



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

A.M.: 2014010050

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την συνεχόμενη και αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος εξαιτίας των μηχανοκίνητων οχημάτων. Θα περιλαμβάνει μία εισαγωγή για τους ρύπους που εκπέμπουν ειδικότερα τα οχήματα και το ποσοστό υπευθυνότητάς τους στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Έπειτα θα γίνει μία ανάλυση των ρύπων των οχημάτων που χρησιμοποιούν βενζίνη, πετρέλαιο καθώς και των ηλεκτροκινητήρων. Θα γίνει μία σύγκριση των παραγόμενων ρύπων σε αυτούς τους κινητήρες. Στη συνέχεια θα γίνει μια εμβάθυνση στη μακροπρόθεσμη ρύπανση του περιβάλλοντος λόγω των μπαταριών (λόγω της ανακύκλωσής τους) όπου εδώ θα τεθεί το ερώτημα αν τελικά η παραγωγή μπαταριών επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον από ότι νομίζουμε. Επίσης θα γίνει εκτίμηση μέσω ανάλυσης ολικού κόστους κύκλου ζωής της μπαταρίας καθώς και των παραγόμενων ρύπων. Τέλος θα γίνει μια αναφορά στην καύση υδρογόνου για την παραγωγή κίνησης, αν είναι εφικτό να εισαχθεί αυτή η εναλλακτική μορφή πηγής ενέργειας και τι δυσκολίες θα είχε.

ABSTRACT

This dissertation deals with the continuous and increasing pollution of the environment due to motor vehicles. It will include an introduction to the pollutants emitted by vehicles in particular and their degree of responsibility for environmental pollution. Then there will be an analysis of vehicles that use gasoline, diesel and electronic engines. A comparison will be made of the pollutants produced in these engines. Then there will be a deepening of the long-term pollution of the environment due to batteries (due to their recycling) where the question will arise whether the production of batteries will burden the environment more than we think. An assessment will also be made through an analysis of the total life cycle of the battery as well as the pollutants produced. Finally, a reference should be made to the combustion of hydrogen for the production drive, whether it is possible to introduce this alternative form of energy source and what difficulties it had.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση	1
1.2 Αστική ατμοσφαιρική ρύπανση	2
1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	2
1.4 Μέσα μεταφοράς	4
Κεφάλαιο 2: Μηχανοκίνηση	5
2.1 Η εφεύρεση και η εξέλιξη του αυτοκινήτου	5
2.2 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στην Ασία	7
2.2.1 Η εξέλιξη της Toyota στην Ευρώπη	9
2.3 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στην Ευρώπη	10
2.3.1 Η εξέλιξη της Volkswagen στην Ευρώπη	11
2.4 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	13
2.4.1 Η εξέλιξη της Ford στην Ευρώπη	14
2.5 Η εξέλιξη των κινητήρων	16
Κεφάλαιο 3: Μηχανοκίνηση & Ρύποι	19
3.1 Το περιβαλλοντικό κόστος στη διαδικασία παραγωγής του αυτοκινήτου στις Ηνωμένες Πολιτείες	19
3.2 Κύριες κατηγορίες εκπομπών ρύπων από τα οχήματα	20
Οι εκπομπές ρύπων οχημάτων χωρίζονται σε πέντε κύριες κατηγορίες:	20
3.3 Ρύποι & Οχήματα	22
3.4 Εκπομπές ρύπων από βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα	24
3.5 Εκπομπές ρύπων από ηλεκτροκίνητα οχήματα	31
3.6 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής των μπαταριών στα ηλεκτρικά οχήματα.	36
3.7 Μπαταρίες ιόντων λιθίου.	38
3.8 Το υδρογόνο ως ένα εναλλακτικό καύσιμο για τη μετάδοση κίνησης.	39
Συμπεράσματα	41
Βιβλιογραφία	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και πιο έντονο το φαινόμενο της αστικοποίησης, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση όλο και περισσότερου πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Ένα από τα προβλήματα που δημιουργούνται με την αύξηση του αστικού πληθυσμού είναι οι υψηλότερες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων οι οποίες οδηγούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης, πέρα από την αστικοποίηση, η οικονομική ανάπτυξη, η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση μηχανοκίνητων οχημάτων καθώς και η ταχεία αύξηση του πληθυσμού αποτελούν βασικούς παράγοντες οι οποίοι οδηγούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες δε διεξάγεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα, και απ' την άλλη, σε ορισμένες αστικές περιοχές δεν υπάρχουν καθόλου ή ελάχιστες τέτοιες πληροφορίες παρόλο που είναι ορατά τα σημάδια επιδείνωσης της ποιότητας του αέρα και των προβλημάτων υγείας που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί πλέον ένα μείζον πρόβλημα υγείας, το οποίο επηρεάζει εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας εκτιμά ότι κάθε χρόνο 2,4 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν εξαιτίας των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία. Τι ακριβώς όμως είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση; Ως ατμοσφαιρική ρύπανση ορίζεται η ρύπανση του εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος από οποιονδήποτε χημικό, φυσικό ή βιολογικό παράγοντα που τροποποιεί τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας [1].

1.2 Αστική ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας σε συνδυασμό με την αστικοποίηση, ωφέλησαν την ανθρωπότητα και έκαναν τη ζωή και την καθημερινότητα των ανθρώπων ευκολότερη και πιο άνετη. Παρόλα αυτά, ο συνδυασμός αυτών των δύο έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία προκαλείται τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όσο και από φυσικές πηγές. Βέβαια, οι περισσότερες από τις αιτίες είναι οι πρώτες μιας και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πράξεις των ανθρώπων. Κάποιες από τις φυσικές πηγές που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να είναι ηφαιστειακές εκρήξεις, βροντές, σκόνη από την επιφάνεια της γης καθώς και φυσικά σωματίδια [2].

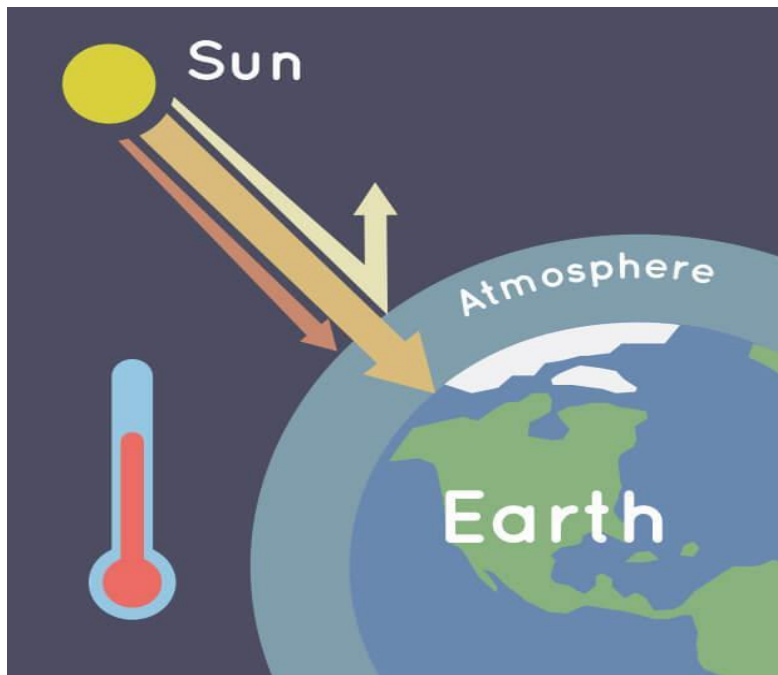
Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, οι κύριοι παράγοντες που συμβάλλουν στην αστική ατμοσφαιρική ρύπανση δεν είναι οι φυσικές πηγές, αλλά οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα μέσα μεταφοράς, η οικιακή χρήση ορυκτών καυσίμων και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανθρώπινη δραστηριότητα αυτή είναι που ευθύνεται για την υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλάζοντας τη σύσταση της χημείας της ατμόσφαιρας [2].

1.3 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» είναι ένας όρος, ευρέως γνωστός παγκοσμίως, και αποτελεί ένα από τα φαινόμενα τα οποία χρήζουν προσοχής. Η ονομασία του δεν αποτελεί δημιούργημα νέων επιστημόνων μιας και η πρώτη φορά στην οποία έγινε η χρήση του όρου «φαινόμενο του θερμοκηπίου» ήταν τον 18^ο αιώνα. Στις αρχές αυτός ο όρος χρησιμοποιούταν για την κατανόηση των φυσικών λειτουργιών, οι οποίες λάμβαναν χώρα

στην ατμόσφαιρα. Αργότερα όμως, και πιο συγκεκριμένα μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1950 ο όρος αυτός του φαινομένου ήταν στενά συνδεδεμένος με την αρνητική επίδρασή του στην αλλαγή του κλίματος.

Αυτό το φαινόμενο έχει πάρει την ονομασία του από τα «κανονικά» θερμοκήπια, τα οποία λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο τρόπο. Πιο αναλυτικά, η διαφανής κάλυψη του θερμοκηπίου, επιτρέπει στο φως του ήλιου να εισέλθει χωρίς μεγάλη δυσκολία και συγχρόνως να αυξήσει το θερμότητα στο εσωτερικό του λόγω της μεγάλης απορροφητικότητας του υλικού. Ταυτόχρονα αποτρέπει την έξοδο της θερμότητας, ανακλώντας την ενέργεια πίσω στο εσωτερικό. Με πανομοιότυπο τρόπο λειτουργεί και το φαινόμενο του θερμοκηπίου στη γήινη ατμόσφαιρα, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1). Αντίστοιχα λοιπόν, σε επίπεδο γήινης ατμόσφαιρας, υπάρχουν κάποια αέρια τα οποία παγιδεύουν τη θερμότητα οδηγώντας τελικά στη θέρμανση της επιφάνειας της Γης. Τα αέρια αυτά ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου [3], [4].



Εικόνα 1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Πηγή:

<https://climatekids.nasa.gov/greenhouse-effect/>).

1.4 Μέσα μεταφοράς

Όπως αναφέρεται και παραπάνω, τα μέσα μεταφοράς αποτελούν μία από τις ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Σύμφωνα με την υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) ο τομέας των μεταφορών βρίσκεται στη δεύτερη θέση ως προς την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, εντείνοντας έτσι το φαινόμενο αυτό. Τα οχήματα αυτού του τομέα είναι υπεύθυνα για την απελευθέρωση περισσότερων από 1,7 δισεκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ετησίως. Αξίζει λοιπόν να σημειωθεί το γεγονός ότι τα ιδιωτικά οχήματα αποτελούν την πιο σημαντική πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης μιας και η χρήση τους εκπέμπει αρκετούς ρύπους στην ατμόσφαιρα [6].

Η μηχανοκίνηση αναμφισβήτητα αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην αναπτυξιακή διαδικασία μιας χώρας και χωρίς αμφιβολία είναι αναπόφευκτη. Όμως, η υπερβολική και ανεύθυνη χρήση μηχανοκίνητων οχημάτων έχει τεράστιο αρνητικό αντίκτυπο κυρίως στην υγεία των ανθρώπων αλλά και στο περιβάλλον γενικότερα. Εκτός από την απελευθέρωση ρύπων, τα μηχανοκίνητα οχήματα βλάπτουν τον άνθρωπο και έμμεσα καθώς η εξάρτησή τους από τα προσωπικά τους οχήματα έχει οδηγήσει σε παχυσαρκία και καρδιοαγγειακά προβλήματα υγείας [6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΣΗ

2.1 Η εφεύρεση και η εξέλιξη του αυτοκινήτου

Η ανάγκη του ανθρώπου να αντικαταστήσει το άλογο με κάτι που θα μπορούσε να τον οδηγήσει πιο μακριά, σε λιγότερο χρόνο και με μεγαλύτερη ασφάλεια, ήταν η κινητήρια δύναμη που τον οδήγησε στην εφεύρεση του πρώτου αυτοκινήτου [7]. Βέβαια, δεδομένο είναι ότι τα αυτοκίνητα δεν είναι «ζωντανά πράγματα», η δημιουργία, η βελτίωση καθώς και η συντήρησή τους αναπτύσσεται μέσα από ένα πρόγραμμα ανθρώπινης προσπάθειας. Ο μηχανικός Karl Benz ήταν πεπεισμένος ότι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης θα αντικαταστήσει το άλογο και θα φέρει επανάσταση στις μεταφορές. Η εμφάνιση του πρώτου μηχανοκίνητου αυτοκινήτου που λειτούργησε με κινητήρα εσωτερικής καύσης, είχε τρεις τροχούς ονομάστηκε “motorwagen” και έγινε από τον Karl Benz το 1885.



Εικόνα 2. Το πρώτο αυτοκίνητο με τρεις τροχούς. (Πηγή: <https://www.drive.gr/posts/classic/san-semera-1886-o-karl-benz-patentarei-motorwagen>)

Ο πρώτος σταθερός βενζινοκινητήρας που σχεδιάστηκε από τον Karl Benz ήταν ένας μονοκύλινδρος δίχρονος κινητήρας και λειτούργησε για πρώτη φορά το 1879. Ο κινητήρας ωστόσο που χρησιμοποίησε στο διαθέσιμο όχημα που κατασκεύασε ήταν ένας μονοκύλινδρος τετράχρονος κινητήρας ο οποίος μπορούσε να αποδώσει ισχύ 0,75 ίππων [5].

Μπορεί ο Karl Benz να είναι ευρέως γνωστός ως ο εφευρέτης του πρώτου αυτοκινήτου παρόλα αυτά υπήρξαν και άλλοι αξιοσημείωτοι εφευρέτες. Το 1769-1771 ο Nicolas-Joseph Cugnot κατασκεύασε ένα αυτοκινούμενο μηχανικό όχημα γνωστό ως «Fardier a vapeur», το οποίο ήταν ένα τρίκυκλο όχημα που λειτουργούσε με ατμό. Καθώς ήταν το πρώτο στο είδος του, παρουσίασε πολλά προβλήματα όπως η διατήρηση της πίεσης ατμού και η παροχή νερού. Ένας Βρετανός μηχανικός, 30 χρόνια αργότερα, το 1801 κατασκεύασε μία οδική ατμομηχανή την οποία ονόμασε «Puffing Devil», η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά επιβατών από το Fore Street στο Camborne Hill της Αγγλίας [8].

Παρόλο που η ανάπτυξη της μηχανής εξωτερικής καύσης ή της ατμομηχανής είχε αποτελέσει μεγάλη επιτυχία, δε θεωρούνταν ότι θα αποτελέσει μέρος στο μέλλον τον σύγχρονων αυτοκινήτων. Αντίθετα μέρος σε αυτό θα αποτελέσει η μηχανή εσωτερικής καύσης, η οποία χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερα στοιχεία για την παραγωγή ενέργειας μέσω της διαδικασίας καύσης. Η πρώτη μηχανή εσωτερική καύσης δημιουργήθηκε το 1807 από τους αδελφούς Nicéphore και Claude Niepce, την ονόμασαν «Pyreolophore» και την τοποθέτησαν σε ένα σκάφος. Στα τέλη της δεκαετίας του 1880, δύο άλλοι Γερμανοί μηχανικοί Gottlieb Daimler και Wilhelm Maybach μπήκαν στον αγώνα και ίδρυσαν τη διάσημη εταιρεία Daimler Motoren Gesellschaft (DMG) στο Cannstatt της Γερμανίας. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1894, η DMG παρήγαγε τον πρώτο της μεγάλο κινητήρα, ο οποίος ονομάστηκε Phoenix, με κύριο σχεδιαστή τον Wilhelm Maybach [8].

