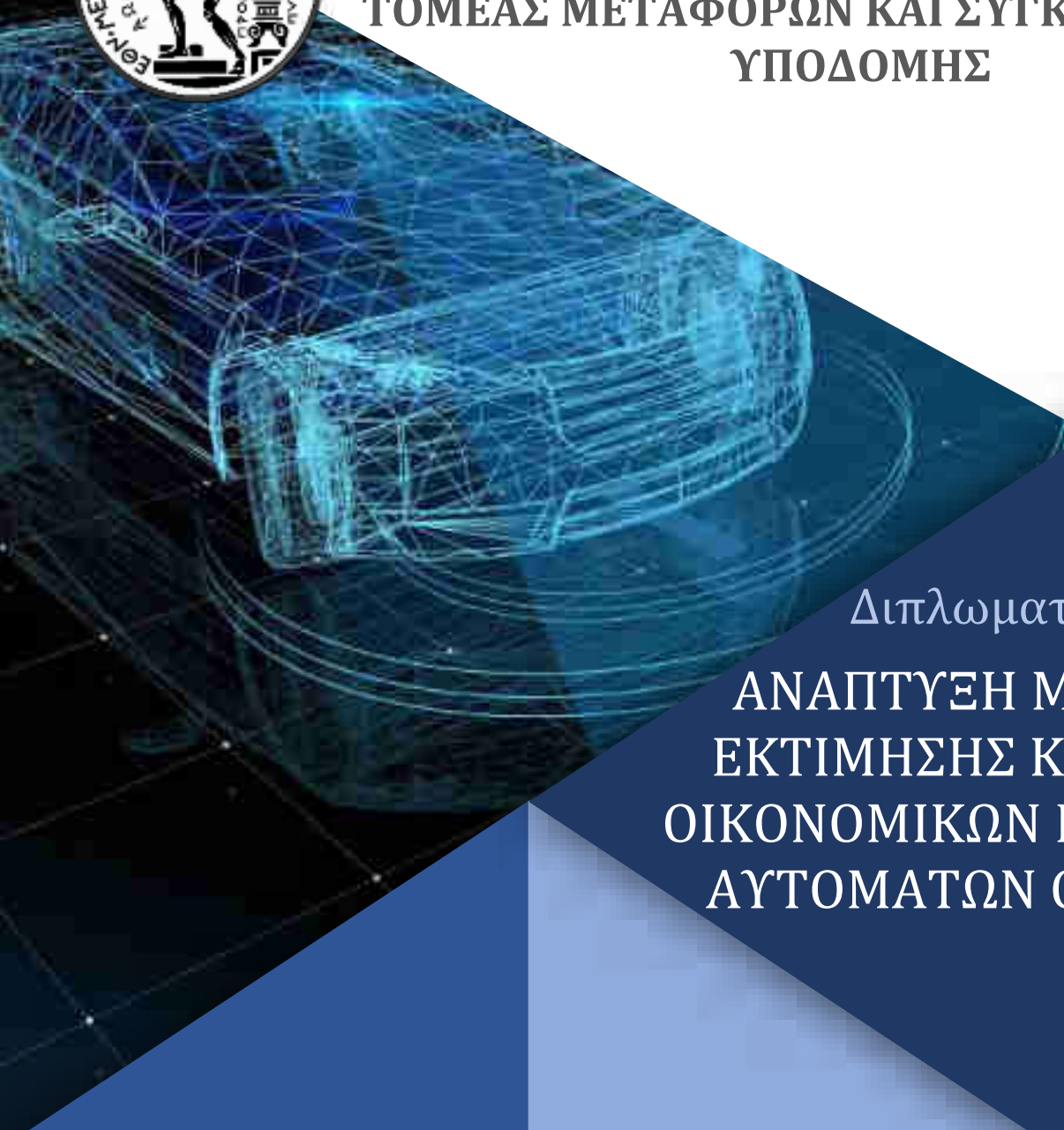




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**



Διπλωματική Εργασία
**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Επαμεινώνδας Θεοδωράκος
Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής,
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με υποστήριξαν και με βοήθησαν να κλείσω αυτόν τον σημαντικό κύκλο της ζωής μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη του, την συνολική καθοδήγηση και οργάνωση σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας .

Επίσης, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Τζούλια Ρούσσου, Υποψήφια Διδάκτορα του Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη βοήθειά της, τις παραγωγικές υποδείξεις της και το χρόνο που διέθεσε.

Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα και κυρίως την οικογένεια μου που με στήριξε όλα αυτά τα χρόνια στην προσπάθεια μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019
Επαμεινώνδας Θεοδωράκος

Ανάπτυξη Μοντέλου Εκτίμησης Κοινωνικο-Οικονομικών Επιπτώσεων Αυτόματων Οχημάτων

Επαμεινώνδας Θεοδωράκος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σύνοψη

Στόχο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου, το οποίο μέσω της συμπλήρωσης τιμών σε ορισμένες παραμέτρους, να μπορεί να εκτιμήσει, με τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία, τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα που συνεπάγεται η διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο για διάφορα σενάρια εισαγωγής τους, να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις μεταξύ αυτών των σεναρίων και να αναδειχθεί η επιρροή της κάθε παραμέτρου στο τελικό κόστος των μετακινήσεων ανά σενάριο. Οι βασικές παράμετροι που συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο αφορούν στα σενάρια διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων, στον αριθμό των οχηματοχιλιομέτρων, στα απαιτούμενα καύσιμα, στους παραγόμενους ρύπους, στα οδικά ατυχήματα, στον χρόνο ταξιδιού, στο κόστος κατασκευής και συντήρησης των υποδομών, στο κόστος αγοράς των οχημάτων καθώς και στα έξοδα ασφάλισής τους. Το μοντέλο αναπτύχθηκε αξιοποιώντας τη διεθνή βιβλιογραφία και πλήθος υφιστάμενων ερευνών και μελετών. Επιπλέον, εφαρμόστηκε σε τρία σενάρια διείσδυσης (απαισιόδοξο, ενδιάμεσο και αισιόδοξο) σε σύγκριση με το μηδενικό (μηδενική διείσδυση αυτόματων οχημάτων) με χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο, για το χρονικό διάστημα 2020 - 2050. Τα αποτελέσματα από τη χρήση του ανέδειξαν τα κρίσιμα οφέλη της εισαγωγής των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο, ενώ η επιρροή των παραμέτρων, με σημαντικότερη το χρόνο ταξιδιού, παρουσιάζει διαφορές ανάλογα το σενάριο διείσδυσης και το έτος αναφοράς.

Λέξεις κλειδιά: κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα, αυτόματα οχήματα, σενάρια διείσδυσης, σύγκριση σεναρίων, επιρροή παραμέτρων, Ηνωμένο Βασίλειο.

Modelling Automated Vehicles' Socio-economic Impact

Epameinondas Theodorakos

Supervisor: George Yannis, Professor NTUA

Abstract

The purpose of this thesis was the development of a model that, by filling in the values for some parameters, could estimate the socio-economic impact of the automated vehicles' penetration in the road network for different import scenarios, compare these scenarios' results and show each parameters' influence on the final cost. The basic parameters included in the model are the penetration scenarios of the automated vehicles, the number of vehicle-kilometers, the fuel required, the environmental pollutants produced, the road accidents, the travel time, the cost of constructing and maintaining the infrastructure, the purchasing cost of the vehicles as well as their insurance costs. The model was developed studying the international literature and taking into account plenty of existing research, studies and assessments. Afterwards, using this model a comparison was held between three penetration scenarios (pessimistic, intermediate and optimistic) and the zero one (zero penetration rate of automated vehicles). All scenarios and parameters were customised for the United Kingdom and the time period 2020 - 2050. The results of its use highlighted the crucial benefits of automated vehicles' import into the road network. However, the parameters' influence differs depending on the penetration scenario and the reference year, with most important the cost of travel time.

Keywords: socio-economic impact, automated vehicles, penetration scenarios, scenarios' comparison, parameters' influence, United Kingdom.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει επέλθει σημαντική ανάπτυξη της τεχνολογίας, η οποία γίνεται αντιληπτή σε διάφορες πτυχές της κοινωνίας. Το βιοτικό επίπεδο του μέσου Ευρωπαίου πολίτη έχει βελτιωθεί κατακόρυφα, αφού πολλά τεχνολογικά επιτεύγματα γίνονται μέρος της καθημερινότητάς του. Στα πλαίσια αυτού του ραγδαίου αναπτυξιακού ρυθμού έχει παρατηρηθεί εντατικοποίηση των ερευνητικών προσπαθειών σχετικά με την δημιουργία αυτόματων οχημάτων, οχημάτων δηλαδή που να έχουν τη δυνατότητα πλοήγησης χωρίς την επέμβαση οδηγού, καθώς και την επίτευξη ενός κατάλληλου οδικού περιβάλλοντος γύρω από αυτά, προκειμένου να επιτευχθούν τα μέγιστα δυνατά οφέλη από τη χρήση τους. Τα πιθανολογούμενα αυτά οφέλη αφορούν διάφορους παράγοντες, με πιο διαδεδομένα να θεωρούνται η μείωση των ατυχημάτων, οι ταχύτερες μετακινήσεις λόγω του χαμηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου και η ελάττωση των παραγόμενων ρύπων και των καταναλισκόμενων καυσίμων, τα οποία αθροιζόμενα οδηγούν σε σημαντικό οικονομικό κέρδος συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα. Παρ' όλα αυτά, διαπιστώθηκε η ύπαρξη παραγόντων της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων που επιδρούν αρνητικά, όπως το κόστος των απαιτούμενων τεχνολογιών τόσο για τα ίδια τα οχήματα όσο και την περιβάλλουσα υποδομή και η ενδεχόμενη αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων. Η έλλειψη αναλυτικότερων υπολογισμών στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με το οικονομικό αυτό ισοζύγιο από τα οφέλη – κόστη για το σύνολο των παραμέτρων αποτελεί σημαντική παράλειψη, προκειμένου να διερευνηθεί το πραγματικό αντίκτυπο της χρήσης τους.

Σκοπό επομένως, της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η δημιουργία ενός μοντέλου που να μπορεί να εκτιμήσει, με τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία, τα κοινωνικο-οικονομικά οφέλη και κόστη που συνεπάγεται η διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο σε χρονικό διάστημα τριακονταετίας. Κατά το σχεδιασμό του συγκεκριμένου μοντέλου έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν όσες περισσότερες παράμετροι ήταν εφικτό σε αυτό, καθώς και το περιβάλλον του να είναι φιλικό προς τη χρήση, προκειμένου οι διάφορες δοκιμές να πραγματοποιούνται με σχετική ευκολία και να δίνεται η δυνατότητα χρήσης του και από διαφορετικά άτομα, σε διαφορετικά σενάρια, ανάλογα με την θεώρηση του εκάστοτε ενδιαφερόμενου σχετικά με τα ποσοστά διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής του.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου εκτίμησης των πραγματικών ωφελειών από την εισαγωγή των αυτόματων οχημάτων **αξιοποιήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία καθώς και πληθώρα υφιστάμενων ερευνών και μελετών** σχετικά με την επιρροή των επιμέρους παραμέτρων στο συνολικό ισοζύγιο.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο πραγματοποιήθηκε σύγκριση τριών (3) σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων με το μηδενικό σενάριο, για **χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο**, το χρονικό διάστημα 2020 – 2050, για τα οποία έγινε αναζήτηση και πρόβλεψη, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο, των απαραίτητων παραμέτρων. Σκοπός της παραπάνω σύγκρισης ήταν η εύρεση της οικονομικής διαφοράς που θα υπάρξει μεταξύ των τριών σεναρίων καθώς και των παραγόντων που επιδρούν πιο σημαντικά στο τελικό ισοζύγιο οφέλη – κόστη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, καθώς αναδεικνύουν τον καθοριστικό ρόλο που θα διαδραματίσουν μελλοντικά τα αυτόματα οχήματα λόγω των σημαντικών κοινωνικο-οικονομικών ωφελειών τους συγκριτικά με τα συμβατικά.

Πιο συγκεκριμένα, **τα οικονομικά οφέλη ανά όχημα εκτιμήθηκαν από 2.000€ έως και 4.000€ περίπου ανάλογα το σενάριο διείσδυσης συγκριτικά με το μηδενικό για το έτος 2050**, τελευταίο έτος με το οποίο ασχολείται το μοντέλο. **Για το ίδιο έτος εκτιμήθηκε εξοικονόμηση της τάξης των 12 με 24 λεπτών του ευρώ ανά οχηματοχιλιόμετρο** ανάλογα το σενάριο διείσδυσης συγκριτικά με το μηδενικό.

Επιπλέον, προέκυψε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους αφορά το χρόνο του ταξιδιού, αφού περισσότερο από το μισό του συνολικού κόστους οφείλεται σε αυτόν τον παράγοντα και το κόστος αγοράς των οχημάτων. Οι υπόλοιπες παράμετροι που ακολουθούν είναι το κόστος κατανάλωσης καυσίμων, συντήρησης οχημάτων, λειτουργίας- συντήρησης και κατασκευής των υποδομών, το κόστος από τα ατυχήματα, τα έξοδα ασφάλισης και τέλος το κόστος παραγόμενων ρύπων, τα οποία όμως παρουσιάζουν αποκλίσεις ανάλογα το σενάριο διείσδυσης και το έτος αναφοράς.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μοντέλου, της εύρεσης τιμών για τις παραμέτρους και της εμφάνισης των τελικών αποτελεσμάτων προέκυψαν πληθώρα συμπερασμάτων σχετικά με τα αυτόματα οχήματα και τις συνέπειές τους, τα σημαντικότερα εκ' των οποίων συνοψίζονται παρακάτω:

1. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο για την **υποστήριξη των αποφάσεων σχετικά την εκτίμηση των επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων**.
2. **Σύμφωνα με την βιβλιογραφία αλλά και τις εκτιμήσεις του μοντέλου αναμένονται σημαντικά οφέλη από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο**. Τα πλεονεκτήματα των αυτόματων σε σχέση με τα συμβατικά εκτείνονται σε πολύ περισσότερους τομείς πέραν του οικονομικού. Η προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της εξοικονόμησης καυσίμων και της μείωσης των ρύπων, καθώς και η ασφάλεια των πολιτών κατά τις μετακινήσεις τους είναι μερικά μόνο από τα θετικά που θα επιφέρει η εφαρμογή τους σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, των οποίων η σημασία δεν μπορεί να αντικατοπτριστεί αποκλειστικά από το οικονομικό όφελος.
3. **Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την τάξη μεγέθους των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων καθώς και των παραμέτρων που τα επηρεάζουν**. Για αυτό το σκοπό, στις παραμέτρους όπου υπάρχει μεγάλο εύρος πιθανών τιμών, συνίσταται η διενέργεια δοκιμών στο μοντέλο, που να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος τους, προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να ανταποκρίνονται σε όλες τις ενδεχόμενες περιπτώσεις.
4. **Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του μοντέλου παρατηρείται η σπουδαιότητα της αξίας του χρόνου στο συνολικό οικονομικό κόστος των μετακινήσεων**. Συγκεκριμένα, για χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο, περισσότερο από το 50% του κόστους οφείλεται στο χρόνο που δαπανάται εντός των οχημάτων. Το ποσοστό αυτό προέκυψε χρησιμοποιώντας την μέση αξία του χρόνου για τις χώρες της Ευρώπης, που κυμαίνεται από 24 € ανά ώρα για επαγγελματικά ταξίδια σε 7 € ανά ώρα για μικρά ταξίδια αναψυχής. Σε περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου για την Ελλάδα, όπου οι τιμές αυτές είναι μειωμένες η επιρροή της αξίας του χρόνου θα διαφέρει σημαντικά, γεγονός που οδηγεί στο επόμενο συμπέρασμα.
5. **Τα αποτελέσματα του μοντέλου τόσο για το συνολικό κόστος της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων όσο και για την επιρροή της κάθε παραμέτρου σε αυτό πιθανόν να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις κατά την εφαρμογή τους από χώρα σε χώρα**. Θα χρειαζόταν επομένως συμπλήρωση από την αρχή των εννέα φύλλων με τις παραμέτρους του μοντέλου προκειμένου να εκτιμηθούν ρεαλιστικά αποτελέσματα για κάθε μία εξ' αυτών.
6. **Η ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων στο αποκλειστικά οικονομικό αποτέλεσμα διαφέρει από την ποιοτική τους σημασία**. Συνεπώς, το γεγονός ότι το οικονομικό κόστος από τους παραγόμενους ρύπους αλλά και από τα οδικά ατυχήματα προέκυψε αρκετά μικρότερο σε σχέση με αυτά άλλων παραμέτρων δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική σπουδαιότητα της ελάττωσής τους για το σύνολο της κοινωνίας.
7. Από το σύνολο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προέκυψε ότι **από όλες τις παραμέτρους του μοντέλου εκείνες που τείνουν να αυξήσουν το συνολικό κόστος είναι το κόστος αγοράς των αυτόματων οχημάτων, το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών καθώς και η ενδεχόμενη αύξηση στο μέσο αριθμό διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων**. Παρ' όλα αυτά με την πάροδο του χρόνου και την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας προβλέπεται σημαντική μείωση των τιμών για τις δύο πρώτες παραμέτρους. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στα αποτελέσματα του μοντέλου, καθώς τα πρώτα χρόνια εμφάνισής τους στο οδικό δίκτυο παρατηρείται μια μικρή αύξηση του κόστους των μετακινήσεων, η οποία όμως εξαλείφεται άμεσα από τα πολλά υποσχόμενα οφέλη τους.
8. Υφίσταται **μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το μεταβατικό στάδιο**, στο οποίο θα συνυπάρχουν αυτόματα και συμβατικά οχήματα. Χρειάζεται να εξεταστεί η μεταξύ τους αλληλεπίδραση καθώς και με ειδικές κατηγορίες οχημάτων, όπως για παράδειγμα τα δίκυκλα.
9. Από την βιβλιογραφία αλλά και από τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου, μέσω της σύγκρισης των διάφορων σεναρίων διείσδυσης, παρατηρήθηκε **η σημασία που έχει ο ρυθμός εισαγωγής των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο** καθώς πολλαπλασιάζονται τα πιθανά τους οφέλη.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.1.1 Βασικοί Ορισμοί	1
1.1.2 Επίπεδα Αυτοματισμού	1
1.1.3 Πιθανά Οφέλη, Κόστη και Ανοιχτά Ζητήματα από τη χρήση Αυτόματων οχημάτων	4
1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	5
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας	6
Κεφάλαιο 2 – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
2.1 Διείσδυση αυτόματων οχημάτων	7
2.2 Διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα αυτόματων οχημάτων	12
2.3 Κατανάλωση καυσίμων αυτόματων οχημάτων	14
2.4 Εκπομπές ρύπων	15
2.5 Οφέλη αυτόματων οχημάτων στην ασφάλεια	16
2.6 Επιπτώσεις των αυτόματων οχημάτων στο χρόνο ταξιδιού	20
2.7 Απαιτούμενες υποδομές για την υποστήριξη αυτόματων οχημάτων	21
2.8 Κόστος αγοράς αυτόματων οχημάτων	22
2.9 Σύνολο των επιπτώσεων από τη χρήση αυτόματων οχημάτων	23
Κεφάλαιο 3 – Ανάπτυξη Μοντέλου	25
3.1 Εύρεση Παραμέτρων του Μοντέλου	25
3.2 Περιγραφή του Μοντέλου	28
3.3 Επεξήγηση του Μοντέλου	32
Κεφάλαιο 4 – Συμπλήρωση των Παραμέτρων του Μοντέλου	36
4.1 Παράμετροι – Σενάρια Διείσδυσης	36
4.2 Παράμετροι - Οχηματοχιλιόμετρα	39
4.3 Παράμετροι - Καύσιμα	41
4.4 Παράμετροι – Ρύποι	47
4.5 Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού	47
4.6 Παράμετροι – Υποδομές	49
4.7 Παράμετροι – Ατυχήματα	50
4.8 Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων	54
4.9 Παράμετροι – Ασφάλιση Οχημάτων	55
Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Εφαρμογής του Μοντέλου	58
5.1 Κοινωνικο-Οικονομικό Κόστος ανά Σενάριο	58
5.2 Επιρροή Παραμέτρων στο Κοινωνικο-Οικονομικό Κόστος ανά Σενάριο	61

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα	64
6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	64
6.2 Συνολικά Συμπεράσματα	65
6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	66
Βιβλιογραφικές Αναφορές	68
<u>Παράρτημα</u>	

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Επίπεδα αυτοματισμού οχημάτων σύμφωνα με τη SAE (Πηγή: SAE,2014)..	2
Εικόνα 1-2: Διείσδυση αυτόματων οχημάτων και ο ρόλος του οδηγού σε αυτά σύμφωνα με τη SAE.....	4
Εικόνα 3-1: Η αρχική σελίδα (μενού) του μοντέλου.....	30
Εικόνα 5-1: Πλήκτρα στην αρχική σελίδα με το κοινωνικο-οικονομικό κόστος ανά σενάριο τόσο για κάθε παράμετρο ξεχωριστά όσο και στο σύνολο τους.....	57
Εικόνα 5-2: Πλήκτρα στην αρχική σελίδα που οδηγούν στην ποσοστιαία επιρροή κάθε παραμέτρου στο συνολικό κόστος για κάθε σενάριο ξεχωριστά.....	60

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2-1: Προβλεπόμενα χρονοδιαγράμματα για την διείσδυση των τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων (International Transport Forum, 2015).....	7
Διάγραμμα 2-2: Χρονοδιάγραμμα εισαγωγής τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το ERTRAC (2015).....	8
Διάγραμμα 2-3: Εισαγωγή τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με την οργάνωση Austroads.....	9
Διάγραμμα 2-4: Προβλέψεις ποσοστού πωλήσεων, ταξιδιών και στόλου αυτόματων οχημάτων στο σύνολο της αγοράς σύμφωνα με τον Litman 2016.....	10
Διάγραμμα 2-5: Οι χρονολογίες ορόσημα στη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με τους Dokic et al., 2015.....	11
Διάγραμμα 2-6: Γράφημα με το χρόνο που απαιτείται για να διεισδύσει κάθε νέο επίπεδο τεχνολογίας αυτοματισμού στην αγορά σύμφωνα με την έρευνα Thatcham.....	11
Διάγραμμα 2-7: Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού το 2016 στις Η.Π.Α. (Cox Automotive).....	12
Διάγραμμα 2-8: Προβλέψεις καταναλώσεων οχημάτων σύμφωνα με τους NRC (2013a) και Folsom (2012).....	14
Διάγραμμα 2-9: Μειώσεις θανατηφόρων και μη ατυχημάτων μέσω των εφαρμογών C-ITS σύμφωνα με το πρόγραμμα DRIVE C2X το 2030 για διάφορα σενάρια διείσδυσης οχημάτων, το χαμηλό (Low, 19,88%), το μεσαίο (Medium, 68,68%) και το υψηλό (High, 75,60%).....	17
Διάγραμμα 2-10: Πρόβλεψη συχνότητας ατυχημάτων ανά όχημα από την KPMG.....	19
Διάγραμμα 2-11: Εύρος των πλεονεκτημάτων από τη χρήση τεχνολογιών αποφυγής συγκρούσεων (Πηγή: ITS Resources Knowledge).....	19
Διάγραμμα 2-12: Εύρος των πλεονεκτημάτων από τη χρήση συστημάτων προειδοποίησης σύγκρουσης (Πηγή: ITS Resources Knowledge).....	20
Διάγραμμα 2-13: Εύρος ποσοστών μείωσης χρόνου ταξιδιού, καθυστερήσεων και εκπομπών ρύπων από την εισαγωγή αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, 2017).....	24
Διάγραμμα 2-14: Εύρος ποσοστών μείωσης κατανάλωσης καυσίμων, ατυχημάτων, εκπομπών ρύπων και χρόνου μετακίνησης από την εισαγωγή αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, 2018).....	24
Διάγραμμα 3-1: Σχηματική περιγραφή των βασικών λειτουργιών του μοντέλου	27-29
Διάγραμμα 3-2: Μορφή του Διαγράμματος 3-1.....	31
Διάγραμμα 4-1: Διάγραμμα των ποσοστών διείσδυσης των σεναρίων του Πίνακα 4-1...36	
Διάγραμμα 4-2: Διάγραμμα των ποσοστών των αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με τον Πίνακα 4-2.....	36
Διάγραμμα 4-3: Σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων σεναρίων διείσδυσης του μοντέλου, όπως αυτά παρουσιάζονται στο φύλλο του excel με τίτλο Σενάρια Διείσδυσης.....	37-38
Διάγραμμα 4-4: Αριθμός οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο τα έτη από το 2000 μέχρι και το 2016 (Statista, SMMT).....	39

Διάγραμμα 4-5: Πρόβλεψη του ετήσιου αριθμού των οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο μέχρι το έτος 2050.....	39
Διάγραμμα 4-6: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου οχημάτων επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2.....	41
Διάγραμμα 4-7: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου οχημάτων επιπέδων αυτοματισμού 3 και 4.....	41
Διάγραμμα 4-8: Ποσοστά οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν (Statista, SMMT).....	42
Διάγραμμα 4-9: Πρόβλεψη ποσοστών οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν.....	42
Διάγραμμα 4-10: Κατανομή των οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα σε υβριδικά και ηλεκτρικά (Statista, SMMT).....	43
Διάγραμμα 4-11: Πρόβλεψη του ποσοστού των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων στο σύνολο αυτών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.....	43
Διάγραμμα 4-12: Μέσο κόστος super βενζίνης στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).....	44
Διάγραμμα 4-13: Μέσο κόστος premium βενζίνης στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).....	44
Διάγραμμα 4-14: Μέσο κόστος πετρελαίου στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).....	44
Διάγραμμα 4-15: Πρόβλεψη τιμής βενζίνης και πετρελαίου.....	45
Διάγραμμα 4-16: Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά εξάμηνο τα έτη 2010 με 2018 (Eurostat, Statista 2018).....	45
Διάγραμμα 4-17: Κόστος σε ευρώ ανά τόνο παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 (European Commission, Environmental Guide).....	46
Διάγραμμα 4-18: Δομή οδικού δικτύου Μεγάλης Βρετανίας (Department of Transport, 2018).....	47
Διάγραμμα 4-19: Πρόβλεψη συντελεστή νεκρών από τροχαία ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με την ιστοσελίδα της SafeFITS.....	50
Διάγραμμα 4-20: Προέκταση των συντελεστών των νεκρών από τροχαία ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με την SafeFITS (Διάγραμμα 4-19) μέχρι και το 2050.....	50
Διάγραμμα 4-21: Συνολικός πληθυσμός του Ηνωμένου Βασιλείου ανά έτος από το 2012 έως και το 2022 (IMF, Statista 2019).....	51
Διάγραμμα 4-22: Προέκταση των τιμών του Διαγράμματος 4-21 έως και το έτος 2050 με χρήση λογαριθμικής καμπύλης.....	51
Διάγραμμα 4-23: Ο αριθμός καινούργιων οχημάτων που αγοράζονται ετησίως στο Ηνωμένο Βασίλειο (SMMT, Statista 2019).....	53
Διάγραμμα 4-24: Προέκταση των τιμών του Διαγράμματος 4-23 μέχρι και το έτος 2050.....	54
Διάγραμμα 5-1: Συνολικό ετήσιο κόστος σε ευρώ από την χρήση αυτόματων οχημάτων για κάθε σενάριο διείσδυσης.....	58
Διάγραμμα 5-2: Συνολικά οικονομικά οφέλη σε ευρώ ανά έτος από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.....	58

Διάγραμμα 5-3: Συνολικά οικονομικά οφέλη (σε ευρώ) ανά έτος ανά όχημα από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.....	59
Διάγραμμα 5-4: Συνολικά οικονομικά οφέλη (σε λεπτά του ευρώ) ανά έτος ανά οχηματοχιλιόμετρο από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.....	59
Διάγραμμα 5-5: Η εξέλιξη της επιρροής κάθε παραμέτρου στο συνολικό κόστος από το 2020 έως και το 2050 για το τρίτο σενάριο διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων.....	61
Διάγραμμα 5-6: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων το έτος 2020 για το τρίτο σενάριο διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων...	61
Διάγραμμα 5-7: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων το έτος 2050 για το τρίτο σενάριο διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων...	62
Διάγραμμα 5-8: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την μέση επιρροή των παραμέτρων το χρονικό διάστημα 2020 – 2050 για το τρίτο σενάριο διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων.....	62

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Προβλέψεις Litman (2015) για τη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων επιπέδων 4 και 5.....	10
Πίνακας 2-2: Οι τεχνολογίες των οχημάτων που περιλαμβάνονται στις εφαρμογές των C-ITS (Source: US Department of Transportation ITS Joint Program Office).....	16
Πίνακας 2-3: Σύνοψη αποτελεσμάτων από τη χρήση εφαρμογών C-ITS και AD σύμφωνα με την Austroads.....	18
Πίνακας 2-4: Πιθανό κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας DSRC ανά θέση σύμφωνα με τους Wright et al. (2014).....	22
Πίνακας 2-5: Υπολογισμένο ετήσιο κόστος για τη λειτουργία, συντήρηση και αντικατάσταση των DSRC ανά θέση σύμφωνα με τους Wright et al. (2014).....	22
Πίνακας 2-6: Επιπρόσθετο κόστος για τις απαιτούμενες τεχνολογίες ανά επίπεδο αυτοματισμού (Roland Berger, 2016).....	23
Πίνακας 3-1: Οι μεταβλητές που λαμβάνονται τελικά υπόψη από το μοντέλο	26
Πίνακας 4-1: Πρόβλεψη ποσοστών διείσδυσης του συνόλου των αυτόματων οχημάτων (Επίπεδα 3, 4 και 5) στο οδικό δίκτυο ανά δεκαετία για τα τέσσερα σενάρια.....	35
Πίνακας 4-2: Πρόβλεψη ποσοστών αυτόματων οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού.....	36
Πίνακας 4-3: Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού το έτος αναφοράς, δηλαδή το 2020.....	37
Πίνακας 4-4: Συμπλήρωση των δεδομένων σχετικά με τις παραμέτρους των οχηματοχιλιομέτρων.....	38
Πίνακας 4-5: Αριθμός οχημάτων ανά έτος όπως αυτά συμπληρώθηκαν στις παραμέτρους των οχηματοχιλιομέτρων.....	39
Πίνακας 4-6: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.....	40
Πίνακας 4-7: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 3 και 4 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.....	40
Πίνακας 4-8: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδου αυτοματισμού 5 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.....	40
Πίνακας 4-9: Ποσοστά οχημάτων ανά είδος καυσίμου στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με το Διάγραμμα 4-9.....	43
Πίνακας 4-10: Ποσοστά υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο αυτών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.....	43
Πίνακας 4-11: Συνοπτική παρουσίαση των τιμών των καυσίμων που αναγράφονται στα Διαγράμματα 4-12, 4-13 και 4-14, αφού έχουν μετατραπεί σε ευρώ ανά λίτρο.....	44
Πίνακας 4-12: Μέση τιμή ηλεκτρικού ρεύματος ανά έτος σύμφωνα με το Διάγραμμα 4-16.....	45
Πίνακας 4-13: Παραγόμενοι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα ανά λίτρο καταναλισκόμενου καυσίμου.....	46
Πίνακας 4-14: Κόστος σε ευρώ ανά τόνο παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 (European Commission, Environmental Guide).....	46
Πίνακας 4-15: Δεδομένα εισόδου στις παραμέτρους που αφορούν το χρόνο ταξιδιού.....	47

Πίνακας 4-16: Κόστος λειτουργίας-συντήρησης των υποδομών στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε λεπτά του ευρώ ανά οχηματοχιλιόμετρο (€ct/ vkm) (Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014).....	48
Πίνακας 4-17: Συμπλήρωση των παραμέτρων που αφορούν το κόστος υποδομών.....	48
Πίνακας 4-18: Συμπλήρωση των ποσοστών μείωσης των ατυχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού σε σχέση με το μηδενικό στις παραμέτρους των ατυχημάτων.....	49
Πίνακας 4-19: Μέσο κόστος ανά νεκρό, βαριά και ελαφρά τραυματία σε τροχαία ατυχήματα για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014).....	49
Πίνακας 4-20: Οι συντελεστές του Διαγράμματος 4-19 σύμφωνα με την ιστοσελίδα της SafeFITS.....	50
Πίνακας 4-21: Συμπλήρωση του αριθμού των θανάτων από τροχαία στις παραμέτρους των ατυχημάτων.....	52
Πίνακας 4-22: Συμπλήρωση των παραμέτρων σχετικά με το μέσο κόστος αγοράς ενός οχήματος κάθε επιπέδου αυτοματισμού τη σημερινή εποχή.....	53
Πίνακας 4-23: Συμπλήρωση των παραμέτρων σχετικά με την ετήσια μείωση του κόστους αγοράς των οχημάτων.....	53
Πίνακας 4-24: Σύνοψη των τιμών του Διαγράμματος 4-23.....	53
Πίνακας 4-25: Συμπληρωμένες παράμετροι σχετικά με το κόστος ασφάλισης των οχημάτων.....	54
Πίνακας 4-26: Ο τρόπος και οι πηγές συμπλήρωσης της εκάστοτε παραμέτρου συνοπτικά.....	55-56

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και περισσότερο διαδεδομένη η ιδέα της σταδιακής διείσδυσης αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο. Ιδιαίτερα στις πιο ανεπτυγμένες οικονομικά και τεχνολογικά χώρες η παραπάνω ιδέα αρχίζει να λαμβάνει υπόσταση μέσω της ραγδαίας αύξησης των επενδύσεων στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας, λόγω των μελλοντικών προοπτικών που προβλέπονται από την χρήση τους σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα. Παρ' όλα αυτά η πολυπλοκότητα της εφαρμογής τους στο σύγχρονο οδικό περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις υπάρχουσες υποδομές όσο και την άγνοια των πολιτών, θέτει ποικίλα εμπόδια και συνεχή τροχοπέδη στην ερευνητική κοινότητα. Παρατηρείται επομένως μια εντατικοποίηση των πειραμάτων και των σχετικών ερευνών στον τομέα της αυτοματοποίησης των μεταφορικών συστημάτων γενικότερα προκειμένου να αρθούν οι όποιοι περιορισμοί υπάρχουν και αναστέλλουν την άμεση εισαγωγή τους στην κυκλοφορία.

1.1.1 Βασικοί Ορισμοί

Υφίσταται πληθώρα ορισμών σχετικά με τα αυτόματα (Automated Vehicles – AV) και συνδεδεμένα (Connected Vehicles – CV) οχήματα.

Τα **αυτόματα οχήματα (AVs)** είναι ικανά να ανιχνεύουν το οδικό περιβάλλον και να **πλοηγούνται χωρίς ανθρώπινη βοήθεια**. Λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη και χρησιμοποιούν συστοιχίες αισθητήρων και βοηθητικών συσκευών για τη συλλογή πληροφοριών από το γύρω περιβάλλον τους. Αυτές οι συσκευές με τη σειρά τους παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες εισόδου στους αλγόριθμους, που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση όλων των ελέγχων σχετικά με την οδήγηση και τη λήψη αποφάσεων.

Τα **συνδεδεμένα οχήματα (CVs)** είναι κατ' ουσίαν συμβατικά οχήματα, δεδομένου ότι εξακολουθούν να καθοδηγούνται από οδηγό, ο οποίος όμως υποβοηθείται από διάφορες τεχνολογικές και ηλεκτρονικές συσκευές και αναβαθμίσεις. Αυτές οι συσκευές επιτρέπουν την επικοινωνία των οχημάτων με άλλα οχήματα ή με την υποδομή, δηλαδή την **επικοινωνία οχήματος προς όχημα (vehicle-to-vehicle, V2V)** και **οχήματος προς υποδομή (vehicle-to-infrastructure, V2I)** (συλλογικά γνωστά ως **V2X**). Έτσι, οι οδηγοί λαμβάνουν πιο εμπλουτισμένες πληροφορίες για το σύνολο του περιβάλλοντος οδήγησης, με αναμενόμενα οφέλη παρόμοια (αλλά σε μικρότερη κλίμακα) με εκείνα της πλήρους αυτοματοποίησης.

Τα **συνδεδεμένα αυτόματα οχήματα (CAVs)** είναι αυτόματα οχήματα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον με τεχνολογίες V2X, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο βελτιωμένες αντιδράσεις σε δυσμενέστερες συνθήκες του οδικού περιβάλλοντος (υποδομή και κυκλοφορία).

1.1.2 Επίπεδα Αυτοματισμού

Προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση των διαφόρων αυτοματοποιημένων τεχνολογιών, η διεθνής Κοινότητα Μηχανικών Αυτοκινήτων (Society of Automotive Engineers, SAE International) πρότεινε μια **κατηγοριοποίηση οχημάτων σε έξι επίπεδα**, από το Επίπεδο 0 - χωρίς αυτοματοποίηση, έως το Επίπεδο 5 - πλήρης αυτοματοποίηση, την οποία έχει αποδεχθεί και η Εθνική Υπηρεσία Κυκλοφοριακής Ασφάλειας του Υπουργείου Μεταφορών των ΗΠΑ (U.S. Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration - NHTSA). Στην ταξινόμηση αυτή λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα ενός οχήματος να ελέγχει τη θέση του στο οδικό

δίκτυο, να κατανοεί διαφορετικά περιβάλλοντα και να επιτρέπει στον οδηγό να αφιερώνει την προσοχή του σε άλλες δραστηριότητες κατά τη διάρκεια του ταξιδιού.

Στην Εικόνα 1-1 παρουσιάζεται η σχηματική αναπαράσταση των επιπέδων αυτοματισμού που πρότεινε η SAE International. Ιδιαίτερα κρίσιμο είναι το σημείο διαφοροποίησης μεταξύ των επιπέδων 2 και 3, στο οποίο η ευθύνη για την οδήγηση του οχήματος μετατοπίζεται από τον οδηγό στο αυτόματο σύστημα.

	SAE	Name	Human Monitoring Performance	Monitoring of Human Performance	Vehicle Performance of Dynamic Driving Task	System Capability of Dynamic Driving Task
Human monitors environment	0	No automation the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems.				
	1	Driver assistance the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.				Some driving modes
	2	Partial automation the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task.				Some driving modes
Car monitors environment	3	Conditional automation the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene.				Some driving modes
	4	High automation the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene.				Some driving modes
	5	Full automation the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver.				All driving modes

Εικόνα 1-1: Επίπεδα αυτοματισμού οχημάτων σύμφωνα με τη SAE (Πηγή: SAE, 2014).

Πιο αναλυτικά τα επίπεδα αυτοματισμού των οχημάτων σύμφωνα με τη SAE αναλύονται παρακάτω:

- Επίπεδο 0 – Κανένας αυτοματισμός:** Ο οδηγός είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και την εκτέλεση όλων των απαραίτητων ενεργειών σε συνεχή βάση κατά τη διάρκεια του ταξιδιού. Έχει τον απόλυτο έλεγχο του οχήματος ακόμα και όταν δέχεται προειδοποιητικά μηνύματα (ηχητικά/ οπτικά) από συστήματα ασφαλείας του οχήματος (π.χ. υποβοήθηση αλλαγής λωρίδας, έλεγχος απόστασης στάθμευσης, προειδοποίηση απόκλισης από τη λωρίδα κυκλοφορίας και προειδοποίηση σύγκρουσης). Επιπλέον, σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και διάφορα συστήματα έκτακτης ανάγκης (π.χ. Σύστημα αντικλειδώματος φρεναρίσματος (Anti-lock Braking System, ABS), ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας (Electronic Stability Control, ESC) και πέδηση έκτακτης ανάγκης (Advanced Emergency Braking System, AEBS)), τα οποία θεωρούνται μη αυτοματοποιημένα, καθώς παρεμβαίνουν για σύντομες και μη παρατεταμένες περιόδους.

- ✚ **Επίπεδο 1 – Συγκεκριμένες λειτουργίες αυτοματισμού:** Τα αυτοματοποιημένα συστήματα του επιπέδου 1 επιτρέπουν στο όχημα να εναλλάσσει την ταχύτητά του, επιταχύνοντας/επιβραδύνοντας ανάλογα με τις συνθήκες που εκλαμβάνει από το οδικό περιβάλλον (υποδομή και κυκλοφορία). Ο οδηγός είναι υπεύθυνος για τις υπόλοιπες πτυχές της οδήγησης, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης και της αντιμετώπισης τυχόν συμβάντων, της επίβλεψης της αυτοματοποιημένης δυναμικής καθοδήγησης και της ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του συστήματος υποβοήθησης. Παραδείγματα συστημάτων υποστήριξης οδηγού αποτελούν το σύστημα προσαρμογής της ταχύτητας ταξιδιού (ACC), το σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης και το σύστημα υποβοήθησης διατήρησης λωρίδας κυκλοφορίας (LKA).
- ✚ **Επίπεδο 2 – Συνδυασμός λειτουργιών αυτοματισμού:** Το όχημα έχει τη δυνατότητα με περισσότερα από ένα συστήματα υποβοήθησης της οδήγησης να επεμβαίνει αυτόματα αλλάζοντας την ταχύτητα του. Ο οδηγός είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση και την ανταπόκριση στις συνθήκες του περιβάλλοντος οδήγησης καθώς και για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των αυτοματοποιημένων συστημάτων. Σε αυτό το επίπεδο αυτοματισμού, ο οδηγός μπορεί να απεμπλακεί από το φυσικό χειρισμό του οχήματος για περιορισμένο χρονικό διάστημα υπό ορισμένες συνθήκες (π.χ. μπορεί να έχει τα χέρια του εκτός του τιμονιού). Παρ' όλα αυτά, πρέπει να παρακολουθεί το περιβάλλον οδήγησης ανά πάσα στιγμή και να είναι σε θέση να πάρει αμέσως τον πλήρη έλεγχο του οχήματος όταν είναι απαραίτητο.
- ✚ **Επίπεδο 3 – Περιορισμένη αυτόματη οδήγηση:** Τα συστήματα επιπέδου 3 είναι σε θέση να εκτελούν όλες τις πτυχές της δυναμικής οδήγησης και των λειτουργιών ασφαλείας που απαιτούνται, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης του περιβάλλοντος οδήγησης, υπό ορισμένες συνθήκες (π.χ. κυκλοφοριακή συμφόρηση στους αυτοκινητοδρόμους). Ο οδηγός δεν απαιτείται να παρακολουθεί συνεχώς τις αυτοματοποιημένες δυναμικές λειτουργίες οδήγησης όταν το σύστημα επιπέδου 3 είναι ενεργό, αλλά πρέπει να είναι σε θέση να αναλάβει τον έλεγχο όταν αυτό απαιτείται. Το σύστημα πρέπει να προειδοποιεί τον οδηγό εκ των προτέρων εάν οι συνθήκες απαιτούν μετάβαση σε χειροκίνητη λειτουργία οδήγησης.
- ✚ **Επίπεδο 4 – Πλήρως αυτόματη οδήγηση εκτός ειδικών συνθηκών:** Το όχημα είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί πλήρως αυτόματα χωρίς τη βοήθεια του οδηγού. Μόνο σε ειδικές καιρικές και κυκλοφοριακές συνθήκες ο οδηγός καλείται να μπορεί να ανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος.
- ✚ **Επίπεδο 5 – Πλήρως αυτόματη οδήγηση:** Τα συστήματα επιπέδου 5 είναι σε θέση να εκτελούν όλες τις πτυχές των δυναμικών χειρισμών του οδηγού, ανεξαρτήτως των οδικών και περιβαλλοντικών συνθηκών. Ο οδηγός απλά προγραμματίζει τον προορισμό της διαδρομής και δεν πραγματοποιεί οποιαδήποτε περαιτέρω ενέργεια. Τα οχήματα επιπέδου 5 δεν χρειάζεται να έχουν τιμόνι και πετάλια καθώς σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αναλάβουν την οδήγηση οι επιβαίνοντες τους.

