



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη μοντέλου κόστους ιδιοκτησίας ηλεκτρικών οχημάτων

Κωνσταντίνος Φλάρης

Επιβλέπων: **Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου**, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.



DIPLOMA THESIS

Development of electric vehicle ownership cost model

Konstantinos Flaris

Supervisor: **Konstantinos Kepaptsoglou**, Assistant Professor N.T.U.A.

ΙΟΥΛΙΟΣ/JULY 2020

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα Διπλωματική Εργασία ορίζεται το τέλος ενός πολύ σημαντικού κεφαλαίου στη ζωή μου και αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν σε αυτό.

Πρώτο απ' όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, για την καθοδήγηση, την υπομονή και την διάθεση που επέδειξε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Ακόμη τον ευχαριστώ για την απλόχερη βοήθεια και στήριξη που μου προσέφερε. Ήταν χαρά μου να ολοκληρώσω τις σπουδές μου με αυτή τη συνεργασία, έχοντας έναν επιβλέποντα με τον οποίο αναπτύχθηκε μια διαπροσωπική σχέση.

Τίποτα βέβαια δεν θα ήταν ίδιο χωρίς τη βοήθεια του μεταδιδάκτορα κ. Λάμπρου Μητρόπουλου, ο οποίος ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει με τις γνώσεις και τη μεθοδικότητα του. Σε κάθε πρόβλημα που προέκυψε ήταν διαθέσιμος και υποστηρικτικός.

Κλείνοντας, το πιο μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να το πω στην οικογένεια μου που στάθηκε δίπλα μου σε κάθε επιλογή και με γέμιζε θάρρος σε κάθε επόμενο βήμα, αλλά και στους φίλους μου που συντέλεσαν και αυτοί με τον τρόπο τους στην επίτευξη στόχων και σχεδίων.

Εκτενής περίληψη

Τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων αποτελούν μια εναλλακτική και φιλική προς το περιβάλλον λύση μετακίνησης που αναπτύσσεται έντονα τα τελευταία χρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των επιλογών που προσφέρονται στους καταναλωτές, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια λύση που αποκτά συνεχώς μεγαλύτερη απήχηση στις προτιμήσεις τους τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολλαπλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν συνδεθεί άμεσα και με τους περιβαλλοντικούς στόχους που έχουν τεθεί από τα περισσότερα κράτη. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει την ανάγκη διάδοσή τους και η απόκτηση μεγαλύτερου μεριδίου της αγοράς για τον συγκεκριμένο τύπο οχήματος κρίνεται επιβεβλημένη.

Παρότι η πορεία των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων τα τελευταία χρόνια καταγράφει αισιόδοξες τάσεις, τα ποσοστά πωλήσεων τους παραμένουν αρκετά χαμηλά παγκοσμίως. Ένα από τα πιο σημαντικά εμπόδια για την εξάπλωση των οχημάτων αυτών αποτελεί το αυξημένο κόστος αγοράς που τα συνοδεύει. Αυτό άλλωστε έχει σαν σκοπό να αμβλύνει η παροχή οικονομικών επιδοτήσεων που πραγματοποιείται από πλήθος κρατών. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι η μελέτη των οικονομικών επιδόσεων των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον, αφού μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία τόσο στους καταναλωτές όσο και στα κράτη που χαράζουν πολιτική.

Στο πλαίσιο που περιγράφηκε παραπάνω, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας για τον υπολογισμό των οικονομικών επιδόσεων εννέα οχημάτων και τελικά η μελέτη πλαισιώθηκε με τον υπολογισμό του Σταθμισμένου Κόστους των συγκεκριμένων οχημάτων.

Επιλέγοντας τις πλέον κατάλληλους παραμέτρους για την εκτίμηση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας στη συνέχεια αποτυπώθηκαν οι βαρύτητες των παραμέτρων κόστους σύμφωνα

με την κρίση μια ομάδας ειδικών προκειμένου να υπολογιστεί το Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας. Ειδικότερα, η μεθοδολογία εφαρμόζεται για την αγορά της Γαλλίας, επιλογή που πραγματοποιήθηκε λόγω της σημαντικότητας της συγκεκριμένης αγοράς στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της διαθεσιμότητας δεδομένων που παρουσίαζε. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται υπό προϋποθέσεις και με τις κατάλληλες προσαρμογές δύναται να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε οποιαδήποτε αγορά.

Με τον υπολογισμό τόσο του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας, όσο και του Σταθμισμένου κόστους δίνεται η δυνατότητα διερεύνησης των οικονομικών επιδόσεων οχημάτων διαφόρων τεχνολογιών, πληροφορία που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο αφού οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής και οι καταναλωτές είναι σε θέση να λαμβάνουν υπόψη με ορθότερο τρόπο τον παράγοντα του κόστους.

Extended abstract

Alternative fuel vehicles are an alternative and environmentally friendly transportation solution that has been growing rapidly in recent years. Taking into account all the options offered to consumers, electric vehicles are a solution that has been gaining more and more popularity in recent years, as they have the potential to provide multiple environmental and social benefits. In addition, electric vehicles have been directly linked to the environmental targets that have been set by most states. This has created the need for their dissemination and the gain of a larger market share for this type of vehicle is imperative.

Although the trend of alternative fuel vehicles in recent years has shown optimistic trends, their market share remain quite low worldwide. One of the most important obstacles for the spread of these vehicles is the higher purchase cost that accompanies them. The financial subsidies provided by many countries aims to alleviate this difference in cost. It is therefore understood that the study of the economic performance of alternative fuel vehicles is of great interest, as it can provide useful data to both consumers and policy-makers.

In the context described above, a model of Total Cost of Ownership (TCO) was developed to calculate the financial performance of nine vehicles and finally the study was framed with the calculation of the Weighted Average Cost (WAC) of these vehicles.

By selecting the most appropriate parameters for estimating the Total Cost of Ownership (TCO) then the weights of the cost parameters were captured according to the opinions of an expert group, so the Weighted Average Cost (WAC) calculated. In particular, the methodology was applied in the French market, a choice that was made due to the importance of this market within the European Union frame and the availability of data. The methodology developed under certain conditions and with the appropriate changes could be used to draw conclusions in any market and any country.

By calculating both the Total Cost of Ownership (TCO) and the Weighted Average Cost (WAC), it is possible to investigate the financial performance of vehicles with different powertrain technologies, an information that is particularly useful since policy makers and consumers are able to make more realistic choices when they have the proper knowledge of the cost factor.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Εκτενής περίληψη.....	ii
Extended abstract	iv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Οριοθέτηση του προβλήματος.....	1
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας	4
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	5
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
2.1 Γενικά.....	7
2.2 Τεχνολογίες οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων	7
2.3 Μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας.....	14
2.4 Μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας κατά τη διαδικασία αγοράς ενός οχήματος	15
2.5 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση: Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας – Total Cost of Ownership (TCO) οχημάτων.....	17
2.5.1 Γενικά.....	17
2.5.2 Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων με κοινωνικό προσανατολισμό	19
2.5.3 Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων με προσανατολισμό τον καταναλωτή.....	25
2.6 Συμπεράσματα	37
3. Μεθοδολογία	40

3.1	Γενικά.....	40
3.2	Ανάπτυξη μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και καθορισμός παραμέτρων και παραδοχών.....	40
3.2.1	Επιλογή αγοράς	40
3.2.2	Επιλογή μοντέλων και τεχνολογιών οχημάτων.....	47
3.2.3	Μεταπωλική αξία οχημάτων	60
3.2.4	Ενεργειακές απαιτήσεις οχημάτων	64
3.2.5	Κόστος συντήρησης και επισκευής οχημάτων.....	69
3.2.6	Κόστος ασφάλισης οχημάτων	71
3.2.7	Κόστος τελών κυκλοφορίας.....	72
3.2.8	Κόστος καυσίμων.....	72
3.2.9	Επιδότηση ή πρόστιμο κατά την αγορά	73
3.2.10	Λοιπές παράμετροι.....	73
3.2.11	Τελική μορφή μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων.....	74
3.3	Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας οχημάτων	75
3.3.1	Γενικά.....	75
3.3.2	Η μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας	76
3.3.3	Η εφαρμογή της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας για τον υπολογισμό του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων.....	77
4.	Εφαρμογή μεθόδου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και Σταθμισμένου Κόστους.....	82
4.1	Υπολογισμός Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων	82
4.2	Υπολογισμός βαρών κριτηρίων.....	85
4.3	Υπολογισμός σταθμισμένου κόστους οχημάτων.....	86
5.	Συμπεράσματα	90
5.1	Γενικά.....	90
5.2	Σύνοψη αποτελεσμάτων	90
5.3	Συνεισφορά της έρευνας.....	93
	Βιβλιογραφία	96

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Οριοθέτηση του προβλήματος

Το πετρέλαιο αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας στον τομέα των μεταφορών, παρέχοντας το 92% της απαιτούμενης ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία, σημειώνοντας μείωση μόλις κατά δύο ποσοστιαίες μονάδες από το 1973. Η αυξημένη ζήτηση για μεταφορές για ανθρώπων και αγαθών επέφερε μεγαλύτερες απαιτήσεις πετρελαίου, η οποία συνοδεύτηκε από αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Σήμερα, ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για σχεδόν το ένα τέταρτο των άμεσων εκπομπών CO₂ και συμβάλλει σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση (IEA, 2020). Έτσι, οι στόχοι και δεσμεύσεις για τη βελτίωση της ποιότητας του κλίματος και του αέρα αποδίδουν στον τομέα των μεταφορών έναν ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο.

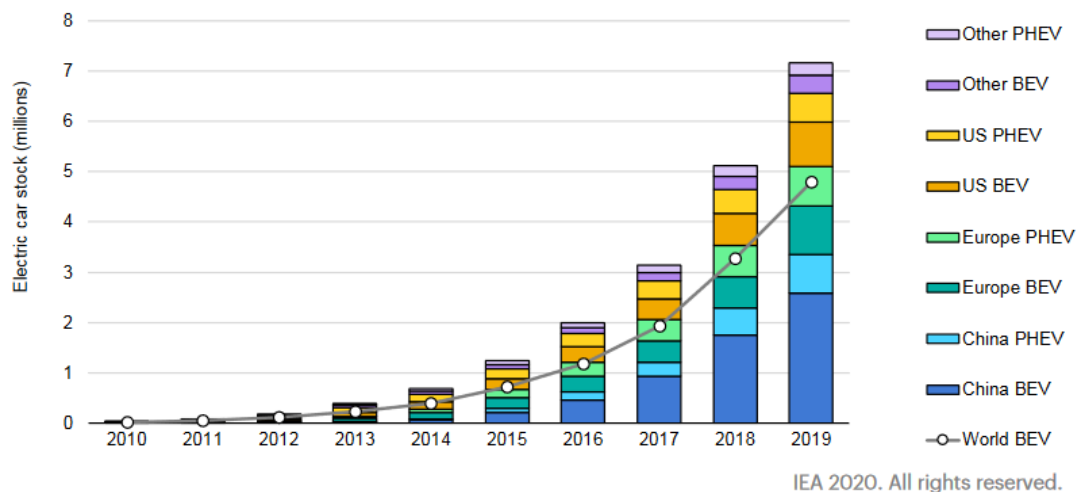
Παρότι το πετρέλαιο και γενικότερα τα ορυκτά καύσιμα επικρατούν στις μεταφορές, οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές ανησυχίες που διατυπώνονται συνεχώς για τη χρήση τους έχουν οδηγήσει σε ραγδαίες αλλαγές κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας με την ανάπτυξη διαφόρων τεχνολογιών κινητήρων και εναλλακτικών καυσίμων. Η δεκαετία του 2010 αποτέλεσε τη βάση για την εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων και διαμόρφωσε ουσιαστικά μια νέα και πολλά υποσχόμενη αγορά. Ο εξηλεκτρισμός των μεταφορών αποτελεί μια βασική στρατηγική για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επίτευξη των στόχων για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) που έχουν τεθεί από αρκετές χώρες.

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν μια εναλλακτική λύση για τους καταναλωτές που καταλαμβάνει συνεχώς μεγαλύτερο έδαφος στις προτιμήσεις τους τα τελευταία χρόνια, δεδομένου ότι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολλαπλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. Τα οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων περιλαμβάνουν (IEA, 2020):

- Ενεργειακή απόδοση: Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι τρεις έως πέντε φορές ενεργειακά αποδοτικότερα από τα συμβατικά οχήματα με κινητήρες εσωτερικής καύσης, κάτι το οποίο παρέχει δυνατότητες βελτίωσης των ενεργειακών απαιτήσεων για τις οδικές μεταφορές.
- Ενεργειακή ασφάλεια: Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τις μεταφορές ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια καθώς παρακάμπτει την ισχυρή εξάρτησή από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό με τη σειρά του μειώνει την εξάρτηση για εισαγωγές πετρελαίου, αφού η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί με διάφορους πόρους, και συχνά αποτελεί προϊόν της εκάστοτε εγχώριας αγοράς.
- Ατμοσφαιρική ρύπανση: Παρέχοντας μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν ζητήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ιδίως στα πλαίσια αστικών περιοχών και κατά μήκος οδικών δικτύων, όπου μεγάλος αριθμός ανθρώπων εκτίθενται σε επιβλαβείς για την υγεία ρύπους που παράγονται από τα οχήματα οδικών μεταφορών.
- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου: Η ηλεκτροκίνηση σε συνδυασμό με την προοδευτική αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να αποφέρει συνολικά σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές.
- Μείωση θορύβου: Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο αθόρυβα από τα συμβατικά οχήματα και, ως εκ τούτου, συμβάλλουν στη μείωση της ηχορύπανσης.
- Βιομηχανική ανάπτυξη: Τα ηλεκτρικά οχήματα κατέχουν κρίσιμη θέση ως δυνητικός παράγοντας για τη σημαντική μείωση του κόστους της τεχνολογίας των μπαταριών, μια τεχνολογία στρατηγικής σημασίας για τη βιομηχανική ανταγωνιστικότητα και ανάπτυξη, δεδομένης της σημασίας της για τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια.

Κατανοώντας τα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, και το ρόλο που καλούνται να διαδραματίσουν προς την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν τεθεί είναι επιβεβλημένη η διάδοσή τους και η απόκτηση μεγαλύτερου μεριδίου της αγοράς. Το 2010 που αποτέλεσε ουσιαστικά και το έτος εισαγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά κυκλοφορούσαν παγκοσμίως 17.000 οχήματα του τύπου, με τις μοναδικές χώρες που διέθεταν πάνω από 1.000 τέτοια οχήματα να είναι οι Κίνα, Ιαπωνία, Νορβηγία, Ηνωμένο Βασίλειο και Ηνωμένες Πολιτείες. Τα ίδια στοιχεία για το 2019 διαφέρουν αρκετά καθώς το προηγούμενο έτος υπήρχαν περίπου 7,2 εκατομμύρια ηλεκτρικά αυτοκίνητα στους δρόμους παγκοσμίως με τα περισσότερα οχήματα του τύπου να είναι συγκεντρωμένα στην Κίνα, την Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες και

ταυτοχρόνως τουλάχιστον 20 χώρες κατέγραψαν μερίδια αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων μεγαλύτερα του 1%.



Σχήμα 1.1: Αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που βρίσκονται σε κυκλοφορία παγκοσμίως κατά το χρονικό διάστημα 2010-19, πηγή: IEA, 2020.

Στα πλαίσια των αλλαγών που συντελούνται στις μεταφορές σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και οι κυβερνήσεις αρκετών χωρών παρέχοντας επιδοτήσεις ή φορολογικά κίνητρα με σκοπό τη στροφή των καταναλωτών προς τα ηλεκτρικά οχήματα. Οι πολιτικές για τη στήριξη του ηλεκτρικού οχήματος μέχρι σήμερα εστιάζουν κυρίως στα εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι πρώιμοι καταναλωτές, όπως το υψηλότερο αρχικό κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με εκείνο των αντίστοιχων συμβατικών οχημάτων και τη διαθέσιμη υποδομή φόρτισης αυτών των οχημάτων. Τελευταία, οι πολιτικές αυτές έχουν αρχίσει να μετατοπίζονται προς ρυθμιστικά σχέδια που διαθέτουν ένα αρκετά πιο μακροπρόθεσμο όραμα. Ορισμένες χαρακτηριστικές τέτοιες πολιτικές αποτελούν η πρωτοβουλία Zero Emission Vehicle (ZEV) που υιοθετήθηκε στην Καλιφόρνια, καθώς και η New Energy Vehicle (NEV) στην Κίνα (IEA, 2020).

Το ενδιαφέρον που παρατηρείται για τα ηλεκτρικά οχήματα από ένα μεγάλο μέρος καταναλωτών και κυβερνήσεων συγκεκριμένων χωρών έχει καταφέρει να οδηγήσει σε μια τεράστια αύξηση των πωλήσεων κατά την τελευταία δεκαετία, όμως η διαδικασία γενικευμένου εξηλεκτρισμού των μεταφορών είναι σε πρώιμο επίπεδο καθώς το ποσοστό των ηλεκτρικών επιβατικών αυτοκινήτων εξακολουθεί να βρίσκεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα.

Η κατάσταση που επικρατεί σε παγκόσμιο επίπεδο στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως περιγράφηκε περιληπτικά παραπάνω, έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών. Οι προσπάθειες που γίνονται για την κατανόηση των ρυθμιστικών παραγόντων που επηρεάζουν την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων από τους καταναλωτές είναι συστηματικές και ιδιαίτερα κρίσιμες, αφού επηρεάζουν άμεσα τη χάραξη πολιτικής από τις κυβερνήσεις και την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί.

1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου το οποίο με τις κατάλληλες κάθε φορά προσαρμογές θα μπορεί να χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) και του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας για τις παρακάτω τεχνολογίες οχημάτων:

- Συμβατικά οχήματα - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV)
- Πλήρως υβριδικά οχήματα - Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- Πλήρως ηλεκτρικά οχήματα - Battery Electric Vehicle (BEV)

και τις εξής κατηγορίες μεγέθους οχημάτων:

- Small (A+B)
- Lower Medium (C)
- SUV (J)

Επιλέγονται οι πλέον κατάλληλοι και απαιτούμενοι παράμετροι για την εκτίμηση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και στη συνέχεια αποτυπώνονται οι βαρύτητες των παραμέτρων σύμφωνα με την κρίση των καταναλωτών προκειμένου να υπολογιστεί το Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας.

Ειδικότερα στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, η μεθοδολογία εφαρμόζεται για την αγορά της Γαλλίας, επιλογή που πραγματοποιήθηκε λόγω της σημαντικότητας της συγκεκριμένης αγοράς στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της διαθεσιμότητας δεδομένων που παρουσίαζε. Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται υπό προϋποθέσεις και με τις κατάλληλες προσαρμογές δύναται να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων σε οποιαδήποτε αγορά. Με αυτόν τον τρόπο οι υπεύθυνοι για τη χάραξη πολιτικής και οι καταναλωτές θα είναι σε θέση να λαμβάνουν υπόψη με ορθότερο τρόπο τον παράγοντα του κόστους. Κάτι τέτοιο θα οδηγήσει σε αποδοτικότερη χάραξη πολιτικής, καλύτερη κατανομή των πόρων και σε πιο ορθολογικές επιλογές από την πλευρά των καταναλωτών,

καθιστώντας πιο βιώσιμη τη μετάβαση στο ηλεκτρικό όχημα με άμεσα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Συνοπτικά, η δομή της διπλωματικής εργασίας έχει ως ακολούθως:

Στο **Κεφάλαιο 2** πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική έρευνα, η οποία εστιάζει στις μελέτες υπολογισμού του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας διαφόρων τεχνολογιών οχημάτων που έχουν αναπτυχθεί.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η μεθοδολογία που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO), η οποία εστιάζει στις παραμέτρους που συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο, καθώς και στην εύρεση δεδομένων για αυτές τις παραμέτρους.

Στο **Κεφάλαιο 4** εμπεριέχεται η εφαρμογή του μοντέλου με τα δεδομένα που είχαν συγκεντρωθεί και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο. Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα προκύπτει η κατάταξη των οχημάτων βάση του κόστους ανά κατηγορία μεγέθους.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

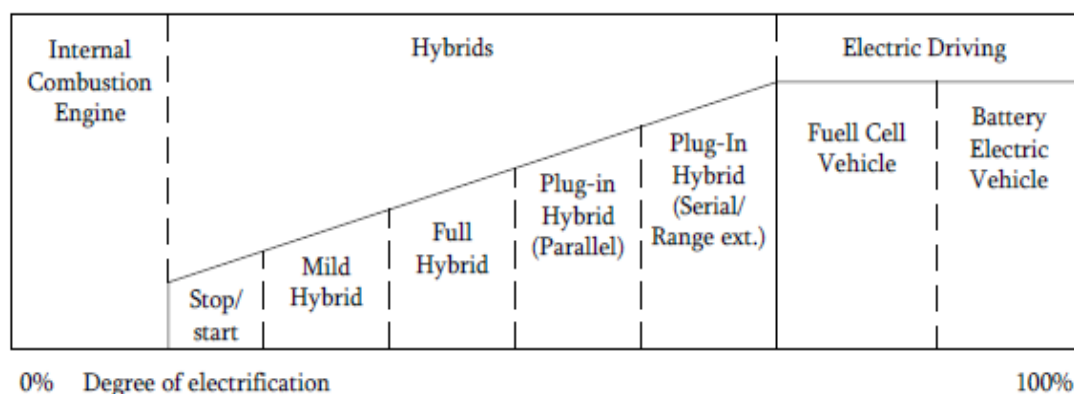
2.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη ενός μοντέλου το οποίο θα υπολογίζει το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) και το Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας για τρεις τεχνολογίες και τρεις κατηγορίες μεγέθους οχημάτων στα πλαίσια της γαλλικής αγοράς. Στο πρώτο μέρος του συγκεκριμένου κεφαλαίου γίνεται μια ανάλυση και διάκριση των διαφόρων τεχνολογιών οχημάτων που διατίθενται στην αγορά προκειμένου να υπάρχει μια σαφής και πλήρης κατανόηση τόσο της υπάρχουσας κατάστασης που επικρατεί, όσο και των τεχνολογιών των οχημάτων που τελικά μελετώνται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας προς αποφυγή παρανοήσεων που συχνά προκύπτουν λόγω της σύνθετης σε αρκετές περιπτώσεις κατηγοριοποίησης των διαφορετικών τεχνολογιών οχημάτων που συναντώνται στην αγορά. Στο αμέσως επόμενο μέρος γίνεται μια προσπάθεια αναφοράς στις συστηματικές προσπάθειες ερευνητών στη διεθνή βιβλιογραφία που ασχολούνται με τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) οχημάτων, καθώς και της διάκρισης ανάλογα με το προσανατολισμό που διαθέτει κάθε έρευνα.

2.2 Τεχνολογίες οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων

Η αυτοκινητοβιομηχανία προσφέρει μια αρκετά μεγάλη γκάμα οχημάτων ως προς την τεχνολογία καυσίμου. Αυτή εκτείνεται από το πλήρως συμβατικό όχημα με θερμικό κινητήρα (Internal Combustion Engine) που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ορυκτά καύσιμα για την κίνηση του έως και το πλήρως ηλεκτρικό όχημα (Battery Electric Vehicle, Fuel Cell Vehicle). Το χάσμα ανάμεσα στις δύο παραπάνω τεχνολογίες γεφυρώνεται από τα υβριδικά

οχήματα (Hybrids), τα οποία με τη σειρά τους διακρίνονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το βαθμό υβριδοποίησης, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα προς την συνολική ισχύ που διαθέτει το όχημα. Το **Σχήμα 2.1** δίνει μια γραφική αναπαράσταση των οχημάτων που διατίθενται στην αγορά ως προς τη τεχνολογία καυσίμου και το επίπεδο υβριδοποίησης που διαθέτουν.



Σχήμα 2.2: Βαθμοί εξηλεκτρισμού διαφορετικών τεχνολογιών οχημάτων (Michelin, 2011).

Τα **Υβριδικά Οχήματα (Hybrids)** αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο που συνδέει το συμβατικό βενζινοκίνητο ή πετρελαιοκίνητο όχημα με το ηλεκτροκίνητο όχημα και διαθέτουν δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας για την κίνησή τους. Αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ένας θερμικός κινητήρας που λειτουργεί με υγρό ή αέριο καύσιμο και ένας ηλεκτροκινητήρας που λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από μία ηλεκτρογεννήτρια μηχανικά συνδεδεμένη με το θερμικό κινητήρα ή από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ίδιου του οχήματος που συλλέγεται και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές του κατά τις φάσεις επιβράδυνσης, πέδησης και κίνησης σε κατωφέρειες. Βασικότερα οφέλη αυτών των οχημάτων αποτελούν η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπών ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Μία σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία τους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι ο συντελεστής υβριδοποίησης και για αυτό ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των βαθμών που διακρίνονται τα υβριδικά οχήματα με βάση τον συγκεκριμένο συντελεστή.

Μικροϋβριδικά (Stop/Start) είναι αυτά που διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης διακοπής λειτουργίας και επανεκκίνησης του κινητήρα (stop-start). Η λειτουργία αυτή, επιτρέπει τη διακοπή της λειτουργίας του θερμικού κινητήρα όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση και επανακκινείται αυτόματα, όταν ο οδηγός επιθυμεί να συνεχίσει την πορεία του.

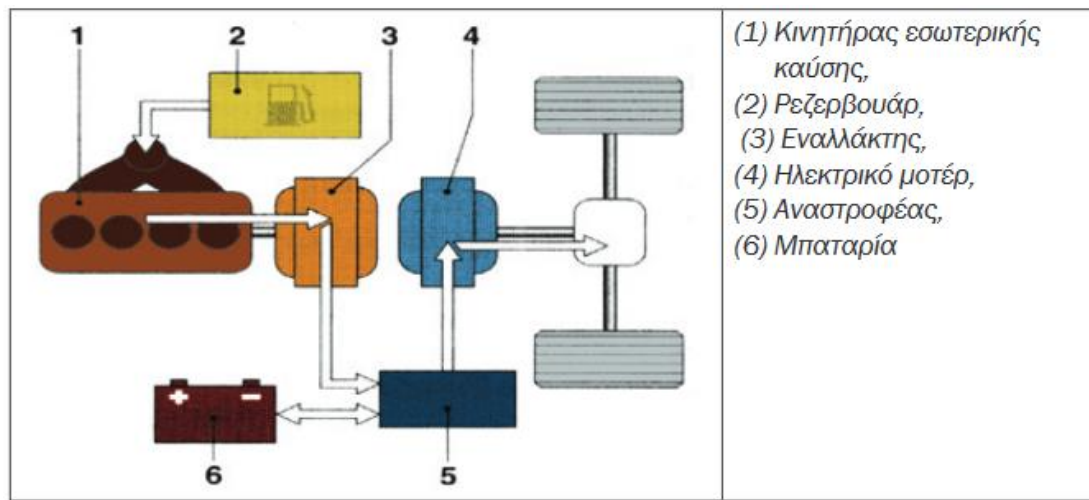
Διαθέτουν συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 5% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 5% - 7%.

Ήπια Υβριδικά (Mild Hybrids) είναι αυτά που διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης διακοπής λειτουργίας και επανεκκίνησης του κινητήρα (stop-start) και, επιπρόσθετα, συμμετέχει ένας ηλεκτροκινητήρας στην προώθηση και την ανάκτηση ενέργειας. Ουσιαστικά σε αυτά τα οχήματα συνυπάρχει ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης και ένας ηλεκτροκινητήρας για να πετύχουν μειωμένες εκπομπές καυσαερίων και βελτιωμένη κατανάλωση καυσίμου. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενέργεια που ανακτάται μέσω της αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking) και αποθηκεύεται σε μια μπαταρία, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να παρέχει υποβοήθηση στην επιτάχυνση. Διαθέτουν συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 10% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 12% -18%.

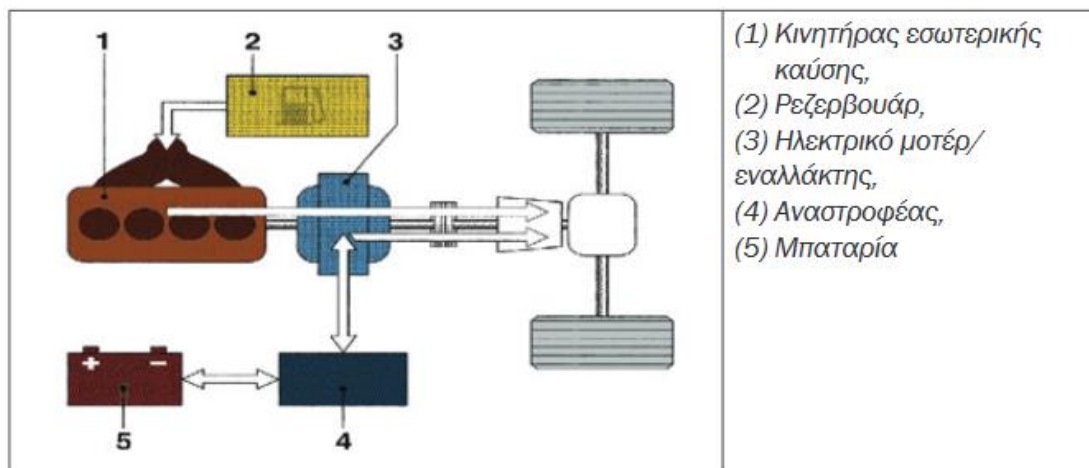
Πλήρως Υβριδικά (Full Hybrids) είναι τα οχήματα που διαθέτουν τη λειτουργία της αυτόματης κράτησης και επανεκκίνησης (stop-start), ενώ ο ηλεκτροκινητήρας συμμετέχει στην προώθηση, την ανάκτηση ενέργειας και, επιπρόσθετα, έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ως αμιγώς ηλεκτρικά (electric mode). Η αμιγώς ηλεκτρική λειτουργία μπορεί να πραγματοποιείται για σχετικά μικρό αριθμό χιλιομέτρων, λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας των μπαταριών που χρησιμοποιούν. Η μετάβαση μεταξύ ηλεκτρικής και συμβατικής λειτουργίας πραγματοποιείται ομαλά και ανάλογα με τις απαιτήσεις ισχύος και διαθέτουν συντελεστή υβριδοποίησης ενδεικτικά ίσο με 25% ενώ αναμένεται μία εκτιμώμενη βελτίωση της κατανάλωσης ίση με 20% - 25%. Τα πλήρως υβριδικά οχήματα δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών τους από εξωτερική πηγή, αφού η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα ίδια τα οχήματα. Αυτό το χαρακτηριστικό αποτέλεσε και ένα βασικό παράγοντα της εμπορικής επιτυχίας των συγκεκριμένων οχημάτων διότι χρησιμοποιούν τις ίδιες υποδομές ανεφοδιασμού με εκείνες των συμβατικών οχημάτων.

Επιπλέον, απαιτείται η διάκριση τους σε κατηγορίες ανάλογα με τη διάταξη του συστήματος πρόωσης. Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με την αρχιτεκτονική τους, σε τρεις βασικές κατηγορίες. Αρχικά συναντώνται τα σειριακά, στα οποία την κίνηση δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας που τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια είτε από ένα συσσωρευτή είτε από μια μηχανή εσωτερικής καύσης μέσω ενός εναλλάκτη. Έπειτα υπάρχουν τα παράλληλα, όπου ο θερμικός κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την ισχύ για την κίνηση των τροχών

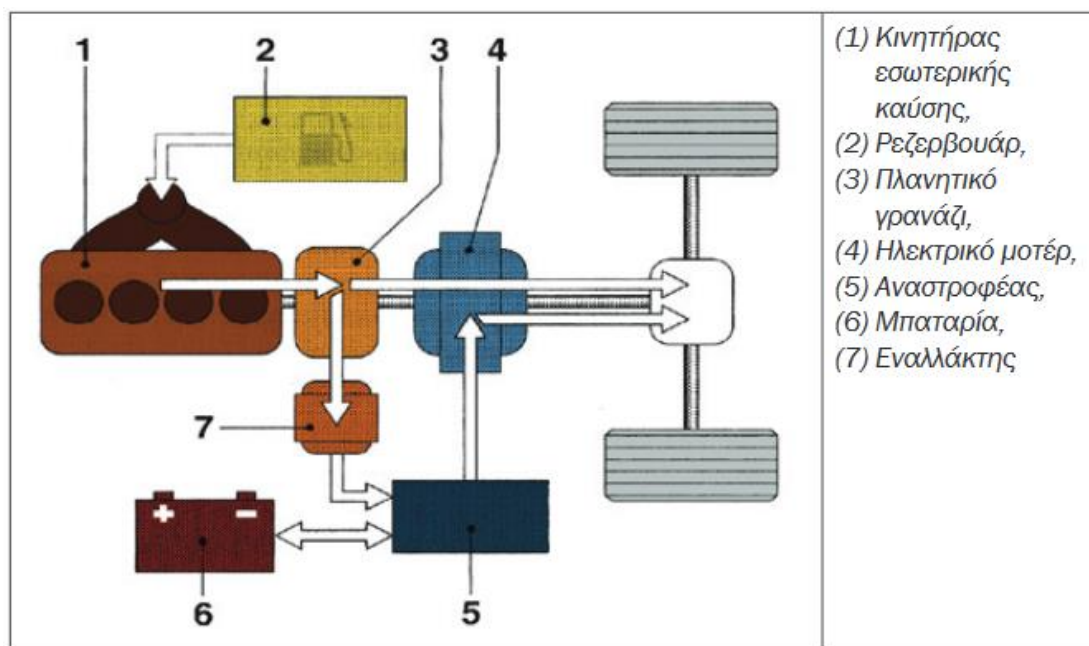
και είναι μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι με το κιβώτιο ταχυτήτων. Τέλος υπάρχουν και τα μεικτά και αποτελούν ουσιαστικά ένα συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων διατάξεων.