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι ο Karl Benz, ο Wilhelm Maybach και ο Daimler ήταν σπουδαίοι εφευρέτες, και οι εφευρέσεις τους μπορούν να θεωρηθούν ως το πρώτο μεγάλο βήμα προς το σύγχρονο αυτοκίνητο. Παρόλα αυτά η εταιρεία τους, είχε περιορισμένο τομέα, κυρίως στη δυτική Ευρώπη και τα μηχανήματά τους δεν ήταν προσιτά στους

απλούς πολίτες λόγω της τιμής τους. Αλλαγή σε αυτό το σκηνικό έφερε ο ιδρυτής της Ford Motor Company, Henry Ford ο οποίος γεννήθηκε στις 30 Ιουλίου του 1863 στο Μίσιγκαν των Ηνωμένων Πολιτειών. Υπήρξε μεγάλος υποστηρικτής της μαζικής παραγωγής και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη μεταμόρφωση ολόκληρης της αυτοκινητοβιομηχανίας. Τον Οκτώβριο του 1908 παρουσιάστηκε το Ford Model T του οποίου οι προδιαγραφές ήταν άκρως εντυπωσιακές για την εποχή εκείνη, γεγονός που οδήγησε στην αύξηση της δημοτικότητας της εταιρείας. Πρόκειται για ένα τετρακύλινδρο βενζινοκινητήρα ο οποίος παρήγαγε ισχύ 20 ίππων και τελική ταχύτητα 72 χιλιομέτρων την ώρα. Μέχρι το 1918, τα μισά από όλα τα αυτοκίνητα που κυκλοφορούσαν στους αμερικανικούς δρόμους ήταν Model T [8].

Επανάσταση στο σχεδιασμό των αυτοκινήτων παρατηρήθηκε μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Υιοθετήθηκε ένα νέο στυλ πόντον. Το πρώτο αυτοκίνητο που υιοθέτησε αυτό το στυλ ήταν το Σοβιετικό GAZ-M20 Pobeda 1946 και το British Standard Vanguard 1949. Το έτος 1949, η General Motors και η Cadillac παρουσίασαν έναν κινητήρα V8 υψηλής συμπίεσης στην Αμερική. Μέχρι το τέλος του 20ου αιώνα, οι ΗΠΑ έχασαν εν μέρει την ηγετική τους θέση στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η Ιαπωνία έγινε ο παγκόσμιος ηγέτης στην παραγωγή αυτοκινήτων, ενώ τα αυτοκίνητα άρχισαν να κατασκευάζονται μαζικά στην Ασία, την Ανατολική Ευρώπη και άλλες χώρες [8].

2.2 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στην Ασία

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η Ιαπωνία χρειάστηκε να ενισχύσει την οικονομία της, το οποίο το κατάφερε με την κατασκευή οχημάτων. Καταλαμβάνοντας μία έκταση 29,3 εκατομμυρίων τετραγωνικών χιλιομέτρων, η περιοχή της Ασίας φιλοξενεί το 60% του παγκόσμιου πληθυσμού. Πολλές από τις χώρες της Ασίας, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας, της Ινδίας και της Ιαπωνίας αποτελούν κάποιες από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες χώρες όσον αφορά το μέγεθος του πληθυσμού. Λαμβάνοντας υπόψη τον αυξανόμενο πληθυσμό της, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι ασιατικές οικονομίες και βιομηχανίες εξελίσσονται συνεχώς. Ένας τέτοιος ραγδαία αναπτυσσόμενος κλάδος είναι

η αυτοκινητοβιομηχανία. Η αύξηση του πληθυσμού εύλογο είναι να έχει προκαλέσει αυξημένη ζήτηση για αποτελεσματική και ασφαλή κινητικότητα. Αρκετές είναι οι χώρες της Ασίας οι οποίες έχουν διαπρέπει στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας με τις κυριότερες να είναι η Ιαπωνία, η Κίνα και η Νότια Κορέα [9].

Η Ιαπωνία αποτελεί μία παγκόσμια ηγετική δύναμη στην αυτοκινητοβιομηχανία και είναι ευρέως γνωστή για την τεχνολογία αιχμής και τις αναζωογονητικές ιδέες της. Επίσης είναι η τρίτη μεγαλύτερη αυτοκινητοβιομηχανία στον κόσμο, με 78 εργοστάσια σε 22 νομούς και απασχολώντας πάνω από 5,5 εκατομμύρια ανθρώπους, αποτελεί βασικό πυλώνα της οικονομίας της χώρας. Η αυτοκινητοβιομηχανία καταλαμβάνει το 89% του κατασκευαστικού τομέα της χώρας και οι προμηθευτές ανταλλακτικών αυτοκινήτων έχουν επίσης αναπτύξει ένα σημαντικό μέρος της οικονομίας της. Εγχώριες μάρκες όπως η Toyota, η Nissan, η Honda, η Suzuki και η Mitsubishi κυριαρχούν στην ιαπωνική αγορά αυτοκινήτου, με τα αυτοκίνητα ξένης κατασκευής να απευθύνονται κυρίως στη μειονότητα των οικονομικά «άνετων» πολιτών εξαιτίας του υψηλού κόστους συντήρησης των εισαγόμενων οχημάτων [11].

Πιο συγκεκριμένα, η Ιαπωνική εταιρεία Toyota Motor Corporation έχει καταταχθεί ως ο δεύτερος μεγαλύτερος κατασκευαστής αυτοκινήτων παγκοσμίως με βάση την κεφαλαιοποίηση της αγοράς, κατέχοντας περίπου το 10% του παγκόσμιου μεριδίου αγοράς. Παρόλα αυτά το μερίδιο αγοράς της Toyota στην Ευρώπη εξακολουθεί να είναι ένα μέτριο προς χαμηλό με ένα ποσοστό της τάξης του 3 τοις εκατό. Η Toyota αποτελεί αυτή τη στιγμή τη μάρκα οχημάτων με τις μεγαλύτερες πωλήσεις στην Ιαπωνία, πουλώντας περισσότερα αυτοκίνητα από τους ανταγωνιστές της Nissan και Honda μαζί. Το 2019, πούλησε 1,5 εκατομμύρια οχήματα στην Ιαπωνία και 10,7 εκατομμύρια οχήματα παγκοσμίως, αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Ωστόσο η εταιρεία ξεκίνησε ως κατασκευαστής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων [10].

2.2.1 Η εξέλιξη της Toyota στην Ευρώπη

Η είσοδος της Toyota στην ευρωπαϊκή αγορά λέγεται ότι ξεκίνησε με την εξαγωγή ενός μόνο αυτοκινήτου, του Crown, στη Δανία τον Δεκέμβριο του 1962. Εκείνη τη στιγμή ο πρόοδος της Toyota στην Ευρωπαϊκή αγορά έμοιαζε με στόχος ο οποίος θα μπορούσε να εκπληρωθεί μακροπρόθεσμα και όχι βραχυπρόθεσμα. Ωστόσο ένα χρόνο αργότερα, και ειδικότερα τον Ιούνιο του 1963 υπέγραψε σύμβαση διανομής με την Erla Auto Imports της Δανίας και απέστειλε 190 μονάδες του αυτοκινήτου της Crown. Το Μάρτιο του 1964 αύξησε την παρουσία της στην Ευρώπη συνάπτοντας συμβόλαιο με έναν άλλο διανομέα, την Louwman & Parqui της Ολλανδίας [10].

Οι Ευρωπαϊκές δραστηριότητες της Toyota έχουν περάσει από δύο στάδια. Το πρώτο από τη δεκαετία του 1960 έως το 1990 και το δεύτερο από το 1991 έως το 2000. Στο πρώτο στάδιο, η παρουσία της Toyota στην Ευρώπη ήταν αποκλειστικά μέσα από αυτοκίνητα τα οποία είχαν κατασκευαστεί στην Ιαπωνία. Για να συμμορφωθεί με τους κανονισμούς που επιβλήθηκαν από τις εν λόγω χώρες, η Toyota τροποποίησε τα αυτοκίνητα που είχε αναπτύξει για τις αγορές της Ιαπωνίας και των ΗΠΑ. Στο δεύτερο στάδιο τώρα το 1992 στο νέο εργοστάσιό της στο Ηνωμένο Βασίλειο, η Toyota άρχισε να παράγει το Carina E (που άλλαξε σε Avensis το 1997), το πρώτο μοντέλο που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για την ευρωπαϊκή αγορά αλλά με πωλήσεις περιορισμένες στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γερμανία. Ξεκίνησε επίσης να ενισχύσει το δίκτυο πωλήσεών της στην Ευρώπη [10].

Στη συνέχεια, την άνοιξη του 2002, με το βλέμμα στις μελλοντικές πανευρωπαϊκές δραστηριότητες και την επακόλουθη ανάγκη παραγωγής αυτοκινήτων που αντικατοπτρίζουν το γούστο των Ευρωπαίων οδηγών, λάνσαρε το Yaris, την ευρωπαϊκή έκδοση ενός μοντέλου της σειράς New Basic Car. Το Yaris, το οποίο κατασκευαζόταν στη Γαλλία, όχι μόνο πούλησε καλά αλλά επιλέχθηκε και ως αυτοκίνητο της χρονιάς στην Ευρώπη το 2000 [10].

2.3 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στην Ευρώπη

Μία περίοδος άνθισης της ευρωπαϊκής αυτοκινητοβιομηχανίας υπήρξε η περίοδος μεταξύ 1919 και 1939. Η ευρωπαϊκή βιομηχανία παρόλο που κινούταν προς τις ίδιες κατευθύνσεις με την αμερικανική βιομηχανία, προς μία μαζική αγορά μηχανοκίνητων οχημάτων έκανε πιο αργή πρόοδο εξαιτίας μερικών παραγόντων όπως: χαμηλότερο βιοτικό επίπεδο με λιγότερη αγοραστική δύναμη, μικρότερες εθνικές αγορές και περισσότερους φορολογικούς περιορισμούς και τιμολογιακές πολιτικές [12].

Ο ευρωπαϊκός κλάδος της αυτοκινητοβιομηχανίας έχει ανέβει στην κορυφή της παγκόσμιας βιομηχανίας. Οι ευρωπαίοι κατασκευαστές αυτοκινήτων διακατέχονται από τη φήμη των ποιοτικών κατασκευασμένων αυτοκινήτων καθώς και των καινοτόμων τεχνολογιών. Η BMW, η Mercedes-Benz και η Audi αποτελούν περίπου το 80% της παγκόσμιας αγοράς πολυτελείας. Τις πέντε κορυφαίες χώρες στην ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία, τις αποτελούν η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιταλία, η Γαλλία και η Σουηδία [13].

Από τις παραπάνω χώρες τα ηνία τα κρατάει η Γερμανία με τη Volkswagen, τη Daimler και τη BMW να αποτελούν τους τρεις μεγαλύτερους κατασκευαστές αυτοκινήτων της Ευρώπης. Ο Όμιλος Volkswagen είναι εδώ και καιρό η μεγαλύτερη αυτοκινητοβιομηχανία στην Ευρώπη. Από το 2007 ξεπέρασε τη Ford και κατέλαβε την τρίτη θέση στον κόσμο μετά τη General Motors και την Toyota. Είναι επίσης ο μητρικός όμιλος των Audi, Porsche, SEAT, Škoda, Bugatti, Lamborghini και Bentley. Η αυτοκινητοβιομηχανία στη Γερμανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους εργοδότες στον κόσμο, με εργατικό δυναμικό άνω των 857.336 (2016) που εργάζονται στον κλάδο. Με ετήσια παραγωγή κοντά στα έξι εκατομμύρια και μερίδιο 31,5% της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2017), αυτοκίνητα γερμανικής σχεδίασης κέρδισαν τα ετήσια βραβεία για το Ευρωπαϊκό Αυτοκίνητο της Χρονιάς, το Διεθνές Αυτοκίνητο της Χρονιάς, το Παγκόσμιο Αυτοκίνητο της Χρονιάς τις περισσότερες φορές μεταξύ όλων των χωρών [17].

2.3.1 Η εξέλιξη της Volkswagen στην Ευρώπη

Στις 28 Μαΐου 1937, η κυβέρνηση της Γερμανίας τότε υπό τον έλεγχο του Αδόλφου Χίτλερ του Εθνικοσοσιαλιστικού (Ναζιστικού) Κόμματος, σχηματίζει μια νέα κρατική εταιρεία αυτοκινήτων, γνωστή τότε ως «Gesellschaft zur Vorbereitung des Deutschen Volkswagens». Είχε έδρα στο Βολφσμπουργκ της Γερμανίας. Αργότερα το ίδιο έτος, μετονομάστηκε απλώς σε Volkswagenwerk, ή «The People's Car Company». Έργο του Χίτλερ ήταν η ανάπτυξη και η μαζική παραγωγή ενός προσιτού αλλά ακόμα γρήγορου οχήματος που θα μπορούσε να πουληθεί για λιγότερο από 1.000 μάρκα του Ράιχ (περίπου 140 \$ τότε). Αυτό το αυτοκίνητο δεν ήταν άλλο από το Beetle γνωστό ως “Volkswagen” ή αλλιώς το αυτοκίνητο του λαού, το οποίο σχεδιάστηκε από τον Ferdinand Porsche. Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος όμως στάθηκε εμπόδιο στο όραμά του και η Volkswagen διέκοψε την παραγωγή [14].



Εικόνα 3. Ένα πρωτότυπο της σειράς V του 1935 με το τελικό σχήμα του αυτοκινήτου που θα γινόταν το αυτοκίνητο με τις περισσότερες πωλήσεις στην ιστορία.

Μετά το τέλος του Β' Παγκόσμιου Πόλεμου η Γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία είχε σχεδόν καταστραφεί. Η αναβίωσή της με τη μεγαλύτερη έμφαση να επικεντρώνεται στη

Volkswagen ήταν κάτι αξιοθαύμαστο. Στο εργοστάσιο το οποίο βρισκόταν στο Βόλφσμπουργκ αποκαταστάθηκε η παραγωγή, σε λίγο περισσότερο από μια δεκαετία το εργοστάσιο παρήγαγε το μισό των μηχανοκίνητων οχημάτων της Δυτικής Γερμανίας, δημιουργώντας έτσι μια ισχυρή θέση στην παγκόσμια αγορά. Οι πωλήσεις της Volkswagen στις Ηνωμένες Πολιτείες ήταν αρχικά πιο αργές από ό,τι σε άλλα μέρη του κόσμου, λόγω των ιστορικών ναζιστικών συνδέσεων του αυτοκινήτου καθώς και του μικρού μεγέθους και του ασυνήθιστου στρογγυλεμένου σχήματος. Το 1959, το διαφημιστικό πρακτορείο Doyle Dane Bernbach ξεκίνησε μια καμπάνια ορόσημο, βαφτίζοντας το αυτοκίνητο «Beetle» και περιστρέφοντας το μικρό του μέγεθος ως ξεχωριστό πλεονέκτημα για τους καταναλωτές. Τα επόμενα χρόνια, η VW έγινε η εισαγωγή αυτοκινήτων με τις μεγαλύτερες πωλήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες [15].

Τη δεκαετία του 1960, η Volkswagen εξαγόρασε την Auto Union, η οποία εξελίχθηκε στη γνωστή σε όλους για τα πολυτελή της αυτοκίνητα Audi [15]. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 η Volkswagen αντιμετώπισε μεγάλες οικονομικές δυσκολίες με το «γερασμένο» Beetle να χαρακτηρίζεται από ισχυρές πωλήσεις σε όλο τον κόσμο, σε αντίθεση με τα νεότερα μοντέλα τα οποία ήταν λιγότερο επιτυχημένα. Ευτυχώς όμως η εταιρεία για καλή της τύχη βίωσε μια αναγέννηση με την άφιξη του δημοφιλούς Passat το 1973, του Golf το 1974 και του Polo το 1975. Και τα τρία αυτά μοντέλα χαρακτηρίζονται από τη νέα διάταξη hatchback και η μετάδοση της κίνησης γινόταν από τους δύο εμπρόσθιους τροχούς. Το Polo έγινε το νέο βασικό μοντέλο της Volkswagen, το Golf αποτέλεσε μοντέλο μεσαίας κατηγορίας το οποίο έμελε να γίνει το μοντέλο που θα αντικαθιστούσε το Beetle. Επίσης το Golf αποτέλεσε το hatchback του ιδανικού μεγέθους, κάνοντας τις περισσότερες κορυφαίες αυτοκινητοβιομηχανίες να έχουν ένα hatchback παρόμοιου μεγέθους μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Το 1998, η εταιρεία άρχισε να πουλά το πολυδιαφημισμένο «New Beetle», ενώ συνεχίζει την παραγωγή του προκατόχου του [16]. Μετά από σχεδόν 70 χρόνια και περισσότερες από 21 εκατομμύρια μονάδες παραγωγής, το τελευταίο αυθεντικό Beetle κυκλοφόρησε από τη σειρά στην Πουέμπλα του Μεξικού, στις 30 Ιουλίου 2003 [14].

