “φαινόμενο μνήμης” και με αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αν δεν γίνει σωστή διαχείριση τους μπορεί να αποβούν επικίνδυνες και να μειωθεί η διάρκεια ζωής τους. Εξαιτίας της υψηλής τους ενεργειακής πυκνότητας, οι μπαταρίες Li-ion άρχισαν να γίνονται αντικείμενο έρευνας για τη χρήση τους στην υβριδική αυτοκίνηση καθώς και στην βιομηχανία της άμυνας και του διαστήματος. Μια αρκετά ανεπτυγμένη μπαταρία Li-ion είναι η μπαταρία στοιχείων πολυμερούς λιθίου (lithium polymer cell). Οι πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου εμφανίστηκαν το 1991.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα αποτελεσματικά για την καλύτερη εξοικονόμηση χώρου της συσκευής που τροφοδοτούν. Είναι επίσης ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμες μπαταρίες. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτές τις μπαταρίες διαμέσου της κίνησης των ιόντων λιθίου. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li-ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες όπως οι μπαταρίες μολύβδου, οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Επιπλέον, οι Li-ion μπαταρίες δεν χαρακτηρίζονται από το “φαινόμενο μνήμης” (memory effect). Έχουν επίσης, χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης.

Μοναδικό μειονέκτημα, ωστόσο, των μπαταριών Li-ion είναι ότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται και από το χρόνο που έχει περάσει από τη στιγμή της κατασκευής τους, ανεξάρτητα από το αν αυτές έχουν φορτιστεί και ανεξάρτητα από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης. Έτσι, μια παλιότερη

χρονολογικά μπαταρία θα διαρκέσει λιγότερο απ' ό τι μια καινούρια εξαιτίας της ηλικίας της και μόνο, κάτι που δεν συμβαίνει με τις άλλες μπαταρίες. Η μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ξεκινά λοιπόν από τη στιγμή της κατασκευής της, ανεξάρτητα αν αυτή χρησιμοποιείται και εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές μειώσεις της χωρητικότητας της. Έτσι σε πλήρη φόρτιση της μπαταρίας (100%) έχουμε: 6% μείωση στους 0 °C (32 °F), 20% μείωση στους 25 °C (77 °F) και 35% μείωση στους 40 °C (104 °F). Όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι στο 40%, αυτές οι τιμές μειώνονται σε 2%, 4%, 15% στους 0, 25 και 40 βαθμούς °C αντίστοιχα. Όσο η διάρκεια ζωής των μπαταριών μεγαλώνει, η εσωτερική τους αντίσταση αυξάνει. Αυτό προκαλεί πτώση της τάσης στους πόλους κάτω από το απαιτούμενο φορτίο, μειώνοντας το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να πάρει το σύστημα από αυτούς. Σταδιακά λοιπόν φτάνουν σε ένα σημείο όπου η μπαταρία δεν μπορεί να λειτουργήσει άλλο. Οι μπαταρίες Li-ion αντιμετωπίζουν επίσης μια κατάσταση που ονομάζεται "πλήρης αποφόρτιση" (**deep discharge**). Σε αυτήν την κατάσταση, η μπαταρία μπορεί να κάνει πολύ καιρό να επαναφορτιστεί ή μπορεί και να μην επαναφορτιστεί. Η "πλήρης αποφόρτιση" λαμβάνει χώρα μόνο όταν τα συστήματα ή οι συσκευές των μπαταριών αυτών μείνουν για πολύ καιρό αχρησιμοποίητα (συνήθως 2 ή περισσότερα χρόνια) ή όταν επαναφορτίζονται τόσο συχνά με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διατηρήσουν το φορτίο τους. Κάθε στοιχείο μπαταρίας Li-ion ξεχωριστά δεν πρέπει να αποφορτίζεται κάτω από μια συγκεκριμένη τάση για την αποφυγή μη αναστρέψιμης ζημιάς. Επομένως, όλα τα συστήματα μπαταριών Li-ion εξοπλίζονται με ένα κύκλωμα που κλείνει το σύστημα όταν η μπαταρία αποφορτιστεί κάτω από τη συγκεκριμένη αυτή τιμή τάσης. Έτσι, κατά τη διάρκεια κανονικής χρήσης σε ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα είναι αδύνατον να συμβεί η "πλήρης αποφόρτιση". Όταν το συγκεκριμένο κύκλωμα ελέγχου είναι κατασκευασμένο μέσα στη μπαταρία (η επονομαζόμενη "έξυπνη" μπαταρία) και όχι στον εξοπλισμό, τότε αυτό αντλεί συνεχώς ένα μικρής εντάσεως ρεύμα από την μπαταρία, ακόμα και αν αυτή δεν χρησιμοποιείται. Επιπλέον, η μπαταρία δεν πρέπει να μένει πλήρως φορτισμένη για μεγάλα διαστήματα γιατί έτσι κινδυνεύει να οδηγηθεί στο φαινόμενο της "πλήρους αποφόρτισης" και να καταστραφεί.

Χημικά η μπαταρία Li-ion ενέχει πολλούς κινδύνους και έτσι ένα στοιχείο της μπαταρίας απαιτεί αρκετές υποχρεωτικές συσκευές ασφαλείας για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Κάποιες από αυτές είναι : διαχωριστής κλεισίματος (για την υπερθέρμανση), στόμιο (για την αποκατάσταση της πίεσης) και θερμικός διακόπτης (για την υπερφόρτωση). Οι συσκευές αυτές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας και αυξάνουν αρκετά το επίπεδο αναξιοπιστίας της μπαταρίας. Ωστόσο ολοένα και νέες έρευνες διεξάγονται για τη βελτίωση της τεχνολογίας αυτών των μπαταριών που θα αυξάνει το επίπεδο ασφάλειας. Οι μπαταρίες Lithium-ion έχουν ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος 3.6 V και τυπική τιμή τάσης φόρτισης 4.2 V. Η διαδικασία φόρτισης γίνεται υπό σταθερή τάση. Στο παρελθόν, οι μπαταρίες αυτές δεν μπορούσαν να φορτιστούν γρήγορα και συνήθως χρειάζονταν τουλάχιστον 2 ώρες για πλήρη φόρτιση. Τα σύγχρονα στοιχεία της μπαταρίας έχουν τη δυνατότητα πλήρους φόρτισης μέσα σε λιγότερο από 45 λεπτά. Μερικές μάλιστα φτάνουν το 90% της φόρτισης τους μέσα σε 10 λεπτά. Η άνοδος ενός συμβατικού Li-ion στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι οξειδίο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο Li-ion για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι :



Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ιόντα λιθίου δεν οξειδώνονται. Αντιθέτως, σε μια μπαταρία Li-ion τα ιόντα λιθίου μεταφέρονται από και προς την κάθοδο ή την άνοδο με το μέταλλο Κοβάλτιο (Co) στην χημική ένωση Li_xCoO_2 να οξειδώνεται από Co^{3+} σε Co^{4+} κατά τη φόρτιση και να ανάγεται από Co^{4+} σε Co^{3+} κατά την αποφόρτιση.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, υπάρχει στην αγορά μια προοπτική αντικατάστασης των μπαταριών NiMH στα υβριδικά οχήματα από τις μπαταρίες Li-ion. Υπάρχει η πεποίθηση πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλεια της μπαταρίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους της, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση της μπαταρίας Li-ion στα υβριδικά συστήματα. Με τις μπαταρίες να αποτελούν

το 33% του κόστους ενός υβριδικού συστήματος και την τιμή του νικελίου να αυξάνει σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια, αναμένονται βελτιώσεις στις επιδόσεις, στη λειτουργία και στην τιμή ενός HEV με τη χρήση των μπαταριών Li-ion. Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li-ion. Η εταιρεία CPI χρησιμοποιεί μια κάθοδο λιθίου βασισμένη στο μαγγάνιο αντί για το κοβάλτιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου των φορητών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων και των άλλων φορητών συσκευών. Το κοβάλτιο είναι ακριβότερο (\$40/kg) και σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης και εσωτερικού βραχυκυκλώματος μπορεί να προκληθούν φωτιά και εκρήξεις. Αντιθέτως το υλικό του μαγγανίου προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Τα “επίπεδα” στοιχεία μπαταριών που έχει κατασκευάσει η CPI διαφέρουν από τα κυλινδρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις NiMH μπαταρίες, στο γεγονός ότι εξοικονομούν περισσότερο χώρο. Είναι επίσης λιγότερο ακριβές και λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση, σύμφωνα με την εταιρεία. Το νέο αυτό σχέδιο, λόγω της μεγαλύτερης του επιφάνειας παρέχει μεγαλύτερη ισχύ ενώ ενισχύει περισσότερο τη θερμική διαχείριση. Από την άλλη, η ημιδιαπερατή του μεμβράνη που χωρίζει τα ηλεκτρόδια είναι μηχανικά και θερμικά ανώτερη από τους διαχωριστές που χρησιμοποιούνται σε άλλα στοιχεία Li-ion, κάτι που αυξάνει την ασφάλεια της μπαταρίας. Διάφοροι έλεγχοι στο πολυμερές αλουμινένιο λεπτό φύλλο που προστατεύει το στοιχείο κατέδειξαν προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του στοιχείου, 15 έτη, σύμφωνα με την CPI. Η εταιρεία έχει επίσης αναπτύξει και πρόκειται να προμηθεύσει το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστές.



Σχήμα 4.2 Η μπαταρία Li – ion που ανέπτυξε η θυγατρική εταιρία της LG Chemical, η CPI και την οποία προορίζει για τα νέα υβριδικά αυτοκίνητα

4.1.3 Συγκριτική αντιπαράθεση μεταξύ NiMH και Li – ion στα υβριδικά οχήματα

Τα πρώτα υβριδικά μοντέλα έκαναν χρήση μπαταριών μολύβδου διότι δεν υπήρχε εναλλακτική λύση. Σήμερα, η Honda και η Toyota χρησιμοποιούν μπαταρίες Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH) στα υβριδικά τους συστήματα. Χημικά αυτές οι μπαταρίες είναι φυσικά ελαφρύτερων υλικών και περιβαλλοντικά φιλικότερη από τα προηγούμενα συστήματα, τα βασισμένα στις μπαταρίες μολύβδου. Η μπαταρία αυτή αποτελείται από κυλινδρικά στοιχεία που συνδέονται στη σειρά για την επίτευξη αρκετών εκατοντάδων βολτ, ενώ είναι έτσι διατεταγμένα ώστε να επιτρέπουν την καλύτερη δυνατή ψύξη τους. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια συστοιχία μπαταριών NiMH ενός υβριδικού οχήματος της Toyota. Η μπαταρία όπως φαίνεται τοποθετείται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Τα κυλινδρικά στοιχεία της μπαταρίας διακρίνονται με το πορτοκαλί χρώμα.



Σχήμα 4.3 Μπαταρία Νικελίου –Μετάλλου Υδριδίου σε υβριδικό όχημα της Toyota στο μουσείο της, στην πόλη Nagaya, στην Ιαπωνία

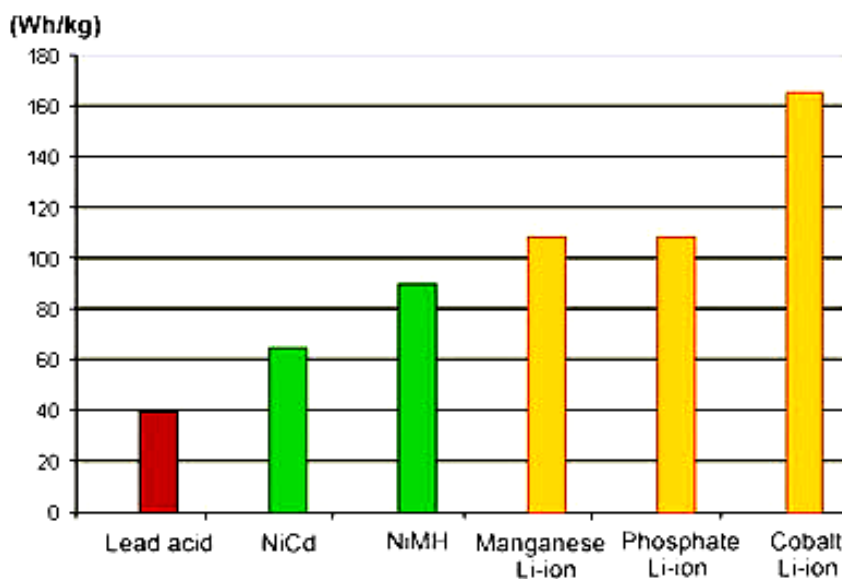
Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για τη χρήση των μπαταριών σε υβριδικές εφαρμογές είναι η μακροβιότητα τους. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για τυπικά εμπορικά προϊόντα συνήθως διαρκούν δυο με τρία χρόνια. Αυτή η σύντομη διάρκεια δεν αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα για τα κινητά τηλέφωνα, τους φορητούς υπολογιστές και τις ψηφιακές κάμερες διότι αυτές οι συσκευές γρήγορα αχρηστεύονται. Αντιθέτως, τα \$2.000 με \$3.000 για κάθε συστοιχία μπαταριών, που είναι και το κόστος αντικατάστασης της σε ένα υβριδικό όχημα, αποτελούν μεγάλη δαπάνη. Οι περισσότερες μπαταρίες για τα υβριδικά οχήματα έχουν εγγύηση για οχτώ χρόνια. Για να πετύχουν την αξιοπιστία σε αυτό το μεγάλο χρονικό διάστημα, τα στοιχεία των μπαταριών βελτιστοποιούνται στον τομέα της μακροβιότητας και όχι στο μέγεθος και το βάρος, όπως στην περίπτωση των φορητών συσκευών. Εφόσον η μπαταρία κινείται μαζί με το όχημα, το αυξημένο μέγεθος και βάρος δεν είναι τόσο κρίσιμοι παράγοντες. Μια NiMH μπαταρία για ένα HEV όχημα μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί 1.000 φορές, με το ποσοστό αποφόρτισης να φτάνει μέχρι 80% του συνολικού φορτίου της μπαταρίας. Σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο μια πλήρης αποφόρτιση της μπαταρίας συμβαίνει σπάνια, εκτός κι αν ο ιδιοκτήτης του για παράδειγμα κατοικεί σε μια αρκετά ορεινή περιοχή και χρειάζεται όλη την ενέργεια της μπαταρίας για να φτάσει στην κατοικία του. Μια τέτοια κατάσταση επιβαρύνει την μπαταρία και μειώνει τη διάρκεια ζωής της. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ωστόσο, το υβριδικό όχημα χρησιμοποιεί

μόνο το 10% της χωρητικότητας της μπαταρίας. Αυτό επιτρέπει χιλιάδες κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης. Ένας από τους περιορισμούς των μπαταριών NiMH είναι η μέση απόδοση μετατροπής της ενέργειας. Αυτό εξηγεί γιατί η μπαταρία ζεσταίνεται αρκετά σε κάθε φόρτιση και αποφόρτιση. Η απόδοση φόρτισης είναι μέγιστη όταν η μπαταρία βρίσκεται σε επίπεδο φόρτισης 50-70%. Όταν βρίσκεται πάνω από το 70% του φορτίου της, η μπαταρία δεν μπορεί να απορροφήσει καλά το επιπλέον φορτίο και έτσι η περισσότερη ενέργεια φόρτισης χάνεται με τη μορφή θερμότητας.

Λειτουργώντας την μπαταρία σε μερικό φορτίο, υπάρχει η απαίτηση μεγαλύτερης μπαταρίας η οποία όμως μειώνει το λόγο ενέργειας προς βάρος καθώς και την απόδοση. Οι Ιάπωνες κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δοκιμάσει πολλά σενάρια για την κατάλληλη μπαταρία στο υβριδικό αυτοκίνητο, ακόμα και τις μπαταρίες μολύβδου. Στις μέρες μας η προσοχή έχει στραφεί στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Η μπαταρία λιθίου βασισμένη στο κοβάλτιο είναι μια από τις πρώτες εκδοχές στην οικογένεια αυτών των μπαταριών και προσφέρει μια πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Δυστυχώς, αυτό το σύστημα μπαταριών δεν μπορεί να μεταφέρει υψηλής εντάσεως ρεύματα και περιορίζεται σε φορητές συσκευές.

Οι κατασκευαστές των HEV πειραματίζονται με τις εκδοχές του μαγγάνιου και των φωσφορικών αλάτων στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν μια υπερβολικά χαμηλή εσωτερική αντίσταση, μεταφέρουν υψηλής εντάσεως ρεύματα και δέχονται γρήγορη φόρτιση. Αντιθέτως με την εκδοχή του κοβαλτίου, η αντίσταση παραμένει χαμηλή καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Για την απόδειξη αυτού του χαρακτηριστικού στις μπαταρίες ιόντων λιθίου βασισμένες στο μαγγάνιο, πραγματοποιήθηκε μια εργαστηριακή έρευνα που εφάρμοσε 30.000 κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης σε μια περίοδο επτά χρόνων. Αν και η χωρητικότητα έπεσε από το 100% στο 20%, το στοιχείο διατήρησε τη χαμηλή του εσωτερική αντίσταση. Το μειονέκτημα των μπαταριών αυτών με το μαγγάνιο και τα φωσφορικά άλατα είναι η χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας αλλά αυτά τα συστήματα παρέχουν 20% περισσότερη χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους απ' ότι οι μπαταρίες NiMH και τρεις φορές περισσότερη απ' ότι οι μπαταρίες

μολύβδου. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τις πυκνότητες ενέργειας των μπαταριών μολύβδου, νικελίου και ιόντων λιθίου στις τρεις εκδοχές του. Παρατηρείται εύκολα ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης πυκνότητας ενέργειας με το κόστος όμως της χαμηλότερης ασφάλειας και του μειωμένου κύκλου ζωής.



Σχήμα 4.4 Πυκνότητες Ενέργειας των διαφόρων μπαταριών

Οι μπαταρίες Li-ion φαίνονται πολλά υποσχόμενες για τη χρήση τους στα υβριδικά οχήματα αλλά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα εμπόδια που πρέπει να αρθούν:

Ανθεκτικότητα: Ο αγοραστής απαιτεί μια εγγύηση των δέκα ετών και παραπάνω. Προς το παρόν, οι κατασκευαστές των μπαταριών για τα υβριδικά οχήματα δίνουν εγγύηση οχτώ ετών για τις NiMH. Η μακροβιότητα των lithium-ion μπαταριών δεν έχει αποδειχτεί ακόμα και η επίτευξη ακόμα και των οχτώ ετών αποτελεί πρόκληση.

Κόστος: Αν το κόστος αντικατάστασης των \$2,000 ως \$3,000 μιας μπαταρίας Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου είναι απαγορευτικό, το αντίστοιχο κόστος με τις μπαταρίες Li-ion θα είναι υψηλότερο. Αυτά τα συστήματα είναι περισσότερο

δαπανηρά για να παραχθούν αλλά έχουν τη δυνατότητα μείωσης της τιμής με βελτιωμένες μεθόδους παραγωγής. Οι μπαταρίες NiMH έχουν φτάσει το χαμηλότερο δυνατό κόστος το οποίο δεν μπορεί να μειωθεί λόγω των υψηλών τιμών του νικελίου.

Ασφάλεια: Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που βασίζονται στο μαγγάνιο και στα φωσφορικά άλατα είναι περισσότερο ασφαλείς από τις αντίστοιχες του κοβαλτίου. Το κοβάλτιο γίνεται θερμικά ασταθές σε μια μέση θερμοκρασία των 150°C (300°F). Τα στοιχεία από μαγγάνιο και φωσφορικά άλατα μπορούν να φτάσουν τους 250°C (480°F) πριν γίνουν επικίνδυνα. Εκτός από την αυξημένη θερμική σταθερότητα, η μπαταρία απαιτεί ακριβά κυκλώματα προστασίας που θα επιβλέπουν τις τάσεις των στοιχείων και θα περιορίζουν τις διαρροές ρεύματος. Τα κυκλώματα προστασίας πρέπει να προστατεύουν σε περίπτωση αστοχίας του στοιχείου που συμβαίνει φυσικά με την ηλικία της μπαταρίας.

Διαθεσιμότητα: Οι κατασκευαστές των στοιχείων μαγγανίου και φωσφορικών αλάτων δύσκολα ίσως να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση. Μια ραγδαία αύξηση στη χρήση λιθίου στις μπαταρίες των υβριδικών οχημάτων, θα είχε αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Με 7 kg (15 lb) λιθίου ανά μπαταρία, τίθεται θέμα έλλειψης των ακατέργαστων υλικών. Οι περισσότερες γνωστές διαθέσιμες ποσότητες βρίσκονται στην Βόρεια Αμερική, στην Αργεντινή, στη Χιλή και στη Βολιβία.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σε λίγο καιρό θα αντικαταστήσουν τις NiMH καθώς η τεχνολογία των πρώτων έχει προχωρήσει κατά πολύ. Με βάση δεδομένα και μετρήσεις παρατίθεται πιο κάτω συγκριτικός πίνακας με τις ιδιότητες των δυο ειδών μπαταριών, των NiMH και των Li-ion.

Μπαταρία	Li-ion vs. NiMH	
	NiMH	Li-ion
Ενεργειακή Πυκνότητα, W·h/kg	80	200
Πυκνότητα Ισχύος, W/kg	1600	>3000
Ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, Wh/L	200	550
Κόστος, \$/kW·h	35	30-35
Ρυθμός Αυτοεκφόρτισης (per month), %	15	5
Βαθμός απόδοσης (%)	90	>95
Εύρος Θερμοκρασιών Λειτουργίας, °C	-10 ως +40	-30 ως +50
Κύκλος Ζωής	900 (EV); 300K (HEV)	1000 (EV); 300K (HEV)
Ημερολογιακός χρόνος Ζωής (χρόνια)	>10	>10

4.1.4 Μειονεκτήματα των σύγχρονων υβριδικών οχημάτων λόγω χρήσης μπαταριών.

Οι μπαταρίες, όπως αναφέρθηκε, προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων ενέργειας και τον τομέα της ασφάλειας. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα τα οποία έχουν να κάνουν με την ικανότητα των μέχρι στιγμής γνωστών εμπορικών συσσωρευτών να διαχειρίζονται μεγάλα ρεύματα.

Έτσι, λοιπόν, είναι αδύνατη η “ακαριαία φόρτιση” των συσσωρευτών και αυτός είναι ο λόγος που τα υβριδικά αυτοκίνητα, κατά την πέδηση, ανακτούν ένα μικρό μόνο ποσοστό της κινητικής τους ενέργειας. Το μέγεθος της ενέργειας που είναι δυνατόν να ανακτηθεί κατά την πέδηση καθορίζεται από το μέγιστο ανεκτό ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας, το οποίο είναι απείρως μικρότερο από αυτό που μπορούν να παράγουν οι ηλεκτρογεννήτριες του οχήματος, όταν χρησιμοποιούνται ως μονάδες πέδησης. Είναι γνωστό, επίσης, το γεγονός ότι η μέγιστη αποδιδόμενη στους τροχούς ισχύς ενός υβριδικού οχήματος δεν είναι ίση με το άθροισμα των ισχύων θερμικού κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα αλλά αισθητά μικρότερη. Η αιτία βρίσκεται στο ότι το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης της μπαταρίας είναι περιορισμένο σε επίπεδα πολύ μικρότερα από αυτά που αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ του ηλεκτροκινητήρα, ενώ το υπόλοιπο ρεύμα, όταν ο ηλεκτροκινητήρας κινείται με τη μέγιστη ισχύ του, προέρχεται, αναγκαστικά, από τη γεννήτρια την οποία

κινεί ο θερμικός κινητήρας, αναλώνοντας μέρος της ισχύος του που κάτω από άλλες συνθήκες θα τροφοδοτούσε τους τροχούς. Ένας τεραστίων διαστάσεων συσσωρευτής μπορεί να αποθηκεύσει σχεδόν (πάντα υπάρχουν απώλειες) όλη την ανακτηθείσα κατά την πέδηση ενέργεια και να τη μετατρέψει (πάλι με ελάχιστες απώλειες) σε κινητική ενέργεια. Το όχημα, όμως, μαζί με τον τεράστιο συσσωρευτή, θα αποκτήσει και τεράστιο βάρος, άρα θα χρειαστεί πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια για την επιτάχυνση του, μια ενέργεια, που ο τεράστιος συσσωρευτής δεν μπορεί να προσφέρει. Ούτε, όμως, θα μπορεί ο συσσωρευτής αυτός να αποθηκεύσει την τεράστια ανακτηθείσα ενέργεια που προέρχεται από τη δική του αδράνεια. Δημιουργείται, έτσι, ένας φαύλος κύκλος. Το ιδανικό, στην περίπτωση αυτή, θα ήταν να έδινε όλη του την ισχύ ο θερμικός κινητήρας αποκλειστικά στους τροχούς και ταυτόχρονα οι μπαταρίες να παρείχαν στον ηλεκτροκινητήρα όλο εκείνο το ρεύμα που απαιτεί για να κινηθεί με τη μέγιστη ισχύ του. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να γίνει, δεδομένου ότι το περιορισμένο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αποδώσει κάθε συστοιχία μπαταριών είναι τέτοιο ώστε να απαιτείται ένας (εξόχως αντιοικονομικός) πολλαπλασιασμός τους, σε σχέση με το πλήθος των μπαταριών που έχουν τα σημερινά υβριδικά οχήματα, ώστε να είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτροκινητήρων, με τη μέγιστη ισχύ τους και με ρεύμα που να προέρχεται αποκλειστικά από τους συσσωρευτές. Φυσικά, ακόμα κι αν γινόταν η τοποθέτηση σε ένα υβριδικό όχημα όλων εκείνων των μπαταριών που θα τροφοδοτούσαν με ρεύμα έναν ισχυρό ηλεκτροκινητήρα (45 kW για παράδειγμα), τα προβλήματα δεν θα είχαν τελειώσει. Το νέο πρόβλημα ονομάζεται μέγιστος αριθμός κύκλων φόρτισης/ολικής εκφόρτισης, πέρα από το οποίο η χωρητικότητα της μπαταρίας αρχίζει να πέφτει και συνολικά η λειτουργία της να υποβαθμίζεται πέρα από ένα αποδεκτό όριο. Μια κοινή μπαταρία μολύβδου, για παράδειγμα, μόλις που ξεπερνά τους 200 κύκλους, ενώ το όριο αυτό κυμαίνεται στο εύρος 500 με 1000 κύκλων στις μπαταρίες NiMH.

