



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

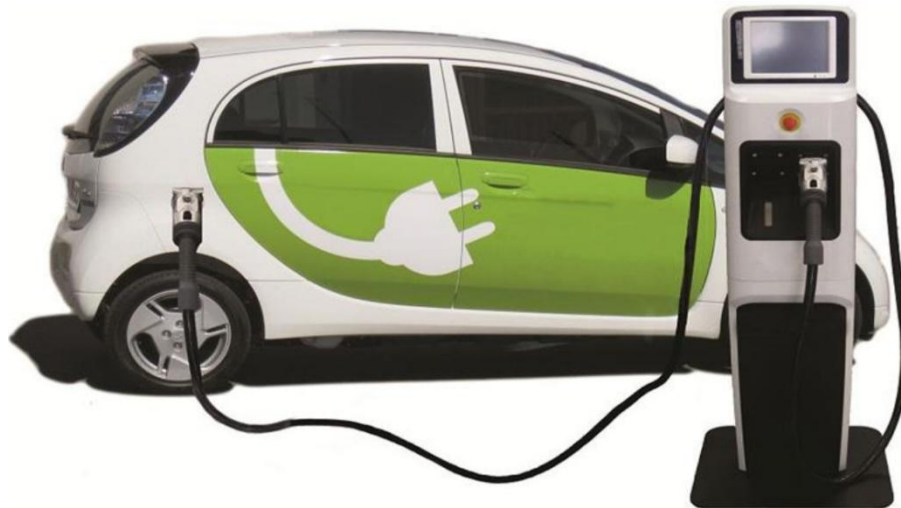
Τηλ: 2610-369278, 2610-369277

E-mail: mech-secr@uop.gr

Fax: 2610-369198

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ»**



ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ 6955

ΒΑΣΙΛΗΣ ΛΑΓΩΝΙΚΑΣ 6973

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ».

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή Κύριο Τσινόπουλο Στέφανο, ο οποίος με την κατάλληλη καθοδήγησή του βοήθησε στη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Επιπλέον θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της επιτροπής: Κυρίους Καλαράκη Αλέξανδρο και Μαυρίδη Κωνσταντίνο.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, 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

.....

.....

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά την τελευταία δεκαετία, η «Αειφόρος Ανάπτυξη» έγινε η προτεραιότητα των διεθνών ρυθμιστικών φορέων. Προκειμένου να προστατευθεί το περιβάλλον, πρέπει να γίνουν σημαντικές περικοπές όσον αφορά τις τοξικές εκπομπές. Επιπλέον, καθώς η παγκόσμια πρώτη ύλη ορυκτών πόρων μειώνεται σταδιακά, πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα για την ανάπτυξη της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αυτοκινητοβιομηχανία, που συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, γνωρίζει πολύ καλά την ανάγκη να αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία που θα επιτρέψει έναν φιλικό προς το περιβάλλον τομέα μεταφορών. Επί του παρόντος διερευνώνται αρκετά μονοπάτια, ωστόσο, η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την προώθηση των αυριανών αυτοκινήτων δεν έχει ακόμη επιλεγεί πλήρως. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται η προσπάθεια να διευκρινιστεί σε ποιο βαθμό οι αναδυόμενες εναλλακτικές λύσεις συμμορφώνονται με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Ως εκ τούτου, παρουσιάζεται η πραγματική δυνατότητα των υβριδικών αλλά και ηλεκτρικών οχημάτων να γίνουν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση. Επιπλέον αποτυπώνονται οι συγκρίσεις με άλλες τεχνολογίες για το αν η υβριδική τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα εξάλειψης των τοξικών εκπομπών, καθώς και μέσω της χρήσης ορυκτών πόρων, παρέχοντας παράλληλα υψηλό επίπεδο λειτουργικότητας με χαμηλό κόστος.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 13 -
1.1 Τι είναι το υβριδικό.....	- 13 -
1.2 Η ιστορία των υβριδικών	- 13 -
1.3 Υβριδικά αυτοκίνητα	- 14 -
1.4 Πηγές υβριδικής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας.....	- 16 -
1.4.1 Ο άνθρωπος ως πηγή ενέργειας	- 17 -
1.4.2 Το περιβάλλον ως πηγή ενέργειας	- 18 -
1.4.3 Πνευματική και υδραυλική πηγή ενέργειας.....	- 19 -
1.4.4 Βολάν	- 20 -
1.4.5 Ηλεκτρική πηγή ενέργειας	- 21 -
1.4.6 Ηλεκτροχημική πηγή ενέργειας.....	- 22 -
1.4.7 Ηλεκτροστατική πηγή ενέργειας	- 23 -
1.4.8 Κυψέλες καυσίμου ως πηγή ενέργειας	- 24 -
1.5 Μετατροπείς (κινητήρες) πρωτογενούς ενέργειας	- 26 -
1.5.1 Κινητήρας Otto.....	- 27 -
1.5.2 Κινητήρας πετρελαίου	- 28 -
1.5.3 Κινητήρας Rankine.....	- 29 -
1.5.4 Κινητήρας Brayton	- 30 -
1.5.5 Κινητήρας Stirling	- 31 -
1.6 Επιλογή πηγής υβριδικής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας.....	- 32 -
2. ΒΑΘΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	- 35 -
2.1 Μέτρηση του βαθμού υβριδισμού	- 35 -
2.2 Κατηγορίες των υβριδικών οχημάτων.....	- 36 -
2.2.1 Ισχύς δευτερεύοντος συστήματος και χωρητικότητα συσσωρευτή....	- 37 -
2.2.2 Λειτουργίες υβριδικού συστήματος και πιθανοί τρόποι λειτουργίας ..	- 37 -

2.2.3	Η εξίσωση του βαθμού του υβριδισμού.....	- 37 -
2.3	Τρόποι λειτουργίας	- 39 -
2.3.1	Διατήρηση φόρτισης.....	- 39 -
2.3.2	Μείωση φόρτισης	- 40 -
2.3.3	Συνδυαστική λειτουργία.....	- 40 -
2.4	Τάξεις του βαθμού υβριδισμού	- 40 -
2.4.1	Ήπιο υβριδικό.....	- 41 -
2.4.2	Υβριδικό υποβοήθησης ισχύος.....	- 42 -
2.4.3	Πλήρως υβριδικό	- 42 -
2.4.4	«Plug-in» υβριδικό	- 43 -
2.5	Φόρτιση μπαταριών και επίπεδα ισχύος για υβριδικά οχήματα	- 44 -
2.6	Φορτιστές μπαταριών για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα	- 47 -
3.	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	- 51 -
3.1	Τεχνολογικοί περιορισμοί.....	- 51 -
3.2	Περιορισμοί της αγοράς.....	- 54 -
3.3	Θεσμικοί περιορισμοί	- 57 -
3.4	Περιορισμοί δικτύου.....	- 60 -
3.5	Συνολικό δυναμικό των εναλλακτικών ως προς το περιβάλλον	- 61 -
3.6	Οι πραγματικές δυνατότητες του HEV	- 63 -
4.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ	- 65 -
4.1	Υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα	- 66 -
4.1.1	Ηλεκτρικός κινητήρας και μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα	- 66 -
4.2	Αποτύπωμα άνθρακα.....	- 69 -
4.3	Αξιολόγηση του κύκλου ζωής των αυτοκινήτων	- 70 -
4.3.1	Επισκόπηση και διατύπωση σκοπών	- 70 -
4.3.2	Πεδίο εφαρμογής του κύκλου ζωής.....	- 71 -
4.4	Οικολογική σκοπιά	- 72 -
4.5	Τρέχουσες εξελίξεις	- 73 -
4.6	Τρέχουσες διεθνείς στρατηγικές	- 74 -
4.7	Υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη.....	- 76 -

4.8	Άμεση και έμμεση μόλυνση του περιβάλλοντος από τα αυτοκίνητα	- 77 -
4.9	Ανεπιθύμητοι κίνδυνοι και φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα.....	- 79 -
4.10	Οδηγοί για την υιοθέτηση υβριδικών οχημάτων	- 81 -
4.10.1	Η αντίληψη των καταναλωτών για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος-	81 -
4.10.2	Χαρακτηριστικά των καταναλωτών	- 82 -
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 83 -
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 86 -
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	- 94 -

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Απόδοση από έναν turbo κινητήρα Otto. BMEP (γ άξονας) είναι ανάλογο της μηχανικής ροπής εξόδου	- 27 -
Διάγραμμα 1.2: Απόδοση ενός κινητήρα πετρελαίου. BMEP (γ -άξονας) είναι ανάλογο της μηχανικής ροπής εξόδου	- 29 -
Διάγραμμα 1.3: Απόδοση ενός κινητήρα Rankine	- 30 -
Διάγραμμα 1.4: Απόδοση ενός κινητήρα Brayton.....	- 31 -
Διάγραμμα 1.5: Απόδοση ενός κινητήρα Stirling	- 32 -
Διάγραμμα 1.6: Πυκνότητα ενέργειας / ισχύος ηλεκτρικών μεθόδων αποθήκευσης	- 33 -

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο - 1899 Lohner Porsche.....	- 15 -
Εικόνα 1.2: Μοτοποδήλατο του 1950	- 17 -
Εικόνα 1.3: TWIKE - Ένα ανθρώπινο ηλεκτρικό υβριδικό όχημα	- 18 -
Εικόνα 1.4: Βολάν	- 21 -
Εικόνα 1.5: Μπαταρία υβριδικού οχήματος	- 23 -
Εικόνα 1.6: Κυψέλη καυσίμου	- 24 -
Εικόνα 2.1: Βασικό σύστημα τεχνολογίας start/stop.....	-36-
Εικόνα 2.2: Σταθμός φόρτισης υβριδικών οχημάτων.....	-40-
Εικόνα 2.3: Συνδυαστική υποδοχή J1772 του SAE για φόρτιση AC ή DC επιπέδου 1 και επιπέδου 2	- 49 -
Εικόνα 3.1: Τιμή καυσίμου για ισοδύναμη απόσταση.....	- 57 -
Εικόνα 3.2: Βαθμός περιορισμών.....	- 62 -

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τι είναι το υβριδικό

Υβριδικό είναι, εξ' ορισμού, κάτι που έχει δύο διαφορετικούς τύπους συστατικών, τα οποία ουσιαστικά έχουν την ίδια λειτουργία. Στην περίπτωση των υβριδικών οχημάτων υπάρχουν κάποιες συσκευές που βοηθούν στη λειτουργία τους. Η συσκευή συνήθως χρησιμοποιείται για την πρόωση, συνοδευτικά από μία άλλη συσκευή, συμβάλλοντας επίσης με μια προωθητική δύναμη, αλλά χρησιμοποιώντας μια άλλη πηγή ενέργειας και μέθοδο μεταφοράς.

Οι δύο πηγές ενέργειας ενός υβριδικού οχήματος μπορούν να χωριστούν σε μία πρωτογενή και μία δευτερεύουσα. Η κύρια πηγή ενέργειας είναι η «αρχική» και συνήθως «ξαναγεμίζεται» χειροκίνητα (π.χ. με βενζίνη σε βενζινάδικο). Η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, ωστόσο, είναι συχνά μη οπτική στον οδηγό, γενικά ξαναγεμίζεται και αδειάζει αυτόματα από το ίδιο το όχημα. Συχνότερα, το μέρος της ενέργειας που από την αρχή προέρχεται από την πρωτογενή πηγή και στην ουσία θα χανόταν και δε θα αξιοποιούταν, βοηθάει στη συσσώρευση της ενέργειας της δευτερεύουσας πηγής.

1.2 Η ιστορία των υβριδικών

Σίγουρα, η έννοια του υβριδικού ακούγεται αρκετά στις μέρες μας. Πρέπει όμως να είναι ξεκάθαρο ότι, τα υβριδικά οχήματα δεν είναι μία νέα εφεύρεση και κάτι γενικότερα καινούριο. Πλοία, υποβρύχια και ατμομηχανές χρησιμοποιούν όλα τους υβριδική τεχνολογία από τις αρχές του 20ού αιώνα. Το πρώτο πετρελαιοκίνητο πλοίο ήταν επίσης ταυτόχρονα και το πρώτο πετρελαιο-ηλεκτρικό πλοίο. Το ρωσικό δεξαμενόπλοιο Vandal (Zhang C. & Yang Y., 2020) κυκλοφόρησε το 1903, και ως εκ τούτου, χρησιμοποιούσε υβριδική τεχνολογία για πάνω από 100 χρόνια. Ο υβριδικός κινητήρας του αποτελούνταν από έναν κινητήρα πετρελαίου που συνδεόταν με μια γεννήτρια που παρήγαγε ηλεκτρισμό και στη συνέχεια χρησιμοποιούνταν από έναν ηλεκτροκινητήρα ώστε να περιστραφεί η έλικα. Επιπλέον, η ατμοστρόβιλος-ηλεκτρική πρόωση χρησιμοποιούνταν ήδη από τη δεκαετία του 1920 στα αμερικανικά θωρηκτά. Ένα σύγχρονο παράδειγμα πρόωσης ενός υβριδικού πλοίου είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες που είναι τοποθετημένοι κάτω από το

σκάφος, που ονομάζονται προωθητές αζιμούθιου, οι οποίοι επιτρέπουν περιστροφή 360 °. Μια άλλη μεγάλη και υπάρχουσα εφαρμογή της υβριδικής τεχνολογίας είναι οι πετρελαιο-ηλεκτρικοί κινητήρες οι οποίοι αναπτύχθηκαν επίσης τη δεκαετία του 1920. Οι υβριδικοί αυτοί κινητήρες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κίνηση των τρένων στις σιδηροδρομικές γραμμές αλλά σύντομα έγιναν δημοφιλείς και σε ευρύτερους τύπους χρήσης. Οι κύριοι λόγοι αυτής της εξάπλωσής τους ήταν η μεγάλη απλοποίηση της μετάδοσης ισχύος από τον κύριο κινητήρα σε όλους τους τροχούς, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς μικρότερους κινητήρες και ηλεκτρισμό αντί για πολύπλοκες μηχανικές, μειώνοντας επίσης το κόστος συντήρησης.

1.3 Υβριδικά αυτοκίνητα

Έως το 1977 δεν υπήρχε καμία κυκλοφορία υβριδικού αυτοκινήτου. Επομένως, θα μπορούσε να εννοηθεί ότι το υβριδικό όσον αφορά τα αυτοκίνητα αποτελεί μια σχετικά πιο νέα εφεύρεση (ένα παράδειγμα από τα πιο δημοφιλή υβριδικά αυτοκίνητα που κυκλοφόρησαν είναι το Toyota Prius). Ο Ferdinand Porsche (ιδρυτής της Porsche), το 1899, ένας νεαρός μηχανικός στην Jacob Lohner & Co, δημιούργησε το πρώτο γνωστό στην ανθρωπότητα υβριδικό αυτοκίνητο. Το υβριδικό Lohner-Porsche (Εικόνα 1.1: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο - 1899 Lohner Porsche.1) αποτελούνταν από ένα βενζινοκινητήρα που περιστρεφόταν με σταθερή ταχύτητα, χρησιμοποιώντας μια απλή γεννήτρια. Η γεννήτρια φόρτωνε μια συστοιχία συσσωρευτών, οι οποίοι με τη σειρά τους τροφοδοτούσαν ηλεκτρικούς κινητήρες τοποθετημένους στους μπροστινούς τροχούς. Η απλότητα των κινητήριων αξόνων μετάδοσης και των αλυσίδων επέτρεψαν στην Porsche να επιτύχει, υψηλή απόδοση του οχήματος για την εποχή εκείνη.

Με την πρώτη του εμφάνιση στην «Παγκόσμια έκθεση του Παρισιού», στις 14 Απριλίου του 1900, το Lohner-Porsche, που φαίνεται στο Σχήμα 14, εξέπληξε την αυτοκινητοβιομηχανία εκείνης της εποχής και έγινε η επιτυχία που προώθησε την πορεία της Porsche. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας πωλήθηκε στον Emil Jellinek αργότερα, μέλος του διοικητικού συμβουλίου της Daimler Motoren Gesellschaft και του οποίου η κόρη Mercedes Jellinek, αργότερα πήρε το όνομα μιας από τις σημερινές μεγάλες μάρκες αυτοκινήτων.



Εικόνα 1.1: Το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο - 1899 Lohner Porsche
(Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_vehicle, 5/2020)

Φυσικά, θα μπορούσαν να υπάρξουν αρκετές ερωτήσεις, όπως στη συνέχεια τι συνέβη με τα υβριδικά αυτοκίνητα ή γιατί υπήρξε τόσο μεγάλη περίοδος για την ανάπτυξή τους μέχρι τη σημερινή εποχή, ώστε να βγει κάποιιο δηλαδή υβριδικό αυτοκίνητο προς τους καταναλωτές. Ωστόσο, οι απαντήσεις σε αυτές τις ερωτήσεις είναι περίπλοκες, αλλά πιθανότατα θα μπορούσαν να συνοψιστούν σε κάποιους καιρίους τομείς. Αρχικά σίγουρα θα υπήρχαν παλιότερα επιπτώσεις σε υψηλότερου κόστους οχήματα, λόγω έλλειψης της κατάλληλης τεχνολογίας. Επιπλέον καθώς η συνολική κατανάλωση του πετρελαίου από τα οχήματα πολύ παλιότερα ήταν χαμηλή (για κάποιο χρονικό διάστημα λόγω του χαμηλού αριθμού οχημάτων) και με μια μεγάλη προσφορά πετρελαίου δε θα υπήρχε λόγος για την ανάπτυξη ακριβότερων οχημάτων που κανείς δε θα αγόραζε.

Η προσφορά και η ζήτηση σε όρους οικονομικών είναι συχνά η απάντηση σε παραγωγή κάποιου βιομηχανικού προϊόντος όπως και στην περίπτωση αυτή, των αυτοκινήτων. Καθώς ο αριθμός των οχημάτων που κατανάλωναν πετρέλαιο αυξήθηκε κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, αυξήθηκε επίσης και η ζήτηση. Σε κάποιο σημείο, η ζήτηση ήταν τέτοια ώστε απαιτούνταν και εναλλακτικές λύσεις. Η τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων απαιτεί την ανάπτυξη και άλλων τομέων εκτός των οχημάτων, όπως για παράδειγμα των μπαταριών και των ηλεκτρικών μηχανών.

Μεταξύ του 1910 και του 1990, η ανάπτυξη των υβριδικών αυτοκινήτων ήταν άγνωστη για το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Το 1989 η Audi παρουσίασε μια ιδέα βασισμένη στο μοντέλο 100, το 100 Duo, το οποίο ήταν εξοπλισμένο με έναν ηλεκτροκινητήρα για την τροφοδοσία των τροχών, ενώ ακολούθησε μια δεύτερη γενιά το 1991. Από τότε, δεν υπήρξε άλλη προσπάθεια μέχρι το 1997 όπου κυκλοφόρησε το Toyota Prius, λίγο πριν ξεκινήσει η μεγάλης κλίμακας παραγωγή υβριδικών αυτοκινήτων. Ακολούθησε το Honda Insight το 1999, το οποίο και έγινε το πρώτο μαζικής παραγωγής υβριδικό αυτοκίνητο που πωλήθηκε εκτός της Ιαπωνίας.

1.4 Πηγές υβριδικής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας

Η πρώτη ταξινόμηση που πρέπει να γίνει για ένα υβριδικό όχημα είναι να προσδιοριστούν οι πηγές ενέργειας, δηλαδή οι μέθοδοι αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται μέσα στο όχημα. Για ένα συμβατικό όχημα με μηχανικό σύστημα μετάδοσης κίνησης που χρησιμοποιεί κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), η ενέργεια αποθηκεύεται συνήθως ως βενζίνη ή πετρέλαιο. Ο κινητήρας αυτός μετατρέπει τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια, που στη συνέχεια κατευθύνεται στους τροχούς για πρόωση, εξ' ου και ο εναλλακτικός μετατροπέας αναφοράς, καυσίμου ή ενέργειας.

Ένα υβριδικό όχημα αποτελείται από μια πρωτογενή και μια δευτερογενή πηγή ενέργειας. Η πηγή πρωτογενούς ενέργειας τροφοδοτεί το μετατροπέα πρωτογενούς ενέργειας και συνήθως χρησιμοποιεί ένα υγρό καύσιμο ως πηγή και έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης ως μετατροπέα. Με την προσθήκη μιας δευτερεύουσας πηγής ενέργειας και ενός δευτερεύοντος μετατροπέα, δημιουργείται στην ουσία ένα υβριδικό όχημα.

Ο σκοπός της δευτερεύουσας πηγής ενέργειας, σε εφαρμογές που βελτιώνουν την απόδοση, είναι να εξαλείψει ή να μειώσει την επίδραση των κακών χαρακτηριστικών της πρωτογενούς πηγής ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως με τρόπους μεταφοράς της δευτερεύουσας ενέργειας ως ένα επιπρόσθετο βοηθητικό εργαλείο. Σε ένα όχημα, ο όγκος και η μάζα είναι περιοριστικοί παράγοντες, και όπως είναι γνωστό, ένα φυσικά μεγάλο όχημα με υψηλή μάζα θα καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από ένα άλλο ελαφρύ και ευκίνητο όχημα. Για να ελαχιστοποιηθεί η προσθήκη μάζας και όγκου, μαζί με την είσοδο μιας δευτερεύουσας πηγής ενέργειας, η ενέργεια και η ισχύς είναι επιπλέον σημαντικοί παράγοντες, τόσο σε σχέση με τη μάζα όσο και με τον όγκο. Ταυτόχρονα, δε θα υπήρχε κανένας λόγος για την προσθήκη μιας άλλης πηγής ενέργειας και ενός δευτερεύοντος μετατροπέα ενέργειας, εάν η προκύπτουσα μέση απόδοση ήταν χαμηλότερη από την πρωταρχική. Στην ουσία δηλαδή, ο δευτερεύων μετατροπέας ενέργειας και η απόδοση της μεθόδου αποθήκευσης είναι ουσιαστική. Πιο συγκεκριμένα, οι πιο σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για υβριδικά οχήματα είναι:

- Η ενέργεια ως προς τη μάζα
- Η ενέργεια ως προς τον όγκο
- Η Ισχύς ως προς τη μάζα
- Η ισχύς ως προς τον όγκο
- Η απόδοση της δευτερεύουσας αποθήκης ενέργειας
- Η απόδοση του δευτερεύοντος μετατροπέα ενέργειας
- Το κόστος

Η δημιουργία ενός υβριδικού οχήματος μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους και με διάφορες εναλλακτικές λύσεις για πηγές ενέργειας. Οι πιο συνηθισμένες είναι:

- Ο άνθρωπος (π.χ. μηχανική ενέργεια)
- Περιβάλλον (π.χ. αιολική ενέργεια)
- Πνευματικά και υδραυλικά
- Το βολάν
- Ηλεκτρική ενέργεια

1.4.1 Ο άνθρωπος ως πηγή ενέργειας

Μία από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές της υβριδικής τεχνολογίας στα μέσα του 20ού αιώνα είναι το υβριδικό μοτοποδήλατο (Εικόνα Εικόνα 1.22). Τα συγκεκριμένα οχήματα αποτελούν ποδήλατα εξοπλισμένα με βοηθητικούς κινητήρες σε διάφορες τοποθεσίες του κυρίως αμαξώματος και εισήχθησαν στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου είναι το VéloSoleX, το οποίο απλώς περιείχε έναν ελαστικό κύλινδρο που οδηγούσε το μπροστινό ελαστικό, επιτρέποντας στο χειριστή να χρησιμοποιεί τον κινητήρα και τη δική του μυϊκή ισχύ παράλληλα για να ωθήσει το όχημα.

Ο σχεδιασμός ήταν πολύ απλός, αλλά αποτελεσματικός. Μια πιο σύγχρονη εφαρμογή αυτού, είναι τα ανθρώπινα ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα των οποίων το σύστημα μετάδοσης κίνησης αποτελείται από έναν άνθρωπο, έναν ηλεκτρικό κινητήρα ή γεννήτρια και ένα συσσωρευτή (π.χ. μια μπαταρία). Τις περισσότερες φορές έχει τα χαρακτηριστικά ενός ποδηλάτου αλλά με βελτιωμένη επιτάχυνση και τη δυνατότητα αναγέννησης πέδησης. Ο οδηγός θα μπορούσε επίσης να συνεχίσει να παράγει ενέργεια ενώ στέκεται ακίνητος, όπως για παράδειγμα σε στάσεις κυκλοφορίας.



Εικόνα 1.2: Μοτοποδήλατο του 1950

(Πηγή:https://en.wikipedia.org/wiki/Ducati_Cucciolo, 5/2020)

Το "TWIKE", που φαίνεται στην Εικόνα Εικόνα 1.3: TWIKE - Ένα ανθρώπινο ηλεκτρικό υβριδικό όχημα³, είναι ένα παράδειγμα ενός ανθρώπινου ηλεκτρικού υβριδικού οχήματος που έχει σχεδιαστεί για να μεταφέρει δύο επιβάτες και μερικά επιπρόσθετα φορτία. Μπορεί να οδηγηθεί μόνο σε ηλεκτρική λειτουργία ή σε ηλεκτρική λειτουργία μαζί με τη χρήση πεντάλ. Το TWIKE I αναπτύχθηκε για το Παγκόσμιο «EXPO» του 1986 στο Βανκούβερ από μια ομάδα Ελβετών φοιτητών, αλλά σχεδιασμένο μόνο για τη χρήση ανθρώπινης δύναμης με πεντάλ. Το TWIKE II, το οποίο αναπτύχθηκε από μια ομάδα ερευνητών, μετέτρεψε τη διαδικασία σε υβριδική.



Εικόνα 1.3: TWIKE - Ένα ανθρώπινο ηλεκτρικό υβριδικό όχημα
(Πηγή: <https://car.pege.org/2006-renexpo/twike-cabrio.htm>, 5/2020)

Η χρήση των συγκεκριμένων υβριδικών οχημάτων που χρησιμοποιούσαν την ανθρώπινη μηχανική ενέργεια ελαττώθηκε, καθώς ο κύριος περιορισμός τους είναι η χαμηλή απόδοση της ισχύος τους, καθώς και η σωματική κόπωση του ίδιου του οδηγού.

1.4.2 Το περιβάλλον ως πηγή ενέργειας

Ο ήλιος και ο άνεμος είναι δύο τεράστιες περιβαλλοντικές δυνάμεις με απεριόριστο δυναμικό, ωστόσο το πρόβλημα είναι η εξαγωγή της ενέργειας

από αυτές τις δυνάμεις. Ένα ηλιακό όχημα είναι ένα στην ουσία ένα ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια, η οποία συλλαμβάνεται από ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην επιφάνεια του οχήματος (συνήθως, στην οροφή). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στα πάνελ, μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό που στη συνέχεια αποθηκεύεται σε κάποιου τύπου συσσωρευτή (π.χ. μια μπαταρία). Ο ηλεκτρισμός στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την προώθηση του οχήματος με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα. Προς το παρόν, τα ηλιακά οχήματα δεν είναι πρακτικά για χρήση σε μεγάλη κλίμακα, καθώς η ισχύς που προέρχεται από το συνολικό εμβαδόν των τοποθετημένων σε ένα όχημα ηλιακών συλλεκτών είναι πολύ χαμηλή. Με την τρέχουσα τεχνολογία σε αυτόν τον τομέα θα έπρεπε τα οχήματα να είναι πολύ μεγάλα σε επιφάνεια, ώστε να μπορεί να υπάρξει η κανονική απόδοση του αυτοκινήτου. Από την άλλη πλευρά, τα ηλιακά πάνελ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως μια τρίτη, μη προωθητική πηγή ενέργειας, όπως για παράδειγμα για τη φόρτιση των μπαταριών ενός υβριδικού οχήματος. Για παράδειγμα, θα ήταν αρκετά βοηθητική μια τέτοια χρήση τις μέρες όπου λόγω καιρικών συνθηκών θα δούλευε αρκετά το κλιματιστικό του αυτοκινήτου.

Μία άλλη περιβαλλοντική δύναμη που διαθέτει μεγάλες ποσότητες ενέργειας είναι ο άνεμος. Το πρόβλημα είναι και πάλι η εξαγωγή αυτής της ενέργειας, καθώς η αλλαγή της κατεύθυνσης και της δύναμης την καθιστά μια δύσκολη διαδικασία. Ο άνεμος αξιοποιείται ευκολότερα στη θάλασσα όπου δεν υπάρχουν εμπόδια.

Τα μεγάλα πλοία χρησιμοποιούν συχνά πολύ μεγάλους κινητήρες πετρελαίου ως κύρια πηγή ενέργειας τους και συχνά την ηλεκτρική ως δευτερεύουσα εναλλακτική λύση. Ως εκ τούτου, τα πλοία είναι συχνά εξ' ορισμού υβριδικά, λειτουργώντας με αιολική ή και ηλιακή ενέργεια παράλληλα. Ένα αρκετά μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης μιας τέτοιας πηγής ενέργειας (αιολικής ή ηλιακής) είναι ότι υπάρχει μόνο το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης της εγκατάστασης.

1.4.3 Πνευματική και υδραυλική πηγή ενέργειας

Η αρχή της αποθήκευσης της ενέργειας σε συμπιεσμένο αέριο ή υγρό αποτελείται βασικά από δύο συστατικά: ένα μέσο αποθήκευσης (συσσωρευτής) και ένα μετασχηματιστή (συμπιεστής / διαστολέας) που αποτελεί τη σύνδεση μεταξύ της ενέργειας του αποθηκευμένου αερίου ή υγρού και της μηχανικής εξόδου.

Ένα πνευματικό / υδραυλικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, το οποίο εισάγει ένα υγρό μεταξύ του αέρα και του «στελέχους», δημιουργεί πρώτα πίεση στο υγρό και μετά μεταδίδει την ενέργεια στον αέρα. Ο σκοπός για αυτό, το φαινομενικά περίπλοκο σύστημα είναι να αυξήσει την απόδοση της μετατροπής κατά τη συμπίεση και την επέκταση από υψηλή σε χαμηλή πίεση και αντιστρόφως. Η δυναμική των υγρών υποδηλώνει καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα τόσο για ογκομετρικές (παλινδρομικές) όσο και για φυγοκεντρικές (στροβίλο) μηχανές από την αέρια κατάσταση.

Ωστόσο, οι νόμοι της θερμο-δυναμικής δηλώνουν σαφώς ότι όλες αυτές οι έννοιες του μετασχηματισμού θα περιορίσουν την αποδοτικότητα με ισχυρή θέρμανση κατά τη συμπίεση και ισχυρή ψύξη κατά τη διάρκεια της επέκτασης. Η ισοθερμική απόκλιση μειώνει την απόδοση αρκετά, π.χ. μια διακύμανση της θερμοκρασίας 50 °C μεταφράζεται σε περίπου 10% μείωση της απόδοσης. Αυτό το γεγονός δηλώνει ότι ο σχεδιασμός του συμπιεστή και του διαστολέα πρέπει να προσημειώνει μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία, διαφορετικά η απόδοση θα μειωθεί και η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί.

Το τυπικό υδραυλικό λάδι χρησιμοποιείται για τη συμπίεση ή την επέκταση του παγιδευμένου αέρα, αζώτου ή άλλου αερίου σε ένα ενσωματωμένο σύστημα συσσωρευτή. Η πλήρης απόδοση του κύκλου μπορεί να φτάσει έως και το 70% με τυπικές ασφάλινες μπουκάλες με ονομαστική πίεση 200-300 bar. Λόγω αργών αλλαγών στην πίεση που παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του συγκεκριμένου κύκλου και την επίδραση του εναλλάκτη της θερμότητας της μεγάλης περιοχής των φιαλών, οι θερμικές διακυμάνσεις διατηρούνται στο ελάχιστο. Τα βασικά μειονεκτήματα είναι ότι χρειάζονται μεγάλες συστοιχίες συσσωρευτών και η ανάγκη της ύπαρξης μιας δεξαμενής υγρού.

1.4.4 Βολάν

Η αποθήκευση της ενέργειας σε ένα βολάν (Εικόνα 1.4: Βολάν) λειτουργεί με την επιτάχυνση ενός ρότορα σε πολύ υψηλή ταχύτητα. Ταυτόχρονα αυτή η ενέργεια αποθηκεύεται στο σύστημα ως αδρανειακή ενέργεια. Μια επιταχυνόμενη ροπή προκαλεί το βολάν να αυξήσει την ταχύτητά του και να αποθηκεύσει ενέργεια, ενώ μια επιβραδυντική ροπή προκαλεί τη μείωση της ταχύτητάς του ρότορα και την αναγέννηση της ενέργειας. Από τη βιομηχανική επανάσταση, τα βολάν έχουν χρησιμοποιηθεί στους περισσότερους περιστρεφόμενους κινητήρες και μηχανήματα για την αποθήκευση ενέργειας για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα.



Εικόνα 1.4: Βολάν

(Πηγή: <https://depositphotos.com/77974702/stock-photo-flywheel-damper-for-automotive-diesel.html>, 19/8/2020)

Η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα βολάν διέπεται από δύο κύριες μεταβλητές, την αδράνεια του ρότορα και την ταχύτητα της περιστροφής του ρότορα. Οι κύριοι περιορισμοί της αποθήκευσης της ενέργειας του βολάν είναι η σχετικά υψηλή αυτοεκφόρτισή του σε συνδυασμό με την πλήρη απόδοση του κύκλου. Αυτή η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ρυθμό εκφόρτισης συν τον περιορισμό της ταχύτητας της μέγιστης αντοχής σε εφελκυσμό. Όσον αφορά την ενέργεια και την ισχύ, οι σύνθετοι ρότορες έχουν επιτύχει έως και 100 Wh / kg που είναι πολύ χαμηλότερο από τα θεωρητικά μέγιστα για τα υλικά που χρησιμοποιούνται.

1.4.5 Ηλεκτρική πηγή ενέργειας

Στα συμβατικά οχήματα, η ισχύς του κινητήρα που χρησιμοποιείται για την παροχή της μέγιστης επιτάχυνσης είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που απαιτείται για τη σταθερή ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει επειδή η ροπή ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι ελάχιστη σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής λόγω του γεγονότος ότι ο κινητήρας ο ίδιος, είναι ο προμηθευτής αέρα. Αυτό σημαίνει ότι, η χαμηλή ταχύτητα ισούται με λίγο αέρα που χρησιμοποιείται για την καύση. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας από την άλλη πλευρά παρέχει τη μέγιστη ροπή του στην ακινητοποίηση και ως εκ τούτου είναι ένα καλό

συμπλήρωμα στο χαρακτηριστικό της ροπής του κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με πολλούς τρόπους. Η ηλεκτροχημική και η ηλεκτροστατική αποθήκευση είναι δύο συχνά παραδείγματα. Αυτή η αποθήκευση πραγματοποιείται στις γνωστές μπαταρίες και σε άλλα ηλεκτροστατικά προϊόντα αποθήκευσης, τους πυκνωτές.