2.4 Η εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

Η αρχή της αυτοκινητοβιομηχανίας στις Ηνωμένες Πολιτείες έκανε την εμφάνισή της τη δεκαετία του 1890. Εξαιτίας του μεγέθους της εγχώριας αγοράς και της χρήσης μαζικής παραγωγής, γρήγορα η αυτοκινητοβιομηχανία στις Ηνωμένες Πολιτείες εξελίχθηκε στη μεγαλύτερη στον κόσμο. Ξεκινώντας από την Duryea το 1895, δημιουργήθηκαν τουλάχιστον 1900 διαφορετικές εταιρείες, που παρήγαγαν πάνω από 3.000 μάρκες αμερικανικών αυτοκινήτων. Ο Πρώτος Παγκόσμιος Πόλεμος (1917-1918) και η Μεγάλη Ύφεση στις Ηνωμένες Πολιτείες (1929-1939) συντέλεσαν στη δραστική μείωση κάθε είδους παραγωγών, μικρών και μεγάλων. Ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος ώθησε όλες τις εταιρείες αυτοκινήτων να στραφούν στην κατασκευή στρατιωτικού εξοπλισμού και όπλων. Μέχρι το τέλος της επόμενης δεκαετίας, οι μικρότεροι παραγωγοί δε μπορούσαν να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους μόνοι τους. Αυτό οδήγησε είτε στην εξαφάνισή τους, είτε στη συγχώνευσή τους σε μεγαλύτερες εταιρείες. Τεχνικά, οι πρώτες δεκαετίες μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο χαρακτηρίστηκαν από βελτίωση και τελειοποίηση παρά από σημαντική καινοτομία [18].

Στη βιομηχανία πλέον κυριαρχούσαν τρεις μεγάλες εταιρείες: η General Motors, η Ford και η Chrysler, όπου και οι τρεις είχαν έδρα το Metro Detroit. Μέχρι το 1950 οι ΗΠΑ παρήγαγαν τα τρία τέταρτα όλων των αυτοκινήτων στον κόσμο, με παραγωγή 8 εκατομμυρίων από τα 10,6 εκατομμύρια. Το 1948, τα μισά νοικοκυριά στις ΗΠΑ είχαν στην κατοχή τους τουλάχιστον ένα αυτοκίνητο. Ο αυξανόμενος ανταγωνισμός από τα εισαγόμενα αυτοκίνητα και από τις νέες παραγωγικές δραστηριότητες που δημιουργήθηκαν από ευρωπαϊκές και ιαπωνικές εταιρείες συνέχισε να μειώνει το μερίδιο της αμερικανικής αγοράς που ελέγχεται από τους τρεις εγχώριους κατασκευαστές μέχρι το υπόλοιπο του 20ού αιώνα [18].

Το 2008 η αυτοκινητοβιομηχανία των ΗΠΑ φαινόταν κοντά στην κατάρρευση εν μέσω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης. Μέσω του Προγράμματος Αρωγής Προβληματικών Περιουσιακών Στοιχείων (TARP), δάνεια δισεκατομμυρίων διατέθηκαν στην General Motors, την Chrysler και τη Ford με την τελευταία αυτοκινητοβιομηχανία να μη δέχεται την κυβερνητική ελάφρυνση. Η General Motors καθώς και η Chrysler υπέβαλαν αίτηση

πτώχευσης το 2009. Το 2011 η Ιταλική αυτοκινητοβιομηχανία Fiat αφού είχε αγοράσει ένα μερίδιο της Chrysler, έγινε πλειοψηφικός μέτοχος. Οι αμερικανικές αυτοκινητοβιομηχανίες ένιωσαν κάποτε ότι η επιχειρηματική δραστηριότητα στην Ευρώπη ήταν απαραίτητη για τις παγκόσμιες φιλοδοξίες τους. Τώρα βλέπουν την περιοχή ως δολοφόνο του κέρδους, μια αγορά που πρέπει να αποφευχθεί αν είναι δυνατόν [18].

2.4.1 Η εξέλιξη της Ford στην Ευρώπη

Ο Henry Ford άρχισε να κατασκευάζει αυτοκίνητα το 1896 και ξεκίνησε τη δική του εταιρεία το 1903. Η Ford Motor Company βελτίωσε τη μαζική παραγωγή με την πρώτη γραμμή συναρμολόγησης που βασίζεται σε ιμάντα μεταφοράς το 1913. Η κατασκευή γραμμής συναρμολόγησης ήταν μια πρωτοποριακή εξέλιξη που έκανε τα αυτοκίνητα προσιτά για τους καταναλωτές και επέτρεψε στη Ford να βελτιώσει τις συνθήκες εργασίας για τους εργαζομένους, αυξάνοντας ταυτόχρονα τον όγκο της παραγωγής αυτοκινήτων της ανά ημέρα [20]. Η απογείωση της αυτοκινητοβιομηχανίας πραγματοποιήθηκε όταν η Ford Company δημιούργησε το πρώτο Model T από μία γραμμή συναρμολόγησης. Το Model T σημείωσε εξαιρετικές πωλήσεις και η Ford έγινε η μεγαλύτερη εταιρεία αυτοκινήτων στις Η.Π.Α. Μέχρι τη στιγμή που αποσύρθηκε το 1927, είχαν πουληθεί περισσότερα από 15 εκατομμύρια Model T [21].



Εικόνα 4. Το Ford Model T.

Η Ford Ευρώπης ιδρύθηκε το 1967 από τη συγχώνευση των τμημάτων Ford Βρετανίας, Ford Γερμανίας και του ιρλανδικού Henry Ford & Son Ltd της Ford Motor Company. Το πρώτο νέο μοντέλο που κυκλοφόρησε μετά τη δημιουργία του Ford Ευρώπης ήταν το Escort, που κατασκευάστηκε στην Αγγλία από τον Οκτώβριο του 1967 και κυκλοφόρησε στην αγορά στις αρχές του 1968. Πρόκειται για ένα βενζινοκίνητο όχημα το οποίο ήταν πισωκίνητο, στην αρχή ήταν διαθέσιμο ως δίθυρο και αργότερα ήταν διαθέσιμο και σαν τετράθυρο. Με το Capri II ξεκίνησε για πρώτη φορά η Ford την παραγωγή αυτοκινήτων hatchback υιοθετώντας αυτή τη νέα ιδέα που είχε κατοχυρωθεί για πρώτη φορά από τη Renault στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Στη συνέχεια η Ford λάνσαρε το Escort II στις αρχές του 1975 το οποίο ήταν μια ανανεωμένη και αναβαθμισμένη έκδοση του αυτοκινήτου του 1968. Το 1975 η Ford έγινε η πιο δημοφιλής μάρκα αυτοκινήτου στο Ηνωμένο Βασίλειο, ξεπερνώντας τη British Leyland. Το 1976 η Ford Europe κατασκεύασε το πρώτο της μοντέλο με κίνηση στους μπροστά τροχούς. Η κατασκευή του μοντέλου αυτού, έγινε στο νέο εργοστάσιο της εταιρείας στη Βαλένθια της Ισπανίας. Το συγκεκριμένο μοντέλο εξήχθη για μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ του 1978 και 1980 στις Ηνωμένες Πολιτείες και στον Καναδά. Το 1980, το Escort III αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα λανσαρίσματα στην ιστορία της Ford. Σημείωσε τεράστια επιτυχία

πωλήσεων σε όλη της διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και κυρίως στη Βρετανία καθώς από το 1982 έως το 1989 ήταν το αυτοκίνητο με τις μεγαλύτερες πωλήσεις [19].

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, η Ford υιοθέτησε μια χαρακτηριστική σχεδίαση «New Edge» στη γκάμα μοντέλων της. Μερικά από τα αυτοκίνητα που υιοθέτησαν αυτή την εντυπωσιακή νέα εμφάνιση ήταν εντελώς νέα, ενώ άλλα ήταν αναβαθμισμένες εκδόσεις παλαιότερων και πιο συντηρητικών σχεδίων. Το Ford Escort είδε το τέλος του να πλησιάζει όταν ο πλέον διάδοχος του Focus ήταν διαθέσιμος πλέον στην αγορά. Το νέο Focus ήταν το Ευρωπαϊκό Αυτοκίνητο της Χρονιάς για το 1999 και ήταν ένα από τα αυτοκίνητα με τις μεγαλύτερες πωλήσεις σε ολόκληρη την Ευρώπη. Στο απόγειο της παραγωγής του, ένα νέο Ford Focus έβγαινε από μια γραμμή παραγωγής με μέσο όρο ένα κάθε 12 δευτερόλεπτα, από όλα τα εργοστάσια τα οποία ήταν υπεύθυνα για την παραγωγή του σε όλο τον κόσμο. Το 2005, η Ford γιόρτασε την 30η επέτειό της ως η πιο δημοφιλής μάρκα αυτοκινήτων στη Βρετανία. Παρά το γεγονός αυτό, η διαφορά μεταξύ της Ford και των ανταγωνιστών της ήταν σχεδόν τόσο περιορισμένη όσο ποτέ, με την Vauxhall και τη Renault να βρίσκονται σε μικρή διαφορά πίσω από τη Ford σε στοιχεία πωλήσεων [19].

2.5 Η εξέλιξη των κινητήρων

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι η καρδιά σχεδόν όλων των οχημάτων που φαίνονται στους δρόμους, από αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες στο δρόμο, μέχρι αεροπλάνα στον ουρανό και πλοία στη θάλασσα. Αυτή η μηχανή είναι ο διάδοχος των παλαιότερων ατμομηχανών ή των κινητήρων εξωτερικής καύσης. Ωστόσο, αυτός ο κινητήρας είναι αναμφίβολα πολύ πιο αποδοτικός από τον προκατόχο του. Η βασική διαφορά μεταξύ ατμομηχανών και κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι ότι στις τελευταίες το καύσιμο καίγεται στο εσωτερικό με επαναλαμβανόμενη ανάφλεξη, και τα αέρια που προκύπτουν προωθούν τα έμβολα. Αντίθετα, στις μηχανές εξωτερικής καύσης, το καύσιμο καίγεται εξωτερικά και μέσω της θερμότητας που παράγεται εξατμίζεται το νερό το οποίο διαστέλλεται στον κινητήρα, παράγοντας κίνηση και χρήσιμο έργο. Η πρόοδος στον τομέα των κινητήρων εσωτερικής καύσης σχετίζεται στενά με την ανακάλυψη και χρήση διαφόρων τύπων καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων και των συνθετικών [22].

Από τις αρχές του 17ου αιώνα, αρκετοί επιστήμονες έφτασαν κοντά στη δημιουργία μιας μηχανής εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, το 1860, ένας άνδρας με το όνομα Jean Joseph Etienne Lenoir κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον πρώτο εμπορικό κινητήρα εσωτερικής καύσης. Εκείνη την εποχή, ο κινητήρας είχε μόνο έναν κύλινδρο, γεγονός που του έδινε την τάση να υπερθερμαίνεται. Παρόλα αυτά, ήταν σε θέση να τροφοδοτήσει ένα τρίτροχο αυτοκίνητο που μπορούσε να κάνει περίπου δύο μίλια την ώρα. Με την πάροδο των χρόνων, άλλοι εφευρέτες κατάφεραν να δημιουργήσουν πιο αποδοτικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Το 1878, ο Nikolaus A. Otto κατασκεύασε τον πρώτο τετράχρονο κινητήρα στον κόσμο και την ίδια χρονιά, ο Sir Douglas Clerk δημιούργησε με επιτυχία τον πρώτο δίχρονο κινητήρα. Ο τετράχρονος κινητήρας του Otto ήταν βασισμένος στις αρχές του Alphonse Beau de Rochas και καθιέρωσε τις αρχές της εισαγωγής, συμπίεσης, καύσης και εξάτμισης. Μέχρι σήμερα, όλοι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης σε αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες λειτουργούν σύμφωνα με τις αρχές που δηλώνει ο Otto. Ο κινητήρας του Otto και οι εξελίξεις του ήταν αναμφίβολα πιο ισχυροί από αυτόν του Lenoir. Ωστόσο, το βάρος του έγινε θέμα ανησυχίας για τα αυτοκίνητα. Δούλεψε αρκετά καλά για εργοστάσια, αλλά δεν ήταν ότι καλύτερο για οχήματα. Στη συνέχεια, ο Gottlieb Daimler και ο Wilhelm Maybach ανέλαβαν το έργο της βελτιστοποίησης αυτού του κινητήρα. Κάποτε, οι συνεργάτες του Otto άρχισαν να διεξάγουν τα δικά τους πειράματα από το 1881 για να αναπτύξουν κινητήρες που ήταν μικροί, γρήγοροι και ικανοί να τροφοδοτούν οχήματα στη γη και στο νερό. Η επιτυχία ήρθε το 1883 όταν ανέπτυξαν έναν βενζινοκινητήρα αερίου με ανάφλεξη θερμού σωλήνα που μπορούσε να παράγει έναν ίππο στις 650 στροφές ανά λεπτό. Ήταν μικρό και σχετικά ελαφρύ, καθιστώντας το ιδανικό για χρήση σε οχήματα. Μέχρι το 1900 η Daimler και η Maybach αύξησαν την ισχύ των κινητήρων αυτοκινήτων στους 35 ίππους, οι οποίοι είχαν τελική ταχύτητα 90 km/h [22].

Πριν από την εποχή του Model T, τα οχήματα με βενζίνη είχαν σκληρό ανταγωνισμό από τα ατμοκίνητα και ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στην πραγματικότητα, από τα 4.200 αυτοκίνητα που κατασκευάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1900, μόνο το ένα τέταρτο χρησιμοποιούσε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Τα περισσότερα αυτοκίνητα στο δρόμο εκείνη την εποχή κινούνταν με ατμό, παρόλα αυτά, αυτό άλλαξε μέχρι τη δεκαετία του

1910 εξαιτίας του σκληρού ανταγωνισμού αυτοκινήτων μαζικής παραγωγής που κινούνταν με αέριο [24].

Μία άλλη πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στο όχημα που κινείται με φυσικό αέριο, ήταν το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το οποίο χρησιμοποιούσε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Το 1900 περισσότερο από το ένα τέταρτο των αμερικάνικων οχημάτων που παράγονταν ήταν ηλεκτρικά. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συνοδεύονταν με κάποια πλεονεκτήματα όπως, ευκολία στη λειτουργία, αθόρυβη λειτουργία της μηχανής χωρίς εκπομπές δυσάρεστων οσμών και αερίων. Φυσικά δε θα μπορούσαν αυτού του είδους οι κινητήρες να χαρακτηρίζονται μόνο από πλεονεκτήματα. Εκτός λοιπόν από τα πλεονεκτήματα οι συγκεκριμένοι κινητήρες είχαν και κάποια μειονεκτήματα. Το κυριότερο μειονέκτημά τους ήταν η περιορισμένη εμβέλεια, η οποία ήταν περίπου 20 μίλια ή 32 χιλιόμετρα πριν χρειαστούν επαναφόρτιση. Επίσης, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ήταν περιορισμένη και οι ίδιες οι μπαταρίες ήταν ογκώδεις. Αυτό οδήγησε είκοσι χρόνια αργότερα στο τέλος της εμπορικής βιωσιμότητας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων [24].