Σχήμα 2.3: Αρχιτεκτονική συστήματος σειριακής - σε σειρά υβριδικής μετάδοσης κίνησης (Γεώργιος Καπετανάκης και Πέτρος Καραμπίλας, 2014).



Σχήμα 2.3: Αρχιτεκτονική συστήματος παράλληλης υβριδικής μετάδοσης κίνησης (Γεώργιος Καπετανάκης και Πέτρος Καραμπίλας, 2014).



Σχήμα 2.4: Αρχιτεκτονική συστήματος μεικτής υβριδικής μετάδοσης κίνησης (Γεώργιος Καπετανάκης και Πέτρος Καραμπίλας, 2014).

Τα **Οχήματα Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV)** αποτελούν εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας και ταυτοχρόνως διαθέτουν το υψηλότερο επίπεδο υβριδοποίησης. Πρόκειται για πλήρως υβριδικά οχήματα τα οποία εξακολουθούν να διαθέτουν θερμικό κινητήρα μειωμένου μεγέθους, μεγαλύτερο ηλεκτροκινητήρα και συσσωρευτή για εκτεταμένη αμιγώς ηλεκτρική κίνηση. Επιπρόσθετα, η ηλεκτρική ενέργεια στα συγκεκριμένα οχήματα παρέχεται εκτός από το υβριδικό σύστημα και από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

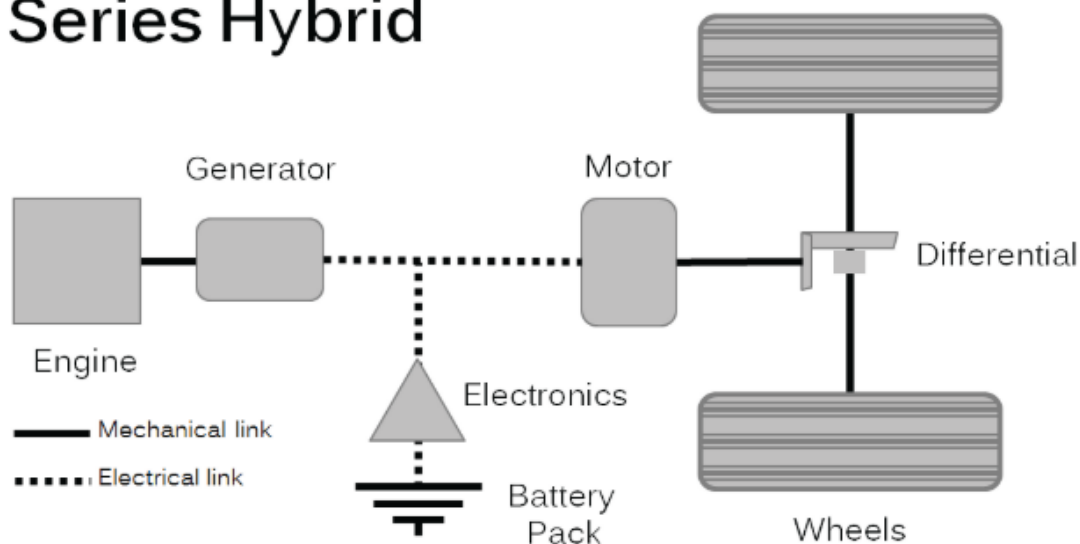
Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή έναντι των υπόλοιπων οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας συνοψίζονται στην ικανότητά τους να καλύπτουν σημαντικές αποστάσεις με αμιγώς ηλεκτρική ενέργεια κάτι το οποίο παρέχει ακόμα μεγαλύτερη μείωση τόσο στην κατανάλωση υγρών καυσίμων όσο και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Συγκρινόμενα με τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να πραγματοποιούν μετακινήσεις χωρίς περιορισμό αυτονομίας και χωρίς να απαιτούνται εγκαταστάσεις κοινόχρηστων δικτύων φόρτισης διότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν τα συμβατικά πρατήρια καυσίμων για ανεφοδιασμό.

Αντιθέτως, το κύριο μειονέκτημα των συγκεκριμένων οχημάτων είναι το κόστος. Για να έχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε πλήρη ηλεκτρική λειτουργία, απαιτούν όχι μόνο έναν μεγαλύτερο συσσωρευτή, αλλά και μεγαλύτερο ηλεκτροκινητήρα. Ταυτοχρόνως η

παρουσία του θερμικού κινητήρα μαζί με όλα τα παραπάνω εξηγεί το ιδιαίτερα υψηλό κόστος αγοράς των συγκεκριμένων οχημάτων.

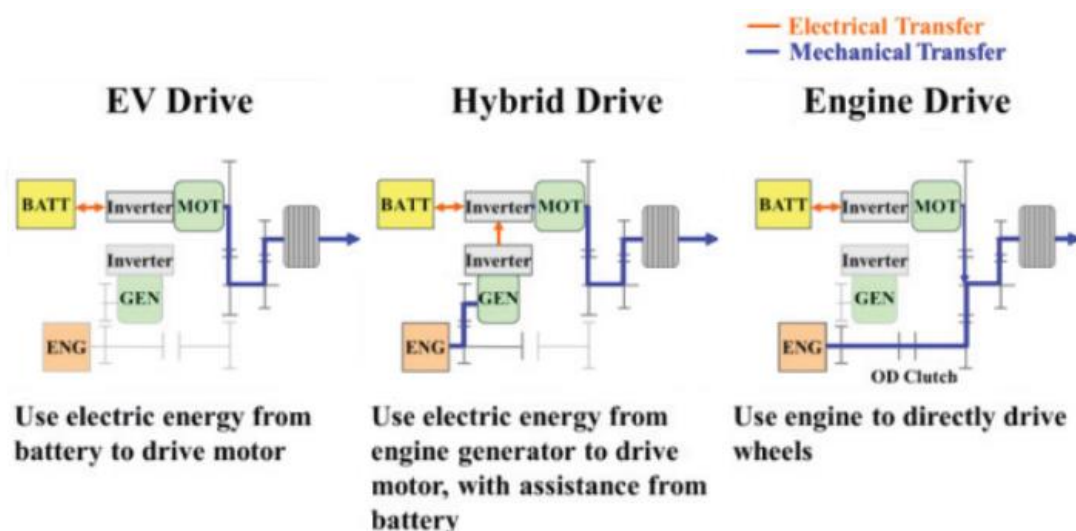
Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούνται στα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή είναι το σειριακό και το μικτό, και παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στα πλήρως υβριδικά οχήματα. Όπως σχηματικά παρουσιάζεται στο **Σχήμα 2.5** στα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή, ο θερμικός κινητήρας φορτίζει την μπαταρία μέσω ενός εναλλάκτη. Η μπαταρία τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα που παρέχει κίνηση στο όχημα και ταυτόχρονα επιστρέφει ισχύ στην μπαταρία μέσω της λειτουργίας της αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking).

Series Hybrid



Σχήμα 2.5: Αρχιτεκτονική συστήματος σειριακής υβριδικής μετάδοσης κίνησης οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή (National Research Council, 2015).

Εκτός από το απλό σειριακό σύστημα συναντάται και το σειριακό Two-Motor (2M), το οποίο αναπαρίσταται στο **Σχήμα 2.6** και αποτελεί μια εναλλακτική αρχιτεκτονική που συναντάται στα υβριδικά οχήματα της Honda. Τέλος, στα μεικτά συστήματα μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούνται στα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή δεν εντοπίζονται διαφορές σε σχέση με τα αντίστοιχα μικτά των πλήρως υβριδικών οχημάτων.



Σχήμα 2.6: Αρχιτεκτονική συστήματος σειριακής υβριδικής μετάδοσης κίνησης Two-Motor (2M) οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή που έχει αναπτυχθεί από την Honda (Higuchi et al., 2013).

Τα **Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended Range Electric Vehicles – E-REV)** αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη μετάβαση από τις υβριδικές λύσεις στην αμιγώς ηλεκτροκίνηση. Η διαφορά τους από τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα έγκειται στο ότι η μονάδα του θερμικού κινητήρα που διαθέτουν δεν συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος και, επομένως, δεν σχετίζεται καθόλου με την κίνησή του. Το όχημα κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα που σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πάντοτε ηλεκτρική όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά οχήματα. Η θερμική μονάδα αξιοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να επαναφορτίσει την μπαταρία όταν έχει φτάσει στο κατώτατο όριο.

Στα **Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV)** τα υπάρχοντα ενεργειακά στοιχεία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα και τη φόρτιση του συσσωρευτή εξισορρόπησής τους. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο ή υδρογονάνθρακες (όπως μεθανόλη, φυσικό αέριο, κλπ.) τα οποία αποθηκεύονται σε ειδική δεξαμενή ή ακόμα μπορεί να παράγονται επί των οχημάτων ενώ το απαραίτητο οξυγόνο απορροφάτε από την ατμόσφαιρα. Τα FCEV εκπέμπουν στο περιβάλλον μόνο υδρατμούς. Η πηγή ισχύος είναι μια κυψέλη καυσίμου που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ένα καύσιμο

όπως το υδρογόνο, είτε για να φορτίσει μια μπαταρία είτε για να κινηθεί ένας κινητήρας για να τροφοδοτήσει τους τροχούς.

Τέλος τα **Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEV)** είναι η επιτομή της ηλεκτροκίνησης και επιτυγχάνουν μετακινήσεις με μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων CO₂, αφού η κίνησή τους στηρίζεται αποκλειστικά στην ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές. Εμπόδια για την επικράτηση των συγκεκριμένων οχημάτων στην αγορά αποτελούν κυρίως το κόστος των συσσωρευτών, ο χρόνος επαναφόρτισης τους, η περιορισμένη αυτονομία τους και η ανάγκη ανάπτυξης εκτενούς δικτύου φορτιστών. Από την άλλη τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν ως προς την οικονομία χρήσης και την βελτίωση του επιπέδου ζωής λόγω των μηδενικών εκπομπών αερίων και της σχεδόν μηδενικής ηχορύπανσης που παράγουν καθιστούν τα συγκεκριμένα οχήματα μια ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή.

2.3 Μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας

Η προσέγγιση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) ορίζεται ως ένα εργαλείο για την πραγματοποίηση αγορών, το οποίο στοχεύει στον υπολογισμό του πραγματικού κόστους αγοράς και χρήσης ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας (Ellram & Siferd, 1998). Το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας είναι μια πολύ χρήσιμη προσέγγιση τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις επιχειρήσεις για την εκτίμηση του άμεσου κόστους αγοράς και του μακροπρόθεσμου κόστους που σχετίζεται με μια αγορά λαμβάνοντας υπόψη κόστη όπως επισκευής, συντήρησης κτλ. (Ellram, 1995). Η αξία της μεθόδου είναι ιδιαίτερη, καθώς η τιμή αγοράς των περισσότερων αγαθών δεν είναι το μοναδικό κόστος που σχετίζεται με τη χρήση και την ιδιοκτησία τους. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά η Ellram, 1994 μέσω αρκετών παραδειγμάτων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις το χαμηλό κόστος δεν συνδυάζεται με τη χαμηλή τιμή. Οι Degraeve & Roodhooft, 1999 διατυπώνουν έναν αρκετά παρόμοιο ορισμό χαρακτηρίζοντας τη μεθοδολογία του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας ως μια διαδικασία που ποσοτικοποιεί όλα τα κόστη που σχετίζονται με την αγοραστική διαδικασία σε όλη την διάρκεια χρήσης ενός αγαθού ή υπηρεσίας.

Παραδοσιακά, οι μεγάλοι οργανισμοί έχουν χρησιμοποιήσει ως επί το πλείστον προσεγγίσεις Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας, καθώς αποτελεί μια διαδικασία που απαιτεί σημαντική προσπάθεια και μεγάλο όγκο δεδομένων χαρακτηριστικά που την καθιστούν μια

ιδιαίτερα δύσκολη μεθοδολογία για μικρούς οργανισμούς και για μεμονωμένους καταναλωτές.

2.4 Μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας κατά τη διαδικασία αγοράς ενός οχήματος

Προκειμένου να κατανοήσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι σημαντικό να διερευνηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των καταναλωτών, και πιο συγκεκριμένα στην συγκεκριμένη περίπτωση των υποψήφιων αγοραστών ενός επιβατικού οχήματος. Πλέον έχει καταστεί σαφές ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν πρέπει να ξεπεράσουν μόνο τις τεχνολογικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν, αλλά και εκείνες που σχετίζονται με την αποδοχή τους από τους καταναλωτές, προκειμένου να επιτύχουν την εμπορική τους επικράτηση. Επομένως, η αναζήτηση μελετών που εξετάζουν τους παράγοντες που επηρεάζουν τις αποφάσεις των καταναλωτών κρίνεται αναγκαία και πραγματοποιείται στη συνέχεια.

Οι Berkeley et al. 2017 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Multi - Level Perspective (MLP) για τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση διαπίστωσαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα ως ένα προϊόν που επιδιώκει να αλλάξει τα δεδομένα σε ένα παγιωμένο καθεστώς, αυτό των συμβατικών οχημάτων, αντιμετωπίζουν σημαντικά εμπόδια. Το υψηλό κόστος αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος συγκρινόμενο με το αντίστοιχο ενός συμβατικού αποτελεί ίσως το βασικότερο εμπόδιο για τη μετάβαση αυτή σύμφωνα με τους συγγραφείς.

Σε μια διαφορετική προσέγγιση οι Jensen et al. 2013 διερεύνησαν την επιρροή της εμπειρίας χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος ως προς τις προτιμήσεις των χρηστών και προσπάθησαν να εξηγήσουν την τελική επιλογή μεταξύ ηλεκτρικού και συμβατικού οχήματος χρησιμοποιώντας δεδομένα πριν και μετά την εμπειρία χρήσης. Μέσω της ανάλυσης που πραγματοποίησαν διαπίστωναν ότι τόσο η τιμή αγοράς, όσο και η κατηγορία του οχήματος διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στην τελική επιλογή. Επιπλέον, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχει εξάρτηση μεταξύ αυτών των δύο παραγόντων, και πιο συγκεκριμένα ότι οι αγοραστές μικρότερων σε μέγεθος οχημάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς την τιμή αγοράς. Οι Egbue and Long 2012 προσεγγίζοντας το ζήτημα της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση μέσω της κοινωνικής και της τεχνολογικής σκοπιάς διερεύνησαν την αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων με δεδομένα που συνέλεξαν μέσω έρευνας ερωτηματολογίου. Και η συγκεκριμένη μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα

ότι όσο η τιμή αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει υψηλή και η τιμή των καυσίμων δεν αυξάνεται σημαντικά, το μερίδιο αγοράς τους δεν θα αυξηθεί σημαντικά.

Η εργασία των Lane and Potter 2007 συνοψίζει τα ευρήματα δύο ερευνητικών προγραμμάτων, σκοπός των οποίων αποτέλεσε η διερεύνηση των περιορισμών που συναντώνται ως προς την υιοθέτηση οχημάτων χαμηλών ρύπων στο Ηνωμένο Βασίλειο. Εστιάζοντας στην αποδοχή αυτών των οχημάτων βρέθηκε ότι η υψηλή τιμή αγοράς που τα συνοδεύει συχνά λειτουργεί ως σημαντικό εμπόδιο για την υιοθέτησή τους. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Carley et al. 2013 υποστηρίζοντας ότι τα τρία βασικά μειονεκτήματα για τους πιθανούς αγοραστές ηλεκτρικών οχημάτων είναι η υψηλή τιμή αγοράς, ο χρόνος φόρτισης και η περιορισμένη αυτονομία. Η τιμή αγοράς αποτελεί το σημαντικότερο εμπόδιο στην απόφασή αγοράς, ενώ ο χρόνος φόρτισης θεωρείται ως το λιγότερο σημαντικό πρόβλημα. Τέλος, οι Graham-Rowe et al. 2012 σε μια προσπάθεια να αξιολογήσουν τη στάση του μέσου οδηγού ως προς τα ηλεκτρικά οχήματα, σε αντίθεση με τις περισσότερες αντίστοιχες παλαιότερες μελέτες που επικεντρωνόντουσαν κυρίως στους πρώιμους αγοραστές (early adopters), εντόπισαν έξι βασικές κατηγορίες παραγόντων για τις οποίες οι οδηγοί παρουσίαζαν ανησυχίες. Και πάλι το κόστος αγοράς και χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος, αλλά και οι αβεβαιότητες που αυτά τα μεγέθη παρουσιάζουν σε μελλοντικό επίπεδο, βρίσκονταν ανάμεσα σε αυτές τις κατηγορίες.

Όπως φαίνεται από τη συνοπτική βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω σχετικά με τα εμπόδια που αντιμετωπίζει η διάδοση της ηλεκτροκίνησης, κοινή διαπίστωση αποτελεί ότι η υψηλότερη τιμή αγοράς που παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά λειτουργεί αποτρεπτικά για τους δυνητικούς αγοραστές. Επομένως, ο παράγοντας του κόστους αποτελεί μια από τις πιο κρίσιμες προτεραιότητες που θέτουν οι καταναλωτές κατά τη διαδικασία αγοράς ενός επιβατικού οχήματος γεγονός που καθιστά την προσεκτική μελέτη του παράγοντα κόστους κομβική για την κατανόηση των τάσεων της αγοράς, την ορθή χάραξη πολιτικής και την σωστή πληροφόρηση των καταναλωτών.

Στο πλαίσιο αυτό η προσέγγιση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας είναι ενδεδειγμένη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το πραγματικό κόστος αγοράς και χρήσης ενός οχήματος, αφού εκτός από το κόστος αγοράς συμπεριλαμβάνει και το λειτουργικό κόστος. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, όπως θα φανεί από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που ακολουθεί στο επόμενο μέρος του κεφαλαίου, έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες για τη σύγκριση του κόστους μεταξύ οχημάτων διαφορετικών τεχνολογιών.

2.5 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση: Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) οχημάτων

2.5.1 Γενικά

Οι Delucchi and Lipman (2001,2006) ήταν μεταξύ των πρώτων που χρησιμοποίησαν τεχνικοοικονομικές παραμέτρους για να καθορίσουν το κόστος κύκλου ζωής οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Κάθε μία από τις μελέτες τους επικεντρώθηκε στον υπολογισμό του κόστους για το αντίστοιχο έτος που πραγματοποιήθηκε, εστιάζοντας σε μια συγκεκριμένη τεχνολογία οχήματος και μελετώντας χαρακτηριστικά μοντέλα αναφοράς.

Πιο συγκεκριμένα, οι Delucchi and Lipman 2001 ανέπτυξαν ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψιν την απόδοση του οχήματος, την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος κατασκευής, το κόστος πώλησης και το κόστος κύκλου ζωής ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με αντίστοιχα συμβατικά οχήματα. Τα συμπεράσματα της μελέτης επικεντρώθηκαν στη σημαντικότητα του κόστους των συσσωρευτών, αφού αποτελεί τον κρισιμότερο παράγοντα στην ανάλυση κόστους κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με τους συγγραφείς. Προκειμένου τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά με τα αντίστοιχα συμβατικά βενζινοκίνητα, οι συσσωρευτές πρέπει να έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, από τους πιο αποδοτικούς που προσομοιώθηκαν στη συγκεκριμένη ανάλυση. Η μείωση του κόστους κατασκευής στα \$100/kWh ή και λιγότερο, και επιπλέον η επίτευξη ενεργειακής απόδοσης περίπου 100 Wh/kg κρίνονται ιδιαίτερα σημαντικές βελτιώσεις, ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να είναι ανταγωνιστικά και εν δυνάμει αντικαταστάτες των συμβατικών. Τέλος, οι συγγραφείς καταλήγουν ότι με βάση την ανάλυσή που πραγματοποιήθηκε, φαίνεται ότι την δεδομένη χρονική στιγμή τα υβριδικά οχήματα και τα οχήματα κυψελών καυσίμου φαίνεται να είναι καταλληλότεροι αντικαταστάτες των συμβατικών οχημάτων.

Στη μεταγενέστερη μελέτη των Lipman and Delucchi 2006 αναλύονται το κόστος κατασκευής, πώλησης και κύκλου ζωής διαφόρων τεχνολογιών υβριδικών οχημάτων. Σε αντίθεση με την προηγούμενη δημοσίευση των συγγραφέων, στη συγκεκριμένη λαμβάνεται υπόψιν και το κοινωνικό κόστος (social cost) των υβριδικών οχημάτων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Η εξέταση αυτής της διάστασης του κόστους πραγματοποιείται προκειμένου να ερευνηθούν πιθανά κοινωνικά οφέλη που δικαιολογούν τη διαφορά κόστους μεταξύ υβριδικού και συμβατικού οχήματος που μπορεί να επιβαρύνει τον καταναλωτή ή τον παραγωγό. Το κοινωνικό κόστος διαφόρων τεχνολογιών οχημάτων είναι ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο χάραξης πολιτικής, αφού η παροχή οικονομικών

προνομίων που αποσκοπούν στην εσωτερίκευση του κοινωνικού κόστους καθιστούν ελκυστική την αγορά οχημάτων για τον καταναλωτή. Αναλύοντας διαφορετικά οχήματα και διαφορετικούς βαθμούς υβριδοποίησης η τελική διαφορά κόστους αγοράς που καλούνται να καλύψουν οι καταναλωτές κυμαίνεται από \$2.543 έως και \$6.694. Σύμφωνα με τις διάφορες υποθέσεις και εκτιμήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη ανάλυση, φαίνεται ότι οι βελτιώσεις του οχήματος σε συνδυασμό με έναν ήπιο βαθμό υβριδοποίησης παρέχει την οικονομικότερη λύση από τις διαφορετικές επιλογές υβριδικών οχημάτων, αφού η συγκεκριμένη διαμόρφωση έχει παρόμοιο κόστος κύκλου ζωής με τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα. Ωστόσο, στην περίπτωση που το κόστος των ορυκτών καυσίμων αυξηθεί τότε διαμορφώσεις που προσφέρουν μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου θα αποτελούν εξίσου ελκυστικές επιλογές. Τέλος, συμπεριλαμβάνοντας τα κοινωνικά κόστη προκαλείται μια επιπλέον μείωση του κόστους για τα υβριδικά οχήματα καθιστώντας τα πιο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα βενζινοκίνητα, αφού ορισμένες υβριδικές διαμορφώσεις που φαίνονται “οριακές” υπό το πρίσμα του καταναλωτή καθίστανται ελκυστικές όταν αντιμετωπίζονται ολιστικά συμπεριλαμβάνοντας και την κοινωνική διάσταση του κόστους.

Από τότε έχουν δημοσιευτεί αρκετές αντίστοιχες μελέτες με τον κύριο όγκο τους να συναντάται μετά το 2010, ένα έτος ορόσημο για την ηλεκτροκίνηση αφού αρκετοί κατασκευαστές άρχισαν να ανακοινώνουν την παραγωγή ηλεκτρικών μοντέλων την χρονιά εκείνη.

Παρότι στις δύο παραπάνω πρωτοποριακές μελέτες δεν χρησιμοποιείται ο όρος του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership - TCO), αλλά γίνεται χρήση του Κόστους Κύκλου Ζωής (Life Cycle Cost – LCC), πρόκειται ουσιαστικά για την ίδια τεχνοοικονομική προσέγγιση υπολογισμού του συνολικού κόστους αγοράς και χρήσης ενός οχήματος. Όπως φάνηκε από τις αναλύσεις των Delucchi and Lipman (2001,2006) υπήρξαν διαφορετικές προσεγγίσεις ανάμεσα στις δύο δημοσιεύσεις σε ότι αφορά τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά κόστη, καθώς στην πρώτη απουσίαζαν από τους υπολογισμούς ενώ στη δεύτερη συμπεριλήφθηκαν επηρεάζοντας τα τελικά αποτελέσματα. Η διαφοροποίηση των μελετών ως προς την παράμετρο του κοινωνικού - περιβαλλοντικού κόστους συνεχίζεται μέχρι και σήμερα όπως θα φανεί από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που θα ακολουθήσει, δημιουργώντας την ανάγκη κατηγοριοποίησης των δημοσιεύσεων.

Όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά οι Lebeau et al. 2013 οι αναλύσεις Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις μελέτες που είναι προσανατολισμένες προς τον καταναλωτή και εκείνες που είναι προσανατολισμένες προς την κοινωνία. Στην πρώτη κατηγορία, εξετάζεται το κόστος υπό το πρίσμα των

καταναλωτών συγκρίνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων. Αντίθετα η δεύτερη κατηγορία μελετών που προσανατολίζεται στην κοινωνία έχει ευρύτερο πεδίο εφαρμογής, αφού παράλληλα με το κόστος που επιβαρύνει τους καταναλωτές, περιλαμβάνονται και κοινωνικά κόστη. Τα κόστη αυτά προκύπτουν από παράγοντες όπως οι εκπομπές, η ηχορύπανση κ.α., και προσφέρουν μια γενικότερη αξιολόγηση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Τη συγκεκριμένη διαφοροποίηση χρησιμοποιούν και οι Letmathe and Soares 2017, αφού υποστηρίζουν ότι το μοντέλο Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων μπορεί να εφαρμοστεί με δύο προσεγγίσεις αυτή του καταναλωτή (consumer orientated - TCOc) ή αυτή της κοινωνία (society orientated - TCOs). Τέλος οι Lin et al. 2013 χρησιμοποιούν τον όρο του Κόστους Κύκλου Ζωής προσανατολισμένου προς τον καταναλωτή (Life Cycle Private Cost - LCPC) και κατ' αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζουν έμμεσα τη σημασία διάκρισης του μοντέλου.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαφοροποίηση, θα πραγματοποιηθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των σημαντικότερων μελετών που δημοσιεύτηκαν χρονικά μετά από τις πρωτοποριακές μελέτες των Delucchi and Lipman.

2.5.2 Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων με κοινωνικό προσανατολισμό

Οι Thiel et al. 2010 συνέκριναν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με τη μέθοδο well-to-wheel, το κόστος αγοράς και το κόστος μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής αγοράς για τα έτη 2010, 2020 και 2030. Ως μέθοδος “well-to-wheel: από το διυλιστήριο στον τροχό” νοείται το άθροισμα του αντικτύπου της παρασκευής καυσίμου (well-to-tank: από το διυλιστήριο στη δεξαμενή) και του αντικτύπου της χρήσης του οχήματος (tank-to-wheel: από τη δεξαμενή στον τροχό). Οι συγγραφείς συγκρίνοντας θεωρητικά οχήματα (conceptual vehicles) και συμπεριλαμβάνοντας ένα μοναδικό μοντέλο αναφοράς (single reference model) για κάθε τεχνολογία που αξιολογήθηκε, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ηλεκτροκίνηση προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη και ανταγωνιστικά κόστη μείωσης των εκπομπών, όταν υποστηρίζεται από ταυτόχρονη παραγωγή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας με καθαρότερο ενεργειακό μείγμα. Παρότι κατά την εφαρμογή του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας συμπεριλήφθησαν μόνο το κόστος αγοράς του οχήματος και το κόστος καυσίμων (ηλεκτρικής ενέργειας ή ορυκτών καύσιμων) και δεν χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι όπως η συντήρηση του οχήματος, το κόστος ασφάλισης κ.α., υποστήριξαν ότι ο

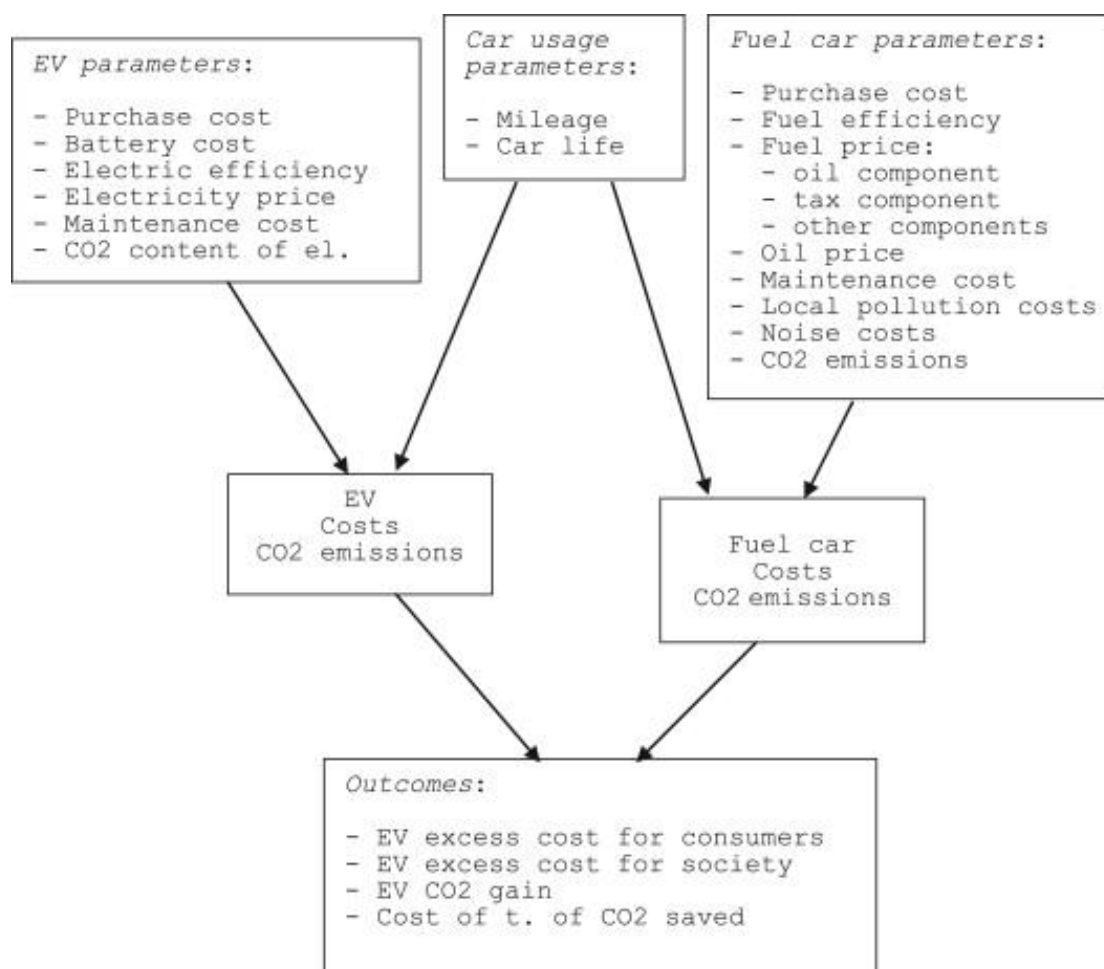
παράγοντας του κόστους αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα για τα οχήματα που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Το χάσμα στο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας περιορίζεται στο μέλλον και προβλέπεται ότι το 2030 θα έχει εξαλειφθεί, με τη βοήθεια στοχευμένης πολιτικής επιδοτήσεων αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων.

Το επόμενο έτος οι Alex Stewart and Craig Douglas 2011 δημοσίευσαν μια εκτενή μελέτη που περιλάμβανε προβλέψεις μέχρι και το 2030 για την αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου και αποτελεί την πρώτη μελέτη που προσεγγίζει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας μέσω ενός πιθανολογικού μοντέλου. Ακολουθώντας μια διαδικασία πρόβλεψης των μελλοντικών οικονομικών και τεχνολογικών παραμέτρων οχημάτων διαφόρων τεχνολογιών καυσίμου, οι συγγραφείς δημιούργησαν κατανομές για κάθε παράμετρο του μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Εκτός από το κόστος αγοράς του οχήματος χρησιμοποιήθηκε το κόστος καυσίμου, ασφάλισης, συντήρησης και οι αποσβέσεις, αναπτύσσοντας ένα αρκετά αναλυτικό μοντέλο λόγω της πληρότητας παραμέτρων. Η ανάλυση των εκάστοτε παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Μόντε Κάρλο προκειμένου να προκύψει η κατανομή του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας κάθε οχήματος συμπεριλαμβάνοντας ταυτοχρόνως και τις αβεβαιότητες των παραμέτρων ώστε να προκύψουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Καταλήγοντας στα συμπεράσματα που προέκυψαν από το μοντέλο που αναλύθηκε παραπάνω, οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι κατά το χρονικό ορίζοντα της μελέτης τα συμβατικά και υβριδικά οχήματα διατηρούν το χαμηλότερο κόστος προς τον καταναλωτή. Επιπλέον, αυτές οι δύο τεχνολογίες οχημάτων παρουσιάζουν μικρότερη αβεβαιότητα αποτελεσμάτων σε σχέση με τα υπόλοιπα οχήματα, όπου οι αβεβαιότητες αυξάνονται αρκετά με χαρακτηριστικό παράδειγμα το ηλεκτρικό όχημα το οποίο επηρεάζεται έντονα από τις προβλέψεις κόστους των συσσωρευτών. Το κόστος χρήσης των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά συρρικνώνεται συνεχώς και περιορίζεται σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τη δεκαετία 2020-2030 στη πλειοψηφία των σεναρίων που εξετάστηκαν. Παρόλα αυτά, τα συμβατικά οχήματα αποτελούν την πιο οικονομική επιλογή μέχρι και το 2030 και είναι πιθανό τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων να απαιτούν συνεχή οικονομική ενίσχυση μέχρι τότε ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς στο μέλλον. Τέλος, στο σκέλος της περιβαλλοντικής επίδοσης των οχημάτων προέκυψαν αρκετά ενδιαφέροντα αποτελέσματα καθώς η τεχνολογία οχημάτων που προσφέρει την οικονομικά αποδοτικότερη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποδείχθηκαν τα Οχήματα Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV).