Κατά καιρούς έχουν παρουσιαστεί κι άλλες εκδοχές σχετικά με την ταξινόμηση των αυτόματων οχημάτων με μικρότερη αποδοχή και αναγνωρισιμότητα από την παραπάνω (από την SAE και την NHTSA). Επομένως, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η παραπάνω κατηγοριοποίηση των οχημάτων σε έξι (6) επίπεδα αυτοματοποίησης.

Σύμφωνα με τη SAE οχήματα με συστήματα υποβοήθησης του οδηγού είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (επίπεδα 1 και 2), ενώ δοκιμάζονται αυτοματοποιημένα οχήματα που μπορούν να οδηγηθούν σε περιορισμένο αριθμό καταστάσεων οδήγησης (επίπεδα 3 και 4) και ορισμένα από αυτά αναμένεται να είναι διαθέσιμα μέχρι το 2020, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1-2 που ακολουθεί.



Εικόνα 1-2: Διείσδυση αυτόματων οχημάτων και ο ρόλος του οδηγού σε αυτά σύμφωνα με τη SAE.

1.1.3 Πιθανά Οφέλη, Κόστη και Ανοιχτά Ζητήματα από τη χρήση Αυτόματων οχημάτων

Πιθανά Οφέλη

- + **Βελτίωση της οδικής ασφάλειας**, εξοικονόμηση σημαντικών ποσών στον τομέα της υγείας και μείωση των ασφαλίσεων των αυτοκινήτων.
Βασικές αιτίες των παραπάνω αποτελούν η πλήρης τήρηση του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας, ο βέλτιστος χρόνος αντίδρασης σε μη αναμενόμενο συμβάν, καθώς και το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται η οδήγηση από τη συμπεριφορά του οδηγού (π.χ. κατανάλωση αλκοόλ, κόπωση, κλπ.)
- + **Χαμηλή κατανάλωση καυσίμου και χαμηλότερες εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον**, λόγω της πιο αποδοτικής χρήσης του κινητήρα μέσω της πραγματοποίησης πιο ομαλών επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων, αλλά και της συνολικής βελτιστοποίησης της κυκλοφορίας.
- + **Δυνατότητα μετακίνησης ανθρώπων** (ευπαθείς ομάδες, μικρά παιδιά, ηλικιωμένοι, κ.α.) και μεταφοράς εμπορευμάτων **χωρίς συνοδό**.
- + **Δυνατότητα κοινοχρησίας οχημάτων** (vehicle sharing) με συνεπαγόμενη μείωση του συνολικού αριθμού των ιδιόκτητων οχημάτων και ενδεχομένως και της κυκλοφορίας.
- + **Μείωση του κόστους στάθμευσης**, καθώς τα οχήματα θα έχουν τη δυνατότητα να μετακινούνται αυτόματα, χωρίς την παρουσία του οδηγού, σε διαφορετική περιοχή από τον προορισμό για να σταθμεύσουν.
- + **Αύξηση της χωρητικότητας** των οδών και **μειωμένη κυκλοφοριακή συμφόρηση**, λόγω της δυνατότητας των οχημάτων να μετακινούνται σε στενότερες λωρίδες σε σχέση με τις υπάρχουσες.
- + **Αύξηση της παραγωγικότητας και της άνεσης των οδηγών**. Δυνατότητα **αξιοποίησης του χρόνου μετακίνησης** με διάφορους τρόπους (εργασία, ξεκούραση κτλ.).

Πιθανά Κόστη-Προβλήματα

- Πολύ **υψηλό κόστος για την απόκτηση του εξοπλισμού** των αυτόματων οχημάτων καθώς και την **αναβάθμιση των οδικών υποδομών** (τουλάχιστον στα πρώτα χρόνια).
- Ηλεκτρονική ασφάλεια
 - × Κακόβουλες επιθέσεις (hackers)
 - × Ασφάλεια οχημάτων
- Οδική ασφάλεια
 - × Μεταβατικά στάδια
 - × Επικοινωνία με πεζούς και δικυκλιστές
- Κοινωνική διάσταση
 - × Ιδιωτικότητα/ προσωπικά δεδομένα
 - × Ηθική διάσταση
- **Απολύσεις επαγγελματιών οδηγών**, καθώς δεν θα είναι πλέον απαραίτητοι για τις μετακινήσεις τόσο ατόμων όσο και προϊόντων.

Ανοιχτά ζητήματα

- ? Κατά πόσο θα έχουν αναπτυχθεί **τεχνικά/ τεχνολογικά** τα οχήματα ώστε:
 - Να παρέχουν αξιόπιστη αντίληψη του οδικού περιβάλλοντα σε όλες τις συνθήκες
 - Να προσδιορίζουν την ακριβή θέση οχήματος (σε επίπεδο λωρίδας)
 - Να προσφέρουν ασφάλεια από κακόβουλες παρεμβάσεις
 - Να επιτρέπουν τη συνεργασία του οδηγού με το αυτόματο όχημα
 - Να υπάρχει σταδιακή μείωση του κόστους αισθητήρων
- ? Το **νομοθετικό πλαίσιο** που θα διαμορφωθεί σχετικά με τη χρήση των αυτόματων οχημάτων. Ιδιαίτερα κρίσιμο σημείο αποτελεί η ανάληψη της ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος.
- ? Η **αποδοχή των χρηστών**. Δηλαδή από το πόσο είναι διατεθειμένοι οι χρήστες να δαπανήσουν χρήματα προκειμένου να αντικαταστήσουν ή να αναβαθμίσουν με τον κατάλληλο εξοπλισμό τα οχήματά τους ώστε να μετατραπούν σε αυτόματα.

1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Τα συνδεδεμένα και αυτόματα μεταφορικά συστήματα αποτελούν το μέλλον του τομέα των μεταφορών. Τα υποσχόμενα οφέλη από την σταδιακή αντικατάσταση των υπαρχόντων μη αυτόματων οχημάτων (επίπεδων 0, 1 και 2) με αυτόματα (επίπεδα 3, 4 και 5) φαντάζουν μείζονος σημασίας. Σε όλες όμως τις σχετικές έρευνες εντοπίστηκε ως κοινό πρόβλημα ότι το πλαίσιο των αποτελεσμάτων παρουσιαζόταν σε επίπεδο συγκεκριμένης πόλης (κυρίως των Η.Π.Α) ή αφορούσε μεμονωμένες μόνο παραμέτρους. Εμφανίζεται επομένως επιτακτική η ανάγκη για τη γενίκευση αυτών των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους και επιτρέποντας τη προσαρμογή τους σε περιοχές μεγαλύτερου εύρους (π.χ. επίπεδο χωρών).

Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου που να μπορεί να εκτιμήσει τα οφέλη και τα κόστη που συνεπάγεται η διείσδυση των αυτόματων οχημάτων σε χρονικό διάστημα τριακονταετίας. Βασική προτεραιότητα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η όσον το δυνατόν μεγαλύτερη παραμετροποίησή του, προκειμένου οι διάφορες δοκιμές να πραγματοποιούνται με σχετική ευκολία και να δίνεται η δυνατότητα της χρήσης του και από διαφορετικά άτομα, σε διαφορετικά σενάρια, ανάλογα με την θεώρηση του εκάστοτε ενδιαφερόμενου σχετικά με τα ποσοστά διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής του.

Το μοντέλο εκτίμησης των ωφελειών από την εισαγωγή των αυτόματων οχημάτων αναπτύχθηκε αξιοποιώντας τη **διεθνή βιβλιογραφία** καθώς και πλήθος υφιστάμενων ερευνών και μελετών σχετικά με την επιρροή των διαφόρων επιμέρους παραμέτρων των αυτόματων οχημάτων στην μελλοντική τους ανάπτυξη.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τριών (3) σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων με το μηδενικό (χωρίς αυτόματα οχήματα) για το Ηνωμένο Βασίλειο, για το οποίο έγινε αναζήτηση και πρόβλεψη, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο, των απαραίτητων παραμέτρων. Σκοπός της παραπάνω σύγκρισης ήταν η **εύρεση της οικονομικής διαφοράς που θα υπάρξει μεταξύ των τριών σεναρίων καθώς και των παραγόντων που επιδρούν πιο σημαντικά στο τελικό ισοζύγιο οφέλη – κόστη**.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Παρακάτω παρουσιάζεται η διάταξη των κεφαλαίων της διπλωματική εργασίας και το περιεχόμενο τους.

Το **πρώτο κεφάλαιο** της εργασίας αποτελεί μια **εισαγωγή** σε σχέση με τα αυτόματα οχήματα. Αναφέρονται αρχικά οι βασικοί ορισμοί των αυτόματων οχημάτων, τα διάφορα επίπεδα αυτοματισμού καθώς και πιθανά οφέλη, κόστη και ανοιχτά ζητήματα από την ενδεχόμενη μελλοντική διείσδυσή τους. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας και η δομή της.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την **βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών** που έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις (άμεσες και έμμεσες) που ενδεχομένως να προκύψουν μελλοντικά από τη χρήση των αυτόματων οχημάτων καθώς και των διαφόρων παραγόντων που τα επηρεάζουν.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται εκτενής **αναφορά στο μοντέλο που αναπτύχθηκε** μέσω του προγράμματος excel της Microsoft Office. Συγκεκριμένα, αναλύονται οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό και γίνεται αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την εμφάνιση του μοντέλου παρατίθενται στο παράρτημα, στο τέλος της εργασίας.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται **συλλογή τιμών για την συμπλήρωση των απαιτούμενων παραμέτρων**, με σκοπό την εφαρμογή του μοντέλου στο Ηνωμένο Βασίλειο, το χρονικό διάστημα 2020 – 2050. Για την συμπλήρωσή τους αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία που εντοπίστηκαν στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αφού προηγουμένως προσαρμόστηκαν στο διάστημα εφαρμογής του μοντέλου, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές, στις περιπτώσεις όπου υπήρχε μεγάλο εύρος τιμών, καθώς και διάφορες παραδοχές.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα** από την εφαρμογή του μοντέλου στο Ηνωμένο Βασίλειο, με βάση τις τιμές των παραμέτρων που προσδιορίστηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο. Στη συνέχεια, ανά σενάριο πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ τους τόσο για κάθε παράμετρο ξεχωριστά όσο και στο σύνολο τους και εξετάζεται η επιρροή της κάθε παραμέτρου στο τελικό κόστος.

Στο **έκτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται μία σύνοψη της εργασίας και των αποτελεσμάτων της με σχολιασμό αυτών. Παρουσιάζονται συνεπώς τα **συμπεράσματα** που προέκυψαν και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα γύρω από το σχετικό αντικείμενο.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρατίθεται η **πλήρης βιβλιογραφία** που αξιοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Στο **τέλος της διπλωματικής εργασίας** παρατίθεται **παράρτημα** με τις βασικότερες εικόνες από το μοντέλο σε περιβάλλον excel.

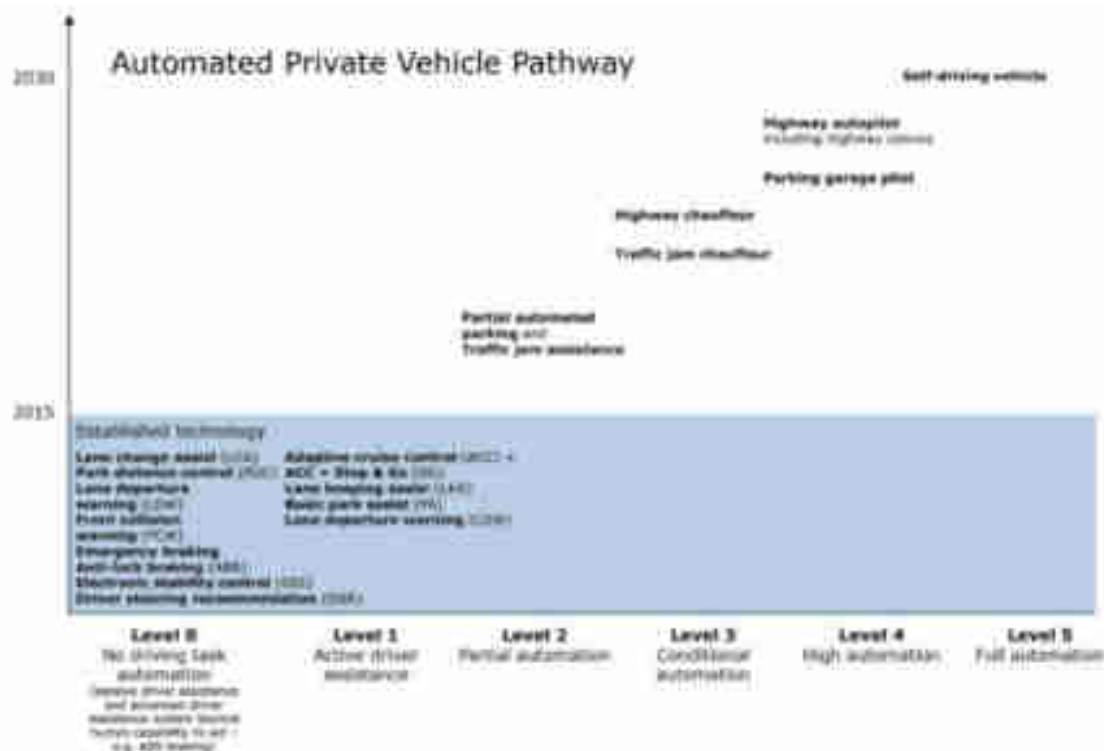
Κεφάλαιο 2 – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στο τρέχων κεφάλαιο πραγματοποιείται **ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με έρευνες που έχουν διεξαχθεί παγκοσμίως στον τομέα των αυτόματων οχημάτων (AVs)**, οι οποίες περιέχουν τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζονται για τον προσδιορισμό του εύρους των τιμών που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την ανάπτυξη του μοντέλου καθώς και την εύρεση των αναγκαίων παραμέτρων του. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται **οι επιπτώσεις που ενδεχομένως να έχει η διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στους κρισιμότερους τομείς των μετακινήσεων** (κατανάλωση καυσίμων, εκπομπές ρύπων, ασφάλεια, χρόνος μετακίνησης, απαιτούμενες υποδομές, κόστος αγοράς οχημάτων). Επιπλέον, περιλαμβάνονται αποτελέσματα άλλων ερευνών, τα οποία σε σύγκριση με αυτά που θα προκύψουν από την εφαρμογή του μοντέλου θα συμβάλλουν στην εξακρίβωση της ορθότητάς του, εφόσον αυτά συμβαδίζουν με την βιβλιογραφία και κυμαίνονται σε λογικά πλαίσια.

2.1 Διείσδυση αυτόματων οχημάτων

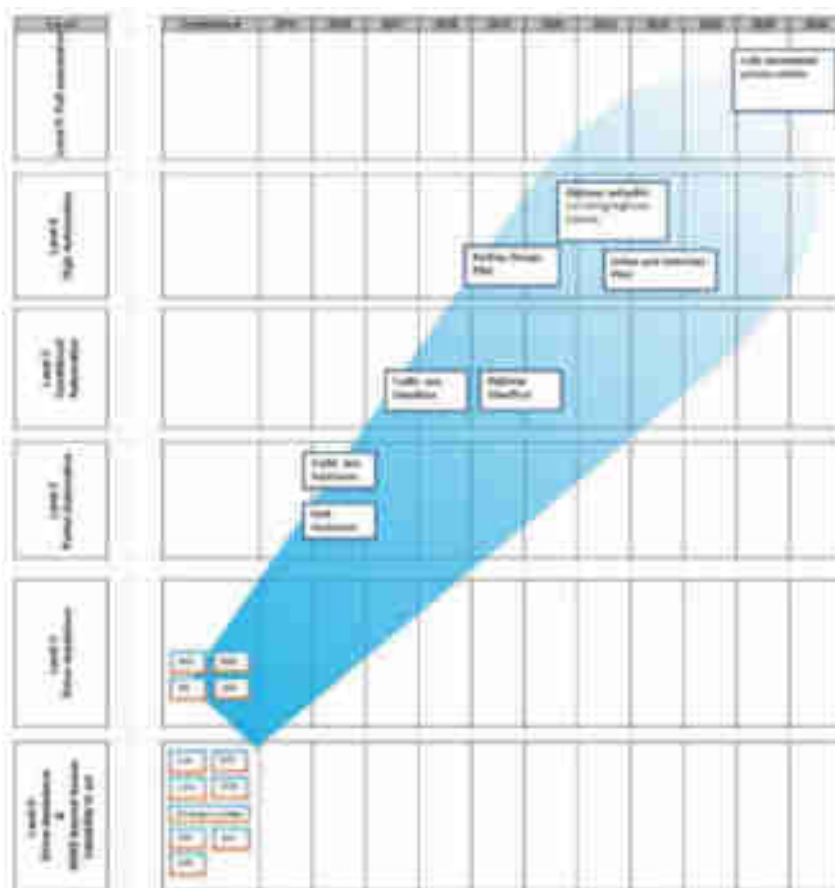
Υπάρχουν αρκετές προβλέψεις σχετικά με τη μελλοντική διείσδυση των τεχνολογιών που αφορούν τα αυτόματα οχήματα (AVs). Παρακάτω παρουσιάζονται **τα βασικά χρονοδιαγράμματα** που εντοπίστηκαν σχετικά με την ευρεία ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, με βάση τα οποία δημιουργήθηκαν τα τρία βασικά σενάρια διείσδυσης του μοντέλου (εκτός του μηδενικού).

Το Διάγραμμα 2-1 παρουσιάζει τα προβλεπόμενα χρονοδιαγράμματα για την διείσδυση των τεχνολογιών των AVs σε ιδιωτικά οχήματα. Σύμφωνα με το Διεθνές Φόρουμ Μεταφορών (International Transport Forum, 2015), προβλέπεται ότι οι τεχνολογίες επιπέδου τρία (3) θα είναι διαθέσιμες γύρω στο 2022, οι τεχνολογίες επιπέδου τέσσερα (4) γύρω στο 2027, ενώ αυτές του επιπέδου πέντε (5) από το 2030 περίπου και μετά.



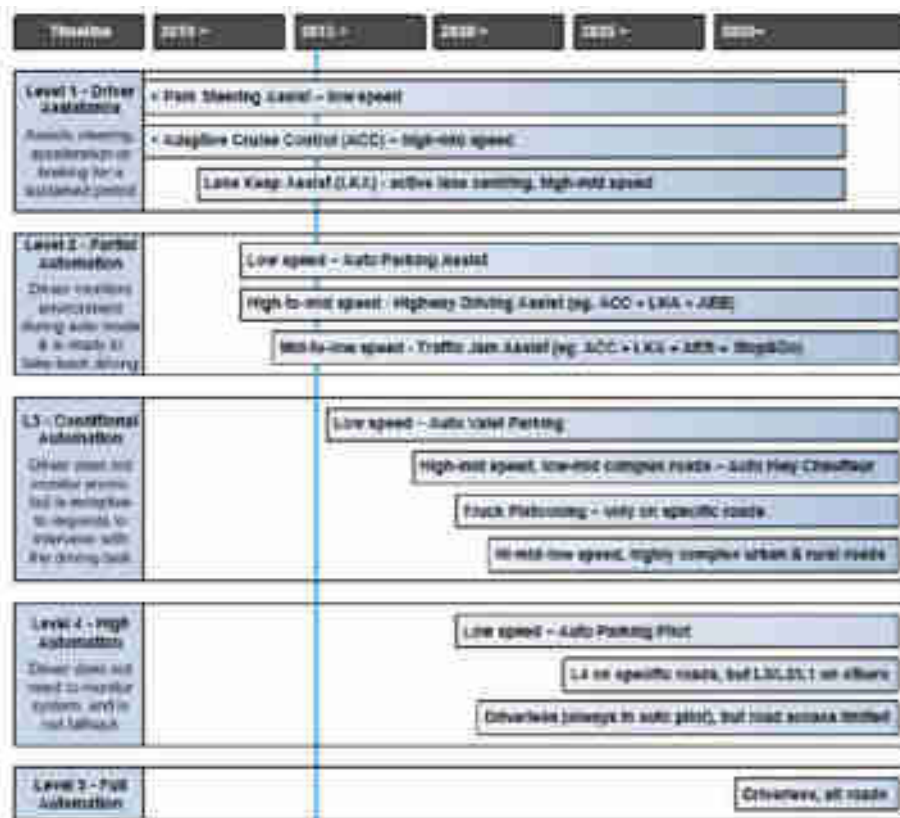
Διάγραμμα 2-1: Προβλεπόμενα χρονοδιαγράμματα για την διείσδυση των τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων (International Transport Forum, 2015).

Το Διάγραμμα 2-2 παρουσιάζει μια άλλη, πιο αισιόδοξη, σειρά προβλεπόμενων χρονικών ορίων για την ευρεία υλοποίηση των τεχνολογιών των AVs σε επιβατικά οχήματα. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Έρευνας για τις Οδικές Μεταφορές (European Road Transport Research Advisory Council, ERTRAC, 2015), προβλέπεται ότι οι τεχνολογίες επιπέδου τρία (3) θα είναι διαθέσιμες μέχρι και το 2020, οι τεχνολογίες επιπέδου τέσσερα (4) περίπου το 2022, ενώ όσον αφορά το επίπεδο πέντε (5) θα αρχίσουν να εμφανίζονται γύρω στο 2028.



Διάγραμμα 2-2: Χρονοδιάγραμμα εισαγωγής τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το ERTRAC (2015).

Η οργάνωση Austroads ύστερα από εκτενείς συζητήσεις με κατασκευαστές οχημάτων και μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες κατέληξε στο παρακάτω χρονοδιάγραμμα (Διάγραμμα 2-3), θεωρώντας το ως το πιο πιθανό όσον αφορά την εισαγωγή τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού.



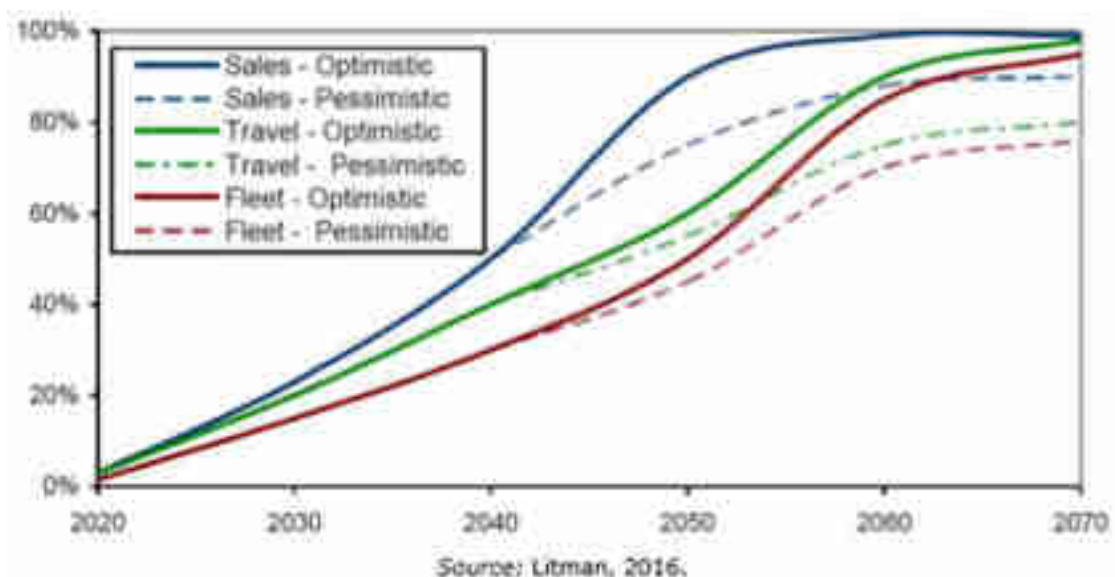
Διάγραμμα 2-3: Εισαγωγή τεχνολογιών αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με την οργάνωση Austroads.

Σύμφωνα με τον Levinson (2015) η αυτοματοποίηση επιπέδου τρία (3) θα είναι διαθέσιμη μέχρι το 2020 (π.χ. truck platooning), ενώ αυτή του επιπέδου τέσσερα (4) θα περιλαμβάνεται στα καινούργια αυτοκίνητα μέχρι το 2030 και σε όλα τα αυτοκίνητα μέχρι το 2040.

Τα Μέλη του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και οι Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (IEEE) εκτιμούν ότι **το 2040 θα είναι αυτοματοποιημένα μέχρι και το 75% όλων των οχημάτων** και ότι θα υπάρχουν αποκλειστικές λωρίδες κυκλοφορίας για να ταξιδεύουν τα αυτόματα οχήματα (IEEE, 2012).

Σε μια μελέτη του 2016 που αφορούσε τις επιπτώσεις των AVs, επισημάνθηκε ότι θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν το 50% του συνολικού αριθμού των οχημάτων έως το 2040 (με το 90% αυτών να είναι ιδιωτικά οχήματα) και να ανέλθουν στο 100% μέχρι το 2060 (με 70% ιδιωτικά οχήματα) (Chapin et al. , 2016).

Σύμφωνα με τον Litman (2016), όπως συμβαίνει στην περίπτωση άλλων τεχνολογιών στον τομέα των οχημάτων, τα AVs θα μπορούσαν να χρειαστούν μία έως τρεις δεκαετίες για να κυριαρχήσουν στις πωλήσεις οχημάτων και μία με δύο δεκαετίες για να επικρατήσουν στον αριθμό των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων. Για παράδειγμα, όπως αναπαρίσταται στο Διάγραμμα 2-4, τα AVs θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% του στόλου οχημάτων έως το 2030 και το 45% μέχρι το 2050.



Διάγραμμα 2-4: Προβλέψεις ποσοστού πωλήσεων, ταξιδιών και στόλου αυτόματων οχημάτων στο σύνολο της αγοράς σύμφωνα με τον Litman 2016.

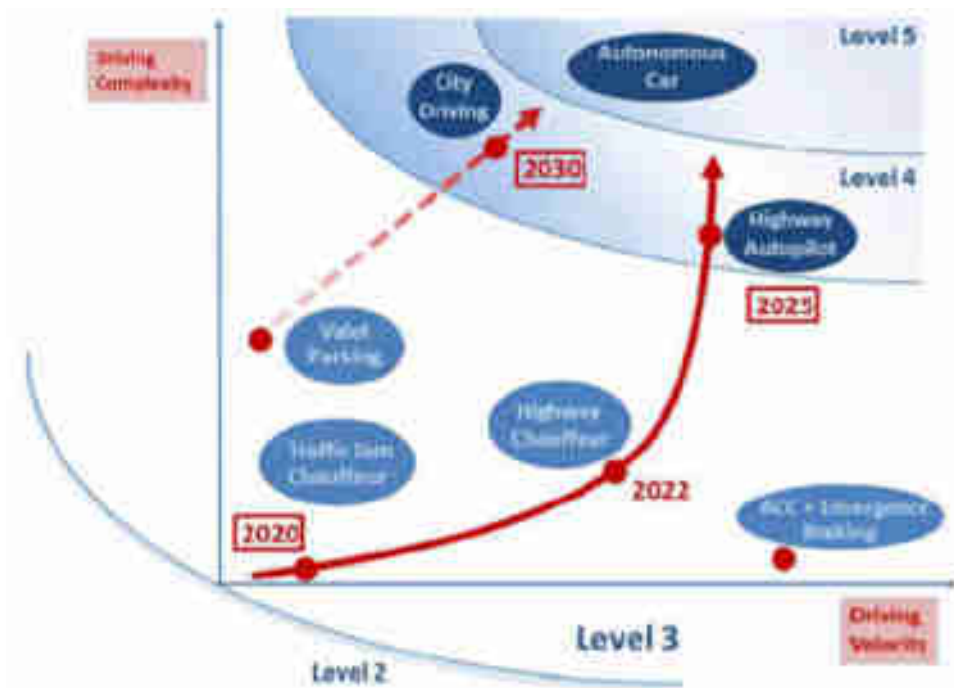
Επιπλέον, ο Litman (2015) προέβη σε συγκεκριμένες προβλέψεις της διείσδυσης των οχημάτων επιπέδων αυτοματισμού 4 και 5 στον συνολικό στόλο, με βάση τις στάσεις των καταναλωτών και τα πρότυπα εφαρμογής προηγούμενων τεχνολογιών οχημάτων (αυτόματα κιβώτια, αερόσακοι και άλλα), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1: Προβλέψεις Litman (2015) για τη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων επιπέδων 4 και 5.

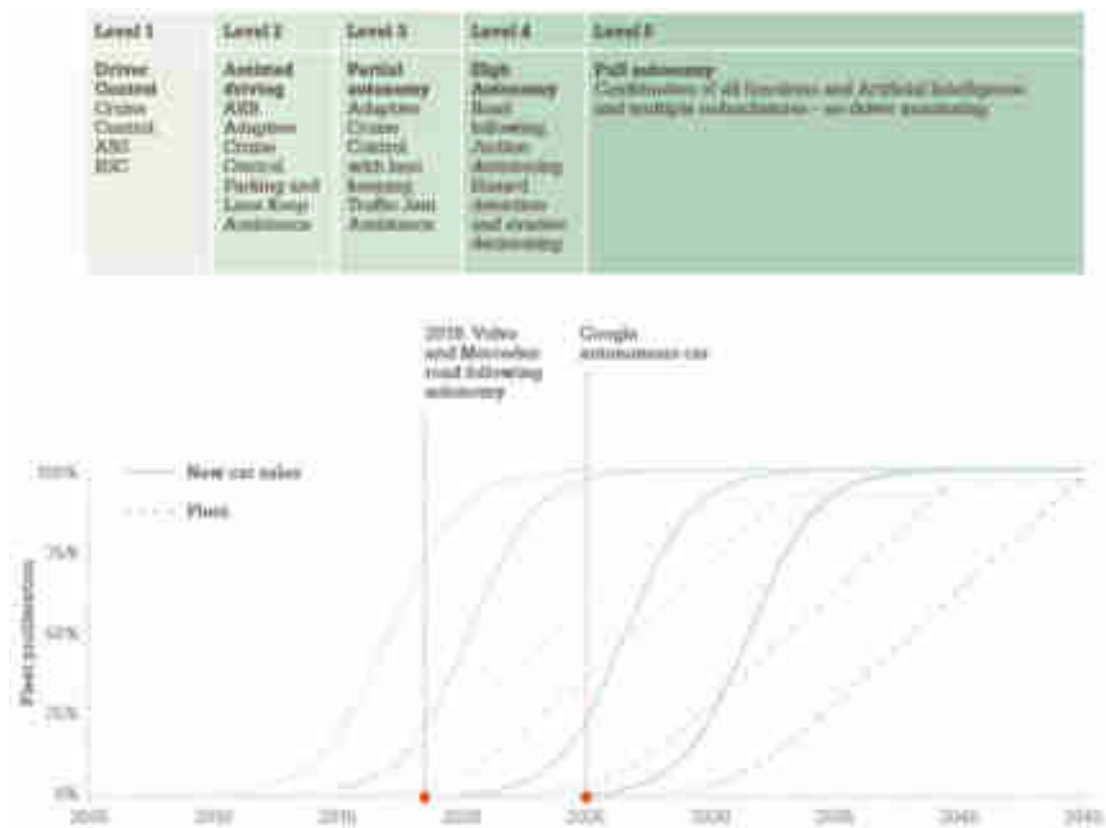
Stage	Decade	Vehicle Sales	Vehicle Fleet	Vehicle Travel
Early price premium	2020s	2-5%	1-2%	1-5%
Moderate price premium	2030s	20-40%	10-20%	10-50%
Minimal price premium	2040s	40-60%	20-40%	50-90%
Standard feature on most new vehicles	2050s	80-100%	40-60%	90-99%
Saturation (everybody who wants it has it)	2060s	?	?	?
Required for all vehicles on road	???	100%	100%	100%

Επομένως, θα υπάρξει ένα μείγμα αυτόματων και συμβατικών οχημάτων στο δρόμο για τουλάχιστον 30 χρόνια και ίσως για πάντα.

Σύμφωνα με τους Dokic et al., 2015 προβλέπονται τρεις χρονολογίες ορόσημα στον τομέα των αυτόματων οχημάτων: το 2020 για τα υπό επίβλεψη συστήματα αυτοματισμού επιπέδου τρία (3) (π.χ. Traffic Jam Chauffeur), το 2025 για τα συστήματα υψηλού αυτοματισμού οδήγησης επιπέδου τέσσερα (4) σε αυτοκινητόδρομους και το 2030 για τα συστήματα αυτοματισμού υψηλού επιπέδου τέσσερα (4) στις πόλεις (Διάγραμμα 2-5).



Διάγραμμα 2-5: Οι χρονολογίες ορόσημα στη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με τους Dokic et al., 2015.



Διάγραμμα 2-6: Γράφημα με το χρόνο που απαιτείται για να διεισδύσει κάθε νέο επίπεδο τεχνολογίας αυτοματισμού στην αγορά σύμφωνα με την έρευνα Thatcham.

Το Διάγραμμα 2-6 περιγράφει ένα προκαταρκτικό μοντέλο που δείχνει το χρόνο που απαιτείται προκειμένου κάθε νέο επίπεδο τεχνολογίας αυτοματισμού να διεισδύσει πλήρως στο στόλο των οχημάτων. Σύμφωνα με αυτό προκύπτει ότι κάθε επίπεδο θα χρειάζεται περίπου 15 χρόνια για να

επιτύχει το 100% των πωλήσεων των νέων οχημάτων. Το μοντέλο αυτό εκτιμά ότι οι πωλήσεις 100% νέων πλήρως αυτόματων οχημάτων δεν θα εμφανιστούν πριν το 2040 περίπου (Thatcham Research).

Η εταιρεία IHS Automotive (2014) σχεδιάζει τη λειτουργία οχημάτων επιπέδου τρία (3) έως το 2020, επιπέδου τέσσερα (4) έως το 2025 και πέντε (5) έως το 2030, με τα AVs να φτάνουν στο 9% των πωλήσεων το 2035 και το 90% του στόλου των οχημάτων μέχρι το 2055. Η συμβουλευτική εταιρεία Navigant, αναμένει το 75% των πωλήσεων ελαφρών οχημάτων να αυτοματοποιηθούν έως το 2035, ενώ το Ινστιτούτο Πληροφοριών Ασφαλείας (Insurance Information Institute, 2014) υποστηρίζει ότι όλα τα αυτοκίνητα θα έχουν αυτοματοποιηθεί έως το 2030.

Σύμφωνα με την εταιρεία Kelley Blue Book των Η.Π.Α. (θυγατρικός οργανισμός: Cox Automotive), από έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2016 η πλειοψηφία των οχημάτων που κυκλοφορούσαν στο οδικό δίκτυο των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής ανήκαν στο επίπεδο αυτοματοποίησης ένα (1). Συγκεκριμένα, **16% των οχημάτων ήταν επιπέδου 0, 72% επιπέδου 1 και 12% επιπέδου 2, ενώ δεν υπήρχαν ακόμα οχήματα επιπέδων 3, 4 και 5.**



Διάγραμμα 2-7: Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού το 2016 στις Η.Π.Α. (Cox Automotive).

2.2 Διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα αυτόματων οχημάτων

Τα αυτόματα οχήματα (AVs) αναμένεται να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους του ταξιδιού, σε μεγαλύτερη άνεση του χρήστη και σε δυνατότητα ευκολότερων μετακινήσεων από ευάλωτες ομάδες ατόμων. Επομένως, σε όλες τις έρευνες που μελετήθηκαν **προβλέπεται άνοδος στο μέσο αριθμό διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων (Vehicle Kilometers Traveled, VKT)**. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές πληροφορίες που συλλέχθηκαν από διάφορες ερευνητικές εργασίες:

- Οι Meyer και Deix (2014) σημείωσαν ότι εάν τα AVs επέτρεπαν στα άτομα με ειδικές ανάγκες να κάνουν το ίδιο μήκος και τον ίδιο αριθμό ταξιδιών με όχημα με τους υπόλοιπους πολίτες, ο μέσος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων θα αυξανόταν κατά περισσότερο από 50%.

- Οι Mac Kenzie et al. (2014), όπως αναφέρεται στο La Mondia et al., 2016 εκτιμούν ότι το μειωμένο κόστος του χρόνου οδήγησης σε AVs μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των χιλιομέτρων μεταξύ 30% και 160%.
- Οι Wadud et al., 2016 δείχνουν ότι οι αυξήσεις των διανυόμενων χιλιομέτρων κυμαίνονται από 4% για αυτοματοποίηση χαμηλού επιπέδου έως και 60% για υψηλού επιπέδου.
- Σύμφωνα με τους Sivak και Schoettle, 2015, η κατανομή των AVs μεταξύ των νοικοκυριών θα μπορούσε να προκαλέσει αυξημένες ανάγκες ταξιδιού ανά όχημα μέχρι και 75%, ακόμη και αν ο δείκτης ιδιοκτησίας οχήματος μειωνόταν έως και 43%.
- Οι Fagnant και Kockelman (2015) εκτιμούν ότι τα διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα θα αυξάνονταν κατά 26% για ποσοστό διείσδυσης στην αγορά αυτόματων οχημάτων 90%. Επιπλέον, η χρήση κοινόχρηστων AV που θα ταξιδεύουν κενά για να παραλαμβάνουν τους επιβάτες θα μπορούσε να επιφέρει αύξηση στην απόσταση ταξιδιού κατά 11% σε σύγκριση με τα ιδιωτικά οχήματα.
- Η ζήτηση για ταξίδια από ομάδες που δεν καλύπτονται επαρκώς (όπως νέοι, ηλικιωμένοι, άτομα με ειδικές ανάγκες και άτομα χωρίς άδεια οδήγησης) έχει εκτιμηθεί σε ετήσια αύξηση 14% του μέσου αριθμού διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων για τον αμερικανικό πληθυσμό που είναι μεγαλύτερος ή ίσος από 19 ετών (Harper et al., 2016).
- Οι Brown et al. (2015) χρησιμοποίησαν δεδομένα από την έρευνα NHTS 2009 (National Household Travel Survey, που διεξήχθη από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων (Federal Highway Administration, FHWA)) και τη μελέτη "Freedom to travel" του 2003 για να εκτιμήσουν την αύξηση των ταξιδιών για τους νέους, τους ηλικιωμένους και τα άτομα με ειδικές ανάγκες. Προέκυψε συνολική αύξηση 40% του VKT ανά όχημα λόγω της αυτόματης οδήγησης.
- Οι Wadud et al. (2016) χρησιμοποιώντας πάλι στοιχεία από τη NHTS (2009) εκτίμησαν την αύξηση των μετακινήσεων σε άτομα ηλικίας 62 ετών και άνω, που μπορεί να προκύψουν από την εισαγωγή πλήρως αυτοματοποιημένων οχημάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση κατά 2% έως 10% του VKT.
- Οι Milakis et al. (2017) ανέφεραν πιθανή αύξηση του VKT μεταξύ 3% και 27% για διάφορα σενάρια ανάπτυξης αυτόματων οχημάτων στην Ολλανδία.

Επομένως, οι περισσότερες μελέτες δείχνουν ότι τα αυτόματα οχήματα θα μπορούσαν να προκαλέσουν **σημαντική αύξηση της ζήτησης για μετακινήσεις**, λόγω αλλαγών στην επιλογή προορισμού (π.χ. μεγαλύτερα ταξίδια), στην επιλογή τρόπου μεταφοράς (προτίμηση χρήσης οχήματος σε σχέση με τις δημόσιες συγκοινωνίες και το περπάτημα) και στην εισαγωγή νέων χρηστών από ευάλωτες ομάδες (άτομα χωρίς τη δυνατότητα οδήγησης).

Επιπλέον, προβλέπεται η **δυνατότητα μείωσης του συνολικού αριθμού χρησιμοποιούμενων οχημάτων** μέσω της κοινοχρησίας τους, γεγονός που θα αναφερθεί αλλά δεν θα αναλυθεί περαιτέρω στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

- Οι Zhang, Guhathakurta, Fang (2015) και Boesch, Ciari και Axhausen (2016) υποστήριξαν μέσω υποθετικών και πραγματικών προσομοιώσεων στην πόλη Ζυρίχη της Ελβετίας ότι κάθε κοινόχρηστο αυτόματο όχημα θα μπορούσε να αντικαταστήσει περίπου δέκα με δεκατέσσερα συμβατικά οχήματα .
- Ωστόσο, σύμφωνα με τους Chen, Kockelman και Hanna (2016), αν ο χρόνος φόρτισης στην περίπτωση των ηλεκτρικών αυτόματων οχημάτων ληφθεί υπόψη, τότε το ποσοστό αντικατάστασης ιδιωτικών οχημάτων μειώνεται μεταξύ 3,7 και 6,8.
- Το Διεθνές Φόρουμ Μεταφορών (International Transport Forum, 2015), προσομοίωσε διαφορετικά σενάρια αυτοματοποιημένων συστημάτων μεταφοράς, με διαθεσιμότητα δημόσιων μεταφορών μεγάλης χωρητικότητας. Αυτή η έκθεση ανέφερε ότι τα κοινόχρηστα αυτόματα οχήματα θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν όλα τα συμβατικά οχήματα, προσφέροντας ίσα επίπεδα κινητικότητας με έως και 89,6% (65% σε ώρες αιχμής) λιγότερα οχήματα στους δρόμους.

