

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ:
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

υπό

ΕΛΕΝΗ ΛΟΥΛΑΚΑΚΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2018

© 2018 Ελένη Λουλακάκη

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Παντελεήμων Κοπελιάς
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ηλιού
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Ιωάννης Αδάμος
Εντεταλμένος Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Παντελεήμων Κοπελιά, καθώς και τη συνεργάτιδά του Ελισάβετ Δεμιρίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέρη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας, Καθηγητές κ. Νικόλαο Ηλιού και κ. Ιωάννη Αδάμο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τον σύντροφό μου Πάρη τόσο για τις νομικές συμβουλές που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης του Κεφαλαίου 7, όσο και για τη στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω την εργασία αυτή στη μητέρα μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	v
Πίνακας Εικόνων.....	vii
Πίνακας Διαγραμμάτων.....	ix
Πίνακας Πινάκων	xi
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο	1
1.2. Οργάνωση διπλωματικής εργασίας	1
2. Ιστορική αναδρομή.....	3
3. Διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα (CAVs)	8
3.1. Διασυνδεδεμένα οχήματα- Connected Vehicles.....	8
3.2. Αυτόνομα οχήματα- Autonomous Vehicles	8
3.2.1. Στάδια αυτοματοποίησης	9
4. Συστήματα και απαιτήσεις λειτουργίας	13
4.1. V2V Επικοινωνίες	14
4.2. V2I Επικοινωνίες	15
4.3. V2P Επικοινωνίες	16
4.4. V2X Επικοινωνίες	18
4.5. Τεχνολογίες αυτόνομων οχημάτων	18
5. Σενάρια υιοθέτησης στην αγορά	24
5.1. Η κοινή γνώμη και έρευνες αποδοχής.....	24
5.1.1. Έρευνα αποδοχής του Worcester Polytechnic Institute	27
5.1.2. Η έρευνα της HERE.....	33
5.1.3. Έρευνα αποδοχής στην Ελλάδα.....	36
5.2. Συμπεράσματα	38
6. Αναμενόμενες επιπτώσεις.....	40
6.1. CAVs: Πλεονεκτήματα	40
6.2. Μειονεκτήματα	45
6.3. SWOT analysis	47

6.4.	Θεωρία κυκλοφοριακής ροής και βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη	49
6.4.1.	Βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη	49
6.4.2.	Κυκλοφοριακή ικανότητα και επίπεδα εξυπηρέτησης	50
6.5.	Επιπτώσεις στα κυκλοφοριακά μεγέθη	52
6.5.1.	Επιπτώσεις σε αυτοκινητόδρομους	53
6.5.2.	Επιπτώσεις σε αρτηριακές οδούς και διασταυρώσεις	57
6.5.3.	Επιπτώσεις σε κυκλικούς κόμβους	60
6.5.4.	Επιπτώσεις στα οχηματοχιλιόμετρα	65
6.6.	Συμπεράσματα	67
7.	Νομικά ζητήματα.....	69
7.1.	Ανάληψη ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος.....	69
7.1.1.	Ευθύνη του οδηγού και των ασφαλιστικών εταιριών.....	70
7.1.2.	Ευθύνη των κατασκευαστικών εταιρειών	73
7.2.	Χρήση και ασφάλεια δεδομένων	74
7.3.	Εγκληματικές ενέργειες.....	76
7.4.	Ευρωπαϊκή νομοθεσία και κανονισμοί	78
7.5.	Αμερικανική νομοθεσία και κανονισμοί.....	85
7.6.	Ελληνική νομοθεσία και κανονισμοί	92
7.7.	Συμπεράσματα	94
8.	Συμπεράσματα	96
9.	Προτάσεις.....	100
	Βιβλιογραφία	103

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.1: Stanford Cart [Πηγή]: (Shofi, 2018).....	4
Εικόνα 2.2: Waymo Google [Πηγή]: (Waymo, 2014).....	6
Εικόνα 3.1: Επίπεδα αυτοματοποίησης κατά SAE. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Applitoools, 2017).....	9
Εικόνα 4.1: Η συνεργασία, η συνδεσιμότητα και ο αυτοματισμός αποτελούν τεχνολογίες που ενισχύονται η μία από την άλλη. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Dopart, 2015).....	13
Εικόνα 4.2: Η επικοινωνία V2V επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των οχημάτων και παρέχει πληροφορίες στους οδηγούς σχετικά με την πιθανότητα σύγκρουσης. [Πηγή]: (Leonard, 2017)	14
Εικόνα 4.3: Η επικοινωνία V2I επιτρέπει την επικοινωνία οχήματος-υποδομής. [Πηγή]: (Fitzgerald, 2016).....	15
Εικόνα 4.4: Η επικοινωνία V2I είναι ασύρματη και αμφίδρομη. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Reina, et al., 2013)	16
Εικόνα 4.5: Η ασύρματη επικοινωνία οχήματος-πεζού επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων συσκευών και ενισχύεται από τα συστήματα επί του οχήματος. [Πηγή]: (Turpen, 2015).....	17
Εικόνα 4.6: Η επικοινωνία V2X αφορά ένα «έξυπνο» σύστημα μεταφοράς στο οποίο ένα όχημα αλληλεπιδρά με οποιαδήποτε οδική οντότητα [Πηγή]: (Laird, 2015)	18
Εικόνα 4.7: Τεχνολογίες οχήματος Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2017).....	19
Εικόνα 4.8: Το σύστημα LIDAR δημιουργεί ένα 3D χάρτη του περιβάλλοντος του οχήματος. [Πηγη]: (Ynkoff, 2016).....	20
Εικόνα 4.9: Μέσω της αποτύπωσης εικόνων εντοπίζονται τυχαία εμπόδια στο οδικό δίκτυο. [Πηγή]: (Layson, 2017).....	21
Εικόνα 4.10: Μέσω του DSRC μεταδίδονται δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία, την ταχύτητα, τη πορεία και τον όγκο κυκλοφορίας των οχημάτων. [Πηγή]: (Lavina & Bonelli, 2017).....	22
Εικόνα 6.1: Το platooning αφορά μια ομάδα οχημάτων που κινούνται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους κάνοντας χρήση της τεχνολογίας της συνδεσιμότητας. [Πηγή]: (Driveless Transportation, 2014)	41

Εικόνα 6.2: Ο εσωτερικός χώρος του οχήματος διαμορφώνεται ώστε να υποστηρίξει περαιτέρω δραστηριότητες [Πηγή]: (Gallina, 2017)	42
Εικόνα 6.3: Αυτόνομα οχήματα παραλαμβάνουν εμπορευματοκιβώτια και τα μεταφέρουν εντός του λιμανιού στο Λος Άντζελες. [Πηγή]: (Lippert, 2016)	44
Εικόνα 6.4: Ανάλυση SWOT αυτόνομων οχημάτων.	48
Εικόνα 7.1: Πιστοποιητικό άδειας λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων της Νεβάδα. [Πηγή]: (Dennis & Spulber, 2016).....	87
Εικόνα 7.2: Δοκιμή φορτηγού οχήματος χωρίς οδηγό της εταιρείας Otto στον αυτοκινητόδρομο της Νεβάδα [Πηγή]: (Dennis & Spulber, 2016)	88

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 5.1: Σχέση επιρροής ηλικίας-ασφάλειας (αριστερά) και ηλικίας-κόστους (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	29
Διάγραμμα 5.2: Σχέση επιρροής εισοδήματος-νομικού πλαισίου (αριστερά) και εισοδήματος-κόστους (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	29
Διάγραμμα 5.3: Σχέση επιρροής φύλου-ασφάλειας (αριστερά) και φύλου-χρόνου αγοράς (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	30
Διάγραμμα 5.4: Σχέση επιρροής επιπέδου εκπαίδευσης-κόστους (αριστερά) και επιπέδου εκπαίδευσης-ασφάλειας (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	31
Διάγραμμα 5.5: Κατανομή ποσού που οι συμμετέχοντες αναμένουν να ανέρχεται ο αυτόματος εξοπλισμός (αριστερά) και ποσού που διατίθενται να διαθέσουν (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	31
Διάγραμμα 5.6: Κατανομή εξοικείωσης με τους νόμους σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα (αριστερά) και συμφωνία σχετικά με την έκδοση άδειας κυκλοφορίας (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	32
Διάγραμμα 5.7: Κατανομή δείγματος που βρίσκει ελκυστικό το σενάριο CaaS/ Caap (αριστερά) και ποσοστό που θα χρησιμοποιούσε το καθένα από αυτά (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (HERE, 2017)	34
Διάγραμμα 5.8: Κατανομή των μέσων που θα αντικατασταθούν από αυτόνομα οχήματα. [Πηγή]: (HERE, 2017)	34
Διάγραμμα 5.9: Ποσοστό των μεταφορών που θα αντικατασταθούν από αυτόνομα οχήματα σε ΗΠΑ και Γερμανία [Πηγή]: (HERE, 2017)	35
Διάγραμμα 5.10: Ποσοστό ιδιοκτησίας και χρήσης αυτόνομων οχημάτων ατόμων με εμπειρία στα συστήματα ADAS. [Πηγή]: (HERE, 2017)	35
Διάγραμμα 6.1: Μέση απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων και εκτιμώμενη χωρητικότητα αυτοκινητοδρόμου σε ταχύτητα 100 km/h όταν τα ποσοστά των τριών τύπων οχημάτων ποικίλλουν. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)	55
Διάγραμμα 6.2: Ρυθμός βελτίωσης της χωρητικότητας σε ταχύτητα 100 km/h όταν το ποσοστό των οχημάτων με συστήματα επικοινωνίας/ με αισθητήρες ποικίλλει. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)	56

Διάγραμμα 6.3: Μέση απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων και εκτιμώμενη χωρητικότητα αυτοκινητόδρομου όταν η ταχύτητα κίνησης ποικίλλει. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)	57
Διάγραμμα 6.4: Χωρητικότητα μονής λωρίδας με φωτεινό σηματοδότη σε σχέση με την ταχύτητα. [Πηγή]: (Friedrich, 2016)	59
Διάγραμμα 6.5: Ρυθμός βελτίωσης χωρητικότητας για διάφορα ποσοστά αυτόνομων (επάνω) και διασυνδεδεμένων οχημάτων (κάτω). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016).....	63
Διάγραμμα 6.6: Ανάλυση ευαισθησίας Monte Carlo για τον προσδιορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης για ποσοστά διείσδυσης των CAVs. [Πηγή]: (Shi & Prevedouros, 2016)	65
Διάγραμμα 7.1: Σύνολο ασφαλιστικών καλύψεων για το έτος 2015. [Πηγή]: (Karol, 2017)	71

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 5.1: Ποσοστό του δείγματος που θα αγόραζε αυτόνομο όχημα. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (J.D. Power and Associates, 2012)	25
Πίνακας 5.2: Ποσοστό κατάταξης ασφάλειας, νομοθετικού πλαισίου και κόστους. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)	28
Πίνακας 5.3: Κατανομή του δείγματος ανά φύλο, ηλικία, εισόδημα και μορφωτικό επίπεδο. [Πηγή]: (Σουρής, 2017)	36
Πίνακας 5.4: Ποσοστό του δείγματος που θα αγόραζε αυτόνομο όχημα ανά φύλο, ηλικία και ετήσιο εισόδημα.[Πηγή]: (Σουρής, 2017)	37
Πίνακας 6.1: Μέσοι χρονικοί διαχωρισμοί και χωρητικότητες για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)	62
Πίνακας 6.2: Μέσοι χρονικοί διαχωρισμοί και χωρητικότητες για ποσοστά διείσδυσης διασυνδεδεμένων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)	62
Πίνακας 6.3: Χρονικές καθυστερήσεις για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016).....	64
Πίνακας 6.4: Χρονικές καθυστερήσεις για ποσοστά διείσδυσης διασυνδεδεμένων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016).....	64
Πίνακας 6.5: Αύξηση χωρητικότητας και οχηματοχιλιομέτρων για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Klooststra & Roorda, 2017).....	66
Πίνακας 7.1: Ενδεικτικά ερευνητικά έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς την ανάπτυξη της αυτοματοποιημένης οδήγησης.....	81
Πίνακας 7.2: Ευρωπαϊκές Οδηγίες αναφορικά με την προστασία των δεδομένων. [Πηγή]: (Lawspot, 1995), (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2002-2016)	84
Πίνακας 7.3: Ανασκόπηση της νομοθεσίας των ΗΠΑ αναφορικά με τα CAVs. [Πηγή]: (Conference on Sustainable Urban Mobility, 2018), (Demiridi, et al., 2018)	90

Περίληψη

Τα Αυτόνομα και Διασυνδεδεμένα Οχήματα, που συχνά αναφέρονται ως CAVs, αποτελούν επιτεύγματα της σύγχρονης βιομηχανίας των αυτοκινήτων και οι αλλαγές που εκτιμάται ότι θα επιφέρουν στην κινητικότητα θεωρούνται επανάσταση στον τομέα των μεταφορών. Ολοένα και περισσότερα οχήματα εξοπλίζονται με συστήματα ικανά να υποστηρίξουν ή και να αναλάβουν εξ ολοκλήρου τη λειτουργία της οδήγησης, περιορίζοντας έτσι το βαθμό ανάμιξης του ανθρώπου στα χειριστήρια όργανα. Παράλληλα, οι συσκευές που συνδυάζουν τις τεχνολογίες της πληροφορικής και της ψηφιακής επικοινωνίας επιτρέπουν στα οχήματα να αλληλεπιδρούν με οποιαδήποτε οντότητα σχετίζεται με το οδικό περιβάλλον, εξασφαλίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την αποτελεσματικότερη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών.

Ωστόσο, καθώς τα αυτοματοποιημένα συστήματα αφορούν πρωτόγνωρες τεχνολογίες, εύλογα τίθεται το ερώτημα της αποδοχής τους από το ευρύ κοινωνικό σύνολο και του οποίου η απάντηση είναι αυτή που θα καθορίσει το χρόνο και τον τρόπο διάθεσής τους στην κυκλοφορία. Για τον λόγο αυτό και σε παγκόσμιο επίπεδο, προωθείται η έρευνα των κοινωνικών, των οικονομικών και των νομικών επιπτώσεων ως αποτέλεσμα της χρήσης των CAVs, με το ενδιαφέρον των αναλυτών να στρέφεται κυρίως στα ζητήματα της πολιτικής των μεταφορών και της διαχείρισης της κυκλοφορίας. Δεδομένου ότι ο τομέας της οδικής κυκλοφορίας είναι υψίστης σημασίας για την ασφάλεια των χρηστών, θεωρείται αναγκαία η εκτίμηση των επερχόμενων μεταβολών στη ροή της κυκλοφορίας, καθώς και ο επαναπροσδιορισμός των διατάξεων που βρίσκονται σε ισχύ και ρυθμίζουν την οδική συμπεριφορά.

Στην παρούσα εργασία συζητούνται τα ζητήματα της απήχησης των αυτοματοποιημένων οχημάτων στο αγοραστικό κοινό, των ποσοστιαίων μεταβολών στα βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη λόγω της δημόσιας λειτουργίας τους, καθώς και τα ανοικτά θέματα νομικού χαρακτήρα προς επίλυση.

Λέξεις κλειδιά: Αυτόνομο Όχημα, Διασυνδεδεμένο Όχημα, Έρευνα Αποδοχής, Κυκλοφοριακά Μεγέθη, Νομικά Ζητήματα.

Abstract

Autonomous and Connected Vehicles, often mentioned as CAVs, are the achievements of the modern automotive industry and the modifications that they are expected to result in mobility are considered as revolution in the transport sector. More and more vehicles are being equipped with systems which are capable of supporting or even taking over the whole driving task, thereby limiting the degree of human's involvement in the control. At the same time, devices that combine the technologies of computer science and digital communication enable vehicles to interact with any entity which is associated with the driving environment, thus ensuring the effectiveness in the transport of people and goods.

However, automated systems have to do with unprecedented technologies and reasonably raise the question of their acceptance by the general public, the solution to which will determine the time and the manner they will be available in traffic. For this reason, global research on social, economic and legal impacts is being promoted as a result of the CAVs operation, while most analysts focus mainly on issues like transport policy and traffic management. Given the fact that the road traffic is a highly regulated area for the public safety, it is necessary to access the upcoming changes in traffic flow, as well as redefining the provisions in force which regulate the driving behavior.

This paper represents the issues of public acceptance of automated vehicles by the public, the percentage changes in the basic traffic parameters as a result of their public operation, as well as the unsolved legal cases.

Keywords: Autonomous Vehicle, Connected Vehicle, Study of Public Acceptance, Traffic Parameters, Legal Issues.

1. Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα, οι οποίες και διαμορφώνουν το περιεχόμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρακάτω παρατίθεται μια σύντομη περιγραφή του στόχου της εργασίας, όπως και μια συνοπτική ανασκόπηση των βασικών ενοτήτων που αυτή περιέχει.

1.1. Κίνητρο και υπόβαθρο

Τα οχήματα χωρίς οδηγό είναι πλέον τεχνολογικά εφικτά και έτοιμα να αντικαταστήσουν τα αντίστοιχα σημερινά χειροκίνητα αυτοκίνητα στο εγγύς μέλλον. Στο πλαίσιο μιας τόσο ρηζικέλευθης τεχνολογίας, ανακύπτουν τα ζητήματα της αποδοχής και της υιοθέτησής της από το ευρύ κοινωνικό σύνολο, καθώς και της εκτίμησης της μεταβολής των κυκλοφοριακών παραμέτρων λόγω της δημόσιας εφαρμογής της. Ταυτόχρονα, εμφανίζεται η ανάγκη θέσπισης εξειδικευμένου θεσμικού πλαισίου, προσαρμοσμένου στις ιδιαιτερότητες της καινοτομίας, το οποίο και θα ρυθμίζει την οδηγική συμπεριφορά και θα εξασφαλίζει την προστασία των όλων χρηστών της οδού με βάση τα νέα δεδομένα. Τα παραπάνω θέματα προς επίλυση συνθέτουν και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ως εκ τούτου, στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία των ερευνών που εξετάζουν τις αντιδράσεις των καταναλωτών σχετικά με τα αυτοματοποιημένα συστήματα, ποσοτικοποιούνται οι μεταβολές στα βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη που θα προκύψουν ως αποτέλεσμα της λειτουργίας των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων στο δημόσιο οδικό δίκτυο και συνοψίζονται οι υφιστάμενες νομοθετικές διατάξεις που διέπουν τον τομέα των μεταφορών, καθώς και οι πιο αξιοσημείωτες προσπάθειες για τη δημιουργία ρυθμιστικού πλαισίου φιλικό προς τα CAVs.

1.2. Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε 8 ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 2-9, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η εξελικτική αναδρομή των αυτόνομων οχημάτων, καθώς και η πορεία σχεδιασμού ορισμένων από τα επιμέρους συστήματα που το απαρτίζουν.

Στο Κεφάλαιο 3 δίνονται οι ορισμοί του διασυνδεδεμένου και αυτόνομου οχήματος και αναλύονται τα στάδια αυτοματοποίησης κατά SAE, σύμφωνα με τα οποία ταξινομούνται τα αυτοματοποιημένα οχήματα.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται λόγος για τα συστήματα που διαθέτουν τα αυτόνομα και διασυνδεδεμένα οχήματα, καθώς και για τις απαιτήσεις λειτουργίας που αυτά οφείλουν να πληρούν. Ειδικότερα, αναλύονται λεπτομερώς οι επικοινωνίες V2V,

V2I, V2P και V2X, όπως επίσης και οι τεχνολογίες οι οποίες εξοπλίζουν ή ενσωματώνονται σε ένα αυτόνομο όχημα.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφονται τα πιθανά σενάρια διείσδυσης των CAVs στην αγορά και παρατίθενται εκτενείς έρευνες αντιδράσεων του καταναλωτικού κοινού. Τα στατιστικά αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό τη μορφή αναλυτικών πινάκων και γραφημάτων και ταξινομούνται βάσει των δημογραφικών ή άλλων χαρακτηριστικών του κάθε φορά εξεταζόμενου δείγματος.

Στο Κεφάλαιο 6 συνοψίζονται αρχικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την λειτουργία των αυτοματοποιημένων οχημάτων και πραγματοποιείται μια SWOT ανάλυση στην οποία καταγράφονται τα σημαντικότερα δυνατά και αδύνατα σημεία της τεχνολογίας, όπως και οι ευκαιρίες και οι απειλές που ενδεχομένως να προκύψουν από αυτή. Στη συνέχεια, γίνεται μια σύντομη αναφορά στα βασικά μεγέθη της θεωρίας της κυκλοφοριακής ροής για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών που αναμένεται να επέλθουν στη κυκλοφορία λόγω της χρήσης των CAVs. Παρουσιάζονται αναλυτικές μελέτες και γίνονται ποσοστιαίες εκτιμήσεις των επιπτώσεων στα οδικά τμήματα των αυτοκινητοδρόμων, των διασταυρώσεων και των κυκλικών κόμβων. Δίνεται έμφαση στη μεθοδολογία που χρησιμοποιεί η εκάστοτε έρευνα, καθώς και στους ιδιαίτερους παράγοντες που λαμβάνονται κάθε φορά υπόψη.

Στο Κεφάλαιο 7 εξετάζεται η ισχύουσα νομοθεσία σε Ευρώπη, Αμερική και Ελλάδα, όπως και τα ζητήματα προς επίλυση που προκύπτουν από την τεχνολογία της αυτοματοποίησης. Καταγράφονται οι προσπάθειες των αρμόδιων οργάνων σχετικά με τη μελέτη και τη δοκιμή των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων και, ταυτόχρονα, αναφέρονται οι τροπολογίες που αναμένεται να οδηγήσουν στη ρύθμιση νομοθετικού πλαισίου φιλικό προς τα CAVs.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, καθώς και οι κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στα Κεφάλαια 8 και 9, αντίστοιχα.

2. Ιστορική αναδρομή

Αιώνες πριν την εφεύρεση και την καθιέρωση του αυτοκινήτου ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι σχεδίασε μια αυτοκινούμενη άμαξα η οποία θεωρείται από πολλούς το πρώτο ρομπότ του κόσμου. Η άμαξα αυτή μπορούσε να κινηθεί, χωρίς να ωθηθεί ή να τραβηχτεί, με τη δύναμη περιτυλιγμένων ελατηρίων, καθώς επίσης είχε τη δυνατότητα πλοήγησης μιας προκαθορισμένης διαδρομής (Wired Brand Lab, 2018).

Το 1868 ο Robert Whitehead εφηύρε την περίφημη αυτοκινούμενη τορπίλη, η οποία είχε την δυνατότητα να προωθείται υποβρύχια, από μόνη της, και να ταξιδεύει εκατοντάδες μέτρα χάρη σε ένα σύστημα συμπίεσης. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε στη συνέχεια στην δημιουργία ενός εύρους όπλων, αεροσκαφών και άλλων αυτόνομων συσκευών.