Στη μεταγενέστερη μελέτη των Prud'homme and Koning 2012 αναπτύσσεται ένα μοντέλο για να εκτιμηθεί η διαφορά κόστους ενός ηλεκτρικού οχήματος, σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβατικό, τόσο για τον καταναλωτή όσο και για την κοινωνία, συμπεριλαμβάνοντας και υπολογισμούς για τα οφέλη ως προς τις εκπομπές διοξειδίου το άνθρακα.

Όπως φαίνεται και από την παρακάτω διαγραμματική απεικόνιση στο **Σχήμα 2.7** το μοντέλο συμπεριλαμβάνει παραμέτρους όπως το κόστος αγοράς, το κόστος της μπαταρίας, η κατανάλωση, η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και των ορυκτών καυσίμων, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας για την περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων και κατά την κίνηση για την περίπτωση των συμβατικών, το τοπικό κόστος της ρύπανσης που προκαλούν τα συμβατικά οχήματα, καθώς και τη διάρκεια χρήσης του οχήματος και τα διανυθέντα χιλιόμετρα.



Σχήμα 2.7: Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Prud'homme and Koning 2012).

Τα αποτελέσματα της παραπάνω προσέγγισης κατέδειξαν μια διαφορά κόστους που υπερβαίνει κατά πολύ τα 10.000 ευρώ μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων σε

συνδυασμό με μικρά οφέλη ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι αναλύσεις ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκαν δε φάνηκε να επηρεάζουν σε τέτοιο βαθμό τα αποτελέσματα ώστε να εξαλείψουν τη διαφορά κόστους που προέκυψε από τους αρχικούς υπολογισμούς ή να αυξήσουν τις ωφέλειες ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα της συγκεκριμένης μελέτης δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ενθαρρυντικά για την επικράτηση του ηλεκτρικού οχήματος, αφού κατά τη διάρκεια ζωής του θα κοστίσει περίπου 12.000 ευρώ περισσότερο στον καταναλωτή, και 15.000 ευρώ περισσότερο στην κοινωνία. Τέλος, το κέρδος εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ενός ηλεκτρικού οχήματος θα είναι περίπου 8 τόνοι στο συνολικό διάστημα ιδιοκτησίας, το οποίο μεταφράζεται σε κόστος εξοικονόμησης ενός τόνου διοξειδίου του άνθρακα ίσο με 2.500 ευρώ κάτι το οποίο αποτελεί σύμφωνα με τους συγγραφείς έναν ιδιαίτερα δαπανηρό τρόπος μείωσης των εκπομπών.

Στα ίδια πλαίσια κινήθηκε και η δημοσίευση των Tseng et al. 2013 συγκρίνοντας τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων με αυτά των συμβατικών για την αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών. Μια ανάλυση κόστους κύκλου ζωής χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, της κατανάλωσης ενέργειας και της μείωσης των εκπομπών. Η μελέτη υπογράμμισε τη σπουδαιότητα της εφαρμογής φορολογικών κινήτρων για τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων προκειμένου να αντιμετωπιστεί η διαφορά κόστους. Χωρίς την εφαρμογή οικονομικών πρωτοβουλιών, μόνο τα υβριδικά οχήματα παρουσιάζουν συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ισοδύναμο με εκείνο του συμβατικού οχήματος. Αντίθετα με την εφαρμογή φορολογικών ελαφρύνσεων, τα ηλεκτρικά οχήματα γίνονται οικονομικά προσιτά επιτυγχάνοντας παρόμοιο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας σε σύγκριση με συμβατικά οχήματα και είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον λόγω των χαμηλότερων εκπομπών που προσφέρουν. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας αποκάλυψαν ότι η αύξηση των χιλιομέτρων που διανύονται κάθε έτος ή η αύξηση των ετών χρήσης του οχήματος επιφέρουν σημαντική μείωση του κόστους ιδιοκτησίας.

Η δημοσίευση των Rusich and Danielis 2015 υπολογίζει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, το κοινωνικό κόστος και την κατανάλωση καυσίμου για περισσότερα από 50 οχήματα διαφόρων τεχνολογιών καυσίμου που ήταν διαθέσιμοι στην Ιταλία το 2013. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν ήταν παρόμοια με τις προηγούμενες δημοσιεύσεις, αφού και σε αυτή την περίπτωση τα οχήματα που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα διαπιστώθηκε ότι έχουν το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ενώ τόσο τα ηλεκτρικά οχήματα όσο και τα υβριδικά παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος ιδιοκτησίας. Αντιθέτως, το

κοινωνικό κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων είναι το χαμηλότερο, χάρη όχι μόνο στις μηδενικές εκπομπές ρύπων που παράγουν κατά τη λειτουργία τους, αλλά και στις μειωμένες εκπομπές θορύβου. Από την προσομοίωση για διάφορα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι το κόστος των ηλεκτρικών οχημάτων βελτιώνεται σημαντικά όταν αυξάνονται τα ετήσια χιλιόμετρα, περιλαμβάνονται οικονομικά κίνητρα και ταυτοχρόνως μειώνεται το κόστος των συσσωρευτών. Στα πλαίσια της προσομοίωσης διαπιστώθηκε ότι τα ηλεκτρικά οχήματα γίνονται ανταγωνιστικά όταν η ετήσια απόσταση που διανύουν ξεπερνά τα 20.000 χιλιόμετρα και μόνο μια κοινή συρρίκνωση της τιμής του συσσωρευτή στα 240 €/kWh και η εισαγωγή επιδότησης θα καθιστούσε τα συγκεκριμένα οχήματα ανταγωνιστικά σύμφωνα με τις συνήθειες των καταναλωτών. Τέλος και σε αυτή τη περίπτωση οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι η παροχή επιδότησης είναι συγκριτικά η πιο αποτελεσματική στρατηγική.

Οι Bubeck et al. 2016 ανέλυσαν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας οχημάτων για τη Γερμανική αγορά διενεργώντας εκτιμήσεις έως και το 2050. Οι συγγραφείς μελέτησαν διαφορετικές κατηγορίες μεγέθους οχημάτων, κατηγορίες χρηστών ως προς τα ετήσια χιλιόμετρα που διανύουν και τεχνολογίες οχημάτων. Σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγοριοποιήσεις που δημιούργησαν προσέγγισαν το ζήτημα κόστους πιο στοχευμένα και για μεγαλύτερο μέρος της αγοράς και κατέληξαν σε συμπεράσματα που προσφέρουν χρήσιμες εξατομικευμένες πληροφορίες. Έκτος από το κόστος προς τον καταναλωτή υπολογίστηκε το κόστος μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προσφέρει η κάθε τεχνολογία οχημάτων και πραγματοποιήθηκε ανάλυση των επιδοτήσεων που παρέχονται για την ώθηση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων. Τα αποτελέσματα και σε αυτή την περίπτωση κινήθηκαν όπως και στις προηγούμενες μελέτες, αφού φάνηκε ότι χωρίς επιδοτήσεις μόνο τα πλήρως και ήπια υβριδικά οχήματα είναι οικονομικά ανταγωνιστικά για ένα ευρύ φάσμα κατηγοριών μεγέθους οχημάτων και χρηστών, ενώ για να αποτελούν εξίσου ανταγωνιστική λύση τα ηλεκτρικά οχήματα, τα οικονομικά προνόμια που απαιτούνται κυμαίνονται από 8.600€ έως 32.400€. Μελλοντικά οι εκτιμήσεις κόστους κατέδειξαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα καθίστανται οικονομικά βιώσιμα από το 2030 και για τις περισσότερες από τις κατηγορίες που διερευνήθηκαν. Αυτή η πρόβλεψη βασίζεται στο ότι αναμένονται σημαντικές μειώσεις του κόστους και τεχνολογικές εξελίξεις των συσσωρευτών. Κατά συνέπεια, έως το 2030, η ηλεκτροκίνηση καθίσταται οικονομικά βιώσιμη για τις περισσότερες κατηγορίες οχημάτων και χρηστών που διανύουν συγκριτικά αρκετά χιλιόμετρα ετησίως, προσφέροντας ταυτοχρόνως σημαντικά οφέλη μείωσης εκπομπών

διοξειδίου του άνθρακα. Τέλος για το 2050, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν την οικονομικά ανταγωνιστικότερη λύση για όλες τις κατηγορίες.

Οι Mitropoulos et al. 2017 ανέπτυξαν μια μεθοδολογία κόστους κύκλου ζωής για διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων. Στη μεθοδολογία συμπεριλαμβάνεται τόσο το έμμεσο κόστος των εκπομπών και της απώλειας χρόνου, όσο και το άμεσο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας που επιβαρύνει τους χρήστες για τρία αντιπροσωπευτικά οχήματα. Στα πλαίσια της μελέτης γίνεται αναλυτικός υπολογισμός των ρύπων που παράγονται κατά τον κύκλο ζωής και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κάθε οχήματος. Τα υβριδικά οχήματα και σε αυτή τη μελέτη έχουν το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας καθιστώντας τα μια ιδιαίτερα αποδοτική και συμφέρουσα μεταβατική τεχνολογία προς την ηλεκτροκίνηση. Αντιθέτως, τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων αντισταθμίστηκαν από το υψηλό κόστος αγοράς. Συνοψίζοντας, οι συγγραφείς προτείνουν ότι οι πολιτικές που εφαρμόζονται θα πρέπει να είναι δυναμικές και να επικεντρωθούν στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των οχημάτων και στη μείωση της τιμής αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων.

Πίνακας 2.1: Συνοπτική παρουσίαση των μελετών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας με κοινωνικό προσανατολισμό σε οχήματα διαφορετικών τεχνολογιών και οι χαρακτηριστικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές.

Sensitivity analysis	Future extrapolation	Societal indicators	Reference country
Yes	Yes	CO2 emissions, CO2 abatement cost	EU-27
Yes	Yes	CO2 emissions, CO2 abatement cost, Lifecycle	UK
Yes	No	CO2 emissions, CO2 abatement cost, Local pollutants, Noise	France
Yes	No	Energy, CO2, Local pollutants	USA
Yes	No	CO2, Local air pollution, noise,	Italy
Yes	Yes	CO2 emissions, CO2 abatement cost	Germany
No	No	Local air pollution, GHG, time losses	USA

Source	Powertrain technology	Vehicle class	Vehicle type
Thiel et al. (2010)	P-ICEV, D-ICEV, P-HEV, D-HEV, PHEV, BEV	Compact class	Conceptual single reference model
Douglas and Stewart (2011)	P-ICEV, HEV, REEV, BEV	A/B, C/D, E/H	Conceptual reference models
Prud' homme and Koning (2012)	D-ICEV, BEV	A/B	Single reference model
Tseng et al. (2013)	P-ICEV, HEV, PHEV, BEV	Midsize vehicles	Single reference model
Rusich and Danielis (2015)	P-ICEV, D-ICEV, P-HEV, D-HEV, BEV, LPG, CNG	Small and medium	Representative models
Bubeck et al. (2016)	P-ICEV, D-ICEV, P-HEV, D-HEV, PHEV, BEV, FCEV	Small, Compact, Medium, Executive, SUV, Minivan	Conceptual vehicle
Mitropoulos et al. (2017)	ICEV, HEV, BEV	-	Representative models

2.5.3 Η μέθοδος Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων με προσανατολισμό τον καταναλωτή

Οι Bernd Propfe et al. 2012 μελέτησαν την ανταγωνιστικότητα οχημάτων διαφόρων τεχνολογιών στη γερμανική αγορά. Οι συγγραφείς εντόπισαν ένα κενό στις δημοσιεύσεις προηγούμενων ετών ως προς τις παραμέτρους του κόστους συντήρησης και της μεταπωλητικής αξίας των οχημάτων. Πραγματοποιώντας μια εκτενή ανάλυση των δύο αυτών παραμέτρων ανέπτυξαν ένα ολοκληρωμένο μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για μια σειρά οχημάτων με διαφορετικούς βαθμούς υβριδοποίησης, συμπεριλαμβάνοντας το κόστος αγοράς, το λειτουργικό κόστος, το κόστος συντήρησης και την τιμή μεταπώλησης.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι οι διαφορές ανάμεσα στις τιμές συνολικού κόστους ιδιοκτησίας των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων σε σύγκριση με τα συμβατικά συρρικνώνονται σημαντικά έως το 2020, λόγω της μείωσης του κόστους παραγωγής, του χαμηλότερου κόστους συντήρησης και επισκευής και της υψηλότερης αξίας μεταπώλησης που θα αποκτήσουν. Η συμβατότητα της επιλογή ενός οχήματος ποικίλλει ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη και εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία ως προς τα ετήσια χιλιόμετρα όπως φάνηκε από τις αναλύσεις ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκαν. Σύμφωνα με τους

συγγραφείς τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελούν μια ελκυστική επιλογή για χρήστες που διανύουν μεγάλο αριθμό ετήσιων χιλιομέτρων, ενώ τα υβριδικά οχήματα θα καταστούν η προτιμότερη επιλογή για μεγάλη μερίδα των αγοραστών, λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας τους σε συνδυασμό με την απεριόριστη αυτονομία που προσφέρουν.

Η Elisabeth Windisch 2013 πραγματοποίησε μια ολοκληρωμένη μελέτη για την ηλεκτροκίνηση. Μελετώντας τις επιπτώσεις των πολιτικών και οικονομικών προνομίων που παρέχονται για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων αξιολόγησε την επιρροή τους στο μερίδιο αγοράς που διαθέτουν αυτά τα οχήματα και στον κρατικό προϋπολογισμό της Γαλλίας. Στα πλαίσια της παραπάνω προσέγγισης εκτός από τους κοινωνικούς παράγοντες που εξετάζονται (συμβατότητα νοικοκυριού ως προς την αγορά ηλεκτρικού οχήματος), χρησιμοποιείται και η προσέγγιση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για την διερεύνηση των οικονομικών επιδόσεων και χαρακτηριστικών των οχημάτων.

Αναγνωρίζοντας ότι ένα από τα κύρια εμπόδια για τη επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί το υψηλότερο κόστος αγοράς σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα, και λαμβάνοντας υπόψιν το σημαντικά χαμηλότερο ενεργειακό κόστος που προσφέρουν πραγματοποιήθηκε ανάλυση συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Οι υπολογισμοί κόστους που βασίζονται σε αυτή τη προσέγγιση αντιμετωπίζουν το αυξημένο κόστος αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων ορθά και δίνουν τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί μια δίκαιη σύγκριση μεταξύ των οχημάτων.

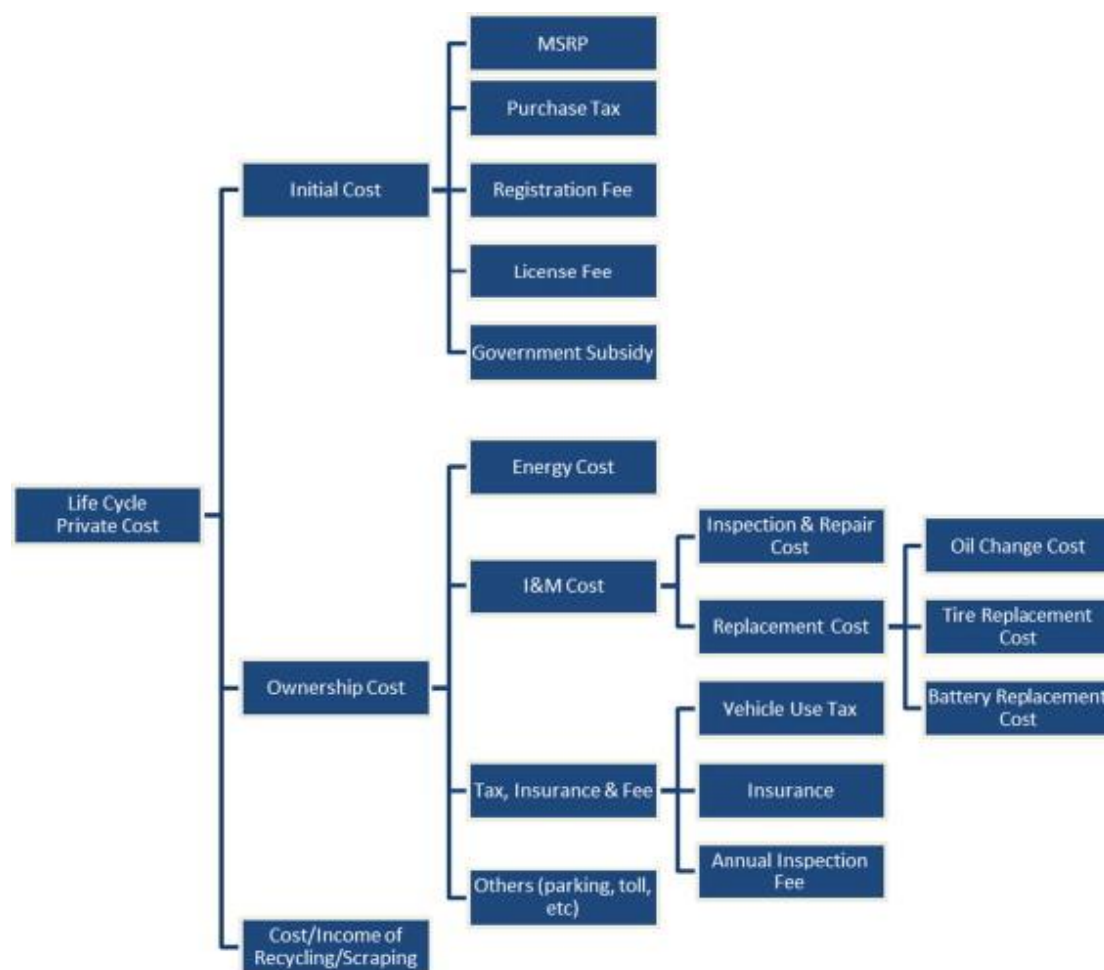
Στόχο της μελέτης αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας κατάλληλο για τους ιδιοκτήτες επιβατικών οχημάτων που κατοικούν στην περιοχή του Παρισιού (Île de France), το οποίο όμως μπορεί ταυτοχρόνως να εφαρμοστεί για ολόκληρη τη Γαλλία. Η μελέτη περιλαμβάνει συμβατικά και ηλεκτρικά οχήματα που διατίθενται στη γαλλική αγορά και χρησιμοποιούνται ως οχήματα αναφοράς. Τα ηλεκτρικά οχήματα διακρίνονται σε ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα αγοράς ή μίσθωσης του συσσωρευτή και σε Οχήματα Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV).

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης κατέδειξαν ότι ένα ηλεκτρικό όχημα είτε με μισθωμένο συσσωρευτή είτε με την επιλογή της αγοράς του συσσωρευτή παρουσιάζει ανταγωνιστικά κόστη σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα, σύμφωνα με τις υποθέσεις που πραγματοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας του ηλεκτρικού οχήματος με μισθωμένο συσσωρευτή είναι ελαφρώς χαμηλότερο από αυτό του συμβατικού οχήματος, ενώ το κόστος του ηλεκτρικού οχήματος που περιλαμβάνει την

αγορά του συσσωρευτή είναι ελαφρώς υψηλότερο. Αντιθέτως, τα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή δεν αποτελούν οικονομικά ανταγωνιστική εναλλακτική των συμβατικών οχημάτων.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ορισμένοι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα ακόμα και για τις παραμέτρους του 2012. Ωστόσο ο προβληματισμός ότι οι αυτοκινητοβιομηχανίες είναι πιθανό να διατηρούν τις τιμές των οχημάτων και των συσσωρευτών σκόπιμα σε χαμηλότερα επίπεδα προκειμένου να αυξήσουν τις πωλήσεις τους διατυπώνεται στη μελέτη. Ο συγκεκριμένος προβληματισμός έχει διατυπωθεί και από τους van Velzen et al. 2019 και αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα που θα επηρεάσει αρκετά τα κόστη και την ανταγωνιστικότητα μελλοντικά σε περίπτωση που οι παραγωγοί διαφοροποιήσουν την πολιτική που ακολουθούν στο συγκεκριμένο ζήτημα.

Το ίδιο έτος δημοσιεύτηκε η μελέτη των Lin et al. 2013, οι οποίοι ανέπτυξαν ένα μοντέλο κόστους κύκλου ζωής προκειμένου να αξιολογήσουν τις προοπτικές των υβριδικών οχημάτων σε σχέση με τα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης στα πλαίσια της Κίνα.



Σχήμα 2.8: Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου Κόστους Κύκλου Ζωής (Lin et al. 2013).

Το κόστος κύκλου ζωής του υβριδικού οχήματος που μελετήθηκε βρέθηκε υψηλότερο κατά 6% συγκρινόμενο με ένα αντίστοιχο συμβατικό. Το κόστος αγοράς καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μερίδιο στο κόστος κύκλου ζωής τόσο για τα υβριδικά όσο και για τα συμβατικά οχήματα, ενώ στη δεύτερη θέση βρίσκεται το ενεργειακό κόστος, το οποίο αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη δαπάνη.

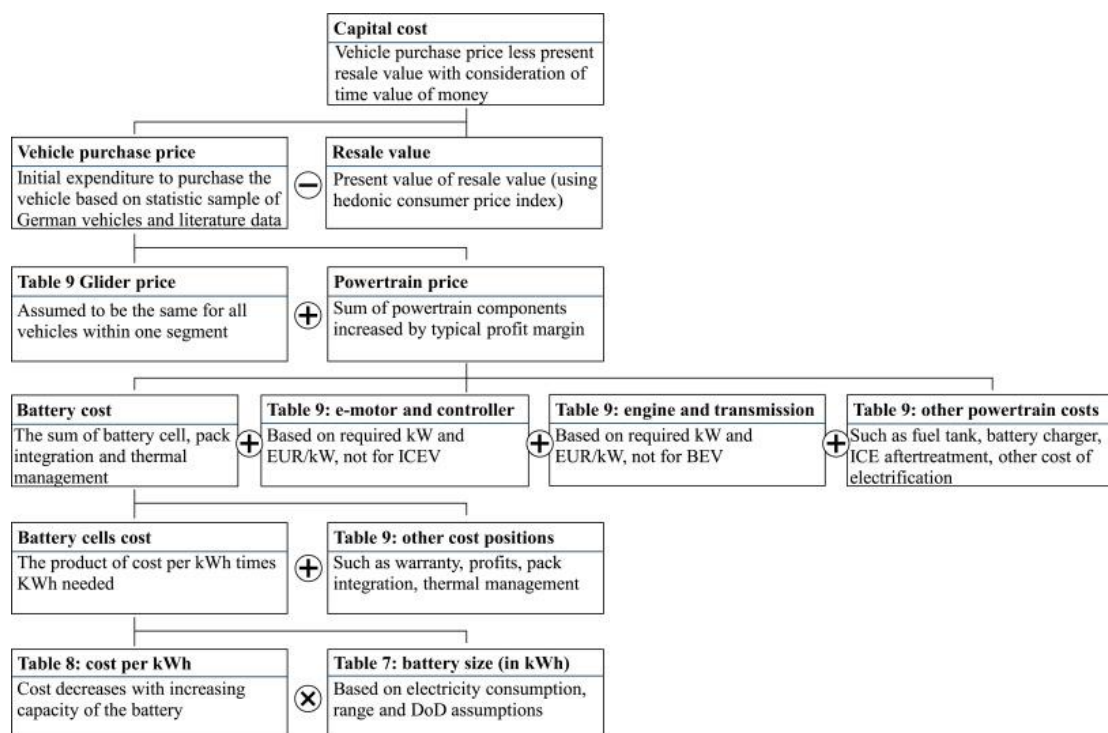
Οι συγγραφείς σημείωσαν ότι με τα προβλεπόμενα αυστηρότερα πρότυπα οικονομίας καυσίμων που θα επιβληθούν στα οχήματα στο άμεσο μέλλον και με πιθανή αύξηση των τιμών καυσίμων, η θέση των υβριδικών οχημάτων θα ισχυροποιείται συνεχώς στην κινεζική αγορά. Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην επιρροή των χιλιομέτρων που διανύονται ετησίως καθώς επηρεάζουν έντονα το τελικό κόστος.

Οι Lebeau et al. 2013 ανέπτυξαν ένα μοντέλο συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για τρεις διακριτές κατηγορίες οχημάτων. Η διάκριση ως προς την κατηγορία καθιστά ιδιαίτερα πρωτότυπη τη μελέτη, καθώς αποτελεί μια από τις πρώτες που υπολογίζει κατ' αυτόν τον τρόπο το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Οι τρεις διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων που μελετήθηκαν ήταν τα μικρά αυτοκίνητα πόλης, τα μεσαία και τα πολυτελή αυτοκίνητα.

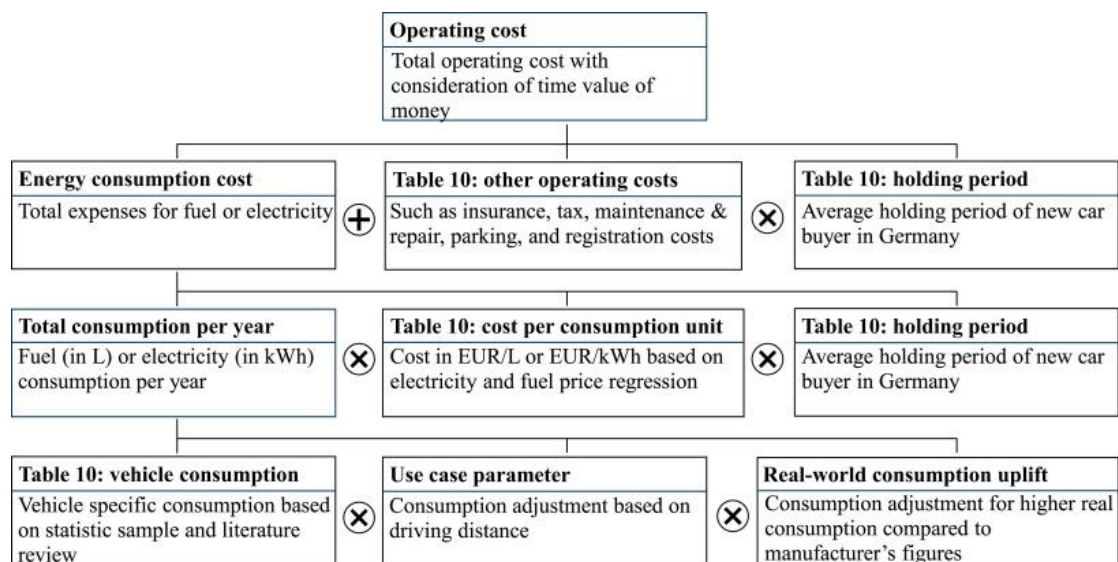
Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι στη κατηγορία των μικρών αυτοκινήτων πόλης κανένα ηλεκτρικό όχημα από αυτά που μελετήθηκαν δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικό σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα. Στην κατηγορία των μεσαίων αυτοκινήτων, η διαφορά του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών είναι περιορισμένη, ωστόσο τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα και τα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή εξακολουθούν να είναι οικονομικά μη συμφέρουσες λύσεις, ενώ τα αποτελέσματα για την κατηγορία των πολυτελών αυτοκινήτων κατέδειξαν ότι ορισμένα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα της κατηγορίας είναι ανταγωνιστικά, κάτι όμως εξαρτάται από το μέγεθος του συσσωρευτή και κατ' επέκταση από την αυτονομία που προσφέρουν. Τα αποτελέσματα της μελέτης συνοψίζονται στο ότι τα ηλεκτρικά οχήματα είναι οικονομικά ανταγωνιστικά μόνο για την κατηγορία των πολυτελών αυτοκινήτων και για συσσωρευτές που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο φάσμα μεγεθών. Αντιθέτως, για τις υπόλοιπες κατηγορίες που μελετήθηκαν απαιτείται η εφαρμογή επιδοτήσεων και η σταδιακή συρρίκνωση του κόστους των συσσωρευτών ώστε να μειωθεί σημαντικά η διαφορά κόστους σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες.

Οι Wu et al. 2015 ανέπτυξαν ένα πιθανοτικό μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων διακρίνοντας τρεις κατηγορίες μεγέθους οχημάτων και χρηστών. Η μελέτη είχε ως στόχο να προσεγγίσει τις αβεβαιότητες των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο μοντέλο και να παράξει αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα για ένα μεγάλο μερίδιο της γερμανικής αγοράς υπολογίζοντας τα κόστη από τη σκοπιά του καταναλωτή κατά την περίοδο ιδιοκτησίας του οχήματος.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα βελτιώνουν την οικονομική ανταγωνιστικότητά τους σε σχέση με τα συμβατικά σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, ωστόσο από τις προσομοιώσεις Μόντε Κάρλο που πραγματοποιήθηκαν προέκυψαν αλληλοεπικαλύψεις των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών και για αυτό δεν υπάρχει σαφές αποτέλεσμα για την πιο αποδοτική τεχνολογίας οχημάτων από άποψη κόστους. Η πιθανοτική προσέγγιση που ακολούθησαν οι συγγραφείς κατέδειξε ότι η αποδοτικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζεται έντονα από την ετήσια χιλιομετρική απόσταση που διανύουν και την κατηγορία μεγέθους τους. Ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιθανό να παραμείνουν μη ανταγωνιστικά στις περιπτώσεις χρηστών που διανύουν μικρές ετήσιες χιλιομετρικές αποστάσεις, είναι αρκετά πιθανό να καταστούν πιο ανταγωνιστικά για την κατηγορία των μικρών οχημάτων σε περιπτώσεις μεσαίων ετήσιων αποστάσεων και σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων στις περιπτώσεις μεγάλων ετήσιων αποστάσεων. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν κατέδειξαν ότι η οικονομική ανταγωνιστικότητα των ηλεκτρικού οχήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατηγορία του οχήματος και την ετήσια χιλιομετρική απόσταση που καλύπτει. Τέλος, η μελλοντική εξέλιξη του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας μεταξύ οχημάτων διαφορετικής τεχνολογίας εξακολουθεί να παρουσιάζει σοβαρές αβεβαιότητες και για αυτό μπορεί να επηρεαστεί από οικονομικά κίνητρα που παρέχουν τα κράτη.



Σχήμα 2.9: Διαγραμματική απεικόνιση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για το κόστος αγοράς ενός οχήματος στα πλαίσια του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Wu et al. 2015).



Σχήμα 2.10: Διαγραμματική απεικόνιση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για το λειτουργικό κόστος ενός οχήματος στα πλαίσια του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Wu et al. 2015).

Σκοπός της μελέτης των Hagman et al. 2016 ήταν η δημιουργία και χρήση ενός μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας προσανατολισμένο προς τους καταναλωτές για να διερευνηθούν οι πιθανές οικονομικές αποκλείσεις μεταξύ συμβατικών, υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν τα εμπόδια που υπάρχουν για τη δημιουργία ενός μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, αφού εξαρτάται από την πρόσβαση σε δεδομένα και από υποθέσεις που πραγματοποιούνται σχετικά με μελλοντικές τιμές παραμέτρων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποστήριξαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν σημαντικά χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σύγκριση με τα συμβατικά και τα υβριδικά οχήματα, οδηγώντας τελικά σε ανταγωνιστικό συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η πλειοψηφία των αγοραστών οχημάτων δεν δίνουν μεγάλη έμφαση στο κόστος λειτουργίας ενός οχήματος και στη προσέγγιση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας θα μπορούσε να είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην περιορισμένη εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων.