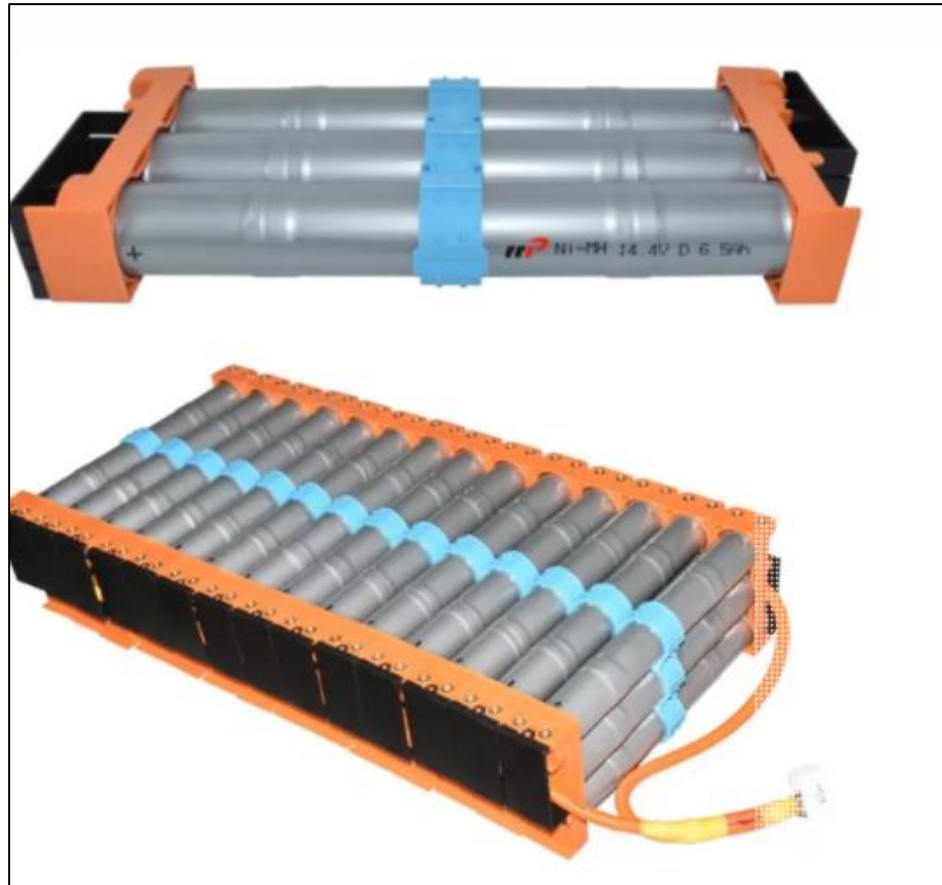
1.4.6 Ηλεκτροχημική πηγή ενέργειας

Ένα προϊόν αποθήκευσης της ηλεκτροχημικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα μια μπαταρία είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Από την εφεύρεσή της το 1800 από την Alessandro Volta, η μπαταρία έχει γίνει μια δημοφιλής πηγή ενέργειας για πολλές οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές και σήμερα αποτελεί ένα αναπόσπαστο μέρος των περισσότερων συσκευών του εμπορίου. Υπάρχουν τόσο επαναφορτιζόμενες, όσο και μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, αλλά οι μόνες που κατακτούν το ενδιαφέρον για τις υβριδικές εφαρμογές είναι οι επαναφορτιζόμενες. Αυτό φυσικά συμβαίνει επειδή δεν υπάρχουν μπαταρίες, οι οποίες να μπορούν να τροφοδοτούν ένα όχημα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, χωρίς επαναφόρτιση.

Η προσπάθεια ανάπτυξης της μπαταρίας έχει επικεντρωθεί στην επέκταση της χωρητικότητας, στην αύξηση της διάρκειας του κύκλου ζωής, στην ελαχιστοποίηση του ρυθμού της αυτόματης εκφόρτισης και στην αύξηση της ισχύος της εξόδου, διατηρώντας παράλληλα τη σταθερότητα της θερμοκρασίας. Η ενέργεια, η ισχύς και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της χημικής σύνθεσης με την οποία σχεδιάζεται.

Το κύριο μειονέκτημα του ηλεκτροχημικού σχεδιασμού των μπαταριών είναι το γεγονός ότι η χημική διαδικασία είναι χρονοβόρα, ειδικά κατά τη φόρτιση. Αυτό περιορίζει το ρυθμό ενέργειας που θα μπορούσε να αποθηκευτεί με τις ηλεκτροχημικές διεργασίες μιας μπαταρίας, καθιστώντας δύσκολη τη διαδικασία αναγέννησης ισχύος από την πέδηση. Μια λύση σε ορισμένα από αυτά τα προβλήματα είναι η μέθοδος της ηλεκτροστατικής αποθήκευσης ενέργειας, αλλά από την άλλη και η μέθοδος αυτή έχει εξίσου κάποια δικά της μειονεκτήματα. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μια μεγάλη προσπάθεια στο κομμάτι της καινοτομίας, στη δημιουργία ειδικών μπαταριών (Εικόνα 1.5: Μπαταρία υβριδικού οχήματος) για τα υβριδικά οχήματα.



Εικόνα 1.5: Μπαταρία υβριδικού οχήματος

(Πηγή: <http://www.lithiumlifepo4battery.com/sale-12814980-small-size-hybrid-vehicle-battery-14-4v-6500mah-toyota-prius>, 16/8/2020)

1.4.7 Ηλεκτροστατική πηγή ενέργειας

Ένας πυκνωτής είναι μια συσκευή που αποτελείται από δύο ή περισσότερες αγώγιμες πλάκες, που διαχωρίζονται μεταξύ τους από έναν διηλεκτρικό μη αγώγο, όπως γυαλί, μάρμαρο, πλαστικό ή ξηρό αέρα. Αυτό το εξάρτημα χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των ηλεκτρικών φορτίων. Με τον ίδιο τρόπο που δύο επαγωγείς μπορούν να συνδεθούν μαγνητικά για τη δημιουργία ενός μετασχηματιστή, έτσι και δύο αγωγοί μπορούν να συζευχθούν ηλεκτροστατικά για να σχηματίσουν έναν πυκνωτή.

Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται συχνά στις ηλεκτρονικές εφαρμογές ως βραχυπρόθεσμες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως φίλτρα συχνοτήτων λόγω των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών τους. Ο πρώτος γνωστός πυκνωτής εφευρέθηκε τον Οκτώβριο του 1745 από τον Ewald Georg von Kleist στη Γερμανία. Ένας κανονικός πυκνωτής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δευτερεύουσα συσκευή αποθήκευσης ενέργειας σε υβριδικά οχήματα, καθώς η ενέργεια που μπορεί να εξάγει είναι πολύ χαμηλή. Η ανάπτυξη των πυκνωτών έχει οδηγήσει την τεχνολογία στους «υπερ-πυκνωτές» οι οποίοι ακολουθούν την ίδια αρχή με τους συνηθισμένους πυκνωτές, αλλά χρησιμοποιούν «διπλά στρώματα»

ιόντων και ως εκ τούτου έχουν αρκετές τάξεις μεγέθους υψηλότερης χωρητικότητας από τους συνηθισμένους πυκνωτές.

Τα χαρακτηριστικά των «υπερ-πυκνωτών» τους καθιστούν ιδανικούς για αποθήκευση ενέργειας (η οποία όμως είναι χαμηλή), αλλά η χρήση τους είναι εξαιρετικά παροδική. Για αυτό το λόγο, συχνά συναντώνται κατά την επιτάχυνση ή την αναγεννητική πέδηση ενός υβριδικού οχήματος, καθιστώντας το ένα πολύ καλό συμπλήρωμα της αργής στη φόρτιση, ηλεκτροχημικής μεθόδου αποθήκευσης της ενέργειας.

1.4.8 Κυψέλες καυσίμου ως πηγή ενέργειας

Οι κυψέλες καυσίμου (Εικόνα 1.6: Κυψέλη καυσίμου) είναι ένας άλλος τύπος ηλεκτροχημικής συσκευής για την αποθήκευση ενέργειας, αλλά διαφέρουν αρκετά από αυτούς που έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω. Μια κυψέλη καυσίμου μετατρέπει τη χημική ενέργεια ενός καυσίμου απευθείας σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια, δηλαδή ηλεκτρισμό και θερμότητα, χωρίς κανένα τύπο καύσης.



Εικόνα 1.6: Κυψέλη καυσίμου

(Πηγή: <https://fuelcellworks.com/news/horizon-automotive-pem-fuel-cells-to-set-300kw-benchmark> 16/8/2020)

Συνοπτικά, η κυψέλη καυσίμου παράγει ηλεκτρισμό από το καύσιμο στην πλευρά της ανόδου και ένα οξειδωτικό στην πλευρά της καθόδου, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους υπό την παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Το καύσιμο οξειδώνεται ηλεκτροχημικά στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου της καθόδου και το οξειδωτικό μειώνεται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου της ανόδου. Τα ιόντα που δημιουργούνται από αυτές τις αντιδράσεις μπορούν να ρέουν μέσω του ηλεκτρολύτη μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων και εάν συνδέονται σε ένα κλειστό κύκλωμα, μπορεί να δημιουργηθεί ρεύμα (Larminie J., 2003).

Η κύρια διαφορά των κυψελών καυσίμου σε σύγκριση με τις μπαταρίες είναι, ότι μια κυψέλη καυσίμου καταναλώνει το αντιδραστήριο της, το οποίο με τη σειρά του πρέπει να ξαναγεμίζεται συνεχώς. Από την άλλη πλευρά, μια μπαταρία δε χρησιμοποιεί μια ανάλογη διαδικασία, καθώς αποθηκεύει ενέργεια σε ένα κλειστό χημικό σύστημα. Επιπλέον, ενώ τα ηλεκτρόδια μιας μπαταρίας αντιδρούν και αλλάζουν κατά τη διάρκεια φόρτισης / εκφόρτισης, τα ηλεκτρόδια μιας κυψέλης καυσίμου είναι καταλυτικά και σχετικά σταθερά.

Η αρχή που χρησιμοποιείται στη μετατροπή της ενέργειας μέσω των κυψελών καυσίμου ανακαλύφθηκε από το Γερμανό επιστήμονα Christian Friedrich Schönbein το 1839 (Bossell U., 2004). Η πρώτη εμπορική χρήση μιας κυψέλης καυσίμου έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 σε ένα κοινό έργο της GE με τη NASA.

Υπάρχουν πολλοί τύποι κυψελών καυσίμου και η κύρια διαφορά μεταξύ τους είναι το καύσιμο και το οξειδωτικό που χρησιμοποιείται στην καθεμία. Αυτές του υδρογόνου, χρησιμοποιούν υδρογόνο ως καύσιμο και οξυγόνο (π.χ. αέρα) ως οξειδωτικό. Άλλοι τύποι χρησιμοποιούν υδρογονάνθρακες ή αλκοόλες ως καύσιμο και αέρα, χλωριούχο ή διοξείδιο του χλωρίου ως οξειδωτικά.

Μια κυψέλη καυσίμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την τροφοδοσία με καύσιμο, όσο και ως συσκευή αποθήκευσης, τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια. Όταν χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας, η κυψέλη καυσίμου μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε καύσιμο, που αργότερα θα μπορούσε να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένας τύπος κυψέλης καυσίμου που είναι ικανός για αυτή τη λειτουργία ονομάζεται «Μονάδα αναγεννητικής κυψέλης καυσίμου» ή «URFC». Η αρχή της αμφίδρομης μετατροπής της ενέργειας των κυψελών καυσίμου πραγματοποιείται από μια διαφορετική συσκευή. Αυτή ονομάζεται «αντίστροφος μετατροπέας», όπου μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε καύσιμο. Η συνηθισμένη κανονική επιλογή καυσίμου είναι το υδρογόνο, το οποίο είναι ένας ηλεκτρολύτης και η κυψέλη καυσίμου όπως αναφέρθηκε μετατρέπει το καύσιμο αυτό σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην υβριδική εφαρμογή των κυψελών καυσίμου για τη λειτουργία τους ως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, υπάρχουν δύο λύσεις. Η μία είναι η χρήση ενός τύπου «URFC» όπως αναφέρθηκε, όπου η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει και ως ηλεκτρολύτης και ως κυψέλη καυσίμου. Η εναλλακτική και ο «προκάτοχος» της πρώτης λύσης είναι η πιο δοκιμασμένη. Αποτελείται από μια εξωτερική μονάδα παραγωγής καυσίμων, π.χ. έναν ηλεκτρολύτη μαζί με ένα δοχείο αποθήκευσης αερίου, συνδεδεμένο σε μια κυψέλη καυσίμου που μετατρέπει τα αποθηκευμένα αέρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πρόβλημα και στις δύο περιπτώσεις, είναι ότι το αέριο που παράγεται είτε από τη μονάδα παραγωγής καυσίμων είτε από το URFC, πρέπει να αποθηκευτεί και η αποθήκευση του υδρογόνου είναι δύσκολη.

Το υδρογόνο μπορεί να παράγει αρκετή ενέργεια και ως εκ τούτου είναι ένα πολύ καλό καύσιμο, αλλά το πρόβλημα είναι η αποθήκευσή του. Καθώς το υδρογόνο είναι αέριο σε θερμοκρασία άνω των $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, η αποθήκευσή του ως υγρό επιβάλλει μεγάλες απώλειες της ενέργειας και πολύ καλά μονωμένα δοχεία. Μια εναλλακτική λύση είναι η αποθήκευση του υπό πολύ υψηλή πίεση,

αλλά τα δοχεία επιβάλλεται να είναι ακόμη πιο μεγάλα και πιο βαριά λόγω αυτής της πίεσης. Υπάρχει αρκετή έρευνα σχετικά με αυτό το θέμα και έχουν υποβληθεί πολλές υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις, όπως για παράδειγμα η αποθήκευση του υδρογόνου σε μεταλλικά υβρίδια, ωστόσο, ο κύριος περιορισμός όλων των μετατροπών ενέργειας με βάση το υδρογόνο είναι η αποθήκευση του.

Ο τύπος URFC, δείχνει να αποτελεί μια υποσχόμενη χρήση των κυψελών καυσίμου ως αμφίδρομων συσκευών αποθήκευσης ενέργειας και σε συνδυασμό με μια ελαφριά συσκευή αποθήκευσης υδρογόνου, αποδεικνύεται ότι μπορεί να φτάνει σε ενεργειακές πυκνότητες άνω των 400 Wh / kg, η οποία τιμή είναι διπλάσια από την προβλεπόμενη τιμή των γνωστών μπαταριών (European Community, 2003).

Το πιο ενδιαφέρον για τις κυψέλες καυσίμου δεν είναι η χρήση τους ως δευτερεύουσες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας σε ένα υβριδικό όχημα αλλά η ικανότητα λειτουργίας τους ως μετατροπείς καυσίμου. Ως εκ τούτου αποτελούν εναλλακτική λύση για την κύρια πηγή ενέργειας ενός υβριδικού οχήματος. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης μιας κυψέλης καυσίμου ως κύριου μετατροπέα ενέργειας, είναι η αυξημένη απόδοση τους σε σύγκριση με τις συμβατικές λύσεις. Η αποδοτικότητα μιας κυψέλης καυσίμου εξαρτάται δυστυχώς όμως από την ποσότητα ισχύος που χρησιμοποιείται. Αντλώντας περισσότερη ισχύ σημαίνει μεγαλύτερα ρεύματα που με τη σειρά τους αυξάνουν τις απώλειες στην κυψέλη καυσίμου, καθώς οι περισσότερες απώλειες σε μια κυψέλη καυσίμου οδηγούν σε πτώση της τάσης. Η τάση της κυψέλης καυσίμου είναι σχεδόν γραμμική με την απόδοση, δηλαδή υψηλότερη τάση της κυψέλης σημαίνει υψηλότερη απόδοση.

Τα οχήματα κυψελών καυσίμου που λειτουργούν με πεπιεσμένο υδρογόνο εμφανίζουν κατά προσέγγιση μια απόδοση του καυσίμου από τις κυψέλες στους τροχούς της τάξεως του 22% και τα οχήματα υγρού υδρογόνου σταματούν περίπου στο 17%, πέφτοντας έτσι κάτω από το επίπεδο ενός συμβατικού και πολύ λιγότερο ακριβού οχήματος (Helmolt R. & Eberle U., 2007).

Μέχρι και μερικά χρόνια πριν, οι κυψέλες καυσίμου για χρήση σε αυτοκίνητα, φάνταζαν ένα μακρινό σενάριο. Αυτό συνέβαινε λόγω του συνδυασμού της έλλειψης της αύξησης της απόδοσης, της δύσκολης αποθήκευσης του καυσίμου, της έλλειψης των υποδομών για το καύσιμο και το υψηλό κόστος των πρώτων υλών. Τα προηγούμενα έτη με τις υπάρχουσες τεχνολογίες, οι κυψέλες καυσίμου θεωρούνταν ασύμφορες στο σχεδιασμό των υβριδικών οχημάτων. Στις μέρες μας, λόγω της τεχνολογίας που αυξάνεται συνεχώς, παρατηρούνται αρκετές προσπάθειες από τις αυτοκινητοβιομηχανίες να παράγουν αυτοκίνητα με τις εν λόγω τεχνολογίες.

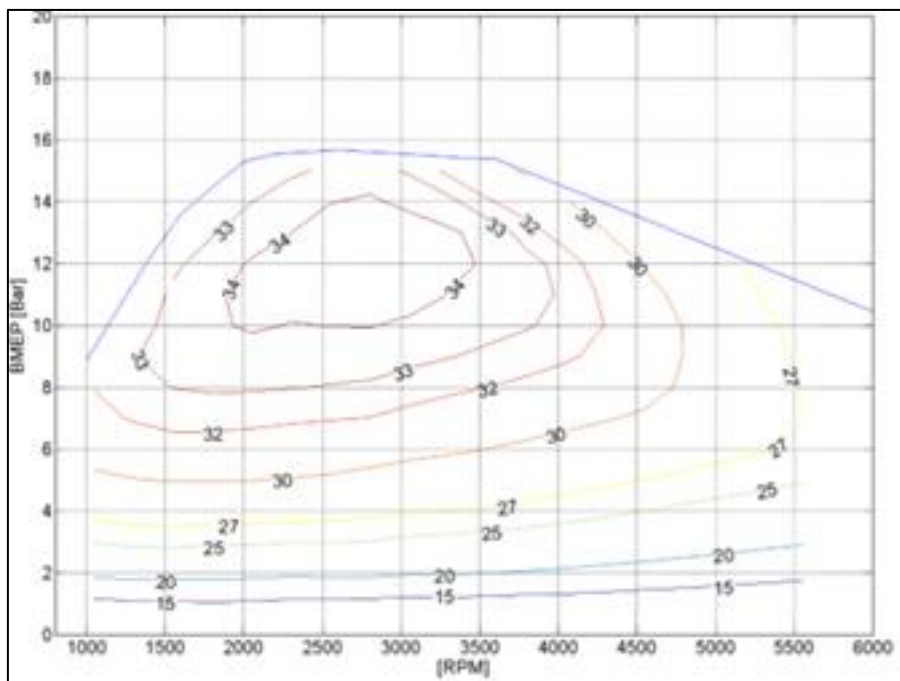
1.5 Μετατροπείς (κινητήρες) πρωτογενούς ενέργειας

Ο μετατροπέας πρωτογενούς ενέργειας σε ένα υβριδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης ορίζεται ως μονοκατευθυντικός μετατροπέας, συχνότερα

μεταξύ αποθήκευσης χημικής (πρωτογενούς) ενέργειας και μηχανικής πρόσφυσης. Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι κλασσικοί παγιωμένοι κινητήρες αυτοκινήτων.

1.5.1 Κινητήρας Otto

Ο πιο αναγνωρισμένος κινητήρας καύσης στα αυτοκίνητα είναι ο κινητήρας Otto, ο οποίος συχνά τροφοδοτείται από βενζίνη. Ο κινητήρας Otto λειτουργεί σε έναν ευέλικτο θερμοδυναμικό κύκλο καταναλώνοντας βενζίνη, αιθανόλη και παρόμοια καύσιμα. Αυτή η τεχνολογία έχει που χρησιμοποιείται ευρέως για πάνω από 100 χρόνια τώρα, και η απόδοσή της όσον αφορά την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα έχει αυξηθεί. Ωστόσο, η μέση αποδοτικότητα σε τελικές εφαρμογές όπως τα αυτοκίνητα εξακολουθεί να είναι πολύ περιορισμένη. Στο Διάγραμμα 1.1: Απόδοση από έναν turbo κινητήρα Otto. BMEP (y άξονας) είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής εξόδου (Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009) φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα του κινητήρα πέφτει σύντομα έξω από μια περιορισμένη περιοχή φορτίου. Ο κινητήρας Otto είναι σήμερα ένα πολύπλοκο μηχάνημα, που οδηγεί σε υψηλές απαιτήσεις συντήρησης. Ένα άλλο προφανές μειονέκτημα σχετικά με την αποτελεσματικότητά του είναι η απαραίτητη λειτουργία του ρελαντί ακόμα και όταν δεν αναπτύσσεται καμία χρήσιμη μηχανική ροπή εξόδου.



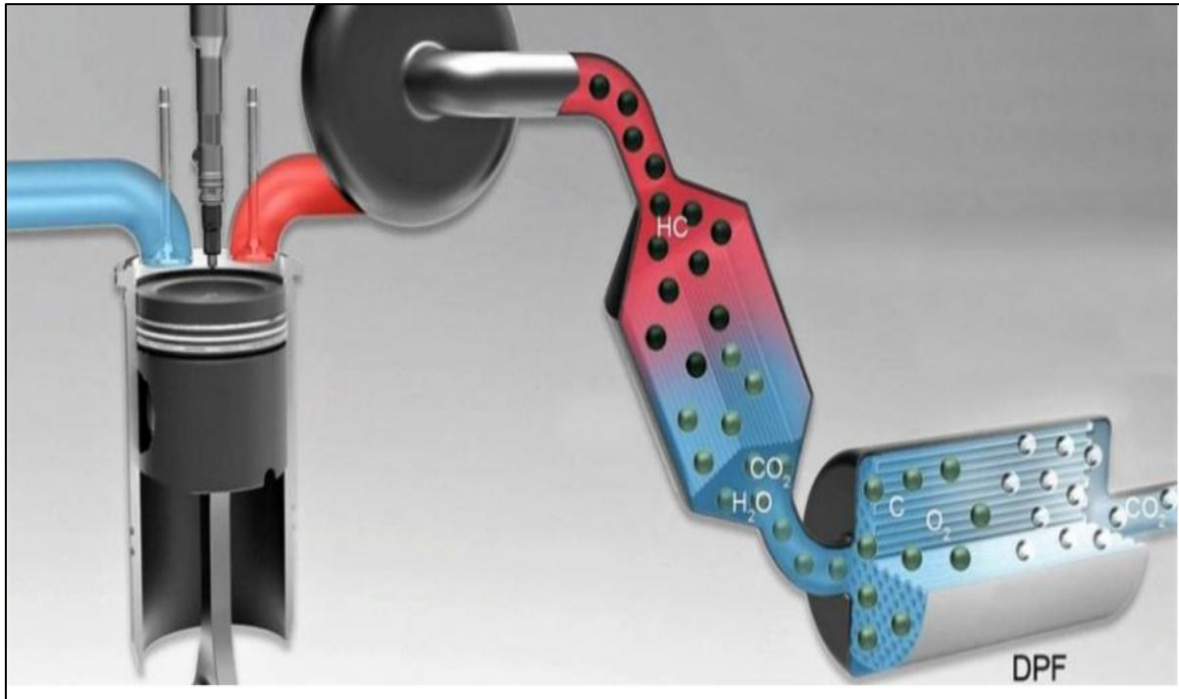
Διάγραμμα 1.1: Απόδοση από έναν turbo κινητήρα Otto. BMEP (y άξονας) είναι ανάλογη της μηχανικής ροπής εξόδου (Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009)

Η μέση κατανάλωση ισχύος για κανονικούς κύκλους οδήγησης είναι 4 kW έως 15 kW. Έξοδος ισχύος 4 kW αντιστοιχεί σε BMEP κάτω των 2,0 bar σε περιστροφικές ταχύτητες πάνω από 1000 RPM, οδηγώντας σε ένα πολύ δυσμενές σημείο φόρτωσης με απόδοση κάτω του 20%. Επιπλέον, η ισχύς 15 kW θα είχε ως αποτέλεσμα 3,0 bar στις 2600 RPM (τυπική κατάσταση στον αυτοκινητόδρομο), η οποία έχει επίσης ως αποτέλεσμα μια αρκετά χαμηλή απόδοση περίπου 25%.

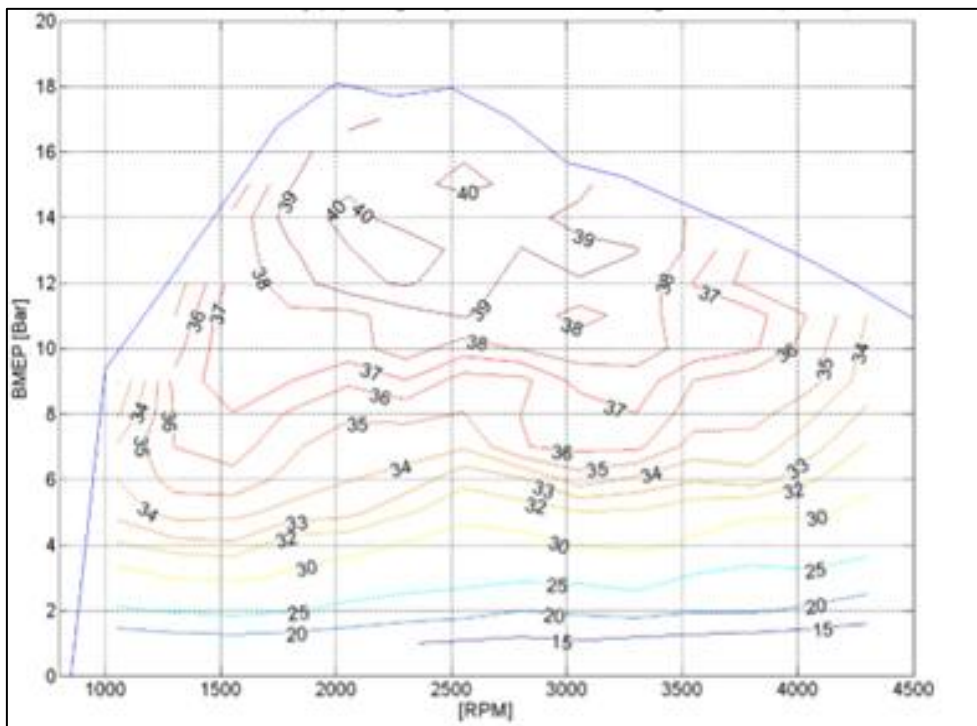
1.5.2 Κινητήρας πετρελαίου

Ο κινητήρας πετρελαίου είναι μακράν ο πιο συνηθισμένος κινητήρας καύσης στα βαρέα οχήματα, καθώς και σε ορισμένα άλλα οχήματα της βιομηχανίας. Συνολικά, ο κινητήρας πετρελαίου μοιράζεται τα ίδια μειονεκτήματα με αυτά του Otto, όπως την πολυπλοκότητα, την κατανάλωση της ενέργειας και μια ογκώδη εγκατάσταση με όλα τα βοηθητικά συστήματα. Ωστόσο, οι σύγχρονοι πετρελαιοκινητήρες αποτελούμενοι από σύστημα μετεπεξεργασίας¹ είναι καθαρότεροι και πιο αποτελεσματικοί **(Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** από έναν κινητήρα Otto με τις ίδιες προδιαγραφές. Το κύριο μειονέκτημα της αγοράς των κινητήρων πετρελαίου έναντι των κινητήρων Otto είναι το κόστος εγκατάστασης, όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 1.2: Απόδοση ενός κινητήρα πετρελαίου. BMEP (y-άξονας) είναι ανάλογο της μηχανικής ροπής εξόδου (Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009) καθώς και το σύστημα μετεπεξεργασίας.

¹ Το σύστημα μετεπεξεργασίας αποτελείται από μια σειρά εξαρτημάτων που καθαρίζουν τα καυσαέρια του πετρελαίου που εκπέμπονται από τον κινητήρα πριν απελευθερωθούν μέσω του σωλήνα εξαγωγής (εξάτμιση) στον εξωτερικό αέρα. Σκοπός του είναι να μειώσει την εκπομπή των επιβλαβών ρύπων στο περιβάλλον.



Εικόνα 1.7: Σύστημα μετεπεξεργασίας πετρελαίου (Πηγή: <https://www.starteg.gr/blog/1/9/2020>)

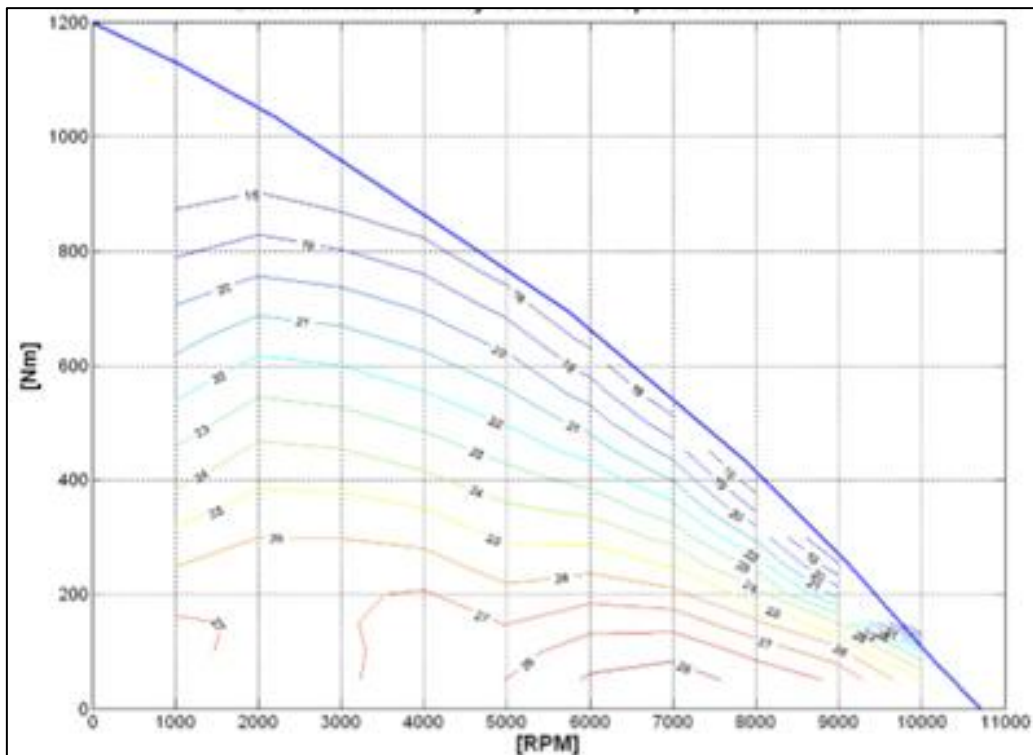


Διάγραμμα 1.2: Απόδοση ενός κινητήρα πετρελαίου. BMEP (γ-άξονας) είναι ανάλογο της μηχανικής ροπής εξόδου (Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009)

1.5.3 Κινητήρας Rankine

Ο κινητήρας Rankine είναι επίσης γνωστός και ως ατμομηχανή. Η πραγματοποίηση του κύκλου Rankine μπορεί να βασίζεται τόσο σε έναν κινητήρα εμβόλου όσο και σε έναν στρόβιλο. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστό ότι είναι η πιο ανθεκτική και επεκτάσιμη, επομένως χρησιμοποιείται τόσο καλά σε όλους τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Η εξωτερική καύση καθιστά αυτόν τον κινητήρα θερμότητας πολύ ευέλικτο στα καύσιμα. Οι εφαρμογές των κινητήρων Rankine πραγματοποιήθηκαν με επιτυχία στα αυτοκίνητα. Ήδη στη δεκαετία του 1970, στο παρελθόν η SAAB-Scania εφάρμοσε έναν κινητήρα Rankine με έμβολο σε ένα αυτοκίνητο ως ερευνητικό έργο για τη διερεύνηση της πιθανής αύξησης της αποδοτικότητας του καυσίμου. Σήμερα, οι συμπαγείς, φορητοί και υψηλής απόδοσης εμβολοφόροι κινητήρες Rankine διατίθενται από τον ίδιο εφευρέτη (Platell P., 2007).

Το πρόγραμμα αποδοτικότητας για έναν υπολογισμένο κινητήρα αυτοκινήτων Rankine, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.3: Απόδοση ενός κινητήρα Rankine **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**, έχει μερικά πολύ αξιοσημείωτα διακριτά χαρακτηριστικά. Μπορεί να παραδοθεί πολύ υψηλή ροπή σε χαμηλή ταχύτητα περιστροφής και μπορεί να επιτευχθεί πολύ υψηλή μέγιστη ταχύτητα περιστροφής. Το πιο σημαντικό είναι η μέγιστη απόδοση, ότι αποδίδεται σε χαμηλή ροπή, όπου είναι πιο συχνό στα φορτία ελαφρών οχημάτων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι ένας κινητήρας με έμβολο ατμού θεωρητικά δεν χρειάζεται να λειτουργεί σε κατάσταση αναμονής, γεγονός που δίνει ακόμη περισσότερες βελτιώσεις απόδοσης, υποστηρίζοντας εγγενώς την εξάλειψη του ρελαντί.

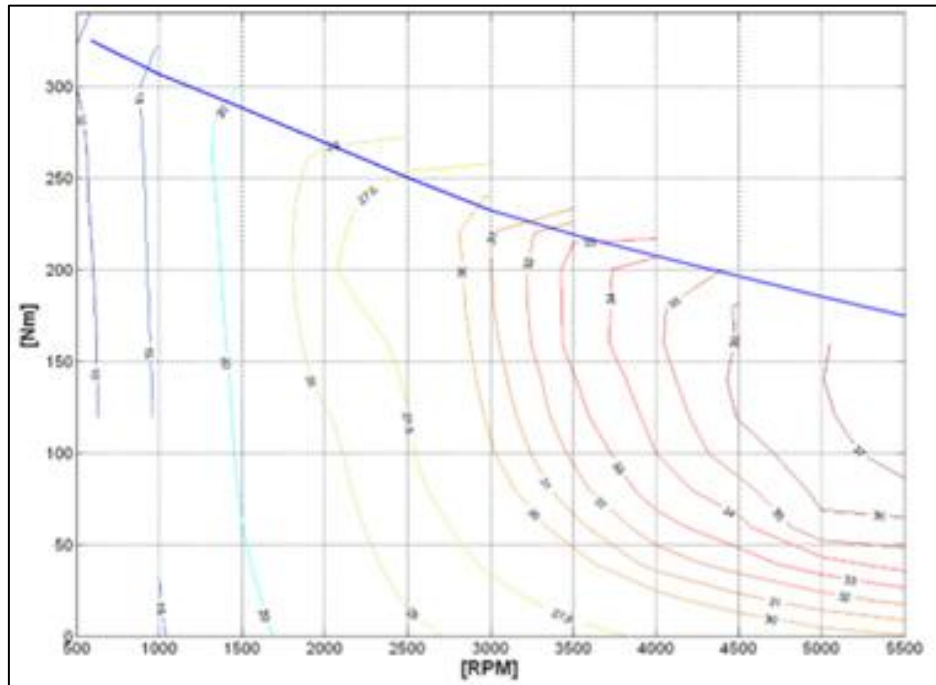


Διάγραμμα 1.3: Απόδοση ενός κινητήρα Rankine
(Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009)

1.5.4 Κινητήρας Brayton

Ο κινητήρας Brayton είναι επίσης γνωστός ως αεριοστρόβιλος, μικροστρόβιλος, JET ή turbo γεννήτρια. Ο κινητήρας Brayton διαθέτει υψηλή αναλογία ισχύος προς το φορτίο που είναι αρκετά επιθυμητό στα αυτοκίνητα. Η λειτουργία του Brayton είναι ευέλικτη στα καύσιμα και μπορεί να γίνει πολύ καθαρή με μετεπεξεργασία καυσαερίων. Ωστόσο, διαθέτει μάλλον υψηλές αναμονές αδράνειας και είναι προτιμότερο να λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα περιστροφής για να επιτύχει μια λογική απόδοση, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.4: Απόδοση ενός κινητήρα Brayton **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης**

της αναφοράς δεν βρέθηκε.. Ο κινητήρας Brayton είναι πιθανότατα πιο κατάλληλος για να συνεργαστεί με μια γεννήτρια υψηλής ταχύτητας σε ένα υβριδικό σύστημα κίνησης, όπως επιτεύχθηκε με επιτυχία από τη Volvo στα τέλη της δεκαετίας του '90 με το πρωτότυπο υβριδικό λεωφορείο HSG (Andersson P., 2000).

