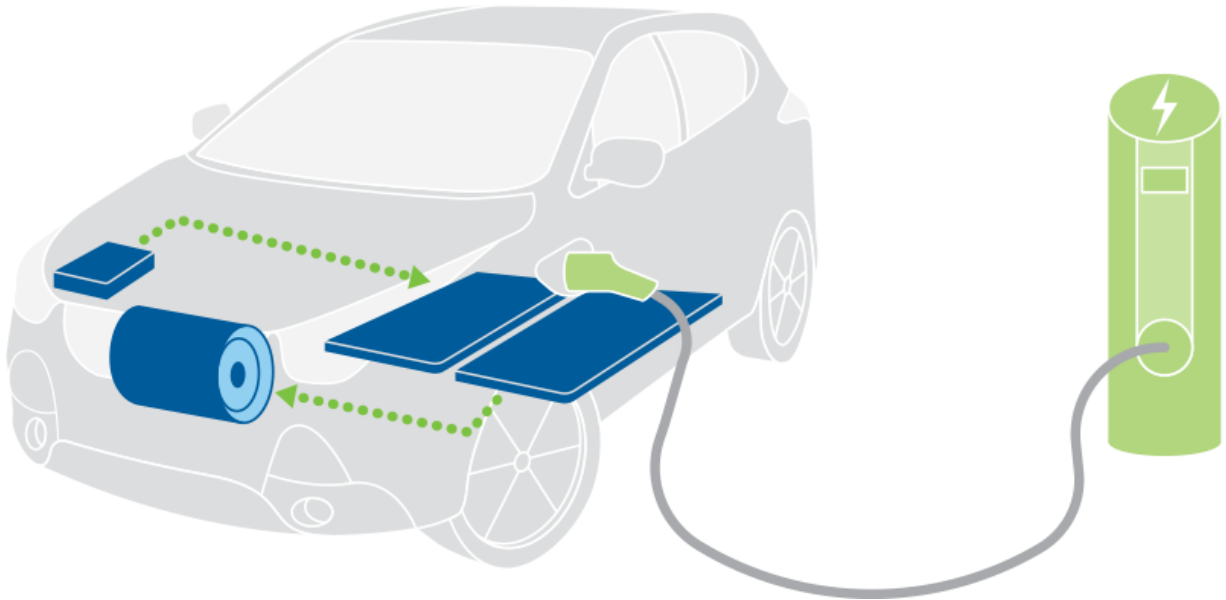


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΙΧΑΗΛ (Α.Μ. 7121)
ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ (Α.Μ. 7193)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΙΑΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και έχει ως θέμα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η παρουσίαση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Μαυρίδη Κωνσταντίνο για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια που μας προσέφερε.

Γεωργίου Μιχαήλ
Παναγιωτόπουλος Παναγιώτης
Απρίλιος 2021

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Γεωργίου Μιχαήλ

Παναγιωτόπουλος Παναγιώτης

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική και οι κατηγορίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αρχικά ορίζονται όλες οι παράμετροι που καθορίζουν την αποδοτικότητα της μπαταρίας και στη συνέχεια εξετάζονται οι βασικοί τύποι μπαταριών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα συστήματα τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο περιέχονται τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	
1.1 Τα πρώτα χρόνια (1890-1930).....	4
1.2 Από το 1930 έως το 1990.....	6
1.3 Σύγχρονη εποχή (1990-2010).....	9
1.4 Η τρέχουσα κατάσταση (2011-σήμερα).....	14
1.5 Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα.....	17
2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	
2.1 Γενικά.....	20
2.2 Υβριδικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο.....	21
2.3 Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με καύσιμο.....	29
2.4 Ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν γραμμές τροφοδοσίας.....	31
2.5 Ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν σφονδύλους ή υπερπυκνωτές.....	32
2.6 Ηλιακά οχήματα.....	35
2.7 Οχήματα με γραμμικούς κινητήρες.....	35
3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	
3.1 Γενικά.....	36
3.2 Παράμετροι των μπαταριών.....	38
3.2.1 Τάση μπαταρίας και στοιχείου.....	38

3.2.2 Χωρητικότητα φορτίου.....	39
3.2.3 Αποθηκευμένη ενέργεια.....	41
3.2.4 Ειδική ενέργεια.....	42
3.2.5 Πυκνότητα ενέργειας.....	42
3.2.6 Ειδική ισχύς.....	42
3.2.7 Απόδοση φορτίου.....	44
3.2.8 Ενεργειακή απόδοση.....	44
3.2.9 Ρυθμός αυτοεκφόρτισης.....	45
3.2.10 Γεωμετρία της μπαταρίας.....	45
3.2.11 Θερμοκρασία.....	45
3.2.12 Χρόνος ζωής της μπαταρίας.....	46
3.3 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος.....	46
3.4 Μπαταρίες νικελίου.....	50
3.5 Μπαταρίες λιθίου.....	55
3.6 Μπαταρίες μετάλλου-αέρα	57
3.7 Υπερπυκνωτές και σφόνδυλοι.....	60
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	
4.1 Γενικά.....	64
4.2 Ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψύκτρες. ...	64
4.3 Ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες	67
4.4 Κινητήρες διακοπτικής διέγερσης.....	69
4.5 Επαγωγικοί κινητήρες.....	71
5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	
5.1 Κανονική υπάρχουσα παροχή ηλεκτρικού ρεύματος οικιακής και βιομηχανικής χρήσης.....	73
5.2 Απαιτούμενες υποδομές για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.....	75
5.3 Ράγες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.....	76
5.4 Επαγωγική μεταφορά ισχύος στα κινούμενα οχήματα.....	76
5.5 Αντικατάσταση μπαταρίας.....	79
6. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	
6.1 Απόδοση.....	81
6.2 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.....	82

6.3 Μόλυνση του περιβάλλοντος.....	85
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε παγκόσμια κλίμακα, καταναλώνεται το 26% της πρωτογενούς ενέργειας για μεταφορές, και το 23% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σχετίζεται με την ενέργεια. Η οδική κυκλοφορία αντιπροσωπεύει ένα μερίδιο του 74% στον τομέα των μεταφορών παγκοσμίως. Ο τομέας των μεταφορών περιλαμβάνει αεροσκάφη, πλοία, τρένα και όλους τους τύπους οδικών οχημάτων (π.χ. φορτηγά, λεωφορεία, αυτοκίνητα και δίτροχα).

Τα αυτοκίνητα παίζουν έναν ιδιαίτερο ρόλο για τρεις λόγους: Πρώτον, τα αυτοκίνητα κυριαρχούν στην οδική κυκλοφορία στις περισσότερες χώρες. Δεύτερον, πωλήσεων αυτοκινήτων παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης στον κόσμο. Τρίτον, υπάρχουν εναλλακτικές τεχνολογίες για το διαθέσιμο σύστημα μετάδοσης σε αντίθεση, π.χ. με τα φορτηγά. Τα μικρά φορτηγά μπορούν επίσης να λειτουργούν ηλεκτρικά σε περιορισμένο εύρος. Τα μεγάλα όμως φορτηγά εξαρτώνται από το καύσιμο ντίζελ, κάτι που στο μέλλον μπορεί να αλλάξει και να χρησιμοποιούν καύσιμο μείγμα που θα περιέχει 80% μεθάνιο (είτε ορυκτό είτε βιογενές). Τα λεωφορεία μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε περιορισμένες αποστάσεις. Ενώ λεωφορεία που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο (μεθάνιο) χρησιμοποιούνται συνήθως. Ενώ τα λεωφορεία που κινούνται με στοιχεία καυσίμου βρίσκονται ήδη στους δρόμους, μικρά φορτηγά που κινούνται από στοιχεία καυσίμου και H_2 εξακολουθούν να είναι θεωρητικές έννοιες.

Στη Γερμανία, για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα ευθύνονται για το 60% των εκπομπών CO_2 που σχετίζονται με την κυκλοφορία. Στο μέλλον, η κίνηση αναμένεται να αυξηθεί πάρα πολύ παγκοσμίως, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες ασιατικές χώρες. Το παγκόσμιο απόθεμα οχημάτων 630 εκατομμυρίων μπορεί να αυξηθεί σε ένα δισεκατομμύριο το 2030. Η παραγωγή οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί από 63 σε 100 εκατομμύρια αυτοκίνητα ετησίως έως το 2030.

Εκτός από τις εκπομπές CO₂, τα οχήματα με σύγχρονο κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV) εξακολουθούν να έχουν επικίνδυνες τοξικές εκπομπές. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μείζον περιβαλλοντικό κίνδυνο για την υγεία και εκτιμάται ότι προκαλεί πρόωρα περίπου δύο εκατομμύρια θανάτους παγκοσμίως ανά έτος. Το όζον, η λεπτή σκόνη, το NO₂ και το SO₂ έχουν αναγνωριστεί από τον ΠΟΥ ως οι πιο επικίνδυνες ουσίες και όλες αυτές οι ουσίες προέρχονται κυρίως, ή σε σημαντικό βαθμό από την κυκλοφορία. Η κυκλοφορία θα είναι υπεύθυνη για περίπου το ήμισυ αυτού του ποσοτικοποιημένου κόστους στη ζωή και την υγεία. Οι τοξικές εκπομπές των ICEV προκαλούν υψηλό κόστος υγείας ακόμη και στις βιομηχανικές χώρες: Σχεδόν το 25% των Ευρωπαίων ζει λιγότερο από 500 μέτρα μακριά από ένα δρόμο που μεταφέρει περισσότερα από τρία εκατομμύρια οχήματα ετησίως. Κατά συνέπεια, σχεδόν τέσσερα εκατομμύρια χρόνια ζωής χάνονται κάθε χρόνο λόγω των υψηλών επιπέδων ρύπανσης σύμφωνα με το δελτίο τύπου του European Environmental Agency, στις 26 Φεβρουαρίου 2007 [8].

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μελλοντικές ανάγκες κινητικότητας, πρέπει να μειωθούν οι εκπομπές που μολύνουν το περιβάλλον και κάνουν κακό στην υγεία, να εξαλειφθεί σταδιακά η εξάρτηση από το πετρέλαιο και οι σημερινές τεχνολογίες πρόωσης πρέπει να αντικατασταθούν από πιο αποτελεσματικές και περιβαλλοντικά φιλικές εναλλακτικές λύσεις. Σχετικά με τη μετάβαση σε μια βιώσιμη κοινωνία, απαιτούνται ιδιαίτερα αποτελεσματικές τεχνολογίες κινητικότητας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αναγνωριστεί ως μια τέτοια τεχνολογία. Παράλληλα, μερικές χώρες (όπως η Γερμανία, η Δανία και η Σουηδία) αποφάσισαν να εγκαταλείψουν τα ορυκτά καύσιμα και να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιώνοντας περαιτέρω την αειφορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε σύγκριση με το ICEV.

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί μεγάλοι και καταξιωμένοι κατασκευαστές αυτοκινήτων καθώς και νέες εταιρείες, που φτιάχτηκαν για αυτό τον σκοπό, έχουν καταβάλει μια αξιοσημείωτη προσπάθεια στη μετατροπή των συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτρικά οχήματα που παρέχουν μία πράσινη και αξιόπιστη λύση. Όσον αφορά το μερίδιο αγοράς, η ζήτηση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αύξουσα. Έχει αρχίσει

σιγά σιγά η αντικατάσταση του συμβατικού οχήματος στις ΗΠΑ, την Ευρώπη και την Ασία. Με επαναστατική προοπτική και ανταγωνιστική τιμή το ηλεκτρικό όχημα είναι μια έξυπνη επιλογή για κάθε χρήστη, ωστόσο απαιτείται επιπλέον προσπάθεια για να ενισχυθεί η αυτονομία και οι δυνατές εφαρμογές του.

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΧΡΟΝΙΑ (1890-1930)

Το ηλεκτρικό όχημα δεν αποτελεί πρόσφατη εξέλιξη. Στην πραγματικότητα, το ηλεκτρικό όχημα υπάρχει για πάνω από 100 χρόνια και έχει μια ενδιαφέρουσα ιστορία ανάπτυξης που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Η Γαλλία και η Αγγλία ήταν οι πρώτες χώρες που ανέπτυξαν το ηλεκτρικό όχημα στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Από το 1895 οι Αμερικανοί άρχισαν να αφιερώνουν την προσοχή τους στο ηλεκτρικό όχημα. Ακολούθησαν πολλές καινοτομίες και το ενδιαφέρον στα μηχανοκίνητα οχήματα αυξήθηκε πολύ στα τέλη της δεκαετίας του 1890 και στις αρχές του 1900. Το 1897, η πρώτη εμπορική εφαρμογή ήταν ένας στόλος ταξί της Νέας Υόρκης. Πρώιμα ηλεκτρικά οχήματα, όπως το Wood's Phaeton το 1902, ήταν απλά μια μικρή εξέλιξη της ηλεκτροκίνητης άμαξας. Το Phaeton είχε μια αυτονομία 18 μιλίων, τελική ταχύτητα 14 μίλια/ώρα και κόστιζε 2.000 \$.



Εικόνα 1.1 Ηλεκτρικά ταξί της Νέας Υόρκης [2].



Σχήμα 1.1 To Wood's Electric Phaeton [2].

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, στις Η.Π.Α. το μηχανοκίνητο όχημα, διαθέσιμο σε ατμό, ηλεκτρικό, ή εκδόσεις βενζίνης, έγινε πολύ δημοφιλές. Τα έτη 1899 και 1900 τα ηλεκτρικά οχήματα στην Αμερική έφτασαν στον ψηλότερο σημείο ξεπερνώντας όλους τους άλλους τύπους αυτοκινήτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους στις αρχές του 1900. Δεν είχαν τη δόνηση, τη μυρωδιά και τον θόρυβο που σχετίζονται με τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Η αλλαγή ταχύτητας στα αυτοκίνητα βενζίνης ήταν το πιο δύσκολο μέρος της οδήγησης. σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα που δεν απαιτούσαν αλλαγές ταχύτητας. Τα αυτοκίνητα με ατμό επίσης δεν είχαν αλλαγή ταχύτητας, αλλά υπέφεραν από πολύ μεγάλους χρόνους εκκίνησης που έφταναν έως και 45 λεπτά τα κρύα πρωινά.

Τα αυτοκίνητα ατμού είχαν λιγότερη εμβέλεια πριν χρειαστούν νερό από ότι μία γκάμα ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μία μόνο φόρτιση. Οι μόνοι καλοί δρόμοι αυτήν την εποχή βρίσκονταν στις πόλεις, με αποτέλεσμα τα περισσότερα ταξίδια να είναι τοπικά, ιδανικά για ηλεκτρικά οχήματα, που η αυτονομία τους ήταν περιορισμένη. Το ηλεκτρικό όχημα ήταν η προτιμώμενη επιλογή πολλών επειδή δεν απαιτούν χειροκίνητη προσπάθεια για το ξεκίνημα, όπως στα βενζινοκίνητα οχήματα και δεν υπήρχε αλλαγή ταχυτήτων.

Ενώ τα βασικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα κοστίζουν κάτω από 1.000 \$, υπήρχαν και ηλεκτρικά οχήματα που ήταν περίτεχνα, σχεδιασμένα για την ανώτερη τάξη. Είχαν πολυτελείς εσωτερικούς χώρους, με ακριβά

υλικά και στοίχιζαν κατά μέσο όρο 3.000 \$ μέχρι το 1910. Τα ηλεκτρικά οχήματα γνώρισαν επιτυχία στην δεκαετία του 1920 με την παραγωγή τους να σημειώνει μέγιστο το 1912. Η πτώση του ηλεκτρικού οχήματος προκλήθηκε από διάφορες σημαντικές εξελίξεις όπως:

- Μέχρι τη δεκαετία του 1920, οι Η.Π.Α. είχαν κατασκευάσει ένα καλύτερο σύστημα δρόμων για τη σύνδεση πόλεων με αποτέλεσμα να προκύψει η ανάγκη για οχήματα μεγαλύτερης εμβέλειας.
- Η ανακάλυψη του αργού πετρελαίου του Τέξας μείωσε την τιμή της βενζίνης, καθιστώντας την προσιτή στον μέσο καταναλωτή.
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή από τον Charles Kettering το 1912 εξάλειψε την ανάγκη της χειροκίνητης μανιβέλας για την εκκίνηση των κινητήρων εσωτερικής καύσης.
 - Η έναρξη της μαζικής παραγωγής οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης από τον Henry Ford είχε σαν αποτέλεσμα τα βενζινοκίνητα οχήματα να γίνουν ευρέως διαθέσιμα και προσιτά σε ένα εύρος τιμών από 500 έως 1.000 \$. Αντίθετα, η τιμή του λιγότερο αποδοτικού ηλεκτρικού οχήματος συνέχισε να ανεβαίνει. Το 1912, ένα ηλεκτρικό roadster πουλήθηκε για 1.750 \$, ενώ ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο πωλήθηκε στα 650 \$.

1.2 ΑΠΟ ΤΟ 1930 ΕΩΣ ΤΟ 1990

Τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν εξαφανιστεί μέχρι το 1935. Τα χρόνια μετά το 1935 και έως τη δεκαετία του 1960 ήταν νεκρά χρόνια για την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 άρχισε να φαίνεται η ανάγκη για οχήματα εναλλακτικών καυσίμων για τη μείωση των προβλημάτων από τις εκπομπές καυσαερίων από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και για τη μείωση της εξάρτησης από το εισαγόμενο αργό πετρέλαιο. Έγιναν πολλές προσπάθειες για την παραγωγή πρακτικών ηλεκτρικών οχημάτων συνέβη κατά τη διάρκεια των ετών από το 1960 έως σήμερα.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, το Boyertown Auto Body Works ίδρυσε από κοινού την εταιρεία Battronic Truck με την Smith Delivery Vehicles, Ltd., της Αγγλίας. Το πρώτο ηλεκτρικό φορτηγό

Batronic παραδόθηκε το 1964. Αυτό το φορτηγό είχε μέγιστη ταχύτητα 25 mph, αυτονομία 62 μιλίων και ωφέλιμο φορτίο 2.500 κιλά. Η Batronic συνεργάστηκε με την General Electric από το 1973 έως το 1983 για την παραγωγή 175 φορτηγών για χρήση στη βιομηχανία αποδεικνύοντας τις δυνατότητες των οχημάτων με μπαταρία. Η Batronic επίσης ανέπτυξε και παρήγαγε περίπου 20 επιβατικά λεωφορεία στα μέσα της δεκαετίας του 1970.



Εικόνα 1.2 το ηλεκτρικό φορτηγό Batronic [2].

Η Jet Industries του Ωστιν του Τέξας δραστηριοποιήθηκε στη μετατροπή συμβατικών οχημάτων σε ηλεκτροκίνητα. Η Jet Industries παρήγαγε μια σειρά οχημάτων, συμπεριλαμβανομένου του γνωστού μοντέλου Electrica. Το μοντέλο Electrica βασίστηκε στο Ford Escort (αμάξωμα και πλαίσιο χωρίς κινητήρες). Χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρικός κινητήρας 96 Volt, κατασκευασμένα κουτιά εμπρός και πίσω στα οποία τοποθετήθηκαν μπαταρίες μολύβδου-οξέος 6 volt και ένας ενσωματωμένος φορτιστής μπαταρίας που χρησιμοποιούσε εναλλασσόμενη τάση 120-volt.



Εικόνα 1.3 Το μοντέλο Electrica [2].

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η Sebring-Vanguard παρήγαγε 2.000 "CitiCars". Αυτά τα αυτοκίνητα είχαν τελική ταχύτητα 44 mph, κανονική ταχύτητα 38 mph και αυτονομία 50 έως 60 μίλια. Μια άλλη εταιρεία ήταν η Elcar Corporation, που παρήγαγε το "Elcar". Το Elcar είχε μέγιστη ταχύτητα 45 mph, αυτονομία 60 μιλίων και κόστος μεταξύ 4.000 \$ και 4.500 \$.

Το 1975, η Ταχυδρομική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών αγόρασε 350 ηλεκτρικά τζιπ για την παράδοση της αλληλογραφίας από την American Motor Company υλοποιώντας ένα πρόγραμμα δοκιμών. Αυτά τα τζιπ είχαν τελική ταχύτητα 50 mph και αυτονομία 40 μιλίων σε ταχύτητα 40 mph. Ο χρόνος επαναφόρτισής τους ήταν 10 ώρες.

Για την επίδειξη των δυνατοτήτων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, πραγματοποιήθηκε το 1967 το πρώτο μεγάλο ταξίδι (2.226 μιλίων) με ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Το ταξίδι οργανώθηκε από την Arizona Public Service και χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο MARS II της Electric Fuel Propulsion Inc. του Ντιτρόιτ, Μίσιγκαν. Το ταξίδι ξεκίνησε στο Ντιτρόιτ στις 20 Σεπτεμβρίου 1967 και έληξε στο Φοίνιξ στις 5 Οκτωβρίου 1967, με 37 στάσεις στο δρόμο για γρήγορη φόρτιση της μπαταρίας κοβαλτίου-μολύβδου του αυτοκινήτου.

Η Unique Mobility Inc., με έδρα το Longmont, Κολοράντο συμμετείχε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 στην κατασκευή του δίθυρου οχήματος Unique Mobility Electrek, το οποίο είναι κατασκευασμένο από πλαστικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα και τροφοδοτείται από 16 μπαταρίες 6 Volt. Το Electrek μπορούσε να πιάσει μέγιστη ταχύτητα 75 μίλια/ώρα και είχε αυτονομία 75 μίλια για κίνηση στην πόλη.

Το EVcort ήταν ένα πειραματικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο που κατασκευαζόταν από το 1981 έως το 1994 από την Electric Vehicle Associates με έδρα το Κλίβελαντ του Οχάιο και αργότερα από την Soleq Corporation με έδρα το Σικάγο. Το αυτοκίνητο είχε το σύστημα μετάδοσης του Ford Escort, με τις απαραίτητες τροποποιήσεις για συνεργασία με ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, και κάθε στοιχείο ήταν σχεδιασμένο και κατασκευασμένο ειδικά για το συγκεκριμένο αυτοκίνητο.



Εικόνα 1.4 Το μοντέλο EVcort [2].

Είχε ενσωματωμένα χαρακτηριστικά όπως η αναγεννητική πέδηση καθώς και τη φόρτιση πολλαπλών σταδίων που είναι κοινή στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, αλλά ήταν αρκετά επαναστατική για την εποχή εκείνη. Η πρόθεση ήταν να παραχθεί μια πρακτική εναλλακτική του βενζινοκίνητου οχήματος με συγκρίσιμη απόδοση. Το EVcort χρησιμοποιήθηκε εκτενώς από διάφορα ιδρύματα και ινστιτούτα σε προγράμματα επίδειξης και δοκιμών ηλεκτρικών οχημάτων.

1.3 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ (1990-2010)

Από το 1990 και μετά αρκετές νομοθετικές και κανονιστικές δράσεις ανανέωσαν τις προσπάθειες ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων. Πρωταρχικό ρόλο στις Η.Π.Α. έπαιξε η τροπολογία Clean Air Act το 1990 και ο νόμος περί ενεργειακής πολιτικής του 1992. Εκτός από τη θέσπιση πιο αυστηρών ορίων για τις εκπομπές καυσαερίων απαιτήθηκε και η μείωση στη χρήση της βενζίνης.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων "Big Three" (δηλαδή, Chrysler, Ford και General Motors) μαζί με αρκετές εταιρείες μετατροπής οχημάτων και με κρατική υποστήριξη ασχολήθηκαν ενεργά με την ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων μέσω της «Σύμπραξης για μια νέα γενιά οχημάτων». Αποτέλεσμα ήταν η διάθεση οχημάτων με αυτονομία 50 έως 150 μίλια σε ταχύτητες αυτοκινητόδρομου. Κάποια από τα οχήματα αυτά προέκυψαν από ηλεκτρική μετατροπή γνωστών βενζινοκίνητων οχημάτων και άλλα ήταν ηλεκτρικά οχήματα σχεδιασμένα από την αρχή.

Ένα παράδειγμα αυτών των οχημάτων ήταν το φορτηγό Chevrolet S-10, που μετατράπηκε από την U.S. Electricar. Τροφοδοτήθηκε με δύο κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και μπαταρίες μολύβδου-οξέως. Είχε αυτονομία περίπου 60 μιλίων και μπορούσε να επαναφορτιστεί σε λιγότερο από 7 ώρες. Ένα άλλο παράδειγμα ήταν το Geo Metro, που μετατράπηκε από την Solectria Corp., το οποία ήταν ένα ηλεκτρικό sedan τεσσάρων επιβατών με κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος και μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Είχε αυτονομία 50 μίλια και μπορούσε να επαναφορτιστεί σε λιγότερο από 8 ώρες. Κατά τη διάρκεια του American Tour de Sol του 1994 από τη Νέα Υόρκη στη Φιλαδέλφεια, ένα Solectria Geo Metro του 1994 διήνυσε πάνω από 200 μίλια με μία μόνο φόρτιση χρησιμοποιώντας μπαταρίες Ononix υδριδίου του νικελίου.



Εικόνα 1.5 Το φορτηγό Ford Ecostar [2].

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων «Big Three» ανέπτυξαν επίσης αξιόλογα ηλεκτρικά οχήματα. Ένα από αυτά ήταν το φορτηγό Ford Ecostar στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Είχε κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος και μπαταρίες κινητήρα θεικού νατρίου. Η τελική ταχύτητα ήταν 70 μίλια/ώρα και η αυτονομία από 80 έως 100

μίλια. Αν και παρήχθησαν περίπου 100 Ecostars, θεωρήθηκε ένα όχημα έρευνας και ανάπτυξης και δεν διατέθηκε ποτέ στο εμπόριο.

Ωστόσο, η Ford προσέφερε μια ηλεκτρική έκδοση του Ford Ranger. Είχε μια αυτονομία περίπου 65 μιλίων, μπαταρίες μολύβδου-οξέος, τελική ταχύτητα 75 mph, επιτάχυνση από 0 έως 50 mph σε 12 δευτερόλεπτα και το ωφέλιμο φορτίο ήταν 700 λίβρες. Η Ford παρουσίασε αργότερα μία έκδοση Ranger εξοπλισμένη με μπαταρία νικελίου-υδριδίου μετάλλου (Ni-MH) που ζύγιζε 1.100 λίβρες. Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης, η αυτονομία ήταν περίπου 85 μίλια.



Εικόνα 1.6 Το ηλεκτρικό Ford Ranger [2].