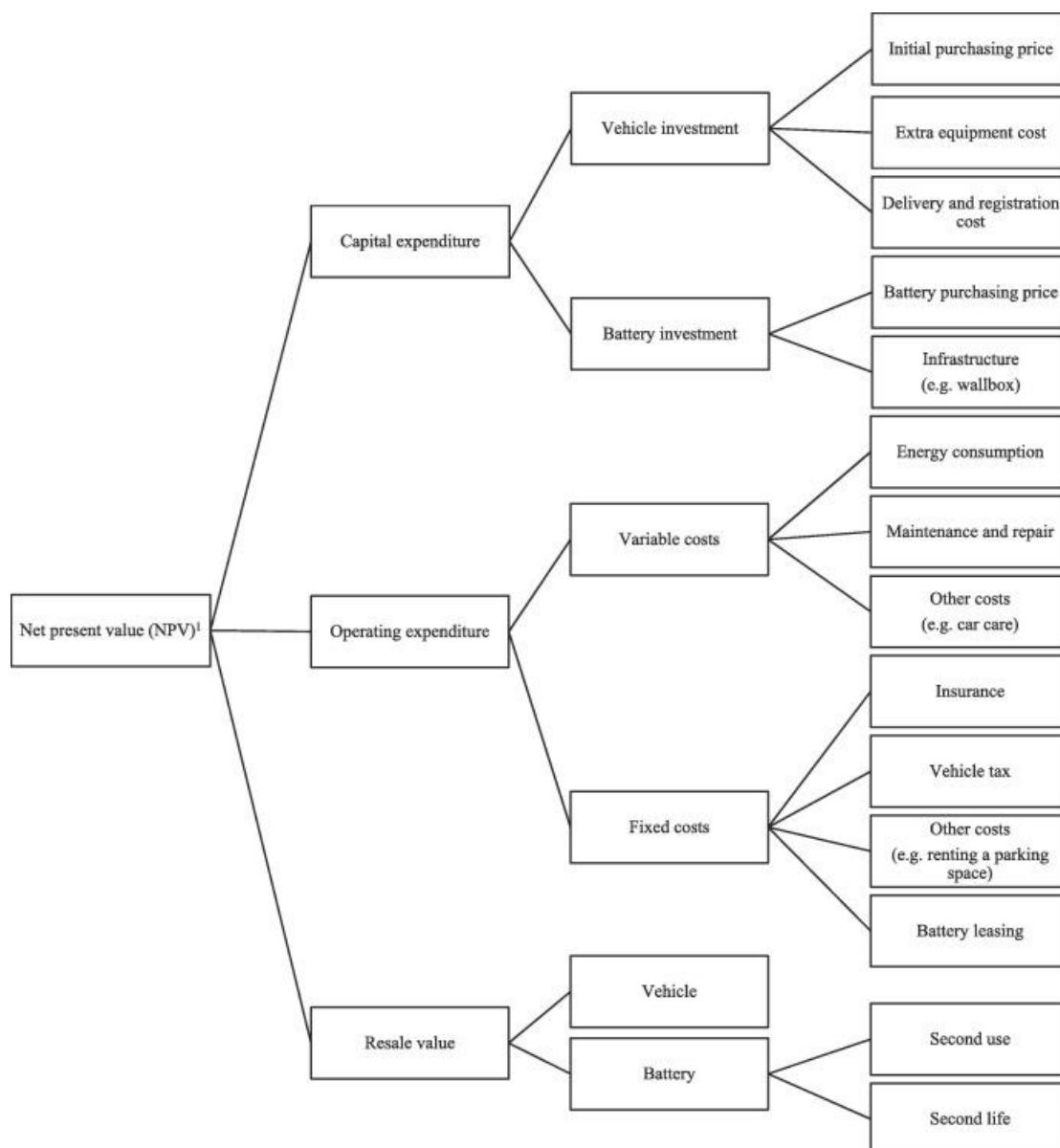
Οι Lénay et al. 2017 προχώρησαν σε μια ανάλυση του κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τις πωλήσεις που καταγράφονται σε οκτώ Ευρωπαϊκές χώρες. Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς ένα σημαντικό εμπόδιο για τη διεύρυνση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί η υψηλή τιμή αγοράς τους σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Υπολογίζοντας το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας μελετήθηκε η συσχέτιση μεταξύ του κόστους και των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων και έγινε αξιολόγηση του ρόλου των οικονομικών κινήτρων που παρέχονται από τις διάφορες χώρες για τη μείωση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και την αύξηση των πωλήσεων.

Οι συγγραφείς δημιούργησαν ζεύγη οχημάτων διακρίνοντας τα σε κατηγορίες μεγέθους και βρέθηκε μια αρνητική σχέση συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και πωλήσεων που διαφέρει ανάλογα με τη κατηγορία των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα μεγάλα μεγέθους ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, υψηλότερο αριθμό πωλήσεων, και από τις αναλύσεις φάνηκε να έχουν μεγαλύτερη ελαστικότητα κόστους σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά οχήματα μικρού μεγέθους. Επιπλέον, μια αρκετά ενδιαφέρουσα παρατήρηση που πραγματοποίησαν οι συγγραφείς ήταν ότι οι απαλλαγές φόρους ευνοούν τα μεγάλα ηλεκτρικά οχήματα, ενώ οι επιδοτήσεις κατά την αγορά ευνοούν τα μικρά ηλεκτρικά οχήματα. Ομαδοποιώντας τα αποτελέσματα μεταξύ των χωρών μπορούν να διακριθούν τρεις ομάδες ανάλογα με το επίπεδο των οικονομικών κινήτρων που προσφέρουν και τον αντίκτυπό τους στο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και τις πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων. Η Νορβηγία αποτελεί τη μοναδική χώρα στην οποία τα

κίνητρα διαμόρφωσαν χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τα ηλεκτρικά οχήματα. Από την άλλη στην Ολλανδία, τη Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά ανταγωνιστικό και παρουσιάζει μικρές αποκλίσεις σε σχέση με το αντίστοιχο των συμβατικών οχημάτων. Τέλος, στις υπόλοιπες χώρες που μελετήθηκαν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μη ανταγωνιστικό.

Την ίδια χρονιά δημοσιεύτηκε και η μελέτη των Letmathe and Soares 2017, η οποία αποτέλεσε μια ιδιαίτερα πρωτοποριακή προσπάθεια καθώς οι συγγραφείς συμπεριέλαβαν στους υπολογισμούς του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας την μεταπωλητική αξία των συσσωρευτών. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για ηλεκτρικά, υβριδικά και συμβατικά οχήματα διακρίνοντας τρεις κατηγορίες μεγέθους. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται περαιτέρω με την εφαρμογή τριών τυπικών προφίλ οδηγών και μέσω αναλύσεων ευαισθησίας που πραγματοποιούνται με προσομοιώσεις Μόντε Κάρλο κάτω από διάφορα σενάρια.

Από την εφαρμογή του μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, που φαίνεται στο **Σχήμα 2.11**, προέκυψε ότι μόνο ένα περιορισμένος αριθμός ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων είναι οικονομικά ανταγωνιστικά χωρίς την παροχή επιδοτήσεων σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν. Παρότι οι επιδοτήσεις αυξάνουν την ανταγωνιστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων, δεν οδηγούν σε ισοδύναμο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας σε αρκετές από τις κατηγορίες μεγέθους οχημάτων και σε αρκετά προφίλ χρηστών.



Σχήμα 2.11: Διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας (Letmathe and Soares 2017).

Συνοψίζοντας, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο κατάλληλη επιλογή για τους χρήστες που διανύουν σχετικά μικρές ετήσιες χιλιομετρικές αποστάσεις, ενώ τα υβριδικά οχήματα για εκείνους που διανύουν μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, υπογραμμίζεται ότι τα οχήματα που ανήκουν στην κατηγορία μεγέθους A και C πρέπει να ξεπεράσουν αρκετές προκλήσεις για τη μελλοντική τους ανάπτυξη, καθώς αποδείχθηκαν μη ανταγωνιστικά σε όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν. Έτσι, αυτές οι κατηγορίες οχημάτων παραμένουν δαπανηρές για τους καταναλωτές ακόμη και με την παροχή επιδοτήσεων και τις χαμηλές λειτουργικές δαπάνες που προσφέρουν. Τέλος, ο καταναλωτής έχει να αντιμετωπίσει προκλήσεις σχετικά με τους συσσωρευτές, ιδίως ως προς το κόστος που αφορά τις επιλογές για αγορά ή μίσθωση που

του παρέχονται. Έτσι, η αξία μεταπώλησης των συσσωρευτών επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και για αυτό κρίνεται απαραίτητη η χρήση της συγκεκριμένης παραμέτρου στους υπολογισμούς.

Οι Danielis et al. 2018 ανέπτυξαν ένα μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για την ιταλική αγορά που στηριζόταν στη μελέτη των Wu et al. 2015. Επέλεξαν να αναπτύξουν ένα πιθανοτικό μοντέλο προκειμένου να αξιολογήσουν τις τρέχουσες και μελλοντικές προοπτικές διάδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην Ιταλία και να συμπεριλάβουν τις έντονες αβεβαιότητες που εμπεριέχονται στους υπολογισμούς. Το μοντέλο περιέχει ντετερμινιστικές και στοχαστικές παραμέτρους, προφίλ χρηστών και γίνεται μελέτη διαφορετικών σεναρίων.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικά σε σύγκριση με τα συμβατικά, ωστόσο είναι οικονομικά ανταγωνιστικά με τα υβριδικά οχήματα όταν διανύουν περισσότερα από 10.000 χιλιόμετρα ετησίως. Με την παροχή οικονομικών κινήτρων τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας από τα υβριδικά και ορισμένα συμβατικά. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα αναμένεται να κερδίσουν μερίδιο αγοράς από το 2025 ακόμη και χωρίς επιδοτήσεις, εάν οι τιμές των καυσίμων ακολουθήσουν την ανοδική τάση των προηγούμενων ετών.

Οι Palmer et al. 2018 εντόπισαν ένα κενό στη βιβλιογραφία που αφορούσε μελέτες συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που πραγματοποιούν σύγκριση σε περισσότερες από δύο αγορές και ανάλυση της ιστορικής εξέλιξης του κόστους των οχημάτων, και για αυτό ανέπτυξαν ένα μοντέλο συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που περιλαμβάνει διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων και το εφάρμοσαν σε τρεις αγορές: το Ηνωμένο Βασίλειο, τις ΗΠΑ (χρησιμοποιείται μόνο η Καλιφόρνια και το Τέξας για τη διενέργεια των υπολογισμών) και την Ιαπωνία για τη χρονική περίοδο 1997-2015. Η σχέση μεταξύ του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και του μεριδίου αγοράς των υβριδικών οχημάτων αποτέλεσε το επίκεντρο αυτής της μελέτης, και πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή μοντέλου παλινδρόμησης.

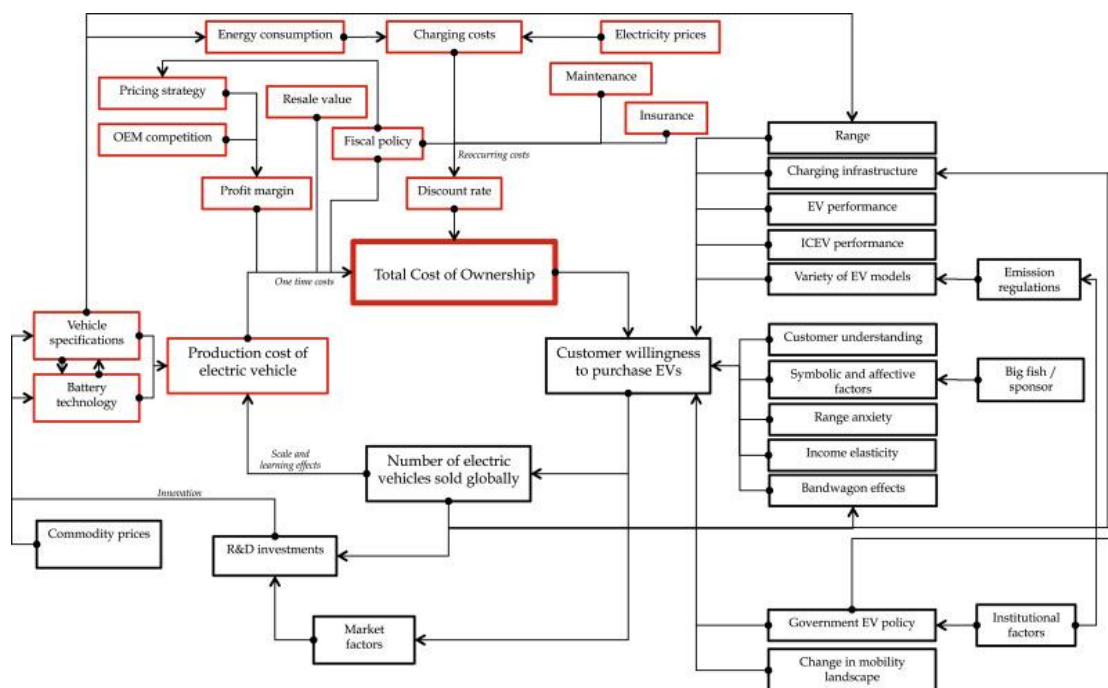
Σε όλες τις αγορές που μελετήθηκαν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας των υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων σε σύγκριση με εκείνο των συμβατικών έχει μειωθεί με το πέρασ των χρόνων. Οι επιδοτήσεις που προσφέρονται στα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων έχουν επιτρέψει στα ηλεκτρικά οχήματα να φθάσουν σε ισοδύναμο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Καλιφόρνια και το Τέξας, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει για τα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή που δεν έχουν αντίστοιχη οικονομική υποστήριξη με αυτή των ηλεκτρικών οχημάτων. Η μελέτη

αποδεικνύει τη σαφή σύνδεση μεταξύ του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και του μεριδίου αγοράς που κατέχουν τα υβριδικά οχήματα, και υποστηρίζει με στοιχεία από περιοχές όπως η Ιαπωνία και η Καλιφόρνια ότι η μακροπρόθεσμη υποστήριξη των εναλλακτικών οχημάτων μέσω κυβερνητικών επιδοτήσεων οδηγεί σε αύξηση του μεριδίου αγοράς τους.

Το ίδιο έτος οι Weldon et al. 2018 δημοσίευσαν μια μελέτη που συγκρίνει το κόστος ιδιοκτησίας ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων. Η μελέτη πραγματοποιείται για μια δεκαετή περίοδο ιδιοκτησίας του οχήματος και χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια μιας τριετούς δοκιμής ηλεκτρικών οχημάτων στην Ιρλανδία στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Green eMotion.

Το συμπέρασμα της μελέτης συνοψίζονται στο ότι όταν παρέχονται κίνητρα, όταν διανύεται μεγάλος αριθμός χιλιομέτρων ετησίως και το μέγεθος των οχημάτων ανήκει στις μεγάλες κατηγορίες, τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πιο ανταγωνιστικά από τα συμβατικά. Και στη συγκεκριμένη μελέτη διαπιστώνεται ότι τα πολυτελή ηλεκτρικά οχήματα με υψηλό κόστος αγοράς αποτελούν οικονομικά πιο ανταγωνιστικές επιλογές σε σύγκριση με τα οχήματα μικρότερου μεγέθους. Το προφίλ του χρήστη ενός οχήματος, δηλαδή τα χιλιόμετρα που διανύει ετησίως, αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο στις συγκρίσεις κόστους μεταξύ των οχημάτων και υπογράμμισαν ότι η μη παροχή κινήτρων θα επέφερε μια σημαντικά αυξημένη περίοδο αποπληρωμής για τα ηλεκτρικά οχήματα. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι το κόστος αντικατάστασης του συσσωρευτή επηρεάζει σημαντικά την ανταγωνιστικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων και υπογράμμισαν τη σημασία ανάπτυξης της τεχνολογίας των συσσωρευτών ώστε να διασφαλιστεί η μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι van Velzen et al. 2019 πραγματοποίησαν μια απόπειρα ώστε να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο πρόβλεψης του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας ηλεκτρικών οχημάτων βασιζόμενο σε ένα συνδυασμό βιβλιογραφικής ανασκόπησης και συνεντεύξεων με ειδικούς. Από την έρευνά τους οι συγγραφείς κατέληξαν σε ένα πλαίσιο 34 παραγόντων που επηρεάζουν τη μελλοντική εξέλιξη του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.12**.



Σχήμα 2.12: Διαγραμματική απεικόνιση των παραμέτρων που επηρεάζουν το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (van Velzen et al. 2019).

Με την εφαρμογή σεναρίων, παρατηρήθηκε ότι ο παράγοντας του περιθωρίου κέρδους φαίνεται να έχει υποτιμηθεί στην τρέχουσα βιβλιογραφία. Υποθέτοντας ότι κατά τα επόμενα χρόνια οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα προσπαθήσουν να αποσβέσουν τις επενδύσεις που έχουν πραγματοποιήσει, απέδειξαν ότι ακόμη και με τα οικονομικά οφέλη που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογική εξέλιξη και η οικονομία κλίμακος δεν σημαίνει ότι το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ενός ηλεκτρικού οχήματος θα συρρικνωθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να καταστεί αρκετά πιο οικονομικό σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό όχημα.

Πίνακας 2.2: Συνοπτική παρουσίαση των μελετών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας με προσανατολισμό τον καταναλωτή σε οχήματα διαφορετικών τεχνολογιών και οι χαρακτηριστικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτές.

Reference country	Germany	France	China	Belgium	Germany	Sweden	EU	Germany	Italy	USA, UK, Japan	Ireland	Netherlands
Future extrapolation	No	No	No	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No	Yes

Source	Powertrain technology	Vehicle class	Vehicle type	Sensitivity analysis
Propfe and Redelbach (2012)	ICEV, HEV, PHEV, REEV, BEV, FCEV	Midsized	Conceptual vehicle	No
Windisch (2013)	ICEV, PHEV, BEV	Compact, Sedan	Representative models	Yes
Lin et al. (2013)	ICEV, HEV	SUV	Representative models	Yes
Lebeau et al. (2013)	ICEV, HEV, PHEV, BEV	Small, Medium, Premium	Representative models	Yes
Wu et al. (2015)	ICEV, HEV, PHEV, BEV	A/B, C/D, SUV	Conceptual vehicle	Yes
Hagman et al. (2016)	ICEV, HEV, BEV	A/B, C/D, SUV	Representative models	No
Lévay et al. (2017)	ICEV, BEV	Small, Medium, Big	Representative models	No
Letmathe and Soares (2017)	ICEV, HEV, BEV	Small, Medium, Large	Representative models	Yes
Danielis et al. (2018)	ICEV, HEV, BEV	-	Representative models	Yes
Palmer et al. (2018)	ICEV, HEV, PHEV, BEV	Small, Medium	Representative models	Yes
Weldon et al. (2018)	ICEV, BEV	Small, Medium, Large, Van	Representative models	Yes
van Velzen et al. (2019)	ICEV, BEV	C	Conceptual vehicle	No

2.6 Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από την βιβλιογραφική αναδρομή που πραγματοποιήθηκε στο τρέχον κεφάλαιο, τόσο τα μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) όσο και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην εξαγωγή σε πολλές περιπτώσεις αντικρουόμενων αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, κάτι που μπορεί να προκαλέσει σύγχυση. Επιπλέον, θα πρέπει να τονιστεί η απουσία μιας ενιαίας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας.

Η Βιβλιογραφική Ανασκόπηση κατέδειξε κατά κύριο λόγο ότι τα ηλεκτρικά οχήματα, τουλάχιστον κατά τα έτη που διενεργήθηκαν οι εκάστοτε μελέτες, δεν αποτελούν οικονομικά ανταγωνιστικές εναλλακτικές σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα, χωρίς την παροχή οικονομικών κινήτρων και επιδοτήσεων. Η κατάσταση αυτή σε βάθος χρόνου δείχνει να διαφοροποιείται, με ορισμένες μελέτες να καταλήγουν στο συμπέρασμα πως μέσα στη δεκαετία 2020-2030 ορισμένα ηλεκτρικά οχήματα θα καταστούν ευθέως οικονομικά ανταγωνιστικά με τα αντίστοιχα συμβατικά ή υβριδικά οχήματα. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που αφορούν τα ηλεκτρικά οχήματα, τα αποτελέσματα που παρέχονται για τα υβριδικά είναι αρκετά πιο ενθαρρυντικά και αισιόδοξα, αφού οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν σε κόστη που είναι ανταγωνιστικά ανάμεσα στα υβριδικά και συμβατικά οχήματα.

Τέλος, τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και αναφέρονται παραπάνω, υπογραμμίζουν ότι η οποιαδήποτε σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μελετών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή καθώς οι αναλύσεις περιλαμβάνουν διαφορετικές υποθέσεις, παραμέτρους και γεωγραφικούς περιορισμούς.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Γενικά

Η ανάπτυξη ενός μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) και η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων και δεδομένων για τη διενέργεια των υπολογισμών και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το κόστος διαφορετικών τεχνολογιών οχημάτων αποτελεί μια διαδικασία ιδιαίτερα χρήσιμη τόσο για τους καταναλωτές, όσο και για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ένα τέτοιο μοντέλο για τον προσδιορισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας - Total Cost of Ownership (TCO) και του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων διαφορετικών τεχνολογιών και μεγέθους.

Επιλέγονται οι πλέον κατάλληλοι και απαιτούμενοι παράμετροι για την εκτίμηση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και στη συνέχεια υπολογίζονται οι βαρύτητες των παραμέτρων που επηρεάζουν την αγορά ενός οχήματος, σύμφωνα με μια ομάδα ειδικών προκειμένου να υπολογιστεί τελικά το Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας κάθε οχήματος. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στο παρόν κεφάλαιο εφαρμόζεται για την αγορά της Γαλλίας επιλογή που τεκμηριώνεται στη συνέχεια.

3.2 Ανάπτυξη μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και καθορισμός παραμέτρων και παραδοχών

3.2.1 Επιλογή αγοράς

Η διενέργεια των υπολογισμών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσα σε συγκεκριμένα γεωγραφικά πλαίσια. Παρόλο που έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες μελέτες που αναλύουν και συγκρίνουν αγορές διαφορετικών

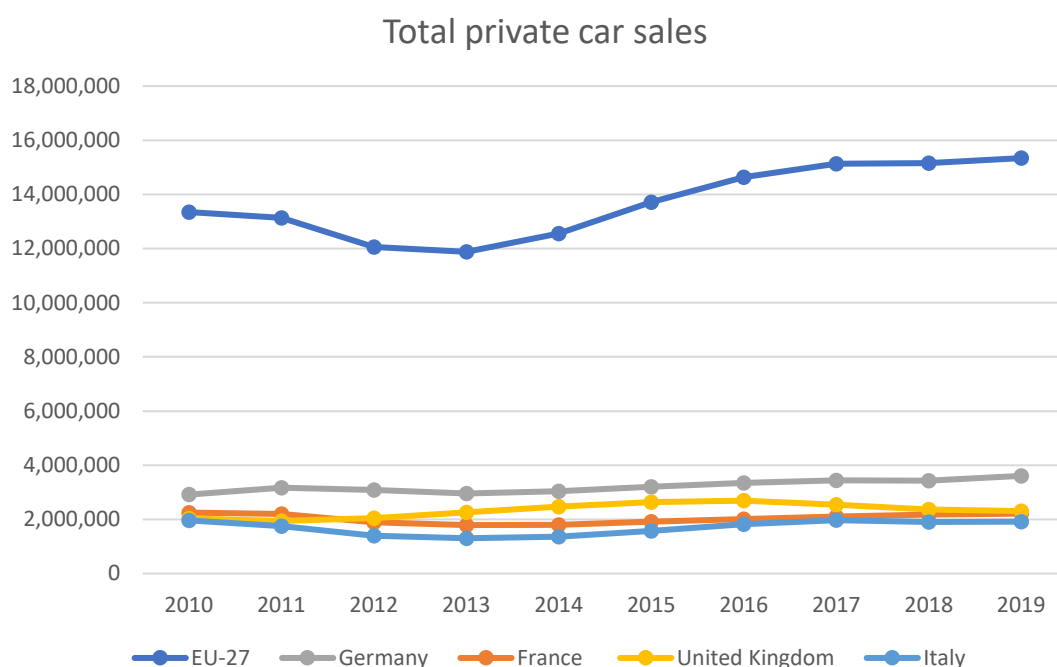
χωρών, στην πλειοψηφία τους επιλέγουν να περιορίσουν τις αναλύσεις τους στα πλαίσια μιας χώρας ή ακόμα και σε μικρότερη κλίμακα στα πλαίσια μιας πόλης. Η ανάγκη γεωγραφικών περιορισμών είναι επιβεβλημένη, καθώς σε κάθε αγορά συναντώνται διαφορετικές παράμετροι όπως οι τιμές καυσίμων και η τιμή πώλησης των οχημάτων, οι οποίες επηρεάζουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών (Wu et al. 2015; Danielis et al. 2018; Elisabeth Windisch 2013).

Αναγνωρίζοντας την ανάγκη διενέργειας των αναλύσεων σε επίπεδο χώρας, πραγματοποιήθηκε τόσο βιβλιογραφική έρευνα, όσο και μελέτη των ευρωπαϊκών αγορών αυτοκινήτου ώστε να επιλεγεί η χώρα στην οποία θα γίνουν οι υπολογισμοί για τη παρούσα διπλωματική. Η βιβλιογραφική έρευνα φανέρωσε ότι μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων επικεντρώθηκε στη μελέτη της γερμανικής αγοράς αυτοκινήτου, η οποία αποτελεί και την μεγαλύτερη σε όγκο πωλήσεων αγορά της Ευρώπης. Επιπλέον, για την αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου βρέθηκαν αρκετές αντιπροσωπευτικές μελέτες, ενώ το ενδιαφέρον των μελετητών έχουν συγκεντρώσει και χώρες όπως το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Ιταλία. Κύρια διαπίστωση αποτέλεσε ότι μια από τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές αγορές που δεν συγκεντρώνει μελέτες συνολικού κόστους ιδιοκτησίας οχημάτων τα τελευταία χρόνια είναι η γαλλική, η οποία εκτός από τη δυναμική που διαθέτει όπως θα φανεί από την ανάλυση που θα ακολουθήσει εμφανίζει και ιδιαίτερα θετικές επιδόσεις ως προς το ποσοστό διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων και γενικότερα οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Τέλος, η απόπειρα ανάλυσης της ελληνικής αγοράς εμφανίζει αρκετά εμπόδια καθώς οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα η επιλογή χαρακτηριστικών οχημάτων προς σύγκριση να αποτελεί μια αρκετά δύσκολη διαδικασία. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την έλλειψη ανεπτυγμένου δικτύου σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και την απουσία πολιτικής επιδοτήσεων κατά την αγορά καθιστά την ελληνική αγορά ιδιαίτερα πρώιμη για τη διεξαγωγή μια μελέτης συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στη παρούσα διπλωματική εργασία.

Οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζουν σταθερά ανοδική πορεία σε παγκόσμια κλίμακα. Για το 2018, ο παγκόσμιος στόλος ηλεκτρικών αυτοκινήτων εμφάνισε μια αύξηση της τάξης των 2 εκατομμυρίων οχημάτων σε σχέση με το προηγούμενο έτος διπλασιάζοντας σχεδόν τον αριθμό των νέων ταξινομήσεων και ξεπέρασε τα 5,1 εκατομμύρια ηλεκτρικά οχήματα παγκοσμίως. Η Κίνα αποτελεί τη μεγαλύτερη αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ακολουθούμενη από την Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Παρότι η Κίνα διαθέτει τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα στον δρόμο λόγω μεγέθους της αγοράς της, το

μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων παγκοσμίως κατέχει μια χώρα της ευρωπαϊκής ηπείρου. Αυτή δεν είναι άλλη από τη Νορβηγία που αποτελεί τον παγκόσμιο ηγέτη της ηλεκτροκίνησης κατέχοντας ένα μερίδιο αγοράς ηλεκτρικών αυτοκινήτων της τάξης του 46% (IEA, 2019).

Η αναλυτική διερεύνηση της ευρωπαϊκής αγοράς αυτοκινήτου αποτέλεσε τη βάση του συγκεκριμένου υποκεφαλαίου, η οποία τεκμηρίωσε την επιλογή της ευρωπαϊκής αγοράς αυτοκινήτου για την οποία πραγματοποιήθηκε το σύνολο των υπολογισμών και των αναλύσεων. Αρχικά, βασικό μέγεθος για την κατανόηση της δυναμικής της εκάστοτε αγοράς αποτελεί ο όγκος των ετήσιων νέων ταξινομήσεων που πραγματοποιούνται. Οι ταξινομήσεις που πραγματοποιούνται και η κατανομή τους στις τέσσερις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές αγορές, παρουσιάζονται στο **Σχήμα 3.1** που ακολουθεί.

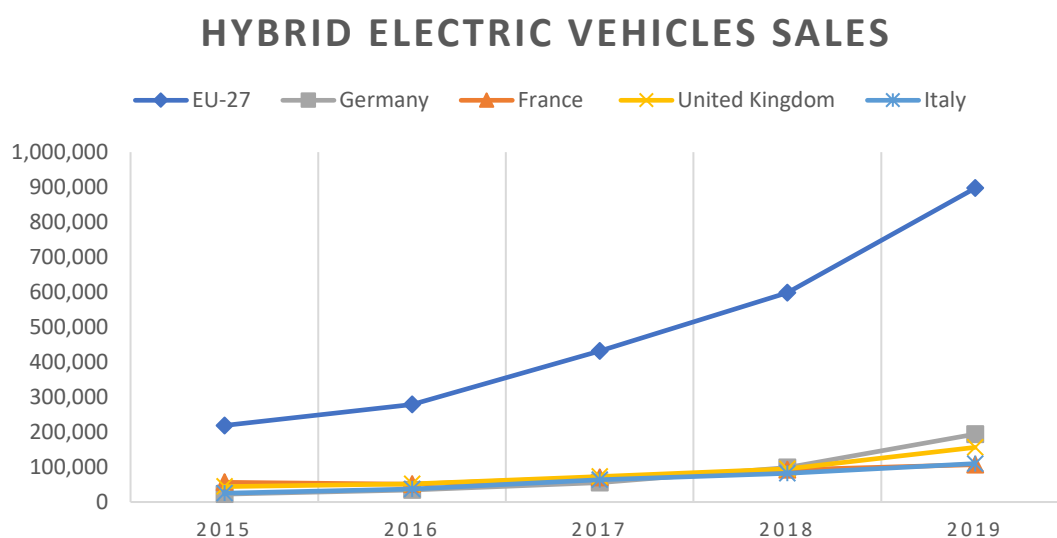


Σχήμα 3.2: Ταξινομήσεις ιδιωτικών οχημάτων συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν, πηγή δεδομένων ταξινομήσεων: ACEA.

Παρατηρείται ότι η Γερμανία διαθέτει σταθερά την πιο δυναμική αγορά αυτοκινήτου της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τις υπόλοιπες τρεις μεγαλύτερες αγορές να παρουσιάζουν διακυμάνσεις. Παρόλο που η ακριβής κατάταξη δεν παραμένει σταθερή κατά τη χρονική περίοδο 2010-2019 είναι προφανές ότι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία και η Ιταλία διαθέτουν ιδιαίτερα δυναμικές αγορές που συγκεντρώνουν ένα σημαντικό ποσοστό ταξινομήσεων οχημάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η δυναμική αυτή είναι ικανή να επηρεάσει σημαντικά την υιοθέτηση οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή

Ένωση γεγονός που καθιστά τη μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας τους στα πλαίσια των συγκεκριμένων αγορών ιδιαίτερα κρίσιμη.

Σε συνδυασμό με τις ταξινομήσεις οχημάτων στις παραπάνω αγορές, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και διερεύνηση των ταξινομήσεων της εκάστοτε επιμέρους τεχνολογίας καυσίμου ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκαν δεδομένα για τις ταξινομήσεις Πλήρως Υβριδικών (Full Hybrids), Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEV) και Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV), και παρουσιάζονται στα **Σχήματα 3.2 - 3.4** που ακολουθούν.



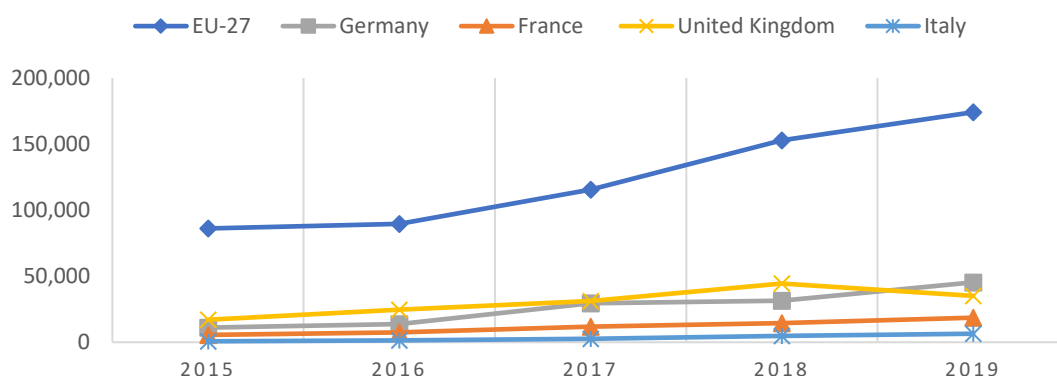
Σχήμα 3.2: Ταξινομήσεις πλήρως υβριδικών οχημάτων - Hybrid Electric Vehicle (HEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν, πηγή δεδομένων ταξινομήσεων: ACEA.