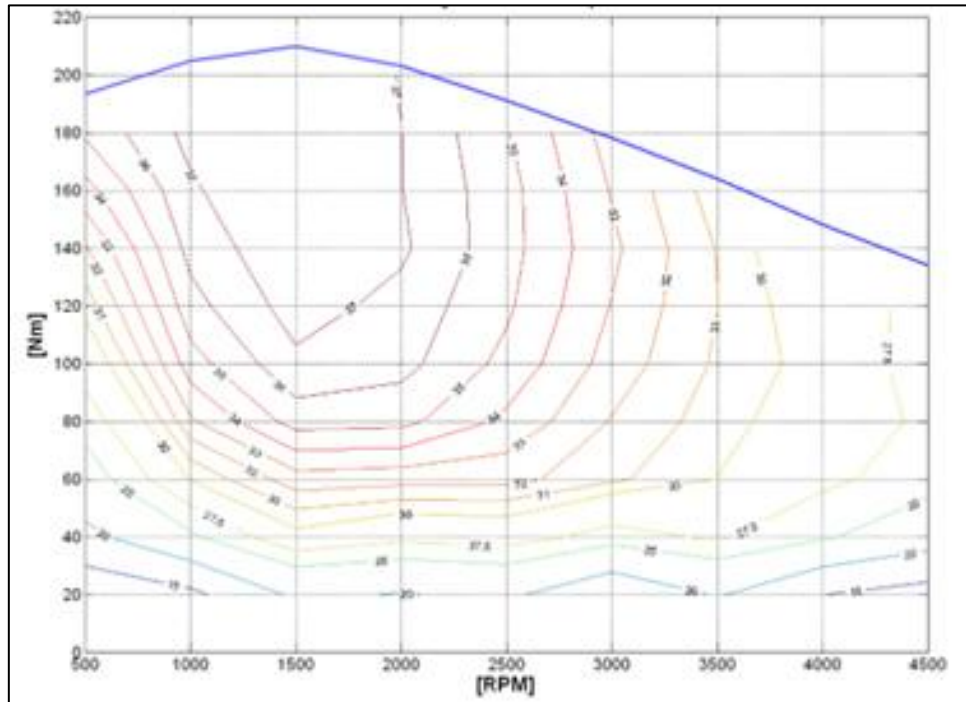


Διάγραμμα 1.4: Απόδοση ενός κινητήρα Brayton

(Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009)

1.5.5 Κινητήρας Stirling

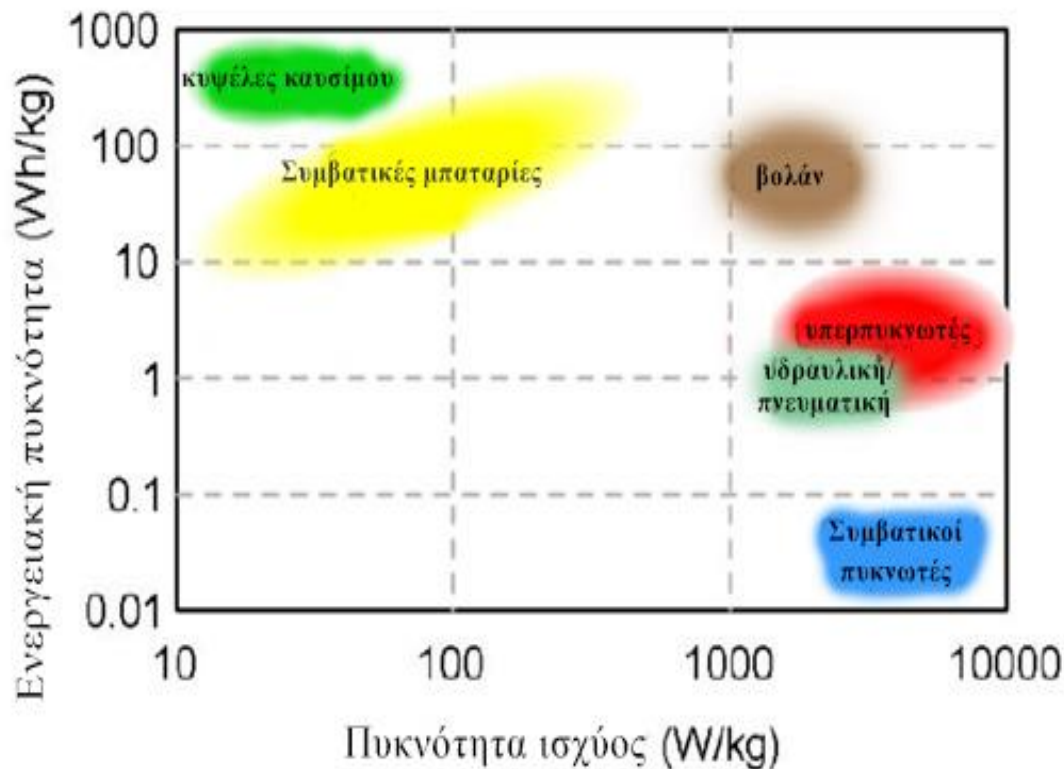
Ο κινητήρας Stirling είναι επίσης ένας έγκυρος υποψήφιος για την τροφοδοσία ενός αυτοκινήτου. Λόγω της εξωτερικής καύσης, μπορεί να είναι πολύ ευέλικτος και να λειτουργεί με τα περισσότερα καύσιμα που διαθέτουν καθαρή υπαίθρια καύση. Το πρόγραμμα αποδοτικότητας ενός κινητήρα Stirling αυτοκινήτων, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1.5: Απόδοση ενός κινητήρα Stirling **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** είναι κάπως παρόμοιο με έναν κινητήρα πετρελαίου. Ο κινητήρας Stirling διαθέτει πολύ υψηλή ροπή με χαμηλό ρυθμό περιστροφής, αλλά συνήθως απαιτεί βοήθεια στη διαδικασία εκκίνησης μέσω βοηθητικών εξαρτημάτων. Αυτός ο τύπος κινητήρα είναι επίσης γνωστός για τις μεγάλες δυνατότητες αθόρυβης λειτουργίας, χωρίς κραδασμούς και χωρίς εκπομπές (με το σωστό μείγμα καυσίμου). Εκτελέστηκαν εκτεταμένα έργα ανάπτυξης με κινητήρες Stirling για τη χρήση του στην αυτοκινητοβιομηχανία τη δεκαετία του 1980 (Ernst D. W., 1997). Τα αποτελέσματα ήταν καλά, παρέχοντας 30% καλύτερη οικονομία καυσίμου σε σύγκριση με έναν παρόμοιο κινητήρα ανάφλεξης με σπινθήρα. Μια άλλη διάσημη υβριδική εφαρμογή με κινητήρες Stirling είναι τα σουηδικά υποβρύχια Gotland.



Διάγραμμα 1.5: Απόδοση ενός κινητήρα Stirling
 (Πηγή: Egnell R. Department of Energy Sciences, Combustion Engines, Lund University, March 2009)

1.6 Επιλογή πηγής υβριδικής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός υβριδικού οχήματος είναι η δευτερεύουσα πηγή ισχύος. Όλες η πηγές ενέργειας που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Ξεκινώντας με την πυκνότητα ενέργειας και της ισχύος, στο Διάγραμμα 1.6: Πυκνότητα ενέργειας / ισχύος ηλεκτρικών μεθόδων αποθήκευσης., παρατηρείται η γραφική παράσταση της πυκνότητας ισχύος προς τη μάζα έναντι της πυκνότητας ενέργειας προς τη μάζα των εφαρμοζόμενων εναλλακτικών λύσεων.



Διάγραμμα 1.6: Πυκνότητα ενέργειας / ισχύος ηλεκτρικών μεθόδων αποθήκευσης
(Πηγή: Jeong G. et al., 2015)

Η ιδανική περίπτωση είναι φυσικά μια υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε συνδυασμό με μια υψηλή πυκνότητα ισχύος. Η μέθοδος της αποθήκευσης της ενέργειας μέσω του βολάν φαίνεται να προσφέρει την υψηλότερη συνδυαστική αξία των δύο. Ωστόσο, όπως συζητήθηκε, η αποδοτικότητα του κύκλου της αποθήκευσης της ενέργειας του βολάν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από το ρυθμό φόρτισης / εκφόρτισης. Έτσι, υπάρχει ένας αρκετά υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης ενώ επιβραδύνεται. Επομένως, δε διαθέτει όλες τις ικανότητες που απαιτούνται για να χρησιμεύσει ως ένα δευτερεύον σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για ένα υβριδικό όχημα. Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου αποθήκευσης της ενέργειας του βολάν ταιριάζουν καλύτερα για μια βραχυπρόθεσμη, πολύ παροδική, αποθήκευση ενέργειας που δεν συμβαίνει πάντα στην κανονική οδήγηση. Από την άλλη πλευρά, θα μπορούσε να αναφερθεί πως αποτελεί μια δευτερεύουσα πηγή ενέργειας που δεν είναι ικανή να μεταβάλλει την υψηλή ενέργεια, χρησιμεύοντας έτσι ως τρίτη πηγή ενέργειας, π.χ. είναι ιδανικό για την αναγεννητική πέδηση. Ένα άλλο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι αποτελεί ένα κατεξοχήν μηχανικό σύστημα. Επομένως θα απαιτούνταν ένα ηλεκτρικό σύστημα βολάν το οποίο στη συνέχεια θα εξακολουθούσε να απαιτεί ένα σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης. Το συμπέρασμα είναι ότι για εφαρμογές υβριδικών οχημάτων, η μέθοδος αποθήκευσης του βολάν είναι η πλέον κατάλληλη για καθαρά συστήματα πέδησης αναγέννησης, όπως το «F1 KERS».

Προχωρώντας προς το πνευματικό / υδραυλικό υβρίδιο, το κύριο μειονέκτημα του είναι σαφές. Η μέθοδος αποθήκευσης απαιτεί μεγάλα δοχεία

ως δεξαμενές και μεγάλη ποσότητα μη συμπιεσμένου υγρού το οποίο δημιουργεί πολλά από τα προβλήματα που έχουν ήδη αναφερθεί. Από την άλλη πλευρά, η πυκνότητα ισχύος είναι καλή και με τον ίδιο τρόπο όπως και τα βολάν και οι υπερ-πυκνωτές, αφού μπορεί να απορροφήσει ή να τροφοδοτήσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η λύση του πνευματικού / υδραυλικού υβριδίου ταιριάζει καλύτερα σε χρήσεις για συνεχόμενες στάσεις και εκκινήσεις στην κίνηση των δρόμων, συνδυάζοντας την υψηλή απόδοση της διαδρομής και τη χωρητικότητα για υψηλούς ρυθμούς φόρτισης και εκφόρτισης.

Τα ηλεκτρικά στοιχεία που έχουν αναφερθεί, χωρισμένα σε μπαταρίες, πυκνωτές και κυψέλες καυσίμου με τη σειρά τους έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ξεκινώντας με τις κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιούνται ως δευτερεύουσα πηγή ενέργειας σε υβριδικά οχήματα, ο περιορισμός τους στην πυκνότητα ισχύος, ο χαμηλός συνολικός κύκλος της αποδοτικότητας και το υψηλό κόστος, περιορίζουν τη χρήση τους σε οχήματα παραγωγής. Όπως όμως αναφέρθηκε, οι κυψέλες καυσίμου έχουν πολύ τεχνολογικό ενδιαφέρον για το μέλλον.

Οι μπαταρίες και οι υπερ-πυκνωτές αποτελούν ηλεκτρικά στοιχεία, εκ των οποίων κανένα δε συνδυάζει την ίδια ενεργειακή πυκνότητα και πυκνότητα ισχύος σε σύγκριση για παράδειγμα με τη βενζίνη. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί, ότι δεν υπάρχει επί του παρόντος κάποια εναλλακτική λύση που να ταιριάζει σε όλες τις ανάγκες. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους για τους οποίους τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έχουν γίνει η πιο δημοφιλής επιλογή υβριδισμού μεταξύ των μεγάλων κατασκευαστών αυτοκινήτων. Ο υβριδισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια ηλεκτρικών μηχανών και συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (με τη χρήση εξαρτημάτων με υψηλή ατομική απόδοση), οι οποίες με τη σειρά τους, μπορούν να συνδεθούν μαζί με τη βοήθεια ενός δικτύου. Πολλές φορές αναφέρεται ότι οι συμβατικές μπαταρίες και οι υπερ-πυκνωτές αλληλοσυμπληρώνονται μεταξύ τους. Στην ουσία συνδυάζουν τα καλά χαρακτηριστικά τους και μαζί μπορούν να υποστηρίξουν και τις μεγάλες ποσότητες αποθηκευμένης ενέργειας και να παράγουν μεγάλες ποσότητες ισχύος, διατηρώντας παράλληλα ένα σχετικά χαμηλό βάρος στο όχημα.

Όπως είναι γνωστό, σε ένα σύγχρονο όχημα υπάρχουν πολλές βοηθητικές συσκευές, όπως για παράδειγμα το υδραυλικό τιμόνι, ο κλιματισμός και ο εναλλάκτης. Ο εναλλάκτης τροφοδοτεί με τη σειρά του ακόμη περισσότερα βοηθητικά υποσυστήματα, όπως τις ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου, τα φώτα και τους ενεργοποιητές. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού συστήματος υψηλής τάσης ικανό να παρέχει υψηλή ισχύ, μπορεί να ενισχυθεί η χρήση αυτών των βοηθητικών συστημάτων, δηλαδή να επιτευχθεί αύξηση της απόδοσης. Συστήματα που συνδέονται μηχανικά μπορούν να συνδυαστούν με ηλεκτρικά συστήματα και μέσω αυτού να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά.

Επιπλέον, σε σύγκριση με τις εναλλακτικές λύσεις, δεν υπάρχουν μεγάλα μειονεκτήματα ενός ηλεκτρικού υβριδίου. Οι τεχνολογίες πίσω από τα εξαρτήματα ενός υβριδικού οχήματος χρησιμοποιούνται σε αρκετούς άλλους βιομηχανικούς κλάδους και οικιακές εφαρμογές. Επομένως, είναι αρκετοί οι

τομείς που απαιτούν την περαιτέρω ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας πέρα από αυτόν, των αυτοκινήτων. Με τον ίδιο τρόπο, το κόστος μπορεί να μειωθεί καθώς ο όγκος αυξάνεται και πιο συγκεκριμένα για παράδειγμα, καλύτερες μπαταρίες θα εξυπηρετούσαν πολλά διαφορετικά πεδία προϊόντων. Ένα υβριδικό όχημα μπορεί να υποστηρίξει επίσης με ευελιξία την τεχνολογία των κυψελών καυσίμου στο μέλλον οι οποίες είναι κατάλληλες για χρήση «plug-in», η οποία είναι στην ουσία η «προ-φόρτιση» του οχήματος από μια εξωτερική πηγή ισχύος.

2. ΒΑΘΜΟΣ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχουν πολλές κατηγορίες και λειτουργίες για ένα υβριδικό όχημα. Φυσικά, η έννοια του υβριδικού είναι αρκετά γενική αν αναλογιστεί κανείς τις διαφορετικές συνθέσεις και καινοτομίες που κάθε εταιρεία μπορεί να εφαρμόσει στην παραγωγή της. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν είναι όλα τα υβριδικά οχήματα και όμοια μεταξύ τους.

2.1 Μέτρηση του βαθμού υβριδισμού

Όταν σχεδιάζεται ένα υβριδικό όχημα, υπάρχουν πολλοί σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ένας από αυτούς είναι το μέγεθος του κύριου κινητήρα και των δευτερευόντων ηλεκτρικών μηχανών. Επιπλέον πρέπει να υπολογιστεί ποια θα είναι η συνολική χωρητικότητα ισχύος και πώς πρέπει να διαιρείται η ισχύς μεταξύ των δύο. Αυτό ορίζεται ως «βαθμός υβριδισμού» και είναι μία από τις πιο δύσκολες σχεδιαστικές μεταβλητές που πρέπει να καθοριστούν, καθώς μπορεί να καταναλώσει μεγάλες προσπάθειες ανάπτυξης (απαιτούνται πολλές προσομοιώσεις μέχρι το τελικό αποτέλεσμα). Το δεύτερο μεγαλύτερο ζήτημα είναι το πως η ισχύς θα διαχειρίζεται και θα διαιρείται μεταξύ των πηγών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν. Η διαχείριση της ισχύος είναι ένας από τους μεγαλύτερους ερευνητικούς τομείς των υβριδικών οχημάτων.

Η συνολική ισχύς του κινητήρα υπολογίζεται ανάλογα των απαιτήσεων για την επιτάχυνση του οχήματος και μπορεί εύκολα να προσομοιωθεί. Το δύσκολο όμως μέρος είναι να διανέμεται η μέγιστη ικανότητα ισχύος μεταξύ των υβριδικών πηγών ισχύος. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης ενός υβριδικού οχήματος θα κυριαρχείται ή από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, ή

θα κυριαρχείται από μια ηλεκτρική μηχανή ή σε ειδικές περιπτώσεις θα κατανέμεται εξίσου.

Στην πρώτη περίπτωση, η κύρια προωθητική συσκευή θα είναι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που σημαίνει ότι η ηλεκτρική μηχανή θα είναι πιθανώς πολύ λιγότερο ισχυρή και θα χρησιμοποιεί έναν σχετικά μικρό συσσωρευτή ενέργειας. Στη δεύτερη περίπτωση, η ηλεκτρική μηχανή θα κυριαρχεί και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης θα έχει μειωμένο μέγεθος. Πιθανώς να λειτουργεί ως διακοπτόμενη πηγή ενέργειας και ως φορτιστής της μεγάλης μπαταρίας μαζί με κάποιες δυνατότητες ενίσχυσης κατά τη λειτουργία της μέγιστης ισχύος.

Για να διευκολυνθεί η ταξινόμηση και να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο ανάπτυξης και ελέγχου, ο βαθμός υβριδισμού πρέπει να ποσοτικοποιηθεί. Οι τρεις επικρατέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

Ταξινόμηση κατά:

1. την ισχύ του δευτερεύοντος συστήματος και τη χωρητικότητα του συσσωρευτή (Andrew M., 2006)
2. τις λειτουργίες του υβριδικού συστήματος και τους πιθανούς τρόπους λειτουργίας
3. την εξίσωση DOH (Baumann B. et al., 2000)

2.2 Κατηγορίες των υβριδικών οχημάτων

Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ταξινόμησης που χρησιμοποιείται, οι ίδιες οι τάξεις τείνουν να είναι οι ίδιες, αλλά ονομάζονται ανάλογα. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τάξεις και ονόματα:

- Ήπιο υβριδικό
- Υποβοήθησης ισχύος υβριδικό
- Πλήρες υβριδικό
- «Plug-in» υβριδικό (υβριδικό το οποίο λειτουργεί με τη διαδικασία της προφόρτισης)

Για παράλληλες και διαχωρισμένες διατάξεις ισχύος υπάρχουν περισσότερες από μία ενεργειακές διαδρομές στους τροχούς, οι οποίες επιτρέπουν ξεχωριστές λειτουργίες, δηλ. «όλα ηλεκτρικά» ή «όλα μηχανικά». Όμως, στην περίπτωση μιας σειράς υβριδικών κινητήρων, η λειτουργικότητα και ο τρόπος λειτουργίας του υβριδικού συστήματος περιορίζεται από την ίδια τη διάταξη, αλλά εξακολουθεί να είναι υβριδικό.

Σε σύγκριση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα, το ηλεκτρικό, απαιτεί μια εντελώς διαφορετική τεχνολογία. Τα βασικά εξαρτήματα είναι οι ελεγκτές κινητήρων, οι μετατροπείς, οι μπαταρίες καθώς και το σύστημα διαχείρισης μπαταριών. Πράγματι, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο απαιτεί ριζικούς μετασχηματισμούς από άποψη σχεδιασμού.

2.2.1 Ισχύς δευτερεύοντος συστήματος και χωρητικότητα συσσωρευτή

Αυτή η μέθοδος καθορίζει τον βαθμό υβριδισμού μόνο με βάση την ικανότητα ισχύος της δευτερεύουσας πηγής ενέργειας, χωρίς να αναφέρεται το επίπεδο ισχύος του κινητήρα εσωτερικής καύσης, σε συνδυασμό με την ενεργειακή ικανότητα του ηλεκτρικού συστήματος του συσσωρευτή. Στην ουσία, δεν αφορά τη λειτουργικότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης ή τη συνολική ισχύ του οχήματος, δηλαδή την κατανομή των πόρων ισχύος. Π.χ. Η ηλεκτρική ισχύς 10-15 kW, θα μπορούσε να είναι μια πολύ μεγάλη προσθήκη ισχύος σε ένα μικρό όχημα ενώ σε ένα πολύ μεγάλο όχημα η ίδια ισχύς αποτελεί την ελάχιστη για την εκκίνηση.

2.2.2 Λειτουργίες υβριδικού συστήματος και πιθανοί τρόποι λειτουργίας

Αυτή είναι μια πολύ κοινή μέθοδος ταξινόμησης. Βασίζεται στην αναμενόμενη λειτουργικότητα και τους διαθέσιμους τρόπους λειτουργίας. Σε αυτό το κείμενο χρησιμοποιείται μια περίληψη της αναφερόμενης λειτουργικότητας.

Η μέθοδος περιγράφει με ακρίβεια πώς αναμένεται να είναι η απόδοση των υβριδικών οχημάτων αλλά όχι με ποιο τρόπο η συνολική ισχύς κατανέμεται μεταξύ των πηγών ενέργειας. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος δεν ποσοτικοποιεί το "πόσο καλά" αποδίδει ένα όχημα κατά τη διάρκεια ορισμένων εργασιών.

2.2.3 Η εξίσωση του βαθμού του υβριδισμού

Η εξίσωση του βαθμού του υβριδισμού ή «DOH» ποσοτικοποιεί το επίπεδο κυριαρχίας μεταξύ των δύο πηγών ισχύος ενός υβριδικού κινητήρα. Το DOH μετριέται με έναν αριθμό μεταξύ 0-1 που αντιπροσωπεύει την αναλογία της μέγιστης εξόδου ισχύος των δύο συσκευών μετατροπής ενέργειας. Εφαρμόζεται σε υβριδικά οχήματα που χρησιμοποιούν την ίδια διάταξη μετάδοσης κίνησης. Αυτός ο βαθμός λοιπόν, ορίζεται ως:

$$DOH = 1 - \frac{|P_{max,ED1} - P_{max,ED2}|}{P_{max,ED1} + P_{max,ED2}} \quad (1.1)$$

Όπου το ED1 είναι η συσκευή ενέργειας 1 και το ED2 είναι η συσκευή ενέργειας 2. Η εξίσωση 1.1 μπορεί να επεκταθεί και να εφαρμοστεί σε περισσότερες από δύο συσκευές μετατροπής, αλλά στην περίπτωση ενός υβριδικού κινητήρα με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν επιπρόσθετο ηλεκτροκινητήρα θα μπορούσε να γραφτεί:

$$DOH = 1 - \frac{|P_{max,EM} - P_{max,ICE}|}{P_{max,EM} + P_{max,ICE}} \quad (1.2)$$

Εάν η εξίσωση 1.2 εφαρμοστεί σε ένα συμβατικό όχημα (CV) ή σε ένα ηλεκτρικό όχημα (EV), δηλαδή σε μη υβρίδια, το αποτέλεσμα θα είναι:

$$DOH_{CV} = 0 \quad (1.3)$$

και αντίστοιχα:

$$DOH_{EV} = 0 \quad (1.4)$$

Ενώ, στην περίπτωση του υβριδικού συστήματος μετάδοσης το οποίο είναι πλήρως ισορροπημένο ($P_{max,EM} = P_{max,ICE}$), το αποτέλεσμα θα είναι:

$$DOH_{ισορ.} = 1 \quad (1.5)$$

Στην πραγματικότητα, ο βαθμός του υβριδισμού ενός οχήματος είναι ένα σημαντικό μηχανικό εργαλείο σχεδίασης επειδή παρέχει ένα ποσοτικό μέτρο για τον τρόπο που «ρέει» η ισχύς. Αυτό βοηθά το σχεδιαστή να αποφασίσει τι είδους στρατηγική ελέγχου θα χρησιμοποιήσει και ποιο στοιχείο (δηλαδή, τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, τον ηλεκτροκινητήρα ή και τους δύο) θα στοχεύσει για έλεγχο."

Καθώς η εξίσωση 1.1 μετρά την κυριαρχία, εάν δηλαδή ένα υβριδικό όχημα κυριαρχείται σημαντικά από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, ($DOH < 0,48$), η εξίσωση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μεταβλητές και ο έλεγχος του κινητήρα αυτού, έχουν μεγαλύτερο δυναμικό για μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται σε σύγκριση με την ασθενέστερη ηλεκτρική μηχανή. Αυτό αποτελεί το σήμα για το σχεδιαστή να χρησιμοποιήσει αρχικά την ηλεκτρική μηχανή για να μεγιστοποιήσει την απόδοση του κινητήρα και όχι το αντίστροφο.

Ως παράδειγμα, για το πώς αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ενός υβριδικού οχήματος, επιλέγεται πρώτα το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης σε ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης που κυριαρχείται από αυτόν. Όταν έχει επιλεγεί αυτός ο κινητήρας, με τη βοήθεια μιας προκαθορισμένης μήτρας απόδοσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η «απόσταση» μεταξύ του μέσου σημείου λειτουργίας του κινητήρα με ένα συμβατικό σύστημα μετάδοσης κίνησης και του σημείου λειτουργίας της μέγιστης απόδοσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται και η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους της ηλεκτρικής μηχανής. Δηλαδή, η έλλειψη παραγωγής ενέργειας έως ότου ο κινητήρας εσωτερικής καύσης φτάσει στη βέλτιστη απόδοση του θα μπορούσε να απορροφηθεί από μια ηλεκτρική μηχανή με το ίδιο επίπεδο ισχύος. Αυτή η μέθοδος ισχύει για παράλληλα υβρίδια διαχωρισμού ισχύος, αλλά όχι τόσο για υβρίδια σε σειρά. Στην περίπτωση αυτή η ηλεκτρική μηχανή απορροφά όλη την ισχύ του κινητήρα. Επιπλέον, αυτή η

μέθοδος δεν μπορεί να αντικαταστήσει προσομοιώσεις, αλλά δίνει στον σχεδιαστή ένα πολύ καλό «σημείο προς τη σωστή κατεύθυνση». Στην περίπτωση ενός υβριδικού οχήματος με κυριαρχία του ηλεκτρικού κινητήρα, η ιδέα είναι η ανάλογη.

Αυτή η μέθοδος ποσοτικοποιεί τον υβριδισμό και χρησιμεύει ως ένα καλό εργαλείο σχεδίασης αλλά δεν περιγράφει, ούτε θέτει απαιτήσεις στη λειτουργικότητα του οχήματος. Ένας λόγος ισχύος μεταξύ ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης και ενός ηλεκτρικού κινητήρα δεν απαντάει εάν π.χ. μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα σε ηλεκτρική λειτουργία ή όχι. Ταυτόχρονα, τα περισσότερα συμβατικά οχήματα θα ήταν υβρίδια σύμφωνα με αυτήν την ταξινόμηση εάν λαμβάνονταν υπόψη όλοι οι ηλεκτρικοί κινητήρες του οχήματος, π.χ. ο κινητήρας εκκίνησης (μίζα) ή το δυναμό. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι πληροφορίες από το παραπάνω είναι ένας καλός οδηγός χωρίς με παραλειπόμενες όμως πολλές πρόσθετες πληροφορίες.

2.3 Τρόποι λειτουργίας

Σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα, τα υβριδικά μπορούν να λειτουργήσουν με πολλούς περισσότερους τρόπους. Ανάλογα με τον τρόπο που μεταφέρεται η ενέργεια μέσω του συστήματος μετάδοσης κίνησης και από το σημείο λήψης του, δηλαδή από το καύσιμο μέσω του κινητήρα ή από τις μπαταρίες, μπορούν να καθοριστούν διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας.

Όσον αφορά την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον ηλεκτρικό συσσωρευτή ενός υβριδικού, το όχημα μπορεί να λειτουργήσει με δύο βασικούς τρόπους (National Renewable Energy Laboratorioum, 2006):

- Διατήρηση φόρτισης (ΔΦ)
- Μείωση φόρτισης (ΜΦ)

Υπάρχει επίσης ένας συνδυασμός αυτών των δύο τρόπων λειτουργίας, που ονομάζεται συνδυασμένος τρόπος ή μικτός τρόπος. Ο τρόπος λειτουργίας ενός υβριδικού οχήματος ελέγχει άμεσα τη στρατηγική εκφόρτισης και φόρτισης, επηρεάζοντας έτσι το μέγεθος και τον τύπο του συσσωρευτή που χρησιμοποιείται, δηλαδή τις προδιαγραφές της μπαταρίας.

2.3.1 Διατήρηση φόρτισης

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται σε όλα τα υβριδικά στην αγορά. Ο στόχος της λειτουργίας με διατήρηση φόρτισης είναι να διατηρήσει την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας μέσα σε μια σχετική στενή ζώνη που έχει προκαθοριστεί από το σχεδιαστή. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, η κατάσταση της φόρτισης θα κυμαίνεται αλλά ο μέσος όρος θα διατηρείται σταθερός. Σε αυτήν τη ζώνη, η μπαταρία θα διατηρεί υψηλή χωρητικότητα, για να βοηθά στην επιτάχυνση, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την αναγεννητική πέδηση (γρήγορη φόρτιση) όταν χρειάζεται συντηρηθεί το επίπεδο της υγείας της μπαταρίας.

2.3.2 Μείωση φόρτισης

Σε ένα υβριδικό όχημα, η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια μεγάλη μπαταρία και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, το επίπεδο της φόρτισης θα βυθίζεται συνεχώς έως ότου φτάσει στο ελάχιστο και το όχημα να σταματήσει. Για να συνεχιστεί η οδήγηση θα πρέπει να είναι συνδεδεμένη η μπαταρία και να επαναφορτιστεί.

Παρομοίως τα «Plug-in» υβριδικά αυτοκίνητα που έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο λειτουργούν επίσης σε λειτουργία μείωσης της φόρτισης έως ότου εξαντληθεί η ενέργεια της μπαταρίας τους. Όμως, σε αντίθεση με ένα κατεξοχήν ηλεκτρικό όχημα, το υβριδικό δεν χρειάζεται να συνδεθεί ξανά στο δίκτυο για να συνεχίσει να λειτουργεί. Όταν το η μπαταρία ενός υβριδικού μειωθεί σε ένα συγκεκριμένο ελάχιστο επίπεδο, το όχημα δεν μπορεί να συνεχίσει περαιτέρω χρησιμοποιώντας μόνο την ηλεκτρική ενέργεια που έχει ήδη αποθηκευτεί. Αλλάζοντας σε λειτουργία διατήρησης φόρτισης, το αυτοκίνητο μπορεί να ξεκινήσει το, κινητήρα εσωτερικής καύσης του, να φορτίσει την μπαταρία και να συνεχίσει να κινείται.

2.3.3 Συνδυαστική λειτουργία

Κατά τη διάρκεια όλων των ηλεκτρικών λειτουργιών σε λειτουργία μείωσης της φόρτισης, ένα υβριδικό, λειτουργεί με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης απενεργοποιημένο. Αλλά αν η ζήτηση ισχύος του οχήματος υπερβεί την ικανότητα ισχύος της μπαταρίας, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπορεί να ξεκινήσει να βοηθά την μπαταρία (δηλαδή για παράδειγμα κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης επιτάχυνσης). Αυτό ονομάζεται λειτουργία μικτής ή συνδυαστικής λειτουργίας.

Η λειτουργία μικτής λειτουργίας προσφέρει επίσης τη δυνατότητα μείωσης της ηλεκτρικής ισχύος ενός υβριδικού, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει αξιοπρεπή απόδοση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το όχημα ενδέχεται να μην καταφέρει να λειτουργεί με ηλεκτρικό τρόπο μείωσης φόρτισης εκτός από περιπτώσεις με χαμηλή ζήτηση ισχύος, όπως οδήγηση στην πόλη. Αλλά, καθώς το όχημα θα υποβοηθείται ηλεκτρικά συνεχώς, η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

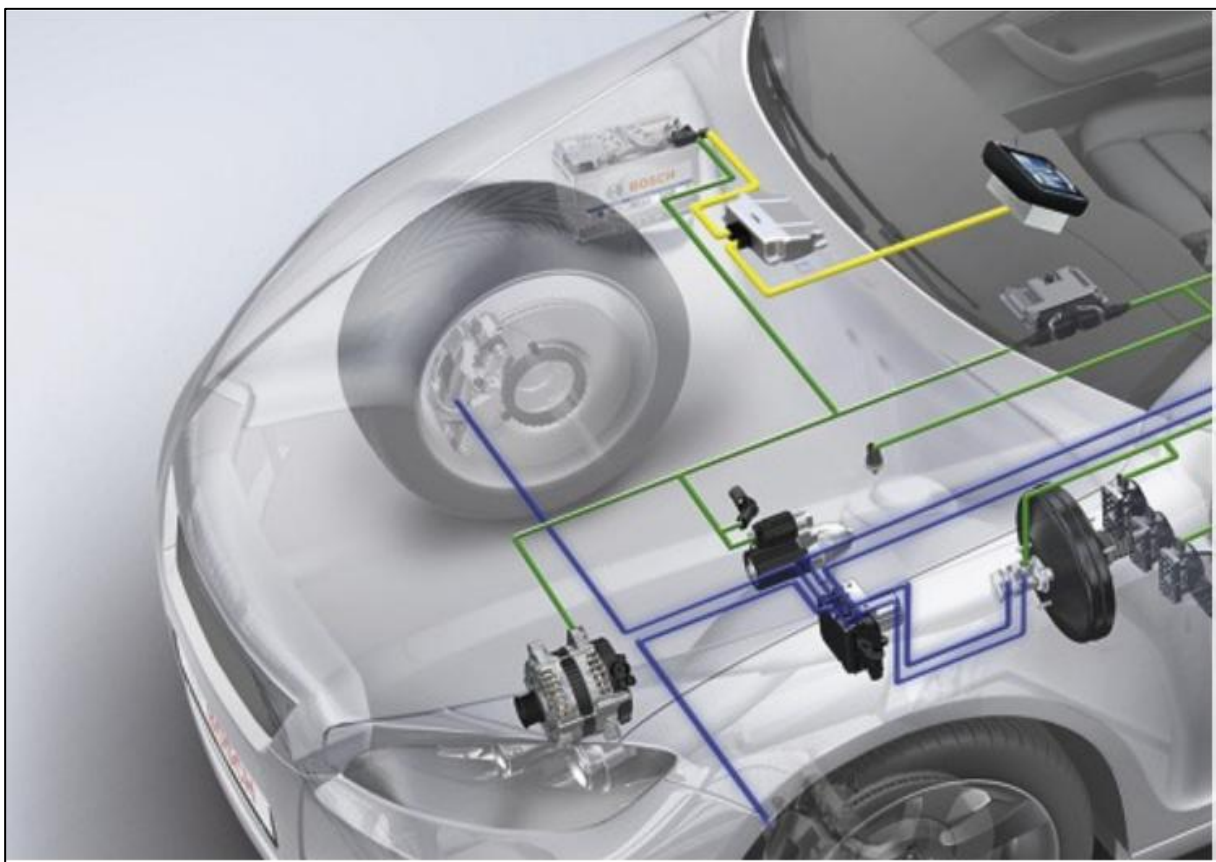
Με τον αντίθετο τρόπο, ένα ηλεκτρικό μπορεί να μεταβεί σε λειτουργία μείωσης φόρτισης εάν είναι επιθυμητό και τεχνικά εφικτό, κάτι που μπορεί να είναι χρήσιμο σε μελλοντικές περιοχές μηδενικών εκπομπών όπως τα αστικά κέντρα.

2.4 Τάξεις του βαθμού υβριδισμού

Αυτό το υποκεφάλαιο αναφέρεται στις τρεις προαναφερθείσες μεθόδους για την ταξινόμηση του βαθμού υβριδοποίησης των υβριδικών οχημάτων.

2.4.1 Ήπιο υβριδικό

Ένα ήπιο υβριδικό είναι το πρώτο βήμα από ένα συμβατικό όχημα, για να γίνει ένα υβριδικό όχημα. Η υβριδική λειτουργικότητά του είναι συχνά πολύ περιορισμένη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων χρησιμοποιούν την ίδια έκδοση του αυτοκινήτου όπως θα ήταν πριν (ένα απλό συμβατικό αυτοκίνητο), αλλά ελαφρώς τροποποιημένη (π.χ. μόνο με λειτουργία Start / Stop). Η λειτουργία Start / Stop (Εικόνα 2.1: Βασικό σύστημα τεχνολογίας start/stop) επιτρέπει στο όχημα να κλείνει αυτόματα τον κινητήρα εσωτερικής καύσης εάν ο αυτός είναι σε αδράνεια, για εξοικονόμηση καυσίμου.



Εικόνα 2.1: Βασικό σύστημα τεχνολογίας start/stop

(Πηγή:https://be.bosch-automotive.com/en/parts_and_accessories_5/engine_systems_3/start_stop_system_2/overview_start_stop_system_1, 20/7/2020)

Ως το πρώτο βήμα υβριδισμού στην ουσία είναι ένα συμβατικό όχημα με έναν υπερμεγέθη κινητήρα εκκίνησης. Το αυξημένο μέγεθος του κινητήρα εκκίνησης καθιστά δυνατή τη λειτουργία Start / Stop. Όταν το όχημα σταματά, π.χ. σε ένα φανάρι, ή κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος, ο κινητήρας μπορεί να σβήσει και να ξεκινήσει πάλι γρήγορα όταν χρειαστεί. Για να διατηρηθεί η λειτουργικότητα του βοηθητικού συστήματος ενώ ο κινητήρας είναι κλειστός (για να μειώσει την κατανάλωση καυσίμου κατά τη διάρκεια του ρελαντί), προστίθεται η ηλεκτροδότηση κρίσιμων βοηθητικών συστημάτων. Τα ήπια

υβριδικά χρησιμοποιούν συχνά ένα σύστημα σχετικά χαμηλής τάσης, (π.χ. 42 V), καθώς χρησιμοποιούνται χαμηλά επίπεδα ισχύος.