Η General Motors σχεδίασε και ανέπτυξε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο εξαρχής αντί να τροποποιήσει ένα υπάρχον όχημα. Αυτό το όχημα, που ονομάστηκε EV1, ήταν ένα διαθέσιμο αγωνιστικό αυτοκίνητο. Είχε μπαταρία μολύβδου-οξέως, τελική ταχύτητα 80 mph, αυτονομία περίπου 80 μιλίων, και μπορούσε να επιταχυνθεί από 0 έως 50 mph σε 6,3 δευτερόλεπτα. Η μπαταρία του ζύγιζε 2.600 λίβρες.

Λίγο μετά την έκδοση μολύβδου-οξέος, η General Motors παρουσίασε ένα EV1 εξοπλισμένο με μπαταρία Ni-MH. Η έκδοση αυτή είχε αυτονομία περίπου 150 μίλια, η οποία όμως κάτω από βέλτιστες συνθήκες οδήγησης θα μπορούσε να ξεπεράσει τα 200 μίλια. Το Ni-MH EV1 είχε επίσης τελική ταχύτητα 80 mph και επιτάχυνση από 0 σε 50 mph σε 6,3 δευτερόλεπτα. Η μπαταρία στο Ni-MH EV1 ζύγιζε 1.600 λίβρες.



Εικόνα 1.7 Το ηλεκτρικό Dodge Caravan με μπαταρία μολύβδου-οξέως [2].

Εκτός από το EV1, η General Motors προσέφερε επίσης ένα ηλεκτρικό Chevrolet S-10 pickup που είχε αρχικά μπαταρίες μολύβδου-οξέως. Αυτό το όχημα είχε μια αυτονομία 40 μιλίων, επιτάχυνση από 0 σε 50 mph σε 10 δευτερόλεπτα, είχε ωφέλιμο φορτίο 950 κιλών και η μπαταρία μολύβδου-οξέως ζύγιζε 1.270 λίβρες. Αργότερα παρουσιάστηκε ένα μοντέλο Chevrolet εξοπλισμένο με μπαταρία Ni-MH που ζύγιζε 1.100 λίβρες. Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης, η αυτονομία ήταν περίπου 95 μίλια.

Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα της Chrysler από αυτή τη γενιά ήταν μια ηλεκτρική μετατροπή του τροχόσπιτου Dodge. Αυτό το όχημα ήταν ένα φορτηγό πέντε επιβατών. Είχε μια αυτονομία περίπου 50 μίλια με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως, τελική ταχύτητα 62 mph, επιτάχυνση από 0 σε 50 mph σε 31 δευτερόλεπτα και το ωφέλιμο φορτίο ήταν 800 λίβρες. Η Chrysler αργότερα επανήλθε με ένα Dodge Caravan Epic που ήταν εξοπλισμένο με μια μπαταρία Ni-MH που ζύγιζε 1.200 λίβρες (με ψυκτικό). Είχε μια αυτονομία περίπου 80 μιλίων, με τελική ταχύτητα 78 mph, επιτάχυνση από 0 σε 50 mph σε 12 δευτερόλεπτα και το ωφέλιμο φορτίο ήταν 945 λίβρες.

Άλλα ηλεκτρικά οχήματα της εποχής αυτής ήταν το σπορ Toyota RAV4 και το Honda EV Plus sedan. Και τα δύο αυτά οχήματα ήταν εξοπλισμένα με μπαταρίες Ni-MH. Το Toyota RAV4 ήταν ένα σπορ όχημα πέντε επιβατών με αυτονομία περίπου 95 μιλίων, μπαταρίες Ni-MH 1.000 λιβρών, τελική ταχύτητα 79 mph, επιτάχυνση από 0 έως 50 mph σε 13 δευτερόλεπτα και ωφέλιμο φορτίο 785 λίβρες.



Εικόνα 1.8 Το μοντέλο Toyota RAV4 [2].

Η BMW προώθησε το διαθέσιμο Mini E. Είχε αυτονομία περίπου 120 μιλίων με μπαταρίες ιόντων λιθίου 575 λιβρών, τελική ταχύτητα 81 mph, επιτάχυνση από 0 έως 50 mph σε 8 δευτερόλεπτα και ωφέλιμο φορτίο 354 λιβρών.



Εικόνα 1.9 Το μοντέλο BMW Mini E [2].

Το 1999, η Ταχυδρομική Υπηρεσία των Η.Π.Α. συνήψε συμβόλαιο με την Ford Motor Company για την αγορά 500 ηλεκτρικών οχημάτων διανομής. Τα ηλεκτρικά οχήματα διανομής τέθηκαν σε λειτουργία μεταξύ Φεβρουαρίου 2001 και Οκτωβρίου 2002 με σκοπό την αξιολόγηση της τρέχουσας κατάστασης της τεχνολογίας της μπαταρίας. Τα 20 από αυτά ανέλαβαν υπηρεσία στην Καλιφόρνια και από ένα στη Νέα Υόρκη και στην Ουάσινγκτον. Η Ταχυδρομική Υπηρεσία των

Η.Π.Α. γενικά δοκιμάζει ηλεκτρικά οχήματα σε διάφορες αποστολές από το 1899.

Προς το τέλος αυτής της περιόδου, αρκετές εταιρείες μετατροπής άρχισαν να μετατρέπουν υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα σε plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα προσθέτοντας μια δεύτερη μπαταρία ιόντων λιθίου. Το πιο κοινό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα που μετατράπηκε ήταν το Toyota Prius. Αν και ήταν αρκετές εταιρείες μετατροπής, η A123 Hymotion ήταν η μεγαλύτερη από τις εταιρείες μετατροπής και χρησιμοποίησε μπαταρίες ιόντων λιθίου 5-kWh για τη μετατροπή εκατοντάδων υβριδικών Prius σε plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Για την επαναφόρτιση αυτής της δεύτερης μπαταρίας, τα τροποποιημένα Prius έπρεπε να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Αυτή η περίοδος ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων χαρακτηρίζεται από την στροφή των περισσότερων κατασκευαστών στην ανάπτυξη πρωτότυπων μοντέλων ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της περιόδου ήταν το χαμηλότερο βάρος και η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα των προηγμένων χημικά μπαταριών (δηλαδή Ni-MH και ιόντων λιθίου) που εισήχθησαν στην αγορά σε μεγάλους αριθμούς.

1.4 Η ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (2011 έως σήμερα)

Η σημερινή τεχνολογία ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις τεχνολογίες:

- Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Hybrid electric vehicle, HEV)
- Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας (Battery electric vehicle, BEV)
- Plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)
- Ηλεκτρικό όχημα μεγάλης εμβέλειας (extended range electric vehicle, EREV).

Συνολικά, όλα τα BEV, PHEV και EREV θεωρούνται plug-in ηλεκτρικά οχήματα (PEVs) επειδή όλα πρέπει να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο για να επαναφορτιστούν πλήρως οι μπαταρίες έλξης. Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα δεν θεωρούνται PEV επειδή αυτά δεν

μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο για την επαναφόρτιση της μπαταρία έλξης.

Χαρακτηριστικά υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος:

- Τροφοδοτείται μόνο με βενζίνη
- Ενσωματωμένη αποθήκευση ενέργειας έλξης σε μορφή βενζίνης και ηλεκτρικού ρεύματος
- Όλη η ενέργεια προέρχεται από τη βενζίνη
- Η μπαταρία ανακτά την ενέργεια πέδησης και φορτίζεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται από ενσωματωμένα γεννήτρια
- Ο ηλεκτρικός κινητήρας παρέχει συνήθως βοήθεια πρόωσης και μερικές φορές στις χαμηλές ταχύτητες η πρόωση είναι μόνο ηλεκτρική
- Περιλαμβάνονται επίσης υβριδικά που ονομάζονται επίσης «ήπια» υβριδικά χωρίς ηλεκτρική πρόωση.

Χαρακτηριστικά BEV

- Μερικές φορές αναφέρεται επίσης ως all electric όχημα
- Τροφοδοτείται μόνο με ηλεκτρικό ρεύμα
- Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η μόνη πηγή ενέργειας
- Πρέπει να συνδεθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο για επαναφόρτιση.



Εικόνα 1.10 Το BEV Nissan Leaf [12].

Χαρακτηριστικά PHEV

- Βενζίνη και ηλεκτρική ενέργεια
- Ο βενζινοκινητήρας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η μπαταρία είναι πάνω από μια συγκεκριμένη κατάσταση φόρτισης ή χρησιμοποιείται σε μικτή λειτουργία όταν και ο ηλεκτρικός κινητήρας και ο κινητήρα εσωτερικής καύσης παρέχουν ταυτόχρονα ισχύ πρόωσης
- Όταν η μπαταρία είναι σχεδόν άδεια, ένα PHEV λειτουργεί σαν ένα τυπικό υβριδικό ηλεκτρικό όχημα.



Εικόνα 1.11 Το PHEV Ford Fusion Energi [13].

Χαρακτηριστικά EREV

- Τροφοδοτείται παρόμοια με ένα PHEV, καθώς τροφοδοτείται με βενζίνη και ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο
- Η κύρια διαφορά μεταξύ ενός EREV και ενός PHEV είναι ότι το σύστημα ελέγχου του EREV διατηρεί το αυτοκίνητο σε λειτουργία μόνο με ηλεκτρική πρόωση μέχρις ότου η μπαταρία έλξης να αποφορτιστεί σε ένα ορισμένο επίπεδο
- Μετά την αποφόρτιση της μπαταρίας σε ένα ορισμένο επίπεδο, ο βενζινοκινητήρας τίθεται σε λειτουργία και το όχημα λειτουργεί παρόμοια με ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα
- Τα EREVs μερικές φορές θεωρούνται PHEV και όχι μία ξεχωριστή τεχνολογία.



Εικόνα 1.12 Το EREV BMW i3 REX [15].

1.5 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μία φιλόδοξη προσπάθεια που σχετίζεται με την ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ξεκίνησε στην Ελλάδα στις αρχές του 1970 στο νησί της Σύρου. Η εταιρεία «ENFIELD AUTOMOTIVE Ltd» που ιδρύθηκε στο Λονδίνο, ειδικεύτηκε στο σχεδιασμό και την κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Το 1972 η εταιρεία εξαγοράστηκε από τους Έλληνες ιδιοκτήτες Γουλανδρή, μετονομάστηκε σε «ENFIELD NEORION Ltd» και η γραμμή παραγωγής της μεταφέρθηκε στο Νεώριο Ναυπηγείο της Σύρου. Τρία ηλεκτρικά μίνι αυτοκίνητα παρήχθησαν με βάση το Αγγλικό αυτοκίνητο E465. Ήταν το "E8000", ένα διθέσιο αυτοκίνητο μέγιστης ταχύτητας 65 k /h και αυτονομίας 100 km με πλήρως φορτισμένη μπαταρία, το "Bicini", ένα τετραθέσιο αυτοκίνητο τύπου τζιπ και το "Miner", ένα κλειστό αυτοκίνητο τύπου van. Όλη η παραγωγή εξήχθη στη Βρετανία και τη Σουηδία και η γραμμή παραγωγής έκλεισε το 1975.

Μετά το έτος 2000 ένα μικρό ηλεκτρικό αυτοκίνητο εισήχθη στην Ελλάδα, αλλά με εξαιρετικά χαμηλές πωλήσεις. Η σύγχρονη ηλεκτρική εποχή στην Ελλάδα ξεκίνησε μετά το 2010, καθώς παραδόθηκαν νέα και

αποδοτικά αυτοκίνητα στην αγορά. Ωστόσο, τα στοιχεία πωλήσεων παραμένουν πολύ χαμηλά, κυρίως λόγω της φορολογικής πολιτικής του Ελληνικού Δημοσίου, καθώς και λόγω της έλλειψης υποδομών φόρτισης των μπαταριών.



Εικόνα 1.13 Το μοντέλο Bicipi [9].



Εικόνα 1.14 Το μοντέλο Miner [9].

Το 1991 ιδρύθηκε το Ελληνικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικών Οχημάτων (The Hellenic Institute of Electric Vehicles, HEL.I.E.V.). Είναι μια

διεθνώς αναγνωρισμένη επιστημονική και μη κερδοσκοπική οντότητα, που προωθεί την ευρεία διάδοση της φιλικής προς το περιβάλλον και ενεργειακά αποδοτικής κινητικότητας. Το HEL.I.E.V. είναι μέλος των παρακάτω οργανισμών:

- Ευρωπαϊκή Ένωση Ηλεκτρικών Οχημάτων με μπαταρίες, υβριδικά και κυψέλες καυσίμου, AVERE
- Παγκόσμια Ένωση Ηλεκτρικών Οχημάτων, W.E.V.A.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Διεθνής Ομοσπονδία Αυτοκινήτων (Federation Internationale de l'Automobile, F.I.A.) αναγνωρίζει το Ινστιτούτο ως την Εθνική Αρχή για την ανάπτυξη και τον έλεγχο της δραστηριότητας του μηχανοκίνητου αθλητισμού με ηλεκτρικά, υβριδικά και οχήματα εναλλακτικής ενέργειας.

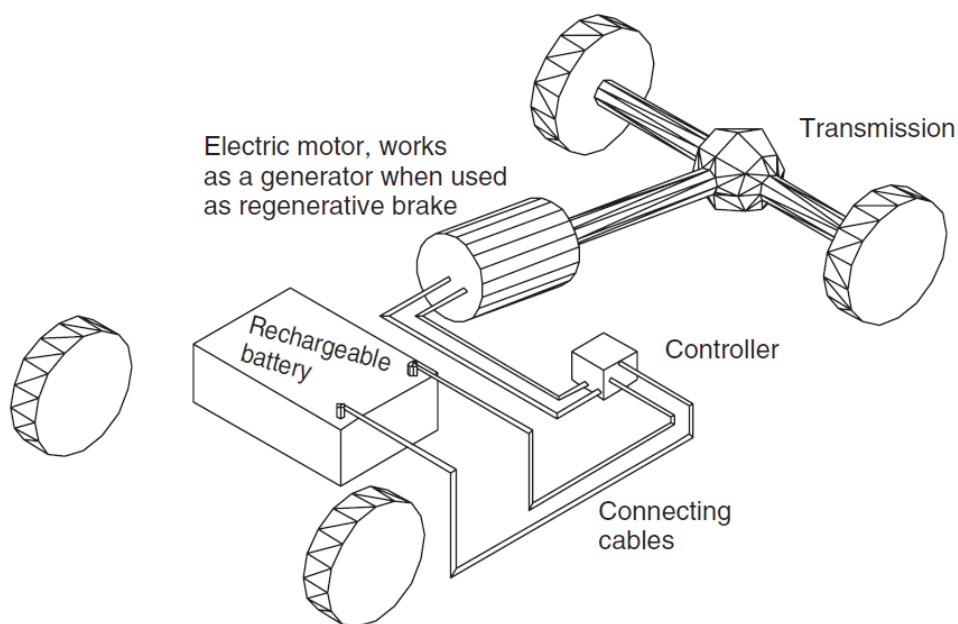
Το HEL.I.E.V. σύμφωνα με τον ιδρυτικό του στόχο:

- Προωθεί την ηλεκτροκίνηση και την καθαρή μεταφορά γενικά.
- Προωθεί τη διευθέτηση νομοθετικών, θεσμικών και διαδικαστικών ζητημάτων.
- Οργανώνει και υλοποιεί εκδηλώσεις σχετικά με την ηλεκτροκίνηση και την καθαρή κίνηση γενικά.
- Δίνει και διαδίδει τεχνικές και επιστημονικές πληροφορίες σε σχετικά θέματα.

2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ιδέα του ηλεκτρικού οχήματος μπαταρίας (EV) είναι ουσιαστικά απλή και φαίνεται στο σχήμα 2.1. Το όχημα αποτελείται από μια ηλεκτρική μπαταρία για αποθήκευση ενέργειας, ένα ηλεκτρικό κινητήρα και έναν ελεγκτή.



Σχήμα 2.1 Ηλεκτρικό όχημα επαναφορτιζόμενης μπαταρίας [4].

Η μπαταρία επαναφορτίζεται κανονικά από το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός βύσματος και μιας μονάδας φόρτισης μπαταρίας που μπορεί είτε να μεταφερθεί επί του οχήματος είτε να τοποθετηθεί σε ένα σημείο φόρτισης. Ο ελεγκτής κανονικά ελέγχει την ισχύ που παρέχεται στον κινητήρα και ως εκ τούτου την ταχύτητα του οχήματος, προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Αυτό είναι συνήθως γνωστό ως «ελεγκτής δύο

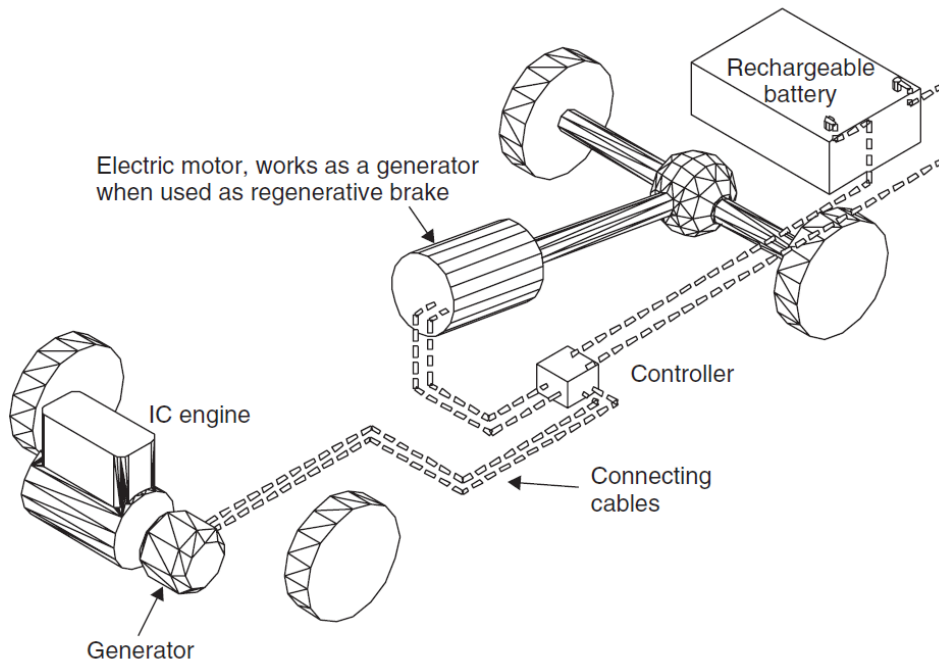
τεταρτημορίων» προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Συνήθως είναι επιθυμητή η χρήση αναγεννητικής πέδησης τόσο για την ανάκτηση ενέργειας όσο και ως βολική μορφή φρεναρίσματος χωρίς τριβή. Όταν επιπλέον ο ελεγκτής επιτρέπει την αναγεννητική πέδηση προς τα εμπρός και προς τα πίσω, είναι γνωστός ως «τετραγωνικός ελεγκτής».

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία EV αυτού του τύπου που διατίθενται επί του παρόντος στην αγορά. Στην απλούστερη περίπτωση υπάρχουν μικρά ηλεκτρικά ποδήλατα και τρίκυκλα και μικρά οχήματα μετακίνησης. Αρκετοί κατασκευαστές έχουν κυκλοφορήσει εμπορικά EV μπαταριών.

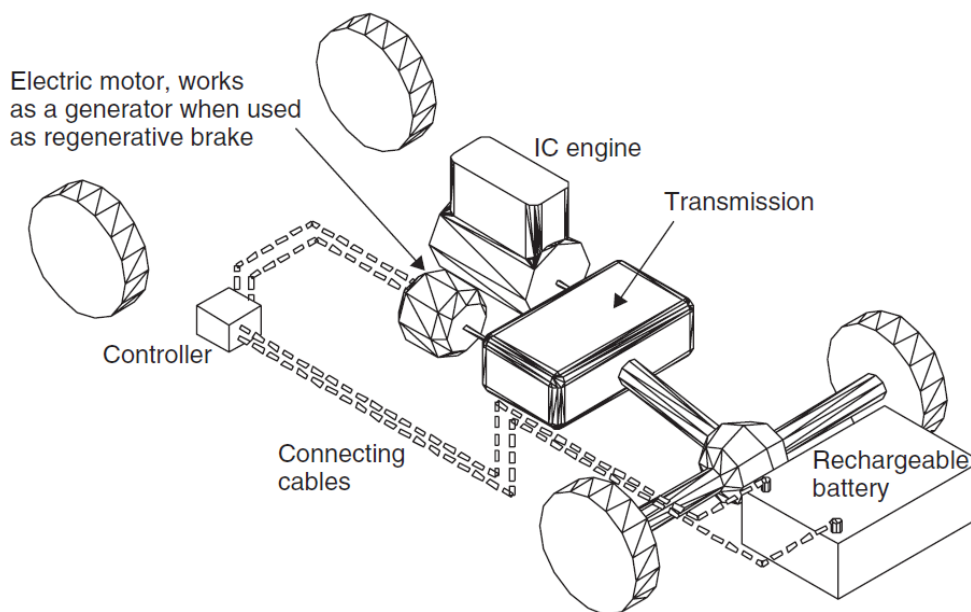
2.2 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Ένα υβριδικό όχημα έχει δύο ή περισσότερες πηγές ισχύος, γεγονός που δίνει πολύ μεγάλο αριθμό παραλλαγών. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι υβριδικών οχημάτων συνδυάζουν κινητήρα εσωτερικής καύσης (Internal combustion, IC) με μπαταρία και έναν ηλεκτροκινητήρα και γεννήτρια.

Υπάρχουν δύο βασικές αρχιτεκτονικές για τα υβριδικά οχήματα: η σε σειρά υβριδική και η παράλληλη υβριδική, που απεικονίζονται στα σχήματα 2.2 και 2.3. Στον σε σειρά υβριδικό σχεδιασμό του οχήματος η κίνηση δίνεται από έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες που τροφοδοτούνται απευθείας είτε από την μπαταρία είτε από τη μονάδα γεννήτριας με κινητήρα IC, ή και από τα δύο. Στο παράλληλο υβριδικό σχεδιασμό το όχημα μπορεί να οδηγείται είτε από τον κινητήρα IC που λειτουργεί απευθείας μέσω ενός συστήματος μετάδοσης, ή από έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες που λειτουργούν μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων ή συνδέονται απευθείας με τους τροχούς, ή και τα δύο, από τον ηλεκτροκινητήρα και τον κινητήρα IC ταυτόχρονα.

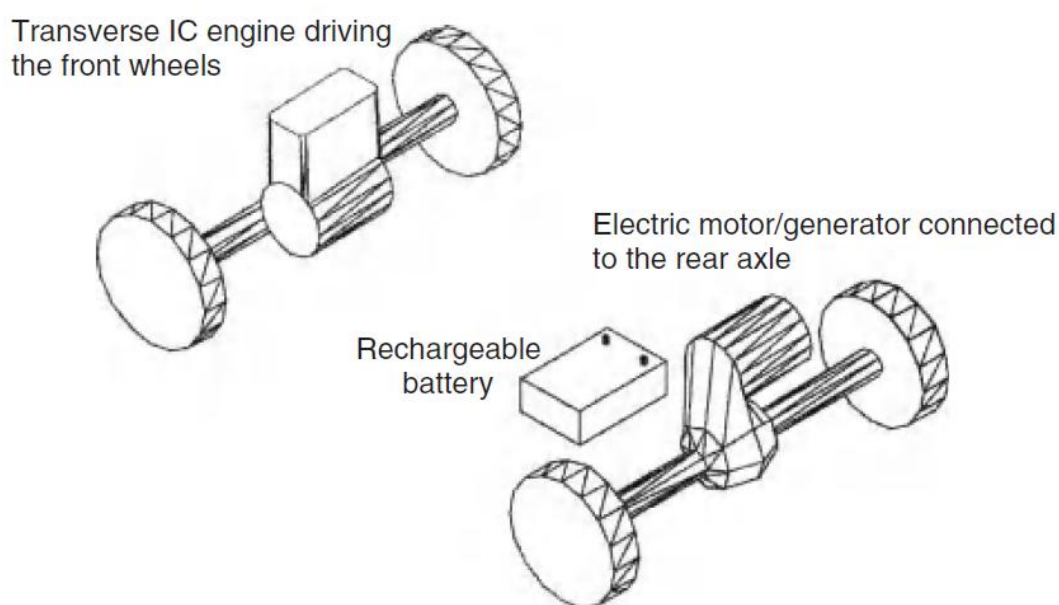


Σχήμα 2.2 Η αρχιτεκτονική του σε σειρά υβριδικού οχήματος. Στα επαναφορτιζόμενα υβριδικά, η μπαταρία μπορεί επίσης να φορτίζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο [4].



Σχήμα 2.3 Η αρχιτεκτονική του παράλληλου υβριδικού οχήματος. Στα επαναφορτιζόμενα υβριδικά, η μπαταρία μπορεί επίσης να φορτίζεται από το ηλεκτρικό δίκτυο [4].

Υπάρχουν διαφορετικές ρυθμίσεις για το παράλληλο υβριδικό σύστημα. Το Σχήμα 2.4 δείχνει μία παράλληλη υβριδική αρχιτεκτονική στην οποία ο κινητήρας IC μπορεί να κινεί τους μπροστινούς τροχούς μέσω του μπροστινού άξονα και ο ηλεκτροκινητήρας τους πίσω τροχούς. Τα σχήματα 2.2–2.4 δείχνουν τα υβριδικά οχήματα ως μη επαναφορτιζόμενα, οπότε το υβριδικό EV θα πρέπει να τροφοδοτείται εξ ολοκλήρου από ορυκτά καύσιμα.



Σχήμα 2.4 Παράλληλο υβριδικό όχημα όπου ο κινητήρας εσωτερικής καύσης θέτει σε κίνηση τους μπροστινούς τροχούς και ο ηλεκτροκινητήρας τους πίσω τροχούς [4].

Μια εναλλακτική λύση είναι η χρήση επαναφορτιζόμενων υβριδικών που συνήθως έχουν πολύ μεγαλύτερες μπαταρίες για να δώσει στο όχημα μια αποτελεσματική αυτονομία όταν τροφοδοτείται μόνο από την μπαταρία. Και η σε σειρά και η παράλληλη υβριδική αρχιτεκτονική επιτρέπουν την αναγεννητική πέδηση, για να λειτουργεί ο κινητήρας ως γεννήτρια και ταυτόχρονα να επιβραδύνει το όχημα και να φορτίζει την μπαταρία.