Όπως φαίνεται από το **Σχήμα 3.2** οι ταξινομήσεις υβριδικών οχημάτων, τεχνολογία οχημάτων η οποία έχει εμφανιστεί στην αγορά αυτοκινήτου σε αρκετά προγενέστερη χρονική περίοδο σε σύγκριση εκείνη των ηλεκτρικών και των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή, παρουσιάζουν σχετικά ομοιογενή συμπεριφορά. Παρότι ο όγκος των ταξινομήσεων κάθε αγοράς επηρεάζεται από το μέγεθός της, παρατηρείται ότι μεταξύ διαφορετικών χωρών συναντώνται αντίστοιχες σε όγκο ταξινομήσεις κάτι το οποίο μεταφράζεται σε διαφορετικό ποσοστό διείσδυσης των υβριδικών οχημάτων σε κάθε εγχώρια αγορά.

Σε αντίθεση με την ομοιογένεια που παρατηρήθηκε με τις ταξινομήσεις των υβριδικών οχημάτων στις μεγαλύτερες αγορές της Ευρώπης, η εικόνα που παρουσιάζουν αυτές των ηλεκτρικών και των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική

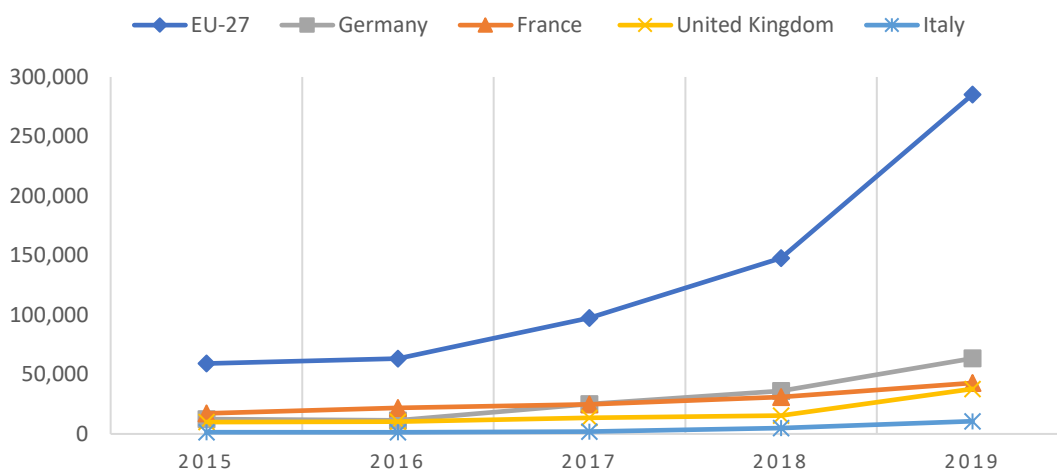
πηγή είναι διαφορετική. Αρχικά θα μπορούσε να γίνει μια χρήσιμη παρατήρηση ως προς την τάση που παρουσιάζει κάθε τεχνολογία οχήματος σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ιδιαίτερα έντονα αυξητική τάση παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία παρότι μόλις το 2019 ξεπέρασαν σε απόλυτο αριθμό τις ταξινομήσεις των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή, φαίνεται ότι διαθέτουν την δυναμική να συνεχίσουν να διευρύνουν και να εντείνουν αυτή τη τάση. Η ανάπτυξη των ταξινομήσεων των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή δείχνει να περιορίζεται και αυτό είναι πιθανό να σχετίζεται με τα κίνητρα, την ανάπτυξη του δικτύου υποστήριξης και ανεφοδιασμού των ηλεκτρικών οχημάτων και την εξοικείωση που αποκτούν οι καταναλωτές με τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα.

PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES SALES



Σχήμα 3.3: Ταξινομήσεις Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή - Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν, πηγή δεδομένων ταξινομήσεων: ACEA.

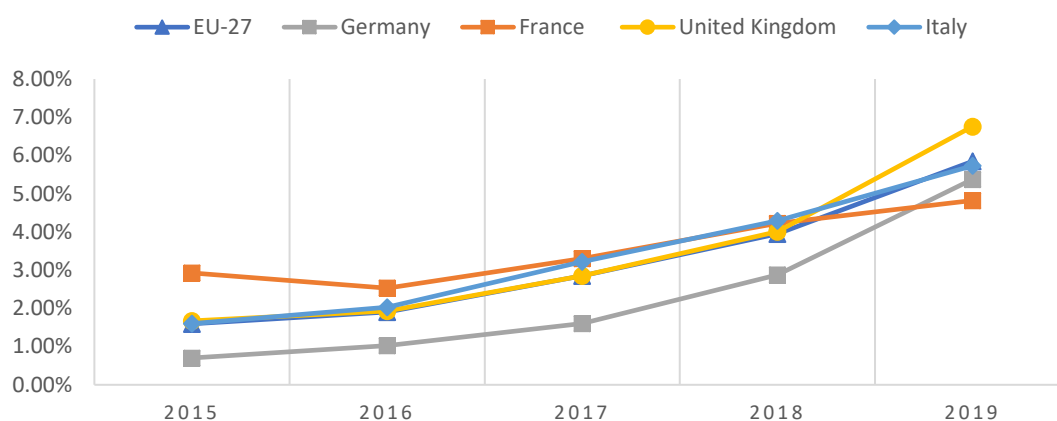
BATTERY ELECTRIC VEHICLES SALES



Σχήμα 3.4: Ταξινομήσεις Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων με Συσσωρευτές - Battery Electric Vehicles (BEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν, πηγή δεδομένων ταξινομήσεων: ACEA.

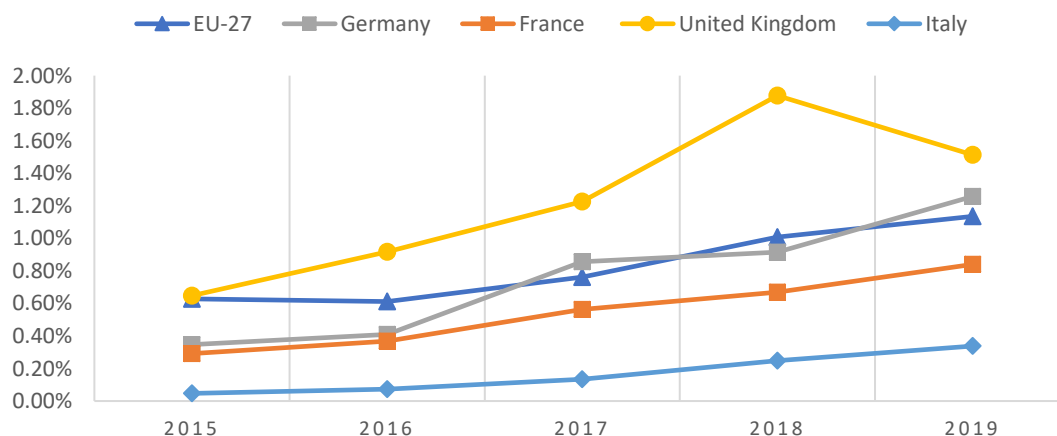
Παρόλο που οι συνολικές ταξινομήσεις δίνουν μια καλή πρώτη εικόνα σχετικά με τις τάσεις που επικρατούν στην αγορά αυτοκινήτου, το ποσοστό που καταλαμβάνουν οι ταξινομήσεις οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων σε σχέση με τις συνολικές που πραγματοποιούνται αποτελεί ένα μέγεθος που επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ αγορών, καθώς είναι απαλλαγμένο από τον παράγοντα του μεγέθους της αγοράς, το οποίο επηρεάζει άμεσα τον όγκο των ταξινομήσεων που καταγράφονται.

SHARE OF HYBRID ELECTRIC VEHICLES SALES



Σχήμα 3.5: Ποσοστό ταξινομήσεων πλήρως υβριδικών οχημάτων - Hybrid Electric Vehicle (HEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν.

SHARE OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES SALES

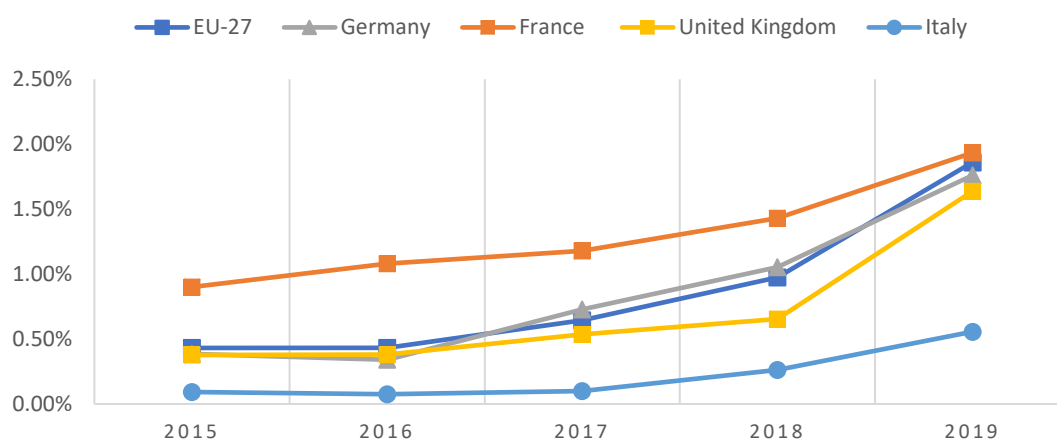


Σχήμα 3.6: Ποσοστό ταξινομήσεων Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή - Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν.

Όπως φαίνεται από τα **Σχήματα 3.5 και 3.6**, τα ποσοστά ταξινομήσεων των υβριδικών και των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή ανάμεσα στις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές αγορές σε σχέση με τα συνολικά στην Ευρωπαϊκή Ένωση διαφέρουν αρκετά. Για την κατηγορία των υβριδικών οχημάτων η Γερμανία παρουσιάζει ποσοστά σταθερά χαμηλότερα από εκείνα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αντιθέτως, η γαλλική αγορά ξεκινώντας από το 2015 εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό το οποίο το 2018 ισορρόπησε με το αντίστοιχο ευρωπαϊκό και το 2019 πέρασε στην τελευταία θέση ανάμεσα στις μεγαλύτερες αγορές. Οι υπόλοιπες χώρες σχετικά με τα υβριδικά οχήματα παρουσιάζουν ποσοστά πολύ κοντά σε εκείνο της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε όλη τη περίοδο 2015-2019, με μόνη εξαίρεση το Ηνωμένο Βασίλειο το οποίο όπως φαίνεται από τα πιο πρόσφατα στοιχεία για το 2019, κατέγραψε το μεγαλύτερο ποσοστό.

Η εικόνα που παρουσιάζουν τα ποσοστά των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή είναι διαφορετική και κάθε αγορά εμφανίζει μοναδική συμπεριφορά. Η μοναδική χώρα που καταγράφει ποσοστά σταθερά μεγαλύτερα από εκείνα της ευρωπαϊκής αγοράς είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ η Γερμανία ακολουθεί τα ποσοστά που παρατηρούνται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Από την άλλη διακρίνεται η περίπτωση της Γαλλίας, στην οποία η συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων δεν έχει καταφέρει κανένα έτος μέχρι και σήμερα να ξεπεράσει τιμές του ποσοστού ταξινομήσεων της τάξης του 1% και η Ιταλία όπου και καταγράφονται ιδιαίτερα χαμηλές πωλήσεις της συγκεκριμένης τεχνολογίας οχημάτων.

SHARE OF BATTERY ELECTRIC VEHICLES SALES



Σχήμα 3.7: Ποσοστό ταξινομήσεων Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων με Συσσωρευτές - Battery Electric Vehicles (BEV) συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση και στις μεγαλύτερες αγορές που την απαρτίζουν.

Το **Σχήμα 3.7** παρουσιάζει την κατάσταση που επικρατεί στην Ευρώπη σχετικά με τα ποσοστά πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων. Όπως φαίνεται η γαλλική αγορά παρουσιάζει διαχρονικά μια μεγαλύτερη τάση προς την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία βέβαια για το 2019 δείχνει να ευθυγραμμίζεται με την ευρωπαϊκή και των υπόλοιπων μεγάλων αγορών. Η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο καταγράφουν μια αρκετά παρόμοια πορεία με εκείνη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ η Ιταλία και στη κατηγορία των ηλεκτρικών οχημάτων δεν καταφέρνει να καταγράψει ανταγωνιστικά ποσοστά πωλήσεων. Συνολικά, η αύξηση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί γεγονός και συντελείται με αρκετά έντονο ρυθμό σε ετήσια κλίμακα.

Συνοψίζοντας, από όλα τα προηγούμενα στοιχεία που παρατέθηκαν σχετικά με την Ευρωπαϊκή αγορά στο σύνολο της και τις τέσσερις μεγαλύτερες αγορές αυτοκινήτου που την απαρτίζουν προκύπτει ότι η ανάλυση και διερεύνηση της γαλλικής αγοράς παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της δυναμικής της, της ενθαρρυντικής εικόνας που παρουσιάζει σχετικά με την υιοθέτηση οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων και της απουσίας δημοσιεύσεων τα τελευταία χρόνια που να αναλύουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας οχημάτων διαφορετικών τεχνολογιών στα πλαίσια της γαλλικής αγοράς.

3.2.2 Επιλογή μοντέλων και τεχνολογιών οχημάτων

Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας σε συνδυασμό με την επιλογή αγοράς πρέπει να γίνει και η επιλογή των οχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο. Βιβλιογραφικά σε ότι αφορά την επιλογή οχημάτων προς σύγκριση υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις, αυτή της επιλογής αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models) που διατίθενται στην αγορά που μελετάτε, ενώ από την άλλη υπάρχει και η προσέγγιση κατά την οποία προσομοιώνονται θεωρητικά οχήματα (conceptual vehicles) για την διενέργεια των υπολογισμών. Κάθε μια από τις παραπάνω προσεγγίσεις συγκεντρώνει ορισμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς, χαρακτηριστικά τα οποία επηρέασαν την επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί εν τέλει στην παρούσα διπλωματική.

Το κύριο πλεονέκτημα που παρουσιάζει η επιλογή αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models) στα πλαίσια μιας αγοράς είναι τα αποτελέσματα που παράγονται,

καθώς πραγματοποιούνται ακριβείς υπολογισμοί αφού εξάγονται συμπεράσματα για συγκεκριμένα οχήματα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο τόσο για τους καταναλωτές που ως αγοραστές ενδιαφέρονται για πληροφορίες που αφορούν οχήματα που διατίθενται τη δεδομένη χρονική περίοδο στην αγορά όσο και για τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, οι οποίοι ενδιαφέρονται για τις οικονομικές επιδόσεις των μοντέλων που διαθέτουν. Αντιθέτως, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν ενδείκνυται για την κατασκευή μοντέλων υπολογισμού συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που δίνουν ιδιαίτερη έμφαση σε μελλοντικούς υπολογισμούς, καθώς η επιρροή των προβλεπόμενων διακυμάνσεων στις τιμές των επιμέρους παραμέτρων που καθορίζουν την τελική τιμή αγοράς ενός οχήματος δεν είναι δυνατό να ληφθεί υπόψιν.

Την παραπάνω αδυναμία είναι σε θέση να καλύψει η μέθοδος κατά την οποία προσομοιώνονται θεωρητικά οχήματα (conceptual vehicles) με τη προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω (bottom-up). Η δημιουργία οχημάτων με την προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω διευκολύνει αρκετά την εισαγωγή των προβλεπόμενων μελλοντικών τιμών των στοιχείων που συνθέτουν ένα όχημα και κατ' επέκταση την εξαγωγή της συνολικής μελλοντικής αξίας ενός οχήματος. Αυτή η δυνατότητα είναι αρκετά περιορισμένη στην επιλογή αντιπροσωπευτικών οχημάτων, αφού αυτή τη περίπτωση προβλέψεις που αφορούν στο μελλοντικό κόστος των οχημάτων μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο στην τελική αξία και όχι σε επιμέρους μέρη όπως το κόστος του συσσωρευτή ή του κινητήρα ενός οχήματος.

Λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τα πλεονεκτήματα, όσο και τα μειονεκτήματα κάθε προσέγγισης και διατηρώντας ως βασικό στόχο της εργασίας την εξαγωγή συμπερασμάτων από τη σκοπιά των καταναλωτών και την κατανόηση κυρίως της οικονομικής επίδοσης των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων για το έτος που πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης ευρωπαϊκής αγοράς επιλέχθηκε η χρήση αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models) για τη διενέργεια των υπολογισμών.

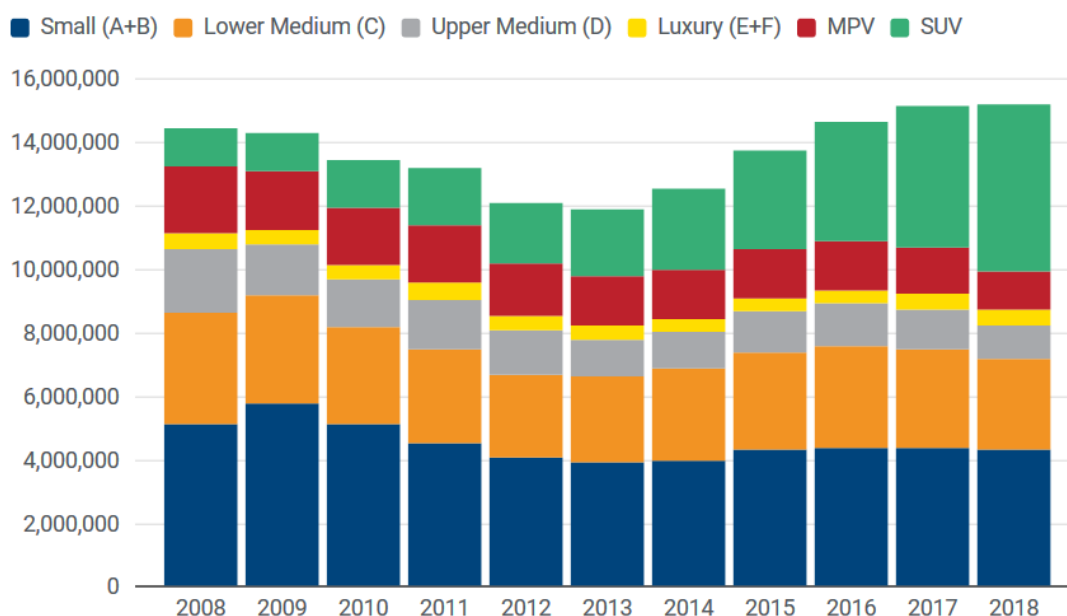
Η χρήση του κατάλληλου δείγματος μοντέλων οχημάτων αποτελεί μια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρο, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Το δείγμα αυτό θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, συμπεριλαμβάνοντας μοντέλα οχημάτων που καλύπτουν στο μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό τις καταναλωτικές τάσεις που αντανakλώνται από τις ταξινομήσεις νέων οχημάτων.

Βιβλιογραφικά εντοπίζονται μελέτες στις οποίες το δείγμα οχημάτων που χρησιμοποιείται είναι αρκετά περιορισμένο (Elisabeth Windisch 2013; Prud'homme and Koning 2012;

Hagman et al. 2016), μια τάση που δείχνει να υποχωρεί τα τελευταία έτη. Οι πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις που εντοπίζονται δείχνουν να αναγνωρίζουν τη σημαντικότητα της διάκρισης των οχημάτων σύμφωνα με το μέγεθος τους και τη συμβολή της στην παροχή εξατομικευμένων αποτελεσμάτων σε καταναλωτές που μπορεί να ενδιαφέρονται για κάποια συγκεκριμένη κατηγορία μεγέθους οχήματος. Στην πρωτοποριακή μελέτη των Wu et al. 2015 γίνεται διάκριση του μεγέθους των οχημάτων σύμφωνα με την επίσημη κατηγοριοποίηση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ενώ ακριβώς την ίδια προσέγγιση ακολουθούν και οι Letmathe and Soares 2017.

Η χρήση της επίσημης ευρωπαϊκής κατηγοριοποίησης κρίνεται και στη παρούσα εργασία ως η πλέον κατάλληλη τόσο λόγω της αναγνωσιμότητάς της, όσο και της συμβατότητας των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν με εκείνα προηγούμενων μελετών ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν πιο ορθές συγκρίσεις. Παρότι η επίσημη ευρωπαϊκή κατηγοριοποίηση περιλαμβάνει εννέα κατηγορίες επιβατικών οχημάτων (A: mini cars, B: small cars, C: medium cars, D: large cars, E: executive cars, F: luxury cars, S: sport coupes, M: multi purpose cars, J: sport utility cars), ορισμένες κατηγορίες από αυτές συγκεντρώνουν ιδιαίτερα χαμηλό αριθμό ταξινομήσεων.

New passenger cars by segment in the EU



Created with LocalFocus

Σχήμα 3.8: Ταξινομήσεις ανά κατηγορία μεγέθους οχημάτων συνολικά στη Ευρωπαϊκή Ένωση (ACEA, 2019).

Το **Σχήμα 3.8** παρουσιάζει την κατάσταση που επικρατεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά το χρονικό διάστημα 2008 με 2018 σχετικά με τις ταξινομήσεις νέων οχημάτων βάσει της κατηγορίας μεγέθους τους. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά, τα οχήματα που υπάγονται στις κατηγορίες D, E, F και M συγκεντρώνουν αρκετά μικρό αριθμό ταξινομήσεων διαχρονικά.

Σύμφωνα με τις πληροφορίες που παρέχει το παραπάνω σχήμα σε συνδυασμό με τις προσεγγίσεις που έχουν ακολουθήσει μελέτες που έχουν δημοσιευτεί τα προηγούμενα χρόνια κρίθηκε αναγκαίο να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς αντιπροσωπευτικά μοντέλα οχημάτων που ανήκουν στις κατηγορίες A, B, C και J καθώς αποτελούν τις πλέον αντιπροσωπευτικές κατηγορίες μεγέθους που πωλούνται στα πλαίσια της Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί μια κοινή κατηγορία Small (A+B), καθώς τα οχήματα που ανήκουν στις δύο επιμέρους κατηγορίες A και B παρουσιάζουν αρκετά παρόμοια χαρακτηριστικά μεγέθους και η συγκεκριμένη σύμπτυξη έχει εφαρμοστεί και σε αρκετές μελέτες (Letmathe and Soares 2017; Wu et al. 2015; Alex Stewart and Craig Douglas 2011). Επιπλέον, θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι στην κατηγορία J, δηλαδή εκείνη των SUV, επιλέχθηκε να συμπεριληφθούν χαρακτηριστικά μοντέλα της υποκατηγορίας μεγέθους C, δηλαδή SUV μεσαίου μεγέθους. Η επιλογή αυτή πραγματοποιήθηκε λόγω της συγκέντρωσης των πωλήσεων σε οχήματα μεσαίου μεγέθους SUV, όπως θα φανεί και στη συνέχεια με την παράθεση των πωλήσεων ανά μοντέλο. Συνοψίζοντας, η κατηγοριοποίηση των οχημάτων ως προς το μέγεθός τους που χρησιμοποιήθηκε τελικά είναι η εξής:

- Small (A+B)
- Lower Medium (C)
- SUV (J)

Εκτός από την διάκριση των οχημάτων που θα συμπεριληφθούν στο μοντέλο ως προς την κατηγορία μεγέθους τους, θα πρέπει να γίνει και η επιλογή των τεχνολογιών καυσίμου που θα συμπεριληφθούν. Στόχο της εργασίας αποτελεί η μελέτη και η κατανόηση της οικονομικής ανταγωνιστικότητας των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων για τους καταναλωτές σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα, επομένως η χρήση πλήρως ηλεκτρικών και συμβατικών μοντέλων οχημάτων θεωρείται δεδομένη. Τα συμβατικά οχήματα μπορεί να διαθέτουν θερμικό κινητήρα που καταναλώνει βενζίνη είτε πετρέλαιο ως καύσιμο.

Πίνακας 3.1: Ποσοστιαίες ταξινομήσεις νέων οχημάτων ανά τεχνολογία καυσίμου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πηγή δεδομένων: ACEA.

New passenger cars by fuel type in the EU					
Year	2015	2016	2017	2018	2019
Petrol	44%	47%	50%	57%	59%
Diesel	52%	49%	44%	36%	31%

<i>Electrically-chargeable vehicles</i>	1%	1%	2%	2%	3%
<i>Hybrid electric vehicles</i>	2%	2%	3%	4%	6%
<i>Other than electric</i>	2%	1%	1%	2%	2%

Πίνακας 3.2: Ποσοστιαίες ταξινομήσεις νέων συμβατικών οχημάτων βενζίνης και πετρελαίου στην Γαλλική αγορά, πηγή δεδομένων: ACEA.

New passenger cars by fuel type in France					
<i>Year</i>	2015	2016	2017	2018	2019
<i>Petrol</i>	39%	44%	48%	55%	58%
<i>Diesel</i>	57%	52%	47%	39%	34%

Συγκρίνοντας τις τάσεις των πωλήσεων νέων συμβατικών οχημάτων τα τελευταία χρόνια τόσο σε ευρωπαϊκό επίπεδο, όσο και στην εγχώρια αγορά της Γαλλίας παρατηρείτε μια έντονη συμπίεση των πωλήσεων οχημάτων με πετρελαιοκινητήρα. Η τάση αυτή ξεκινώντας με το σκάνδαλο Dieselgate που αποκαλύφθηκε τον Σεπτέμβριο του 2015, επιδεινώθηκε όταν οι τοπικές αρχές στην Ευρώπη αναφέρθηκαν σε πιθανές απαγορεύσεις και περιορισμούς για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα (JATO, 2019). Λαμβάνοντας υπόψιν τις συγκεκριμένες τάσεις και δυναμικές της αγοράς οχημάτων αποφασίστηκε να συμπεριληφθούν στο μοντέλο οχήματα που διαθέτουν θερμικό κινητήρα που καταναλώνει βενζίνη.

Εκτός από τα συμβατικά και πλήρως ηλεκτρικά οχήματα, στο μοντέλο κρίθηκε αναγκαίο να συμπεριληφθούν και υβριδικά οχήματα ώστε να αυξηθεί το εύρος της αγοράς που καλύπτει το μοντέλο και επιπλέον διότι η συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων αποτελεί μια μεταβατική τεχνολογία ανάμεσα στα συμβατικά και πλήρως ηλεκτρικά οχήματα. Παρότι αρκετές μελέτες συμπεριλαμβάνουν τόσο τα πλήρως υβριδικά οχήματα όσο και τα οχήματα υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν αντιπροσωπευτικά μοντέλα μόνο από την κατηγορία των πλήρως υβριδικών οχημάτων.

Πίνακας 3.3: Ταξινομήσεις νέων Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή - PHEV και Πλήρως Υβριδικά - HEV οχημάτων στην ευρωπαϊκή και Γαλλική αγορά, πηγή δεδομένων: ACEA.

PHEV			HEV	
Year	EU-27	France	EU-27	France

2015	86,120	5,589	218,755	56,038
2016	89,517	7,429	278,574	50,961
2017	115,405	11,868	431,504	69,680
2018	152,830	14,528	598,462	91,815
2019	174,103	18,592	896,785	106,781

Πίνακας 3.4: Ποσοστιαίες ταξινομήσεις νέων Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή - PHEV και Πλήρως Υβριδικών - HEV οχημάτων στην ευρωπαϊκή και Γαλλική αγορά, πηγή δεδομένων: ACEA.

Year	Share of PHEV		Share of HEV	
	EU-27	France	EU-27	France
2015	0.63%	0.29%	1.60%	2.92%
2016	0.61%	0.37%	1.90%	2.53%
2017	0.76%	0.56%	2.85%	3.30%
2018	1.01%	0.67%	3.95%	4.22%
2019	1.13%	0.84%	5.85%	4.82%

Η απόφαση αυτή προέκυψε από την προσεκτική διερεύνηση των ταξινομήσεων, και όπως φαίνεται και από τους **Πίνακες 3.3** και **3.4** οι ταξινομήσεις των Οχημάτων Υβριδικής Τεχνολογίας με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή – PHEV είναι αρκετά χαμηλές με αποτέλεσμα τα ποσοστά διείσδυσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας οχημάτων να βρίσκονται λίγο πάνω από το 1% για την Ευρωπαϊκή Ένωση και κάτω του 1% για την γαλλική αγορά. Αντιθέτως, τα πλήρως υβριδικά οχήματα αποτελούν μια εναλλακτική λύση που από τα στατιστικά στοιχεία φαίνεται ότι οι καταναλωτές επιλέγουν συχνά τα τελευταία χρόνια, με το ποσοστό τους να αυξάνεται συνεχώς και έντονα. Οι παραπάνω παράγοντες και η μεγαλύτερη ωριμότητα που παρουσιάζουν τα πλήρως υβριδικά οχήματα στην αγορά αποτέλεσε τη βάση της επιλογής που πραγματοποιήθηκε και αφορούσε τη χρήση μόνο της συγκεκριμένης τεχνολογίας οχημάτων και τον αποκλεισμό των οχημάτων υβριδικής τεχνολογίας με ηλεκτρική ενέργεια από εξωτερική πηγή από τους υπολογισμούς του μοντέλου. Συνοψίζοντας τις επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για τις τεχνολογίες καυσίμου που μελετήθηκαν είναι οι εξής:

- Συμβατικά οχήματα βενζίνης - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV, petrol)
- Πλήρως υβριδικά οχήματα – Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- Πλήρως ηλεκτρικά οχήματα – Battery Electric Vehicle (BEV)

Αφού προηγήθηκε όλη η διαδικασία που αναλύθηκε σε βάθος στις προηγούμενες σελίδες και οδήγησε στην επιλογή τόσο των κατηγοριών μεγέθους, όσο και των τεχνολογιών καυσίμου των οχημάτων που θα υπεισέλθουν στο μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας θα πρέπει να γίνει τελικά και η επιλογή των αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models). Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για να πραγματοποιηθούν οι συγκεκριμένες επιλογές βασίστηκε στις ετήσιες πωλήσεις που καταγράφουν τα πιο δημοφιλή μοντέλα σε γαλλικό επίπεδο και συνολικά σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Πίνακας 3.5: Ταξινομήσεις νέων Συματικών οχημάτων - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) στην γαλλική αγορά το έτος 2019, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Renault Clio	B-Segment	131,507
2	Peugeot 208	B-Segment	105,589
3	Citroën C3	B-Segment	80,757
4	Peugeot 3008	J-Segment	72,940
5	Dacia Sandero	B-Segment	69,343
6	Renault Captur	J-Segment	64,050
7	Peugeot 2008	J-Segment	59,218
8	Peugeot 308	C-Segment	56,435
9	Renault Twingo	A-Segment	50,724
10	Dacia Duster	J-Segment	48,957
11	Citroën C3 Aircross	J-Segment	46,946
12	Renault Mégane	C-Segment	44,212
13	Toyota Yaris	B-Segment	41,789
14	Volkswagen Polo	B-Segment	38,941
15	Renault Scénic/Grand Scénic	M-Segment	35,819
16	Citroën C5 Aircross	J-Segment	34,698
17	Renault Kadjar	J-Segment	28,982
18	Peugeot 5008	M-Segment	28,669
19	Opel Corsa	B-Segment	27,698
20	Volkswagen Tiguan/Tiguan Allspace	J-Segment	26,017
21	Ford Fiesta	B-Segment	24,082
22	Volkswagen Golf	C-Segment	22,395
23	Volkswagen T-Roc	J-Segment	22,325
24	Fiat 500	A-Segment	21,955
25	Peugeot 108	A-Segment	21,588
26	Citroën C4 Cactus	J-Segment	20,905
27	Nissan Qashqai	J-Segment	20,053
28	Mercedes Benz A-Class	C-Segment	20,051

Πίνακας 3.6: Ταξινομήσεις νέων Συμβατικών οχημάτων - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2019, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Volkswagen Golf	C-Segment	410,330
2	Renault Clio	B-Segment	319,136
3	Volkswagen Polo	B-Segment	256,259
4	Ford Fiesta	B-Segment	228,183
5	Volkswagen Tiguan	J-Segment	224,890
6	Peugeot 208	B-Segment	224,659
7	Dacia Sandero	B-Segment	224,655
8	Renault Captur	J-Segment	224,127
9	Ford Focus	C-Segment	224,065
10	Skoda Octavia	C-Segment	223,416
11	Opel / Vauxhall Corsa	B-Segment	221,623
12	Dacia Duster	J-Segment	221,428
13	Nissan Qashqai	J-Segment	218,560
14	Citroen C3	B-Segment	212,833
15	Toyota Yaris	B-Segment	212,526
16	Volkswagen T-Roc	J-Segment	207,863
17	Mercedes Benz A-Class	C-Segment	199,713
18	Peugeot 3008	J-Segment	195,211
19	Fiat Panda	A-Segment	184,288
20	Fiat 500	A-Segment	176,414
21	Peugeot 2008	J-Segment	167,417
22	Ford Kuga	J-Segment	162,106
23	Skoda Fabia	B-Segment	157,853
24	Mercedes Benz C-Class	D-Segment	146,023
25	Peugeot 308	C-Segment	143,470

Από τους Πίνακες 3.5 και 3.6 που παρατίθενται παραπάνω και αφορούν τις πωλήσεις νέων συμβατικών οχημάτων για το 2019 στην Ευρώπη συνολικά και στην εγχώρια αγορά της Γαλλίας παρατηρούνται ορισμένες τάσεις. Αρχικά στην κατηγορία Small (A+B) το μοντέλο που καταγράφει τον μεγαλύτερο αριθμό πωλήσεων είναι το Renault Clio. Το συγκεκριμένο μοντέλο της γαλλικής αυτοκινητοβιομηχανίας Renault αποτελεί διαχρονικά ένα από τα πιο δημοφιλή μοντέλα στη συγκεκριμένη κατηγορία, μια τάση που είναι κοινή σε ολόκληρη την Ευρώπη και την Γαλλία ταυτοχρόνως. Αντιθέτως, στην κατηγορία Lower Medium (C) οι τάσεις ανάμεσα στις δύο αγορές δεν ταυτίζονται. Όπως φαίνεται είναι προφανές από τις πωλήσεις ότι οι Γάλλοι προτιμούν να στηρίζουν την εγχώρια αυτοκινητοβιομηχανία τους κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο στις χώρες που παράγουν διαθέτουν εγχώριες αυτοκινητοβιομηχανίες. Αυτή η τάση είναι αρκετά πιθανό να οδηγεί σε αυξημένες πωλήσεις για τα Peugeot 308 και Renault Mégane και να προκαλεί διαφοροποιήσεις σε σύγκριση με την συνολική ευρωπαϊκή αγορά. Στην κατηγορία Lower Medium (C) διαχρονικά

πιο δημοφιλές όχημα παραμένει το Volkswagen Golf καταλαμβάνοντας την πρώτη θέση των πωλήσεων σε ευρωπαϊκό επίπεδο επί σειρά ετών, κάτι το οποίο συνέβη και το 2019 όπως φαίνεται στον **Πίνακα 3.6**. Το γεγονός ότι βασική επιδίωξη της παρούσας διπλωματικής είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων που να είναι αντιπροσωπευτικά στο μέτρο του δυνατού συνολικά για την Ευρώπη σε συνδυασμό με τις στρεβλώσεις που παρατηρούνται στις πωλήσεις οχημάτων όταν η χώρα που μελετάτε διαθέτει αυτοκινητοβιομηχανία, οδήγησε τελικά στην επιλογή του Volkswagen Golf για την κατηγορία Lower Medium (C). Τέλος, σε ότι αφορά την κατηγορία SUV (J), η οποία είναι μια αρκετά δυναμική και ευμετάβλητη κατηγορία καθώς αναπτύσσεται με έντονο ρυθμό κυρίως την τελευταία δεκαετία, παρατηρήθηκαν αρκετά παρόμοιες τάσεις ανάμεσα στην ευρωπαϊκή και τη γαλλική αγορά με εκείνες στην κατηγορία Lower Medium (C). Για τους λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω για την προηγούμενη κατηγορία μεγέθους, επιλέχθηκε τελικά το Volkswagen Tiguan για την κατηγορία SUV (J).