4.1.5 Οι υπερπυκνωτές

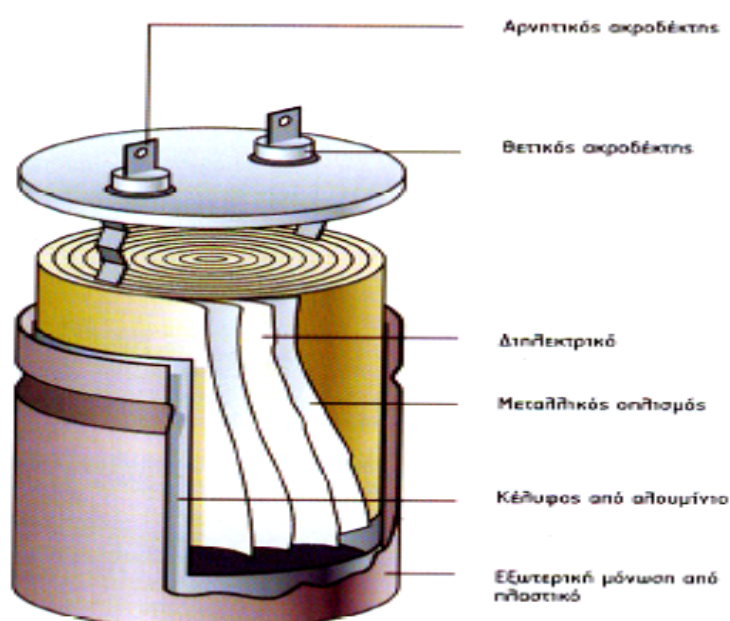
Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Βρίσκονται στους αποταμιευτές φορτίου για ακαριαία εκφόρτιση όπως, για παράδειγμα, στα φλάς των φωτογραφικών μηχανών, στα “ηλεκτρικά” γκλομπς των αστυνόμων, στα συστήματα συγκόλλησης μετάλλων, στα συστήματα ανάφλεξης ΗΖΚ, στα συστήματα πυροδότησης των αερόσακων και των προεντατήρων ζωνών ασφαλείας. Βρίσκονται, επίσης, στους αποταμιευτές ήπιας εκφόρτισης, όπως το κύκλωμα προσωρινής διατήρησης των δεδομένων στη RAM των “εγκεφάλων”. Οι πυκνωτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

i) τους ηλεκτροστατικούς

ii) τους ηλεκτρολυτικούς

iii) τους ηλεκτροχημικούς.

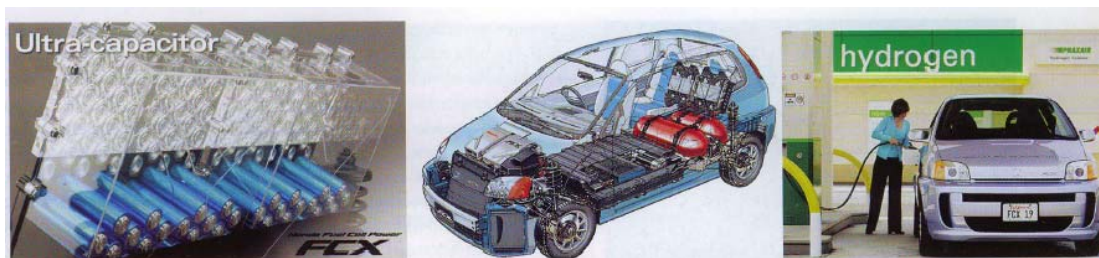
Αν και το όνομα των τελευταίων παραπέμπει στην αρχή λειτουργίας των μπαταριών, εντούτοις και οι τρεις αυτές κατηγορίες αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή του ηλεκτροστατικού πεδίου (λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς).



Σχήμα 4.5 Τυπική μορφή συμβατικού πυκνωτή

Οι πυκνωτές, λοιπόν, δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα πτώσης της απόδοσης τους ανάλογα με τον αριθμό κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, ακόμα κι αν οι κύκλοι πλήρους φόρτισης / πλήρους εκφόρτισης ξεπεράσουν τους 100.000. Από την άλλη είναι ικανοί να αποδώσουν ρεύματα μεγέθους σημαντικά πολλαπλάσιου από εκείνο που θα έκανε μια μπαταρία να εκραγεί. Σε αυτά προστίθεται και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση τους, άρα και η αυξημένη δυνατότητα τους να αποθηκεύσουν μεγάλα ποσά ενέργειας που ανακτώνται κατά την πέδηση του οχήματος, καθώς και η σημαντικά μειωμένη εσωτερική τους ωμική αντίσταση. Έτσι, δημιουργείται η αίσθηση ότι οι πυκνωτές αποτελούν μια πλήρως αξιόπιστη λύση για τα υβριδικά οχήματα. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στην πράξη διότι υπάρχουν σοβαρά μειονεκτήματα. Κυριότερα από αυτά είναι η μεγάλη μεταβολή της τάσης κατά την εκφόρτιση και ο μεγάλος όγκος (και ως ένα βαθμό το βάρος) που απαιτείται να έχουν. Η ποσότητα του ρεύματος που μπορούν να αποθηκεύσουν οι πυκνωτές εξαρτάται άμεσα από την “εκτεθειμένη” επιφάνεια των ηλεκτροδίων τους.

Η απάντηση στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχει δοθεί στη μορφή των “υπερπυκνωτών” – μια τεχνολογία με ζωή ελάχιστων δεκαετιών, η οποία βασίζεται, μεταξύ άλλων, στην ανάπτυξη “ενεργού επιφάνειας” σε ολόκληρη τη μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική τους επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό, έγινε εφικτή η μείωση του συνολικού όγκου σε ένα μικρό μόλις κλάσμα αυτού των συμβατικών πυκνωτών αλλά και ο εντυπωσιακός πολλαπλασιασμός της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα βάρους – παρ’ όλο που εξακολουθεί να υπολείπεται σημαντικά αυτής των μπαταριών. Αυτή τη στιγμή, η πλέον εξελιγμένη “αυτοκινητική” γενιά υπερπυκνωτών (αυτή του “υδρογονικού” Honda FCX) έχει σχεδόν διπλάσιο λόγο ισχύος εξόδου προς βάρος από τις μπαταρίες NiMH, ενώ διατηρεί και όλα τα πλεονεκτήματα των πυκνωτών όσον αφορά την αειζωία (σε αριθμό κύκλων ολικής φόρτισης/εκφόρτισης) και προπαντός τη σημαντικά υψηλότερη ταχύτητα φόρτισης, σε σύγκριση με τις συμβατικές μπαταρίες ιόντων ή υδριδίων.



Σχήμα 4.6 Το υδρογονοκίνητο όχημα κυψέλης καυσίμου FCX της Honda που μέχρι στιγμής κατέχει το ρεκόρ υπομηδενικών θερμοκρασιών, στις οποίες η κυψέλη του και τα περιφερειακά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν απροβλημάτιστα

Οι υπερπυκνωτές δεν είναι τίποτε άλλο από ηλεκτροχημικοί πυκνωτές (EC capacitors) και συγκεκριμένα, μια παραλλαγή των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών, όπου, αντί το “παραδοσιακό” στρώμα του οξειδίου να παίζει το ρόλο του διηλεκτρικού, η εμφάνιση του διηλεκτρικού γίνεται κάθε φορά που ασκείται τάση στους ακροδέκτες του. Με τον τρόπο αυτόν, το φορτίο αποθηκεύεται ηλεκτροστατικά (χωρίς να πραγματοποιούνται δηλαδή χημικές αντιδράσεις) μέσα στα πολωμένα στρώματα υγρού που βρίσκεται ανάμεσα στον οργανικό ηλεκτρολύτη και στο ηλεκτρόδιο. Αν και οι αρχές λειτουργίας τους είναι γνωστές εδώ κι έναν αιώνα, η εμπορική εκμετάλλευση των EC άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του '70 από την NEC, η οποία τους έδωσε το όνομα “supercapacitor”. Η εμπορική ονομασία “ultracapacitor” τους δόθηκε αργότερα από την Pinnacle και τη Maxwell. Η τάση ενός υπερ-πυκνωτή με υδατώδη ηλεκτρολύτη συνήθως δεν ξεπερνά τα 2 Volt – εξαίρεση αποτελούν οι πυκνωτές της Maxwell, οι οποίοι λειτουργούν στα 2,5 Volt με όριο τα 2,7 Volt.



Σχήμα 4.7 Ο MC2600 της Maxwell: 2600 F στα 2,7 V που θα χρησιμοποιηθεί στις συστοιχίες BMOD2600-48 των 35 υβριδικών, πειραματικών λεωφορείων της ISE Research.

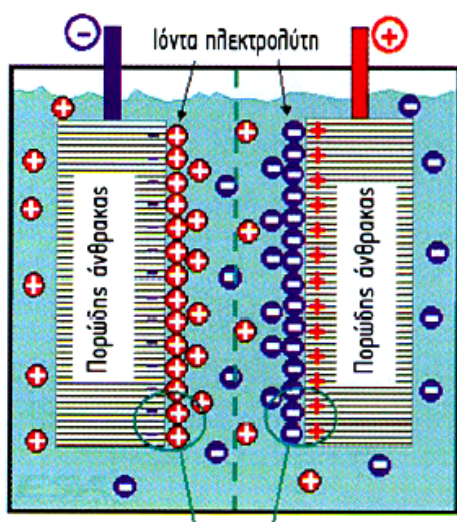
Όπως και με τις μπαταρίες, έτσι και με τους πυκνωτές, μπορεί να επιτευχθεί μια αξιοποιήσιμη τάση για την κίνηση των οχημάτων (48-600 Volt) αν τους συνδέσουμε σε σειρά. Δυστυχώς, όμως, ο κάθε πυκνωτής έχει διαφορετικό ρυθμό αυτοεκφόρτισης, πράγμα που παραβιάζει την ισορροπία τάσεων ανάμεσα στους συνδεδεμένους σε σειρά πυκνωτές. Το πρόβλημα χειροτερεύει καθώς σε κάθε κύκλο φόρτισης/εκφόρτισης, αυτή η ανισορροπία αυξάνεται, προκαλώντας υπέρταση (“βράσιμο” του ηλεκτρολύτη – διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο) και κατάρρευση κάποιου ή κάποιων από τους πυκνωτές της συστοιχίας. Για το λόγο αυτόν, όταν είναι συνδεδεμένοι σε σειρά πάνω από τρεις συμμετρικοί πυκνωτές, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί είτε “παθητική” ισορρόπηση είτε “ενεργητική”. Στην πρώτη περίπτωση, ο κάθε πυκνωτής έχει ενσωματωμένη μια παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση (φτηνή λύση που μας παρέχει ένα μεγάλο βαθμό αυτοεκφόρτισης, αδειάζοντας τον πυκνωτή μέσα σε μερικές ώρες), ενώ στη δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση ακριβών εξωτερικών ψηφιακών κυκλωμάτων, τα οποία εξισώνουν την τάση όλων των πυκνωτών, περιορίζοντας την τιμή αυτοεκφόρτισης. (Βέβαια αν οι ψηφιακοί εξισοροποιητές τάσεων αστοχήσουν, οι πυκνωτές μένουν απροστάτευτοι)

Οι ασύμμετροι πυκνωτές, από την άλλη, δεν χρειάζονται εξισοροποιητές τάσεων ενώ, επιπλέον, έχουν και πενταπλάσια πυκνότητα ενέργειας. Έχουν, ωστόσο, μικρότερη πυκνότητα ισχύος και επιπλέον είναι πολωμένοι. Όταν δε η τάση τους πέσει στο μισό, η αποθηκευμένη ενέργεια τους έχει εξαντληθεί κατά τα 3/4. Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διακρίνονται σε ηλεκτρικούς πυκνωτές διπλού στρώματος (Electric Double Layer Capacitor - EDLC) και σε ψευδο-πυκνωτές (pseudocapacitor). Στην πρώτη περίπτωση, οι οπλισμοί είναι κατασκευασμένοι από ενεργό άνθρακα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, από οξειδία μετάλλων (RuO_2 , MnO_2) πάνω σε φορέα από ενεργό άνθρακα. Και στις δυο περιπτώσεις, οι οπλισμοί είναι εμβαπτισμένοι σε ηλεκτρολύτη. Οι ψευδο-πυκνωτές αντιπροσωπεύουν την τελευταία γενιά των υπερπυκνωτών. Μπορούν να αποθηκεύσουν 80% περισσότερη ενέργεια από έναν ίδιων διαστάσεων EDLC, χάρη στη μεγαλύτερη πυκνότητα των ηλεκτροδίων τα οποία είναι κατασκευασμένα από οξειδία μετάλλων. Είναι ασύμμετροι (άρα πολωμένοι), με μεγάλη εσωτερική αντίσταση (άρα ακατάλληλοι για

εναλλασσόμενο ρεύμα) και επιπλέον εμφανίζουν αυξημένες διαρροές, ενώ χαρακτηρίζονται και από μεγάλη αστάθεια χωρητικότητας. Εξαιρέση αποτελούν αυτοί που τα ηλεκτρόδια τους χρησιμοποιούν οξειδία του Ρουθηνίου (RuO_2) αλλά το μεγάλο τους κόστος προβληματίζει ακόμα και την ίδια τη NASA. Σε έναν υπερπυκνωτή, η απόσταση ανάμεσα “ηλεκτρόδια” προσδιορίζεται από το μέγεθος των ιόντων στον ηλεκτρολύτη που έλκονται προς το φορτισμένο ηλεκτρόδιο. Αυτό το φυσικό διηλεκτρικό υλικό έχει πάχος που δεν ξεπερνά τα 10 Angstrom – τέτοιο διηλεκτρικό, προφανώς είναι αδύνατον να κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Το ηλεκτρικό διπλό στρώμα λειτουργεί σαν μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό) και δεν παραβιάζεται εφόσον η τάση δεν ξεπεράσει την επιτρεπόμενη. Σε αντίθετη περίπτωση, έχουμε την αποσύνθεση του ηλεκτρολύτη, άρα και του φυσικού διηλεκτρικού. Ο διαχωριστής, σε αυτήν την περίπτωση, δεν παίζει το ρόλο του διηλεκτρικού υλικού – απλώς χωρίζει τον ενεργό άνθρακα σε δυο τμήματα. Το αποτέλεσμα, στην πράξη, είναι να έχουμε δυο πυκνωτές (συνδεδεμένους σε σειρά) στη συσκευασία του ενός.

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές αξιοποιούν την επονομαζόμενη χωρητικότητα διπλού στρώματος. Υπάρχουν πολλά θεωρητικά μοντέλα που εξηγούν τη δομή του διπλού στρώματος αλλά στην πράξη αξιοποιούνται μόνο τρία: του Helmholtz (από τη δεκαετία του 1850), των Gouy-Charman και τέλος των Gouy-Charman-Stern, το οποίο αποτελεί συνδυασμό των δυο πρώτων. Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο, η παρουσία φορτίου (περίσσειμα ή έλλειψη ηλεκτρονίων) σ’ ένα ηλεκτρόδιο κατασκευασμένο από ενεργό άνθρακα, αντισταθμίζεται από την ανακατανομή ιόντων μέσα στον ηλεκτρολύτη (συνήθως ένα μίγμα από προπανονιτρίλιο και άλατα). Έτσι, τα ιόντα που έλκονται από το φορτισμένο ηλεκτρόδιο δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα με ετερόνυμο φορτίο (ως προς το ηλεκτρόδιο) χάρη στην ισορροπία των χημικών και ηλεκτρικών δυνάμεων. Εμβαπτίζοντας, τώρα, μέσα στον ηλεκτρολύτη ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο, δημιουργείται ένας δεύτερος πυκνωτής (δεύτερο διπλό στρώμα) συνδεδεμένος σε σειρά με τον πρώτο. Το μοντέλο αυτό του Helmholtz είναι το πιο απλουστευμένο από όλα και δεν λαμβάνει υπόψη του τη διάχυση/μείξη στο διάλυμα (που οδηγεί στην ανομοιόμορφη κατανομή των ιόντων κοντά στα ηλεκτρόδια), τη δυνατότητα απορρόφησης

ιόντων στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου και την αλληλοεπίδραση ανάμεσα στις διπολικές ροπές του διαλυτικού και του ηλεκτροδίου. Αντιθέτως, τα άλλα δυο μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους ορισμένους απ' αυτούς τους περιορισμούς. Παρακάτω διακρίνουμε τη σχηματική παράσταση ενός υπερπυκνωτή διπλού στρώματος. Παρατηρούνται ιόντα δεσμευμένα στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων αλλά και ελεύθερα. Τα δυο εκατέρωθεν στρώματα δεσμευμένων ιόντων αποτελούν, στην ουσία, δυο ξεχωριστούς πυκνωτές συνδεδεμένους σε σειρά.

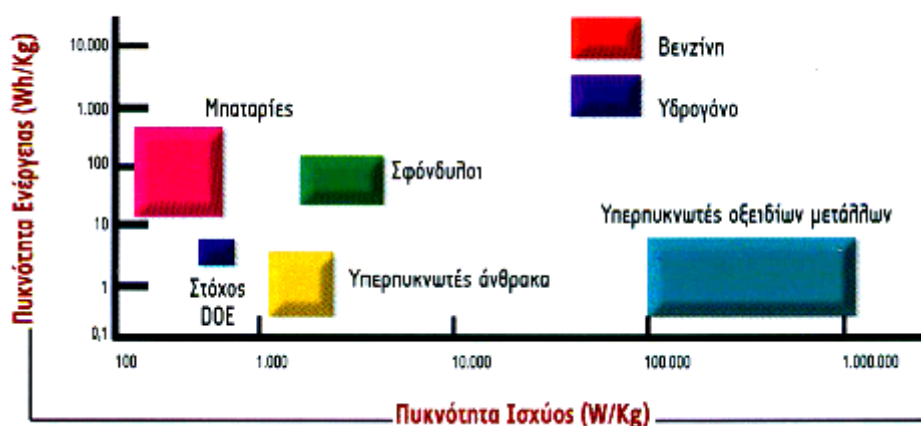


Τα δύο διαφορετικά στρώματα δεσμευμένων ιόντων

Σχήμα 4.8 Σχηματική παράσταση ενός υπερπυκνωτή διπλού στρώματος σε “ώρα εργασίας”.

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές έχουν τη μεγαλύτερη χωρητικότητα, σε σύγκριση με όλους τους άλλους τύπους πυκνωτών αλλά μικρότερη απ' αυτή των μπαταριών. Από την άλλη, έχουν μικρότερη εσωτερική αντίσταση από αυτή των μπαταριών αλλά μεγαλύτερη από αυτή των άλλων πυκνωτών. Σε σχέση με τις μπαταρίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η οποία όμως δεν παύει να είναι μικρότερη από αυτήν των υπόλοιπων πυκνωτών, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη του ηλεκτρολύτη (ο οποίος στεγνώνει με την πάροδο του χρόνου ή ξεχειλίζει όταν γίνεται κακομεταχείριση του πυκνωτή). Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται και το γεγονός της διαρροής ρεύματος (όταν είναι σε καλή κατάσταση και σε καθαρό περιβάλλον, χάνουν 1,2% της ενέργειας ημερησίως) καθώς και η “υπόταση” (3 Volt το πολύ). Ταλαιπωρούνται, επίσης, από τις υψηλές θερμοκρασίες (δεν

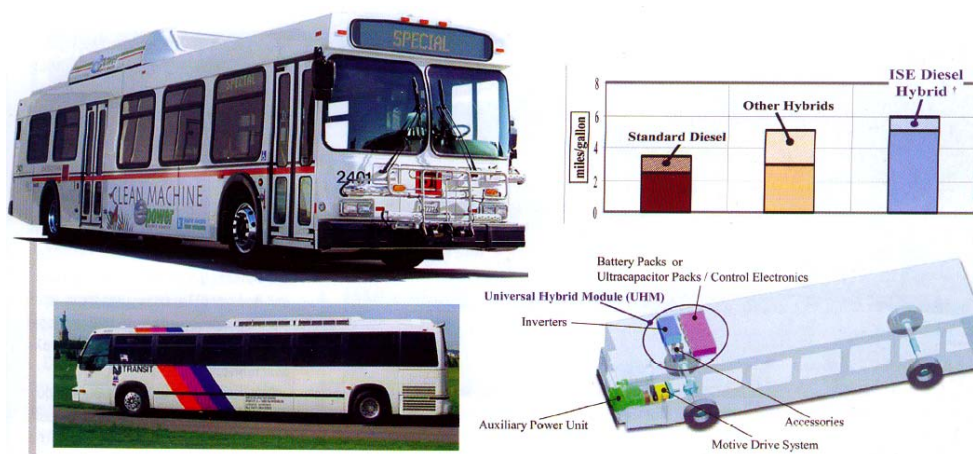
συνίσταται η λειτουργία τους σε θερμοκρασίες άνω των 65 °C) τις οποίες όμως πολύ εύκολα μπορούν να τις “συναντήσουν” κάτω από το καπό της μηχανής, ενώ παρουσιάζουν ευαισθησία στα καυσαέρια, την υγρασία και τις πιέσεις/δονήσεις. Είναι, όμως, οικολογικοί, δεν αποφορτίζονται ξαφνικά, όπως οι μπαταρίες και προειδοποιούν πάντα για το θάνατό τους (για παράδειγμα όταν η χωρητικότητά τους έχει μειωθεί κατά 80%, η αντίστασή τους έχει αυξηθεί κατά 200%). Η κατάσταση φόρτισης τους μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί με ένα βολτόμετρο και δεν απαιτούν πολύπλοκα συστήματα φόρτισης, καθώς, όταν έχουν “γεμίσει”, η ένταση του ρεύματος φόρτισης μειώνεται αυτόματα – γεγονός που αποδεικνύεται, κάποιες φορές, αναγκαίο, όχι για την “υγεία” των ίδιων των υπερπυκνωτών αλλά για την προστασία των υπόλοιπων κυκλωμάτων.



Σχήμα 4.9 Συγκριτική παράθεση πυκνότητας ενέργειας (ενέργεια ανά κιλό μάζας) και πυκνότητας ισχύος (αποδιδόμενη ισχύς ανά κιλό μάζας) για τις καθιερωμένες μορφές αποθήκευσης ενέργειας αλλά και δυο καύσιμα, του παρόντος και του μέλλοντος (βενζίνη και υδρογόνο).