Η σε σειρά υβριδική τεχνολογία χρησιμοποιείται παραδοσιακά μόνο σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Για παράδειγμα, η μηχανή ντίζελ των σιδηροδρόμων είναι σχεδόν πάντα υβριδική σε σειρά, όπως και ορισμένα πλοία. Μερικά ειδικά οχήματα παντός εδάφους είναι επίσης υβριδικά σε σειρά, με έναν ξεχωριστό ελεγχόμενο ηλεκτρικό κινητήρα σε κάθε τροχό. Το κύριο μειονέκτημα του σε σειρά υβριδικού είναι ότι η ισχύς από τον κινητήρα δεν μπορεί να μεταδοθεί μηχανικά στους τροχούς αλλά πρέπει να περάσει και από τη γεννήτρια και από τον κινητήρα.

Το παράλληλο υβριδικό, από την άλλη πλευρά, έχει περιθώρια για πολύ ευρεία εφαρμογή. Οι ηλεκτρικές μηχανές μπορεί να είναι πολύ μικρότερες και φθηνότερες, επειδή δεν χρειάζεται να μετατρέψουν όλη την ενέργεια. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα παράλληλο υβριδικό όχημα. Στην απλούστερη περίπτωση μπορεί να λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα από τις μπαταρίες, για παράδειγμα σε μια πόλη όπου οι εκπομπές καυσαερίων είναι ανεπιθύμητες και μπορεί να τροφοδοτείται αποκλειστικά από τον κινητήρα IC, για παράδειγμα όταν ταξιδεύει έξω από την πόλη. Εναλλακτικά, και πιο χρήσιμα, ένα παράλληλο υβριδικό όχημα μπορεί να χρησιμοποιεί τον κινητήρα IC και τις μπαταρίες σε συνδυασμό, βελτιστοποιώντας συνεχώς την απόδοση του κινητήρα IC. Μια δημοφιλής ρύθμιση είναι η απορρόφηση της βασικής ισχύος για τη λειτουργία του οχήματος, από περίπου το 50% των απαιτήσεων μέγιστης ισχύος από τον κινητήρα IC, και η επιπλέον ισχύς να προέρχεται από τον ηλεκτρικό κινητήρα και την μπαταρία, επαναφορτίζοντας τη μπαταρία από τη γεννήτρια της μηχανής όταν η μπαταρία δεν χρειάζεται. Χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές ελέγχου, η ταχύτητα και η ροπή του κινητήρα μπορούν να ελεγχθούν για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών καυσαερίων και τη μεγιστοποίηση της οικονομίας καυσίμου.

Στα παράλληλα υβριδικά συστήματα είναι χρήσιμο να οριστεί μια μεταβλητή, που ονομάζεται «βαθμός υβριδισμού», ως εξής:

$$DOH = \frac{\text{ισχύς ηλεκτρικό κινητήρα}}{\text{ισχύς ηλεκτρικό κινητήρα} + \text{ισχύς μηχανής IC}}$$

Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός υβριδισμού, τόσο πιο σκόπιμη είναι η χρήση ενός μικρότερου IC κινητήρα, και η λειτουργία του πολύ

κοντά στη βέλτιστη απόδοση για το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό του χρόνου.

Τα υβριδικά οχήματα είναι πιο ακριβά από τα συμβατικά οχήματα. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες δυνατότητες εξοικονόμησης. Στη διάταξη σε σειρά δεν υπάρχει ανάγκη για κιβώτιο ταχυτήτων, η μετάδοση μπορεί να απλοποιηθεί και το διαφορικό μπορεί να παραληφθεί χρησιμοποιώντας ένα ζευγάρι κινητήρων τοποθετημένων σε αντίθετους τροχούς. Και στις δύο διατάξεις, σε σειρά και παράλληλα μπορεί να παραληφθεί η συμβατική διάταξη εκκίνησης με μπαταρία.

Υπάρχουν πολλά υβριδικά οχήματα αυτήν την περίοδο στην αγορά και είναι γενικά ένας τομέας που αναμένεται να αναπτυχθεί γρήγορα τα επόμενα χρόνια. Το Toyota Prius, που φαίνεται στην εικόνα 2.1, είναι ένα μη επαναφορτιζόμενο υβριδικό.



Εικόνα 2.1 Το Toyota Prius [4].

Χρησιμοποιείται μια μπαταρία νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Κατά την εκκίνηση ή στις χαμηλές ταχύτητες το Prius τροφοδοτείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα, αποφεύγοντας τη χρήση του κινητήρα IC, όταν αυτός είναι πιο ρυπογόνος και λιγότερο αποτελεσματικός. Αυτό το αυτοκίνητο χρησιμοποιεί αναγεννητική πέδηση και έχει υψηλή συνολική οικονομία καυσίμου περίπου 56,5 mpg (ΗΠΑ) ή 68 mpg (UK) . Η συντομογραφία mpg σημαίνει miles per

gallon όπου 1 γαλλόνι=4,55 λίτρα. Το Prius έχει τελική ταχύτητα 160 km/h και επιταχύνει στα 100 km/h σε 13,4 δευτερόλεπτα.

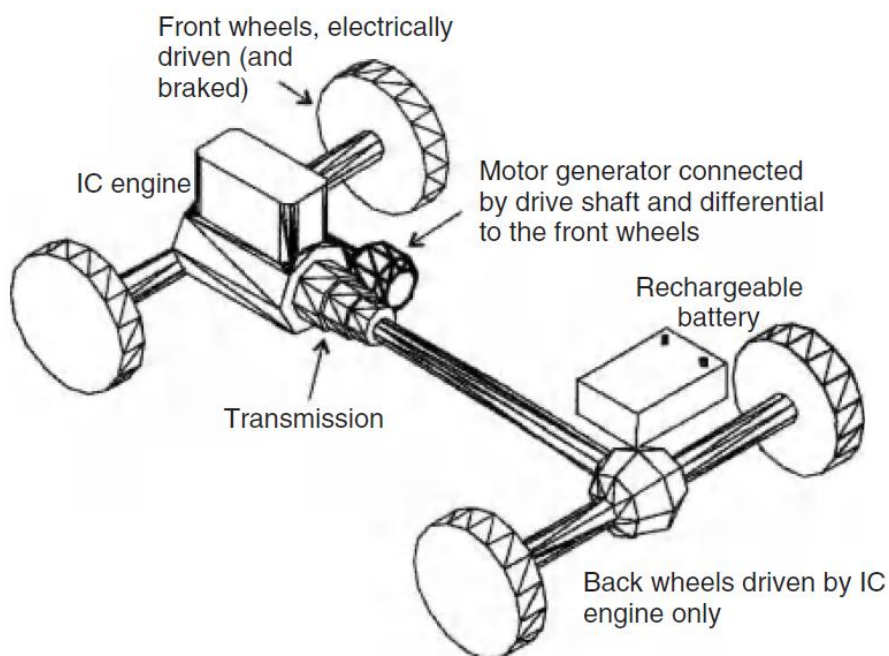
Η μπαταρία Prius φορτίζεται μόνο από τον κινητήρα και δεν χρησιμοποιεί εξωτερική πρίζα. Επομένως, ανεφοδιάζεται μόνο με βενζίνη, με τον συμβατικό τρόπο. Επιπλέον, έχει τέσσερις άνετες θέσεις επιβατών και ο χώρος αποσκευών δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου από την κάπως μεγαλύτερη, από το συνηθισμένο, μπαταρία. Το πλήρως αυτόματο σύστημα μετάδοσης αποτελεί ένα ακόμη πλεονέκτημα αυτού του αυτοκινήτου και είναι γενικά ένα χαρακτηριστικό που έχει φέρει τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πολύ κοντά στους απλούς ανθρώπους αφού τους εξυπηρετεί στην ποικιλία των διαδρομών που κάνουν.

Το Prius έχει κυρίως τα χαρακτηριστικά ενός παράλληλου υβριδικού, όπως στο σχήμα 2.3. Σε αυτό ο κινητήρας IC μπορεί να τροφοδοτήσει άμεσα το όχημα. Ωστόσο, διαθέτει ξεχωριστό κινητήρα και γεννήτρια, μπορεί να λειτουργήσει σε λειτουργία σειράς και δεν είναι «καθαρό» παράλληλο υβριδικό. Έχει αρκετά σύνθετο «power splitter» κιβώτιο ταχυτήτων, βασισμένο σε επικυκλικά γρανάζια, που επιτρέπει την τροφοδοσία από τον ηλεκτρικό κινητήρα και από τον κινητήρα IC, σε σχεδόν οποιαδήποτε αναλογία, να μεταφερθεί στους τροχούς ή στο κιβώτιο ταχυτήτων. Μπορεί επίσης να μεταφερθεί δύναμη από τους τροχούς στη γεννήτρια για αναγεννητική πέδηση.

Πολλές εταιρείες παρουσιάζουν τώρα οχήματα που είναι αληθινά παράλληλα υβριδικά. Το Insight της Honda είναι ένα καλό παράδειγμα. Ορισμένα αξιοσημείωτα παραδείγματα δεν χρησιμοποιούν το κιβώτιο ταχυτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3, για τον συνδυασμό του της ισχύος του κινητήρα IC και του ηλεκτροκινητήρα, αλλά μάλλον χρησιμοποιούν διαφορετικό σετ τροχών. Το Σχήμα 2.5 δείχνει την αρχή λειτουργίας του υβριδικού Daimler Chrysler SUV. Ο ηλεκτρικός κινητήρας βρίσκεται δίπλα στο κιβώτιο ταχυτήτων πίσω από τον κινητήρα IC και δίνει κίνηση σε έναν άξονα που οδηγεί τον μπροστινό άξονα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε «λειτουργία κινητήρα» για την αύξηση της ισχύος του οχήματος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε «λειτουργία γεννήτριας», για παράδειγμα κατά το φρενάρισμα.



Εικόνα 2.2 Το παράλληλο υβριδικό Honda Insight [5].



Σχήμα 2.5 Παράλληλη υβριδική διάταξη παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στο DaimlerChrysler SUV hybrid [4].

Σε οχήματα όπως το Chevrolet Volt, η μπαταρία του οχήματος μπορεί να φορτιστεί από ξεχωριστή ηλεκτρική τροφοδοσία, όπως το δίκτυο, όταν το όχημα δεν χρησιμοποιείται. Φέρει μία μεγαλύτερη μπαταρία από τα μη επαναφορτιζόμενα υβριδικά και μπορεί να λειτουργήσει έως και 40 μίλια (64 km) χρησιμοποιώντας μόνο τη μπαταρία. Όταν η ενέργεια της μπαταρίας πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο που ορίζεται ως ποσοστό σε σχέση με την πλήρη φόρτιση και ενώ το Volt λειτουργεί ως υβριδικό σειράς, το σύστημα ελέγχου του οχήματος θα επιλέξει τη βέλτιστη και πιο αποτελεσματική λειτουργία οδήγησης για βελτίωση της απόδοσης.



Εικόνα 2.3 Το Chevrolet Volt [14].

Σε ορισμένα φορτία και ταχύτητες, δηλαδή 30-70 mph (48-112 km/h), ο κινητήρας IC μπορεί μερικές φορές να κινηθεί μηχανικά μέσω του συμπλέκτη σε μία έξοδο του πλανητικού κιβωτίου ταχυτήτων και να βοηθά τον κινητήρα να προωθεί το Volt. Ως εκ τούτου, το Volt μπορεί να λειτουργήσει ως καθαρό EV, ως υβριδικό σειράς ή ως παράλληλο

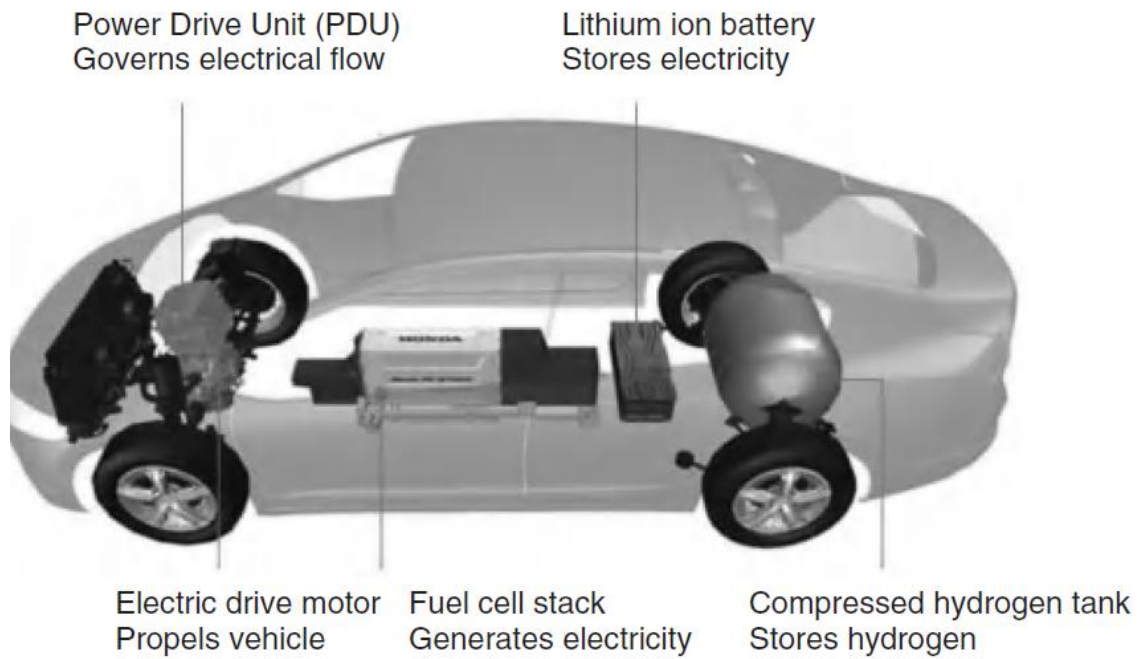
υβριδικό ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας (SOC) και τις συνθήκες λειτουργίας.

2.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ

Η βασική αρχή των EV που χρησιμοποιούν καύσιμα είναι σχεδόν ίδια με την μπαταρία EV, αλλά με ένα στοιχείο καυσίμου (fuel cell) ή μια μπαταρία μετάλλου-αέρα που αντικαθιστά την επαναφορτιζόμενη ηλεκτρική μπαταρία. Αν και εφευρέθηκαν περίπου το 1840, τα στοιχεία καυσίμου δεν είναι μια ιδιαίτερα γνωστή τεχνολογία. Ένα σημαντικό ζήτημα με τις κυψέλες καυσίμου είναι ότι, γενικά, αυτές απαιτούν υδρογόνο ως καύσιμο. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί επί του οχήματος, αν και αυτό δεν είναι εύκολο. Μία εναλλακτική τεχνική είναι η παραγωγή υδρογόνου από καύσιμο όπως η μεθανόλη. Αυτή είναι η προσέγγιση που ακολουθείται στο Nacar 5, το οποίο διαθέτει ενσωματωμένο αναμορφωτή. Το αυτοκίνητο μπορεί απλά να ανεφοδιαστεί με μεθανόλη με τον ίδιο τρόπο όπως ένα κανονικό όχημα γεμίζει με βενζίνη. Το αυτοκίνητο έχει τελική ταχύτητα 150 km/h και συνολική κατανάλωση καυσίμου (μεθανόλης) 5l/100 km.



Εικόνα 2.4 Το Honda FCX Clarity [7].



Σχήμα 2.6 Βασική διάταξη του Honda FCX Clarity [4].



Εικόνα 2.5 Λεωφορείο της Citaro με στοιχείο καυσίμου το οποίο τέθηκε σε κυκλοφορία το 2003 [4].

Ένα άλλο σημαντικό όχημα που διαθέτει στοιχείο καυσίμου είναι το Honda FCX Clarity, το οποίο φαίνεται στην εικόνα 2.4. Η βασική διάταξη του FCX Clarity φαίνεται στο σχήμα 2.6. Καθώς το όχημα χρησιμοποιεί μια μπαταρία ιόντων λιθίου που λειτουργεί σε συνδυασμό με την κυψέλη καυσίμου μπορεί επίσης να περιγραφεί ως υβριδικό ηλεκτρικού συσσωρευτή-κυψέλης καυσίμου.

Τα δημόσια οχήματα όπως τα λεωφορεία μπορούν πιο εύκολα να χρησιμοποιούν νέα καύσιμα όπως το υδρογόνο, γιατί γεμίζουν μόνο σε ένα μέρος. Τα λεωφορεία από πολύ νωρίς θεωρήθηκαν μία πολύ ελπιδοφόρα εφαρμογή των κυψελών καυσίμου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5.

Οι μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα που παράγονται από την εταιρεία Electric Fuel Transportation Company (EFTC) έχουν δοκιμαστεί σε οχήματα τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη. Η δηλωμένη αποστολή της εταιρείας είναι η υλοποίηση ηλεκτρικών λεωφορείων ψευδαργύρου-αέρα σε εμπορεύσιμους αριθμούς. Στη διάρκεια του καλοκαιριού του 2001 ένα λεωφορείο ψευδάργυρου-αέρα μηδενικών εκπομπών ολοκλήρωσε τις δοκιμές σε τοποθεσίες στην πολιτεία της Νέας Υόρκης και αργότερα μέσα στο έτος επιδείχθηκε στη Νεβάδα Στη Γερμανία, χρηματοδοτείται από το κράτος μία κοινοπραξία βιομηχανικών επιχειρήσεων που αναπτύσσει ένα όχημα μεταφορών μηδενικών εκπομπών με μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα της EFTC.

Οι μπαταρίες μετάλλου-αέρα είναι μια παραλλαγή των στοιχείων καυσίμου. Οι μπαταρίες ανεφοδιάζονται με αντικατάσταση των μεταλλικών ηλεκτροδίων, τα οποία μπορούν να ανακυκλωθούν. Οι μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα είναι μια ιδιαίτερα υποσχόμενη μπαταρία σε αυτήν την κατηγορία.

2.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Τόσο το τρόλεϊ όσο και το τραμ είναι πολύ γνωστά και κάποτε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως μέσα αστικής μεταφοράς. Ήταν μια οικονομικά αποδοτική και μηδενικών εκπομπών, μορφή αστικών

μεταφορών και εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε ορισμένες πόλεις. Κανονικά η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από εναέριες γραμμές και μια μικρή μπαταρία χρησιμοποιείται στο τρόλεϊ για να του δώσει μία περιορισμένη αυτονομία χωρίς τη χρήση της γραμμής τροφοδοσίας. Είναι πλέον δύσκολο να καταλάβουμε γιατί τα περισσότερα από αυτά έχουν αποσυρθεί από την υπηρεσία.

Πρέπει να τονιστεί ότι την εποχή που πολλές πόλεις αποφάσισαν την απόσυρση των τραμ και των τρόλεϊ από την υπηρεσία, το κόστος ήταν το πιο σημαντικό κριτήριο που καθόρισε αυτές τις αποφάσεις και όχι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η ανησυχία για τα αέρια του θερμοκηπίου. Τα ορυκτά καύσιμα ήταν φθηνά ενώ τα εναέρια καλώδια θεωρήθηκαν μία λύση αντιαισθητική, χωρίς ευελιξία, ακριβή που απαιτεί δύσκολη και κοστοβόρα συντήρηση. Τα τραμ ειδικότερα θεωρήθηκε ότι εμποδίζουν την πρόοδο του πολύ σημαντικού ιδιωτικού αυτοκινήτου. Σήμερα όμως, που τα οχήματα με κινητήρα IC έχουν αυξηθεί πάρα πολύ με επιβαρύνοντας το περιβάλλον και δημιουργώντας κυκλοφορικά προβλήματα σε πολλές πόλεις, τα κριτήρια άλλαξαν ξανά. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα που τροφοδοτούνται από γραμμές τροφοδοσίας θα μπορούσαν να έχουν μία σημαντική θετική επίδραση στις σύγχρονες μεταφορές και πρέπει να λάβουν την απαραίτητη προσοχή από τους υπευθύνους.

2.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΣΦΟΝΔΥΛΟΥΣ Ή ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες εναλλακτικές διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας, όπως ο σφόνδυλος και οι υπερπυκνωτές. Κατά γενικό κανόνα, και οι δύο αυτές διατάξεις έχουν υψηλές τιμές ειδικής ισχύος, κάτι που σημαίνει ότι μπορούν να αποθηκεύσουν και να δώσουν ενέργεια πολύ γρήγορα. Παρόλα αυτά, η ποσότητα ενέργειας που μπορούν να αποθηκεύσουν είναι προς το παρόν αρκετά μικρή. Με άλλα λόγια, αν και έχουν καλή πυκνότητα ισχύος, έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Η αρχή λειτουργίας του σφονδύλου και του υπερπυκνωτή παρουσιάζονται λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Ένα πρωτότυπο EV που χρησιμοποιεί σφόνδυλο ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας σχεδιάστηκε από τον Βρετανό μηχανικό John Parry. Το όχημα είναι ουσιαστικά ένα τραμ στο οποίο ο σφόνδυλος επιταχύνεται από έναν ηλεκτροκινητήρα. Η ισχύς για αυτό επιτυγχάνεται όταν το τραμ κατά την παραλαβή επιβατών ακουμπά σε έναν από τους συχνούς σταθμούς του. Το τραμ οδηγείται από το σφόνδυλο από ένα απείρως μεταβλητό κιβώτιο ταχυτήτων. Το τραμ επιβραδύνεται χρησιμοποιώντας το κιβώτιο ταχυτήτων για να επιταχύνει το σφόνδυλο και ως εκ τούτου να μεταφέρει την κινητική ενέργεια του οχήματος στην κινητική ενέργεια του σφονδύλου. Πρόκειται για μια αποτελεσματική μορφή αναγεννητικής πέδησης.

Ο εφευρέτης έχει προτείνει την τοποθέτηση τόσο του σφονδύλου όσο και του κιβωτίου ταχυτήτων σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο με μπαταρία. Το πλεονέκτημα αυτού είναι ότι οι μπαταρίες δεν απορροφούν και δεν δίνουν ενέργεια γρήγορα, σε αντίθεση με τον σφόνδυλο. Δεύτερον, η χρήση του σφονδύλου μπορεί να δώσει μία υψηλή απόδοση αναγέννησης, η οποία θα βοηθήσει στη μείωση της μάζας της μπαταρίας.

Πειραματικά οχήματα που χρησιμοποιούν υπερπυκνωτές για αποθήκευση ενέργειας έχουν επίσης δοκιμαστεί. Συχνά χρησιμοποιούνται ως μέρος ενός υβριδικού οχήματος. Η κύρια πηγή ενέργειας μπορεί να είναι ένας κινητήρας IC, ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια κυψέλη καυσίμου. Το λεωφορείο MAN, για παράδειγμα, χρησιμοποιεί έναν κινητήρα ντίζελ. Ο σκοπός του πυκνωτή είναι να επιτρέψει την ανάκτηση της κινητικής ενέργειας όταν το όχημα επιβραδύνεται και να αυξήσει τη διαθέσιμη μέγιστη ισχύ σε περιόδους ταχείας επιτάχυνσης, επιτρέποντας έτσι τη χρήση μικρότερου κινητήρα ή στοιχείου καυσίμου να λειτουργεί το όχημα.

Διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας όπως οι πυκνωτές και οι σφόνδυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα υβριδικών. Οι πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά οχήματα περιλαμβάνουν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, τροφοδοτούμενες μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου, ηλιακή ενέργεια, κινητήρες IC, γραμμές τροφοδοσίας, σφονδύλους και πυκνωτές.



Εικόνα 2.6 Το Parry People Mover. Ο σφόνδυλος φαίνεται καθαρά στο μέσον του οχήματος [4].

Οποιοσδήποτε δύο ή περισσότερα από αυτές τις πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για να σχηματίσουν ένα υβριδικό EV, δίνοντας πάνω από 21 συνδυασμούς υβριδικών με δύο πηγές ενέργειας. Εάν τρεις ή περισσότερες πηγές ενέργειας συνδυάζονται, υπάρχουν ακόμη περισσότεροι συνδυασμοί. Σίγουρα υπάρχει αρκετό περιθώριο για δημιουργική φαντασία στη χρήση των υβριδικών συνδυασμών. Μια φωτογραφία ενός σφονδύλου και της καθαρά μηχανικής μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο Parry People Mover φαίνεται στην εικόνα 2.6.

2.6 ΗΛΙΑΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Ηλιακά οχήματα όπως το Honda Dream, το οποίο κέρδισε το 1996 το World Solar Challenge είναι ακριβά και λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο σε περιοχές με υψηλή ηλιοφάνεια. Το αυτοκίνητο Honda Dream Solar πέτυχε μέσες ταχύτητες σε όλη την Αυστραλία, από τον Ντάργουιν έως την Αδελαΐδα, 85 km/h (50 mph). Αν και είναι απίθανο ένα τέτοιο αυτοκίνητο να είναι πρακτικό ως όχημα για καθημερινή χρήση, πρέπει να σημειωθεί ότι η αποδόσεις των ηλιακών φωτοβολταϊκών κυττάρων αυξάνεται συνεχώς ενώ το κόστος τους συνεχώς μειώνεται. Η έννοια της χρήσης ηλιακών κυττάρων, τα οποία μπορούν να τυλιχτούν στην επιφάνεια του αυτοκινήτου, για να διατηρούνται οι μπαταρίες του οχήματος γεμάτες κατά τη μετακίνηση είναι μια απολύτως εφικτή ιδέα, και καθώς το κόστος μειώνεται και η απόδοση αυξάνεται, ενδεχομένως να αποδειχτεί στο μέλλον ότι είναι μια πρακτική και συμφέρουσα πρόταση.

2.7 ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ένας γραμμικός κινητήρας είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας που έχει τον στάτορα και τον ρότορα «ξετυλιγμένους» έτσι ώστε αντί να παράγει περιστροφική κίνηση λόγω ροπής, να παράγει γραμμική κίνηση λόγω της δύναμης κατά μήκος του. Οι γραμμικοί κινητήρες σε συνδυασμό με τη μαγνητική ανύψωση γίνονται όλο και πιο σημαντικοί λόγω της χρήσης τους σε τρένα Maglev.