Πίνακας 3.7: Ταξινομήσεις νέων Συμβατικών οχημάτων - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) στην γαλλική αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Renault Clio	B-Segment	132,657
2	Peugeot 208	B-Segment	102,397
3	Peugeot 3008	J-Segment	84,834
4	Citroën C3	B-Segment	77,941
5	Dacia Sandero	B-Segment	70,077
6	Renault Captur	J-Segment	67,398
7	Peugeot 2008	J-Segment	66,288
8	Peugeot 308	C-Segment	63,218
9	Dacia Duster	J-Segment	46,949
10	Renault Twingo	A-Segment	46,372
11	Renault Mégane	C-Segment	45,437
12	Citroën C3 Aircross	J-Segment	43,795
13	Renault Scénic/Grand Scénic	M-Segment	41,331
14	Volkswagen Polo	B-Segment	36,947
15	Toyota Yaris	B-Segment	36,588
16	Peugeot 5008	M-Segment	31,125
17	Citroën C4 SpaceTourer	M-Segment	27,973
18	Volkswagen Golf	C-Segment	27,810
19	Renault Kadjar	J-Segment	27,177
20	Opel Corsa	B-Segment	26,684
21	Fiat 500	A-Segment	25,448
22	Ford Fiesta	B-Segment	25,187
23	Nissan Qashqai	J-Segment	23,700
24	VW Tiguan	J-Segment	21,534
25	Peugeot 108	A-Segment	20,822

26	Toyota C-HR	J-Segment	20,203
----	-------------	-----------	--------

Πίνακας 3.8: Ταξινομήσεις νέων Συμβατικών οχημάτων - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Volkswagen Golf	C-Segment	445,754
2	Renault Clio	B-Segment	336,268
3	Volkswagen Polo	B-Segment	299,920
4	Ford Fiesta	B-Segment	270,738
5	Nissan Qashqai	J-Segment	233,026
6	Peugeot 208	B-Segment	230,049
7	VW Tiguan	J-Segment	224,788
8	Skoda Octavia	C-Segment	223,352
9	Toyota Yaris	B-Segment	217,642
10	Opel / Vauxhall Corsa	B-Segment	217,036
11	Dacia Sandero	B-Segment	216,306
12	Renault Captur	J-Segment	214,720
13	Citroen C3	B-Segment	210,082
14	Peugeot 3008	J-Segment	204,197
15	Ford Focus	C-Segment	196,583
16	Fiat 500	A-Segment	191,205
17	Dacia Duster	J-Segment	182,100
18	Peugeot 2008	J-Segment	180,204
19	Skoda Fabia	B-Segment	172,511
20	Fiat Panda	A-Segment	168,697
21	Opel / Vauxhall Astra	C-Segment	160,275
22	VW Passat	D-Segment	157,986
23	Skoda Fabia	B-Segment	157,853
24	Mercedes Benz A-Class	C-Segment	155,925
25	Peugeot 308	C-Segment	154,125

Στους Πίνακες 3.7 και 3.8 που αφορούν τις πωλήσεις νέων συμβατικών οχημάτων για το 2018 στην Ευρώπη συνολικά και στην εγχώρια αγορά της Γαλλίας παρατηρούνται αρκετά παρόμοιες τάσεις με εκείνες του 2019 επιβεβαιώνοντας τις διαπιστώσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 3.9: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Υβριδικών – Hybrid Electric Vehivles (HEV) οχημάτων στην γαλλική αγορά το έτος 2019, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Toyota Yaris	B-Segment	19,674
2	Toyota C-HR	J-Segment	16,783
3	Toyota Corolla	C-Segment	10,617

4	Toyota RAV4	J-Segment	9,731
5	Kia Niro	J-Segment	3,920

Πίνακας 3.10: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Υβριδικών – Hybrid Electric Vehivles (HEV) οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2019, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Toyota Corolla/Auris	C-Segment	124,453
2	Toyota C-HR	J-Segment	108,369
3	Toyota Yaris	B-Segment	104,607
4	Toyota RAV4	J-Segment	82,498

Στους **Πίνακες 3.9** και **3.10** που αφορούν τις πωλήσεις νέων πλήρως υβριδικών οχημάτων για το 2019 στην Ευρώπη συνολικά και στην εγχώρια αγορά της Γαλλίας η κατάσταση που επικρατεί είναι αρκετά πιο απλή. Με την ιαπωνική αυτοκινητοβιομηχανία Toyota να έχει αναδειχθεί σε μια εταιρεία που κάθε χρόνο καταγράφει ιδιαίτερα αυξημένες πωλήσεις υβριδικών οχημάτων, το ίδιο παρατηρείται στην ευρωπαϊκή και τη γαλλική αγορά. Έτσι, η επιλογή αντιπροσωπευτικών οχημάτων για την τεχνολογία των πλήρως υβριδικών δεν παρουσίασε δυσκολίες επιλέγοντας το Toyota Yaris για την κατηγορία Small (A+B), το Toyota Corolla (αντικαταστάτης του Toyota Auris) για την κατηγορία Lower Medium (C) και τέλος το Toyota C-HR για την κατηγορία SUV (J). Οι **Πίνακες 3.11** και **3.12** που παρατίθενται παρακάτω και αφορούν τα δεδομένα πωλήσεων για το 2018 έρχονται απλώς να επιβεβαιώσουν τα όσα διαπιστώθηκαν για τα πλήρως υβριδικά οχήματα και να θεμελιώσουν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό τις επιλογές που πραγματοποιήθηκαν για τα αντιπροσωπευτικά οχήματα που επιλέχθηκαν.

Πίνακας 3.11: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Υβριδικών – Hybrid Electric Vehivles (HEV) οχημάτων στην γαλλική αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Toyota Yaris	B-Segment	24,367
2	Toyota C-HR	J-Segment	19,096
3	Toyota Auris	C-Segment	12,257
4	Toyota RAV4	J-Segment	8,810
5	Kia Niro	J-Segment	3,629

Πίνακας 3.12: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Υβριδικών – Hybrid Electric Vehivles (HEV) οχημάτων στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Toyota Yaris	B-Segment	129,105
2	Toyota C-HR	J-Segment	117,631
3	Toyota Auris	C-Segment	87,148
4	Toyota RAV4	J-Segment	59,378
5	Kia Niro	J-Segment	34,116

Στους Πίνακες 3.13 και 3.14 που ακολουθούν φαίνεται ότι οι πωλήσεις νέων πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων για το 2019 στην Ευρώπη συνολικά και στην εγχώρια αγορά της Γαλλίας παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες σε δύο από τις τρεις κατηγορίες μεγέθους που υπάγονται στο μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Έτσι, η επιλογή ως αντιπροσωπευτικών οχημάτων του Renault Zoé για την κατηγορία Small (A+B) και του Nissan Leaf για την κατηγορία Lower Medium (C) όπως προκύπτει από τις πωλήσεις καταφέρνει να περιγράψει ικανοποιητικά τόσο την ευρωπαϊκή αγορά, όσο και τη γαλλική. Σε ότι αφορά την κατηγορία SUV (J) δεν υπάρχει ένα όχημα που έχει επικρατήσει σε καμία από τις δύο αγορές και για αυτό επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί το Kia e-Niro, το οποίο παρουσιάζει αυξημένες πωλήσεις στη γαλλική αγορά και επιπλέον καλύπτει τις απαιτήσεις μεγέθους αφού ανήκει στα μεσαίου μεγέθους SUV – την κατηγορία C.

Πίνακας 3.13: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Ηλεκτρικών – Battery Electric Vehivles (BEV) οχημάτων στην γαλλική αγορά το έτος 2010, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Renault Zoé	B-Segment	18,817
2	Tesla Model 3	D-Segment	6,455
3	Nissan Leaf	C-Segment	3,553
4	BMW i3	B-Segment	2,793
5	Kia e-Niro	J-Segment	1,850
6	Smart Fortwo EQ	A-Segment	1,790
7	Hyundai Kona Electric	J-Segment	1,513
8	Volkswagen e-Golf	C-Segment	661
9	Hyundai Ioniq Electric	C-Segment	553
10	Citroën C-Zero	A-Segment	543

Πίνακας 3.14: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Ηλεκτρικών – Battery Electric Vehivles (BEV) οχημάτων στην στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2019, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2019
1	Tesla Model 3	D-Segment	94,495
2	Renault Zoé	B-Segment	45,602
3	BMW i3	B-Segment	32,451
4	Nissan Leaf	C-Segment	32,443

Πίνακας 3.15: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Ηλεκτρικών – Battery Electric Vehivles (BEV) οχημάτων στην γαλλική αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: largus.fr.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Renault Zoé	B-Segment	17,034
2	Nissan Leaf	C-Segment	4,572
3	BMW i3	B-Segment	2,416
4	Smart Fortwo/Forfour EQ	B-Segment	1,278
5	Peugeot Ion	A-Segment	1,030
6	Tesla Model S	E-Segment	749
7	Citroën C-Zero	A-Segment	746
8	Kia e-Soul	J-Segment	660
9	Hyundai Ioniq Electric	C-Segment	632
10	Tesla Model X	J-Segment	503

Πίνακας 3.16: Ταξινομήσεις νέων Πλήρως Ηλεκτρικών – Battery Electric Vehivles (BEV) οχημάτων στην στην ευρωπαϊκή αγορά το έτος 2018, πηγή δεδομένων: JATO.

Rank	Car Brand and Model	European Segment	Sales 2018
1	Nissan Leaf	C-Segment	38,792
2	Renault Zoé	B-Segment	38,167
3	Volkswagen e-Golf	C-Segment	21,108
4	BMW i3	B-Segment	18,100
5	Tesla Model S	E-Segment	16,414

Συνοψίζοντας την ανάλυση, τις παραδοχές και το σύνολο των επιλογών που πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες σελίδες σχετικά με τα αντιπροσωπευτικά οχήματα για όλες τις κατηγορίες μεγέθους και τεχνολογιών καυσίμου προέκυψε ο τελικός πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 3.17: Τελικές επιλογές αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models) που επιλέχθηκαν για τη διενέργεια υπολογισμών.

	ICEV (PETROL)	HEV	BEV
SMALL (A+B)	Renault Clio	Toyota Yaris	Renault Zoé
LOWER MEDIUM (C)	Volkswagen Golf	Toyota Corolla	Nissan Leaf
SUV (J)	Volkswagen Tiguan	Toyota C-HR	Kia e-Niro

Τέλος, η επιλογή των εκδόσεων που ήταν διαθέσιμες για κάθε μοντέλο από τα εννέα οχήματα που συνοψίζονται στον παραπάνω πίνακα προέκυψε με την προσέγγιση επιλογής της πλέον οικονομικής έκδοσης κάθε μοντέλου ενώ ταυτοχρόνως ο λόγος kW/kg των εκδόσεων να είναι όσο το δυνατόν ίδιος μεταξύ οχημάτων της ίδιας κατηγορίας μεγέθους.

Πίνακας 3.18: Τελικές επιλογές αντιπροσωπευτικών οχημάτων (representative models) και των εκδόσεων τους που επιλέχθηκαν για τη διενέργεια υπολογισμών.

Μάρκα-Μοντέλο	Έκδοση	Διαστάσεις (cm)	KW	Βάρος (kg)	KW/kg	Τιμή
Renault Clio	Zen TCe 100	405/179/144	74	1253	0.06	18,400
Renault Zoé	Zen R 135	408/178/156	100	1502	0.07	34,600
Toyota Yaris	Dynamic	394/169/151	74	1120	0.07	21,150
Toyota Corolla	Active	437/179/143	90	1348	0.07	27,950
Toyota C-HR	Dynamic	439/179/155	90	1438	0.06	30,100
Volkswagen Golf	Trendline	435/179/149	85	1240	0.07	24,800
Volkswagen Tiguan	Confortline	448/183/163	96	1510	0.06	33,625
Nissan Leaf	Visia	448/183/163	110	1610	0.07	33,900
Kia e-Niro	Motion	437/180/156	100	1619	0.06	37,000

3.2.3 Μεταπωλητική αξία οχημάτων

Η αγορά μεταχειρισμένων οχημάτων είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη παγκοσμίως και μέσω αυτής πραγματοποιείται ένα μεγάλο μέρος αγορών και πωλήσεων. Τα νέα οχήματα μετά από τη πρώτη ιδιοκτησία τους τροφοδοτούν τη συγκεκριμένη αγορά. Η παραπάνω διαδικασία και η τιμή πώλησης ενός νέου οχήματος μετά το πέρας της πρώτης ιδιοκτησίας του είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και θα

πρέπει να καθοριστούν με προσοχή προκειμένου να συμπεριληφθούν στο μοντέλο και να πραγματοποιηθούν αξιόπιστοι υπολογισμοί.

Όπως είναι γνωστό τα οχήματα υποτιμούνται με την πάροδο του χρόνου, και παρατηρείται εντονότερη απώλεια αξίας κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής του οχήματος. Ο υπολογισμός της μεταπωλητικής αξίας ενός οχήματος είναι ιδιαίτερα σύνθετος και εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων με πιο σημαντικούς:

- την εμπορική αξία του οχήματος
- τον τύπο του αμαξώματος
- τον κυβισμό του κινητήρα
- το είδος καυσίμου
- την κατανάλωσή καυσίμου
- τα χιλιόμετρα
- την μεταβιβάσιμη εγγύηση
- την εσωτερική και εξωτερική κατάσταση
- την αξιοπιστία της μάρκας
- το χρώμα
- τον extra εξοπλισμό

Από τον αριθμό των παραγόντων που επηρεάζουν την μεταπωλητική αξία ενός οχήματος γίνεται αντιληπτό ότι κάθε όχημα διαμορφώνει μια μοναδική τιμή πώλησης στην αγορά μεταχειρισμένων. Επειδή όμως σκοπό της παρούσας διπλωματικής αποτελεί ο υπολογισμός χαρακτηριστικών τιμών συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για διαφορετικές τεχνολογίες και κατηγορίες μεγέθους οχημάτων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν μέσες τιμές μεταπώλησης για τα μοντέλα οχημάτων που έχουν επιλεγεί.

Στις μελέτες συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση δεν παρατηρήθηκε ενιαία αντιμετώπιση στο ζήτημα της μεταπωλητικής αξίας. Υπήρξαν μελέτες που αγνόησαν τελείως τη συγκεκριμένη παράμετρο (Weldon et al. 2018; Elisabeth Windisch 2013) και άλλες που προχώρησαν σε διαφορετικές αναλύσεις ή πραγματοποίησαν παραδοχές (Hagman et al. 2016). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αναλύσεις των Wu et al. 2015 και Letmathe and Soares 2017 οι οποίοι υπολόγισαν την μεταπωλητική αξία των οχημάτων με τη μέθοδο ηδονικής αξίας, των Lebeau et al. 2013 οι οποίοι με τη μέθοδο της παλινδρόμησης υπολόγισαν την ετήσια απώλεια αξίας οχημάτων διαφορετικής τεχνολογίας και τέλος η προσέγγιση των Douglas and Stewart 2011 οι οποίοι χρησιμοποίησαν μια δημοφιλής βρετανική ιστοσελίδα αυτοκίνησης προκειμένου να βρουν τη τιμή μεταπώλησης των οχημάτων στο πέρας της περιόδου ιδιοκτησίας.

Πίνακας 3.19: Μεταπωλητική αξία οχημάτων σύμφωνα με τη μελέτη των Wu et al. (2015).

<i>Resale price as percentage of the purchase price</i>			
<i>Vehicle Segment</i>	ICEV	HEV	BEV
<i>A/B</i>	30%	29%	27%
<i>C/D</i>	28%	28%	26%
<i>J</i>	28%	27%	26%

Πίνακας 3.20: Ετήσια απώλεια αξίας οχημάτων σύμφωνα με τους Lebeau et al. (2013).

<i>Vehicle technology</i>	<i>Annual depreciation rate</i>
<i>Petrol</i>	0.845
<i>Diesel</i>	0.827
<i>HEV</i>	0.834
<i>BEV</i>	0.720
<i>PHEV</i>	0.773

Όπως φαίνεται από τις παραπάνω επιλεγμένες μελέτες τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη απώλεια αξίας κατά την ιδιοκτησία τους σε σχέση με οχήματα διαφορετικών τεχνολογιών. Σε αυτό το συμπέρασμα έχουν καταλήξει όλες οι μελέτες που συμπεριλαμβάνουν την αξία μεταπώλησης και οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία (Danielis et al. 2018).

Για το μοντέλο που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία και πιο συγκεκριμένα για την γαλλική αγορά στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί, η προσέγγιση για την εξαγωγή της μεταπωλητικής αξίας κάθε οχήματος ήταν ανάλογη με αυτή των Douglas and Stewart 2011 που αναφέρθηκε παραπάνω. Για τα εννέα μοντέλα που συμπεριλήφθηκαν στους υπολογισμούς πραγματοποιήθηκε έρευνα κατά την οποία βρέθηκαν οι τιμές πωλήσεις μεταχειρισμένων οχημάτων για τα αντίστοιχα μοντέλα που υπήρχαν στην αγορά πριν από έξι χρόνια, χρονικό που ανταποκρίνεται στη περίοδο ιδιοκτησίας που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Στα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν περιλαμβάνονται διαφορετικές εκδόσεις του κάθε μοντέλου και στοιχεία από δύο πηγές δεδομένων, ώστε τελικά να εξαχθεί ένας όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικός μέσος όρος της μεταπωλητικής αξίας.

Πίνακας 3.21: Μεταπωλητική αξία επιλεγμένων μοντέλων και εκδόσεων οχημάτων που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς, πηγή δεδομένων: autoplus.fr και lacentrale.fr.

Μάρκα-Μοντέλο	Τιμή αγοράς 2015	Τιμή μεταπώλησης	
		autoplus.fr	lacentrale.fr
Renault Clio IV Life	13,500	7,230	7,526
Renault Clio IV Limited	15,100	7,928	8,036
Renault Clio IV Trend	14,300	7,369	7,720
Renault Clio IV Zen	15,300	7,705	8,098
Renault Clio IV Limited	16,100	8,616	8,633
Renault Zoe Life	22,400	6,762	8,480
Renault Zoe Zen	23,700	6,937	8,768
Renault Zoe Life	21,900	6,744	8,366
Toyota Yaris France	18,990	10,333	10,681
Toyota Yaris Dynamic	19,200	10,745	10,784
Toyota Yaris Style	21,250	11,458	11,386
VW Golf TrendLine	19,470	10,169	10,981
VW Golf TrendLine	22,820	10,741	12,499
VW Golf TrendLine	21,820	10,843	12,107
VW Golf ConfortLine	24,670	12,081	12,228
Toyota Auris Design	26,400	12,277	13,908
Toyota Auris Dynamic	25,800	11,997	13,495
Toyota Auris Executive	28,600	13,004	14,372
Toyota Auris Tendance	24,950	11,603	13,262
Nissan Leaf Design	33,290	12,716	12,378
Nissan Leaf Acenta	33,225	12,503	12,155
Nissan Leaf Tekna	35,655	13,144	13,034
Nissan Leaf Visia	30,745	10,866	10,681
VW Tiguan Carat	36,040	17,822	18,607
VW Tiguan	26,640	13,993	15,095

Στα μοντέλα που περιέχει ο παραπάνω πίνακας όπως φαίνεται δεν συμπεριλαμβάνονται το Toyota C-HR και το Kia e-Niro, καθώς πρόκειται για μοντέλα που δεν υπήρχαν στην αγορά πριν από έξι χρόνια. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η έλλειψη δεδομένων για τα παραπάνω οχήματα επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η σχέση μεταξύ της απώλειας αξίας που παρατηρήθηκε στα συμβατικά, υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα της κατηγορίας Lower Medium (C) και να εφαρμοστεί και για την κατηγορία SUV.

Πίνακας 3.22: Σχέση μεταπωλητικής αξίας μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών οχημάτων.

Vehicle technology	Ratio
HEV/ICEV	0.95
BEV/ICEV	0.71

Τελικά προέκυψαν οι τιμές της μεταπωλητικής αξίας κάθε οχήματος που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο. Όπως φαίνεται από τον **Πίνακα 3.23** που ακολουθεί παρατηρείται μια εντονότερη απώλεια αξίας για τα ηλεκτρικά οχήματα, όπως έχει διαπιστωθεί και από προηγούμενες μελέτες. Η άμεση σύγκριση των τιμών της μεταπωλητικής αξίας που βρέθηκαν με εκείνες προγενέστερων μελετών δεν είναι δυνατή καθώς κάθε μελέτη περιλαμβάνει διαφορετικές παραμέτρους ως προς τα έτη ιδιοκτησίας, τα ετήσια χιλιόμετρα που διανύονται και την αγορά που μελετάται.

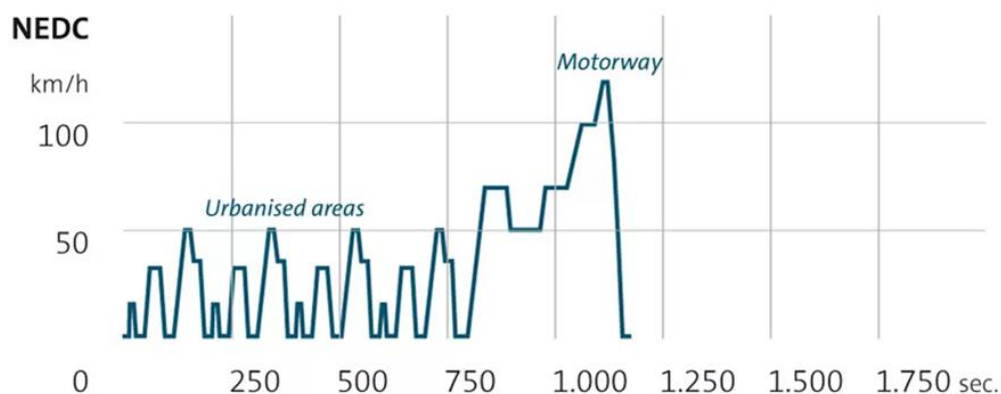
Πίνακας 3.23: Τελική μεταπωλητική αξία οχημάτων ως προς την τιμή αγοράς τους για βετή ιδιοκτησίας.

<i>Resale price as percentage of the purchase price</i>			
<i>Vehicle Segment</i>	ICEV	HEV	BEV
<i>Small (A+B)</i>	53%	55%	34%
<i>Lower Medium (C)</i>	52%	49%	37%
<i>SUV (C)</i>	53%	50%	37%

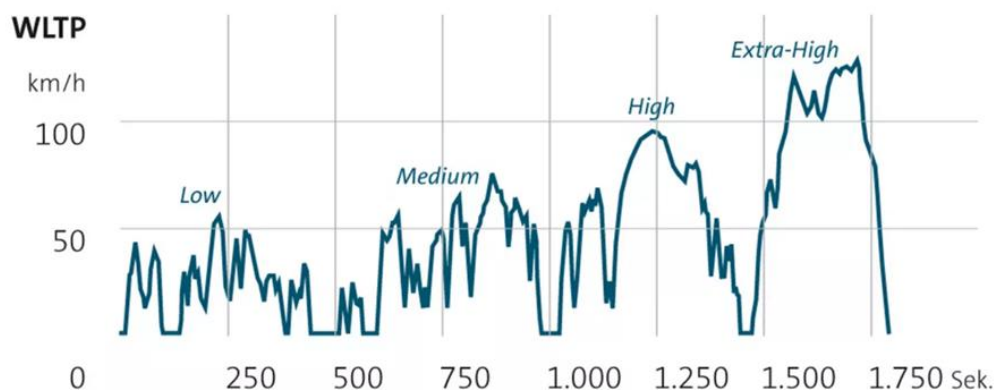
3.2.4 Ενεργειακές απαιτήσεις οχημάτων

Οι ενεργειακές απαιτήσεις και οι εκπομπές των ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων διαχρονικά ποσοτικοποιούνται μέσω των επίσημων κύκλων μετρήσεων που έχουν θεσμοθετηθεί. Στην Ευρώπη οι κανονισμοί για τις εκπομπές των οχημάτων θεσπίστηκαν για πρώτη φορά κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970. Εκείνη την εποχή αναπτύχθηκε μια πρώτη έκδοση ενός ευρωπαϊκού κύκλου οδήγησης για δοκιμές οχημάτων υπό εργαστηριακές συνθήκες που περιλάμβανε οδήγηση μόνο σε αστικές συνθήκες και μέγιστη ταχύτητα 50 km/h, ενώ καταγράφονταν μόνο εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και όχι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ο κύκλος δοκιμών τροποποιήθηκε κατά τη δεκαετία του 1990, ώστε να περιλαμβάνει οδήγηση και σε συνθήκες εκτός πόλης με μέγιστη ταχύτητα 120 km/h και ονομάστηκε «Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης» (New European Drive Cycle – NEDC). Οι μετρήσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα απέκτησαν ιδιαίτερη σημασία κατά τη δεκαετία του 1990, όταν οι κατασκευαστές αυτοκινήτων που είχαν έδρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση συνήψαν συμφωνία για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα των νέων οχημάτων, και σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό από το 2009, όταν η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε ένα πλαίσιο το οποίο περιλάμβανε χρηματικό πρόστιμο σε περίπτωση υπερβολικά υψηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Μέχρι πρόσφατα, η ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης και των εκπομπών των οχημάτων πραγματοποιούνταν βάσει του ισχύοντος κύκλου εργαστηριακής δοκιμής «Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης» (New European Drive Cycle – NEDC). Η ανάγκη όμως για μια εργαστηριακή δοκιμή που θα ανταποκρινόταν στα σύγχρονα δεδομένα που είχαν δημιουργηθεί οδήγησε την ευρωπαϊκή επιτροπή να θεσπίσει μια νέα, πιο ρεαλιστική διαδικασία εργαστηριακής δοκιμής —τη νέα παγκόσμια εναρμονισμένη διαδικασία δοκιμής ελαφρών οχημάτων (World Harmonised Light Vehicle Test Procedure – WLTP)— για τη μέτρηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της κατανάλωσης καυσίμων από τα αυτοκίνητα και τα μικρά φορτηγά. Η WLTP αντικαθιστά τον Νέο Ευρωπαϊκό Κύκλο Οδήγησης (NEDC), ο οποίος δεν ανταποκρίνεται πλέον στις σημερινές συνθήκες οδήγησης ή στις τεχνολογίες των οχημάτων. Η WLTP θα παρέχει τιμές των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και της κατανάλωσης καυσίμων που θα αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες, προς όφελος των καταναλωτών και των ρυθμιστικών αρχών τόσο σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και σε εθνικό επίπεδο.



Σχήμα 3.9: Νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος Οδήγησης – New European Drive Cycle (NEDC), πηγή: volkswagen.gr.



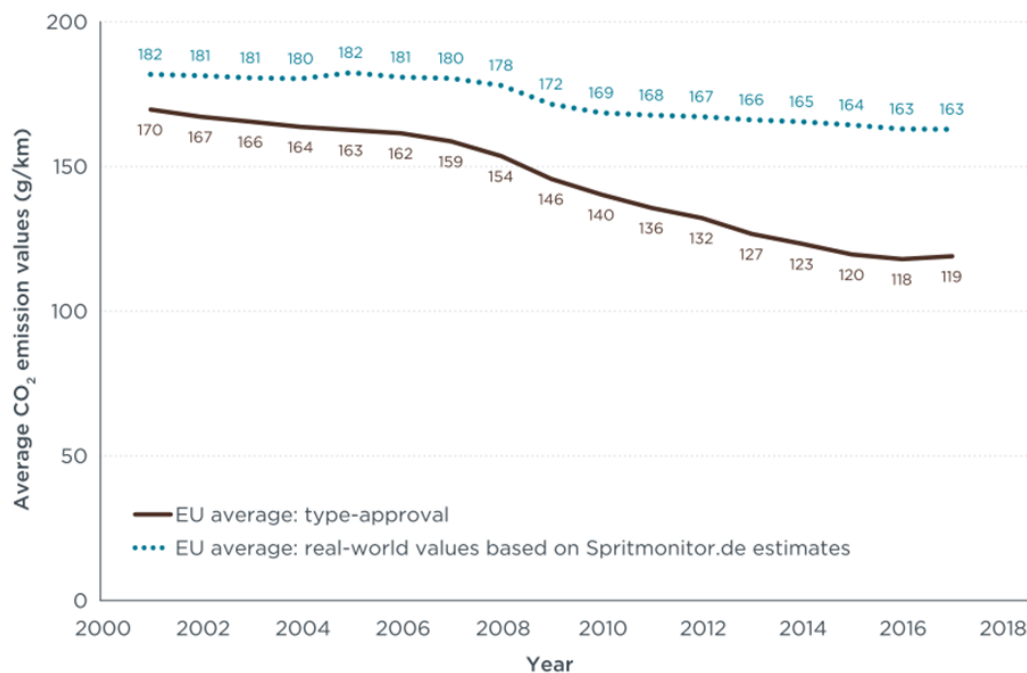
Σχήμα 3.10: Νέα παγκόσμια εναρμονισμένη διαδικασία δοκιμής ελαφρών οχημάτων - World Harmonised Light Vehicle Test Procedure (WLTP), πηγή: volkswagen.gr.

TEST CYCLE		CYCLE TIME	
NEDC Single test cycle		WLTP Dynamic cycle more representative of real driving	
NEDC 20 minutes		WLTP 30 minutes	
CYCLE DISTANCE		DRIVING PHASES	
NEDC 11 kilometre		WLTP 23.25 kilometre	
NEDC 2 phases, 66% urban and 34% non-urban driving		WLTP 4 more dynamic phases, 52% urban and 48% non-urban	
AVERAGE SPEED		MAXIMUM SPEED	
NEDC 34 kilometre per hour		WLTP 46.5 kilometre per hour	
NEDC 120 kilometre per hour		WLTP 131 kilometre per hour	
INFLUENCE OF OPTIONAL EQUIPMENT		GEAR SHIFTS	
NEDC Impact on CO ₂ and fuel performance not considered under NEDC		WLTP Additional features (which can differ per car) are taken into account	
NEDC Vehicles have fixed gear shift points		WLTP Different gear shift points for each vehicle	
TEST TEMPERATURES			
NEDC Measurements at 20-30°C		WLTP Measurements at 23°C, CO ₂ values corrected to 14°C	

Σχήμα 3.11: Διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται μεταξύ παλαιού και νέου πρωτοκόλλου, πηγή: ACEA.