Προς το παρόν, δυο είναι οι επιλογές που υπάρχουν όσον αφορά την αξιοποίηση των πυκνωτών στα συστήματα προώθησης οχημάτων. Η πρώτη είναι τα καθαρόαιμα “πυκνωτικά οχήματα” που ήδη δοκιμάζονται στο χώρο των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (MMM), στα λεωφορεία. Τα τροχοφόρα αυτά φορτίζουν τους πυκνωτές τους σε κάθε στάση (μέσω κεραιών ή επαγωγικών φορτιστών υψηλής ισχύος) μέσα σε περίπου 10 δευτερόλεπτα, χάρη στους αντίστοιχους υπερπυκνωτές που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην κάθε μονάδα ανεφοδιασμού. Εκεί κοντά, όμως, θα πρέπει και να διανυκτερεύσουν,

γιατί το πρωί οι υπερπυκνωτές, λόγω των διαρροών που παρουσιάζουν, θα έχουν “στεγνώσει” αρκετά. Βασικά πλεονεκτήματα αυτής της λύσης είναι η ανάκτηση σχεδόν όλης της ενέργειας κατά την πέδηση και ο μεγάλος βαθμός ετοιμότητας τέτοιων λεωφορείων, λόγω μειωμένων απαιτήσεων συντήρησης και επισκευής. Η ISE Research έχει ήδη ολοκληρώσει τη δοκιμή ενός πειραματικού λεωφορείου και προέβη στην πρώτη – και παγκοσμίως μοναδική – παραγγελία συστοιχιών υπερπυκνωτών από την εταιρία Maxwell για 35 λεωφορεία. Στο παρακάτω Σχήμα 4.10 φαίνονται τα δυο υβριδικά αυτοκίνητα της ISE (πάνω το βενζινοκίνητο με κινητήρα Ford Triton V-10 και κάτω το πετρελαιοκίνητο, με κινητήρα Cummins) που διαθέτουν στην οροφή τους μια συστοιχία υπερπυκνωτών με τη βοήθεια των οποίων ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει, όταν χρειαστεί, την απαιτούμενη πρόσθετη ισχύ, χωρίς να απαιτηθεί η αύξηση φορτίου από τον θερμικό κινητήρα αλλά και χωρίς να καταπονηθούν οι συσσωρευτές από τα ισχυρά ρεύματα που θα ζητηθούν. Χάρη και στην ικανότητα ταχείας ανάκτησης της κινητικής ενέργειας, κατά την πέδηση, οι υπερπυκνωτές δίνουν τη δυνατότητα επίτευξης μιας σημαντικής μείωσης της κατανάλωσης. Στο διάγραμμα διακρίνεται η διαφορά κατανάλωσης του υβριδικού πετρελαιοκίνητου της ISE σε σύγκριση με ανάλογα υβριδικά οχήματα (αλλά χωρίς υπερπυκνωτές) αλλά και τα αμιγώς θερμικά. Οι “γκρίζες” ζώνες, στην κορυφή των στηλών αφορούν πιθανές αποκλίσεις ανάλογα με τον τρόπο χρήσης και τις εκάστοτε οδικές συνθήκες.



Σχήμα 4.10 Τα δυο υβριδικά αυτοκίνητα της ISE (πάνω το βενζινοκίνητο με κινητήρα Ford Triton V-10 και κάτω το πετρελαιοκίνητο, με κινητήρα Cummins) που διαθέτουν στην οροφή τους μια συστοιχία υπερπυκνωτών

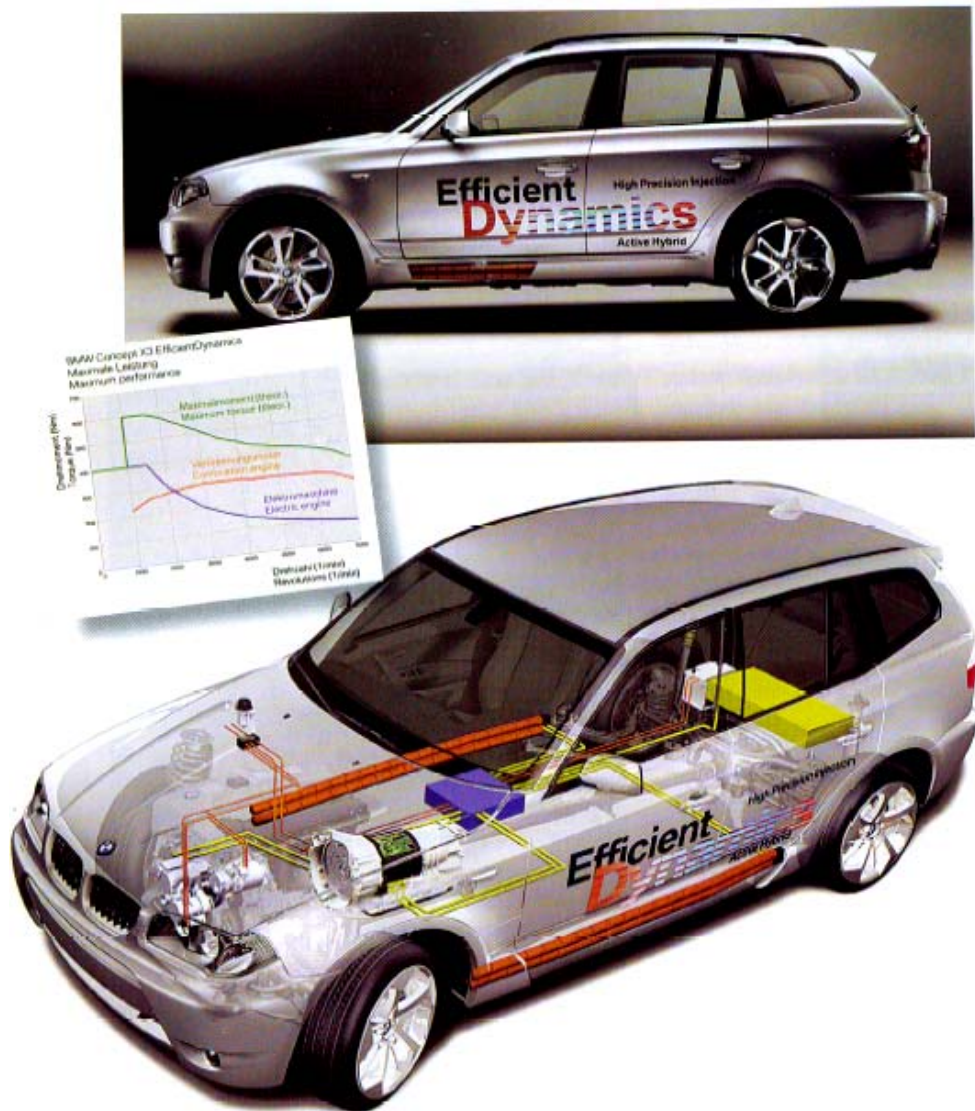
Η δεύτερη επιλογή είναι αυτή των υβριδικών οχημάτων. Αυτά θα χρησιμοποιούν για τη σταθερή κίνηση τους τις μπαταρίες με τη μεγάλη τους αυτονομία, ενώ για την ανάκτηση της ενέργειας κατά την πέδηση και την επιβράδυνση, θα ενεργοποιούνται οι υπερπυκνωτές, οι οποίοι θα κληθούν να αποδώσουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια στην επιτάχυνση του οχήματος. Με αυτόν τον τρόπο δεν υπερφορτώνονται οι μπαταρίες - τόσο στην επιβράδυνση όσο και στην επιτάχυνση - αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τόσο των ίδιων όσο και των φρένων. Η αλήθεια είναι ότι πολλές ελπίδες και κεφάλαια έχουν επενδυθεί στους υπερπυκνωτές, με την ελπίδα να παρακαμφθούν οι αδυναμίες των μπαταριών και να υπάρξει εξέλιξη στην ευρύτερη καθιέρωση της ηλεκτροκίνησης, είτε της αμιγούς, είτε της υβριδικής.



Σχήμα 4.11 Το υδρογονικό όχημα Hy-Light και η συστοιχία των υπερπυκνωτών του.

Στους υπερπυκνωτές διπλού στρώματος κατέφυγε και η BMW προκειμένου να διασφαλίσει την ταχύτερη διαχείριση των μεγάλων ρευμάτων από τον ηλεκτροκινητήρα/ηλεκτρογεννήτρια που αποτελεί τη βάση του πειραματικού X3 Active Hybrid. Οι υπερπυκνωτές αυτοί (ή "Super Caps", όπως τους ονομάζει η BMW) μπορούν να αποθηκεύσουν ηλεκτρικό ρεύμα με ρυθμό υπερδεκαπλάσιο (για το ίδιο βάρος) σε σύγκριση με αυτόν των συσσωρευτών Νικελίου –Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Λόγω δε της μειωμένης (πρακτικά μηδενικής) εσωτερικής ωμικής αντίστασης των Super Caps, ο βαθμός απόδοσης τους φτάνει το 98%, έναντι 84% των συσσωρευτών NiMH. Όπως αποδεικνύεται και από τα σχετικά διαγράμματα της παρακάτω εικόνας, η παρουσία του ηλεκτροκινητήρα μεταξύ του θερμικού κινητήρα και του

κιβωτίου του, έχει ως αποτέλεσμα τον τριπλασιασμό της συνολικής ροπής που είναι διαθέσιμη μέχρι τις 1000 rpm, σε σύγκριση με αυτή που παράγεται αποκλειστικά από τον θερμικό κινητήρα. Και χάρη στην ύπαρξη των υπερπυκνωτών, ολόκληρη η ποσότητα ενέργειας που εκλύεται κατά τη “συνήθη ήπια πέδηση πόλης”, μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα και να αποθηκευτεί, χωρίς να χρειαστεί να ενεργοποιηθούν τα μηχανικά φρένα του αυτοκινήτου. Κατά την επανεπιτάχυνση, η ψηφιακή μονάδα ελέγχου φροντίζει να εξαντλεί (μέσω του ηλεκτροκινητήρα) την ενέργεια αυτή των υπερπυκνωτών, εφόσον οι απαιτήσεις του οδηγού δεν ξεπερνούν κάποιο όριο. Με τον τρόπο αυτό, ο οδηγός επιτυγχάνει μια σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου, χωρίς να αντιλαμβάνεται ποια μονάδα (ηλεκτρική ή θερμική) του παρέιχε και σε ποιο ποσοστό, την επιτάχυνση. Στην περίπτωση, βέβαια, που ο οδηγός πατήσει το πεντάλ του γκαζιού τέρμα, ο θερμικός κινητήρας θα αποδώσει το μέγιστο – στην περίπτωση αυτή, δεν θα υπάρχει εξοικονόμηση καυσίμου αλλά με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα, η επιτάχυνση θα είναι πιο ισχυρή από αυτή που θα μπορούσε να παράσχει από μόνος του ο θερμικός κινητήρας.



Σχήμα 4.12 To BMW X3 Active Hybrid

4.2 Βενζινοκινητήρας με κύκλο Atkinson

Πρακτικά, ένα υβριδικό αυτοκίνητο κινείται στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του με τον θερμικό κινητήρα σε λειτουργία. Ακόμα και σταματημένο μέσα σε ένα μποτιλιάρισμα, το αυτοκίνητο εξακολουθεί να καταναλώνει ενέργεια, τόσο για να συντηρεί τις “ζωτικές του λειτουργίες” (τροφοδοσία της κεντρικής ψηφιακής μονάδας και των παρελκόμενων της, των “by wire” φρένων αλλά και των φώτων) όσο και για να μην χρειαστεί ο οδηγός να στερηθεί, όσο είναι ακινητοποιημένος, των συστημάτων θέρμανσης ή κλιματισμού, του ηχοσυστήματος του ή του συστήματος πλοήγησης. Η

επιλογή των κατασκευαστών υβριδικών οχημάτων μαζικής παραγωγής είναι να μην υπάρχουν, κατά τη διάρκεια μιας μετακίνησης, μεγάλα διαστήματα με το θερμικό κινητήρα σβηστό. Το ζητούμενο είναι να υπάρχει κατά διαστήματα ένα ρεύμα φόρτισης των μπαταριών έτσι ώστε αυτές να μην αναγκαστούν να αποδώσουν ρεύμα στον ηλεκτροκινητήρα όταν η στάθμη τους είναι κοντά στο «μηδέν». Η λύση που έχει δοθεί είναι απλή. Κάθε φορά που το αυτοκίνητο σταματάει, ο κινητήρας σβήνει, αφήνοντας το αυτοκίνητο να καταναλώνει την ενέργεια των μπαταριών του για την ενεργοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών του. Και κάθε φορά που ο οδηγός ξαναπατάει γκάζι, ο κινητήρας παίρνει μπροστά, παράγοντας ρεύμα τόσο για την φόρτιση των μπαταριών όσο και για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα. Και στις δυο, όμως αυτές περιπτώσεις, το ζητούμενο είναι να εξαναγκαστεί ο κινητήρας να λειτουργήσει (για μικρό, έστω, χρονικό διάστημα) σε φορτίο αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που αντιστοιχεί στο ρελαντί. Ο στόχος είναι να παραχθεί το απαιτούμενο ηλεκτρικό φορτίο με τρόπο ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί όσο γίνεται πιο κοντά στην περιοχή της μέγιστης θερμικής του απόδοσης. Μόνο που η μέγιστη θερμική απόδοση του κινητήρα δεν επιτυγχάνεται στις ίδιες στροφές με αυτές της μέγιστης ροπής, όπως είναι γνωστό από τους βενζινοκινητήρες που λειτουργούν με τον κύκλο Otto.

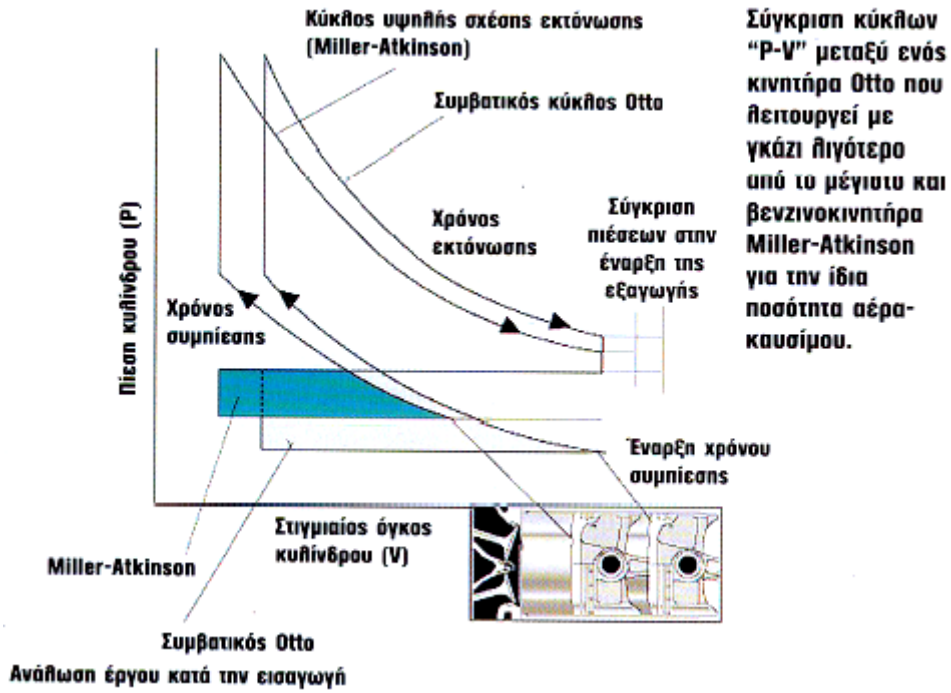
Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, ο Βρετανός James Atkinson πρότεινε έναν αρκετά ενδιαφέροντα θερμικό κύκλο λειτουργίας των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Ο κύκλος αυτός είχε μεγαλύτερη θερμική απόδοση από τον κύκλο του Otto αλλά για την υλοποίηση του απαιτούσε από τον κινητήρα να έχει μια εξαιρετικά αυξημένη μηχανική πολυπλοκότητα, γεγονός που τον καθιστούσε, πρακτικά, μη αξιοποιήσιμο. Η αρχή του κύκλου του Atkinson βασιζόταν σε μια απλή διαπίστωση: στο ότι, όταν το έμβολο φτάσει στο Κάτω Νεκρό Σημείο του χρόνου της εκτόνωσης, τα αέρια στον κύλινδρο εξακολουθούν να έχουν αρκετά μεγάλη πίεση η οποία δεν μπορεί πλέον να εκτονωθεί και να μετατραπεί σε μηχανικό έργο. Αν το έμβολο δεν είχε φτάσει στο τέλος της προς τα κάτω διαδρομής του, η βαλβίδα εξαγωγής θα εξακολουθούσε να παραμένει κλειστή και η πίεση των αερίων του κυλίνδρου θα συνέχιζε να «αξιοποιείται» μέχρι να πέσει σε μη-εκμεταλλεύσιμα επίπεδα. Και φυσικά, για την ίδια ποσότητα καυσίμου, το έργο που θα έφτανε στο

στρόφαλο θα ήταν πολύ περισσότερο. Συνακόλουθα, τα αέρια της εξάτμισης θα είχαν πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία και ταχύτητα, στην έξοδο τους από τον κύλινδρο. Με άλλα λόγια, σύμφωνα με τη θεωρία του Atkinson, το μεγάλο μειονέκτημα του κύκλου του Otto δεν είναι άλλο από το γεγονός ότι η διαδρομή του εμβόλου κατά το χρόνο της εκτόνωσης είναι ίση, σε μέγεθος, με αυτή που το έμβολο διανύει κατά τους χρόνους της εισαγωγής ή της συμπίεσης. Ο κινητήρας του Atkinson διέθετε ένα μηχανισμό μέσω του οποίου η διαδρομή του εμβόλου, κατά το χρόνο της εκτόνωσης, ήταν αρκετά μεγαλύτερη από την αντίθετη διαδρομή, την οποία το έμβολο εκτελούσε κατά το χρόνο της συμπίεσης. Και το πιο σημαντικό στοιχείο της εφεύρεσης αυτής ήταν το γεγονός ότι το μέγεθος καθεμιάς από αυτές τις δυο διαδρομές, μπορούσε να ρυθμιστεί ανεξάρτητα από την άλλη.

Η μηχανή του Atkinson έμεινε στα αζήτητα για πάρα πολλά χρόνια, όχι όμως και η θεωρία του, την οποία κάποιοι ερευνητές προσπαθούσαν να υλοποιήσουν σε ένα πιο πρακτικό επίπεδο. Τη λύση τελικά τη βρήκε πριν από μισό αιώνα ο Αμερικάνος R.H.Miller, του οποίου οι ιδέες άρχισαν να εξετάζονται με ενδιαφέρον από τους Ιάπωνες, τις τελευταίες δεκαετίες. Η ιδέα του Miller (απ' όπου και ο ομώνυμος κύκλος, Σχήμα 4.13) ήταν απλή και πάνω σε αυτή βασίστηκε και η Toyota στις υβριδικές της εφαρμογές. Η διαδρομή του εμβόλου, κατά την εκτόνωση, θα παρέμενε σταθερή – η μέγιστη δυνατή. Αντιθέτως, μεταβλητή θα ήταν η διαδρομή του εμβόλου κατά την οποία θα πραγματοποιείτο η συμπίεση. Κατά συνέπεια, θα ήταν μεταβλητός και ο λόγος συμπίεσης. Όλη αυτή η διαδικασία βασίζεται στην επιλογή του χρονισμού που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Όταν είναι επιθυμητός ο χαμηλός λόγος συμπίεσης, τότε διατηρείται ανοικτή η βαλβίδα εισαγωγής κατά την άνοδο του εμβόλου. Με την προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου, ένα μέρος του μίγματος εκτοπίζεται από τον κύλινδρο και επιστρέφει στον αυλό εισαγωγής. Η εναπομένουσα ποσότητα αρχίζει να συμπιέζεται από τη στιγμή που κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και καθώς ο χρονισμός κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής είναι μεταβλητός, επόμενο είναι να μεταβάλλεται μαζί του και ο «ενεργός» λόγος συμπίεσης αλλά και ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Το μειονέκτημα της «ατμοσφαιρικής» εκδοχής του κύκλου Miller (όπως στην περίπτωση του Toyota Prius) εντοπίζεται στο γεγονός ότι ο βαθμός

πλήρωσης του κινητήρα αυξομειώνεται, ταυτόχρονα, με το βαθμό συμπίεσης. Εκείνο όμως που χρειάζεται, προκειμένου να εξαντληθούν τα όρια αποδοτικότητας του κινητήρα, είναι το ακριβώς αντίστροφο: ο βαθμός συμπίεσης να είναι τόσο μεγαλύτερος όσο μικρότερος είναι ο βαθμός πλήρωσης του κινητήρα. Από την άλλη, είναι προφανές ότι η λειτουργία με κύκλο Miller «ευνοείται» από την παρουσία ενός μηχανικού υπερσυμπιεστή, μέσω του οποίου καθορίζεται η πίεση που θα επικρατεί στον κύλινδρο τη στιγμή που θα κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής και θα αρχίζει η συμπίεση του μίγματος. Το γεγονός είναι, πάντως, ότι εφόσον ο κινητήρας λειτουργεί με κύκλο Miller, η αξιοποίηση του καυσίμου του βρίσκεται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα απ' ό,τι όταν αυτός λειτουργεί σε κύκλο Otto. Η εξήγηση γι' αυτό είναι απλή.

Στην «εκδοχή Miller» ακόμα κι όταν δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος, η ρυθμιστική δικλείδα παραμένει πλήρως ανοιχτή, όπως ακριβώς και στους κινητήρες πτωχού μίγματος όταν ο οδηγός δεν πατάει το πεντάλ ως το τέρμα. Και αντί η ροή αέρα να στραγγαλίζεται, μέσω της “πεταλούδας”, προκειμένου να αποδοθεί ισχύς μικρότερη από τη μέγιστη, ο περιορισμός της ποσότητας μίγματος επιτυγχάνεται μέσω του καθυστερημένου κλεισίματος της βαλβίδας εισαγωγής – άρα και της επιστροφής του πλεονάζοντος μίγματος προς τον αυλό εισαγωγής. Έτσι, στη φάση της εισαγωγής, ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν να είχε κυβισμό μικρότερο από τον ονομαστικό του – και ανάλογο, προφανώς, της αιτούμενης ισχύος. Στην εκτόνωση αξιοποιείται ολόκληρη η προς τα κάτω διαδρομή του εμβόλου. Άρα, πρόκειται ακριβώς για την περίπτωση ενός «μικρότερου» κινητήρα που λειτουργεί ως Atkinson. Για να λειτουργήσει, όμως, ένας κινητήρας σε κύκλο Miller, οι σχεδιαστές του θα πρέπει ευθύς εξ' αρχής να «απαρνηθούν» την παρουσία δυναμικών (κυματικών) φαινομένων στον αυλό εισαγωγής – άρα να απαρνηθούν και τις μεγάλες ογκομετρικές αποδόσεις προς χάριν της μικρής κατανάλωσης.



Σχήμα 4.13 Σύγκριση κύκλων P-V μεταξύ κινητήρων Otto και Atkinson

5. Σύστημα Ελέγχου Υβριδικού Οχήματος

5.1 Ροή Ισχύος Σε HEV

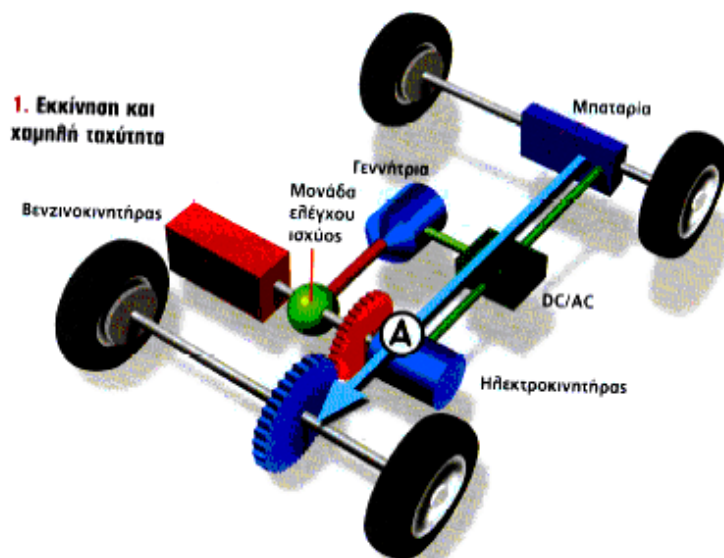
Όπως προαναφέρθηκε στόχος από τη δημιουργία των υβριδικών αυτοκινήτων ήταν η μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα αυτοκίνητα μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας ή καλύτερα της ελάχιστης κατανάλωσης ενέργειας κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με κατάλληλο σύστημα ελέγχου. Η σύμπλεξη στο (σταθερής σχέσης μετάδοσης) κιβώτιο ταχυτήτων δεσμεύει ή αποδεσμεύει τον ηλεκτροκινητήρα ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του υβριδικού. Έτσι, η Μ.Ε.Κ. και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται στον άξονα μετάδοσης κίνησης που δίνει κίνηση στο διαφορικό και σε δυο ημιαξόνια. Ο Η/Κ φορτίζει τη συστοιχία των μπαταριών όταν λειτουργεί σαν γεννήτρια (π.χ. ανάκτηση ισχύος κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος) και αποφορτίζει τις μπαταρίες όταν βοηθάει τον κινητήρα στην προώθηση του οχήματος (π.χ. κατά τη διάρκεια μιας επιτάχυνσης) όταν λειτουργεί σαν κινητήρας. Συνολικά υπάρχουν πέντε διαφορετικοί πιθανοί τρόποι οδήγησης σε έναν τέτοιο σχηματισμό. Ονομαστικά αυτοί είναι:

- i. λειτουργία οχήματος μηδενικών εκπομπών (ZEV) (ο κινητήρας σβηστός, λειτουργεί ο ηλεκτροκινητήρας)
- ii. κανονική λειτουργία κινητήρα (όπως και στα συμβατικά οχήματα)
- iii. υβριδική λειτουργία κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα

- iv. υβριδική λειτουργία ηλεκτροκινητήρα ως γεννήτρια (ο κινητήρας παρέχει την ισχύ προώθησης του οχήματος και ταυτόχρονα φορτίζει τις μπαταρίες)
- v. λειτουργία ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα (regenerative braking)

Παρακάτω παρουσιάζονται εικονικά τα διάφορα εναλλακτικά σενάρια της ροής ισχύος σε ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου και συγκεκριμένα της Toyota. Η μικτή συνδεσμολογία κινητήρα – γεννήτριας – ηλεκτροκινητήρα επιτρέπει την αξιοποίηση, κατά περίπτωση, των μελών εκείνων του υβριδικού συστήματος που η συνεργασία τους θα επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Έτσι, όταν η μπαταρία είναι φορτισμένη και η κίνηση του αυτοκινήτου γίνεται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες, ο κινητήρας σβήνει προκειμένου να αποφευχθεί η λειτουργία του υπό καθεστώς χαμηλού βαθμού απόδοσης. Το αυτοκίνητο κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (Ροή ισχύος Α).