3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι και μεγέθη EV. Ωστόσο, σε σχεδόν όλα τα ηλεκτρικά οχήματα η μπαταρία αποτελεί βασικό στοιχείο. Στο κλασικό EV η μπαταρία είναι η μόνη πηγή ενέργειας και συγχρόνως είναι το εξάρτημα με το υψηλότερο κόστος, βάρος και όγκο. Στα υβριδικά οχήματα η μπαταρία, η οποία πρέπει συνεχώς να παίρνει και να δίνει ηλεκτρική ενέργεια, είναι επίσης ένα βασικό συστατικό ύψιστης σημασίας. Έχουν κατασκευαστεί κάποια οχήματα κυψέλης καυσίμου (FC) που έχουν μπαταρίες που δεν είναι μεγαλύτερες από αυτές που κανονικά προσαρμόζονται σε αυτοκίνητα με κινητήρα IC. Πάντως τα περισσότερα οχήματα που χρησιμοποιούν κυψέλες καυσίμου έχουν αρκετά μεγάλες μπαταρίες και λειτουργούν σε υβριδική λειτουργία FC/μπαταρίας. Εν ολίγοις, είναι φανερό ότι η κατανόηση της τεχνολογίας και της απόδοσης της μπαταρίας είναι ζωτικής σημασίας για όσους συμμετέχουν στον σχεδιασμό και την κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων.

Μια μπαταρία αποτελείται από δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα μαζί. Τα ηλεκτρικά στοιχεία μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα κελιά αποτελούνται από θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια βυθισμένα σε έναν ηλεκτρολύτη. Αποτέλεσμα της χημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη είναι η παραγωγή συνεχούς ρεύματος. Στην περίπτωση δευτερογενών ή αλλιώς επαναφορτιζόμενων μπαταριών η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί, αναστρέφοντας το ρεύμα με αποτέλεσμα η μπαταρία να μεταπίπτει σε κατάσταση φόρτισης. Η μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι ο παραδοσιακός τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, αλλά υπάρχουν και άλλοι που γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς στα σύγχρονα EV. Το πρώτο EV με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες προηγήθηκε της εφεύρεσης της

επαναφορτιζόμενης μπαταρίας μολύβδου-οξέος κατά ένα τέταρτο του αιώνα.

Υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός υλικών και ηλεκτρολυτών που μπορούν να συνδυαστούν για να σχηματιστεί μια μπαταρία. Ωστόσο, μόνο ένας σχετικά μικρός αριθμός συνδυασμών είναι κατάλληλος για την ανάπτυξη εμπορικών επαναφορτιζόμενων ηλεκτρικών μπαταριών που να είναι κατάλληλες για χρήση σε οχήματα. Σήμερα, οι τύποι αυτοί περιλαμβάνουν μολύβδο-οξύ, σίδηρο-νικέλιο, κάδμιο-νικέλιο, νικέλιο-υδρίδιο μετάλλου (Ni-MH), λίθιο-πολυμερές, σίδηρος-λίθιο, θείο-νάτριο και νάτριο-χλωριούχο μέταλλο. Υπάρχουν επίσης πιο πρόσφατες εξελίξεις των μπαταριών που μπορούν να επαναφορτιστούν μηχανικά. Τα σημαντικότερα παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι αλουμίνιο-αέρας και ψευδάργυρος-αέρας. Παρά τις πάρα πολλές διαφορετικές δυνατότητες που δοκιμάστηκαν και τα περίπου 150 χρόνια ανάπτυξης, μόλις πρόσφατα αναπτύχθηκε μια κατάλληλη μπαταρία που να επιτρέπει τη μαζική παραγωγή EV.

Από την άποψη του σχεδιαστή ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η μπαταρία μπορεί να θεωρηθεί ως «μαύρο κουτί» το οποίο έχει μια σειρά κριτηρίων απόδοσης. Αυτά τα κριτήρια θα περιλαμβάνουν συγκεκριμένη ενέργεια, ενεργειακή πυκνότητα, ειδική ισχύ, τυπικές τάσεις, χωρητικότητα φορτίου (αμπερώρια, amp-hour), ενεργειακή απόδοση, εμπορική διαθεσιμότητα, κόστος, θερμοκρασίες λειτουργίας, ρυθμός αυτοεκφόρτισης, αριθμός κύκλων ζωής και ρυθμός επαναφόρτισης. Όλες αυτές οι παράμετροι θα εξεταστούν στην επόμενη ενότητα. Ο σχεδιαστής πρέπει επίσης να καταλάβει πώς η διαθεσιμότητα ενέργειας εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τους ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης, τη γεωμετρία της μπαταρίας, τη βέλτιστη θερμοκρασία, τις μεθόδους φόρτισης και επίσης τις ανάγκες ψύξης και τις πιθανές μελλοντικές εξελίξεις. Τουλάχιστον μια βασική κατανόηση της χημείας της μπαταρίας είναι πολύ σημαντική, διαφορετικά οι απαιτήσεις απόδοσης και συντήρησης των διαφορετικών τύπων και των περισσότερων μειονεκτημάτων που σχετίζονται με τη χρήση της μπαταρίας, όπως η περιορισμένη διάρκεια ζωής τους, η αυτοεκφόρτιση, η μειωμένη απόδοση σε υψηλότερα ρεύματα και ούτω καθεξής, δεν μπορούν να γίνουν κατανοητά.

Απαιτείται επίσης κάποια βασική γνώση όσον αφορά τους πιθανούς κινδύνους ατυχήματος και τον συνολικό αντίκτυπο στο

περιβάλλον από τη χρήση χημικών μπαταριών. Η ανακύκλωση χρησιμοποιημένων μπαταριών καθίσταται επίσης όλο και πιο σημαντική.

3.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τη συμπεριφορά και την απόδοση μιας μπαταρίας.

3.2.1 Τάση Μπαταρίας και Στοιχείου

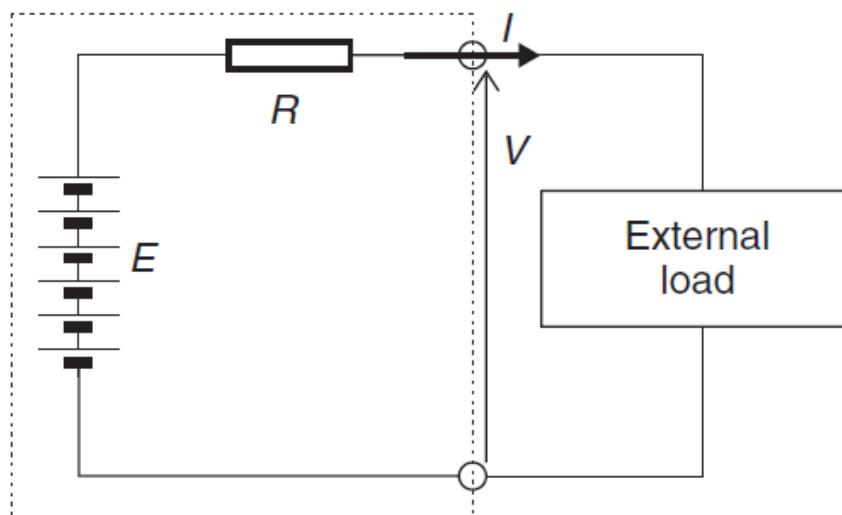
Όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία έχουν ονομαστικές ηλεκτρικές τάσεις που δίνουν την κατά προσέγγιση τάση όταν το στοιχείο παρέχει ηλεκτρική ενέργεια. Τα κελιά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να δώσουν τη συνολική απαιτούμενη τάση. Οι μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα καθορίζονται συνήθως ως 6V ή 12 V, και αυτές οι μονάδες συνδέονται σε σειρά για να παράγουν την απαιτούμενη τάση. Αυτή η τάση, στην πράξη, αλλάζει. Όταν κλείνει το κύκλωμα και η μπαταρία διαρρέεται από ρεύμα, η τάση θα μειωθεί κατά τη διάρκεια της φόρτισης, ενώ θα αυξηθεί κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης.

Το φαινόμενο αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό αν θεωρήσουμε την «εσωτερική αντίσταση» της μπαταρίας και χρησιμοποιήσουμε το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα που προσομοιώνει τη λειτουργία μιας μπαταρίας. Το κύκλωμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.1. Η μπαταρία παριστάνεται σαν να έχει σταθερή τάση E , ίση με την ηλεκτρεγερτική της δύναμη, αλλά η τάση στους ακροδέκτες (πολική τάση) είναι μία διαφορετική τάση V , λόγω της πτώσης τάσης στην εσωτερική αντίσταση R της μπαταρίας. Υποθέτοντας ότι ένα ρεύμα έντασης I διαρρέει την μπαταρία βγαίνοντας από τον θετικό πόλο αυτής, όπως στο σχήμα 3.1, τότε από τη θεωρία κυκλωμάτων γνωρίζουμε ότι ισχύει:

$$V=E-IR \quad (3.1)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν το ρεύμα I είναι μηδέν, τότε η πολική τάση V είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη E . Για αυτό το λόγο η E αναφέρεται και ως τάση ανοικτού κυκλώματος. Αν η μπαταρία είναι στη φάση της φόρτισης, τότε είναι φανερό ότι η πολική τάση θα είναι

αυξημένη κατά το γινόμενο IR σε σχέση με την ΗΕΔ E , αφού σε αυτήν την περίπτωση, το ρεύμα θα έχει την αντίθετη φορά από αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3.1. Στις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η εσωτερική αντίσταση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.



Σχήμα 3.1 Ένα απλό μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος για μία μπαταρία. Η συγκεκριμένη μπαταρία αποτελείται από 6 στοιχεία [4].

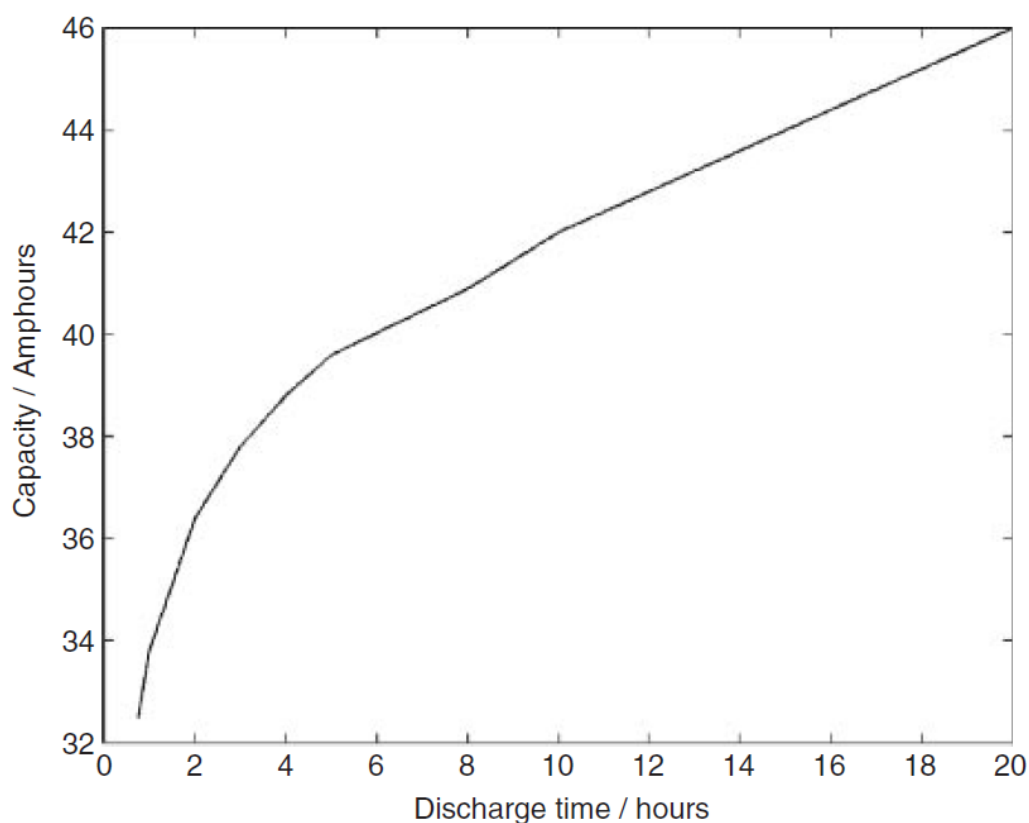
Γενικά, η εξίσωση (3.1) δίνει μία αρκετά καλή πρόβλεψη της πολικής τάσης της μπαταρίας σε χρήση. Στην πραγματικότητα όμως η ΗΕΔ της μπαταρίας δεν είναι σταθερή και γενικά η πολική τάση εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία.

3.2.2 Χωρητικότητα Φορτίου

Μία πολύ κρίσιμη παράμετρος για μία μπαταρία είναι το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να προσφέρει αυτή. Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου στο Διεθνές Σύστημα (SI) είναι το 1 Coulomb που εκφράζει τη φόρτιση όταν ρεύμα έντασης 1A ρέει για 1 δευτερόλεπτο. Ωστόσο, αυτή η μονάδα είναι άβολα μικρή. Αντί αυτού στην πράξη χρησιμοποιείται το 1 amp-hour (Ah), που εκφράζει τη φόρτιση όταν ρεύμα 1A ρέει για 1 ώρα. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας μπορεί να είναι, για παράδειγμα, 10 Ah. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παρέχει 1A για 10 ώρες, ή 2A για 5 ώρες ή, θεωρητικά, 10A για 1 ώρα. Ωστόσο, στην πράξη, δεν συμβαίνει ακριβώς αυτό για τις περισσότερες μπαταρίες.

Το Σχήμα 3.2 δείχνει πώς επηρεάζεται η χωρητικότητα εάν η μπαταρία εκφορτίζεται πιο γρήγορα ή πιο αργά. Το διάγραμμα είναι για μια μπαταρία ονομαστικής χωρητικότητας 42 Ah που αναφέρεται σε εκφόρτιση 10 ωρών. Η χωρητικότητα των μεγάλων μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα EV («μπαταρίες έλξης») συνήθως αναφέρεται σε εκφόρτιση 5 ωρών.

Αυτή η μεταβολή της χωρητικότητας συμβαίνει λόγω ανεπιθύμητων χημικών αντιδράσεων μέσα στη μπαταρία. Το φαινόμενο είναι πιο αισθητό στην μπαταρία μολύβδου οξέος, αλλά εμφανίζεται σε όλους τους τύπους. Είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια τις επιπτώσεις αυτού του φαινομένου.



Σχήμα 3.2 Μεταβολή της χωρητικότητας φορτίου μιας μπαταρίας συναρτήσει του χρόνου εκφόρτισης. Η μπαταρία έχει ονομαστική χωρητικότητα 42 Ah [4].

Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας σε Ah αντιπροσωπεύεται από το γράμμα C. Ωστόσο, στην πράξη αυτό χρησιμοποιείται επίσης για την

αναπαράσταση ενός ρεύματος. Ας υποθέσουμε ότι μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 42 Ah. τότε γράφουμε ότι $C = 42 \text{ A}$. Όταν αναφερόμαστε σε ένα «ρεύμα εκφόρτισης $2C$ » ή λέμε ότι η «φόρτιση της μπαταρίας γίνεται στα $0,4C$ », αυτό σημαίνει «ρεύμα εκφόρτισης 84 A » ή «ρεύμα φόρτισης $16,8 \text{ A}$ ». Μια περαιτέρω βελτίωση είναι να προσθέσουμε και ένα δείκτη στο σύμβολο C . Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χωρητικότητα της μπαταρίας μεταβάλλεται με το χρόνο που απαιτείται για την εκφόρτισή της. Στο παράδειγμα του σχήματος 3.2, η μπαταρία 42Ah βαθμολογείται έχει βαθμολογηθεί για 10 ώρες εκφόρτισης. Έτσι πιο ολοκληρωμένα, ένα ρεύμα εκφόρτισης 84A πρέπει να γραφτεί ως $2C_{10}$.

Αυτός ο τρόπος έκφρασης του ρεύματος της μπαταρίας είναι πολύ χρήσιμος, καθώς συσχετίζει το ρεύμα με το μέγεθος της μπαταρίας. Χρησιμοποιείται σχεδόν καθολικά στη βιβλιογραφία και τις προδιαγραφές της μπαταρίας, αν και κάποιες φορές ο δείκτης που σχετίζεται με τον ονομαστικό χρόνο εκφόρτισης παραλείπεται.

3.2.3 Αποθηκευμένη Ενέργεια

Ο σκοπός της μπαταρίας είναι η αποθήκευση ενέργειας. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία εξαρτάται από την τάση και το φορτίο που είναι αποθηκευμένο. Η μονάδα ενέργειας στο SI είναι το 1 Joule, που όμως είναι πολύ μικρή μονάδα και δεν βολεύει σε αυτή την περίπτωση. Έτσι χρησιμοποιούμε τη μονάδα 1Wh (watthour). Η 1 Wh είναι η ενέργεια που παρέχεται από μία μπαταρία με ισχύ 1W σε 1 ώρα λειτουργίας και ισοδυναμεί με 3600 J. Επίσης, η Wh είναι συμβατή με τη χρήση των Ah, καθώς συνδέονται με τον παρακάτω απλό τύπο:

$$\text{Ενέργεια (Wh)} = \text{τάση} \times \text{amphours}, \text{ ή } E = V \times C \quad (3.2)$$

Πάντως, αυτή η εξίσωση πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή αφού και η τάση V της μπαταρίας και, ακόμη περισσότερο, η χωρητικότητα φορτίου C επηρεάζονται σημαντικά από τον τρόπο χρήσης της μπαταρίας. Και τα δύο αυτά μεγέθη μειώνονται εάν αυξηθεί το ρεύμα και η μπαταρία εξαντλείται γρήγορα. Η αποθηκευμένη ενέργεια είναι επομένως μια μάλλον μεταβλητή ποσότητα και μειώνεται εάν η ενέργεια απελευθερώνεται γρήγορα. Γενικά, η αποθηκευμένη ενέργεια πρέπει να

δίνεται για τον ίδιο ρυθμό εκφόρτισης στον οποίο αναφέρεται και η χωρητικότητα φορτίου.

3.2.4 Ειδική Ενέργεια

Ειδική ενέργεια είναι η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται για κάθε χιλιόγραμμο μάζας της μπαταρίας. Έχει μονάδες Wh/kg. Αν είναι γνωστή η ενεργειακή χωρητικότητα της μπαταρίας σε Ah, τότε μπορεί να διαιρεθεί με την ειδική ενέργεια (Wh kg^{-1}) για να δώσει μία πρώτη προσέγγιση της μάζας της μπαταρίας. Οι ειδικές ενέργειες που αναφέρονται δεν μπορούν να είναι παρά εκτιμήσεις, γιατί, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μια μπαταρία εξαρτάται σημαντικά από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και ο ρυθμός εκφόρτισης.

3.2.5 Πυκνότητα Ενέργειας

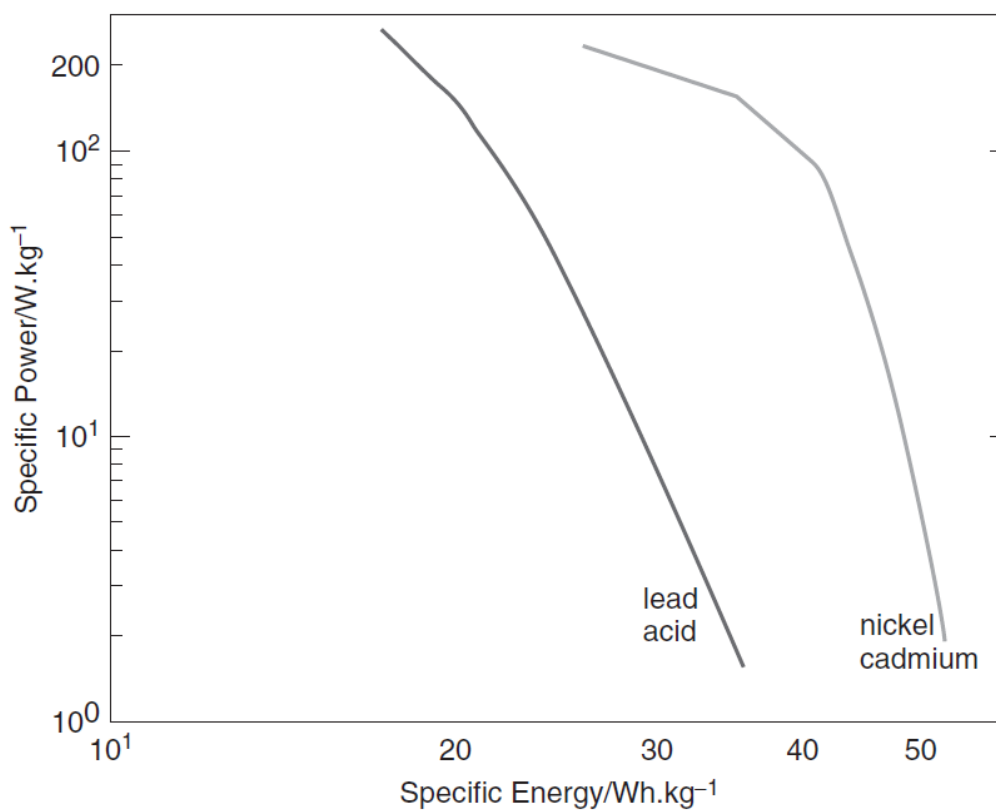
Η ενεργειακή πυκνότητα είναι η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται ανά κυβικό μέτρο όγκου μπαταρίας. Συνήθως έχει μονάδες Wh/m^3 . Είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος γιατί η χωρητικότητα ενέργεια της μπαταρίας (Wh) μπορεί να διαιρεθεί με την ενεργειακή της πυκνότητα (Whm^{-3}) για να υπολογιστεί ο απαιτούμενος όγκος μπαταρίας. Εναλλακτικά, εάν είναι γνωστός ο διαθέσιμος όγκος για μπαταρίες, τότε ο όγκος (m^3) μπορεί να πολλαπλασιαστεί με την ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας (Whm^{-3}) για να δώσει μια πρώτη προσέγγιση του πόση ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διατεθεί. Ο όγκος της μπαταρίας μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στο σχεδιασμό του οχήματος. Όπως με την ειδική ενέργεια, η ενεργειακή πυκνότητα είναι ονομαστική.

3.2.6 Ειδική Ισχύς

Ειδική ισχύς είναι η ποσότητα ισχύος που λαμβάνεται ανά χιλιόγραμμο μπαταρίας. Είναι πολύ μεταβλητή και μάλλον ανώμαλη ποσότητα, καθώς η ισχύς που παρέχεται από την μπαταρία εξαρτάται πολύ περισσότερο από τον καταναλωτή (load) που συνδέεται με αυτήν, παρά από την ίδια την μπαταρία. Αν και οι μπαταρίες έχουν μέγιστη ισχύ, δε συμφέρει να λειτουργούν κοντά στη μέγιστη ισχύ για περισσότερο από λίγα δευτερόλεπτα, καθώς δεν θα διαρκέσουν πολύ και θα λειτουργούν πολύ αναποτελεσματικά.

Οι μονάδες της ειδικής ισχύος στο SI είναι W/kg. Ορισμένες μπαταρίες έχουν πολύ καλή ειδική ενέργεια, αλλά έχουν χαμηλή ειδική ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι αποθηκεύουν πολλή ενέργεια, αλλά μπορούν να την δώσουν μόνο με αργούς ρυθμούς. Για τα EV, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να οδηγήσουν το όχημα πολύ αργά σε μεγάλη απόσταση. Η υψηλή ειδική ισχύς συνήθως οδηγεί σε χαμηλότερη ειδική ενέργεια για κάθε τύπο μπαταρίας. Αυτό συμβαίνει επειδή, όπως είδαμε στην Ενότητα 3.2.2, η κατανάλωση της ενέργειας που έχει μια μπαταρία γρήγορα, δηλαδή με υψηλή ισχύ, μειώνει την διαθέσιμη ενέργεια.

Η διαφορά στη μεταβολή της ειδικής ισχύος με την ειδική ενέργεια στους διάφορους τύπους μπαταριών είναι πολύ σημαντική και είναι χρήσιμο να μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις μεταξύ των διάφορων μπαταριών. Αυτό γίνεται συχνά χρησιμοποιώντας ένα γράφημα της ειδικής ισχύος έναντι της ειδικής ενέργειας, το οποίο είναι γνωστό ως διάγραμμα Ragone. Χρησιμοποιούνται λογαριθμικές κλίμακες, καθώς η ισχύς που δίνει μια μπαταρία μπορεί να διαφέρει πολύ σε διαφορετικές εφαρμογές.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα Ragone για τυπικές μπαταρίες έλξης μολύβδου-οξέος και νικελίου-καδμίου [4].

Ένα διάγραμμα Ragone για μια μπαταρία έλξης μολύβδου-οξέος καλής ποιότητας, και μία παρόμοια μπαταρία νικελίου-καδμίου (NiCad), φαίνεται στο σχήμα 3.3. Μπορεί να φανεί ότι, και για τις δύο μπαταρίες, καθώς αυξάνεται η ειδική ισχύς, η ειδική ενέργεια μειώνεται. Στην περιοχή ειδικής ισχύος 1-100 W/kg, η μπαταρία NiCad δείχνει ελαφρώς μικρότερη μεταβολή. Ωστόσο, πάνω από περίπου 100W/kg, η μπαταρία NiCad πέφτει πολύ πιο γρήγορα από ότι η μπαταρία μολύβδου-οξέος.

Οι γραφικές παραστάσεις Ragone όπως το σχήμα 3.3 χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση πηγών ενέργειας όλων των τύπων. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, αγνοώντας άλλους παράγοντες όπως το κόστος, η μπαταρία NiCad αποδίδει καλύτερα εάν απαιτείται πυκνότητα ισχύος μικρότερη από 100W/kg. Ωστόσο, σε υψηλότερες τιμές, έως 250W/kg ή περισσότερο, τότε η μπαταρία μολύβδου-οξέος αρχίζει να γίνεται πιο ελκυστική. Τέλος, το διάγραμμα Ragone υπογραμμίζει το γεγονός ότι στην ερώτηση "Ποια είναι η ειδική ισχύς αυτής της μπαταρίας;", δεν μπορεί να δοθεί ως απάντηση ένας και μόνο αριθμός.

3.2.7 Απόδοση Φορτίου

Σε έναν ιδανικό κόσμο, μια μπαταρία θα επέστρεφε ολόκληρη τη φόρτιση που είχε τοποθετηθεί σε αυτήν. Στην περίπτωση αυτή η απόδοση φορτίου της μπαταρίας θα ήταν 100%. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει σε καμία περίπτωση. Η απόδοση φορτίου είναι μικρότερη από 100%. Η ακριβής τιμή ποικίλλει ανάλογα με τους διαφορετικούς τύπους μπαταριών, τη θερμοκρασία και το ρυθμό φόρτισης. Εξαρτάται επίσης και από την κατάσταση φόρτισης. Για παράδειγμα, όταν φορτίζεται από μία αρχική κατάσταση όπου είναι περίπου 20-80% φορτισμένη, η απόδοση θα είναι συνήθως πολύ κοντά στο 100%. Αν όμως είναι φορτισμένη αρχικά κάτω του 20% της πλήρους φόρτισης, τότε η απόδοση πέφτει πολύ.