Σε ορισμένες εφαρμογές ο μεγαλύτερος κινητήρας εκκίνησης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για περιορισμένη ανάκτηση της ενέργειας των φρένων και η χωρητικότητα της μπαταρίας τείνει να είναι μικρή (π.χ. 3 τυποποιημένες μπαταρίες μολύβδου-οξέος σε σειρά (όπως για παράδειγμα το 2005 Chevrolet Silverado Hybrid). Πρέπει να σημειωθεί ότι, η σειρά ήπιων υβριδικών συστημάτων, όπως το GM BAS (Belt Alternator Systems) μπορεί επίσης να παρέχει μια μικρή υποβοήθηση ισχύος κατά την επιτάχυνση.

2.4.2 Υβριδικό υποβοήθησης ισχύος

Η υποβοήθηση της ισχύος, είναι το δεύτερο βήμα της υβριδοποίησης που θέτει μεγαλύτερες απαιτήσεις στην απόδοση και τη λειτουργικότητα του αυτοκινήτου. Σε αυτόν τον τύπο υπάρχουν υψηλότερα επίπεδα αποθήκευσης ενέργειας και ισχύος, τα οποία στο τέλος αντιστοιχούν σε αύξηση της τάσης του ηλεκτρικού συστήματος.

Το υβριδικό με τη λειτουργία της υποβοήθησης της ισχύος έχει την ίδια λειτουργικότητα με τα πιο προηγμένα ήπια υβριδικά, αλλά με υψηλότερη ικανότητα ισχύος. Ο ηλεκτρικός κινητήρας τοποθετείται συχνότερα μεταξύ του κινητήρα εσωτερικής καύσης και του κιβωτίου ταχυτήτων όπου και οι δύο μπορούν να θέσουν σε λειτουργία το αυτοκίνητο και να παρέχουν ροπή στους τροχούς αναλόγως (π.χ. λειτουργία συμπλέκτη).

Τα πρώτα υβριδικά υποβοήθησης ισχύος στην αγορά δεν μπορούσαν να προωθήσουν το όχημα, χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρική κίνηση, όπως η πρώτη έκδοση του Honda Insight. Από την άλλη πλευρά, λίγο αργότερα, τα υβριδικά με λειτουργίες πιο σύγχρονης υποβοήθησης, όπως το Honda Civic Hybrid 2006 πλησίαζε στο να είναι ένα πλήρες υβρίδιο.

Η ικανότητα εξοικονόμησης καυσίμου ενός υβριδικού συστήματος υποβοήθησης ισχύος είναι υψηλότερη από τα ήπια υβριδικά συστήματα, λόγω της μεγαλύτερης ικανότητας ισχύος και της αυξημένης ευελιξίας. Επιπλέον, το ηλεκτρικό σύστημα ενός υβριδικού υποβοήθησης ισχύος έχει πιθανότατα χωρητικότητα ισχύος της μπαταρίας του πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που χρησιμοποιείται στα ήπια υβρίδια.

2.4.3 Πλήρως υβριδικό

Πλήρως υβριδικό αναφέρεται ως το αυτοκίνητο το οποίο περιλαμβάνει το τελευταίο βήμα της διαδικασίας υβριδοποίησης (επομένως και σχεδόν παρέχει λειτουργία μηδενικής εκπομπής ρύπων).

Ένα πλήρες υβριδικό θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί αποκλειστικά με ηλεκτρική ισχύ, ισχύ μέσω του κινητήρα εσωτερικής καύσης ή συνδυασμό και των δύο. Συνήθως η λειτουργία αυτή βοηθά στην απόδοση (σε συνδυασμό με το περιβάλλον) της αστικής οδήγησης. Το Toyota Prius είναι ένα από τα παλιότερα και δημοφιλή παραδείγματα ενός πλήρους υβριδικού και η

μπαταρία υψηλής τάσης του επιτρέπει να χρησιμοποιεί την ηλεκτρική του ενέργεια κατά την οδήγηση στην πόλη.

Ένα πλήρες υβριδικό αυτοκίνητο θα πρέπει να έχει υψηλή ευελιξία στο υβριδικό σύστημα μετάδοσης κίνησης του καθώς και να υποστηρίζει πλήρως:

- Όλες τις ηλεκτρικές λειτουργίες
- Λειτουργία «αυτόματου πιλότου» όπως συνηθίζεται να αναφέρεται ή «cruise mode»²
- Λειτουργία φόρτισης μπαταρίας (χωρίς πρόωση, δηλαδή σε λειτουργία ρελαντί)
- Λειτουργία υποβοήθησης της ισχύος (κατά την επιτάχυνση)

2.4.4 «Plug-in» υβριδικό

Τα «plug-in» υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) προσφέρουν μια άμεση λύση για τη μείωση των εκπομπών και τη χρήση καυσίμων εντός της τρέχουσας υποδομής των αυτοκινήτων. Στοχεύοντας τη βελτιστοποίηση των κινητήρων των «PHEV», έχει προταθεί μια πληθώρα στρατηγικών διαχείρισης της ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί αρκετά η παραγωγή τέτοιου είδους αυτοκινήτων από μια πληθώρα εταιρειών.

Ο ορισμός του «PHEV» είναι ένα πλήρες υβριδικό αυτοκίνητο με την πρόσθετη λειτουργικότητα της προφόρτισης μέσω μιας πρίζας σε συνδυασμό με μια αυξημένη χωρητικότητα της μπαταρίας. Ως αποτέλεσμα, η λειτουργία του «όλα ηλεκτρικά» είναι απαραίτητη και ένα τέτοιο αυτοκίνητο θέτει πολύ υψηλότερες απαιτήσεις στην ηλεκτρική απόδοση. Ένα «PHEV» μοιράζεται τα χαρακτηριστικά ενός συμβατικού υβριδικού αυτοκινήτου, που διαθέτει έναν ηλεκτροκινητήρα και συνήθως έναν εφεδρικό κινητήρα εσωτερικής καύσης. Στην Εικόνα 2.2: Σταθμός φόρτισης υβριδικών οχημάτων (Πηγή:<http://www.canadianautoreview.ca/reviews/2013-Toyota-Prius-Plug-in-Hybrid.html>, 20/7/2020) φαίνεται ένας σταθμός φόρτισης με υβριδικά αυτοκίνητα τα οποία φορτίζουν τις μπαταρίες τους.

² Το “cruise mode” είναι το σύστημα το οποίο βοηθά το αυτοκίνητο να διατηρεί σταθερή την ταχύτητά του. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα αυτού του είδους διατηρούν σταθερή και την απόσταση σε περίπτωση κάποιου προπορευόμενου οχήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τις σωστές αυξομειώσεις της ταχύτητας. Γενικότερα το σύστημα αυτό βοηθά και στη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου και επομένως και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του αυτοκινήτου.



Εικόνα 2.2: Σταθμός φόρτισης υβριδικών οχημάτων
(Πηγή:<http://www.canadianautoreview.ca/reviews/2013-Toyota-Prius-Plug-in-Hybrid.html>, 20/7/2020)

2.5 Φόρτιση μπαταριών και επίπεδα ισχύος για υβριδικά οχήματα

Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων plug-in (PHEV) λόγω της μειωμένης χρήσης καυσίμων και των εκπομπών άνθρακα (Ehsani M. et al., 2005). Τα PHEV έχουν το πλεονέκτημα μιας μεγάλης εμβέλειας οδήγησης, καθώς το καύσιμο παρέχει έναν δευτερεύων πόρο. Η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο επιτρέπει ευκαιρίες όπως βοηθητικές υπηρεσίες, υποστήριξη ισχύος, παρακολούθηση της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ισορροπία φορτίου.

Στις ΗΠΑ, είχε επιτευχθεί ένας επίσημος εγχώριος στόχος για την τοποθέτηση ενός εκατομμυρίου EV έως το 2015 (Saber A. Y. & Venayagamoorthy G. K., 2009) και οι δημόσιες πολιτικές για την ενθάρρυνση της ηλεκτροδότησης είχαν εφαρμοστεί από τις κυβερνήσεις σε όλα τα επίπεδα (Murat Y. & Krein P., 2013). Αρκετοί οργανισμοί, όπως η IEEE, η Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE) και το Συμβούλιο Εργασίας Υποδομών (IWC),

προετοιμάζουν πρότυπα και κώδικες σχετικά με τη διεπαφή χρησιμότητας / πελατών. Τα EV δεν έχουν ακόμη αποκτήσει ευρεία αποδοχή. Τρία σημαντικά εμπόδια περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος και τη διάρκεια ζωής των μπαταριών, τις επιπλοκές των φορτιστών και την έλλειψη υποδομής φόρτισης. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι οι φορτιστές μπαταριών μπορούν να δημιουργήσουν αρνητικές επιδράσεις στα συστήματα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος (Berreta J., 2010) αν και οι φορτιστές με ενεργό εμπρόσθιο άκρο ανορθωτή μπορούν να μετριάσουν αυτήν την επίπτωση.

Οι περισσότερες φορτίσεις EV μπορούν να πραγματοποιηθούν στο σπίτι μια νύχτα σε ένα γκαράζ όπου το EV μπορεί να συνδεθεί σε μια πρίζα για φόρτιση επιπέδου 1 (αργή φόρτιση). Η φόρτιση επιπέδου 2 περιγράφεται συνήθως ως η κύρια μέθοδος τόσο για ιδιωτικές όσο και για δημόσιες εγκαταστάσεις και απαιτεί έξοδο 240 V. Αυτά τα επίπεδα ισχύος φόρτισης συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1: Επίπεδα φόρτισης ισχύος. Οι μελλοντικές εξελίξεις επικεντρώνονται στο Επίπεδο 2. Η ημι-γρήγορη φόρτιση παρέχει άφθονη ισχύ και μπορεί να εφαρμοστεί στα περισσότερα περιβάλλοντα (Doswell M., 2011). Συνήθως χρησιμοποιούνται μονοφασικές λύσεις για τα επίπεδα 1 και 2. Τα επίπεδα φόρτισης επιπέδου 3 και dc προορίζονται για εμπορικές και δημόσιες εφαρμογές, λειτουργούν σαν πρατήριο καυσίμων και συνήθως εφαρμόζονται λύσεις τριών φάσεων. Οι σταθμοί για δημόσια χρήση είναι πιθανό να χρησιμοποιούν το Επίπεδο 2 ή 3 και οι φορτιστές να είναι εγκατεστημένοι σε χώρους στάθμευσης, εμπορικά κέντρα, ξενοδοχεία, στάσεις ανάπαυσης, θέατρα, εστιατόρια κ.λπ. (Aggeler D. et al. 2010). Μια δημόσια υποδομή χρέωσης μπορεί να αντιμετωπίσει το άγχος της αυτονομίας (Vehicle technologies program, 2011).

Πίνακας 2.1: Επίπεδα φόρτισης ισχύος

Τύποι επιπέδου ισχύος	Τοποθεσία φορτιστή	Τυπική χρήση	Αναμενόμενο επίπεδο ισχύος	Χρόνος φόρτισης	Τεχνολογία Οχήματος
<u>Επίπεδο 1</u> 120 V (US) 230 V (EU)	Επί του οχήματος (1 φάση)	Φόρτιση στο γραφείο ή στο σπίτι	1.4 KW (12A) 1.9 KW (20A)	4 - 11 ώρες 11 - 36 ώρες	PHEVs (5-15kwh) Evs (16-50kwh)
<u>Επίπεδο 2</u> 240 V (US) 400 V (EU)	Επί του οχήματος 1 ή 3 φάσεις	Φόρτιση σε ιδιωτικά ή δημόσια κέντρα	4 KW (17 A) 8 KW (32 A) 19.2 KW (80 A)	1 - 4 ώρες 2 - 6 ώρες 2 - 3 ώρες	PHEVs (5-15kwh) Evs (16-30kwh) Evs (3-50kwh)
<u>Επίπεδο 3</u> <u>(γρήγορη φόρτιση)</u>	Εκτός του οχήματος 3 φάσεις	Καταναλωτική, ανάλογο ενός πρατηρίου καυσίμων	50 KW 100 KW	0.4 - 1 ώρα 0.2 - 0.5 ώρες	Evs (20-50kwh) Evs (20-50kwh)

Πηγή: Murat Y. & Krein P., 2013

Οι φορτιστές μπαταριών EV μπορούν να ταξινομηθούν ως ενσωματωμένοι (επί του οχήματος) και εκτός οχήματος με ροή ισχύος μονής κατεύθυνσης ή αμφίδρομης. Η μονοκατευθυντική φόρτιση είναι ένα λογικό πρώτο βήμα, επειδή περιορίζει τις απαιτήσεις υλικού, απλοποιεί θέματα διασύνδεσης και τείνει να μειώσει την υποβάθμιση της μπαταρίας (Fasugba M. & Krein P., 2011). Ένα αμφίδρομο σύστημα φόρτισης υποστηρίζει φόρτιση από το δίκτυο, έγχυση της ενέργειας της μπαταρίας πίσω στο δίκτυο και σταθεροποίηση της ισχύος με επαρκή μετατροπή της (Du Y. et al. 2011). Οι τυπικοί φορτιστές του οχήματος περιορίζουν την υψηλή ισχύ λόγω του βάρους, του χώρου και των περιορισμών του κόστους (Haghighi S. et al., 2010). Αυτοί οι φορτιστές μπορούν να ενσωματωθούν στην ηλεκτρική μονάδα για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα (Chang H. and Liaw C., 2009). Τα ενσωματωμένα συστήματα φορτιστή μπορούν να είναι αγώγιμα ή επαγωγικά. Τα αγώγιμα συστήματα φόρτισης χρησιμοποιούν άμεση επαφή μεταξύ του συνδετήρα και της εισόδου φόρτισης (SAE electric vehicle, 2010). Ένας επαγωγικός φορτιστής μεταδίδει ισχύ μαγνητικά. Αυτός ο τύπος φορτιστή έχει διερευνηθεί για τα επίπεδα 1 και 2 (Budhia M. et al., 2011) και μπορεί να είναι ακίνητος ή να κινείται (Throngnumchai K. et al., 2011). Ένας φορτιστής μπαταρίας εκτός οχήματος περιορίζεται λιγότερο από το μέγεθος και το βάρος.

2.6 Φορτιστές μπαταριών για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα

Οι φορτιστές μπαταριών παίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών συσκευών. Ο χρόνος φόρτισης και η διάρκεια ζωής της μπαταρίας συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του φορτιστή μπαταρίας. Ένας φορτιστής μπαταρίας πρέπει να είναι αποδοτικός και αξιόπιστος, με υψηλή πυκνότητα ισχύος, χαμηλό κόστος και χαμηλή ένταση και βάρος. Η λειτουργία του εξαρτάται από τις στρατηγικές εξαρτημάτων, ελέγχου και αλλαγής. Οι αλγόριθμοι ελέγχου του φορτιστή εφαρμόζονται μέσω αναλογικών ελεγκτών, μικροελεγκτών, επεξεργαστών ψηφιακού σήματος και συγκεκριμένων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ανάλογα με τη βαθμολογία, το κόστος και τους τύπους των μετατροπών. Ένας φορτιστής EV πρέπει να διασφαλίζει ότι το ρεύμα που απαιτείται τραβιέται με χαμηλή παραμόρφωση για να ελαχιστοποιηθεί ο αντίκτυπος στην ποιότητα ισχύος και στο συντελεστή υψηλής ισχύος, με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η πραγματική ισχύς που διατίθεται από μια πρίζα. Τα πρότυπα IEEE- 1547 (IEEE Standard 1547, 2003), SAE-J2894 (SAE International Standard J2894, 2011), IEC 1000-3-2 και ο Εθνικός Ηλεκτρικός Κώδικας ΗΠΑ (NEC) 690 περιορίζουν την επιτρεπόμενη αρμονική και συνεχή έγχυση ρεύματος στο δίκτυο και οι φορτιστές EV είναι συνήθως σχεδιασμένοι να συμμορφώνονται με αυτά τα πρότυπα.

Οι σύγχρονοι φορτιστές μπαταριών EV περιέχουν έναν μετατροπέα ενίσχυσης για τη διόρθωση του ενεργού συντελεστή ισχύος (PFC) (Lee C. et al., 2011). Ο σχεδιασμός στο αυτός χρησιμοποιεί μια ειδική γέφυρα διόδων για να διορθώσει την τάση εισόδου εναλλασσόμενου ρεύματος σε dc, η οποία ακολουθείται από το τμήμα ενίσχυσης. Η τοπολογία ενίσχυσης PFC χωρίς γέφυρα αποφεύγει την ανάγκη για γέφυρα εισόδου ανορθωτή, αλλά διατηρεί αυτήν την τοπολογία ενίσχυσης. Ο μετατροπέας επιλύει το πρόβλημα της διαχείρισης θερμότητας στη γέφυρα διόδων του ανορθωτή εισόδου που είναι εγγενής στη συμβατική ενίσχυση PFC, αλλά αυξάνει τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Ο ενδιάμεσος μετατροπέας ώθησης έχει το πλεονέκτημα των παράλληλων ημιαγωγών. Με την ακύρωση του κυματισμού στην έξοδο, μειώνει επίσης την πίεση στους πυκνωτές εξόδου. Ωστόσο, παρόμοια με την ενίσχυση, αυτή η τοπολογία πρέπει να παρέχει διαχείριση θερμότητας για τον ανορθωτή της γέφυρας εισόδου. Επομένως, περιορίζεται σε επίπεδα ισχύος έως περίπου 3,5 kW.

Έχουν αναφερθεί διάφορες τοπολογίες και σχήματα τόσο για μονοφασικούς όσο και για τριφασικούς φορτιστές (Erb D. et al., 2010). Αυτοί οι φορτιστές μπορούν να χρησιμοποιούν τοπολογίες μισής γέφυρας ή πλήρους γέφυρας. Η μισή γέφυρα έχει λιγότερα εξαρτήματα και χαμηλότερο κόστος, αλλά παρουσιάζει υψηλές τάσεις στα εξαρτήματα. Τα συστήματα γεφυρών έχουν περισσότερα εξαρτήματα και υψηλότερο κόστος, με χαμηλότερες τάσεις στα εξαρτήματα. Αυτή η τοπολογία απαιτεί περισσότερες εισόδους διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM) που επιβαρύνουν την πολυπλοκότητα και το κόστος του κυκλώματος ελέγχου.

Τα επίπεδα ισχύος του φορτιστή αντικατοπτρίζουν την ισχύ, το χρόνο φόρτισης και την τοποθεσία, το κόστος, τον εξοπλισμό και την επίδραση στο

δίκτυο. Η ανάπτυξη της υποδομής φόρτισης και του εξοπλισμού τροφοδοσίας ηλεκτρικών οχημάτων (EVSE) αποτελεί σημαντικό ζήτημα λόγω των πολλών ζητημάτων που πρέπει να αντιμετωπιστούν: χρόνος φόρτισης, διανομή, έκταση, πολιτικές ζήτησης, τυποποίηση σταθμών φόρτισης και κανονιστικές διαδικασίες. Η διαθεσιμότητα της υποδομής φόρτισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση των απαιτήσεων και του κόστους αποθήκευσης της ενέργειας.

Τα καλώδια φόρτισης EV, οι βάσεις φόρτισης (οικιακές ή δημόσιες), τα βύσματα σύνδεσης, οι πρίζες, οι σύνδεσμοι οχημάτων και η προστασία είναι βασικά συστατικά του EVSE. Βρίσκονται γενικά σε δύο διαμορφώσεις: ένα εξειδικευμένο σετ καλωδίων και ένα κουτί. Οι συγκεκριμένες διαμορφώσεις διαφέρουν από τοποθεσία σε τοποθεσία και χώρα σε χώρα ανάλογα με τη συχνότητα, την τάση, τη σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου και τα πρότυπα μετάδοσης (Su W., 2012). Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI), οι περισσότεροι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να φορτίζουν τη νύχτα στο σπίτι. Για αυτόν το λόγο, ο εξοπλισμός φόρτισης επιπέδου 1 και επιπέδου 2 θα αποτελεί τις κύριες επιλογές.

- Επίπεδο Φόρτισης 1: Το επίπεδο φόρτισης 1 είναι η πιο αργή μέθοδος. Στις ΗΠΑ, το Επίπεδο 1 χρησιμοποιεί μια τυπική γειωμένη πρίζα 120 V / 15 A, όπως την NEMA 5-15R. Η σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιεί έναν τυπικό συνδετήρα J1772 στη θύρα ac του EV. Για οικιακούς ή επαγγελματικούς χώρους, δεν απαιτείται πρόσθετη υποδομή. Επιπλέον τη νύχτα οι περισσότεροι πάροχοι ηλεκτρικού ρεύματος χρεώνουν χαμηλότερες τιμές.
- Επίπεδο Φόρτισης 2: Η φόρτιση επιπέδου 2 είναι η κύρια μέθοδος για αποκλειστικά ιδιωτικές και δημόσιες εγκαταστάσεις. Αυτή η υποδομή φόρτισης μπορεί επίσης να είναι ενσωματωμένη για την αποφυγή περιττών ηλεκτρονικών ισχύος. Ο υπάρχων εξοπλισμός επιπέδου 2 προσφέρει φόρτιση από 208 V ή 240 V (έως 80 A, 19,2 kW). Ενδέχεται να απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και εγκατάσταση σύνδεσης για οικιακές ή δημόσιες μονάδες, αν και οχήματα όπως το Tesla διαθέτουν συγκεκριμένα ηλεκτρικά εξαρτήματα και χρειάζονται μόνο την πρίζα. Τα περισσότερα σπίτια των ΗΠΑ διαθέτουν 240 V και οι συσκευές επιπέδου 2 μπορούν να φορτίσουν μια τυπική μπαταρία EV όλη τη νύχτα. Οι ιδιοκτήτες φαίνεται να προτιμούν την τεχνολογία επιπέδου 2 λόγω του γρηγορότερου χρόνου φόρτισης και της τυποποιημένης σύνδεσης οχήματος-φορτιστή. Ένας ξεχωριστός μετρητής χρέωσης είναι τυπικός. Ένας φορτιστής επιπέδου 2 αναφέρεται ότι έχει κόστος εγκατάστασης μεταξύ \$ 1000 και 3000 \$ στις Η.Π.Α. (Tuttle D. & Baldick R., 2012), ενώ μια οικιακή μονάδα κοστίζει 2150\$. Το σύστημα φόρτισης Tesla Roadster αναφέρεται ότι επιβάλλει επιπλέον κόστος 3000 \$ (Tesla Motors, 2009). Το νέο πρότυπο διαθέτει έναν σύνδεσμο φόρτισης SAE J1772 ac στην κορυφή και έναν σύνδεσμο dc δύο ακίδων παρακάτω και προορίζεται να επιτρέψει είτε γρήγορη φόρτιση εναλλασσόμενου

ρεύματος είτε εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω μίας σύνδεσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.38: Συνδυαστική υποδοχή J1772 του SAE για φόρτιση AC ή DC επιπέδου 1 και επιπέδου 2.



Εικόνα 2.38: Συνδυαστική υποδοχή J1772 του SAE για φόρτιση AC ή DC επιπέδου 1 και επιπέδου 2

(Πηγή: SAE International, 2011)

- Φόρτιση επιπέδου 3: Η εμπορική γρήγορη φόρτιση επιπέδου 3 προσφέρει τη δυνατότητα φόρτισης σε λιγότερο από 1 ώρα. Μπορεί να εγκατασταθεί σε περιοχές ανάπαυσης στις εθνικές οδούς και στα σημεία ανεφοδιασμού των πόλεων, αντίστοιχα με τα βενζινάδικα. Λειτουργεί συνήθως με τριφασικό κύκλωμα 480 V ή υψηλότερο και απαιτεί φορτιστή εκτός του οχήματος για την παροχή ρυθμιζόμενης μετατροπής ac-dc. Η σύνδεση με το όχημα μπορεί να είναι απευθείας dc. Η φόρτιση επιπέδου 3 είναι σπάνια εφικτή σε κατοικημένες περιοχές. Ορίζονται συγκεκριμένα πρότυπα για τα βύσματα dc και συγκεκριμένες απαιτήσεις υποδομής. Το ιαπωνικό πρωτόκολλο γνωστό ως CHAdeMO έχει αποκτήσει διεθνή αναγνώριση (CHAdeMO, 2010). Το κόστος εγκατάστασης είναι ένα σημαντικό ζήτημα. Έχουν αναφερθεί κόστη υποδομής φόρτισης επιπέδου 3 μεταξύ 30.000 και 160.000 \$ (Thomason M., 2011). Η διατήρηση των σταθμών φόρτισης είναι ένας άλλος παράγοντας κόστους (Brown T. et al., 2010).

Το πρότυπο SAE J1772 ορίζει ότι το επίπεδο 1 και το επίπεδο 2 EVSE πρέπει να βρίσκονται στο όχημα, ενώ το επίπεδο 3 πρέπει να βρίσκεται έξω από το όχημα (Mehta S., 2010). Οι δημόσιοι σταθμοί χρησιμοποιούν τα επίπεδα 2 ή 3

για να επιτρέπουν τη γρήγορη φόρτιση σε δημόσιους χώρους. Η ισχύς χαμηλότερης φόρτισης είναι ένα πλεονέκτημα για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που επιδιώκουν να ελαχιστοποιήσουν την επίπτωση στις ώρες αιχμής. Η ταχεία φόρτιση υψηλής ισχύος μπορεί να αυξήσει τη ζήτηση και έχει τη δυνατότητα να υπερφορτώσει γρήγορα τον τοπικό εξοπλισμό διανομής σε ώρες αιχμής. Η φόρτιση επιπέδου 2 και 3 μπορεί να αυξήσει τις απώλειες του μετασχηματιστή διανομής, τις αποκλίσεις τάσης, την αρμονική παραμόρφωση, τη μέγιστη ζήτηση και τη θερμική φόρτιση στο σύστημα διανομής. Αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και την οικονομία της ανάπτυξης έξυπνων δικτύων λόγω της μειωμένης διάρκειας ζωής του μετασχηματιστή (Mullan J. et al., 2011). Η υποβάθμιση του τυπικού εξοπλισμού διανομής μπορεί να μετριαστεί χρησιμοποιώντας ένα ελεγχόμενο σύστημα έξυπνης φόρτισης (Bae S. & Kwasinski A., 2012). Απαιτείται ένα αξιόπιστο δίκτυο επικοινωνίας και έλεγχος της δημόσιας χρέωσης για την επιτυχή ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού EV. Τα χαρακτηριστικά φόρτισης και οι πιυχές της υποδομής για μερικά οχήματα περιγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.2: Χαρακτηριστικά φόρτισης και υποδομές κατασκευασμένων PHEV και EV.2.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά φόρτισης και υποδομές κατασκευασμένων PHEV και EV

Τύπος Μπαταρίας & Ενέργεια	Μόνο ηλεκρικό - απόσταση	Τύπος βύσματος	Φόρτιση Επιπέδου 1		Φόρτιση Επιπέδου 2		DC Γρήγορη φόρτιση		
			Απαιτήσεις	Χρόνος φόρτισης	Απαιτήσεις	Χρόνος φόρτισης	Απαιτήσεις	Χρόνος φόρτισης	
Toyota Prius PHEV (2012)	Li-Ion 4.4kwh	22.5 km	SAE J1772	1.4KW (120V)	3 ώρες	3.8kw (240v)	2.5 ώρες	N/A	N/A
Chevrolet Volt PHEV	Li-Ion 16kwh	64.35 km	SAE J1772	0.96-1.4KW	5-8 ώρες	3.8kw	2-3 ώρες	N/A	N/A
Mitsubishi i-MiEV EV	Li-Ion 16kwh	155 km	SAE J1772 JARI/TEPCO	1.5KW	7 ώρες	3kw	14 ώρες	50kw	30 λεπτά
Nissan Leaf EV	Li-Ion 24kwh	161 km	SAE J1772 JARI/TEPCO	1.8KW	12-16 ώρες	3.3kw	6-8 ώρες	50 + kw	15-30 λεπτά
Tesla Roadster EV	Li-Ion 53kwh	394 km	SAE J1772	1.8KW	30+ ώρες	9.6-16.8kw	4-12 ώρες	N/A	N/A

Πηγή: Murat Y. & Krein P. (2013)

Η επιτυχής ανάπτυξη των συνδέεται με την εισαγωγή διεθνών προτύπων και κωδικών, μιας καθολικής υποδομής και συναφών περιφερειακών και φιλικών προς το χρήστη λογισμικού σε δημόσια και ιδιωτική ιδιοκτησία. Οι κώδικες και τα πρότυπα ασφαλείας αντιμετωπίζουν μια ευρύ σειρά θεμάτων που σχετίζονται με τα EV. Το κόστος που σχετίζεται με την υποδομή σχετίζεται με τα πρότυπα υλικού (Grant C., 2010). Ορισμένα πρότυπα καθιστούν την

υποδομή φόρτισης EV πιο περίπλοκη και ακριβή από τη συμβατική ηλεκτρική υποδομή. Το άρθρο 625-18 του Εθνικού Ηλεκτρικού Κώδικα, για παράδειγμα, απαιτεί να απενεργοποιηθούν οι σύνδεσμοι και τα καλώδια για τα Επίπεδα 2 και 3, εκτός εάν συνδέονται με όχημα. Αυτό προσθέτει κόστος στο EVSE. (Οι κατασκευαστές οχημάτων προσθέτουν γενικά ένα κλείδωμα που εμποδίζει την οδήγηση ενός οχήματος κατά τη φόρτιση, αν και αυτό το χαρακτηριστικό δεν περιγράφεται στα πρότυπα).

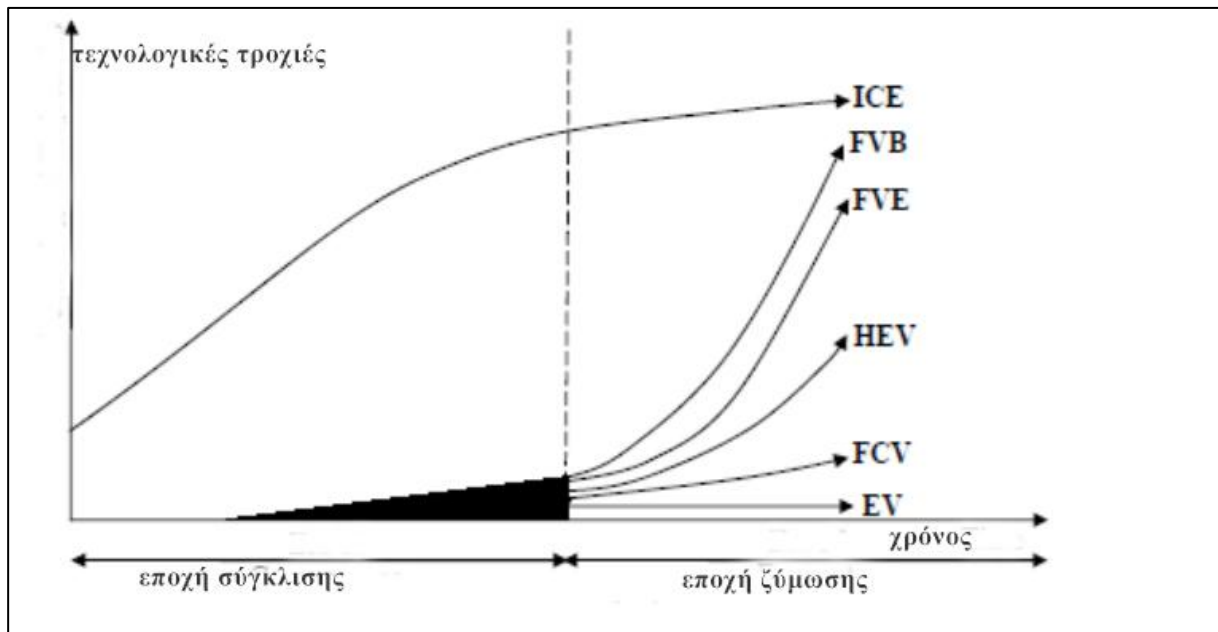
3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Υπάρχει κρίσιμη ανάγκη να εκτιμηθεί ο βαθμός στον οποίο οι αναδυόμενες τεχνολογίες ενισχύουν την «ικανότητα» ή καταστρέφουν την «ικανότητα». Πράγματι, όταν μια αναδυόμενη τεχνολογία βασίζεται στην επαναστατική τεχνολογία, πιθανότατα απαιτείται περισσότερος χρόνος για τους ενδιαφερόμενους επενδυτές να δεσμευτούν σε αυτήν. Στην πραγματικότητα, μια περίπτωση που καταστρέφει την καινοτομία μπορεί να έχει επιπτώσεις σε όλα τα μέρη της αλυσίδας της αξίας, από την πηγή των υλικών έως και τη συντήρηση του προϊόντος.

3.1 Τεχνολογικοί περιορισμοί

Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί σε ποιο βαθμό η φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση βασίζεται στην υπάρχουσα τεχνογνωσία, καθώς ενδέχεται να αναβάλει και να επηρεάσει τον βαθμό αποδοχής. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να αξιολογηθεί εάν οι αναδυόμενες τεχνολογικές τροχιές είναι συμβατές με την παγιωμένη τεχνολογία του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Από αυτή την άποψη, ο βαθμός συμπληρωματικότητας μεταξύ όλων των «πράσινων εναλλακτικών λύσεων» που εξετάζονται στην παρούσα εργασία και

του παγιωμένου κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να συνοψιστεί στο Διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1: Τεχνολογικές τροχιές και συμπληρωματικότητα
(Πηγή: Mann M. K. & Spath P. L., 2004)

Στην ουσία αντικατοπτρίζεται η γενική συναίνεση μεταξύ εμπειρογνομώνων της βιομηχανίας σχετικά με τις βασικές τεχνολογικές αποκλίσεις μεταξύ των αναδυόμενων τεχνολογιών και του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι πριν από την εμφάνιση των νέων τεχνολογιών, η αυτοκινητοβιομηχανία ήταν κυρίως προσανατολισμένη προς την προώθηση και ανάπτυξη του συμβατικού κινητήρα. Ως εκ τούτου, είχαν γίνει ελάχιστες προσπάθειες, όσον αφορά την έρευνα και ανάπτυξη και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών.

Ωστόσο, ξεκίνησε η νέα εποχή της «ζύμωσης», η οποία ουσιαστικά ανάγκασε τη βιομηχανία να διαθέσει πόρους για την ανάπτυξη εναλλακτικών τεχνολογιών καυσίμων και κινητήρων. Μετά την επαύξηση αυτής της ασυνέχειας, εμφανίστηκαν πέντε βασικές τεχνολογικές τροχιές όπως έχουν ήδη αναφερθεί για να ανταγωνιστούν τις υπάρχουσες, δηλαδή FVB, FVE, HEV, FCV και EV. Αυτές οι ανταγωνιστικές τεχνολογίες κοντά στο κινητήρα εσωτερικής καύσης ποικίλλουν σημαντικά, καθώς ορισμένες βασίζονται στο παλιό, ενώ άλλες διαφέρουν σημαντικά. Από αυτή την άποψη, μπορεί να ειπωθεί ότι και οι δύο τροχιές FV σχετίζονται αρκετά στενά με τον παγιωμένο αυτόν κινητήρα, καθώς απαιτούν μόνο περιορισμένες τροποποιήσεις όσον αφορά το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Οι τροχιές FV, τείνουν να πληρούν την τροχιά του κινητήρα εσωτερικής καύσης χαρακτηριζόμενες από έναν υψηλό βαθμό συμπληρωματικότητας.

Από την άλλη πλευρά, η συμπληρωματικότητα των HEV με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι λιγότερο εμφανής, καθώς οι κατασκευαστές αυτοκινήτων πρέπει να αναπτύξουν μια νέα τεχνολογία όσον αφορά το

σύστημα μετάδοσης κίνησης. Αυτό γίνεται εμφανές με το γεγονός ότι ένας ηλεκτρικός κινητήρας πρέπει να εισαχθεί στο όχημα, εκτός από τον συμβατικό, καθιστώντας έτσι την τροχιά HEV λιγότερο συμβατή. Όταν πρόκειται για FCV και EV, είναι σαφές ότι ο βαθμός συμπληρωματικότητας είναι χαμηλός. Η τεχνολογία του κινητήρα που απαιτείται από αυτά τα οχήματα δεν έχει καθόλου κοινά με τον συμβατικό. Από την άποψη αυτή, ενώ μπορεί να θεωρηθεί ότι το FCV εξακολουθεί να απαιτεί δεξαμενή καυσίμου και σύστημα ψεκασμού, το EV δεν απαιτεί καν συστήματα όπως αυτά και βασίζεται αποκλειστικά σε μπαταρίες που πρέπει να επαναφορτιστούν συνδέοντας τα οχήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά συνέπεια, μπορεί να ειπωθεί ότι, το EV είναι η εναλλακτική λύση που ενισχύει τις ικανότητες μεταξύ των φιλικών προς το περιβάλλον τροχιών. Το HEV φαίνεται ότι ενισχύει την ικανότητα καθώς βασίζεται εν μέρει σε υπάρχουσες τεχνολογίες, ενώ τα FCV και EV σαφώς καταστρέφουν την ικανότητα.