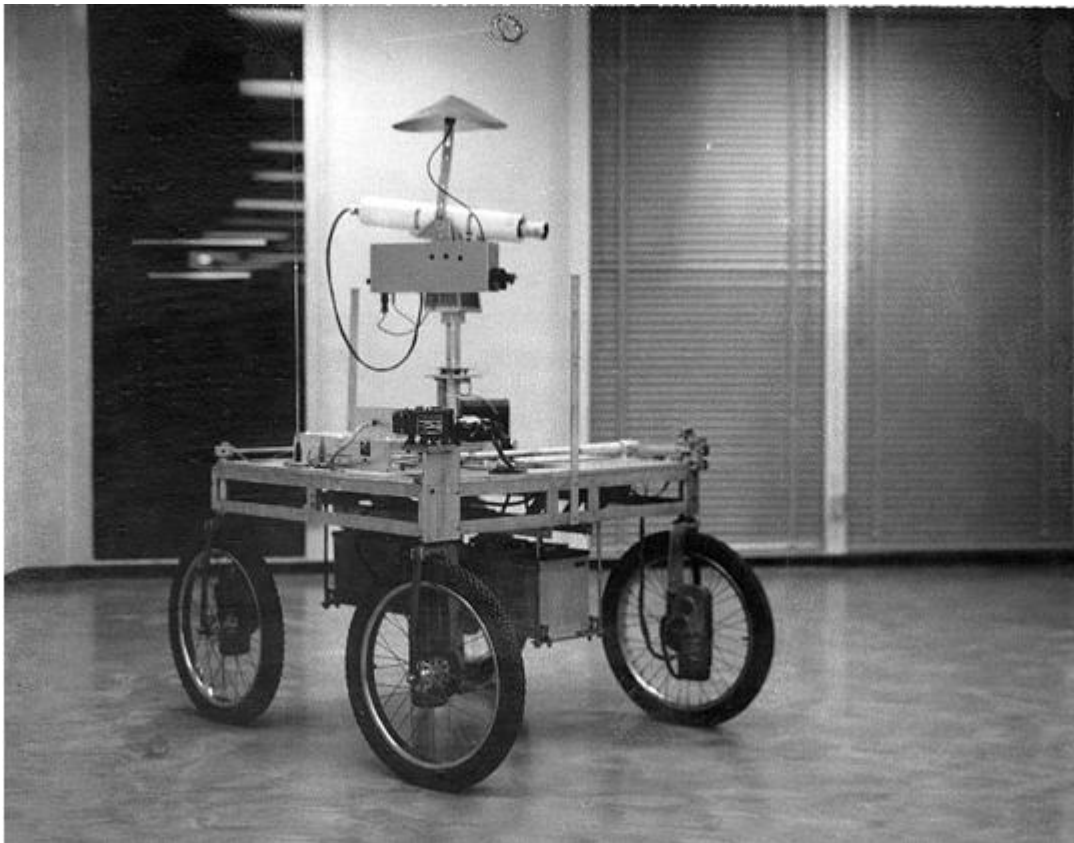
Δεν χρειάστηκε πολύς χρόνος, ύστερα από τη διάθεση του συμβατικού αυτοκινήτου στην αγορά, για τη σύλληψη της ιδέας των αυτόνομων οχημάτων. Το 1925 ο Francis Houdina παρουσίασε ένα ραδιοελεγχόμενο όχημα, το οποίο μπορούσε να κινηθεί στους δρόμους του Μανχάταν χωρίς την παρουσία κάποιου ατόμου στο τιμόνι. Σύμφωνα με τους New York Times, το ραδιοελεγχόμενο αυτοκίνητο μπορεί να ξεκινήσει τον κινητήρα του, να χρησιμοποιήσει το κιβώτιο των ταχυτήτων και να ακούσει την κόρνα του «σαν ένα φανταστικό χέρι να βρίσκεται στο τιμόνι» (Dormehl & Edelstein, 2018).

Οι εκτεταμένοι χρόνοι ταξιδιού οδήγησαν στην ανάπτυξη συστημάτων αυτόματου πιλότου για αεροσκάφη που διανύουν μεγάλες αποστάσεις. Ο πρότυπος αυτόματος πιλότος εν ονόματι «Mechanical Mike» σχεδιάστηκε από την Sperry Gyroscope Company και χρησιμοποιήθηκε από τον Wiley Post το 1933 σε μια πτήση 13.000 μιλίων (Wired Brand Lab, 2018). Με τη βοήθεια των γυροσκοπίων, τα οποία συνδέονταν με τα συστήματα ελέγχου, τα αεροσκάφη εξασφάλιζαν ακριβή κατεύθυνση. Τα γυροσκόπια χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα στην τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων.

Το 1945 ένας μηχανικός ένιωσε τέτοια δυσαρέσκεια κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής, εξαιτίας της εναλλαγής της ταχύτητας, που ανέπτυξε το πρώτο σύστημα Cruise Control. Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου πλεύσης, που σταθεροποιεί την ταχύτητα του οχήματος στα χιλιόμετρα που ορίζει ο οδηγός, χωρίς ο τελευταίος να χρειάζεται να πατάει το γκάζι. Έτσι η ταχύτητα παραμένει η ίδια, ενώ εκείνο που αλλάζει είναι οι στροφές λειτουργίας του κινητήρα, ανάλογα με την κλίση του εδάφους ή τη σχέση που έχει επιλεγεί στο κιβώτιο (Κουτελιέρης, 2014). Η εφεύρεση κυκλοφόρησε στο εμπόριο το έτος 1958.

Η ανάγκη εξερεύνησης του διαστήματος οδήγησε στην μελέτη και στη σχεδίαση ειδικών οχημάτων με δυνατότητες προσεδάφισης στη σελήνη. Η ιδέα για ένα τηλεκατευθυνόμενο σεληνιακό όχημα δόθηκε, αρχικά, από τον James Adams και τον μεταπτυχιακό φοιτητή του Stanford, όμως υπήρξαν δυσκολίες εξαιτίας της

καθυστερήσης των 2,5 δευτερολέπτων της μετάδοσης μιας εντολής από τη γη στο φεγγάρι (Wired Brand Lab, 2018). Το ζήτημα αντιμετωπίστηκε το έτος 1961 με την ανάπτυξη του πρώτου αυτόνομου τροχοφόρου αμαξιδίου στον κόσμο, γνωστό ως Stanford Cart, το οποίο εξοπλίστηκε με κάμερες και προγραμματίστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να ανιχνεύει και να ακολουθεί μια στερεή λευκή γραμμή επί του εδάφους. Οι σημερινές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν κάμερες αποτελούν βασικό στοιχείο των αυτόνομων οχημάτων.



Εικόνα 2.1: Stanford Cart [Πηγή]: (Shofi, 2018)

Βέβαια, όσο πρωτοποριακή και να μοιάζει η παραπάνω κατασκευή για την εποχή της, παραμένει απλώς ένα τετράτροχο αμαξίδιο. Το 1969 ο John McCarthy, ιδιαίτερα γνωστός για τη συνεισφορά του στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, περιέγραψε στο δοκίμιο του με τίτλο «Computer Controlled Cars» κάτι που προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό το σύγχρονο αυτόνομο όχημα. Ο McCarthy έκανε λόγο για έναν «αυτόματο πιλότο-οδηγό», ικανό να πλοηγείται σε έναν δημόσιο δρόμο με τη βοήθεια μιας τηλεοπτικής κάμερας, στην οποία φτάνουν δεδομένα ίδια με εκείνα που είναι διαθέσιμα στον άνθρωπο-οδηγό (Dormehl & Edelstein, 2018). Ο ίδιος ανέφερε ότι στο μέλλον οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα να θέσουν σε κίνηση το όχημά τους με τη βοήθεια ενός τηλεχειριστηρίου, να αλλάξουν τον προορισμό του ή να πραγματοποιήσουν στάση, να το επιβραδύνουν ή να το επιταχύνουν σε περίπτωση ανάγκης. Παρά το γεγονός ότι τη μετέπειτα περίοδο δεν σχεδιάστηκε κάποιο αντίστοιχο όχημα, το δοκίμιο του McCarthy έδωσε το έναυσμα για την έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή.

Εν συνεχεία το 1977, η Tsukuba Mechanical Engineering με έδρα την Ιαπωνία, σχεδίασε ένα αυτόνομο επιβατηγό όχημα που, όντας εξοπλισμένο με δύο κάμερες, μπορούσε να αναγνωρίσει τη σήμανση της οδού και ταυτόχρονα να ταξιδεύει με ταχύτητα περίπου 20 μίλια την ώρα (Wired Brand Lab, 2018).

Το επόμενο μεγάλο βήμα προς την αυτόνομη τεχνολογία των οχημάτων έγινε το 1987 από τον Γερμανό μηχανικό Ernst Dickmanns ο οποίος εξόπλισε ένα όχημα με κάμερες και μονάδες επεξεργασίας, με σκοπό την ανίχνευση τυχαίων εμποδίων μπροστά και πίσω από το όχημα. Η βασική καινοτομία του οχήματος, εν ονόματι VaMoRs, ήταν η «δυναμική όραση» (dynamic vision), η οποία επέτρεπε στο σύστημα απεικόνισης να φιλτράρει τον εξωτερικό «θόρυβο» και να εστιάζει μόνο στα σχετικά αντικείμενα. Η εφεύρεση αυτή είναι ιδιαίτερης σημασίας στην αυτόνομη οδήγηση, καθώς δίνει την δυνατότητα στα οχήματα να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους και εμπόδια, αλλά και την υφιστάμενη θέση τους.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 ο ερευνητής Dean Pomerleau περιέγραψε στη διδακτορική του διατριβή τον τρόπο με τον οποίο τα νευρωνικά δίκτυα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στην αυτόνομη οδήγηση και έθεσε το ζήτημα της κατάρτισης τέτοιων συστημάτων ώστε να εκτελούν εντολές σε πραγματικό χρόνο. Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάστηκε το δίκτυο ALVINN (Autonomous Land Vehicle In a Neural Network) με σκοπό την καθοδήγηση του οχήματος CMU Navlab. Το πρόγραμμα αυτό σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε παρακολουθώντας τις αντιδράσεις του ανθρώπου οδηγού σε διάρκεια πέντε λεπτών, να είναι σε θέση να κατευθύνει αυτόνομα το όχημα Navlab. Με τη χρήση των τεχνικών αυτών, το πρόγραμμα καταρτίστηκε να καθοδηγεί το όχημα υπό ένα μεγάλο εύρος συνθηκών με ταχύτητα μεγαλύτερη των 20 μιλίων την ώρα. Μάλιστα, ο Pomerleau και ο συνεργάτης του Todd Jochem, δοκίμασαν το Navlab σε ένα ταξίδι από το Πίτσμπουργκ της Πενσυλβανία στο Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνια διανύοντας με αυτό τον τρόπο 2.797 μίλια (Dormehl & Edelstein, 2018).

Την ίδια περίοδο, εμφανίστηκε μια άλλη κατηγορία αυτόνομων οχημάτων σχεδιασμένη και προγραμματισμένη να ταξιδεύει χωρίς την ταυτόχρονη παρουσία του ανθρώπου. Αυτό έγινε πιο εμφανές στον τομέα των αεροσκαφών, το πιο αξιοσημείωτο από τα οποία ήταν το μοντέλο Predator της General Atomics, το οποίο εξοπλίστηκε με τεχνολογίες προσαρμοσμένες για αυτοκίνητα, συμπεριλαμβανομένων των ραντάρ που μπορούσαν να δουν διαμέσου του καπνού ή των σύννεφων και θερμικών καμερών απεικόνισης που διευκόλυναν το ταξίδι κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Το 2002 το ερευνητικό τμήμα του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ, διεξήγαγε το Grand Challenge, προσφέροντας στους επιστήμονες των κορυφαίων ερευνητικών ιδρυμάτων το ποσό του ενός εκατομμυρίου δολαρίων για την κατασκευή ενός αυτόνομου οχήματος ικανό να πλοηγηθεί κατά 142 μίλια στην έρημο Mojave (DARPA, 2014). Ο διαγωνισμός διεξήχθη το Μάρτιο του 2004 και παρά το γεγονός ότι κανένα από τα 15 οχήματα δε κατάφερε να ολοκληρώσει τη διαδρομή,

οι μετέπειτα προκλήσεις ανέδειξαν νέες δυνατότητες στο χώρο της αυτόνομης πλοήγησης.

Παρόλο που η καθιέρωση των αυτόνομων οχημάτων στις αρχές του 2000 έμοιαζε ακόμη σενάριο επιστημονικής φαντασίας, διάφορες μορφές αυτοματοποιημένης και διασυνδεδεμένης τεχνολογίας ξεκίνησαν να εμφανίζονται, αποδεικνύοντας ότι οι αισθητήρες και οι αυτόνομες οδικές τεχνολογίες είναι πραγματικότητα. Το 2003 το υβριδικό μοντέλο Prius της Toyota ενσωματώθηκε με το αυτόματο σύστημα υποστήριξης στάθμευσης, ενώ η Lexus πρόσθεσε σύντομα ένα παρόμοιο μηχανισμό στο μοντέλο Lexus Ls (Dormehl & Edelstein, 2018). Το 2009 η Ford συσσωμάτωσε το πρόγραμμα Active Park Assist και η BMW ακολούθησε ένα χρόνο αργότερα με το δικό της βοηθό στάθμευσης.



Εικόνα 2.2: Waymo Google [Πηγή]: (Waymo, 2014)

Το 2009 η εταιρία Google ξεκίνησε να σχεδιάζει μυστικά ένα όχημα αυτόνομης οδήγησης, που πλέον ονομάζεται Waymo. Το έργο αρχικά διευθετήθηκε από τον πρώην διευθυντή του εργαστηρίου τεχνητής νοημοσύνης του Stanford και συνεφευρέτη του Google Street View, Sebastian Thrun. Η Google ανακοίνωσε ότι τα μοντέλα της έχουν διανύσει 300.000 μίλια χωρίς να προκύψει κάποιο ατύχημα, ενώ το 2014 παρουσίασε ένα πρότυπο όχημα χωρίς οδηγό, τιμόνι και πεντάλ γκαζιού ή φρένου με αποτέλεσμα να είναι 100% αυτόνομο.

Μέχρι το 2013 μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η General Motors, η Mercedes Benz, η Ford και η BMW ξεκίνησαν να εργάζονται πάνω στην αυτόνομη πλοήγηση, ενώ άλλες, όπως η Nissan, δεσμεύτηκαν ότι τα οχήματα χωρίς οδηγό θα τεθούν σε κυκλοφορία μέχρι το 2020. Ταυτόχρονα, διάφορες εταιρίες πρόσθεσαν ημιαυτόνομα χαρακτηριστικά στα μοντέλα τους όπως σύστημα προειδοποίησης ακούσιας αλλαγής λωρίδας, ενεργό σύστημα φρένων, adaptive cruise control, περιοριστή ταχύτητας κλπ.

Στα τέλη του 2015, η εταιρία Tesla παρουσίασε το μοντέλο S, μία ημιαυτόνομη τεχνολογία η οποία προωθούσε την πλοήγηση χωρίς τον ανθρώπινο παράγοντα στη θέση του οδηγού (Wired Brand Lab, 2018). Δυστυχώς, λίγους μήνες αργότερα το συγκεκριμένο όχημα ενεπλάκη σε θανατηφόρο ατύχημα. Το περιστατικό

συνέβη σε μια διαχωρισμένη οδό στην κεντρική Φλόριντα, όταν το όχημα της Tesla συγκρούστηκε με ένα 18-τροχο ρυμουλκούμενο φορτηγό που επιχείρησε να διασχίσει κάθετα την οδό. Ο αυτόματος πιλότος δεν κατάφερε να ξεχωρίσει το λευκό χρώμα του φορτηγού από το ανοιχτό και φωτεινό χρώμα του ουρανού στον ορίζοντα, με αποτέλεσμα να μην προβεί στην ακινητοποίηση του οχήματος. Ο θάνατος του 40χρονου Joshua Brown έφερε στο προσκήνιο τεχνικά, όσο και ηθικά ζητήματα σχετικά με τη χρήση των αυτόνομων οχημάτων, όμως ταυτόχρονα οδήγησε στην περαιτέρω έρευνα και, κατά συνέπεια, στη βελτίωση των αυτοματοποιημένων τεχνολογιών.

Το ίδιο έτος, δημιουργήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν (MCity) μια δοκιμαστική μονάδα παγκόσμιας κλάσης της τεχνολογίας αυτόνομων οχημάτων και η Ford έγινε η πρώτη αυτοκινητοβιομηχανία που πλοήγησε τα οχήματά της εκεί.

Σήμερα η έρευνα πάνω στην αυτόνομη πλοήγηση συνεχίζεται. Η Audi ισχυρίζεται ότι το νέο της μοντέλο A8 θα είναι το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με αυτονομία επιπέδου 3, στο οποίο το όχημα θα κινείται χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση, παρά μόνο σε περιπτώσεις ανάγκης, ενώ η Nvidia αποκάλυψε στο CEO του 2018 την δημιουργία ενός τσιπ εν ονόματι Xavier το οποίο θα προσδίδει δεξιότητες τεχνητής νοημοσύνης στο αυτόνομο όχημα.

Το σημαντικότερο κομμάτι για την καθιέρωση της αυτόνομης τεχνολογίας είναι η ανάγκη της συνεργασίας όλων των επιμέρους φορέων, δηλαδή της ιδιωτικής βιομηχανίας, της κυβέρνησης και της ακαδημαϊκής κοινότητας. Όπως σημειώθηκε πρόσφατα από τον εμπειρογνώμονα τεχνητής νοημοσύνης, Andrew Ng, για να αποτελέσουν τα αυτόνομα οχήματα μια πραγματικότητα, απαιτείται η σύμπραξη δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, των νομοθετών, των ερευνητών, των εταιριών τηλεπικοινωνιών και των αυτοκινητοβιομηχανιών (Wired Brand Lab, 2018). Παράλληλα, ο ρυθμός της εξέλιξης επιταχύνεται και οι «καινούριες μηχανές» θα αντικαταστήσουν τον άνθρωπο-οδηγό πολύ σύντομα.

3. Διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα (CAVs)

Η τεχνολογία των μεταφορών εξελίσσεται χρόνο με το χρόνο, με αποτέλεσμα εφευρέσεις που στο παρελθόν φάνταζαν ουτοπικές να αποτελούν πλέον εφικτούς στόχους. Σημαντικές ανακαλύψεις στον τομέα αυτό έχουν φέρει στο προσκήνιο μηχανισμούς και προγράμματα με κύριο στόχο την αποφυγή του ανθρώπινου λάθους, το οποίο πιθανόν να οδηγήσει σε ατύχημα και ενδεχομένως στην απώλεια ανθρώπινων ζώων. Έτσι, τα διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα, που συχνά αναφέρονται ως CAVs, εισέρχονται σταδιακά στην αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας και εξοπλίζονται με συστήματα ικανά να υποστηρίξουν ή και να αναλάβουν εξ ολοκλήρου τη λειτουργία της οδήγησης. Οι νέες ασύρματες συσκευές επικοινωνίας επιτρέπουν στα οχήματα αυτά να επικοινωνούν μεταξύ τους, καθώς και με το περιβάλλον τους ή την υπάρχουσα υποδομή, εξασφαλίζοντας έτσι την ασφαλή μεταφορά ανθρώπων και αγαθών (Arseneau, et al., 2015). Τόσο τα μελλοντικά οχήματα, όσο και το σύνολο των οδικών δικτύων οφείλουν να διαμορφωθούν σχεδιαστικά και κατασκευαστικά, ώστε να αφομοιώσουν τέτοιες τεχνολογίες και να δημιουργήσουν ένα ασφαλές, αποδοτικό και ισχυρό παγκόσμιο δίκτυο μεταφορών.

3.1. Διασυνδεδεμένα οχήματα- Connected Vehicles

Τα διασυνδεδεμένα οχήματα είναι οχήματα εξοπλισμένα με κατάλληλα συστήματα για την εκτέλεση όλων των λειτουργιών οδήγησης μέσω της επικοινωνίας με άλλα συστήματα της υποδομής ή με άλλους χρήστες της οδού. Η τεχνολογία των συνδεδεμένων οχημάτων επιτρέπει την ταχεία και συνεχή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των επιμέρους στοιχείων και χρηστών του συστήματος των οδικών μεταφορών (οχήματα, εμπορεύματα, πεζοί, ποδηλάτες, οδικοί άξονες, υποδομές, κέντρα διαχείρισης κυκλοφορίας κλπ), ενώ η επικοινωνία αυτή επιτυγχάνεται με διάφορους μηχανισμούς (ITS Joint Program Office, 2015-2019). Είναι φανερό ότι η έρευνα στρέφεται πλέον, πέρα από την βελτιστοποίηση όλων των λειτουργιών εντός του οχήματος, στην ενίσχυση της συνδεσιμότητας με το περιβάλλον του και της εξοικείωσης στην ικανότητα οδήγησης. Το διασυνδεδεμένο αυτοκίνητο έχει την δυνατότητα αυτοσυντήρησης και παρέχει άνεση και ευκολία στους επιβάτες, κάνοντας χρήση αισθητήρων και σύνδεσης στο διαδίκτυο (McKinsey&Company, 2014).

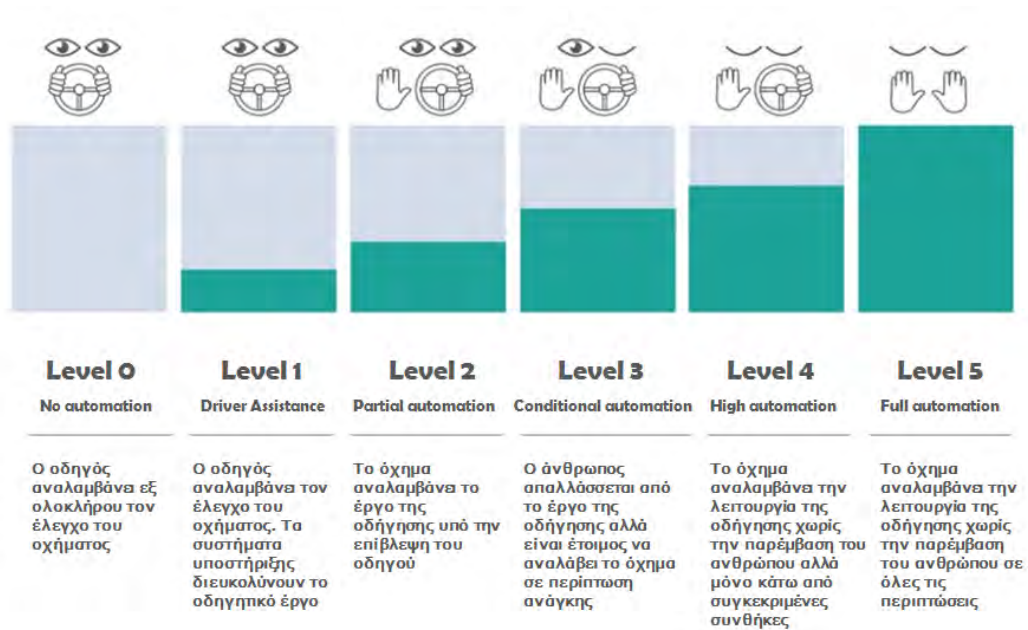
3.2. Αυτόνομα οχήματα- Autonomous Vehicles

Τα αυτόνομα οχήματα, γνωστά και ως αυτοοδηγούμενα ή οχήματα χωρίς οδηγό, είναι εκείνα που έχουν την δυνατότητα εκτέλεσης όλων των λειτουργιών οδήγησης χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση (Arseneau, et al., 2015). Τα οχήματα αυτά

αλληλεπιδρούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το περιβάλλον τους, με αποτέλεσμα να αυξάνουν την ασφάλεια των μεταφορών και να μειώνουν τις εκπομπές ρύπων, το οδηγικό άγχος καθώς και την κυκλοφοριακή συμφόρηση (Μπουραζάνης, 2016). Διάφοροι τύποι αυτόνομων οχημάτων έχουν δοκιμαστεί επί ώρες σε πολλά οδικά δίκτυα, όμως δεν διατίθενται στο εμπόριο μέχρι σήμερα.

3.2.1. Στάδια αυτοματοποίησης

Υπάρχουν έξι στάδια αυτοματοποίησης σύμφωνα με τα πρότυπα SAE International (Society of Automotive Engineers), τα οποία εν συντομία ταξινομούνται και συνοψίζονται στα εξής στάδια: no automation (level 0), no feet (level 1), no hands (level 2), no eyes (level 3), no head (level 4), no driver (level 5) (Shiers & Barnett, 2016). Η NHTSA αποδέχεται την κατηγοριοποίηση της SAE με σκοπό την αποσαφήνιση των βασικών όρων που διέπουν τα αυτόνομα οχήματα (Σουρής, 2017). Όλα τα στάδια που περιέχουν κάποιο στοιχείο αυτοματισμού (level 1 – level 5), σύμφωνα με τον διεθυντή ~~quality&uptime~~ Ποιότητας & Λειτουργίας της Volvo, Hayder Wokil, προσφέρουν τρία βασικά οφέλη: αυξάνουν την ασφάλεια, μειώνουν το λειτουργικό κόστος και μετριάζουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.