3.2.8 Ενεργειακή Απόδοση

Αυτή είναι μια άλλη πολύ σημαντική παράμετρος και ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από μια μπαταρία προς την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για να επιστρέψει η μπαταρία στην κατάσταση πριν από την εκφόρτιση. Ένα ισχυρό επιχείρημα για τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων βασίζεται στην

αποδοτική χρήση της ενέργειας, με αποτέλεσμα τη μείωση των συνολικών εκπομπών και επομένως υψηλή ενεργειακή απόδοση. Η ενεργειακή απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο χρήσης της μπαταρίας. Εάν η μπαταρία φορτίζεται και εκφορτίζεται γρήγορα, για παράδειγμα, η ενεργειακή απόδοση μειώνεται σημαντικά. Ωστόσο, η ενεργειακή απόδοση λειτουργεί ως μία βασική παράμετρος για τη σύγκριση των μπαταριών, με τον ίδιο τρόπο που συγκρίνουμε την κατανάλωση καυσίμου στα αυτοκίνητα.

3.2.9 Ρυθμός Αυτοεκφόρτισης

Οι περισσότερες μπαταρίες αποφορτίζονται όταν δεν χρησιμοποιούνται, και αυτό είναι γνωστό ως αυτοεκφόρτιση. Αυτό είναι σημαντικό γιατί σημαίνει ότι ορισμένες μπαταρίες δεν μπορούν να αφεθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς επαναφόρτιση.

Οι λόγοι αυτής της αυτοαπαλλαγής θα εξηγηθούν στις ενότητες που ακολουθούν για διάφορους τύπους μπαταριών. Ο ρυθμός διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας και εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία. Οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν πολύ την αυτοεκφόρτιση.

3.2.10 Γεωμετρία της Μπαταρίας

Τα κύτταρα διατίθενται σε πολλά σχήματα: στρογγυλά, ορθογώνια, πρισματικά ή εξαγωνικά. Κανονικά συσκευάζονται σε ορθογώνια τεμάχια. Ορισμένες μπαταρίες είναι διαθέσιμες σε μία μόνο γεωμετρία. Μερικές άλλες μπορούν να διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία υψών, πλάτους και μήκους. Το γεγονός αυτό μπορεί να δώσει στον σχεδιαστή σημαντικό ευκαιρίες. Ο σχεδιαστής θα μπορούσε, για παράδειγμα, να απλώσει τις μπαταρίες σε ολόκληρη την επιφάνεια του δαπέδου διασφαλίζοντας χαμηλό κέντρο βάρους και πολύ καλά χαρακτηριστικά χειρισμού.

3.2.11 Θερμοκρασία

Ενώ οι περισσότερες μπαταρίες λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, μερικές λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και χρειάζονται θέρμανση αρχικά και στη συνέχεια χρειάζονται ψύξη κατά τη χρήση. Σε άλλες μπαταρίες, η απόδοση μειώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτι που είναι ανεπιθύμητο, αν και αυτό το πρόβλημα

μπορεί να ξεπεραστεί με θέρμανση της μπαταρίας. Κατά την επιλογή μιας μπαταρίας, ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει την θερμοκρασία της μπαταρίας και τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης και όλα αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού του οχήματος.

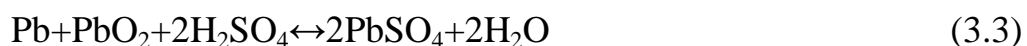
3.2.12 Χρόνος Ζωής της Μπαταρίας

Οι περισσότερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες θα υποστούν μόνο μερικές εκατοντάδες μεγάλους κύκλους (deep cycles) που η φόρτιση θα φτάσει έως το 20% της πλήρους φόρτισης. Ωστόσο, ο ακριβής αριθμός εξαρτάται από τον τύπο της μπαταρίας και επίσης από τις λεπτομέρειες σχετικά με τη σχεδίαση της μπαταρίας και τον τρόπο χρήσης της μπαταρίας. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό σημείο στις προδιαγραφές της μπαταρίας, καθώς αντικατοπτρίζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η οποία με τη σειρά της αντανακλά το κόστος λειτουργίας του EV.

3.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ-ΟΞΕΟΣ

Μέχρι πρόσφατα, η πιο γνωστή και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μπαταρία για EV είναι η μπαταρία μολύβδου-οξέος. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκκίνηση οχημάτων κινητήρα IC και από αυτή τη χρήση της είναι πάρα πολύ γνωστή. Ωστόσο, για EV χρησιμοποιούνται πιο στιβαρές μπαταρίες μολύβδου που αντέχουν βαθιά εκφόρτιση και χρησιμοποιούν γέλη αντί υγρού ηλεκτρολύτη. Η παραγωγή αυτών των μπαταριών κοστίζει πολύ περισσότερο.

Στα κύτταρα μολύβδου-οξέος οι αρνητικές πλάκες έχουν ένα σπογγώδες μόλυβδο ως ενεργό υλικό τους, ενώ οι θετικές πλάκες έχουν ένα δραστικό υλικό διοξειδίου του μολύβδου. Οι πλάκες βυθίζονται σε έναν ηλεκτρολύτη αραιού θειικού οξέος. Το θειικό οξύ αντιδρά με το μόλυβδο και το οξείδιο του μολύβδου για την παραγωγή θειικού μολύβδου και νερού. Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια. Η συνολική αντίδραση είναι:



Οι αντιδράσεις σε κάθε ηλεκτρόδιο της μπαταρίας φαίνονται στο σχήμα 3.4. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος η μπαταρία εκφορτίζεται. Οι αντιδράσεις που συμβαίνουν και στα δύο ηλεκτρόδια οδηγούν στο σχηματισμό θεικού μολύβδου. Ο ηλεκτρολύτης χάνει σταδιακά το θεικό οξύ και γίνεται πιο αραιωμένος.

Κατά τη φόρτιση, που φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 3.4, τα ηλεκτρόδια επανέρχονται στο μόλυβδο και στο διοξείδιο του μολύβδου. Ο ηλεκτρολύτης ανακτά επίσης το θεικό του οξύ και η συγκέντρωση αυξάνεται.

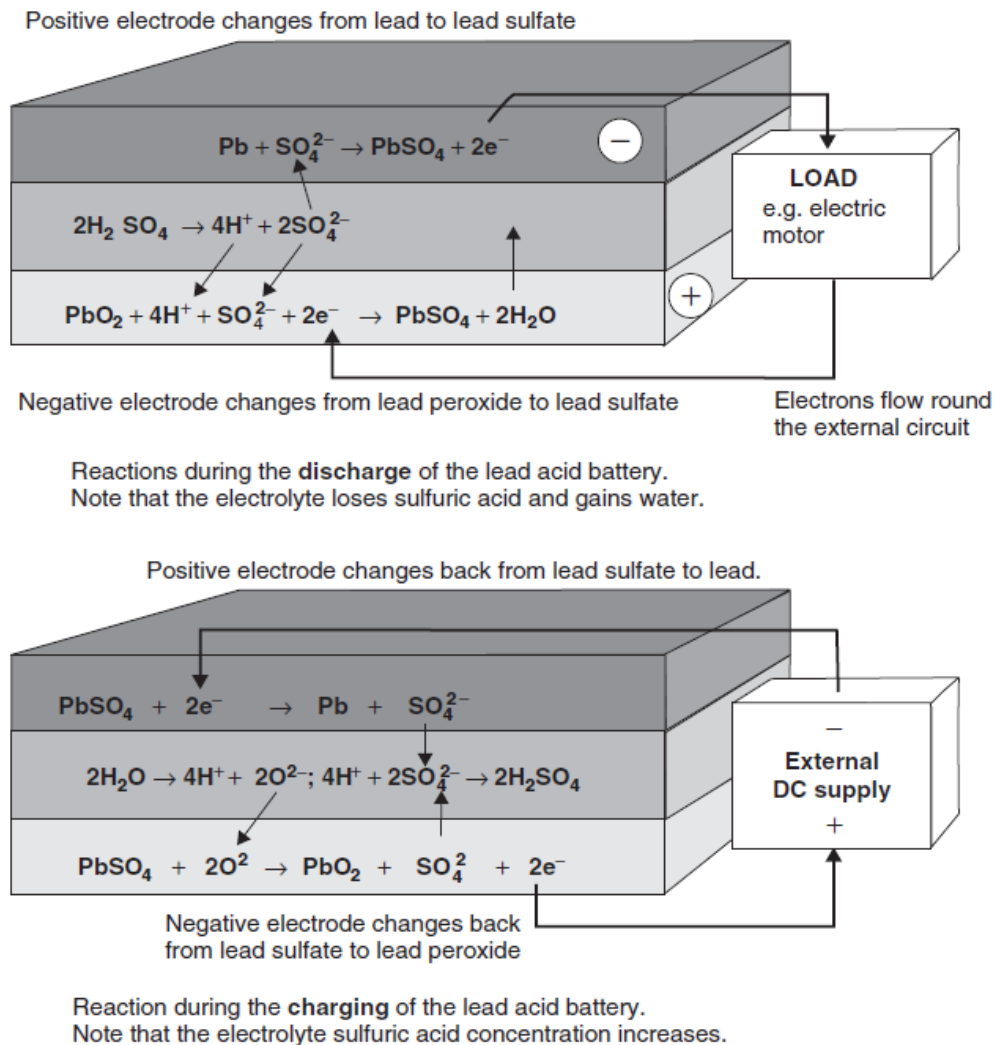
Η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη επαναφορτιζόμενη μπαταρία σε οτιδήποτε εκτός από τα πολύ μικρά συστήματα. Οι κύριοι λόγοι για την ευρεία χρήση της είναι ότι τα κύρια συστατικά (μόλυβδος, θεικό οξύ, ένα πλαστικό δοχείο) δεν είναι ακριβά, ότι λειτουργεί αξιόπιστα, και ότι έχει συγκριτικά υψηλή τάση, περίπου 2V ανά κυψέλη. Τα συνολικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της μπαταρίας μολύβδου-οξέος είναι η εξαιρετικά χαμηλή εσωτερική της αντίσταση. Αυτό σημαίνει ότι η πτώση της τάσης όταν διαρρέεται από ρεύμα είναι εξαιρετικά μικρή, μικρότερη από ότι για οποιοδήποτε άλλη μπαταρία που χρησιμοποιείται σε οχήματα. Τα στοιχεία που δίνονται στον Πίνακα 3.1 αφορά ένα μόνο κελί, ονομαστικής χωρητικότητας 1,0 Ah.

Η χωρητικότητα ενός κελιού είναι περίπου ανάλογη με το εμβαδόν περιοχή των πλακών και η εσωτερική αντίσταση είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη προς το εμβαδόν της πλάκας. Το αποτέλεσμα είναι ότι η εσωτερική αντίσταση είναι, σε καλή προσέγγιση, αντιστρόφως ανάλογη της χωρητικότητας. Η τιμή 0,022 Ω ανά κελί που δίνεται στον Πίνακα 3.1 των είναι μία ενδεικτική τιμή αντιπροσωπευτική μιας σειράς μπαταριών έλξης καλής ποιότητας. Μια καλή εκτίμηση της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας μολύβδου-οξέος δίνεται από τη σχέση:

$$R = \text{αριθμός στοιχείων} \times \frac{0,022}{C_{10}} \Omega \quad (3.4)$$

Ο αριθμός των στοιχείων είναι η ονομαστική τάση της μπαταρίας διá 2. Δηλαδή, είναι 6 για μία μπαταρία 12V. C_{10} είναι η χωρητικότητα φορτίου σε εκφόρτιση 10h.



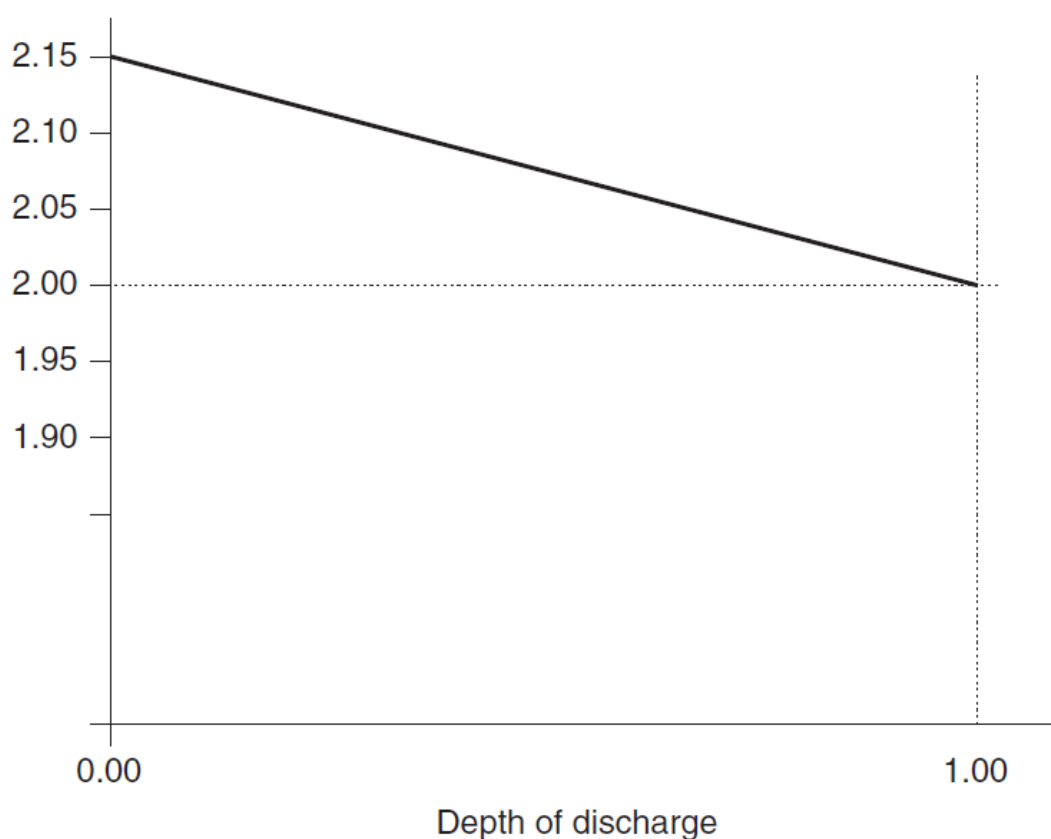
Σχήμα 3.4 Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης της μπαταρίας μολύβδου-οξέος [4].

Η αντίδραση (3.3) δεν είναι η μόνη αντίδραση που συμβαίνει. Πραγματοποιούνται και άλλες ανεπιθύμητες αντιδράσεις οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αυτοεκφόρτιση της μπαταρίας. Η μεταβολή στη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη που προκύπτει από αυτές τις αντιδράσεις έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή μεταβολή της ηλεκτρικής τάσης στους

πόλους της μπαταρίας καθώς αυτή εκφορτίζεται. Η μεταβολή αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.5.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών μολύβδου-οξέος [4]

Specific energy	20–35 Wh kg ⁻¹ depending on usage
Energy density	54–95 Wh l ⁻¹
Specific power	~250 W kg ⁻¹ before efficiency falls very greatly
Nominal cell voltage	2 V
Amphour efficiency	~80%, varies with rate of discharge and temperature
Internal resistance	Extremely low, ~0.022 Ω per cell for 1 Ah cell
Commercially available	Readily available from several manufacturers
Operating temperature	Ambient, poor performance in extreme cold
Self discharge	~2% per day (but see text)
Number of life cycles	Up to 800 to 80% capacity
Recharge time	8 h (but 90% recharge in 1 h possible)



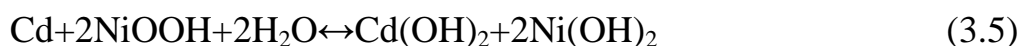
Σχήμα 3.5 Μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος με την κατάσταση φόρτισης [4].

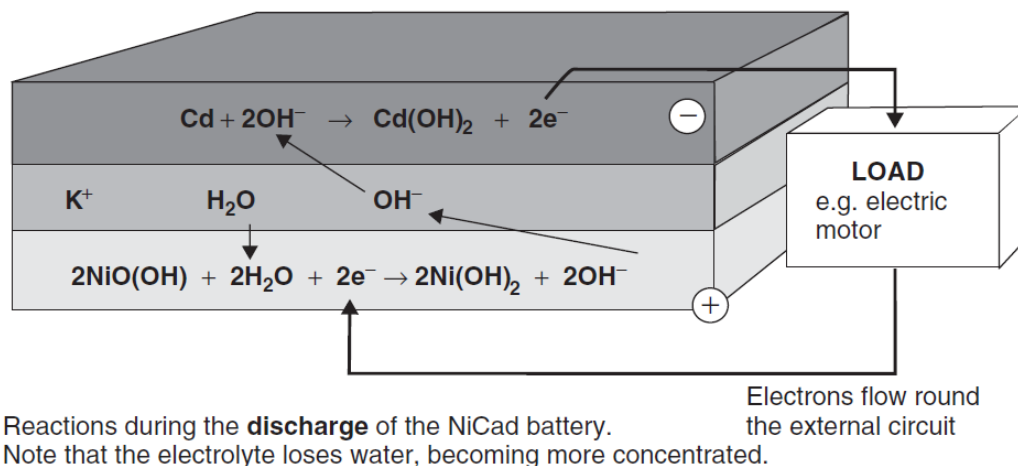
Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι καλά εδραιωμένες στο εμπόριο με ικανοποιητική υποστήριξη και εμπειρία από τη βιομηχανία. Είναι οι φθηνότερες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ανά μονάδα ενέργειας και η πρόβλεψη είναι ότι θα παραμείνουν οι φθηνότερες και στο άμεσο μέλλον. Ωστόσο, έχουν χαμηλή ειδική ενέργεια και αυτό είναι σημαντικό μειονέκτημα για τη χρήση τους σε οχήματα μεγάλης αυτονομίας. Σίγουρα όμως, οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται ευρέως για αρκετά χρόνια σε οχήματα μικρής εμβέλειας. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν μεγαλύτερο εύρος τιμών ειδικής ισχύος σε σχέση με πολλούς άλλους τύπους (σχήμα 3.3) και έτσι είναι υπό αμφισβήτηση η δυνατότητα χρήσης τους σε υβριδικά EV, όπου αποθηκεύεται μόνο μια περιορισμένη ποσότητα ενέργειας, η οποία όμως θα πρέπει να ληφθεί και να δοθεί γρήγορα.

3.4 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Έχει αναπτυχθεί μια σειρά εμπορικών μπαταριών, που χρησιμοποιούν νικέλιο σαν θετικό ηλεκτρόδιο από το έργο του Έντισον στα τέλη του 19ου αιώνα. Σε αυτές τις μπαταρίες περιλαμβάνονται οι μπαταρίες νικελίου-σιδήρου, νικελίου-ψευδαργύρου, νικελίου-καδμίου και νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH). Η μπαταρία NiMH δείχνει να έχει τις περισσότερες προοπτικές. Η μπαταρία νικελίου-ψευδαργύρου έχει μια λογική απόδοση, αλλά έχει πολύ περιορισμένη διάρκεια ζωής 300 βαθιών κύκλων και δεν θεωρείται κατάλληλη για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα.

Η μπαταρία νικελίου-καδμίου (NiCad) θεωρήθηκε ένας από τους κύριους ανταγωνιστές της μπαταρίας μολύβδου-οξέος για χρήση σε EV κυρίως γιατί έχει σχεδόν τη διπλάσια ειδική ενέργεια από τη μπαταρία μολύβδου-οξέος. Η μπαταρία NiCad χρησιμοποιεί ένα οξυϋδροξείδιο του νικελίου για το θετικό ηλεκτρόδιο και μεταλλικό κάδμιο για το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται από την ακόλουθη αντίδραση:





Σχήμα 3.6 Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την εκφόρτιση ενός στοιχείου νικελίου-καδμίου. Στην φόρτιση οι αντιδράσεις γίνονται προς την αντίστροφη κατεύθυνση [4].

Οι μπαταρίες NiCad έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές συσκευές, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης σε EV. Η μπαταρία NiCad έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως υψηλή ειδική ισχύ, μεγάλο κύκλο ζωής (έως και 2500 κύκλους), ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας από -40 έως $+80$ °C, χαμηλή αυτοεκφόρτιση και καλή μακροχρόνια αποθήκευση. Αυτό συμβαίνει επειδή η μπαταρία είναι ένα πολύ σταθερό σύστημα, με αντιδράσεις στην αυτοεκφόρτιση ισοδύναμες με εκείνες της μπαταρίας μολύβδου-οξέος, που όμως πραγματοποιούνται πολύ αργά. Η μπαταρία NiCad μπορεί να αγοραστεί σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, αν και δεν είναι πολύ εύκολο να κατασκευαστεί στα μεγαλύτερα μεγέθη που απαιτούνται για τα EV. Έτσι, η κύρια αγορά τους είναι τα φορητά εργαλεία και ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός. Είναι επίσης πολύ στιβαρή και μηχανικά και ηλεκτρικά και μπορεί να επαναφορτιστεί μέσα σε μία ώρα ενώ φορτίζεται σε χωρητικότητα 60% σε 20 λεπτά.

Στα μειονεκτήματά της συμπεριλαμβάνεται η χαμηλή τάση. Η τάση λειτουργίας κάθε κελιού είναι μόνο περίπου 1,2 V. Έτσι, απαιτούνται 10 κελιά για κάθε μπαταρία ονομαστικής τάσης 12V, σε σύγκριση με 6 κελιά για τη μπαταρία μολύβδου-οξέος. Αυτό εξηγεί εν μέρει το υψηλότερο κόστος της μπαταρίας αυτού του τύπου. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι το κόστος

του καδμίου είναι αρκετές φορές μεγαλύτερο από το κόστος του μολύβδου, και αυτό δεν είναι πιθανό να αλλάξει στο μέλλον. Το κάδμιο είναι επίσης περιβαλλοντικά επιβλαβές και καρκινογόνο.

Το υψηλό κόστος μιας μπαταρίας NiCad, συνήθως τριπλάσιο από αυτό του μολύβδου, αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του. Η απόδοση φόρτισης μειώνεται γρήγορα πάνω από τους 35 °C αλλά αυτό είναι απίθανο να επηρεάσει τη χρήση του σε EV. Έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αυτοκίνητα όπως ηλεκτρικές εκδόσεις του Peugeot 106, του Citroen AX και του Renault Clio, καθώς και του Ford Th!nk. Τα συνολικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας δίδονται στον Πίνακα 3.2.

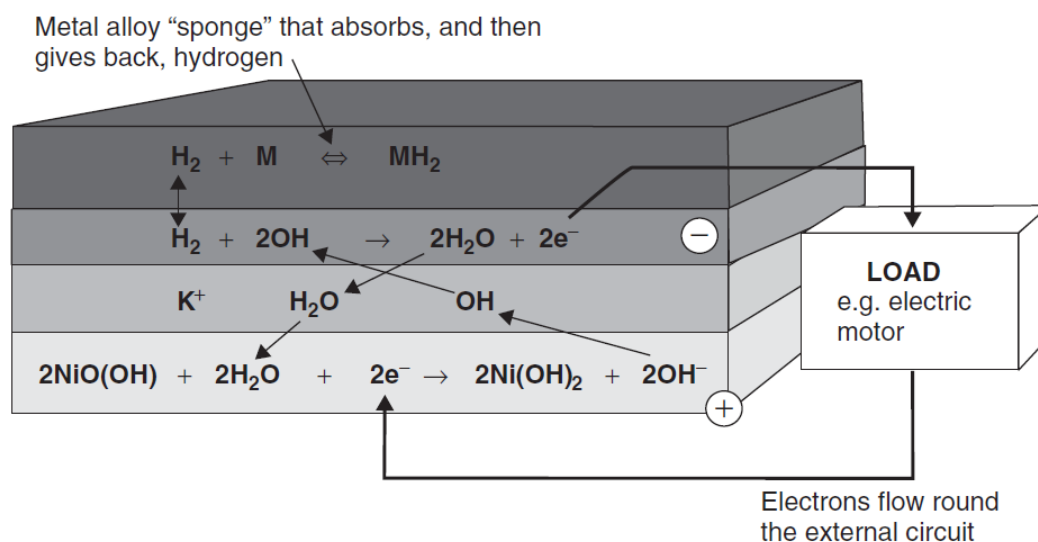
Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών νικελίου-καδμίου [4]

Specific energy	40–55 Wh kg ⁻¹ depending on current
Energy density	70–90 Wh l ⁻¹ depending on current
Specific power	~125 W kg ⁻¹ before becoming very inefficient
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	Good
Internal resistance	Very low, ~0.06 Ω per cell for a 1 Ah cell
Commercially available	Good in smaller sizes, difficult for larger batteries
Operating temperature	–40 to +80 °C
Self-discharge	0.5% per day, very low
Number of life cycles	1200 to 80% capacity
Recharge time	1 h, rapid charge to 60% capacity 20 min

Η μπαταρία NiMH κυκλοφόρησε εμπορικά την τελευταία δεκαετία του εικοστού αιώνα. Έχει παρόμοια απόδοση με την μπαταρία NiCad. Η κύρια διαφορά είναι ότι στη μπαταρία NiMH το αρνητικό ηλεκτρόδιο χρησιμοποιεί υδρογόνο, απορροφημένο σε μεταλλικό υδρίδιο. Συνεπώς η μπαταρία NiMH έχει το σημαντικό πλεονέκτημα να είναι απαλλαγμένη από κάδμιο. Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό αυτού του τύπου μπαταρίας είναι ότι το αρνητικό ηλεκτρόδιο συμπεριφέρεται ακριβώς σαν ένα στοιχείο καυσίμου.

Η αντίδραση στο θετικό ηλεκτρόδιο είναι η ίδια με εκείνη του κυττάρου NiCad. το οξυδροξείδιο του νικελίου γίνεται υδροξείδιο του νικελίου κατά την εκφόρτιση. Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο απελευθερώνεται υδρογόνο από το μέταλλο στο οποίο είχε προσαρτηθεί προσωρινά. Το

υδρογόνο αντιδρά παράγοντας νερό και ηλεκτρόνια. Οι αντιδράσεις σε κάθε ηλεκτρόδιο φαίνονται στο σχήμα 3.7. Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση του υδρογόνου είναι κάποια ειδικά κράματα.