Βιβλιογραφικά σχεδόν το σύνολο των μελετών προσεγγίζει το ζήτημα των ενεργειακών απαιτήσεων με στοιχεία από τις επίσημες θεσμοθετημένες μετρήσεις που εφαρμόζονται σε κάθε αγορά που μελετάται (NEDC στην Ευρώπη, EPA στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής κ.ά.), ενώ παρατηρούνται και περιορισμένες μελέτες συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που εφαρμόζουν εξατομικευμένες προσομοιώσεις για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι κάθε πρωτόκολλο μετρήσεων ακολουθεί διαφορετική μεθοδολογία, γεγονός που επηρεάζει τα αποτελέσματα των μοντέλων συνολικού κόστους ιδιοκτησίας προσθέτοντας ακόμα ένα παράγοντα που αυξάνει τη δυσκολία σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών μελετών.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τυποποιημένης διαδικασίας NEDC σε σύγκριση με τις τιμές εκπομπών και κατανάλωσης που καταγράφονται κατά την χρήση ενός οχήματος έχει αποδειχθεί ότι αποκλίνουν (Fontaras et al. 2017; Uwe Tietge et al. 2019). Το Διεθνές Συμβούλιο για «Καθαρές» Μεταφορές (International Council on Clean Transportation - ICCT) πρόκειται για έναν ανεξάρτητο, μη κερδοσκοπικό οργανισμό, σκοπός του οποίου είναι η διενέργεια μελετών και η παροχή επιστημονικής και τεχνικής ανάλυσης σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον και τις μεταφορές. Ο συγκεκριμένος οργανισμός ξεκίνησε το 2012 ένα πρότζεκτ υπό τον τίτλο «Lab to Road», σκοπός του οποίου αποτελεί η μελέτη και η τεκμηρίωση του χάσματος μεταξύ των επίσημων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των πραγματικών εκπομπών των οχημάτων στην Ευρώπη. Όπως φαίνεται από τις δημοσιεύσεις, το χάσμα αυτό αυξήθηκε από περίπου 9% το 2001 στο 40% περίπου το 2015 και σύμφωνα με την πιο πρόσφατη δημοσίευση που καλύπτει δεδομένα μέχρι και το 2017 ενώ η εργαστηριακές τιμές δείχνουν μείωση 30%, από 170 g/km CO₂ το 2001 σε 119 g/km το 2017, η εκτιμήσεις για τις πραγματικές τιμές παρουσιάζουν μείωση μόνο κατά 10%.



Σχήμα 3.12: Εργαστηριακές και πραγματικές τιμές εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη, Πηγή: ICCT (2019).

Ορισμένες μελέτες αναγνωρίζοντας τις αποκλίσεις που παρουσιάζουν οι μετρήσεις της τυποποιημένης διαδικασίας NEDC χρησιμοποιούν διάφορες προσεγγίσεις προκειμένου να συμπεριλάβουν στους υπολογισμούς τους ρεαλιστικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας, οι οποίες με τη σειρά τους θα οδηγήσουν σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα συνολικού κόστους ιδιοκτησίας. Οι Danielis et al. 2018 εισάγουν τη συγκεκριμένη παράμετρο στο μοντέλο που αναπτύσσουν ως στοχαστική που περιγράφεται από μια κατανομή Beta, οι Wu et al. 2015 χρησιμοποιούν συντελεστές προσαύξησης από διάφορες βιβλιογραφικές πηγές, ενώ οι Hagman et al. 2016 χρησιμοποιούν συντελεστές προσαύξησης που εξάγουν από την βάση δεδομένων της ιστοσελίδας spritmonitor.de. Επιπλέον, υπάρχουν μελέτες που αγνοούν πλήρως το χάσμα που παρατηρείται, είτε θεωρούν ότι οι αποκλίσεις είναι κοινές για όλες τις τεχνολογίες οχημάτων και δεν επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα που συγκρίνονται (Lebeau et al. 2013).

Παρόλο που η νέα παγκόσμια εναρμονισμένη διαδικασία δοκιμής ελαφρών οχημάτων (World Harmonised Light Vehicle Test Procedure – WLTP) έχει εφαρμοστεί σταδιακά από τον Σεπτέμβριο του 2017 και καθολικά από Σεπτέμβριο του 2019, κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε δεν βρέθηκε καμία μελέτη συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που να πραγματοποιεί υπολογισμούς σύμφωνα με τις μετρήσεις της εν λόγω δοκιμής. Αν και για τη νέα δοκιμή υπάρχουν ενδείξεις ότι παρουσιάζει αποκλίσεις σε

σχέση με τις πραγματικές τιμές (Mock Peter et al. 2014; Pavlovic et al. 2018; The Committee on Climate Change 2015) η χρήση της για την πραγματοποίηση υπολογισμών συνολικού κόστους ιδιοκτησίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Τα χαρακτηριστικά ως προς την κατανάλωση ενέργειας κάθε οχήματος παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Το σύνολο των τιμών που εμφανίζονται βρέθηκαν από τις επίσημες προδιαγραφές που δημοσιεύουν οι κατασκευαστές των οχημάτων για κάθε μοντέλο και έκδοση.

Πίνακας 3.24: Κατανάλωση ενέργειας κατά WLTP για κάθε όχημα που συμπεριλήφθηκε στο μοντέλο.

Μάρκα-Μοντέλο	Έκδοση	Διαστάσεις (l/w/h)	Κατανάλωση μικτού κύκλου WLTP
Renault Clio	Zen TCe 100	405/179/144	5.2 (l/100km)
Renault Zoé	Zen R 135	408/178/156	0.177 (kWh/km)
Toyota Yaris	Dynamic	394/169/151	4.8 (l/100km)
Toyota Corolla	Active	437/179/143	4.5 (l/100km)
Toyota C-HR	Dynamic	439/179/155	4.8 (l/100km)
Volkswagen Golf	Trendline	435/179/149	5.5 (l/100km)
Volkswagen Tiguan	Confortline	448/183/163	6.3 (l/100km)
Nissan Leaf	Visia	448/183/163	0.206 (kWh/km)
Kia e-Niro	Motion	437/180/156	0.153 (kWh/km)

Τέλος για τον υπολογισμό του ετήσιου ενεργειακού κόστους του κάθε οχήματος χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις:

$$Annual\ energy\ cost\ [EUR] = (Annual\ milliage \div 100) [km] \times WLTP\ consumption \left[\frac{l}{100km} \right] \times Fuel\ price \left[\frac{EUR}{l} \right]$$

$$Annual\ energy\ cost\ [EUR] = Annual\ milliage\ [km] \times WLTP\ consumption \left[\frac{kWh}{km} \right] \times Fuel\ price \left[\frac{EUR}{kWh} \right]$$

3.2.5 Κόστος συντήρησης και επισκευής οχημάτων

Το κόστος συντήρησης ενός οχήματος περιλαμβάνει τόσο το κόστος για τις περιοδικές εργασίες όσο και εκείνο των απροόπτων επισκευών και εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως το μοντέλο, η μάρκα, τα χιλιόμετρα που διανύει σε ετήσια βάση και η παλαιότητα του.

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι το κόστος συντήρησης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με των οχημάτων που διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης, δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν σαφώς λιγότερα κινούμενα μηχανικά μέρη, δεν καταπονούνται από τις θερμοκρασιακές αλλαγές και δεν απαιτείται αντικατάσταση λιπαντικών και άλλων υγρών.

Βιβλιογραφικά για τη συγκεκριμένη παράμετρο κάθε μελέτη χρησιμοποιεί διαφορετικές τιμές. Το σύνολο των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν αναγνωρίζουν την οικονομία που παρέχουν τα ηλεκτρικά οχήματα ως προς το κόστος συντήρησης και επισκευής και για αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας συντελεστής 50-80%, που εφαρμόζεται στο κόστος των συμβατικών οχημάτων προκειμένου να προκύψει το κόστος των ηλεκτρικών (Lebeau et al. 2013; Mitropoulos et al. 2017; van Velzen et al. 2019). Σε ότι αφορά τη διαφορά του κόστους συντήρησης ανάμεσα στα συμβατικά και υβριδικά οχήματα στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρείται ισοδύναμο, είτε παρατηρούνταν μικρές αποκλίσεις προς όφελος του υβριδικού.

Ιδιαίτερη έμφαση στην παράμετρο του κόστους συντήρησης και επισκευής έδωσαν οι Bernd Propfe et al. 2012, καθώς πραγματοποίησαν μια λεπτομερή ανάλυση των απαιτήσεων συντήρησης και πως αυτές μεταφράζονται σε κόστος για 31 εξαρτήματα οχημάτων διαφορετικών τεχνολογιών. Τα αποτελέσματα τους επιβεβαιώνουν την οικονομία που παρέχουν τα ηλεκτρικά οχήματα έναντι των συμβατικών, παρόλο που η προσφερόμενη οικονομία προέκυψε λίγο κάτω από το 20% που αποτελεί μια αρκετά συγκρατημένη προσέγγιση σε σχέση με τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια άλλων μελετών. Επιπλέον, σύμφωνα με τα αποτελέσματα το κόστος συντήρησης ενός υβριδικού οχήματος προέκυψε οικονομικότερο κατά 6% σε σύγκριση με το συμβατικό.

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, η παραπάνω δημοσίευση κρίθηκε ότι πραγματοποιεί την πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για την παράμετρο του κόστους συντήρησης και επισκευής και για αυτό χρησιμοποιήθηκε για την διενέργεια των υπολογισμών.

Πίνακας 3.25: Κόστος συντήρησης και επισκευής για κάθε τεχνολογία οχήματος.

	<i>Vehicle technology</i>		
	ICEV	HEV	BEV
<i>Maintenance and repair cost [EUR/km]</i>	0.072	0.068	0.058

3.2.6 Κόστος ασφάλισης οχημάτων

Το κόστος ασφάλισης αποτελεί ένα αρκετά σημαντικό έξοδο για του χρήστες οχημάτων, το οποίο καταβάλλεται σε ετήσια βάση. Ο υπολογισμός του εξαρτάται από πλήθος παραγόντων με πιο ενδεικτικούς να είναι ο τύπος του οχήματος, η ηλικία του οδηγού, η γεωγραφική περιοχή που συνήθως χρησιμοποιείται το όχημα και τα χαρακτηριστικά του οχήματος όπως το έτος κατασκευής, τα κυβικά, η ιπποδύναμη και η αξία.

Βιβλιογραφικά οι ασφαλιστικές δαπάνες δεν έχουν διερευνηθεί σε βάθος καθώς η πλειοψηφία των δημοσιεύσεων είτε δεν τις συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς, είτε θεωρεί ότι είναι ίσες για τις διαφορετικές τεχνολογίες οχημάτων (Weldon et al. 2018; Prud'homme and Koning 2012).

Σε αντίθεση με την παραπάνω προσέγγιση, ορισμένοι μελετητές αναζήτησαν το ακριβές κόστος ασφάλισης, για κάθε όχημα που συμπεριλάμβαναν στο μοντέλο υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, μέσω πραγματικών τιμών που προσφέρονται από ασφαλιστικές εταιρείες σύμφωνα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά οδηγού (Danielis et al. 2018; Hagman et al. 2016). Εφαρμόζοντας την ίδια προσέγγιση στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξήχθησαν οι ασφαλιστικές δαπάνες για το σύνολο των οχημάτων που συμπεριελήφθησαν στο μοντέλο, με το ετήσιο κόστος να εμφανίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.26: Κόστος ασφάλισης για κάθε όχημα, πηγή δεδομένων: devis-auto.direct-assurance.fr.

Vehicle technology	Make - Model	Annual insurance cost [EUR]
ICEV	Renault Clio	640
	Volkswagen Golf	691
	Volkswagen Tiguan	824
HEV	Toyota Yaris	639
	Toyota Corolla	700
	Toyota C-HR	763
BEV	Renault Zoé	954
	Nissan Leaf	1040
	Kia e-Niro	1029

Οι τιμές που εμπεριέχονται στον πίνακα αφορούν οδηγό ηλικίας 30 ετών, ο οποίος διαθέτει δίπλωμα οδήγησης από το 2008 και διαμένει στο Παρίσι. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά το χάσμα ανάμεσα στις δαπάνες των ηλεκτρικών και συμβατικών οχημάτων είναι ιδιαίτερα αυξημένο, ενώ δεν παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο ανάμεσα στα υβριδικά και συμβατικά οχήματα. Τα αυξημένα ασφάλιστρα για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αποτέλεσμα της

υψηλής τιμής πώλησης η επιρροή της οποίας είναι έντονη στον υπολογισμό των ασφαλιστρών.

3.2.7 Κόστος τελών κυκλοφορίας

Το ύψος των ετήσιων τελών κυκλοφορίας που καταβάλλονται για κάθε όχημα, εξαρτάται από τους φορολογήσιμους ίππους που διαθέτει και από την γεωγραφική περιοχή που διαμένει ο ιδιοκτήτης του. Η ιστοσελίδα vendezvotrevoiture.be δίνει αναλυτικές πληροφορίες για το ύψος του συγκεκριμένου κόστους και χρησιμοποιήθηκε για να εξαχθεί η συγκεκριμένη παράμετρος για κάθε όχημα που χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο συνολικού κόστους ιδιοκτησίας.

Πίνακας 3.27: Κόστος τελών κυκλοφορίας για κάθε όχημα, πηγή δεδομένων: vendezvotrevoiture.be.

Vehicle technology	Make - Model	Annual vehicle tax [EUR]
ICEV	Renault Clio	238
	Volkswagen Golf	284
	Volkswagen Tiguan	330
HEV	Toyota Yaris	145
	Toyota Corolla	191
	Toyota C-HR	191
BEV	Renault Zoé	53
	Nissan Leaf	191
	Kia e-Niro	53

3.2.8 Κόστος καυσίμων

Για τη διενέργεια των υπολογισμών του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, βασική παράμετρος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί είναι το κόστος των καυσίμων, και πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής το κόστος της βενζίνης και του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η εξαγωγή των απαιτούμενων δεδομένων για τις τιμές της βενζίνης πραγματοποιήθηκε μέσω του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (ΕΟΠ), ο οποίος δημοσιεύει τις εβδομαδιαίες τιμές ορυκτών καύσιμων στα πλαίσια της Ευρώπης και παρέχει δεδομένα για κάθε χώρα. Μέσω της επεξεργασίας των εβδομαδιαίων τιμών προέκυψε η μέση τιμή βενζίνης που καταγράφηκε στη Γαλλία για το 2019, η οποία διαμορφώθηκε στο 1.50 €/lt.

Με το ίδιο ακριβώς σκεπτικό πραγματοποιήθηκε και η εξαγωγή της τιμής του ηλεκτρικού ρεύματος για τη γαλλική αγορά και για το ίδιο έτος. Σε αυτή τη περίπτωση πηγή δεδομένων αποτέλεσε η Eurostat, από την οποία προέκυψε ότι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος για την Γαλλία διαμορφώνεται στα 0.19 €/kWh για πρώτο εξάμηνο του 2019, αφού κατά την αξιολόγηση των δεδομένων που πραγματοποιήθηκε δεν είχαν δημοσιευτεί τα αποτελέσματα για το σύνολο του έτους.

Κατά τους υπολογισμούς του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας των οχημάτων που εξετάζονται στη παρούσα διπλωματική οι παραπάνω τιμές αποτέλεσαν την παράμετρο εισόδου, και θα πρέπει να τονιστεί η υπόθεση που πραγματοποιήθηκε σχετικά με τη μη μεταβολή των τιμών καυσίμων κατά την περίοδο ιδιοκτησίας του οχήματος.

3.2.9 Επιδότηση ή πρόστιμο κατά την αγορά

Στη Γαλλία λειτουργεί ένα πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο κατά την αγορά ενός οχήματος προκύπτει ένα ποσό επιδότησης, είτε ένα πρόστιμο. Το ύψος αυτού του ποσού διαφέρει από όχημα σε όχημα και εξαρτάται από τους φορολογήσιμους ίππους, την τεχνολογία καυσίμου του οχήματος κ.ά.

Πίνακας 3.28: Επιδότηση ή πρόστιμο κατά την αγορά για κάθε όχημα, πηγή δεδομένων: autoplus.fr.

Vehicle technology	Make - Model	Subsidy [EUR]
ICEV	Renault Clio	0
	Volkswagen Golf	0
	Volkswagen Tiguan	-450
HEV	Toyota Yaris	0
	Toyota Corolla	0
	Toyota C-HR	0
BEV	Renault Zoé	6.000
	Nissan Leaf	6.000
	Kia e-Niro	6.000

3.2.10 Λοιπές παράμετροι

Εκτός από όλες τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς και παρατέθηκαν σε όλα τα προηγούμενα υποκεφάλαια θα πρέπει να αναφερθούν και τρεις τελευταίες παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν.

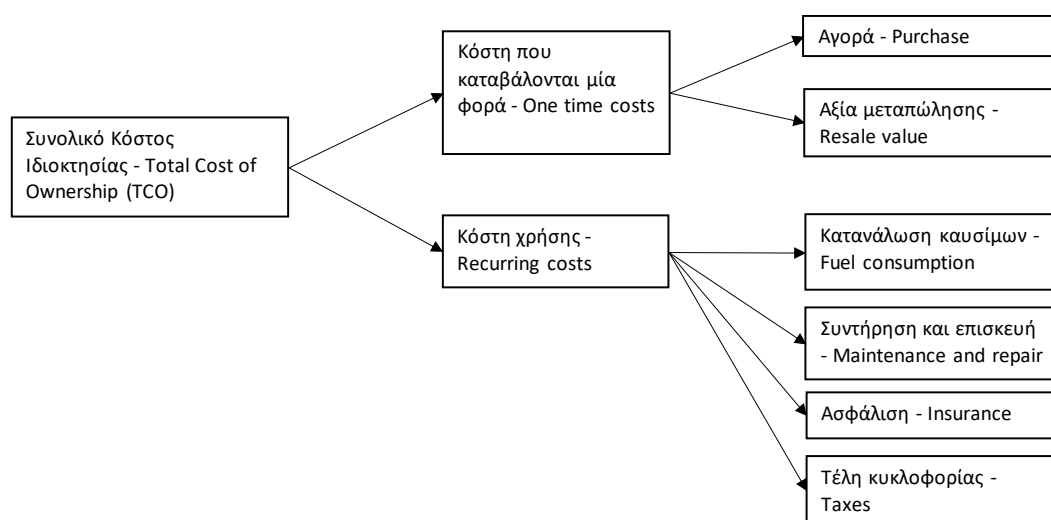
Η ετήσια χιλιομετρική απόσταση που διανύουν οι χρήστες αποτελεί μια βασική παράμετρο για τη διενέργεια των υπολογισμών, και όπως φάνηκε από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο επηρεάζει αρκετά τα αποτελέσματα. Τα ετήσια χιλιόμετρα που διανύονται από τους Γάλλους οδηγούς βρέθηκε ότι είναι 11.900 km (ACEA, 2019). Επιπλέον, από την ίδια πηγή χρησιμοποιήθηκε και η τιμή 5,6 χρόνια, η οποία ανταποκρίνεται στο μέσο χρονικό διάστημα ιδιοκτησίας ενός οχήματος στη Γαλλία.

Τέλος, σε ότι αφορά το προεξοφλητικό επιτόκιο, η χρήση του οποίου είναι θεμελιώδης αφού οι μελλοντικές καταβολές χρηματικών ποσών πρέπει να μεταφραστούν σε σημερινές, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η τιμή 4%. Η τιμή αυτή προέκυψε τόσο από τη βιβλιογραφική έρευνα, όσο και από τα επιτόκια αποταμίευσης που προσφέρουν τα τραπεζικά ιδρύματα και βρίσκονται σχετικά κοντά στη συγκεκριμένη τιμή.

3.2.11 Τελική μορφή μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων

Σε ολόκληρο το **Κεφάλαιο 3** πραγματοποιήθηκε μια αναλυτική περιγραφή της προσέγγισης που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας με σκοπό την σύνθεση του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας – Total Cost of Ownership (TCO), των παραμέτρων που περιλαμβάνει και τέλος των δεδομένων εισόδου που θα χρησιμοποιηθούν κατά την εφαρμογή του μοντέλου για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Το **Σχήμα 3.13** που ακολουθεί δίνει την διαγραμματική αναπαράσταση του μοντέλου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.



Σχήμα 3.13: Διαγραμματική αναπαράσταση του μοντέλου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας που αναπτύχθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, ο υπολογισμός του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας – Total Cost of Ownership (TCO) για το έτος βάσης της παρούσας μελέτης που είναι το 2020 πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την εξής σχέση:

$$TCO[EUR] = PP[EUR] + \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1 + rate)^{\frac{(di+d1)}{365}}} [EUR]$$

Όπου:

- TCO: Συνολικό κόστος ιδιοκτησίας.
- PP: Κόστος αγοράς οχήματος.
- P_i : Συνολικά λειτουργικά έξοδα ανά έτος, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και η μεταπωλητική αξία του οχήματος κατά το τελευταίο έτος.
- N : Χρονικό διάστημα ιδιοκτησίας οχήματος σε έτη.
- $rate$: Προεξοφλητικό επιτόκιο.
- di = η i -οστή ή τελευταία ημερομηνία πληρωμής.
- $d1$ = η πρώτη ημερομηνία πληρωμής.

3.3 Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας οχημάτων

3.3.1 Γενικά

Η σημασία και η σπουδαιότητα του παράγοντα κόστους κατά την αγορά ενός οχήματος έχει γίνει πλήρως κατανοητή στα προηγούμενα κεφάλαια. Παρότι ο υπολογισμός του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας προσεγγίζει το ζήτημα στην ουσία του, υπολογίζοντας το συνολικό χρηματικό ποσό που καλείται ο ιδιοκτήτης ενός οχήματος να καλύψει κατά τη χρονική διάρκεια που βρίσκεται στην κατοχή του το όχημα, για τους χρήστες κάθε παράμετρος κόστους δεν συγκεντρώνει την ίδια βαρύτητα. Όπως είναι λογικό, κάθε παράμετρος έχει τη δική της σημαντικότητα για τους καταναλωτές και επηρεάζει ανάλογα την τελική αξιολόγησή και επιλογή που πραγματοποιούν μεταξύ των διαφορετικών οχημάτων.

Αναγνωρίζοντας την υποκειμενικότητα που μπορεί να προσδώσει το παραπάνω φαινόμενο κατά την οικονομική αξιολόγηση των οχημάτων μόνο με την χρήση του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και τα διαφορετικά αποτελέσματα που μπορεί να προκύψουν στην περίπτωση που συνεκτιμηθούν οι διαφορετικές βαρύτητες κάθε επιμέρους παράγοντα κόστους, κρίθηκε αναγκαίο να διερευνηθεί η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα που πηγάζει από την συμπεριφορά των καταναλωτών. Στο πλαίσιο αυτό αξιολογήθηκε η βαρύτητα των

παραμέτρων μέσω ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε από οκτώ ειδικούς με γνώση σε ζητήματα μεταφορών και βασίστηκε στην εφαρμογή της Μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process (AHP).

3.3.2 Η μέθοδος Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας

Η αξιολόγηση της σημαντικότητας των παραμέτρων που επηρεάζουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ενός οχήματος βασίζεται στη μέθοδο Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1987), μια μέθοδο Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis). Οι τρεις βασικές αρχές της μεθόδου είναι οι εξής (Saaty, 1994):

- Αποσύνθεση: εφαρμόζεται για να αποδομηθεί το αρχικό πρόβλημα σε υποπροβλήματα.
- Συγκριτικές αποφάσεις: εφαρμόζεται για να δημιουργηθούν ζεύγη συγκρίσεων όλων των συνδυασμών κριτηρίων σε ένα επίπεδο.
- Ιεραρχική σύνθεση προτεραιοτήτων: εφαρμόζεται για την αποτύπωση των πληροφοριών, που δίνουν οι λήπτες αποφάσεων μέσω των συγκρίσεων, σε αριθμητική μορφή.

Από τις βασικές αρχές της μεθόδου που προηγήθηκαν προκύπτει ότι για την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να πραγματοποιηθούν τα εξής τρία βήματα:

1. Αποσύνθεση του προβλήματος.
2. Σύγκριση των κριτηρίων απόφασης από τον λήπτη της απόφασης και συλλογή αυτών των δεδομένων.
3. Υπολογισμός των σχετικών βαρών κάθε κριτηρίου απόφασης.

Αφού αναφέρθηκαν οι βασικές αρχές και απαιτήσεις για την χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process (AHP) στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει προσαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου για τον υπολογισμό του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας.

3.3.3 Η εφαρμογή της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας για τον υπολογισμό του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας οχημάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η εφαρμογή της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με τις βασικές αρχές που την διέπουν. Στο πλαίσιο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη σωστή εφαρμογή της και στη ανάπτυξη ενός ερωτηματολογίου που ανταποκρίνεται σε αυτές.

Αρχικά, για το στάδιο της αποσύνθεσης του προβλήματος θεωρήθηκε επαρκής η ανάλυση των παραμέτρων που είχε πραγματοποιηθεί κατά τον υπολογισμό του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι σαν κριτήρια. Αυτά είναι τα εξής:

1. Κόστος αγοράς
2. Κόστος κατανάλωσης καυσίμων
3. Κόστος συντήρησης και επισκευής
4. Κόστος ασφάλισης
5. Κόστος τελών κυκλοφορίας
6. Απώλεια αξίας οχήματος

Έπειτα για την αποτύπωση και καταγραφή των συγκρίσεων μεταξύ των κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν πίνακες συγκρίσεων. Στους πίνακες αυτούς, όπως εκείνος του **Σχήματος 3.14**, συλλέγονται οι προτιμήσεις του λήπτη της απόφασης για κάθε συγκρινόμενο ζεύγος που βασίζονται σε μια κλίμακα.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ \hline 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} \\ \hline 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} \\ \hline 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 \\ \hline \end{array} \end{matrix}$$

Σχήμα 3.14: Πίνακας συγκρίσεων κριτηρίων για εξαγωγή βαρών σύμφωνα με τη Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process (AHP).

Σύμφωνα με τον Saaty, 1994, η κλίμακα συγκρίσεων πρέπει να έχει πλήρη σαφήνεια ανεξάρτητα εάν πρόκειται για ποιοτική ή ποσοτική. Έτσι, προτείνει μια κλίμακα με πέντε επίπεδα: ισοδύναμη, μέτρια, ισχυρή, πολύ ισχυρή και απόλυτη, η οποία στην αριθμητική της μορφή φαίνεται στο **Σχήμα 3.15**

ΚΛΙΜΑΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
-----	-----	-----	-----	---	---	---	---	---

Σχήμα 3.15: Αριθμητική κλίμακα σημαντικότητας.

Τέλος, κατά το τελευταίο βήμα που αφορά τον υπολογισμό των βαρών κάθε κριτηρίου χρησιμοποιήθηκε η υπολογιστική διαδικασία που καλείται μέθοδος του γεωμετρικού μέσου. Ο τελικός πίνακας συγκρίσεων και τα τελικά βάρη των κριτηρίων εξάγονται από τους επιμέρους πίνακες συγκρίσεων που έχουν συμπληρωθεί από την ομάδα ειδικών και εκφράζουν το ποσοστό συμμετοχής του κάθε παράγοντα στην τελική επιλογή. Ενδεικτικά ακολουθεί ένας πίνακας σύγκρισης κριτηρίων όπως συμπληρώθηκε από έναν συμμετέχοντα.

Πίνακας 3.29: Πίνακας σύγκρισης κριτηρίων.

	Κόστος αγοράς	Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	Κόστος συντήρησης & επισκευής	Κόστος ασφάλισης	Κόστος τελών κυκλοφορίας	Απώλεια αξίας οχήματος
Κόστος αγοράς	1.00	0.11	0.20	0.11	0.11	0.33
Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	9.00	1.00	0.33	0.20	0.14	0.20
Κόστος συντήρησης και επισκευής	5.00	3.00	1.00	3.00	3.00	0.33
Κόστος ασφάλισης	9.00	5.00	0.33	1.00	1.00	0.11
Κόστος τελών κυκλοφορίας	9.00	7.00	0.33	1.00	1.00	0.11
Απώλεια αξίας οχήματος	3.00	5.00	3.00	9.00	9.00	1.00

Πίνακας 3.30: Τελικός πίνακας σύγκρισης κριτηρίων.

	Κόστος αγοράς	Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	Κόστος συντήρησης & επισκευής	Κόστος ασφάλισης	Κόστος τελών κυκλοφορίας	Απώλεια αξίας οχήματος
Κόστος αγοράς	1.00	1.59	2.39	0.97	1.79	2.69
Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	0.63	1.00	2.98	0.99	2.33	1.94
Κόστος συντήρησης και επισκευής	0.42	0.34	1.00	2.54	3.12	1.32
Κόστος ασφάλισης	1.03	1.01	0.39	1.00	1.13	0.79
Κόστος τελών κυκλοφορίας	0.56	0.43	0.32	0.88	1.00	0.51
Απώλεια αξίας οχήματος	0.37	0.51	0.76	1.26	1.97	1.00

Πίνακας 3.31: Πίνακας τελικών βαρών κριτηρίων.

Κριτήριο	Τιμή βάρους
Κόστος αγοράς	0.25
Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	0.22
Κόστος συντήρησης και επισκευής	0.17
Κόστος ασφάλισης	0.13
Κόστος τελών κυκλοφορίας	0.09
Απώλεια αξίας οχήματος	0.13

Στους Πίνακες 3.29, 3.30 και 3.31 που προηγήθηκαν περιγράφεται η διαδικασία υπολογισμού των βαρών των κριτηρίων σύμφωνα με τη μέθοδο του γεωμετρικού μέσου.

Στα πλαίσια της χρήσης της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας παρατηρείται συχνά ασυνέπεια στις απαντήσεις που δίνονται από τους λήπτες μια απόφασης, κάτι το οποίο θα πρέπει να ελέγχεται κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου προκειμένου να παρέχει ποιοτικά αποτελέσματα πάνω στα οποία θα μπορούν να βασιστούν περαιτέρω αναλύσεις και συμπεράσματα. Αναγνωρίζοντας την ανάγκη ελέγχου της ασυνέπειας ο Saaty το 1982 ανέπτυξε μεθόδους για την αποτύπωση του φαινομένου αυτού, ώστε να καταφέρει να την ελέγξει. Για έναν πίνακα ασυνέπειας $\lambda_{max} = n$, όπου λ_{max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του αμοιβαίου πίνακα τάξεως n . Ο δείκτης συνέπειας υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Με τον δείκτη συνέπειας υπολογίζεται ο λόγος συνέπειας όπως φαίνεται στην εξής σχέση:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Το RI (Random Consistency Index) αναφέρεται στη μέση συνέπεια για τυχαίους πίνακες διαφορετικών μεγεθών (Saaty, 1982). Τελικά, το κριτήριο για την ασυνέπεια απαιτεί λόγο CR μικρότερο ή ίσο του 0.10, αφού μόνο τότε αποτελεί αποδεκτή τιμή για τη συνέπεια των κρίσεων.

Μέγεθος πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Σχήμα 3.16: Τιμές δείκτη RI για διαφορετικά μεγέθη πίνακα (Saaty, 1982).

Για τις απαντήσεις που δόθηκαν από την ομάδα των οκτώ ειδικών προέκυψε ο λόγος CR ίσος με 0.119, μια τιμή που θεωρήθηκε οριακά αποδεκτή στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Τέλος, για τον υπολογισμό του Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας για κάθε όχημα πρέπει να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία. Αφού έχουν υπολογιστεί τα σταθμισμένα κόστη κάθε κριτηρίου με πολλαπλασιασμό των τελικών βαρών με το κόστος κάθε κριτηρίου όπως έχει υπολογιστεί από τη εφαρμογή της μεθόδου του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, προστίθενται και προκύπτει το Σταθμισμένο Κόστος Ιδιοκτησίας για κάθε όχημα. Η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω φαίνεται στον **Πίνακα 3.32** για το Renault Clio.

Πίνακας 3.32: Υπολογισμός Σταθμισμένου Κόστους Ιδιοκτησίας Renault Clio.

Renault Clio		
	Αρχικά κόστη [EUR]	Σταθμισμένα κόστη [EUR]
Κόστος αγοράς	18400	4668
Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	4789	1073
Κόστος συντήρησης και επισκευής	4406	737
Κόστος ασφάλισης	3290	437
Κόστος τελών κυκλοφορίας	1302	117
Απώλεια αξίας οχήματος	-8345	-1106
Σύνολο	23843	5926

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή μεθόδου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και Σταθμισμένου Κόστους

4.1 Υπολογισμός συνολικού κόστους ιδιοκτησίας οχημάτων

Για την χρήση του μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας απαιτείται ένας αρκετά μεγάλος όγκος δεδομένων. Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και οι τιμές που τελικά συγκεντρώθηκαν αναλύθηκαν εκτενώς στο **Κεφάλαιο 3**. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η χρήση του μοντέλου και των δεδομένων, ώστε να προκύψουν τα αποτελέσματα και κατά συνέπεια τα συνολικά κόστη ιδιοκτησίας των εννέα οχημάτων που εξετάζονται.

Ο υπολογισμός του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας ενός οχήματος, προϋποθέτει τον υπολογισμό του κόστους κάθε παραμέτρου που υπεισέρχεται στη μέθοδο. Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών για το σύνολο των οχημάτων που εξετάζονται παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1** που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2: Υπολογισμοί συνολικού κόστους κάθε παραμέτρου κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων.