Μετά από αυτές τις πρωτοποριακές εφευρέσεις, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης έχει γνωρίσει αρκετές εξελίξεις μέσα στα χρόνια. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έπαιξε η ίδρυση μιας σειράς αυτοκινητοβιομηχανιών. Όταν ο κόσμος γνώρισε δύο καταστροφικούς πολέμους, οι απαιτήσεις απόδοσης των οχημάτων άλλαξαν εντελώς. Αυτό συνέβαλε πολύ στην ανάγκη για εφευρέσεις και εξελίξεις κινητήρων στη γη, το νερό και τον ουρανό. Μετά από αυτό, η αντίληψη για τα οχήματα άλλαξε και τα άτομα άρχισαν να αγοράζουν περισσότερα αυτοκίνητα, οδηγώντας σε αρκετές καινοτομίες που έκαναν τον κινητήρα εσωτερικής καύσης αυτό που είναι σήμερα [25]. Οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες είναι αυτοί του ντίζελ και του βενζινοκινητήρα. Ένας κινητήρας ντίζελ λειτουργεί ακριβώς το ίδιο με έναν βενζινοκινητήρα, εκτός από το ότι αντί να χρησιμοποιεί μπουζί για την ανάφλεξη του μείγματος αέρα/καυσίμου, αναφλέγει το μείγμα χρησιμοποιώντας μόνο συμπίεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗΧΑΝΟΚΙΝΗΣΗ & ΡΥΠΟΙ

3.1 Το περιβαλλοντικό κόστος στη διαδικασία παραγωγής του αυτοκινήτου στις Ηνωμένες Πολιτείες

Τα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής, όπως τα περισσότερα εμπορεύματα μαζικής παραγωγής, συνεπάγονταν τη χρήση μεγάλης ποικιλίας και τεράστιων ποσοτήτων πόρων, την ανάγκη για μεγάλες ποσότητες ανθρώπινης εργασίας και μηχανικής δύναμης, και την παραγωγή άφθονων απορριμμάτων. Έχει υπολογιστεί από ειδικούς ότι μέχρι το 1980 περίπου δύο εκατομμύρια άνθρωποι ασχολούνταν με την κατασκευή αυτοκινήτων και άλλα τρία εκατομμύρια με την παραγωγή εξαρτημάτων. Άλλα είκοσι εκατομμύρια σε όλο τον κόσμο ήταν εξαρτημένα από μηχανοκίνητα οχήματα για τον βιοπορισμό τους. Μέχρι τη δεκαετία του 1920 παρήγαγαν το 98 τοις εκατό των αυτοκινήτων του κόσμου. Μεταξύ 1920 και 1929, η παραγωγή μηχανοκίνητων οχημάτων εκτινάχθηκε από 2,2 εκατομμύρια σε 5,3 εκατομμύρια [24].

Η παραγωγή καθώς και η χρήση των αυτοκινήτων έχει τεράστιες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ο ιστορικός Μαρκ Φόστερ έχει υπολογίσει ότι «το ένα τρίτο της συνολικής περιβαλλοντικής ζημίας που προκλήθηκε από τα αυτοκίνητα συνέβη πριν πουληθούν και οδηγηθούν». Ανέφερε μια μελέτη που υπολόγιζε ότι η κατασκευή ενός αυτοκινήτου παρήγαγε 29 τόνους απορριμμάτων και 923 χιλιάδες κυβικά μέτρα μολυσμένου αέρα. Η εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος, βωξίτης, πετρελαίου, χαλκού, μόλυβδου και μιας ποικιλίας άλλων πρώτων υλών για την επεξεργασία χάλυβα, αλουμινίου, πλαστικών, γυαλιού, καουτσούκ και άλλων προϊόντων που είναι απαραίτητα για την κατασκευή αυτοκινήτων καταναλώνει περιορισμένους πόρους, χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας και έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις [24].

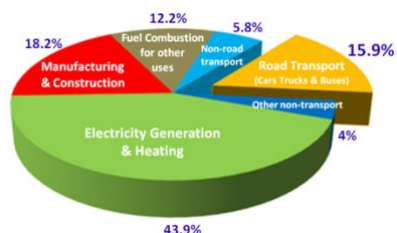
Οι ίδιες οι εγκαταστάσεις συναρμολόγησης οχημάτων είναι σημαντικοί ρυπαντές. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, υπήρχαν 20 εργοστάσια κινητήρων στις Ηνωμένες

Πολιτείες, περισσότερα από 40 εργοστάσια συναρμολόγησης, εκατοντάδες εγκαταστάσεις σφράγισης μετάλλων και χιλιάδες προμηθευτές. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες απελευθερώνουν θεϊκό οξύ και άλλες εκπομπές καπνού στον αέρα. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος κατέταξε τις μονάδες συναρμολόγησης αυτοκινήτων και φορτηγών μεταξύ των δέκα κορυφαίων παραγωγών απορριμμάτων στη χώρα. Το 1990, η αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία αντιπροσώπευε το 1 τοις εκατό όλων των επικίνδυνων αποβλήτων ή 172 κιλά ανά όχημα που παρήχθη. Δεν είναι σαφές εάν η αυτοκινητοβιομηχανία ρυπαίνει ή έχει μολύνει δυσανάλογα με άλλες μορφές παραγωγής στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τα τελευταία χρόνια, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως και άλλες βιομηχανίες, θεωρήθηκαν υπεύθυνες για ορισμένα πρότυπα ρύπανσης ή προσπάθησαν να βελτιώσουν οικειοθελώς ορισμένες συνθήκες. Εξαιτίας αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν μπορεί να αγνοηθεί ο ρόλος της παραγωγής στη συνολική εικόνα των επιπτώσεων του αυτοκινήτου στο περιβάλλον [24].

3.2 Κύριες κατηγορίες εκπομπών ρύπων από τα οχήματα

Οι εκπομπές ρύπων οχημάτων χωρίζονται σε πέντε κύριες κατηγορίες:

- **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**, το οποίο είναι ένα αναπόφευκτο προϊόν της καύσης ενός καυσίμου που περιέχει άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα δε μολύνει άμεσα τον αέρα που αναπνέουμε, αλλά είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη γεγονός το οποίο καθιστά απαραίτητη τη μείωσή του. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται να περιέχουν λιγότερο ή και καθόλου άνθρακα, είτε τα οχήματα και οι κινητήρες τους να γίνουν πιο αποδοτικά. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι οδικές μεταφορές ευθύνονται για το 16% περίπου των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [26].



Εικόνα 5. Ποσοστά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες [26].

- **Μονοξείδιο του άνθρακα (O)**, το οποίο παράγεται από την ατελή καύση ενός καυσίμου το οποίο έχει ως βάση τον άνθρακα. Το συγκεκριμένο αέριο πρέπει να ελέγχεται, καθώς σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι δηλητηριώδες. Η συγκέντρωσή του μπορεί να μειωθεί με μία πιο αποδοτική καύση στον κινητήρα, η οποία θα οδηγήσει στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα αντί μονοξειδίου του άνθρακα [26].
- **Οι υδρογονάνθρακες (HC) ή αλλιώς πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC)**, αποτελούν ενώσεις υδρογόνου και άνθρακα οι οποίες υπάρχουν στα προϊόντα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι υδρογονάνθρακες είναι ιδιαίτερα εύφλεκτοι και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα όταν καίγονται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι υδρογονάνθρακες να είναι πολύ αποτελεσματικοί ως πηγή καυσίμου. Ωστόσο, οι υδρογονάνθρακες είναι επικίνδυνοι για τον άνθρωπο καθώς τα αέρια που εκπέμπονται κατά την καύση τους, δημιουργούν προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα, συμβάλλουν στο φωτοχημικό νέφος όπως και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κάποιοι από αυτούς μπορεί ακόμη και να είναι καρκινογόνοι. Η μείωσή τους μπορεί να επιτευχθεί με μία πιο αποδοτική καύση στον κινητήρα [26],[27].
- **Τα οξείδια του αζώτου (NO_x)**, αποτελούν μια οικογένεια δραστικών και δηλητηριωδών αερίων. Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται όταν το καύσιμο καίγεται σε υψηλές θερμοκρασίες [28]. Η Αθήνα και το Μιλάνο αποτελούν δύο πόλεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης με το ποσοστό των επιβλαβών ρύπων οξειδίου του αζώτου το οποίο προέρχεται από τα οχήματα και τις μεταφορές να βρίσκεται πάνω από 70%. Ο μέσος όρος επιβλαβών ρύπων οξειδίου του αζώτου από 30 Ευρωπαϊκές πόλεις είναι 47%, πολύ πιο κάτω από τις προαναφερθείσες πόλεις Αθήνα και Μιλάνο αλλά ταυτόχρονα και πολύ πιο πάνω από της Λισαβόνας της οποίας είναι μόλις 20% [29].
- **Η σωματιδιακή ύλη (PM)**, είναι πολύ μικρά σωματίδια, κυρίως άκαυτου άνθρακα. Η αιθάλη αποτελεί ένα τύπο μικρών σωματιδίων και παρατηρείται στα καυσαέρια των οχημάτων. Ο όρος «μικρά» δικαίως χρησιμοποιείται καθώς αυτά

τα σωματίδια έχουν διάμετρο λιγότερο από το ένα δέκατο της διαμέτρου μίας ανθρώπινης τρίχας. Εξαιτίας του εξαιρετικά μικρού τους μεγέθους μπορούν να διεισδύσουν αρκετά βαθιά μέσα στους πνεύμονες, καθιστώντας έτσι μία σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία [30].

3.3 Ρύποι & Οχήματα

Αυτές τις μέρες, ακούγονται πολλά για το πόσο «βρώμικη» είναι η τεχνολογία εσωτερικής καύσης και πώς πρέπει να αρχίσουμε να σκεφτόμαστε να κάνουμε τη μετάβαση σε άλλες, καθαρότερες μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα καταλαμβάνουν ένα αρκετά σταθερό μερίδιο της αγοράς, και οι νέες τεχνολογίες όπως η ισχύς υδρογόνου αρχίζουν να κερδίζουν επίσης δημοτικότητα. Σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα του παρελθόντος, ακόμη και με τα σημερινά, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι πολύ καλύτεροι όταν πρόκειται για οδήγηση μεγάλων αποστάσεων. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν είχαν ποτέ τη γκάμα των αυτοκινήτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης, και επίσης χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να επαναφορτιστούν από ό,τι ένα κανονικό αυτοκίνητο για να ανεφοδιαστεί με καύσιμα. Το 1988, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυτοκινήτων ξεπέρασε τα 400 εκατομμύρια για πρώτη φορά στην ιστορία, αυξάνοντας την κινητικότητα και την ευελιξία για πολλά επιπλέον εκατομμύρια ανθρώπους. Αν και αυτή τη στιγμή η ανάπτυξη είναι μεγαλύτερη στις ταχέως βιομηχανοποιούμενες περιοχές της Ασίας, ακόμη και οι άκρως ανεπτυγμένες περιοχές όπως η Δυτική Ευρώπη έχουν ωθηθεί σε μεγαλύτερα ρεκόρ πωλήσεων νέων αυτοκινήτων τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω των τεράστιων πωλήσεων στο Νότο. Συμπεριλαμβανομένων των επαγγελματικών οχημάτων, περισσότερα από μισό δισεκατομμύριο οχήματα κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους του κόσμου, αριθμός 10 φορές μεγαλύτερος από ό,τι το 1950. Ένα αποτέλεσμα αυτής της ανάπτυξης είναι ότι τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά έχουν γίνει η μεγαλύτερη ενιαία πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όλο τον κόσμο [31].

Εξαιτίας της όλο και αυξανόμενης έκτασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όλο τον κόσμο, αναπτύχθηκαν με τον καιρό αυστηρές νομοθεσίες σχετικά με τη μείωση των

εκπομπών ρύπων από τα οδικά οχήματα. Η τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται και εξελίσσεται με ιλιγγιώδεις ρυθμούς συνέβαλε αποτελεσματικά στη μείωση των εκπομπών ρύπων. Καρποί αυτής της εξέλιξης αποτελούν, ο καταλύτης τριών δρόμων, τα φίλτρα σωματιδίων και τα συστήματα επιλεκτικής καταλυτικής αναγωγής τα οποία έχουν οδηγήσει στη μείωση των οξειδίων του αζώτου (NOx) καθώς επίσης στη μείωση της σωματιδιακής ύλης (PM). Τα σύγχρονα οχήματα βενζίνης και ντίζελ είναι εξοπλισμένα με εξαιρετικά εξελιγμένα συστήματα, τα οποία ελέγχουν την εκπομπή των ρύπων. Οι περισσότερες μετρήσεις όσον αφορά τις εκπομπές των ρύπων οχημάτων εστιάζονται σε οχήματα νέας τεχνολογίας πράγμα το οποίο δεν είναι εντελώς αντιπροσωπευτικό, μιας και δεν κυκλοφορούν μόνο οχήματα νέας τεχνολογίας. Ωστόσο η αύξηση της ηλικίας ή των χιλιομέτρων ή και των δύο, ενός οχήματος, οδηγούν στην αύξηση των ρύπων που εκπέμπονται. Αυτό συμβαίνει καθώς παρατηρείται φθορά στον κινητήρα καθώς και στα συστήματα ελέγχου των εκπομπών ρύπων και τεχνολογιών μετεπεξεργασίας, όπως είναι οι καταλύτες και τα φίλτρα σωματιδίων [32]. Ένα ακραίο παράδειγμα καταγράφεται στις ΗΠΑ όπου παρατηρήθηκε ότι το 1% των οδικών οχημάτων συνεισέφεραν περίπου στο 10% των συνολικών εκπομπών των οχημάτων στα τέλη της δεκαετίας του 1980, και αυτή η συνεισφορά φαίνεται να έχει αυξηθεί στις μέρες μας στο 30% [34].

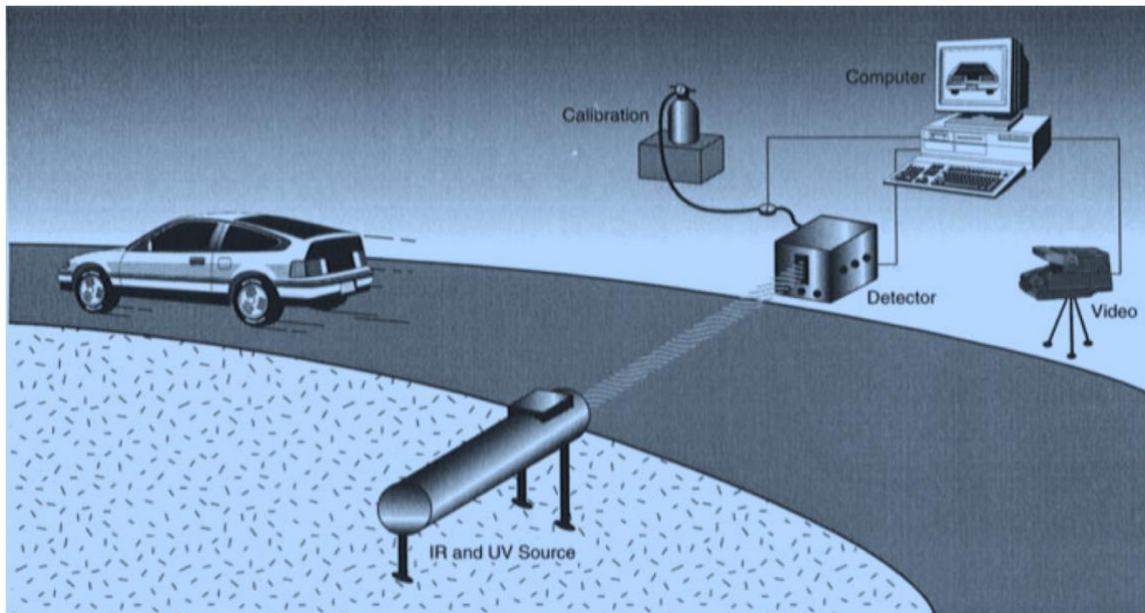
Στην Ευρώπη, το κοινό Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Παρακολούθησης και Αξιολόγησης, διαθέτει λεπτομερή περιγραφή για τη χρήση διορθωτικών παραγόντων προκειμένου να επιτευχθεί αντιμετώπιση της επιδείνωσης των εκπομπών λόγω της παλαιότητας του οχήματος [32]. Για ελαφρά οχήματα ντίζελ από Euro 1 μέχρι και Euro 7 για απόσταση μεταξύ 0 και 200.000 χιλιομέτρων, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) είναι σχεδόν 1,5 φορά υψηλότερες για όλα τα πρότυπα των Euro στα 200.000 χιλιόμετρα σε σύγκριση με τα 50.000 χιλιόμετρα. Για ελαφρά οχήματα βενζίνης ωστόσο, βρέθηκαν να είναι πάνω από 3 φορές υψηλότερα για το Euro 3, 2,5 φορές υψηλότερα για τα Euro 5, και μόλις 1,25 για οχήματα Euro 6 [33].