2.3 Κατανάλωση καυσίμων αυτόματων οχημάτων

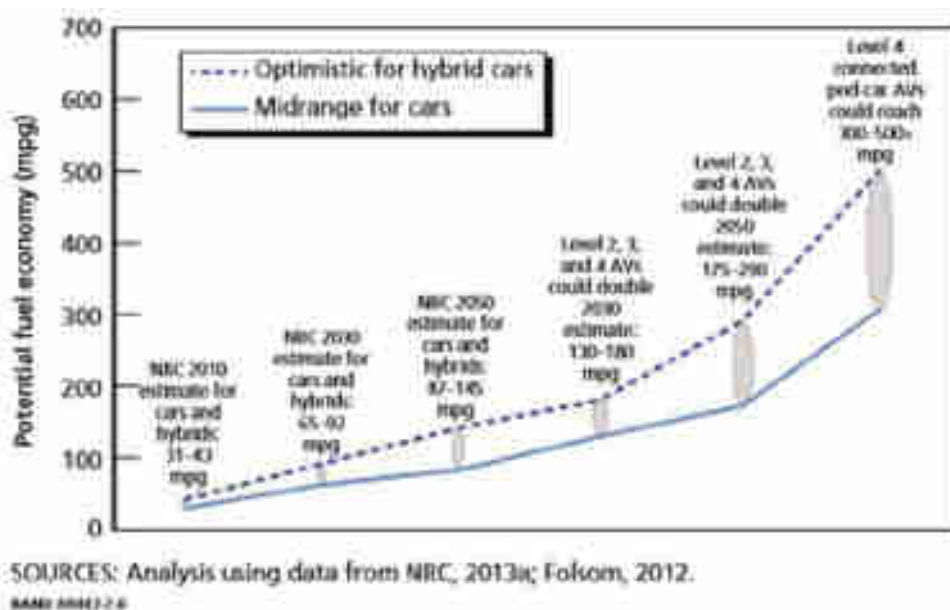
Η τεχνολογία των αυτόματων οχημάτων μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην **εξοικονόμηση καυσίμων**.

Το 2012 η μέση κατανάλωση καυσίμου των αυτοκινήτων ήταν 8,63 lt (λίτρα)/ 100km (χιλιόμετρα), ενώ η οικονομία καυσίμου των φορτηγών ήταν 12,12 lt/ 100km (United States Environmental Protection Agency, EPA, 2013b). Τα πρότυπα σύμφωνα με τους κανονισμούς των Ηνωμένων Πολιτειών (CAFE, Corporate Average Fuel Economy) ενημερώθηκαν και απαιτούν αυξημένη οικονομία καυσίμου από νέα οχήματα με σκοπό να φθάσουν κατά μέσον όρο τα 4,32 lt/ 100km το έτος 2025. Το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των Ηνωμένων Πολιτειών (NRC, National Research Council of U.S.) εκτιμά ότι οι βελτιώσεις οικονομίας καυσίμου στα συμβατικά οχήματα από σήμερα έως το 2050 θα έχουν εύρος από 130% έως και 250% (δηλαδή 2,70 μέχρι και 2,14 lt/ 100km) για αυτοκίνητα και από 140% έως 220% (δηλαδή 3,86 μέχρι και 3,05 lt/ 100km) για ελαφρά φορτηγά (NRC, 2013α, 2011). Οι μειώσεις αυτές στην κατανάλωση προέρχονται από τις βελτιώσεις του κινητήρα, από τις μειώσεις του βάρους του οχήματος καθώς και την εξομάλυνση της αντίστασης κύλισης. Τα υβριδικά οχήματα, που είναι ήδη πιο αποτελεσματικά από αυτά με τους παραδοσιακούς κινητήρες, θα έχουν ακόμα μεγαλύτερη δυνατότητα βελτίωσης της οικονομίας καυσίμου, επιτυγχάνοντας έως και 1,62 lt/ 100km.

Με τη χρήση των τεχνολογιών αυτοματισμού των επιπέδων 2, 3, 4 και 5 (οικολογική οδήγηση - π.χ. έλεγχος ταχύτητας, ομαλή και σταδιακή επιτάχυνση και επιβράδυνση) πρόκειται να βελτιωθεί η οικονομία στην κατανάλωση καυσίμου κατά 4% με 10% (NRC, 2013α). Επιπλέον, δεδομένου ότι τα συνδεδεμένα συστήματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη διακίνηση της κυκλοφορίας και να μειώσουν την απόσταση που απαιτείται για την ασφάλεια μεταξύ των οχημάτων, ενδέχεται να επέλθει αύξηση της χωρητικότητας των λωρίδων ταξιδιού και μείωση της κατανάλωσης καυσίμων εξαιτίας της συμφόρησης.

Η εταιρεία Folsom (2012) εκτίμησε ότι ένα δίκτυο με αυτόματα οχήματα θα μπορούσε να επιτρέψει κατανάλωση καυσίμων έως και 0,47 με 0,235 lt/ 100km.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εκτιμήσεις δημιουργήθηκε το Διάγραμμα 2-8 με τις προβλέψεις των καταναλώσεων για τα συμβατικά, τα υβριδικά και τα αυτόματα οχήματα.



Διάγραμμα 2-8: Προβλέψεις καταναλώσεων οχημάτων σύμφωνα με τους NRC (2013a) και Folsom (2012).

2.4 Εκπομπές ρύπων

Ο υπολογισμός των ρύπων που θα παραχθούν από τη χρήση αυτόματων οχημάτων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που προέκυψαν από τις έρευνες σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία (<http://ecoscore.be>) **προκύπτουν οι παρακάτω εκπομπές ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε τόνους (tn) ανά λίτρο καταναλισκόμενου (lt) καυσίμου ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα που διαθέτει το όχημα:**

- **Πετρελαιοκίνητα (diesel):** 1 λίτρο (lt) πετρελαίου ζυγίζει 835 γραμμάρια (g). Το πετρέλαιο αποτελείται από 86,2% άνθρακα, δηλαδή από 720 g άνθρακα ανά λίτρο. Για να πραγματοποιηθεί καύση αυτού του άνθρακα σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) απαιτούνται 1.920 g οξυγόνου. Από το άθροισμα προκύπτει 720 + 1.920 = 2.640 γραμμάρια CO₂ / λίτρο πετρελαίου → **0,002640 tn CO₂/ lt diesel**.
- **Βενζινοκίνητα (petrol):** 1 λίτρο (lt) βενζίνης ζυγίζει 750 γραμμάρια (g). Η βενζίνη αποτελείται από 87% άνθρακα, δηλαδή 652 g άνθρακα ανά λίτρο. Για την καύση αυτού του άνθρακα σε CO₂ απαιτούνται 1.740 g οξυγόνου. Το άθροισμα είναι τότε 652 + 1.740 = 2.392 γραμμάρια CO₂ / lt βενζίνης → **0,002392 tn CO₂/ lt petrol**.
- **Υγραέριο (LPG):** 1 λίτρο (lt) υγραερίου ζυγίζει 550 γραμμάρια (g). Το υγραέριο αποτελείται από 82,5% άνθρακα, δηλαδή 454 g άνθρακα ανά λίτρο. Για την καύση αυτού του άνθρακα σε CO₂ απαιτούνται 1.211 g οξυγόνου. Το άθροισμα είναι τότε 454 + 1.211 = 1.665 γραμμάρια CO₂ / lt LPG → **0,001665 tn CO₂/ lt LPG**.
- **Φυσικό αέριο (CNG):** Το CNG είναι αέριο καύσιμο το οποίο αποθηκεύεται υπό υψηλή πίεση. Υπάρχουν δύο κατηγορίες φυσικού αερίου, το αέριο χαμηλής και υψηλής θερμιδικής αξίας (low and high calorific gas, L and H gas), οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση και την προέλευση του. Οι εκπομπές ρύπων CO₂ ανά kg φυσικού αερίου υψηλής (H) θερμογόνου δύναμης είναι υψηλότερες από τις εκπομπές αυτού της χαμηλής (L). Παρ' όλα αυτά το αέριο H περιέχει περισσότερη ενέργεια και συνεπώς θα χρειαστούν λιγότερα kg αερίου σε σχέση με το αέριο L. **Πρακτικά λοιπόν εξασφαλίζεται ότι οι μέσες εκπομπές CO₂ από τα οχήματα CNG είναι ουσιαστικά ανεξάρτητες από τον χρησιμοποιούμενο τύπο αερίου.**

Φυσικό αέριο χαμηλής θερμιδικής αξίας: 1 kg αερίου L (Low gas) αποτελείται από 61,4% άνθρακα ή 614 γραμμάρια άνθρακα. Για την καύση αυτού του άνθρακα σε CO₂ απαιτούνται 1.638 γραμμάρια οξυγόνου. Το άθροισμα είναι τότε 614 + 1.638 = 2.252 γραμμάρια CO₂/ kg αερίου L → **0,002252 tn CO₂/ kg CNG**.

Φυσικό αέριο υψηλής θερμιδικής αξίας: 1 kg αερίου H (High gas) αποτελείται από 72,7% άνθρακα ή 727 γραμμάρια άνθρακα. Για την καύση αυτού του άνθρακα σε CO₂, χρειάζονται 1.939 γραμμάρια οξυγόνου. Το άθροισμα είναι τότε 727 + 1.939 = 2.666 γραμμάρια CO₂/ kg αερίου H → **0,002666 tn CO₂/ kg CNG**.

Επομένως, λαμβάνεται ο μέσος όρος → 0,002459 tn CO₂/ kg CNG

- **Υβριδικά οχήματα μέση εκπομπή ρύπων :** 49,05 g CO₂/ km
Αν υποθέσουμε μέση κατανάλωση 5 lt/ 100 km, τότε προκύπτει:
49,05 g/ km / (5 lt /100 km) = 981 gr CO₂/ lt καυσίμου→ **0,000981 tn CO₂/ lt καυσίμου**.

Οι παραπάνω τιμές πολλαπλασιαζόμενες με την προβλεπόμενη κατανάλωση καυσίμου σε λίτρα (lt) ανά όχημα οδηγούν στον υπολογισμό των παραγόμενων ρύπων CO₂ σε τόνους (tn).

2.5 Οφέλη αυτόματων οχημάτων στην ασφάλεια

Ένα από τα κρισιμότερα υποσχόμενα οφέλη από την μελλοντική διείσδυση των τεχνολογιών των αυτόματων οχημάτων αποτελεί η **μείωση των τροχαίων ατυχημάτων**. Παρακάτω παρατίθενται οι πιο σημαντικές έρευνες που εντοπίστηκαν σχετικά με τις μειώσεις που θα επέλθουν από τη χρήση τόσο των Συνεργατικών Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS), που αφορούν κυρίως τα επίπεδα αυτοματισμού 1 και 2, όσο και από την αυτόματη οδήγηση (Επίπεδα αυτοματισμού 3, 4 και 5).

Τα Συνεργατικά Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (C-ITS) έχουν σημαντικές δυνατότητες να μειώσουν τον κίνδυνο οδικών ατυχημάτων και τραυματισμών. Μέσω της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε ότι η Εθνική Αρχή Ασφάλειας της Οδικής Κυκλοφορίας (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) εκτιμά ότι η ανάπτυξη δύο εφαρμογών V2V (vehicle-to-vehicle), της βοήθειας κίνησης διασταυρώσεων (Intersection Movement Assist, IMA) και της βοήθειας αριστερής/ δεξιάς στροφής (Left Turn Assist, LTA / Right Turn Assist, RTA) θα μπορούσε να αποτρέψει 41-55% των συντριβών σε διασταυρώσεις και 36-62% σε στροφές.

Πίνακας 2-2: Οι τεχνολογίες των οχημάτων που περιλαμβάνονται στις εφαρμογές των C-ITS (Source: US Department of Transportation ITS Joint Program Office).

Καθορίστηκαν από τη βιβλιογραφία έξι μεγάλες κατηγορίες εφαρμογών C-ITS με βάση το εύρος των διαφόρων προβλημάτων που κάθε μία επιδιώκει να αντιμετωπίσει.

1. Αποφυγή σύγκρουσης και ανίχνευση κινδύνου (Collision avoidance and hazard detection)
2. Ασφάλεια του οδικά ευάλωτου χρήστη (Vulnerable road user safety)
3. Σηματοδότηση επί οχημάτων (In-vehicle signage)
4. Συστήματα προειδοποίησης επικινδυνότητας λόγω καιρικών συνθηκών (Road weather alert systems)
5. Συστήματα ειδοποίησης μετά τη συντριβή (Post-crash notification systems)
6. Κινητικότητα και οικολογική οδήγηση (Mobility and eco-driving)

C-ITS Application	V2V	V2I	V2X
Collision Avoidance & Hazard Detection	- Intersection Movement Assist (signalised and unsignalised) - Left (Right) Turn Assist - Cooperative Forward Collision Warning (lane vehicle warning, stationary vehicle warning) - Electronic Emergency Brake Lights - Overtake-to-Pass Warning - Blind Spot/Lane Change Warning - Emergency Vehicle Approach Warning	- Red Light Violation Warning - Stop Sign Violation Warning - Rail Level Crossing Warning - Curve Speed Warning - Headwinds Warning - Incident Warning - Reduced Speed Zone Warning - Wrong Way Driving Warning - Low-Structure Warning - Queue Warning	
Vulnerable Road User Safety	Motorcycle Approaching Indication	Identification of Disabled Motorist (pedestrians)	- Pedestrian Detection - Intelligent Pedestrian Traffic Signal - Mobile Accessible Pedestrian Signal System - Cooperative Intersection Safety for cyclists - Cooperative Intersection Safety for pedestrians
In-vehicle Signage		- Speed Zone Warning - Stop Sign Warning - Service Signs - Directional Signs	
Road Weather Alert Systems		- Event (Weather Impact) Warning - Road Surface Condition Warning	
Post-Crash Notification Systems		- eCall - Advanced Automatic Crash Notification (AACN)	
Mobility & Eco-driving	Cooperative Adaptive Cruise Control	- Dynamic Speed Harmonization - Signal prioritisation of public transport, emergency vehicles, freight vehicles, eco-vehicles - Energy efficient intersection system - Parking Spot Locator	- Advanced Traveler Information Systems - Vehicle as probes (collected network wide traffic information for traffic management) - Parking Spot Locator (using Cloud)

Στον Πίνακα 2- 2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες που περιλαμβάνονται σε κάθε μία από τις εφαρμογές των C-ITS, σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α (US Department of Transportation ITS Joint Program Office).

Οι ευρωπαϊκές εκτιμήσεις υποδηλώνουν ότι οι εφαρμογές C-ITS θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μείωση κατά 16% των θανάτων και κατά 9% των τραυματισμών, ενώ ο οργανισμός Austroad προέβλεπε μείωση κατά 23% των θανάτων και 28% των τραυματισμών σε ένα επιθετικό σενάριο εισαγωγής τους.

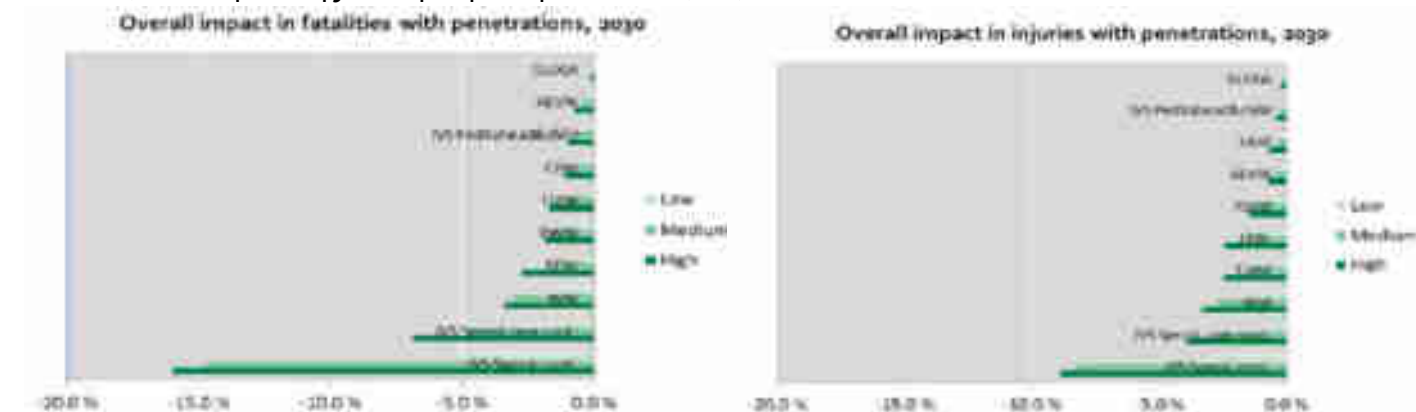
Σύμφωνα με εκτιμήσεις των Ηνωμένων Πολιτειών τα συνδυασμένα συστήματα V2V και V2I μπορούν δυνητικά να απευθυνθούν στο 81% όλων των οχημάτων που συγκρούονται ετησίως (83% των ελαφρών οχημάτων και 72% των βαρέων φορτηγών).

Πιο πρόσφατα, οι εκτιμήσεις για τη μείωση των ατυχημάτων λόγω των εφαρμογών C-ITS προέρχονται από το πρόγραμμα DRIVE C2X, το οποίο παρείχε μια πανευρωπαϊκή αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων ασφαλείας και αποδοτικότητας οκτώ εφαρμογών C-ITS. Οι δοκιμές διεξήχθησαν σε επτά δοκιμαστικούς σταθμούς σε όλη την Ευρώπη με τη συμμετοχή 750 οδηγών (Schulze et al., 2014). Στο πλαίσιο του έργου διεξήχθη εκτίμηση των επιπτώσεων στην ασφάλεια οκτώ εφαρμογών C-ITS τόσο σε θανατηφόρα ατυχήματα όσο και ατυχήματα με τραυματίες για τα έτη 2020 και 2030 (K. Malone et al., 2014).

Οι αξιολογούμενες εφαρμογές C-ITS περιλάμβαναν:

- Προειδοποίηση έκτακτης ανάγκης προσέγγισης οχήματος (Approaching emergency vehicle warning, AEVW)
- Προειδοποίηση βλάβης αυτοκινήτου (Car breakdown warning, CBW)
- Προειδοποίηση φώτων φρένων έκτακτης ανάγκης (Electronic emergency brake light warning, EEBL)
- Συμβουλές για τη βέλτιστη ταχύτητα (Green light optimal speed advisory, GLOSA)
- Σηματοδότηση επί οχήματος (In-vehicle signage, IVS) – Ειδοποιήσεις σχετικά με το όριο ταχύτητας, την ύπαρξη διάβασης πεζών και σημάτων παραχώρησης προτεραιότητας / στάσης
- Προειδοποίηση οδικών έργων (Road works warning, RWW)
- Προειδοποίηση κυκλοφοριακής συμφόρησης (Traffic jam ahead warning, TJAW)
- Προειδοποίηση καιρικών συνθηκών (Weather warning, WW)

Στο Διάγραμμα 2- 9 παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες επιπτώσεις ασφάλειας των οκτώ εφαρμογών C-ITS από το πρόγραμμα DRIVE C2X το 2030 για διαφορετικά επίπεδα διείσδυσης τους. Η πιο αποτελεσματική εφαρμογή από την άποψη της μείωσης των συγκρούσεων ήταν η προειδοποίηση σχετικά με το όριο ταχύτητας (IVS), αποτρέποντας το 16% των θανάτων και το 8,9% των τραυματισμών. Στις άλλες εφαρμογές προέκυψαν εκτιμώμενες μειώσεις θνησιμότητας μεταξύ 0,1 - 3,4% και μείωσης των τραυματισμών κατά 0,2-3,3%.



Διάγραμμα 2-9: Μειώσεις θανατηφόρων και μη ατυχημάτων μέσω των εφαρμογών C-ITS σύμφωνα με το πρόγραμμα DRIVE C2X το 2030 για διάφορα σενάρια διείσδυσης οχημάτων, το χαμηλό (Low, 19,88%), το μεσαίο (Medium, 68,68%) και το υψηλό (High, 75,60%) (K. Malone et al., 2014).

Η εισαγωγή της αυτόματης οδήγησης (AD), που προσφέρουν τα επίπεδα 3, 4 και 5 αναμένεται να αποφέρει σημαντικά οφέλη για την ασφάλεια, ιδίως όσο το επίπεδο αυτοματισμού αυξάνεται. Η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Οδικής Κυκλοφορίας των Η.Π.Α. (US Federal Highway Administration) προέβλεψε ότι το 50-80% των συντριβών αυτοκινητοδρόμων θα μπορούσε να εξαλειφθεί με την εισαγωγή Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Αυτοκινητοδρόμων (Automated Highway Systems, AHS). Η αυτοματοποιημένη πέδηση έκτακτης ανάγκης (Automated Emergency Braking, AEB), για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις νοτιομετωπικές συγκρούσεις κατά 35% έως και 41%.

Μια πιο γενική εκτίμηση παρέχεται από τους Fagnant και Kockelman (2015) που πρότειναν ότι με βάση το γεγονός ότι πάνω από το 40% των θανατηφόρων ατυχημάτων στις ΗΠΑ προέρχονται από κάποιον από τους παρακάτω παράγοντες, αλκοόλ, απόσπαση της προσοχής, συμμετοχή σε φάρμακα ή / και κόπωση, τα αυτόματα οχήματα που δεν επηρεάζονται από αυτούς, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν τουλάχιστον σε μείωση κατά 40% των θανατηφόρων ατυχημάτων.

Ωστόσο, ακόμα και σε αρκετά αυτοματοποιημένα συστήματα οδήγησης επιπέδων 0 και 1, με δυνατότητα ανάπτυξης σε συστήματα επιπέδου 2, έχουν αποδειχθεί σημαντικά οφέλη ως προς την ασφάλεια. Οι δοκιμές μεγάλης κλίμακας της τεχνολογίας Έξυπνης Προσαρμογής της Ταχύτητας (Intelligent Adaptation Speed, ISA), οι οποίες ειδοποιούν αυτόματα τους οδηγούς ή περιορίζουν την ταχύτητα του οχήματος όταν έχει σημειωθεί υπέρβαση του ορίου της, έχουν διαπιστώσει, για παράδειγμα, ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο θα μπορούσαν να μειώσουν τους τραυματισμούς έως και 20% και τις θανατηφόρες συγκρούσεις έως και 37%, ενώ η ανάπτυξη ενός δυναμικού περιοριστικού συστήματος ISA θα ελάττωνε τους τραυματισμούς κατά 36% και τις θανατηφόρες συγκρούσεις κατά 59% (Carsten et al. 2008, Carsten & Tate, 2005).

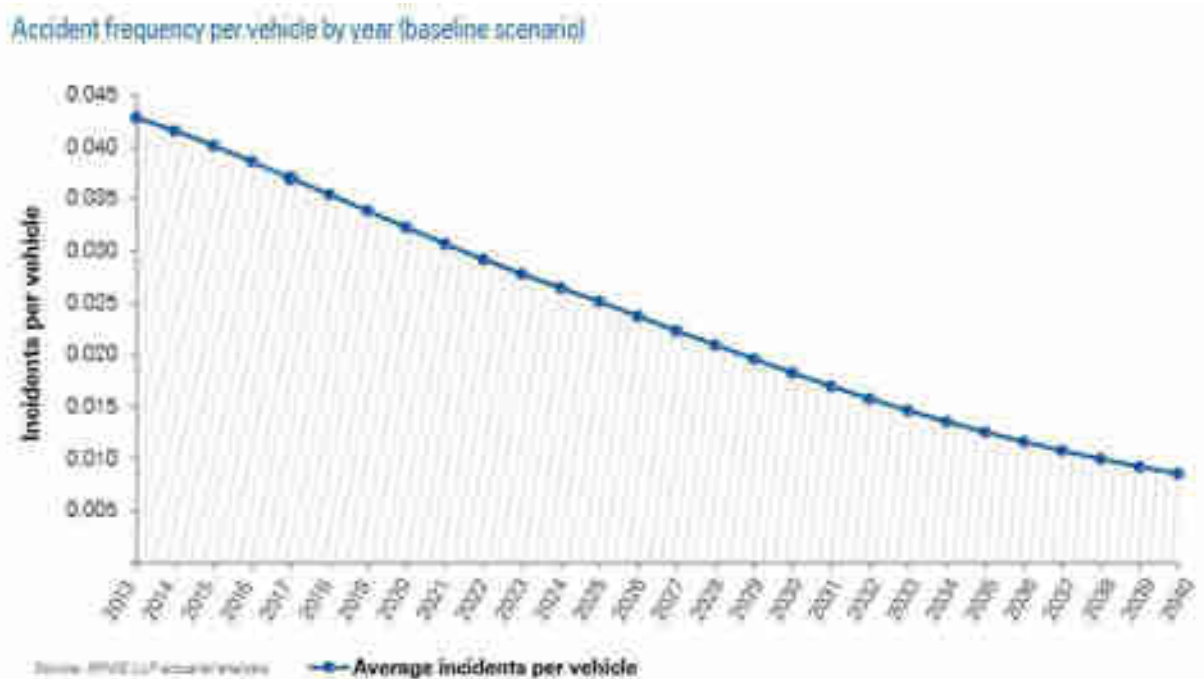
Η Austroads επέλεξε τέσσερις εφαρμογές C-ITS και δύο εφαρμογές αυτόματης οδήγησης (AD) με τα υψηλότερα αναμενόμενα οφέλη για τη μείωση των συγκρούσεων και δημιούργησε έναν πίνακα που τα συνοψίζει (Πίνακας 2-3):

- Προειδοποίηση σύγκρουσης προς τα εμπρός (Cooperative Forward Collision Warning, CFCW): Εφαρμογή V2V
- Βοήθεια κίνησης διασταυρώσεων (IMA): Εφαρμογή V2V
- Σύστημα υποβοήθησης δεξιάς / αριστερής στροφής (RTA/ LTA): Εφαρμογή V2V
- Προειδοποίηση ταχύτητας καμπύλης (Curve Speed Warning, CSW): Εφαρμογή V2I
- Βοήθεια για τη διατήρηση της λωρίδας κυκλοφορίας (Lane Keeping Assist, LKA): Αυτοματοποιημένη εφαρμογή οδήγησης
- Αυτόματη πέδηση έκτακτης ανάγκης (Auto Emergency Braking, AEB): Αυτοματοποιημένη εφαρμογή οδήγησης

Πίνακας 2-3: Σύνοψη αποτελεσμάτων από τη χρήση εφαρμογών C-ITS και AD σύμφωνα με την Austroads.

Technology	Estimated effectiveness range (human intervention)	Estimated effectiveness range (automated intervention)
Cooperative Forward Collision Warning	20-32%	22-69%*
Curve Speed Warning	19-29%	-
Intersection Movement Assist	33-51%	56-88%*
Right Turn Assist	27-42%	54-85%*
Lane Keep Assist	-	20-41%
Auto Emergency Braking	-	44-56%

Η εταιρεία KPMG λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες πραγματοποίησε μια πρόβλεψη των ατυχημάτων έως και το έτος 2040. Συγκεκριμένα, υπολόγισε τη δυνατότητα της συνολικής μείωσης των ατυχημάτων μέχρι και 80%, οδηγώντας δηλαδή σε 0,009 ατυχήματα ανά όχημα, όπως φανερώνεται και στο Διάγραμμα 2-10.

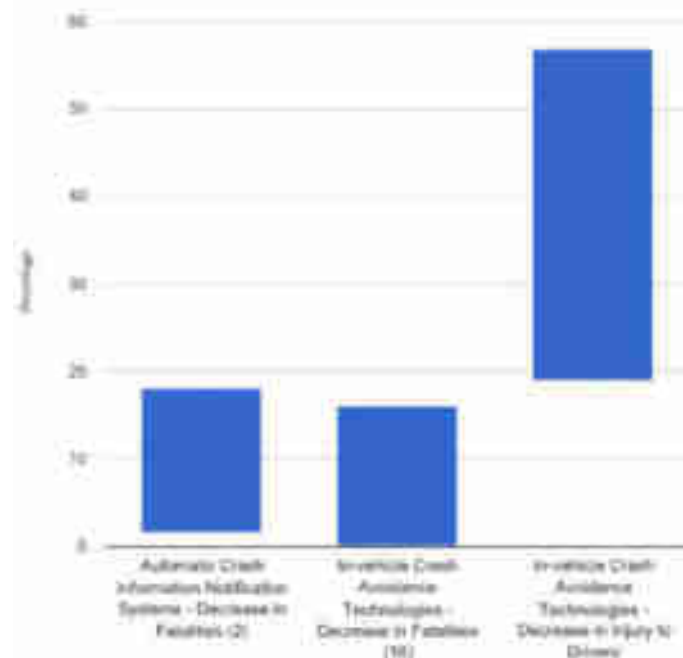


Διάγραμμα 2-10: Πρόβλεψη συχνότητας ατυχημάτων ανά όχημα από την KPMG.

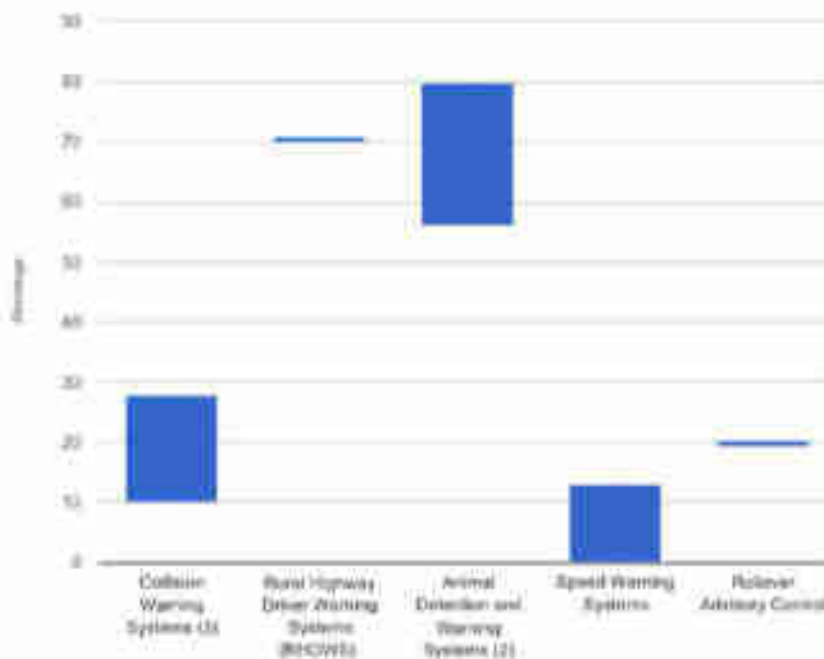
Μια έκθεση που εκπονήθηκε για την Ρυθμιστική Αρχή Ασφαλίσεων της Νέας Νότιας Ουαλίας (NSW, State Insurance Regulatory Authority, Finity Consulting, 2016) εκτιμά ότι η υιοθέτηση αυτόματων οχημάτων στην Αυστραλία θα οδηγούσε σε μείωση της πιθανότητας τραυματισμών για οδηγούς και επιβάτες κατά 80%, για ποδηλάτες κατά 70%, για μοτοσικλετιστές κατά 40% και για πεζούς κατά 45%.

Επιπλέον, μια ανάλυση από τον οργανισμό NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) διαπίστωσε ότι ο ρυθμός σύγκρουσης για ημι-αυτόματα οχήματα Tesla με εγκατεστημένη την τεχνολογία αυτόματης οδήγησης (Autopilot) μειώθηκε κατά σχεδόν 40%, συγκριτικά με τα συμβατικά οχήματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαγράμματα (2-11, 2-12) με το εύρος των πλεονεκτημάτων από τη χρήση τεχνολογιών τόσο αποφυγής όσο και προειδοποίησης συγκρούσεων (U.S. Department of Transportation, ITS Knowledge Resources).



Διάγραμμα 2-11: Εύρος των πλεονεκτημάτων από τη χρήση τεχνολογιών αποφυγής συγκρούσεων (Πηγή: ITS Knowledge Resources).



Διάγραμμα 2-12: Εύρος των πλεονεκτημάτων από τη χρήση συστημάτων προειδοποίησης σύγκρουσης (Πηγή: ITS Knowledge Resources).

2.6 Επιπτώσεις των αυτόματων οχημάτων στο χρόνο ταξιδιού

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε πληθώρα ερευνών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις που ενδεχομένως να επέλθουν από τη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων τόσο στο χρόνο που θα απαιτείται για τις μετακινήσεις όσο και την αξία που αυτός θα έχει. Από το σύνολο της βιβλιογραφίας **προέκυψε ένα εύρος τιμών σχετικά με το ποσοστό μείωσης που θα υπάρξει στις καθυστερήσεις κατά τη διάρκεια των μετακινήσεων καθώς και της μείωσης της αξίας του χρόνου** λόγω της δυνατότητας παράλληλης αξιοποίησής του.

Σύμφωνα με την έρευνα των ATKINS (Connected & Autonomous Vehicles And Traffic Flow Summary - 2016) υποδεικνύονται μειώσεις στις καθυστερήσεις της τάξης του 7% για 50% διείσδυση των συνδεδεμένων αυτόματων οχημάτων (Connected Automated Vehicles, CAVs), 17% για διείσδυση 75% και έως και 40% για έναν πλήρως αυτοματοποιημένο στόλο οχημάτων. Οι αστικές περιοχές με χαμηλότερα όρια ταχύτητας μπορούν να ωφεληθούν περισσότερο από τις παραπάνω μειώσεις. Τα αποτελέσματα για το αστικό περιβάλλον υποδήλωσαν αρχικά οφέλη από μείωση των καθυστερήσεων άνω του 12% με 25% διείσδυση των CAVs, φτάνοντας το 30% με έναν πλήρως αυτοματοποιημένο στόλο οχημάτων.

Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι ο χρόνος ταξιδιού μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του ποσοστού διείσδυσης του συστήματος προσαρμογής της ταχύτητας (Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC). Ο Ngoduy (2012) δήλωσε ότι ένα ποσοστό διείσδυσης 30% του συγκεκριμένου συστήματος θα μπορούσε να ελαττώσει ιδιαίτερα τα κύματα των επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων των οχημάτων και να σταθεροποιήσει την κυκλοφορία κοντά σε μια συγκεκριμένη κίνηση, μειώνοντας έτσι τον χρόνο ταξιδιού έως και 35%.

Οι Ilgin Guler, Menendez και Meier (2014) σε έρευνα που πραγματοποίησαν θεώρησαν ότι ένα μέρος των οχημάτων ήταν εφοδιασμένο με έναν αλγόριθμό ελέγχου διασταύρωσης και έλεγξαν τις επιπτώσεις στις καθυστερήσεις για δύο μονόδρομους. Οι προσομοιώσεις τους αποκάλυψαν μείωση έως και 60% της μέσης καθυστέρησης ανά αυτοκίνητο, όταν ο βαθμός διείσδυσης των οχημάτων εξοπλισμένων με σύστημα ελέγχου έφτασε στο 60%.

Παράλληλα, λόγω της "ευκολότερης οδήγησης", η αξία του χρόνου ταξιδιού (Value Of Travel Time, VOTT) του οδηγού (ή η προθυμία του να πληρώσει για να εξοικονομήσει χρόνο ταξιδιού) αναμένεται να μειωθεί κατά 20% έως 50% ή περισσότερο, οδηγώντας σε μείωση και το αντίστοιχο γενικευμένο κόστος οδήγησης (CTR, Bringing Smart Transport to Texans 2018).

Οι επιβάτες σε πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα θα είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιούν το χρόνο ταξιδιού εντός του οχήματος για να δουλεύουν και να "παίζουν" στο όχημά τους. Ο Ian Wallis και οι συνεργάτες του (2014) πραγματοποίησαν μια σύνοψη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας σχετικά με την αξία του χρόνου των οδηγών των οχημάτων σε σύγκριση με τους υπόλοιπους επιβάτες. Εντόπισαν μόνο πέντε μελέτες που αντιμετωπίζουν άμεσα αυτό το θέμα και μόνο μία από αυτές τις μελέτες εξέταζε τις μεμονωμένες κοινωνικές διαφορές, όπως το εισόδημα και την ηλικία. Σε μια μελέτη του Ηνωμένου Βασιλείου, προέκυψε ότι η αξία του χρόνου του επιβάτη είναι ίση με το 63% αυτής του οδηγού για ταξίδια με ταξί, το 75% για άλλα ταξίδια αναψυχής και το 78% για τα επαγγελματικά ταξίδια (Hague Consulting Group, 1999). Μια μελέτη που διεξήχθη στην Αυστραλία, η οποία βασίστηκε σε έρευνα δήλωσης προτιμήσεων, διαπίστωσε ότι η αξία του χρόνου ταξιδιού των επιβαίνοντων είναι το 75% αυτής των οδηγών (Hensher, 1984). Τα αποτελέσματα των δηλώσεων προτίμησης που πραγματοποιήθηκαν στη Σουηδία δεν έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ της αξίας του χρόνου ταξιδιού των επιβατών και των οδηγών (Ian Wallis Associates, 2014). Στη Δανία, από έρευνα προτιμήσεων προέκυψε ότι η αξία του χρόνου των επιβατών του ταξιδιού είναι 67% εκείνης του οδηγού, ενώ στην Ισπανία είναι 82% για ταξίδια εργασίας / εκπαίδευσης και 69% για όλους τους άλλους σκοπούς ταξιδιού (Roman et al., 2007, αναφορά στο Ian Wallis Associates, 2014).

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών ποικίλλουν, αλλά το εύρος της αξίας του χρόνου των επιβατών των οχημάτων λαμβάνεται μεταξύ του 75% με 82% της αξίας του χρόνου του οδηγού.

Τέλος, οι Milakis, Snelder, van Arem, van Wee και Correia (2017) ανέφεραν πιθανή μείωση της αξίας του χρόνου μεταξύ 1% και 31% για χρήστες αυτόματων οχημάτων (επίπεδο 3 και άνω) σε διάφορα σενάρια ανάπτυξης αυτοματοποιημένων οχημάτων στην Ολλανδία.

2.7 Απαιτούμενες υποδομές για την υποστήριξη αυτόματων οχημάτων

Ιδιαίτερα κρίσιμος παράγοντας για την αποτελεσματική διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στην αγορά καθώς και την αποκόμιση των μεγίστων οφελών από τη χρήση τους αποτελεί η **προσαρμογή των υποδομών στις νέες αυτές τεχνολογίες**.

Σύμφωνα με το 'National Connected Vehicle Field Infrastructure Footprint Analysis' (Final Report, 2014) για να πραγματοποιηθεί σύνδεση και συνεργασία μεταξύ υποδομής - οχημάτων απαιτούνται αρκετά στοιχεία όπως τα παρακάτω:

- **Εξοπλισμός οδικής επικοινωνίας** (DSRC, Dedicated Short Range Communication, ή άλλες ασύρματες υπηρεσίες), τροφοδοσία και σύνδεση στο δίκτυο. Η DSRC είναι μια αμφίδρομη ασύρματη επικοινωνία που έχει τη δυνατότητα μετάδοσης πολύ υψηλών δεδομένων και καθίσταται κρίσιμη για τη διατήρηση της ασφάλειας.
- **Σύστημα ελέγχου των φάσεων της κίνησης** για εφαρμογές που απαιτούν δεδομένα των φάσεων του σήματος και συγχρονισμού (signal phase and timing, SPaT).
- Συστήματα και διαδικασίες που απαιτούνται για τη **διασφάλιση ενός αξιόπιστου δικτύου**.
- **Υπηρεσίες χαρτογράφησης** που παρέχουν με μεγάλη λεπτομέρεια στοιχεία για τη γεωμετρία του οδικού δικτύου, τη σήμανση και τις θέσεις των συνδεδεμένων οχημάτων.
- **Υπηρεσίες προσδιορισμού της τοποθεσίας του οχήματος** με μεγάλη ακρίβεια.
- **Διακομιστές δεδομένων** για τη συλλογή και επεξεργασία στοιχείων που παρέχονται από τα οχήματα καθώς και για τη διανομή πληροφοριών, συμβουλών και άλλων ειδοποιήσεων στους χρήστες.

Οι μοναδικές εκτιμήσεις σχετικά το πιθανό κόστος εισαγωγής των παραπάνω τεχνολογιών στις υποδομές προκειμένου να επιτευχθεί συνεργασία τους με τα αυτόματα οχήματα εντοπίστηκαν σε έρευνα των Wright et al. (2014) και αφορούσαν αποκλειστικά την **εγκατάσταση και συντήρηση του εξοπλισμού DSRC**. Τα οικονομικά αποτελέσματα της έρευνας αυτής παρουσιάζονται στους Πίνακες 2-4 και 2-5.

Πίνακας 2-4: Πιθανό κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας DSRC ανά θέση σύμφωνα με τους Wright et al. (2014).

Element	Cost (2013\$) at Signalized Intersection with Controller Upgrade	Cost (2013\$) at Signalized Intersection without Controller Upgrade	Cost (2013\$) at Other (Non-signalized) Location
(DSRC) Equipment and Site Deployment	\$17,600	\$17,600	\$17,600
Backhaul Upgrades and Deployment (Weighted Average)	\$30,800	\$30,800	\$30,800
Traffic Signal Controller Upgrades	\$3,200	-	-
Total Potential Site/Unit Cost	\$51,600	\$48,400	\$48,400

Source: Wright et al. (2014), p. 106.

Πίνακας 2-5: Υπολογισμένο ετήσιο κόστος για τη λειτουργία, συντήρηση και αντικατάσταση των DSRC ανά θέση σύμφωνα με τους Wright et al. (2014).

Cost Element	Per Device Cost per Year
Power	\$100
Traditional Maintenance	\$500
License/Maintenance Agreements	\$200
SCMS Certificate License	\$50
Amortized Replacement Cost (every five to ten years)	\$1100 - \$2200
Total	\$1950 - \$3050

Source: Wright et al. (2014), p. 108.