Ωστόσο, προκειμένου να δοθεί μια σαφής και ολοκληρωμένη εικόνα των τεχνολογικών περιορισμών, η ανάλυση πρέπει επίσης να εξετάσει το βαθμό στον οποίο οι φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις ενισχύουν ή καταστρέφουν την ικανότητα καυσίμου. Πράγματι, ενώ ορισμένες εναλλακτικές προϋποθέτουν ένα εντελώς νέο σύνολο υποδομών αφιερωμένων στην παραγωγή καυσίμων, τη μεταφορά και την προμήθεια, άλλες εναλλακτικές λύσεις απαιτούν μόνο μία σχετικά μικρή προσαρμογή ενός υπάρχοντος δικτύου.

Όταν θεωρούμε την ηλεκτρική ενέργεια ως καύσιμο, είναι προφανές ότι αυτή η τεχνολογία είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, ευρέως διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο. Οι υποδομές που επιτρέπουν την παραγωγή και τη διανομή της είναι ήδη διαθέσιμες και μπορεί κανείς να πει ότι είναι δυνατόν να βρούμε μια ασφαλή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πάσα στιγμή και σχεδόν παντού στον κόσμο. Η ηλεκτρική ενέργεια ως καύσιμο θα ενίσχυε επομένως τις τρέχουσες ικανότητες στη βιομηχανία καυσίμων, καθώς υπάρχουν ήδη συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και προμήθειας.

Από την άλλη πλευρά, πρέπει να παραδεχτούμε ότι η χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου θα απαιτούσε από τη βιομηχανία να αναπτύξει ένα εντελώς νέο σύνολο ικανοτήτων και να γνωρίζει φυσικά και το πώς. Όχι μόνο το υδρογόνο εξακολουθεί να απαιτεί σημαντικές προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης για να ξεπεραστούν θέματα που σχετίζονται με την αποθήκευση, αλλά και σχετικά με την παραγωγή και τη μεταφορά. Στην πραγματικότητα, απαιτεί την ανάπτυξη νέων αγωγών, πρατηρίων ανεφοδιασμού και την ανάπτυξη επαρκών εγκαταστάσεων παραγωγής για την παροχή μεγάλης κλίμακας εφοδιασμού. Από αυτή την άποψη, οι τρέχουσες υποδομές που χρησιμοποιούνται για τη συμβατική βενζίνη πετρελαίου ή ντίζελ δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και θα πρέπει να αντικατασταθούν. Το υδρογόνο είναι επομένως μια εναλλακτική λύση που «καταστρέφει» την ικανότητα.

Η κατάσταση είναι μάλλον παρόμοια με τα βιοκαύσιμα, καθώς οι τρέχουσες υποδομές και ικανότητες που χρησιμοποιούνται για τα καύσιμα πετρελαίου δεν μπορούν να εφαρμοστούν πλήρως στο βιοντίζελ ή στην αιθανόλη. Ακόμη και αν πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι περισσότερες από τις υπάρχουσες υποδομές μεταφοράς και αποθήκευσης είναι συμβατές με

τα βιοκαύσιμα, οι εγκαταστάσεις παραγωγής που απαιτούνται από το βιοντίζελ ή την αιθανόλη είναι πολύ διαφορετικές από τα συμβατικά διυλιστήρια πετρελαίου. Από αυτή την άποψη, τα βιοκαύσιμα πρέπει να θεωρηθούν ως ικανότητες που καταστρέφουν την εναλλακτική ικανότητα. Ωστόσο, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως μείγμα με συμβατικά καύσιμα. Ως εκ τούτου, μπορούμε να πούμε ότι υπάρχει ένας ισχυρός βαθμός συμπληρωματικότητας μεταξύ του ντίζελ-βενζίνης και του βιοντίζελ-αιθανόλης.

Τα HEV είναι μοναδικά με την έννοια ότι δεν απαιτούν καμία τροποποίηση της τρέχουσας τεχνολογίας και ικανοτήτων. Ως αποτέλεσμα, οι σημερινοί ενδιαφερόμενοι μεταξύ της αλυσίδας εφοδιασμού μπορούν να επικεντρωθούν στη βελτίωση και ανάπτυξη τρεχουσών υποδομών και τεχνολογίας, παρά στη δημιουργία μιας νέας υποδομής. Θα μπορούσε επομένως να είναι η τεχνολογία HEV μια εναλλακτική λύση που βελτιώνει τις ικανότητες.

3.2 Περιορισμοί της αγοράς

Μια σαφής εκτίμηση των περιορισμών της αγοράς που επηρεάζουν τις αναδυόμενες τεχνολογίες είναι μία αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Αυτό είναι προφανές όταν θεωρούμε ότι η ζήτηση στην αγορά ποικίλλει σημαντικά καθώς οι καταναλωτές δεν έχουν το ίδιο σύνολο προσδοκιών. Υπάρχει, ωστόσο, ένα σύνολο ελάχιστων απαιτήσεων που πρέπει να πληροί μια αναδυόμενη τεχνολογία, προκειμένου να θεωρείται αποδεκτή από τους καταναλωτές. Πράγματι, έχει αποδειχθεί ότι για να επιτευχθεί μια δεσπύζουσα θέση, μια αναδυόμενη τεχνολογία πρέπει να έχει παρόμοια ή ανώτερα επίπεδα απόδοσης με την παγιωμένη τεχνολογία. Στην πραγματικότητα, μια αναδυόμενη τεχνολογία πρέπει να ξεπεράσει δύο εμπόδια. τη λειτουργικότητα και τα όρια της καθαρής χρησιμότητας. Ως εκ τούτου, πρέπει να διεξαχθεί μια σύγκριση μεταξύ των αναδυόμενων τεχνολογιών και του κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Ωστόσο, η λειτουργικότητα πρέπει να νοηθεί ως ο συνδυασμός διαφόρων κριτηρίων που καθορίζουν τις τεχνικές επιδόσεις μιας τεχνολογίας. Αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνουν: το προσδόκιμο ζωής ενός οχήματος, το χιλιόμετρα που προέρχονται από ένα πλήρως φορτισμένο όχημα, καθώς και η ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός οχήματος. Εάν μια αναδυόμενη τεχνολογία εμφανίζει κατώτερο επίπεδο απόδοσης, σε σύγκριση με την υπάρχουσα τεχνολογία, πιθανότατα θα θεωρείται ως υποδεέστερη και να απορρίφθηκε από τους καταναλωτές. Επιπλέον, για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, ένα βασικό στοιχείο που πρέπει να συμπεριληφθεί εντός του λειτουργικού ορίου είναι ο βαθμός στον οποίο οι φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις συμμορφώνονται με τις νέες τεχνολογίες. Πράγματι, εάν μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση δεν είναι σε θέση να προσφέρει καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις από τον παγιωμένο κλασικό κινητήρα, οι δυνάμεις της αγοράς (κυβερνήσεις και ενδιαφερόμενα μέρη) πιθανότατα θα την απορρίψουν.

Το όριο της καθαρής χρησιμότητας είναι κατά κύριο λόγο προσανατολισμένο στο κόστος. Στο πλαίσιο αυτής της ανάλυσης μπορεί να οριστεί ως το κόστος αλλαγής που θα κερδίσει ή θα χάσει ένας καταναλωτής, όταν αλλάζει από το συμβατικό κινητήρα σε μια αναδυόμενη εναλλακτική. Επομένως, η τιμή του καυσίμου για ισοδύναμη απόσταση καθώς και η τιμή της τεχνολογίας θα εκτιμηθεί για να προσδιοριστεί το κόστος μεταγωγής που έχει κάθε αναδυόμενη τεχνολογία σε σύγκριση με τον αρχικό κινητήρα.

Παρόλο που, η επιτάχυνση, η ισχύς και η ταχύτητα ενός HEV είναι συγκρίσιμα με έναν βενζινοκινητήρα, φαίνεται να είναι μια πολύ αποτελεσματική εναλλακτική λύση. Το πιο εμφανές είναι το σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά την αύξηση της χιλιομετρικής απόστασης. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το εύρος ενός HEV είναι περίπου 40% περισσότερο από το συμβατικό ICE. Επιπλέον, ένα έμμεσο λειτουργικό όφελος έγκειται στο γεγονός ότι ο πελάτης δε θα χρειαστεί να οδηγήσει προς στο βενζινάδικο τόσο συχνά όσο με ένα συμβατικό όχημα, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και χιλιόμετρα. Επιπλέον, τα νέα νομοθετικά πλαίσια σε παγκόσμιο επίπεδο για σταθμούς ηλεκτρικού ρεύματος με σκοπό τη φόρτιση τέτοιων αυτοκινήτων, αυξάνει κατά πολύ το ποσοστό της προηγούμενης παραδοχής. Το αυξημένο επίπεδο απόδοσης είναι εύκολα ορατό από τους καταναλωτές και μπορεί να οδηγήσει σε εύκολη αποδοχή του HEV. Το HEV έχει επομένως χαμηλούς περιορισμούς λειτουργικότητας.

Οι τεχνικές επιδόσεις του FV είναι μάλλον παρόμοιες με τον συμβατικό κινητήρα, αν και η απόδοση διαφέρει εάν το καύσιμο είναι βιοντίζελ ή αιθανόλη. Μια γενική άποψη είναι ότι το FVB τείνει να ξεπερνά το FVE. Από την άποψη αυτή, θεωρείται συνήθως ότι η FVB έχει την ίδια ισχύ, ροπή, χωρητικότητα και ωφέλιμο φορτίο με τα οχήματα πετρελαίου. Ωστόσο, τα χιλιόμετρα που επιτυγχάνονται από το FVE θεωρείται ότι είναι τουλάχιστον 25% κατώτερα από ένα συμβατικό βενζινοκίνητο όχημα. Επιπλέον, υπάρχει ο φόβος ότι η αιθανόλη μπορεί να επιταχύνει τη φθορά στον κινητήρα, τα εξαρτήματα και τις γραμμές καυσίμου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετους περιορισμούς συντήρησης. Θα μπορούσε επομένως να υποστηριχθεί ότι η λειτουργική απόδοση του FVB είναι παρόμοια με τον κλασικό κινητήρα, ενώ το FVE έχει υψηλότερους περιορισμούς λειτουργικότητας.

Αναμφισβήτητα, μέχρι προσφάτως το EV απείχε πολύ από το να είναι σε θέση να ανταγωνιστεί το συμβατικό κινητήρα. Η χιλιομετρική απόσταση του EV σπάνια υπερέβαινε τα 100 μίλια ανά γέμισμα. Επιπλέον, θεωρούνταν ότι έπρεπε να επιλυθούν σημαντικά τεχνικά ζητήματα προτού να είναι δυνατή η εισαγωγή μαζικής αγοράς EV. Το κύριο εμπόδιο για αυτό ήταν οι ηλεκτρικές μπαταρίες, οι οποίες απαιτούσαν πολύ χρόνο για να επαναφορτιστούν πλήρως και είχαν περιορισμένο προσδόκιμο ζωής. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί η μαζική παραγωγή τέτοιων οχημάτων από πολλούς κατασκευαστές αυτοκινήτων και φαίνεται ότι τα περισσότερα από τα εμπόδια έχουν ξεπεραστεί.

Έχει επισημανθεί ότι ο βαθμός φιλικότητας ως προς το περιβάλλον ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής ή τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των καυσίμων. Ως εκ τούτου, η αξιολόγηση των περιορισμών της αγοράς είναι ένα αρκετά περίπλοκο έργο, καθώς το αποτέλεσμα θα είναι εντελώς διαφορετικό εάν η ανάλυση βασίζεται

στο δυναμικό της τεχνολογίας και όχι στη σύγχρονη κατάσταση. Το πιο ιδανικό σενάριο θα ήταν η ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται μέσω φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών, όπως την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια και η εξάρτηση από μη ανανεώσιμους πόρους να εξαιρεθεί. Η κατάσταση είναι μάλλον παρόμοια για το υδρογόνο, το οποίο επί του παρόντος βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο φυσικό αέριο. Ωστόσο, η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης ή / και δέσμευσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα θα επέτρεπε την εξάλειψη της εξάρτησης από μη ανανεώσιμους πόρους ή / και την απελευθέρωση τοξικών εκπομπών στην ατμόσφαιρα.

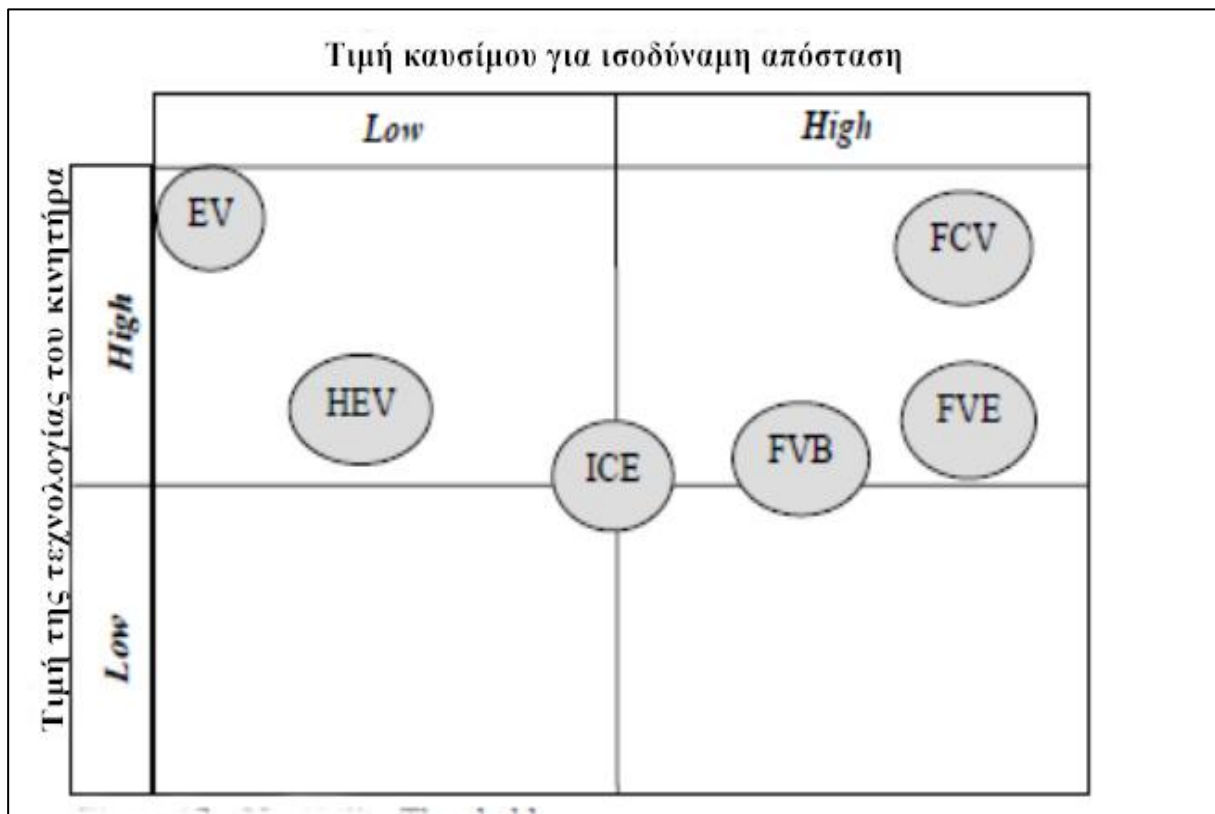
Πιστεύεται ότι στο μέλλον, οι ρυθμιστικοί φορείς θα αγωνιστούν για περαιτέρω δέσμευση για την ανάπτυξη ενός φιλικού προς το περιβάλλον τομέα μεταφορών. Πιστεύεται επίσης ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου θα προσπαθούν συνεχώς να βελτιώσουν τις τρέχουσες τεχνολογίες και να προσπαθήσουν να αναπτύξουν καθαρότερες και πιο αποτελεσματικές διαδικασίες παραγωγής. Πράγματι, καθώς οι αγορές προσπαθούν συνεχώς να τελειοποιούν, φυσικά θα προσπαθήσουν να εστιάσουν την προσοχή τους στην τελειοποίηση των υπάρχουσών τεχνολογιών. Συνεπώς, οι ενδιαφερόμενοι θα κρίνουν κατά κύριο λόγο τις τεχνολογίες ως προς τις δυνατότητές τους και όχι από τα επίπεδα συμμόρφωσης και απόδοσης τους. Αυτό, σε συνδυασμό με το στόχο της αξιολόγησης των δυνατοτήτων των αναδυόμενων τεχνολογιών, τονίζει τη σημασία που πρέπει να επικεντρωθούμε ιδανικά αντί της τρέχουσας κατάστασης.

Η ανάλυση της καθαρής χρησιμότητας πρέπει να λαμβάνει υπόψη δύο μεταβλητές: το κόστος των καυσίμων και το κόστος της τεχνολογίας. Από αυτή την άποψη, κάθε αναδυόμενη εναλλακτική φιλική προς το περιβάλλον πρέπει να αξιολογηθεί σε σύγκριση με τον παγιωμένο κινητήρα χρησιμοποιώντας αυτές τις δύο μεταβλητές.

Το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους υιοθέτησης μιας αναδυόμενης τεχνολογίας ποικίλλει ως προς το αυξητικό κόστος παραγωγής οχημάτων και το κόστος των καυσίμων. Αυτό γίνεται εμφανές με την τεχνολογία EV όπου το κόστος των καυσίμων είναι πολύ χαμηλότερο από το συμβατικό καύσιμο, ενώ το υψηλό επαυξητικό κόστος της τεχνολογίας ανατρέπει πλήρως αυτό το πλεονέκτημα. Το βιοντίζελ και η αιθανόλη, από την άλλη πλευρά, απαιτούν ελάχιστη αναβάθμιση του κινητήρα από τον συμβατικό, με αποτέλεσμα τη σχετικά χαμηλή αύξηση του κόστους παραγωγής. Ωστόσο, είναι σχετικά χαμηλή η αύξηση του κόστους η οποία στρεβλώνεται από την υψηλή τιμή του καυσίμου, όπου το βιοντίζελ κοστίζει 50% ή περισσότερο και η αιθανόλη περίπου 83% περισσότερο από τα συμβατικά καύσιμα όσον αφορά την παραγωγή.

Αντίθετα, το FCV έχει ως αποτέλεσμα τόσο την αύξηση του κόστους παραγωγής όσο και σημαντικά την υψηλότερη τιμή για το καύσιμο. Κυρίως, καθώς το καύσιμο υδρογόνου που παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης θα κοστίζει περίπου 80% περισσότερο από το συμβατικό πετρέλαιο ή τη βενζίνη. Παρά την αύξηση του κόστους παραγωγής, το HEV παρουσιάζει μια μοναδική τάση μεταξύ της φιλικής προς το περιβάλλον εναλλακτικής λύσης, καθώς η οικονομία όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου μπορεί γενικά να επιτύχει το 40%. Στο εξής, οι ειδικοί του κλάδου εκτιμούν ότι τα HEV επιτρέπουν επί του

παρόντος στον πελάτη να εξοικονομήσει χρήματα με βάση τον κύκλο ζωής. Αυτές οι αποκλίσεις τιμών συγκρίνονται και επισημαίνονται στην Εικόνα 3.1:9 Τιμή καυσίμου για ισοδύναμη απόσταση παρακάτω. Απεικονίζονται σαφώς το πλεονέκτημα του HEV όσον αφορά τα οφέλη κόστους, ενώ οι άλλες τεχνολογίες δείχνουν χειρότερα πλεονεκτήματα κόστους. Το χαμηλό συνολικό κόστος του HEV αντικατοπτρίζει ένα σχετικά χαμηλό ή καθόλου κόστος μεταγωγής, το οποίο οδηγεί σε χαμηλό βαθμό περιορισμών που αναστέλλουν τον κυρίαρχο σχεδιασμό.



Εικόνα 3.1:9 Τιμή καυσίμου για ισοδύναμη απόσταση
(Πηγή: Mann M. K. & Spath P. L., 2004)

3.3 Θεσμικοί περιορισμοί

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι οι θεσμικοί περιορισμοί περιέχουν δύο κύριες δυνάμεις. Από τη μία πλευρά, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο, υπό την έννοια ότι είναι οι μόνοι ενδιαφερόμενοι που μπορούν να παράγουν, να προωθούν και να εισάγουν το «φυσικό προϊόν» στην αγορά. Ως εκ τούτου, μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι ο βαθμός δέσμευσης ή συμπαιγνίας εντός της αυτοκινητοβιομηχανίας θα είναι μια σημαντική πτυχή στην επίδραση του αποτελέσματος μιας τεχνολογικής μάχης. Από την άλλη πλευρά, δεν μπορεί να αμφισβητηθεί ότι η κυβερνητική υποστήριξη είναι μια ισχυρή δύναμη που μπορεί να επηρεάσει ή να ενθαρρύνει μια βιομηχανία να αναπτύξει και να διερευνήσει νέες ιδέες, προϊόντα ή εναλλακτικές λύσεις. Στην πραγματικότητα, μία από τις σημαντικότερες

κινητήριες δυνάμεις πίσω από την ανάπτυξη μιας «βιώσιμης» βιομηχανίας μεταφορών είναι το διεθνές κανονιστικό πλαίσιο, το οποίο επιδιώκει τη σημαντική μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και τη μείωση των μη ανανεώσιμων πόρων. Ωστόσο, είναι σημαντικό να καθοριστεί εάν ο βαθμός υποστήριξης διαφέρει μεταξύ όλων των εναλλακτικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων.

Η σαφής εκτίμηση του βαθμού δέσμευσης τόσο των κυβερνήσεων όσο και των επιχειρήσεων είναι αρκετά περίπλοκο έργο. Η νομοθεσία, τα φορολογικά κίνητρα και η οικονομική στήριξη διαφέρουν πολύ από τη μια χώρα στην άλλη. Επιπλέον, επί του παρόντος υπάρχουν διάφορες ομάδες λόμπι που προωθούν διαφορετικά ενδιαφέροντα και δεν υπάρχει εύκολος τρόπος μέτρησης της σχετικής τους δύναμης. Ωστόσο, αυτή η ανάλυση θα επικεντρωθεί στα αμερικανικά ιδρύματα, κυρίως επειδή είναι η μεγαλύτερη αγορά για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων και καθώς είναι ένας από τους πιο ενεργούς ρυθμιστικούς φορείς στην ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων. Παρ' όλα αυτά, θα διεξαχθεί μια γενική ανάλυση των θεσμικών περιορισμών χωρίς διαφοροποίηση των φιλικών προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων. Αυτό θα ακολουθηθεί από μια πιο λεπτομερή περιγραφή της ειδικής υποστήριξης που παρέχεται για κάθε φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση.

Όταν εξετάζουμε την υποστήριξη και τη δέσμευση των κατασκευαστών αυτοκινήτων, μπορεί κανείς να πει ότι η πολλαπλότητα εναλλακτικών και πρωτοτύπων που αναπτύχθηκαν φαίνεται να υπογραμμίζει έναν υψηλό βαθμό δέσμευσης από ολόκληρη τη βιομηχανία για όλες τις εναλλακτικές λύσεις (US Department of Energy, 2004). Πράγματι, όλες οι μεγάλες μάρκες προσφέρουν FV, HEV και έχουν αναπτύξει πρωτότυπα FCV. Ωστόσο, μπορεί να αναγνωριστεί ότι ο βαθμός δέσμευσης σχετικά με το EV έχει μειωθεί σημαντικά κατά τα τελευταία λίγα χρόνια.

Κυβερνητικοί φορείς και ομάδες λόμπι υποστηρίζουν γενικά όλες τις τρέχουσες εναλλακτικές φιλικές λύσεις προς το περιβάλλον. Από αυτή την άποψη, πρέπει να σημειωθεί ότι δίδεται μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη όλων των υποδομών που σχετίζονται και υποστηρίζουν την παραγωγή οχημάτων φιλικών προς το περιβάλλον. Η πιο σημαντική νομοθεσία που άνοιξε το δρόμο για περαιτέρω βελτιώσεις φαίνεται να ήταν ο κανονισμός «Καλιφόρνια ZEV (Zero Emissions Vehicles)» του 1990, καθώς σηματοδότησε την αρχή μιας συζήτησης για εναλλακτικές τεχνολογίες (Van Den Hoed, 2004). Πριν από αυτόν τον κανονισμό, το βασικό επίκεντρο της βιομηχανίας και της κυβέρνησης ήταν το EV. Ωστόσο, κατά τα έτη 1990 έως 2003, ο κανονισμός ZEV της Καλιφόρνια τροποποίησε την εστίασή του καθώς τα HEV και FCV εισήχθησαν στην ημερήσια διάταξη. Επιπλέον, επιτεύχθηκε συναίνεση στον κλάδο με στόχο τη μείωση της σημασίας και της υποστήριξης αφιερωμένη σε προγράμματα EV, και την επιλογή του FCV ως την προτιμώμενη λύση.

Οι πρωτοβουλίες της ΕΕ ήταν αρκετά μέτριες μέχρι και τις αρχές του 2000, τόσο από άποψη πεδίου όσο και από άποψη πόρων. Παρά τον κανονισμό της ΕΕ για τα βιοκαύσιμα που στόχευε στη σημαντική προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων, φαίνεται ότι δεν είχαν καθοριστεί μαζικά σχέδια δράσης για την έρευνα και ανάπτυξη καθώς και τις υποδομές. Ωστόσο, από το 2003, η

επιτροπή της ΕΕ φαίνεται να συνειδητοποιήσει την ανάγκη να αναπτυχθεί ένα σαφές κανονιστικό πλαίσιο (EU Commission, 2003). Φαίνεται σαφές ότι η ΕΕ επικεντρώνεται επί του παρόντος στο υδρογόνο ως το μελλοντικό καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί όχι μόνο στην ενεργειακή βιομηχανία, αλλά και στον τομέα των μεταφορών. Πράγματι, εκτιμάται ότι το FCV θα μπορούσε να διεισδύσει στις ευρωπαϊκές και θα μπορούσε να γίνει η κυρίαρχη τεχνολογία στις μεταφορές το 2040. Όταν πρόκειται για ειδικούς κανονισμούς για HEV, EV ή FV, υπάρχει προφανής έλλειψη σαφών κινήτρων ή πολιτικών χρηματοοικονομικής στήριξης. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι σε κυβερνητικό επίπεδο, παρέχονται φορολογικά κίνητρα για τη στήριξη της ανάπτυξης των πωλήσεων HEV (Smokers, 2004).

Σαν γενική άποψη, η Ιαπωνία υπήρξε ανέκαθεν ένα παράδειγμα ισχυρής συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών του κλάδου και των ρυθμιστικών φορέων. Στην πραγματικότητα, το METI (Υπουργείο Οικονομίας, Εμπορίου και Βιομηχανίας, παλαιότερα γνωστό ως MITI) διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην ανάπτυξη πολιτικών για τη βιομηχανία και το εμπόριο. Τόσο το MITI όσο και το METI πάντα ενθάρρυναν την ανάπτυξη εναλλακτικών προς το περιβάλλον λύσεων. Πιο συγκεκριμένα, από το 1993, αρκετά σχέδια δράσης έχουν αναπτυχθεί και προσαρμόζονται συνεχώς προκειμένου να προωθήσουν μια ιδανική λύση για μια «βιώσιμη κινητικότητα» (Åhman, 2004). Οι ιαπωνικοί κανονισμοί στοχεύουν κυρίως στην υποστήριξη της έρευνας και ανάπτυξης των υποδομών που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση. Αρχικά, ο κύριος στόχος του MITI ήταν η προώθηση των EV, η οποία έφτασε στο αποκορύφωμά της όταν θεσπίστηκε ένα βασικό σχέδιο επέκτασης της αγοράς το 1976. Το 1997, η MITI άλλαξε τη στρατηγική της για να συμπεριλάβει την έμφαση στην τεχνολογία HEV. Ωστόσο, το 2001, το MITI αποφάσισε να καταρτίσει ένα νέο σχέδιο δράσης που θα μειώσει σημαντικά την εστίαση στο EV υπέρ του FCV, το οποίο από τότε θεωρείται για χρόνια το κύριο στρατηγικό επίκεντρο για την επίτευξη μιας «βιώσιμης κινητικότητας». Πράγματι, η ιαπωνική κυβέρνηση θεωρεί την ανάπτυξη κυψελών καυσίμου για τη χρήση τους σε αυτοκίνητα ως ένα εθνικό στρατηγικό μακροπρόθεσμο ζήτημα.

Το κύριο επίκεντρο της αυτοκινητοβιομηχανίας σήμερα είναι το FCV. Όλες οι μεγάλες μάρκες επενδύουν επί του παρόντος σημαντικά ποσά για την ανάπτυξη μιας προσιτής τεχνολογίας FCV. Η κυβερνητική υποστήριξη είναι εξαιρετικά υψηλή καθώς η ΕΕ, οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία αντιλαμβάνονται όλοι την ανάπτυξη μιας οικονομίας υδρογόνου ως πρωταρχικό στόχο μακροπρόθεσμα, ωστόσο, όχι μόνο για τις μεταφορές αλλά και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γενικά. Πολυάριθμα λόμπι και ομάδες που εκπροσωπούν όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου (από προμηθευτές έως κατασκευαστές αυτοκινήτων) ενώνουν τις δυνάμεις τους προκειμένου να ζητήσουν περαιτέρω υποστήριξη από τους ρυθμιστικούς φορείς. Αναμφισβήτητα, πρέπει να παραδεχτούμε ότι το FCV υποστηρίζεται έντονα από όλα τα ιδρύματα.

Αναμφισβήτητα, τα HEV έχουν μια μεγάλη αποδοχή από όλες τις μεγάλες κυβερνήσεις και ρυθμιστικά όργανα. Ακόμα κι αν ο πρωταρχικός στόχος των κυβερνήσεων είναι το FCV, το HEV παραμένει μία από τις εναλλακτικές

προτεραιότητες των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας. Επιπλέον, τα φορολογικά κίνητρα για τους καταναλωτές που αγοράζουν ΗΕV είναι αρκετά σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και σε επίπεδο Ε.Ε και Ελλάδας.

3.4 Περιορισμοί δικτύου

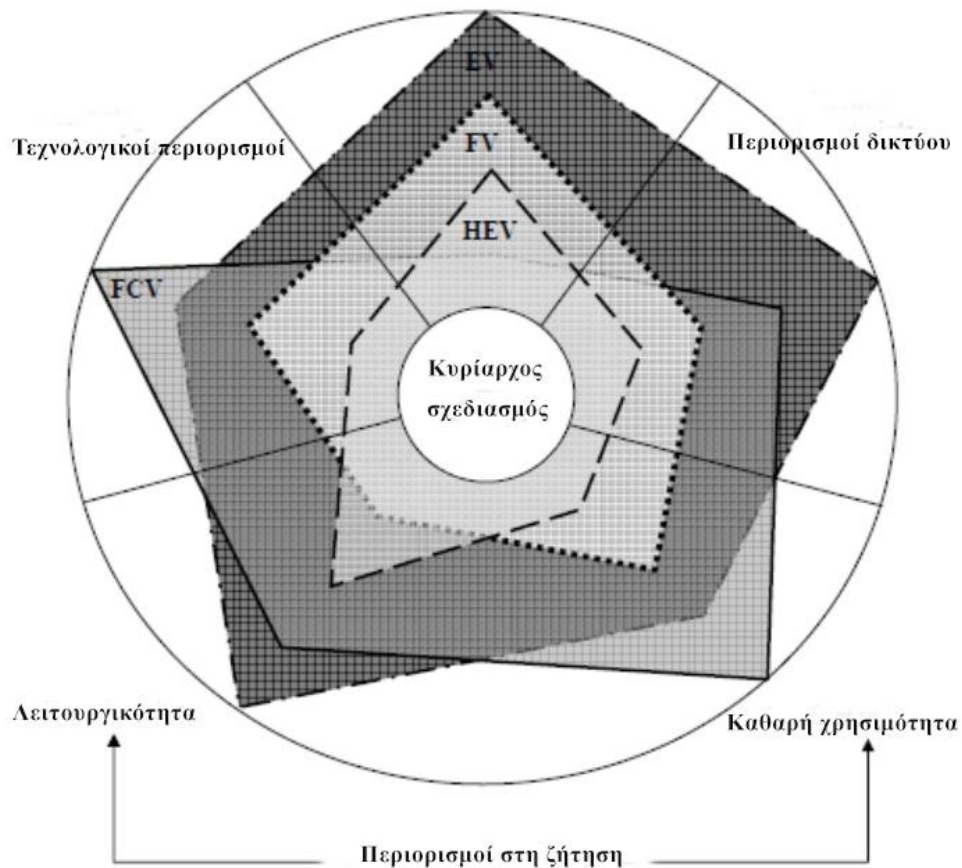
Η αυτοκινητοβιομηχανία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προμήθεια και την προσβασιμότητα των καυσίμων, καθώς ο κινητήρας και οι τεχνολογίες καυσίμου είναι εξειδικευμένες. Με άλλα λόγια, υπάρχουν σε μια κατάσταση συμβίωσης όπου δεν μπορεί κανένα να επιβιώσει χωρίς το άλλο. Ωστόσο, η διασφάλιση της ομαλής συνεχούς τροφοδοσίας καυσίμου είναι μια πολύπλοκη εργασία που απαιτεί πολλές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων εγκαταστάσεων παραγωγής, αποθήκευσης, εγκαταστάσεις μεταφοράς καθώς και σταθμούς ανεφοδιασμού. Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι εάν αυτές οι υποδομές δεν είναι διαθέσιμες σήμερα, θα πρέπει να αναπτυχθούν πριν από την εισαγωγή της σχετικά φιλικής προς το περιβάλλον εναλλακτικής λύσης στην αγορά. Ως αποτέλεσμα, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η διαθεσιμότητα, η τρέχουσα κατάσταση και η ανάπτυξη των υποδομών καυσίμου αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό περιορισμό δικτύου που αναστέλλει τον κυρίαρχο σχεδιασμό. Ένας άλλος ζωτικός παράγοντας του δικτύου είναι το αποτέλεσμα της «ελκυστικότητας». Αυτό αναφέρεται στην «ελκυστικότητα» που έχει μια συγκεκριμένη τεχνολογική πορεία, εξ' ου και η ικανότητά της να προσελκύει υποστήριξη. Με άλλα λόγια, είναι ο ρυθμός με τον οποίο αυτές οι φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις, θα μπορούσαν να αποκτήσουν δύναμη και δυναμική μεταξύ των θεσμικών φορέων. Από μια γενική άποψη, κάθε φιλική προς το περιβάλλον τροχιά έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τα συμπληρωματικά προϊόντα. Επιπλέον, τα φαινόμενα δεν είναι παρόμοια μεταξύ όλων των «πράσινων» εναλλακτικών.

Το υδρογόνο είναι η τεχνολογία που έχει σήμερα την ευρύτερη θεσμική υποστήριξη, τόσο από αυτή της βιομηχανίας όσο και από κυβερνητική σκοπιά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι κυβερνήσεις επιδιώκουν μια ολιστική λύση στο «παγκόσμιο» ενεργειακό πρόβλημα και το υδρογόνο φαίνεται να είναι αυτή η λύση. Στην πραγματικότητα, το υδρογόνο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν και ως εκ τούτου μπορεί να εξαχθεί από πολλές πηγές. Επιπλέον, η εφαρμογή συσκευών κυψελών καυσίμου δεν περιορίζεται στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η χρήση του υδρογόνου για την προώθηση επιβατικών οχημάτων είναι μόνο ένα μικρό μέρος όλων των δυνατοτήτων που ενέχει το υδρογόνο. Για παράδειγμα, στο όραμά της για το μέλλον, η Επιτροπή της ΕΕ υποθέτει ότι οι κυψέλες καυσίμου θα χρησιμοποιούνται εκτενώς για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορικά, οικιστικά ή τριτογενή κτίρια

Παρ' όλα αυτά, η μαζική κυβερνητική υποστήριξη ενθαρρύνει τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να συμμετάσχουν στο σκοπό τους, μέσω γενναιόδωρων οικονομικών κινήτρων. Αυτή η υποστήριξη οδήγησε το φαινόμενο του συγκροτήματος και ως εκ τούτου είχε ως αποτέλεσμα να παρέχει στον FCV τον υψηλότερο βαθμό ισχύος στον κλάδο. Ωστόσο, η ισχυρή ισχύς και η δυναμική του FCV εξουδετερώνεται από τα διάφορα ζητήματα, τα οποία πρέπει να επιλυθούν προτού η τεχνολογία καταστεί έγκυρη και ανταγωνιστική έναντι των υπόλοιπων λύσεων.