3.4 Εκπομπές ρύπων από βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα

Η βενζίνη και το ντίζελ αποτελούν και τα δύο καύσιμα, τα οποία είναι και τα δύο παράγωγα του αργού πετρελαίου. Παρόλα αυτά παρατηρούνται ανάμεσά τους σημαντικές χημικές διαφορές. Πριν πραγματοποιηθεί η διύλιση, το αργό πετρέλαιο περιέχει μια ποικιλία ενώσεων υδρογονανθράκων, όπου αυτές οι ενώσεις αφού περάσουν από τα διυλιστήρια διαχωρίζονται σε μία ποικιλία προϊόντων. Δύο από αυτά τα προϊόντα είναι η βενζίνη και το ντίζελ, τα οποία έχουν και εκείνα αρκετές διαφορές. Το ντίζελ σε σύγκριση με τη βενζίνη, είναι πιο πυκνό και πιο δύσκολο να αναφλεγεί, περιέχει περισσότερη ενέργεια ανά λίτρο καυσίμου από τη βενζίνη γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη οικονομία καυσίμου, περιέχει περισσότερο άνθρακα ανά λίτρο, επομένως εκπέμπει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ανά λίτρο και τέλος αυτά τα δύο καύσιμα απαιτούν διαφορετική τεχνολογία κινητήρα [35].

Εδώ και πολλά χρόνια τα οχήματα που χρησιμοποιούν ως καύσιμο βενζίνη ή ντίζελ είναι τα πιο διαδεδομένα και τα πιο αξιόπιστα και καταλαμβάνουν για περίπου ένα αιώνα το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς. Παρά τα πλεονεκτήματα που αυτά τα οχήματα προσφέρουν, έχουν αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον σε ότι αφορά την εκπομπή ρύπων και κατ' επέκταση την ατμοσφαιρική ρύπανση που αυτά προκαλούν. Παρακάτω θα γίνει σύμφωνα με μία μελέτη, μία ανάλυση και κατ' επέκταση μία σύγκριση των ρύπων που παράγουν αυτοί οι δύο τύποι οχημάτων. Είναι αδύνατο να χαρακτηρίσουμε ένα καύσιμο πιο ρυπογόνο από ένα άλλο χωρίς να λάβουμε υπόψη μας την εξέλιξη της καύσης και των εκπομπών του καυσίμου με την πάροδο του χρόνου. Η μελέτη που θα ακολουθήσει χρησιμοποιεί δεδομένα μετρήσεων χιλιομέτρων από 197.000 επιβατικά αυτοκίνητα βενζίνης και ντίζελ. Σε αυτή τη μελέτη δε γίνεται αναφορά μόνο στους ρύπους αυτών των τύπων οχημάτων, αλλά και στην επιδείνωση αυτών των ρύπων είτε λόγω των χιλιομέτρων του οχήματος, είτε λόγω της ηλικίας αυτού ή και των δύο μαζί. Επίσης με μεγάλα μεγέθη δειγμάτων, είναι δυνατόν να λάβουμε υπόψη την επιδείνωση που παρατηρείται στις εκπομπές με την πάροδο των χιλιομέτρων, αναλόγως με τον κατασκευαστή [32].

Με τη μέθοδο της τηλεπισκόπησης μας δίνεται η δυνατότητα να μελετήσουμε ένα αρκετά μεγάλο μέγεθος δείγματος, αποτυπώνοντας έτσι ολόκληρο το φάσμα της ηλικίας, των χιλιομέτρων και της επιδείνωσης των εκπομπών ενός στόλου οχημάτων.



Εικόνα 6. Τυπική διάταξη ενός οργάνου τηλεπισκόπησης που παρατηρεί οχήματα σε μία μόνο λωρίδα κυκλοφορίας [36].

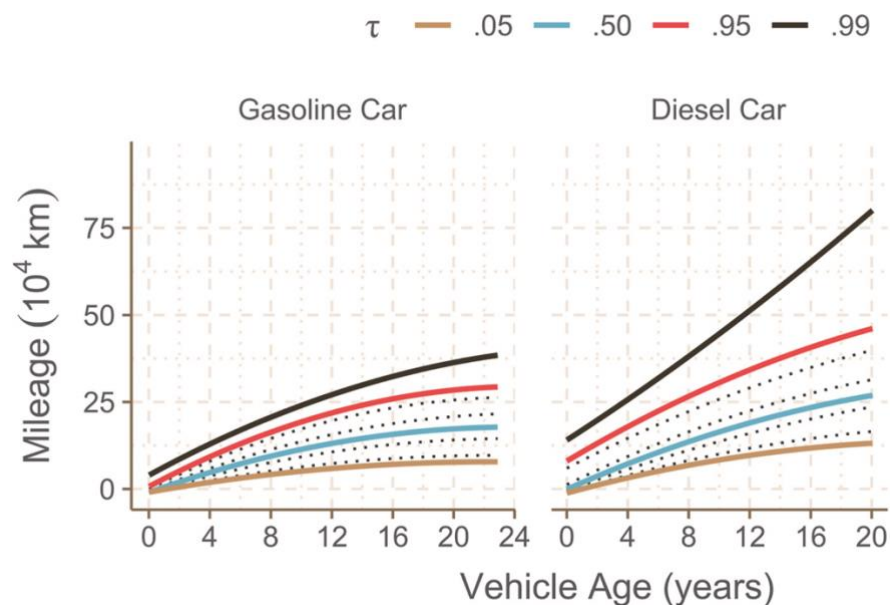
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τη διάταξη του συστήματος της μεθόδου της τηλεπισκόπησης το οποίο μετράει και καταγράφει τις εκπομπές του CO, CO₂, HC, NO. Η κάμερα προσδιορίζει τη μάρκα και το έτος του μοντέλου του οχήματος [36]. Η πηγή και ο ανιχνευτής υπεριώδους/υπέρυθρης (UV/IR) χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των εκπομπών καυσαερίων. Ωστόσο είναι δυνατή και η καταγραφή της επιτάχυνσης της ταχύτητας για την καταγραφή στιγμιαίων συνθηκών οδήγησης καθώς επίσης και αισθητήρες για καταγραφή συνθηκών περιβάλλοντος όπως είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και οι υδρογονάνθρακες (HC) μετρούνται χρησιμοποιώντας την υπέρυθη ακτινοβολία ενώ η αμμωνία (NH₃), το οξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) μετρούνται με την υπεριώδη ακτινοβολία. Οι μετρήσεις εκπομπών των οχημάτων πραγματοποιήθηκαν σε 39 τοποθεσίες, σε 14 περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου μεταξύ των ετών 2017 και 2020. Αξίζει να σημειωθεί ότι βάση των πινακίδων κυκλοφορίας περίπου το 13% των οχημάτων

στο σύνολο δεδομένων μετρήθηκαν δύο φορές, το 4% τρεις φορές και το 3% τέσσερις ή περισσότερες φορές [32].

Characteristic	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Characteristic	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Gasoline Passenger Cars					Diesel Passenger Cars				
# Measurements	22,952	36,327	38,855	10,776	# Measurements	9143	24,030	44,442	10,475
# Manufacturer Groups	23	23	20	20	# Manufacturer Groups	22	22	21	18
(with ≥100 Measurements)	18	18	15	13	(with ≥100 Measurements)	14	17	16	12
Vehicle & Ambient Characteristics ¹					Vehicle & Ambient Characteristics ¹				
VSP (kW t ⁻¹)	7.61 ± 7.65	7.80 ± 7.07	8.12 ± 6.88	8.96 ± 5.08	VSP (kW t ⁻¹)	8.26 ± 8.38	8.09 ± 7.70	8.23 ± 7.56	8.72 ± 6.14
Speed (km h ⁻¹)	36.4 ± 9.2	36.6 ± 9.3	37.0 ± 9.5	38.4 ± 9.4	Speed (km h ⁻¹)	36.3 ± 9.4	36.5 ± 9.8	36.6 ± 9.8	37.1 ± 9.8
Acceleration (km h ⁻¹ s ⁻¹)	0.96 ± 2.33	0.99 ± 2.19	1.02 ± 2.15	1.07 ± 1.66	Acceleration (km h ⁻¹ s ⁻¹)	1.06 ± 2.38	1.07 ± 2.26	1.14 ± 2.27	1.19 ± 1.79
Ambient Temp. (K)	287.9 ± 5.4	288.1 ± 5.2	288.2 ± 5.2	288.2 ± 4.8	Ambient Temp. (K)	288.2 ± 5.5	288.1 ± 5.4	287.9 ± 5.2	287.8 ± 4.9
Cumulative Mileage (10 ⁴ km)	15.7 ± 6.9	12.2 ± 5.6	7.1 ± 3.9	4.6 ± 2.5	Cumulative Mileage (10 ⁴ km)	24 ± 13	19 ± 10	11 ± 7	7 ± 5
Vehicle Age (years)	14.4 ± 1.6	10.4 ± 1.8	6.0 ± 1.9	4.1 ± 1.0	Vehicle Age (years)	14.0 ± 1.5	10.2 ± 1.8	5.7 ± 1.8	3.9 ± 1.2
Remote Sensing Device ²					Remote Sensing Device ²				
OPUS RSD 5000	20,387 (89%)	33,236 (91%)	36,181 (93%)	10,501 (97%)	OPUS RSD 5000	8223 (90%)	21,894 (91%)	40,692 (92%)	10,146 (97%)
Denver FEAT	2565 (11%)	3091 (8.5%)	2674 (6.9%)	275 (2.6%)	Denver FEAT	920 (10%)	2136 (8.9%)	3750 (8.4%)	329 (3.1%)

Πίνακας 1. Μια στατιστική περίληψη των δεδομένων τηλεπισκόπησης εκπομπών οχημάτων, χωρισμένη σε επιβατικά αυτοκίνητα ντίζελ και βενζίνης [32].

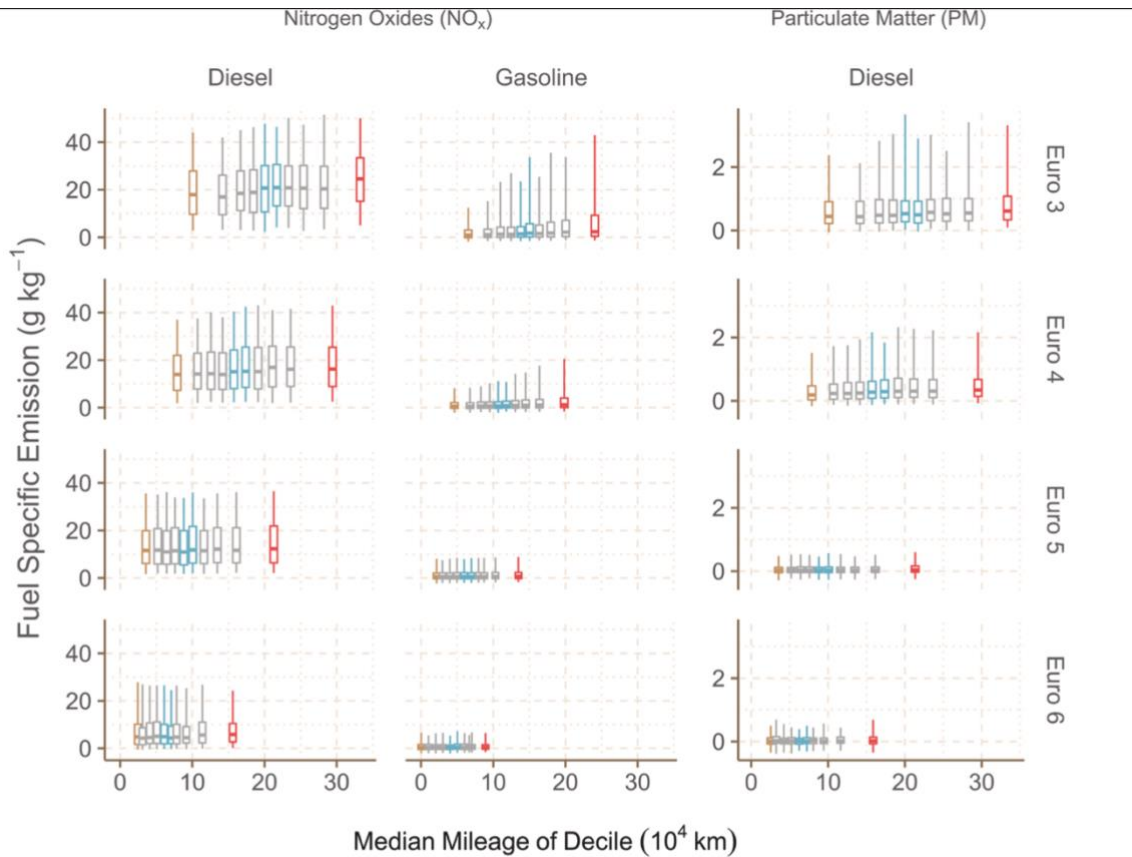
Γίνεται εξέταση τεσσάρων ατμοσφαιρικών ρύπων: οξειδίων του αζώτου (NO_x), μονοξειδίων του άνθρακα (CO), αμμωνίας (NH₃) και σωματιδίων (PM). Η αμμωνία (NH₃) αναφέρεται για βενζινοκίνητα οχήματα και οχήματα ντίζελ τεχνολογίας Euro 6. Η πρώτη κατηγορία που εξετάζεται είναι αυτή των προτύπων Euro ώστε να γίνουν κατανοητές οι διαφορές μεταξύ τους, εξαιτίας της αλλαγής ελέγχου των εκπομπών των ρύπων λόγω της αλλαγής της νομοθεσίας. Στη συνέχεια, η δεύτερη κατηγορία που εξετάζεται είναι αυτή των κατασκευαστών των οχημάτων, η οποία χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις φθορές που προκαλούνται στις τεχνολογίες του κάθε οχήματος αναλόγως τον κατασκευαστή του.



Διάγραμμα 1. Πολυωνμική παλινδρόμηση δευτέρου βαθμού της χιλιομετρικής απόστασης του οχήματος ως συνάρτηση της ηλικίας του. Όπου το τ διασφαλίζει το ποσοστό των δεδομένων τα οποία θα βρίσκονται πάνω και κάτω από τη διάμεσο. Για παράδειγμα για ($\tau=0,95$), το 95% των δεδομένων θα βρίσκεται κάτω από τη γραμμή και το 5% πάνω από τη γραμμή [32].

Από το διάγραμμα 1, είναι εμφανές ότι τα αυτοκίνητα με βενζίνη είναι παλαιότερα από αυτά που χρησιμοποιούν ντίζελ, αλλά αυτά που χρησιμοποιούν ντίζελ φαίνεται να έχουν διανύσει περισσότερα χιλιόμετρα.

Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των χιλιομέτρων του οχήματος και των εκπομπών χωρίς να λάβουμε υπόψιν μας άλλους παράγοντες, όπως τα πρότυπα Euro.



Διάγραμμα 2. Εκπομπές καυσίμου NO_x και PM ως συνάρτηση των χιλιομέτρων του οχήματος [32].