Σχήμα 3.7 Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την εκφόρτιση ενός στοιχείου NiMH. Στην φόρτιση οι αντιδράσεις γίνονται προς την αντίστροφη κατεύθυνση [4].

Η συνολική χημική αντίδραση που συμβαίνει στη μπαταρία NiMH είναι:



Όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα και την πυκνότητα ισχύος, η μπαταρία NiMH είναι κάπως καλύτερη από την μπαταρία NiCad. Οι μπαταρίες NiMH έχουν ονομαστική ειδική ενέργεια περίπου 65Wh/kg, ονομαστική ενεργειακή πυκνότητα 150Wh/l και μέγιστη ειδική ισχύ περίπου 200W/kg. Ο Πίνακας 3.3 περιέχει τα χαρακτηριστικά των μπαταριών NiMH. Η απόδοσή τους είναι παρόμοια με, ή λίγο καλύτερη από αυτήν της NiCad. Η ονομαστική τάση κυψέλης είναι 1,2 V.

Ένας τομέας όπου η NiMH είναι καλύτερη από τη NiCad είναι ότι είναι δυνατή η φόρτισή της πιο γρήγορα. Πράγματι, μπορεί να φορτιστεί τόσο γρήγορα που η ψύξη γίνεται απαραίτητη. Εκτός από τη θερμική

ενέργεια δημιουργείται από την εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας, η αντίδραση στην οποία το υδρογόνο συνδέεται με το μέταλλο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι πολύ έντονα εξώθερμη.

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών NiMH [4]

Specific energy	$\sim 65 \text{ Wh kg}^{-1}$ depending on power
Energy density	$\sim 150 \text{ Wh l}^{-1}$
Specific power	200 W kg^{-1}
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	Quite good
Internal resistance	Very low, $\sim 0.06 \Omega$ per cell for a 1 Ah cell
Commercially available	A good range of small cells, traction batteries difficult to obtain
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	Poor, up to 5% per day
Number of life cycles	~ 1000 to 80% discharge
Recharge time	1 h, rapid charge to 60% capacity 20 min



Εικόνα 3.1 Η μπαταρία NiMH υψηλής ισχύος του Toyota NHW20 Prius [16].

Σε μπαταρίες μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους η ύπαρξη συστήματος ψύξης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων που χρησιμοποιούν μπαταρίες NiMH. Αυτά τα συστήματα διατίθενται στο εμπόριο σε μικρά μεγέθη, αλλά τα συστήματα για μεγαλύτερες μπαταρίες που είναι κατάλληλες για EV τώρα αρχίζουν να εμφανίζονται. Ένα παράδειγμα μιας εμπορικής μπαταρίας NiMH φαίνεται στην εικόνα 3.1.

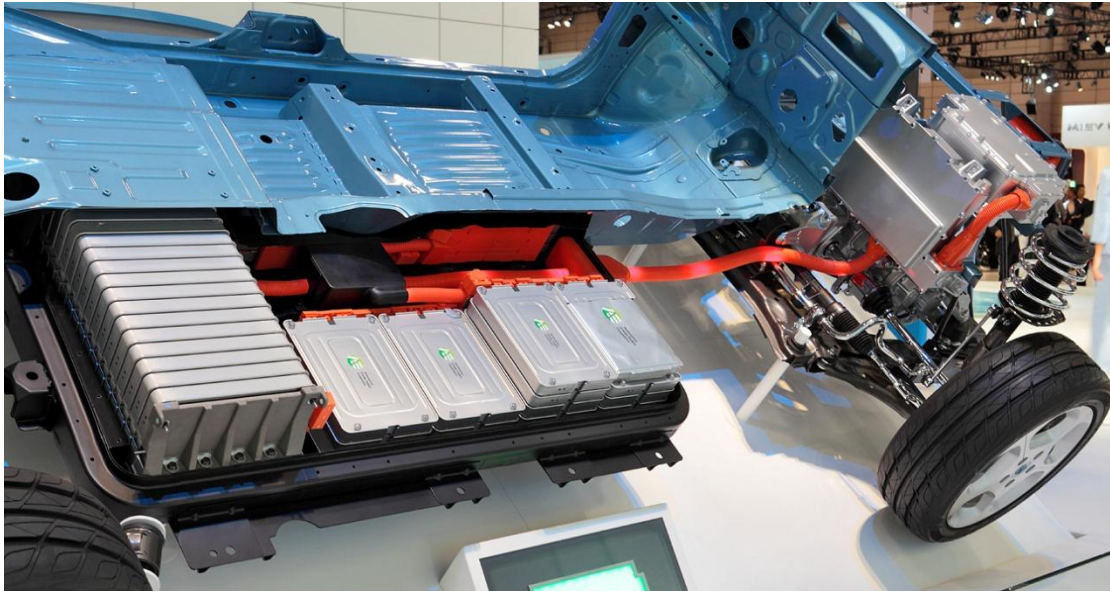
3.5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΛΙΘΙΟΥ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι μια οικογένεια επαναφορτιζόμενων μπαταριών στις οποίες τα ιόντα λιθίου μετακινούνται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο θετικό ηλεκτρόδιο κατά την εκφόρτιση και το αντίστροφο κατά τη φόρτιση. Η χημεία, η απόδοση, το κόστος και η ασφάλεια διαφέρουν στις διάφορες μπαταρίες αυτού του τύπου.

Μια μπαταρία ιόντων λιθίου είναι μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία στην οποία τα ιόντα λιθίου κινούνται μεταξύ της ανόδου και της καθόδου, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Το λίθιο στην άνοδο (που είναι φτιαγμένη από άνθρακα) ιονίζεται και περνάει στον ηλεκτρολύτη. Τα ιόντα λιθίου κινούνται μέσω ενός πορώδους πλαστικού διαχωριστικού προς την κάθοδο. Ταυτόχρονα, τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται από την άνοδο. Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει στο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Κατά τη φόρτιση, τα ιόντα λιθίου πηγαίνουν από την κάθοδο στην άνοδο μέσω του διαχωριστικού. Δεδομένου ότι αυτή είναι μία αναστρέψιμη χημική αντίδραση, η μπαταρία μπορεί να επαναφορτιστεί.

Τα τρία κύρια λειτουργικά συστατικά μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι η άνοδος, η κάθοδος και ο ηλεκτρολύτης. Η άνοδος ενός συμβατικού κυττάρου ιόντων λιθίου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι ένα μεταλλικό οξείδιο και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Το πιο δημοφιλές εμπορικό υλικό ανόδου είναι ο γραφίτης. Η κάθοδος είναι γενικά ένα από τα τρία υλικά: ένα στρώμα οξειδίου (όπως το οξείδιο κοβαλτίου-λιθίου), ένα πολυανιόν (όπως το φωσφορικό σίδηρος-λίθιο) ή ένα spinel (όπως οξείδιο μαγγανίου-λιθίου). Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως ένα μείγμα οργανικών ενώσεων.

Ανάλογα με την επιλογή υλικών, η τάση, η χωρητικότητα, η διάρκεια ζωής και η ασφάλεια μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου μπορεί να αλλάξει δραματικά. Πρόσφατα, χρησιμοποιήθηκαν νέες αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν νανοτεχνολογία για τη βελτίωση της απόδοσης.



Εικόνα 3.2 Η μπαταρία ιόντων λιθίου του Nissan Leaf [17].

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ακριβότερες από τις μπαταρίες NiCad, αλλά λειτουργούν σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασίας με υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας, ενώ είναι μικρότερες και ελαφρύτερες. Χρειάζονται απαραίτητα ένα προστατευτικό κύκλωμα για τον περιορισμό των μέγιστων τάσεων.

Η μπαταρία ιόντων λιθίου (LIB), αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε ηλεκτρονικές συσκευές, είναι πλέον πολύ δημοφιλής για εφαρμογές σε EV. Η έρευνα παρέχει συνεχώς βελτιώσεις στην παραδοσιακή τεχνολογία LIB, με έμφαση στην ενεργειακή πυκνότητα, την ανθεκτικότητα, το κόστος και την ασφάλεια.

Η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται από την παρακάτω χημική αντίδραση όπου παράγεται άνθρακας και ένα οξείδιο λιθίου και ενός μετάλλου:



Τα βασικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας δίνονται στον Πίνακα 3.4. Ένα σημαντικό σημείο για τις LIBs είναι ότι απαιτείται ακριβής έλεγχος της τάσης κατά τη φόρτιση των κυττάρων λιθίου. Εάν είναι ελαφρώς πολύ υψηλή μπορεί να καταστρέψει την μπαταρία. Αν είναι χαμηλή, η μπαταρία δεν θα φορτιστεί επαρκώς. Μαζί με την μπαταρία αναπτύσσονται και οι κατάλληλοι εμπορικοί φορτιστές.

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών ιόντων Λιθίου [4]

Specific energy	140 Wh kg ⁻¹
Energy density	250–620 Wh l ⁻¹
Specific power	300–1500 W kg ⁻¹
Nominal cell voltage	3.5 V
Amphour efficiency	Very good
Internal resistance	Very low
Commercially available	Larger LIBs have become the standard battery for electric road vehicles
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	Very low, ~10% per month
Number of life cycles	>1000
Recharge time	2–3 h, but can be charged to 80% of their capacity in under 1 h

Η LIB έχει σημαντικό πλεονέκτημα βάρους σε σχέση με άλλες μπαταρίες και αυτό την καθιστά μία εξαιρετικά ελκυστική υποψήφια για τα EV. Η ειδική ενέργεια, για παράδειγμα, είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, και θα μπορούσε να δώσει σε ένα αυτοκίνητο μία πολύ λογική αυτονομία. Ωστόσο, οι μεγάλες μπαταρίες μέχρι πρόσφατα ήταν απαγορευτικά ακριβές. Η τιμή έχει πλέον πέσει σε τέτοιο σημείο που να είναι η προτιμώμενη πλέον μπαταρία για τα EV.

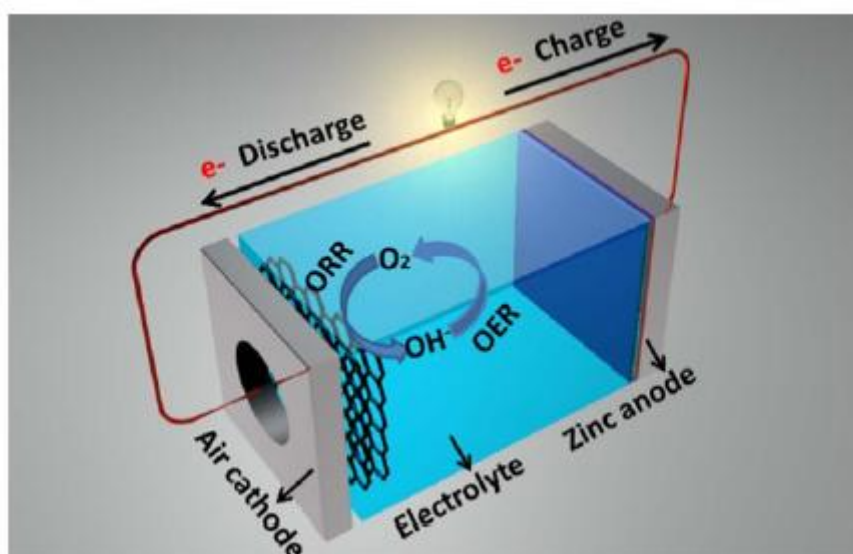
Έχουν δημιουργηθεί μεγάλες εταιρείες και γραμμές παραγωγής και λόγω η μαζική παραγωγή οδηγεί σε ταχεία ανάπτυξη και περαιτέρω μείωση τιμών. Τα περισσότερα σύγχρονα EV, συμπεριλαμβανομένου του Nissan Leaf (εικόνα 3.2), το Mitsubishi MiEV, το Tesla Roadster και το Chevrolet Volt χρησιμοποιούν LIBs. Η μπαταρία στο Leaf έχει χωρητικότητα 24 kWh και η ειδική ενέργεια των κυψελών είναι 140Wh/kg.

3.6 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥ-ΑΕΡΑ

Οι μεταλλικές μπαταρίες αέρα αντιπροσωπεύουν μια εντελώς διαφορετική εξέλιξη, με την έννοια ότι δεν μπορούν να επαναφορτιστούν απλώς αναστρέφοντας το ρεύμα. Αντί αυτού τα χρησιμοποιημένα μεταλλικά ηλεκτρόδια μπορούν να αντικατασταθούν ή να υποστούν επανεπεξεργασία. Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια μπορούν έτσι να θεωρηθούν

ως ένα είδος καυσίμου. Στη συνέχεια, το αναλωμένο καύσιμο αποστέλλεται σε μονάδα επανεπεξεργασίας όπου θα μετατραπεί σε νέο «καύσιμο». Ο ηλεκτρολύτης της μπαταρίας θα πρέπει κανονικά να αντικατασταθεί. Η διαδικασία είναι παρόμοιο με τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα IC που σταματούν περιοδικά για ανεφοδιασμό, με το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι το όχημα θα έχει τα κύρια χαρακτηριστικά ενός EV που είναι αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές.

Οι πιο σημαντικές μπαταρίες μετάλλου-αέρα είναι η μπαταρία αλουμινίου-αέρα και η μπαταρία ψευδαργύρου-αέρα. Η μπαταρία ψευδαργύρου-αέρα είναι παρόμοια σε πολλά χαρακτηριστικά με την μπαταρία αλουμινίου-αέρα αλλά έχει πολύ καλύτερη συνολική απόδοση. Ειδικά η ειδική ισχύς είναι σχεδόν 10 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της μπαταρίας αλουμινίου-αέρα, καθιστώντας την κατάλληλη για χρήση στα ηλεκτρικά οχήματα. Η δομή των μπαταριών μετάλλου-αέρα είναι παρόμοια, με ένα πορώδες θετικό ηλεκτρόδιο στο οποίο αντιδρά το οξυγόνο με τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα υγρό αλκαλικό διάλυμα. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι συμπαγής ψευδάργυρος.



Σχήμα 3.8 Σχηματική αναπαράσταση μιας μπαταρίας ψευδαργύρου-αέρα [18].

Η ενέργεια από την μπαταρία λαμβάνεται από τη χημική αντίδραση ψευδαργύρου με το οξυγόνο του αέρα σχηματίζοντας οξείδιο του ψευδαργύρου. Εναλλακτικά, ανάλογα με την κατάσταση των

ηλεκτροδίων και τον ηλεκτρολύτη, μπορεί να σχηματιστεί υδροξείδιο ψευδαργύρου. Η διαδικασία είναι συνήθως μη αναστρέψιμη.

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μπαταριών ψευδαργύρου-αέρα [4]

Specific energy	230 Wh kg ⁻¹
Energy density	270 Wh l ⁻¹
Specific power	105 W kg ⁻¹
Nominal cell voltage	1.2 V
Amphour efficiency	Not applicable
Internal resistance	Medium
Commercially available	Very few suppliers
Operating temperature	Ambient
Self-discharge	High as electrolyte is left in cell
Number of life cycles	>2000
Recharge time	10 min, while the fuel is replaced

Τα γενικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας δίνονται στον Πίνακα 3.5. Μερικοί κατασκευαστές ισχυρίστηκαν ότι μπορούν να κατασκευάσουν ηλεκτρικά επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα, αλλά ο αριθμός των κύκλων είναι συνήθως αρκετά μικρός. Ο πιο φυσιολογικός τρόπος επαναφόρτισης η αντικατάσταση των αρνητικών ηλεκτροδίων. Ο ηλεκτρολύτης, που περιέχει το οξείδιο του ψευδαργύρου αντικαθίσταται επίσης. Καταρχήν, ο ηλεκτρολύτης θα μπορούσε να μεταφερθεί σε μια κεντρική μονάδα για την ανάκτηση του ψευδαργύρου, αλλά δεν υπάρχουν ακόμα οι κατάλληλες υποδομές.

Μικρές μπαταρίες ψευδαργύρου-αέρα είναι διαθέσιμες για πολλά χρόνια, και η πολύ υψηλή τους πυκνότητα ενέργειας τις καθιστά χρήσιμες σε εφαρμογές όπως ακουστικά βαρηκοΐας. Μεγάλες μπαταρίες, με αντικαταστάσιμα αρνητικά ηλεκτρόδια, διατίθενται μόνο με μεγάλη δυσκολία, αλλά αυτό δείχνει να αλλάζει και οι μπαταρίες αυτές έχουν μια σημαντική δυναμική για το μέλλον. Η αντικατάσταση του «καυσίμου» έχει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς αποφεύγεται η χρήση σημείων επαναφόρτισης. Θα χρειάζονται φορητά που θα μεταφέρουν το αναλωμένο καύσιμο πίσω στο εργοστάσιο επανεπεξεργασίας. Τέλος, η

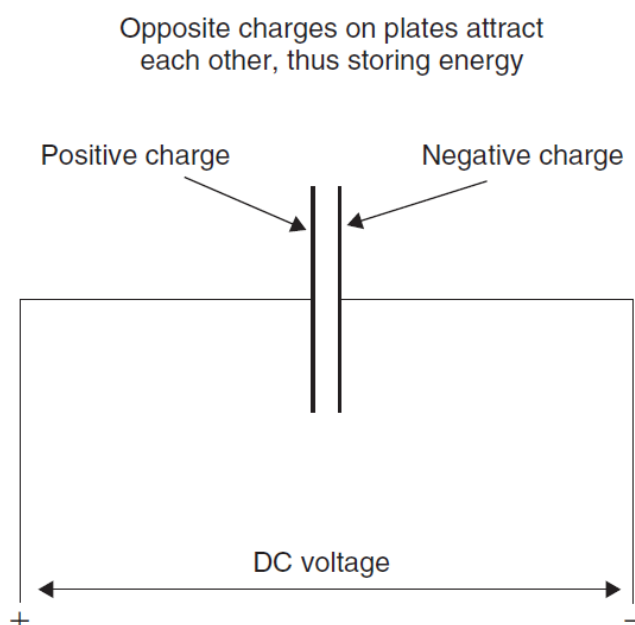
υψηλή ειδική ενέργεια θα επιτρέψει επίσης την διάνυση σημαντικών αποστάσεων μεταξύ των στάσεων.

3.7 ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ ΚΑΙ ΣΦΟΝΔΥΛΟΙ

Οι υπερπυκνωτές είναι μεγάλοι πυκνωτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας. Είναι συσκευές που έχουν υψηλή ειδική ισχύ και χαμηλή ειδική ενέργεια.

Οι πυκνωτές αποτελούνται δύο αγώγιμες πλάκες που χωρίζονται από έναν μονωτή. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 3.12. Μια τάση DC συνδέεται στον πυκνωτή και η μία πλάκα φορτίζεται θετικά και η άλλη αρνητικά. Τα αντίθετα φορτία στις πλάκες έλκονται και έτσι αποθηκεύεται ενέργεια. Το φορτίο Q (Coulomb) που αποθηκεύεται στον πυκνωτή χωρητικότητας C (Farad) όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλακών είναι V (Volt) δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = C \times V \quad (3.8)$$



Σχήμα 3.8 Σχηματική αναπαράσταση ενός πυκνωτή [4].

Όπως και με τους σφόνδylους, οι πυκνωτές μπορούν αποθηκεύσουν σημαντικά ποσά ενέργειας παρά το μικρό τους μέγεθος. Οι μεγάλοι πυκνωτές αποθήκευσης ενέργειας με μεγάλες επιφάνειες πλακών αποκαλούνται «υπερπυκνωτές». Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή δίνεται από την εξίσωση:

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (3.9)$$

Η χωρητικότητα του πυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (3.10)$$

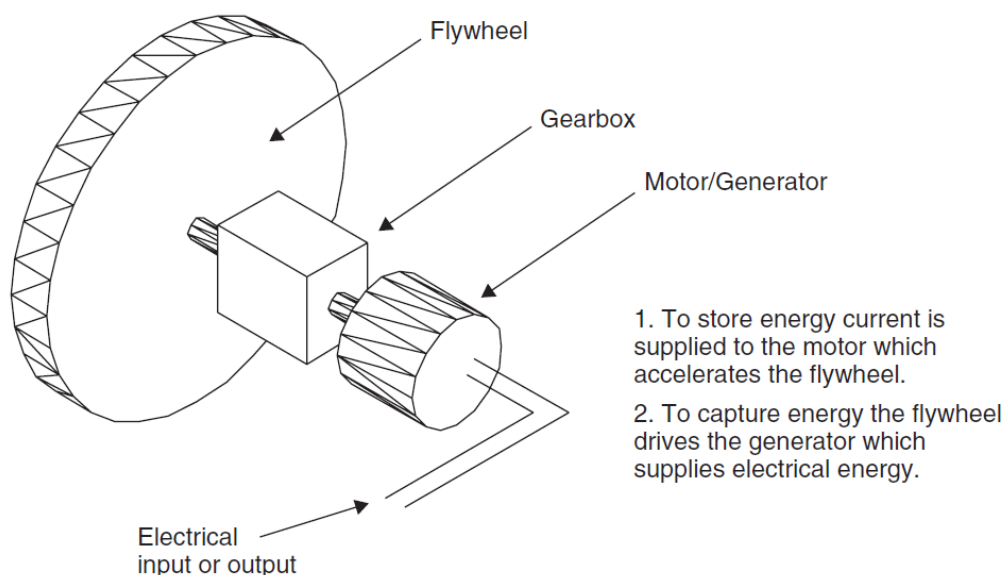
όπου ε είναι διηλεκτρική επιδεκτικότητα του μονωτικού υλικού ανάμεσα στις πλάκες, A είναι το εμβαδόν κάθε πλάκας και d είναι η απόσταση των πλακών.

Για να επιτύχουμε αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας είναι αναγκαίο να συνδέσουμε σε σειρά πολλούς πυκνωτές με συνέπεια την αύξηση του κόστους. Ένα πρόβλημα με τους πυκνωτές είναι ότι η τάση στα άκρα τους δεν μπορεί να έχει μεγάλες τιμές (συνήθως είναι 1-3 Volt). Όταν όμως συνδέουμε πυκνωτές σε σειρά προκύπτει ένα δεύτερο πρόβλημα που έχει να κάνει με την ανεπιθύμητη αυτοεκφόρτιση των πυκνωτών επειδή η μόνωση μεταξύ των πλακών δεν μπορεί να είναι τέλεια.

Τα χαρακτηριστικά των υπερπυκνωτών έχουν ομοιότητες με τους σφονδύλους. Έχουν σχετικά υψηλή ειδική ισχύ και σχετικά χαμηλή ειδική ενέργεια. Αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθεί ως διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας για αναγεννητική πέδηση. Αν και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε ένα όχημα σαν οι βασικές πηγές ενέργειας, είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται σε ένα υβριδικό ως συσκευές για την παροχή και αποθήκευση ενέργειας γρήγορα κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος και της επιτάχυνσης αργότερα. Οι υπερπυκνωτές είναι εγγενώς ασφαλέστεροι από τους σφονδύλους καθώς δεν παρουσιάζουν μηχανικές βλάβες. Απαιτούνται ηλεκτρονικά ισχύος για τη μεταβολή της τάσης όταν απαιτείται. Έχουν κατασκευαστεί αρκετά ενδιαφέροντα

οχήματα με υπερπυκνωτές που παρέχουν σημαντική αποθήκευση ενέργειας.

Οι σφόνδυλοι είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται και αυτές για την αποθήκευση ενέργειας. Ένας επίπεδος δίσκος που περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του είναι ένα παράδειγμα ενός απλού σφονδύλου. Η κινητική ενέργεια του περιστρεφόμενου δίσκου απελευθερώνεται όταν επιβραδύνεται ο σφόνδυλος. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευθεί συνδέοντας μια ηλεκτρική γεννήτρια απευθείας στο δίσκο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9. Ο σφόνδυλος μπορεί να ενεργήσει ως αναγεννητικό φρένο. Εναλλακτικά ο σφόνδυλος μπορεί να συνδεθεί με τους τροχούς του οχήματος μέσω κιβωτίου ταχυτήτων και συμπλέκτη.



Σχήμα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση ενός σφονδύλου για αποθήκευση ενέργειας [4].

Η ολική ενέργεια που αποθηκεύεται στον σφόνδυλο δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3.11)$$

όπου I είναι η ροπή αδράνειας του δίσκου και ω η γωνιακή του ταχύτητα.

Το κύριο πλεονέκτημα των σφονδύλων είναι ότι έχουν υψηλή ειδική ισχύ και είναι σχετικά εύκολη η μεταφορά ενέργειας από και προς τον σφόνδυλο. Είναι επίσης αρκετά απλές και αξιόπιστες μηχανικές διατάξεις. Η ειδική ενέργεια των σφονδύλων είναι περιορισμένη και απίθανο να προσεγγίσουν κάποτε τις τιμές των μπαταριών μολύβδου-οξέος. Έχουν γίνει προσπάθειες για την ενίσχυση της ειδικής ενέργειας χρησιμοποιώντας εξαιρετικά ισχυρά υλικά, τρέχοντας το σφόνδυλο σε αδρανές αέριο ή κενό για τη μείωση των απωλειών τριβής αέρα και τη χρήση μαγνητικών ρουλεμάν.

Εκτός από τη χαμηλή ειδική ενέργεια, υπάρχουν μεγάλες ανησυχίες για την ασφάλεια λόγω του κινδύνου έκρηξης. Σε περίπτωση ρήξης του σφονδύλου, κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος, απελευθερώνεται ενέργεια σχεδόν αμέσως και ο σφόνδυλος ενεργεί σαν βόμβα.

Η απλότητα ενός μικρού σφονδύλου για χρήση σε ένα EV ως αναγεννητικό σύστημα πέδησης δεν πρέπει να παραβλέπεται. Εφόσον ο σφόνδυλος χρησιμοποιείται πολύ κάτω από το σημείο ρήξης, έχει μικρό μέγεθος και είναι καλά προστατευμένος, μπορεί να έχει χρήσιμο ρόλο στο μέλλον των EV, ιδίως στα υβριδικά.