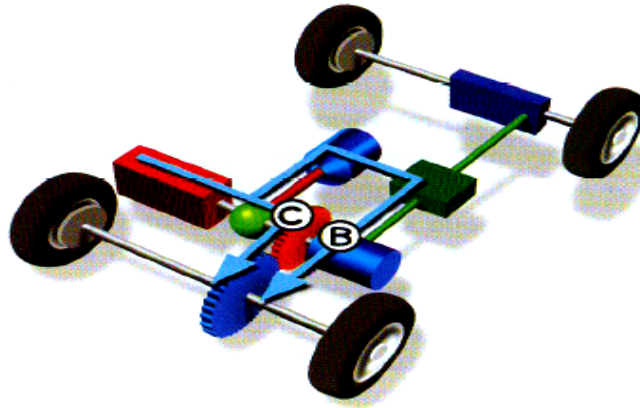


Σχήμα 5.1 Ροή ισχύος στην εκκίνηση και σε χαμηλές ταχύτητες

Κάτω από κανονικές συνθήκες οδήγησης, η ισχύς του κινητήρα μοιράζεται μεταξύ των τροχών (C) και της γεννήτριας. Ένα μέρος από το ρεύμα που παράγεται από τη γεννήτρια διοχετεύεται στην μπαταρία, φορτίζοντας την και το υπόλοιπο πηγαίνει στον ηλεκτροκινητήρα που με τη σειρά του (B),

συνεισφέρει στην κίνηση των τροχών. Οι επιμέρους κατανομές ισχύος και ρεύματος επιλέγονται έτσι, ως προς τα ποσοστά τους, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του συστήματος.

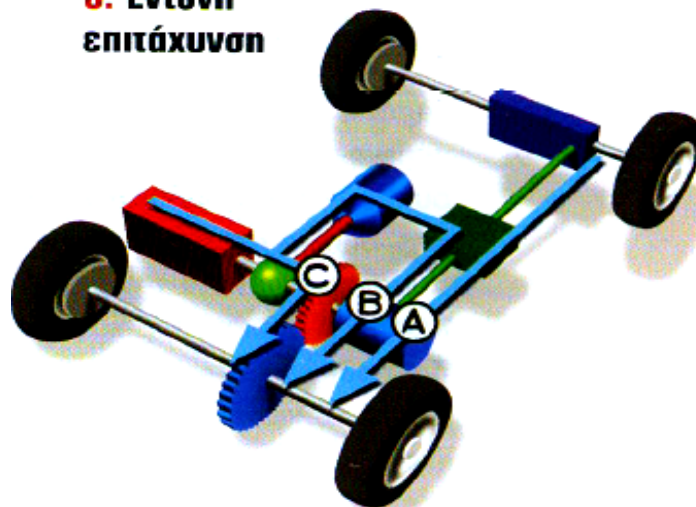
2. Οδήγηση υπό ομαλές συνθήκες



Σχήμα 5.2 Ροή ισχύος σε ομαλές συνθήκες οδήγησης

Στην περίπτωση που απαιτείται έντονη επιτάχυνση, ολόκληρη η παραγόμενη ισχύς από τον κινητήρα διοχετεύεται στους τροχούς όπως και η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα (B+C) ο οποίος τροφοδοτείται από την μπαταρία (A). Το ποσοστό της ισχύος που θα καταλήξει στους τροχούς από τον κινητήρα και τον ηλεκτροκινητήρα καθορίζεται και πάλι από τα κριτήρια μεγιστοποίησης του βαθμού απόδοσης.

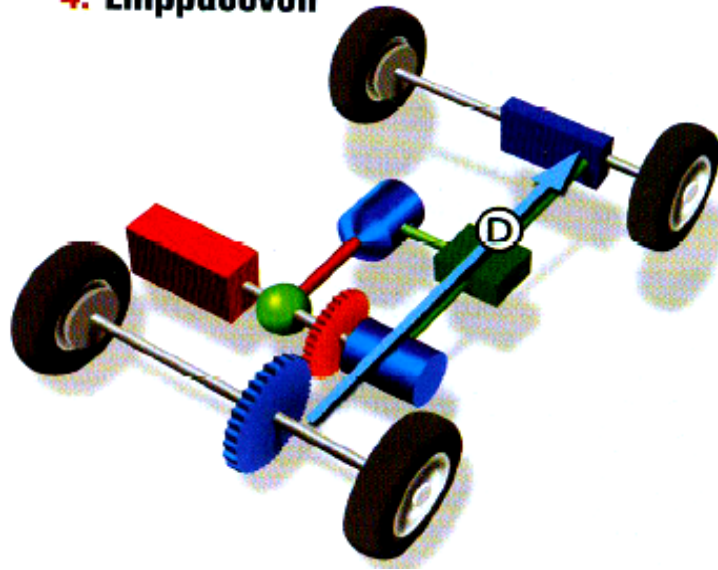
3. Έντονη επιτάχυνση



Σχήμα 5.3 Ροή ισχύος στη διάρκεια έντονης επιτάχυνσης

Όταν το αυτοκίνητο επιβραδύνει, ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπεται σε ισχυρή γεννήτρια, ικανή να απορροφήσει μεγάλα ποσά κινητικής ενέργειας, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική (D). Η επενέργεια των - ηλεκτρικά ελεγχόμενων - υδραυλικών φρένων καθορίζεται από την ένταση της «αιτούμενης» επιβράδυνσης και από τις ανάγκες για σωστή κατανομή των επιβραδυντικών φορτίων ανάμεσα στους εμπρός και τους πίσω τροχούς.

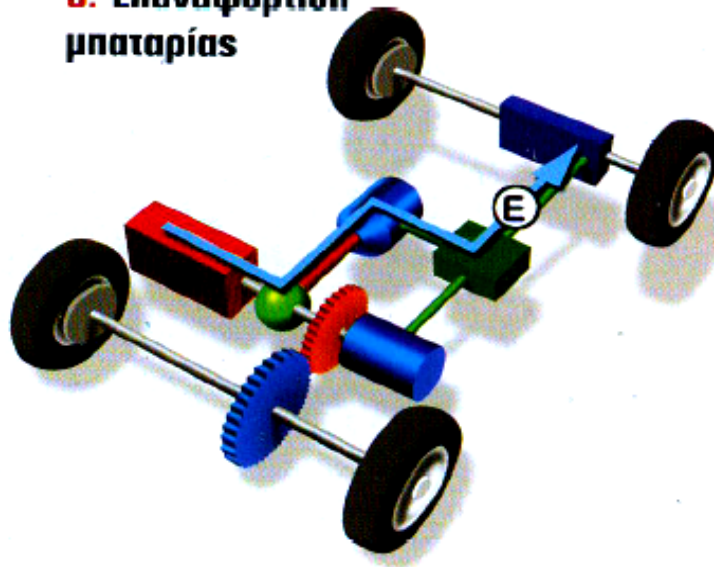
4. Επιβράδυνση



Σχήμα 5.4 Ροή ισχύος κατά την επιβράδυνση

Τέλος, όταν το αυτοκίνητο ακινητεί και η μπαταρία βρίσκεται σε χαμηλό επίπεδο φόρτισης, ο κινητήρας ενεργοποιείται και τη «γεμίζει», μέσω της γεννήτριας.

5. Επαναφόρτιση μπαταρίας



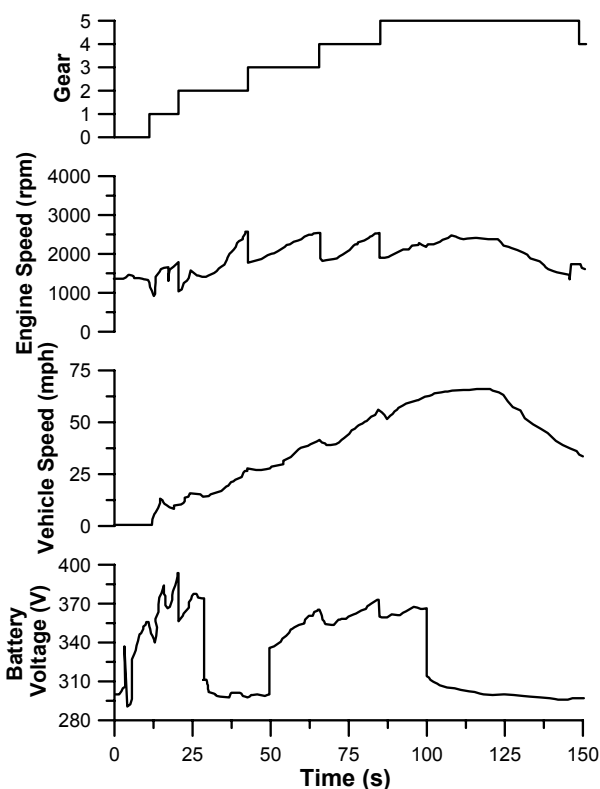
Σχήμα 5.5 Ροή ισχύος κατά την ακινησία οχήματος

5.2 Μεταβατική λειτουργία ενός HEV – Πειραματικά Δεδομένα

Τέσσερις παράγοντες επηρεάζουν κυρίως την απόδοση ενός υβριδικού οχήματος: το μέγεθος του κινητήρα, το μέγεθος του ηλεκτροκινητήρα, ο αριθμός των συστοιχιών των μπαταριών και το σύστημα ελέγχου που έχει υιοθετηθεί για τον συντονισμό των διαφόρων πηγών ενέργειας. Όπως είναι αναμενόμενο, αυξάνοντας την ισχύ εξόδου στα στοιχεία του συστήματος μετάδοσης ισχύος ή τον αριθμό των μπαταριών αυξάνεται και το βάρος του οχήματος, γεγονός που επηρεάζει την οικονομία καυσίμου. Με σκοπό την καλύτερη απόδοση ενός υβριδικού οχήματος, οι διάφορες πηγές ενέργειας πρέπει να βελτιστοποιηθούν (εφαρμόζοντας τεχνικές fuzzy logic, νευρωνικές τεχνικές, γενετικούς αλγόριθμους κλπ) ανάλογα με την πρωταρχική χρήση του οχήματος. Για παράδειγμα, για την επίτευξη της καλύτερης απόδοσης σε οδηγικές καταστάσεις συνεχούς εκκίνησης – στάσης, απαιτείται μια κατανομή ισχύος 50-50 ανάμεσα στον κινητήρα και στον ηλεκτροκινητήρα. Σε έναν αυτοκινητόδρομο η αναλογία αυτή θα μετακινιόταν προς την πλευρά του κινητήρα, μια κατάσταση που ονομάζεται 'ήπιος' υβριδικός σχηματισμός (π.χ. αναλογία υβριδοποίησης, ορισμένη ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος προς

την συνολική ισχύ, κάτω από 30%). Ιδιαίτερως για τα παράλληλα HEV, ένας πολύ γνωστός αλγόριθμος διανομής ισχύος στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου από τον κινητήρα, λειτουργώντας τον μακριά από λειτουργικά σημεία χαμηλής απόδοσης, μια μεθοδολογία γνωστή ως “εξισορρόπηση φορτίου”.

Ωστόσο ένα επιτυχημένο σύστημα ελέγχου θα πρέπει πάντα να λαμβάνει υπόψη την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 5.6, όπου απεικονίζονται πραγματικά δεδομένα από την αργή επιτάχυνση στα 0-65 mph ενός επιβατηγού HEV παράλληλης συνδεσμολογίας. Ο αργός αυτός κύκλος δίνει τη δυνατότητα αντίληψης του τι συμβαίνει σε ένα υβριδικό όχημα κατά τη διάρκεια μιας μεταβατικής κατάστασης επιτάχυνσης.



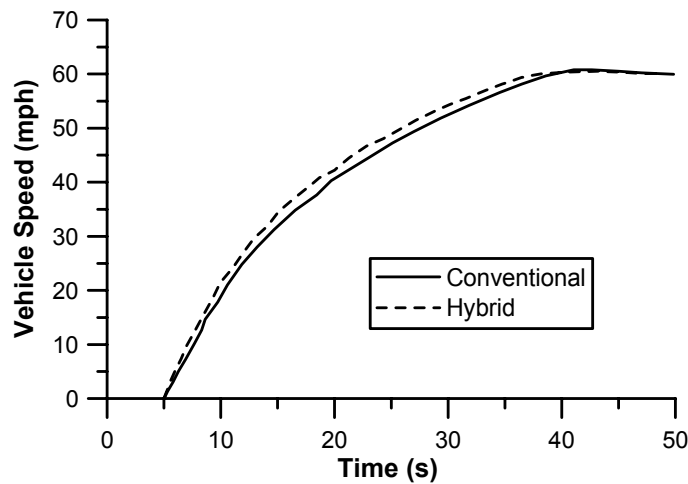
Σχήμα 5.6 Εξέλιξη παραμέτρων του οχήματος, του κινητήρα και της μπαταρίας στη διάρκεια επιτάχυνσης στα 0-65 mph ενός επιβατηγού HEV που αποτελείται από έναν 66 kW κινητήρα diesel και έναν 20 kW ηλεκτροκινητήρα

Αυτός ο τεχνητός κύκλος οδήγησης, ο οποίος μπορεί να ερμηνευτεί και ως είσοδος σε αυτοκινητόδρομο, μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα μέρη: λειτουργία στο ρελαντί, επιτάχυνση, σταθερή ταχύτητα, επιβράδυνση. Στην εκκίνηση, το όχημα ξεκινά με τελείως αφόρτιστη μπαταρία, κάτι το οποίο φαίνεται από τη

χαμηλή τάση της μπαταρίας (περίπου στα 300 V). Καθώς η επιτάχυνση που ακολουθεί είναι αρκετά αργή, ο (fuzzy logic) ρυθμιστής δίνει προτεραιότητα στη φόρτιση των μπαταριών αφού προσπαθήσει να βοηθήσει τον κινητήρα στην επιτάχυνση του οχήματος για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Μετά από περίπου 30 sec, ο ρυθμιστής αντιλαμβάνεται μια συνεχή επιτάχυνση. Για να ενισχύσει αυτή την προσπάθεια, χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που έχει παραχθεί από πριν και λειτουργεί τον ηλεκτροκινητήρα ως κινητήρα. Ωστόσο, οι προηγούμενες προσπάθειες φόρτισης των μπαταριών δεν ήταν αρκετές για τη φόρτιση τους με αποτέλεσμα ο ρυθμιστής να μειώσει τη χρήση του ηλεκτροκινητήρα ως κινητήρα. Στα 49 sec, ο ρυθμιστής αντιλαμβάνεται ότι οι μπαταρίες δεν είναι φορτισμένες αρκετά για να συνεχίσουν τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα. Έτσι, ξεκινά μια αρνητική συνεισφορά ροπής από τον ηλεκτροκινητήρα για τη φόρτιση των μπαταριών και για την προστασία τους από καταστροφή. Αυτό είναι δυνατό αφού η επιτάχυνση συνεχίζει σε αργό ρυθμό. Στα 100 sec, χρησιμοποιώντας το δεδομένο ότι απαιτείται μια αργή επιβράδυνση, ο ρυθμιστής αποφασίζει ότι οι μπαταρίες φορτίστηκαν αρκετά για να μεταφέρουν ένα μικρό ποσό ενέργειας στην κίνηση του οχήματος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του με σταθερή ταχύτητα και κατά την επιβράδυνση. Στο τέλος του κύκλου, η τάση της μπαταρίας είναι περίπου στο αρχικό επίπεδο, γεγονός που καταδεικνύει ότι το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας έχει διατηρηθεί.

5.3 Πειραματική Σύγκριση Μεταβατικής Λειτουργίας Συμβατικού Οχήματος και HEV με κινητήρα Diesel

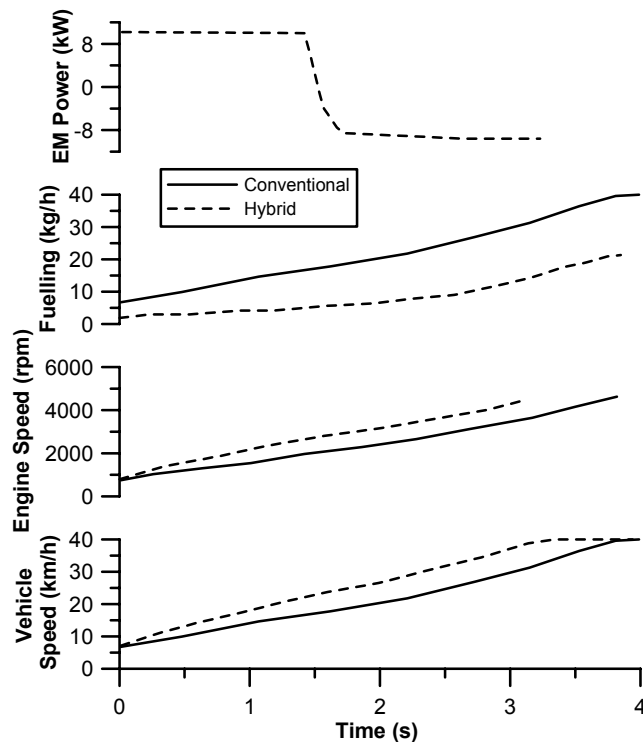
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος έναντι του συμβατικού, εκτός από τη μείωση των καυσαερίων, είναι ότι μπορεί να βελτιώσει τη μεταβατική απόκριση του κινητήρα. Μια τέτοια σύγκριση του προφίλ ταχύτητας σε μια επιτάχυνση στα 0-60 mph μεταξύ ενός συμβατικού οχήματος και ενός υβριδικού παράλληλης συνδεσμολογίας απεικονίζεται στο Σχήμα 5.7.



Σχήμα 5.7 Σύγκριση προφίλ ταχύτητας μεταξύ συμβατικού και υβριδικού φορτηγού κατά τη διάρκεια επιτάχυνσης στα 0-60 mph (πειραματικά δεδομένα από Lin)

Τα δεδομένα αφορούν ένα 4x2 υβριδικό φορτηγό βάρους 7,258 tn, εξοπλισμένο με έναν V6, υπερπληρωμένο diesel κινητήρα ισχύος 157 kW και με έναν ηλεκτροκινητήρα ισχύος 49 kW τοποθετημένο μετά το κιβώτιο ταχυτήτων. Το σχήμα αυτό απεικονίζει με σαφή τρόπο τα πλεονεκτήματα ενός HEV από την άποψη της μεταβατικής λειτουργίας. Το υβριδικό όχημα, όπως φαίνεται, πέτυχε την επιθυμητή ταχύτητα των 60 mph ελαφρώς νωρίτερα από το συμβατικό φορτηγό, πρωτίστως λόγω καλύτερης επίδοσης αμέσως μετά την εκκίνηση. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η παραγωγή ροπής από έναν υπερπληρωμένο κινητήρα περιορίζεται (fuel limited), ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες του κινητήρα για την αποφυγή εκπομπών αιθάλης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντικά μικρότερη επιτάχυνση. Αντίθετα προς τους υπερπληρωμένους κινητήρες, οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν και παράγουν σημαντικό ποσό ροπής ανεξάρτητα από την ταχύτητα του κινητήρα. Έτσι, το HEV επωφελήθηκε από την άμεση συνεισφορά ροπής του ηλεκτροκινητήρα και επιτυχημένα αντιστάθμισε την βραδύτερη απόκριση του diesel κινητήρα εξαιτίας της υστέρησης του υπερπληρωτή. Σημειώθηκε επίσης σημαντική μείωση στην κατανάλωση καυσίμου.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε από τις μελέτες άλλων ερευνητών, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.8.

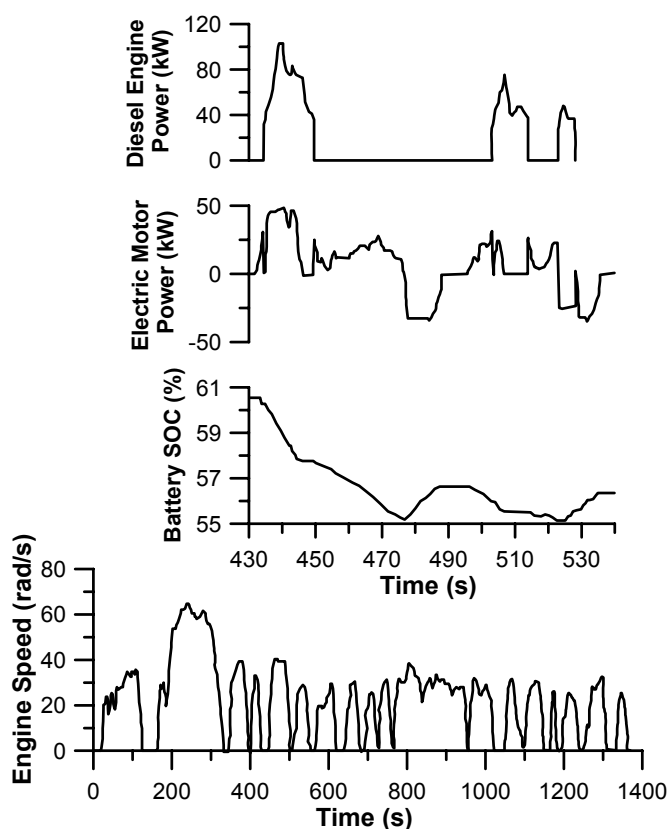


Σχήμα 5.8 Σύγκριση επιτάχυνσης με πρώτη ταχύτητα μεταξύ συμβατικού και παράλληλης συνδεσμολογίας HEV (υπερπληρωμένος diesel κινητήρας και ηλεκτροκινητήρας ισχύος 10.3 kW)

Αρχικά ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί (800 rpm) και απαιτείται μια επιτάχυνση με πρώτη ταχύτητα μέχρι τα 40 km/h. Η διαδικασία βελτιστοποίησης για την βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα βασίστηκε στην ελαχιστοποίηση του χρόνου επιτάχυνσης σε μια συγκεκριμένη τελική ταχύτητα για σταθερή σχέση μετάδοσης. Και εδώ η συνεισφορά του ηλεκτροκινητήρα κατά τη διάρκεια των πρώτων, κρίσιμων δευτερολέπτων της μεταβατικής κατάστασης αντιστάθμισαν την βραδεία απόκριση του υπερπληρωμένου diesel κινητήρα και συνέβαλε στην ταχύτερη επιτάχυνση του κινητήρα, του υπερπληρωτή (δεν φαίνεται στο Σχήμα) και ολόκληρου του οχήματος. Στα περίπου 1.5 sec, η βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα δεν ήταν πλέον απαραίτητη, καθώς το όχημα έφτασε στην επιθυμητή ταχύτητα. Ακολούθως, ο ηλεκτροκινητήρας σταδιακά έσβησε και το όχημα συνέχισε να λειτουργεί με τη

συμβατική του μορφή. Η κατανάλωση καυσίμου κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης μετρήθηκε χαμηλότερη, συγκρινόμενη με το συμβατικό σύστημα μετάδοσης ισχύος.

Οι μελέτες πάνω στη μεταβατική λειτουργία των παράλληλης συνδεσμολογίας υβριδικών οχημάτων μπορούν να επεκταθούν στην ανάλυση θεμάτων επίδοσης κατά τη διάρκεια των «Κύκλων Πόλης». Το Σχήμα 5.9 απεικονίζει το αντίστοιχο προφίλ ταχύτητας ενός HEV κατά τη διάρκεια του Αμερικανικού Ομοσπονδιακού Αστικού Οδηγητικού Κύκλου (γνωστός επίσης και ως FTP-72).