Εικόνα 3.1: Επίπεδα αυτοματοποίησης κατά SAE. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Appliftools, 2017)

- *Level 0- No Automation*

Στο επίπεδο αυτό ο οδηγός αναλαμβάνει όλα τα καθήκοντα του οδηγικού έργου και έχει τον απόλυτο έλεγχο του οχήματος, ακόμα και όταν αυτό ενισχύεται από συστήματα προειδοποίησης ή παρέμβασης (Arseneau, et al., 2015). Είναι

υπεύθυνος για την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του οχήματος, καθώς και για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος της οδήγησης, ενώ κανένα σύστημα δεν είναι σε θέση ικανότητας οδήγησης.

- *Level 1- Driver Assistance*

Τα περισσότερα οχήματα που κινούνται στο παγκόσμιο οδικό δίκτυο σήμερα διαθέτουν επαρκή συστήματα υποστήριξης οδήγησης (driver assistance systems) ώστε να τοποθετηθούν σε αυτήν την κατηγορία αυτοματισμού. Εδώ, προωθείται η αυτοματοποίηση συγκεκριμένων λειτουργιών, όπως ο έλεγχος πλεύσης του οχήματος (cruise control) (Shiers & Barnett, 2016), η καθοδήγηση των οριογραμμών (lane guidance) και η υποβοήθηση παράλληλης στάθμευσης (automated parallel parking) (Μπουραζάνης, 2016). Επιπλέον, τα συστήματα υποστήριξης μπορούν, ενδεχομένως, να ελέγχουν την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση του οχήματος, συλλέγοντας πληροφορίες από το οδηγικό περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση ο άνθρωπος- οδηγός εμπλέκεται πλήρως στη διαδικασία της οδήγησης και παραμένει υπεύθυνος όλων των λειτουργιών. Τα μειονεκτήματα των συστημάτων υποβοήθησης αφορούν κυρίως τις παραμέτρους αξιοπιστίας και την αδυναμία ανταπόκρισης σε αντίξοες καιρικές συνθήκες ή σε κυκλοφοριακή συμφόρηση (Shiers & Barnett, 2016).

- *Level 2- Partial Automation*

Στην κατηγορία αυτή υποστηρίζεται η αυτοματοποίηση πολλαπλών λειτουργιών, όπως ο προσαρμοσμένος έλεγχος πλεύσης με κέντρωση επί των οριογραμμών των λωρίδων κυκλοφορίας (adaptive cruise control with lane centering) (Μπουραζάνης, 2016). Ο οδηγός μπορεί όχι μόνο να αφαιρέσει τα πόδια του από το πεντάλ, αλλά και να απομακρύνει τα χέρια του από το τιμόνι. Παρ' όλα αυτά οφείλει να ελέγχει την κυκλοφορία και να βρίσκεται ανά πάσα στιγμή σε ετοιμότητα ανάληψης ελέγχου του οχήματος. Τα περισσότερα φορτηγά οχήματα που έλαβαν μέρος στο European Truck Platooning Challenge το 2016 (European Truck Platooning, 2016), όπως το Autopilot της Tesla, άνηκαν στο επίπεδο αυτοματοποίησης 2, ενώ σύμφωνα με τη Volvo τα οφέλη απαντώνται στην ασφάλεια, στην άνεση και στη μείωση της φθοράς κατά την οδήγηση. Ωστόσο, δύο είναι τα κυριότερα μειονεκτήματα που συναντάει κανείς στο στάδιο αυτό: η κοινωνική αποδοχή και τα ζητήματα νομοθεσίας. Μολονότι, η τεχνολογία επιπέδου 2 είναι πλέον πραγματικότητα, η προσπάθεια τροποποίησης του θεσμικού πλαισίου για την ευρεία χρήση της βρίσκεται ακόμη υπό διαπραγμάτευση (Shiers & Barnett, 2016).

- *Level 3- Conditional Automation*

Υπό συγκεκριμένες κυκλοφοριακές συνθήκες ο άνθρωπος μπορεί να αποδεσμευτεί από τα καθήκοντα του χειριστή και το όχημα να αναλάβει εξ ολοκλήρου το οδηγικό έργο. Παρ' όλα αυτά, ο ίδιος οφείλει να βρίσκεται στη θέση του

συνοδηγού ώστε να καταφέρει να ανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος σε περίπτωση ανάγκης. Η Volvo υπολογίζει πως απαιτούνται περίπου 5 δευτερόλεπτα ώσπου ο άνθρωπος να καταφέρει να αναλάβει πλήρως τον έλεγχο του οχήματος σε κατάσταση κινδύνου, χρόνος μέσα στον οποίο το αυτοκίνητο θα έχει διανύσει την απόσταση των 110 μέτρων (Shiers & Barnett, 2016). Παρά τα ζητήματα ασφαλείας που προκύπτουν σε αυτό το στάδιο αυτοματοποίησης, χώρες όπως η Γερμανία ή διάφορες πολιτείες των ΗΠΑ έχουν ήδη εκδώσει άδειες για δοκιμή οχημάτων επιπέδου αυτοματισμού 3 σε συγκεκριμένες οδούς, όπως στην εταιρεία κατασκευής αυτοκινήτων Daimler για το μοντέλο της Highway Pilot (Shiers & Barnett, 2016). Ο Wokil θεωρεί πως η καθιέρωση των πλήρως εξοπλισμένων οχημάτων επιπέδου 3 δεν είναι εφικτή προς το παρόν, όμως αναμένει ότι επιμέρους οι τεχνολογίες θα αξιοποιηθούν σύντομα. Για παράδειγμα, ένα φορτηγό-όχημα θα μπορούσε να λειτουργεί σε στάδιο αυτοματοποίησης 3 σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης και να μεταλλάσσεται σε στάδιο αυτοματοποίησης 2 όταν η ροή της κυκλοφορίας βελτιώνεται.

- *Level 4- High Automation*

Η δυνατότητα της αυτοματοποίησης σε αυτό το επίπεδο είναι τέτοια, ώστε εάν ο οδηγός είναι παρόν, δεν χρειάζεται να παρακολουθεί τις κυκλοφοριακές συνθήκες και δε φέρει καμία ευθύνη για τους οδηγικούς ελιγμούς που εκτελεί το όχημα. Σε αυτή τη περίπτωση το αυτοκίνητο ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδρομή και λειτουργεί κάτω από ορισμένες παραμέτρους, μεταφέροντας επιβάτες που δεν έχουν γνώση οδήγησης, επιβάτες με περιορισμένη κινητικότητα ή εκτελώντας ένα δρομολόγιο χωρίς κανέναν απολύτως επιβαίνοντα. Από τη στιγμή που η κατηγορία αυτή οχημάτων μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τη παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα, παρουσιάζει εμφανώς παραγωγικά πλεονεκτήματα, ενώ σύμφωνα με τη Volvo και εάν οι μεταφορές διεξάγονται εκτός του δημοσίου οδικού δικτύου, δεν απαιτείται καμία νομική τροπολογία για την άδεια κυκλοφορίας τους. Παραδείγματα οχημάτων με επίπεδο αυτοματισμού 4 αποτελούν το POD του αεροδρομίου του Χίθροου ή το ελαφρύ μετρό του Ντόκλαντς (Shiers & Barnett, 2016).

- *Level 5- Full Automation*

Πρόκειται για την απόλυτη αυτοματοποίηση ενός οχήματος, το οποίο έχει τη δυνατότητα να κινείται σε δημόσιες οδούς χωρίς τη παρουσία επιβατών. Το όχημα αναλαμβάνει την εκτέλεση όλων των οδηγητικών λειτουργιών καθώς και την επίβλεψη των κυκλοφοριακών συνθηκών, ενώ δεν απαιτείται καν η εγκατάσταση τιμονιού σε αυτό. Σύμφωνα με τη Volvo, το στάδιο 5 δεν αποτελεί τον τελικό στόχο της αυτοματοποίησης των οχημάτων.

Με βάση τα στάδια αυτοματοποίησης εντοπίζεται ένα σημείο διαφοροποίησης μεταξύ των επιπέδων 2 και 3, στο οποίο η ευθύνη της λειτουργίας την οδήγησης

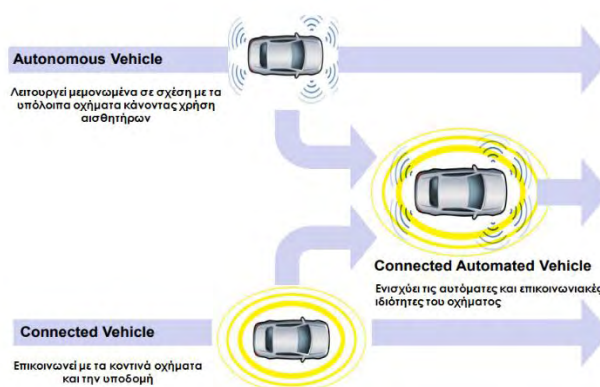
μετατοπίζεται από τον οδηγό στο όχημα (Σουρής, 2017). Συνεπώς, ο όρος «αυτόνομο όχημα» αποδίδεται συνήθως σε οχήματα επιπέδου 3 και άνω.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί η διαφορά της έννοιας του αυτόνομου οχήματος από την αντίστοιχη έννοια του αυτόματου οχήματος. Σε γενικές γραμμές η διαφοροποίηση έγκειται στο επίπεδο αυτοματοποίησης, καθώς ένα αυτοματοποιημένο όχημα δεν χαρακτηρίζεται από τον ανάλογο βαθμό νοημοσύνης ή ανεξαρτησίας που διέπει ένα αυτόνομο όχημα (Levinson, 2017). Ένα πλήρως αυτόνομο όχημα έχει την ικανότητα λήψης αποφάσεων σχετικά με τον προορισμό και την πλοήγηση, ενώ το αυτόματο αυτοκίνητο εκτελεί τις οδηγίες που εισάγονται από τον οδηγό και λειτουργεί κυρίως υποστηρικτικά. Ένα όχημα με αυτόνομη τεχνολογία μπορεί να είναι αυτοματοποιημένο. Βέβαια, εάν είναι απαραίτητη η ύπαρξη του οδηγού και η έκδοση υποδείξεων σχετικά με τη έργο της οδήγησης, το αυτοκίνητο δεν είναι πραγματικά αυτόνομο (Autotrader, 2018).

4. Συστήματα και απαιτήσεις λειτουργίας

Από πολλές απόψεις, μπορεί κανείς να πει ότι τα σημερινά οχήματα αποτελούν ήδη συνδεδεμένες συσκευές, ωστόσο στο εγγύς μέλλον κάθε μέσο μεταφοράς θα είναι σε θέση να αλληλεπιδρά με οποιαδήποτε οντότητα σχετίζεται με το οδηγητικό περιβάλλον. Η αλληλεπίδραση αυτή επιτυγχάνεται με τα συστήματα C-ITS (Cooperative Intelligent Transportation Systems), τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες που προωθούν την επικοινωνία ενός οχήματος με άλλα οχήματα της οδού καθώς και την επικοινωνία με την οδική υποδομή (European Commission, 2016). Τα Συνεργατικά Ευφυή Συστήματα Μεταφορών συνδυάζουν τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών εφαρμοσμένων στο πεδίο των μεταφορών και δύναται να έχουν ευρεία χρήση και εφαρμογή σε οχήματα, υποδομή ή συνεργατικά συστήματα στο δρόμο, στο σιδηροδρομικό δίκτυο, στις εναέριες και θαλάσσιες μεταφορές ή σε συνδυασμό μέσων (Μιζάρας, 2011). Χάρη στον αυξημένο όγκο των διαθέσιμων πληροφοριών, τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας, να ελαττώσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση μέσω της αποδοτικότερης διαχείρισης του στόλου που βασίζεται στην πληροφόρηση της κατάστασης και της θέσης των οχημάτων και, εν τέλει να διαμορφώσουν ένα αποτελεσματικότερο δίκτυο διεκπεραίωσης οδικών μεταφορών.

Ταυτόχρονα, τα νέα μοντέλα αυτοκινήτων εξοπλίζονται διαρκώς με νέους μηχανισμούς ψηφιακής τεχνολογίας, ο καθένα από τους οποίους αναλαμβάνει ποικίλα καθήκοντα κατά τη διεκπεραίωση της οδήγησης και μειώνει σταδιακά το βαθμό παρέμβασης του ανθρώπου στα χειριστήρια όργανα, με αποτέλεσμα να γίνονται ολοένα και περισσότερο αυτόνομα. Η συνεργασία, η συνδεσιμότητα και ο αυτοματισμός των εγκαταστημένων συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας στον κλάδο των μεταφορών, καθώς αποτελούν τεχνολογίες που ενισχύεται η μία από την άλλη και είναι απαραίτητες για την λειτουργία τόσο των διασυνδεδεμένων όσο και των αυτόνομων οχημάτων.



Εικόνα 4.1: Η συνεργασία, η συνδεσιμότητα και ο αυτοματισμός αποτελούν τεχνολογίες που ενισχύονται η μία από την άλλη. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Dopart, 2015)

4.1. V2V Επικοινωνίες

Η V2V (Vehicle-to-Vehicle) προσέγγιση σχετίζεται με την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των οχημάτων όσον αφορά τη θέση τους, τη ταχύτητα και την κατεύθυνση κίνησης, την επιτάχυνση, την επιβράδυνση και την απώλεια ελέγχου.

Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν τον βασικό πυλώνα των C-ITS συστημάτων, και κατά συνέπεια των V2V επικοινωνιών, και βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο ασύρματο πρότυπο μικρής εμβέλειας DSRC. Χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία DSRC δύο ή περισσότερα οχήματα μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να ανταλλάξουν μηνύματα ασφαλείας, τα οποία μεταδίδονται με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες, αφού το σύστημα αποστέλλει πληροφορίες στις μονάδες επί των οχημάτων έως και 10 φορές το δευτερόλεπτο (Kevan, 2017).



Εικόνα 4.2: Η επικοινωνία V2V επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των οχημάτων και παρέχει πληροφορίες στους οδηγούς σχετικά με την πιθανότητα σύγκρουσης. [Πηγή]: (Leonard, 2017)

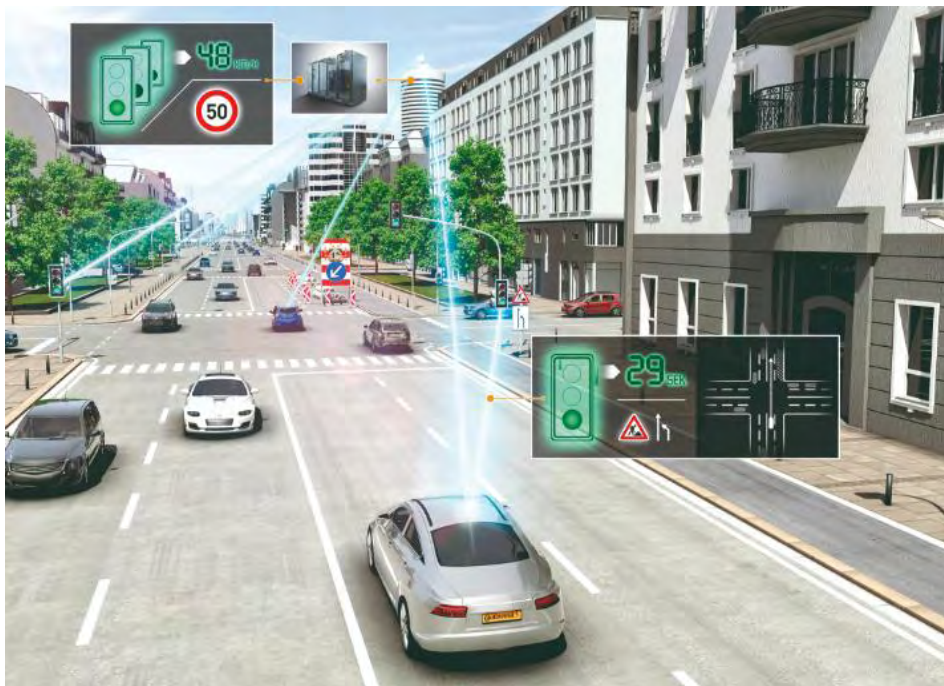
Τα δεδομένα που μεταφέρονται ερμηνεύονται και αξιοποιούνται από τον οδηγό ή τα συστήματα οδήγησης με σκοπό την αποφυγή μιας οποιασδήποτε σύγκρουσης, γι' αυτό και πρέπει να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο. Για να επιτευχθεί αυτό, τα συστήματα επικοινωνίας V2V αξιοποιούν, επιπλέον, την τεχνολογία του GPS για την παρακολούθηση της θέσης, της κυκλοφορίας, της συμπεριφοράς και της κατάστασης του οχήματος, ενώ προωθούνται ειδοποιήσεις αναφορικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα εμπόδια επί της οδού, την εναλλαγή των οχημάτων στις λωρίδες κυκλοφορίας και τον κίνδυνο διέλευσης σε σιδηροδρομικές διαβάσεις.

Περαιτέρω εφαρμογές σχετίζονται με την προειδοποίηση «τυφλού σημείου», την προειδοποίηση σύγκρουσης με το προπορευόμενο όχημα, τις ενέργειες αιφνίδιου φρεναρίσματος, την προσέγγιση οχημάτων άμεσης δράσης, την προειδοποίηση ανατροπής και τα δεδομένα για τη βελτίωση υπηρεσιών συντήρησης (Kevan, 2017). Κατά την εκτέλεση όλων αυτών καθηκόντων και για την παροχή

αξιόπιστων υπηρεσιών, το σύστημα οφείλει να παρέχει αυξημένες απαιτήσεις συνδεσιμότητας και να είναι σε θέση να ανταπεξέρχεται στις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και στην μεγάλη επισκευσιμότητα των μηνυμάτων (Kevan, 2017). Η καινοτομία V2V αναμένεται να παίξει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική λειτουργία των οδικών μεταφορών και στην μείωση των περίπλοκων αυτοκινητικών ατυχημάτων. Η βιομηχανία χρειάζεται να ξεπεράσει σημαντικά εμπόδια για την καθιέρωσή της και την εξασφάλιση της επαρκούς ασφάλειας στο οδικό δίκτυο.

4.2. V2I Επικοινωνίες

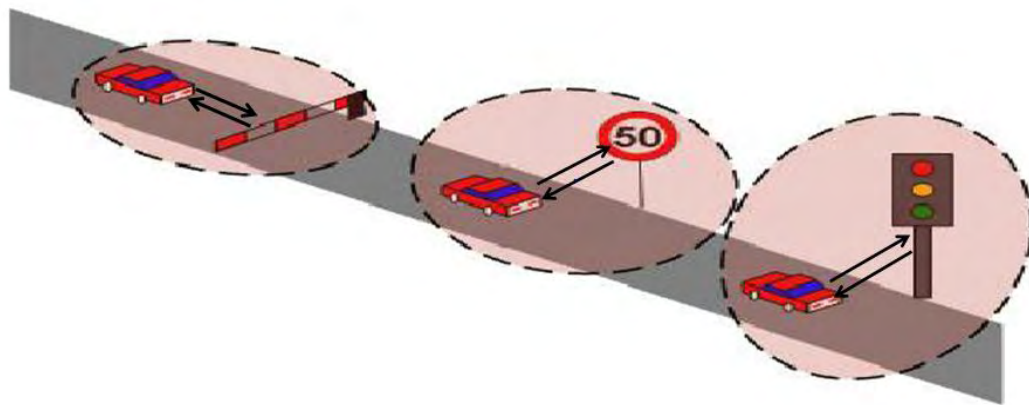
Η επικοινωνία V2I (Vehicle-to-Infrastructure) επιτρέπει την επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ του οχήματος και των συστημάτων της οδικής υποδομής, δηλαδή κάμερες παρακολούθησης κυκλοφορίας, φωτεινούς σηματοδότες, σήμανση των λωρίδων κυκλοφορίας, μετεωρολογικούς σταθμούς, κέντρα διαχείρισης κυκλοφορίας κλπ.



Εικόνα 4.3: Η επικοινωνία V2I επιτρέπει την επικοινωνία οχήματος-υποδομής. [Πηγή]: (Fitzgerald, 2016)

Η επικοινωνία V2I είναι ασύρματη και αμφίδρομη (3M, 2018). Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία της υποδομής μπορούν να παρέχουν πληροφορίες ασύρματα σε ένα όχημα και αντίστροφα. Ο όγκος των δεδομένων που μοιράζεται και ταυτόχρονα αποστέλλεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή σημαντικών πληροφοριών σχετικά με τη βελτίωση της ασφάλειας των οδικών μεταφορών, της άνεσης και της ευκολίας του χειρισμού του οχήματος καθώς και της προστασίας του περιβάλλοντος. Η αποτελεσματική λειτουργία της τεχνολογίας V2I και των αυτόνομων ή διασυνδεδεμένων οχημάτων οφείλει σε κάθε περίπτωση να

υποστηρίζεται από την περιβάλλουσα υποδομή, μιας και αυτή θα πρέπει να εξοπλίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να μεταφέρει και να ανταλλάσει μηνύματα σχετικά με τη πιθανότητα σύγκρουσης, την κυκλοφοριακή συμμόρφωση, τις συνιστώμενες ταχύτητες, τα επικίνδυνα σημεία της οδού και τις καιρικές συνθήκες. Η υποδομή του οδηγικού περιβάλλοντος χρειάζεται να εξυπηρετεί τόσο τον άνθρωπο-οδηγό όσο και τα υπολογιστικά συστήματα, γι' αυτό και τα μηνύματα αναλογικού περιεχομένου θα πρέπει να μετασχηματιστούν σε ψηφιακά και να σχεδιαστούν έτσι ώστε το όχημα να είναι σε θέση να ερμηνεύει τον περίγυρό του και να ανταποκρίνεται άμεσα στη λήψη κρίσιμων οδηγητικών αποφάσεων.



Εικόνα 4.4: Η επικοινωνία V2I είναι ασύρματη και αμφίδρομη. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Reina, et al., 2013)

Ενδεικτικά, μερικές από τις «έξυπνες» τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της παραπάνω επικοινωνίας είναι οι προχωρημένες οδικές σημάνσεις, οι οποίες λειτουργούν με αισθητήρες για την ανίχνευση των διαχωριστικών γραμμών ακόμα και σε ακραία καιρικά φαινόμενα ή συνθήκες χαμηλού φωτισμού και τα «έξυπνα» σήματα, τα οποία είναι συμβατά με την παραδοσιακή σήμανση και μπορούν να ερμηνεύονται από ανθρώπους και μηχανές (3M, 2018). Τέλος, η ασύρματη επικοινωνία επιτυγχάνεται επίσης μέσω της τεχνολογίας DSRC, του συστήματος Bluetooth και του Mobile Network.

4.3. V2P Επικοινωνίες

Η V2P (Vehicle-to-Pedestrian) προσέγγιση περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα χρηστών της οδού όπως πεζούς, παιδιά, ποδηλάτες, ΑΜΕΑ που μετακινούνται με αναπηρικά αμαξίδια ή άλλου είδους όχημα υποβοήθησης κίνησης και τους επιβάτες που εισέρχονται ή εξέρχονται σε και από οχήματα και προωθεί την

ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ αυτών και των οχημάτων με σκοπό την ασφαλή διακίνησή τους επί της οδού (U.S Department of Transportation, 2018).