3.5 Συνολικό δυναμικό των εναλλακτικών ως προς το περιβάλλον

Οι ξεχωριστές αναλύσεις κάθε περιορισμού που αναστέλλουν τον κυρίαρχο σχεδιασμό παρείχαν μια εικόνα σχετικά με κάθε φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική. Έχει αποδειχθεί ότι, ενώ μια συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να επιτύχει μια ιδανική κατάσταση εντός ενός συγκεκριμένου περιορισμού, η ίδια τεχνολογία μπορεί να δείξει κακά αποτελέσματα σε έναν άλλο τομέα, εξουθενώνοντας έτσι ένα «ανταγωνιστικό πλεονέκτημα». Επομένως, προκειμένου να εκτιμηθεί το πραγματικό δυναμικό μιας φιλικής προς το περιβάλλον εναλλακτικής λύσης για να γίνει κυρίαρχη, πρέπει να καθοριστεί ο συνολικός βαθμός συμμόρφωσης με κάθε περιορισμό. Από αυτή την άποψη, συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα της ανάλυσης στην παρακάτω Εικόνα 3.2:10 Βαθμός περιορισμών. Αντιπροσωπεύει το συνολικό βάρος των περιορισμών σε μια δεδομένη φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση. Ως εκ τούτου, πρέπει να γίνει κατανοητό ότι όσο πιο κοντά είναι μια τεχνολογία από το «κυρίαρχο σχέδιο», τόσο καλύτερες είναι οι ικανότητές της να γίνει κυρίαρχη. Ως εκ τούτου, ο συνολικός τομέας που καλύπτεται από μια τεχνολογία αντιπροσωπεύει τους συνολικούς περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπίσει πριν γίνει κυρίαρχος. Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί ότι όλοι οι περιορισμοί είναι εξίσου σημαντικοί. Πράγματι, όλοι οι περιορισμοί αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, η ισχυρή θεσμική υποστήριξη θα έχει έμμεσες θετικές επιπτώσεις στους περιορισμούς του δικτύου. Ομοίως, οι περιορισμοί τεχνολογίας ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργικότητα ή τους περιορισμούς καθαρών βοηθητικών προγραμμάτων. Παρόλο που είναι πρακτικά αδύνατο να περιγραφεί ο μηχανισμός που οδηγεί αυτές τις αλληλεπιδράσεις, δεν πρέπει να πείσουμε στην παγίδα για να υποθέσουμε ότι ορισμένοι περιορισμοί έχουν μεγαλύτερη ισχύ από άλλους. Μέσα σε κάθε περιορισμό, όλες οι τεχνολογίες βαθμολογούνται από ποιοτική προοπτική. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι μια φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική κατάσταση τελευταία πρέπει να αντιμετωπίσει πολύ μεγαλύτερους περιορισμούς από μια τεχνολογία που βρίσκεται στην πρώτη θέση. Το σύστημα κατάταξης προσδιορίζει απλώς τον βαθμό διευκόλυνσης που έχει μια δεδομένη τεχνολογία όταν πρόκειται να ξεπεράσει αυτούς τους περιορισμούς.



Εικόνα 3.2:10 Βαθμός περιορισμών

(Πηγή: Mann M. K. & Spath P. L., 2004)

Γίνεται έτσι εμφανές ότι τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα φαίνεται να έχουν τις καλύτερες δυνατότητες να κυριαρχήσουν. Το HEV προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την καθαρή χρησιμότητα και δεν υφίστανται σοβαρούς περιορισμούς όσον αφορά την τεχνολογία. Επιπλέον, οι οικολογικές και τεχνικές επιδόσεις του HEV είναι εντυπωσιακές και έχουν το πλεονέκτημα να είναι ορατές από την οπτική γωνία ενός τελικού χρήστη. Πράγματι, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τη συνάφεια της τεχνολογίας του υβριδισμού, η οποία έχει θετικά αποτελέσματα στο δίκτυο.

Τα FV αποδίδουν αρκετά καλά από γενική άποψη και μπορεί να κατατάσσονται ως δεύτερη καλύτερη εναλλακτική λύση για την επίτευξη του κυρίαρχου σχεδιασμού. Παρόλο που η θεσμική υποστήριξη και τα καθαρά οφέλη του FV είναι σχετικά περιορισμένα σε σύγκριση με το HEV, το εξαιρετικό δυναμικό όσον αφορά τη λειτουργικότητα υποδηλώνει ότι τα ευέλικτα οχήματα θα αποτελούσαν μια πολύ καλή εναλλακτική λύση.

3.6 Οι πραγματικές δυνατότητες του HEV

Τώρα φαίνεται σαφές, ότι η υβριδική τεχνολογία έχει από τις καλύτερες δυνατότητες να γίνει ο κυρίαρχος σχεδιασμός μεταξύ όλων των ανταγωνιστικών τεχνολογιών. Πρέπει επομένως να παραδεχτούμε ότι η εναλλακτική λύση για τα HEV θα μπορούσε να είναι βιώσιμη για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναρωτηθούμε πόσο καιρό μπορεί να διαρκέσει αυτή η βιωσιμότητα και ποια είναι η πραγματική δυνατότητα της υβριδικής τεχνολογίας. Στην πραγματικότητα, η βιωσιμότητα του HEV είναι εξαιρετικά αμφισβητήσιμη. Ανάμεσα σε όλες τις φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις, το HEV είναι το μόνο που δεν θα μπορέσει ποτέ να ταιριάξει πλήρως με το νέο νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο. Η υβριδική τεχνολογία είναι μια ιδέα που βασίζεται σε έναν συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με κανονική βενζίνη ή πετρέλαιο. Τι θα συμβεί εάν τα επόμενα 30 έως 50 χρόνια, όταν γίνουν διαθέσιμες όλες οι απαιτούμενες υποδομές για μια καθαρή βιομηχανία μεταφοράς υδρογόνου; Αναμφισβήτητα, δεν θα υπάρξουν εμπόδια στην εφαρμογή του FCV ως απόλυτη λύση για μια «βιώσιμη κινητικότητα». Επομένως, πρέπει να αναρωτηθούμε αν η υβριδική τεχνολογία δεν είναι απλώς ένα «σκαλοπάτι» προς μια καθαρότερη εναλλακτική λύση. Στην πραγματικότητα, υπό σύγχρονες συνθήκες, το νομικό πλαίσιο δεν επιβάλλει στους κατασκευαστές αυτοκινήτων να παρέχουν στους τελικούς χρήστες καθαρά οχήματα που να βασίζονται εξ' ολοκλήρου σε μη ανανεώσιμους πόρους. Ωστόσο, από τη στιγμή που η αυτοκινητοβιομηχανία θα είναι σε θέση να συμμορφωθεί με τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, μπορεί να υποτεθεί ότι οι ρυθμιστικοί φορείς θα προσπαθήσουν να προωθήσουν τη χρήση μιας «πράσινης εναλλακτικής». Από αυτή την άποψη, μπορεί κανείς να πει ότι η αυριανή νομοθεσία μπορεί να είναι πιο περιοριστική από την παρούσα.

Κάποιος μπορεί να υποστηρίξει ότι είναι πρακτικά αδύνατο να καθοριστεί πόσο καιρό θα χρειαστούν οι εναλλακτικές λύσεις FV, FCV ή EV για να ταιριάξουν πλήρως με το νέο πλαίσιο, προσφέροντας παράλληλα μεγάλα πλεονεκτήματα όσον αφορά την καθαρή χρησιμότητα και τη λειτουργικότητα. Μια τέτοια ανάλυση εξαρτάται από πολλές άυλες μεταβλητές και ακόμη και αν αρκετά μαθηματικά μοντέλα επιτρέπουν την παρέκταση των πιθανών αποτελεσμάτων, ο βαθμός αβεβαιότητας δεν επιτρέπει σε αυτές τις αναλύσεις να είναι εξαιρετικά αξιόπιστες. Από αυτή την άποψη, το κυρίαρχο πρότυπο σχεδίασης, με βάση τη δύναμη, την ορμή και το δυναμικό που μπορούν να καταναλωθούν σε αναδυόμενες τροχιές, παρέχει μια μοναδική άποψη για το θέμα. Ως εκ τούτου, ενώ οι εικασίες των μαθηματικών μελετών βασίζονται στο πιθανό μέγεθος της αγοράς, τις παραγωγικές ικανότητες και το υποκείμενο κόστος, η κερδοσκοπία που βασίζεται στην ισχύ και την υποστήριξη που μπορούν να εκχωρηθούν σε αναδυόμενες τροχιές θα παρείχε στους ενδιαφερόμενους της βιομηχανίας ζωτικά και συμπληρωματικά συμπεράσματα. Μια τέτοια ανάλυση θα απαιτούσε τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο οι τεχνολογικές τροχιές θα εξελιχθούν μεταξύ τους στο μέλλον και πώς θα μοιραστεί η συνολική ισχύς και η υποστήριξη μεταξύ όλων των τροχιών. Ως εκ τούτου, η ανάλυση του συνολικού δυναμικού των φιλικών

προς το περιβάλλον εναλλακτικών λύσεων παρέχει μια σαφή επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης.

Μια βασική διαφορά μεταξύ των αυτοκινήτων που χρησιμοποιούν βιοκαύσιμα και των υδρογονοκίνητων οχημάτων είναι το γεγονός ότι η αιθανόλη ή το βιοντίζελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με την παραδοσιακή βενζίνη ή τη βενζίνη σε κάθε είδους μείγματα. Επομένως, οι υποδομές που απαιτούνται για την εφαρμογή της εναλλακτικής τεχνολογίας θα μπορούσαν να δημιουργηθούν σταδιακά. Πράγματι, τα βιοκαύσιμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με το συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης έως ότου εξαλειφθούν όλοι οι άλλοι περιορισμοί που σχετίζονται με την εισαγωγή του FV. Ως εκ τούτου, οι επενδύσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη της τροφοδοσίας καυσίμου για FV μπορούν να ανακτηθούν με σταδιακό και σταθερό τρόπο. Αντίθετα, η εναλλακτική λύση του FCV είναι μάλλον στατική. Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε FCV. Ως αποτέλεσμα, ενώ οι απαιτούμενες επενδύσεις είναι τεράστιες, ο κλάδος θα είναι σε θέση να ανακάμψει από το κόστος μετά την ολοκλήρωση όλων των υποδομών και την ευρεία χρήση του FCV. Εκ πρώτης όψεως, φαίνεται ότι η FV θα είχε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με το FCV, καθώς τα βιοκαύσιμα μπορούν να εισαχθούν στην αγορά ανά πάσα στιγμή, ανοίγοντας σταδιακά το δρόμο για τη σκοπιμότητα της FV.

Αυτό είναι και το σημείο, όπου τα HEV δείχνουν την πραγματική ανταγωνιστικότητά τους. Πράγματι, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του HEV είναι η ευελιξία της τεχνολογίας, καθώς συνδυάζει τα χαρακτηριστικά ενός συμβατικού κινητήρα με έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Ως εκ τούτου, υπάρχει υψηλός βαθμός συμπληρωματικότητας μεταξύ FV και HEV καθώς το υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε FV. Επιπλέον, καθώς σταδιακά διατίθενται χαμηλά μείγματα βιοκαυσίμων στην αγορά, θα είναι συμβατά με το HEV. Επιπλέον, η τεχνολογία FV θα επιτρέψει στο HEV να ξεπεράσει το μόνο εμπόδιο προς την πραγματική βιωσιμότητα. Ο συνδυασμός FV και HEV θα διευκολύνει την τέλεια αντιστοιχία με το νέο νομοθετικό πλαίσιο.

4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ

Όταν γίνεται αναφορά σε ενέργεια και αυτοκίνητο το πρώτο πράγμα που πρέπει να διευκρινιστεί είναι η οικονομία καυσίμου. Δηλαδή, τι στην πραγματικότητα την ορίζει και τι επηρεάζει την κατανάλωση καυσίμου ενός οχήματος. Λοιπόν, για τους περισσότερους ανθρώπους μοιάζει με τη μεταφορά από το σημείο Α στο σημείο Β. Δηλαδή, μια δεδομένη απόσταση, χρησιμοποιώντας την όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια. Στην περίπτωση ενός συμβατικού οχήματος που τροφοδοτείται από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης, η ενέργεια αυτή θα μετράται σε όγκο καυσίμου (π.χ. λίτρα βενζίνης ή πετρελαίου). Αυτός ο τύπος μέτρησης ονομάζεται οικονομία καυσίμου. Ωστόσο, η οικονομία καυσίμου μπορεί να προβληθεί από πολλές οπτικές.

Μία οπτική θα μπορούσε να λαμβάνει υπόψη ολόκληρη την αλυσίδα των γεγονότων ιστορικά. Για παράδειγμα, πηγαίνοντας πίσω, από την πηγή του αργού πετρελαίου έως και την εργασία που γίνεται από τους τροχούς του αυτοκινήτου. Με αυτήν τη μέτρηση, λαμβάνεται επίσης υπόψη η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση, τη μεταφορά, την αποθήκευση κ.λ.π. Η μέτρηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα θα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα καθώς θα μπορούσε να μετρηθεί το συνολικό αποτύπωμα του διοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με τη χρήση ενός συγκεκριμένου καυσίμου και όχι μόνο το μέρος αυτού, που λαμβάνει χώρα στο αυτοκίνητο. Ένα καύσιμο μπορεί να είναι πολύ αποδοτικό στην τελική εφαρμογή, δηλαδή το αυτοκίνητο, αλλά να χρειάζεται να καταναλωθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας κατά την παραγωγή, τη μεταφορά και την αποθήκευσή του, που στο τέλος το καθιστούν ακατάλληλο για χρήση.

Μία επιπρόσθετη οπτική θα ήταν η μέτρηση της «οικονομίας εξωτερικού καυσίμου». Δηλαδή πόσο μακριά ταξιδεύει το όχημα με τη βοήθεια μιας συγκεκριμένης εργασίας που γίνεται από τους τροχούς. Οι εξωτερικοί παράγοντες είναι για παράδειγμα η μάζα του οχήματος, η αεροδυναμική και η αντίσταση.

Τέλος, από μία άλλη οπτική θα μπορούσε να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα των εσωτερικών συστημάτων του αυτοκινήτου. Για παράδειγμα πόσο αποτελεσματικός είναι ο κινητήρας στη μετάδοση κίνησης στους τροχούς με τη χρήση του εν λόγω καυσίμου. Ή αλλιώς, πόση εργασία γίνεται από τους τροχούς για μια συγκεκριμένη ποσότητα χρησιμοποιημένου καυσίμου. Ανάλογα με την περιοχή ανά τον κόσμο χρησιμοποιούνται και διαφορετικές μονάδες και προσεγγίσεις για τις μετρήσεις.

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί μια σημαντική πηγή ρύπανσης, ιδίως στις αστικές περιοχές. Έχει γίνει γενικότερα, μια παγκόσμια προσπάθεια για να περιοριστούν από το νόμο οι εκπομπές των κινητήρων εσωτερικής καύσης (ICE), με διάφορους κανονισμούς αυξανόμενης σοβαρότητας. Περαιτέρω κανονισμοί εφαρμόζονται για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂. Τα πρότυπα για την ποιότητα του αέρα καθορίζονται από τη νομοθεσία λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τους χρόνους έκθεσης σε ρύπους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση,

σύμφωνα με την οδηγία 2008/50 / ΕΕ, οι ετήσιες συγκεντρώσεις NO₂ και PM₁₀ πρέπει να είναι χαμηλότερες από 40 µg / m³. και η μέγιστη ημερήσια μέση τιμή για 8 ώρες για CO να είναι ίση με 10 mg / m³. Σε όλο τον κόσμο, ο τομέας των οδικών μεταφορών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την ατμόσφαιρα. Αυτό είναι η συνέπεια του αυξανόμενου αριθμού οχημάτων και των ταξιδιών τους σε χιλιόμετρα, αντισταθμίζοντας τις βελτιώσεις στους κινητήρες ICE και στα οχήματα. Αυτή η αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών των ρύπων, μαζί με την αλλαγή του κλίματος, τη μείωση των πόρων των ορυκτών καυσίμων και το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας ενθάρρυνε τους ερευνητές και τις αγορές να αναπτύξουν πιο φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα. Οι γενικές κατευθυντήριες γραμμές και οι πολιτικές πρέπει να προέρχονται από τη συμφωνία του Παρισιού για την αλλαγή του κλίματος και τις περιοδικές διασκέψεις των Ηνωμένων Εθνών για αυτό το θέμα, όπως η πρόσφατη συνάντηση στη Μαδρίτη. Εστιακά σημεία είναι η ενίσχυση της γνώσης, των τεχνολογιών και των πρακτικών και η αυξανόμενη σημασία της παροχής κινήτρων για τις πολιτικές και την τιμολόγηση του άνθρακα. Ακολουθώντας τις απαιτήσεις για την απαλλαγή από τον άνθρακα των μεταφορών, οι υβριδικοί και ηλεκτρικοί κινητήρες εξελίσσονται για να αυξήσουν την απόδοσή τους και να μειώσουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, προκειμένου να αντικατασταθούν τα συμβατικά οχήματα, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση καυσίμου και τις εκπομπές. Τα οχήματα μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, βοηθώντας τους κατασκευαστές να συμμορφώνονται με την όλο και πιο αυστηρή νομοθεσία.

4.1 Υβριδικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Τα υβριδικά καθώς και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θεωρούνται φιλικά προς το περιβάλλον αλλά υπάρχουν μεταξύ τους και οι εξής διαφορές:

- Στα υβριδικά αυτοκίνητα, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και διάφορες άλλες παθογόνες εκπομπές μειώνονται, ενώ από την άλλη εξαφανίζονται πλήρως στα ηλεκτρικά (Gopalakrishnan D et al., 2011).
- Τα υβριδικά αυτοκίνητα είναι περισσότερο αθόρυβα από τα κλασσικά και τα ηλεκτρικά ακόμη πιο αθόρυβα.
- Η μπαταρία που τροφοδοτεί την κίνηση στον ηλεκτρικό κινητήρα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων χρειάζεται να ξαναφορτιστεί σε κάποιο σημείο φόρτισης. Αντίθετα, η μπαταρία των υβριδικών αυτοκινήτων ξαναφορτίζει αυτόματα όταν το αυτοκίνητο χρησιμοποιείται.

4.1.1 Ηλεκτρικός κινητήρας και μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων είναι ο κινητήρας και οι μπαταρίες. Οι

ηλεκτρικοί κινητήρες είναι οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και αποτελούν τμήμα του ηλεκτρικού συστήματος του αυτοκινήτου. Στην παραγωγή των αυτοκινήτων χρησιμοποιούνται δύο τύποι κινητήρα, συνεχούς ρεύματος (DC) ή εναλλακτικού ρεύματος (AC).

Ένας ηλεκτρικός κινητήρας έχει περισσότερα πλεονεκτήματα από έναν εσωτερικής καύσης:

- Χαμηλό αρχικό κόστος. Το αρχικό κόστος ενός ηλεκτρικού κινητήρα είναι μικρότερο από έναν κινητήρα ορυκτού καυσίμου.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλές απαιτήσεις σε συντήρηση. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες προσφέρουν πάνω από 30.000 ώρες λειτουργίας χωρίς να χρειάζονται ιδιαίτερες επισκευές.
- Μεγάλη αποδοτικότητα. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι πολύ αποδοτικοί, με απόδοση που κυμαίνεται στο 50% με 95% (ανάλογα το μέγεθος του κινητήρα και τις συνθήκες λειτουργίας).
- Περιβαλλοντική ασφάλεια. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες παράγουν ελάχιστο έως καθόλου θόρυβο, μειώνουν τις εκπομπές του διοξειδίου το άνθρακα και άλλες επιβλαβείς εκπομπές. Γενικότερα καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους έχουν μικρές αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον.
- Μείωση του κόστους εργασίας. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι μικρότεροι και ευκολότεροι να ελεγχθούν. Επιπλέον, η συντήρησή τους γίνεται γρηγορότερα και ευκολότερα με χαμηλότερα κόσθη (King H., 2007).

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ωστόσο έχουν ένα μεγάλο μειονέκτημα. Χρεώσεις της ζήτησης. Χρησιμοποιώντας ηλεκτρικούς κινητήρες υψηλής ιπποδύναμης, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά κόσθη ανά ώρα λειτουργίας.

Οι ερευνητές αναπτύσσουν λύσεις για την ανακύκλωση των ηλεκτρικών κινητήρων και στοχεύουν σε μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι αποτελούνται από πολλά σπάνια στοιχεία της γης (Nd, Dy, Tb, Pr). Η δημιουργία ενός συμπαγούς και ελαφριού ηλεκτρικού κινητήρα. Ήδη τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η παραγωγή των υβριδικών και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και απαιτούνται μεγαλύτερη ανάπτυξη των τεχνικών μόνιμων μαγνητών με σκοπό τη μείωση της χρήσης των σπάνιων μετάλλων. Φυσικά η δημιουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα δεν απαιτεί τη χρήση τέτοιων μαγνητών. Τέτοιου είδους κινητήρες χωρίς μαγνήτες είναι φτηνότεροι και γενικότερα αποτελούν κινητήρες AC όπως για παράδειγμα αυτός του Tesla Roader. Γενικότερα έχουν προταθεί εναλλακτικές από το πεδίο της ανακύκλωσης των ηλεκτρικών κινητήρων, όπως την αφαίρεση των μαγνητών από παλιούς κινητήρες ή την επισκευή και επαναχρησιμοποίηση των υπαρχόντων ή κάποιων εξαρτημάτων τους.

Η μπαταρία όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1, είναι η συσκευή όπου αποθηκεύεται χημική ενέργεια και έπειτα μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Όλες οι τεχνολογίες στις μπαταρίες έχουν δύο χαρακτηριστικά όπου επηρεάζουν τη

μπαταρία, το σχέδιο, την παραγωγή, το κόστος λειτουργίας, την απόδοση και τη διάρκεια ζωής τους:

- Την πυκνότητα ισχύος, η οποία είναι το ποσό της ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου μεταφέρεται η ενέργεια.
- Την ενεργειακή πυκνότητα, η οποία είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία.

Μεταξύ αυτών των δύο χαρακτηριστικών υπάρχει ένα κύριο σημείο. Κάποιες μπαταρίες έχουν υψηλότερη πυκνότητα ισχύος και χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και αντίστροφα.

Από τη δημιουργία των υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων, οι ερευνητές προσπαθούν να βελτιώσουν τους κύκλους φόρτισης, τη διάρκεια ζωής των μπαταριών κ.λ.π. Για παράδειγμα, η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας είναι ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και παρουσιάζεται μέσω των κύκλων φόρτισης. Ο κύκλος φόρτισης δίνεται από τον αριθμό των φορτίσεων-εκφορτίσεων. Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει τη διάρκεια ζωής είναι η θερμοκρασία. Γενικότερα πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Ένα ακόμα αρνητικό των μπαταριών είναι ο απαιτούμενος χρόνος για τη φόρτισή τους. Προς το παρόν, υπάρχουν τρεις τρόποι φόρτισης:

- Αγωγήμη φόρτιση. Αυτή αποτελεί μια απλή διαδικασία φόρτισης, όπου το ηλεκτρικό όχημα αρκεί να συνδεθεί σε μία πρίζα 13A με ειδικό κύκλωμα και ασφαλισμένη συσκευή. Γενικά είναι εύκολος τρόπος, αλλά απαιτεί αρκετό χρόνο.
- Επαγωγική φόρτιση. Αποτελεί έναν τρόπο φόρτισης χωρίς κάποιο καλώδιο σε σύνδεση. Η ενέργεια μεταδίδεται από το φορτιστή μέσω μαγνητικού πεδίου στο αυτοκίνητο χρησιμοποιώντας AC. Η διαδικασία αυτή είναι πιο σύνθετη και ακριβή εξαιτίας του απαιτούμενου αντίστοιχου εξοπλισμού.
- Αλλαγή μπαταρίας. Αποτελεί άλλη μια μέθοδο όπου δεν απαιτούνται καλώδια. Στην ουσία η χρησιμοποιημένες εκφορτισμένες μπαταρίες αντικαθίστανται από άλλες φορτισμένες, ωστόσο εδώ ο χρήστης δεν απαιτείται να κατέχει τις μπαταρίες αλλά να πληρώνει το κόστος του ενοικίου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών. Οι πιο γνωστές είναι οι μπαταρίες μολύβδου, αυτές του υβριδικού νικελίου μετάλλου (NiMH) και οι μπαταρίες λιθίου (Li-ion). Οι πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ήταν αυτές του μολύβδου η οποίες ανακαλύφθηκαν το 1859 στη Γαλλία. Αυτού του τύπου μπαταρίες αποτελούν ένα ώριμο βιομηχανικό προϊόν και έχουν ευρεία παραγωγή. Μία κοινή μπαταρία τέτοιου τύπου αποτελεί μια μονομπλόκ κατασκευή από έξι κελιά, όπου το κάθε κελί περιέχει δέκα εννέα ηλεκτρόδια τα οποία μεταφέρουν μια ονομαστική τάση της τάξεως των 12V. Η χωρητικότητα του κάθε κελιού είναι 75Ah και κάθε 12V μπαταρία έχει μια ονομαστική ενέργεια της τάξεως των 900 Wh (Vasant Kumar R. et al., 2013).

Μια τυπική μπαταρία νικελίου έχει 90-100 Α χωρητικότητα κελιού, με πρισματική διαμόρφωση των κελιών. Ο μέσος όρος ζωής της ποικίλει από 2 έως και 7 χρόνια. Περίπου το 65% των χρησιμοποιημένων μπαταριών δεν πετάγονται αλλά κρατιώνται από τους κατόχους τους (Ekermo V. 2009). Αυτή είναι η άμεση συνέπεια ότι οι χρήστες των μπαταριών δεν τις θεωρούν ως αναλώσιμα προϊόντα. Επειδή αυτές οι μπαταρίες είναι πιο πρόσφατες αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες για την ανακύκλωσή τους. Η πιο διαδεδομένη πρόταση είναι αυτή της χρήσης τους στην κατασκευή ανοξειδωτού ατσάλιου. Επιπλέον υπάρχουν άλλες δύο προτάσεις, αυτές της χρήσης τους στην πυρομεταλλουργία, καθώς και στην υδρομεταλλουργία. Δυστυχώς καμία από τις δύο δεν εφαρμόζεται σε μεγάλη βιομηχανική κλίμακα. Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν ακόμα αυτού του είδους μπαταρίες, αλλά επειδή αυτές του λιθίου προσφέρουν καλύτερη απόδοση, είναι ελαφρύτερες φαίνεται πως θα τις αντικαταστήσουν πλήρως στο μέλλον.

Οι μπαταρίες λιθίου δημιουργήθηκαν στην Αμερική και την Ευρώπη, ωστόσο οι Γιαπωνέζικες εταιρείες ήταν αυτές που τις εμπορεύτηκαν αρχικά το 1990. Η κατασκευή τους μεταφέρθηκε στη συνέχεια και στην Κίνα και την Κορέα το 2000. Προς το τέλος της πρώτης δεκαετίας η νοτιοανατολική Ασία κυριαρχούσε στην παραγωγή τους, όπου αποτελούσε το 98% της παγκόσμιας παραγωγής.

Η διαδικασία ανακύκλωσης των μπαταριών λιθίου αποτελείται από μια μηχανική επεξεργασία όπου οι μπαταρίες συντρίβονται σε ένα περιβάλλον με διοξείδιο του άνθρακα, ώστε ο ασταθής οργανικός ηλεκτρολύτης τους να εξατμιστεί και στη συνέχεια να συλλεχθεί ως μη χρησιμοποιήσιμο συμπύκνωμα. Στη συνέχεια, γίνεται ένας μεταγενέστερος διαχωρισμός στα διαφορετικά υλικά τα οποία πωλούνται ως πρώτη ύλη για άλλες διαδικασίες. Γενικά, η υδρομεταλλουργία Toxco (μέθοδος ανακύκλωσης) αναπτύχθηκε για την ασφαλή ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων μπαταριών λιθίου. Εάν είναι απαραίτητο, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία Toxco, ψύχονται στους -200 °C. Τα συστατικά του λιθίου ξεχωρίζονται και μετατρέπονται σε ανθρακικό λίθιο. Εάν οι μπαταρίες περιέχουν και κοβάλτιο, τότε ανακτάται και αυτό το στοιχείο για τη δημιουργία LiCoO_2 το οποίο χρησιμοποιείται ως ένα νέο ηλεκτρόδιο.

4.2 Αποτύπωμα άνθρακα

Το αποτύπωμα άνθρακα ορίζεται ιστορικά ως οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προκαλούνται από ένα άτομο, γεγονός, οργανισμό ή προϊόν, εκφραζόμενο ως ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα (Wright L. et al, 2011). Τα αέρια του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων των αερίων που περιέχουν άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, μπορούν να εκπέμπονται μέσω της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της παραγωγής και κατανάλωσης τροφίμων, βιομηχανικών προϊόντων, υλικών, ξύλου, δρόμων, κτιρίων, μεταφορών και άλλων υπηρεσιών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς λόγω της ανεπαρκούς γνώσης και δεδομένων σχετικά με τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαδικασιών που

συμβάλλουν, συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης των φυσικών διεργασιών που αποθηκεύουν ή απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα. Για αυτόν τον λόγο, οι Wright L. et al (2011) πρότειναν τον ακόλουθο ορισμό του αποτυπώματος άνθρακα: Ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) ενός καθορισμένου πληθυσμού, συστήματος ή δραστηριότητας, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις σχετικές πηγές του συστήματος ή της δραστηριότητας.

4.3 Αξιολόγηση του κύκλου ζωής των αυτοκινήτων

Το LCA είναι ένα συστηματικό εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αγαθά και υπηρεσίες. Περιλαμβάνει τεχνικές έρευνες για όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, από την απόκτησή του και την κατασκευή του έως τη χρήση του και το τέλος του κύκλου ζωής του. Τα δεδομένα συλλέγονται για ροές και εκροές σε κάθε στάδιο. Συνδέοντας διεργασίες μέσα στο σύστημα από την αρχή μέχρι το τέλος, κατασκευάζεται ένα μοντέλο για το πώς συνδέονται οι ροές μεταξύ τους και επηρεάζουν η μία την άλλη. Αυτό οδηγεί σε ένα σύνολο εισροών στο σύστημα από άποψη φυσικών πόρων και εκροών όσον αφορά τις εκπομπές στο περιβάλλον (φυσικό σύστημα). Στη συνέχεια, το απόθεμα των ροών αναλύεται για να δείξει πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διάφορες κατηγορίες, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η τοξικότητα στον άνθρωπο και η οξύνιση.

4.3.1 Επισκόπηση και διατύπωση σκοπών

Μια μελέτη LCA ενός οχήματος μπορεί να διεξαχθεί με διαφορετικούς τρόπους, αλλά όχι αυθαίρετα. Η επιλογή του πεδίου και άλλων μεθοδολογικών επιλογών εξαρτάται από τη διατύπωση του σκοπού. Το πρότυπο ISO (ISO 2006b) απαιτεί ότι ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής πρέπει να είναι "σαφώς δηλωμένα και συνεπή με την επιδιωκόμενη εφαρμογή". Επιπλέον, το πρότυπο δηλώνει ότι ο στόχος «θα αναφέρει σαφώς την επιδιωκόμενη εφαρμογή, τους λόγους διεξαγωγής της μελέτης και το επιδιωκόμενο κοινό, δηλαδή για ποιον προορίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης. Παρόμοιες συστάσεις δίνονται στις οδηγίες του eLCAr για την LCA των ηλεκτρικών οχημάτων (Duce AD. et al. 2013). Το τελευταίο επισημαίνει επίσης ότι ένας σαφής ορισμός στόχου είναι απαραίτητος για μια σωστή μεταγενέστερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ο επόμενος ορισμός του πεδίου θα πρέπει στη συνέχεια να οριστεί αρκετά καλά ώστε να διασφαλιστεί ότι η κάλυψη και η λεπτομέρεια της μελέτης είναι συμβατές και επαρκείς για την επίτευξη του δηλωθέντος στόχου. Για παράδειγμα, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των λειτουργιών του συστήματος που μελετάται, τις διαδικασίες κατανομής, τη μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων του κύκλου ζωής (LCIA), τους περιορισμούς και τα όρια των τεχνολογικών και γεωγραφικών συστημάτων. Τα όρια του συστήματος περιλαμβάνουν επίσης χρονικό εύρος, δηλαδή η μελέτη αυτή σχετίζεται άμεσα με το χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες είναι η απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιολόγηση της χρονομεριστικής αντιπροσωπευτικότητας

των δεδομένων που χρησιμοποιούνται και της χρονικής εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Υποστηρίζεται, ότι το χρονικό πεδίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση μιας αναδυόμενης τεχνολογίας που είναι πιθανό να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Ομοίως, το παράδειγμα καθορισμού του πεδίου των οδηγιών eLCA περιλαμβάνει μια πολύ σαφή δήλωση του εύρους του χρόνου. Αρκετοί παράγοντες καθορίζουν τα όρια του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής της μελέτης και του επιδιωκόμενου κοινού. Παραδόξως, αυτές οι εκτιμήσεις στόχου μαζί με το χρονικό εύρος δεν παρουσιάζονται πάντα πλήρως στην επιστημονική βιβλιογραφία. Ωστόσο, διερευνώντας τα πραγματικά επιλεγμένα όρια του συστήματος και άλλες μεθοδολογικές επιλογές, είναι δυνατό να εντοπιστούν ερωτήσεις και προβλήματα, τα οποία αντιμετωπίζονται συνήθως από μια ομάδα μελετών και στη συνέχεια ταιριάζουν με τις σχετικές ομάδες-στόχους.

4.3.2 Πεδίο εφαρμογής του κύκλου ζωής

Η μελέτη WTW είναι ένας τύπος της LCA στα οχήματα, ο οποίος επικεντρώνεται στον κύκλο ζωής του φορέα ενέργειας, που χρησιμοποιείται για την προώθηση του οχήματος, όπως τα υγρά καύσιμα ή το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο κύκλος ζωής WTW μπορεί να υποδιαιρεθεί στο στάδιο «well-to-tank» (WTT), το οποίο επικεντρώνεται στην παροχή ενέργειας από την πηγή του, στον εξοπλισμό αποθήκευσης στο όχημα και στο στάδιο της δεξαμενής στον τροχό (TTW), όπου ο ενεργειακός φορέας χρησιμοποιείται για την προώθηση του οχήματος κατά τη λειτουργία. Το στάδιο WTT περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες από την αξιοποίηση μιας πρωτογενούς ροής ενέργειας ή ένα απόθεμα σε διαφορετικές μορφές μετατροπής, διανομής και αποθήκευσης των φορέων ενέργειας. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση του WTT σταδίου διαφέρει πολύ, ανάλογα με το πώς παράγεται από τον φορέα της ενέργειας. Για παράδειγμα, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από υδροηλεκτρικά και από άνθρακα εργοστάσια. Στην περίπτωση των υγρών καυσίμων, το στάδιο TTW οδηγεί συνήθως σε εκπομπές καυσαερίων και εξάτμισης. Για καθαρά ηλεκτρικά οχήματα φορτισμένα από το δίκτυο, το στάδιο TTW δεν περιλαμβάνει καθόλου εκπομπές. Παρ' όλα αυτά, το TTW εξακολουθεί να είναι σημαντικό καθώς οι διαφορετικές διαμορφώσεις του κινητήρα έχουν διαφορετικές αποδόσεις και απώλειες ενέργειας, οι οποίες επηρεάζουν τα συνολικά αποτελέσματα του WTW.