Σχήμα 5.9 Απόκριση κινητήρα και παραμέτρων HEV κατά τη διάρκεια του Αμερικανικού Ομοσπονδιακού Αστικού Οδηγητικού Κύκλου

Το φορτηγό ξεκινά από την ακινησία χρησιμοποιώντας μόνο τον ηλεκτροκινητήρα για την αποφυγή της αναποτελεσματικής λειτουργίας του κινητήρα κατά τη διάρκεια χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων. Ωστόσο, ο κινητήρας εκκινείται γρήγορα, εφόσον η ανάγκη σε ισχύ απαιτεί την έξοδο ισχύος και από τον κινητήρα και από τον ηλεκτροκινητήρα. Από τα 450 ως τα 477 sec, η ισχύς που απαιτείται για τη σταθεροποίηση της ταχύτητας στα 35

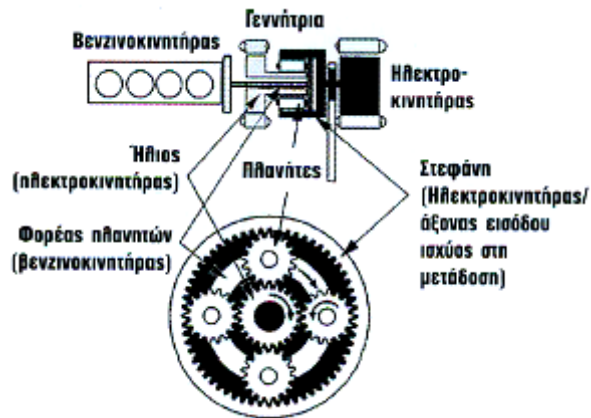
μη είναι μικρότερη από το επίπεδο της ισχύος που προκαλεί το 'άναμμα' της μηχανής, επομένως η μηχανή είναι αποδεδειγμένη και ο ηλεκτροκινητήρας παρέχει όλη τη ροπή που απαιτείται από τους τροχούς (λειτουργία ZEV). Όταν το φορτηγό επιβραδύνει, ενεργοποιείται η ανάκτηση ισχύος μέσω του φρεναρίσματος. Έτσι ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια για να ανακτήσει την ενέργεια που αλλιώς θα χανόταν (στα μεσοδιαστήματα των 477 ως 490 sec και των 530 ως 537 sec). Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας φτάνει το χαμηλότερο όριο (55%), εν προκειμένω στα 523 sec, ο κινητήρας εκκινείται αμέσως για την προώθηση του φορτηγού αλλά και για την επαναφόρτιση των μπαταριών. Έτσι, ο ηλεκτροκινητήρας αρχίζει να λειτουργεί σαν γεννήτρια και η ροπή του γίνεται αρνητική αφού φορτίζει τις μπαταρίες.

Στην παραπάνω ανάλυση μελετήθηκαν δύο αλγόριθμοι. Ο πρώτος, (rule based algorithm), εφαρμόζει μια απλή ανάλυση των χαρτών απόδοσης των διαφόρων συσκευών και ο δεύτερος είναι ένας αλγόριθμος βασισμένος σε δυναμικό προγραμματισμό που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του ρυθμού της κατανάλωσης καυσίμου ερευνώντας την απόδοση ολόκληρου του συστήματος μετάδοσης ισχύος του HEV και όχι μόνο του κινητήρα. Μια πιο ανεπτυγμένη εκδοχή αυτού του τελευταίου συστήματος ελέγχου θα περιλάμβανε επίσης ελαχιστοποίηση των εκπομπών καυσαερίων. Μια σημαντική μείωση παρατηρήθηκε στη κατανάλωση καυσίμου συγκρινόμενη με το συμβατικό φορτηγό κατά τη διάρκεια του «Κύκλου Πόλης», που κυμαινόταν από 22% για τον πρώτο αλγόριθμο (rule based algorithm) μέχρι 33% για τον αλγόριθμο τον βασισμένο σε δυναμικό προγραμματισμό. Για τον πρώτο, η βελτίωση προήλθε κυρίως από την ανάκτηση ισχύος κατά το φρενάρισμα. Για τον δεύτερο ένας καλύτερος συντονισμός του συστήματος κινητήρας-κιβώτιο ταχυτήτων-ηλεκτροκινητήρας-μπαταρία ήταν το κλειδί για ακόμα υψηλότερη οικονομία καυσίμου. Παρόμοια κέρδη στην κατανάλωση καυσίμου αναφέρθηκαν και για HEVs με κινητήρες Otto, προβάλλοντας έτσι τις υποσχόμενες πλευρές της υβριδοποίησης στην καθημερινή λειτουργία ενός οχήματος.

5.4 Επικυκλική Μονάδα Διασύνδεσης

Αν το ζητούμενο σε ένα όχημα HEV δεν είναι η απλούστευση της συνδεσμολογίας αλλά ο μεγιστοποιημένος, κατά περίπτωση, συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος, τότε ο κινητήρας, η γεννήτρια με ικανότητα πέδησης με ανάκτηση ενέργειας και ο ηλεκτροκινητήρας δεν θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με σταθερή σχέση μετάδοσης. Αν για παράδειγμα η γεννήτρια περιστρεφόταν μονίμως με τις ίδιες στροφές με αυτές του κινητήρα ή της μετάδοσης, τότε δεν θα ήταν ικανή να 'παράγει' πέδηση (άρα και ανάκτηση ενέργειας) μεγαλύτερη από ένα όριο, χωρίς να ανέβει το «αμπεράζ» των περιελίξεων της πάνω από τα όρια ασφαλούς λειτουργίας. Το ίδιο θα μπορούσε να πει κανείς και για τον κινητήρα, του οποίου οι στροφές θα πρέπει να διαφοροποιούνται από αυτές του ηλεκτροκινητήρα, αν ο σχεδιαστής επιδιώκει τη μεγιστοποίηση του θερμικού βαθμού απόδοσης σε σχέση με την, κατά περίπτωση, επιλεγείσα ισχύ υποβοήθησης από τον ηλεκτροκινητήρα. Για τους λόγους αυτούς αντί για την εν σειρά ή την παράλληλη διασύνδεση έχουμε την μικτή συνδεσμολογία, όπως αυτή που ανέπτυξε η Toyota στο Prius μεταξύ των τριών μονάδων που απαρτίζουν το υβριδικό της σύστημα.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της συνδεσμολογίας είναι ένα επικυκλικό διαφορικό, στον 'ήλιο' του οποίου συνδέεται η γεννήτρια και στο φορέα των πλανητών ο κινητήρας. Η έξοδος της ισχύος γίνεται από τη στεφάνη στην οποία είναι μόνιμα συνδεδεμένος ο ηλεκτροκινητήρας. Από τη στιγμή που ο ηλεκτροκινητήρας είναι σταθερά συνδεδεμένος με τον άξονα εισόδου της μετάδοσης, εξυπακούεται ότι με σταθερή ταχύτητα του οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας διατηρεί κι αυτός τις στροφές του σταθερές. Κατά συνέπεια, τα μέλη τα οποία διατηρούν την ιδιότητα συνεχούς μεταβολής του ρυθμού περιστροφής τους, όταν το όχημα κινείται με σταθερή ταχύτητα, είναι ο κινητήρας και η γεννήτρια.



Σχήμα 5.10 Η ανεξάρτητη διασύνδεση κινητήρα και γεννήτριας με τον ηλεκτροκινητήρα και τους τροχούς επιτυγχάνεται μέσω ενός επικυκλικού διαφορικού.

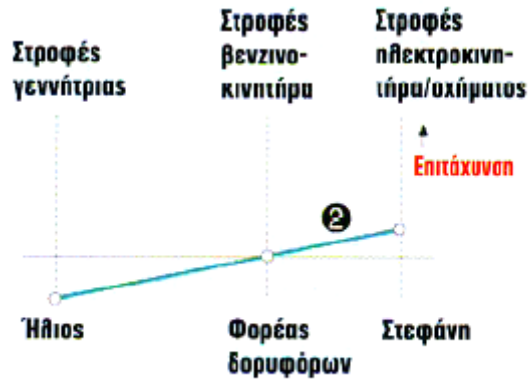
Ακολουθούν κάποια συνοδευτικά διαγράμματα, όπου μπορούμε να δούμε τη «γραμμική» σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις ταχύτητες καθενός από τα τρία μέλη του υβριδικού συστήματος σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας και τα οποία προέρχονται από την τεχνολογία του Toyota Prius THS II.

Στην περίπτωση 1 έχουμε το αυτοκίνητο σε πλήρη στάθμευση με όλα τα συστήματα του κλειστά.



Σχήμα 5.11 Όχημα σβηστό

Στην περίπτωση 2 έχουμε την αρχική εκκίνηση του αυτοκινήτου από στάση, με χαμηλή ταχύτητα. Ο βενζινοκινητήρας παραμένει σβηστός.



Σχήμα 5.12 Εκκίνηση οχήματος από στάση

Στην περίπτωση 3 έχουμε την κατάσταση της αρχικής επιτάχυνσης, από μια χαμηλή ταχύτητα. Ο βενζινοκινητήρας έχει αρχίσει να λειτουργεί και ένα μέρος της ενέργειας του δαπανάται από τη γεννήτρια για την παραγωγή ρεύματος, το οποίο αποθηκεύεται εξολοκλήρου στην μπαταρία.



Σχήμα 5.13 Επιτάχυνση οχήματος από χαμηλή ταχύτητα

Στην περίπτωση 4 έχουμε την περίπτωση «κανονικής κίνησης». Το αυτοκίνητο ωθείται τόσο από τον βενζινοκινητήρα όσο και από τον ηλεκτροκινητήρα ενώ η ενεργοποίηση της γεννήτριας δεν είναι απαραίτητη.



Σχήμα 5.14 «Κανονική κίνηση» οχήματος

Στην περίπτωση 5 έχουμε την κατάσταση κανονικής επιτάχυνσης από μια («φυσιολογική») ταχύτητα κίνησης. Ο βενζινοκινητήρας λειτουργεί σε υψηλές στροφές και από υψηλό φορτίο. Ένα μέρος της ισχύος του καταλήγει στη γεννήτρια η οποία, σε συνδυασμό με την μπαταρία, τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ώστε να προστεθεί στους τροχούς και η δική του ισχύς.



Σχήμα 5.15 Επιτάχυνση οχήματος από «φυσιολογική» ταχύτητα κίνησης

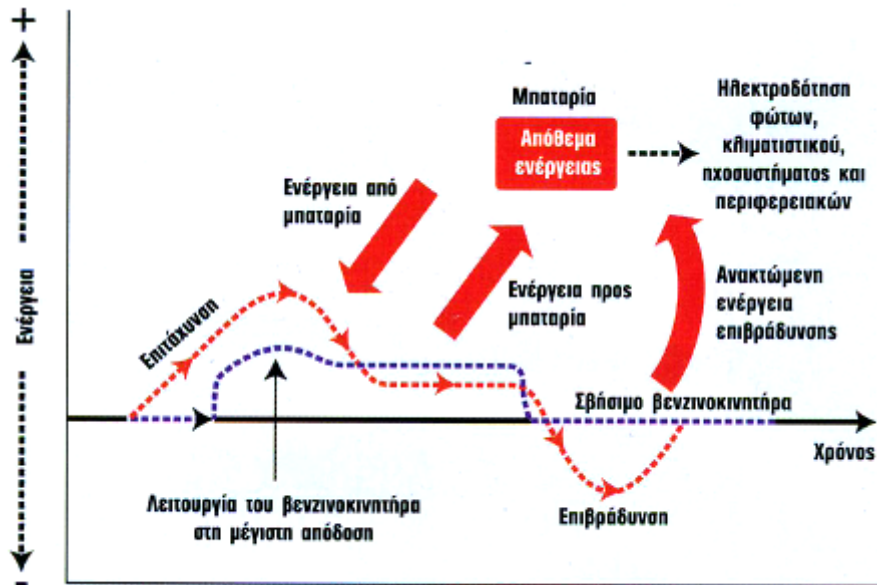
5.5 Το Σύστημα Synergy της Toyota.

Με αυτήν την ελληνική λέξη η Toyota επιδιώκει να οριοθετήσει σημειολογικά τον τρόπο που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους τα υποσυστήματα που απαρτίζουν τη σύνθετη κινητήρια μονάδα του υβριδικού της οχήματος, του Prius. Και όλη αυτή η «Συνέργεια» δεν έχει άλλο σκοπό από το να επιλέγει συνεχώς την κατάλληλη λειτουργική κατάσταση με το μέγιστο, συνολικά, βαθμό απόδοσης. Πρέπει όμως να διευκρινιστεί ότι σε καμία (σχεδόν) περίπτωση δεν επιδιώκεται η «ιδανική» λειτουργία του βενζινοκινητήρα ή του ηλεκτροκινητήρα, καθενός από μόνο του. Εκείνο που επιδιώκεται είναι η ιδανική λειτουργία, στη μονάδα του χρόνου, του συνολικού συστήματος που απαρτίζεται όχι μόνο από τους δυο κινητήρες αλλά και από τους συσσωρευτές και τη γεννήτρια (βλ. Παράγραφο 5.3). Όταν ο οδηγός επιταχύνει, για παράδειγμα, ο προγραμματισμός της κεντρικής μονάδας θα ανατρέξει σε όλα τα πιθανά σενάρια και θα αναζητήσει τον συνδυασμό εκείνο «σύνθεσης ισχύος» από τις δυο πηγές της που τη συγκεκριμένη στιγμή θα κριθεί ως ο ιδανικός σε σχέση με τις προθέσεις του οδηγού, την ταχύτητα, την κλίση του δρόμου και το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών. Με άλλα λόγια, διαφορετικός θα πρέπει να είναι ο «κατά Miller» χρονισμός των βαλβίδων εισαγωγής του βενζινοκινητήρα στην περίπτωση που η μπαταρία διαθέτει ρεύμα για τον ηλεκτροκινητήρα και διαφορετικός όταν η μπαταρία θα είναι αδειανή. Και το πιο σπουδαίο είναι ότι από τη στιγμή που ο βενζινοκινητήρας δεν συνδέεται απευθείας με το κιβώτιο αλλά μέσω επικυκλικού διαφορικού, το φορτίο που αντιμετωπίζει στην έξοδο του δεν έχει σχέση με το ίδιο το «αυτοκίνητο» και με τις αντιστάσεις του αλλά με τις αποφάσεις της κεντρικής μονάδας και μόνο. Με απλά λόγια, η αντίσταση που θα αντιμετωπίσει ο βενζινοκινητήρας (και συνακόλουθα οι στροφές που θα του επιτραπεί να κινηθεί) εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το «τεχνητό» (και κυμαινόμενο) φορτίο που θα του ασκηθεί από τη γεννήτρια. Όλα αυτά σημαίνουν ότι τα πεντάλ δεν μεταφέρουν τις εντολές του οδηγού απευθείας στα αντίστοιχα συστήματα αλλά απλώς «γνωστοποιούν τις προθέσεις του» στην κεντρική μονάδα, αφήνοντας σε αυτή την πρωτοβουλία περί του τι μέλλει γενέσθαι. Από το πάτημα του πεντάλ του φρένου, για παράδειγμα, η κεντρική μονάδα

θα συμπεράνει το βαθμό επιβράδυνσης που επιδιώκει ο οδηγός και στη συνέχεια θα αποφασίσει ποιο θα είναι το ποσοστό που θα αναλάβουν τα φρένα και ποιο αυτό που θα αναλάβει η μονάδα ανάκτησης ενέργειας – αφού συνεκτιμηθεί η κινητική κατάσταση του αυτοκινήτου και η στάθμη φόρτισης των μπαταριών. Προφανώς τα φρένα είναι ηλεκτρικά. Το πεντάλ του φρένου καταλήγει σε ένα ποτενσιόμετρο και όχι στην κεντρική αντλία ενός υδραυλικού συστήματος. Ηλεκτρικός όμως είναι και ο έλεγχος του πεντάλ του γκαζιού. Το πεντάλ δεν έχει εδώ την παραμικρή σχέση με την “πεταλούδα” – τον έλεγχο της τον έχει αναλάβει αποκλειστικά η κεντρική μονάδα (ECU) η οποία και αποφασίζει για τη συγκεκριμένη «αιτούμενη» ισχύ (με βάση και την ταχύτητα του αυτοκινήτου), πόσο θα ανοίξει η “πεταλούδα” και πόσο νωρίτερα ή αργότερα θα κλείσουν οι βαλβίδες εισαγωγής. Και κατά πόσο, βεβαίως, θα «συνδράμει» την προσπάθεια και ο ηλεκτροκινητήρας, αν υπάρχει εκείνη τη στιγμή (και πόσο) ρεύμα στην μπαταρία.

Το ζητούμενο από την τεχνολογία Synergy της Toyota είναι να διαθέτει η κεντρική μονάδα στη μνήμη της μια πολλαπλότητα εναλλακτικών λύσεων για κάθε περίπτωση και όχι μόνο μια λύση. Και να είναι σε θέση να ανακαλεί στην επιφάνεια εκείνη τη «σύνθεση» που τη συγκεκριμένη στιγμή θα καταναλώσει τη λιγότερη βενζίνη. Η γενίκευση αυτών των συστημάτων θα αναπτύξει μια νέα γενιά προγραμματιστών στο χώρο των κινητήρων. Αυτό που θα ζητείται εφεξής δεν θα είναι απλά η «τρισεπίστροφη χαρτογράφηση» της κεντρικής μνήμης αλλά η εκπόνηση πολλαπλών σεναρίων και η ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης τους. Με άλλα λόγια αυτού του είδους η κλιμάκωση του ψηφιακού ελέγχου των αυτοκινήτων απαιτεί την κατανάλωση ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων φαιάς ουσίας απ’ ότι στο παρελθόν. Το επόμενο βήμα είναι η χρήση fuzzy λογικής στα υβριδικά συστήματα, μέσω της οποίας αυτά θα αποκτήσουν και την ικανότητα να αυτοδιδάσκονται.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα υλοποίησης της «Συνέργειας» του Prius THS II κατά τη διάρκεια της εκκίνησης του μέχρι την τελική ακινητοποίηση του, αφού εν τω μεταξύ διανύσει μια απόσταση «υπό κανονικές συνθήκες». Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η συνεισφορά του βενζινοκινητήρα και με κόκκινο του ηλεκτροκινητήρα.



Σχήμα 5.16 Το Σύστημα Synergy της Toyota

6. Plug-in υβριδικά οχήματα

6.1 Ορισμός - Περιγραφή

Ένα plug-in υβριδικό όχημα (plug-in hybrid electric vehicle - PHEV) είναι ένα υβριδικό όχημα με μπαταρίες που επαναφορτίζονται συνδέοντας το όχημα με μια πρίζα σε μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα plug-in υβριδικά έχουν χαρακτηριστικά και των συμβατικών υβριδικών ηλεκτρικών αλλά και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων. Ενώ τα PHEVs αναμένονται στη μορφή των επιβατικών οχημάτων, ωστόσο μπορούν να αποτελέσουν και εμπορικά ελαφρά φορτηγά, επιχειρησιακά φορτηγά, σχολικά λεωφορεία, scooters και στρατιωτικά οχήματα. Τα PHEVs αποκαλούνται και ως “οχήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο” ή GO-HEVs.



Σχήμα 6.1 Η πρίζα με την οποία ένα PHEV συνδέεται με εξωτερική πηγή ηλεκτρικού ρεύματος

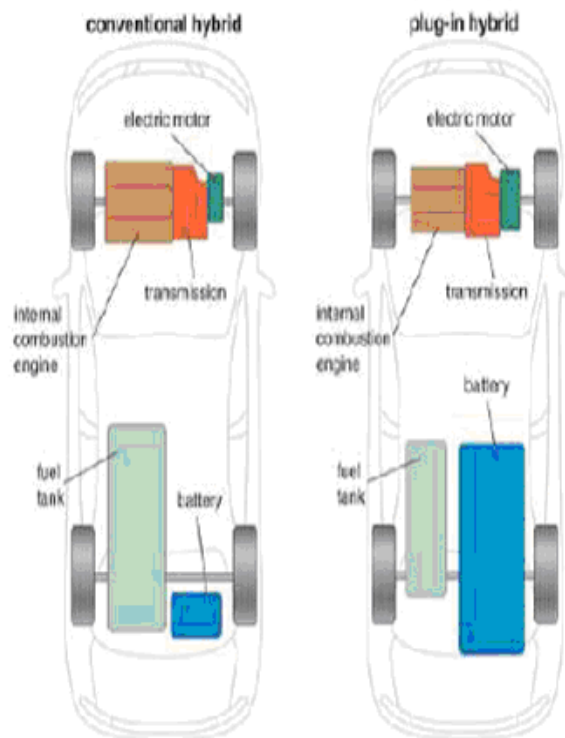
Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση των plug-in υβριδικών κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας υπολογίστηκε στην California λιγότερο από το ένα τέταρτο του κόστους της βενζίνης που θα χρησιμοποιούσαν στη συμβατική τους μορφή. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα PHEVs μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης και της εξάρτησης από το πετρέλαιο και να ελαττώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα plug-in υβριδικά δεν χρησιμοποιούν κάποιο φυσικό καύσιμο κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας, εάν οι μπαταρίες τους φορτίζονται βέβαια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα PHEVs δεν έχουν μπει ακόμα στη μαζική παραγωγή, ωστόσο η Toyota, η General Motors και η Ford ανακοίνωσαν την πρόθεση τους για την παραγωγή τέτοιων οχημάτων.

Η απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα plug-in υβριδικό μόνο με την ηλεκτρική του ενέργεια αποτυπώνεται με τον όρο PHEV-(μίλια) ή PHEV(χιλιόμετρα) km. Για παράδειγμα, ένα PHEV-20 μπορεί να διανύσει 20 μίλια χωρίς να χρησιμοποιήσει την μηχανή εσωτερικής καύσης ή γύρω στα 32 χιλιόμετρα, οπότε και θα χαρακτηρίζεται από τον όρο PHEV32km.

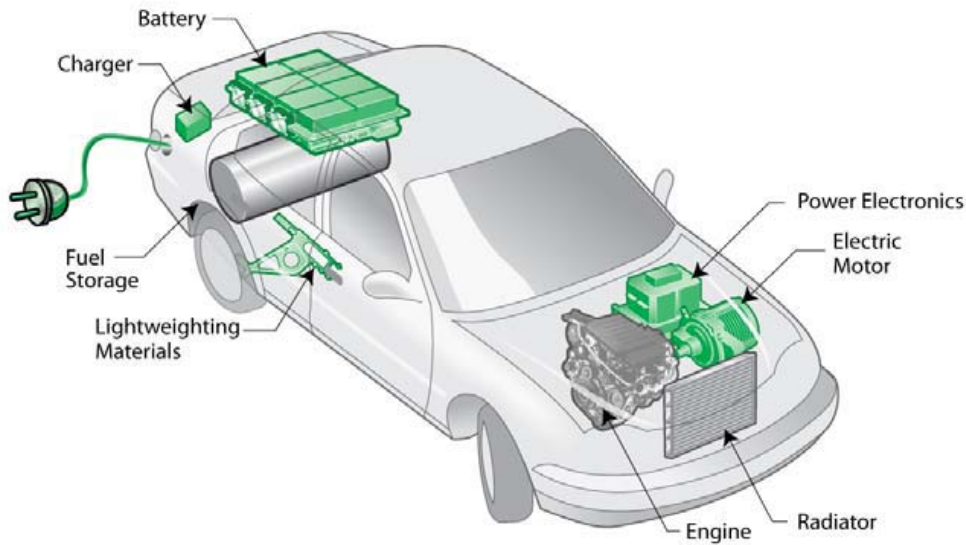
Τα plug-in υβριδικά αποτελούν την εξέλιξη των σημερινών “πλήρως” υβριδικών οχημάτων. Ένα πλήρως υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα να εκκινεί και να επιταχύνει σε χαμηλές ταχύτητες χωρίς τη χρήση του κινητήρα, με την μπαταρία να φορτίζεται, ωστόσο, αποκλειστικά από τον κινητήρα και το σύστημα ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα.

Ένα plug-in υβριδικό λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο αλλά έχει μεγαλύτερη μπαταρία και δίνει στον οδηγό την επιλογή να την φορτίζει στο σπίτι του χρησιμοποιώντας μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος και έτσι μπορεί να κινεί το όχημα του μόνο με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως, η φόρτιση του αυτοκινήτου θα γίνεται τη νύχτα που θα είναι και ακινητοποιημένο για αρκετή ώρα. Έτσι και τα PHEVs και τα HEVs κάνουν χρήση ηλεκτροκινητήρων που τροφοδοτούνται από μπαταρίες και Μ.Ε.Κ., για την εξοικονόμηση καυσίμου, ωστόσο τα PHEVs μπορούν να αναβάλλουν ακόμη περισσότερο τη χρήση καυσίμου με τη φόρτιση του οχήματος από το σπίτι. Επίσης, τα plug-in υβριδικά έχουν πλεονέκτημα έναντι των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων στο ότι

οι οδηγοί τους δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το ενδεχόμενο “αποφόρτισης” του οχήματος τους. Και αυτό διότι όταν η μπαταρία αποφορτίζεται, τα plug-in οχήματα λειτουργούν όπως και τα συμβατικά και κάνουν χρήση του κινητήρα τους και του συστήματος ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα για τη φόρτιση της μπαταρίας και την προώθηση του οχήματος. Επειδή, λοιπόν, χρησιμοποιούν και κινητήρα και ηλεκτροκινητήρα, τα PHEVs διαθέτουν μικρότερες και φτηνότερές συστοιχίες μπαταριών απ’ ό,τι τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τα σημερινά εμπορικά υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν, όπως έχει αναφερθεί, μπαταρίες NiMH, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μικρές αποστάσεις με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα αντίστοιχα plug-in υβριδικά. Για τα PHEVs, λοιπόν, η μεγαλύτερη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεγαλύτερες απαιτήσεις αυτής θα επιτευχθούν με την τεχνολογία των μπαταριών lithium-ion (Li ion), όπως αναμένεται.