Η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ πεζού και οχήματος επιτυγχάνεται με την χρήση των έξυπνων συσκευών και τηλεφώνων (smartphones), και ταυτόχρονα η αντίληψη σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας ενισχύεται με τη χρήση και των υπόλοιπων συστημάτων όπως τις κάμερες, το GPS και τα radar. Ένα όχημα εξοπλισμένο με τη τεχνολογία DSRC βρίσκεται σε θέση ικανή να ανιχνεύσει έναν πεζό που χρησιμοποιεί smartphone ενσωματωμένο με την ίδια τεχνολογία, και να παράξει ηχητικές και οπτικές προειδοποιήσεις τόσο στους πεζούς όσο και στους οδηγούς. Η επικοινωνία είναι εφικτή ακόμα και όταν ο πεζός δεν είναι εύκολα ορατός από τον οδηγό, όπως για παράδειγμα όταν ο πεζός εισέρχεται στο οδόστρωμα κυκλοφορίας πίσω από ένα παρκαρισμένο όχημα ή άλλο εμπόδιο (Honda, 2018). Μέσω των εφαρμογών των smartphones μπορεί να καθοριστεί η θέση, ο προσανατολισμός και η ταχύτητα του πεζού και, κάνοντας χρήση του συστήματος DSRC, η θέση των γύρω οχημάτων, ενώ σε περίπτωση επικείμενης σύγκρουσης ο μηχανισμός ειδοποιεί τον πεζό εκπέμποντας συνεχώς επαναλαμβανόμενους ήχους μεγάλης έντασης και προειδοποιητικά μηνύματα στην οθόνη (Honda, 2018). Ομοίως, το σύστημα ειδοποιεί τον οδηγό με ηχητικές και οπτικές ενδείξεις στην οθόνη πλοήγησης σχετικά με τα ζητήματα ασφαλείας και άλλες χρήσιμες πληροφορίες , όπως λόγου χάρη εάν ο πεζός κινείται και ταυτόχρονα ακούει μουσική, στέλνει μηνύματα ή μιλάει στο τηλέφωνο.



Εικόνα 4.5: Η ασύρματη επικοινωνία οχήματος-πεζού επιτυγχάνεται με τη χρήση έξυπνων συσκευών και ενισχύεται από τα συστήματα επί του οχήματος. [Πηγή]: (Turpen, 2015)

4.4. V2X Επικοινωνίες

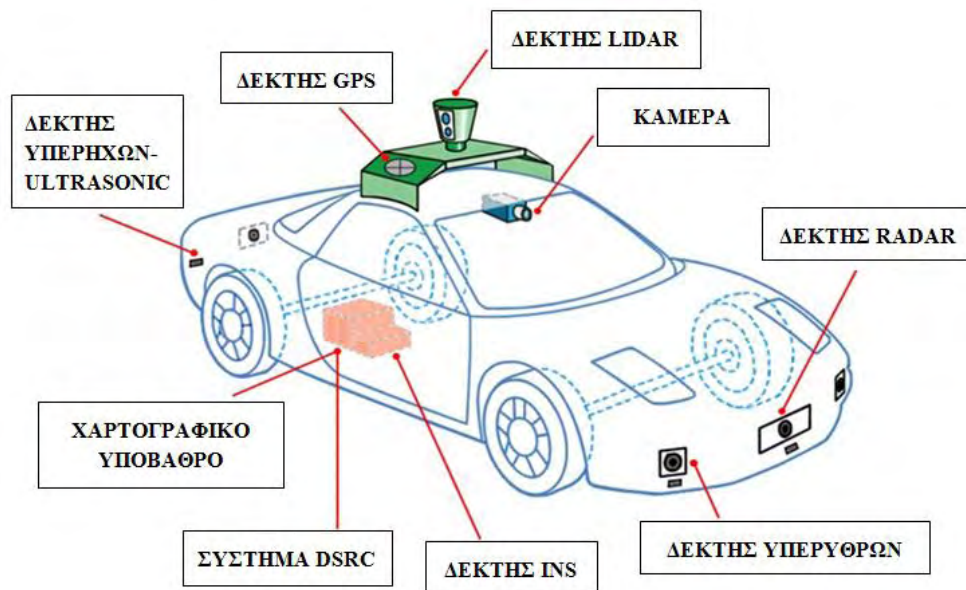
Η επικοινωνία V2X (Vehicle-to-Everything) σχετίζεται με ένα «έξυπνο» σύστημα μεταφοράς, στο οποίο υποστηρίζεται η μετάδοση πληροφοριών από ένα όχημα προς οποιαδήποτε οντότητα που σχετίζεται με αυτό και μπορεί να το επηρεάσει και αντίστροφα (Siemens AG, 2015). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει και τους υπόλοιπους τρόπους επικοινωνίας όπως την τεχνολογία V2V (Vehicle-to-Vehicle), την V2I (Vehicle-to-Infrastructure) ή την V2P (Vehicle-to-Pedestrian). Η συνδεσιμότητα μεταξύ του οχήματος και όλων των απαραίτητων τεχνολογιών ενισχύει την ασφάλεια, την άνεση και την εξοικονόμηση της ενέργειας στο πλαίσιο των οδικών μεταφορών.



Εικόνα 4.6: Η επικοινωνία V2X αφορά ένα «έξυπνο» σύστημα μεταφοράς στο οποίο ένα όχημα αλληλεπιδρά με οποιαδήποτε οδική οντότητα [Πηγή]: (Laird, 2015)

4.5. Τεχνολογίες αυτόνομων οχημάτων

Η ιδέα του αυτόνομου οχήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας και χωρίς την εφεύρεση των διάφορων τεχνολογικών εφαρμογών και συσκευών αυτό θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστεί. Τα τελευταία 30 χρόνια μια σειρά τεχνολογικών καινοτομιών έχει προσδώσει στα οχήματα την ικανότητα λήψης αποφάσεων όσον αφορά το οδηγικό έργο, με αποτέλεσμα η ανάμειξη του ανθρώπου στα όργανα χειρισμού να μειώνεται ολοένα και περισσότερο (Arseneau, et al., 2015). Οι σύγχρονες αυτοκινητοβιομηχανίες καθώς και οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών συνεργάζονται μεταξύ τους και πραγματοποιούν συνεχείς έρευνες με σκοπό τον εξοπλισμό των αυτόνομων οχημάτων με τα πιο πρωτοποριακά ψηφιακά συστήματα. Τεχνολογίες όπως το GPS, το LIDAR, το RADAR, οι κάμερες και οι υπολογιστές με δυνατότητες εκμάθησης και ελέγχου έχουν φέρει το όραμα της αυτόνομης οδήγησης πιο κοντά στη πραγματικότητα.



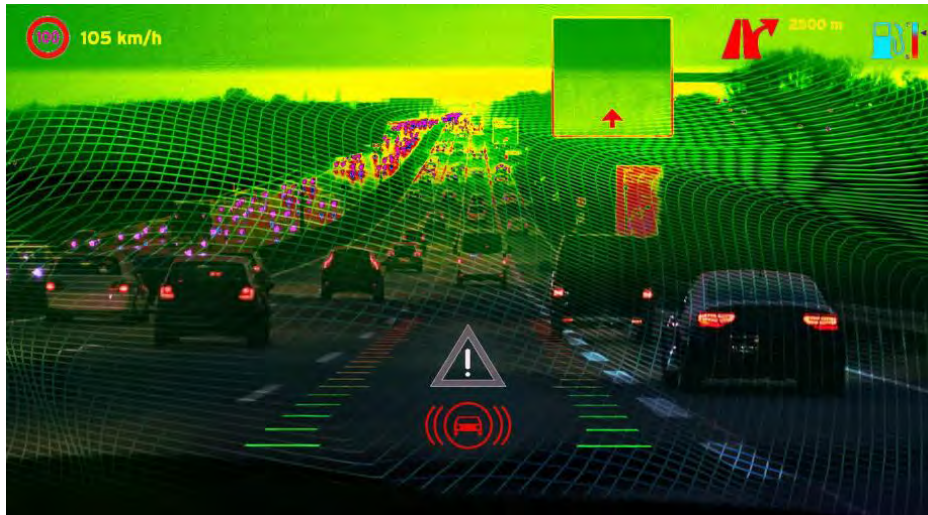
Εικόνα 4.7: Τεχνολογίες οχήματος Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2017)

- **Δέκτης GPS**

Ο δέκτης GPS (Global Positioning System ή Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης) είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού της γεωγραφικής θέσης ενός ακίνητου ή κινούμενου χρήστη. Συγκεκριμένα στην περίπτωση ενός οχήματος, σχετίζεται με τον προσδιορισμό της θέσης του και χρησιμοποιείται για τη σύγκριση δεδομένων της περιοχής που βρίσκεται το συγκεκριμένο όχημα με τα αντίστοιχα δεδομένα των άλλων οχημάτων (Bhagat, 2016). Ταυτόχρονα, παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα του οχήματος, καθώς το όχημα ανιχνεύει το στίγμα του στο χάρτη και μπορεί να προβλέψει το είδος του δρόμου που θα συναντήσει στη πορεία του, αυξομειώνοντας με αυτό τον τρόπο την ταχύτητα κίνησης.

- **Δέκτης LIDAR**

Το σύστημα LIDAR (Laser Illuminated Detection And Ranging) αφορά τον προσδιορισμό της θέσης των εμποδίων σε ένα εύρος 360 μοιρών. Η τεχνολογία αυτή προωθεί την εκπομπή πολλαπλών δεσμών ακτινών laser προς όλες τις κατευθύνσεις και εν συνεχεία, με την αντανάκλασή τους, την επιστροφή σε αισθητήρες οι οποίοι υπολογίζουν τις αποστάσεις, το μέγεθος, το υλικό και την πυκνότητα των αντικειμένων στο χώρο, επιτρέποντας έτσι στο όχημα να δημιουργεί ένα 3D χάρτη του περιβάλλοντός του (Bhagat, 2016). Ο δέκτης LIDAR τοποθετείται στην οροφή του οχήματος ώστε να διευρύνεται κατά το δυνατό το πεδίο ορατότητας, μιας και τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να σκανάρουν τον περίγυρο τους εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο, μέχρι και 200 μέτρα απόσταση από τον αισθητήρα.



Εικόνα 4.8: Το σύστημα LIDAR δημιουργεί ένα 3D χάρτη του περιβάλλοντος του οχήματος.
[Πηγή]: (Yvkoff, 2016)

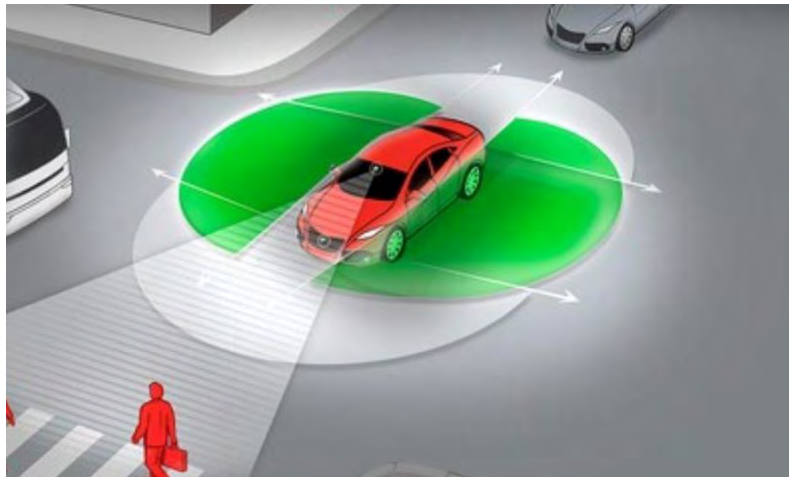
- **Δέκτης RADAR**

Ο δέκτης RADAR (RADio Detection And Ranging) σχετίζεται με τον προσδιορισμό της απόστασης μεταξύ οχήματος και εμποδίων και λειτουργεί παρόμοια με τον δέκτη LIDAR, με τη διαφορά ότι έχει εμφανώς μεγαλύτερη εμβέλεια και εκπέμπει ραδιοκύματα για να εντοπίσει τη θέση, την ταχύτητα και την απόσταση των αντικειμένων (Bhagat, 2016). Τα ραντάρ αποτελούνται από έναν πομπό, έναν δέκτη, μία ή δυο κεραίες και πολλά κυκλώματα επεξεργασίας σήματος (Αλέξη, 2014). Η κεραία ακτινοβολεί ένα σήμα, το οποίο είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα ικανό να διαδίδεται στο χώρο και παράγεται από τον πομπό. Εν συνεχεία, ο δέκτης ανιχνεύει την ηχώ με τη χρήση μιας κεραίας μετάδοσης ή μιας κεραίας αποκλειστικά για τη λήψη και κατά συνέπεια ο επεξεργαστής εντοπίζει τα σήματα μέσω της ανάκλασης, τα διαχωρίζει από τις εξωτερικές παρεμβολές και υπολογίζει τις μετρήσεις σχετικά με την θέση και την ταχύτητα του αντικειμένου στο χώρο (Αλέξη, 2014). Οι μετρήσεις αυτές αναμεταδίδονται σε κάποια οθόνη ή σε κάποιο κέντρο εντολών. Η τεχνολογία RADAR χρησιμοποιείται απαραίτητα σε οχήματα που φέρουν σύστημα adaptive cruise control, το οποίο διατηρεί αυτόματα μια προκαθορισμένη απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση.

- **Κάμερες**

Ένα αυτόνομο όχημα μπορεί να έχει μία ή και περισσότερες κάμερες για τη δημιουργία 3D εικόνας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την αποτύπωση των εικόνων και των βίντεο γίνεται επεξεργασία μέσω αλγορίθμων και κατά αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται τυχαία εμπόδια στο οδικό δίκτυο. Η μπροστινή κάμερα καταγράφει κατά κύριο λόγο τις πινακίδες, τα φανάρια κυκλοφορίας και ανιχνεύει τα εμπόδια, και κυρίως τους ανθρώπους. Οι

πιο εξελιγμένες κάμερες, οι οποίες κάνουν χρήση δύο αισθητήρων, μπορούν να δουν σε απόσταση όπως και ο άνθρωπος, επιτρέποντας έτσι στο σύστημα να υπολογίζει αποστάσεις από το αντικείμενο καθώς και τις διαστάσεις τους.



Εικόνα 4.9: Μέσω της αποτύπωσης εικόνων εντοπίζονται τυχαία εμπόδια στο οδικό δίκτυο.

[Πηγή]: (Layson, 2017)

- **Δέκτης υπερύθρων- Infrared**

Ο μηχανισμός των υπερύθρων χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης των εμποδίων και τον εντοπισμό της οριζόντιας σήμανσης όταν επικρατούν συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Οι υπέρυθρες είναι μια συσκευή που σχηματίζει μια εικόνα με τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας, προσομοιώνοντας τον τρόπο που μια κοινή μηχανή λήψης σχηματίζει εικόνες χρησιμοποιώντας το ορατό φως (Βακούφτση, 2009). Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό ακτινοβολίας μελανών σωμάτων σαν μία λειτουργία της θερμοκρασίας τους (Βακούφτση, 2009). Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία ενός σώματος, τόσο περισσότερη είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία ως ακτινοβολία μελανού σώματος που εκπέμπει, ενώ ο μηχανισμός λειτουργεί ακόμα και στο απόλυτο σκοτάδι, αφού τα επίπεδα φωτισμού του περιβάλλοντος δεν επηρεάζουν τη μηχανή λήψης (Βακούφτση, 2009).

- **Δέκτης Υπερήχων- Ultrasonic**

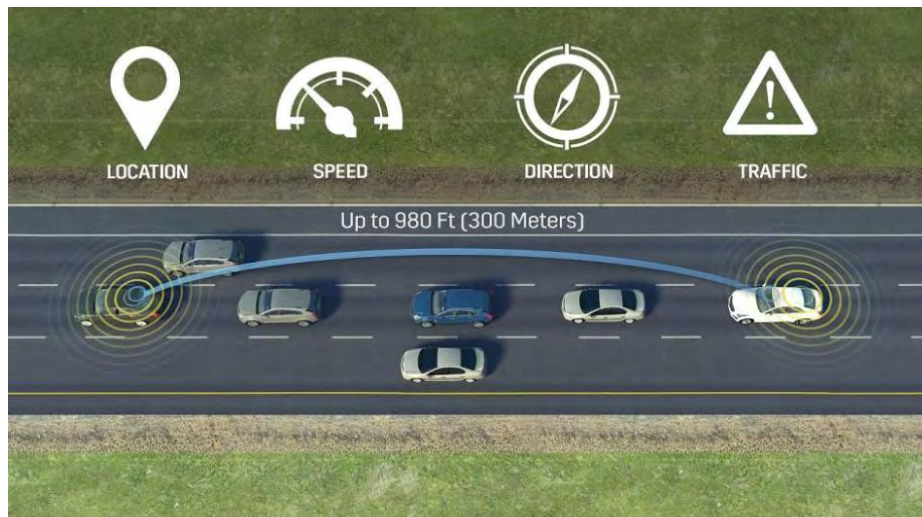
Ο δέκτης υπερήχων αφορά τους ελιγμούς της όπισθεν και της στάθμευσης και παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το σύστημα υποβοήθησης παρκαρίσματος το οποίο διαθέτουν τα περισσότερα οχήματα σήμερα με τη διαφορά ότι εμφανίζουν μεγαλύτερη εμβέλεια αλλά και ακρίβεια. Έχουν μικρό μέγεθος γι' αυτό και δύναται να εγκατασταθούν πολλοί αισθητήρες στο όχημα, ενώ μπορούν να ανιχνεύσουν αποτελεσματικά την απόσταση από τα διάφορα κοντινά αντικείμενα της οδού. Πολλά μοντέλα αυτόνομων οχημάτων, όπως αυτό της Tesla, αγνοούν πλήρως τον μηχανισμό LIDAR και στηρίζονται αποκλειστικά στην κάλυψη από κάμερες υψηλής ποιότητας και ultrasonic αισθητήρες.

- **Δέκτης INS**

Το σύστημα INS (Inertial Navigation System- Σύστημα Αδρανειακής Πλοήγησης) σχετίζεται επίσης με τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος. Πρόκειται για ένα βοήθημα πλοήγησης που κάνει χρήση ενός υπολογιστή, αισθητήρων κίνησης, γυροσκοπίων και ενίοτε μαγνητόμετρων με σκοπό τον υπολογισμό της θέσης, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα ενός κινούμενου αντικειμένου (Arseneau, et al., 2015). Ο δέκτης INS σε συνδυασμό με την παρουσία του δείκτη GPS συμβάλλει στην βελτίωση της ακρίβειας της ανίχνευσης της θέσης του οχήματος σε έναν γεωγραφικό χάρτη.

- **Σύστημα DSRC**

Το σύστημα DSRC (Dedicated Short Range Communication) αφορά τη λήψη και αποστολή δεδομένων σε επίπεδο V2X επικοινωνίας. Πρόκειται για μια τεχνολογία δικτύωσης γνωστή ως αποκλειστική επικοινωνία μικρής εμβέλειας, η οποία παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την τεχνολογία Wi-Fi και υποστηρίζει τη δημόσια ασφάλεια και τις ιδιωτικές ενέργειες (Future Mobility, 2017). Είναι ένα συμπλήρωμα των κυψελωτών επικοινωνιών που εφοδιάζει έναν όγκο δεδομένων, ο οποίος μεταφέρεται με λεπτομέρειες που συντομεύουν την επικοινωνιακή σύνδεση. Στην ουσία, ο μηχανισμός αυτός μεταδίδει καθ' όλη τη διάρκεια του δρομολογίου τη θέση, τον προσανατολισμό και την ταχύτητα του οχήματος, καθώς και άλλες σημαντικές πληροφορίες στα οχήματα που συνυπάρχουν στο οδικό δίκτυο, ενώ έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας και με την ίδια την υποδομή (Future Mobility, 2017). Τα αυτόνομα οχήματα είναι πάντα συνδεδεμένα με κάποιο κέντρο δεδομένων λαμβάνοντας ή αποστέλλοντας έτσι πληροφορίες για την κίνηση και πραγματοποιώντας αναβαθμίσεις λογισμικού.



Εικόνα 4.10: Μέσω του DSRC μεταδίδονται δεδομένα σχετικά με την τοποθεσία, την ταχύτητα, τη πορεία και τον όγκο κυκλοφορίας των οχημάτων. [Πηγή]: (Lavina & Bonelli, 2017)

- **Χαρτογραφικό υπόβαθρο**

Αναλυτικό χαρτογραφικό υλικό εισάγεται στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του αυτόνομου οχήματος με σκοπό τη βελτιστοποίηση προσδιορισμού της θέσης. Το

αυτόνομο όχημα της Google χρησιμοποιεί χάρτες ακριβείας συγκρίσιμους με αυτούς που παρέχονται στο Street View του Google Maps. Το χαρτογραφικό υπόβαθρο είναι σχεδιασμένο με ακρίβεια ώστε να είναι διακριτές οι λεπτομέρειες, όπως για παράδειγμα το πλάτος της λωρίδας του δρόμου.

5. Σενάρια υιοθέτησης στην αγορά

Η τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων θα αποτελέσει σύντομα μια πραγματικότητα, η οποία αναμφισβήτητα θα επιφέρει επαναστατικές αλλαγές στον τομέα των οδικών μεταφορών. Η καινοτομία αυτή ερευνάται καθημερινά από την πλειοψηφία των μεγάλων αυτοκινητοβιομηχανιών, καθώς και από τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών, με αποτέλεσμα την κατασκευή των πρώτων μοντέλων-πρότυπων και τη δοκιμή τους σε συγκεκριμένα τμήματα του διεθνούς οδικού δικτύου. Είναι φανερό ότι τα αυτόνομα οχήματα δεν αποτελούν, πλέον, σενάριο επιστημονικής φαντασίας και η διείσδυσή τους στην αγορά αναμένεται να είναι άμεση.

Βέβαια, με την άφιξη μιας τόσο ρηζικέλευθης τεχνολογίας προκύπτουν νέες προκλήσεις και ζητήματα και εύλογα τίθεται το ερώτημα σχετικά με την αποδοχή τους από το ευρύ κοινωνικό σύνολο. Το θέμα αυτό έχει απασχολήσει εδώ και αρκετά χρόνια τους ερευνητές σε διεθνές επίπεδο με αποτέλεσμα την διεξαγωγή ερευνών με θέμα τη μελέτη αποδοχής της αυτοματοποιημένης και διασυνδεδεμένης τεχνολογίας από το δυναμικό αγοραστικό κοινό. Σίγουρα, οποιαδήποτε ανατρεπτική αλλαγή, επιφέρει ποικιλία απόψεων και διχάζει την κοινωνία. Έτσι και σε αυτή τη περίπτωση, οι «αντίμαχοι» της αυτόνομης τεχνολογίας θέτουν ζητήματα ασφάλειας, νομικής ισχύος, κόστους, προσωπικής ελευθερίας και τεχνολογικής εξάρτησης.

Οποσδήποτε, ο τρόπος με τον οποίο το κοινό αντιλαμβάνεται την ιδέα των αυτόνομων οχημάτων θα επηρεάσει άμεσα τον τρόπο με τον οποίο αυτά θα εισαχθούν στην αγορά, το πόσο γρήγορα θα τεθούν στην κυκλοφορία, τις τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και εκείνες που τελικά θα απορριφθούν στον εξοπλισμό τους.

5.1. Η κοινή γνώμη και έρευνες αποδοχής

Παρόλο που τα αυτόνομα οχήματα είναι πλέον τεχνολογικά εφικτά και έτοιμα να χρησιμοποιηθούν στο άμεσο μέλλον, η αντίληψη και η γνώμη του καταναλωτικού κοινού είναι αυτή που θα καθορίσει το χρόνο διάθεσής τους στην αγορά. Μεγάλη μερίδα του αγοραστικού κοινού εμφανίζεται δύσπιστη αναφορικά με τα ζητήματα ασφαλείας και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας ενός οχήματος χωρίς οδηγό, γεγονός που αποτελεί τροχοπέδη στην ευρεία καθιέρωση της τεχνολογίας.

Πολλοί άνθρωποι θεωρούν ότι η αδυναμία επέμβασης στον έλεγχο του οχήματος είναι περιοριστική, ενώ παράλληλα ελλοχεύει ο κίνδυνος δυσλειτουργίας των υπολογιστικών συστημάτων. Ορισμένοι σκεπτικιστές, επίσης, εκφράζουν την ανησυχία τους σχετικά με το γεγονός ότι ένα πλήρως αυτόνομο όχημα οδηγεί στον περιορισμό της ελευθερίας, σε αργή πλύση εγκεφάλου, στην τεχνολογική εξάρτηση και στην καταπάτηση της ανάγκης του ατόμου να εξερευνεί (Casley, et al., 2013). Ταυτόχρονα, πιστεύουν ότι η αυτόνομη φύση του οχήματος απειλεί την ασφάλεια και την προσωπική τους ζωή, καθώς είναι πιθανό οι κινήσεις τους και οι

διαδρομές τους να παρακολουθούνται από την κυβέρνηση, από κατασκόπους ή από επίδοξους κακοποιούς.