Οι εκπομπές NO_x δείχνουν έντονες διαφορές μεταξύ των δύο τύπων οχημάτων. Οι πέντε ποσοστιαίες ποσότητες NO_x ειδικά για το καύσιμο στα πετρελαιοκίνητα οχήματα φαίνεται να παρουσιάζουν μια ήπια αύξηση από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη χιλιομετρική απόσταση σε όλα τα πρότυπα του ευρώ εκτός από το πρότυπο του Euro 6. Ωστόσο στα βενζινοκίνητα παρατηρείται ήπια αύξηση στην εκπομπή NO_x στα πρότυπα Euro 3 και Euro 4 ενώ στα πρότυπα Euro 5 και Euro 6 οι τιμές παραμένουν σταθερές υποδηλώνοντας ελεγχόμενες εκπομπές ρύπων. Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται κατανοητό ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των βενζινοκίνητων και των πετρελαιοκίνητων οχημάτων όσο αφορά τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO_x), με αυτά των

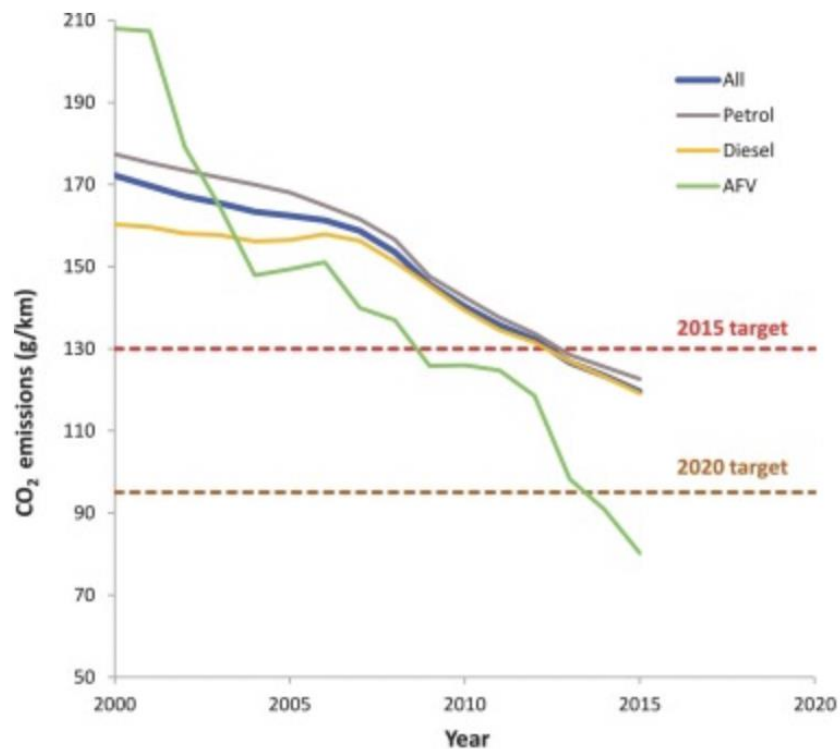
πετρελαιοκίνητων να έχουν αυξημένες εκπομπές σε σχέση με τα βενζινοκίνητα [32]. Τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα συνεχίζουν να έχουν δύο έως είκοσι φορές υψηλότερες εκπομπές NOx από τα αυτοκίνητα βενζίνης σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στη Ζυρίχη. Υπάρχουν ενδείξεις, ότι ο ρυθμός εκπομπών NOx των παλαιότερων πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων επιδεινώνεται κατά περίπου 6% για κάθε 50.000 χιλιόμετρα που διανύονται [37].

Οι ειδικές εκπομπές σωματιδίων καυσίμου των επιβατικών αυτοκινήτων ντίζελ Euro 5 και 6 φαίνεται να κυμαίνονται σε ελεγχόμενα πλαίσια, με σταθερή τάση μεταξύ των χιλιομέτρων στα περισσότερα ποσοστά PM. Ωστόσο, φαίνεται να υπάρχουν ενδείξεις επιδείνωσης στα υψηλότερα ποσοστά των παλαιότερων οχημάτων με τεχνολογία Euro 3 και 4, το οποίο είναι λογικό αν σκεφτεί κανείς τις εκάστοτε τεχνολογίες που χρησιμοποιούσαν τα οχήματα με αυτές τις τεχνολογίες σε σχέση με τις σημερινές [32].

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι γενικά κατανοητό ότι ελέγχεται καλά και οι εκπομπές CO είναι συνήθως αρκετά κάτω από τα όρια εκπομπών. Οι ρυθμοί εκπομπών θερμού μονοξειδίου του άνθρακα (CO) των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων ήταν πάντα περίπου 50% χαμηλότεροι από την οριακή τιμή, όπως έχει μετρηθεί σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης. Ανά μονάδα καυσίμου που καταναλώθηκε, τα ποσοστά εκπομπών CO των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων ήταν περίπου διπλάσια. Τα ποσοστά εκπομπών HC των βενζινοκίνητων και των ελαφρών επαγγελματικών οχημάτων είναι περίπου ίσα ανά μονάδα καυσίμου που καταναλώνεται και βρίσκεται πάντα 4 με 10 μονάδες κάτω από την οριακή τιμή. Για τα πετρελαιοκίνητα οχήματα και τα ελαφρά επαγγελματικά οχήματα, τα ποσοστά εκπομπών CO είναι σχεδόν ίσα ανά μονάδα καυσίμου που καταναλώνεται, εκτός από το Euro 3 οι ρυθμοί εκπομπών είναι περίπου μία τάξη μεγέθους χαμηλότεροι από την οριακή τιμή. Οι εκπομπές υδρογονανθράκων (HC) στο δρόμο των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων ήταν στο επίπεδο της οριακής τιμής. Ωστόσο, τα μοντέλα Euro 5 παρουσιάζουν σημαντική πτώση στο ποσοστό εκπομπών τους. Ομοίως, οι εκπομπές HC από ελαφρά οχήματα πετρελαίου ήταν επίσης πάντα ελαφρώς χαμηλότερες από ό,τι από τα αυτοκίνητα ντίζελ ανά μονάδα καυσίμου που καταναλώθηκε. Τα μέσα ποσοστά εκπομπών είναι τα υψηλότερα για το πρότυπο Euro 3 και μειώνονται σημαντικά για τις τεχνολογίες Euro 5 και μετά. [37]. Πρόσφατα, έχει δοθεί μεγαλύτερη προσοχή στις εκπομπές αμμωνίας με χρήση τηλεπισκόπησης συμπεριλαμβανομένης της περιορισμένης

ανάλυσης για τη φθορά τους. Υπάρχουν ορισμένες ενδείξεις για την επιδείνωση των εκπομπών αμμωνίας για τα βενζινοκίνητα οχήματα, η οποία είναι πιο έντονη στα Euro 4 και 5. Δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική επίδραση επιδείνωσης για τα επιβατικά αυτοκίνητα ντίζελ Euro 6, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα οχήματα εξοπλισμένα με SCR είναι ανθεκτικά όσον αφορά τις εκπομπές αμμωνίας (NH₃) [38].

Οι οδικές μεταφορές συμβάλλουν περίπου στο 20% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), του κύριου αερίου θερμοκηπίου (GHG), το 75% των οποίων προέρχεται από επιβατικά αυτοκίνητα. Παρά το γεγονός ότι αυτές οι εκπομπές μειώθηκαν κατά 3,3% το 2012, εξακολουθούν να είναι 20,5% υψηλότερες από ό,τι το 1990 [39].



Διάγραμμα 3. Εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από νέα επιβατικά αυτοκίνητα ανά τύπο καυσίμου [39].

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα είναι κατανοητό ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα είναι σχεδόν πανομοιότυπες. Επίσης από το διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι έχει γίνει σημαντική

πρόοδος σε ότι αφορά το μείωση των εκπομπών από αυτού του είδους τα οχήματα με την πάροδο των χρόνων και κατ'έκταση με την εξέλιξη της τεχνολογίας [39].

3.5 Εκπομπές ρύπων από ηλεκτροκίνητα οχήματα

Η μεγάλη ζήτηση ορυκτών καυσίμων στις διεθνείς αγορές, σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τον αυξημένο αριθμό οχημάτων εσωτερικής καύσης, έχει οδηγήσει στην έρευνα και την ανάπτυξη μπαταριών που χρησιμοποιούνται για ηλεκτρικά οχήματα. Αυτά τα οχήματα αντιπροσωπεύουν μια εναλλακτική λύση για τις οδικές μεταφορές καθώς φαίνονται πολλά υποσχόμενα στο κομμάτι της μείωσης της ατμοσφαιρική ρύπανσης με τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου καθώς επίσης και της ηχορύπανσης [44].

Δύο από τα φλέγοντα ζητήματα που απασχολούν την παγκόσμια κοινότητα είναι, η αντιμετώπιση της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας και η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Τα ορυκτά καύσιμα ήταν μέχρι στιγμής η κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά αυτό φαίνεται να μην αποτελεί πλέον την καλύτερη επιλογή, όχι μόνο για οικονομικούς αλλά και για περιβαλλοντικούς και τεχνικούς λόγους. Οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν αυτή τη στιγμή, περίπου το ένα τέταρτο της παγκόσμιας χρήσης ενέργειας και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου με τα τρία τέταρτα αυτών να προέρχονται από τις οδικές μεταφορές [40]. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα τα οποία βασίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, και μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-ion) για την αποθήκευση της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά οχήματα να μην έχουν άμεσες εκπομπές. Ωστόσο, υπάρχουν έμμεσες εκπομπές οι οποίες οφείλονται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, και αναλόγως με τις πηγές ενέργειας, αυτές μπορεί να είναι σημαντικές. Είναι εμφανές ότι τα ηλεκτρικά οχήματα τείνουν να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά απαιτείται μια μελέτη του κύκλου ζωής τους ώστε να υπάρχει πλήρης γνώση επί του θέματος [41].

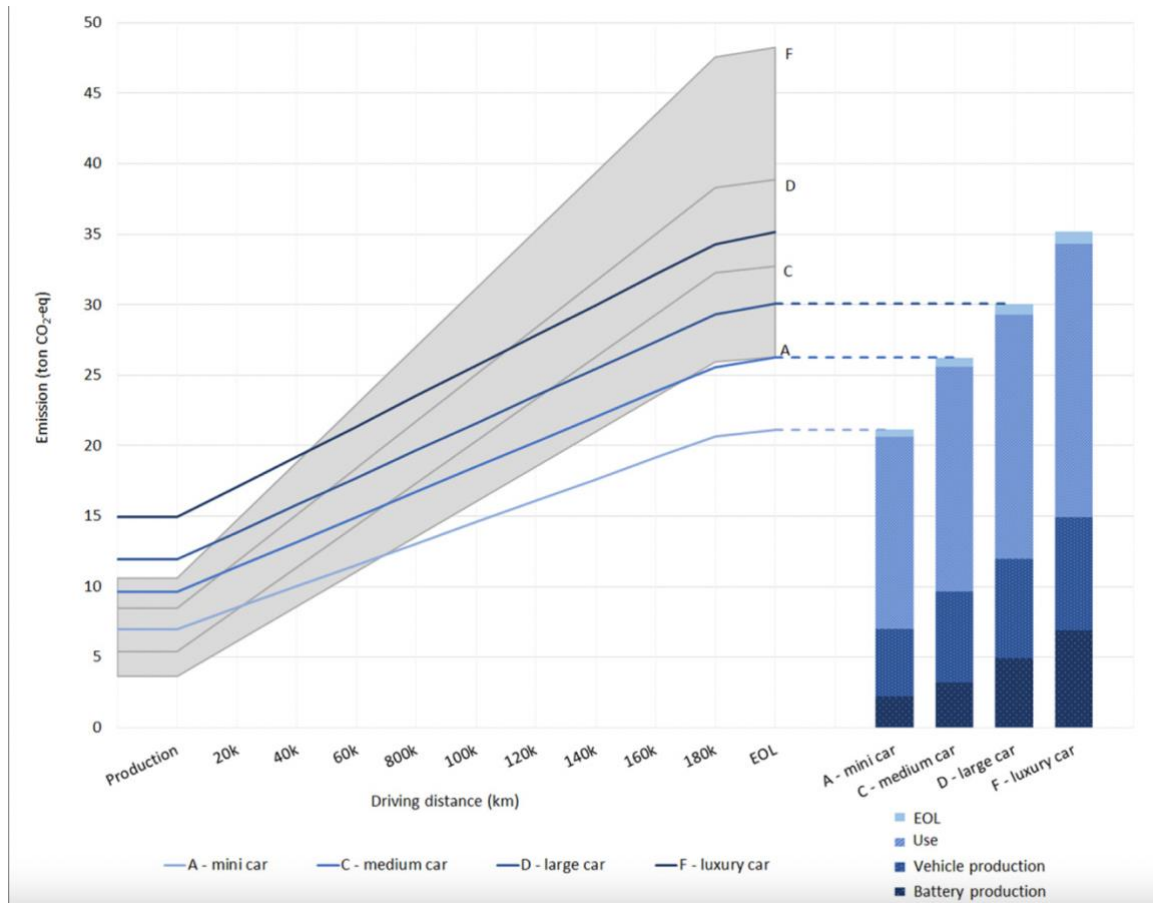
Με σκοπό να εκτιμήσουμε τις εκπομπές των ρύπων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων θα μελετήσουμε την παραγωγή και τη χρήση τεσσάρων

κατηγοριών οχημάτων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αναφέρονται σε μοντέλα που έχουν παραχθεί από το 2010 και μετά.

Segment	Curb weight (kg)	Battery size (kWh)	Driving range (km)	EV energy requirement (Wh km ⁻¹)
A—mini car	1100	17.7	133	146
C—medium car	1500	24.4	171	170
D—large car	1750	42.1	249	185
F—luxury car	2100	59.9	317	207

Πίνακας 2. Οι κατηγορίες των ηλεκτρικών οχημάτων και οι παράμετροι τους [41].

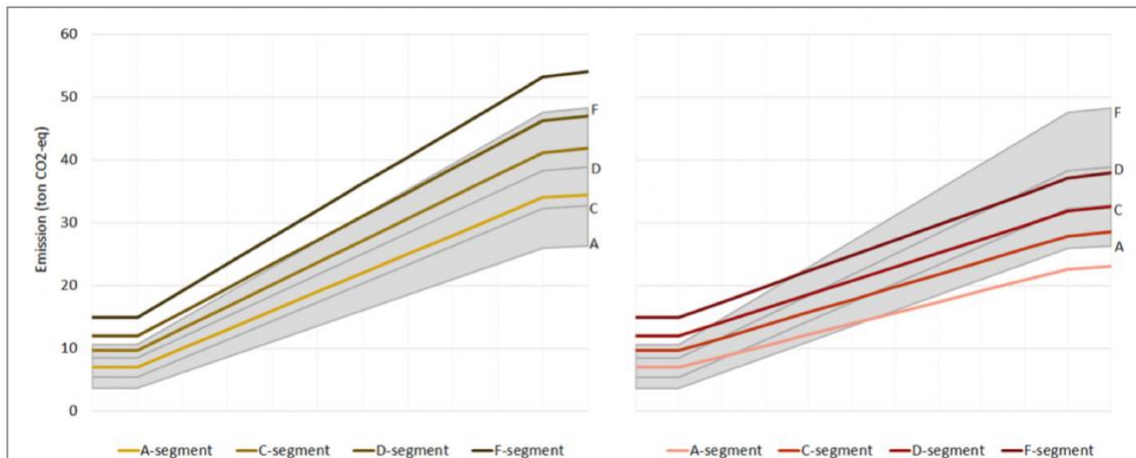
Τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν, αφορούν δύο μικρά αυτοκίνητα (τμήμα A), τέσσερα μεσαία αυτοκίνητα (τμήμα C), τέσσερα μεγάλα αυτοκίνητα (τμήμα D) και ένα πολυτελές αυτοκίνητο (τμήμα F). Ως διάρκεια ζωής έχουμε υποθέσει τα 12 χρόνια με ετήσια διανυόμενη απόσταση 15.000 km και συνολική διανυόμενη τα 180.000 km [41].



Διάγραμμα 4. Οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από συμβατικά και ηλεκτρικά αυτοκίνητα, από την παραγωγή τους, τη χρήση τους καθώς και το τέλος του κύκλου ζωής τους. Στην αριστερή περιοχή με το γκρι χρώμα βλέπουμε τους ρύπους των συμβατικών οχημάτων ενώ στα δεξιά στα γραφήματα στήλης με τις μπλε αποχρώσεις βλέπουμε αυτές των ηλεκτρικών [41].