Σχήμα 6.2 Σύγκριση συστήματος ενός HEV και ενός PHEV



Σχήμα 6.3 Η ανατομία του συστήματος λειτουργίας ενός PHEV οχήματος

6.2 Η τεχνολογία των PHEVs

6.2.1 Σύστημα Μετάδοσης Ισχύος

Τα PHEVs βασίζονται στα ίδια τρία συστήματα μετάδοσης ισχύος που ισχύουν και στα συμβατικά υβριδικά:

Στα σειριακά PHEVs που χρησιμοποιούν μια Μ.Ε.Κ. για να τροφοδοτήσουν τη γεννήτρια που με τη σειρά της παρέχει ρεύμα σε έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος δίνει ώθηση στους τροχούς του οχήματος. Μια συστοιχία μπαταριών ή πυκνωτών ή συνδυασμός και των δυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση του επιπλέον φορτίου. Παραδείγματα τέτοιων σειριακών PHEVs είναι το Renault Kangoo Elect' Road, το Toyota Coaster που αποτελεί ελαφρύ επιβατηγό λεωφορείο και κυκλοφορεί μόνο στην Ιαπωνία, το λεωφορείο Orion της DaimlerChrysler, το Chevrolet Volt που αποτελεί concept όχημα και πολλές diesel-ηλεκτρικές σιδηροδρομικές αμαξοστοιχίες. Με μια κατάλληλη εξισορρόπηση των στοιχείων του, αυτό το

είδος PHEV μπορεί να λειτουργήσει πλήρως με ηλεκτρική ενέργεια σε μια μεγάλη απόσταση χωρίς τη χρήση του κινητήρα. Όπως και στα άλλα συστήματα μετάδοσης ισχύος, έτσι και τα σειριακά μπορούν να λειτουργούν χωρίς να επαναφορτιστούν, όσο υπάρχει υγρό καύσιμο στο ντεπόζιτο τους.

Στα παράλληλα PHEVs, τα οποία μπορούν ταυτόχρονα να μεταδώσουν ισχύ στους κινητήριους τροχούς από τις δυο διακριτές πηγές ενέργειας, όπως είναι μια Μ.Ε.Κ. και ένας ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτούμενος από τις μπαταρίες. Αν και τα περισσότερα παράλληλα υβριδικά εμπεριέχουν έναν ηλεκτροκινητήρα μεταξύ του κινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων, ένα παράλληλο υβριδικό μπορεί να χρησιμοποιήσει τον κινητήρα του για την προώθηση του ενός ακραξονίου και τον ηλεκτροκινητήρα του για το άλλο ακραξόνιο. Το Audi Duo plug-in που αποτελεί υβριδικό concept όχημα αποτελεί παράδειγμα αυτής της παράλληλης υβριδικής δομής. Τα παράλληλα υβριδικά μπορούν να προγραμματιστούν στο να χρησιμοποιούν μόνο τον ηλεκτροκινητήρα σε χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και να λειτουργούν με αρκετά μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου, συγκρινόμενα με τα συμβατικά οχήματα.

Στα σειριακά – παράλληλα PHEVs που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και ως σειριακά αλλά και ως παράλληλα υβριδικά. Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούνται από τις Ford, Lexus, Nissan, και Toyota είναι αυτής της μορφής. Από το 2007, οι περισσότερες plug-in μετατροπές των σύγχρονων εμπορικών υβριδικών οχημάτων θα χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα μετάδοσης της ισχύος.

6.2.2 Τρόποι Λειτουργίας

Ανεξάρτητα από το σύστημα μετάδοσης ισχύος, ένα plug-in υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα των λειτουργιών “Μείωσης φόρτισης” (“charge-depleting” mode) και “Διατήρησης φόρτισης” (“charge-sustaining” mode). Συνδυασμός και των δυο αυτών λειτουργιών ονομάζεται συνδυασμένη λειτουργία (blended mode). Αυτά τα οχήματα μπορούν να σχεδιαστούν για να διανύουν εκτεταμένες αποστάσεις μόνο με την ηλεκτρική τους ενέργεια, είτε σε

χαμηλές μόνο ταχύτητες είτε σε όλες τις ταχύτητες. Αυτοί οι τρόποι λειτουργίας ελέγχουν το σύστημα αποφόρτισης της μπαταρίας και η χρήση τους έχει άμεση επίδραση στο μέγεθος και τον τύπο της απαιτούμενης μπαταρίας.

Η λειτουργία “Μείωσης φόρτισης” επιτρέπει ένα πλήρως φορτισμένο PHEV να λειτουργεί αποκλειστικά (ή σχεδόν αποκλειστικά, πάντα βέβαια με το όχημα και εκτός ίσως κάποιων έντονων επιταχύνσεων) με την ηλεκτρική ενέργεια μέχρι το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας να μειωθεί έως ένα προκαθορισμένο επίπεδο, στο οποίο θα αρχίσει να λειτουργεί ο κινητήρας (ή οι κυψέλες καυσίμου). Αυτή είναι και η στιγμή που το όχημα έχει διανύσει όλη την απόσταση που δύναται μόνο με την ηλεκτρική του ενέργεια. Αυτή είναι και η στιγμή που ένα αμιγώς ηλεκτρικό όχημα θα σταματήσει να λειτουργεί, λόγω της περιορισμένης του αποκλειστικής λειτουργίας με την ενέργεια των μπαταριών του.

Η λειτουργία “Διατήρησης φόρτισης” χρησιμοποιείται από τα σύγχρονα εμπορικά υβριδικά οχήματα και συνδυάζει τη λειτουργία των δυο πηγών ενέργειας του οχήματος με τέτοιο τρόπο που το αυτοκίνητο λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά χωρίς να επιτρέπει την αποφόρτιση της μπαταρίας κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο ενέργειας. Σε μια διαδρομή, λοιπόν, με ένα HEV το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας μπορεί να διακυμαίνεται αλλά δεν πρόκειται να φτάσει σε σημείο πλήρους αποφόρτισης. Έτσι, η μπαταρία σε ένα HEV μπορεί να θεωρείται ως ενεργειακός συσσωρευτής παρά σαν συσκευή αποθήκευσης ενέργειας.

Σε ένα plug-in υβριδικό όχημα, δίνεται η δυνατότητα αυτόματης αλλαγής από τη λειτουργία “Μείωσης φόρτισης” στη λειτουργία “Διατήρησης φορτίου”, όταν αυτό έχει διανύσει όλη την απόσταση που δύναται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια. Η “συνδυασμένη λειτουργία” είναι ένα είδος της λειτουργίας “Μείωσης φόρτισης” που χρησιμοποιείται από οχήματα που δεν έχουν αρκετή ηλεκτρική ισχύ για να διατηρήσουν υψηλές ταχύτητες χωρίς τη βοήθεια μέρους της ισχύος του κινητήρα. Μια τέτοια “συνδυασμένη λειτουργία” επιτρέπει σε ένα όχημα την κάλυψη περισσότερων μιλίων πριν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου απ’ ότι η λειτουργία “Μείωσης

φόρτισης”. Το Renault Kangoo και μερικές μετατροπές του Toyota Prius είναι παραδείγματα οχημάτων που κάνουν χρήση αυτής της λειτουργίας. Μετατροπές του μοντέλου Toyota Prius 2004 και επόμενων μοντέλων μπόρεσαν να φτάσουν μόλις την ταχύτητα των 42 mph (68 km/h) χωρίς τη χρήση του κινητήρα, εξαιτίας περιορισμών του λογισμικού του συστήματος ελέγχου. Ωστόσο, σε μεγαλύτερες ταχύτητες η ηλεκτρική ενέργεια εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, αντικαθιστώντας το καύσιμο, βελτιώνοντας την οικονομία καυσίμου και διπλασιάζοντας την απόδοση του καυσίμου. Υπάρχει, τέλος, και η λειτουργία που είναι συνδυασμός των τριών παραπάνω λειτουργιών, η μικτή δηλαδή λειτουργία.

6.2.3 Οι Μπαταρίες ενός PHEV

Τα PHEVs συνήθως απαιτούν περισσότερους κύκλους πλήρους φόρτισης και αποφόρτισης των μπαταριών τους απ’ ότι τα συμβατικά υβριδικά. Έτσι, επειδή ο αριθμός των κύκλων πλήρους φόρτισης/αποφόρτισης επηρεάζει τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, η μπαταρία στα HEVs διαρκεί περισσότερο διότι αυτά δεν μειώνουν το φορτίο της μπαταρίας σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Θέματα σχεδιασμού, μέγιστου αριθμού κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης, χωρητικότητας, έκλυσης θερμότητας, βάρους, κόστους και ασφάλειας των μπαταριών πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω. Ήδη η τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών έχει προχωρήσει, δημιουργώντας μπαταρίες με μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και διάρκεια ζωής. Οι τιμές των υβριδικών οχημάτων είναι αυξημένες και ένα μέρος αυτής της αύξησης οφείλεται στο κόστος των μπαταριών. Ωστόσο, υπάρχει η περίοδος αποπληρωμής χάρη στην οικονομία καυσίμου που επιτυγχάνει ένα υβριδικό όχημα. Αυτή η περίοδος απόσβεσης κόστους είναι μεγαλύτερη στα PHEVs εξαιτίας των μεγαλύτερων και ακριβότερων μπαταριών που χρησιμοποιούν. Υπάρχουν επίσης προγράμματα ανακύκλωσης των μπαταριών NiMH και των Li-ion, όπως αυτό της Toyota, για παράδειγμα, που για κάθε μπαταρία που επιστρέφεται δίνει μια πίστωση των US\$200. Ωστόσο, τα plug-in υβριδικά χρειάζονται περισσότερους πόρους για την κάλυψη τους σε ανάγκες από μπαταρίες, καθώς χρησιμοποιούν μεγαλύτερες συστοιχίες μπαταριών από τα συμβατικά.

Πρόσφατα προτάθηκε οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες να επαναχρησιμοποιούνται για σκοπούς backup και για σκοπούς εξισορρόπησης φορτίου, αφού η εναπομένουσα χωρητικότητα τους παραμένει σημαντικά χρήσιμη.



Σχήμα 6.4 Συστοιχία μπαταριών Lithium-ion, με ανοιχτό το κάλυμμα, στο "PRIUS+" που αποτελεί plug-in μετατροπή του υβριδικού Toyota Prius

6.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των PHEVs

- Όταν το όχημα προωθείται από ηλεκτρική ενέργεια, είναι πολύ πιο οικονομικό από το να προωθείται με καύσιμο. Ως “καύσιμο μεταφοράς”, η ηλεκτρική ενέργεια είναι 50 με 75% λιγότερη ακριβή από το ισοδύναμο κόστος ενός γαλονιού βενζίνης.
- Η χρήση των plug-in υβριδικών θα οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Τα plug-in υβριδικά παράγουν λιγότερους ρύπους από τα συμβατικά οχήματα φυσικά αλλά λιγότερους ρύπους και από τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEVs).
- Η plug-in υβριδική τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην επαναφόρτιση του οχήματος.
- Τα plug-in οχήματα μπορούν να αποτελέσουν μέρος μιας τεχνολογίας που θα περιλαμβάνει σταθμούς ανεφοδιασμού σε κάθε σπίτι και ένα

ανεπτυγμένο ηλεκτρικό δίκτυο που θα μπορεί να συνεισφέρει στην κίνηση των οχημάτων.



Σχήμα 6.5 Ένας ήδη υπάρχων σταθμός ανεφοδιασμού οχημάτων με ηλεκτρική ενέργεια

Η εξοικονόμηση καυσίμου από τα PHEVs εξαρτάται από τη διάρκεια οδήγησης ενός τέτοιου οχήματος ανάμεσα στις επαναφορτίσεις του. Εάν δεν χρησιμοποιείται καθόλου καύσιμο, τότε η απόσταση που αυτό διανύει εξαρτάται αποκλειστικά από την απόδοση του ηλεκτρικού συστήματος. Ένα PHEV-70 μπορεί ετησίως να απαιτεί μόνο το 25% του καυσίμου που θα απαιτεί ένα παρόμοια σχεδιασμένο PHEV-0, εξαρτώμενο πάντα από τις συνθήκες οδήγησης και τις διαδρομές που θα επιλεγεί να διανύσει.

- Ένα επιπλέον πλεονέκτημα των PHEVs είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να είναι ακόμα πιο αποδοτικά από τα συμβατικά υβριδικά διότι η ακόμα πιο περιορισμένη χρήση του κινητήρα, του επιτρέπει να λειτουργεί ακόμα πιο κοντά στο μέγιστο θερμικό βαθμό απόδοσης του. Ενώ, για παράδειγμα, ένα Prius μπορεί να μετατρέπει το καύσιμο σε κινητική ενέργεια με απόδοση περίπου 30% (κάτω δηλαδή από το μέγιστο θερμικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα που είναι 38%), ο κινητήρας ενός PHEV-70 θα λειτουργεί πιο συχνά κοντά στο μέγιστο βαθμό

απόδοσης του, διότι οι μπαταρίες μπορούν να καλύψουν μέρος της απαίτησης ισχύος.

Η πραγματική απόδοση πάντως εξαρτάται από τις απώλειες της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, τις απώλειες της μετατροπής της σε μηχανική, τις απώλειες κατά τη φόρτιση/αποφόρτιση των μπαταριών, τις απώλειες από τον ηλεκτροκινητήρα, από τον τρόπο που το όχημα χρησιμοποιείται (από τον κύκλο λειτουργίας του δηλαδή) και από τις επαναφορτίσεις του στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η συμβολή ενός PHEV οχήματος στη μόλυνση της ατμόσφαιρας είναι σαφώς σημαντικά μικρότερη απ' ότι ένα συμβατικό όχημα ίδιας κατηγορίας. Ωστόσο, εάν ένα PHEV χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο, τότε η ρύπανση που προκαλεί μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV). Παρόλο που οδηγώντας ένα plug-in υβριδικό εξοικονομείται περισσότερο καύσιμο απ' ότι ένα συμβατικό υβριδικό, το plug-in όχημα δεν θα συντελέσει σε μεγάλες μειώσεις της ρύπανσης, εκτός και αν αυτό φορτίζεται από πιο καθαρές πηγές ενέργειας. Τα PHEVs συμβάλλουν στη μεγαλύτερη μείωση της ρύπανσης σχετικά με τα άλλα οχήματα, μόνο όταν αυτά φορτίζονται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια ή από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να εγκλωβίζουν και να αχρηστεύουν τους ρύπους που εκπέμπουν. Σε περιοχές, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από σχετικά "καθαρές" πηγές, η χρήση των PHEVs είναι πιθανόν να οδηγήσει και στη μείωση των επιπέδων αιθάλης και καπνομίχλης. Ωστόσο, σε περιοχές που είναι εξαρτημένες από εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από τον άνθρακα, υπάρχει η πιθανότητα σημαντικών αυξήσεων της αιθάλης. Η προώθηση των PHEVs σε αυτές τις περιοχές πρέπει να γίνει μετά από σημαντικούς ελέγχους σε αυτά τα εργοστάσια και μετά από προσεχτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων που θα έχει αυτή η κίνηση στα επίπεδα μόλυνσης.

- Ένα ακόμα πιθανό πλεονέκτημα των PHEVs είναι η προβλεπόμενη μείωση στις εκπομπές άνθρακα, εάν βέβαια η χρήση τους εξαπλωθεί

και γίνει ευρεία. Αυξημένη απόδοση στο σύστημα μετάδοσης ισχύος αυτών των οχημάτων, οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις των ρύπων που οδηγούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ακόμα και αν ληφθούν υπόψη οι απώλειες ενέργειας κατά την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου και οι απώλειες κατά τη φόρτιση της μπαταρίας.

Μια μελέτη του Αμερικανικού Συμβουλίου Αποδοτικής Ενεργειακής Οικονομίας (American Council for an Energy Efficient Economy - ACEEE) προβλέπει ότι κατά μέσο όρο ένας τυπικός Αμερικανός οδηγός αναμένεται να πετύχει περίπου 15% μείωση στις καθαρές εκπομπές CO₂ σχετικά με ένα συμβατικό υβριδικό, μια μελέτη βασισμένη στη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας του 2005 από τις διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας του Αμερικανικού δικτύου. Επιπρόσθετα, για τα PHEVs που φορτίζονται σε περιοχές όπου το δίκτυο τροφοδοτείται από πηγές ενέργειας που εκπέμπουν CO₂ σε χαμηλότερα επίπεδα από το μέσο όρο, οι καθαρές εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με τα αυτοκίνητα αυτά μειώνονται αντίστοιχα.

- Αντίθετα, η ίδια μελέτη προβλέπει ότι σε περιοχές όπου πάνω από το 80% της ενέργειας του δικτύου προέρχεται από τον άνθρακα, οι τοπικές καθαρές εκπομπές CO₂ θα αυξηθούν με τη χρήση των PHEVs. Αυτό αποτελεί και το μοναδικό μειονέκτημα των PHEVs μαζί με το επιπρόσθετο κόστος και βάρος λόγω των μεγαλύτερων συστοιχιών μπαταριών απ' ότι στα HEVs.

Όσον αφορά το λειτουργικό κόστος αυτών των οχημάτων, υπάρχουν κάποια υπαρκτά παραδείγματα στην California του 2006, όπου και χρησιμοποιείται η plug-in τεχνολογία, τα οποία είναι άξια αναφοράς. Έτσι, λοιπόν, το κόστος φόρτισης τη νύχτα είναι ισοδύναμο με US\$0.75 ανά γαλόνι (U.S) ή ανά 3.8 L βενζίνης, όταν η βενζίνη πωλείται πάνω από US\$3 το γαλόνι. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για ένα Prius PHEV είναι περίπου US\$0.03 ανά μίλι (US\$0.019/km), υπολογισμένο βάσει των 0.26 kWh/mile (129 mpg) και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας των US\$0.10/kWh. Οι μπαταρίες υψηλότερης χωρητικότητας στα PHEVs έχουν ως αποτέλεσμα τη

μείωση του κόστους ενέργειας ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης αφού ηλεκτρική ενέργεια από το σπίτι, κόστους μόλις US\$1.00 (στα US\$0.09/kW·h), είναι αρκετή για την κάλυψη ίσης απόστασης με ένα γαλόνι (3.8 L) βενζίνης.

Τα PHEVs καθώς και τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν τη δυνατότητα μιας πιο αποδοτικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οχήματα αυτά φορτίζονται πρωτίστως σε περιόδους όπου δεν υπάρχει αιχμή ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. τη νύχτα) ή εξοπλίζονται με τεχνολογία διακοπής της φόρτισης στη διάρκεια περιόδων αιχμής.

- Άλλο πλεονέκτημα ενός plug-in οχήματος είναι η ικανότητα τους στην εξισορρόπηση του φορτίου και η ενίσχυση τους στο δίκτυο σε περιόδους αιχμής. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνολογία μεταφοράς ενέργειας από το όχημα στο δίκτυο. Χρησιμοποιώντας πλεονάζουσα ενέργεια από τις μπαταρίες τους, μπορούν να στείλουν ενέργεια πίσω στο δίκτυο και να επαναφορτιστούν αργότερα όταν θα έχει πάψει η αιχμή του δικτύου.

6.4 Παραδείγματα PHEVs

Το 2003, η Renault ξεκίνησε την πώληση του Elect'Road, που αποτελεί σειριακή plug-in υβριδική εκδοχή του δημοφιλούς μοντέλου της, του Kangoo, στην Ευρώπη. Η πώληση του ξεκίνησε δίπλα στο άλλο της μοντέλο, το "Electri'cite", που αποτελεί ηλεκτρική εκδοχή του ελαφρύ φορτηγού Kangoo. Το Elect'Road μπορούσε να διανύσει απόσταση 150 km (93 mi) χρησιμοποιώντας μια συστοιχία μπαταριών Νικελίου – Καδμίου και έναν βενζινοκινητήρα χωρητικότητας 500 cc, ισχύος 16 kW, υγρόψυκτο, με ρόλο επικουρικό. Ο κινητήρας τροφοδοτούσε δυο υψηλής τάσης, υψηλής ισχύος και μικρού όγκου γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος, καθεμία από τις οποίες έδινε ισχύ μέχρι 5.5 kW στα 132 volts στις 5000 rpm. Η ταχύτητα λειτουργίας της Μ.Ε.Κ.— και επομένως και η ισχύ που διένειμαν οι γεννήτριες — ποίκιλε ανάλογα με τις απαιτήσεις. Το ντεπόζιτο είχε χωρητικότητα 10 λίτρων. Η επικουρική λειτουργία του κινητήρα ενεργοποιούνταν από ένα

διακόπτη στο ταμπλό του αυτοκινήτου. Ο φορτιστής, ισχύος 3.5 kW που βρισκόταν επί του οχήματος μπορούσε να φορτίσει την αφόρτιστη συστοιχία των μπαταριών μέχρι 95% μέσα σε τέσσερις ώρες με τάση 220 V. Το σύστημα θέρμανσης έπαιρνε ενέργεια από τις μπαταρίες. Η Renault διέκοψε την παραγωγή του Elect'Road, μετά την πώληση 500 μοντέλων, πρωτίστως στη Γαλλία, στη Νορβηγία και τη Μ. Βρετανία στην τιμή των €25.000.



Σχήμα 6.6 Το plug-in υβριδικό Renault Kangoo Elect'road που κινείται σε “μικτή λειτουργία” χρησιμοποιώντας κινητήρα και μπαταρία ταυτόχρονα

Τον Σεπτέμβριο του 2004, η μη κερδοσκοπική οργάνωση “California Cars Initiative” ή αλλιώς “CalCars” μετέτρεψε ένα Toyota Prius, μοντέλου 2004, στο PRIUS+, που αποτελεί plug-in εκδοχή του γνωστού υβριδικού. Με την προσθήκη των μπαταριών μολύβδου, βάρους 130 kg (300 lb), το PRIUS+ κατάφερε να διπλασιάσει την οικονομία καυσίμου του Prius και μπορεί να διανύει διαδρομές των 15 km (9 mi) χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Το όχημα, το οποίο είναι ιδιοκτησία της εταιρείας “CalCars”, χρησιμοποιείται καθημερινά και υπόκειται σε διάφορους ελέγχους για περαιτέρω βελτιώσεις του συστήματος. Στις 18 Ιουλίου του 2006, η Toyota ανακοίνωσε ότι σχεδιάζει την ανάπτυξη ενός υβριδικού οχήματος που θα κινείται τοπικά μόνο με μπαταρίες επαναφορτιζόμενες από ηλεκτρική πηγή του σπιτιού, ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις θα ενεργοποιεί τον βενζινοκινητήρα. Η Toyota σκοπεύει να στραφεί προς τις μπαταρίες lithium-ion στα μελλοντικά υβριδικά της μοντέλα αλλά όχι στην επόμενη γενιά του

Prius που αναμένεται στο τέλος του 2008. Οι μπαταρίες lithium-ion αναμένονται να βελτιώσουν σημαντικά την οικονομία καυσίμου και έχουν χαμηλότερη αναλογία βάρους - ενέργειας, ωστόσο η παραγωγή τους κοστίζει περισσότερο και τίθενται επίσης και ζητήματα ασφάλειας εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας. Στις 29 Νοεμβρίου του 2006, η GM ανακοίνωσε τον σχεδιασμό της για την εισαγωγή της plug-in υβριδικής εκδοχής του Saturn Greenline Vue SUV που θα καλύπτει απόσταση 10 mi (16 km) μόνο με ηλεκτρική ενέργεια. Το μοντέλο αναμένεται στα τέλη του 2009 και η GM ανακοίνωσε επίσης τον Ιανουάριο του 2007 τα συμβόλαια με δυο εταιρείες για τον σχεδιασμό και έλεγχο των lithium-ion μπαταριών του οχήματος. Σκοπός της εταιρείας είναι η προώθηση των plug-in και των άλλων υβριδικών για τα επόμενα χρόνια. Την ίδια χρονική στιγμή αποκάλυψε και το Chevrolet Volt, το οποίο αναμένεται αρχικά να αποτελείται από σύστημα plug-in, σειριακό, ισχυρών μπαταριών που αποκαλείται E-Flex. Τα μελλοντικά E-Flex plug-in υβριδικά οχήματα θα χρησιμοποιούν είτε βενζινοκινητήρα, είτε κινητήρα diesel είτε κυψέλες καυσίμου με υδρογόνο για την ενίσχυση των μπαταριών. Η General Motors οραματίζεται μια σταδιακή μετατροπή των E-Flex οχημάτων από plug-in υβριδικά σε αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, καθώς η τεχνολογία των μπαταριών συνεχώς θα εξελίσσεται. Η General Motors παρουσίασε το Volt ως ένα PHEV-40 που εκκινεί τον κινητήρα του όταν το 40% του φορτίου της μπαταρίας έχει απομείνει και το οποίο μπορεί να επιτύχει κατανάλωση καυσίμου 50 mpg ή 4.7 L/100 km.