4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν βασικό στοιχείο ενός ηλεκτρικού οχήματος και σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τους κύριους τύπους κινητήρων που χρησιμοποιούνται. Οι απλούστεροι τύποι κινητήρων DC μπορούν να λειτουργήσουν με σχεδόν καθόλου ηλεκτρονικό έλεγχο. Οι πιο προηγμένες ηλεκτρικές μηχανές χρειάζονται και σύνθετους ελεγκτές. Οι σημαντικότεροι τύποι αυτών των πιο εξελιγμένων κινητήρων είναι ο «κινητήρας διακοπτικής διέγερσης» (SRM), ο κινητήρας «χωρίς ψήκτρες» και ο δοκιμασμένος επαγωγικός κινητήρας. Όταν πρόκειται να επιλεγεί ο κινητήρας πρέπει να εξεταστούν διάφορες πτυχές, όπως ψύξη, αποτελεσματικότητα, μέγεθος και μάζα. Τέλος, στην περίπτωση των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων πρέπει να εξεταστούν κάποιοι ειδικοί παράγοντες.

4.2 Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΨΥΚΤΡΕΣ

Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τύπων ηλεκτρικών κινητήρων. Ωστόσο, η απλούστερη μορφή ηλεκτρικού κινητήρα, τουλάχιστον για την εύκολη κατανόηση της λειτουργίας του, είναι ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψύκτρες (Brushed DC electric motor). Αυτός ο τύπος κινητήρα χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές όπως φορητά εργαλεία, παιχνίδια, ηλεκτρικά παράθυρα σε αυτοκίνητα και μικρές οικιακές συσκευές όπως ο στεγνωτήρας μαλλιών, ακόμη και αν τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ωστόσο, χρησιμοποιείται ακόμη ως ένας κινητήρας έλξης σε ηλεκτρικά οχήματα, αν και οι άλλοι τύποι κινητήρων που εξετάζονται στις επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου συναντώνται πιο συχνά σε

ηλεκτρικά οχήματα. Ο κινητήρας DC με ψύκτρες είναι μια καλή αρχή γιατί, καθώς χρησιμοποιείται ευρέως, τα περισσότερα από τα σημαντικά ζητήματα ελέγχου στον ηλεκτροκινητήρα μπορούν να εξηγηθούν ευκολότερα με αναφορά σε αυτόν τον τύπο κινητήρα.

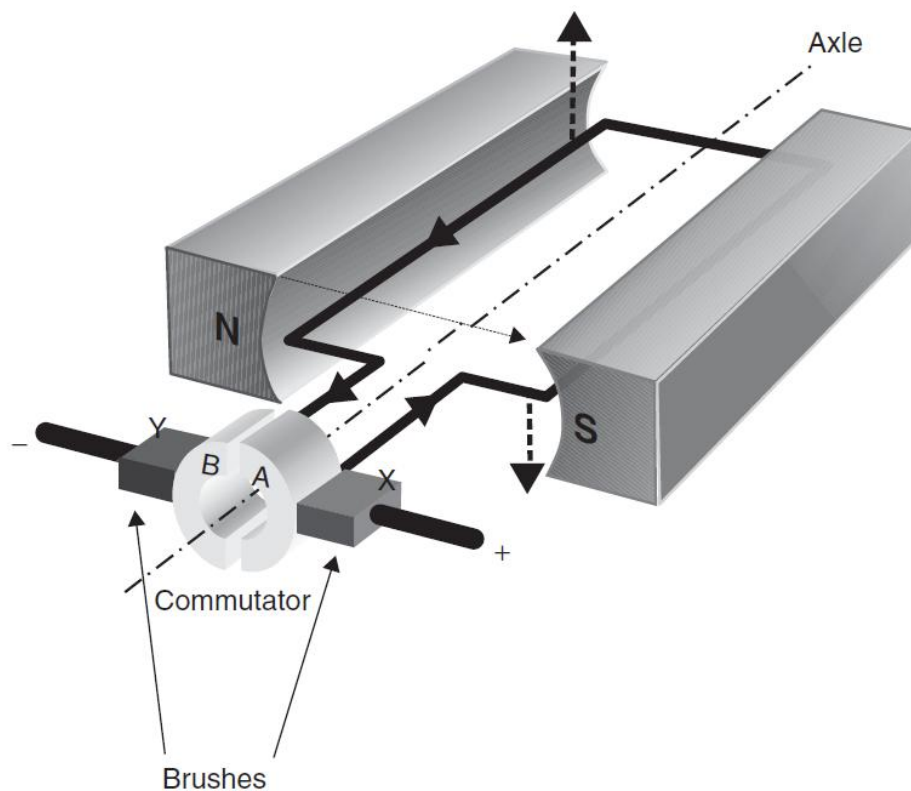
Ο κλασικός ηλεκτρικός κινητήρας DC φαίνεται στο σχήμα 4.1. Είναι ένας κινητήρας DC, εξοπλισμένος με μόνιμους μαγνήτες και ψύκτρες. Αυτός ο απλοποιημένος κινητήρας έχει ένα πηνίο και το ρεύμα που διέρχεται από το σύρμα κοντά στον μαγνήτη προκαλεί μια δύναμη στο πηνίο. Το ρεύμα ρέει μέσω της ψύκτρας X, του μισού δακτυλίου A, γύρω από το πηνίο, και προς τα έξω από τον άλλο μισό δακτύλιο B και την ψύκτρα Y (XABY). Από τη μία πλευρά (όπως φαίνεται στο σχήμα) η δύναμη είναι προς τα πάνω, και από την άλλη είναι προς τα κάτω, επειδή το ρεύμα ρέει πίσω προς τις ψύκτρες και τον μεταγωγέα. Οι δύο δυνάμεις προκαλούν την περιστροφή του πηνίου. Το πηνίο περιστρέφεται με τον μεταγωγέα έως ότου οι μισοί δακτύλιοι του μετατροπέα συνδεθούν με τις ψύκτρες ξανά. Όταν συμβαίνει αυτό, το ρεύμα ρέει προς την ίδια κατεύθυνση σε σχέση με τους μαγνήτες, και συνεπώς οι δυνάμεις είναι προς την ίδια κατεύθυνση και συνεχίζουν να περιστρέφουν τον κινητήρα όπως και πριν. Ωστόσο, το ρεύμα θα ρέει τώρα στην αντίθετη κατεύθυνση μέσω του πηνίου (XBAY).

Η δράση του μετατροπέα εξασφαλίζει ότι το ρεύμα στο πηνίο αλλάζει συνεχώς κατεύθυνση, έτσι ώστε η δύναμη να είναι στην ίδια κατεύθυνση, παρόλο που το πηνίο έχει κινηθεί.

Σαφώς, σε έναν πραγματικό κινητήρα DC υπάρχουν πολλές βελτιώσεις σχετικά με τη διάταξη του σχήματος 4.1. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι εξής:

- Το περιστρεφόμενο πηνίο, που συχνά ονομάζεται οπλισμός (armature), τυλίγεται γύρω από ένα κομμάτι σιδήρου, έτσι ώστε το μαγνητικό πεδίο των μαγνητών δεν χρειάζεται να διασχίσει ένα μεγάλο κενό από αέρα, το οποίο θα εξασθενούσε το μαγνητικό πεδίο.
- Χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα πηνία, έτσι ώστε το καλώδιο μεταφοράς ρεύματος να βρίσκεται κοντά στους μαγνήτες για μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι ο μετατροπέας δεν αποτελείται από δύο μισούς δακτυλίους (όπως στο σχήμα 4.1) αλλά από αρκετά τμήματα, δύο τμήματα για κάθε πηνίο.

- Κάθε πηνίο αποτελείται από πολλά τυλίγματα, έτσι ώστε να αυξάνεται η δύναμη και η ροπή.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα ζεύγη μαγνητών, για να αυξηθεί περαιτέρω η δύναμη περιστροφής.



Σχήμα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος με μόνιμο μαγνήτη [4].

Οι ψύκτρες του κλασικού ηλεκτροκινητήρα DC είναι ένα προφανές πρόβλημα. Θα υπάρξει τριβή μεταξύ των ψυκτρών και του μετατροπέα, και τα δύο σταδιακά θα φθαρούν. Ωστόσο, ένα πιο σοβαρό πρόβλημα με αυτόν τον τύπο κινητήρα είναι ότι η θερμότητα που σχετίζεται με τις απώλειες δημιουργείται στη μέση του κινητήρα, στο ρότορα. Εάν ο κινητήρας θα μπορούσε να είναι τόσο διευθετημένος ώστε η θερμότητα να ήταν

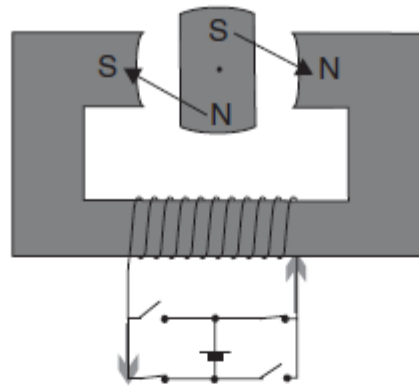
που παράγεται στον εξωτερικό στάτορα, που θα επέτρεπε την απομάκρυνση της θερμότητας πολύ πιο εύκολα, και επιτρέψτε μικρότερους κινητήρες. Εάν οι ψύκτρες μπορούσαν να απορριφθούν επίσης, τότε αυτό θα ήταν ένα πλεονέκτημα. Σε αυτήν την ενότητα περιγράφουμε τρεις τύπους κινητήρων που χρησιμοποιούνται ως κινητήρες έλξης σε οχήματα που πληρούν αυτές τις απαιτήσεις.

Ένα από τα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας ηλεκτροκινητήρων είναι ότι δεν υπάρχει σαφής νικητής. Και ο κινητήρας που ήδη περιγράψαμε αλλά και οι τρεις κινητήρες που περιγράφονται στις επόμενες ενότητες χρησιμοποιούνται στα τρέχοντα σχέδια ηλεκτρικών οχημάτων.

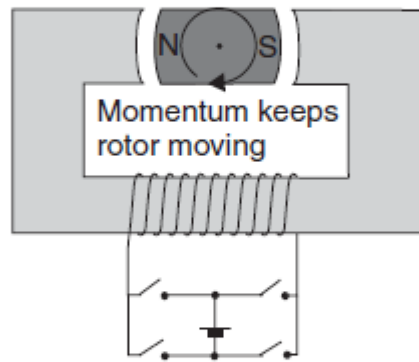
4.3 Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΨΥΚΤΡΕΣ

Ο κινητήρας DC χωρίς ψήκτρες (BLDC) είναι πραγματικά ένας κινητήρας AC. Το ρεύμα μέσω αυτού εναλλάσσεται, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Ονομάζεται «κινητήρας DC χωρίς ψήκτρες» επειδή το εναλλασσόμενο ρεύμα πρέπει να είναι μεταβλητής συχνότητα και επειδή η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας του είναι πολύ παρόμοια αυτή του συνηθισμένου κινητήρα DC με ψύκτρες.

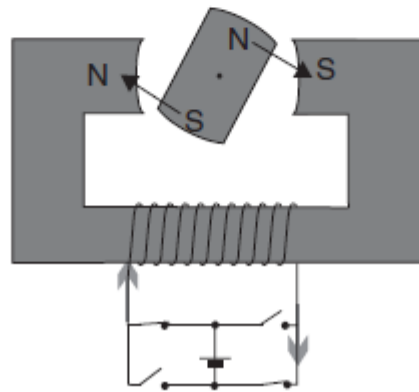
Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα BLDC φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Ο ρότορας αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη. Στο σχήμα 4.2a το ρεύμα ρέει προς την κατεύθυνση που μαγνητίζεται ο στάτης και ο ρότορας περιστρέφεται σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού. Στο σχήμα 4.2b ο ρότορας περνάει ανάμεσα στους πόλους του στάτη και το ρεύμα του στάτη μηδενίζεται. Στο σχήμα 4.2c το πηνίο του στάτη ενεργοποιείται ξανά, αλλά το ρεύμα και συνεπώς και το μαγνητικό πεδίο αντιστρέφεται. Έτσι ο ρότορας στρέφεται σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού και η διαδικασία συνεχίζεται, με το ρεύμα στο πηνίο του στάτη να εναλλάσσεται.



(a)



(b)



(c)

Σχήμα 4.2 Η αρχή λειτουργίας του DC κινητήρα χωρίς ψύκτρες [4].

Ένα χαρακτηριστικό αυτών των κινητήρων BLDC είναι ότι η ροπή μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα. Ο περιστρεφόμενος μαγνήτης θα δημιουργήσει μία αντί-ΗΕΔ στο πηνίο που πλησιάζει. Αυτή η αντί-ΗΕΔ θα είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής και θα μειώσει το ρεύμα που ρέει στο πηνίο. Εξαιτίας της μείωσης του ρεύματος θα μειωθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου, και συνεπώς η ροπή. Τελικά το μέγεθος

της επαγόμενης αντί-ΗΕΔ θα εξισωθεί με την τάση τροφοδοσίας και σε αυτό το σημείο θα έχει επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα. Αυτή η συμπεριφορά είναι ακριβώς η ίδια με τον κινητήρα DC με ψύκτρες της ενότητας 4.2.

Πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι αυτός ο τύπος κινητήρα μπορεί πολύ απλά να χρησιμοποιηθεί ως γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας και για αναγεννητική ή δυναμική πέδηση.

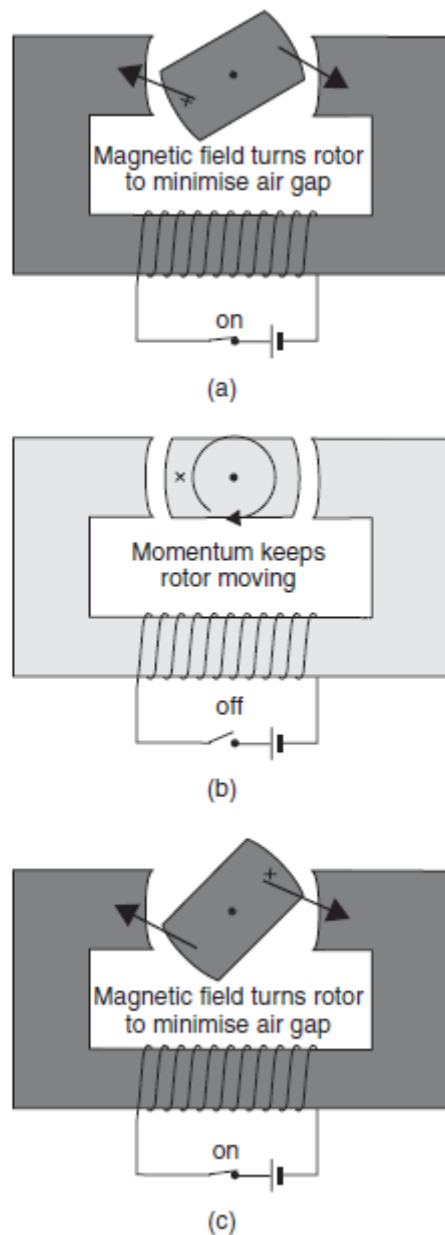
Αν και το ρεύμα μέσω των πηνίων κινητήρα εναλλάσσεται, πρέπει να υπάρχει παροχή DC. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αυτοί οι κινητήρες ταξινομούνται γενικά ως κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε εξοπλισμό υπολογιστών για την κίνηση των κινούμενων μερών των δίσκων αποθήκευσης και των ανεμιστήρων.

Οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη που είναι ένας τύπος κινητήρα BLDC χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε ηλεκτρικά οχήματα. Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά δίνουν τη δυνατότητα συνεχούς μεταβολής της συχνότητας τροφοδοσίας έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα και συνεπώς της ταχύτητας του οχήματος. Οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη είναι πολύ αποδοτικοί και τείνουν να αντικαταστήσουν τους επαγωγικούς κινητήρες σε πολλές εφαρμογές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν υψηλότερο λόγο ροπής προς όγκο σε σύγκριση με τους επαγωγικούς κινητήρες. Επίσης, η μείωση του κόστους κατασκευής των μόνιμων μαγνητών καθιστά ελκυστικούς τους κινητήρες μόνιμων μαγνητών.

4.4 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Ο κινητήρας διακοπτικής διέγερσης (switched reluctance motor, SRM) είναι αρκετά απλός στη λειτουργία του. Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Στο Σχήμα 4.3a ο σιδερένιος στάτης και ο ρότορας μαγνητίζονται από ένα ρεύμα που διαρρέει το πηνίο στον στάτη. Επειδή ο ρότορας δεν ευθυγραμμίζεται με το μαγνητικό πεδίο θα δημιουργηθεί ροπή. Στο σχήμα 4.3b, ο ρότορας ευθυγραμμίζεται με τον στάτη και το ρεύμα είναι μηδέν. Στη συνέχεια, η ορμή του κάνει τον ρότορα να στραφεί κατά το ένα τέταρτο του κύκλου, στη θέση του

σχήματος 4.3c. Εδώ εφαρμόζεται ξανά το μαγνητικό πεδίο, προς την ίδια κατεύθυνση με πριν και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.



Σχήμα 4.3 Η αρχή λειτουργίας του κινητήρα διακοπτικής διέγερσης [4].

Στον SRM, ο ρότορας είναι απλά ένα κομμάτι μαλακού σιδήρου. Επίσης, το ρεύμα στο πηνίο δεν χρειάζεται να εναλλάσσεται. Ουσιαστικά λοιπόν, πρόκειται για έναν πολύ απλό και χαμηλού κόστους κινητήρα. Η ταχύτητα μπορεί να ελεγχθεί εύκολα. Επίσης, επειδή ο ρότορας δεν είναι μόνιμος μαγνήτης, δεν δημιουργείται αντί-ΗΕΔ όπως

στον κινητήρα BLDC, πράγμα που σημαίνει ότι είναι δυνατές και υψηλότερες ταχύτητες.

Η κύρια δυσκολία με τον SRM είναι ότι ο χρόνος ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του ρεύματος του στάτη πρέπει να ελέγχονται πολύ πιο προσεκτικά. Για παράδειγμα, εάν ο ρότορας είναι σε γωνία 90° και το πηνίο είναι μαγνητισμένο, δεν θα δημιουργηθεί ροπή, γιατί το πεδίο θα είναι συμμετρικό. Έτσι, η ροπή είναι πολύ πιο μεταβλητή, και για αυτό οι πρώτοι SRM είχαν τη φήμη ότι είναι θορυβώδεις.

4.5 ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ο επαγωγικός κινητήρας χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές μηχανές όλων των τύπων. Η τεχνολογία του είναι πολύ ώριμη. Οι επαγωγικοί κινητήρες απαιτούν τροφοδοσία AC, κάτι που μπορεί να τους κάνει να φαίνονται ακατάλληλοι για πηγή DC, όπως μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου. Ωστόσο, το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας έναν inverter και στην πραγματικότητα ο inverter που απαιτείται για την παραγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος για έναν επαγωγικό κινητήρα δεν είναι ούτε πιο περίπλοκος ούτε πιο ακριβός από τα κυκλώματα που απαιτούνται για την οδήγηση των κινητήρων BLDC ή των SRM. Έτσι, αυτοί οι ευρέως διαθέσιμοι και πολύ αξιόπιστοι κινητήρες είναι κατάλληλοι για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα.

Η μέγιστη ροπή εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο μεταξύ του ρότορα και των πηνίων στον στάτη. Αυτό εξαρτάται από το ρεύμα των πηνίων. Ένα πρόβλημα είναι ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα, το ρεύμα μειώνεται, εάν η τάση είναι σταθερή, λόγω των πηνίων που έχουν σύνθετη αντίσταση ανάλογη με τη συχνότητα. Το αποτέλεσμα είναι ότι, εάν ο inverter τροφοδοτείται από σταθερή τάση, η μέγιστη ροπή είναι αντιστρόφως ανάλογη της ταχύτητας. Αυτό συμβαίνει με το στοιχείο καυσίμου ή με τη μπαταρία.

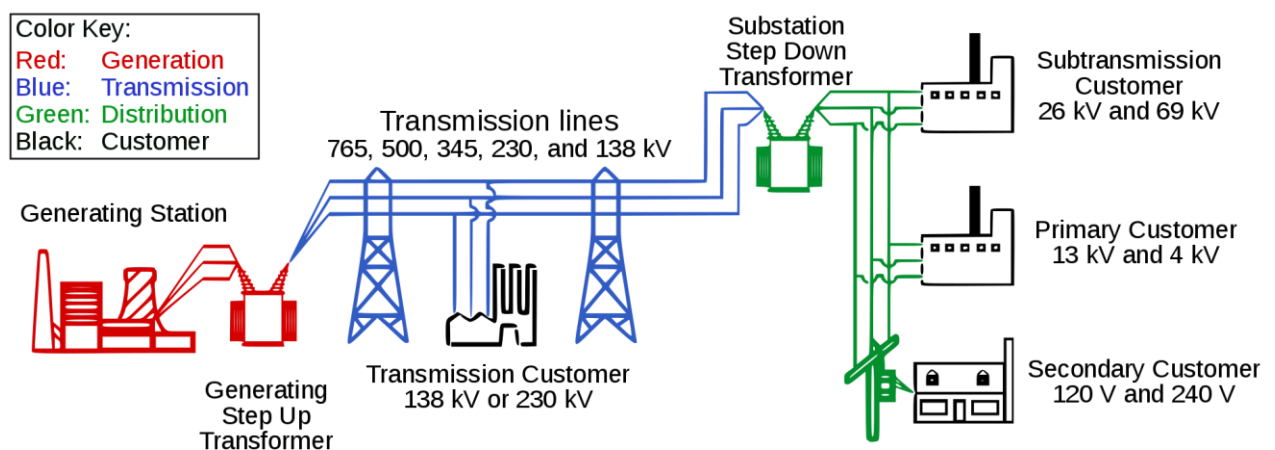
Οι επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως. Λόγω της μαζικής παραγωγής οι τιμές είναι πολύ λογικές. Έχει γίνει πολλή έρευνα σχετικά με την ανάπτυξη των καλύτερων κατά το δυνατόν υλικών. Οι επαγωγικοί κινητήρες ανήκουν στις αξιόπιστες και πολύ ανεπτυγμένες τεχνολογίες.

Ωστόσο, το γεγονός ότι πρέπει να δημιουργηθεί ρεύμα με επαγωγή στον ρότορα αυξάνει τις απώλειες, με αποτέλεσμα οι επαγωγικοί κινητήρες να τείνουν να είναι λίγο (1 ή 2%) λιγότερο αποδοτικοί από τους άλλους τύπους χωρίς ψήκτρες.

5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

5.1 ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Μια τυπική διαδρομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας απεικονίζεται στο σχήμα 5.1. Στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται εναλλασσόμενο ρεύμα. Στη συνέχεια η τάση του αυξάνεται από έναν μετασχηματιστή και στη συνέχεια μεταδίδεται από γραμμές μεταφοράς AC υψηλής τάσης. Όταν πλησιάζει τον προορισμό του η τάση μειώνεται ξανά και φτάνει στον τελικό χρήστη. Η απόδοση της μετάδοσης και της διανομής ποικίλλει από τόπο σε τόπο και από χώρα σε χώρα. Κανονικά η απόδοση της μετάδοσης, που ορίζεται από το πηλίκο της ισχύος που φτάνει στον καταναλωτή προς την ισχύ που τροφοδοτείται στο δίκτυο, είναι μεγαλύτερη από 0,9. Οι τυπικές απώλειες στις ΗΠΑ πιστεύεται ότι είναι 6-8%.



Σχήμα 5.1 Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [10].

Η μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή απόδοση και χαμηλές απώλειες είναι δυνατή με τη χρήση γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης, με τάσεις έως 150.000 V. Οι απώλειες ενέργειας μπορούν να διατηρηθούν πολύ χαμηλές, της τάξης του 3% ανά 1000 km.



Εικόνα 5.1 Γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης σε ένα υπερπλέγμα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [11].

Οι γραμμές μετάδοσης υψηλής τάσης επιτρέπουν τη δημιουργία υπερπλεγμάτων στα οποία η ενέργεια μπορεί να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτές οι υπεργραμμές μεταφοράς προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα για εναλλακτική χρήση ενέργειας. Για παράδειγμα επιτρέπουν τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε από μετατροπή ηλιακής ενέργειας στη Βόρεια Αφρική, με χαμηλές απώλειες στη Βρετανία ή τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την αιολική ενέργεια σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό. Μια γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης που χρησιμοποιείται ως μέρος ενός τέτοιου υπερπλέγματος απεικονίζεται στην εικόνα 6.1.

Τον Ιανουάριο του 2009, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιδότησε με 300 εκατομμύρια ευρώ την ανάπτυξη συνδέσεων DC υψηλής τάσης μεταξύ Ιρλανδίας, Βρετανίας, Ολλανδίας, Γερμανίας, Δανίας και Σουηδίας, ως μέρος ενός ευρύτερου πακέτου στήριξης 1,2 δισεκατομμυρίων ευρώ σε υπεράκτια αιολικά πάρκα και διασυνοριακές διασυνδέσεις σε όλη την Ευρώπη. Εν τω μεταξύ η πρόσφατα ιδρυμένη Ένωση της Μεσογείου έχει υιοθετήσει ένα Μεσογειακό Ηλιακό Σχέδιο με σκοπό την εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας στην Ευρώπη από τη Βόρεια Αφρική και τη Μέση Ανατολή.

4.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Μόλις η ηλεκτρική ενέργεια μεταφερθεί στο σημείο χρήσης, πρέπει να παρέχεται στα EV που θα τη χρησιμοποιήσουν. Τα περισσότερα κτίρια στον ανεπτυγμένο κόσμο διαθέτουν ηλεκτρικές πρίζες οι οποίες συνήθως παρέχουν έως και 3 kW ισχύος και ως εκ τούτου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα EV μπορούν να φορτίζονται όλη τη νύχτα και να είναι έτοιμα για την επόμενη μέρα ή μπορούν να φορτίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν είναι σταθμευμένα και ο ιδιοκτήτης τους βρίσκεται στην εργασία του. Για πιο γρήγορη φόρτιση, πρέπει να είναι διαθέσιμες πρίζες που μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες ισχύος σε συνδυασμό βέβαια με την κατάλληλη καλωδίωση.

Το Nissan Leaf, για παράδειγμα, έχει μπαταρία χωρητικότητας 24 kWh και εάν πρόκειται να επαναφορτίσουμε το 80% της χωρητικότητάς του σε 48 λεπτά τότε θα πρέπει να είναι διαθέσιμα στην πρίζα 24kW ισχύος. Για φόρτιση στο σπίτι θα πρέπει να εγκατασταθούν τέτοιες πρίζες. Για φόρτιση στην εργασία θα πρέπει οι πρίζες να είναι διαθέσιμες στο χώρο στάθμευσης της εργασίας, σε δημόσιους χώρους στάθμευσης ή ακόμα και σε σημεία στάθμευσης στο δρόμο.