Ο όρος "κύκλος ζωής εξοπλισμού" στην παρούσα εργασία είναι σύμφωνος με την ορολογία που χρησιμοποιείται στο πρότυπο ISO (ISO 2006a). Επιπλέον, αυτός ο όρος είναι πιο γενικός, καθώς ισχύει επίσης για μελέτες σε επίπεδο κινητήρα και εξαρτημάτων. Οι πρώτες διεργασίες στον κύκλο ζωής του εξοπλισμού αποτελούνται από την εξαγωγή των πρώτων υλών και την επεξεργασία των υλικών. Ακολουθούν η κατασκευή, όπου τα μέρη κατασκευάζονται και συναρμολογούνται σε ένα όχημα. Η επακόλουθη δραστηριότητα είναι η λειτουργία του οχήματος, η οποία επίσης συνδέεται με τον κύκλο ζωής WTW του φορέα ενέργειας και τον κύκλο ζωής του εξοπλισμού. Ωστόσο, ορισμένες πτυχές της λειτουργίας συνδέονται αποκλειστικά με τον κύκλο ζωής του εξοπλισμού, δηλαδή τη συντήρηση και την

επισκευή. Το τελικό στάδιο, το τέλος της ζωής, περιλαμβάνει την αποσυναρμολόγηση και την ανάκτηση ορισμένων εξαρτημάτων, καθώς και τον τεμαχισμό και την ανακύκλωση με τη διάθεση των καταλοίπων.

4.4 Οικολογική σκοπιά

Οι μεγαλύτερη αλλαγή η οποία έχει προέλθει από αυτά τα φιλικά προς το περιβάλλον αυτοκίνητα ήταν η μείωση του θορύβου και η μείωση της μόλυνσης του αέρα, μέσω της μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων επιβλαβών ρύπων. Η νέα αυτή ιδέα του φιλικού προς το περιβάλλον αυτοκινήτου είναι μια καλή αρχή για ένα πιο υγιές περιβάλλον. Επιπλέον όμως, χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διαδικασία ανακύκλωσης επειδή αναφέρονται πάντα τα οφέλη από τις μπαταρίες αλλά όχι οι αρνητικές επιδράσεις από τη μη ανακύκλωσή τους. Στην ουσία, μέχρι τώρα έχει πωληθεί ένας σημαντικός όγκος υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων και ως συνέπεια, ένας σημαντικός όγκος κινητήρων και μπαταριών. Για να ονομαστεί η λειτουργία όλης αυτής της βιομηχανίας φιλική προς το περιβάλλον, θα πρέπει να διερευνηθεί, οι παλιές μπαταρίες και κινητήρες σε τι ποσοστό ανακυκλώθηκαν και τελικά πραγματικά είχαν θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Το πρώτο βήμα είναι η ανάπτυξη των κατάλληλων στρατηγικών για τη διάσπαση για παράδειγμα των μπαταριών και των επιμέρους στοιχείων τους ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί ο κατάλληλος τρόπος ανακύκλωσης. Από την ανακύκλωση αυτή, μπορεί να ανακτηθεί το 30% της ενέργειας. Μια γενικευμένη διαδικασία ανακύκλωσης για τις μπαταρίες χρησιμοποιεί νερό και ενέργεια ώστε να ξεχωρίσει τα απόβλητα από τα πολύτιμα στοιχεία.

Μετά από ανακύκλωση 1kg μπαταρίας, οι ουσίες που απελευθερώνονται είναι στερεά, νερό και αέρια ως εξής:

- 0,24kg οξείδωσης μετάλλου (σκουριά) και 30g τοξικά σε στερεά μορφή
- < 0,1 kg Αντιμονίου (Sb), Υδραργύρου (Hg), Νικελίου (Ni), Μολύβδου (Pb), Καδμίου (Cd) σε νερό
- < 5 g Μολύβδου (Pb), Καδμίου (Cd), Χαλκού (Cu), Ψευδαργύρου (Zn), Αρσενικού (As), Νικελίου (Ni) σε αέρια (Institute of electric power research, 2007)

Η διαδικασία της ανακύκλωσης είναι επιβλαβής, ιδιαίτερα για άτομα τα οποία δουλεύουν στο εργαστήριο της ανακύκλωσης επειδή, για παράδειγμα ο υδράργυρος μπορεί εύκολα να απορροφηθεί από το δέρμα, το οποίο στη συνέχεια δημιουργεί διάφορες τοξικές παθήσεις. Γενικότερα η ανακύκλωση μπορεί να αποτελέσει μια αρκετά επικίνδυνη διαδικασία τόσο για τους ανθρώπους όσο και για το περιβάλλον, εάν δεν εφαρμόζονται σωστά οι κατάλληλες στρατηγικές.

4.5 Τρέχουσες εξελίξεις

Η υπερθέρμανση του πλανήτη θεωρείται συχνά ως η πιο σοβαρή απειλή για τον τρόπο ζωής μας και σε κάποιο βαθμό για την ίδια τη ζωή. Η ρύπανση είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει σε αυτό το καταστροφικό φαινόμενο, όπου ο κύριος παράγοντας υποκίνησης είναι τα αέρια του θερμοκηπίου. Ενθυλακωμένος μέσα στον μάλλον γενικό όρο των αερίων του θερμοκηπίου βρίσκεται το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο είναι ο κύριος ένοχος της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η συνειδητοποίηση αυτής της τάσης έφερε φόβο στους πολίτες και ώθησε τα ιδρύματα να δράσουν κατά της εξάπλωσης του.

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του διοξειδίου του άνθρακα, τόσο στους καταναλωτές όσο και στους θεσμικούς φορείς, ανάγκασε πολλές βιομηχανίες να βρίσκονται σε κατάσταση αναταραχής. Εμφανές, είναι επίσης το γεγονός ότι αυτή η πίεση δεν εμφανίζει σημάδια εξάντλησης αλλά μάλλον το αντίθετο, καθώς αυξάνεται η πίεση σύμφωνα με την αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση. Αναμφισβήτητα, αυτή η πίεση είναι εμφανής στον αυξανόμενο αριθμό ατόμων, οργανώσεων, πολιτικών, κυβερνήσεων και εθνών που αυξάνουν όλο και περισσότερο αυτές τις ανησυχίες.

Στην πραγματικότητα, αυτό είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο στην αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία αντιστοιχεί αναλογικά σε σημαντικό μέρος των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η αρνητική συμβολή στην επιτάχυνση της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε συνδυασμό με την αύξηση της ευαισθητοποίησης των ενδιαφερομένων μερών οδήγησε σε μια ολοένα και πιο έγκυρη πίεση για αλλαγή.

Η αυτοκινητοβιομηχανία, όχι μόνο αντιμετωπίζει αυτήν την αύξηση της περιβαλλοντικής πίεσης, αλλά επιπλέον απαιτήσεις για μείωση της εξάρτησης των μη ανανεώσιμων καυσίμων. Αξίζει να σημειωθεί, η αυξανόμενη εξάρτηση από το πετρέλαιο που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια. Ως εκ τούτου, αυτή η εξάρτηση επηρεάζει αρνητικά τις οικονομίες των εθνών, μέσω της φαινομενικής έλλειψης συνέργειας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης του πετρελαίου. Κατά συνέπεια, επιβάλλεται πρόσθετη πίεση στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, καθώς πρέπει να μειώσει την εξάρτηση της από τους μη ανανεώσιμους πόρους και τη συμβολή τους στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Ένα αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων ήταν μια ασυνέχεια, η οποία μετέτρεψε τη βιομηχανία από μια κατάσταση σύγκλισης σε μια εποχή ζύμωσης. Καθώς ο κλάδος τέθηκε σε κατάσταση αναταραχής, εμφανίστηκαν εναλλακτικές τεχνολογίες και κέρδισαν επιπλέον προσοχή. Ως εκ τούτου, οι εναλλακτικές τεχνολογίες αναπτύχθηκαν μέσω των κινητήρων εσωτερικής καύσης, και έτσι άλλαξαν το πεδίο του ανταγωνισμού εντός του κλάδου. Πράγματι, πριν από αυτά τα νέα μοντέλα, οι επενδύσεις σε εναλλακτικές τεχνολογίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν δευτερεύουσες, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης τοποθετήθηκε στη βελτίωση της απόδοσης

του προϊόντος και της διαδικασίας του παγιωμένου κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Διαφορετικές τεχνολογικές πορείες εμφανίστηκαν έτσι για να ανταγωνιστούν κυρίως τους κινητήρες εσωτερικής καύσης. Αυτές οι νέες, επονομαζόμενες, φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές «μάχονται» επί του παρόντος για την προσοχή και την υποστήριξη μεταξύ των εμπλεκόμενων ενδιαφερομένων, καθώς ο βαθμός κατανόησης και υποστήριξης ποικίλλει μεταξύ των διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων.

Ένα κρίσιμο ζήτημα είναι λοιπόν να προσδιοριστεί ποια τεχνολογία έχει τη μεγαλύτερη δυνατότητα να προσελκύσει το μεγαλύτερο μέρος της βιομηχανικής υποστήριξης. Η τεχνολογία που λαμβάνει το μέγιστο ποσό υποστήριξης θα εμφανιστεί ως ο κυρίαρχος σχεδιασμός, και έτσι σταδιακά θα συγκεντρώσει όλες τις άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η αυτοκινητοβιομηχανία βρίσκεται σε προφανή κατάσταση αναταραχής, όπου οι διαφορετικές φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις ανταγωνίζονται μεταξύ τους, προκύπτει η προφανής ανάγκη διεξαγωγής μιας κυρίαρχης αξιολόγησης σχεδιασμού.

Η ιδιαιτερότητα αυτού του μοντέλου έγκειται στο γεγονός ότι οι αναδυόμενες φιλικές προς το περιβάλλον πτυχές, δεν αντιμετωπίζουν μόνο περιορισμούς όσον αφορά την τεχνολογία που προωθεί το αυτοκίνητο, αλλά και το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται. Ως εκ τούτου, πρέπει να διενεργηθεί αξιολόγηση των συνολικών περιορισμών που κληρονομούνται σε κάθε «πράσινη εναλλακτική», όσον αφορά τόσο τις τεχνολογίες καυσίμου όσο και τον κινητήρα. Ως αποτέλεσμα, επιβάλλεται μια αξιολόγηση των περιορισμών που αναστέλλουν τα διαφορετικά μοντέλα υβριδισμού για την επίτευξη ενός κυρίαρχου σχεδιασμού.

4.6 Τρέχουσες διεθνείς στρατηγικές

Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι κυβερνήσεις και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής θέτουν νομικά δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να μεταβούν σε πιο φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα (Jansson et al., 2017; Morton et al., 2016). Ορισμένες χώρες όπως η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία και η Γαλλία σχεδιάζουν ακόμη και σχέδια για την απαγόρευση της πώλησης νέων αυτοκινήτων ντίζελ ή βενζίνης έως το 2040 (Sylvers & Stoll, 2017). Καθώς αναπτύσσεται περαιτέρω η ατζέντα, τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικών οχημάτων με βύσμα (PEVs) και των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEV), μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην πορεία προς την απαλλαγή από τον άνθρακα στον τομέα των μεταφορών, καθώς διαθέτουν τεχνολογία που μπορεί να μειώσει τα αέρια του θερμοκηπίου και τη ρύπανση (Brand et al., 2017). Ωστόσο, η πρόσληψη ήταν χαμηλότερη από ό, τι είχε προγραμματιστεί, γεγονός που μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στη μετάβαση σε μια οικονομία με χαμηλότερα επίπεδα άνθρακα (Adnan et al., 2017). Οι υψηλές αρχικές τιμές αγοράς (Carley et al., 2016), η μειωμένη απόσταση οδήγησης ή οι αποστάσεις (Axsen et al., 2015) και άλλοι παράγοντες, σημαίνουν ότι πολλοί

καταναλωτές αποφεύγουν να υιοθετήσουν αυτήν τη νέα τεχνολογία. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι κατασκευαστές καταβάλλουν προσπάθειες, για να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση καθαρών φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων μέσω κινήτρων πολιτικής, επικοινωνιών μάρκετινγκ ανάπτυξης νέων προϊόντων και επιδοτήσεων (Bakar & Hasan-Basri, 2017).

Η ευρύτερη βιβλιογραφία σχετικά με την αειφορία, την τεχνολογία και την καινοτομία έδειξε πώς οι κοινωνικο-τεχνικές μεταβάσεις, όπως η μετάβαση από τα βαγόνια στο αυτοκίνητο, περιλάμβαναν ένα σύνολο διαδικασιών και αλλαγών κοινωνικών προτύπων. Αυτές οι αλλαγές οφείλονται σε παράγοντες όπως η μάθηση, η δυναμική του κόστους, οι προσδοκίες και η αβεβαιότητα ή οι κίνδυνοι μιας μετάβασης προς την αειφορία (Markard et al., 2012). Ο χώρος μετάβασης της βιωσιμότητας προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για περαιτέρω έρευνα και εκτίμηση διαφορετικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των καταναλωτών (Falcone P., 2014). Στο πλαίσιο της μετάβασης της αειφορίας για τα HEV, η κατανόηση της ζήτησης για HEVs είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό πιο αποτελεσματικών πολιτικών υιοθέτησης (Sheldon et al., 2017). Αυτές οι προσπάθειες θα ενισχυθούν με καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων των καταναλωτών, συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων που ενδέχεται να αυξήσουν την αποδοχή (Barbarossa et al., 2015) και τους αντιληπτούς κινδύνους που ενδέχεται να περιορίσει την πρόσληψη (Hüttel et al., 2018). Για να αναλυθούν περαιτέρω όλα τα παραπάνω θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους και τους οδηγούς των αγορών υβριδικών αυτοκινήτων, ακολουθώντας μια διεπιστημονική προσέγγιση σχετικά με τη συμπεριφορά των καταναλωτών και τη θεωρία των πολιτισμικών διαστάσεων πέρα από τα γεωπολιτικά σύνορα.

Η αυξανόμενη βιβλιογραφία που μελετά φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έχει επικεντρωθεί κυρίως σε PEV, συμπεριλαμβανομένων υβριδικών plug-in που μπορούν να τροφοδοτηθούν με βενζίνη ή με ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και «καθάρα» ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν μόνο το ηλεκτρικό δίκτυο. Η εστίασή στα HEV, τα οποία είναι αυτοκίνητα με βενζίνη ή πετρέλαιο χρησιμοποιούν μπαταρία υψηλής ισχύος και ηλεκτρικό κινητήρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Σε αντίθεση με τα PEV που τροφοδοτούνται με συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας και βενζίνης ή αποκλειστικά από ηλεκτρισμό, τα HEV δεν απαιτούν σύνδεση σε ηλεκτρικό δίκτυο για ανεφοδιασμό. Ως εκ τούτου, τα HEV μπορεί να παρέχουν λύσεις σε πολλούς παράγοντες που λειτουργούν ως εμπόδια στην υιοθέτηση PEV, συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης δημόσιων σημείων ηλεκτρικής φόρτισης. Επομένως, τα HEV μπορεί να είναι πιο πρακτικά να υιοθετούνται από τα PEV (Wang et al., 2016). Τα PEV και τα HEV διαφέρουν σημαντικά από τα παραδοσιακά αυτοκίνητα λόγω των καινοτόμων τεχνολογικών χαρακτηριστικών και της καινοτομίας τους. Δεδομένου ότι είναι προϊόντα με υψηλά ποσοστά συμμετοχής, υπάρχουν σημαντικά επίπεδα οικονομικών, ψυχολογικών και άλλων κινδύνων που σχετίζονται με την αγορά φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων (Petschnig et al., 2014). Η καλύτερη κατανόηση και των δύο, των κινδύνων και των οδηγών που σχετίζονται με την αγορά

υβριδικών αυτοκινήτων, είναι ζωτικής σημασίας για την αύξηση της αγοράς ενός HEV. Ως εκ τούτου, η τρέχουσα μελέτη αντιμετωπίζει ένα σημαντικό κενό στη βιβλιογραφία και απαιτείται περισσότερη έρευνα για τα φιλικά προς το περιβάλλον αυτοκίνητα. Σημαντική σε αυτό, είναι η συνεισφορά των Oliver J. και Lee S. (2010).

Η εκτεταμένη έρευνα αγνοεί σε μεγάλο βαθμό τα τμηματοποιημένα, ετερογενή χαρακτηριστικά της αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Παρόλο που τα γούστα και οι προτιμήσεις των καταναλωτών για τη νέα τεχνολογία οχημάτων, η οποία μπορεί να προσφέρει συνδυασμό ιδιωτικών και κοινωνικών πλεονεκτημάτων ποικίλλουν, υπάρχει έλλειψη έρευνας που εστιάζει στην ποικιλομορφία των κινήτρων των καταναλωτών σχετικά με τα αυτοκίνητα εναλλακτικών καυσίμων. Κοινωνικά εμπόδια και πολιτιστικές αξίες, επηρεάζουν την υιοθέτηση της βιώσιμης αυτής λύσης των φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων.

Οι αντιλήψεις του κινδύνου διαφέρουν μεταξύ των πολιτισμών (Kartan et al., 2013). Ωστόσο, με εξαιρέσεις η πλειοψηφία της έρευνας των καταναλωτών σχετικά με την υβριδική υιοθέτηση των αυτοκινήτων έχει επικεντρωθεί σε καταναλωτές από χώρες όπως η Κίνα, η ΗΠΑ και η Ιαπωνία (Iwata & Matsumoto, 2016). Τα τελευταία χρόνια φαίνεται μία ανάλογη στάση και στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής ένωσης. Οι μελετητές έχουν διερευνήσει διαπολιτισμικούς αντιληπτούς κινδύνους σε διαφορετικούς τομείς αγορών, όπως τις διαδικτυακές αγορές (Park C. & Jun J., 2003). Οι κοινωνικοί παράγοντες και ο πολιτιστικός προσανατολισμός επηρεάζουν τις προθέσεις της αγοράς υβριδικών αυτοκινήτων στις ΗΠΑ και την Κορέα. Επομένως, υπάρχει ανάγκη για περισσότερη διαπολιτισμική έρευνα που διερευνά τους παράγοντες που επηρεάζουν τη βιώσιμη κατανάλωση και την υιοθέτηση των HEV (Spencer J. et al., 2015).

4.7 Υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα στην Ευρώπη

Παρά το έντονο ενδιαφέρον για τα εναλλακτικά συστήματα πρόωσης, τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν ένα χαμηλό μερίδιο κυκλοφορίας. Το 2017, η Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (ACEA) δήλωσε την άποψη ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση χρησιμοποιήθηκαν μόνο 0,6% υβριδικά αυτοκίνητα και το 0,2% ήταν υβριδικά plug-in (ACEA statistics, 2019). Η κατάσταση ήταν μεταβλητή, καθώς το 2016 οι Κάτω Χώρες έφτασαν σε συνολικό μερίδιο 3,0% για υβριδικά, plug-in και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αλλά για την Πολωνία, τη Ρουμανία, τη Σλοβακία και τη Σλοβενία, οι σχετικές μετρήσεις ήταν πολύ κοντά στο μηδέν. Την ίδια χρονιά, η ACEA αξιολόγησε ότι, η Νορβηγία είχε συνολικό μερίδιο 7,6% εναλλακτικών αυτοκινήτων (υβριδικά, plug-in και ηλεκτρικά).

Στο μέλλον αναμένεται αύξηση των εναλλακτικών αυτοκινήτων βάσει των σχετικών τάσεων της αγοράς, λαμβάνοντας υπόψη τα εμπόδια που περιορίζουν την ανάπτυξη. Το 2017, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αντιπροσώπευαν το 1,5% της αγοράς στην ΕΕ (+0,9 ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με το 2014) και τα υβριδικά αυτοκίνητα έφτασαν το 2,9% (+ 1,4 ποσοστιαίες μονάδες που

αναφέρονται στο 2014). Με τον ίδιο αυξανόμενο ρυθμό, η ACEA υπολόγισε ότι το μερίδιο αγοράς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα είναι 3,9% το 2025 και 5,4% το 2030. Τα σημαντικότερα εμπόδια θεωρούνται ότι είναι η υψηλότερη τιμή αγοράς των EV, η έλλειψη υποδομής επαναφόρτισης (με 76% των σημείων χρέωσης της ΕΕ που βρίσκονται σε 4 χώρες), καθώς και η έλλειψη των επενδύσεων και των κινήτρων, καθώς η εφαρμογή της οδηγίας για την υποδομή των εναλλακτικών καυσίμων παραμένει πολύ φτωχή στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του μεριδίου αγοράς των EV και του κατά κεφαλήν ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος. Η ACEA αξιολόγησε ότι τα υψηλότερα ποσοστά της πρώτης ποσότητας το 2018 (49,1% στη Νορβηγία, 8% στη Σουηδία, 6,7% στις Κάτω Χώρες, 4,7% στη Φινλανδία και 3,2% στην Ελβετία) αντιστοιχούν στα υψηλότερα ποσοστά (κατά κεφαλή) ΑΕΠ 73.200 €, 47.900 €, 44.600 €, 42.200 €, 74.300 €, αντίστοιχα. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις για την Ευρώπη επηρεάζονται από την αβεβαιότητα, κυρίως για την παροχή κινήτρων, όπως προαναφέρθηκε, και για τις εκπομπές CO₂. Εάν υπάρξουν ισχυρότερα νομικά μέτρα κατά των εκπομπών CO₂ έως το 2050 (40 g / km ή ακόμα πιο αυστηρά), η McKinsey (2014) εκτιμά ότι το 2030 η αγορά θα βασίζεται ήδη σε μπαταρίες, υβριδικά και κυψέλες καυσίμου, με μικρό μερίδιο (μεταξύ 15% και 30%) για οχήματα ICE. Με μικρή αλλαγή στους κανονισμούς, το μερίδιο των EV θα είναι περίπου 5% το 2030. Από την άλλη πλευρά, το Bloomberg πιστεύει ότι παγκοσμίως θα υπάρξει μεγαλύτερη αύξηση των πωλήσεων ηλεκτρικών ελαφρών οχημάτων, φτάνοντας το 11% το 2025, 28% το 2030 και το 55% το 2040. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητες πολιτικές για την ενθάρρυνση της τάσης, αλλά βραχυπρόθεσμα, η ιδιωτική κυκλοφορία θα βασίζεται σε συμβατικά οχήματα.

4.8 Άμεση και έμμεση μόλυνση του περιβάλλοντος από τα αυτοκίνητα

Η έρευνα των Zamboni G. et al. (2020) επικεντρώνεται στους ρύπους προς το περιβάλλον από τη χρήση των αυτοκινήτων. Στην πραγματικότητα εμβαθύνουν στην ανάλυση των ρύπων που προέρχονται από τα συμβατικά αυτοκίνητα με κινητήρες εσωτερικής καύσης και με αυτούς που προέρχονται από τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά. Αυτή η ανάλυσή τους διασπάζεται στην άμεση και στην έμμεση ρύπανση. Η άμεση προέρχεται από την απευθείας μόλυνση από τη χρήση ενός αυτοκινήτου ενώ η έμμεση από την πηγή του καυσίμου που αυτό χρησιμοποιεί. Δηλαδή για παράδειγμα, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δε μολύνουν άμεσα το περιβάλλον εφόσον δεν έχουν τα ίδια κάποιες εκπομπές προς αυτό. Όμως, χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για την κίνησή τους. Αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα δεν προέρχεται πάντα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και από άλλες πηγές (καύση ορυκτών καυσίμων).

Η χρήση υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων απαιτούσε μεγάλο αριθμό σοβαρών αλλαγών προκειμένου να αναπτυχθούν αξιόπιστα συστήματα πρόωσης, να διαχειριστεί την απαιτούμενη ενέργεια με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, να εκτιμηθούν τα πιθανά οφέλη με μια ρεαλιστική προσέγγιση, κλπ. Κατά την εξέταση των εκπομπών από ολόκληρο το δίκτυο όπου εφαρμόστηκε

η παραπάνω έρευνα, στο σενάριο αναφοράς τα αυτοκίνητα ήταν υπεύθυνα για το υψηλότερο μερίδιο CO₂ (αυτοκίνητα SI), NO_x και PM (αυτοκίνητα πετρελαίου). Αναφερόμενοι μόνο σε αυτοκίνητα, σε προσομοιωμένο σενάριο η υψηλότερη συνεισφορά για τις άμεσες εκπομπές CO, HC και CO₂ από τις εκπομπές CO, HC και CO₂ προήλθαν από αυτοκίνητα SI και τα αυτοκίνητα πετρελαίου τα οποία εκπέμπουν τα υψηλότερα επίπεδα NO_x και PM. Το πλήρες υβριδικό φτάνει το μερίδιο 6% μόνο για CO και HC. Οι έμμεσες εκπομπές που προκαλούνται από την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για την επαναφόρτιση υβριδικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων παρουσίασαν πολύ χαμηλή συμβολή σε σύγκριση με τις άμεσες. Το υψηλότερο μερίδιο (4,6%) εκτιμήθηκε για το CO₂. Αναφερόμενοι πάντα σε αυτοκίνητα, σημαντικές μειώσεις εκτιμήθηκαν για τους χημικούς ρύπους, που κυμαίνονται από 23% για PM έως 62% για HC, με ενδιάμεσα επίπεδα για NO_x (27%) και CO (57%). Δεν υπολογίστηκε καμία διακύμανση για το CO₂, εν μέρει λόγω της αύξησης της συνολικής χιλιομετρικής οδήγησης που σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των νέων αυτοκινήτων σε σύγκριση με τα παλαιότερα. Κατά την εξέταση ολόκληρου του οχήματος, τα περιβαλλοντικά οφέλη ήταν φυσικά χαμηλότερα, φθάνοντας τις υψηλότερες μειώσεις για CO και NO_x (περίπου 10%). Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στην ισορροπία μεταξύ της μεγάλης συμβολής των αυτοκινήτων SI και των αυτοκινήτων πετρελαίου, αντίστοιχα, στους δύο ρύπους στο σενάριο αναφοράς και στις υπολογισμένες διακυμάνσεις στο προσομοιωμένο σενάριο. Επιπλέον, δεν εκτιμήθηκαν πλεονεκτήματα για τις εκπομπές CO₂. Από την άλλη πλευρά, τα ακόλουθα αποτελέσματα μπορούν να ληφθούν υπόψη για γενικότερη εφαρμογή. Σχετικά με τις προηγμένες τεχνολογίες για επιβατικά αυτοκίνητα, τα ηλεκτρικά παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές των παραγόντων εκπομπής. Τα υψηλότερα επίπεδα συνδέονταν με τα συμβατικά αυτοκίνητα. Η κατανάλωση ενέργειας των ηλεκτρικών πρέπει να χαρακτηρίζεται καλύτερα, λαμβάνοντας υπόψη τις εποχιακές επιδράσεις και τη χρήση των βοηθητικών συστημάτων. Υπάρχει ανάγκη να εκτιμηθεί καλύτερα η επίδραση των συνθηκών οδήγησης σε αυτήν την παράμετρο. Η μείωση της χημικής ρύπανσης κατά την εξέταση των εναλλακτικών οχημάτων εξαρτάται από τους συντελεστές εκπομπών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των έμμεσων εκπομπών για τα διαφορετικά καύσιμα / πρωτογενείς πηγές. Αυτό απαιτεί εκτεταμένη επικύρωση των εξεταζόμενων επιπέδων, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις προβλέψεις για τους υπολογισμούς που αναφέρονται στο μακροπρόθεσμο μέλλον. Λαμβάνοντας υπόψη το εθνικό ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που αναφέρεται σε ευρωπαϊκές το ίδιο συμπέρασμα ισχύει πιθανώς για τη Γερμανία, αλλά μπορεί να αναμένεται απόκλιση για την Πολωνία, η οποία βασίζεται στον άνθρακα. Μόνο στη Γαλλία μπορεί να αναμένεται σημαντικό όφελος, επειδή εξαρτάται από την πυρηνική ενέργεια. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει ότι απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, όχι μόνο για την προώθηση των εναλλακτικών οχημάτων, αλλά και για σημαντικές αλλαγές στο ενεργειακό παραγωγικό μείγμα σε εθνικό επίπεδο. Μια άλλη επιλογή μπορεί να είναι η εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ. Προφανώς, αυτή η λύση παρουσιάζει σημαντικές οικονομικές κυρώσεις,

προσθέτοντας επιπλέον κόστος στον προϋπολογισμό που απαιτείται για την αγορά ηλεκτρικών ή υβριδικών οχημάτων.

4.9 Ανεπιθύμητοι κίνδυνοι και φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα

Τα HEV είναι καινοτόμα, νέα προϊόντα ευρείας συμμετοχής που χρησιμοποιούν τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία (Cherubini S. et al., 2015). Η διαδικασία υιοθέτησης ή αγοράς νέων προϊόντων περιλαμβάνει τον αντιληπτό κίνδυνο που σχετίζεται με τις «υποκειμενικές προσδοκίες απώλειας» (Stone & Grønhauug, 1993) και τα στοιχεία της αβεβαιότητας. Καθώς αυξάνεται ο αντιληπτός κίνδυνος που σχετίζεται με την υιοθέτηση τέτοιων προϊόντων, τα κίνητρα των καταναλωτών να αγοράζουν ή να χρησιμοποιούν τέτοια προϊόντα μειώνονται. Επομένως, οι αντιληπτοί κίνδυνοι έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στις αποφάσεις της υιοθέτησης σε ευρεία συμμετοχή, για καινοτομίες φιλικές προς το περιβάλλον, όπως τα υβριδικά αυτοκίνητα. Ως εκ τούτου, απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

Από τη σκοπιά της συμπεριφοράς των καταναλωτών, ο αντιληπτός κίνδυνος που σχετίζεται με τα νέα προϊόντα είναι μια πολυδιάστατη έννοια που αποτελείται από: οικονομικές, κοινωνικές, χρονικές, ψυχολογικές επιδόσεις και σωματικούς κινδύνους. Ο φυσικός κίνδυνος σχετίζεται με ανησυχίες για την υγεία που έχουν αποδειχθεί ότι δεν είναι σημαντικές σχετικά με τη μελέτη για την υιοθέτηση εναλλακτικών οχημάτων καυσίμων των Petschnig M. et al., (2014).

Καθώς οι προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι τα υψηλά επίπεδα απόδοσης μπορούν να οδηγήσουν στην αποδοχή φιλικών προς το περιβάλλον οχημάτων (Sang Y. & Bekhet H., 2015), η απόδοση συμπεριλαμβάνεται ως οδηγός παρά ως κίνδυνος. Επιπλέον θα πρέπει να προστεθεί ο κίνδυνος του εξωτερικού δικτύου, ο οποίος σχετίζεται ιδιαίτερα με τα καινοτόμα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας, όπως τα υβριδικά αυτοκίνητα, όπου τα εξωτερικά δίκτυα μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την πρόθεση αγοράς. Κάθε διάσταση αυτού, αναφέρεται λεπτομερώς στις παραγράφους που ακολουθούν.

Ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος σχετίζεται με τα πιθανά αρνητικά χρηματοοικονομικά αποτελέσματα τα οποία μπορεί να προέρχονται από την υιοθέτηση νέων προϊόντων. Παρόλο που οι ιδιοκτήτες υβριδικών αυτοκινήτων (κυρίως plug-in οχημάτων) μπορεί να κερδίσουν οικονομικά οφέλη σχετικά με την πολιτική και το χαμηλότερο κόστος καυσίμου, αντιμετωπίζουν υψηλές τιμές αγοράς (δηλαδή ακριβή αρχική αγορά) και υψηλό κόστος συντήρησης για τις μπαταρίες (Soon W. et al., 2013), που ενδέχεται να εμποδίσουν τελικά την αγορά. Από ότι είναι γνωστό, ο ρόλος που μπορεί να διαδραματίσει ο χρηματοοικονομικός κίνδυνος στον επηρεασμό των αγοραστικών προθέσεων για τα φιλικά προς το περιβάλλον αυτοκίνητα, δεν έχει διερευνηθεί.

Ο κοινωνικός κίνδυνος αναφέρεται στις αρνητικές συνέπειες που σχετίζονται με δυσμενείς απόψεις σημαντικών άλλων ανθρώπων λόγω της αγοράς και της χρήσης ενός προϊόντος. Έτσι, αυτός ο τύπος κινδύνου, που σχετίζεται με συμβολικά και συναισθήματα, είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για κοινωνικά προϊόντα όπως τα αυτοκίνητα. Η κοινωνική κατάσταση, η ικανότητα

να εκφραστεί κάποιος και τι πιστεύουν οι άλλοι για αυτόν, επηρεάζει σημαντικά τη στάση των καταναλωτών έναντι των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Τα αποτελέσματα μιας μελέτης προσδιόρισαν ένα μικρό τμήμα καταναλωτών που είναι επιφυλακτικοί στην εικόνα και δεν θα ήθελαν ποτέ να οδηγούν ένα PEV ή να συσχετίζονται με τον τύπο των ατόμων που χρησιμοποιούν PEV (Anable J. et al., 2016). Οι κοινωνικές αξίες και οι κανόνες που συνοδεύουν τις απόψεις των ομάδων αναφοράς επηρέασαν σημαντικά τις προθέσεις αγοράς ηλεκτρικών ή υβριδικών αυτοκινήτων τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Κορέα.

Ο ψυχολογικός κίνδυνος μπορεί να οριστεί ως το άγχος ή τα άβολα συναισθήματα που προκύπτουν λόγω ανησυχίας και έντασης και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την αγορά των HEV (Wang S. et al., 2013). Αν και προηγούμενες μελέτες έχουν ήδη διερευνήσει τα ηδονικά χαρακτηριστικά (δηλαδή θετικά συναισθήματα) που σχετίζονται με την οδήγηση υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (Schuitema et al., 2013), η αρνητική επίδραση των συναισθημάτων των καταναλωτών στην υβριδική ή ηλεκτρική χρήση ενός οχήματος δεν έχουν διερευνηθεί πλήρως. Καθώς τα συναισθήματα μπορούν να αποτελέσουν ισχυρό καθοριστικό παράγοντα της συμπεριφοράς των καταναλωτών, ο ψυχολογικός κίνδυνος είναι πιθανό να επηρεάσει την υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων.

Ο κίνδυνος του χρόνου σχετίζεται με την αντίληψη ότι η αγορά και η χρήση ενός καινοτόμου προϊόντος θα πάρει πολύ χρόνο (Forsythe S. et al., 2006), επομένως θα είναι αντιληπτό το χάσιμο χρόνου και μπορεί να σχετίζεται άμεσα με την απώλεια του χρόνου. Η αγορά ενός αυτοκινήτου είναι πιθανό να απαιτήσει από τους καταναλωτές να αφιερώσουν αρκετό χρόνο για να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά και την απόδοση του προϊόντος. Η γνώση και η εμπειρία των φιλικών προς το περιβάλλον αυτοκινήτων έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζουν θετικά την πιθανή αγορά, αλλά χρειάζονται χρόνο για να αναπτυχθούν. Η ικανότητα διόρθωσης ή επισκευής στοιχειωδών προβλημάτων που ενδέχεται να προκύψουν και η γνώση του τρόπου λειτουργίας του αυτοκινήτου σε μηχανικό επίπεδο μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις υιοθέτησης (Pierre M. et al., 2011) και να χρειαστεί χρόνος για να αναπτυχθεί. Επομένως, ο κίνδυνος χρόνου μπορεί να σχετίζεται με την αγορά και τη λειτουργία ενός υβριδικού οχήματος.

Ο κίνδυνος του εξωτερικού δικτύου περιλαμβάνει αξιολογήσεις των καταναλωτών σχετικά με το βαθμό στον οποίο άλλοι στο δίκτυό τους, αγοράζουν ένα νέο προϊόν (Hirunyanirada T. & Paswan H., 2006). Οι εξωτερικές δυνατότητες του δικτύου επηρεάζουν τη χρήση της τεχνολογίας από τους καταναλωτές. Σύμφωνα με τη θεωρία της διάχυσης των καινοτομιών, οι αποφάσεις των περισσότερων καταναλωτών για την αγορά νέων προϊόντων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις νέες αποφάσεις αγοράς των άλλων καταναλωτών. Ωστόσο, πολλά τμήματα της αγοράς είναι απίθανο να υιοθετήσουν μια νέα φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία οχημάτων έως ότου επιτευχθεί ένας κρίσιμος αριθμός καταναλωτών στην αγορά. Έτσι, ως πρώτοι αγοραστές καινοτόμων νέων προϊόντων, οι αγοραστές υβριδικών αυτοκινήτων ενδέχεται να αντιμετωπίσουν αντιληπτούς κινδύνους που σχετίζονται με τις εξωτερικές δυνατότητες του δικτύου.