Σχήμα 6.7 Το σειριακό plug-in υβριδικό, Chevrolet Volt, της GM

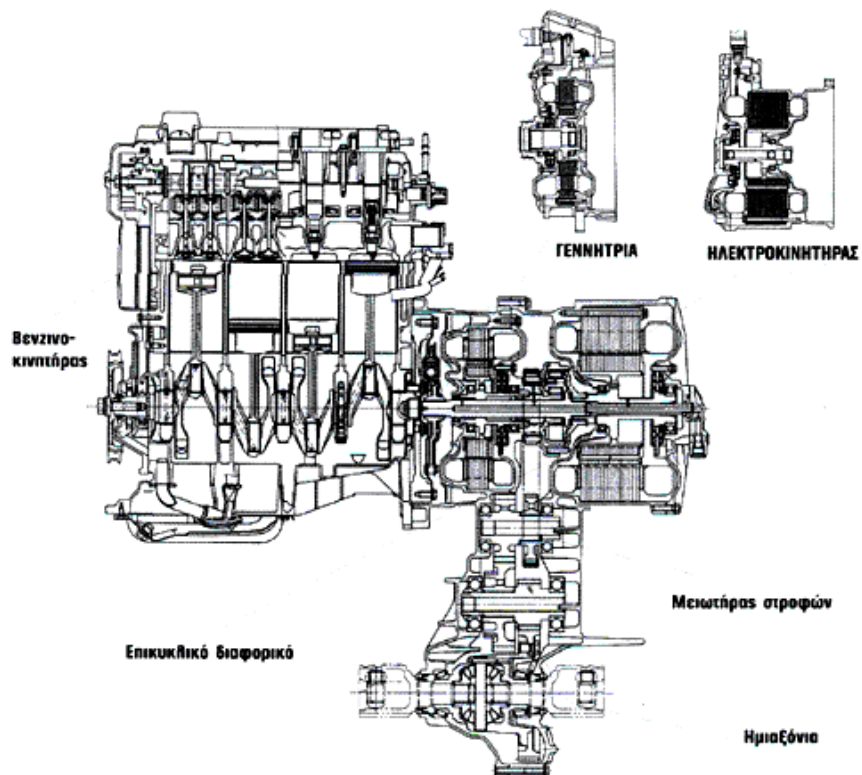
Στις 9 Ιουλίου 2007, η Ford ανακοίνωσε ότι προτίθεται να παράγει plug-in υβριδικά σε πέντε με δέκα χρόνια, κάτι το οποίο εξαρτάται, σύμφωνα με τους ισχυρισμούς της, στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των μπαταριών lithium-ion. Στις 25 Ιουλίου του 2007, η κυβέρνηση της Ιαπωνίας διαβεβαίωσε την Toyota για τη χρήση των plug-in υβριδικών της στις δημόσιες μεταφορές, κάνοντας την έτσι την πρώτη εταιρεία που έχει τέτοια αποδοχή στο χώρο της plug-in τεχνολογίας.

Από την άλλη, η μετατροπή ενός ήδη υπάρχοντος υβριδικού σε plug-in υβριδικό περιλαμβάνει την αύξηση της χωρητικότητας των μπαταριών και την τοποθέτηση ενός φορτιστή AC-DC επί του οχήματος. Ιδανικά, πρέπει το λογισμικό του συστήματος μετάδοσης ισχύος να αναπρογραμματιστεί για την πλήρη χρήση της επιπρόσθετης χωρητικότητας της μπαταρίας και της νέας ισχύος. Πολλές πρόσφατες plug-in υβριδικές μετατροπές βασίστηκαν στο Toyota Prius του 2004 και στα επόμενα μοντέλα του. Κάποια από αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν την αντικατάσταση της πρωτότυπης Ni-MH μπαταρίας και της μονάδας ηλεκτρονικού ελέγχου. Κάποια άλλα, όπως το Hymotion, το Prius+ και το PiPrius, μεγάλωσαν τη χωρητικότητα των μπαταριών προσθέτοντας επιπλέον μπαταρίες. Πρόσφατες μετατροπές με μπαταρίες μολύβδου από την “CalCars” οδήγησαν στην κάλυψη 10 μιλίων (15 km) με αποκλειστική ηλεκτρική λειτουργία και 20 μιλίων (30 km) με “συνδυασμένη λειτουργία” (blended mode).

7. Παραδείγματα σύγχρονων υβριδικών οχημάτων

7.1 Toyota Prius THS και THS II

Τα αρχικά THS (Toyota Hybrid System) πρωτοχρησιμοποιήθηκαν το 1997, στο πρώτο Toyota Prius και συμβολίζουν την “έξυπνη” διασύνδεση ενός βενζινοκινητήρα με έναν ηλεκτροκινητήρα και μια γεννήτρια, σε συνδυασμό με ένα σύστημα ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση.



Σχήμα 7.1 Το ηλεκτρομηχανικό μέρος του THS



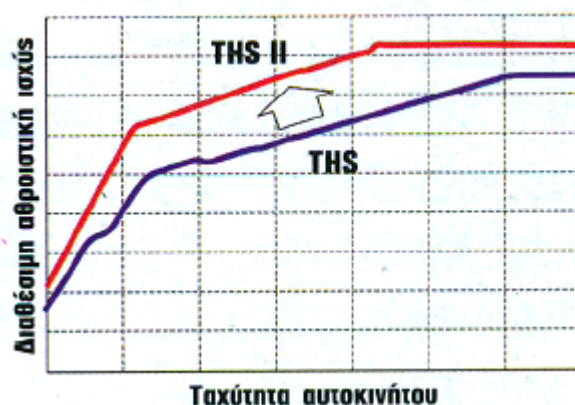
Σχήμα 7.2 Το πρώτο Toyota Prius

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας όπου γίνεται μια σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών ανάμεσα στα δυο συστήματα.

	Χαρακτηριστικό	THS II	THS
Θερμικός κινητήρας	Τύπος	Βενζινοκινητήρας σε κύκλο Atkinson	
	Μέγιστη ισχύς kw (Ps)/σαβ.	57 (78)/5.000	53 (72)/4.500
	Μέγιστη ροπή Nm (kgm)/rpm	115 (11,7)/4.200	115 (11,7)/4.200
Ηλεκτροκινητήρας	Τύπος	Σύγχρονος, εναλλασσομένου ρεύματος	
	Μέγιστη ισχύς kw(PS)/σ.α.β.	50 (68)/1.200-1.540	33 (45)/1.040-5.600
	Μέγιστη ροπή Nm (kgm)/σ.α.β.	400(40.8)/0-1,200	350(35.7)/0-400
Αθροιστική απόδοση	Μέγιστη ισχύς kw(PS)/ταχύτητα οχήματος σε χ.α.ω.	82(113)/85 και πάνω	74 (101)/120 και πάνω
	Ισχύς στα 85 χ.α.ω. σε kW (PS)	82 (113)	65 (88)
	Μέγιστη ροπή Nm (kgm)/ ταχύτητα οχήματος σε χ.α.ω.	478(48.7)/22 και κάτω	421 (42.9)/11 και κάτω
	Ροπή στα 22 χ.α.ω. σε Nm (kgm)	478 (48,7)	378 (38,5)
Συμσωρευτής	Τύπος	Νικελίου-Υδριδίου	

Πίνακας 7.1 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών ανάμεσα στα THS και THS II

Όσον αφορά τη μέγιστη αθροιστική ισχύ, στο THS αυτή εμφανιζόταν από τα 120 km/h και πάνω ενώ στο THS II η εμφάνιση της αρχίζει από τα 85 km/h και πάνω και η τιμή της είναι επίσης μεγαλύτερη, κατά 20% περίπου.

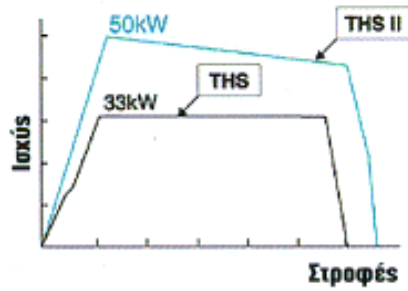


Σχήμα 7.3 Σύγκριση διαθέσιμης αθροιστικής ισχύος ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος ανάμεσα στα THS και THS II

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη αθροιστική ισχύς βενζινοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα (οριζόντιο τμήμα καμπύλης) του Prius THS II είναι διαθέσιμη από πολύ μικρότερη ταχύτητα, σε σύγκριση με το αρχικό THS που αντικατέστησε. Το αρχικό ευθύγραμμο διαγώνιο διάγραμμα κάθε καμπύλης φανερώνει ότι και η μέγιστη αθροιστική ροπή του THS II είναι διαθέσιμη, σε σύγκριση με το THS, για πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα, μετά την εκκίνηση από στάση.

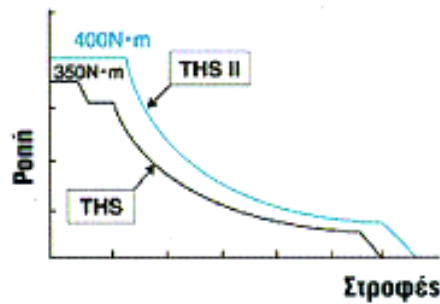
Πέρα από τους 6 επιπλέον ίππους που διαθέτει ο βενζινοκινητήρας του νέου Prius έναντι του (ίδιου κυβισμού) προηγούμενου, η ουσιαστική βελτίωση των επιδόσεων έρχεται από τον αναβαθμισμένο ηλεκτροκινητήρα του THS II, ο οποίος είναι ισχυρότερος σε όλο το εύρος στροφών από αυτό που αντικαθιστά. Η μέγιστη διαφορά ανάμεσα στις δυο ιπποδυνάμεις φτάνει τα 17 kW και η ροπή τα 50 Nm. Πιο κάτω παρατίθενται τα συγκριτικά διαγράμματα ισχύος και ροπής για τον ηλεκτροκινητήρα ανάμεσα στα δυο υβριδικά συστήματα.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΧΥΟΣ



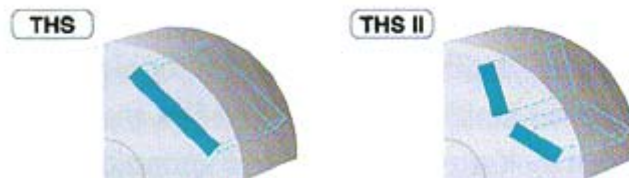
Σχήμα 7.4 Συγκριτικό διάγραμμα ισχύος για τον ηλεκτροκινητήρα ανάμεσα στο Prius THS και το Prius THS II

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΠΗΣ



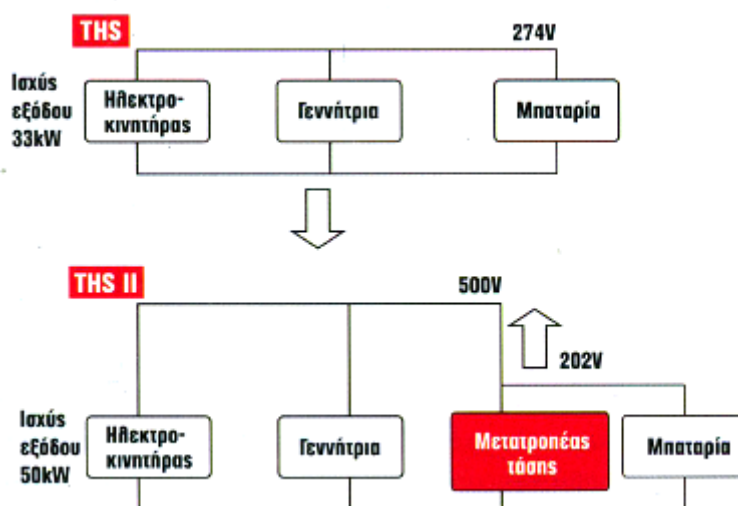
Σχήμα 7.5 Συγκριτικό διάγραμμα ροπής για τον ηλεκτροκινητήρα ανάμεσα στο Prius THS και το Prius THS II

Η διαφορά ανάμεσα στον καινούριο και παλιό ηλεκτροκινητήρα (που και στις δυο περιπτώσεις είναι ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος, τροφοδοτούμενος από «παλμούς» εναλλασσόμενου), εντοπίζεται στην εσωτερική θέση των μονίμων μαγνητών (από νεοδύμιο) η οποία, στη νέα έκδοση, έχει τροποποιηθεί ώστε να γίνεται καλύτερη «μηχανική» εκμετάλλευση των παλμών του ρεύματος τροφοδοσίας.



Σχήμα 7.6 Η προηγούμενη και η νέα βελτιωμένη διάταξη των μαγνητών νεοδυμίου στον ηλεκτροκινητήρα

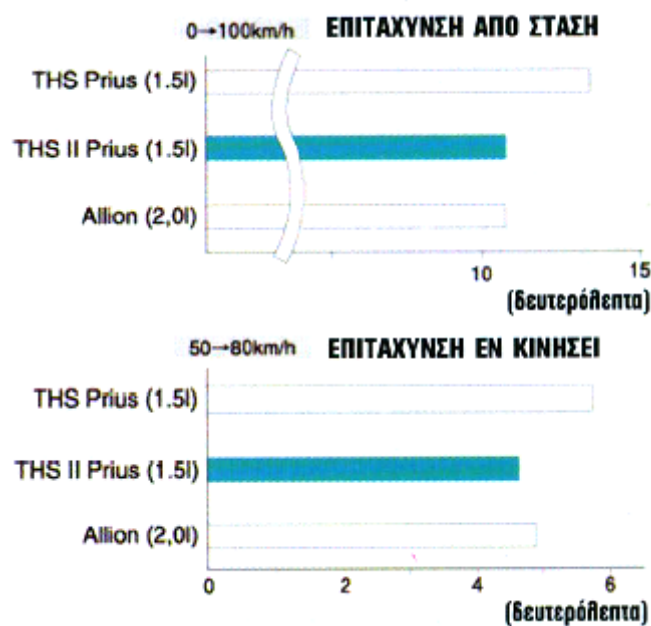
Η ουσιαστική όμως αύξηση της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα έχει επιτευχθεί από την αύξηση της ισχύος τροφοδοσίας του, μέσω της αντίστοιχης αύξησης της τάσης, διατηρώντας στα ίδια επίπεδα την ένταση. Η αύξηση της τάσης επιτεύχθηκε με την παρεμβολή στην έξοδο της μπαταρίας ενός κυκλώματος που μετατρέπει τα 202 V της σε 500 V. Στο πρώτο THS, η τάση ήταν ενιαία στο κύκλωμα μπαταρίας – γεννήτριας – ηλεκτροκινητήρα, με τιμή 274 V. Στο THS II προστέθηκε ένας μετατροπέας τάσης παράλληλα προς την μπαταρία με αποτέλεσμα η ισχύς εξόδου να αυξηθεί κατά 50% περίπου, χωρίς να αυξηθεί η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τις περιελίξεις.



Σχήμα 7.7 Αύξηση της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα μέσω της προσθήκης ενός μετατροπέα τάσης στο THS II

Αναβαθμισμένο, σε σχέση με το προηγούμενο THS, είναι και το λογισμικό του THS II μέσω του οποίου ελέγχεται ο βαθμός επενέργειας του συστήματος ανάκτησης ισχύος από την πέδηση. Έτσι, πολύ μεγαλύτερο μέρος του φρεναρίσματος εκτελείται από την αναστροφή πολικότητας του ηλεκτροκινητήρα και αντιστοίχως πολύ λιγότερο από το (ηλεκτρικά ελεγχόμενο) υδραυλικό κύκλωμα των φρένων. Ο αλγόριθμος διαχείρισης της επιβράδυνσης έγινε πολύ πιο πολύπλοκος καθώς η αναβάθμιση της επενέργειας του συστήματος ανάκτησης πρέπει να λάβει υπόψη της και τις πάγιες ανάγκες για (ηλεκτρονικό) έλεγχο της κατανομής πέδησης (EBD) ανάμεσα στους εμπρός και τους πίσω τροχούς.

Παρακάτω είναι εμφανής η υπεροχή του Prius THS II στην επιτάχυνση στα 0 -100 km/h και στην επιτάχυνση εν κινήσει (50-80 km/h) συγκριτικά με την προηγούμενη έκδοση THS αλλά και η υπεροχή του στην επιτάχυνση εν κινήσει συγκριτικά με ένα συμβατικό δίλιτρο αυτοκίνητο της Toyota, με ατμοσφαιρικό κινητήρα.

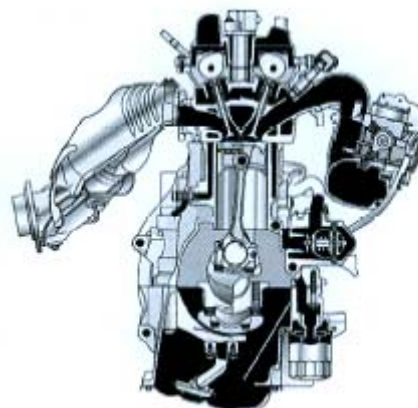


Σχήμα 7.8 Σύγκριση επιδόσεων του Prius THS II με το προηγούμενο THS αλλά και με ένα συμβατικό δίλιτρο αυτοκίνητο της Toyota, με ατμοσφαιρικό κινητήρα.



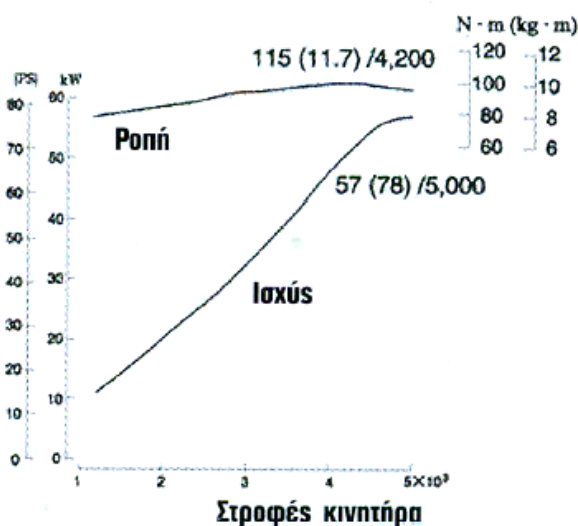
Σχήμα 7.9 Το νέο Toyota Prius THS II

Το νέο Prius έχει τον ίδιο τετρακύλινδρο, 16-βάλβιδο κινητήρα με αυτόν του προκατόχου του. Έναν κινητήρα 1497 κ.εκ. με «υποτετράγωνες» διαστάσεις (διάμετρος 75, διαδρομή 84,7mm) και βαθμό συμπίεσης 13:1, που με το νέο χρονισμό του αποδίδει 78 ίππους στις 5000 rpm έναντι 72 ίππων στις 4500 rpm του προηγούμενου, ενώ η ροπή είναι ίδια και στους δυο κινητήρες και συγκεκριμένα 11,7kgm / 4200 rpm.



Σχήμα 7.10 Ο κινητήρας του Prius είναι υποτετράγωνος, με το στροφαλοφόρο τοποθετημένο ελαφρά πιο «πίσω» από το νοητό επίπεδο των αξόνων των κυλίνδρων

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ενοποιημένο διάγραμμα ροπής – ισχύος για τον κινητήρα του Prius THS II.

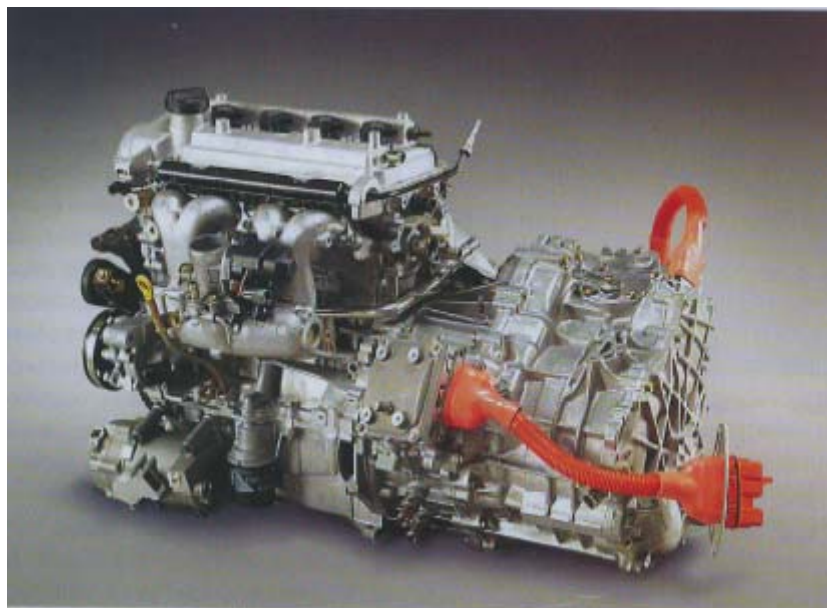


Σχήμα 7.11 Διάγραμμα ροπής και ισχύος του Prius THS II

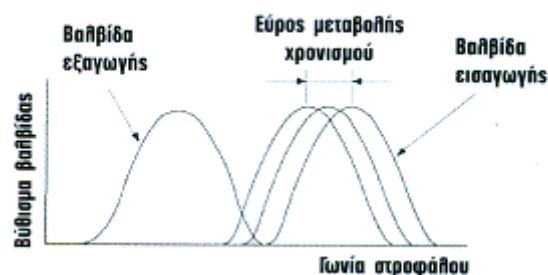
Η σχεδίαση αυτού του κινητήρα δεν είχε ως στόχο να αποδώσει μεγάλη ισχύ, όσο να έχει υψηλό βαθμό απόδοσης όταν λειτουργεί σε συνθήκες

αντίστοιχες ενός «φυσιολογικού» κινητήρα που λειτουργεί με το γκάζι πατημένο λιγότερο από το μέγιστο.

Η λειτουργία αυτού του βενζινοκινητήρα σε κύκλο Atkinson βασίζεται στη μεγαλύτερη διαδρομή που εκτελεί το έμβολο όταν βρίσκεται στο χρόνο εκτόνωσης από αυτή που εκτελεί στη φάση συμπίεσης. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, στον κινητήρα του Prius η συμπίεση αρχίζει πολύ αργότερα από το Κ.Ν.Σ. – το πότε θα αρχίσει άρα και το πότε θα κλείσει από το σύστημα μεταβλητού χρονισμού, WTi, η βαλβίδα εισαγωγής για να σφραγιστεί ο κύλινδρος, εξαρτάται από τον επιθυμητό βαθμό πλήρωσης.



Σχήμα 7.12 Ρεαλιστική απεικόνιση του κινητήρα του Prius



Σχήμα 7.13 Η έναρξη του «ενεργού» χρόνου συμπίεσης μεταβάλλεται ανάλογα με το πόσο «καθυστερημένα» το σύστημα μεταβλητού χρονισμού (WT-i) κλείνει τη βαλβίδα εισαγωγής



Σχήμα 7.14 Μια εσωτερική «ματιά» στο THS II κάτω από το καπό του Prius

Η ποσότητα τοξικών εκπομπών του Prius THS II (άθροισμα άκαυτων υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου) είναι 0,02g/km – με άλλα λόγια, μόλις το 1/5 του Prius THS που εξέπεμπε 0,10 g/km. Πρέπει εδώ να υπενθυμιστεί ότι τα αντίστοιχα όρια προδιαγραφών Euro IV είναι εξαιρετικά υψηλότερα, φτάνοντας τις τιμές 0,18 για τους βενζινοκινητήρες (9 φορές υψηλότερα) και 0,30 για τους πετρελαιοκινητήρες (15 φορές υψηλότερα). Εν ολίγοις, οι ολικές εκπομπές του Prius THS II σε άκαυτους υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου είναι 88% χαμηλότερες από τα όρια των προδιαγραφών Euro IV για τα αυτοκίνητα με κινητήρες βενζίνης και κατά 93% από τις αντίστοιχες για τα πετρελαιοκίνητα. Η κατανάλωση του Prius THS II , για το μικτό κύκλο οδήγησης είναι μόλις 4,3 λίτρα/ 100 km και δεν ξεπερνά τα 5,0 στον κύκλο πόλης – με αντίστοιχα μικρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Και εδώ βρίσκονται τα δυο πιο σημαντικά σημεία όσον αφορά στην προσέγγιση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου:

- 1) Ένα αντίστοιχου μεγέθους και επιδόσεων πετρελαιοκίνητο όχημα έχει υψηλότερη κατανάλωση από αυτή του βενζινοκίνητου Prius, τη στιγμή που
- 2) από μόνο του, το κάθε λίτρο βενζίνης, όταν καίγεται, παράγει 15% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα από το αντίστοιχο λίτρο

πετρελαίου.(Λογικό αν ληφθεί υπόψη ότι στο πετρέλαιο αφθονούν τα βαριά μόρια, τα πλούσια σε άνθρακα – που σχηματίζει διοξείδιο όταν καίγεται -, ενώ στη βενζίνη αφθονούν μόρια πλούσια σε υδρογόνο, του οποίου η καύση σχηματίζει νερό).

7.2 Ford Escape Hybrid

Το Ford Escape Hybrid, το οποίο μπήκε στην αγορά το 2004, είναι ένα υβριδικό όχημα που λειτουργεί με βενζινοκινητήρα και ηλεκτροκινητήρα και είναι εκδοχή του Ford Escape SUV.