Ωστόσο, οι υπάρχουσες έρευνες σχετικά με την αποδοχή της αυτόνομης τεχνολογίας από το αγοραστικό κοινό, οι οποίες λειτουργούν σε επίπεδο υποθετικό (Σουρής, 2017), δείχνουν ότι οι απόψεις δίστανται στο σύνολο του πληθυσμού. Το 2012 η εταιρεία J.D Power and Associates διεξήγαγε μια έρευνα, στην οποία γίνεται σύγκριση των συμπεριφορών και των απόψεων σχετικά με την αυτόνομη φύση. Οι υποστηρικτές της τεχνολογίας διακρίνουν πλεονεκτήματα ασφαλείας σε ένα όχημα χωρίς οδηγό και θεωρούν ότι αυτό, με τη καθοδήγηση εξελιγμένων υπολογιστικών συστημάτων, μπορεί να εκπληρώσει αποτελεσματικότερα τα οδηγικά καθήκοντα σε σύγκριση με έναν ανθρώπινο χειριστή. Ταυτόχρονα, θεωρούν πλεονέκτημα το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια του ταξιδιού οι ίδιοι μπορούν να εκμεταλλευτούν παραγωγικά το χρόνο τους και να αναπτύξουν άλλες δραστηριότητες όπως την ανάγνωση ενός βιβλίου, την ενασχόληση με επαγγελματικά ζητήματα ή την περιήγηση στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (J.D. Power and Associates, 2012).

Η συγκεκριμένη έρευνα εξέτασε τον Μάρτιο του 2012 ένα δείγμα 17400 ιδιοκτιτών αυτοκινήτων, με τους ερευνητές να θέτουν ως εκτιμώμενη τιμή αγοράς για την ένταξη αυτοματοποιημένων χαρακτηριστικών οδήγησης σε ένα όχημα τα 3000 δολάρια (J.D. Power and Associates, 2012). Το 20% των ερωτηθέντων δηλώνει ότι «σίγουρα» ή «πιθανώς» θα προχωρούσε στην αγορά ενός οχήματος με τέτοια χαρακτηριστικά, ενώ το 41% θα εξόπλιζε το ιδιωτικό του όχημα με αυτόνομα ή ημιαυτόνομα χαρακτηριστικά, όπως σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης, σύστημα περιορισμού ταχύτητας ή προειδοποιητικό μηχανισμό κυκλοφοριακής συμφόρησης (J.D. Power and Associates, 2012).

Πίνακας 5.1: Ποσοστό του δείγματος που θα αγόραζε αυτόνομο όχημα. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (J.D. Power and Associates, 2012)

Φύλο	Ποσοστό του δείγματος που σίγουρα/ πιθανώς θα αγόραζε ένα αυτόνομο όχημα
Άντρες	25%
Γυναίκες	14%
Ηλικία	
18-25	37%
26-37	29%
38-56	14%
57-65	9%

Οι αναλυτές της J.D Power and Associates συμπεραίνουν ότι η δημόσια ανησυχία στρέφεται κυρίως προς τα νομικά ζητήματα που αφορούν την αυτόνομη

καινοτομία και τις τεχνολογικές αστοχίες, όπως τον ανεπαρκή προγραμματισμό ή την αδυναμία λήψης ορθολογικών αποφάσεων κατά την οδήγηση. Περαιτέρω, υποστήριξαν την εναλλαγή από τον αυτόνομο στον χειροκίνητο έλεγχο σε περιπτώσεις ανάγκης, ενώ θετικές ήταν οι απόψεις σχετικά με την οικονομία του διαμοιρασμού (carpooling και vehicle sharing).

Παρά το γεγονός ότι η έρευνα προβάλλει την θετική, σε γενικές γραμμές, γνώμη του μέσου καταναλωτή σχετικά με την χρήση των αυτοοδηγούμενων οχημάτων, η ουσιαστική αποδοχή τους συνεχίζει να αποτελεί τον κυριότερο περιοριστικό παράγοντα για την διείσδυσή τους στην αγορά. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers), «το μεγαλύτερο εμπόδιο για την ολοκληρωμένη υιοθέτηση των οχημάτων χωρίς οδηγό ίσως να μην αφορά το κομμάτι της τεχνολογίας, αλλά την ευρεία δημόσια αποδοχή. Ενώ ο μέσος οδηγός αναγνωρίζει τα βασικά οφέλη των αυτόνομων οχημάτων, δηλαδή την αποδοτικότητα στα καύσιμα, την ασφάλεια, καθώς και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, ενδεχομένως αυτό να μην είναι αρκετό για να τους πείσουμε να αφήσουν το τιμόνι» (Newcomb, 2012).

Σύμφωνα με την έρευνα της AAA (American Automobile Association) που πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του 2016, τρεις στους τέσσερις Αμερικανούς οδηγούς θα αισθάνονταν «φόβο» εάν ήταν επιβάτες σε ένα όχημα χωρίς οδηγό (Hsu, 2016). Συνολικά, τόσο οι νέοι όσο και οι μεγαλύτεροι ηλικιακά καταναλωτές εμφανίζονται διστακτικοί απέναντι στην αυτόνομη τεχνολογία, όμως οι περισσότεροι από αυτούς χαιρετίζουν μερικά από τα οφέλη της. Ταυτόχρονα, οι αναλυτές της AAA θεωρούν ότι ο φόβος για την άγνωστη αυτή καινοτομία ενδεχομένως να μην αποτελέσει μείζον ζήτημα από τη στιγμή που ένας οδηγός θα επιβιβαστεί σε ένα αυτοοδηγούμενο όχημα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται με ένα πείραμα που έγινε στη Γερμανία εκ μέρους της Volkswagen, κατά το οποίο οι εθελοντές ουσιαστικά «εξαπατήθηκαν», καθώς είχαν την πεποίθηση ότι κινούνταν με ένα αυτόνομο όχημα όμως στην πραγματικότητα στο τιμόνι υπήρχε ένας κρυμμένος οδηγός (Hsu, 2016). Η συγκεκριμένη μελέτη έδωσε τη δυνατότητα να εξεταστούν τα επίπεδα άνεσης και η εμπιστοσύνη του χρήστη στα αυτόνομα οχήματα. Πέντε με δέκα λεπτά μετά την έναρξη της διαδρομής οι εθελοντές-επιβάτες έμοιαζαν πολύ περισσότερο άνετοι με το αυτόνομο όχημα, παρά τις αμφιβολίες που διατηρούσαν εκ των προτέρων.

Πέρα από τα αξιολογικά ζητήματα ασφαλείας, η πεποίθηση ότι τα αυτόνομα οχήματα στερούν την ελευθερία του ατόμου εξακολουθεί να υπάρχει. Σύμφωνα με τον τεχνικό εμπειρογνώμονα της Ford Research, Jim McBride, αυτοί οι άνθρωποι θέλουν «να έχουν αυτήν την ελευθερία όποτε το θέλουν, αλλά όταν οι οδηγοί ξοδεύουν αρκετές ώρες της ημέρας τους σε μοπιλιάρια, κουράζονται» (Casley, et al., 2013). Η Ford θεωρεί ότι αυτή η κατηγορία ανθρώπων θέλει να έχει την δυνατότητα να οδηγεί, όταν οι κυκλοφοριακές συνθήκες είναι ευνοϊκές, και το όχημα να αναλαμβάνει τη λειτουργία όταν εμπλέκονται σε κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για τον λόγο αυτό, η εταιρεία εργάζεται και εξοπλίζει με όλο και

περισσότερα αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά τα νέα της μοντέλα, δίνοντας την επιλογή στους πελάτες της να τα ενεργοποιούν και να τα απενεργοποιούν όποτε εκείνοι το επιθυμούν. Ενδεχομένως, η ικανότητα ελέγχου της αυτονομίας του οχήματος να πείσει ακόμη και τους πιο διστακτικούς υποστηρικτές της αυτόνομης τεχνολογίας και η κοινωνία να εξοικειωθεί και να αποδεχτεί γρηγορότερα τη νέα αυτή γενιά οχημάτων (Casley, et al., 2013).

Σε γενικές γραμμές υπάρχει μια εδραιωμένη δυσπιστία αναφορικά με την αυτόνομη τεχνολογία. Οι καταναλωτές ανησυχούν κατά πλειοψηφία αναφορικά με τα επίπεδα ασφαλείας, τα νομικά ζητήματα, το κόστος του εξοπλισμού, την αποδοτικότητα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Βέβαια, σύμφωνα με τις υφιστάμενες μελέτες τα επίπεδα απήχησης ποικίλουν ανάλογα με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά, δηλαδή το φύλο, την ηλικία, την εκπαίδευση και τα εισοδηματικά κριτήρια. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές έρευνες σχετικά με την αποδοχή των αυτόνομων οχημάτων από το καταναλωτικό κοινό σε Ευρώπη, Αμερική και Ελλάδα.

5.1.1. Έρευνα αποδοχής του Worcester Polytechnic Institute

Στην έρευνα αποδοχής του Worcester Polytechnic Institute (WPI) εμφανίζονται τρεις σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το κατά πόσο η αγορά ενός αυτόνομου οχήματος στο μέλλον θα είναι ελκυστική ή όχι για τους καταναλωτές. Αυτοί είναι (Casley, et al., 2013):

- Το συνολικό κόστος του συστήματος
- Το επίπεδο ασφαλείας
- Η έκταση της σχετικής νομοθεσίας για την προστασία των χρηστών και των πολιτών

Επιπλέον, ζητήματα όπως η παραγωγικότητα του χρήστη, η κατανάλωση καυσίμων και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, θεωρούνται ότι εμπλέκονται στη διαδικασία της απόφασης για την απόκτηση ενός οχήματος χωρίς οδηγό, έχοντας όμως μικρότερη επιρροή.

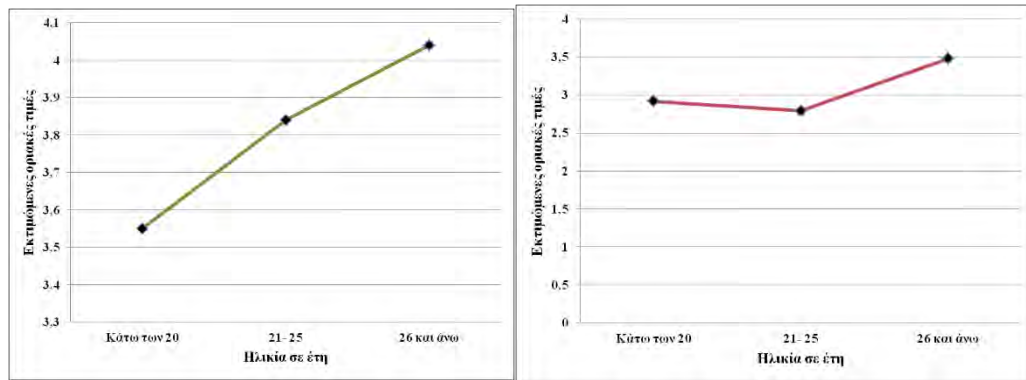
Η μελέτη διεξήχθη το διάστημα 22 Φεβρουαρίου 2013 έως τις 20 Μαρτίου 2013 και κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εξετάστηκαν 467 άτομα, από τα οποία τα 407 είναι φοιτητές του Foxborough Regional Charter School της Μασαχουσέτης (Casley, et al., 2013). Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να επιλέξουν τον σημαντικότερο από τους προαναφερθείσες παράγοντες, ο οποίος είναι πιθανότερο να επηρεάσει την απόφασή τους για αγορά ενός οχήματος με αυτόνομα χαρακτηριστικά. Η συντριπτική πλειοψηφία θεωρεί, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 82%, ότι η ασφάλεια είναι ο σημαντικότερος παράγοντας εκ των τριών (Casley, et al., 2013). Προς έκπληξη των αναλυτών και σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2, ακολουθεί το νομοθετικό πλαίσιο, ενώ την τρίτη θέση καταλαμβάνει ο παράγοντας του κόστους.

Πίνακας 5.2: Ποσοστό κατάταξης ασφάλειας, νομοθετικού πλαισίου και κόστους. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

Επιρροή	% των συμμετεχόντων που κατατάσσει ως τον πιο σημαντικό παράγοντα	% των συμμετεχόντων που κατατάσσει ως τον δεύτερο πιο σημαντικό παράγοντα	% των συμμετεχόντων που κατατάσσει ως τον λιγότερο σημαντικό παράγοντα
Ασφάλεια	82,41%	11,81%	5,78%
Νομοθετικό Πλαίσιο	11,72%	63,28%	25,00%
Κόστος	6,89%	25,00%	68,11%

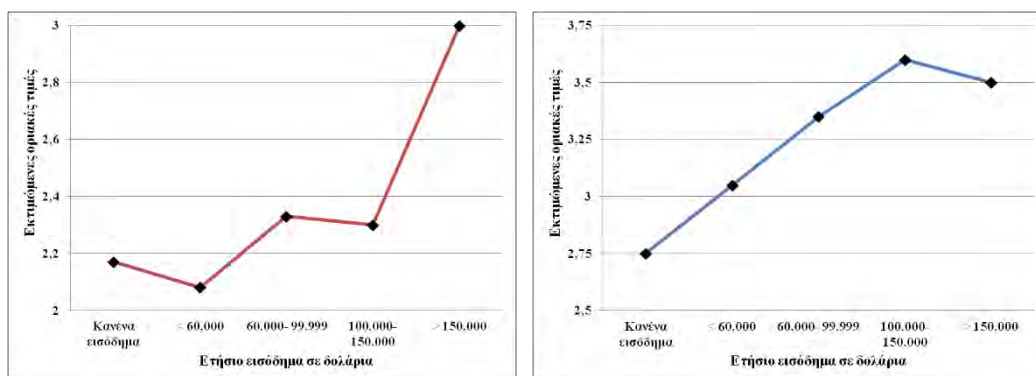
Για τις ανάγκες της έρευνας καταγραφήκαν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος και συγκεκριμένα εκείνα που σχετίζονται με το φύλο, την ηλικία, την εθνικότητα, τα επίπεδα εκπαίδευσης, τα εισοδηματικά κριτήρια και το είδος της απασχόλησης, ενώ μελετήθηκαν περιπτώσεις ιστορικού αναπηρίας, εμπλοκής σε ατύχημα και η προτίμηση του τρόπου διεξαγωγής μιας μετακίνησης.

Ο παράγοντας της ηλικίας φαίνεται να είναι καθοριστικός στο πως οι καταναλωτές κρίνουν τη συνολική ασφάλεια και το κόστος ενός αυτόνομου οχήματος. Χαρακτηριστικά, οι νεότεροι συμμετέχοντες τείνουν να κατατάσσουν την ασφάλεια ως μια λιγότερο θετική πτυχή της αυτόνομης τεχνολογίας σε σχέση με τους μεγαλύτερους ηλικιακά, αφού τα άτομα με ηλικία κάτω των 20 ετών βαθμολογούν το επίπεδο ασφαλείας των αυτόνομων οχημάτων κατά μέσο όρο με 3,55 στα 5 όταν το 3 αντιστοιχεί στην επιλογή «Ουδέτερος» και το 5 στην επιλογή «Πολύ θετικά» (Casley, et al., 2013). Ομοίως, και όσον αφορά το πεδίο του κόστους εξοπλισμού, όσο μεγαλύτερο ηλικιακά είναι το εξεταζόμενο δείγμα τόσο πιο ελκυστικό βρίσκει το κόστος αγοράς ενός οχήματος χωρίς οδηγό. Τα στοιχεία αυτά οδηγούν σε δύο πολύ σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά τη νέα γενιά (Casley, et al., 2013): Πρώτα απ' όλα οι νεότεροι συμμετέχοντες φαίνεται να αισθάνονται λιγότερο άνετα με την ιδέα της αυτόνομης τεχνολογίας και ανησυχούν σε μεγαλύτερο βαθμό για τα εκτιμώμενα επίπεδα ασφαλείας που αυτή προσφέρει. Δεύτερον, τα μεγαλύτερα ηλικιακά άτομα, έχοντας κατά κύριο λόγο σταθερό εισόδημα, βρίσκουν το κόστος ενός αυτόνομου οχήματος περισσότερο προσιτό.



Διάγραμμα 5.1: Σχέση επιρροής ηλικίας-ασφάλειας (αριστερά) και ηλικίας-κόστους (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

Εν συνεχεία, τα εισοδηματικά κριτήρια φαίνεται να συνδέονται άρρηκτα με τον παράγοντα του κόστους, όπως και με τα ζητήματα νομοθεσίας. Οι συμμετέχοντες με υψηλά εισοδήματα αναφέρουν ότι οι νόμοι είναι λιγότερο σημαντικοί σε σχέση με τους συμμετέχοντες με χαμηλότερο εισόδημα, όπως επίσης κρίνουν θετικά το συνολικό κόστος. Οι εξεταζόμενοι με χαμηλό ετήσιο εισόδημα δηλώνουν ότι η νομοθεσία είναι σημαντική, ενδεχομένως διότι διαθέτουν ελάχιστα χρήματα για την αποζημίωση σε ενδεχόμενο ατύχημα (Casley, et al., 2013).



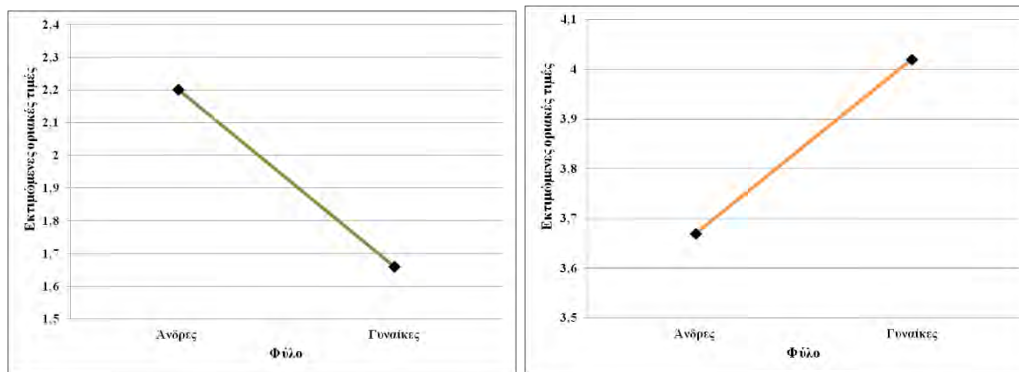
Διάγραμμα 5.2: Σχέση επιρροής εισοδήματος-νομικού πλαισίου (αριστερά) και εισοδήματος-κόστους (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

Παρά το γεγονός ότι το εισόδημα δεν φαίνεται να παίζει κάποιο προφανή ρόλο στον τομέα της ασφάλειας, τα άτομα με χαμηλότερα εισοδήματα αναλογίζονται τις ασφαλιστικές πληρωμές και το κόστος των επισκευών (Casley, et al., 2013).

Το φύλο φαίνεται ενδεχομένως να παίζει τον πιο καθοριστικό ρόλο στις επιλογές των συμμετεχόντων στην συγκεκριμένη έρευνα, καθώς με βάση αυτό διαχωρίζονται οι απόψεις που αφορούν το κόστος, τις ανησυχίες, την λειτουργία και την ασφάλεια της αυτόνομης φύσης. Οι άντρες σε γενικές γραμμές, και σε αντίθεση με τις γυναίκες (Casley, et al., 2013):

- Θεωρούν το κόστος ιδιαίτερα σημαντικό
- Ανησυχούν λιγότερο για την αυτόματη τεχνολογία των αυτοκινήτων
- Αισθάνονται πιο παραγωγικοί μέσα σε ένα αυτόνομο όχημα

- Πιστεύουν ότι τα αυτόνομα οχήματα είναι ασφαλέστερα από τα χειροκίνητα
- Θα αγοράσουν ένα αυτόνομο όχημα σχετικά γρήγορα



Διάγραμμα 5.3: Σχέση επιρροής φύλου-ασφάλειας (αριστερά) και φύλου-χρόνου αγοράς (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

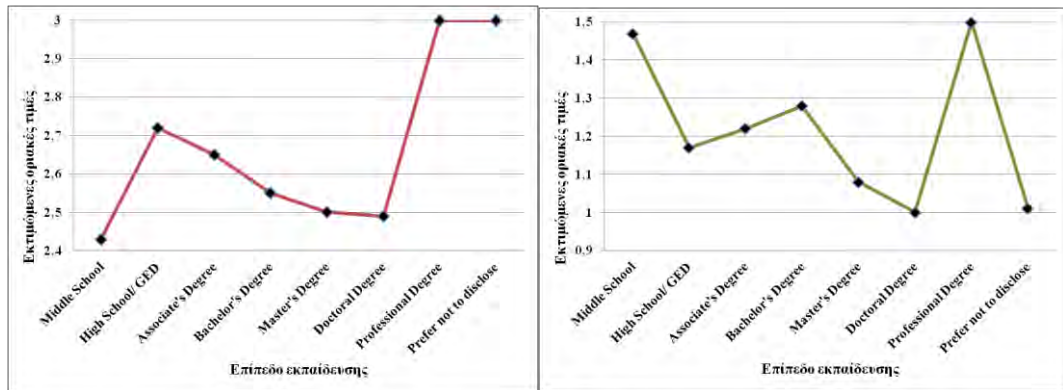
Στη συγκεκριμένη μελέτη οι γυναίκες δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στα επίπεδα εκπαίδευσης και στα εισοδηματικά κριτήρια σε σχέση με τους άντρες. Οι γυναίκες συμμετέχοντες είναι ελαφρώς μεγαλύτερες ηλικιακά από τους άνδρες συμμετέχοντες, ωστόσο η ηλικία τους δεν φαίνεται να συνδέεται με τις θετικές απόψεις γύρω από την ασφάλεια (Casley, et al., 2013). Παρότι η πλειοψηφία των ηλικιακά μεγαλύτερων ατόμων θεωρεί ότι τα αυτόνομα οχήματα είναι ασφαλή, οι μεγαλύτερες σε ηλικία γυναίκες δεν συμμερίζονται την ίδια άποψη (Casley, et al., 2013).

Οι άντρες της έρευνας δείχνουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην αυτόνομη τεχνολογία, αφού νιώθουν άνετα ως επιβάτες σε ένα όχημα χωρίς οδηγό. Το γεγονός αυτό ενισχύει τη θέση που διατηρούν απέναντι στο επίπεδο ασφάλειας των αυτόνομων οχημάτων. Επιπλέον, οι άντρες βρίσκουν πολύ περισσότερο διασκεδαστική την οδήγηση σε σχέση με το αντίθετο φύλο, γι' αυτό και προτίθενται να αγοράσουν ένα αυτόνομο μοντέλο νωρίτερα (Casley, et al., 2013). Τέλος, οι νέες τεχνολογίες κεντρίζουν πολύ λιγότερο το ενδιαφέρον των γυναικών. Όσον αφορά το επίπεδο εκπαίδευσης, το τελευταίο φαίνεται να επηρεάζει άμεσα τη σχέση ασφάλειας/κόστους-καταναλωτή. Οι συμμετέχοντες που έχουν ολοκληρώσει τουλάχιστον την τριτοβάθμια εκπαίδευση φαίνεται να δίνουν ιδιαίτερη σημασία στον παράγοντα του κόστους καθώς και να δείχνουν μεγαλύτερη δυσπιστία αναφορικά με την συνολική ασφάλεια του συστήματος (Casley, et al., 2013). Από την άλλη, οι λιγότερο μορφωμένοι ερωτηθέντες θεωρούν ότι τα αυτόνομα οχήματα είναι κατά πλειοψηφία ασφαλή και ότι ο παράγοντας του κόστους δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός.

Με άλλα λόγια, όσο πιο μορφωμένο είναι ένα άτομο τόσο πιο σημαντικό θεωρεί το πεδίο του κόστους. Παραδόξως, οι εξεταζόμενοι που έχουν ολοκληρώσει την μέση εκπαίδευση θεωρούν το κόστος το ίδιο σημαντικό με την κατηγορία των περισσότερο μορφωμένων ατόμων. Οι περισσότερο μορφωμένοι καταναλωτές

έχουν κατά πάσα πιθανότητα υψηλότερο εισόδημα, γεγονός που τους κάνει να ταξινομούν με σοφότερο τρόπο τις ανάγκες τους και να πραγματοποιούν κατά κύριο λόγο συνειδητές αγορές.