Category	ICEV	HEV	BEV
Small (A+B)	Renault Clio (18.400€)	Toyota Yaris (21.150€)	Renault Zoé (34.600€)
Vehicle resale value [EUR]	EUR 8,345	EUR 9,945	EUR 10,014
Fuel [EUR]	EUR 4,789	EUR 4,457	EUR 2,037
Maintenance and Repair [EUR]	EUR 4,406	EUR 4,161	EUR 3,549
Insurance [EUR]	EUR 3,290	EUR 3,286	EUR 4,905
Vehicle tax [EUR]	EUR 1,302	EUR 796	EUR 290
Subsidy [EUR]	EUR 0	EUR 0	EUR 6,000
Vehicle capital cost [EUR]	EUR 18,400	EUR 21,150	EUR 34,600
Lower Medium (C)	Volkswagen Golf (24.800€)	Toyota Corolla (27.950€)	Nissan Leaf (33.900€)
Vehicle resale value [EUR]	EUR 10,967	EUR 11,739	EUR 10,609
Fuel [EUR]	EUR 5,065	EUR 4,208	EUR 2,371

Maintenance and Repair [EUR]	EUR 4,406	EUR 4,161	EUR 3,549
Insurance [EUR]	EUR 3,552	EUR 3,600	EUR 5,349
Vehicle tax [EUR]	EUR 1,556	EUR 1,049	EUR 1,049
Subsidy [EUR]	EUR 0	EUR 0	EUR 6,000
Vehicle capital cost [EUR]	EUR 24,800	EUR 27,950	EUR 33,900
SUV (J)	Volkswagen Tiguan (33.635€)	Toyota C-HR (30.100€)	Kia e-Niro (37.000€)
Vehicle resale value [EUR]	EUR 15,102	EUR 12,836	EUR 11,756
Fuel [EUR]	EUR 5,802	EUR 4,420	EUR 1,761
Maintenance and Repair [EUR]	EUR 4,406	EUR 4,161	EUR 3,549
Insurance [EUR]	EUR 4,239	EUR 3,924	EUR 5,289
Vehicle tax [EUR]	EUR 1,809	EUR 1,049	EUR 290
Subsidy [EUR]	(EUR 450)	EUR 0	EUR 6,000
Vehicle capital cost [EUR]	EUR 33,635	EUR 30,100	EUR 37,000

Από τα παραπάνω επιμέρους στοιχεία κόστους προκύπτει τελικά το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κάθε οχήματος και παρουσιάζεται στον **Πίνακα 4.2** που ακολουθεί.

Πίνακας 4.2: Υπολογισμοί συνολικού κόστους κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων.

Category	ICEV	HEV	BEV
Small (A+B)	Renault Clio (18.400€)	Toyota Yaris (21.150€)	Renault Zoé (34.600€)
TCO [EUR]	EUR 23,843	EUR 23,906	EUR 29,367
Lower Medium (C)	Volkswagen Golf (24.800€)	Toyota Corolla (27.950€)	Nissan Leaf (33.900€)
TCO [EUR]	EUR 28,411	EUR 29,229	EUR 29,610
SUV (C)	Volkswagen Tiguan (33.635€)	Toyota C-HR (30.100€)	Kia e-Niro (37.000€)
TCO [EUR]	EUR 35,238	EUR 30,819	EUR 30,134

Αφού έχει διενεργηθεί το σύνολο των υπολογισμών ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παράθεση των οχημάτων με αύξουσα σειρά συνολικού κόστους ιδιοκτησίας για κάθε κατηγορία μεγέθους που εξετάστηκε. Η συγκεκριμένη κατάταξη είναι η εξής:

Κατηγορία μεγέθους Small (A+B):

1. Renault Clio (ICEV)
2. Toyota Yaris (HEV)
3. Renault Zoé (BEV)

Κατηγορία μεγέθους Lower Medium (C):

1. Volkswagen Golf (ICEV)
2. Toyota Corolla (HEV)
3. Nissan Leaf (BEV)

Κατηγορία μεγέθους SUV (J):

1. Kia e-Niro (BEV)
2. Toyota C-HR (HEV)
3. Volkswagen Tiguan (ICEV)

Όπως φαίνεται από τις κατατάξεις που παρατέθηκαν για κάθε κατηγορία μεγέθους, στις κατηγορίες Small (A+B) και Lower Medium (C) το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας προσφέρουν τα Συμβατικά οχήματα βενζίνης - Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV, petrol), ενώ ακολουθούν τα Πλήρως υβριδικά οχήματα – Hybrid Electric Vehicle (HEV) και τέλος το υψηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας έχουν τα Πλήρως ηλεκτρικά οχήματα – Battery Electric Vehicle (BEV). Αντιθέτως, τα αποτελέσματα διαφέρουν αρκετά στην κατηγορία SUV(J) όπου το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας προσφέρουν τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα, ακολουθούν τα πλήρως υβριδικά και τέλος το υψηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας έχουν τα συμβατικά οχήματα βενζίνης.

Σε συνδυασμό με την αύξουσα κατάταξη που πραγματοποιήθηκε, θα πρέπει να αξιολογηθούν οι διαφορές του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας ανάμεσα στα διάφορα οχήματα και τεχνολογίες, ώστε να διαπιστωθεί το οικονομικό χάσμα που υπάρχει μεταξύ οχημάτων διαφορετικής τεχνολογίας κατά την περίοδο ιδιοκτησίας τους.

Πίνακας 4.3: Διαφορές μεταξύ του συνολικού κόστους κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων.

Small (A+B)	TCO	Διαφορά TCO
Renault Clio (ICEV)	EUR 23,843	EUR 0
Toyota Yaris (HEV)	EUR 23,906	(EUR 63)
Renault Zoé (BEV)	EUR 29,367	(EUR 5,525)
Lower Medium (C)		
Volkswagen Golf (ICEV)	EUR 28,411	EUR 0
Toyota Corolla (HEV)	EUR 29,229	(EUR 818)
Nissan Leaf (BEV)	EUR 29,610	(EUR 1,198)
SUV (J)		
Kia e-Niro (BEV)	EUR 30,134	EUR 0
Toyota C-HR (HEV)	EUR 30,819	(EUR 685)

Volkswagen Tiguan (ICEV)	EUR 35,238	(EUR 5,104)
-----------------------------	------------	-------------

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία του **Πίνακα 4.3** για τα οχήματα που ανήκουν στην κατηγορία Small (A+B) μπορεί το συμβατικό Renault Clio να είναι το πιο οικονομικό, όμως το υβριδικό Toyota Yaris υπερβαίνει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κατά μόλις 63€, ποσό σχεδόν αμελητέο για την περίοδο χρήσης του οχήματος που είναι 5,6 χρόνια στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Αντιθέτως, το ηλεκτρικό Renault Zoé απαιτεί από την καταναλωτή να καταβάλει 5.525€ παραπάνω από το αντίστοιχο συμβατικό όχημα της κατηγορίας, μια διαφορά που κρίνεται αρκετά μεγάλη και την οποία ακόμα η επιδότηση που παρέχετε κατά την αγορά δεν καταφέρνει ισοσκελίζει.

Στην κατηγορία Lower Medium (C) παρότι η κατάταξη είναι ίδια με εκείνη που παρατηρήθηκε στην κατηγορία Small (A+B), οι διαφορές που καταγράφονται στα κόστη είναι πιο περιορισμένες. Το υβριδικό Toyota Corolla υπερβαίνει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κατά 818€ και το ηλεκτρικό Nissan Leaf κατά 1.198€ σε σχέση με το αντίστοιχο συμβατικό όχημα δημιουργώντας μια πιο ομοιόμορφη συμπεριφορά των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων στη συγκεκριμένη κατηγορία μεγέθους.

Τέλος, στην κατηγορία SUV(J) προέκυψαν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα αποτελέσματα, αφού το ηλεκτρικό Kia e-Niro αποδείχθηκε το πλέον οικονομικό της κατηγορίας με το αντίστοιχο συμβατικό να καταγράφει 5.104€ επιπλέον κόστος, μια διαφορά ιδιαίτερα μεγάλη. Το υβριδικό Toyota C-HR διατηρεί το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας σχετικά κοντά με το οικονομικότερο της κατηγορίας απαιτώντας 685€ επιπλέον κατά τη διάρκεια χρήσης το οχήματος.

4.2 Υπολογισμός βαρών κριτηρίων

Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας υπολογισμού των βαρών σύμφωνα με τη μέθοδο Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process (AHP) πραγματοποιούνται οι τελικοί υπολογισμοί μέσω των οποίων προκύπτουν οι τιμές των βαρών. Οι βαρύτητες, που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του σταθμισμένου κόστους, αποτελούν τους γεωμετρικούς μέσους όρους των βαρών που προέκυψαν από την εξεργασία των οκτώ ερωτηματολογίων που συμπληρώθηκαν από την ομάδα ειδικών. Στη συνέχεια παρατίθεται ο **Πίνακας 4.4** με τις τελικές βαρύτητες.

Πίνακας 4.4: Υπολογισμοί τελικών βαρών κριτηρίων.

Κριτήρια	Βάρη	Ποσοστό
Κόστος αγοράς	0.25	25%
Κόστος κατανάλωσης καυσίμων	0.22	22%
Κόστος συντήρησης και επισκευής	0.17	17%
Κόστος ασφάλισης	0.13	13%
Κόστος τελών κυκλοφορίας	0.09	9%
Απώλεια αξίας οχήματος	0.13	13%

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους πίνακες που προηγήθηκαν προκύπτει, σύμφωνα με την ομάδα ειδικών, ότι κατά την επιλογή ενός οχήματος το κόστος αγοράς συγκεντρώνει την μεγαλύτερη σημαντικότητα σε ποσοστό 25%, ακολουθεί το κόστος κατανάλωσης καυσίμων με βαρύτητα 22% και το κόστος συντήρησης και επισκευής κατά 17% στην λήψη της απόφασης. Τέλος, το κόστος ασφάλισης και η απώλεια αξίας του οχήματος έχουν βαρύτητα 13% , ενώ το κόστος των τελών κυκλοφορίας συνεισφέρουν κατά 9%.

4.3 Υπολογισμός Σταθμισμένου Κόστους Οχημάτων

Ο υπολογισμός του σταθμισμένου κόστους των οχημάτων που μελετώνται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιείται με τη χρήση των βαρών και του συνολικού κόστους κάθε παραμέτρου που προέκυψαν και παρουσιάστηκαν στα δύο προηγούμενα υποκεφάλαια.

Πίνακας 4.5: Υπολογισμοί σταθμισμένου κόστους κάθε παραμέτρου κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων.

Category	ICEV	HEV	BEV
Small (A+B)	Renault Clio (18.400€)	Toyota Yaris (21.150€)	Renault Zoé (34.600€)
Initial purchase price [EUR]	EUR 4,668	EUR 5,366	EUR 7,256
Fuel [EUR]	EUR 1,073	EUR 998	EUR 456
Maintenance and Repair [EUR]	EUR 737	EUR 696	EUR 594
Insurance [EUR]	EUR 437	EUR 437	EUR 652
Vehicle tax [EUR]	EUR 117	EUR 71	EUR 26
Value loss [EUR]	(EUR 1,106)	(EUR 1,318)	(EUR 1,327)
Lower Medium (C)	Volkswagen Golf (24.800€)	Toyota Corolla (27.950€)	Nissan Leaf (33.900€)
Initial purchase price	EUR 6,292	EUR 7,091	EUR 7,079

[EUR]			
Fuel [EUR]	EUR 1,134	EUR 943	EUR 531
Maintenance and Repair [EUR]	EUR 737	EUR 696	EUR 594
Insurance [EUR]	EUR 472	EUR 478	EUR 711
Vehicle tax [EUR]	EUR 139	EUR 94	EUR 94
Value loss [EUR]	(EUR 1,453)	(EUR 1,556)	(EUR 1,406)
SUV (C)	Volkswagen Tiguan (33.635€)	Toyota C-HR (30.100€)	Kia e-Niro (37.000€)
Initial purchase price [EUR]	EUR 8,648	EUR 7,637	EUR 7,865
Fuel [EUR]	EUR 1,299	EUR 990	EUR 394
Maintenance and Repair [EUR]	EUR 737	EUR 696	EUR 594
Insurance [EUR]	EUR 563	EUR 521	EUR 703
Vehicle tax [EUR]	EUR 162	EUR 94	EUR 26
Value loss [EUR]	(EUR 2,001)	(EUR 1,701)	(EUR 1,558)

Πίνακας 4.6: Υπολογισμοί σταθμισμένου κόστους κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας για το σύνολο των οχημάτων.

Category	ICEV	HEV	BEV
Small (A+B)	Renault Clio (18.400€)	Toyota Yaris (21.150€)	Renault Zoé (34.600€)
ΣΚΟ [EUR]	EUR 5,926	EUR 6,251	EUR 7,657
Lower Medium (C)	Volkswagen Golf (24.800€)	Toyota Corolla (27.950€)	Nissan Leaf (33.900€)
ΣΚΟ [EUR]	EUR 7,322	EUR 7,747	EUR 7,602
SUV (C)	Volkswagen Tiguan (33.635€)	Toyota C-HR (30.100€)	Kia e-Niro (37.000€)
ΣΚΟ [EUR]	EUR 9,408	EUR 8,238	EUR 8,024

Όπως με το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, έτσι και με το σταθμισμένο κόστος η παράθεση των οχημάτων σε αύξουσα σειρά σταθμισμένου κόστους ιδιοκτησίας για κάθε κατηγορία μεγέθους που χρησιμοποιήθηκε δίνει πολύ χρήσιμες πληροφορίες. Η κατάταξη αυτή τη φορά έχει ως εξής:

Κατηγορία μεγέθους Small (A+B):

4. Renault Clio (ICEV)
5. Toyota Yaris (HEV)
6. Renault Zoé (BEV)

Κατηγορία μεγέθους Lower Medium (C):

4. Volkswagen Golf (ICEV)
5. Nissan Leaf (BEV)

6. Toyota Corolla (HEV)

Κατηγορία μεγέθους SUV (J):

4. Kia e-Niro (BEV)

5. Toyota C-HR (HEV)

6. Volkswagen Tiguan (ICEV)

Όπως φαίνεται από τις κατατάξεις για κάθε κατηγορία μεγέθους, στην κατηγορία Small (A+B) τα αποτελέσματα δεν μεταβλήθηκαν σε σχέση με εκείνα που είχαν προκύψει με τους υπολογισμούς του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας, ενώ για την κατηγορία Lower Medium (C) το ηλεκτρικό Nissan Leaf παρουσίασε σταθμισμένο κόστος χαμηλότερο από εκείνο του υβριδικού Toyota Corolla και τέλος στην κατηγορία SUV (J) η κατάταξη παρέμεινε αμετάβλητη.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα που παρατέθηκαν παραπάνω, ο υπολογισμός του σταθμισμένου κόστους των οχημάτων μπορεί να μην αλλάζει πλήρως την εικόνα που δίνει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας, όμως είναι σε θέση να δώσει προβάδισμα σε ένα όχημα που διαθέτει υψηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας αλλά τα κόστη των κρίσιμων κριτηρίων είναι έτσι κατανομημένα ώστε να προσφέρει χαμηλότερο σταθμισμένο κόστος.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1 Γενικά

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια εφαρμογής της μεθόδου Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας – Total Cost of Ownership για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας υπολογισμού του κόστους ιδιοκτησίας ηλεκτρικών οχημάτων και κατ' επέκταση για τη διερεύνηση της οικονομικής ανταγωνιστικότητας οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα συγκρίθηκαν οχήματα υβριδικής και ηλεκτρικής τεχνολογίας, σε σχέση με ένα αντίστοιχο συμβατικό όχημα. Επεκτείνοντας την ανάλυση και εμβάθυνση στον παράγοντα του κόστους, πραγματοποιήθηκε επιπλέον μια απόπειρα καλύτερης κατανόησης των επιμέρους παραμέτρων που συνθέτουν το συνολικό κόστος ενός οχήματος και πως αυτές επηρεάζουν τους καταναλωτές κατά την διαδικασία αγοράς ενός οχήματος. Αυτό, κατέστη δυνατό με τη χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας – Analytical Hierarchy Process μέσω της οποίας υπολογίστηκε το Σταθμισμένο Κόστος του εκάστοτε οχήματος. Το σταθμισμένο κόστος αποτέλεσε ένα θεωρητικό κόστος, το οποίο είναι ικανό να ερμηνεύσει τον τρόπο που οι καταναλωτές αξιολογούν οικονομικά ένα όχημα και το οποίο σε συνδυασμό με το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας μπορεί να δώσει μια πιο πλήρη εικόνα σχετικά με το κόστος και την επιρροή του στους καταναλωτές.

5.2 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Αρχικά από τη διενέργεια των υπολογισμών που αφορούν το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας – Total Cost of Ownership προέκυψαν τα παρακάτω βασικά συμπεράσματα:

- Η εξασφάλιση των απαιτούμενων δεδομένων για τη διενέργεια των υπολογισμών είναι μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία.
- Η ανάπτυξη ενός τυποποιημένου εργαλείου υπολογισμού του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που θα μπορεί να εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζει

πολλές δυσκολίες, αφού θα πρέπει να συνοδεύεται με μια μεγάλη και ενημερωμένη βάση δεδομένων για το σύνολο των οχημάτων και των παραμέτρων που υπεισέρχονται στο μοντέλο.

- Τα συμβατικά οχήματα με βενζινοκινητήρα κατέγραψαν το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας σε δύο από τις τρεις κατηγορίες μεγέθους που εξετάστηκαν.
- Τα υβριδικά οχήματα μπορεί να μην κατάφεραν να προσφέρουν το χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας σε καμία από τις τρεις κατηγορίες μεγέθους, όμως η διαφορά κόστους σε σχέση με το οικονομικότερο όχημα της εκάστοτε κατηγορίας μεγέθους είναι περιορισμένη (63€ – 818€ για το συνολικό διάστημα ιδιοκτησίας), γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα υβριδικά οχήματα μπορούν να είναι ευθέως οικονομικά ανταγωνιστικά με τα συμβατικά οχήματα και να διευρύνουν τις πωλήσεις τους.
- Τα ηλεκτρικά οχήματα καταγράφουν αισιόδοξα αποτελέσματα τουλάχιστον σε δύο από τις τρεις κατηγορίες μεγέθους που εξετάστηκαν. Η διαπίστωση στην οποία είχαν φτάσει και αρκετές μελέτες που εξετάστηκαν βιβλιογραφικά σχετικά με τη μη οικονομική ανταγωνιστικότητα που παρουσιάζουν τα ηλεκτρικά οχήματα στις μικρές κατηγορίες μεγέθους, επιβεβαιώθηκε και στα πλαίσια της παρούσα διπλωματικής εργασίας. Στην κατηγορία μεγέθους Small (A+B) το ηλεκτρικό αντιπροσωπευτικό όχημα κατέγραψε συνολικό κόστος ιδιοκτησίας 5.525€ υψηλότερο από το συμβατικό όχημα, το οποίο κρίνεται ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά και σοβαρό μειονέκτημα για έναν πιθανό αγοραστή. Στην κατηγορία μεγέθους Lower Medium (C), το Nissan Leaf υπερβαίνει κατά 1.198€ το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας του συμβατικού οχήματος, μια διαφορά που δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη όμως είναι πιθανό να λειτουργήσει κατασταλτικά για έναν πιθανό αγοραστή. Η κατάσταση που επικρατεί στην κατηγορία SUV (J) είναι τελείως διαφορετική, αφού το ηλεκτρικό Kia e-Niro αποδεικνύεται το οικονομικότερο όχημα καταγράφοντας μάλιστα κόστος ιδιοκτησίας χαμηλότερο κατά 5.104€ από το συμβατικό Volkswagen Tiguan και 685€ από το υβριδικό Toyota CH-R. Αυτό το ιδιαίτερα αισιόδοξο αποτέλεσμα έχει ακόμα μεγαλύτερη αξία καθώς η κατηγορία SUV (J) που καταγράφηκε αναδεικνύεται σε μια από τις πιο δημοφιλής κατηγορίες με συνεχώς αυξανόμενες πωλήσεις και επιπλέον αποτελεί μια κατηγορία που επιβαρύνει περιβαλλοντικά σε μεγαλύτερο βαθμό λόγω των ρύπων που παράγει και προέρχονται από τους κινητήρες σχετικά υψηλού κυβισμού που συναντώνται στη συγκεκριμένη κατηγορία.

- Ο ρόλος της επιδότησης αγοράς που παρέχεται για τα ηλεκτρικά οχήματα διαδραματίζει κομβικό ρόλο καθώς χωρίς την παρουσία της τα αποτελέσματα θα ήταν πολύ διαφορετικά και προς όφελος των συμβατικών οχημάτων.

Έπειτα, κατά την επεξεργασία των ερωτηματολογίων προέκυψαν αρκετά ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με τη σημαντικότητα των επιμέρους παραμέτρων κόστους σύμφωνα με την άποψη των ειδικών. Τα βασικότερα συμπεράσματα παρατίθενται στη συνέχεια:

- Το κόστος αγοράς που καλείται να καταβάλει ο καταναλωτής αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα κόστους με βαρύτητα 0.25. Το γεγονός ότι το κόστος αγοράς είναι καθοριστικής σημασίας για τους καταναλωτές, επιβεβαιώνει τη σπουδαιότητα και την αποτελεσματικότητα που μπορεί να έχει η παροχή επιδοτήσεων κατά την αγορά ενός οχήματος, αλλά και τον κατασταλτικό παράγοντα για την αύξηση των πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων που διαδραματίζει το αυξημένο κόστος αγοράς τους.
- Αμέσως σημαντικότερος παράγοντας αποδεικνύεται το κόστος που δαπανάται για την κατανάλωση καυσίμων με βαρύτητα 0.22. Αυτή η διαπίστωση έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς η οικονομία καυσίμων που παρέχουν τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελεί το βασικότερο πλεονέκτημα τους, ενώ ταυτοχρόνως μπορεί να οδηγήσει στις ρυθμίσιμες αρχές μια πολύ χρήσιμη πληροφορία σχετικά με τη σημαντικότητα που κατέχει η φορολόγηση των ορυκτών καυσίμων ώστε να ευνοηθούν τα ηλεκτρικά οχήματα.
- Το κόστος ασφάλισης με βαρύτητα 0.13 δεν συγκεντρώνει ιδιαίτερη σημαντικότητα από την πλευρά των καταναλωτών και αυτό λειτουργεί προς όφελος των ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία όπως φάνηκε στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλά ετήσια ασφάλιστρα σε σχέση με εκείνα των συμβατικών και υβριδικών οχημάτων, αποθαρρύνοντας ορισμένους καταναλωτές.
- Το κόστος των τελών κυκλοφορίας οχημάτων έχει τη χαμηλότερη βαρύτητα με τιμή 0.09. Το γεγονός αυτό επιδεικνύει ότι μια πολιτική που παρέχει οικονομικές ελαφρύνσεις κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας του οχήματος μέσω μειωμένων ή και μηδενικών τελών κυκλοφορίας δεν θα έχει την ίδια αποτελεσματικότητα σε σχέση με εκείνη των επιδοτήσεων κατά την αγορά.

Τα βάρη που υπολογίστηκαν χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του σταθμισμένου κόστους των οχημάτων, προκειμένου να διερευνηθεί εάν η διαφορετική σημαντικότητα που έχει η κάθε παράμετρος κόστους για τους καταναλωτές μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα. Τα συμπεράσματα που συνοδεύουν τον υπολογισμό του σταθμισμένου κόστους των οχημάτων είναι τα εξής:

- Η κατάταξη των οχημάτων σε αύξουσα σειρά βάση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας που είχε προηγηθεί ανά κατηγορία μεγέθους δεν επηρεάστηκε ιδιαίτερα. Μόνο στην κατηγορία μεγέθους Lower Medium (C) το ηλεκτρικό Nissan Leaf κατάφερε να καταγράψει χαμηλότερο σταθμισμένο κόστος από εκείνο του υβριδικού Toyota Corolla.
- Η χρήση του σταθμισμένου κόστους των οχημάτων μπορεί να δώσει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής μια πιο πλήρη εικόνα και να στοχεύσουν σε πολιτικές που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις παραμέτρους κόστους που συγκεντρώνουν την υψηλότερη σημαντικότητα σύμφωνα με τους καταναλωτές.
- Το μεγαλύτερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας δεν σημαίνει πάντοτε ότι θα αποτρέψει τους καταναλωτές από την επιλογή του συγκεκριμένου οχήματος.

5.3 Συνεισφορά της έρευνας

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στοχεύει αρχικά στον υπολογισμό του κόστους ιδιοκτησίας ηλεκτρικών οχημάτων και στην κατανόηση του παράγοντα κόστους και στον τρόπο που ο συγκεκριμένος παράγοντας αντιμετωπίζεται από τους καταναλωτές και επηρεάζει την επιλογή ανάμεσα στις διάφορες τεχνολογίες οχημάτων. Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη ενός μοντέλου συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και την εξαγωγή αποτελεσμάτων που ανταποκρίνονται για το 2020, αναπτύχθηκε και ένα νέο μέγεθος, αυτό του σταθμισμένου κόστους.

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας μπορεί να αποτελέσει μια πολύ σημαντική πηγή πληροφόρησης για έναν καταναλωτή και να προσφέρει μια εικόνα για το πραγματικό κόστος που θα κληθεί να καταβάλει κατά τη περίοδο ιδιοκτησίας ενός οχήματος. Αυτή η πληροφορία κόστους θα επιτρέψει στον καταναλωτή να ενεργήσει σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία κόστους και όχι αποκλειστικά σύμφωνα με το κόστος αγοράς ενός οχήματος. Από την άλλη, η χρήση του σταθμισμένου κόστους, για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και κατατάξεων, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα συνολικού κόστους

ιδιοκτησίας, μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη κατά το σχεδιασμό πολιτικών που στοχεύουν στην προώθηση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων.

Publication bibliography

Alex Stewart; Craig Douglas (2011): Influences on the Low Carbon Car Market from 2020–2030.

Berkeley, Nigel; Bailey, David; Jones, Andrew; Jarvis, David (2017): Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up. In *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 106, pp. 320–332. DOI: 10.1016/j.tra.2017.10.004.

Bernd Propfe; Martin Redelbach; Danilo J. Santini; Horst Friedrich (2012): Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance & Repair Costs and Resale Values.

Bubeck, Steffen; Tomaschek, Jan; Fahl, Ulrich (2016): Perspectives of electric mobility: Total cost of ownership of electric vehicles in Germany. In *Transport Policy* 50, pp. 63–77. DOI: 10.1016/j.tranpol.2016.05.012.

Carley, Sanya; Krause, Rachel M.; Lane, Bradley W.; Graham, John D. (2013): Intent to purchase a plug-in electric vehicle: A survey of early impressions in large US cities. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 18, pp. 39–45. DOI: 10.1016/j.trd.2012.09.007.

Danielis, Romeo; Giansoldati, Marco; Rotaris, Lucia (2018): A probabilistic total cost of ownership model to evaluate the current and future prospects of electric cars uptake in Italy. In *Energy Policy* 119, pp. 268–281. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.04.024.

Delucchi, Mark A.; Lipman, Timothy E. (2001): An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 6, pp. 371–404.

Egbue, Ona; Long, Suzanna (2012): Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. In *Energy Policy* 48, pp. 717–729. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.06.009.

Elisabeth Windisch (2013): Driving electric? A financial analysis of electric vehicle policies in France.

- Graham-Rowe, Ella; Gardner, Benjamin; Abraham, Charles; Skippon, Stephen; Dittmar, Helga; Hutchins, Rebecca; Stannard, Jenny (2012): Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. In *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46 (1), pp. 140–153. DOI: 10.1016/j.tra.2011.09.008.
- Hagman, Jens; Ritzén, Sofia; Stier, Jenny Janhager; Susilo, Yusak (2016): Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion. In *Research in Transportation Business & Management* 18, pp. 11–17. DOI: 10.1016/j.rtbm.2016.01.003.
- International Energy Agency (2019): Global EV Outlook 2019.
- Jensen, Anders Fjendbo; Cherchi, Elisabetta; Mabit, Stefan Lindhard (2013): On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 25, pp. 24–32. DOI: 10.1016/j.trd.2013.07.006.
- Lane, Ben; Potter, Stephen (2007): The adoption of cleaner vehicles in the UK: exploring the consumer attitude–action gap. In *Journal of Cleaner Production* 15 (11-12), pp. 1085–1092. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.05.026.
- Lebeau, K.; Lebeau, P.; Macharis, C.; van Mierlo, J. (2013): How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. In *Veh. J.* 6, pp. 996–1007.
- Letmathe, Peter; Soares, Maria (2017): A consumer-oriented total cost of ownership model for different vehicle types in Germany. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 57, pp. 314–335. DOI: 10.1016/j.trd.2017.09.007.
- Lévay, Petra Zsuzsa; Drossinos, Yannis; Thiel, Christian (2017): The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. In *Energy Policy* 105, pp. 524–533. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.02.054.
- Lin, Chengtao; Wu, Tian; Ou, Xunmin; Zhang, Qian; Zhang, Xu; Zhang, Xiliang (2013): Life-cycle private costs of hybrid electric vehicles in the current Chinese market. In *Energy Policy* 55, pp. 501–510. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.037.
- Lipman, Timothy E.; Delucchi, Mark A. (2006): A retail and lifecycle cost analysis of hybrid electric vehicles. In *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 11 (2), pp. 115–132. DOI: 10.1016/j.trd.2005.10.002.

- Mitropoulos, Lambros K.; Prevedouros, Panos D.; Kopelias, Pantelis (2017): Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle. In *Transportation Research Procedia* 24, pp. 267–274. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.117.
- Palmer, Kate; Tate, James E.; Wadud, Zia; Nellthorp, John (2018): Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. In *Applied Energy* 209, pp. 108–119. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.10.089.
- Prud'homme, Rémy; Koning, Martin (2012): Electric vehicles: A tentative economic and environmental evaluation. In *Transport Policy* 23, pp. 60–69. DOI: 10.1016/j.tranpol.2012.06.001.
- Rusich, Andrea; Danielis, Romeo (2015): Total cost of ownership, social lifecycle cost and energy consumption of various automotive technologies in Italy. In *Research in Transportation Economics* 50, pp. 3–16. DOI: 10.1016/j.retrec.2015.06.002.
- Thiel, Christian; Perujo, Adolfo; Mercier, Arnaud (2010): Cost and CO2 aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios. In *Energy Policy* 38 (11), pp. 7142–7151. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.07.034.
- Tseng, Hui-Kuan; Wu, Jy S.; Liu, Xiaoshuai (2013): Affordability of electric vehicles for a sustainable transport system: An economic and environmental analysis. In *Energy Policy* 61, pp. 441–447. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.06.026.
- van Velzen, Arjan; Annema, Jan Anne; van de Kaa, Geerten; van Wee, Bert (2019): Proposing a more comprehensive future total cost of ownership estimation framework for electric vehicles. In *Energy Policy* 129, pp. 1034–1046. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.02.071.
- Weldon, Peter; Morrissey, Patrick; O'Mahony, Margaret (2018): Long-term cost of ownership comparative analysis between electric vehicles and internal combustion engine vehicles. In *Sustainable Cities and Society* 39, pp. 578–591. DOI: 10.1016/j.scs.2018.02.024.
- Wu, Geng; Inderbitzin, Alessandro; Bening, Catharina (2015): Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments. In *Energy Policy* 80, pp. 196–214. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.02.004.
- IEA (2020), Global EV Outlook 2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- IEA (2019), Global EV Outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

<https://www.jato.com/diesel-car-registrations-in-europe-post-their-lowest-market-share-since-2001/>

R.W. Saaty, The analytic hierarchy process—what it is and how it is used, *Mathematical Modelling*, Volume 9, Issues 3–5, 1987, Pages 161-176, ISSN 0270-0255, [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24, 19-43.

<https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>

Επιτροπή συγκροτηθείσα με την ΥΠΕΚΑ/ΓΓΕΚΑ/6/21612/20.09.2011, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΡΟΠΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, Αθήνα, Ιανουάριος 2012.

Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων, Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας, Υβριδική τεχνολογία αυτοκινήτων 2014, Καπετανάκης Γεώργιος & Καραμπίλας Πέτρος.

Higuchi, N., O. Sunaga, M. Tanaka, and H. Shimada. 2013. Development of a new two-motor plug-in hybrid system. *SAE Int. J. Alt. Power* 2(1): 135-145.

Ellram, L. M., & Siferd, S. P. (1998). Total cost of ownership: a key concept in strategic cost management decisions. *Materials Engineering*, 19(1), 55-84.

Ellram, L.M. and Carr, A. (1994), Strategic Purchasing: A History and Review of the Literature. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 30: 9-19.
[doi:10.1111/j.1745-493X.1994.tb00185.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1994.tb00185.x)

Ellram, Lisa. (1995). Total Cost of Ownership: An Analysis Approach for Purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 25. 4-23.
[10.1108/09600039510099928](https://doi.org/10.1108/09600039510099928).

Degraeve, Z., & Roodhooft, F. (1999). Effectively selecting suppliers using total cost of ownership. *Journal of Supply Chain Management*, 35(4), 5-10.