Τα επαγωγικά σημεία φόρτισης είναι μια άλλη επιλογή και αυτά επίσης πρέπει να συνδεθούν στα σημεία στάθμευσης των οχημάτων. Τα πρατήρια καυσίμων είναι χώροι στα οποία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σημεία φόρτισης. Είναι σίγουρα νωρίς για να

προβλέψουμε ένα μοτίβο ζήτησης και να φτιάξουμε τα αντίστοιχα μοντέλα. Πάντως δεν είναι παράλογο να εξετάσουμε την περίπτωση π.χ. 100 αυτοκινήτων που χρειάζονται συγχρόνως γρήγορη φόρτιση. Θα πρέπει να είναι διαθέσιμα 100 σημεία φόρτισης που καθένα θα παρέχει 24kW. Η συνολική απαιτούμενη ισχύς είναι 2,4MW. Είναι σαφές ότι πρέπει να γίνει σημαντικός σχεδιασμός για τις απαραίτητες υποδομές εάν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα γίνουν πάρα πολλά..

5.3 ΡΑΓΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ηλεκτρικές αμαξοστοιχίες συνήθως λαμβάνουν ισχύ από σιδηροτροχιές τροφοδοσίας ή εναέριες γραμμές τροφοδοσίας. Μπορεί να είναι γραμμές DC ή AC. Για παράδειγμα, τα τρένα του μετρό του Λονδίνου κινούνται σε DC ράγες τροφοδοσίας. Η τροφοδοσία AC μπορεί να είναι μονοφασική ή πολυφασική. Η αμαξοστοιχία λαμβάνει ηλεκτρικό ρεύμα από ράγα ή μονωμένο σύρμα. Το ρεύμα συλλέγεται από χαλύβδινα πέλματα που είναι σε επαφή με τη ράγα τροφοδοσίας. Τα πέλματα που συνδέονται με το τρένο κινούνται καθώς κινείται το τρένο.

Εναλλακτικά, το ρεύμα μπορεί να συλλεχθεί από εναέριες γραμμές. Οι ράγες τροφοδοσίας χρησιμοποιούν συνήθως συνεχές ρεύμα. Υπάρχει δυνατότητα επιλογής μεταξύ της χρήσης ενός τρισδιάστατου ή ενός συστήματος τεσσάρων σιδηροτροχιών. Στο σύστημα τριών σιδηροτροχιών η ράγα λειτουργεί με αρκετές εκατοντάδες βολτ και το ρεύμα επιστρέφει μέσω των κανονικών σιδηροτροχιών. Στο σύστημα τεσσάρων σιδηροτροχιών όπως χρησιμοποιείται στο London Underground το ρεύμα επιστρέφεται μέσω της τέταρτης ράγας. Οι πιο κοινές τάσεις DC είναι 600 και 750V για τραμ και υπόγεια τρένα μετρό.

5.4 ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε ηλεκτρικά οδικά οχήματα είναι μια ιδέα που δεν έχει διερευνηθεί σε βάθος. Κάποια δουλειά έχει γίνει

πάνω στην επαγωγική μεταφορά ισχύος (Inductive power transfer, IPT) για οχήματα εν κινήσει και είναι μια ιδέα που θα μπορούσε να αναπτυχθεί. Η ιδέα της χρήσης επαγωγικής ισχύος για τροφοδοσία οχημάτων εν κινήσει εφευρέθηκε από τον N. Tesla (αριθμός ευρεσιτεχνίας 514972, ημερομηνία κατάθεσης 2 Ιανουαρίου 1892, ημερομηνία έκδοσης 20 Φεβρουαρίου 1894). Ένα ενημερωμένο σύστημα σχεδιάστηκε από το Πανεπιστήμιο του Ώκλαντ της Νέας Ζηλανδίας και η ανάπτυξη ενός προϊόντος IPT για εμπορικούς σκοπούς διενεργείται από μια εταιρεία που ονομάζεται Wampfler Ltd, η οποία κατέχει και το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.

Το IPT είναι ένα σύστημα ανεφοδιασμού χωρίς επαφή που θα επιτρέπει την ασφαλή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε οχήματα χωρίς μηχανική επαφή. Το IPT λειτουργεί με την ίδια αρχή όπως και ένας μετασχηματιστής. Σε έναν κανονικό μετασχηματιστή το κενό αέρα μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι πολύ μικρό και η συχνότητα είναι χαμηλή, 50/60 Hz. Στο IPT το διάκενο αέρα είναι μεγάλο αλλά η συχνότητα λειτουργίας είναι αυξημένη στα 15.000 Hz για αντιστάθμιση. Μπορούν επίσης να λειτουργούν πολλαπλά φορτία την ίδια στιγμή. Η τροφοδοσία της γραμμής παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας στο καλώδιο γραμμής. Η παραλαβή (pickup) έχει ειδικό σχήμα ώστε να εκμεταλλεύεται με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται. Το μαγνητικό πεδίο εναλλασσόμενου ρεύματος παράγει ηλεκτρική ενέργεια στο πηνίο συλλογής η οποία μετατρέπεται σε ισχύ DC. Εάν απαιτείται το συνεχές ρεύμα μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα σε επιλεγμένη συχνότητα χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα.

Το IPT μπορεί να χρησιμοποιείται συνεχώς για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος μιας προκαθορισμένης γραμμής σε οχήματα μεταφοράς όπως μονοτρόχιες ράγες, δίδυμες ράγες ή ανελκυστήρες.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος IPT είναι:

- Απόδοση: Η τροφοδοσία τροχιάς και η παραλαβή του οχήματος λειτουργούν με απόδοση έως 96%. Και τα δύο συστήματα είναι συντονισμένα έτσι ώστε οι απώλειες και οι αρμονικές να ελαχιστοποιούνται.
- Ισχύς: Μπορεί να μεταφερθούν μεγάλες ποσότητες ισχύος. Τα εύρος ισχύος μπορεί να είναι 30–1000kW.

- Μεγάλο διάκενο αέρα: Η ισχύς μπορεί να μεταφερθεί σε κενά αέρα 100 mm και άνω.
- Πολλαπλά ανεξάρτητα φορτία: Χρησιμοποιώντας έξυπνο έλεγχο, μπορεί να επιτευχθεί η ανεξάρτητη λειτουργία οποιουδήποτε αριθμού αυτοκινήτων ταυτόχρονα σε ένα σύστημα.
- Μεγάλο μήκος ράγας: Το IPT λειτουργεί με μήκος κάθε τμήματος έως και αρκετά χιλιόμετρα. Για ακόμη μεγαλύτερα συστήματα μπορούν να ενωθούν αρκετά τμήματα.
- Συντήρηση: Η απουσία κινούμενων μερών εξασφαλίζει ότι το σύστημα IPT είναι ουσιαστικά χωρίς συντήρηση.
- Μεταφορά δεδομένων: Η μεταφορά σήματος και δεδομένων είναι δυνατή με IPT με ελάχιστο επιπλέον εξοπλισμό. Επί του παρόντος αναπτύσσεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα ισχύος και δεδομένων.
- Ταχύτητα: Με το IPT η ταχύτητα λειτουργίας είναι απεριόριστη.
- Ασφάλεια: Όλα τα εξαρτήματα είναι πλήρως κλειστά και μονωμένα.
- Ευαίσθητα περιβάλλοντα: Το γεγονός ότι δεν δημιουργείται σκόνη άνθρακα, άλλη φθορά ή σπινθήρες καθιστά το IPT κατάλληλο για ευαίσθητα ή επικίνδυνα περιβάλλοντα.



Εικόνα 5.2 Σύστημα μιας τροχιάς με επαγωγική τροφοδοσία [4].

Ένα παράδειγμα ενός συστήματος μιας τροχιάς με επαγωγική ισχύ φαίνεται στην εικόνα 5.2. Η εταιρεία, Wampfler, έχει δημιουργήσει ένα δοκιμαστικό σύστημα στην έδρα της στο Weil am Rhein στη Γερμανία. Μέχρι σήμερα, το σύστημα αυτό είναι το μεγαλύτερο κατασκευασμένο σύστημα IPT, με συνολική χωρητικότητα 150kW και μήκος διαδρομής περίπου 400 m. Η ισχύς μεταφέρεται σε συνολικά έξι παραλαβές, καθεμία σε ένα δοκιμαστικό όχημα ισχύος 25kW.

Το σύστημα IPT θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για λεωφορεία και αυτοκίνητα. Στο μέλλον πολλές άλλες περιοχές εφαρμογής μπορούν να καλυφθούν χρησιμοποιώντας IPT, συμπεριλαμβανομένων των τραμ και των υπόγειων τρένων. Το σύστημα IPT μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε υβριδικά οχήματα. Η χρήση των EV που παίρνουν ρεύμα από ράγες τροφοδοσίας εντός πόλεων ή στους αυτοκινητοδρόμους, θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στις ηλεκτρικές μεταφορές.

5.5 ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Ένας τρόπος φόρτισης των μπαταριών EV είναι η αντικατάσταση της άδειας μπαταρίας με μία γεμάτη και η φόρτιση της άδειας μπαταρίας εκτός του οχήματος. Οι μπαταρίες θα μπορούσαν να αποθηκευτούν και να φορτιστούν σε μια αποθήκη, για παράδειγμα όταν περιμένουν να τοποθετηθούν σε ένα όχημα. Η Δανία έχει κατασκευάσει έναν σταθμό ανταλλαγής μπαταριών στον οποίο μπαταρίες ιόντων λιθίου που ζυγίζουν περίπου 250 κιλά μπορούν να αντικατασταθούν σε ειδικά σχεδιασμένα αυτοκίνητα σε περίπου 5 λεπτά. Ένα άλλο σύστημα ανταλλαγής μπαταριών δοκιμάζεται στην Ιαπωνία για χρήση σε ηλεκτρικά ταξί. Η εφοδιαστική του σχεδίου είναι ελαφρώς περίπλοκη και ίσως είναι πιο κατάλληλη στα ταξί όπου μπορεί να προβλεφθεί ο αριθμός και τα μοτίβα χρήσης. Μπορεί να εξασφαλίσει τη συνεχή χρήση ενός ηλεκτρικού ταξί σε διάστημα 24 ωρών.

Προκειμένου να γίνει η ανταλλαγή μπαταριών μια βιώσιμη επιλογή για αυτοκίνητα και φορτηγά πρέπει πρώτα να λυθούν πολλά προβλήματα. Πρώτον, θα πρέπει να εξασφαλιστεί σημαντικός χώρος για αποθήκευση και φόρτιση των μπαταριών. Δεύτερον, τα οχήματα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να διευκολύνεται η γρήγορη και

εύκολη ανταλλαγή μπαταριών. Τρίτον, θα χρειαζόταν να γίνεται έλεγχος ποιότητας στις μπαταρίες για να διασφαλιστεί ότι οι επαναφορτισμένες μπαταρίες θα διατηρούσαν επαρκή ενέργεια για την υποστήριξη ταξιδιών. Καθώς οι μελλοντικές μπαταρίες αναπτύσσονται με συνεχώς μεγαλύτερη ειδική ενέργεια και ενεργειακή απόδοση, η διαχείριση του συστήματος θα είναι ευκολότερη, καθώς η επαναφόρτιση θα είναι λιγότερο συχνή και ο χώρος αποθήκευσης δεν θα χρειάζεται να είναι τόσο μεγάλος.

6. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

6.1 ΑΠΟΔΟΣΗ

Ο όρος απόδοση είναι χρήσιμος μόνο όταν χρησιμοποιείται σωστά. Η απόδοση του EV, ορισμένη ως οδική ενέργεια/ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στο όχημα, είναι 80%. Η απόδοση του οχήματος με κινητήρα IC, ορισμένη ως οδική ενέργεια /ενέργεια βενζίνης, είναι περίπου 20%. Συνεπώς, η απόδοση (οδική ενέργεια / ενέργεια που παρέχεται) του EV μπορεί να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτή του οχήματος IC. Για να συγκρίνουμε σωστά το ενεργειακό κόστος στις δύο τεχνολογίες πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος της βενζίνης. Η απόδοση της μετατροπής του άνθρακα σε ηλεκτρική ενέργεια και η μετάδοσή της στους τελικούς χρήστες συνήθως είναι περίπου 25%. Συνεπώς, η συνολική απόδοση του EV (οδική ενέργεια/ενέργεια στα ορυκτά καύσιμα στο σταθμό παραγωγής ενέργειας) είναι τελικά η ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

Οι σύγχρονοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας μπορούν να επιτύχουν απόδοση 45% και οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου μπορούν να επιτύχουν απόδοση έως και 60% (ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται/ενέργεια στο καύσιμο).

Τα πράγματα είναι διαφορετικά αν συγκρίνουμε ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο με ένα EV που χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα από έναν ηλιακό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Τυπικές αποδόσεις του σταθμού ηλιακής ενέργειας (οδική ενέργεια / ηλιακή ενέργεια) θα είναι περίπου 10%. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική απόδοση του EV που λειτουργεί με ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια είναι 2,5% (οδική ενέργεια/ενέργεια στην πηγή) σε σύγκριση με την απόδοση του οχήματος IC (οδική ενέργεια / ενέργεια στην πηγή, δηλαδή στη βενζίνη) που θα εξακολουθεί να είναι 25%. Το όχημα IC είναι τώρα 10 φορές πιο αποδοτικό από το EV που διαθέτει ηλιακή ενέργεια.

Από την άλλη μεριά το EV θα οδηγήσει σε μηδενικές εκπομπές άνθρακα σε αντίθεση με το όχημα με κινητήρα IC. Φυσικά το κόστος

χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια μπορεί φυσικά να είναι πολύ υψηλότερο από το βενζινοκίνητο όχημα. Καταλαβαίνουμε ότι είναι πολλές οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να γίνει μία ολοκληρωμένη και αξιόπιστη σύγκριση.

6.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Στον πίνακα 6.1 φαίνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα διάφορα καύσιμα για την παραγωγή μιας kWh και για απευθείας χρήση αυτών. Οι τιμές για το CO₂ που εκλύεται ανά kWh βασίζονται σε μέσους όρους και καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες για τη μείωσή τους με χρήση νέων τεχνικών.

Πίνακας 6.1 Έκπομπή Διοξειδίου του Άνθρακα [4]

Energy source	Units	Kilograms of CO ₂ equivalent per unit
Natural gas	kWh	0.185 23
Gas oil	kWh	0.275 33
	l	3.021 20
Fuel oil	kWh	0.265 92
	t	3219.7
Diesel	kWh	20.253 01
	l	2.672
Petrol	kWh	0.241 76
	l	2.322

Ο Πίνακας 11.2 δείχνει την απελευθέρωση CO₂ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετικές χώρες. Η ποσότητα CO₂ που ελευθερώνεται ανά κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας μέσος όρος που ποικίλλει συνεχώς. Περιλαμβάνει την πυρηνική ενέργεια, η οποία παρέχει σήμερα περίπου το 20% της ηλεκτρικής ενέργειας στο

Ηνωμένο Βασίλειο, και εναλλακτικές λύσεις ενέργειας, η οποία τροφοδοτεί περίπου το 20%. Στη Γαλλία, όπου μεγάλο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από πυρηνική και εναλλακτικές πηγές ενέργειας η τιμή είναι πολύ χαμηλότερη.

Πίνακας 6.2 Μέσος όρος εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες χώρες [4]

Country	Carbon release (kg kWh ⁻¹)
Japan	0.381
USA	0.59
Germany	0.5
UK	0.44
Canada	0.21
France	0.07

Χρησιμοποιώντας αυτά τα στοιχεία είναι πλέον αρκετά εύκολο να συγκρίνουμε την ποσότητα CO₂ που παράγεται από αυτοκίνητα κινητήρων EV και IC. Για παράδειγμα, ένα Nissan Leaf θα ταξιδέψει 160 km με μπαταρία 24 kWh. Θεωρώντας απόδοση φόρτισης 90% (ηλεκτρική αποθηκευμένη ενέργεια / παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια), το όχημα θα απαιτεί 26,7 kWh ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, το CO₂ που απελευθερώνεται στο Ηνωμένο Βασίλειο θα είναι $26,7 \times 0,44 = 11,75$ kg. Στη Γαλλία όπου η απελευθέρωση CO₂ είναι επί του παρόντος 0,07 kg /kWh η ποσότητα CO₂ που απελευθερώνεται θα είναι μόνο 1,87 kg.

Ένα πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο για ένα ταξίδι 160 km θα κάψει 11,25 l ντίζελ. Θα ελευθερώσει $11,25 \times 2,672 = 30$ kg CO₂.

Αυτό δείχνει ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα για τα ηλεκτρικά οχήματα αφού ελευθερώνεται η μισή ποσότητα CO₂ σε σύγκριση με το αυτοκίνητο ντίζελ.

Η απελευθέρωση CO₂ από ένα όχημα με στοιχείο καυσίμου υδρογόνου μπορεί επίσης να υπολογιστεί. Το όχημα στοιχείου καυσίμου

FCX της Honda που λειτουργεί με υδρογόνο έχει κατανάλωση καυσίμου 60 μίλια ανά κιλό υδρογόνου. Επομένως, για να διανύσει 100 μίλια (160 km) θα χρησιμοποιήσει 1,67 κιλά υδρογόνου. Το υδρογόνο έχει ειδική ενέργεια 33,3 kWh/kg και επομένως η ενέργεια στο υδρογόνο θα είναι 55,6 kWh. Υποθέτοντας ότι το υδρογόνο θα αναμορφωθεί από το φυσικό αέριο με μία απόδοση 70%, και η απόδοση συμπίεσης καυσίμου στη δεξαμενή είναι 90%, η ενέργεια στο φυσικό αέριο από την οποία αναμορφώθηκε το υδρογόνο θα είναι $55,6 / 0,9 / 0,7 = 88,2$ kWh. Από τον Πίνακα 11.1 αυτό θα προκαλέσει απελευθέρωση CO₂: 0,185 23 kg CO₂ ανά κιλοβατώρα στο φυσικό αέριο, δηλαδή 16,3 kg.

Το αυτοκίνητο με στοιχείο καυσίμου απελευθερώνει το 54% του CO₂ σε σύγκριση με την εκπομπή CO₂ από το πετρελαιοκίνητο αυτοκίνητο.

Τα συμπεράσματα είναι σαφή. Πρώτον, τα EV είναι πιο φιλικά ως προς τον άνθρακα από τα οχήματα με κινητήρα IC. Αυτό επηρεάζεται σαφώς από τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται. Αυτό είναι πολύ καλύτερο για EV που χρησιμοποιούνται στη Γαλλία, για παράδειγμα, όπου απελευθερώνεται σαφώς χαμηλότερη ποσότητα CO₂ ανά κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση π.χ. με το Ηνωμένο Βασίλειο.

Δεύτερον, το όχημα με στοιχεία καυσίμου υδρογόνου χρησιμοποιεί απελευθερώνει πολύ λιγότερο CO₂ από το πετρελαιοκίνητο, μια εξοικονόμηση σχεδόν 50%.

Τρίτον, το στοιχείο καυσίμου υδρογόνου δεν είναι τόσο φιλικό ως προς τον άνθρακα σε σχέση με τη μπαταρία EV γιατί κατά τη χρήση τροφοδοτεί ηλεκτρικό ρεύμα για την παραγωγή υδρογόνου από την ηλεκτρόλυση νερού. Προς το παρόν στο Ηνωμένο Βασίλειο το στοιχείο καυσίμου υδρογόνου που χρησιμοποιεί αναμορφωμένο υδρογόνο είναι ισοδύναμο με το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Όσο η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται ανά κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται χρησιμοποιώντας τεχνικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ουδέτερες στον άνθρακα, τόσο περισσότερο θα πλεονεκτούν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έναντι των άλλων τύπων.

6.3 ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εκτός από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, τα συμβατικά αυτοκίνητα ρυπαίνουν το περιβάλλον εκπέμποντας ουσίες επικίνδυνες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά, τα συμβατικά αυτοκίνητα προκαλούν ηχορύπανση.

Οι σημαντικότεροι ρυπαντικές ουσίες που εκπέμπονται από τα οχήματα IC είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), το διοξείδιο του θείου (SO₂), πτητικές οργανικές ενώσεις (volatile organic compounds, VOC) και αιωρούμενα σωματίδια (particulate matter, PM). Είναι γνωστό ότι οι ουσίες αυτές έχουν καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον ενώ συγχρόνως είναι υπεύθυνες για πάρα πολλές σοβαρές ασθένειες που προσβάλλουν τον άνθρωπο.

Ο απλούστερος τρόπος εξάλειψης αυτών των προβλημάτων από τους δρόμους της πόλης είναι να επιβληθούν τα οχήματα μηδενικών εκπομπών με τη νομοθεσία ή με άλλα μέσα. Τα συμβατικά οχήματα IC καταστρέφουν το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε πόλεις. Ο απλούστερος τρόπος για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών είναι η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων, ή τουλάχιστον υβριδικών οχημάτων που λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρισμό όταν βρίσκονται στην πόλη.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ηλεκτρικά οχήματα συνήθως συνδέονται με οφέλη για το περιβάλλον και με την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν τη μείωση της τοπικής ρύπανσης από τα ίδια τα οχήματα, τη μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο και τα άλλα ορυκτά καύσιμα και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα.

Κατά την εξέταση της εισαγωγής ηλεκτρικών οχημάτων, απαιτείται η πλήρης κατανόηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Όπου η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων αντικαθιστά μια λιγότερο ενεργειακά αποδοτική πηγή μεταφοράς επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας.

Η αντικατάσταση οχημάτων IC με ηλεκτρικά οχήματα εξοικονομεί ενέργεια, υπό τον όρο ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ένα αποτελεσματικό δίκτυο που χρησιμοποιεί σύγχρονους σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Επίσης, θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών άνθρακα όταν ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από πυρηνική ενέργεια ή εναλλακτικές πηγές ενέργειας που δεν απελευθερώνουν άνθρακα.

Υπάρχουν αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τη ρύπανση από οχήματα, ιδίως στις πόλεις και τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να δώσουν λύση σε αυτό το πρόβλημα. Αυτά τα οχήματα μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ουσιών που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα. Τα περιβαλλοντικά ζητήματα μπορεί κάλλιστα να είναι ο αποφασιστικός παράγοντας για την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων για χρήση τουλάχιστον στις πόλεις.

Μεγάλο μέρος του προβλήματος εκπομπών μεταφέρεται στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, όπου πρέπει να υπάρξει ο κατάλληλος χειρισμός.

Το πετρέλαιο είναι ένας πεπερασμένος πόρος που καθίσταται όλο και πιο ακριβός στην παραγωγή. Για την κάλυψη των αναγκών αναγκαζόμαστε να εξάγουμε πετρέλαιο από πηγές στις οποίες οι γεωτρήσεις είναι δύσκολες και στοιχίζουν πολύ. Εναλλακτικά υπάρχει η σκέψη να παραχθεί πετρέλαιο από άλλα ορυκτά καύσιμα όπως ο

άνθρακας. Αυτοί οι παράγοντες θα επηρεάσουν δραματικά το κόστος της βενζίνης και του ντίζελ στις αντλίες και αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στην ευρύτερη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.

Η αυτονομία και οι χρόνοι που απαιτούνται για την επαναφόρτιση των μπαταριών είναι εξαιρετικά σημαντικές παράμετροι για την επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα οχήματα μπορούν να φορτίζονται όλη τη νύχτα και να η μπαταρία τους μπορεί να φτάσει σε υψηλό ποσοστό φόρτισης εάν χρησιμοποιούνται φορτιστές υψηλής ισχύος. Απαιτείται η κατασκευή των κατάλληλων υποδομών για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια ταξιδιών. Όσον αφορά τις μπαταρίες έχουν αναπτυχθεί και συνεχώς βελτιώνονται νέοι τύποι με χαρακτηριστικά που τις καθιστούν κατάλληλες για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων.

Είναι όμως σαφές ότι υπάρχει ένα πρότυπο χρήσης για το οποίο τα ηλεκτρικά οχήματα είναι κατάλληλα. Οχήματα που πρέπει να ταξιδεύουν τακτικά σε μεγάλα ταξίδια θα μπορούσαν να είναι είτε οχήματα στοιχείων καυσίμου είτε υβριδικά οχήματα που έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια. Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι απίθανο να καταφέρουν στο άμεσο μέλλον να επιτύχουν τη γκάμα και τον γρήγορο ανεφοδιασμό των οχημάτων IC.

Τα τρένα, τα τρόλεϊ και τα τραμ δεν έχουν περιορισμούς στο πρόβλημα της εμβέλειας υπό την έννοια ότι μπορούν να ταξιδεύουν όπου υπάρχουν γραμμές εφοδιασμού. Δεν χρειάζονται επαναφόρτιση ή ανεφοδιασμό.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) M. A. Delucchi, C. Yang, A. F. Burke, J. M. Ogden, K. Kurani, J. Kessler and D. Sperling, An assessment of electric vehicles: technology, infrastructure requirements, greenhouse-gas emissions, petroleum use, material use, lifetime cost, consumer acceptance and policy initiatives, *Phil. Trans. R. Soc. A* **372**: 20120325 (2013).
- 2) <http://74.121.199.247/sites/default/files/pdf/fsev/HistoryOfElectricCars.pdf>
- 3) C. Mahmoudi, A. Flah, L. Sbita, An overview of electric vehicle concept and power management strategies, Conference paper, November 2014.
- 4) J. Larminie and J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, Second Edition, Wiley 2012.
- 5) <https://driving.ca/honda/insight>
- 6) https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Volt
- 7) https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_Clarify
- 8) E. Helmers and P. Marx, Electric cars: technical characteristics and environmental impacts, *Environmental Sciences Europe* 2012, 24:14.
- 9) Ayeridis G., Electric cars: history and perspectives, <http://www.electraproject.eu/promotion/e-articles/101-e-semester/375-electric-cars-history-and-perspectives>
- 10) https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_transmission
- 11) https://en.wikipedia.org/wiki/High-voltage_direct_current
- 12) https://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf
- 13) https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Fusion_Hybrid
- 14) https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Volt

- 15) <https://www.carmagazine.co.uk/car-reviews/long-term-tests/bmw/bmw-i3-range-extender-2017-long-term-test-review/>
- 16) https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery
- 17) https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- 18) J. Ma, The 2021 battery technology roadmap, J. Phys. D: Appl. Phys. **54** (2021) 183001.