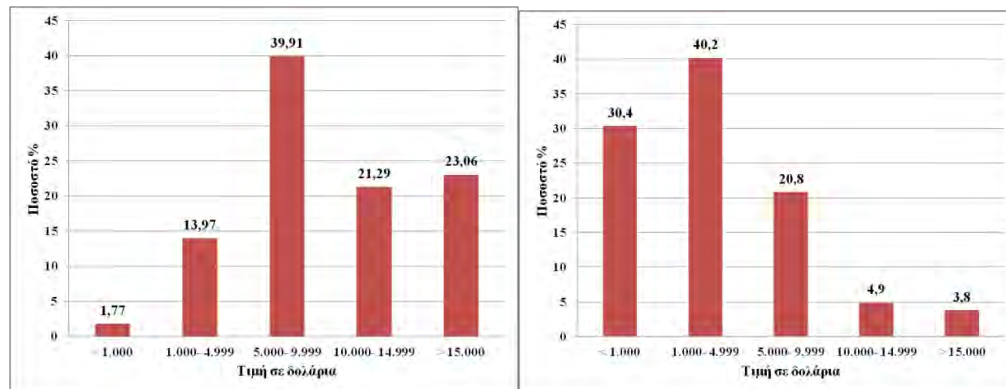
Αναφορικά με την ασφάλεια του συστήματος, όσο πιο μορφωμένος είναι ο εξεταζόμενος τόσο πιο δύσπιστος είναι με τον παράγοντα αυτό. Ενδεχομένως, οι περισσότεροι μορφωμένοι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τους κινδύνους των νέων τεχνολογιών και είναι περισσότερο επιφυλακτικοί έως ότου αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους.



Διάγραμμα 5.4: Σχέση επιρροής επιπέδου εκπαίδευσης-κόστους (αριστερά) και επιπέδου εκπαίδευσης-ασφάλειας (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

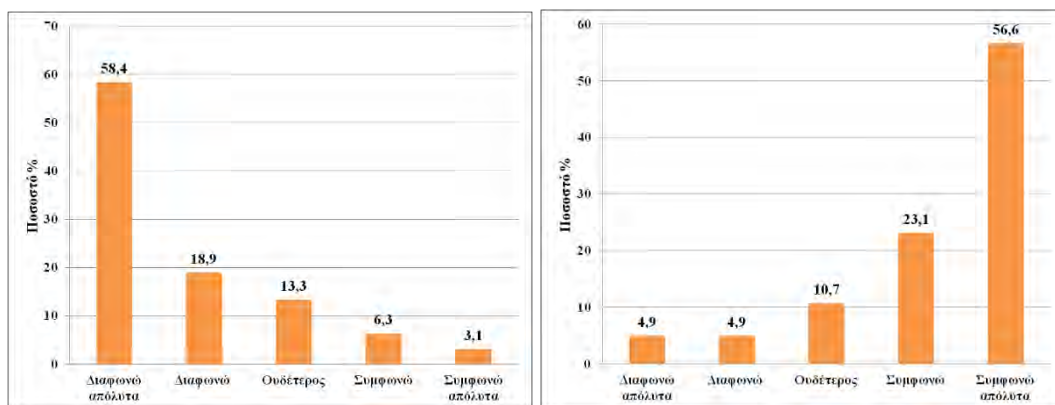
Συμπληρωματικές ερωτήσεις στη μελέτη, οι οποίες εξετάζουν όλο το φάσμα που σχετίζεται με την αυτόνομη οδήγηση, οδηγούν στα παρακάτω ενδιαφέροντα για το μέλλον της τεχνολογίας στατιστικά στοιχεία (Casley, et al., 2013):

Ποσοστό περίπου 40,0% του δείγματος αναμένει ότι το συνολικό κόστος εξοπλισμού αυτοματοποιημένου συστήματος οδήγησης σε ένα όχημα θα ανέρχεται μεταξύ του ποσού των 5.000 και 9.999 δολαρίων. Μολαταύτα, ποσοστό μεγαλύτερο από αυτό του 30,0% δεν προτίθεται να ξοδέψει περισσότερα από 1.000 δολάρια για τον εξοπλισμό αυτό.



Διάγραμμα 5.5: Κατανομή ποσού που οι συμμετέχοντες αναμένουν να ανέρχεται ο αυτόματος εξοπλισμός (αριστερά) και ποσού που διατίθενται να διαθέσουν (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

- Το 57,0% του εξεταζόμενου δείγματος ανησυχεί ότι το αυτόνομο όχημα θα έχει μικρή αντίληψη του περιγυρού του.
- Το 51,4% θεωρεί ότι το σύστημα θα διέπεται από «φτωχό» προγραμματισμό.
- Περίπου το 50,0% των συμμετεχόντων αμφισβητεί την ικανότητα ελέγχου της κατεύθυνσης, της πέδησης και της επιτάχυνσης.
- Το 73,2% ανησυχεί ότι ένα τέτοιο όχημα είναι επιρρεπές στην δυσλειτουργία.
- Το 48,2% θεωρεί ότι ένα όχημα χωρίς οδηγό είναι επιρρεπές σε υποκλοπές και hacking.
- Ποσοστό σχεδόν 14,0% ισχυρίζεται ότι υπάρχουν και άλλοι κίνδυνοι που δεν έχουν κατοχυρωθεί.
- Μόλις το 6,9% των συμμετεχόντων δεν εκφράζει καμία ανησυχία σχετικά με τα αυτοοδηγούμενα οχήματα.
- Από ένα δείγμα 413 ερωτηθέντων το 58,4% δηλώνει ότι δεν έχει καμία ενημέρωση σχετικά με τη δοκιμή, τη λειτουργία και την πώληση αυτόνομων οχημάτων. Παράλληλα, ποσοστό μεγαλύτερο του 56,0% θεωρεί ότι υποχρεωτική την έκδοση άδειας για τη νόμιμη λειτουργία τέτοιων οχημάτων.



Διάγραμμα 5.6: Κατανομή εξοικείωσης με τους νόμους σχετικά με τα αυτόνομα οχήματα (αριστερά) και συμφωνία σχετικά με την έκδοση άδειας κυκλοφορίας (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Casley, et al., 2013)

- Ποσοστό μεγαλύτερο του 60,0% λέει ότι θα αισθανόταν άνετα με την τεχνολογία 3 ή και περισσότερα χρόνια μετά την εισαγωγή της στην αγορά.
- Ποσοστό σχεδόν 58,0% πιθανώς να προέβαινε στην αγορά ενός αυτόνομου αυτοκινήτου εάν γνώριζε ότι αυτό εκπέμπει λιγότερες επιβλαβείς ουσίες για το περιβάλλον σε σχέση με ένα χειροκίνητο όχημα.

5.1.2. Η έρευνα της HERE

Τον Ιούνιο του 2016 η εταιρεία HERE διεξήγαγε μια έρευνα η οποία επικεντρώνεται σε δύο αντίποδες ιδέες για την αποτελεσματικότερη κατανόηση των απαιτήσεων των καταναλωτών (HERE, 2017):

- *Αυτόνομο όχημα ως προϊόν- Autonomous- Car- as- a- Product (CaaP)*

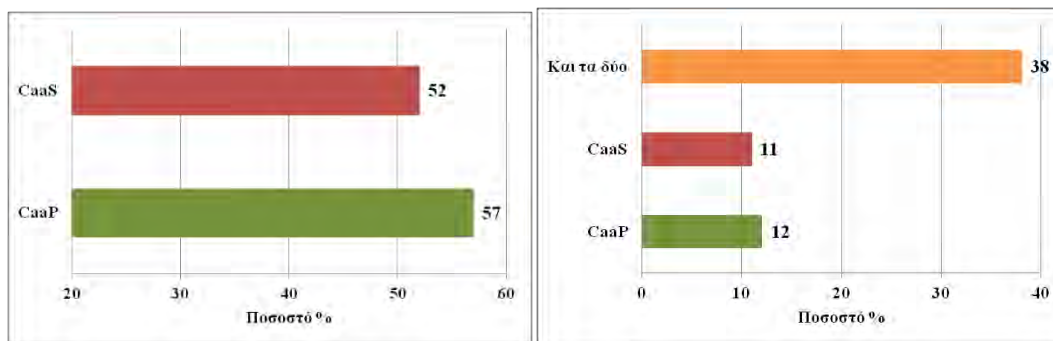
Στην κατηγορία αυτή τα οχήματα έχουν τη δυνατότητα πλήρους αυτόνομης οδήγησης και διατίθενται για ιδιωτική αγορά. Οι χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν ολοκληρωτικά την αυτόνομη λειτουργία ή να μεταβούν στη χειροκίνητη και να αναλάβουν οι ίδιοι τον έλεγχο του οχήματος.

- *Αυτόνομο όχημα ως υπηρεσία- Autonomous- Car- as- a- Service (CaaS)*

Η κατηγορία αυτή χαρακτηρίζει τα οχήματα που αναπτύσσουν πλήρως αυτόνομα χαρακτηριστικά, καθώς ο καταναλωτής δεν έχει την δυνατότητα ανάληψης ελέγχου σε καμία περίπτωση.

Στην μελέτη αυτή αναδεικνύονται πολλά ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με τις αντιλήψεις και τις στάσεις των μέσων καταναλωτών γύρω από τα ζητήματα της κινητικότητας, των μεταφορών, του αυτοματισμού, των τεχνολογικών εξελίξεων, τα επίπεδα άνεσης και την εμπιστοσύνη στα υπολογιστικά συστήματα. Δεδομένου ότι η εποχή της κυριαρχίας των αυτόνομων οχημάτων δεν είναι πολύ μακριά, οι άνθρωποι θα έχουν ουσιαστικά δύο επιλογές για τις μεταφορές τους: την ιδιοκτησία ενός αυτόνομου οχήματος (CaaP) ή την αυτόνομη υπηρεσία οχήματος (CaaS) (HERE, 2017). Σκοπός της έρευνας είναι ο καθορισμός του σεναρίου που θα είναι περισσότερο ελκυστικό για το αγοραστικό κοινό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διεξαγωγή δύο φάσεων ανάλυσης, η πρώτη εκ των οποίων εξετάζει 48 ερωτηθέντες με διαφορετικές προτιμήσεις και χρήσεις αυτοκινήτου σε 6 διαφορετικές τοποθεσίες, μερικές από τις οποίες είναι πυκνοκατοικημένες πόλεις, μικρές πόλεις ή αγροτικές περιοχές (HERE, 2017). Στην επόμενη φάση παρουσιάζεται η γνώμη 2000 αντιπροσωπευτικών καταναλωτών της Γερμανίας και των ΗΠΑ, μέσω μιας εκτενούς ηλεκτρονικής έρευνας (HERE, 2017).

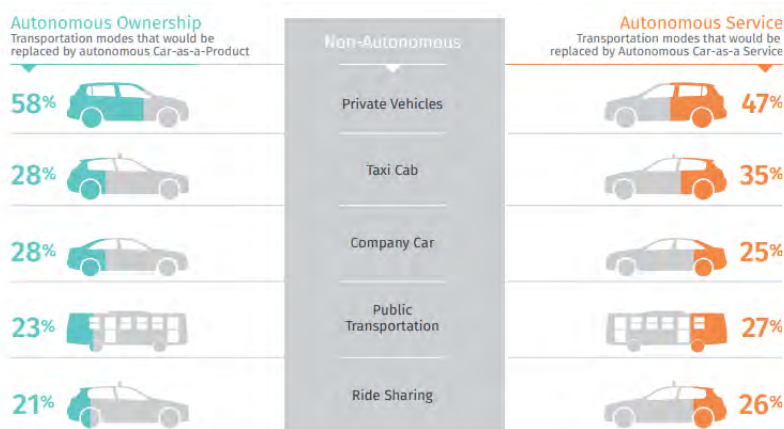
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, καθώς και με το Διάγραμμα 5.7, οι άνθρωποι θα επιθυμούν τόσο την ιδιοκτησία ενός αυτόνομου οχήματος, όσο και τα μοντέλα υπηρεσιών. Χαρακτηριστικά, το 52% του δείγματος βρίσκει ελκυστική την αυτόνομη υπηρεσία CaaS, και αντίστοιχα το 57% βρίσκει ελκυστικό το σενάριο του CaaP (HERE, 2017). Το 38% των εξεταζόμενων εκφράζει την επιθυμία του να χρησιμοποιήσει και τις δύο καινοτομίες (HERE, 2017).



Διάγραμμα 5.7: Κατανομή δείγματος που βρίσκει ελκυστικό το σενάριο CaaS/ Caap (αριστερά) και ποσοστό που θα χρησιμοποιούσε το καθένα από αυτά (δεξιά). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (HERE, 2017)

Εν συνεχεία, η έρευνα επικεντρώνεται στον τρόπο με το οποίο τα αυτόνομα οχήματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν, και πως αυτός θα επηρεάσει τις αυτοκινητοβιομηχανίες και τους υπόλοιπους σημαντικούς τομείς των μεταφορών όπως τα μέσα, τον σκοπό και τον προορισμό, την υποδομή των μεταφορών αλλά και ολόκληρη την κοινωνία σαν σύνολο. Στη μελέτη της HERE αναδεικνύεται ότι όλα τα μέσα μεταφοράς θα επηρεαστούν σημαντικά από την είσοδο των αυτόνομων οχημάτων στην αγορά. Ειδικότερα, το 58% του εξεταζόμενου δείγματος θεωρεί ότι το μη-αυτόνομο ιδιωτικό όχημα θα αντικατασταθεί από ένα αυτόνομο όχημα της κατηγορίας CaaP, ενώ το 47% πιστεύει όλα τα συμβατικά οχήματα θα αντικατασταθούν από οχήματα τύπου CaaS (HERE, 2017). Τα αυτόνομα οχήματα θα είναι σίγουρα ο κυρίαρχος τρόπος μεταφοράς, αφού η επίδραση φαίνεται να επέρχεται και στα υπόλοιπα μεταφορικά μέσα.

Σε περαιτέρω ανάλυση, το 44% δηλώνει ότι θα χρησιμοποιούσε ένα αυτόνομο όχημα τύπου CaaP για να μεταβεί στο χώρο εργασίας του και, αντίστοιχα, το 35% θα επέλεγε την υπηρεσία CaaS (HERE, 2017). Το 37% λέει ότι θα «οδηγούσε» ένα αυτόνομο όχημα της κατηγορίας CaaP κατά τη διάρκεια των διακοπών ή μιας εκδρομής και το 29% θα επέλεγε την αυτόνομη υπηρεσία CaaS (HERE, 2017).



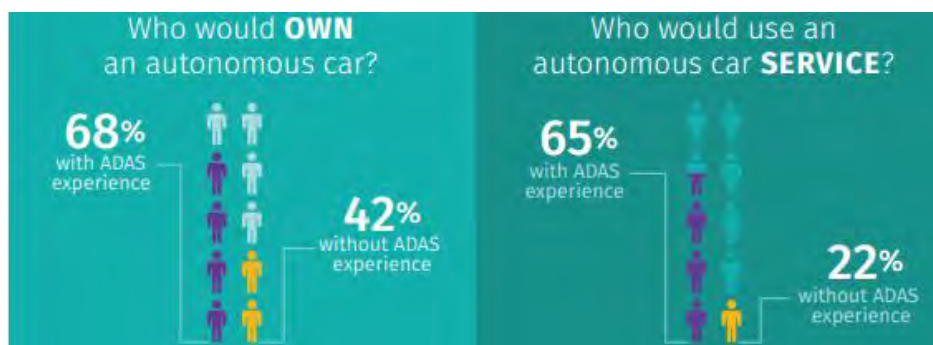
Διάγραμμα 5.8: Κατανομή των μέσων που θα αντικατασταθούν από αυτόνομα οχήματα. [Πηγή]: (HERE, 2017)

Με βάση το μήκος και τη συχνότητα χρήσης για κάθε μέσο μεταφοράς, και λαμβάνοντας υπόψη την προθυμία του καταναλωτή για αντικατάσταση, τα αυτόνομα οχήματα και των δύο κατηγοριών θα αποτελούν το 39% του συνόλου των μεταφορών στη Γερμανία και το 42% στις ΗΠΑ (HERE, 2017).



Διάγραμμα 5.9: Ποσοστό των μεταφορών που θα αντικατασταθούν από αυτόνομα οχήματα σε ΗΠΑ και Γερμανία [Πηγή]: (HERE, 2017)

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων οι υπεύθυνοι του προγράμματος διαπιστώνουν ότι οι ομάδες των ερωτηθέντων που διαθέτουν μια σχετική εξοικείωση με την τεχνολογία εμφανίζονται ιδιαίτερα δεκτικοί με την ιδέα της αυτόνομης οδήγησης. Αναλυτικότερα, η συγκεκριμένη τεχνολογία αποδέχεται, επίσης, και τις δύο κατηγορίες αυτόνομης οδήγησης, καθώς το 69% λέει ότι θα χρησιμοποιούσε το αυτόνομο όχημα τύπου CaaP και το 67% τις υπηρεσίες του CaaS (HERE, 2017). Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αυτό, καθώς και την δυσπιστία του κοινού απέναντι στα νέα τεχνολογικά επιτεύγματα, οι ερευνητές θεωρούν ότι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος για την ουσιαστική αποδοχή της αυτόνομης τεχνολογίας είναι η εξοικείωση του χρήστη με τα συστήματα υποβοήθησης οδήγησης. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, οι ερωτηθέντες που διαθέτουν ένα τουλάχιστον χαρακτηριστικό ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) στο αυτοκίνητό τους είναι πολύ πιο πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τα αυτόνομα οχήματα CaaP και CaaS σε ποσοστά 68% και 65% αντιστοίχως, ενώ οι εξεταζόμενοι που δεν διαθέτουν όχημα ή διαθέτουν όχημα αλλά χωρίς καμία λειτουργία ADAS παρουσιάζουν πολύ μικρότερα ποσοστά: 42% και 22% (HERE, 2017).



Διάγραμμα 5.10: Ποσοστό ιδιοκτησίας και χρήσης αυτόνομων οχημάτων από άτομα με εμπειρία στα συστήματα ADAS. [Πηγή]: (HERE, 2017)

5.1.3. Έρευνα αποδοχής στην Ελλάδα

Παρά το γεγονός ότι οι αλλαγές που επέρχονται με την είσοδο των αυτόνομων οχημάτων στην αγορά εγείρουν το ενδιαφέρον των μελετητών σε διεθνές επίπεδο, οι οποίοι με τη σειρά τους πραγματοποιούν συνεχείς προσπάθειες για την κατανόηση της συμπεριφοράς των καταναλωτών απέναντι στην τεχνολογία, στην Ελλάδα δεν έχουν διεξαχθεί επίσημα αντίστοιχες έρευνες αποδοχής. Στην προσπάθεια κάλυψης του κενού αυτού, διενεργήθηκε στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας μια μελέτη με σκοπό την διερεύνηση των καταναλωτικών αντιδράσεων και την πρόθεση αγοράς αυτόνομων οχημάτων από τους Έλληνες οδηγούς (Σουρής, 2017).

Η έρευνα διεξήχθη το έτος 2016 και είχε διάρκεια τριών εβδομάδων. Στη περίοδο αυτή συμπληρώθηκαν 144 ερωτηματολόγια, στα οποία οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να επιλέξουν μεταξύ τριών εναλλακτικών προτάσεων, του παραδοσιακού οχήματος, του ημι-αυτόνομου και του πλήρους αυτόνομου οχήματος με βάση τρεις παραμέτρους, δηλαδή την ασφάλεια, το κόστος και τον χρόνο μεταφοράς (Σουρής, 2017). Για την αποτελεσματική διεκπεραίωση της μελέτης, αξιολογήθηκαν τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου δείγματος, τα οποία και συγκεντρώνονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Κατανομή του δείγματος ανά φύλο, ηλικία, εισόδημα και μορφωτικό επίπεδο. [Πηγή]: (Σουρής, 2017)

Φύλο	
Ανδρες	66%
Γυναίκες	34%
Ηλικία	
18- 34	74%
>34	26%
Ετήσιο Εισόδημα	
< 10.000€	38%
10.000- 25.000€	35%
> 25.000 €	27%
Μορφωτικό Επίπεδο	
Λύκειο	10%
ΑΕΙ	72%
ΤΕΙ/ΙΕΚ	18%

Στην πλειοψηφία τους, οι ερωτηθέντες είναι νέοι άνδρες, κάτω των 34 ετών και με υψηλό μορφωτικό επίπεδο (Σουρής, 2017).

Πίνακας 5.4: Ποσοστό του δείγματος που θα αγόραζε αυτόνομο όχημα ανά φύλο, ηλικία και ετήσιο εισόδημα. [Πηγή]: (Σουρής, 2017)

	Φύλο		Ηλικία		Ετήσιο Εισόδημα		
	Άνδρας	Γυναίκα	18-34	> 34	< 10.000€	10.000-25.000€	> 25.000€
Ναι	47%	24%	51%	20%	26%	23%	22%
Όχι	19%	10%	23%	6%	11%	11%	6%

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την εφαρμογή των στατιστικών προτύπων πολυωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης, καθώς και με τη μέθοδο διωνυμικής λογιστικής παλινδρόμησης (Σουρής, 2017). Εν συνεχεία, κατασκευάστηκαν ορισμένα διαγράμματα ευαισθησίας με σκοπό την εξακρίβωση της επιρροής των τριών βασικών παραμέτρων στην επιλογή του τύπου οχήματος και χρησιμοποιήθηκαν κοινές τιμές για το επίπεδο ασφαλείας και το κόστος των οχημάτων σε συνάρτηση με το χρόνο διαδρομής (Σουρής, 2017). Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που μπορεί να εξάγει κανείς από τις παραπάνω διαδικασίες συνοψίζονται στα εξής σημεία (Σουρής, 2017):

- Οι Έλληνες Οδηγοί είναι επιφυλακτικοί σχετικά με την επιλογή ενός πλήρους αυτόνομου οχήματος. Ωστόσο, διατηρούν θετική στάση απέναντι στα ημι-αυτόνομα οχήματα και ειδικότερα όταν εξοικονομείται ο χρόνος της μετακίνησης. Όταν ο χρόνος της διαδρομής αυξάνεται η προτίμηση στρέφεται προς τα παραδοσιακά συμβατικά οχήματα.
- Οι Έλληνες Οδηγοί εμπιστεύονται περισσότερο την ημι-αυτόνομη λειτουργία από την πλήρως αυτόνομη, διαφορά που οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει σημαντική έλλειψη εξοικείωσης με τα συστήματα αυτονομίας.
- Η επιλογή ενός αυτόνομου ή ημιαυτόνομου οχήματος εξαρτάται από το κόστος, το επίπεδο ασφαλείας και το χρόνο μετακίνησης σε σχέση με τις αντίστοιχες παροχές του παραδοσιακού οχήματος, αλλά και από την άποψη των χρηστών σχετικά με τα συστήματα υποβοήθησης. Παράλληλα, παράγοντες όπως η ηλικία, το εισόδημα και η οδηγική εμπειρία εμπλέκονται στη διαδικασία επιλογής.
- Η επιρροή του κόστους, της ασφάλειας και του χρόνου μετακίνησης θεωρούνται απολύτως αναμενόμενες στην επιλογή ενός μεταφορικού μέσου και βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, η αύξηση του κόστους, η μείωση του επιπέδου ασφαλείας και η αύξηση του χρόνου ταξιδιού μειώνουν τη πιθανότητα επιλογής ενός αυτόνομου ή ημι-αυτόνομου οχήματος.
- Το υψηλό κόστος της αξίας του τωρινού αυτοκινήτου συμβάλλει αρνητικά στην απόφαση αγοράς ενός αυτόνομου οχήματος. Σε περίπτωση που κάποιος έχει ήδη επενδύσει ένα μεγάλο ποσό, άνω των 10.000€, για την αγορά ενός αυτοκινήτου σήμερα είναι πολύ λιγότερο πιθανό να αγοράσει ένα καινούργιο

όχημα, δεδομένου ότι το 42% των εξεταζόμενων θεωρεί ότι ένα αυτόνομο όχημα θα έχει αξία πάνω από 30.000€.