2.8 Κόστος αγοράς αυτόματων οχημάτων

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ανάπτυξη των τεχνολογιών που απαιτούνται για την δημιουργία των αυτόματων οχημάτων θα οδηγήσει σε ένα **επιπλέον κόστος στην αγορά τους**.

Σύμφωνα με έρευνα του WPI (Worcester Polytechnic Institute, A Study of Public Acceptance of Autonomously Cars, 2013) προκειμένου τα αυτόματα οχήματα να γίνουν δημοφιλή πρέπει το κόστος της έρευνας των απαιτούμενων τεχνολογιών, το κόστος κατασκευής και το κόστος των ανταλλακτικών να προσαρμοστούν σε λογικά δεδομένα και να ισορροπήσουν με το τελικό ποσό που είναι διατεθειμένος να πληρώσει ο μέσος πελάτης.

Το αυτοκίνητο της Google Car, το πιο εξελιγμένο και προηγμένο αυτόματο όχημα που βρίσκεται ακόμα σε συνεχή εξέλιξη, έχει πολύ ακριβή τιμή, καθώς κοστίζει περίπου 150.000 δολάρια. **Το πιο ακριβό τμήμα του εξοπλισμού είναι το σύστημα LIDAR** αξίας 70.000 δολαρίων (Priddle and Woodyard, 2012). Η τεχνολογία LIDAR (Light Detection And Ranging) βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ στην ατμόσφαιρα και ακολούθως στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας λέιζερ. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα οπτικό τηλεσκόπιο και οδηγείται στο σύστημα λήψης και καταγραφής των σημάτων LIDAR. Η τεχνική

LIDAR, αναλύοντας τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα που προέρχονται από την αλληλεπίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας με την ακτινοβολία λέιζερ, είναι ικανή να καθορίσει το τριγύρω περιβάλλον με μεγάλη χωρική (~3-7 m) και χρονική ακρίβεια (από 10-30 s έως μερικά min).

Μια έρευνα που πραγματοποίησε ο J. D. Powers με τους συνεργάτες του (J.D. Power and Associates, 2012) εξέτασε το δημόσιο ενδιαφέρον για αυτόματα αυτοκίνητα. Σύμφωνα με αυτή διαπιστώθηκε ότι **ένας στους πέντε ανθρώπους θα ενδιαφερόταν να αγοράσει ένα αυτόματο αυτοκίνητο εάν αυτό είχε πρόσθετο κόστος μέχρι 3.000 δολάρια**. Παρατηρείται ότι το σημερινό κόστος για τις απαιτούμενες τεχνολογίες απέχει πολύ από το δείκτη αναφοράς των 3.000 δολαρίων. Ωστόσο, ο διευθυντής μάρκετινγκ και πωλήσεων της Ibeo Automotive Systems, κατασκευαστής συστημάτων LIDAR στη Γερμανία, δήλωσε ότι ελπίζει να αναπτύξει συστήματα LIDAR για αυτόματα αυτοκίνητα αξίας μόλις 250 δολαρίων (Priddle and Woodyard, 2012). Εάν αυτό γινόταν εφικτό, τότε το συνολικό κόστος του αυτοκινήτου της Google θα μειωνόταν από τις \$ 150.000 σε \$ 80.250. Επιπλέον, αν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας επέρχονταν παρόμοιες μειώσεις και σε υπόλοιπους αισθητήρες και γενικότερα στο συνολικό εξοπλισμό του αυτοκινήτου, τότε η επίτευξη ενός μόνο επιπλέον κόστους \$ 3.000 για ένα αυτόματο αυτοκίνητο ίσως να μην είναι εντελώς αδύνατη.

Πιο συγκεκριμένες τιμές σχετικά με το επιπλέον κόστος που απαιτείται για τον επιπρόσθετο εξοπλισμό ανά επίπεδο αυτοματισμού στα φορτηγά οχήματα εντοπίστηκαν στην έρευνα των Peter Slowik και Ben Sharpe, 2018 εκ μέρους του ICCT (the International Council on Clean Transportation). Στον Πίνακα 2-6 παρατίθενται οι τιμές που υπολογίστηκαν από την εταιρεία Roland Berger (2016) και παρουσιάστηκαν συνοπτικά από τους Peter Slowik και Ben Sharpe.

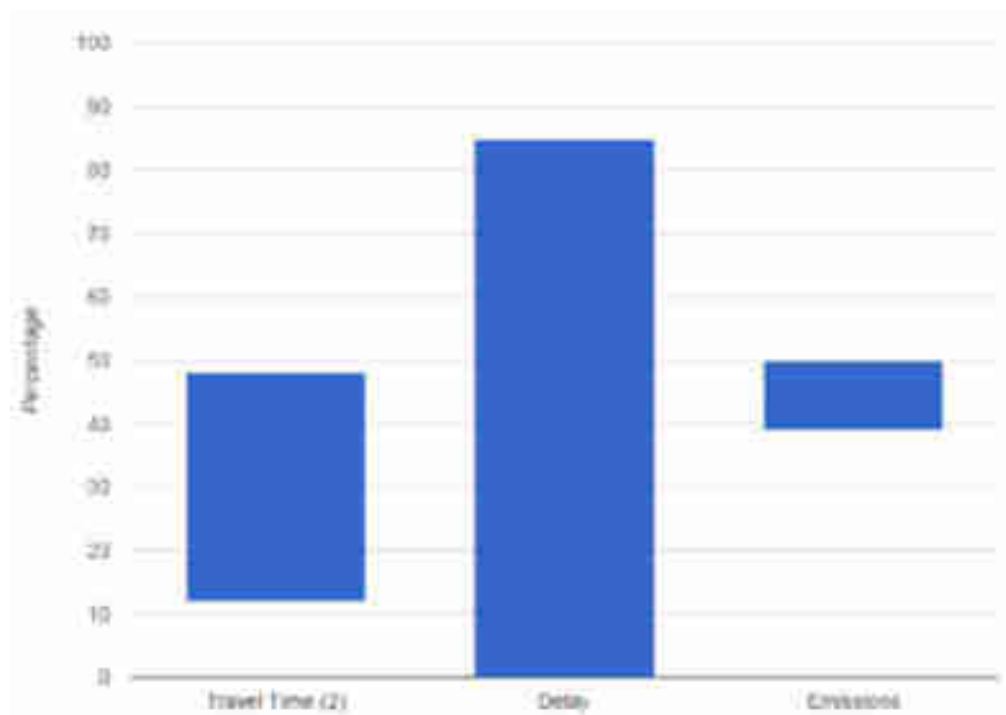
Πίνακας 2-6: Επιπρόσθετο κόστος για τις απαιτούμενες τεχνολογίες ανά επίπεδο αυτοματισμού (Roland Berger, 2016).

Roland Berger (2016)	Level 1	Incremental technology costs (above Level 0) for Level 1 to Level 5 truck automation.	\$1,800
	Level 2		\$6,900
	Level 3		\$13,100
	Level 4		\$19,000
	Level 5		\$23,400

2.9 Σύνολο των επιπτώσεων από τη χρήση αυτόματων οχημάτων

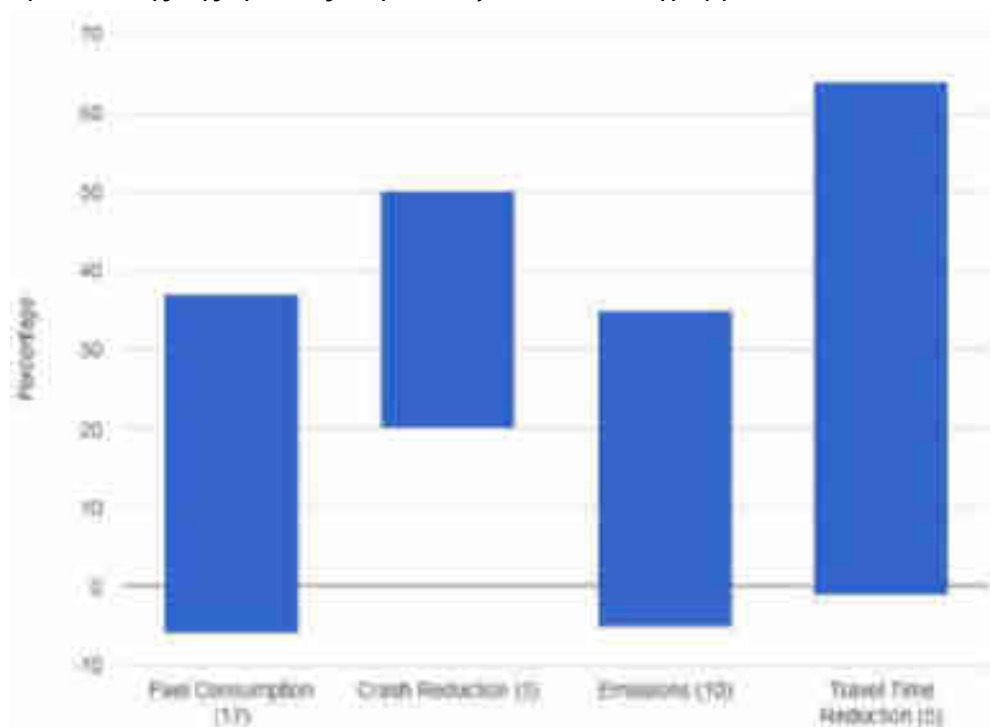
Τα συνολικά οικονομικά οφέλη σύμφωνα με έρευνα των Daniel J. Fagnant και Kara Kockelman (Transportation Research Part A, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, 2015 Elsevier) από τη χρήση αυτόματων οχημάτων όσον αφορά την αποφυγή ατυχημάτων, τη μείωση του χρόνου μετακινήσεων, την εξοικονόμηση καυσίμων και την διευκόλυνση στάθμευσης ανέρχονται στα \$2.000 έως και \$4.000 (≈1.785 € - 3.570 €, σύμφωνα με την ισοτιμία που υπήρχε στις 10/07/2019) το χρόνο ανά όχημα.

Σύμφωνα με έρευνα του Υπουργείου Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, Automation – ITS Benefits, Costs, and Lessons Learned: 2017 Update Report) το εύρος από τα οφέλη που θα προκύψουν από την λειτουργία ενός δικτύου αυτόματων συνδεδεμένων οχημάτων παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2-13. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή ενός τέτοιου δικτύου θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελάττωση της κατανάλωσης καυσίμων έως και 50%, ελαχιστοποίηση των εκπομπών ρύπων από 12% έως 50% , μείωση του χρόνου ταξιδιού από 12% έως 48%, περιορισμό των καθυστερήσεων μέχρι και 85% και να σώσει χιλιάδες ζωές κάθε χρόνο.



Διάγραμμα 2-13: Εύρος ποσοστών μείωσης χρόνου ταξιδιού, καθυστερήσεων και εκπομπών ρύπων από την εισαγωγή αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, 2017).

Σε πιο πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε επίσης στο Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, Automated Vehicles-Driver Assistance – ITS Benefits, Costs, and Lessons Learned: 2018 Update Report) προέκυψε διαφορετικό εύρος τιμών. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 2-14.



Διάγραμμα 2-14: Εύρος ποσοστών μείωσης κατανάλωσης καυσίμων, ατυχημάτων, εκπομπών ρύπων και χρόνου μετακίνησης από την εισαγωγή αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των Η.Π.Α. (U.S. Department of Transportation, 2018).

Κεφάλαιο 3 – Ανάπτυξη Μοντέλου

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα από το κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα excel της Microsoft Office δημιουργήθηκε ένα αρχείο, το οποίο μέσω της συμπλήρωσης ορισμένων παραμέτρων εκτιμά τις κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων σε βάθος τριακονταετίας, δηλαδή για τη χρονική περίοδο από το 2020 μέχρι το 2050 και τις συγκρίνει για τρία διαφορετικά σενάρια σε σχέση με το μηδενικό. **Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου και παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του**, δηλαδή οι μεταβλητές τις οποίες λαμβάνει υπόψη του, οι παράμετροι που χρειάζονται να συμπληρωθούν για την εμφάνιση των επιπτώσεων, καθώς και οι τύποι που χρησιμοποιούνται στα φύλλα των υπολογισμών για να προκύψουν τελικά τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα.

3.1 Εύρεση Παραμέτρων του Μοντέλου

Βασικό βήμα για την ανάπτυξη του μοντέλου αποτέλεσε η εύρεση των παραμέτρων που θα ληφθούν υπόψη σε αυτό. Ως παράμετροι θεωρούνται όλες οι μεταβλητές οι οποίες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στις συνολικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της χρήσης αυτόματων οχημάτων, τόσο άμεσα (π.χ. κατανάλωση καυσίμου), όσο και έμμεσα (π.χ. θέσεις εργασίας). Η επιλογή αυτών πραγματοποιήθηκε κυρίως με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία αλλά και με προσωπική κρίση και αντίληψη, οπότε αρχικά προέκυψαν οι παρακάτω τριάντα πέντε (35) :

- | | |
|---|---|
| 1. Χρόνος ταξιδιού | 20. Συνύπαρξη με δίκυκλα |
| 2. Αξιοποιήσιμος χρόνος ταξιδιού | 21. Συνύπαρξη με πεζούς |
| 3. Κόστος αγοράς οχημάτων | 22. Συνύπαρξη με μη αυτόματα οχήματα |
| 4. Κόστος συντήρησης οχημάτων | 23. Κόστος κατασκευής και λειτουργίας κέντρων διαχείρισης της κυκλοφορίας |
| 5. Κόστος κατασκευής υποδομών | 24. Κόστος μεταφοράς προϊόντων - Εμπόριο |
| 6. Κόστος λειτουργίας - συντήρησης υποδομών | 25. Κόστος μεταφοράς ανά επιβάτη - MMM |
| 7. Ασφάλεια οδηγού | 26. Επιλογή μέσου μεταφοράς |
| 8. Ασφάλεια χρηστών οδικού δικτύου | 27. Θόρυβος |
| 9. Αύξηση οχηματοχιλιομέτρων- Χρήση από άτομα χωρίς δίπλωμα | 28. Θέσεις εργασίας |
| 10. Εκπομπές ρύπων | 29. Χώρος στάθμευσης οχημάτων |
| 11. Κατανάλωση καυσίμων | 30. Χώρος που καταλαμβάνουν οι υποδομές |
| 12. Χρεώσεις ασφαλιστικών εταιρειών | 31. Αριθμός επιβατών ανά όχημα - Πλήρωση οχημάτων |
| 13. Ποσοστό διείσδυσης οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού | 32. Προστασία προσωπικών δεδομένων |
| 14. Χρονικό διάστημα εφαρμογής | 33. Προστασία λογισμικού οχημάτων από hackers |
| 15. Χώρα εφαρμογής | 34. Ανάγκη ενημερώσεων λογισμικού |
| 16. Άνεση επιβατών | 35. Πρόστιμα τροχαίας |
| 17. Κυκλοφοριακός φόρτος | |
| 18. Βαθμός αποδοχής από την κοινωνία | |
| 19. Κοινοχρησία αυτόματων οχημάτων | |

Οι παραπάνω τριάντα πέντε μεταβλητές δεν μπόρεσαν να συμπεριληφθούν όλες στο μοντέλο, λόγω της έλλειψης στοιχείων, καθώς στην βιβλιογραφία συλλέχθηκαν μόνο ποιοτικά δεδομένα για μερικές από αυτές. Επομένως, **τελικά οι μεταβλητές οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο είναι δεκαοχτώ (18)**, όσες δηλαδή φαίνονται στον Πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1: Οι μεταβλητές που λαμβάνονται τελικά υπόψη από το μοντέλο.

Μεταβλητές			
1	Χρόνος ταξιδιού	10	Εκπομπές ρύπων
2	Αξιοποιήσιμος χρόνος ταξιδιού	11	Κατανάλωση καυσίμων
3	Κόστος αγοράς οχημάτων	12	Χρεώσεις ασφαλιστικών εταιρειών
4	Κόστος συντήρησης οχημάτων	13	Ποσοστό οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού
5	Κόστος κατασκευής υποδομών	14	Χρονικό διάστημα εφαρμογής
6	Κόστος λειτουργίας - συντήρησης υποδομών	15	Χώρα εφαρμογής
7	Ασφάλεια οδηγού	16	Άνεση επιβατών (Αξία χρόνου ταξιδιού)
8	Ασφάλεια χρηστών οδικού δικτύου	17	Κυκλοφοριακός φόρτος (Ποσοστό καθυστερήσεων στο χρόνο ταξιδιού)
9	Αύξηση οχηματοχιλιομέτρων	18	Βαθμός αποδοχής από την κοινωνία (Σενάρια διείσδυσης αυτόματων οχημάτων)

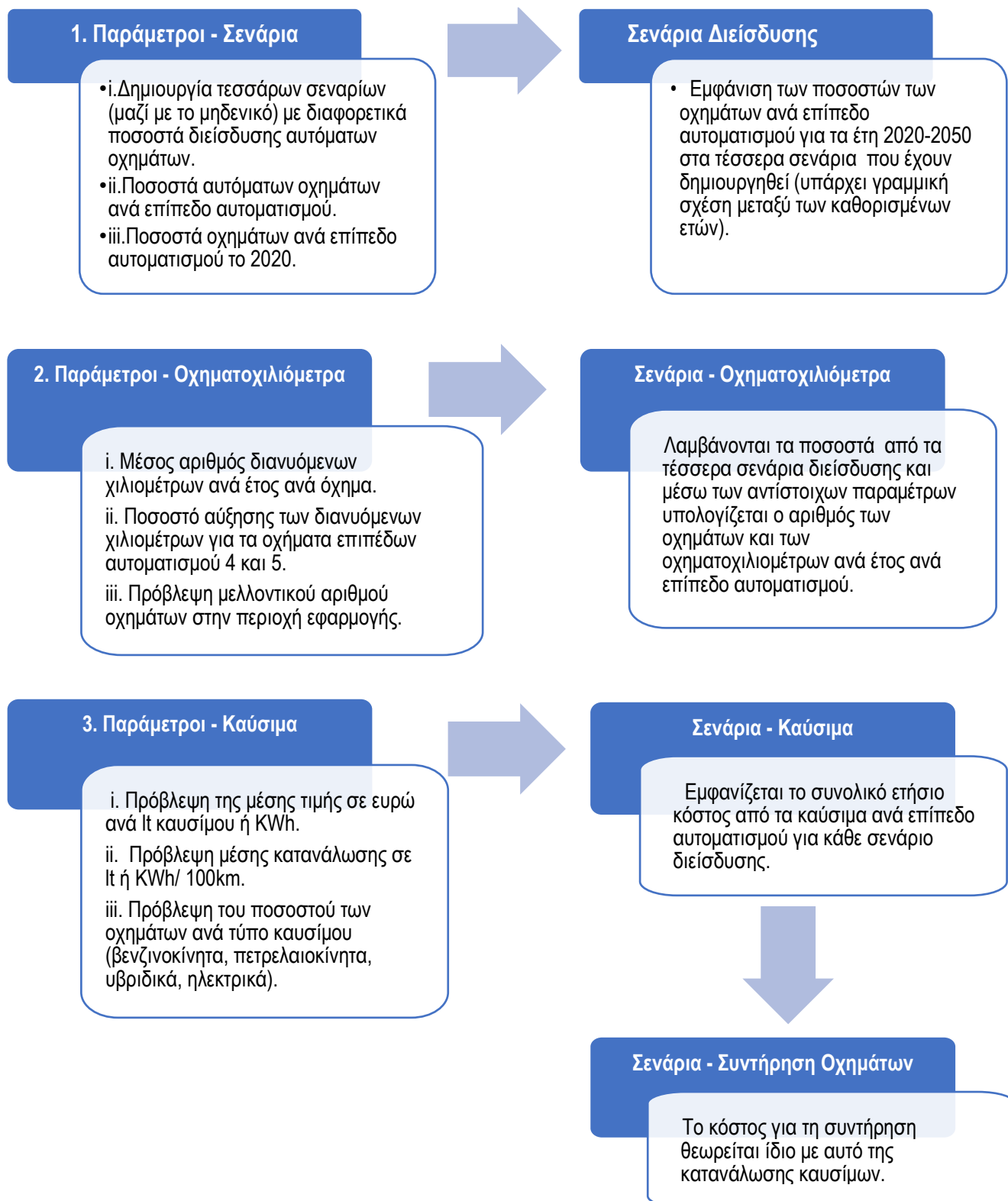
Οι παραπάνω δεκαοχτώ (18) μεταβλητές μπόρεσαν να ποσοτικοποιηθούν στο μοντέλο μέσω της χρήσης εννέα (9) παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα, για να εκτιμηθούν τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα από τη χρήση των αυτόματων οχημάτων απαιτείται να συμπληρωθούν τα σενάρια διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων, ο αριθμός διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων, η κατανάλωση καυσίμων (το κόστος συντήρησης των οχημάτων θεωρήθηκε ίσο με αυτή άρα δεν λήφθηκε σαν ξεχωριστή παράμετρος, για την οποία θα χρειαζόταν συμπλήρωση επιπλέον στοιχείων), οι εκπομπές ρύπων, ο απαιτούμενος χρόνος ταξιδιού, το κόστος συντήρησης-λειτουργίας και κατασκευής των υποδομών, το κόστος από τα οδικά ατυχήματα, το κόστος αγοράς των οχημάτων και τα έξοδα ασφάλισης τους. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθεί με ακρίβεια ο ρόλος κάθε μιας από τις παραπάνω παραμέτρους ξεχωριστά και ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα, ενώ μέσω εικόνων θα παρουσιαστεί η μορφή του μοντέλου.

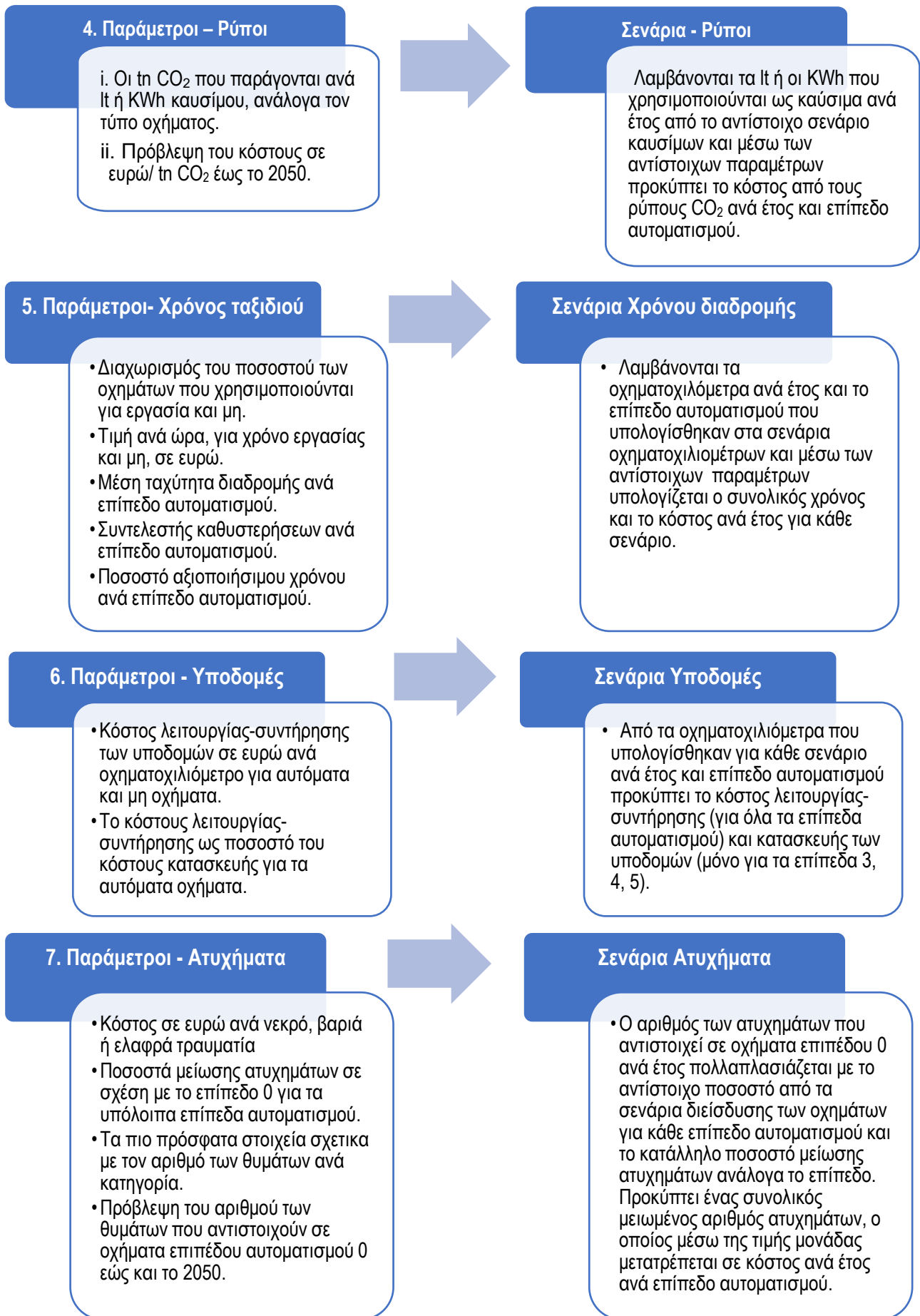
Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την εμφάνιση του μοντέλου στο περιβάλλον του excel υπάρχουν στο παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της εργασίας.

Επιπλέον, στο επόμενο κεφάλαιο (3) θα πραγματοποιηθεί ένα παράδειγμα εύρεσης των παραμέτρων και εφαρμογής του μοντέλου με περιοχή ενδιαφέροντος το Ηνωμένο Βασίλειο, προκειμένου να γίνει πιο εύκολα αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας του.

3.2 Περιγραφή του Μοντέλου

Το Διάγραμμα 3-1 περιγράφει συνοπτικά τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου. Παρουσιάζεται η σειρά με την οποία συμπληρώνονται οι παράμετροι (1→9), τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται από το χρήστη σε κάθε μια από αυτές (με αρίθμηση i, ii, iii, κτλ), καθώς και τα αποτελέσματα που τελικά προκύπτουν.





8. Παράμετροι - Αγορά οχημάτων

- Σημερινές τιμές για την αγορά καινούργιου οχήματος επιπέδου αυτοματισμού 0.
- Επιπλέον κόστος για την τεχνολογία οχήματος επιπέδου 1, 2, 3, 4 και 5.
- Ποσοστό ετήσιας μείωσης της συνολικής τιμής για επίπεδο αυτοματισμού 0.
- Ποσοστό ετήσιας μείωσης του επιπλέον κόστους για την τεχνολογία κάθε επιπέδου αυτοματισμού.
- ν. Πρόβλεψη του αριθμού νέων οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής ανά έτος.

Σενάρια Κόστος αγοράς οχήματος

- Υπολογίζεται το συνολικό κόστος ανά έτος για την αγορά οχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού σύμφωνα με τα σενάρια διείσδυσης.

9. Παράμετροι - Ασφάλιση οχημάτων

- Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για τα επίπεδα αυτοματισμού 0, 1 και 2.
- Ποσοστό μείωσης του κόστους ασφάλισης για τα επίπεδα 3, 4 και 5 σε σχέση με αυτό για τα 0, 1 και 2.
- Τελικό μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για τα επίπεδα 3, 4 και 5.

Σενάρια Ασφάλιση οχημάτων

- Από τον συνολικό αριθμό οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού που υπολογίστηκε για κάθε σενάριο ανά έτος προκύπτει το κόστος ασφάλισης των οχημάτων.

Συνολικά Αποτελέσματα

Παρουσιάζεται το συνολικό άθροισμα από όλα τα παραπάνω κόστη για κάθε σενάριο και συγκρίνεται με το μηδενικό.

Επιρροή Παραμέτρων

Παρουσιάζεται η ποσοστιαία επιρροή της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά σε κάθε ένα από τα σενάρια διείσδυσης.

Διάγραμμα 3-1: Σχηματική περιγραφή των βασικών λειτουργιών του μοντέλου.

Σύμφωνα λοιπόν με το διάγραμμα **ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει σε εννιά (9) φύλλα του excel τις απαραίτητες παραμέτρους**, από τις οποίες προκύπτουν αρχικά μεμονωμένα οικονομικά αποτελέσματα για κάθε μια από αυτές. Μετά τη συμπλήρωση όλων των εννιά ο χρήστης έχει πρόσβαση στα συνολικά αποτελέσματα καθώς και το ποσοστό επιρροής κάθε μιας από αυτές.

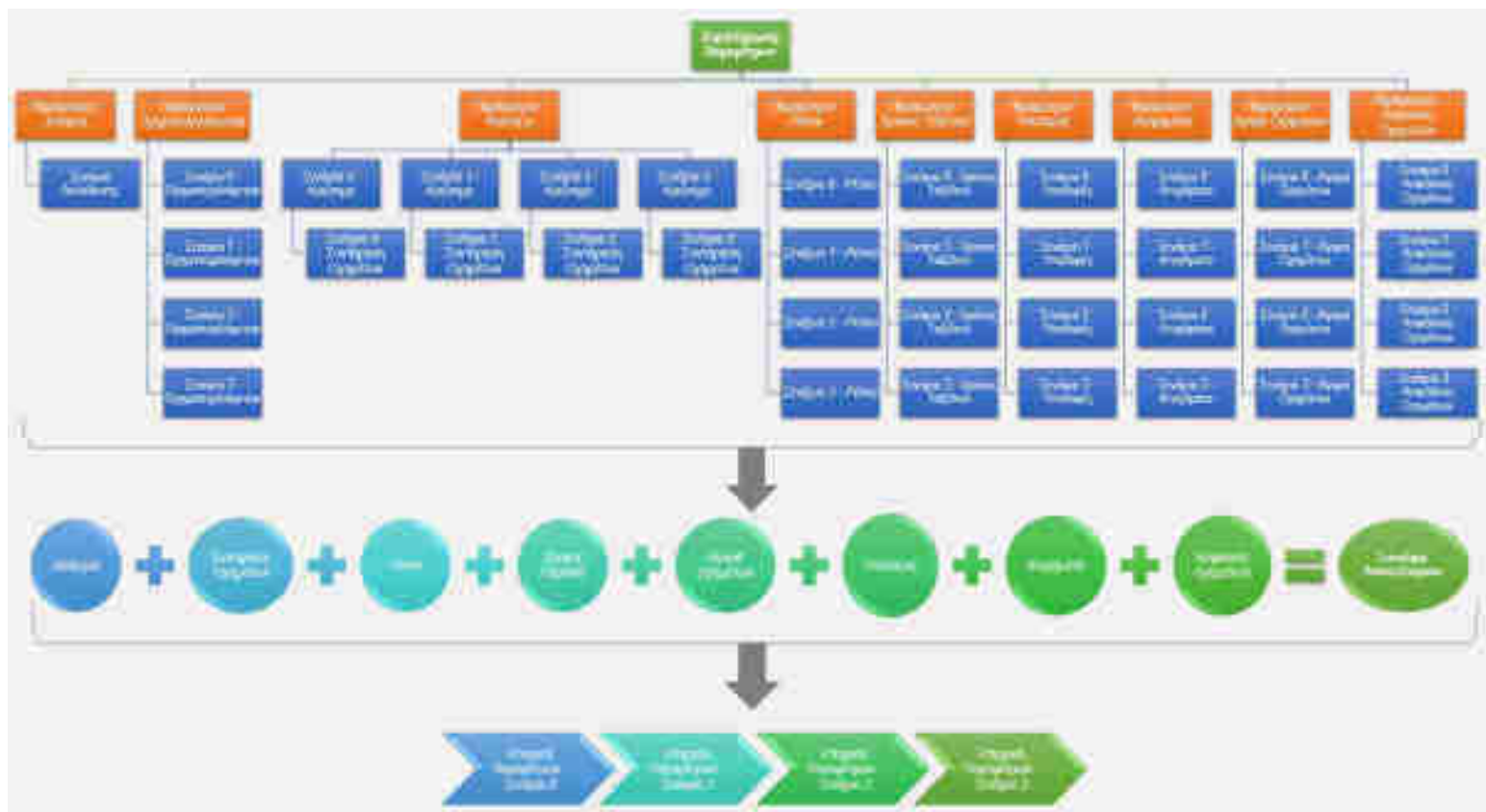
Η αρχική σελίδα (μενού) του μοντέλου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-1.

Στο πάνω μέρος με πορτοκαλί χρώμα εμφανίζονται τα πλήκτρα που οδηγούν στα αντίστοιχα φύλλα με τα κελιά που απαιτούν συμπλήρωση, ανάλογα την παράμετρο.

Κάτω από κάθε πορτοκαλί πλήκτρο υπάρχουν ορισμένα με μπλε χρώμα, ανάλογα τις μεταβλητές που επηρεάζονται από τη συμπλήρωση κάθε παραμέτρου, **τα οποία αφορούν τους αναλυτικούς υπολογισμούς** που πραγματοποιούνται για τον προσδιορισμό των οικονομικών επιπτώσεων, για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια διείσδυσης (μηδενικό, απαισιόδοξο, ενδιάμεσο, αισιόδοξο). Τα σενάρια διαμορφώνονται με βάση τα κατάλληλα δεδομένα που εισάγονται στο φύλλο Παράμετροι- Σενάρια. Επομένως, ο χρήστης δεν είναι απαραίτητο να μεταβεί και να τροποποιήσει αυτά τα φύλλα για την λειτουργία του μοντέλου.

Κάτω από τα μπλε πλήκτρα και μετά το πρώτο βέλος εμφανίζονται τα πλήκτρα που οδηγούν στα κοινωνικο - οικονομικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, με το πάτημα των αντίστοιχων κουμπιών εμφανίζονται και συγκρίνονται οι οικονομικές επιπτώσεις που εκτιμώνται για την προβλεπόμενη διείσδυση κάθε σεναρίου. Για την πιο εποπτική κατανόηση των αποτελεσμάτων αυτών εμφανίζονται και τα διαγράμματα του συνολικού κόστους ανά έτος και της αθροιστικής διαφοράς των ωφελειών των τριών σεναρίων σε σχέση με το μηδενικό, ώστε να εντοπιστεί το πιο αποτελεσματικό.

Τέλος, η τελευταία σειρά αντιστοιχεί σε πλήκτρα που παρουσιάζουν την ποσοστιαία επιρροή που έχει κάθε παράμετρος ανά σενάριο στο τελικό αποτέλεσμα.

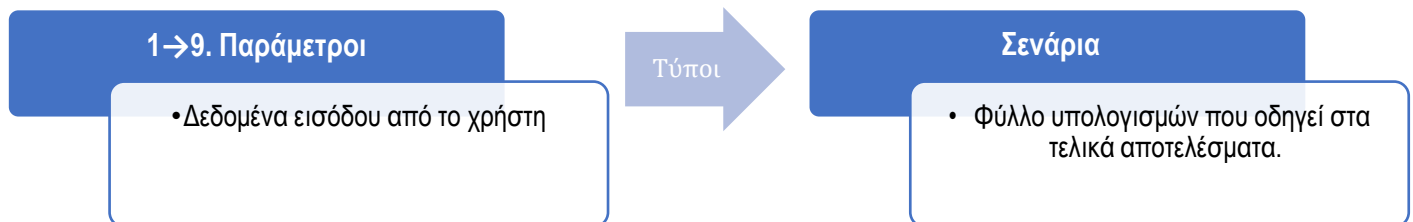


Εικόνα 3-1: Η αρχική σελίδα (μενού) του μοντέλου.

3.3 Επεξήγηση του Μοντέλου

Στα φύλλα που αντιστοιχούν τα πλήκτρα με το μπλε χρώμα διενεργούνται όλοι οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για τον καθορισμό του κοινωνικο-οικονομικού κόστους κάθε παραμέτρου. Για την επεξήγηση επομένως του μοντέλου βασική προϋπόθεση αποτελεί ο προσδιορισμός των τύπων που χρησιμοποιούνται σε αυτό και επεξεργάζονται με τον κατάλληλο τρόπο τα δεδομένα εισόδου.

Το Διάγραμμα 3-1 παρουσιάζει συνοπτικά σε εννέα (9) βήματα τις παραμέτρους που εισάγονται και τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε σενάριο. Η μορφή του είναι αυτή που φαίνεται στο Διάγραμμα 3-2.



Διάγραμμα 3-2: Μορφή του Διαγράμματος 3-1.

Με βάση αυτό παρουσιάζονται παρακάτω οι τύποι που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από τα εννέα βήματα (1→9) για την μετάβαση από τις παραμέτρους στα αποτελέσματα των σεναρίων. Σε κάθε βέλος και κάθε τελεία (bullet) αναγράφονται οι πράξεις που διενεργούνται για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια στα αντίστοιχα φύλλα του excel, ενώ στις παρενθέσεις βρίσκονται οι πηγές των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις πράξεις.

1. Τύποι : Σενάρια

- Δημιουργία τεσσάρων σεναρίων (μηδενικό, απαισιόδοξο, ενδιάμεσο και αισιόδοξο) με τα ποσοστά διείσδυσης για κάθε επίπεδο αυτόματων οχημάτων ανά έτος = Γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δεδομένων που εισάγονται στο φύλλο Παράμετροι – Σενάρια.

2. Τύποι : Οχηματοχιλιόμετρα

- Αριθμός οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Ποσοστό (%) οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια Διείσδυσης) x Αριθμός οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής (Παράμετροι – Οχηματοχιλιόμετρα).
- Οχηματοχιλιόμετρα ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Αριθμός οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια Οχηματοχιλιόμετρα) x Μέσος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων ανά όχημα ανά επίπεδο αυτοματισμού (ποσοστό αύξησης για τα επίπεδα 4 και 5) (Παράμετροι – Οχηματοχιλιόμετρα).
- Συνολικός αριθμός οχηματοχιλιομέτρων ανά έτος = Άθροισμα των οχηματοχιλιομέτρων όλων των επιπέδων αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Οχηματοχιλιόμετρα).

3. Τύποι : Καύσιμα, Συντήρηση Οχημάτων

- Οχηματοχιλιόμετρα ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Ποσοστό (%) οχημάτων ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Παράμετροι - Καύσιμα) x Οχηματοχιλιόμετρα ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Οχηματοχιλιόμετρα).
- Απαιτούμενα lt ή KWh ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = [Μέση κατανάλωση σε lt ή KWh ανά 100 km ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Παράμετροι - Καύσιμα) x Οχηματοχιλιόμετρα ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Καύσιμα)]/ 100.
- Κόστος (€) κατανάλωσης ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Μέση τιμή ανά μονάδα καυσίμου (€/ lt ή KWh) ανά έτος (Παράμετροι - Καύσιμα) x Απαιτούμενα lt ή KWh ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Καύσιμα).
- Συνολικό κόστος (€) κατανάλωσης καυσίμου ανά έτος = Άθροισμα των κοστών κατανάλωσης καυσίμου όλων των τύπων καυσίμου και των επιπέδων αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Καύσιμα).
- Κόστος (€) συντήρησης οχημάτων ανά έτος = Συνολικό κόστος (€) κατανάλωσης καυσίμου ανά έτος (Σενάρια - Καύσιμα) (Λόγω έλλειψης περισσότερων πληροφοριών).

4. Τύποι : Ρύποι

- Παραγόμενοι tn CO₂ ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = tn CO₂ ανά lt καυσίμου ανά τύπο καυσίμου (Παράμετροι - Ρύποι) x lt καυσίμων ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Καύσιμα).
- Κόστος ρύπων (€) ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Παραγόμενοι tn CO₂ ανά τύπο καυσίμου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Ρύποι) x Τιμή μονάδας (€/ tn CO₂) (Παράμετροι - Ρύποι).
- Συνολικό κόστος ρύπων (€) ανά έτος = Άθροισμα των κοστών ρύπων όλων των τύπων καυσίμου και των επιπέδων αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια - Ρύποι).

5. Τύποι : Χρόνος

- Συνολικό μήκος διαδρομής (km) ανά είδος χρόνου (για εργασία ή μη) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Ποσοστό χρήσης οχημάτων ανά είδος χρόνου (Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού) x Οχηματοχιλιόμετρα ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Οχηματοχιλιόμετρα).
- Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου (για εργασία ή μη) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Συνολικό μήκος διαδρομής ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Χρόνος Ταξιδιού)/ Μέση ταχύτητα διαδρομής (Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού).
- Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου (για εργασία ή μη) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος μαζί με τις καθυστερήσεις = [Συντελεστής καθυστερήσεων (%) (Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού) x Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος] + Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Χρόνος Ταξιδιού)
- Τελικός χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου (για εργασία ή μη) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος μαζί με τις καθυστερήσεις (Σενάρια – Χρόνος Ταξιδιού) – [Χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος μαζί με τις καθυστερήσεις x Ποσοστό αξιοποιήσιμου χρόνου ταξιδιού (%) (Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού)].
- Κόστος χρόνου ταξιδιού (€) ανά είδος χρόνου (για εργασία ή μη) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Τιμή μονάδας (€/ h) ανά είδος χρόνου ανάλογα την περιοχή εφαρμογής (Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού) x Τελικός χρόνος ταξιδιού (h) ανά είδος χρόνου ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Χρόνος Ταξιδιού).
- Συνολικό κόστος χρόνου ταξιδιού (€) ανά έτος = Άθροισμα των κοστών χρόνου ταξιδιού για εργασία και μη και των επιπέδων αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Χρόνος Ταξιδιού).

6. Τύποι : Υποδομές

- Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€) ανά οχηματοχιλιόμετρο ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Παράμετροι – Υποδομές) x Οχηματοχιλιόμετρα ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Οχηματοχιλιόμετρα).
- Κόστος κατασκευής (€) για τα αυτόματα οχήματα (επιπέδου 3, 4 και 5) ανά έτος = Μέγιστο κόστος λειτουργίας-συντήρησης το χρονικό διάστημα 2020-2050 (Σενάρια – Υποδομές)/ [Ποσοστό κόστους συντήρησης (Παράμετροι – Υποδομές) x 31] (Ο συγκεκριμένος τύπος αποτελεί μια προσεγγιστική παραδοχή, κατά την οποία ισομοιράζεται το μέγιστο κόστος κατασκευής στο χρονικό διάστημα 2020 - 2050, καθώς δεν βρέθηκαν περισσότερα στοιχεία στη βιβλιογραφία).
- Συνολικό κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€) για τα μη αυτόματα οχήματα ανά έτος = Άθροισμα των κοστών λειτουργίας-συντήρησης ανά έτος για τα επίπεδα αυτοματισμού 1 και 2 (Σενάρια – Υποδομές).
- Συνολικό κόστος λειτουργίας-συντήρησης και κατασκευής (€) για τα αυτόματα οχήματα ανά έτος = Άθροισμα των κοστών λειτουργίας-συντήρησης και κατασκευής ανά έτος για τα επίπεδα αυτοματισμού 3, 4 και 5 (Σενάρια – Υποδομές).