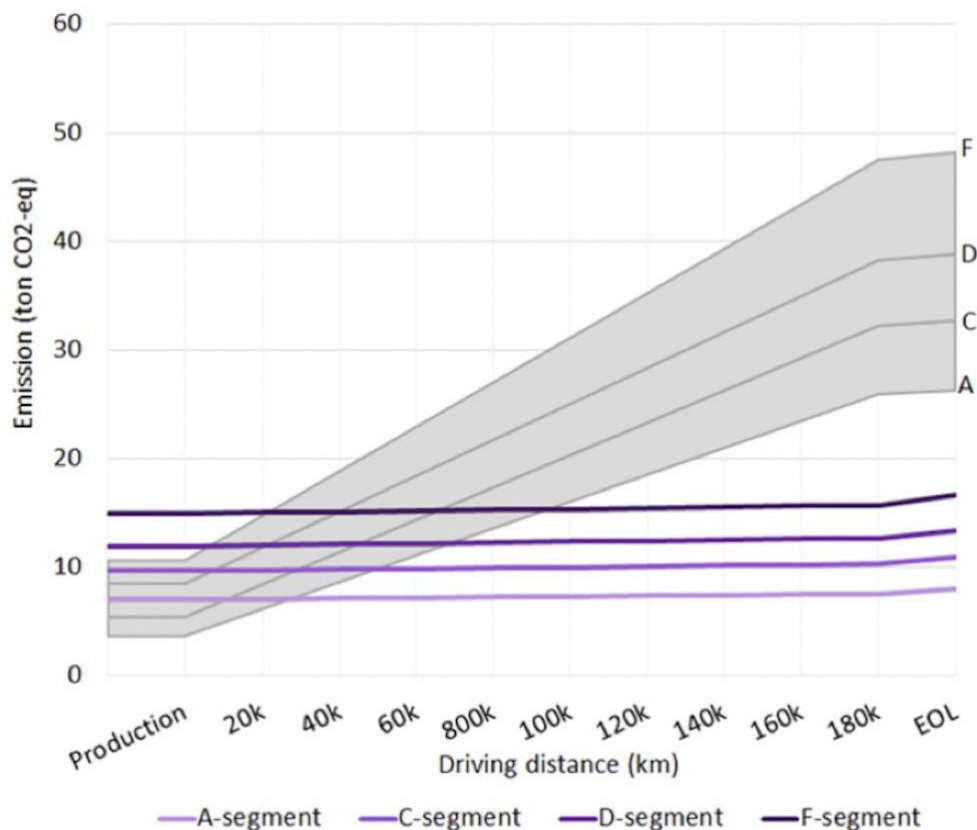
Από το παραπάνω διάγραμμα είναι κατανοητό ότι όσο μικρότερο είναι το ηλεκτρικό όχημα, έχει κατ'επέκταση μικρότερη μπαταρία και παράγονται λιγότεροι ρύποι για την παραγωγή τόσο της μπαταρίας όσο και του οχήματος γενικότερα. Επίσης παρατηρούμε ότι το στάδιο παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πιο επιβλαβές από αυτά των αντίστοιχων συμβατικών. Το μεγαλύτερο μέρος των ρύπων τόσο στα ηλεκτρικά όσο και στα συμβατικά προέρχεται από τη χρήση των οχημάτων. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε άμεσα, με την καύση του καυσίμου στην περίπτωση των συμβατικών, είτε έμμεσα μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση των ηλεκτρικών. Εκτιμάται ότι η φάση της χρήσης είναι υπεύθυνη για το 55%-65% των συνολικών εκπομπών του κύκλου ζωής. Όσο αφορά τη σύγκριση ίδιων κατηγοριών, τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν 20%-27% χαμηλότερες εκπομπές ρύπων από τα αντίστοιχα συμβατικά. Η συμβολή της μπαταρίας κυμαίνεται μεταξύ 14%-23% των συνολικών εκπομπών σε ότι αφορά την επεξεργασία του τέλους του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων και 13%-22% στο συνολικό αντίκτυπο του κύκλου ζωής [41].

Οι εκπομπές του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζονται σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτισή τους.



Εικόνα 7. Εκπομπές κύκλου ζωής ηλεκτρικών οχημάτων, αναλόγως με τη μέθοδο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση (α) τον άνθρακα, (β) το φυσικό αέριο [41].

Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με ηλεκτρική ενέργεια, η οποία προέρχεται από την καύση άνθρακα κάνει τα ηλεκτρικά οχήματα να έχουν 12%-31% υψηλότερες εκπομπές ρύπων, σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά (διάγραμμα 3(α)). Σε αντίθεση με τον άνθρακα, τα ηλεκτρικά οχήματα των οποίων η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από φυσικό αέριο έχουν 12%-21% χαμηλότερες εκπομπές στον κύκλο ζωής τους από τα αντίστοιχα συμβατικά (διάγραμμα 3(β)).



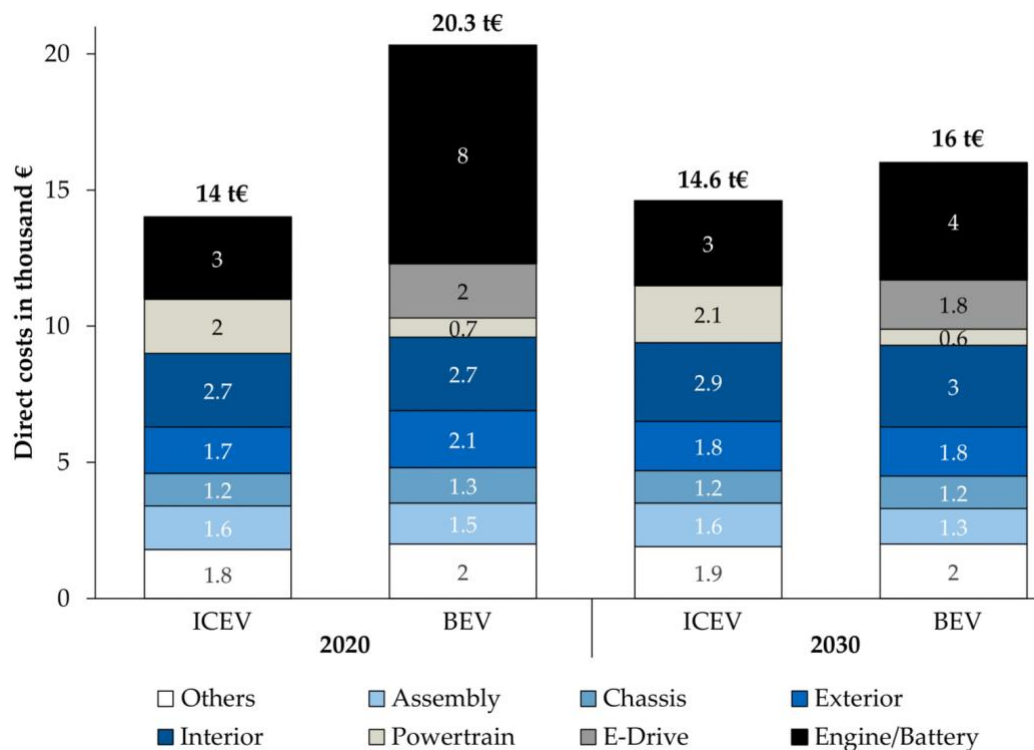
Εικόνα 8. Εκπομπές κύκλου ζωής ηλεκτρικών οχημάτων, αναλόγως με τη μέθοδο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια 8(γ) [41].

Σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα οι εκπομπές του κύκλου ζωής των ηλεκτρικών οχημάτων των οποίων η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από αιολική ενέργεια είναι 66%-70% χαμηλότερη. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στις εκπομπές ρύπων των ηλεκτρικών οχημάτων, κυρίως κατά τη διάρκειά της χρήσης τους ο τρόπος ή και το καύσιμο με το οποίο παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της μπαταρίας των συγκεκριμένων οχημάτων [41].

3.6 Ανάλυση κόστους κύκλου ζωής των μπαταριών στα ηλεκτρικά οχήματα.

Έχει παρατηρηθεί ραγδαία μείωση σ' ότι αφορά το κόστος των μπαταριών στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Το 2008 η τιμή της κιλοβατώρας ήταν 1000 US\$ ενώ το 2012 η τιμή της είχε πέσει στα 485 US\$ για τους κορυφαίους κατασκευαστές. Αντλώντας πληροφορίες από διάφορους κατασκευαστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων, είχε υπολογιστεί ότι το μέσο κόστος ανά κιλοβατώρα το 2014 είχε φτάσει τα 300 US\$ για τους κορυφαίους κατασκευαστές, γεγονός το οποίο προωθούσε την αγορά και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Παρόλα αυτά υπάρχουν ενδείξεις αύξησης αυτής της τιμής καθώς οι προμήθειες λιθίου και άλλων πρώτων υλών δε μπορούν να συμβαδίσουν με την αυξανόμενη ζήτηση. Σύμφωνα με το Bloomberg NEF, οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων εκτιμάται ότι έφτασαν τα 5,6 εκατομμύρια οχήματα το 2021 από 3,1 εκατομμύρια το 2020, χάρη στις ραγδαίες πωλήσεις στην Κίνα. Περαιτέρω αύξηση της ζήτησης το 2022 θα σημαίνει έλλειμμα λιθίου φέτος, καθώς η χρήση του υλικού ξεπερνά την παραγωγή και εξαντλεί τα αποθέματα, σύμφωνα με έκθεση του Δεκεμβρίου από την S&P Global [46]. Οι τιμές των μπαταριών ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και τη χωρητικότητά τους. Οι μεγαλύτερης χωρητικότητας μπαταρίες κοστίζουν περισσότερο, αλλά προσφέρουν μεγαλύτερη αυτονομία. Ένα μίνι ηλεκτρικό αυτοκίνητο αποτελείται από μπαταρία χωρητικότητας περίπου 17 kWh, η οποία προσφέρει αυτονομία 133 km, ενώ αντίστοιχα ένα μεγάλο ηλεκτρικό αυτοκίνητο αποτελείται από μπαταρία 60 kWh, με αυτονομία 317 km. Η Tesla Motors έχει κατασκευάσει ακόμα μεγαλύτερες μπαταρίες με χωρητικότητα 75, 90 ακόμα και 100 kWh, αυξάνοντας έτσι ακόμα περισσότερο την αυτονομία [42].

Το κόστος κατασκευής ενός ηλεκτρικού οχήματος διαφέρει από ένα αντίστοιχο όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης. Το κόστος της μπαταρίας καταλαμβάνει μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους του οχήματος, καθώς αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι και το ένα τρίτο του συνολικού κόστους [43].



Εικόνα 9. Ανάλυση κόστους κατασκευής ηλεκτρικού οχήματος και αντίστοιχου με μηχανή εσωτερικής καύσης [43].

Στην παραπάνω εικόνα το ηλεκτρικό αυτοκίνητο αποτελείται από μπαταρία 50 kWh. Είναι εμφανές ότι το 2020 το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι αρκετά πιο ακριβό από το αντίστοιχο συμβατικό, αλλά μέχρι το 2030 η πτώση των τιμών των μπαταριών οδηγεί σε μία διαφορά της τάξης μόλις του 9%. Ένα ηλεκτρικό όχημα με αυτονομία 200 km μπορεί να διανύσει μία συνολική απόσταση 200.000 km, πριν το τέλος της ζωής της μπαταρίας του. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση πριν το όχημα διανύσει τα χιλιόμετρα αυτά, από τον αριθμό κύκλων της μπαταρίας. Αυτός ο αριθμός αναφέρεται στο μέγιστο αριθμό φορτίσεων που μπορεί να αντέξει η μπαταρία προτού η δύναμή της πέσει στο 80%.

Vehicle	Model Year	Assumed Units Per Year	Pack Costs
BMW i3	2014	15,000	396 €/kWh
GM Bolt	2016	20,000	224 €/kWh
BMW i3	2017	25,000	254 €/kWh
Renault Zoe	2017	40,000	208 €/kWh
Tesla Model 3	2018	100,000	164 €/kWh
Audi e-tron	2019	100,000	157 €/kWh

Εικόνα 10. Τιμές μπαταριών ανάλογα με τον αριθμό παραγωγής [43].

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι υπάρχουν διακυμάνσεις στις τιμές των μπαταριών αναλόγως με το συνολικό αριθμό των οχημάτων που παράγονται.

Δεν είναι δυνατός και ακριβής ένας ποσοτικός υπολογισμός, ο οποίος αφορά το ολικό κόστος του κύκλου ζωής των μπαταριών, καθώς αυτό διαφέρει αναλόγως με τη μέθοδο της παραγωγής της ηλεκτρική ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται για τη φόρτιση της εκάστοτε μπαταρίας.

3.7 Μπαταρίες ιόντων λιθίου.

Πρόκειται για τις πλέον διαδεδομένες μπαταρίες, οι οποίες κυριαρχούν στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Σε σύγκριση με άλλες μπαταρίες, χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλή πυκνότητα ισχύος, μεγάλη διάρκεια ζωής καθώς επίσης είναι και φιλικές προς το περιβάλλον. Εκτός από τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούνται επίσης, στα κινητά μας τηλέφωνα, στους φορητούς υπολογιστές καθώς επίσης και στην αποθήκευση δικτύου. Οι μπαταρίες αυτές λειτουργούν εντός κάποιων συγκεκριμένων ορίων όσο αφορά τα επίπεδα θερμοκρασίας, το ρυθμό φόρτισης και της τάσης. Η υπέρβαση αυτών των ορίων μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία εξασθένηση της απόδοσης της μπαταρίας καθώς ακόμη και σε προβλήματα ασφάλειας [45].

EV Battery Cell Component	% of Cell Cost
Cathode	51%
Manufacturing and depreciation	24%
Anode	12%
Separator	7%
Electrolyte	4%
Other materials	3%

Εικόνα 11. Τα ποσοστό συνεισφοράς του κάθε υλικού ή μέρους στη διαδικασία κατασκευής μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου [47].

Η αποθηκευτική τους ικανότητα έχει αυξηθεί 3,4 φορές σε σχέση με πριν. Το 1991 μία μπαταρία μπορούσε να λάβει 200 Wh ανά λίτρο μπαταρίας, ενώ σήμερα μπορεί να λάβει έως και 700 Wh. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μπαταρίες να γίνονται πιο μικρές και κατ'επέκταση πιο ελαφριές, καθιστώντας τις έτσι πιο συμβατές και ταυτόχρονα πιο

οικονομικές για τις μεταφορές εξαιτίας του λιγότερου βάρους που θα υπάρχει στο όχημα [48].

3.8 Το υδρογόνο ως ένα εναλλακτικό καύσιμο για τη μετάδοση κίνησης.

Το υδρογόνο έχει προσελκύσει τα τελευταία χρόνια μεγάλη προσοχή ως προτιμώμενος φορέας ενέργειας, εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων από τα οποία διέπεται. Είναι ένα ελαφρύ, άοσμο, άχρωμο, μη τοξικό αέριο και αποτελεί το πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν. Έχει επίσης ενεργειακή απόδοση της τάξης του 120 MJ/kg, η οποία είναι περίπου 2,75 φορές υψηλότερη σε σχέση με τα καύσιμα των υδρογονανθράκων. Το υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει περίπου 2,6 φορές περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα μάζας απ' ό,τι η βενζίνη, αλλά εξαιτίας της χαμηλής του ογκομετρικής πυκνότητας, καταλαμβάνει περίπου 4 φορές περισσότερο όγκο από τη βενζίνη για να αποθηκεύσει την ίδια ενέργεια [49].

Το φυσικό αέριο αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής υδρογόνου με ποσοστό 48% του συνολικού μεριδίου, ενώ ακολουθεί το πετρέλαιο με 30%, ο άνθρακας με 18% και η ηλεκτρόλυση με μόλις 4%. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου, όπως η πυρηνική ενέργεια για παράδειγμα, η οποία δε χρησιμοποιεί καθόλου άνθρακα. Παρόλα αυτά, χρειάζεται να γίνει εξόρυξη και επεξεργασία ουρανίου, γεγονός που γεννάει σοβαρές περιβαλλοντικές και υγειονομικές ανησυχίες, καθιστώντας αυτή τη μέθοδο έτσι ως μη προτιμητέα [49].

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί ένα από τους βασικότερους παράγοντες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), οι οποίες προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή λόγω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αποτελεί ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα ύψιστης σημασίας, το οποίο έχει κληθεί ο άνθρωπος να φέρει εις πέρας. Τα οχήματα τα οποία κινούνται με υδρογόνο χαρακτηρίζονται από μηδενικές εκπομπές κατά τη διάρκεια της χρήσης, συμβάλλοντας

έτσι στη μείωση ή ακόμα και στην εξάλειψη των εκπομπών CO₂ καθώς και άλλων αερίων του θερμοκηπίου τα οποία προέρχονται από τις οδικές μεταφορές [49]. Όσο αφορά το κόστος, το συμβατικό παραγόμενο αέριο υδρογόνο είναι περίπου 2 φορές πιο ακριβό από το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο και περίπου 3 φορές πιο ακριβό από τον άνθρακα [50].