- Ο χρόνος εμπειρίας της οδήγησης λειτουργεί ανασταλτικά στην πρόθεση αγοράς ενός αυτόνομου οχήματος, γεγονός που επηρεάζεται από τη «δύναμη της συνήθειας» που περιορίζει τους εναλλακτικούς τρόπους μετακίνησης.
- Αντίθετα, θετική φαίνεται να είναι η επιρροή στον χρόνο οδήγησης σε καθημερινή βάση στην επιλογή ενός αυτόνομου ή ημι-αυτόνομου οχήματος, η οποία συνδέεται άμεσα με τον παράγοντα της κούρασης. Η λειτουργία της αυτοματοποίησης δύναται να ελαφρύνει τους οδηγούς από το άγχος και την κόπωση σε κυκλοφοριακή συμφόρηση.
- Αναμενόμενη θεωρείται η θετική επίδραση των συστημάτων υποστήριξης οδηγού, καθώς και της άνεσης στην κυκλοφορία αυτόνομων μέσω μαζικής μεταφοράς και ταξί στους δρόμους, για την αγορά αυτόνομων ή ημι-αυτόνομων οχημάτων.
- Οι οδηγοί άνω των 34 ετών δηλώνουν μεγαλύτερη προτίμηση στην πρόθεση αγοράς αυτόνομου οχήματος, γεγονός που διαμορφώνεται από την χρηματική αξία των αυτόνομων οχημάτων και το επίπεδο της οικονομικής άνεσης των καταναλωτών. Το 50% των οδηγών με ηλικία άνω των 34 ετών έχει ετήσιο εισόδημα άνω των 25.000€, ενώ το 45% των νέων οδηγών δηλώνει πως λαμβάνει εισόδημα μικρότερο των 10.000€ ετησίως. Αυτό σημαίνει ότι οι μεγαλύτεροι ηλικιακά οδηγοί έχουν τη δυνατότητα επένδυσης σε μια τέτοια αγορά.

5.2. Συμπεράσματα

Οι υφιστάμενες μελέτες αντιδράσεων του αγοραστικού κοινού αναδεικνύουν ότι τα αυτόνομα οχήματα δεν μπορούν να είναι εξ' ολοκλήρου αποδεκτά για την ώρα, καθώς οι καταναλωτές εντοπίζουν ανοικτά ζητήματα προς επίλυση, όσον αφορά την ίδια τη φύση της τεχνολογίας, καθώς και τους εξωτερικούς παράγοντες που ενδεχομένως να επηρεάζονται από αυτήν. Η έντονη ανησυχία των χρηστών φαίνεται να επικεντρώνεται, κατά κύριο λόγο, στα εξής τρία σημεία: στο επίπεδο ασφάλειας που προσφέρουν τα υπολογιστικά συστήματα, στο συνολικό κόστος εξοπλισμού του οχήματος και στη σχετική νομοθεσία που εξασφαλίζει την προστασία όλων των συμβαλλόμενων μερών. Η τεχνολογική εξάρτηση, η διακύβευση προσωπικών δεδομένων, όπως και η καταπάτηση της ελευθερίας του ατόμου αφορούν δευτερεύοντες ανασταλτικούς παράγοντες, που όμως στο μέλλον θα λαμβάνονται υπόψη από τους καταναλωτές προκειμένου να μεταβούν στην αγορά ενός οχήματος χωρίς οδηγό.

Ωστόσο, τα επίπεδα αποδοχής ποικίλλουν και διαμορφώνονται ανάλογα με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά της κάθε φορά εξεταζόμενης ομάδας. Για παράδειγμα, οι άνδρες διατηρούν μια περισσότερο θετική στάση απέναντι στα αυτοματοποιημένα συστήματα σε σχέση με το γυναικείο φύλο. Παράλληλα, το

νεαρό της ηλικίας και τα χαμηλά εισοδηματικά κριτήρια θέτουν περαιτέρω εμπόδια στην εξάπλωση της τεχνολογίας.

Από την άλλη, ακόμη και οι πιο φανατικοί αντίμαχοι της καινοτομίας αναγνωρίζουν τα οφέλη που απορρέουν από την αυτοματοποίηση των οχημάτων, μεταξύ των οποίων την αποτελεσματικότερη απόδοση των μεταφορών, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την καλύτερη διαχείριση στα καύσιμα και την παραγωγική αξιοποίηση του χρόνου. Μάλιστα, μεγάλο ποσοστό του συνολικού εξεταζόμενου δείγματος βρίσκει ελκυστική την ιδέα του αυτοοδηγούμενου οχήματος και είναι πρόθυμο να το χρησιμοποιήσει. Σύμφωνα με τους αναλυτές, ο καλύτερος τρόπος για τη γενική αποδοχή της αυτόνομης τεχνολογίας είναι ο σταδιακός εξοπλισμός των σημερινών μοντέλων με συστήματα υποβοήθησης, τα οποία θα εξοικειώσουν τον χρήστη με τους υπολογιστικούς μηχανισμούς και θα προβάλλουν την αξιοπιστία, την άνεση και την ευκολία χρήσης της αυτοματοποιημένης φύσης. Είναι γεγονός ότι το 88% των χρηστών ADAS είναι ικανοποιημένοι με τα χαρακτηριστικά του συστήματος, πράγμα που καθιστά το συγκεκριμένο τεχνολογικό πρότυπο συνδυαστικό κρίκο για την αποδοχή της αυτόνομης οδήγησης (HERE, 2017). Σήμερα 11 εκατομμύρια οχήματα είναι συνδεδεμένα με το μηχανισμό ADAS σε Ευρώπη, Κίνα και ΗΠΑ, με τον αριθμό αυτό να αυξάνεται ολοένα και περισσότερο (HERE, 2017).

Ένα ακόμη ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι εκείνο που συνδέεται με το καθεστώς της ιδιοκτησίας, αφού για πολλούς η επιλογή του οχήματος, από το εμπορικό σήμα έως το χρώμα του, αποτελεί μια άμεση αντανάκλαση της στάσης ζωής τους και του κοινωνικού τους στάτους, κάτι που είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη λαϊκή κουλτούρα. Ενώ, λοιπόν, το αναμενόμενο θα ήταν οι λάτρεις της οδήγησης να προτιμούν τα ιδιόκτητα οχήματα, οι ίδιοι δηλώνουν πρόθυμοι να δοκιμάσουν την αυτόνομη λειτουργία και ως δημόσια υπηρεσία μεταφοράς. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το στατιστικό στοιχείο, καθώς και το γεγονός ότι όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και το τοπίο της αυτοκινητοβιομηχανίας αλλάζει, άλλο τόσο επηρεάζεται και η σχέση του καταναλωτή με τα νέα μοντέλα αυτοκινήτων, η έρευνα οφείλει να εστιάζεται σε λύσεις που θα «αγκαλιάζουν» όλες τις μορφές ιδιοκτησίας ή μη.

Όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα η έλλειψη στον τομέα της έρευνας είναι φανερή. Ωστόσο, και σύμφωνα με τη μελέτη που παρατίθεται, οι Έλληνες οδηγοί εκφράζουν μια σχετικά θετική άποψη απέναντι στους αυτοματοποιημένους μηχανισμούς, διατηρώντας, όμως, μικρές επιφυλάξεις σχετικά με τα ζητήματα ασφαλείας.

Σε κάθε περίπτωση, οι αυτοκινητοβιομηχανίες καθώς και οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών και λογισμικού οφείλουν να ακολουθήσουν μια βαθμιαία σταδιακή προσέγγιση στην αγορά του αυτόνομου αυτοκινήτου, συνεχίζοντας την ανάπτυξη και την επένδυση των αυτοματοποιημένων τεχνολογιών. Η συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων είναι απαραίτητη προκειμένου να καταστήσουν το αυτόνομο όχημα ένα αξιόπιστο και βιώσιμο μέσο μεταφοράς.

6. Αναμενόμενες επιπτώσεις

Τα αυτόνομα οχήματα παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων τα οποία καταρχήν πηγάζουν από το γεγονός ότι συνδυάζουν τα συστήματα πλοήγησης, την τεχνητή νοημοσύνη, τους αισθητήρες και τις επικοινωνίες V2X, με αποτέλεσμα να είναι ολοένα και περισσότερο ανταγωνιστικά σε σχέση με τα χειροκίνητα αυτοκίνητα. Πέρα από τα εμφανή οφέλη της αυτόνομη οδήγησης, όπως είναι η μείωση των ατυχημάτων, η καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας και η εξοικονόμηση χρόνου, οι αλλαγές που θα προκύψουν στα προαναφερθέντα κυκλοφοριακά μεγέθη είναι εξίσου ενδιαφέρουσες.

Στις επόμενες παραγράφους συζητούνται τα θετικά και αρνητικά στοιχεία των αυτόνομων οχημάτων, οι ευκαιρίες και οι απειλές που προκύπτουν από τη χρήση τους, καθώς και οι εκτιμώμενες μεταβολές που θα επέλθουν στα μεγέθη κυκλοφορίας.

6.1. CAVs: Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της καινοτομίας των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής σημεία:

- *Ενίσχυση οδικής ασφάλειας*

Οι υφιστάμενες στατιστικές έρευνες καταδεικνύουν ως κύριο παράγοντα πρόκλησης των τροχαίων ατυχημάτων το ανθρώπινο λάθος. Συγκεκριμένα, περισσότερα από 1.000.000 οδικά ατυχήματα σημειώθηκαν στο οδικό δίκτυο της Ευρωπαϊκής Ένωσης το έτος 2015, εκ των οποίων τα 26.132 ήταν θανατηφόρα (European Road Safety Observatory, 2017). Αντίστοιχα, σε μια περίοδο της τάξης των δύομισιων ετών σημειώθηκαν 2.189.000 τροχαία στο συνολικό οδικό δίκτυο των ΗΠΑ στα οποία φαίνεται να εμπλέκονται περίπου 4.031.000 οχήματα, 3.945.000 οδηγοί και 1.982.000 επιβάτες (U.S Department of Transportation, 2015). Η ευθύνη στο 94% των περιπτώσεων βαραίνει τον οδηγό, ενώ μόλις το 2% των συγκρούσεων οφείλεται σε λειτουργική αστοχία του οχήματος (U.S Department of Transportation, 2015). Όπως φαίνεται, η εισαγωγή των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων θα ελαττώσει κατά πολύ την ενασχόληση του ανθρώπου με τα όργανα πλοήγησης, γεγονός που αναμφισβήτητα θα οδηγήσει στη μείωση του συνολικού αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων και στην ελαχιστοποίηση της απώλειας της ανθρώπινης ζωής στην άσφαλτο.

Πέρα από τα εμφανή οφέλη, η ενίσχυση της οδικής ασφάλειας ενδέχεται να επιφέρει βελτιώσεις και σε άλλα επίπεδα, όπως για παράδειγμα στην εξοικονόμηση πόρων στον τομέα της υγείας για την φροντίδα τραυματιών (Σουρής, 2017). Επιπλέον, αναμένεται να σημειωθεί σημαντική μείωση στα

ασφάλιστρα και οι κατασκευαστικές απαιτήσεις να απλοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό (Σουρής, 2017).

- *Μείωση κυκλοφοριακής συμφόρησης*

Τα on-board συστήματα που διαθέτουν τα αυτόνομα και διασυνδεδεμένα οχήματα επιτρέπουν την κίνηση σε μικρότερες μεταξύ τους αποστάσεις ασφαλείας, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση της χωρητικότητας της υφιστάμενης οδού. Η λειτουργία του platooning αφορά μια ομάδα οχημάτων που έχουν την δυνατότητα να ταξιδεύουν σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους με ασφάλεια και μεγάλη ταχύτητα χρησιμοποιώντας τεχνολογίες συνδεσιμότητας και αυτοματοποιημένα συστήματα υποβοήθησης οδήγησης. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει σε μια διμοιρία οχημάτων να φρενάρουν και να επιταχύνουν ταυτόχρονα, εξαλείφοντας έτσι την απόσταση και το χρόνο αντίδρασης (ACEA , 2017). Το όχημα που προπορεύεται της συστοιχίας λειτουργεί ως «ηγέτης», με τα οχήματα που ακολουθούν να προσαρμόζονται στις αλλαγές κίνησής του με ελάχιστη ή μηδενική ανάμιξη των ανθρώπων χειριστών (ACEA , 2017). Συμπερασματικά, τα οχήματα μπορούν να κινούνται σε λωρίδες μικρότερου πλάτους αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού.



Εικόνα 6.1: Το platooning αφορά μια ομάδα οχημάτων που κινούνται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους κάνοντας χρήση της τεχνολογίας της συνδεσιμότητας. [Πηγή]: (Driveless Transportation, 2014)

- *Εξοικονόμηση χρόνου*

Πέρα από την αξιοσημείωτη μείωση του χρόνου των μετακινήσεων που έρχεται ως απόρροια της μείωσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι επιβαίνοντες, έχοντας πλέον αποδεσμευτεί από τα καθήκοντα της οδήγησης, έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιούν παραγωγικά το χρόνο εντός του οχήματος και να αναπτύσσουν άλλες δραστηριότητες. Οι χρήστες είναι σε θέση να ασχοληθούν με εργασιακά ζητήματα, να διαβάσουν ένα βιβλίο, να παρακολουθήσουν μια ταινία ή να περιηγηθούν στα social media.

Επισημαίνεται πως οι λιγότερο αυστηρές κατασκευαστικές απαιτήσεις αναφορικά με τα συστήματα ασφαλείας επιτρέπουν την αναδιαμόρφωση του εσωτερικού των οχημάτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσδίδουν άνεση στον επιβάτη και να υποστηρίζουν περαιτέρω δραστηριότητες (Σουρής, 2017).



Εικόνα 6.2: Ο εσωτερικός χώρος του οχήματος διαμορφώνεται ώστε να υποστηρίζει περαιτέρω δραστηριότητες [Πηγή]: (Gallina, 2017)

- *Μείωση εκπομπών καυσαερίων*

Ο τομέας των μεταφορών είναι μια από τις κύριες πηγές της αέριας ρύπανσης. Χαρακτηριστικά και σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του 2008, τα μέσα μεταφοράς ήταν υπεύθυνα για το 22% των συνολικών εκπομπών CO₂, εκ των οποίων το 73% προερχόταν από την οδική κυκλοφορία (International Energy Agency, 2010). Η αντικατάσταση των σημερινών συμβατικών οχημάτων με εκείνα της αυτόνομης τεχνολογίας αναμένεται να επιφέρει σημαντική μείωση στα ποσοστά των εκπεμπόμενων ρύπων. Η λειτουργία του platooning που επιτρέπει στα οχήματα να κινούνται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, καθώς και η μείωση της εναλλαγής της ταχύτητας προωθούν την αποδοτικότερη κατανάλωση καυσίμων και συνεπώς την ελαχιστοποίηση των βλαβερών εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, τα νέα αυτόνομα οχήματα είναι ελαφρύτερα, καθιστούν αποδοτικότερη την οδήγηση και χρησιμοποιούν εναλλακτικές μορφές ενέργειας (π.χ ηλεκτρική).

- *Ενίσχυση αισθήματος κοινωνικής ισότητας*

Με την εισαγωγή των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων παρέχεται η δυνατότητα προσβασιμότητας και μεταφοράς σε ευπαθείς κοινωνικά ομάδες, αφού τα άτομα που συγκαταλέγονται στην κατηγορία ΑΜΕΑ, όπως εκείνα με περιορισμένη κινητικότητα ή προβλήματα όρασης, θα μπορούν να μετακινούνται χωρίς τη βοήθεια άλλων χρηστών. Παράλληλα, ηλικιωμένοι που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις για άδεια οδήγησης ή άτομα χωρίς δίπλωμα θα είναι δυνατόν να ταξιδεύουν χωρίς περιορισμό. Ακόμη, παιδιά και ανήλικοι θα είναι εφικτό να κινούνται από και προς το σχολείο ή άλλες δραστηριότητες χωρίς την παρουσία του γονέα (Σουρής, 2017).

- *Βελτίωση διαχείρισης της κυκλοφορίας- Δυνατότητα κοινής χρήσης οχημάτων*

Η καθιέρωση της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας εκτιμάται ότι θα αλλάξει το καθεστώς ιδιοκτησίας οχημάτων. Για πολλά χρόνια η κατοχή ενός αυτοκινήτου συμβόλιζε την ελευθερία και την ανεξαρτησία και αντιπροσώπευε την κοινωνική θέση του ιδιοκτήτη, αντίληψη που αναμένεται να αλλάξει στο άμεσο μέλλον, καθώς τα νέα μοντέλα με τα αυτόνομα χαρακτηριστικά θα αποτελέσουν απλώς ένα μέσο μετακίνησης από και προς έναν προορισμό. Το μη προσιτό κόστος των οχημάτων χωρίς οδηγό, η εξοικείωση των χρηστών με την συνεργατική οικονομία και η τάση των ανθρώπων να μεταναστεύουν σε πυκνοκατοικημένες πόλεις, στις οποίες η κατοχή αυτοκινήτου αποτελεί επιβάρυνση, αποτελούν παράγοντες οι οποίοι ενισχύουν την κοινή χρήση οχημάτων. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, το ένα τέταρτο των μιλίων του οδικού δικτύου των ΗΠΑ θα οδηγείται από αυτόνομα κοινόχρηστα οχήματα μέχρι το έτος 2030 (Higgins, 2017).

Ως εκ τούτου τα οχήματα της αυτόνομης καινοτομίας θα προσφερθούν ως επί το πλείστον ως συνδρομητικές υπηρεσίες ενοικίασης ή «ταξί» (Σουρής, 2017). Ο χρήστης- επιβάτης ενδεχομένως να έχει τη δυνατότητα να «καλεί» το αυτόνομο όχημα χρησιμοποιώντας το κινητό του τηλέφωνο και να μεταφέρεται στον προορισμό της αρεσκείας του. Από τη στιγμή που η διαδρομή θα ολοκληρώνεται, το όχημα θα αποδεσμεύεται και θα είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο από κάποιον άλλο χρήστη.

Σαν αποτέλεσμα θα επέλθει αισθητή μείωση του συνολικού αριθμού των οχημάτων, πράγμα που θα επιφέρει βελτίωση στη ρύθμιση της οδικής κυκλοφορίας και θα απελευθερώσει σημαντικό μέρος του αστικού περιβάλλοντα χώρου.

- *Βελτίωση οδικού σχεδιασμού*

Τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά την ασφάλεια των μεταφορών και να περιορίσουν τον αριθμό των αυτοκινητικών συμβάντων, σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ανάγκη εγκατάστασης προστατευτικών μηχανισμών να γίνεται ολοένα και μικρότερη. Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος που καταλαμβάνεται από τα συστήματα αναχαίτισης οχημάτων, όπως τα στηθαία ασφαλείας ή οι διαχωριστικές νησίδες, μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποστήριξη άλλων δραστηριοτήτων, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος της υφιστάμενης υποδομής.

Παράλληλα, η αυτόνομη λειτουργία της οδήγησης συμβάλλει στην αποδοτικότερη διαχείριση της στάθμευσης, αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι ένα μέσο όχημα «περνάει» το 80% του χρόνου ζωής του όντας σταθμευμένο στο σπίτι και περίπου το 16% σε κάποιο άλλο μέρος, ενώ μόλις το 3-4% του χρόνου ζωής του βρίσκεται εν κινήσει (Bates & Leibling, 2012). Η χρήση των αυτόνομων οχημάτων ως «ταξί», όπως αναφέρεται παραπάνω, θα μειώσει το χρόνο που αυτά βρίσκονται παρκαρισμένα, γεγονός που με τη σειρά του θα μειώσει τον απαιτούμενο χώρο για τη στάθμευση αλλά και την κυκλοφοριακή συμφόρηση λόγω των περι-πορειών

που πραγματοποιούνται αναζητώντας μια θέση στάθμευσης (Σουρής, 2017). Οι μικρότεροι σε αριθμό χώροι στάθμευσης μπορούν, επίσης, να αναδιαμορφωθούν κατασκευαστικά κατά το βέλτιστο ώστε να αυξήσουν τη συνολική χωρητικότητα της υποδομής, ενώ ενδείκνυται η δημιουργία μεγάλων πάρκων στάθμευσης εκτός πόλης, στα οποία τα οχήματα θα αυτό-σταθμεύονται, ελευθερώνοντας έτσι πολύτιμο χώρο εντός του αστικού δικτύου (Σουρής, 2017).

- *Αποδοτικότερη διεκπεραίωση εμπορευματικών μεταφορών*

Είναι πλέον γεγονός ότι τα αυτόνομα φορτηγά οχήματα μπορούν να αναλάβουν σημαντικό μέρος της διαδικασίας της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ήδη, πολλά αυτόνομα μοντέλα μεταφοράς αγαθών και προϊόντων λειτουργούν σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα όπως λιμάνια, αεροδρόμια ή ορυχεία ή δοκιμάζονται σε μεγάλα αστικά δίκτυα, συμπεριλαμβανόμενων των δρόμων των ΗΠΑ και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (International Transport Workers' Federation, 2017). Στις σύγχρονες αποθήκες τα αυτόνομα φορτωτικά οχήματα φορτώνουν και ξεφορτώνουν εμπορεύματα κάνοντας χρήση προηγμένων αισθητήρων και τεχνολογίας γεω-καθοδήγησης (Vickery, 2017).

Τα φορτηγά οχήματα χωρίς οδηγό θα καταστήσουν αποτελεσματικότερη τη διακίνηση αγαθών καθώς αναμένεται να επέλθει σημαντική μείωση του κόστους και του χρόνου μεταφοράς. Ταυτόχρονα, θα υπάρξει αισθητή μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων, τα προϊόντα θα παραδίδονται με ασφάλεια στον πελάτη, ενώ ενδέχεται να αντιμετωπιστεί η αναδυόμενη έλλειψη επαγγελματιών οδηγών που αντιμετωπίζει η βιομηχανία των μεταφορών (International Transport Workers' Federation, 2017).



Εικόνα 6.3: Αυτόνομα οχήματα παραλαμβάνουν εμπορευματοκιβώτια και τα μεταφέρουν εντός του λιμανιού στο Λος Άντζελες. [Πηγή]: (Lippert, 2016)

Σε δεύτερη ανάλυση και σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτουν εμμέσως τα εξής πλεονεκτήματα:

- Απαλλαγή από το άγχος και το στρες του οδηγικού έργου
- Αποδοτικότητα στην κατανάλωση καυσίμων
- Αύξηση των ορίων ταχύτητας
- Περιορισμός ανάγκης για αστυνόμευση (Μπουραζάνης, 2016)
- Μειωμένη ανάγκη ασφαλιστικής κάλυψης (Μπουραζάνης, 2016)
- Ομαλότερη οδήγηση
- Μείωση υποδομών οδικής σήμανσης και σηματοδότησης

6.2. Μειονεκτήματα

Εν συνεχεία, τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας παρουσιάζονται ως εξής:

- *Μείωση θέσεων εργασίας*

Η είσοδος των αυτόνομων οχημάτων στην αγορά ενδέχεται να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό επαγγέλματα που σχετίζονται άμεσα, ή και έμμεσα, με τη λειτουργία της οδήγησης. Αρχικά, θα προκύψει μείωση της ζήτησης για επαγγελματίες οδηγούς, ιδιαίτερα για οδηγούς ταξί και λεωφορείων, καθώς η αυτόνομη μεταφορά θα είναι κατά πολύ πιο προσιτή όσον αφορά το κόμιστρο και το καύσιμο κατανάλωσης. Ταυτόχρονα, οι θέσεις εργασίας για τεχνικούς αυτοκινήτων θα περιοριστούν εξαιτίας της αξιοσημείωτης μείωσης των τροχαίων ατυχημάτων (Σουρής, 2017).