7. Τύποι : Ατυχήματα

- Αριθμός θυμάτων ανά αποτέλεσμα ατυχήματος (νεκροί, βαριά τραυματίες, ελαφρά τραυματίες) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Αριθμός θυμάτων ανά αποτέλεσμα ατυχήματος για επίπεδο αυτοματισμού 0 ανά έτος (Παράμετροι – Ατυχήματα) x Ποσοστό διείσδυσης ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια Διείσδυσης) x [1 - Ποσοστό μείωσης ατυχημάτων για το κάθε επίπεδο αυτοματισμού σε σχέση με το επίπεδο 0 (Παράμετροι – Ατυχήματα)].
- Κόστος θυμάτων (€) ανά αποτέλεσμα ατυχήματος (νεκροί, βαριά τραυματίες, ελαφρά τραυματίες) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Αριθμός θυμάτων ανά αποτέλεσμα ατυχήματος ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Ατυχήματα) x Κόστος (€) ανά είδος ατυχήματος (Παράμετροι – Ατυχήματα).

8. Τύποι : Αγορά Οχημάτων

- Μέσο κόστος αγοράς οχημάτων (€) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Σημερινές τιμές για την αγορά καινούργιου οχήματος για επίπεδο αυτοματισμού 0 (Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων) + {Επιπλέον κόστος για την τεχνολογία κάθε επιπέδου (Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων) x [1 – Ποσοστό μείωσης της επιπλέον τιμής (Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων)]}.
- Συνολικό κόστος αγοράς οχημάτων (€) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Αριθμός νέων οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων) x Μέσο κόστος αγοράς οχημάτων (€) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Αγορά Οχημάτων).
- Συνολικό κόστος αγοράς οχημάτων (€) ανά έτος = Άθροισμα των κοστών αγοράς οχημάτων ανά έτος για όλα τα επίπεδα αυτοματισμού (Σενάρια – Αγορά Οχημάτων).

9. Τύποι : Ασφάλιση

- Κόστος ασφάλισης οχημάτων (€) ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος = Αριθμός οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος (Σενάρια – Οχηματοχιλιόμετρα) x Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για κάθε επίπεδο αυτοματισμού (Για τα οχήματα επιπέδων 3, 4 και 5 προκύπτει από το μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης των επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2 αφαιρώντας το ποσοστό μείωσης του αντίστοιχου επιπέδου) (Παράμετροι – Ασφάλιση Οχημάτων).
- Συνολικό κόστος ασφάλισης οχημάτων (€) ανά έτος = Άθροισμα των κοστών ασφάλισης οχημάτων ανά έτος για όλα τα επίπεδα αυτοματισμού (Σενάρια – Ασφάλιση Οχημάτων).

Κεφάλαιο 4 – Συμπλήρωση των Παραμέτρων του Μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η συμπλήρωση των εννιά φύλλων του excel με τις παραμέτρους που εντοπίστηκαν και παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3 – Ανάπτυξη Μοντέλου), με την προκαθορισμένη σειρά (1→9). **Ως περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε το Ηνωμένο Βασίλειο**, καθώς εντοπίστηκαν περισσότερα στοιχεία σχετικά με αυτό από ότι για τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ όσον αφορά την Ελλάδα η βιβλιογραφία ήταν περιορισμένη. Η συμπλήρωση των παραμέτρων πραγματοποιήθηκε με στοιχεία από τη βιβλιογραφία, στα οποία έγινε κατάλληλη προσαρμογή τους στο χρονικό διάστημα εφαρμογής του μοντέλου, με δοκιμές μέσω της χρήσης ενδεικτικών τιμών εντός του εύρους όσων εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, ενώ για όσες παραμέτρους δεν βρέθηκαν περαιτέρω στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν παραδοχές.

Οι γενικότερες **παραδοχές** που πραγματοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι οι εξής: τα αυτόματα οχήματα είναι εξ' ολοκλήρου ηλεκτρικά, στις εκπομπές των ρύπων δεν λαμβάνονται υπόψη αυτές κατά την κατασκευή ενός οχήματος (π.χ. της μπαταρίας στα ηλεκτρικά), το κόστος κατασκευής των υποδομών των αυτόματων οχημάτων ισομοιράστηκε στο χρονικό διάστημα της τριακονταετίας, κατά τον υπολογισμό του κόστους του χρόνου ταξιδιού η μέση αξία του λήφθηκε σταθερή για όλο το διάστημα αναφοράς, το κόστος συντήρησης των οχημάτων ισούται προσεγγιστικά με αυτό της κατανάλωσης των καυσίμων καθώς και ότι δεν υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.

4.1 Παράμετροι – Σενάρια Διείσδυσης

Τα πρώτα δεδομένα που καλείται να συμπληρώσει ο χρήστης αποσκοπούν στη δημιουργία τεσσάρων σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων και είναι τριών ειδών.

Α) Αρχικά, απαιτείται για κάθε σενάριο να συμπληρωθούν **τα ποσοστά των αυτόματων οχημάτων (Επίπεδα 3, 4 και 5) που αντιστοιχούν στο σύνολο των οχημάτων ανά δεκαετία**, από το 2020 μέχρι και το 2050.

Β) Στη συνέχεια, εισάγονται **τα ποσοστά των οχημάτων επιπέδων 3, 4 και 5 ξεχωριστά επί του συνολικού αριθμού των αυτόματων οχημάτων ανά διάστημα πενταετίας**, από το 2020, μέχρι και το 2050. Τα ποσοστά αυτά θεωρούνται ίδια και στα τέσσερα σενάρια διείσδυσης.

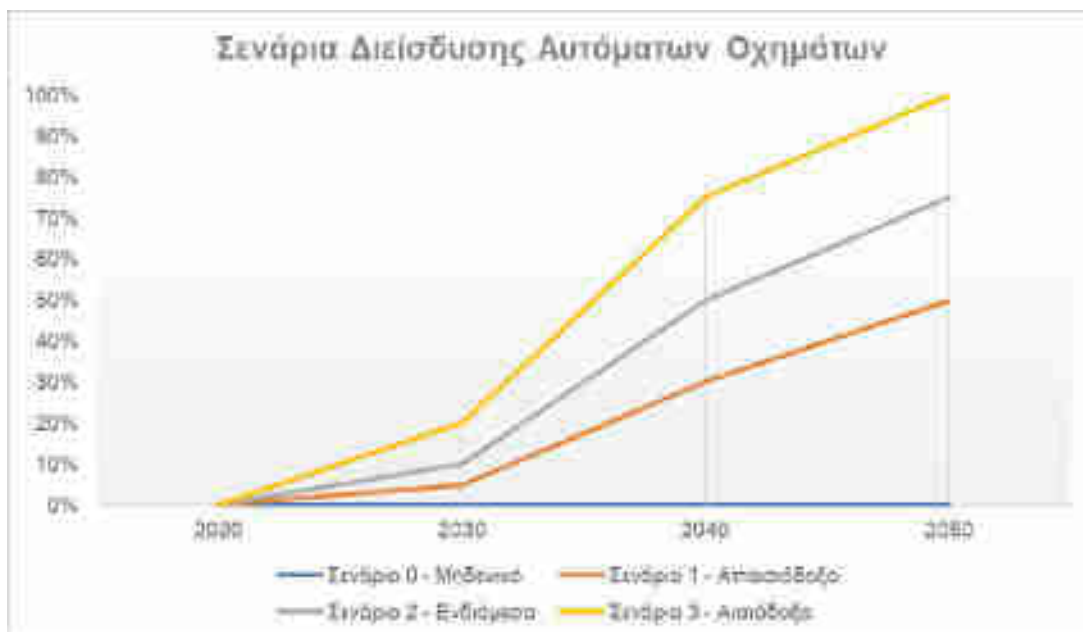
Γ) Τέλος, χρειάζεται να εισαχθεί **το ποσοστό των οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού το 2020**, που αποτελεί το έτος αναφοράς.

Στο φύλλο του excel με όνομα «Σενάρια Διείσδυσης» πραγματοποιείται γραμμική παρεμβολή μεταξύ όλων των παραπάνω δεδομένων που εισάγονται και προκύπτει τελικά ένας πίνακας με τα ποσοστά των οχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού ανά έτος, το χρονικό διάστημα από το 2020 έως και το 2050.

Σύμφωνα με όλες τις πηγές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης δημιουργήθηκαν τέσσερα σενάρια σχετικά με τη μελλοντική διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο, το μηδενικό, ένα απαισιόδοξο, ένα ενδιάμεσο και ένα αισιόδοξο, προκειμένου να καλυφθεί όλο το πιθανό εύρος τιμών. Επομένως, οι απαραίτητες παράμετροι συμπληρώθηκαν σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 4-1, 4-2, 4-3).

Πίνακας 4-1: Πρόβλεψη ποσοστών διείσδυσης του συνόλου των αυτόματων οχημάτων (Επίπεδα 3, 4 και 5) στο οδικό δίκτυο ανά δεκαετία για τα τέσσερα σενάρια.

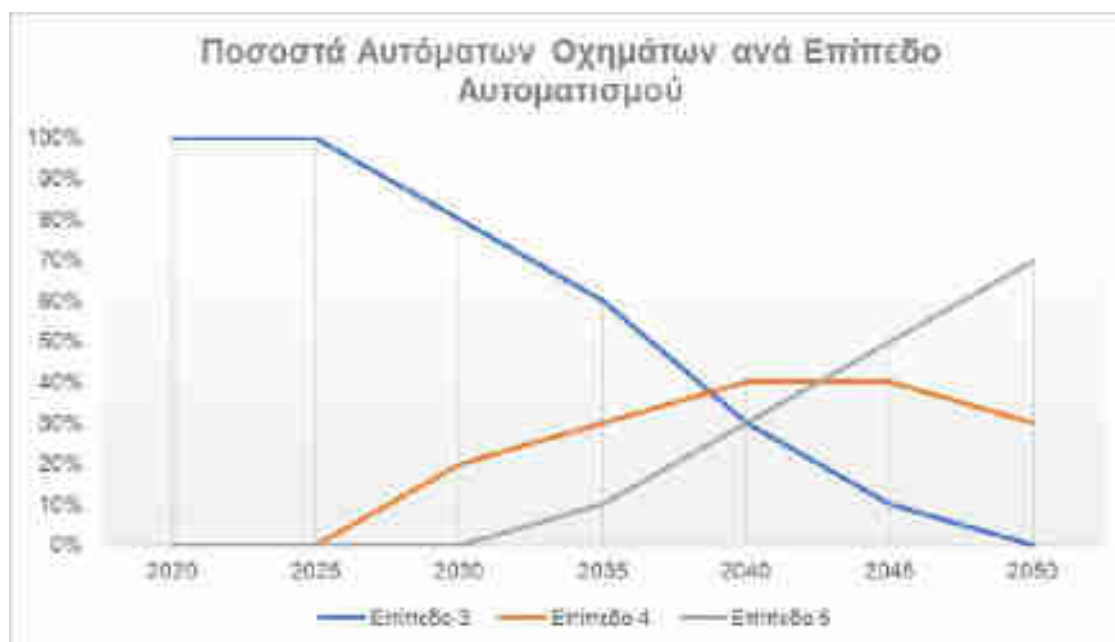
	Σενάριο 0 - Μηδενικό	Σενάριο 1 - Απαισιόδοξο	Σενάριο 2 - Ενδιάμεσο	Σενάριο 3 - Αισιόδοξο
2020	0%	0%	0%	0%
2030	0%	5%	10%	20%
2040	0%	30%	50%	75%
2050	0%	50%	75%	100%



Διάγραμμα 4-1: Διάγραμμα των ποσοστών διείσδυσης των σεναρίων του Πίνακα 4-1.

Πίνακας 4-2: Πρόβλεψη ποσοστών αυτόματων οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού.

	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
2020	100%	0%	0%
2025	100%	0%	0%
2030	80%	20%	0%
2035	60%	30%	10%
2040	30%	40%	30%
2045	10%	40%	50%
2050	0%	30%	70%



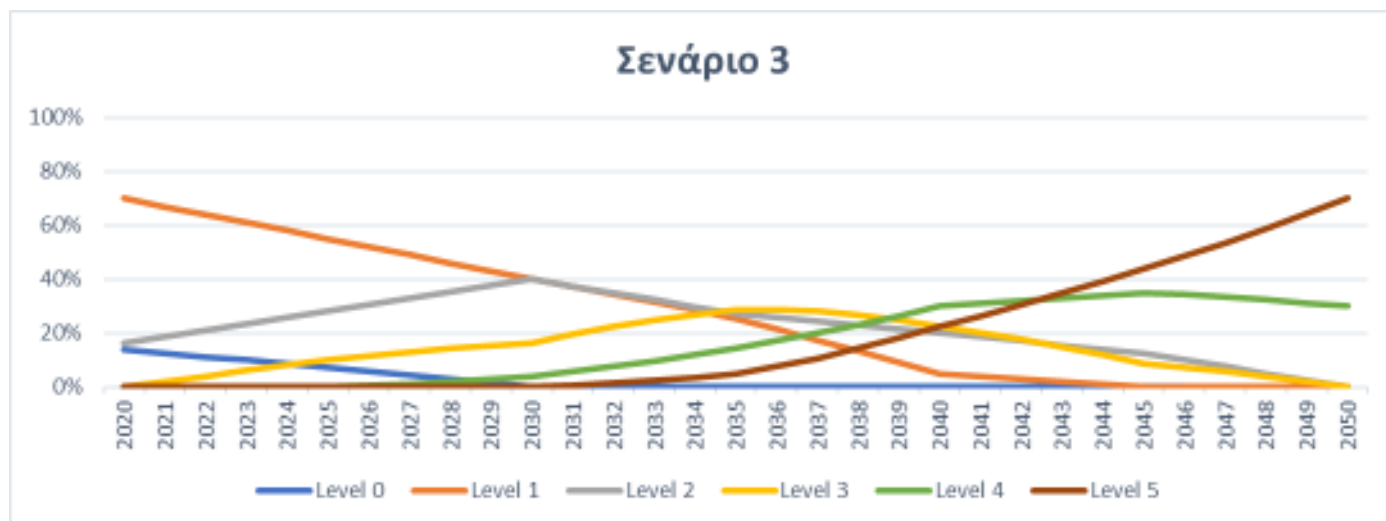
Διάγραμμα 4-2: Διάγραμμα των ποσοστών των αυτόματων οχημάτων σύμφωνα με τον Πίνακα 4-2.

Πίνακας 4-3: Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού το έτος αναφοράς, δηλαδή το 2020.

	Επίπεδο 0	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
2016	16%	72%	12%	0%	0%	0%
2020	14%	70%	16%	0%	0%	0%

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία που συμπληρώθηκαν, προέκυψαν τα απαιτούμενα τέσσερα σενάρια τα οποία παρουσιάζονται και σε σχηματική μορφή στο φύλλο με τίτλο «Σενάρια Διείσδυσης», όπως φαίνονται στο Διάγραμμα 4-3.





Διάγραμμα 4-3: Σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων σεναρίων διείσδυσης του μοντέλου, όπως αυτά παρουσιάζονται στο φύλλο του excel με τίτλο Σενάρια Διείσδυσης.

Η επιλογή της χρήσης τεσσάρων σεναρίων αντί απλά ενός πραγματοποιήθηκε προκειμένου να καλυφθεί σχεδόν όλο το εύρος των πιθανών προβλέψεων που παρουσιάστηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση καθώς και για να διενεργούνται συγκρίσεις στις οικονομικές επιπτώσεις από τη χρήση των οχημάτων μεταξύ τους για κάθε παράμετρο.

4.2 Παράμετροι - Οχηματοχιλιόμετρα

Στις παραμέτρους των οχηματοχιλιομέτρων τα στοιχεία που ζητούνται από τον χρήστη είναι:

- **ο μέσος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων ανά όχημα (km/ όχημα)**, για οχήματα επιπέδου αυτοματισμού 0, 1, 2 και 3,
- **το ποσοστό αύξησης των χιλιομέτρων ανά όχημα για τα επίπεδα 4 και 5 σε σχέση με τα 0, 1, 2 και 3** και
- **η πρόβλεψη του συνολικού αριθμού οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής ανά έτος από το 2020 έως και το 2050.**

Στην βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο υπήρχαν πολλές διαφορετικές εκδοχές σχετικά με την αύξηση που θα επέλθει στο μέσο διανυόμενο αριθμό οχηματοχιλιομέτρων από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων. Στο μοντέλο λήφθηκε υπόψη μια αύξηση 14% (Harper et al., 2016) για τα διανυόμενα χιλιόμετρα στα πλήρως αυτόματα οχήματα (Επίπεδα 4 και 5), σε σχέση με τα 0, 1, 2 και 3.

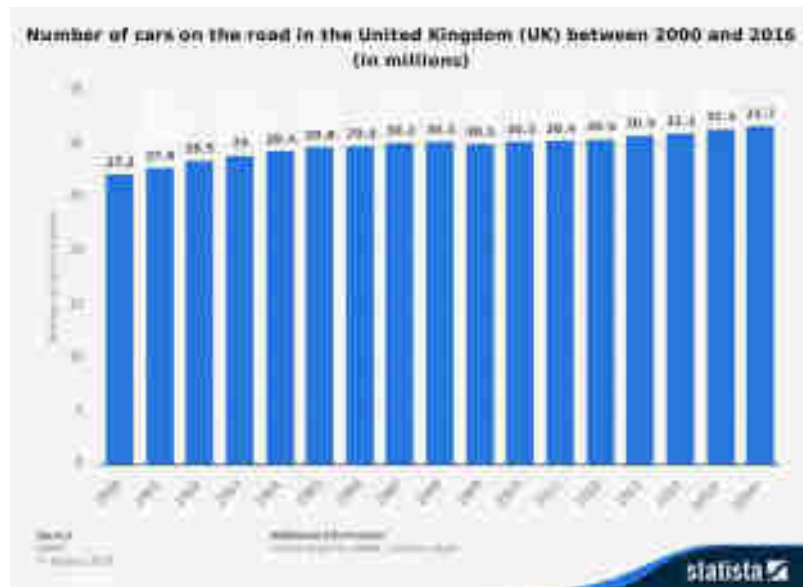
Επιπλέον, ως μέσος ετήσιος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων ανά όχημα, για επίπεδα αυτοματισμού 0, 1, 2 και 3, λήφθηκε η τιμή 15.000 km/ όχημα/ έτος, η οποία μπορεί να μεταβληθεί από το χρήστη για την διενέργεια περισσότερων δοκιμών.

Πίνακας 4-4: Συμπλήρωση των δεδομένων σχετικά με τις παραμέτρους των οχηματοχιλιομέτρων.

Μέσος αριθμός km/ όχημα	15.000
Ποσοστό αύξησης km/ όχημα στα επίπεδα 4 και 5 συγκριτικά με τα 0, 1, 2 και 3	14%

Για την πρόβλεψη του μελλοντικού αριθμού των οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία που βρέθηκαν στην ιστοσελίδα της Statista από την SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός των οχημάτων από το 2000 έως το 2016 και μέσω της λογαριθμικής καμπύλης, που εκφράζει καλύτερα τα δεδομένα σε σχέση με τις υπόλοιπες που δοκιμάστηκαν στο excel (μεγαλύτερο R^2), πραγματοποιήθηκε η αναγκαία πρόβλεψη για τα έτη από το 2020 μέχρι το 2050.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία που λήφθηκαν από τη Statista (Διάγραμμα 4-4), η πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογαριθμικής καμπύλης (Διάγραμμα 4-5) και οι αριθμοί οχημάτων που προέκυψαν τα έτη 2020-2050 μέσω της λογαριθμικής σχέσης (Πίνακας 4-5).

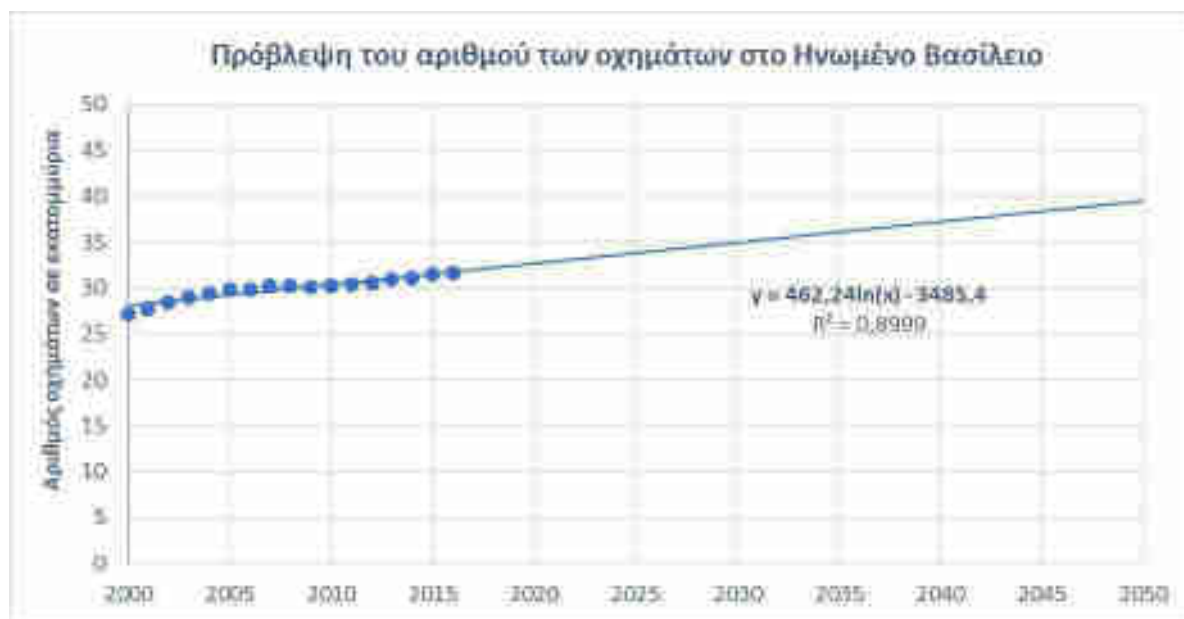


Διάγραμμα 4-4: Αριθμός οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο τα έτη από το 2000 μέχρι και το 2016 (Statista, SMMT).

Επομένως, τελικά συμπληρώθηκαν οι Παράμετροι – Οχηματοχιλιόμετρα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 4-4 και 4-5.

Πίνακας 4-5: Αριθμός οχημάτων ανά έτος όπως αυτά συμπληρώθηκαν στις παραμέτρους των οχηματοχιλιομέτρων.

Έτος	Συνολικός αριθμός οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής
2020	32.640.594
2021	32.869.369
2022	33.098.031
2023	33.326.580
2024	33.555.015
2025	33.783.339
2026	34.011.549
2027	34.239.647
2028	34.467.632
2029	34.695.505
2030	34.923.265
2031	35.150.914
2032	35.378.450
2033	35.605.874
2034	35.833.187
2035	36.060.387
2036	36.287.477
2037	36.514.454
2038	36.741.321
2039	36.968.076
2040	37.194.719
2041	37.421.252
2042	37.647.674
2043	37.873.985
2044	38.100.185
2045	38.326.274
2046	38.552.253
2047	38.778.122
2048	39.003.880
2049	39.229.528
2050	39.455.066



Διάγραμμα 4-5: Πρόβλεψη του ετήσιου αριθμού των οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο μέχρι το έτος 2050.

4.3 Παράμετροι - Καύσιμα

Η συμπλήρωση των παραμέτρων των καυσίμων απαιτεί τριών ειδών προβλέψεις.

1. Την πρόβλεψη της μέσης κατανάλωσης των οχημάτων ανά είδος καυσίμου (βενζίνη, πετρέλαιο, υβριδικά, ηλεκτρικά), ανά επίπεδο αυτοματισμού, ανά έτος.
2. Την πρόβλεψη του ποσοστού των οχημάτων ανά είδος καυσίμου που καταναλώνουν, ανά επίπεδο αυτοματισμού, ανά έτος.
3. Την πρόβλεψη της μέσης τιμής ανά μονάδας καυσίμου ανά έτος, δηλαδή ευρώ (€)/ lt καυσίμου ή KWh για τα ηλεκτρικά οχήματα.

1. Όσον αφορά την **μέση κατανάλωση καυσίμων** χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των NRC, 2013a και Folsom, 2012 (RAND-Autonomous Vehicle Technology Guide-2016) από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, οπότε προέκυψαν τα παρακάτω όρια για την κατανάλωση καυσίμου:

- Για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2:

2010: μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 9,1 L/100km, για υβριδικά οχήματα 6,6 L/100km

2030: μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 4,3 L/100km, για υβριδικά οχήματα 3,1 L/100km

2050: μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 3,2 L/100km, για υβριδικά οχήματα 1,9 L/100km

- Για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 3 και 4:

2030: μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 2,2 L/100km, για υβριδικά οχήματα 1,6 L/100km

2050: μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 1,6 L/100km, για υβριδικά οχήματα 1 L/100km

- Η χρήση διασυνδεδεμένων αυτόματων οχημάτων επιπέδου 5, θα οδηγήσει σε μέση κατανάλωση για βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα 0,9 L/100km, ενώ για υβριδικά οχήματα 0,6 L/100km.

Από τη βιβλιογραφία εντοπίστηκε ότι τα πετρελαιοκίνητα χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο 20% λιγότερα καύσιμα σε σχέση με τα βενζινοκίνητα οχήματα. Επομένως, η κατανάλωση σε βενζίνη θεωρήθηκε προσεγγιστικά μεγαλύτερη κατά 10% από τη μέση και σε πετρέλαιο κατά 20% μικρότερη από τη βενζίνη. Οι παραπάνω προβλέψεις καταναλώσεων συνοψίζονται στους Πίνακες 4-6, 4-7 και 4-8.

Πίνακας 4-6: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.

	Μέση	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Υβριδικά
2010	9,1	10,01	8,0	6,6
2030	4,3	4,73	3,8	3,1
2050	3,2	3,52	2,8	1,9

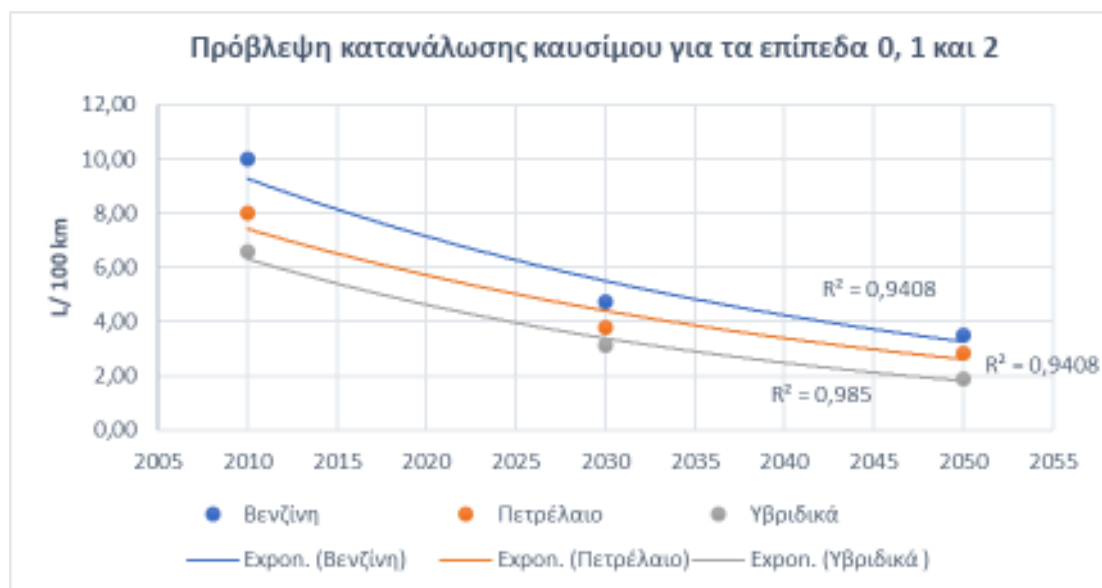
Πίνακας 4-7: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 3 και 4 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.

	Μέση	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Υβριδικά
2030	2,2	2,4	1,9	1,6
2050	1,6	1,8	1,4	1

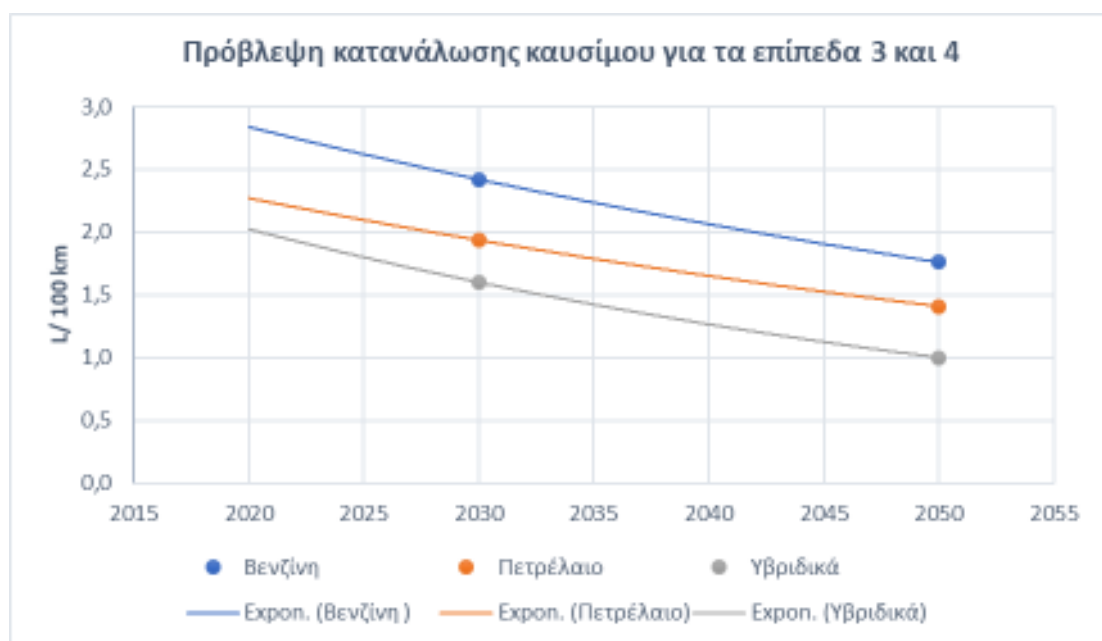
Πίνακας 4-8: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμων σε lt/ 100km για οχήματα επιπέδου αυτοματισμού 5 σύμφωνα με τους NRC, 2013a και Folsom, 2012.

Μέση	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Υβριδικά
0,9	1,0	0,8	0,6

Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των Πινάκων 4-6 και 4-7 και μέσω των εκθετικών καμπύλων που παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 4-6 και 4-7, συμπληρώθηκαν τα στοιχεία των καταναλώσεων για τα οχήματα επιπέδων αυτοματισμού 0, 1, 2, 3 και 4 για τα έτη από το 2020 έως το 2050.



Διάγραμμα 4-6: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου οχημάτων επιπέδων αυτοματισμού 0, 1 και 2.

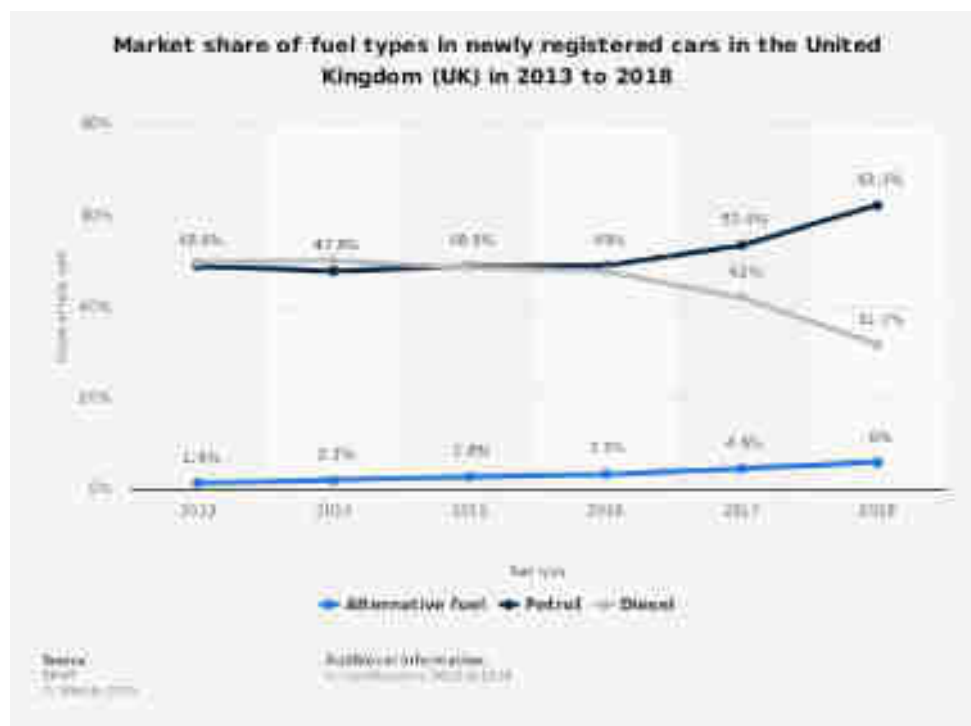


Διάγραμμα 4-7: Πρόβλεψη κατανάλωσης καυσίμου οχημάτων επιπέδων αυτοματισμού 3 και 4.

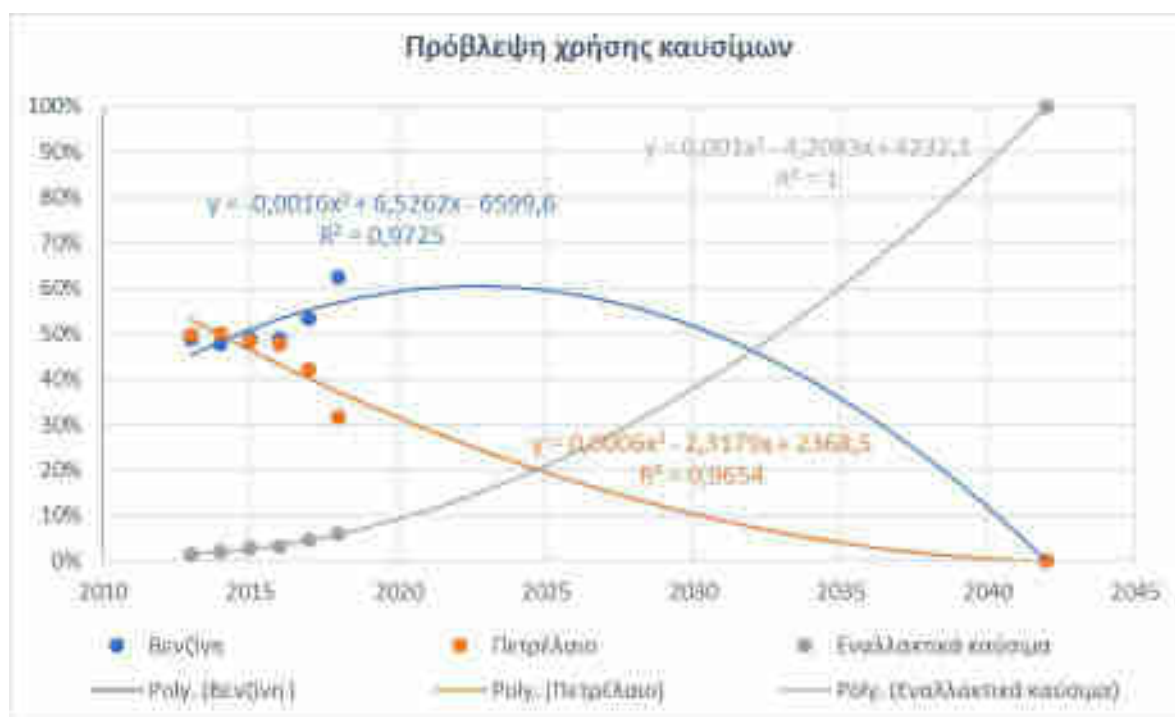
Επειδή δεν βρέθηκαν στοιχεία σχετικά με την μελλοντική κατανάλωση των ηλεκτρικών οχημάτων θεωρήθηκε ότι μειώνεται αναλογικά με αυτή των υβριδικών, σε σχέση με τη σημερινή που είναι κατά μέσο όρο 20 kWh/100 km.

2. Για την **πρόβλεψη του αριθμού των οχημάτων στο οδικό δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου ανά είδος καυσίμου που καταναλώνουν ανά έτος** αξιοποιήθηκαν τα στοιχεία που βρέθηκαν στην ιστοσελίδα της Statista από την SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders).

Σύμφωνα λοιπόν με το Διάγραμμα 4-8 θεωρήθηκε ότι από το σύνολο των οχημάτων το 62% έχουν ως καύσιμο τη βενζίνη, το 32% το πετρέλαιο και το υπόλοιπο 6% χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα. Προεκτείνοντας την καμπύλη των οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα, μέσω διωνυμικής εξίσωσης, που την περιγράφει με ικανοποιητική ακρίβεια, προβλέπεται ότι μετά το 2042 το σύνολο των οχημάτων θα χρησιμοποιεί εναλλακτικά καύσιμα. Επομένως, προκύπτει το Διάγραμμα 4-9 με βάση το οποίο συμπληρώθηκαν οι τιμές στον Πίνακα 4-9 με τα ποσοστά των οχημάτων ανά είδος καυσίμου που καταναλώνουν.



Διάγραμμα 4-8: Ποσοστά οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν (Statista, SMMT).

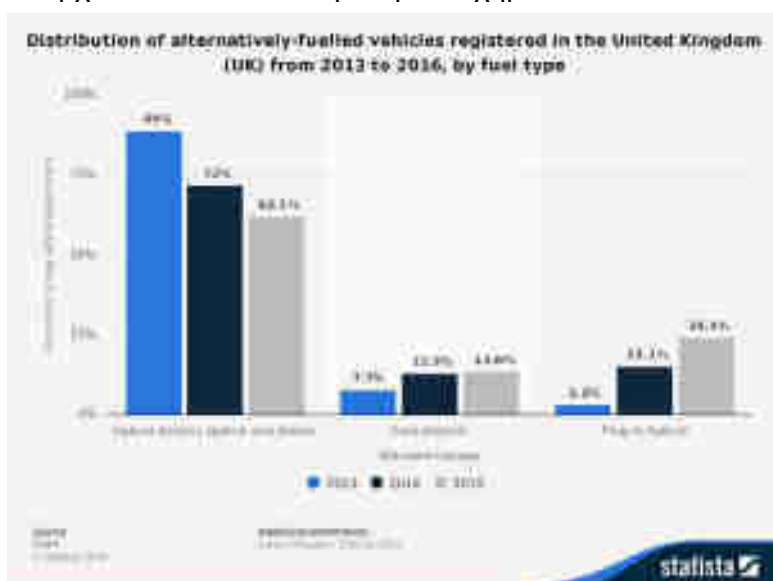


Διάγραμμα 4-9: Πρόβλεψη ποσοστών οχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά είδος καυσίμου που χρησιμοποιούν.

Πίνακας 4-9: Ποσοστά οχημάτων ανά είδος καυσίμου στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με το Διάγραμμα 4-9.

	Βενζίνη	Πετρέλαιο	Εναλλακτικά καύσιμα
2013	48,8%	49,8%	1,4%
2014	47,8%	50,1%	2,1%
2015	48,8%	48,4%	2,8%
2016	49,0%	47,7%	3,3%
2017	53,4%	42,0%	4,6%
2018	62,3%	31,7%	6,0%
2042	0,0%	0,0%	100,0%

ποσοστά που προκύπτουν για τα έτη 2013, 2014 και 2015 από το Διάγραμμα 4-10 της SMMT, που εντοπίστηκε στην ιστοσελίδα της Statista. Τα δεδομένα αυτά περιεγράφηκαν με τη λογαριθμική καμπύλη που φαίνεται στο Διάγραμμα 4-11, με βάση την οποία συμπληρώθηκαν και τα αντίστοιχα ποσοστά στις παραμέτρους των καυσίμων. Προκύπτει ότι από το 2045 και μετά θα υπάρχουν αποκλειστικά ηλεκτρικά οχήματα.



Πίνακας 4-10: Ποσοστά υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων στο σύνολο αυτών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.

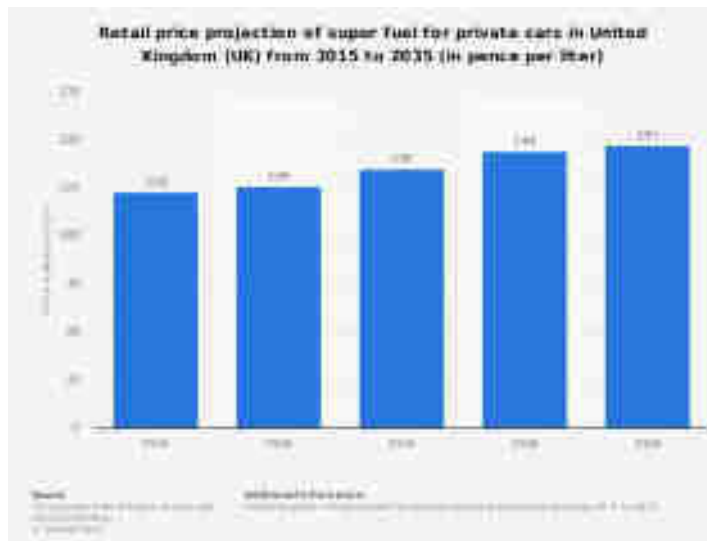
	Υβριδικά	Ηλεκτρικά
2013	92,3%	7,7%
2014	87,1%	12,9%
2015	86,5%	13,5%
2045	0,0%	100,0%

Διάγραμμα 4-10: Κατανομή των οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα σε υβριδικά και ηλεκτρικά (Statista, SMMT).