4.10 Οδηγοί για την υιοθέτηση υβριδικών οχημάτων

Η τρέχουσα διαθέσιμη έρευνα αναφέρεται σε μια σειρά παραγόντων που οδηγούν σε οικολογικά καινοτόμες αποφάσεις αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών αυτοκινήτων. Οι οδηγοί των οικολογικών και καινοτόμων αγορών μπορούν γενικά να χωριστούν, στα αντιληπτά χαρακτηριστικά των προϊόντων και τα χαρακτηριστικά των καταναλωτών. Ενώ, οι αντιλήψεις των καταναλωτών για τις οικολογικές καινοτομίες προέρχονται από διαφορετικούς παράγοντες όπως η ελκυστικότητα των προϊόντων, το πλεονέκτημα των προϊόντων, η υπεροχή των προϊόντων και τα χαρακτηριστικά των καταναλωτών αποτελούνται από άλλες διαστάσεις, όπως η εικόνα του ατόμου, οι πολιτιστικές διαστάσεις και τα κοινωνικο-δημογραφικά χαρακτηριστικά.

4.10.1 Η αντίληψη των καταναλωτών για τα χαρακτηριστικά του προϊόντος

Η ελκυστικότητα των προϊόντων αναφέρεται σε μια συνολική αξιολόγηση ενός νέου προϊόντος, ανεξάρτητα από τη μάρκα. Προηγούμενη έρευνα δείχνει ότι η συνολική εκτίμηση των καταναλωτών για τα υβριδικά αυτοκίνητα εξαρτάται από την εκπλήρωση του κοινωνικού τμήματος (π.χ. περήφανοι για το όχημα), λειτουργικού (π.χ. καλή απόσταση σε χιλιόμετρα), οικονομικού (π.χ. εξοικονόμηση χρημάτων μακροπρόθεσμα) και της ευχαρίστησης γενικότερα (π.χ. να αντιλαμβάνεσαι το όχημα ως συναρπαστικό) (Hur W. et al., 2013). Η διαπροσωπική επιρροή στις αποφάσεις αγοράς πρέπει να εξεταστεί καθώς οι καταναλωτές δείχνουν ισχυρότερη προτίμηση για τα υβριδικά αυτοκίνητα εάν πιστεύουν ότι μια τέτοια αγορά υποστηρίζεται από σχετικούς άλλους ανθρώπους. Τα αισθητικά χαρακτηριστικά των υβριδικών αυτοκινήτων επηρεάζουν την ελκυστικότητα των προϊόντων, επειδή οι αγορές αυτοκινήτων συχνά συνδέονται με την κοινωνική κατάσταση ενός αγοραστή. Άλλοι παράγοντες ελκυστικότητας των προϊόντων που επηρεάζουν την αγορά των υβριδικών αυτοκινήτων από τους καταναλωτές περιλαμβάνουν: την ευκολία (Al-Alawi & Bradley T., 2013), οικονομικά οφέλη όπως μειώσεις φόρων και απαλλαγές και κίνητρα όπως δωρεάν χώρο στάθμευσης (Hackbarth A. & Madlener R., 2013). Αυτά τα κίνητρα προωθούν την αγορά μόνο εάν οι καταναλωτές δεν έχουν αντιλήψεις χαμηλής ποιότητας για τα υβριδικά αυτοκίνητα. Η συγκεκριμένη συνθήκη υπογραμμίζει τη σημασία μιας λεπτομερούς συνολικής αξιολόγησης της ελκυστικότητας των προϊόντων. Το πλεονέκτημα ενός προϊόντος περιγράφει μια σύγκριση με εναλλακτικές λύσεις προϊόντων και βοηθά στον εντοπισμό του γιατί οι καταναλωτές προτιμούν ένα νέο προϊόν από τις υπάρχουσες εναλλακτικές λύσεις. Τα υβριδικά αυτοκίνητα προσφέρουν πολλά χαρακτηριστικά, τα οποία οι καταναλωτές μπορεί να θεωρήσουν πλεονεκτικά σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Για παράδειγμα, αποτελούν φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική, καθώς έχουν και αυξημένη ενεργειακή απόδοση γενικότερα. Επιπλέον, υπάρχει ελαχιστοποίηση του κόστους μακροπρόθεσμα μέσω του μειωμένου κόστους καυσίμου και πολλά στοιχεία βελτιωμένης οδηγικής εμπειρίας, όπως λιγότερος

θόρυβος, μεγαλύτερη οδηγική άνεση και καλύτερος. Ωστόσο, δεδομένης της τεχνολογικά προηγμένης φύσης των υβριδικών, οι αποφάσεις αγοράς τους συχνά βασίζονται σε αγοραστές που έχουν μια βασική κατανόηση της τεχνολογίας και των πλεονεκτημάτων της.

Η υπεροχή των προϊόντων σχετίζεται με την καινοτομία ενός νέου προϊόντος, που αντιπροσωπεύεται από τα χαρακτηριστικά των προϊόντων, τα οποία οι καταναλωτές θεωρούν πραγματικά αληθινά. Είναι σημαντικό, οι καταναλωτές να αναγνωρίζουν καινοτόμα χαρακτηριστικά για την πραγματοποίηση της αγοράς ενός υβριδικού αυτοκινήτου. Αυτά μπορεί να είναι νέα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, όπως η φόρτιση στο σπίτι (Graham-Rowe E. et al., 2012) ή η εστίαση στην ηλεκτρική ενέργεια και όχι στη βενζίνη, με αποτέλεσμα τη μειωμένη εξάρτηση από το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, καθώς και την αύξηση των τιμών των καυσίμων. Αυτό επιτρέπει στους ιδιοκτήτες υβριδικών αυτοκινήτων να θεωρούν τον εαυτό τους όχι μόνο οικολόγο αλλά και ως τεχνολογικά πρωτοπόρο.

4.10.2 Χαρακτηριστικά των καταναλωτών

Η υπάρχουσα έρευνα αναγνωρίζει τη σημασία της εικόνας του ατόμου σε διάφορες μορφές κατανάλωσης με εμπλεκόμενο το περιβάλλον (Webb T. et al., 2014). Σύμφωνα με τη θεωρία της αυτό-εικόνας που έχει κάποιος για τον εαυτό του (Sirgy J. M., 1986), οι καταναλωτές τείνουν να αγοράζουν προϊόντα με μια εικόνα συνεπή με την αυτο-εικόνα τους. Κατά συνέπεια, εάν ένα άτομο αντιληφθεί τον εαυτό του ως υπεύθυνο για το περιβάλλον, είναι πιο πιθανό να αγοράσει ένα φιλικό προς το περιβάλλον προϊόν. Η αυτο-εικόνα ενός ατόμου μπορεί να προκαλέσει στροφή προς μια φιλική λύση προς το περιβάλλον σε μια σειρά καταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων και των αγορών των υβριδικών αυτοκινήτων. Επιπλέον, αυτοί αποτελούν τα άτομα που τείνουν να ενδιαφέρονται για το περιβάλλον και να εκφράζουν την εικόνα τους μέσω της αγοράς υβριδικών αυτοκινήτων. Η διαπολιτισμική έρευνα έδειξε ότι είναι πιθανό, οι καταναλωτές να αγοράζουν υβριδικά αυτοκίνητα εάν αυτό έχει θετική επίδραση στην εικόνα τους (Oliver J. & Lee S., 2010).

Οι πολιτιστικές διαστάσεις επηρεάζουν τις φιλικές προς το περιβάλλον αγορές, όπως των υβριδικών αυτοκινήτων. Ο Hofstede G. (2001) περιγράφει πέντε διαστάσεις στις οποίες οι πολιτισμοί διαφέρουν. Ο δείκτης απόστασης ισχύος (PDI) αντικατοπτρίζει σε ποιο βαθμό, τα λιγότερο ισχυρά άτομα συμφωνούν για μια άνιση κατανομή ισχύος στην κοινωνία τους. Ο ατομικισμός έναντι του κολεκτιβισμού (IDV) εξετάζει εάν τα άτομα ορίζουν κυρίως τον εαυτό τους ως «εγώ» σε αντίθεση με το «εμείς». Η αποφυγή της αβεβαιότητας (UA) περιγράφει σε ποιο βαθμό τα μέλη μιας κοινωνίας ανέχονται την αβεβαιότητα και την ασάφεια και, ως εκ τούτου, είναι σκεπτικοί σχετικά με τις νέες πεποιθήσεις και συμπεριφορές. Τέλος, ο μακροπρόθεσμος έναντι του βραχυπρόθεσμου κανονιστικού προσανατολισμού (LTO) αντιπροσωπεύει την εστίαση μιας κουλτούρας σε μελλοντικές ανταμοιβές σε αντίθεση με τα οφέλη του παρελθόντος και του παρόντος. Οι πολιτιστικές διαστάσεις μπορεί να επηρεάσουν τις αγορές των υβριδικών αυτοκινήτων,

καθώς επηρεάζουν την αποδοχή των χαρακτηριστικών του προϊόντος από τους καταναλωτές.

Τέλος, μια εκτεταμένη έρευνα έχει δείξει την επίδραση των κοινωνικο-δημογραφικών χαρακτηριστικών στην επιλογή των φιλικών προς το περιβάλλον επιλογών, αν και η επεξηγηματική τους ισχύς φαίνεται χαμηλή (Diamantopoulos A. et al., 2003). Στο πλαίσιο των αγορών των υβριδικών αυτοκινήτων, έχει αποδειχθεί ότι οι αγοραστές τείνουν να είναι αρκετά νέοι, έχουν υψηλότερο και υψηλότερο εκπαιδευτικό επίπεδο σε σύγκριση με τους μη αγοραστές.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία, χρειάζεται να αναφερθούν και να εξεταστούν εν συντομία όλοι οι στόχοι που βοήθησαν στη διεξαγωγή της έρευνας και οι οποίοι επέτρεψαν τη διατύπωση της απάντησης στο ερευνητικό πρόβλημα.

Ο πρώτος τομέας της έρευνας αφιερώθηκε στον προσδιορισμό των τεχνολογικών απαιτήσεων που επιτρέπουν σε μια τεχνολογία να καταστεί βιώσιμη, από θεωρητική άποψη. Από αυτή την άποψη, ήταν πρώτα απαραίτητο να προσδιοριστεί η εξέλιξη και ο ανταγωνιστικός χαρακτήρας των αναδυόμενων τεχνολογιών προκειμένου να κατανοήσουμε τα κίνητρα που θα μπορούσαν να αναγκάσουν μια βιομηχανία να εισαγάγει μια νέα τεχνολογία στην αγορά.

Στην πραγματικότητα, οι εσωτερικές δραστηριότητες και δυνατότητες εντός μεμονωμένων εταιρειών, καθώς και ιστορικές ανάγκες, οδηγούν παραδοσιακά σε μια τεχνολογική μετατόπιση μέσα σε μια βιομηχανία. Ακριβέστερα, η εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να οριστεί ως μια αθροιστική διαδικασία, η οποία τελικά συνοδεύεται από μια σημαντική πρόοδο που θα μπορούσε είτε να συνίσταται σε μια τεχνολογική ανακάλυψη, είτε να προκύπτει από ένα νέο σύνολο κανόνων που υπαγορεύονται από ρυθμιστικούς φορείς ή ιστορική αναγκαιότητα. Κατά συνέπεια, σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, μια βιομηχανία μπορεί να ωθηθεί σε μια κατάσταση αναταραχής, που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση πολλών τροχιών που όλοι ανταγωνίζονται για να γίνουν το νέο «πρότυπο». Το κύριο πρόβλημα των επιχειρήσεων είναι επομένως να εντοπίσουν, μεταξύ διαφορετικών τροχιών, την εναλλακτική λύση που προσφέρει τις καλύτερες δυνατότητες για να κερδίσει την τεχνολογική μάχη και να καθιερωθεί ως η μόνη σχετική λύση.

Η θεωρητική επισκόπηση υπογράμμισε σαφώς τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες όταν προσπαθούν να εντοπίσουν την πιο σχετική πορεία, η οποία συχνά οδηγεί σε υψηλό βαθμό αδράνειας. Ωστόσο, μια τεχνολογική μάχη τελειώνει με την επιλογή ενός κυρίαρχου σχεδιασμού που υποστηρίζουν σταθερά όλοι οι ενδιαφερόμενοι. Κατά συνέπεια, ο κυρίαρχος σχεδιασμός θα γίνει το νέο πρότυπο της βιομηχανίας, και ως εκ τούτου, θα

δείξει μια ισχυρή δυνατότητα να εξελιχθεί σε μια βιώσιμη εναλλακτική λύση. Ως εκ τούτου, υπάρχει ένας ισχυρός συσχετισμός μεταξύ του «κυρίαρχου σχεδιασμού» και της «βιωσιμότητας». Επομένως, πρέπει να συμπεράνουμε ότι οι τεχνολογικές απαιτήσεις για να γίνουν βιώσιμες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις απαιτήσεις για να γίνουν κυρίαρχες. Μια σημαντική συμβολή αυτής της εργασίας ήταν ο σαφής προσδιορισμός των κύριων περιορισμών που αναστέλλουν τον κυρίαρχο σχεδιασμό. Έχει αναγνωριστεί ότι οι επιδράσεις στο δίκτυο, η θεσμική υποστήριξη καθώς και η ζήτηση και οι τεχνολογικοί περιορισμοί διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη δυνατότητα μιας συγκεκριμένης πορείας να αποκτήσει δεσπόζουσα θέση.

Η περιγραφή της εξέλιξης και του ανταγωνιστικού χαρακτήρα των αναδυόμενων τεχνολογιών επέτρεψε να κατανοηθεί καλύτερα το τρέχον δίλημμα που αντιμετωπίζει η αυτοκινητοβιομηχανία. Στην πραγματικότητα, η ανάγκη μείωσης των τοξικών εκπομπών, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η εξάρτηση από μη ανανεώσιμες δυνάμεις, αντιπροσωπεύει την ιστορική αναγκαιότητα που οδήγησε σε ένα στάδιο αναταραχής. Η αυτοκινητοβιομηχανία ανταποκρίθηκε με την ανάπτυξη αρκετών εναλλακτικών λύσεων, συμπεριλαμβανομένης της υβριδικής τεχνολογίας, που επί του παρόντος ανταγωνίζεται για ισχύ και δυναμική προκειμένου να γίνει κυρίαρχη. Ως εκ τούτου, κατέστη προφανές ότι για να εκτιμηθεί το πραγματικό δυναμικό του HEV να γίνει βιώσιμη εναλλακτική λύση, ήταν πρώτα απαραίτητο να προσδιοριστεί το δυναμικό της υβριδικής τεχνολογίας να καταστεί κυρίαρχη.

Ωστόσο, η ανάλυση των περιορισμών που αναστέλλουν τον κυρίαρχο σχεδιασμό και ο προσδιορισμός της δυνατότητας του HEV να κερδίσει την τεχνολογική μάχη δεν θα παρείχε επαρκή στοιχεία. Για να είναι πραγματικά βιώσιμη, η υβριδική τεχνολογία έπρεπε να αποδείξει ότι μπορεί να ξεπεράσει όλες τις αναδυόμενες τροχιές στη μείωση των τοξικών εκπομπών και την εξάρτηση από μη ανανεώσιμους πόρους. Από αυτή την άποψη, χρειάζεται ιδιαίτερη επικέντρωση στην παροχή όλων των εμπειρικών αποδεικτικών στοιχείων που επέτρεψαν να προσδιοριστούν, όχι μόνο τα εμπόδια για τη φυσική εφαρμογή των αναδυόμενων τεχνολογιών, αλλά και ο βαθμός συμμόρφωσης μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών και των Όρων του Νέου Επιχειρηματικού Περιβάλλοντος.

Υπό σύγχρονες συνθήκες, είναι σαφές ότι η υβριδική τεχνολογία είναι η καλύτερη εναλλακτική λύση. Πράγματι, τα εμπόδια για την εφαρμογή πλήρως φιλικών προς το περιβάλλον οχημάτων κυψελών καυσίμου, ηλεκτρικών οχημάτων και ευέλικτων οχημάτων είναι αρκετά προς το παρόν, ειδικά όταν πρόκειται για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών για την ανάπτυξη μαζικής τροφοδοσίας «καθάρων» καυσίμων. Φαίνεται όμως ότι βρισκόμαστε σε παγκόσμιο επίπεδο κοντά σε αλλαγές όσον αφορά το συγκεκριμένο τομέα. Παρ' όλα αυτά, η εμπειρική αναθεώρηση επέτρεψε το συμπέρασμα ότι το σημαντικότερο μειονέκτημα της υβριδικής τεχνολογίας έγκειται στην αδυναμία της να εξαλείψει πλήρως τις τοξικές εκπομπές και συνεπώς θα παραμείνει πάντα εξαρτώμενη από το πετρέλαιο. Ως εκ τούτου, όσον αφορά τους Όρους του Επιχειρηματικού Περιβάλλοντος, η πραγματική δυνατότητα του HEV να αποτελέσει μια βιώσιμη εναλλακτική είναι σχετικά αβέβαιη.

Ως εκ τούτου, ο τρίτος τομέας της έρευνας ρίχνει περαιτέρω φως στην πιθανή βιωσιμότητα της υβριδικής τεχνολογίας. Συγκεντρώνοντας όλα τα εμπειρικά στοιχεία που συλλέχθηκαν, ήταν δυνατό να εκτιμηθούν σαφώς τα αποτελέσματα των περιορισμών που αναστέλλουν τον κυρίαρχο σχεδιασμό σε κάθε τροχιά.

Βάσει της προηγούμενης και της τρέχουσας εξέλιξης των αναδυόμενων τροχιών, η υβριδική τεχνολογία αποτελεί προς το παρόν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση. Στην πραγματικότητα, συνδυάζοντας τη δυνατότητα να γίνουν κυρίαρχες και εξαιρετικές περιβαλλοντικές επιδόσεις, το υβριδικό μοντέλο κατάφερε να κερδίσει τεράστιο βαθμό υποστήριξης από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη της βιομηχανίας. Επιπλέον, το HEV έχει ένα μοναδικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα που πιθανότατα θα είναι το κλειδί στην επιλογή του υβριδικού σχεδιασμού ως της τεχνολογίας που θα ωθεί για αρκετό καιρό τα αυτοκίνητα: υψηλό βαθμό ευελιξίας και προσαρμοστικότητας.

Ενώ, η εναλλακτική λύση HEV έχει επί του παρόντος τις καλύτερες δυνατότητες να κυριαρχήσει στο εγγύς έως μεσοπρόθεσμο, δείχνει επίσης τη δυνατότητα εξάλειψης εντελώς των τοξικών εκπομπών και της εξάρτησης από μη ανανεώσιμους πόρους με τη συγχώνευση της με ευέλικτα οχήματα. Στην πραγματικότητα, η υβριδική τεχνολογία είναι η μόνη εναλλακτική λύση που μπορεί να προσαρμοστεί στο περιβάλλον της καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με κάθε είδους μηχανή εσωτερικής καύσης. Τα ευέλικτα οχήματα, τα οποία δείχνουν δυνατότητες εξάλειψης των τοξικών εκπομπών και της εξάρτησης από μη ανανεώσιμους πόρους, είναι μια τεχνολογία που βασίζεται στον παγιωμένο κινητήρα. Ως εκ τούτου, ένα υβριδικό ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να εισαχθεί σε ένα ευέλικτο όχημα.

Επομένως, είναι προφανές ότι τα HEV και FV είναι εξαιρετικά συμπληρωματικά και προσφέρουν στην αυτοκινητοβιομηχανία μια πραγματικά βιώσιμη εναλλακτική λύση: ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα που έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει όλες τις άλλες αναδυόμενες τροχιές. Στην πραγματικότητα, ο λόγος για τον οποίο η υβριδική τεχνολογία μπορεί να ξεπεράσει τους ανταγωνιστές της, έγκειται στο ισχυρό δυναμικό της να προσαρμοστεί ώστε να ταιριάζει καλύτερα στις συνθήκες του επιχειρηματικού περιβάλλοντος.

Στον τομέα του περιβάλλοντος γενικότερα, υπάρχουν αρκετές ανησυχίες για το περιβάλλον καθώς και αυξανόμενα κόστη για τα ορυκτά καύσιμα. Όλα αυτά έχουν οδηγήσει τις κοινωνίες και κατά συνέπεια και τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν οικολογικά και πιο αποδοτικά αυτοκίνητα, τα οποία είναι είτε υβριδικά είτε ηλεκτρικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και των υπόλοιπων επιβλαβών ρύπων. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα είναι η πηγή της ενέργειας, δηλαδή οι μπαταρίες. Τα σπάνια στοιχεία της γης είναι περιορισμένα και ακριβά και επομένως οι ερευνητές προσπαθούν να αποκομίσουν όσα περισσότερα μπορούν από τα ήδη χρησιμοποιημένα υλικά. Δυστυχώς καμία από τις προτάσεις που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία δε χρησιμοποιείται σε βιομηχανική κλίμακα. Με βάση όμως την τεχνολογία που συνεχώς εξελίσσεται και τις συνεχείς μελέτες, φαίνεται ότι στο κοντινό μέλλον θα εφαρμοστούν αρκετές μεθοδολογίες σχετικά με την ανακύκλωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ACEA statistics (2019). Hybrid and electric passenger cars. <https://www.acea.be/statistics/article/share-of-alternatively-powered-vehicles-in-the-eu-fleet-per-segment>

Adnan, N., Nordin, S. M., Rahman, I., Vasant, P. M., & Noor, A. (2017). A comprehensive review on theoretical framework-based electric vehicle consumer adoption research. *International Journal of Energy Research*, 41(3), 317-335.

Aggeler D., Canales F., Zelaya H. - De La Parra, Coccia A., Butcher A., and Apeldoorn O. (2010). "Ultra-fast dc-charge infrastructures for EV-mobility and future smart grids," in *Proc. IEEE Power Energy Soc. Innovative Smart Grid Technol. Conf. Europe*,

Åhman M., 2004, 'Government Policy and Environmental Innovation in the Automobile Sector in Japan', *Lund University, Department of Environmental and Energy Systems Studies*

Al-Alawi, B.M., & Bradley, T.H. (2013). Total cost of ownership, payback and consumer preference modelling of plug-in hybrid electric vehicles. *Applied Energy*, 103, 488-506.

Anable, J., Kinnear, N., Hutchins, R., Delmonte, E., & Skippon, S. (2016). Consumer segmentation and demographic patterns, *Transportation*.

Andersson P. (2000). Volvos hsg-buss, erfarenheter fran faltprov. *PCT Gazette*

Andrew M., 2006. Johnson Controls - Saft - CARB ZEV Symposium

Axsen, J., & Kurani, K. S. (2013). Hybrid, plug-in hybrid, or electric—What do car buyers want?. *Energy Policy*, 61, 532-543.

Bae S. and Kwasinski A. (2012). "Spatial and temporal model of electric vehicle charging demand," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 394–403

Bakar, N., & Hasan-Basri, B. (2017). Strategic Innovation and Consumer Preferences: An Analysis of Malaysian Car Policy. *Millineal Asia*, 8(1), 64-77.

Barbarossa, C., Beckmann, S. C., De Pelsmacker, P., Moons, I., & Gwozdz, W. (2015). A self-identity based model of electric car adoption intention: A cross-cultural comparative study. *Journal of Environmental Psychology*, 42, 149-160.

Baumann B., Washington G., Glenn B., Rizzoni G. (2000). Mechatronic design and control of hybrid electric vehicles. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*

Beretta J. (2010), *Automotive Electricity*. New York: Wiley

Bossell U. 2004. The birth of the Fuel Cell 1835-1845. *Power for the 21st century*

Brand, C., Cluzel, C., & Anable, J. (2017). Modeling the uptake of plug-in vehicles in a heterogeneous car market using a consumer segmentation approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 121-136.

Brown T., Mikulin J., Rhazi N., Seel J., and Zimring M. (2010), "Bay area electrified vehicle charging infrastructure: Options for accelerating consumer," *Renewable and Appropriate Energy Laboratory (RAEL)*, Univ. of California, Berkeley

Budhia M., Covic G., Boys J. and Huang C. (2011). "Development and evaluation of single sided flux couplers for contactless electric vehicle charging," in *Proc. IEEE Energy Conversion Congr. Expo.*, pp. 614–621.

Carley, S., Krause, R.M., Lane, B.W., & Graham, J.D. (2013). Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities. *Transportation Research Part D*, 18, 39-45.

CHAdEMO, "What is CHAdEMO?" (2010). [Online]. Available: http://chademo.com/01_What_is_CHAdEMO.html

Chang H. and Liaw C. (2009). "Development of a compact switchedreluctance motor drive for EV propulsion with voltage-boosting and PFC charging capabilities," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 7, pp. 3198–3215

Cherubini, S., Iasevoli, G., & Michelini, L. (2015). Product-service systems in the electric car industry: critical success factors in marketing. *Journal of Cleaner Production*, 97, 40-49

Diamantopoulos, A., Schlegelmilch, B.B., Sinkovics, R.R., & Bohlen, G.M. (2003). Can sociodemographics still play a role in profiling green consumers? A review of the evidence and an empirical investigation. *Journal of Business Research*, 56, 465-480.

Doswell M. (2011), "Electric vehicles—What municipalities need to know," *Alternative Energy Solutions Dominion Resources Inc*

Du Y., S. Lukic, B. Jacobson, and A. Huang (2011). "Review of high power isolated bi-directional DC-DC converters for PHEV/EV DC charging infrastructure," in *Proc. IEEE Energy Conversion Congr. Expo.*, pp. 553–560.

Duce AD, Egede P., Öhlschläger G., Dettmer T., Althaus H-J, Bütler T., Szczechowicz E. (2013). Guidelines for the LCA of electric vehicles. "E-Mobility Life Cycle Assessment Recommendations",

Ehsani M., Gao Y., Gay S., Emadi A., 2005. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. *Boca Raton, FL: CRC Press*

Ekermo V. (2009). Recycling opportunities for Lion batteries from hybrid electric vehicles, *Chemical and Biological Engineering Industrial Materials Recycling*

Erb D., Onar O. and Khaligh A. (2010). "Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles," in *Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo*, pp. 2066–2072.

Ernst W. D. (1997). Automotive stirling engine development project. *National Aeronautics and Space Administration*

EU Commission, 2003, 'Hydrogen Energy and Fuel Cells – A Vision of our Future', Final Report of the High Level Group, Directorate-General for Research, Directorate-General for Energy and Transport

European Community (2003). Investigation on Storage Technologies for Intermittent Renewable Energy Evaluation and Recommended R&D Strategy. *5th Framework Program*

Falcone, P. (2014). Sustainability Transitions: A Survey of an Emerging Field of Research. *Environmental Management and Sustainable Development*, 3(2), 61-83

Fasugba M. and Krein P. (2011). "Gaining vehicle-to-grid benefits with unidirectional electric and plug-in hybrid vehicle chargers," in *Proc. IEEE Veh. Power and Propulsion Conf.*

Forsythe, S., Liu, C., Shannon, D., & Gardner, L. (2006). Development of a scale to measure the perceived benefits and risks of online shopping. *Journal of Interactive Marketing*, 20(2), 5575.

Gopalakrishnan D., Huib van Essen, Bettina K., Grünig M. (2011). Assessment of electric vehicle and battery technology, *Delft, CE Delft*

Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., & Stannard, J. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transportation Research Part A*, 46, 140-153.

Grant C. (2010). "U.S. National electric vehicle safety standards summit, Summary Rep.," *Detroit, Michigan*

Hackbarth, A., & Madlener, R. (2013). Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis. *Transportation Research Part D*, 25, 5-17.

Haghbin S., Khan K. , Lundmark S., Alak'ula M. , Carlson O., Leksell M. and Wallmark O. (2010), "Integrated chargers for EV's and PHEV's: Examples and new solutions," in *Proc. Int. Conf. Electrical Machines*, pp. 1–6.

Helmolt R., Eberle U. (2007). *GM Fuel Cell Activities, Hydrogen & Fuel Cell Research, Journal of power sources*

Hirunyawipada, T., & Paswan, A.K. (2006). Consumer innovativeness and perceived risk: implications for high technology product adoption. *Journal of Consumer Marketing*, 23(4), 182-198.

Hofstede, G. (2001). *Culture's consequences: Comparing values, behaviors, institutions and organizations across nations. Thousand Oaks: Sage Publications.*

Hur, W.-M., Kim, Y., & Park, K. (2013). Assessing the effects of perceived value and satisfaction on customer loyalty: A 'green' perspective. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 20, 146-156.

Hüttel, A., Ziesemer, F., Peyer, M., & Balderjahn, I. (2018). To purchase or not? Why consumers make economic (non-) sustainable consumption choices. *Journal of Cleaner Production*, 174, 827-836.

IEEE Standard 1547 (2003), *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*

Institute of electric power research (2007). *Environmental assessment of plug in. Nationwide Greenhouse Gas Emissions*

Iwata, K., & Matsumoto, S. (2016). Use of hybrid vehicles in Japan: An analysis of used car market data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 200-206.

Jansson, J., Nordlund, A., & Westin, K. (2017). Examining drivers of sustainable consumption: The influence of norms and opinion leadership on electric vehicle adoption in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 154, 176-187.

Jeong G., Hansu P., Jong H., Xing S., Kim J., Ji Man K., Young J. (2015). "Nanotechnology enabled rechargeable Li-SO₂ batteries: Another approach towards post-lithium-ion battery systems". *Energy & Environmental Science*. 8 (11): 3173–3180.

Kaptan, G., Shiloh, S., & Onkal, D. (2013). Values and Risk Perceptions: A Cross-Cultural Examination. *Risk Analysis*, 33(2) 318-332.

King H. (2007). An analysis of hybride-electric vehicles as the car of the future. Massachusetts Institute of technology

Larminie J. (2003). Fuel Cell Systems Explained, 2nd ed. - John Wiley & Sons

Lee C., Jeong J., Lee B., and Hur J. (2011). "Study on 1.5 kW battery chargers for neighborhood electric vehicles," in *Proc. IEEE Veh. Power and Propulsion Conf.*, pp. 1–4.

Mann M. K., Spath P. L., 2004. 'Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen production via Wind/Electrolysis – Milestone Completion report', National Renewable Energy Laboratory

Markard, J., Raven, R., & Tuffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41 (6), 955-967.

McKinsey & Company, 2014, Electric Vehicles in Europe: Gearing up for a New Phase? *Amsterdam: Roundtables Foundation.*

Mehta S. (2010). "Electric plug-in vehicle/electric vehicle", *Status Report*

Morton, C., Anable, J., & Nelson, J.D. (2016). Assessing the importance of car meanings and attitudes in consumer evaluations of electric vehicles. *Energy Efficiency*, 9(2), 495-509.

Mullan J., Harries D., Braunl T. and Whitely S. (2011), "Modelling the impacts of electric vehicle recharging on the Western Australian electricity supply system," *Energy Policy*, vol. 39, pp. 4349–4359

Murat Y. & Krein P. (2013). Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 28, NO. 5

National Renewable Energy Laboratorioum (2006). Plug-In HEV Vehicle Design Options and Expectations. *NREL/PR-540-40630*

Oliver, J.D., & Lee, S.H. (2010). Hybrid car purchase intentions: a cross cultural analysis. *Journal of Consumer Marketing*, 27(2), 96-103.

Park, C., & Jun, J.-K. (2003). A cross-cultural comparison of Internet buying behavior: Effects of Internet usage, perceived risks, and innovativeness. *International Marketing Review*, 20(5), 534-553.

Petschnig, M., Heidenreich, S., & Spieth, P. (2014). Innovative alternatives take action—Investigating determinants of alternative fuel vehicle adoption. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 68-83.

Pierre, M., Jemelin, C., & Louvet, N. (2011). Driving an electric vehicle. A sociological analysis on pioneer users. *Energy Efficiency*, 4(4), 511-522.

Platell P. (2007). Novel steam engine for multi primary energy resources. *1st European Conference on Polygeneration*

Saber A. Y. & Venayagamoorthy G. K., 2009. "One million plug-in electric vehicles on the road by 2015", *Proc. IEEE Intell. Trans. Syst. Conf.*, pp. 141–147.

SAE Electric Vehicle and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler (2010). *SAE Standard J1772*

SAE International Standard J2894, 2011. Power Quality Requirements for Plug-in Vehicle Chargers—Part 1: Requirements

Sang, Y.-N., & Bekhet, H A. (2015). Modelling electric vehicle usage intentions: an empirical study in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 92, 75-83.

Schuitema, G., Anable, J., Skippon, S., & Kinnear, N. (2013). The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 48, 39-49.

Sheldon, T., Desharzo, J., & Carson, R. (2017). Electric and Plug-In-Hybrid Demand: Lessons for an Emerging Market. *Economic Inquiry*, 55(2), 695-713.

Sirgy, J.M. (1986). *Self-congruity*. New York: Praeger.

Smokers R. (2004), 'Hybrid Vehicles in Relation to Legislation, Regulations and Policy', *TNO Automotive*

Soon, W.L., Seng, W., Luen, W., & Siang, J. (2013). Hybrid vehicle adoption: A conceptual study. *Journal of Education and Vocational Research*, 4(6), 165-168.

Spencer, J., Lilley, D., & Porter, S. (2015). The opportunities that different cultural contexts create for sustainable design: a laundry care example. *Journal of Cleaner Production*, 107, 279-290.

Stone, R.N., & Grønhaug, K. (1993). Perceived Risk: Further Considerations for the Marketing Discipline. *European Journal of Marketing*, 27(3), 39-50.

Su W., Eichi H., Zeng W., and Chow M. (2012), "A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment," *IEEE Trans. Ind. Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10

Sylvers, E., & Stoll, J. (2017). U.K. Targets Gasoline, Diesel Cars --- Joining European push, country sees internal-combustion engines banned by 2040. *Wall Street Journal*, Eastern edition; New York, N.Y.

Tesla Motors. (2009). "Tesla roadster spec sheet," [Online]. Available: http://www.teslamotors.com/display_data/teslaroadster_specsheet.pdf.

Thomason M. (2011), "Plug-in recharge". [Online]. http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/light_duty/fsev/fsev_battery_chargers

Throngnumchai K., Kai T. and Minagawa Y., "A study on receiver circuit topology of a cordless battery charger for electric vehicles," in *Proc. IEEE Energy Conversion Congr. Expo*, pp. 843–850.

Tuttle D. and Baldick R. (2012), "The evolution of plug-in electric vehiclegrid interactions," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 500–505

US Department of Energy (2004), 'By Fuel Type', vehicle consumption database, (<http://www.fueleconomy.gov/feg/byfueltype.htm>)

Vehicle Technologies Program, U.S. Dept. Energy (2011). *Office of Energy and Renewable Energy and the National Renewable Energy Lab*

Van Den Hoed R., 2004, 'Driving Fuel Cell Vehicles – How established Industries React to Radical Technologies', *PhD Thesis / Delft*

Vasant Kumar R., Yang J., Sonmez S. (2013). Relevance of Reaction of Lead Compounds with Carboxylic acid in Lead Recovery from Secondary Sources. *J Powder Metall Min* 2:107. doi: 10.4172/2168-9806.1000107

Wang, S., Fan, J., Zhao, D., Yang, S., & Fu, Y. (2016). Predicting consumers' intention to adopt hybrid electric vehicles: using an extended version of the theory of planned behavior model. *Transportation*, 43(1), 123-143.

Webb, T.L., Benn, Y., & Chang, B.P.I. (2014). Antecedents and consequences of monitoring domestic electricity consumption. *Journal of Environmental Psychology*, 40, 228-238.

Wright, L., Kemp, S., Williams, I. (2011). "'Carbon footprinting': towards a universally accepted definition". *Carbon Management*. doi:10.4155/CMT.10.39.

Zamboni G., Dressino L., Boileau H. (2020). A tool for the assessment of the potential benefits of electric and hybrid cars for emissions reduction in urban areas. *International Journal of Environmental Studies*

Zhang C., Yang Y. (2020). *A History of Mechanical Engineering*. Springer Nature

Zorpette G. (2005). Super Charged: Capacitors Powerful enough to Propel the Next Generation of Hybrid-Electric Cars. *IEEE Spectrum*, Volume: 42

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ACEA: Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτων

AER: Όλα ηλεκτρικά

CD: Τρόπος λειτουργίας εξάντλησης φόρτισης

CS: Τρόπος λειτουργίας φόρτισης διατήρησης

DOH: Βαθμός υβριδισμού

EEC: Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα

EM: Ηλεκτρικός κινητήρας

EV: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο

HEV: Υβριδικό αυτοκίνητο

ICE: Εσωτερικής καύσης (κινητήρας)

KERS: Σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας

TCU: Μονάδα ελέγχου μετάδοσης

URFC: Μονάδα αναγεννητικής κυψέλης καυσίμου