Ένας κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιεί υδρογόνο ως καύσιμο, χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου. Εντός του κινητήρα πραγματοποιείται οξείδωση του υδρογόνου και το αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης είναι η απελευθέρωση ηλεκτρικής ενέργειας, υδρατμών και αζώτου. Σε γενικότερες γραμμές τα οχήματα που χρησιμοποιούν υδρογόνο χαρακτηρίζονται τόσο από μειονεκτήματα όσο και από πλεονεκτήματα. Όσο αφορά τα πλεονεκτήματα, οι κινητήρες καυσίμου υδρογόνου είναι φιλικόι προς το περιβάλλον και ως προς τις εκπομπές και ως προς το θέμα ηχορύπανσης καθώς χαρακτηρίζονται από αθόρυβη λειτουργία κινητήρα. Για την ανάφλεξη του υδρογόνου, αυτό πρέπει να βρίσκεται σε αέρια κατάσταση πράγμα το οποίο δεν είναι τόσο πρακτικό. Επίσης το υδρογόνο είναι πολύ εύφλεκτο, γεγονός το οποίο καθιστά αρκετά δύσκολη τη μεταφορά του και κατ' επέκταση την αποθήκευσή του. Τέλος, εξαιτίας της εύκολης ανάφλεξής του, ένα ατύχημα με ένα όχημα το οποίο χρησιμοποιεί υδρογόνο ως καύσιμο θα δημιουργούσε μία μεγάλη έκρηξη γεγονός το οποίο θα έθετε σε κίνδυνο αρκετές ζωές [51]. Το υδρογόνο είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική μορφή καυσίμου για τη μετάδοση κίνησης η οποία συνοδεύεται από πλεονεκτήματα καθώς και μειονεκτήματα. Η εξέλιξη και η πρόοδος της τεχνολογίας μένει να δείξει αν το υδρογόνο θα συμβάλει στην επίτευξη των «πράσινων» μεταφορών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αρχή της μαζικής παραγωγής δημιουργήθηκε από τον Henry Ford, ο οποίος στις αρχές του 20^{ου} αιώνα είχε μετατρέψει την Αμερική στη μεγαλύτερη δύναμη παραγωγής αυτοκινήτων. Τα μισά σχεδόν αυτοκίνητα που κυκλοφορούσαν στην Αμερική μέχρι το 1918, ήταν το Ford Model T, το οποίο δείχνει το μέγεθος της επιτυχίας του Ford. Μέχρι τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, η Αμερική δεν κατείχε πλέον τα ηνία όσον αφορά την παραγωγή αυτοκινήτων. Μεγάλο μερίδιο της μαζικής παραγωγής αυτοκινήτων είχε παρατηρηθεί στην Ευρώπη και στην Ασία. Η Ασία πλέον ήταν ο ηγέτης στην κατασκευή των αυτοκινήτων και ειδικότερα η Ιαπωνία, όπου αυτός ο τομέας αποτελεί το βασικό πυλώνα της οικονομίας της χώρας. Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα ξεκίνησε η Κίνα να καταλαμβάνει μεγάλο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτων, κατατάσσοντάς την έτσι από το 2010 μέχρι και σήμερα την πρώτη χώρα με διαφορά στην παραγωγή αυτοκινήτων. Η Κίνα χαρακτηρίζεται από πολύ φτηνό εργατικό δυναμικό, γεγονός που οδήγησε πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες να κατασκευάζουν τα αυτοκίνητά τους σε αυτή. Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που έχει κληθεί ο άνθρωπος να αντιμετωπίσει στον 21^ο αιώνα, είναι αυτό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στην επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθιστώντας την επιβλαβή για το περιβάλλον και τους ζωντανούς οργανισμούς οι οποίοι ζουν σε αυτό. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία έντονη προσπάθεια σε ότι αφορά τη μείωση των εκπομπών ρύπων και κατά συνέπεια των αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίοι προέρχονται από τις οδικές μεταφορές. Η εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης και των συστημάτων επεξεργασίας και αποβολής των ρύπων έχει βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών αυτών. Από την άλλη μεριά λόγω της αστικοποίησης, ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι συγκεντρώνονται στα μεγάλα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερα μέσα για τις οδικές τους μεταφορές. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι, παρόλο που η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών, τα περισσότερα μέσα που χρησιμοποιούνται, ώστε να είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τον ολοένα και αυξανόμενο πληθυσμό, τείνουν να αντισταθμίσουν αυτή τη μείωση των εκπομπών. Τα βενζινοκίνητα

και πετρελαιοκίνητα οχήματα, καταλαμβάνουν με διαφορά το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς στην αυτοκινητοβιομηχανία. Τα σύγχρονα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ως καύσιμο, πετρέλαιο ή βενζίνη έχουν μειώσει αισθητά τις εκπομπές ρύπων. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνεχίζει να υπάρχει, καθώς δεν είναι οι «στόλοι» όλων των χωρών αναβαθμισμένοι, πολλοί από αυτούς είναι απαρχαιωμένοι οδηγώντας έτσι σε τεράστιες εκπομπές ρύπων, συμβάλλοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κυμαίνονται περίπου στα ίδια επίπεδα τόσο στα πετρελαιοκίνητα όσο και στα βενζινοκίνητα οχήματα, με τα πετρελαιοκίνητα να εκπέμπουν ελαφρώς λιγότερο εξαιτίας της μεγαλύτερης απόδοσης του καυσίμου τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν να καλύψουν 25%-35% μεγαλύτερη απόσταση από ένα αντίστοιχο όχημα που χρησιμοποιεί βενζίνη χρησιμοποιώντας τα ίδια λίτρα καυσίμου [52].

Αυτό έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για τη μετάδοση κίνησης, οι οποίες θα αποτελούν ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον τύπο καυσίμου ως προς τις εκπομπές ρύπων. Μία εναλλακτική πηγή ενέργειας αποτελεί η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία, χρησιμοποιεί μπαταρίες για τη μετάδοση κίνησης. Δε μπορούμε να εκφέρουμε γνώμη για το πόσο «καθαρή» είναι αυτή η εναλλακτική μορφή ενέργειας αν δε λάβουμε υπόψιν μας τον τρόπο με τον οποίο παράγεται αυτή η ενέργεια. Για παράδειγμα, εάν η ηλεκτρική ενέργεια η οποία τροφοδοτεί την μπαταρία προκειμένου αυτή να φορτίσει, προέρχεται από άνθρακα, το ηλεκτρικό όχημα είναι υπεύθυνο για την εκπομπή περισσότερων ρύπων από ότι ένα αντίστοιχο όχημα που χρησιμοποιεί πετρέλαιο ή βενζίνη. Ωστόσο αν η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με βάση το φυσικό αέριο, οι ρύποι είναι χαμηλότεροι από ότι σε ένα συμβατικό όχημα. Το ιδανικό σενάριο όμως, είναι αυτό στο οποίο η ηλεκτρική ενέργεια η οποία τροφοδοτεί τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση η ρύποι κατά τη χρήση του οχήματος είναι μηδενικοί. Η κατασκευή καθώς και το τέλος της χρήσης του οχήματος, το οποίο εμπεριέχει την ανακύκλωση της μπαταρίας είναι διαδικασίες περισσότερο ρυπογόνες από ότι στα συμβατικά οχήματα αλλά εξαιτίας των μηδενικών εκπομπών κατά τη χρήση του οχήματος, οι συνολικοί ρύποι σε όλη τη διάρκεια της ζωής του οχήματος είναι αρκετές φορές χαμηλότεροι. Μία άλλη εναλλακτική πηγή ενέργειας για τη μετάδοση κίνησης αποτελεί το υδρογόνο. Πρόκειται για ένα καύσιμο το οποίο

παράγει μηδενικούς ρύπους κατά τη χρήση του οχήματος και ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από μεγάλη ενεργειακή απόδοση, περίπου 2,75 φορές υψηλότερη σε σχέση με τα καύσιμα των υδρογονανθράκων. Μπορεί να παραχθεί από ποικίλες πηγές, τόσο ανανεώσιμες όσο και μη. Προς το παρόν, για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται μη ανανεώσιμες πηγές όπως, αναμόρφωση ατμού του μεθανίου (SMR) κατά την οποία το φυσικό αέριο αντιδράει με ατμό, παρουσία καταλύτη, για την παραγωγή υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου οφείλεται σε αυτή τη μέθοδο [49]. Παρά τα πλεονεκτήματά του, το υδρογόνο συνοδεύεται και από αρκετές δυσκολίες οι οποίες μπαίνουν εμπόδιο στην άμεση εκμετάλλευσή του ως καύσιμο για τη μετάδοση κίνησης. Το υδρογόνο εξαιτίας της χαμηλής ογκομετρικής του πυκνότητας, καταλαμβάνει περίπου 4 φορές περισσότερο χώρο από τη βενζίνη, για την αποθήκευσή της ίδιας ενέργειας, γεγονός που οδηγεί σε προβλήματα με το χώρο αποθήκευσής του. Επίσης είναι δύσκολη η μεταφορά του και δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή για αυτή ακόμη καθώς το υδρογόνο είναι πολύ εύφλεκτο. Λόγω του ότι είναι πολύ εύφλεκτο, ένα ατύχημα του θα προκαλούσε μεγάλη έκρηξη και κατά συνέπεια κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή. Συνοψίζοντας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξαιτίας των εκπομπών ρύπων γενικά και των εκπομπών ρύπων από τις οδικές μεταφορές ειδικά, είναι εμφανής και έχουν καταστροφικές συνέπειες στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία. Όσο για το πιο καύσιμο είναι πιο φιλικό ως προς το περιβάλλον ή ανώτερο από κάποιο άλλο, δε μπορεί να απαντηθεί χωρίς να λάβει κάποιος υπόψη του διάφορα δεδομένα γύρω από την παραγωγή του εκάστοτε καυσίμου. Οι εναλλακτικές μορφές καυσίμων είναι πολλά υποσχόμενες, αλλά εξαιτίας του περιορισμένου διαστήματος όπου αυτά χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές, δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα ώστε να μπορεί να γίνει μια άμεση σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα, τα οποία κυριαρχούν τον τελευταίο αιώνα στον τομέα αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sierra-Vargas, M. P., & Teran, L. M. (2012). Air pollution: impact and prevention. *Respirology*, 17(7), 1031-1038
- [2] <https://airqoon.com/urban-air-pollution-sources-and-pollutants.html>
- [3] Σουβατζόγλου, Ε. (2019). Πολυκριτήρια ανάλυση για το φαινόμενο του θερμοκηπίου στην ΕΕ
- [4] Κατσαφάδος, Π., & Μαυροματίδης, Η. (2016). Φαινόμενο του θερμοκηπίου
- [5] <https://group.mercedes-benz.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html>
- [6] Liu, B., Ghosal, D., Chuah, C. N., & Zhang, H. M. (2011). Reducing greenhouse effects via fuel consumption-aware variable speed limit (FC-VSL). *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(1), 111-122
- [7] <https://www.first-learn.com/the-advantages-and-disadvantages-of-a-motor-car.html>
- [8] <https://www.rankred.com/evolution-of-cars/>
- [9] https://www.statista.com/topics/3984/automotive-industry-in-the-asia-pacific-region/#dossierContents__outerWrapper
- [10] Kamiyama, K. (2004). Toyota. In *The Hybrid Factory in Europe*(pp. 231-239). Palgrave Macmillan, London
- [11] <https://tokyoesque.com/japanese-automotive-market/>

- [12] <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry/Growth-in-Europe>
- [13] <https://www.carlogos.org/european-car-brands/>
- [14] <https://www.history.com/this-day-in-history/volkswagen-is-founded>
- [15] <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry/Europe-after-World-War-II>
- [16] <https://www.forbes.com/sites/msolomon/2018/09/14/luxury-lineage-a-brief-history-of-the-volkswagen-beetle/?sh=d083aa650482>
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_industry_in_Germany
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_industry_in_the_United_States
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Ford_of_Europe
- [20] <https://www.ford.co.uk/experience-ford/history-and-heritage>
- [21] <https://www.history.com/topics/inventions/model-t>
- [22] <https://www.hotcars.com/internal-combustion-engine-history/>
- [23] <https://techhistorian.com/history-of-internal-combustion-engine/>
- [24] http://www.autolife.umd.umich.edu/Environment/E_Overview/E_Overview2.htm
- [25] <https://www.tuev-nord.de/explore/en/remembers/a-brief-history-of-the-internal-combustion-engine/>
- [26] <https://www.oica.net/category/auto-and-fuels/emissions/>
- [27] <https://www.investopedia.com/terms/h/hydrocarbon.asp>

- [28] <https://www3.epa.gov/region1/airquality/nox.html>
- [29] <https://ecopress.gr/ta-oxidia-tou-azotou-apo-ta-aftokinit/>
- [31] <https://www.ucsusa.org/resources/cars-trucks-buses-and-air-pollution>
- [32] Davison, J., Rose, R. A., Farren, N. J., Wagner, R. L., Wilde, S. E., Wareham, J. V., & Carslaw, D. C. (2022). Gasoline and diesel passenger car emissions deterioration using on-road emission measurements and measured mileage. *Atmospheric Environment: X*, 14, 100162
- [31] Walsh, M. (1990). Global trends in motor vehicle use and emissions. *Annual review of energy*, 15(1), 217-243
- [33] Matzer, C. U. (2019). Update of emission factors for HBEFA Version 4.1 DRAFT V1
- [34] Bishop, G. A., Schuchmann, B. G., Stedman, D. H., & Lawson, D. R. (2012). Multispecies remote sensing measurements of vehicle emissions on Sherman Way in Van Nuys, California. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(10), 1127-1133
- [35] <https://www.epa.gov/greenvehicles/gasoline-and-diesel-advanced-technology-vehicles>
- [36] Bishop, G. A., & Stedman, D. H. (1996). Measuring the emissions of passing cars. *Accounts of chemical research*, 29(10), 489-495
- [37] Chen, Y., & Borken-Kleefeld, J. (2014). Real-driving emissions from cars and light commercial vehicles—Results from 13 years remote sensing at Zurich/CH. *Atmospheric Environment*, 88, 157-164
- [38] Zhang, Q., Wei, N., Zou, C., & Mao, H. (2021). Evaluating the ammonia emission from in-use vehicles using on-road remote sensing test. *Environmental Pollution*, 271, 116384

- [39] Fontaras, G., Zacharof, N. G., & Ciuffo, B. (2017). Fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars in Europe–Laboratory versus real-world emissions. *Progress in energy and combustion Science*, 60, 97-131
- [40] Symeonidou, M. M., Zioga, C., & Papadopoulos, A. M. (2021). Life cycle cost optimization analysis of battery storage system for residential photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production*, 309, 127234
- [41] Ellingsen, L. A. W., Singh, B., & Strømman, A. H. (2016). The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters*, 11(5), 054010
- [42] Edelenbosch, O. Y., Hof, A. F., Nykvist, B., Girod, B., & Van Vuuren, D. P. (2018). Transport electrification: the effect of recent battery cost reduction on future emission scenarios. *Climatic change*, 151(2), 95-108
- [43] König, A., Nicoletti, L., Schröder, D., Wolff, S., Waclaw, A., & Lienkamp, M. (2021). An overview of parameter and cost for battery electric vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 12(1), 21
- [44] Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D., & Jurchiş, B. (2017, October). Comparison of different battery types for electric vehicles. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 252, No. 1, p. 012058). IOP Publishing
- [45] Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288
- [46] <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Market-Spotlight/Battery-costs-rise-as-lithium-demand-outstrips-supply>
- [47] <https://www.way.com/blog/lithium-ion-battery-pack-price-through-2010-2021/>
- [48] <https://ourworldindata.org/battery-price-decline>

- [49] Singh, S., Jain, S., Venkateswaran, P. S., Tiwari, A. K., Nouni, M. R., Pandey, J. K., & Goel, S. (2015). Hydrogen: A sustainable fuel for future of the transport sector. *Renewable and sustainable energy reviews*, 51, 623-633
- [50] Balat, M., & Balat, M. (2009). Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. *International journal of hydrogen energy*, 34(9), 3589-3603
- [51] <https://avtotachki.com/el/vodorodnyj-dvigatel-kak-rabotaet-i-nedostatki/>
- [52] Jacobson, M. Z. (2002). Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D19), ACH-16