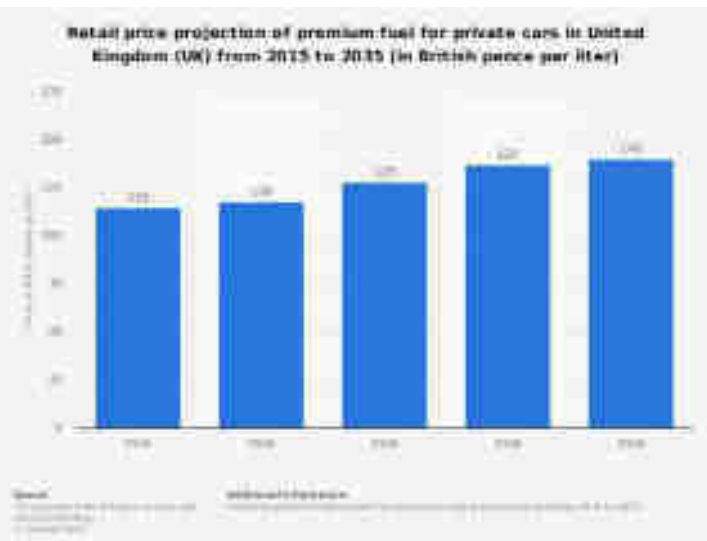


Διάγραμμα 4-11: Πρόβλεψη του ποσοστού των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων στο σύνολο αυτών που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.

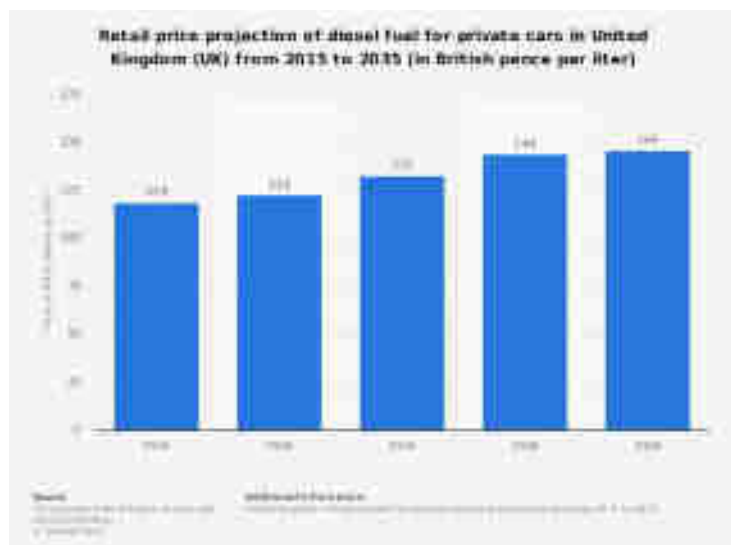
3. Τέλος, απαιτείται η **πρόβλεψη της μέσης τιμής ανά μονάδας καυσίμου ανά έτος, σε ευρώ (€)/ lt καυσίμου ή KWh** για τα ηλεκτρικά οχήματα, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Στα Διαγράμματα 4-12, 4-13 και 4-14 παρουσιάζεται η πρόβλεψη των τιμών της βενζίνης και του πετρελαίου σε πένες Ηνωμένου Βασιλείου ανά λίτρο έως και το 2035, σύμφωνα με το Βρετανικό Υπουργείο Επιχειρήσεων, Ενέργειας και Βιομηχανικής Στρατηγικής (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018). Οι τιμές αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 4-11 αφού έχουν μετατραπεί σε ευρώ ανά λίτρο.



Διάγραμμα 4-12: Μέσο κόστος super βενζίνης στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).



Διάγραμμα 4-13: Μέσο κόστος premium βενζίνης στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).



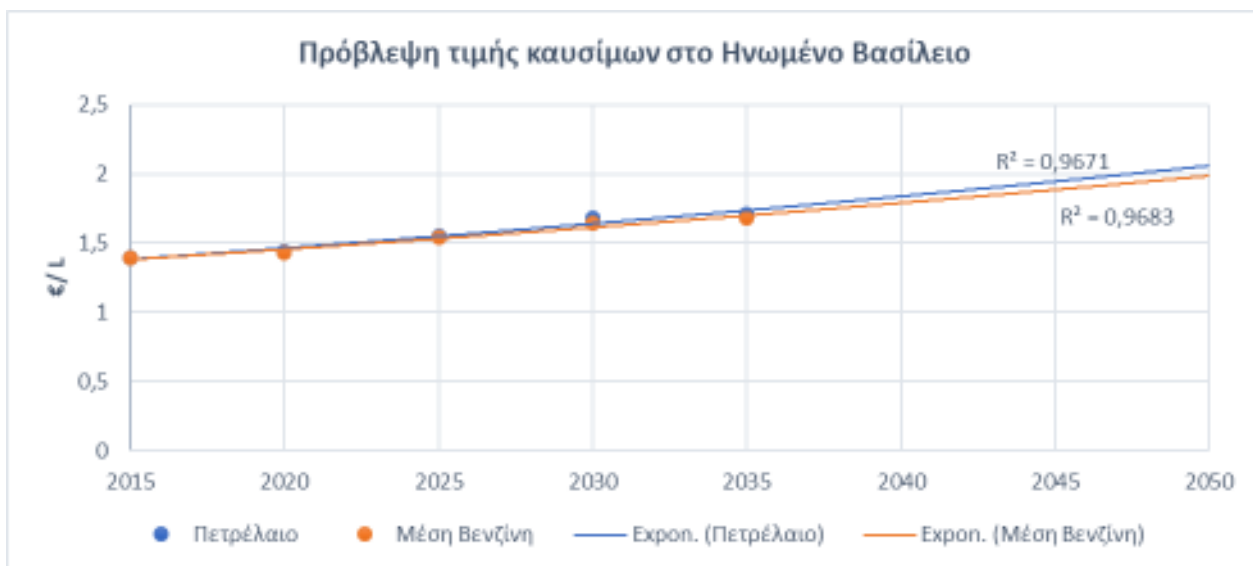
Διάγραμμα 4-14: Μέσο κόστος πετρελαίου στο Ηνωμένο Βασίλειο σε Βρετανικές πένες ανά λίτρο (UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Statista 2018).

Πίνακας 4-11: Συνοπτική παρουσίαση των τιμών των καυσίμων που αναγράφονται στα Διαγράμματα 4-12, 4-13 και 4-14, αφού έχουν μετατραπεί σε ευρώ ανά λίτρο.

	Πετρέλαιο	Premium gas	Super gas	Μέση Βενζίνη
2015	1,39	1,34	1,44	1,39
2020	1,44	1,38	1,47	1,43
2025	1,55	1,50	1,58	1,54
2030	1,68	1,60	1,68	1,64
2035	1,71	1,64	1,72	1,68

Ως τιμή βενζίνης ληφθηκε ο μέσος όρος αυτών της super και της premium.

Με βάση τις παραπάνω τιμές δημιουργήθηκε το Διάγραμμα 4-15, στο οποίο πραγματοποιήθηκε προέκταση τους μέσω εκθετικής καμπύλης έως το έτος ενδιαφέροντος, δηλαδή το 2050.



Διάγραμμα 4-15: Πρόβλεψη τιμής βενζίνης και πετρελαίου.

Αφού συμπληρώθηκαν οι παράμετροι που αφορούσαν το κόστος βενζίνης και πετρελαίου έγινε έρευνα σχετικά με την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο. Μοναδικό στοιχείο που εντοπίστηκε ήταν η τιμή της ανά εξάμηνο σε ευρώ ανά κιλοβατώρες (€/ kWh) τα έτη 2010 με 2018, από την Eurostat (Statista 2018), Διάγραμμα 4-16.



Πίνακας 4-12: Μέση τιμή ηλεκτρικού ρεύματος ανά έτος σύμφωνα με το Διάγραμμα 4-16.

Έτος	€/ kWh
2010	0,14175
2011	0,15085
2012	0,17335
2013	0,1769
2014	0,19655
2015	0,2154
2016	0,1891
2017	0,1811
2018	0,1839

Διάγραμμα 4-16: Τιμή ηλεκτρικού ρεύματος στο Ηνωμένο Βασίλειο ανά εξάμηνο τα έτη 2010 με 2018 (Eurostat, Statista 2018).

Επομένως, λόγω της έλλειψης περαιτέρω στοιχείων θεωρήθηκε ότι η τιμή του ρεύματος μέχρι και το έτος ενδιαφέροντος, το 2050, παραμένει σταθερή σε μια ενδιάμεση τιμή από αυτές του παραπάνω διαγράμματος, δηλαδή 0,184 €/ kWh.

4.4 Παράμετροι – Ρύπτοι

Στο φύλλο του excel που αφορά τις παραμέτρους των ρύπων χρειάζεται να εισαχθούν δύο ειδών δεδομένα:

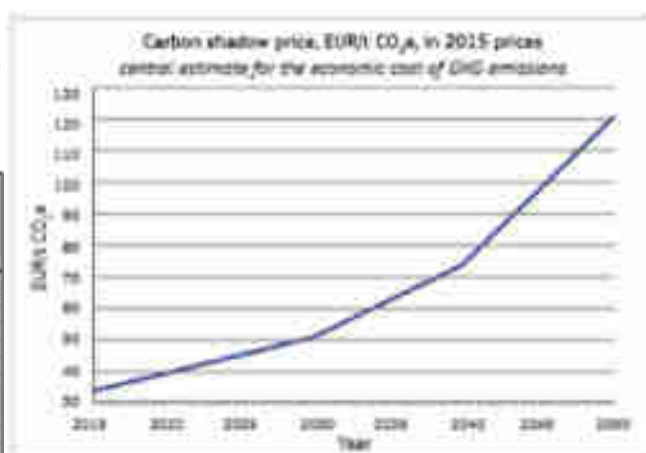
1. **Οι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται ανά λίτρο καταναλισκόμενου καυσίμου** ($\text{tn CO}_2/\text{lt καυσίμου}$), οι οποίοι είναι σταθεροί ανά έτος και αναλύθηκαν στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (στην παράγραφο 2.4 - Εκπομπές ρύπων). Οι τιμές αναγράφονται συνοπτικά στον Πίνακα 4-13 και παραμένουν ίδιες από το 2020 έως και το 2050, δηλαδή σε όλο το χρονικό διάστημα αναφοράς του μοντέλου.
2. **Το κόστος των παραγόμενων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα** (€/ tn CO_2). Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο εντοπίστηκαν στον Περιβαλλοντικό Οδηγό της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-14 και το Διάγραμμα 4-17.

Πίνακας 4-13: Παραγόμενοι τόνοι διοξειδίου του άνθρακα ανά λίτρο καταναλισκόμενου καυσίμου.

Καύσιμα	$\text{tn CO}_2/\text{lt καυσίμου}$
Βενζίνη	0,002392
Diesel	0,00264
Υβριδικά	0,000981
Ηλεκτρικά	0

Πίνακας 4-14: Κόστος σε ευρώ ανά τόνο παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 (European Commission, Environmental Guide).

Year	EUR / tCO_2e	Year	EUR / tCO_2e	Year	EUR / tCO_2e	Year	EUR / tCO_2e
		2021	42	2031	54	2041	80
		2022	43	2032	57	2042	84
		2023	44	2033	59	2043	89
		2024	45	2034	61	2044	94
		2025	46	2035	64	2045	98
2015	35	2026	47	2036	66	2046	103
2016	36	2027	49	2037	68	2047	107
2017	37	2028	50	2038	70	2048	112
2018	38	2029	51	2039	73	2049	117
2019	39	2030	52	2040	75	2050	121
2020	40						



Διάγραμμα 4-17: Κόστος σε ευρώ ανά τόνο παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 (European Commission, Environmental Guide).

4.5 Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού

Στις παραμέτρους του χρόνου ταξιδιού τα στοιχεία που ζητούνται από τον χρήστη είναι:

- **Η μέση ταχύτητα διαδρομής** σε χιλιόμετρα ανά ώρα (km/h) για οχήματα κάθε επιπέδου αυτοματισμού.
- **Ένας συντελεστής καθυστέρησης**, που εκφράζει το ποσοστό (%) του επιπρόσθετου χρόνου που απαιτείται για τις μετακινήσεις (φανάρια, διασταυρώσεις, κυκλοφοριακή συμφόρηση).
- **Η ποσοστιαία μείωση της αξίας του χρόνου** για κάθε επίπεδο αυτοματισμού.
- **Το ποσοστό του συνολικού αριθμού των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για εργασία** και για διαφορετικούς λόγους.
- **Η τιμή ανά ώρα μετακίνησης για εργασία και μη.**

Στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρουσιάστηκαν πολλές διαφορετικές εκδοχές σχετικά με την μείωση που θα επέλθει στις καθυστερήσεις καθώς και στην αξία του χρόνου με την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων. Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που θεωρήθηκαν πιο πιθανές να επιτευχθούν μετά από δοκιμές, ως μια μέση προσέγγιση των υπολοίπων.

Για την εύρεση της μέσης ταχύτητας ταξιδιού όσον αφορά τα συμβατικά οχήματα αρχικά επισημάνθηκε το είδος του οδικού δικτύου στη Μεγάλη Βρετανία (δεν εντοπίστηκε για το σύνολο του Ηνωμένου Βασιλείου), το οποίο σύμφωνα με στατιστική έρευνα που πραγματοποιήθηκε από

το Υπουργείο Μεταφορών της αποτυπώνετε στο Διάγραμμα 4-18. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν πάλι στοιχεία του Υπουργείου Μεταφορών σχετικά με τη μέση ταχύτητα των διαδρομών (μετατράπηκαν από mph σε km/h) σε κάθε ένα από τα είδη του οδικού δικτύου που καταγράφηκαν προκειμένου να προσεγγιστεί η μέση ταχύτητα στο σύνολο του οδικού δικτύου.

In 2017 the total road length in Great Britain was estimated to be 246,700 miles.



Διάγραμμα 4-18: Δομή οδικού δικτύου Μεγάλης Βρετανίας (Department of Transport, 2018).

Το κόστος ανά ώρα ταξιδιού κυμαίνεται από 24 € ανά ώρα για επαγγελματικά ταξίδια σε 7 € ανά ώρα για μικρά ταξίδια αναψυχής σύμφωνα με τους CE / INFRAS / ISI (2008a) και HEATCO (2006a) (External Costs of Transport in Europe, 2008). Ως ποσοστό οχημάτων χρησιμοποιούμενων για εργασία και μη λήφθηκε η τιμή 50% για το καθένα, καθώς υπήρχε έλλειψη περισσότερων στοιχείων για το σύνολο του Ηνωμένου Βασιλείου.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία συνοψίζονται με τον τρόπο που συμπληρώθηκαν στον Πίνακα 4-15.

Πίνακας 4-15: Δεδομένα εισόδου στις παραμέτρους που αφορούν το χρόνο ταξιδιού.

Επίπεδο	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
Επίπεδο 0	50	40%	0%
Επίπεδο 1	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	40%	0%
Επίπεδο 2	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	40%	0%
Επίπεδο 3	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	40	30%	20%
Επίπεδο 4	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	10%	40%
Επίπεδο 5	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστέρησης	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	60	0%	50%

	Τιμή μονάδος	Ποσοστό οχημάτων
Εργασία	24	50%
Όχι εργασία	7	50%

Αυτοκινητόδρομοι: 0,93% του οδικού δικτύου, μέση ταχύτητα διαδρομής 111 km/h.

Κεντρικές οδοί κατηγορίας 'Α': 2,15% του οδικού δικτύου, μέση ταχύτητα 79 km/h.

Τοπικές οδοί κατηγορίας 'Α': 9,69% του οδικού δικτύου, μέση ταχύτητα 79 km/h.

Τοπικές οδοί κατηγορίας 'Β': 7,62% του οδικού δικτύου, μέση ταχύτητα 50 km/h.

Τοπικές οδοί κατηγορίας 'C' και 'D': 79,61% του οδικού δικτύου, μέση ταχύτητα 45 km/h.

Οπότε τελικά προέκυψε **μέση ταχύτητα στο σύνολο του οδικού δικτύου τα 50 km/h.**

4.6 Παράμετροι – Υποδομές

Στις παραμέτρους που αφορούν τις υποδομές τα στοιχεία που χρειάζεται να συμπληρωθούν από τον χρήστη είναι:

- **Το μέσο κόστος λειτουργίας – συντήρησης ανά διανυόμενο οχηματοχιλιόμετρο (€/vkm)** για αυτόματα οχήματα (επίπεδα 3, 4 και 5) και μη (επίπεδα 0, 1 και 2).
- **Το ποσοστό στο οποίο αντιστοιχεί το κόστος λειτουργίας – συντήρησης σε σχέση με το κόστος κατασκευής για τα αυτόματα οχήματα.** Με βάση αυτό το ποσοστό υπολογίζεται το κόστος κατασκευής (ισούται με το κόστος λειτουργίας – συντήρησης προς το παραπάνω ποσοστό) το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά για τα αυτόματα οχήματα και αφορά το κόστος κατασκευής των απαραίτητων υποδομών.

Το απαιτούμενο κόστος λειτουργίας – συντήρησης για οδικό δίκτυο που εξυπηρετεί μη αυτόματα οχήματα εντοπίστηκε στην έκθεση για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή της Ricardo -AEA (Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014), που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4-16. Χρησιμοποιήθηκε η τιμή που αφορά τα αυτοκίνητα σε όλο το οδικό δίκτυο, δηλαδή 0,005 ευρώ (0,5 λεπτά του ευρώ) ανά οχηματοχιλιόμετρο.

Πίνακας 4-16: Κόστος λειτουργίας-συντήρησης των υποδομών στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε λεπτά του ευρώ ανά οχηματοχιλιόμετρο (€/vkm) (Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014).

Vehicle category	All roads	Motorways	Other trunk roads	Other roads
Motorcycles and mopeds	0.2	0.1	0.1	0.3
Cars	0.5	0.2	0.3	0.8
Buses	2.0	0.8	1.4	2.7
LGV < 3.5 t	0.7	0.3	0.5	1.2
HGV 3.5 - 7.5 t, 2 axles	0.1	0.0	0.0	0.4
HGV 7.5 - 12 t, 2 axles	1.5	0.6	1.0	8.2
HGV 12 - 18 t, 2 axles	3.5	1.6	2.7	21.5
HGV 18 - 26 t, 3 axles	5.2	2.2	3.6	28.9
HGV 26 - 32 t, 4 axles	6.5	2.8	4.6	36.7
HGV 26 - 32 t, 5 axles	3.6	1.5	2.5	20.1
HGV 32 - 40 t, 5 axles	8.9	3.3	5.5	44.6
HGV 32 - 40 t, 6 axles	4.8	2.0	3.3	26.7
HGV 40 - 50 t, 6 axles	5.0	2.1	3.5	28.1
HGV 40 - 50 t, 8 axles	3.8	1.6	2.7	21.5
HGV 50 - 60 t, 8 axles	10.6	4.4	7.4	59.3
HGV 50 - 60 t, 9 axles	7.6	3.2	5.3	42.3
HGV 40 t, 8 axles	3.5	1.5	2.4	19.4
HGV 40 t, 9 axles	2.8	1.2	2.0	15.6
HGV 44 t, 5 axles	18.8	7.9	13.1	105.0
HGV 44 t, 6 axles	10.3	4.3	7.2	57.7

Όσον αφορά το κόστος λειτουργίας – συντήρησης για τα αυτόματα οχήματα και το ποσοστό του κόστους κατασκευής δεν βρέθηκαν σχετικές έρευνες με ποσοτικά δεδομένα και συμπληρώθηκαν με βάση τη λογική και ύστερα από την διενέργεια δοκιμών (θεωρήθηκε τελικά πενταπλάσιο αυτού των συμβατικών).

Στον Πίνακα 4-17 αναγράφονται συνοπτικά τα δεδομένα εισόδου στις παραμέτρους που αφορούν το κόστος υποδομών.

Πίνακας 4-17: Συμπλήρωση των παραμέτρων που αφορούν το κόστος υποδομών.

	Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€/vkm)	Ποσοστό του κόστους κατασκευής	Κόστος κατασκευής (€/vkm)
Επίπεδα 0, 1, 2	0,005	-	-
Επίπεδα 3, 4 και 5	0,025	10%	0,25

4.7 Παράμετροι – Ατυχήματα

Πολύ σημαντικό κομμάτι από τα ενδεχόμενα οικονομικά οφέλη της μελλοντικής διείσδυσης αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο σύμφωνα με την βιβλιογραφία θα επέλθει μέσω της μείωσης των ατυχημάτων, και συνεπώς των νεκρών και των ελαφρά και βαριά τραυματιών που προκαλούνται σε αυτά.

Οι παράμετροι που χρειάζονται συμπλήρωση προκειμένου το μοντέλο να προβεί σε μελλοντική πρόβλεψη των οικονομικών επιπτώσεων είναι **το ποσοστό μείωσης των ατυχημάτων που θα επέλθει για κάθε επίπεδο αυτοματισμού σε σχέση με το μηδενικό επίπεδο, το εκτιμώμενο κόστος ανά νεκρό, ελαφρά και βαριά τραυματία για την χώρα εφαρμογής, τον αριθμό των θυμάτων σε τροχαία ανά είδος (νεκροί, ελαφρά και βαριά τραυματίες) για το πιο πρόσφατο έτος που μπορούν να εντοπιστούν στοιχεία καθώς και πρόβλεψη του αριθμού των νεκρών ανά έτος σε ατυχήματα από τη χρήση αποκλειστικά οχημάτων επιπέδου αυτοματισμού μηδέν το χρονικό διάστημα αναφοράς, δηλαδή από το 2020 έως και το 2050.**

Σχετικά με την ενδεχόμενη μείωση των ατυχημάτων από τις διάφορες τεχνολογίες διασυνδεδεμένων και αυτόματων οχημάτων παρουσιάστηκε πληθώρα ερευνών στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Λόγω του εύρους των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το σύνολο των ερευνών και της σχετικής αβεβαιότητας που επικρατεί σχετικά με την ακρίβεια τους επιλέχθηκαν κάποια ενδεικτικά ποσοστά, όπως φαίνονται στον Πίνακα 4-18, τα οποία μπορούν να μεταβληθούν εύκολα από κάθε χρήστη σύμφωνα με τις πηγές που έχει εντοπίσει και την προσωπική του κρίση.

Πίνακας 4-18: Συμπλήρωση των ποσοστών μείωσης των ατυχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού σε σχέση με το μηδενικό στις παραμέτρους των ατυχημάτων.

Ποσοστό Μείωσης Ατυχημάτων σε σχέση με το επίπεδο 0	
Επίπεδο 1	5%
Επίπεδο 2	15%
Επίπεδο 3	50%
Επίπεδο 4	70%
Επίπεδο 5	90%

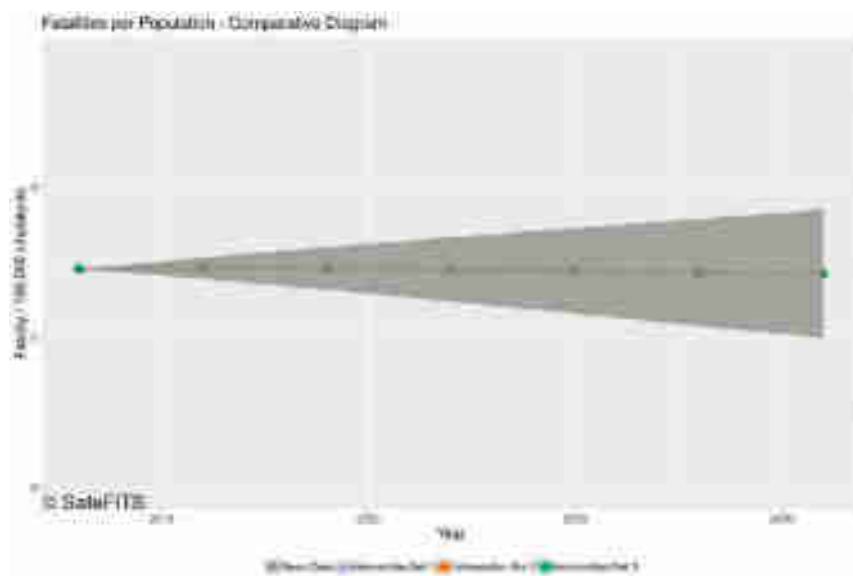
Το κόστος ανά νεκρό, βαριά και ελαφρά τραυματία μπορεί να ληφθεί από τον Πίνακα 4-19, που εντοπίστηκε στην έκθεση για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή της Ricardo - AEA (Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014). Επομένως, για χώρα ενδιαφέροντος τη Μεγάλη Βρετανία (δεν εντοπίστηκε για το Ηνωμένο Βασίλειο) το μέσο κόστος ανά νεκρό θεωρήθηκε 2.170.000€, ανά βαριά τραυματία 280.300€ και ανά ελαφρά τραυματισμένο 22.200€.

Σύμφωνα με έρευνα του Υπουργείου Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας (Reported road casualties in Great Britain: quarterly provisional estimates year ending June 2018) κατά το έτος 2017 οι νεκροί λόγω τροχαίων ανήλθαν στους 1.770, οι βαριά τραυματίες στους 26.610 και οι ελαφρά στους 138.490.

Πίνακας 4-19: Μέσο κόστος ανά νεκρό, βαριά και ελαφρά τραυματία σε τροχαία ατυχήματα για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014).

Country	Fatality	Severe injury	Slight injury
Austria	2.385.000	327.000	25.800
Belgium	2.170.000	330.400	21.300
Bulgaria	984.000	127.900	9.800
Croatia	1.333.000	173.300	13.300
Cyprus	1.234.000	163.100	11.900
Czech Republic	1.446.000	194.300	14.100
Denmark	2.364.000	292.600	22.900
Estonia	1.163.000	156.800	11.200
Finland	2.213.000	294.300	22.000
France	2.076.000	289.200	21.600
Germany	2.220.000	307.100	24.800
Greece	1.518.000	198.400	15.100
Hungary	1.225.000	164.400	11.900
Ireland	2.412.000	305.600	23.300
Italy	1.916.000	246.200	18.800
Latvia	1.034.000	140.000	10.000
Lithuania	1.061.000	144.900	10.500
Luxembourg	3.323.000	517.700	31.200
Malta	2.122.000	269.500	20.100
Netherlands	2.388.000	316.400	25.500
Poland	1.168.000	156.700	11.300
Portugal	1.505.000	201.100	13.800
Romania	1.048.000	136.200	10.400
Slovakia	1.583.000	219.700	15.700
Slovenia	1.989.000	258.300	18.900
Spain	1.913.000	237.800	17.900
Sweden	2.240.000	328.700	23.500
Great Britain	2.170.000	280.300	22.200
EU average	1.870.000	243.100	18.700

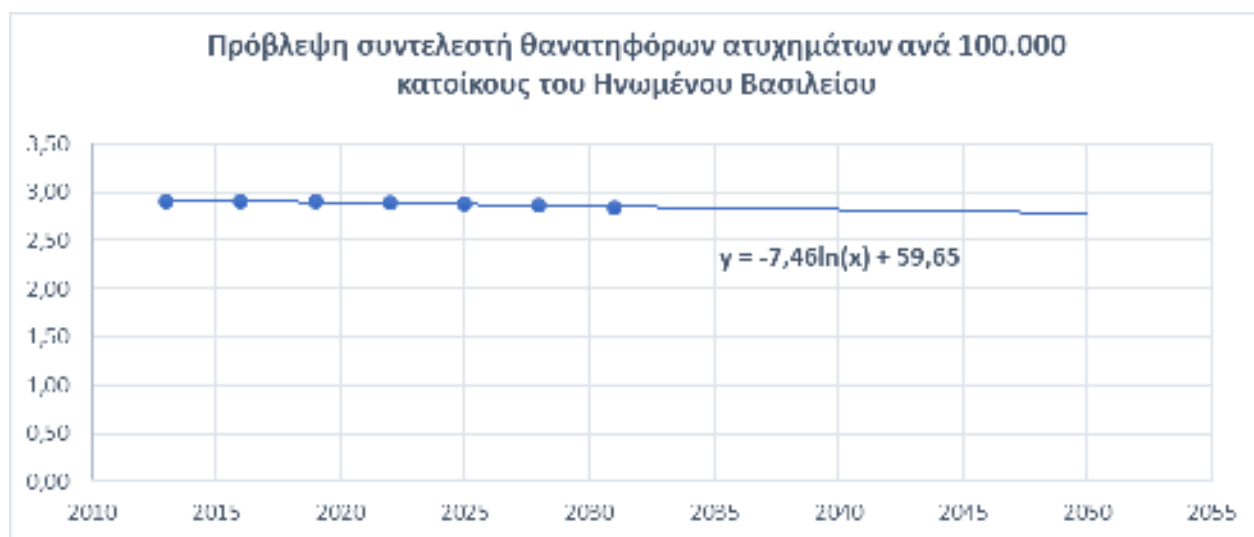
Τέλος, πραγματοποιήθηκε η πρόβλεψη του αριθμού των νεκρών από τροχαία ατυχήματα ανά έτος όταν το σύνολο του στόλου στο οδικό δίκτυο της περιοχής εφαρμογής του μοντέλου αποτελείται από οχήματα μηδενικού επιπέδου αυτοματισμού, από το 2020 έως και το 2050. Από την ιστοσελίδα της SafeFITS εντοπίστηκε ο συντελεστής που αντιστοιχεί σε νεκρούς από τροχαία ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους για το Ηνωμένο Βασίλειο. Η πρόβλεψη του παραπάνω συντελεστή από την ιστοσελίδα της SafeFITS πραγματοποιήθηκε μέχρι το έτος 2031 (Διάγραμμα 4-19, Πίνακας 4-20), συνεπώς κρίθηκε αναγκαία η προέκταση του έως το 2050, μέσω της χρήσης της σχέσης που προέκυψε στο Διάγραμμα 4-20.



Πίνακας 4-20: Οι συντελεστές του Διαγράμματος 4-19 σύμφωνα με την ιστοσελίδα της SafeFITS.

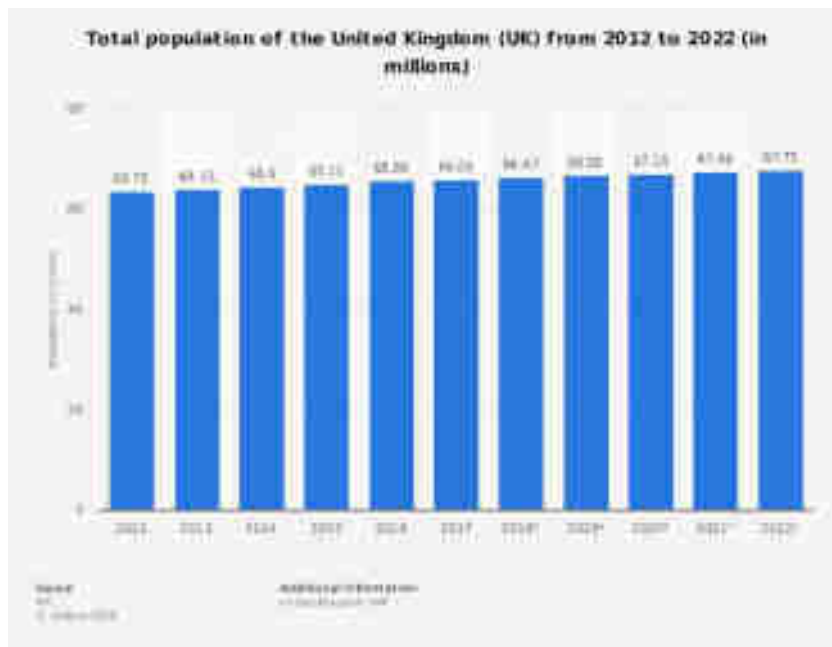
Έτος	Νεκροί/ 100.000 κατοίκους
2013	2,90
2016	2,91
2019	2,91
2022	2,89
2025	2,88
2028	2,86
2031	2,84

Διάγραμμα 4-19: Πρόβλεψη συντελεστή νεκρών από τροχαία ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με την ιστοσελίδα της SafeFITS.

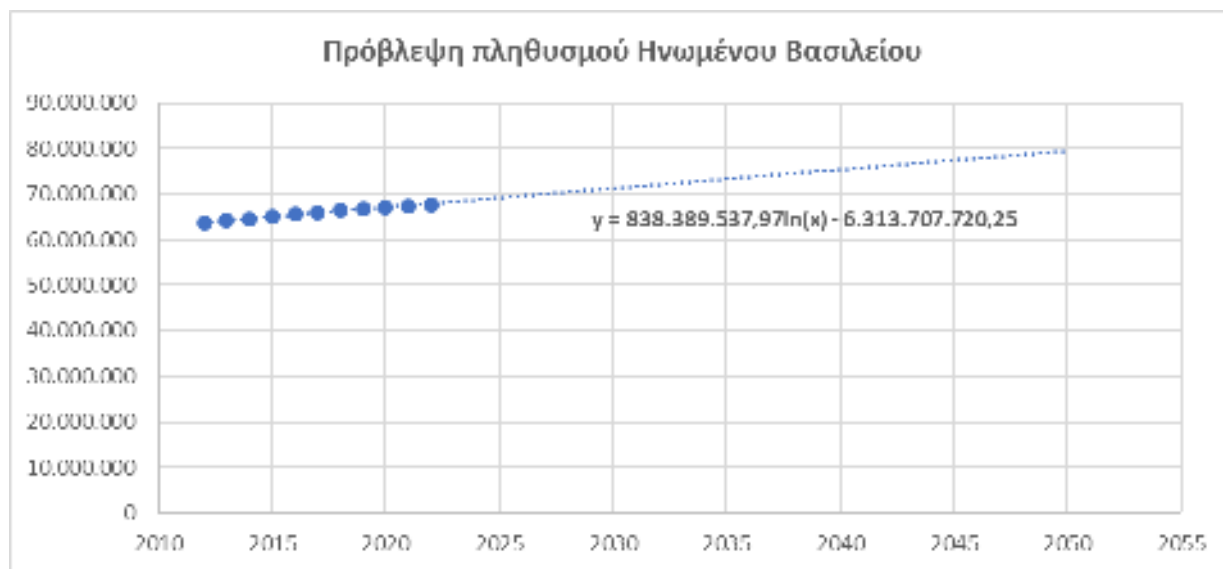


Διάγραμμα 4-20: Προέκταση των συντελεστών των νεκρών από τροχαία ατυχήματα ανά 100.000 κατοίκους στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με την SafeFITS (Διάγραμμα 4-19) μέχρι και το 2050.

Βασική προϋπόθεση για τη χρήση των παραπάνω συντελεστών αποτελεί ο προσδιορισμός του πληθυσμού του Ηνωμένου Βασιλείου ανά έτος από το 2020 μέχρι και το 2050. Ως δεδομένο χρησιμοποιήθηκε η πρόβλεψη του συνολικού πληθυσμού του Ηνωμένου Βασιλείου ανά έτος έως και το 2022, που πραγματοποιήθηκε από το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο (IMF - International Monetary Fund, Statista 2019) και απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4-21. Η προέκταση των τιμών του πληθυσμού έως το 2050 και η σχέση που τους συνδέει παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4-22.



Διάγραμμα 4-21: Συνολικός πληθυσμός του Ηνωμένου Βασιλείου ανά έτος από το 2012 έως και το 2022 (IMF, Statista 2019).



Διάγραμμα 4-22: Προέκταση των τιμών του Διαγράμματος 4-21 έως και το έτος 2050 με χρήση λογαριθμικής καμπύλης.

Επομένως, μέσω πολλαπλασιασμού του συντελεστή με τον αντίστοιχο πληθυσμό του Ηνωμένου Βασιλείου υπολογίσθηκαν οι θάνατοι από τροχαία ανά έτος, οι οποίοι θεωρήθηκαν ότι αφορούν στόλο οχημάτων αποκλειστικά μηδενικού επιπέδου αυτοματισμού στο οδικό δίκτυο. Για τον υπολογισμό των ελαφρά και βαριά τραυματιών λόγω έλλειψης στοιχείων πραγματοποιήθηκε η

παραδοχή ότι μεταβάλλονται αναλογικά με τον αριθμό των νεκρών. Υπολογίστηκε λοιπόν η ποσοστιαία αύξηση των θανάτων ανά έτος προκειμένου να ληφθεί η αντίστοιχη αύξηση ανά έτος στον αριθμό των ελαφρά και βαριά τραυματιών και να προσεγγιστεί σε κάποιο βαθμό ο τελικός αριθμός τους. Τα νούμερα των παραπάνω υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-21 όπως προέκυψαν για το Ηνωμένο Βασίλειο. Όσον αφορά την ποσοστιαία αύξηση το έτος 2020 αυτή υπολογίζεται σε σχέση με το έτος για το οποίο εντοπίστηκαν τα τελευταία στοιχεία σχετικά με τον αριθμό των νεκρών, ελαφρά και βαριά τραυματισμένων από ατυχήματα κατά τη συμπλήρωση των παραμέτρων, στην προκειμένη περίπτωση δηλαδή το 2017 (Reported road casualties in Great Britain: quarterly provisional estimates year ending June 2018).

Πίνακας 4-21: Συμπλήρωση του αριθμού των θανάτων από τροχαία στις παραμέτρους των ατυχημάτων.

Έτος	Θάνατοι σε τροχαία/ 100.000 κατοίκους	Πληθυσμός	Θάνατοι σε τροχαία	Ποσοστιαία αύξηση θανάτων σε τροχαία ανά έτος
2020	2,89	67.151.634	1.942	0,0972
2021	2,89	67.566.576	1.951	0,0049
2022	2,88	67.981.312	1.960	0,0049
2023	2,88	68.395.844	1.970	0,0048
2024	2,88	68.810.170	1.979	0,0048
2025	2,87	69.224.292	1.989	0,0047
2026	2,87	69.638.209	1.998	0,0047
2027	2,87	70.051.922	2.007	0,0047
2028	2,86	70.465.431	2.017	0,0046
2029	2,86	70.878.736	2.026	0,0046
2030	2,85	71.291.838	2.035	0,0045
2031	2,85	71.704.736	2.044	0,0045
2032	2,85	72.117.431	2.053	0,0045
2033	2,84	72.529.923	2.062	0,0044
2034	2,84	72.942.212	2.071	0,0044
2035	2,84	73.354.298	2.080	0,0044
2036	2,83	73.766.182	2.089	0,0043
2037	2,83	74.177.863	2.098	0,0043
2038	2,83	74.589.343	2.107	0,0042
2039	2,82	75.000.620	2.116	0,0042
2040	2,82	75.411.697	2.125	0,0042
2041	2,81	75.822.571	2.134	0,0041
2042	2,81	76.233.244	2.143	0,0041
2043	2,81	76.643.717	2.151	0,0041
2044	2,80	77.053.988	2.160	0,0040
2045	2,80	77.464.059	2.169	0,0040
2046	2,80	77.873.929	2.177	0,0040
2047	2,79	78.283.599	2.186	0,0040
2048	2,79	78.693.069	2.194	0,0039
2049	2,78	79.102.339	2.203	0,0039
2050	2,78	79.511.409	2.211	0,0039

4.8 Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων

Καθοριστικό ρόλο στην υιοθέτηση της χρήσης των αυτόματων οχημάτων από τους πολίτες έχει το κόστος αγοράς τους. Οι απαιτούμενες παράμετροι για την εκτίμηση του κόστους αγοράς από το μοντέλο είναι **το μέσο κόστος για την αγορά ενός καινούργιου οχήματος επιπέδου αυτοματισμού 0, το επιπλέον κόστος για την μετάβαση ενός οχήματος από επίπεδο 0 στα επίπεδα 1, 2, 3, 4 και 5, τα ποσοστά μείωσης των τιμών ανά έτος και η πρόβλεψη του συνολικού αριθμού καινούργιων οχημάτων που θα αγοράζονται ετησίως από το 2020 έως το 2050.**

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση υπάρχουν αρκετές εκδοχές σχετικά με την τιμή των απαιτούμενων τεχνολογιών για κάθε επίπεδο αυτοματισμού και την μείωση του κόστους που θα επέλθει με την πάροδο των ετών με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ευρύ φάσμα τιμών. Για το επιπλέον κόστος της τεχνολογίας κάθε επιπέδου επιλέχθηκε η χρήση των προτεινόμενων τιμών από την εταιρεία Roland Berger (2016), ενώ για τα ετήσια ποσοστά μείωσης πραγματοποιήθηκαν κάποιες εύλογες παραδοχές, όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 4-22 και 4-23.

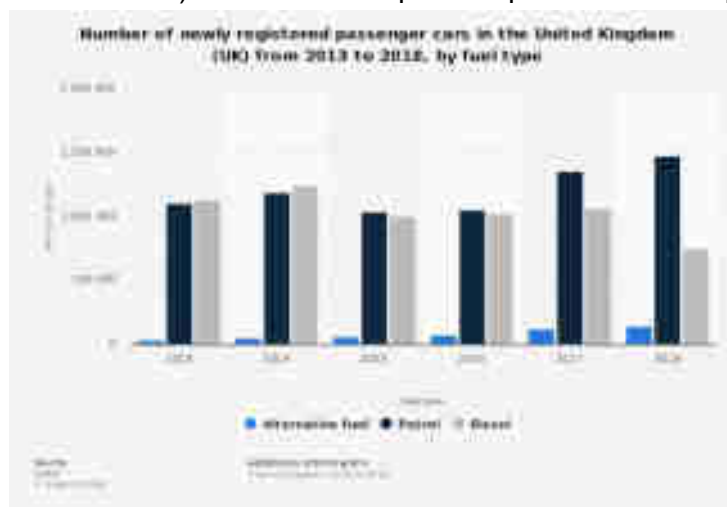
Πίνακας 4-22: Συμπλήρωση των παραμέτρων σχετικά με το μέσο κόστος αγοράς ενός οχήματος κάθε επιπέδου αυτοματισμού τη σημερινή εποχή.

Σημερινές τιμές για την αγορά καινούργιου οχήματος επιπέδου αυτοματισμού 0			20.000
Επιπλέον κόστος για την τεχνολογία κάθε επιπέδου και τελικό κόστος οχήματος	Επίπεδο 1	1.800	21.800
	Επίπεδο 2	6.900	26.900
	Επίπεδο 3	13.100	33.100
	Επίπεδο 4	19.000	39.000
	Επίπεδο 5	23.400	43.400

Πίνακας 4-23: Συμπλήρωση των παραμέτρων σχετικά με την ετήσια μείωση του κόστους αγοράς των οχημάτων.