Σχήμα 7.15 Το διακριτικό “Hybrid” στο Ford Escape Hybrid

Το υβριδικό Escape είναι ένα πλήρως υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα, εννοώντας δηλαδή ότι το σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργήσει αυτόματα μονάχα με τον ηλεκτροκινητήρα ή μόνο με τον βενζινοκινητήρα ή με συνδυασμό και των δυο ταυτόχρονα για τη μέγιστη απόδοση και καλύτερη επίδοση σε όλες τις ταχύτητες και σε όλα τα φορτία. Όταν φρενάρει ή επιβραδύνει, το υβριδικό σύστημα του Escape κάνει χρήση του συστήματος ανάκτησης ισχύος, όπου ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια και απορροφά το ποσό της κινητικής ενέργειας του οχήματος το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Έτσι, λοιπόν, το υβριδικό σύστημα του Escape λειτουργεί σε τέσσερις φάσεις:

1. Εκκίνηση/Σταμάτημα – Όταν πατηθεί η μίζα του Escape Hybrid, ενεργοποιείται ο ηλεκτροκινητήρας. Ο ηλεκτροκινητήρας με τη σειρά του εκκινεί και τον βενζινοκινητήρα. Το όχημα τότε επιδίδεται σε μια σειρά από ελέγχους για να καθορίσει αν η λειτουργία του θα βασιστεί μόνο στον ηλεκτροκινητήρα. Ελέγχει δηλαδή αν οι μπαταρίες είναι φορτισμένες, αν οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι φυσιολογικές και αν οι εσωτερικές ρυθμίσεις του κλιματισμού είναι σε κανονικά επίπεδα (η ρύθμιση του κλιματιστικού στο μέγιστο απαιτεί τη λειτουργία του βενζινοκινητήρα). Αν όλα λοιπόν ελεγχθούν, ο κινητήρας θα σβήσει, αφήνοντας το όχημα να λειτουργεί μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Η διαδικασία αυτή διαρκεί μόνο ένα με δύο δευτερόλεπτα.

Όταν ακινητοποιηθεί το Escape Hybrid, ο βενζινοκινητήρας σβήνει. Το όχημα λειτουργεί μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα όταν βρίσκεται για παράδειγμα σε φανάρι με κόκκινο ή σε ένα μποτιλιάρισμα. Η Ford κατέβαλλε μεγάλες προσπάθειες για να είναι οι κύκλοι on-off του βενζινοκινητήρα όσο πιο ομαλοί και ανεπαίσθητοι γίνεται, ωστόσο διάφοροι ελεγκτές ανέφεραν ένα αισθητό “τρέμουλο” στο όχημα όταν ο κινητήρας έσβηνε ή άναβε.

2. Λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα – Όταν το Escape Hybrid επιταχύνει από στάση, το πραγματοποιεί μόνο με χρήση του ηλεκτροκινητήρα. Οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν και παράγουν ροπή σε χαμηλές στροφές, οπότε και χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Περίπου στα 39 mph, αρχίζει ο βενζινοκινητήρας τη βοήθεια του στον ηλεκτροκινητήρα. Αν το όχημα οδηγείται σε πυκνή κυκλοφορία μέσα στην πόλη, τότε θα λειτουργεί μόνο ο ηλεκτροκινητήρας. Μπορεί να διανυθεί μια απόσταση 1.5 έως 1.8 μιλίων με λειτουργία μόνο του ηλεκτροκινητήρα πριν αποφορτιστούν οι μπαταρίες και αρχίσει η λειτουργία του βενζινοκινητήρα. Όταν αρχίσει η επιβράδυνση και η ταχύτητα πέσει κάτω από τα 40 mph με το φρένο πάντα να οδηγεί σε ομαλή επιβράδυνση και όχι σε απότομη, ο βενζινοκινητήρας σβήνει και το όχημα συνεχίζει χωρίς να καταναλώνει βενζίνη. Η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα κάτω από 10 °C, δεν είναι τόσο αποδοτική ενώ η

επίδοση του γίνεται όλο και χειρότερη όσο η θερμοκρασία πέφτει ακόμα περισσότερο.

3. Ανάκτηση ισχύος κατά το φρενάρισμα – Όταν πατηθούν τα φρένα σε ένα αυτοκίνητο τότε η κινητική ενέργεια του οχήματος χάνεται με τη μορφή θερμότητας. Στο Ford Escape Hybrid όμως, όπως και σε κάθε υβριδικό όχημα, μέρος αυτής της κινητικής ενέργειας αποθηκεύεται μέσω της γεννήτριας στις μπαταρίες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα υβριδικά οχήματα έχουν καλύτερες επιδόσεις σε οδηγικές συνθήκες εκκίνησης/στάσης παρά σε ανοιχτούς αυτοκινητόδρομους. Μπορεί να ειπωθεί ότι η στάση σε κάθε κόκκινο φανάρι είναι αρκετή για τη φόρτιση των μπαταριών.

Για τη μεγιστοποίηση της ενέργειας που ανακτάται κατά το φρενάρισμα, είναι σημαντικό η επιβράδυνση να γίνεται ομαλά και σταδιακά. Πατώντας τα φρένα δυνατά, έχει σαν αποτέλεσμα να ενεργοποιείται το ABS και να αχρηστεύεται έτσι η κινητική ενέργεια.

4. Σταθερής ταχύτητας διαδρομή υποβοηθούμενη από τον Η/Κ – Σε σταθερές ταχύτητες αυτοκινητοδρόμου (80-110 km/h), ο βενζινοκινητήρας είναι κυρίως υπεύθυνος για την προώθηση του οχήματος, αφού είναι πιο αποδοτικός σε αυτό το πεδίο ταχυτήτων. Επειδή, όμως, το Escape Hybrid έχει ένα μικρό, 4-κύλινδρο κινητήρα, χρειάζεται μια μικρή υποβοήθηση για παράδειγμα κατά το προσπέρασμα. Έτσι, όταν απαιτείται μια επιτάχυνση του οχήματος, ο ηλεκτροκινητήρας θα ενεργοποιηθεί και θα προσθέσει την ιπποδύναμη του σε αυτήν του βενζινοκινητήρα.

Το Escape Hybrid κάνει χρήση μιας ηλεκτρονικά συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης (eCVT). Υπολογιστές μέσα στην καμπίνα του οχήματος ρυθμίζουν τη βέλτιστη σχέση στο κιβώτιο για την επίτευξη της εξοικονόμησης καυσίμου, καταφέρνοντας έτσι μια κατά 30% αύξηση της απόδοσης σε σχέση με ένα συμβατικό κιβώτιο ταχυτήτων, σύμφωνα με τους μηχανικούς της Ford.

Η Ford κατασκεύασε 17,000 Escape Hybrids στο δεύτερο μισό του 2004, τέσσερις φορές περισσότερα από όσα είχε αρχικά σχεδιάσει να κατασκευάσει. Το Escape Hybrid χρησιμοποιεί τεχνολογία παρόμοια με αυτή του Toyota Prius.



Σχήμα 7.16 Η μπαταρία Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου (NiMH) του Escape Hybrid

Οι 133 ίπποι (99kW) του βενζινοκινητήρα σε συνδυασμό με τους 94 ίππους του ηλεκτροκινητήρα δίνουν παρόμοιες επιδόσεις με τον 200 ίππων V6 κινητήρα που χρησιμοποιείται στην κανονική έκδοση του Escape. Το υβριδικό έχει κατά 75% καλύτερη απόδοση με 33 έως 36 mpg στην κίνηση μέσα στην πόλη (έχει δείξει ότι μπορεί να διασχίσει 400 – 500 μίλια με ντεπόζιτο γεμάτο στα 16.5 γαλόνια βενζίνης σε οδηγικές συνθήκες πόλης) και 29 έως 31 mpg στον αυτοκινητόδρομο. Σε αντίθεση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα υβριδικά επιτυγχάνουν καλύτερες επιδόσεις στην πόλη επειδή δεν ξοδεύουν ενέργεια όταν λειτουργούν στο ρελαντί και μπορούν να ανακτήσουν μέρος της ενέργειας όταν επιβραδύνουν, ενώ τα συμβατικά κατά το φρενάρισμα χάνουν την αντίστοιχη ενέργεια.

Το Escape Hybrid πληρεί τα επίπεδα εκπομπών που θέτουν τα πρότυπα εκπομπών της California SULEV και PZEV, με εκπομπές κατά 90% λιγότερες από το μέσο όρο του 2003 και καθώς και μηδενικές εκπομπές ατμών βενζίνης.



Σχήμα 7.17 Κάτω από το καπό του Ford Escape Hybrid



Σχήμα 7.18 Μια πιο κοντινή άποψη του βενζινοκινητήρα του Ford Escape Hybrid

Για να βελτιώσει την απόδοση στον βενζινοκινητήρα, η Ford χρησιμοποίησε έναν 4-κύλινδρο κινητήρα με κύκλο Atkinson στην υβριδική εκδοχή του Escape.

Ο αλουμινένιος, 4-κύλινδρος, κινητήρας του Escape των 2.3 λίτρων, με διπλό εκκεντροφόρο επικεφαλής, παράγει 133 ίππους στις 6000 rpm. Ο τριφασικός, μονίμου μαγνήτη, σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας προσθέτει 94 επιπλέον ίππους στις 3000 – 5000 rpm. Μόνος του ο βενζινοκινητήρας μπορεί να μεταφέρει 129 lb-ft ροπής στις 4500 rpm. Για σύγκριση, ο 4-κύλινδρος κινητήρας στο συμβατικό Escape παράγει 153 ίππους στις 5800 rpm και 152 lb-ft ροπής στις 4250 rpm.

Το AWD Escape Hybrid ζυγίζει 1.766 kg – τα επιπλέον στοιχεία που απαρτίζουν το υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος προσθέτουν επιπλέον

500 pounds (230 kg) στο βάρος του Escape. Με ένα μεταξόνιο των 261.9 cm και μια απόσταση των 20 cm από το έδαφος, αποτελεί είδος της κατηγορίας των SUV.



Σχήμα 7.19 Το Ford Escape Hybrid σε “ανατομική” μορφή



Σχήμα 7.20 Η εσωτερική καμπίνα του Ford Escape Hybrid

7.3 Honda Civic Hybrid

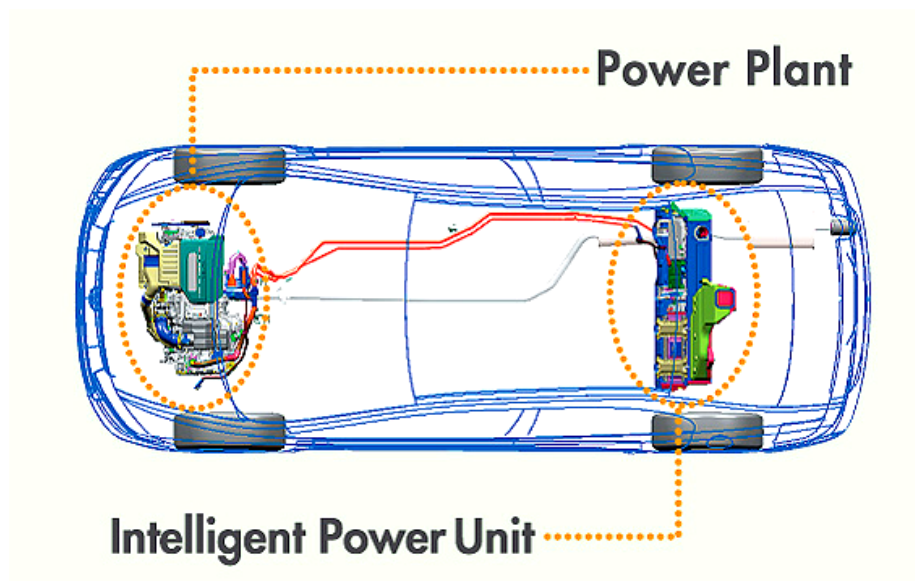
Το Honda Civic Hybrid είναι η υβριδική εκδοχή του Honda Civic sedan. Στο μοντέλο Civic του 2003 η Honda προσέθεσε το συνεχώς μεταβαλλόμενης σχέσης μετάδοσης κιβώτιο ταχυτήτων (CVT) και το Integrated Motor Assist υβριδικό σύστημα, παρόμοιο με αυτό του Honda Insight (το πρώτο υβριδικό της Honda), δημιουργώντας έτσι ένα υβριδικό sedan με καλή οικονομία καυσίμου. Δεν ανήκει στα πλήρως υβριδικά οχήματα αλλά στην κατηγορία των power assist hybrid, δηλαδή υβριδικό όχημα του οποίου ο ηλεκτροκινητήρας κατά κανόνα δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα. Το 2004 η νέα έκδοση, μαζί με το συμβατικό Civic, ήταν αναβαθμισμένη στιλιστικά, ενώ ανασχεδιάστηκε το 2006 και απέκτησε τη νέα μορφή που έχει και το συμβατικό Civic.

Η τεχνολογία IMA (Integrated Motor Assist) είναι τεχνολογία που υιοθετήθηκε από τη Honda για την κατασκευή των υβριδικών οχημάτων της και εισήχθη για πρώτη φορά το 1999 στο πρώτο υβριδικό μοντέλο της Honda, το Insight. Κάνει χρήση ενός ηλεκτροκινητήρα που είναι τοποθετημένος μεταξύ του κινητήρα και του κιβωτίου ταχυτήτων και ο οποίος ενεργεί σαν κινητήρας εκκίνησης, σαν κινητήρας εξισορρόπησης και σαν βοηθητικός κινητήρας προώθησης. Η πρώτη γενιά της τεχνολογίας IMA δεν μπορούσε να προωθήσει το όχημα μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα αλλά έκανε χρήση του ηλεκτροκινητήρα για την υποβοήθηση του κινητήρα ή για την εκκίνηση του οχήματος. Το μοντέλο 2006 Civic Hybrid, ωστόσο, μπορεί σε μέσες ταχύτητες ταξιδιού να ενεργοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα για την αποκλειστική προώθηση του οχήματος, όμως σε αντίθεση με το σύστημα Synergy της Toyota ή τα αντίστοιχα υβριδικά συστήματα των εταιριών General Motors και DaimlerChrysler, το IMA έχει ένα λιγότερο ισχυρό ηλεκτροκινητήρα/γεννήτρια που επιτρέπει στο όχημα να μειώνει το ρυθμό επιβράδυνσης του σε μικρότερο βαθμό. Η θεωρία πίσω από το IMA και ο στόχος ήταν να γίνει χρήση της ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα για την αξιοποίηση της ενέργειας που χάνεται στην επιβράδυνση έτσι ώστε αυτή να χρησιμοποιείται εκ νέου για την επιτάχυνση του οχήματος σε μεταγενέστερο χρόνο. Αυτό έχει δυο αποτελέσματα: αυξάνει το ρυθμό επιτάχυνσης του οχήματος και μειώνει

το έργο του βενζινοκινητήρα. Αυτή η αύξηση στην επιτάχυνση είναι σημαντική διότι επιτρέπει την μείωση του μεγέθους του κινητήρα, ενός κινητήρα με καλύτερη οικονομία καυσίμου, χωρίς να καθιστά το αυτοκίνητο πιο αργό. Αυτός ο μικρότερος κινητήρας είναι ο πρωταρχικός λόγος γιατί τα αυτοκίνητα που είναι εξοπλισμένα με το σύστημα IMA έχουν καλύτερη επίδοση σε mpg (μίλια ανά γαλόνι) από τα αντίστοιχα συμβατικά. Επιπρόσθετα, οχήματα με τεχνολογία IMA μπορούν να σβήσουν τον βενζινοκινητήρα τους όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο και να χρησιμοποιήσουν τον ηλεκτροκινητήρα τους για μια γρήγορη εκκίνηση. Μπορούν επίσης να εκκινήσουν και με τον συμβατικό τρόπο, επιλέγοντας την απενεργοποίηση του ηλεκτρικού τους συστήματος και χρησιμοποιώντας μόνο τον κινητήρα, κάτι το οποίο λειτουργεί περισσότερο σαν εφεδρικό σύστημα σε περίπτωση ανάγκης.

Οι τρόποι λειτουργίας του νέου Civic Hybrid είναι οι παρακάτω:

- Όχημα σε στάση – Ο κινητήρας είναι σβηστός και η κατανάλωση καυσίμου είναι μηδενική.
- Εκκίνηση και επιτάχυνση – Ο κινητήρας λειτουργεί με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για χαμηλές στροφές (low-speed valve timing mode), με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα.
- Απότομη Επιτάχυνση – Ο κινητήρας λειτουργεί με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για υψηλές στροφές (high-speed valve timing mode), με τη βοήθεια του ηλεκτροκινητήρα.
- Σταθερή πορεία χαμηλής ταχύτητας – Οι βαλβίδες και των τεσσάρων κυλίνδρων του κινητήρα κλείνουν και η καύση σταματάει. Ο ηλεκτροκινητήρας κινεί αποκλειστικά το όχημα.
- Ομαλή επιτάχυνση σε πορεία υψηλής ταχύτητας – Ο κινητήρας λειτουργώντας με χρονισμό βαλβίδων βελτιστοποιημένο για χαμηλές στροφές (low-speed valve timing mode) προωθεί το όχημα.
- Επιβράδυνση – Οι βαλβίδες και των τεσσάρων κυλίνδρων κλείνουν και η καύση σταματάει. Ο ηλεκτροκινητήρας δρα ως γεννήτρια και ανακτά μέρος της κινητικής ενέργειας από το φρενάρισμα, το οποίο το αποθηκεύει στις μπαταρίες.



Σχήμα 7.21 Το υβριδικό σύστημα του Honda Civic



Σχήμα 7.22 Το νέο Honda Civic Hybrid



Σχήμα 7.23 Ο κινητήρας του Honda Civic Hybrid

7.4 Toyota Camry Hybrid

Το Toyota Camry Hybrid είναι η υβριδική εκδοχή του sedan Camry και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το Μάιο του 2006.



Σχήμα 7.24 Το Toyota Camry Hybrid

Το Camry Hybrid διαθέτει έναν 4-κύλινδρο βενζινοκινητήρα, έναν ηλεκτροκινητήρα των 650V ισχύος 30 kW (40 hp) και ροπής 270 N·m (199 ft·lbf) και μια NiMH 245V μπαταρία με μέγιστη ισχύ των 30 kW (40 hp)

για την παραγωγή συνδυασμένης ισχύος ίση με 192 hp (140 kW). Όσον αφορά την κατανάλωση του, το Camry Hybrid διανύει 33 μίλια ανά γαλόνι μέσα στην πόλη και 34 μίλια ανά γαλόνι στον αυτοκινητόδρομο. Το σύστημα οδήγησης, τα φρένα και η θέρμανση/κλιματισμός λειτουργούν με την ηλεκτρική ενέργεια του ηλεκτροκινητήρα, κάτι που επιτρέπει στο όχημα να κινείται μόνο με αυτόν. Το υβριδικό του σύστημα βασίζεται στο σύστημα Synergy της Toyota που αναλύθηκε στην παρουσίαση του Prius.



Σχήμα 7.25 Ο κινητήρας του Toyota Camry Hybrid



Σχήμα 7.26 Η μπαταρία NiMH 245 V ισχύος 30 kW του Toyota Camry Hybrid

7.5 Lexus LS 600h / LS 600h L

Η Lexus εισήγαγε το μοντέλο LS 600h L (UVF46), το πρώτο με κινητήρα V8 πλήρως υβριδικό όχημα, στο New York Auto Show, το 2006. Το LS 600h L είναι εξοπλισμένο με το σύστημα Lexus Hybrid Drive, που είναι ουσιαστικά το σύστημα Synergy που έχει αναπτύξει η Toyota και για το οποίο έχει γίνει λόγος. Το σύστημα αυτό της Lexus χαρακτηρίζεται από τον 5.0 L 2UR-FSXE V8 κινητήρα που συνεργάζεται με τον υψηλής ισχύος ηλεκτροκινητήρα και τη συστοιχία των NiMH μπαταριών. Η συνολική ισχύς του συστήματος φτάνει τα 438 hp (327 kW), ισχύς συγκρίσιμη με αυτήν των V12 sedan, όπως της BMW 760Li (η οποία επίσης παράγει 438 hp). Ο ηλεκτροκινητήρας είναι τριφασικός, μόνιμου μαγνήτη, AC σύγχρονος στα 650 V και μεταφέρει παραπάνω από 160 kW (215 hp).



Σχήμα 7.35 Το υβριδικό Lexus LS 600h

Επιπρόσθετα οι εκπομπές CO₂ είναι λιγότερες από 220 g/km, μια τιμή που αντιστοιχεί στα λιγότερο ρυπογόνα diesel της κατηγορίας.

7.6 Nissan Altima Hybrid

Το υβριδικό Altima διαθέτει έναν 2.5 L QR25DE κινητήρα ισχύος 158 hp συνδεδεμένο σε ένα πλανητικού τύπου αυτόματο κιβώτιο CVT και ηλεκτροκινητήρα/γεννήτρια για την έξοδο συνδυασμένης ισχύος ίση με 198 hp. Το υβριδικό αυτό σύστημα του δίνει τη δυνατότητα να διανύει 35 mpg στον μικτό κύκλο ή αλλιώς 600 μίλια μέσα στην πόλη με ένα ντεπόζιτο.



Σχήμα 7.39 Το Nissan Altima Hybrid



Σχήμα 7.40 Κάτω από το καπό του Nissan Altima Hybrid

7.7 Saturn Vue Green Line

Το Saturn Vue Green Line είναι ένα “ήπιο” υβριδικό που πρώτο έκανε χρήση του συστήματος που ανέπτυξε η GM και το οποίο ονομάζεται **"belt alternator starter"** (BAS) σύστημα. Το σύστημα αυτό είναι σύστημα εκκίνησης/στάσης του οχήματος, διακοπής παροχής καυσίμου όταν το όχημα επιβραδύνεται, ανάκτησης ισχύος κατά το φρενάρισμα, έξυπνης υβριδικής φόρτισης των μπαταριών και ηλεκτρικής υποβοήθησης του κινητήρα όταν χρειάζεται κατά την επιτάχυνση του οχήματος. Το υβριδικό σύστημα του Saturn Vue Green Line αποτελείται από έναν 2.4-L VVT Ecotec κινητήρα, ισχύος 170 hp, και ένας Hydra-Matic 4T45-E ηλεκτρονικά ελεγχόμενος overdrive άξονας διαφορικού. Το BAS υβριδικό σύστημα παρέχει στους οδηγούς περίπου το 80% της πλήρους υβριδικής οδήγησης. Ένα 36 Volt ηλεκτρικό σύστημα χρησιμοποιείται για τη λειτουργία όλου του επί μέρους εξοπλισμού. Η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH), ισχύος 10 kW, τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα και αποθηκεύει επίσης την ενέργεια που ανακτά το όχημα κατά το φρενάρισμα. Η μπαταρία NiMH παρέχει επίσης κάποια ηλεκτρική υποβοήθηση στον κινητήρα κατά τη διάρκεια οδήγησης με σταθερή ταχύτητα βελτιώνοντας περαιτέρω την οικονομία καυσίμου. Η αναγεννητική φόρτιση και η υποβοήθηση του ηλεκτροκινητήρα φαίνονται σε έναν αναλογικό μετρητή στο ταμπλό μέσα στην καμπίνα του οχήματος ενώ η λειτουργία "eco" γίνεται αντιληπτή στον οδηγό από μια άλλη φωτεινή ένδειξη στο ταμπλό του οχήματος.



Σχήμα 7.41 Το υβριδικό Saturn Vue Green Line



Σχήμα 7.42 Το υβριδικό σύστημα του Saturn Vue Green Line

Βιβλιογραφία

- 1) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1988), «Αρχές εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης. Εισαγωγή–Λειτουργία–Θερμοδυναμική», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 2) Κ. Δ. Ρακόπουλος (2000), «Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης II. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 3) Κ. Δ. Ρακόπουλος (1994) «Εργαστηριακές δοκιμές και μετρήσεις εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- 4) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας (1998) «Καύση ρύπανση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- 5) Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής (2006) «Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ», Εκδόσεις ΕΜΠ.
- 6) C.D. Rakopoulos and E.G. Giakoumis, “Transient Operation of Diesel Engines”, Springer Verlag (Σημειώσεις)
- 7) ΚΩΣΤΑΣ ΚΑΒΒΑΘΑΣ – ΟΔΗΓΩΝΤΑΣ 6^η ΕΚΔΟΣΗ (1993)
- 8) <http://www.dieselnet.com>
- 9) <http://ec.europa.eu/environment/air/transport.htm#1>
- 10) <http://www.sae.org>
- 11) http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/whatis_fuelcell.html

- 12) <http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment/fchv/fchv03.html>
- 13) <http://en.wikipedia.org>
- 14) http://www.greencarcongress.com/2005/02/epa_eaton_and_p.html
- 15) <http://edition.cnn.com/2005/TECH/03/30/spark.air.car/index.html>
- 16) <http://www.batteryuniversity.com/>
- 17) <http://www.nrdc.org>
- 18) <http://www.progress-energy.com/environment/ras/hybrids.pdf>
- 19) <http://www.acore.org/renewableenergyinfo/includes/resource-files/roger%20duncan%20powerpoint.pdf>
- 20) Περιοδικό R&D Ιανουάριος 2006 Τεύχος 13
- 21) Περιοδικό R&D Νοέμβριος 2003 Τεύχος 5
- 22) <http://world.honda.com>
- 23) <http://www.hybridcars.com>
- 24) <http://auto.howstuffworks.com>
- 25) www.in.gr/auto/news/article
- 26) <http://www.nissanusa.com/altima/key-features>