Ποσοστό ετήσιας μείωσης συνολικής τιμής	
Επίπεδο 0	1%
Ποσοστό ετήσιας μείωσης επιπλέον τιμής	
Επίπεδα 1-5	5%

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ετήσιος αριθμός πωλήσεων καινούργιων οχημάτων από το 2020 έως και το 2050 αξιοποιήθηκαν δεδομένα από την SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders) που εντοπίστηκαν στην ιστοσελίδα της Statista (Διάγραμμα 4-23, Πίνακας 4-24).

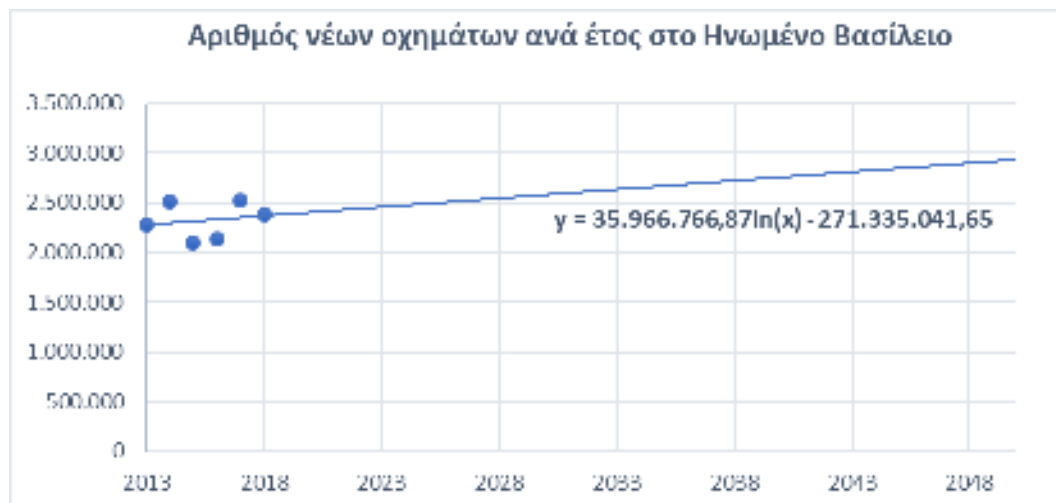


Διάγραμμα 4-23: Ο αριθμός καινούργιων οχημάτων που αγοράζονται ετησίως στο Ηνωμένο Βασίλειο (SMMT, Statista 2019).

Πίνακας 4-24: Σύνοψη των τιμών του Διαγράμματος 4-23.

Έτος	Καύσιμα	Αριθμός νέων οχημάτων ανά καύσιμο	Συνολικός αριθμός νέων οχημάτων
2013	Βενζίνη	1.100.000	2.275.000
	Πετρέλαιο	1.125.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	50.000	
2014	Βενζίνη	1.200.000	2.510.000
	Πετρέλαιο	1.250.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	60.000	
2015	Βενζίνη	1.030.000	2.100.000
	Πετρέλαιο	1.000.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	70.000	
2016	Βενζίνη	1.050.000	2.140.000
	Πετρέλαιο	1.010.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	80.000	
2017	Βενζίνη	1.330.000	2.530.000
	Πετρέλαιο	1.080.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	120.000	
2018	Βενζίνη	1.480.000	2.380.000
	Πετρέλαιο	750.000	
	Εναλλακτικά καύσιμα	150.000	

Προεκτείνοντας λοιπόν τα δεδομένα των ετών 2013 με 2018 έως το έτος αναφοράς του μοντέλου, δηλαδή το 2050 βρέθηκε μια σχέση που μπορεί να περιγράψει προσεγγιστικά, χωρίς ακρίβεια, απλά για τη συμπλήρωση των δεδομένων του μοντέλου, τον ετήσιο αριθμό πωλήσεων οχημάτων για το Ηνωμένο Βασίλειο (Διάγραμμα 4-24). Επομένως, χρησιμοποιώντας τη σχέση που προέκυψε ($y = 35.966.766,87 \ln(x) - 271.335.041,65$, όπου x το αντίστοιχο έτος) υπολογίζονται τα καινούργια οχήματα ανά έτος και εισάγονται στα κατάλληλα κελιά στο φύλλο των παραμέτρων.



Διάγραμμα 4-24: Προέκταση των τιμών του Διαγράμματος 4-23 μέχρι και το έτος 2050.

4.9 Παράμετροι – Ασφάλιση Οχημάτων

Σχετικά με το κόστος ασφάλισης των οχημάτων οι παράμετροι που καλείται να συμπληρώσει ο χρήστης είναι **το μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για ένα συμβατικό όχημα επιπέδου αυτοματισμού 0, 1 ή 2** καθώς και **τα ποσοστά μείωσης του κόστους αυτού για οχήματα επιπέδου 3, 4 και 5 ξεχωριστά**. Η μείωση στο κόστος ασφάλισης θα προέλθει σύμφωνα με την βιβλιογραφία λόγω της ελαχιστοποίησης των ατυχημάτων όσο αυξάνεται το επίπεδο αυτοματισμού των οχημάτων. Παρ' όλα αυτά δεν εντοπίστηκαν συγκεκριμένα ποσοστά μείωσης για κάθε επίπεδο, επομένως ο χρήστης καλείται ο ίδιος να εισάγει τιμές σύμφωνα με την προσωπική του εκτίμηση και να πραγματοποιήσει δοκιμές σχετικά με το ποσοστό επιρροής τους στο τελικό αποτέλεσμα.

Για περιοχή εφαρμογής του μοντέλου το Ηνωμένο Βασίλειο συμπληρώθηκαν τα στοιχεία όπως αυτά φαίνονται στον Πίνακα 4-25.

Πίνακας 4-25: Συμπληρωμένες παράμετροι σχετικά με το κόστος ασφάλισης των οχημάτων.

Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για επίπεδα 0, 1, 2		300
Ποσοστό μείωσης του κόστους για το αντίστοιχο επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδο 3	40%
	Επίπεδο 4	60%
	Επίπεδο 5	80%
Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για το αντίστοιχο επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδο 3	180
	Επίπεδο 4	120
	Επίπεδο 5	60

Πίνακας 4-26: Ο τρόπος και οι πηγές συμπλήρωσης της εκάστοτε παραμέτρου συνοπτικά.

Παράμετροι	Απαιτούμενα Στοιχεία	Πηγές
1 Σενάρια	Σενάρια διείσδυσης για το σύνολο των αυτόματων οχημάτων	Δοκιμές
	Ποσοστά αυτόματων οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
	Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού την υπάρχουσα κατάσταση	Εταιρεία Kelley Blue Book των Η.Π.Α. (θυγατρικός οργανισμός: Cox Automotive)
2 Οχηματο-χιλιόμετρα	Μέσος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων ανά όχημα	Παραδοχή
	Ποσοστό αύξησης οχηματοχιλιομέτρων για τα επίπεδα 4 και 5	Harper et al., 2016
	Συνολικός αριθμός οχημάτων στην περιοχή εφαρμογής	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
3 Καύσιμα	Μέση τιμή μονάδας καυσίμου (€/lt ή kWh)	UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy (Statista 2018), Eurostat (Statista 2018)
	Μέση κατανάλωση (lt ή kWh/100km)	NRC, 2013a, Folsom, 2012 (RAND-Autonomous Vehicle Technology Guide-2016)
	Ποσοστό οχημάτων ανά είδος καταναλισκόμενου καυσίμου	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
4 Ρύποι	tn CO ₂ / lt καυσίμου	http://ecoscore.be
	Τιμή μονάδας (€/ tn CO ₂)	European Commission, Environmental Guide
5 Χρόνος ταξιδιού	Τιμή ανά ώρα εργασίας και μη	CE / INFRAS / ISI (2008a) και HEATCO (2006a) (External Costs of Transport in Europe, 2008)
	Ποσοστό οχημάτων που κινείται για εργασία και μη	Παραδοχή
	Μέση ταχύτητα ανά επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδα αυτοματισμού 0, 1 και 2 → Υπουργείο Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας
	Συντελεστής καθυστερήσεων (%) ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
	Μείωση αξίας χρόνου (%) ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
6 Υποδομές	Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€/vkm) για αυτόματα και μη οχήματα	Μη αυτόματα οχήματα → Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014
	Ποσοστό του κόστους συντήρησης επί του κόστους κατασκευής	Παραδοχή
7 Ατυχήματα	Ποσοστό μείωσης ατυχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
	Κόστος ανά νεκρό, βαριά και ελαφρά τραυματία	Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014

		Αριθμός θυμάτων ανά έτος με βάση τα πιο πρόσφατα στοιχεία	Reported road casualties in Great Britain: quarterly provisional estimates year ending June 2018
		Πρόβλεψη αριθμού νεκρών από τροχαία	Ιστοσελίδα της SafeFITS και πρόβλεψη πληθυσμού από το IMF (Statista 2019)
8	Αγορά οχημάτων	Κόστος για αγορά ενός καινούργιου οχήματος για κάθε επίπεδο αυτοματισμού	Προτεινόμενες τιμές από την εταιρεία Roland Berger (2016)
		Πρόβλεψη αριθμού καινούργιων οχημάτων που αγοράζονται ανά έτος	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
		Ποσοστό ετήσιας μείωσης του κόστους	Παραδοχή
9	Ασφάλιση οχημάτων	Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για επίπεδα 0, 1, 2	Παραδοχή
		Ποσοστό μείωσης του κόστους για τα επίπεδα αυτοματισμού 3, 4 και 5	Παραδοχή

Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Εφαρμογής του Μοντέλου

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο **παράτιθενται και αναλύονται τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα που εκτιμήθηκαν από το μοντέλο** για την συμπλήρωση των παραμέτρων όπως αυτή πραγματοποιήθηκε προηγουμένως, με χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο. Τα αποτελέσματα που εμφανίζει το μοντέλο διαχωρίζονται σε δύο τμήματα. Το πρώτο αφορά το κοινωνικο-οικονομικό κόστος που προκύπτει για κάθε σενάριο ανά έτος μέχρι το 2050, την οικονομική διαφορά μεταξύ των σεναρίων ανά έτος καθώς και σύγκριση των ωφελειών τους με το μηδενικό, τόσο για κάθε μία από τις οχτώ (8) παραμέτρους ξεχωριστά όσο και στο σύνολο τους. Το δεύτερο τμήμα των αποτελεσμάτων αφορά την ποσοστιαία επιρροή της κάθε παραμέτρου στο συνολικό οικονομικό κόστος για κάθε σενάριο ανά έτος. Τα δύο αυτά τμήματα αναλύονται στο τρέχων κεφάλαιο.

5.1 Κοινωνικο-Οικονομικό Κόστος ανά Σενάριο

Στην αρχική σελίδα του μοντέλου στο excel, χαμηλότερα από τα πλήκτρα που αφορούν τη συμπλήρωση των παραμέτρων και τη διενέργεια των απαιτούμενων υπολογισμών, που αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχει μια σειρά πλήκτρων που οδηγούν σε φύλλα με το **υπολογισμένο κοινωνικο-οικονομικό κόστος**, όπως αυτά παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-1.



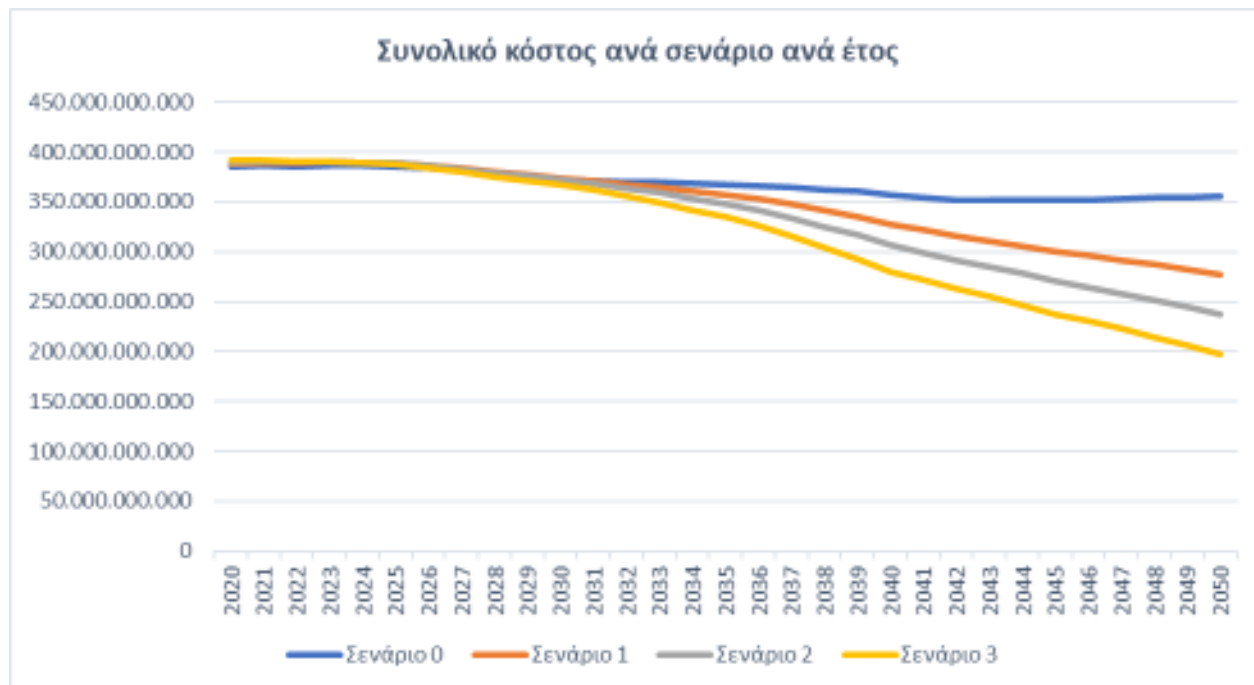
Εικόνα 5-1: Πλήκτρα στην αρχική σελίδα με το κοινωνικο-οικονομικό κόστος ανά σενάριο τόσο για κάθε παράμετρο ξεχωριστά όσο και στο σύνολο τους.

Συγκεκριμένα, για κάθε σενάριο υπολογίζεται το ετήσιο κόστος για κάθε μία από τις οχτώ βασικές παραμέτρους του μοντέλου ξεχωριστά. Στη συνέχεια, με βάση αυτές τις τιμές εκτιμάται η διαφορά καθώς και η αθροιστική διαφορά των σεναρίων 1, 2 και 3 με το μηδενικό και σχεδιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα. Τέλος, μέσω της πρόσθεσης του ετήσιου κόστους που προκύπτει από τα καύσιμα, τη συντήρηση των οχημάτων, τους ρύπους, τον χρόνο ταξιδιού, την αγορά νέων οχημάτων, την λειτουργία- συντήρηση και κατασκευή υποδομών, τα ατυχήματα και την ασφάλιση των οχημάτων **εκτιμάται το συνολικό κόστος για κάθε σενάριο και πραγματοποιούνται οι απαραίτητες συγκρίσεις μεταξύ τους**. Με αυτό τον τρόπο εξετάζεται η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των διαφόρων σεναρίων διεξόδου, δηλαδή πόσο καθοριστικός είναι ρυθμός εισαγωγής των αυτόματων οχημάτων στα τελικά οικονομικά οφέλη. Τέλος, τα παραπάνω οικονομικά οφέλη μετατρέπονται σε οφέλη ανά όχημα και ανά οχηματοχιλιόμετρο για την καλύτερη κατανόηση της εξοικονόμησης πόρων που θα υπάρξει από κάθε χρήστη.

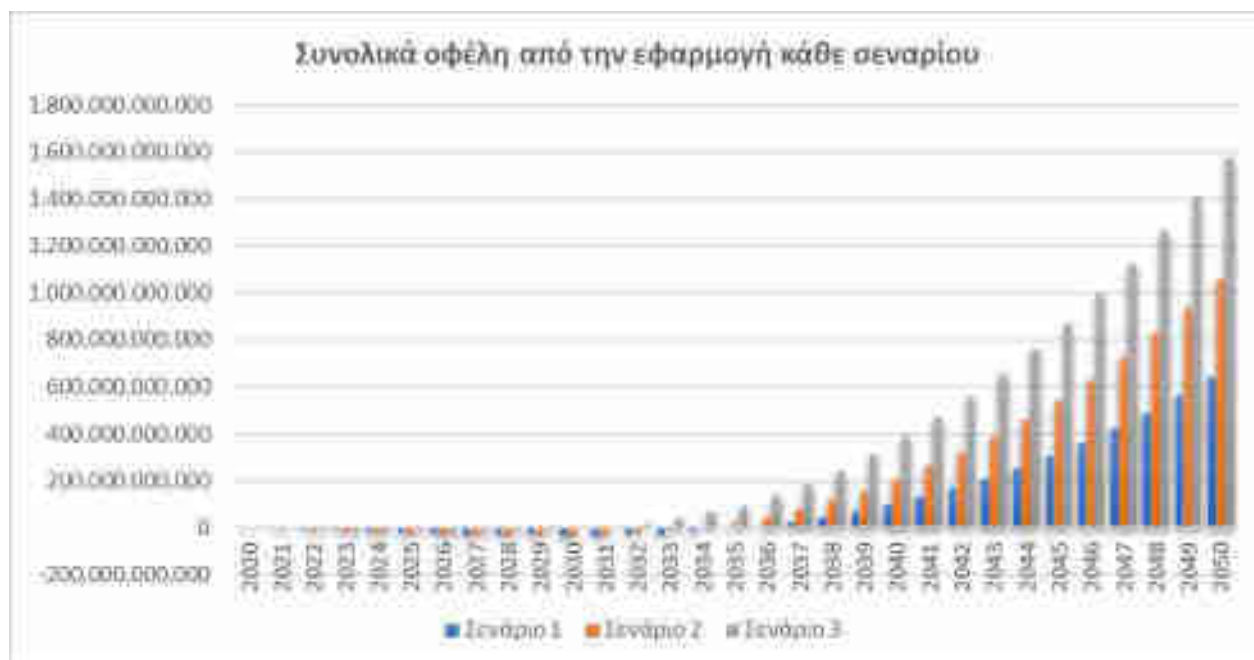
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα συνολικά αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν για τις παραμέτρους που εισήχθησαν στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο για περιοχή εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο, μέσω των Διαγραμμάτων 5-1, 5-2, 5-3 και 5-4.

Η μορφή των Διαγραμμάτων 5-1 και 5-2 είναι σύμφωνη με την λογική. Προβλέπεται αρχικά μια ελάχιστη (αμελητέα) αύξηση στο ετήσιο κόστος με την αύξηση του αριθμού των αυτόματων οχημάτων στην αγορά, η οποία δικαιολογείται από την υψηλή τιμή αγοράς τους, την αύξηση που θα επέλθει στον μέσο ετήσιο αριθμό διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων και στο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των απαιτούμενων υποδομών. Με την πάροδο του χρόνου και συνεπώς την αύξηση του ποσοστού των αυτόματων οχημάτων, την μείωση του

κόστους αγοράς τους και την μεγιστοποίηση των ωφελειών τους, παρατηρείται σημαντική μείωση του συνολικού κόστους για τα σενάρια ένα (1), δύο (2) και τρία (3) σε σχέση με το μηδενικό. Αντίθετα, για το σενάριο μηδέν ενώ αρχικά υπάρχει μια μικρή μείωση λόγω της βελτίωσης της τεχνολογίας που αφορά στην ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών ρύπων, στο τέλος η παραπάνω μείωση σταθεροποιείται και προδιαθέτει σε μια εκ νέου αύξηση του κόστους μέσω της αύξησης του αριθμού των χρησιμοποιούμενων οχημάτων.

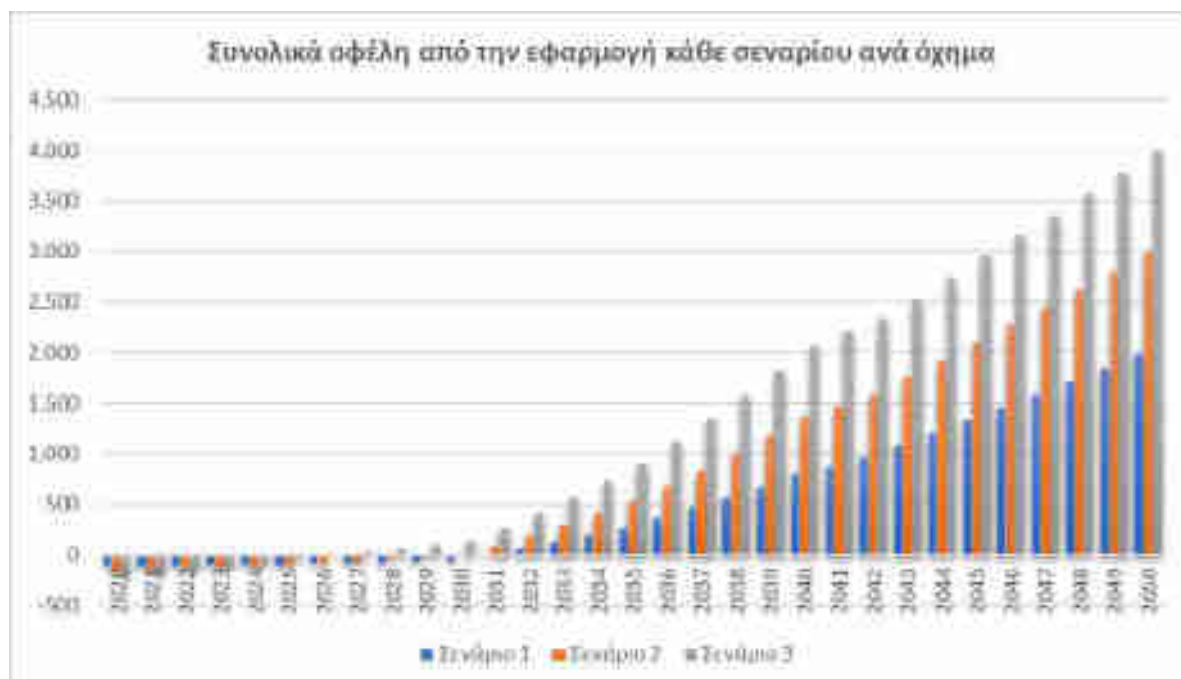


Διάγραμμα 5-1: Συνολικό ετήσιο κόστος σε ευρώ από την χρήση αυτόματων οχημάτων για κάθε σενάριο διεξόδου.



Διάγραμμα 5-2: Συνολικά οικονομικά οφέλη σε ευρώ ανά έτος από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διεξόδου των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.

Τα συνολικά οφέλη που υπολογίσθηκαν στο Διάγραμμα 5-2 διαιρέθηκαν με τον αριθμό των οχημάτων και των αριθμό των οχηματοχιλιομέτρων, οπότε προέκυψαν τα Διαγράμματα 5-3 και 5-4 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5-3: Συνολικά οικονομικά οφέλη (σε ευρώ) ανά έτος ανά όχημα από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διεξόδου των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.



Διάγραμμα 5-4: Συνολικά οικονομικά οφέλη (σε λεπτά του ευρώ) ανά έτος ανά οχηματοχιλιόμετρο από την εφαρμογή των τριών σεναρίων διεξόδου των αυτόματων οχημάτων συγκριτικά με το μηδενικό.

Στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναφέρθηκε ότι σύμφωνα με έρευνα των Daniel J. Fagnant και Kara Kockelman (Transportation Research Part A, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, 2015 Elsevier) τα οφέλη από τη χρήση αυτόματων οχημάτων ανέρχονται στα \$2.000 έως και τα \$4.000 το χρόνο ανά όχημα ($\approx 1.785 \text{ €} - 3.570 \text{ €}$, σύμφωνα με την ισοτιμία που υπήρχε στις 10/07/2019). Το εύρος

αυτό των τιμών συγκρίνεται με την εξοικονόμηση που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5-3 από όπου προκύπτει ότι οι προβλέψεις συμπίπτουν με αυτό σε ικανοποιητικό βαθμό.

Με αντίστοιχο τρόπο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με μορφή διαγραμμάτων για κάθε παράμετρο του μοντέλου ξεχωριστά, οπότε για λόγους συντομίας και αποφυγής επαναλήψεων δεν πραγματοποιείται περαιτέρω αναφορά.

5.2 Επιρροή Παραμέτρων στο Κοινωνικο-Οικονομικό Κόστος ανά Σενάριο

Στο τέλος της αρχικής σελίδας του μοντέλου υπάρχουν ορισμένα πλήκτρα που οδηγούν στα φύλλα του excel που αφορούν την **επιρροή της κάθε παραμέτρου στο συνολικό κόστος**, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-2. Για τον σκοπό αυτό διαιρέθηκε το ετήσιο κόστος που προέκυψε για κάθε παράμετρο ξεχωριστά προς το αντίστοιχο συνολικό για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια διεξόδου. Επομένως, δημιουργήθηκαν οι απαιτούμενοι πίνακες με τα ποσοστά επιρροής των παραμέτρων, με βάση τους οποίους σχεδιάστηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα και οι πίστες για κάθε σενάριο.



Εικόνα 5-2: Πλήκτρα στην αρχική σελίδα που οδηγούν στην ποσοστιαία επιρροή κάθε παραμέτρου στο συνολικό κόστος για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

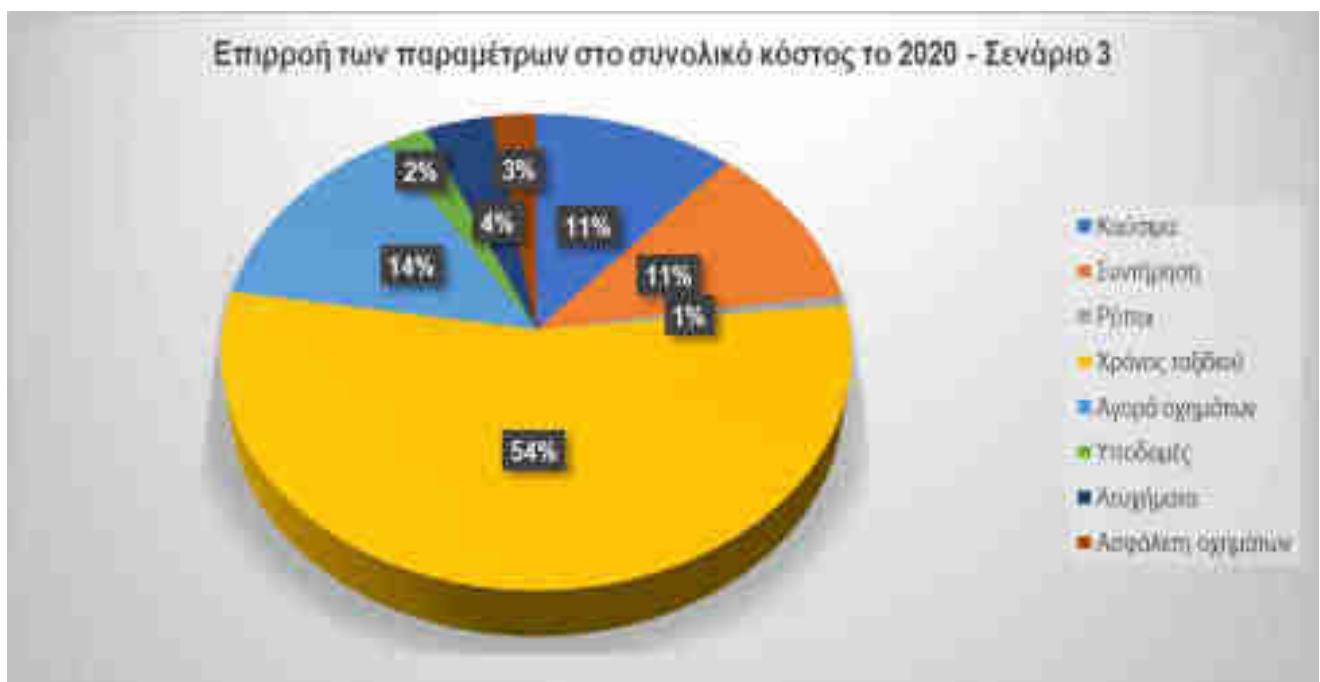
Στο Διάγραμμα 5-5 παρουσιάζεται η μεταβολή του ποσοστού επιρροής της κάθε παραμέτρου στο συνολικό οικονομικό κόστος ανά έτος από το 2020 έως και το 2050, που προέκυψε σύμφωνα με τα στοιχεία που συμπληρώθηκαν στο τέταρτο (4^ο) κεφάλαιο, για το τρίτο σενάριο διεξόδου και χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο. Το συγκεκριμένο καθώς και τα παρακάτω διαγράμματα που ακολουθούν σχετικά με την επιρροή αφορούν το τρίτο σενάριο διεξόδου και επιλέχθηκαν ενδεικτικά, αφού αντίστοιχα αλλά με διαφορετικά ποσοστά εντοπίζονται και για τα σενάρια μηδέν (0), ένα (1) και δύο (2).

Παρατηρείται ότι σύμφωνα με τις παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν στο μοντέλο και τα στοιχεία που εισήχθησαν σε αυτό **το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους αφορά το χρόνο του ταξιδιού**, αφού περισσότερο από το μισό του συνολικού κόστους οφείλεται σε αυτόν τον παράγοντα. Ακολουθούν το κόστος αγοράς των οχημάτων, κατανάλωσης καυσίμων και συντήρησης οχημάτων, λειτουργίας- συντήρησης και κατασκευής των υποδομών, το κόστος από τα ατυχήματα, τα έξοδα ασφάλισης και τέλος το κόστος παραγόμενων ρύπων, που είναι ουσιαστικά μηδενικό. Τα ποσοστά αυτά διαφέρουν στα σενάρια μηδέν (0), ένα (1) και δύο (2) αφού για διαφορετικό ρυθμό εισαγωγής των αυτόματων οχημάτων μεταβάλλονται διαφορετικοί παράγοντες από τους προαναφερθέντες.

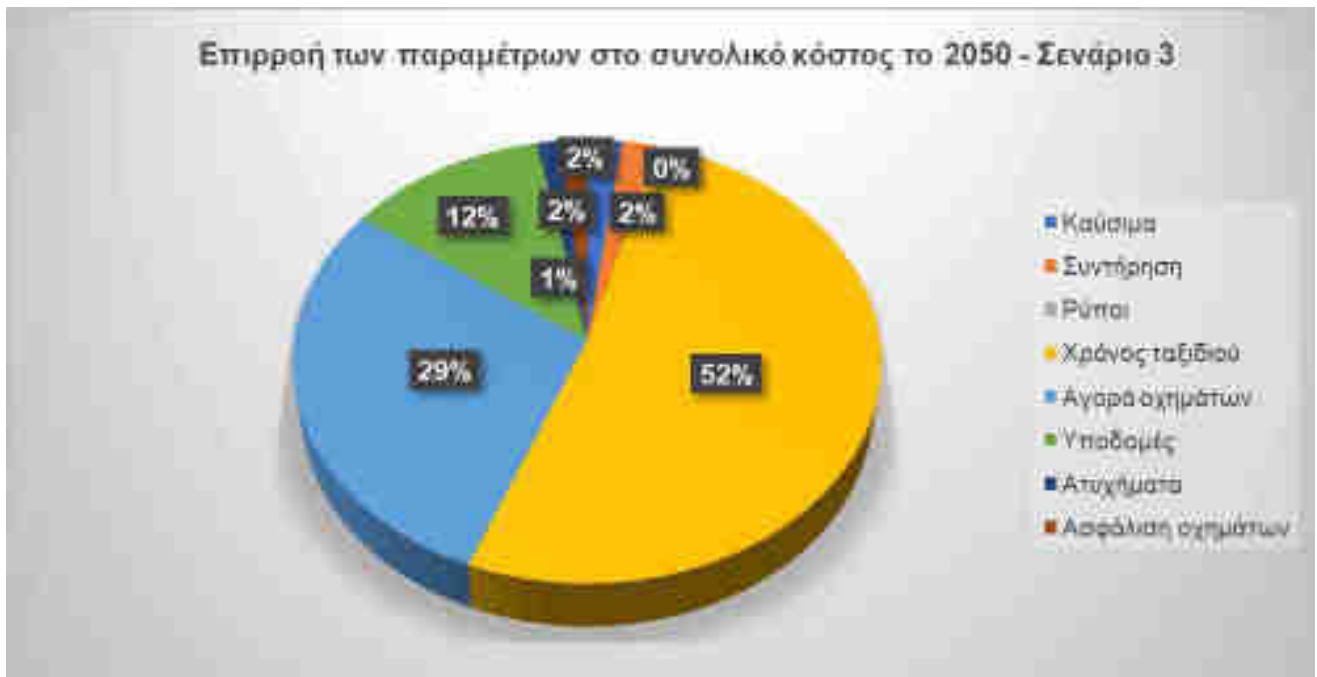
Παρακάτω παρατίθενται τα Διαγράμματα 5-6, 5-7 και 5-8 στα οποία εντοπίζεται πιο παραστατικά η κρισιμότητα κάθε παραμέτρου στο τελικό αποτέλεσμα για το τρίτο σενάριο διεξόδου το έτος αρχής του μοντέλου (2020), το έτος πέρατος (2050) καθώς και τη μέση τιμή του συνολικού αυτού χρονικού διαστήματος.



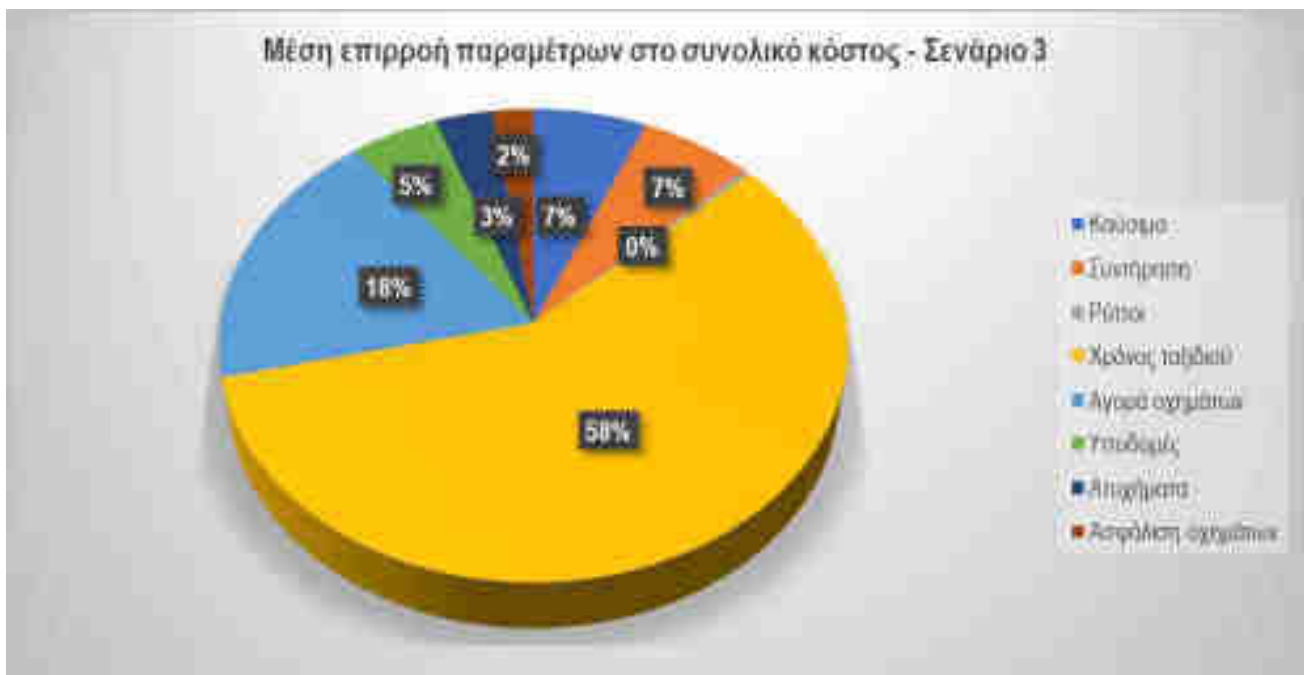
Διάγραμμα 5-5: Η εξέλιξη της επιρροής κάθε παραμέτρου στο συνολικό κόστος από το 2020 έως και το 2050 για το τρίτο σενάριο διεύθυνσης αυτόματων οχημάτων.



Διάγραμμα 5-6: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων το έτος 2020 για το τρίτο σενάριο διεύθυνσης των αυτόματων οχημάτων.



Διάγραμμα 5-7: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων το έτος 2050 για το τρίτο σενάριο διεξόδου των αυτόματων οχημάτων.



Διάγραμμα 5-8: Τα αποτελέσματα του μοντέλου σχετικά με την μέση επιρροή των παραμέτρων το χρονικό διάστημα 2020 – 2050 για το τρίτο σενάριο διεξόδου των αυτόματων οχημάτων.

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα

Σκοπό της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μοντέλου που να μπορεί να εκτιμήσει, με τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία, τα οικονομικά οφέλη και κόστη που συνεπάγεται η διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο, σε χρονικό διάστημα τριακονταετίας. Κατά το σχεδιασμό του συγκεκριμένου μοντέλου έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν όσες περισσότερες παράμετροι ήταν εφικτό σε αυτό, καθώς και το περιβάλλον του να είναι φιλικό προς το χρήστη, προκειμένου οι διάφορες δοκιμές να πραγματοποιούνται με σχετική ευκολία και να δίνεται η δυνατότητα της χρήσης του και από διαφορετικά άτομα, σε διαφορετικά σενάρια και περιοχές εφαρμογής.

Για την ανάπτυξη του μοντέλου εκτίμησης των πραγματικών ωφελειών από την εισαγωγή των αυτόματων οχημάτων **αξιοποιήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία καθώς και πληθώρα υφιστάμενων ερευνών και μελετών** για την επιρροή των επιμέρους παραμέτρων στο συνολικό ισοζύγιο.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο πραγματοποιήθηκε σύγκριση τριών (3) σεναρίων διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων με το μηδενικό σενάριο, για **χώρα εφαρμογής το Ηνωμένο Βασίλειο**, για το οποίο έγινε αναζήτηση και πρόβλεψη, όπου αυτό κρίθηκε αναγκαίο, των απαραίτητων παραμέτρων. Στόχος της παραπάνω σύγκρισης είναι η εύρεση της οικονομικής διαφοράς που θα υπάρχει μεταξύ των τριών σεναρίων καθώς και των παραγόντων που επιδρούν πιο σημαντικά στο τελικό ισοζύγιο οφέλη – κόστη.

6.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, καθώς αναδεικνύουν τον καθοριστικό ρόλο που θα διαδραματίσουν μελλοντικά τα αυτόματα οχήματα λόγω των σημαντικών κοινωνικο-οικονομικών ωφελειών τους συγκριτικά με τα συμβατικά.

Πιο συγκεκριμένα, **τα οικονομικά οφέλη ανά όχημα εκτιμήθηκαν από 2.000€ έως και 4.000€ περίπου ανάλογα το σενάριο διείσδυσης συγκριτικά με το μηδενικό για το έτος 2050**, τελευταίο έτος με το οποίο ασχολείται το μοντέλο. **Για το ίδιο έτος εκτιμήθηκε εξοικονόμηση της τάξης των 12 με 24 λεπτών του ευρώ ανά οχηματοχιλιόμετρο** ανάλογα το σενάριο διείσδυσης συγκριτικά με το μηδενικό.

Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο του κόστους αφορά το χρόνο του ταξιδιού, αφού περισσότερο από το μισό του συνολικού κόστους οφείλεται σε αυτόν τον παράγοντα και στο κόστος αγοράς των οχημάτων. Ακολουθούν το κόστος κατανάλωσης καυσίμων, συντήρησης οχημάτων, λειτουργίας- συντήρησης και κατασκευής των υποδομών, το κόστος από τα ατυχήματα, τα έξοδα ασφάλισης και τέλος το κόστος παραγόμενων ρύπων, τα οποία όμως παρουσιάζουν αποκλίσεις ανάλογα με το σενάριο διείσδυσης και το έτος αναφοράς.

Τελικά, πραγματοποιήθηκε η διασταύρωση αυτών των τιμών με τα στοιχεία που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα του μοντέλου. Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα συμβαδίζουν σε μεγάλο βαθμό με αυτά σχετικών ερευνών προσθέτει μεγαλύτερη αξιοπιστία και εγκυρότητα στο μοντέλο, προσδίδοντας ακόμα περισσότερο ενδιαφέρον στην προσπάθεια να συμπεριληφθούν επιπρόσθετες παράμετροι σε αυτό.

6.2 Συνολικά Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μοντέλου, της εύρεσης τιμών για τις παραμέτρους και της εμφάνισης των τελικών αποτελεσμάτων προέκυψαν πληθώρα συμπερασμάτων σχετικά με τα αυτόματα οχήματα και τις συνέπειές τους, τα σημαντικότερα εκ' των οποίων παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω:

1. **Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο για την υποστήριξη των αποφάσεων σχετικά την εκτίμηση των επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων.** Συγκεκριμένα, μέσω της διενέργειας δοκιμών τόσο ως προς τη χώρα εφαρμογής όσο και ως προς τις πιθανές διακυμάνσεις των παραμέτρων που τα επηρεάζουν μπορούν να εκτιμηθούν άμεσα τα κοινωνικο-οικονομικά αποτελέσματα από τη χρήση τους. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ικανά να αναδείξουν τον ρόλο που θα διαδραματίσουν μελλοντικά τα αυτόματα οχήματα καθώς και να ληφθούν υπόψη στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων πολιτικής από τις Δημόσιες Αρχές και τη Βιομηχανία.
2. **Σύμφωνα με την βιβλιογραφία αλλά και τις εκτιμήσεις του μοντέλου αναμένονται σημαντικά οφέλη από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο.** Τα πλεονεκτήματα των αυτόματων σε σχέση με τα συμβατικά εκτείνονται σε πολύ περισσότερους τομείς πέραν του οικονομικού. Η προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της εξοικονόμησης καυσίμων και της μείωσης των ρύπων, καθώς και η ασφάλεια των πολιτών κατά τις μετακινήσεις τους είναι μερικά μόνο από τα θετικά που θα επιφέρει η εφαρμογή τους σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, των οποίων η σημασία δεν μπορεί να αντικατοπτριστεί αποκλειστικά από το οικονομικό όφελος.
3. **Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την τάξη μεγέθους των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων καθώς και των παραμέτρων που τα επηρεάζουν.** Το εύρος των τιμών που παρουσιάζεται στις έρευνες είναι αρκετά μεγάλο, ενώ συχνά αναφέρονται και αντικρουόμενα στοιχεία. Η τεχνολογία για την ανάπτυξη των αυτόματων οχημάτων βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Αυτό έχει ως συνέπεια την έλλειψη ορισμένων βασικών δεδομένων κατά την εκτίμηση του κόστους και την ανάγκη για συμπλήρωσή τους με βάση τη διενέργεια δοκιμών ή ακόμα και κάποιες εύλογες παραδοχές. Στο συγκεκριμένο μοντέλο ειδικά, το οποίο αναφέρεται σε διάστημα τριακονταετίας απαιτείται η διενέργεια προβλέψεων με βάση τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα γεγονός που αυξάνει ακόμα περισσότερο την αβεβαιότητά του. Για αυτό το σκοπό, **στις παραμέτρους όπου υπάρχει μεγάλο εύρος πιθανών τιμών, συνίσταται η διενέργεια δοκιμών που να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος τους,** προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να ανταποκρίνονται σε όλες τις ενδεχόμενες περιπτώσεις.
4. **Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του μοντέλου παρατηρείται η σπουδαιότητα της αξίας του χρόνου στο συνολικό οικονομικό κόστος των μετακινήσεων.** Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως περισσότερο από το 50% του κόστους οφείλεται στο χρόνο που δαπανάται εντός των οχημάτων. Το ποσοστό αυτό προέκυψε χρησιμοποιώντας την μέση αξία του χρόνου για τις χώρες της Ευρώπης, όπως αυτή αναφέρεται αναλυτικά στο τέταρτο κεφάλαιο, και κυμαίνεται από 24 € ανά ώρα για επαγγελματικά ταξίδια σε 7 € ανά ώρα για μικρά ταξίδια αναψυχής. Σε περίπτωση εφαρμογής του μοντέλου για την Ελλάδα, όπου οι τιμές αυτές είναι αρκετά μειωμένες η επιρροή της αξίας του χρόνου θα διαφέρει σημαντικά, γεγονός που οδηγεί στο επόμενο συμπέρασμα.
5. **Τα αποτελέσματα του μοντέλου τόσο για το συνολικό κόστος της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων όσο και για την επιρροή της κάθε παραμέτρου σε αυτό πιθανόν να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις κατά την εφαρμογή τους από χώρα σε χώρα.** Ακόμα και μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις βόρειες χώρες και όσες βρέχονται από τη Μεσόγειο, λόγω των τεράστιων οικονομικών, κοινωνικών και κλιματικών διαφορών τους, που συνεπάγονται διαφορές και στην νοοτροπία των πολιτών τους. Θα χρειαζόταν επομένως συμπλήρωση από την αρχή των εννέα φύλλων με τις παραμέτρους του μοντέλου προκειμένου να εκτιμηθούν ρεαλιστικά αποτελέσματα για κάθε μία εξ' αυτών.

6. **Η ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων στο αποκλειστικά οικονομικό αποτέλεσμα διαφέρει από την ποιοτική τους σημασία.** Συνεπώς, το γεγονός ότι το οικονομικό κόστος από τους παραγόμενους ρύπους αλλά και από τα οδικά ατυχήματα προέκυψε αρκετά μικρότερο σε σχέση με αυτά των άλλων παραμέτρων δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική σπουδαιότητα της ελάττωσής τους για το σύνολο της κοινωνίας.
7. Από το σύνολο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης προέκυψε ότι **από όλες τις παραμέτρους του μοντέλου εκείνες που τείνουν να αυξήσουν το συνολικό κόστος είναι το κόστος αγοράς των αυτόματων οχημάτων, το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των υποδομών καθώς και η ενδεχόμενη αύξηση στο μέσο αριθμό διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων.** Το γεγονός αυτό κρίνεται απολύτως λογικό καθώς για την επίτευξη της αυτόματης οδήγησης απαιτούνται επιπλέον συστήματα τεχνολογίας τόσο στα οχήματα όσο και στις λοιπές εγκαταστάσεις που απαρτίζουν το οδικό περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά με την πάροδο του χρόνου και την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας προβλέπεται σημαντική μείωση των τιμών για τις δύο πρώτες παραμέτρους. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στα αποτελέσματα του μοντέλου, καθώς τα πρώτα χρόνια εμφάνισής τους στο οδικό δίκτυο παρατηρείται μια μικρή αύξηση του κόστους των μετακινήσεων, η οποία όμως εξαλείφεται άμεσα από τα πολλά υποσχόμενα οφέλη τους.
8. Υφίσταται **μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με το μεταβατικό στάδιο**, στο οποίο θα συνυπάρχουν αυτόματα και συμβατικά οχήματα. Χρειάζεται να εξεταστεί η μεταξύ τους αλληλεπίδραση καθώς και με ειδικές κατηγορίες οχημάτων, όπως για παράδειγμα τα δίκυκλα. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η συμπεριφορά των οδηγών των συμβατικών οχημάτων καθώς ίσως χρειαστεί ειδική ενημέρωσή τους σχετικά με τις ιδιαιτερότητες των αυτόματων.
9. Από την βιβλιογραφία αλλά και από τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου, μέσω της σύγκρισης των διάφορων σεναρίων διείσδυσης, παρατηρήθηκε **η σημασία που έχει ο ρυθμός εισαγωγής των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο** καθώς πολλαπλασιάζονται τα πιθανά τους οφέλη. Ο ρυθμός διείσδυσής τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποδοχή τους από την κοινωνία καθώς και την εξοικείωση των ενδεχόμενων μελλοντικών χρηστών με αυτά.

6.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Για την επέκταση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και την περαιτέρω διερεύνηση του αντικειμένου της, δηλαδή την εκτίμηση των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό δίκτυο με μεγαλύτερη ακρίβεια, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ακόλουθες προτάσεις:

1. Αρχικά, θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική η **προσπάθεια περιορισμού των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου.** Οι γενικότερες παραδοχές που πραγματοποιήθηκαν αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο που αφορά την συμπλήρωση των παραμέτρων και μειώνουν την ακρίβεια των κοινωνικο-οικονομικών αποτελεσμάτων. Μέσω της αναζήτησης υφιστάμενων μελετών ή τη διενέργεια περαιτέρω έρευνας υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού τιμών για ορισμένες από αυτές με σκοπό την μεγαλύτερη αξιοπιστία των εκτιμήσεων του μοντέλου.
2. Παράλληλα, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η **εξέταση της αλληλεπίδρασης των εξεταζόμενων παραμέτρων μεταξύ τους.** Στην παρούσα εργασία όλες οι παράμετροι εξαρτώνται από τα σενάρια για τα οχηματοχιλιόμετρα που δημιουργούνται στην αρχή με βάση τα σενάρια διείσδυσης. Επιπροσθέτως, το κόστος των εκπεμπόμενων ρύπων και της συντήρησης των οχημάτων εξαρτάται από τα αποτελέσματα της κατανάλωσης των καυσίμων. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα των υπόλοιπων παραμέτρων δεν επηρεάζονται μεταξύ τους. Για παράδειγμα θα μπορούσε να εξεταστεί η επίδραση των υποδομών τόσο στα οδικά ατυχήματα όσο και στο χρόνο ταξιδιού, που λόγω έλλειψης δεδομένων δεν πραγματοποιήθηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική.

3. Επιπλέον της διερεύνησης της αλληλεπίδρασης των εξεταζόμενων παραμέτρων μεταξύ τους, είναι ιδιαίτερα χρήσιμος και ο **έλεγχος της συνδυασμένης τους επιρροής στο τελικό αποτέλεσμα**, δηλαδή πως απομειώνεται η επιρροή κάθε παραμέτρου όταν αυτή δρα συνδυαστικά με μία ή περισσότερες άλλες παραμέτρους.
4. Απαραίτητη κρίνεται και η **προσπάθεια εμπλουτισμού του μοντέλου με νέες μεταβλητές για αύξηση της ακρίβειας του**. Πιο συγκεκριμένα, λόγω έλλειψης ποσοτικών δεδομένων στο σύνολο της βιβλιογραφίας δεν μπόρεσαν να συμπεριληφθούν στο μοντέλο παράμετροι σχετικά με τη δυνατότητα κοινοχρησίας των αυτόματων οχημάτων, τις επιπτώσεις από τη χρήση τους στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (ΜΜΜ), και το εμπόριο, μέσω των μεταβολών που θα υπάρξουν στο κόστος μεταφοράς των προϊόντων, τη μείωση που θα επέλθει στο χώρο που καταλαμβάνουν οι υποδομές (δυνατότητα αξιοποίησης των περισσευούμενων τμημάτων του οδικού δικτύου) καθώς και τη μείωση των θέσεων εργασίας στον κλάδο των μεταφορών (δεν θα απαιτείται οδηγός για τη μεταφορά ανθρώπων και προϊόντων). Στο τρίτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας αναφέρονται επιπρόσθετες παράμετροι, οι οποίες ούτε αυτές μπόρεσαν να συμπεριληφθούν στο μοντέλο λόγω ελλείψεων της σχετικής έρευνας. Παρ' όλα αυτά, δεν τονίζονται περαιτέρω, διότι θεωρείται ότι θα διαδραματίσουν σχετικά μηδαμινό ρόλο σε σχέση με τις προαναφερθείσες στο τελικό οικονομικό αποτέλεσμα.
5. Προτείνεται η **χρήση του μοντέλου και για άλλες χώρες**, κυρίως της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για να συμβεί αυτό χρειάζεται να συλλεχθούν τα απαραίτητα στοιχεία, αντίστοιχα με αυτά που εντοπίστηκαν για το Ηνωμένο Βασίλειο και να ακολουθηθεί η διαδικασία του κεφαλαίου 4, που αφορά την συμπλήρωση των παραμέτρων. Η **σύγκριση των κοινωνικο-οικονομικών αποτελεσμάτων** που θα προκύψουν για τις διάφορες χώρες που θα εντοπιστούν τα στοιχεία θα οδηγήσει σε περισσότερα συμπεράσματα σχετικά με το μέλλον των αυτόματων οχημάτων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση μεταξύ των οικονομικά ανεπτυγμένων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που εντοπίζονται κυρίως στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της και αυτών που βρίσκονται νότια και βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα. Κατά πάσα πιθανότητα τα πιθανά οφέλη για τις πρώτες θα γίνουν πολύ πιο άμεσα εμφανή καθώς θα υπάρχει ταχύτερη διείσδυση των αυτόματων οχημάτων στο οδικό τους δίκτυο.
6. Παράλληλα, ιδιαίτερα χρήσιμος είναι ο έλεγχος των δυσμενών επιπτώσεων της διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων στον αριθμό των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων πέρα από τα πλαίσια της εργασίας. Από την πλειονότητα των ερευνών αναμένεται ότι η χρήση αυτόματων οχημάτων θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της ζήτησης των μεταφορών. Χρειάζεται επομένως **να εξεταστεί κατά πόσον η αύξηση αυτή της ζήτησης είναι ικανή να επιφέρει κορεσμό στον τομέα των μετακινήσεων** οδηγώντας σε αντίθετα αποτελέσματα από τα προβλεπόμενα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Adam Stocker and Susan Shaheen, Ph.D., Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley, Berkeley, CA (July 2017), *Shared Automated Vehicles: Review of Business Models*, International Transport Forum.

Alonso Raposo, M., Ciuffo, B., Makridis, M. and Thiel, C. (2017), *The r-evolution of driving: from Connected Vehicles to Coordinated Automated Road Transport (C-ART), Part I: Framework for a safe & efficient Coordinated Automated Road Transport (C-ART) system*, European Commission, Joint Research Centre, Ispra (VA) – Italy, <https://ec.europa.eu/jrc>.

Andrew Miller MBA BA (Hons) FIMI, Philippa Oldham CEng MIMechE (2016), *Autonomous and driverless cars*, Institution of Mechanical Engineers, London.

Artem Korzhenevych, Nicola Dehnen (DIW econ), Johannes Bröcker, Michael Holtkamp, Henning Meier (CAU), Gena Gibson, Adarsh Varma, Victoria Cox (Ricardo-AEA) (8th January 2014), *Update of the Handbook on External Costs of Transport, Final Report*, European Commission – DG Mobility and Transport, Ricardo-AEA, London, United Kingdom.

CE Delft, Infrass, Fraunhofer ISI, *External Costs of Transport in Europe*, Update Study for 2008 Delft, CE Delft, November 2011.

COX AUTOMOTIVE (2016), *Future Autonomous Vehicle Driver Study*, KBB.com (Kelley Blue Book).

Daniel J. Fagnant, Kara Kockelman (2015), *Transportation Research Part A, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations*, The University of Utah, Department of Civil & Environmental Engineering, Salt Lake City, United States, The University of Texas at Austin, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Austin, United States.

David B. Logan, Kristie Young, Trevor Allen and Tim Horberry (2017), *Safety Benefits of Cooperative ITS and Automated Driving in Australia and New Zealand*, Austroads Ltd., Sydney, Australia, www.austroads.com.au.

Dimitris Milakis, Bart van Arem & Bert van Wee (2017), *Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research*, Journal of Intelligent Transportation Systems, 21:4, 324-348, DOI:10.1080/15472450.2017.1291351, <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>.

Dokic, J., Müller, B., Meyer, G. (2015), *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving, European Technology Platform on Smart Systems Integration*.

Dr. James Hedlund, Highway Safety North (2017), *Autonomous Vehicles Meet Human Drivers: Traffic Safety Issues for States*, Governors Highway Safety Association.

Dr. Kara Kockelman, Dr. Stephen Boyles, Dr. Christian Claudel, Dr. Peter Stone, Lisa Loftus-Otway, Purser Sturgeon, Dr. Guni Sharon, Krishna Murthy Gurumurthy, Yantao Huang, Michele Simoni, Tian Lei, Rahul Patel, Dongxu He, Abdualлах Mohamed, Dr. Jun Liu, Sadegh Yarmohammadi, Eric Thorn, Wendy Wagner (2018), *Phase 2 - Bringing Smart Transport to Texans: Ensuring the Benefits of a Connected and Autonomous Transport System in Texas – Final Report*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin.

Ecoscore, <http://ecoscore.be/en/home>.

ERTRAC 2015, *Automated driving roadmap*, ERTRAC, http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id38/ERTRAC_Automated-Driving-2015.pdf.

European Commission (2018), *On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future*, Brussels.

European Commission (February 2018), *Autonomous Vehicles & Road Safety*, Directorate General for Transport.

European Commission (2016), *Climate Change and Major Projects*.

European Commission (December 2014), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects, Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*, Directorate-General for Regional and Urban policy.

IEEE (5 September 2012), *Look Ma, No Hands!*, www.ieee.org/about/news/2012/5september_2_2012.html.

International Transport Forum (2015), *Automated and Autonomous Driving Regulation under uncertainty*, www.internationaltransportforum.org.

James M. Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn D. Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras, Oluwatobi A. Oluwatola (2016), *Autonomous Vehicle Technology*, RAND Corporation.

Johanna Zmud, Ginger Goodin, Maarit Moran, Nidhi Kalra, Eric Thorn (2017), *Advancing Automated and Connected Vehicles: Policy and Planning Strategies for State and Local Transportation Agencies*, National Cooperative Highway Research Program.

KPMG (June 2015), *Automobile insurance in the era of autonomous vehicles*.

Litman, T. (2016), 'Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning', TRB Paper No. 15-3326, 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC.

Litman, T. (2017), *Autonomous vehicle implementation predictions*, Victoria Transport Policy Institute.

Malone, K., Rech, J., Hogema, J., Innamaa, S., & al., e. (2014), *DRIVE C2X Deliverable 11.4 Impact assessment and user perception of cooperative systems*, www.drive-c2x.eu.

Mitchell L. Cunningham, Prof. Michael A. Regan, John Catchpole (2017), *Registration, Licensing and CTP Insurance Issues Associated with Automated Vehicles*, Austroads Ltd., Sydney, Australia, www.austroads.com.au.

National Research Council (2013a), *Transitions to Alternative Vehicles and Fuels*, Washington, D.C.: National Academies Press.

National Statistics, Department of Transport (June 2016), *Free flow vehicle speeds in Great Britain: 2015*, <https://www.gov.uk/government/statistics/free-flow-vehicle-speeds-in-great-britain-2015>.

National Transport Commission (2018), *Safety Assurance for Automated Driving Systems: Decision Regulation Impact Statement*, Melbourne, www.ntc.gov.au.

NHTSA (2016a), *Federal Automated Vehicles Policy Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety*, https://one.nhtsa.gov/nhtsa/av/pdf/Federal_Automated_Vehicles_Policy.pdf.

Nidhi Kalra and David G. Groves (2017), *The Enemy of Good, Estimating the Cost of Waiting for a Nearly Perfect Automated Vehicles*, RAND Corporation.

Peter Slowik and Ben Sharpe, (March 26, 2018), *Automation in the long haul: Challenges and opportunities of autonomous heavy duty trucking in the United States*, ICCT, The International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/>.

Roland Berger (2016), *Automated trucks— the next big disrupter in the automotive industry?*

Rodier, Caroline Jaller, Miguel Pourrahmani, Elham et al (09/ 2018), *Automated Vehicle Scenarios: Simulation of System-Level Travel Effects Using Agent-Based Demand and Supply Models in the San Francisco Bay Area*, UC Davis, National Center for Sustainable Transportation, <https://escholarship.org/uc/item/4dk3n531>.

Rosie Huggins, Rebecca Topp, Lachlan Gray, Lachlan Piper, Ben Jensen, Lauren Isaac, Shivaani Polley, Scott Benjamin, Andrew Somers (2017), *Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles*, Austroads Ltd., Sydney, Australia, www.austroads.com.au.

SAE International (2014), *Automated driving*, levels of driving automation are defined in new SAE international standard.

SAE International (2016), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*.

SafeFITS, UNECE, <https://unecetrans.shinyapps.io/safefits/>.

Statista, <https://www.statista.com/>.

The National Academies of Sciences-Engineering-Medicine (April 2015), *Towards Road Transport Automation, Opportunities in Public–Private Collaboration*, Summary of the Third EU-U.S. Transportation Research Symposium, National Academy of Sciences Building Washington, U.S. Department of Transportation European Commission Transportation Research Board.

Trimble, T. E., Bishop, R., Morgan, J. F., & Blanco, M. (2014, July), *Human factors evaluation of level 2 and level 3 automated driving concepts: Past research, state of automation technology, and emerging system concept*, (Report No. DOT HS 812 043), Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

U.K. Department of Transport, Statistical Release (8 November 2018), *Reported road casualties in Great Britain: quarterly provisional estimates year ending June 2018*.

U.K. Department of Transport, Statistical Release (5 July 2018), *Road Lengths in Great Britain 2017*, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/722478/road-lengths-in-great-britain-2017.pdf.

U.S. Department of Homeland Security (June 2017), *Future Environment Net Assessment, Autonomous Vehicles*, National Protection and Programs Directorate, Office of Cyber and Infrastructure Analysis.

U.S. Department of Transportation, *Automated Vehicles – Driver Assistance, ITS Benefits, Costs, and Lessons Learned: 2018 Update Report*.

U.S. Department of Transportation, *Crash Prevention and Safety, ITS Benefits, Costs, and Lessons Learned: 2017 Update Report*.

Wright, J., K. Garret, C. Hill, G. Krueger, J. Evans, S. Andrews, C. Wilson, R. Rajbhandari, and B. Burkhard. (2014), *National Connected Vehicle Field Infrastructure Footprint Analysis—Final Report*, FHWA, U.S. Department of Transportation, http://sp.stsmo.transportation.org/Documents/AASHTO%20Final%20Report%20_v1.1.pdf.



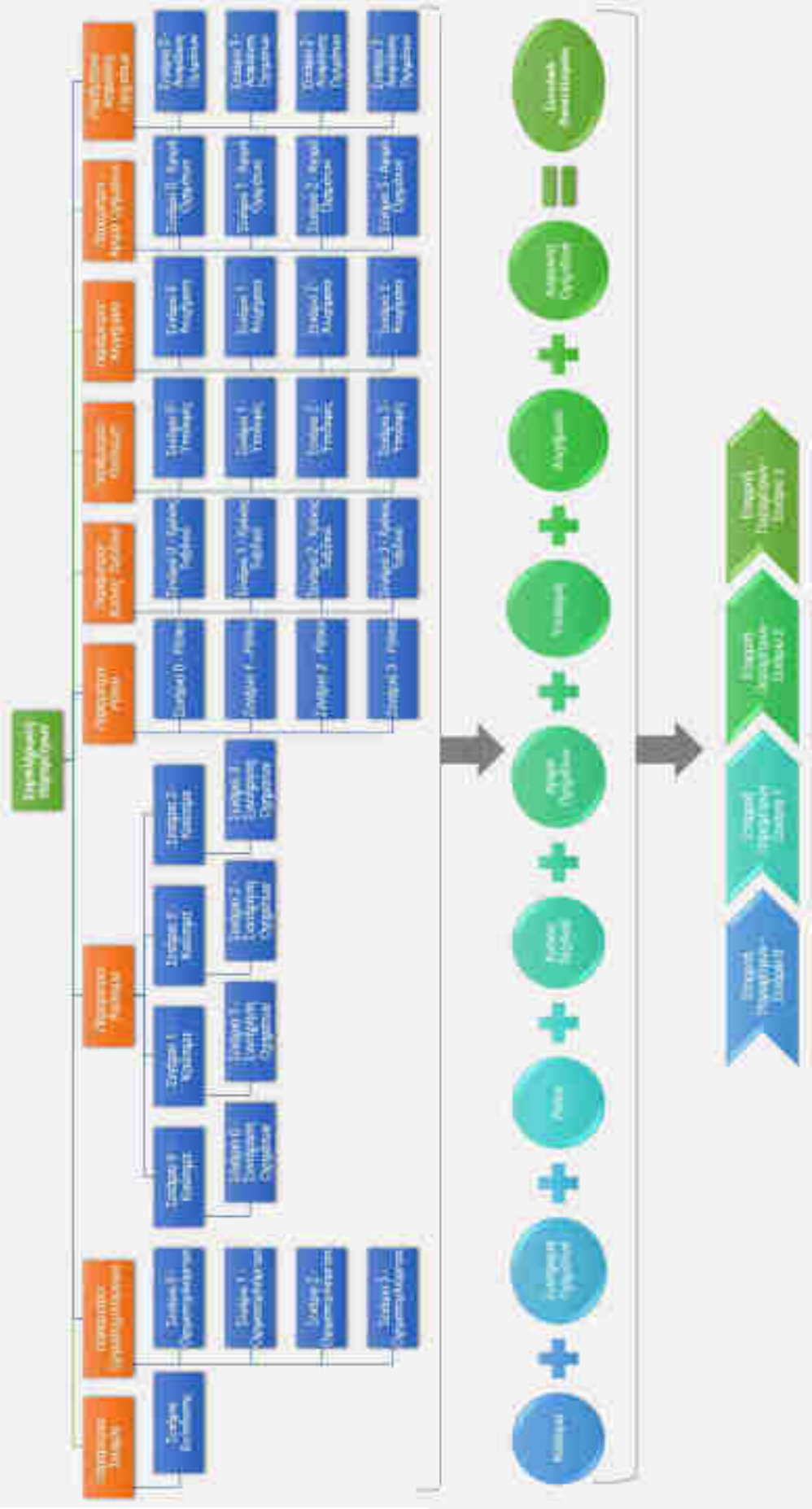
Παράρτημα

1. Αρχική Σελίδα (Μενού) Μοντέλου
2. Παράμετροι – Σενάρια
3. Παράμετροι – Οχηματοχιλιόμετρα
4. Παράμετροι – Καύσιμα
5. Παράμετροι – Ρύποι
6. Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού
7. Παράμετροι – Υποδομές
8. Παράμετροι – Ατυχήματα
9. Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων
10. Παράμετροι – Ασφάλιση Οχημάτων
11. Συνολικά Αποτελέσματα
12. Επιρροή Παραμέτρων

Σημείωση:

Παραλείπονται εικόνες από τα φύλλα που πραγματοποιούνται οι αναλυτικοί υπολογισμοί για τα κόστη (μπλε πλήκτρα στην αρχική σελίδα) καθώς δεν χρειάζεται να μεταβεί σε αυτά ο χρήστης ή να τροποποιήσει τις τιμές τους για να εξαχθούν τα αποτελέσματα.

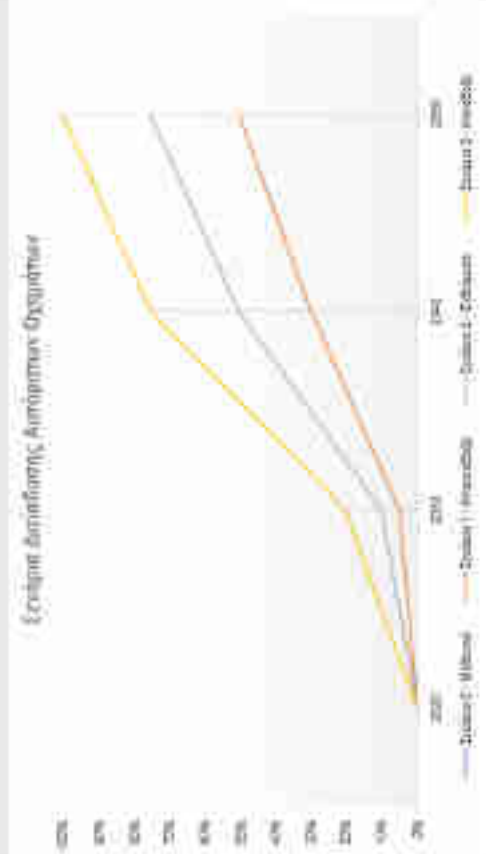
Επιπλέον, δεν τοποθετήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα από τα αποτελέσματα και την επιρροή των παραμέτρων καθώς παρουσιάστηκαν στο κείμενο της Διπλωματικής Εργασίας.



1. Αρχική Σελίδα (Μενού) Μοντέλου

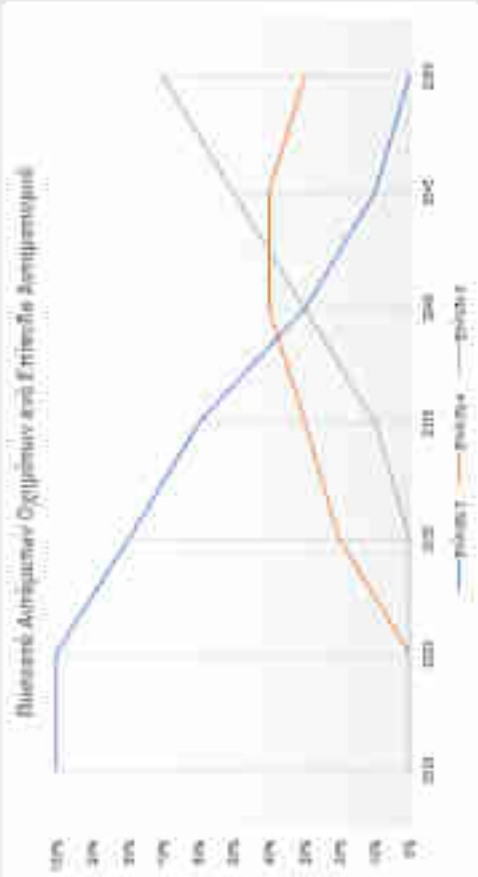
Χώρα παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συνολικά αποτελέσματα το σύνολο των υπολογισμών				
Επίπεδο 1	Μέση τιμή	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
2020	2%	2%	2%	2%
2025	2%	2%	2%	2%
2030	2%	2%	2%	2%
2040	2%	2%	2%	2%
2050	2%	2%	2%	2%



Ποσοστά αλλαγών από επίπεδο παραγωγής για υπολογισμούς				
Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
2020	15%	15%	15%	15%
2025	15%	15%	15%	15%
2030	15%	15%	15%	15%
2040	15%	15%	15%	15%
2050	15%	15%	15%	15%

Ποσοστά Αλλαγών Οχημάτων από Επίπεδο Απορρόφησης				
Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4	Επίπεδο 5
2020	15%	15%	15%	15%
2025	15%	15%	15%	15%
2030	15%	15%	15%	15%
2040	15%	15%	15%	15%
2050	15%	15%	15%	15%



Μένου

2. Παράμετροι - Σενάρια

Παράμετροι - Οχηματοχιλιόμετρα	
Μέγιστο αριθμός οχημάτων	15.000
Προσδιορισμός οχημάτων σύμφωνα με Α και Β στοιχεία με τα II, I, 2 και 3	14%

Έτος	Αντιλαμβανόμενος αριθμός οχημάτων στην περιοχή παραγωγής
2000	12.640.034
2001	12.629.329
2002	12.698.001
2003	12.506.080
2004	12.652.005
2005	12.782.000
2006	14.011.040
2007	14.210.647
2008	14.457.632
2009	14.625.025
2010	14.673.025
2011	15.150.004
2012	15.379.450
2013	15.620.624
2014	15.615.187
2015	16.060.387
2016	16.087.477
2017	16.094.458
2018	16.741.521
2019	16.962.076
2020	17.134.710
2021	17.471.029
2022	17.647.674
2023	17.673.025
2024	18.120.125
2025	18.306.074
2026	18.582.023
2027	18.728.172
2028	19.003.680
2029	19.229.038
2030	19.455.066

Μενού

3. Παράμετροι - Οχηματοχιλιόμετρα

Παράμετροι - Καύσιμα

Έτος	Καύσιμα	Μέση τιμή μονάδος (€/lt ή kWh)	Μέση κατανάλωση lt ή kWh/100km			Ποσοστό οχημάτων		
			Επίπεδο 0, 1 και 2	Επίπεδο 3 και 4	Επίπεδο 5	Επίπεδο 0, 1 και 2	Επίπεδο 3, 4 και 5	
2020	Βενζίνη	1,43	7	2,8	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,44	5,7	2,25	0,8	30%	0%	0%
	Υβριδικά	1,44	4,6	2,01	0,6	7%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	19,7	8,62	2,6	3%	100%	100%
2021	Βενζίνη	1,45	6,9	2,7	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,46	5,6	2,2	0,8	28%	0%	0%
	Υβριδικά	1,46	4,5	2	0,6	8%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	19,4	8,6	2,6	4%	100%	100%
2022	Βενζίνη	1,47	6,7	2,7	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,48	5,4	2,2	0,8	26%	0%	0%
	Υβριδικά	1,48	4,3	1,9	0,6	9%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	19,1	8,5	2,6	5%	100%	100%
2023	Βενζίνη	1,50	6,6	2,6	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,51	5,2	2,1	0,8	24%	0%	0%
	Υβριδικά	1,51	4,2	1,9	0,6	10%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	18,8	8,4	2,6	6%	100%	100%
2024	Βενζίνη	1,52	6,4	2,6	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,53	5	2,1	0,8	22%	0%	0%
	Υβριδικά	1,53	4	1,9	0,6	11%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	18,5	8,3	2,6	7%	100%	100%
2025	Βενζίνη	1,54	6,2	2,6	1	60%	0%	0%
	Diesel	1,55	4,8	2	0,8	20%	0%	0%
	Υβριδικά	1,55	3,9	1,8	0,6	12%	0%	0%
	Ηλεκτρικά	0,18	18,2	8,2	2,6	8%	100%	100%

ΜΕΝΟΥ

4. Παράμετροι – Καύσιμα
(Οι τιμές του πίνακα συνεχίζονται αντίστοιχα
μέχρι και το 2050).

Παράμετροι - Ρύποι

Έτος	Καύσιμα	tn CO ₂ / lt καυσίμου	Τιμή μονάδος (€/ tn CO ₂)
2020	Βενζίνη	0,002392	40
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	
2021	Βενζίνη	0,002392	42
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	
2022	Βενζίνη	0,002392	43
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	
2023	Βενζίνη	0,002392	44
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	
2024	Βενζίνη	0,002392	45
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	
2025	Βενζίνη	0,002392	46
	Diesel	0,00264	
	Υβριδικά	0,000981	
	Ηλεκτρικά	0	

Μενού

5. Παράμετροι – Ρύποι
(Οι τιμές του πίνακα συνεχίζονται αντίστοιχα
μέχρι και το 2050).

Παράμετροι - Χρόνος ταξιδιού

	Τιμή μονάδος	Ποσοστό οχημάτων
Εργασία	24	50%
Όχι εργασία	7	50%

Επίπεδο 0	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	40%	0%
Επίπεδο 1	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	40%	0%
Επίπεδο 2	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	40%	0%
Επίπεδο 3	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	40	30%	20%
Επίπεδο 4	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	50	10%	40%
Επίπεδο 5	Μέση ταχύτητα	Συντελεστής καθυστερήσεων	Μείωση αξίας χρόνου (%)
	60	0%	50%

Μενού

6. Παράμετροι – Χρόνος Ταξιδιού

Παράμετροι - Υποδομές

	Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€/νkm)	Ποσοστό του κόστους κατασκευής	Κόστος κατασκευής (€/νkm)
Επίπεδο 0, 1, 2	0,01%	-	-
Επίπεδο 3, 4 και 5	0,02%	111%	0,2%

Μενού

7. Παράμετροι – Υποδομές

Παράμετροι - Ατυχήματα

Προσυνή Μείωση (αυξημένη σε σχέση με το ενήρσο II)	
Ενήρσο 1	5%
Ενήρσο 2	15%
Ενήρσο 3	50%
Ενήρσο 4	75%
Ενήρσο 5	95%

Είδος θύψων	Τιμή μονάδος (€)	Αριθμός θύψων ανά στοί αβήματα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία
Μάρσι	2.170.000	1770
Βασί προσηρσί	250.000	25.000
Εκσέρ προσηρσί	22.000	70.000

Μετρώ

Έτος	Θύψωνι σε προσηρσί 100.000 αβήματα	Πήρση	Θύψωνι σε προσηρσί	Προσηρσί αβήματα σε προσηρσί ανά στοί
2000	2,08	67.751.534	1,942	0,0043
2001	2,08	67.706.215	1,951	0,0043
2002	2,08	67.507.312	1,950	0,0043
2003	2,08	68.295.844	1,970	0,0043
2004	2,08	68.811.170	1,979	0,0043
2005	2,07	68.224.292	1,989	0,0047
2006	2,07	68.538.208	1,990	0,0047
2007	2,07	70.051.522	2,007	0,0047
2008	2,06	70.403.407	2,077	0,0045
2009	2,06	70.870.776	2,086	0,0045
2010	2,06	71.291.878	2,085	0,0045
2011	2,06	71.204.776	2,044	0,0040
2012	2,05	72.177.401	2,050	0,0045
2013	2,04	72.529.953	2,062	0,0044
2014	2,04	72.942.272	2,077	0,0044
2015	2,04	73.064.250	2,080	0,0044
2016	2,03	73.193.182	2,068	0,0043
2017	2,03	74.177.053	2,078	0,0043
2018	2,03	74.389.040	2,107	0,0042
2019	2,02	75.000.020	2,115	0,0042
2020	2,02	75.411.057	2,125	0,0042
2021	2,01	75.022.571	2,104	0,0041
2022	2,01	76.277.094	2,140	0,0041
2023	2,01	76.040.777	2,157	0,0041
2024	2,00	77.057.980	2,170	0,0040
2025	2,00	77.664.059	2,168	0,0040
2026	2,00	77.007.929	2,177	0,0040
2027	2,79	78.287.589	2,165	0,0040
2028	2,79	78.287.059	2,194	0,0039
2029	2,70	79.102.039	2,200	0,0039
2030	2,70	79.511.409	2,217	0,0039

8. Παράμετροι – Ατυχήματα

Παράμετροι - Αγορά οχημάτων

Έτος	Αριθμός νέων οχημάτων
2020	2 422 728
2021	2 420 527
2022	2 430 319
2023	2 458 103
2024	2 473 077
2025	2 491 843
2026	2 509 400
2027	2 527 140
2028	2 544 030
2029	2 562 810
2030	2 580 340
2031	2 590 054
2032	2 615 750
2033	2 633 454
2034	2 651 141
2035	2 660 020
2036	2 668 488
2037	2 704 150
2038	2 721 003
2039	2 739 447
2040	2 757 032
2041	2 774 700
2042	2 792 328
2043	2 809 835
2044	2 827 538
2045	2 845 120
2046	2 862 711
2047	2 880 288
2048	2 897 052
2049	2 915 410
2050	2 932 858

Σημερινές τιμές για την αγορά καινούργιων οχημάτων επιπέδου αυτοματισμού 0		20 000
Επιπλέον κόστος για την τεχνολογία κάθε επιπέδου και τελικό κόστος οχήματος	Επίπεδο 1	1 000
	Επίπεδο 2	8 900
	Επίπεδο 3	13 100
	Επίπεδο 4	19 000
	Επίπεδο 5	23 400

Ποσοστό ετήσιας μείωσης συνολικής τιμής	
Επίπεδο 0	1%
Ποσοστό ετήσιας μείωσης επιπλέον τιμής	
Επίπεδο 1-5	5%

Μενού

9. Παράμετροι – Αγορά Οχημάτων

Παράμετροι - Ασφάλιση οχημάτων

Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για επίπεδα 0, 1, 2		300
Ποσοστό μείωσης του κόστους για το αντίστοιχο επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδο 3	40%
	Επίπεδο 4	60%
	Επίπεδο 5	80%
Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για το αντίστοιχο επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδο 3	100
	Επίπεδο 4	120
	Επίπεδο 5	80

Μενού

10. Παράμετροι – Ασφάλιση Οχημάτων

Μενού										
Έτος	Σενάριο 0	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Διαφορά 1	Ποσοστιαία Διαφορά 1	Αβροιστική Διαφορά 1	Διφέλη ανά όχημα 1	Διφέλη ανά οχηματοχολούμετρο 1 (€ct)	
2020	384.729.035.569	387.553.933.784	389.712.813.907	391.643.891.659	-3.229.897.215	-1%	-3.229.897.215	-99	-0,66	
2021	385.900.217.067	389.139.957.071	390.562.675.912	391.750.715.984	-3.230.740.004	-1%	-6.469.637.218	-99	-0,66	
2022	385.507.173.463	388.725.784.362	389.821.188.910	390.338.886.967	-3.216.620.899	-1%	-9.688.238.117	-97	-0,65	
2023	386.671.199.041	389.817.293.898	390.566.605.456	390.351.449.000	-3.146.094.857	-1%	-12.834.352.974	-94	-0,63	
2024	386.130.705.332	389.197.497.991	389.624.559.854	388.728.620.497	-3.066.789.660	-1%	-15.901.142.634	-91	-0,61	
2025	385.701.615.510	388.665.091.425	388.774.581.168	387.211.435.336	-2.963.475.915	-1%	-18.864.618.549	-88	-0,58	
2026	383.626.252.388	386.648.550.483	386.382.757.681	384.056.507.552	-2.822.298.065	-1%	-21.686.916.643	-83	-0,55	
2027	381.138.168.704	383.807.453.821	383.184.661.300	380.133.912.787	-2.869.265.117	-1%	-24.358.201.760	-78	-0,52	
2028	377.263.135.768	379.788.187.566	378.645.355.243	375.145.931.813	-2.525.051.788	-1%	-26.881.253.548	-73	-0,49	
2029	374.703.975.318	377.014.253.688	375.707.190.790	371.272.485.509	-2.310.278.370	-1%	-29.191.531.919	-67	-0,44	
2030	371.904.315.089	373.981.680.608	372.316.867.556	367.161.494.268	-2.077.365.519	-1%	-31.268.897.438	-59	-0,40	
2031	371.349.934.093	371.327.351.150	368.337.337.354	361.675.115.306	22.582.943	0%	-31.248.314.485	1	0,00	
2032	369.742.127.813	367.551.371.878	363.223.412.420	355.101.110.112	2.190.755.935	1%	-29.055.558.560	62	0,41	
2033	369.626.962.650	364.946.024.462	359.059.898.795	349.179.643.104	4.880.938.188	1%	-24.374.620.372	131	0,87	
2034	368.170.637.010	360.986.119.871	353.583.150.345	342.010.344.326	7.184.517.139	2%	-17.190.103.234	200	1,33	
2035	367.057.405.108	357.157.350.831	348.065.755.448	334.688.825.645	9.900.054.278	3%	-7.290.048.956	275	1,81	
2036	365.929.945.799	352.567.222.145	341.325.003.215	325.503.681.722	13.362.723.653	4%	6.072.674.697	368	2,42	
2037	364.325.264.304	347.274.548.698	333.754.050.606	315.376.303.926	17.050.715.606	5%	23.123.390.303	467	3,06	
2038	361.640.638.241	340.813.339.836	324.977.600.042	304.049.682.144	20.827.298.405	6%	43.950.688.709	567	3,70	
2039	360.259.263.866	335.066.179.289	316.538.003.207	292.617.514.718	25.192.464.577	7%	69.143.173.286	681	4,43	
2040	357.254.679.032	327.842.025.413	306.737.897.910	280.017.058.641	29.412.653.619	8%	98.555.826.904	791	5,12	
2041	354.276.589.927	321.557.954.624	299.243.968.754	271.764.368.661	32.720.635.302	9%	131.276.462.207	874	5,64	
2042	351.344.802.860	315.158.625.519	291.586.501.638	263.323.333.791	36.186.177.341	10%	167.462.639.547	961	6,18	
2043	351.130.416.242	310.351.497.710	284.895.470.439	255.155.105.199	40.778.918.532	12%	208.241.558.079	1.077	6,89	
2044	351.277.912.176	305.508.466.347	278.019.683.282	246.698.018.399	45.789.445.829	13%	254.011.003.908	1.201	7,66	
2045	351.327.071.775	300.281.416.975	270.681.753.979	237.760.469.431	51.043.654.801	15%	305.055.658.709	1.332	8,45	
2046	352.202.314.200	296.109.369.502	264.593.283.642	230.352.676.510	56.092.944.688	16%	361.149.603.407	1.455	9,20	
2047	352.857.371.360	291.591.912.210	258.156.928.978	222.648.670.384	61.263.459.150	17%	422.415.062.557	1.580	9,96	
2048	353.719.004.943	286.929.005.796	251.450.817.789	214.596.758.477	66.789.999.146	19%	489.205.061.703	1.712	10,75	
2049	354.357.762.289	281.970.655.323	244.472.357.987	205.349.808.866	72.387.106.966	20%	551.592.168.669	1.845	11,54	
2050	355.205.400.347	276.900.496.439	237.276.555.916	197.829.413.021	78.304.903.908	22%	639.897.072.577	1.965	12,37	

11. Α) Συνολικά Αποτελέσματα
(Σύγκριση Σεναρίου 0 με το Σενάριο 1)