- *Κόστος αγοράς και συντήρησης*

Όλα τα οφέλη των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων πηγάζουν από το γεγονός ότι είναι εξοπλισμένα με τις πιο σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές, όμως η εγκατάσταση αυτών των συστημάτων σήμερα είναι εξαιρετικά δαπανηρή. Αυτό σημαίνει ότι η αγορά αλλά και η συντήρηση ενός τέτοιου οχήματος δεν θα είναι προσιτή στο μέσο καταναλωτή και, κατά συνέπεια, θα είναι πιθανός ο περιορισμός του αγοραστικού κοινού στα ανώτερα οικονομικά στρώματα.

- *Αυξημένο κόστος εξοπλισμού της οδικής υποδομής*

Για την ασφαλή κυκλοφορία των οχημάτων χωρίς οδηγό απαιτείται σε κάθε περίπτωση ανασχεδιασμός και ανακατασκευή του συνόλου του οδικού δικτύου, ώστε αυτό να προσαρμόζεται στις ανάγκες κίνησής τους. Για παράδειγμα, οι φωτεινοί σηματοδότες θα πρέπει να μετατραπούν από αναλογικοί σε ψηφιακοί για να μπορούν να ερμηνευτούν τόσο από τους χρήστες όσο και από τα υπολογιστικά συστήματα των αυτοκινήτων. Η ριζική αυτή αλλαγή της υποδομής θα είναι σε κάθε περίπτωση οικονομικά δυσβάσταχτη, όπως και χρονοβόρα.

- *Ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων*

Η λειτουργία των διασυνδεδεμένων και αυτόνομων οχημάτων προϋποθέτει την ανταλλαγή πληροφοριών, οι οποίες ενδέχεται να προσπίπτουν στην κατηγορία των προσωπικών δεδομένων. Ως εκ τούτου, προκύπτουν εύλογα ερωτήματα σχετικά με την προστασία των προσωπικών δεδομένων και το κατά πόσο αυτά είναι πιθανό σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος να διακυβευτούν.

- *Μειωμένη απόδοση συστημάτων*

Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία των υπολογιστών εξελίσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, πάντα θα υπάρχει η ανησυχία για ενδεχόμενη αστοχία των συστημάτων που είναι υπεύθυνα για την λειτουργία του οχήματος. Σε περίπτωση μιας τέτοιας δυσλειτουργίας, τα αποτελέσματα και η σφοδρότητα των συγκρούσεων πιθανόν να είναι ολέθρια, σε σχέση με οποιοδήποτε ατύχημα μπορεί να προκαλέσει ο άνθρωπος (Goodman, 2016).

Σε δεύτερη ανάλυση τα συστήματα των αυτόνομων οχημάτων ενδέχεται να μην ανταποκρίνονται ή να υπολειτουργούν σε κακές καιρικές συνθήκες, να παρέχουν ελλιπή επικοινωνία και να απαιτούν συνεχείς αναβαθμίσεις.

- *Hacking*

Λόγω της μεγάλης συνδεσιμότητας το αυτόνομο όχημα είναι επιρρεπές στις ηλεκτρονικές επιθέσεις- hacking, ενώ ελλοχεύει ο κίνδυνος παρεμβολών στο σύστημα και στην κατεύθυνση κίνησης. Τα οχήματα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως αυτοκινούμενοι στόχοι σε τρομοκρατικές ενέργειες (Goodman, 2016) ή και να ρυθμιστούν ώστε να εκτελέσουν τη μεταφορά διαφόρων παράνομων προϊόντων.

- *Νομικά ζητήματα*

Λόγω του ότι η εξεταζόμενη τεχνολογία είναι σχετικά νέα, δεν έχει ακόμη θεσπιστεί ειδική νομοθεσία που να εξασφαλίζει περίπλοκα ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η ανάληψη ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος. Τα νομικά ζητήματα που προκύπτουν από τη χρήση των αυτόνομων οχημάτων, καθώς και οι προσπάθειες δημιουργίας επαρκούς ρυθμιστικού πλαισίου αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

- *Ηθικά ζητήματα*

Ταυτόχρονα, προκύπτουν ηθικά ζητήματα αναφορικά με τη λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις που μια σύγκρουση είναι αναπόφευκτη. Συγκεκριμένα, τα υπολογιστικά συστήματα θα κληθούν να εκτελέσουν τη λιγότερο επιβλαβή ενέργεια, χωρίς όμως να έχουν τη δυνατότητα κρίσης. Για παράδειγμα, ένα όχημα χωρίς οδηγό ενδεχομένως να βρεθεί αντιμέτωπο με το δίλλημα να προσκρούσει

πάνω σε μια ομάδα μαθητών ή να πέσει από μια γέφυρα με αποτέλεσμα το θάνατο όλων των επιβατών (Goodman, 2016).

- *Αύξηση χρήσης οχημάτων*

Η βελτίωση της άνεσης της μετακίνησης ενδέχεται να αυξήσει τη χρήση των αυτόνομων οχημάτων με αποτέλεσμα να προκύψουν διαφορετικής φύσης ζητήματα όπως αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των εκπεμπόμενων ρύπων.

- *Απώλεια εμπειρίας οδήγησης*

Από τη στιγμή που οι «οδηγοί» θα συνηθίζουν ολοένα και περισσότερο στην ιδέα ότι το όχημα είναι εκείνο που εκτελεί το οδηγικό έργο, η ικανότητα και η εμπειρία τους στη χειροκίνητη οδήγηση θα μειώνεται με το χρόνο (Goodman, 2016). Αυτό σημαίνει ότι ενδεχομένως να μην είναι σε θέση να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στα καθήκοντα της οδήγησης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

6.3. SWOT analysis

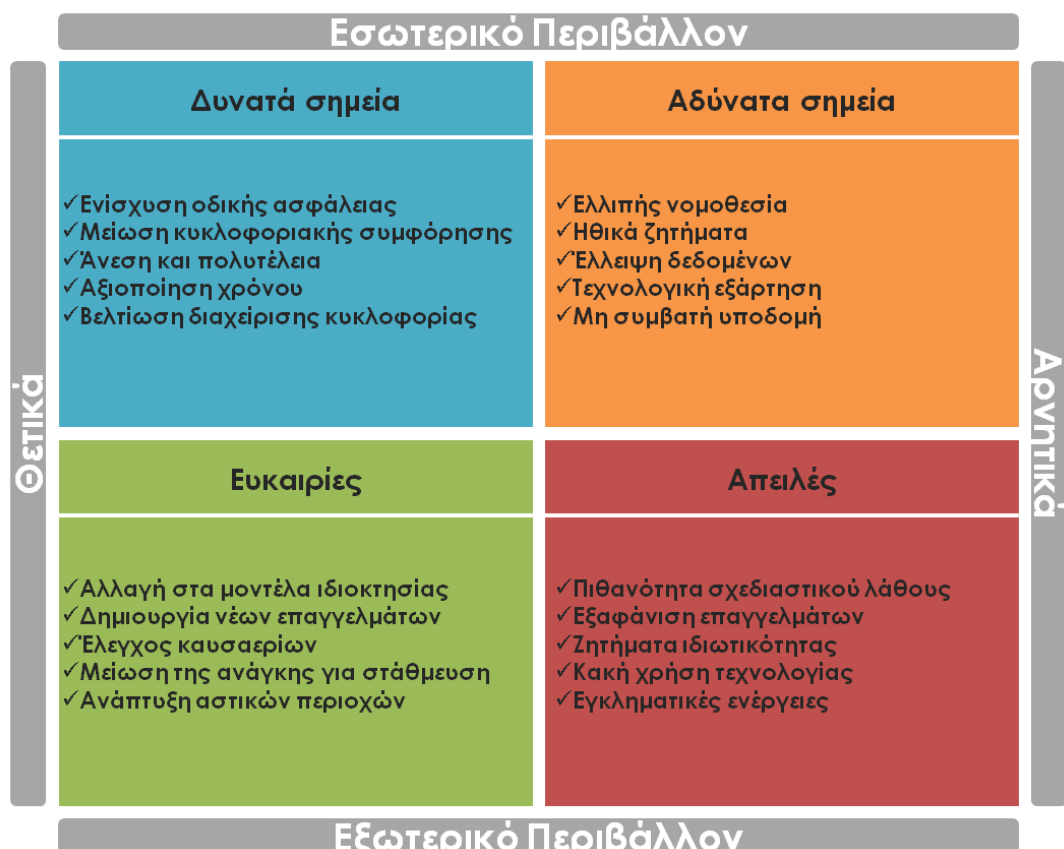
Η ανάλυση SWOT αποτελεί ένα εργαλείο σχεδιασμού, στρατηγικής σημασίας σχετικά με την ανάλυση του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος μιας επιχείρησης, όταν αυτή καλείται να λάβει μια απόφαση σε σχέση με τους στόχους που έχει θέσει και με σκοπό την εκπλήρωσή τους (KEMEL, 2014). Το μοντέλο εξετάζει τα δυνατά (strengths) και αδύνατα σημεία (weaknesses), καθώς και τις ευκαιρίες (opportunities) και τις απειλές (threats) που προκύπτουν κατά την αξιολόγηση της τωρινής κατάστασης που διέπει μια επιχείρηση, μια υπηρεσία ή ένα προϊόν, ώστε να παρθούν τα ανάλογα μέτρα για την εκπλήρωση ενός μελλοντικού σχεδίου.

Όσον αφορά το πεδίο των αυτόνομων οχημάτων, η ανάλυση SWOT παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.4. Χαρακτηριστικά, στα ισχυρά σημεία κατατάσσεται αναμφισβήτητα η ασφαλέστερη διεκπεραίωση των οδικών μεταφορών, που έρχεται ως απόρροια της εξάλειψης του ανθρώπινου λάθους, η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η άνεση και η πολυτέλεια, καθώς και όλα τα πλεονεκτήματα που έχουν ήδη αναφερθεί. Τα δυνατά σημεία της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας είναι εκείνα που καθιστούν τα οχήματα χωρίς οδηγό ανταγωνιστικά ως προϊόν σε σχέση με τα αντίστοιχα συμβατικά.

Αντίθετα, τα αδύνατα σημεία της ανάλυσης αφορούν παράγοντες οι οποίοι αποτελούν ενδογενή αδυναμία της επιχείρησης ή της υπηρεσίας και οφείλουν να βελτιωθούν ή να αποφευχθούν. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφονται τα σημεία στα οποία η εξεταζόμενη καινοτομία υστερεί έναντι ανταγωνισμού (KEMEL, 2014), όπως είναι το ανεπαρκές ρυθμιστικό πλαίσιο και τα ηθικά ζητήματα, η μη συμβατή με την τεχνολογία υποδομή και η τεχνολογική εξάρτηση.

Οι ευκαιρίες που παρουσιάζονται στην ανάλυση SWOT των αυτόνομων μεταφορών είναι φαινομενικά απεριόριστες (Self Driving Car, 2014). Η δημιουργία νέων επαγγελμάτων, η μείωση των εκπομπών καυσαερίου χάρη στην ηλεκτροκίνηση, η αλλαγή στα μοντέλα ιδιοκτησίας και η μείωση της ανάγκης για τοπική στάθμευση εντοπίζονται στη μελέτη του εξωτερικού περιβάλλοντος δραστηριοποίησης της αυτόνομης τεχνολογίας και αποτελούν ενδιαφέρουσες τάσεις για την περιοχή. Συνήθως, το άνοιγμα των ευκαιριών έγκειται στην ανασκόπηση των δυνατών σημείων ή, εναλλακτικά, στην διερεύνηση των αδυναμιών με σκοπό την εξάλειψή τους (ΚΕΜΕΛ, 2014).

Παρά το γεγονός ότι οι ευκαιρίες που προκύπτουν με την εισαγωγή των αυτόνομων οχημάτων είναι αναρίθμητες, οι κίνδυνοι που ενδέχεται να εμφανιστούν είναι απρόβλεπτοι. Η εξαφάνιση μιας πληθώρας επαγγελματικών κλάδων στους οποίους απασχολείται σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό του εργατικού δυναμικού, τα ζητήματα ιδιωτικότητας και κυρίως η πιθανότητα τραυματισμού λόγω σχεδιαστικού σφάλματος αποτελούν εμπόδια για τα αυτοματοποιημένα συστήματα και απειλούν την ουσιαστική αποδοχή τους από το ευρύ κοινωνικό σύνολο.



Εικόνα 6.4: Ανάλυση SWOT αυτόνομων οχημάτων.

6.4. Θεωρία κυκλοφοριακής ροής και βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη

Για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης των οχημάτων χωρίς οδηγό στα κυκλοφοριακά μεγέθη αξίζει να αναφερθεί η έννοια της κυκλοφοριακής ροής, η θεωρία της οποίας ασχολείται κατά κύριο λόγο με ζητήματα που αφορούν τη κίνηση οχημάτων και ιδιαίτερα με εκείνα που συνδέονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Κάνοντας χρήση ειδικά διαμορφωμένων μαθηματικών μοντέλων, η παραπάνω θεωρία στοχεύει στην κατανόηση των φαινομένων που σχετίζονται με τη μετακίνηση μεμονωμένων οχημάτων κατά μήκος μιας οδού, καθώς αυτά αλληλεπιδρούν με τα υπόλοιπα οχήματα (Αλεξίου, 2008). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές καθορίζουν με τη σειρά τους τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των οδών κυκλοφορίας, όπως είναι η κυκλοφοριακή ικανότητα και τα επίπεδα εξυπηρέτησης της κυκλοφοριακής ροής.

6.4.1. Βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κυκλοφορίας είναι αναγκαία για τη μελέτη και το σχεδιασμό της εκάστοτε οδικής υποδομής, αφού καθορίζουν τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά το είδος της κυκλοφοριακής ροής για την υφιστάμενη υποδομή. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η κυκλοφοριακή ροή προσδιορίζεται με βάση τα εξής κυκλοφοριακά μεγέθη:

- *Κυκλοφοριακός φόρτος q* : Είναι ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από τη διατομή μιας λωρίδας ή οδού κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος. Το μέγεθος αυτό μετράται συνήθως σε οχήματα ανά ώρα.
- *Μέση χρονική ταχύτητα v_t* : Αφορά τον αριθμητικό μέσο όρο των ταχυτήτων των οχημάτων που περνούν από μια διατομή της οδού για δεδομένο χρονικό διάστημα και αποτιμάται συνήθως χιλιόμετρα ανά ώρα.
- *Μέση χωρική ταχύτητα v_s* : Σχετίζεται με τον αριθμητικό μέσο όρο των ταχυτήτων όλων των οχημάτων σε μια ορισμένη χρονική στιγμή σε ένα δεδομένο μήκος της οδού. Οι μονάδες μέτρησης είναι επίσης τα χιλιόμετρα ανά ώρα.
- *Πυκνότητα κυκλοφορίας k* : Ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε μία δεδομένη χρονική στιγμή κατά μήκος της οδού, ενώ μετράται κατά κύριο λόγο σε οχήματα ανά χιλιόμετρο. Εναλλακτικά, αναφέρεται και ως *χρονική κατάληψη (o)* που ορίζεται από το ποσοστό της μονάδας χρόνου που ένα σημείο της οδού καταλαμβάνεται από διερχόμενα οχήματα (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986).

Με την υπόθεση ότι οι επικρατούσες συνθήκες κατά μήκος του οδικού τμήματος είναι σταθερές, τα μεγέθη αυτά συνδέονται μεταξύ τους μέσω της θεμελιώδους σχέσης της κυκλοφοριακής ροής:

$$q = v_s \cdot k \quad (6.1)$$

Από την Εξίσωση 6.1 αντιλαμβάνεται κανείς ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος της πυκνότητας, άλλο τόσο μειώνεται η ταχύτητα κίνησης. Με άλλα λόγια, καθώς αυξάνεται η κυκλοφοριακή πυκνότητα οι αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων μικραίνουν με συνέπεια να ελαττώνεται η ταχύτητα και το σύστημα να φτάνει σε μια κατάσταση κορεσμού (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986).

Εδώ, αξίζει να αναφερθεί ο όρος *διαχωρισμός (headway)*, ο οποίος διακρίνεται στον *χωρικό διαχωρισμό H_s* που αφορά την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων σε m ανά όχημα και στον *χρονικό διαχωρισμό H_t* που σχετίζεται με το χρόνο μεταξύ των διελεύσεων δύο διαδοχικών οχημάτων από μια συγκεκριμένη διατομή.

6.4.2. Κυκλοφοριακή ικανότητα και επίπεδα εξυπηρέτησης

Η κυκλοφοριακή ικανότητα συνδέεται άμεσα με την έννοια της *χωρητικότητας c* η οποία ορίζεται ως ο μέγιστος ωριαίος ρυθμός διάσχισης μιας διατομής ή οδικού τμήματος κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου και για συγκεκριμένες επικρατούσες συνθήκες (Κοπελιάς, 2016). Ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που διασχίζει τη διατομή ταυτίζεται με τον *μέγιστο κυκλοφοριακό φόρτο q_{max}* .

Ο καθορισμός της κυκλοφοριακής ικανότητας με βάση κάποιες βασικές συνθήκες είναι απαραίτητος, αφού δίνει την εικόνα του μέγιστου κυκλοφοριακού φόρτου που δύναται να εξυπηρετηθεί από ένα οδικό τμήμα. Συγκεκριμένα, κάνοντας χρήση των κατάλληλων συντελεστών μείωσης είναι εφικτό να εκτιμηθεί η πραγματική χωρητικότητα της οδού, ανάλογα με το πόσο διαφέρουν οι επικρατούσες συνθήκες από τις βασικές (Γιαννής, et al., 2004).

Ενδεικτικές τιμές της κυκλοφοριακής ικανότητας για μια οδό που λειτουργεί υπό βασικές κυκλοφοριακές συνθήκες είναι έως 2400 ΜΕΑ ανά λωρίδα ανά ώρα για αυτοκινητόδρομους ή έως 2200 ΜΕΑ σε οδούς με 4 ή περισσότερες λωρίδες (Γιαννής, et al., 2004).

Όσον αφορά το *επίπεδο ή στάθμη εξυπηρέτησης*, αυτό προσδιορίζεται ως ένα ποιοτικό μέγεθος που εκφράζει τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας σε ένα ρεύμα κυκλοφορίας, όπως τις αντιλαμβάνονται οι οδηγοί και οι επιβάτες (Γιαννής, et al., 2004). Η ταξινόμηση της στάθμης εξυπηρέτησης γίνεται σύμφωνα με το «Highway Capacity Manual» και λαμβάνει τιμές από το A έως το F καθώς οι συνθήκες κυκλοφορίας δυσχεραίνουν. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε στάθμης είναι τα εξής (Transportation Research Board, 2010), (Γιαννής, et al., 2004):

- *Επίπεδο εξυπηρέτησης A*: Συνθήκες ελεύθερης ροής με χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, μικρή κυκλοφοριακή πυκνότητα και υψηλές ταχύτητες,

οι οποίες προσδιορίζονται από τα καθορισμένα όρια ταχυτήτων ή την κρίση των οδηγών και ευνοούν την πραγματοποίηση ελιγμών.

- *Επίπεδο εξυπηρέτησης Β:* Σταθερή ροή με ταχύτητες που ξεκινούν να περιορίζονται. Οι οδηγοί έχουν ακόμη τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν ελιγμούς προσαρμόζοντας όμως σε ένα βαθμό την ταχύτητα κίνησης.
- *Επίπεδο εξυπηρέτησης C:* Συνθήκες σταθερής ροής αλλά με ταχύτητες και ελιγμούς που επηρεάζονται από τους υψηλότερους φόρτους κυκλοφορίας.
- *Επίπεδο εξυπηρέτησης D:* Προσέγγιση στην ασταθή ροή αλλά με ταχύτητες που διατηρούνται σε ανεκτό επίπεδο. Υπάρχουν μεταβολές στον κυκλοφοριακό φόρτο και οι περιορισμοί της ροής μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές πτώσεις στην ταχύτητα. Η πυκνότητα κυκλοφορίας είναι αρκετά μεγάλη και οι οδηγοί διαθέτουν μειωμένη ελευθερία ελιγμών.
- *Επίπεδο εξυπηρέτησης E:* Ασταθής ροή με κυκλοφοριακούς φόρτους που προσεγγίζουν την μέγιστη κυκλοφοριακή ικανότητα. Οι ταχύτητες λειτουργίας είναι χαμηλές και υπάρχουν αναγκαστικές διακοπές πορείας για μικρά χρονικά διαστήματα.
- *Επίπεδο εξυπηρέτησης F:* Αναγκαστική ροή με χαμηλές ταχύτητες όπου οι κυκλοφοριακοί φόρτοι βρίσκονται κάτω από την κυκλοφοριακή ικανότητα. Πρόκειται για εξαναγκασμένη ροή με φαινόμενα συμφόρησης, τα οποία προκύπτουν συνήθως από ουρές οχημάτων που δημιουργούνται από τους περιορισμούς της κυκλοφορίας και μεταφέρονται ως το εξεταζόμενο οδικό τμήμα. Οι ταχύτητες μειώνονται σημαντικά και προκύπτουν διακοπές πορείας για μικρά ή μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε ακραίες περιπτώσεις η ταχύτητα και επομένως ο κυκλοφοριακός φόρτος μπορούν να μηδενιστούν.

Η στάθμη μεταφορικής εξυπηρέτησης μπορεί να αξιολογηθεί από την άποψη του χρόνου ταξιδιού, τη συχνότητα, την ασφάλεια, την άνεση, τη χωρική κάλυψη ή την αξιοπιστία (Αλεξίου, 2008). Δεδομένου ότι η αξία των συστατικών του επιπέδου εξυπηρέτησης εκτιμάται από τη χρησιμότητα που αντλούν οι χρήστες του οδικού συστήματος, αυτά δεν καθορίζονται αλλά εξαρτώνται από τη κυκλοφοριακή ροή που επικρατεί σε κάθε σημείο σε κάθε χρονική στιγμή (Αλεξίου, 2008).

Στο σημείο αυτό αξίζει να γίνει η διάκριση του κυκλοφοριακού φόρτου και της κυκλοφοριακής ζήτησης. Η κυκλοφοριακή ζήτηση αφορά τον όγκο των οχημάτων που «ζητά» να χρησιμοποιήσει ένα οδικό τμήμα ή τα οχήματα που φτάνουν σε μια διατομή ή συσσωρεύονται σε ουρά (Κοπελιάς, 2016). Από την άλλη, ο κυκλοφοριακός φόρτος αφορά τον αριθμό των οχημάτων που τελικά διέρχεται της διατομής και συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των οχημάτων που διέρχονται μιας διατομής κάτω από την χωρητικότητα (Κοπελιάς, 2016).

6.5. Επιπτώσεις στα κυκλοφοριακά μεγέθη

Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος μεταφορών συνδέεται άρρηκτα με την χωρητικότητα της υφιστάμενης υποδομής. Όταν η υποδομή χρησιμοποιείται αποκλειστικά από αυτόνομα οχήματα, ή και από ένα ποσοστό αυτόνομων οχημάτων, η κυκλοφοριακή ικανότητα αναμένεται να διαφέρει από τις τιμές της αντίστοιχης κυκλοφοριακής ικανότητας που επηρεάζεται από τα συμβατικά οχήματα. Ταυτόχρονα, η χωρητικότητα εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα της συστοιχίας των οχημάτων και την ταχύτητα που αυτά διασχίζουν την εξεταζόμενη διατομή (Friedrich, 2016).

Τα συνακόλουθα οφέλη της βελτίωσης της κυκλοφοριακής χωρητικότητας στη μείωση των χρονικών καθυστερήσεων που βιώνουν οι χρήστες τις οδού αναμένονται να πραγματοποιθούν με διαφορετικό τρόπο στους διάφορους τύπους οδικών τμημάτων. Για παράδειγμα, οι αρτηρίες ή οι διασταυρώσεις εμπεριέχουν μεγαλύτερες «προκλήσεις» για ένα αυτόνομο όχημα σε σχέση με τους αυτοκινητόδρομους, εξαιτίας του πλήθους των χρηστών, συμπεριλαμβανομένων των πεζών, των οδικών σημάτων, των φωτεινών σηματοδοτών και των πιθανών σημείων σύγκρουσης (Kloostera & Roorda, 2017). Σε κάθε περίπτωση, η μείωση των χωρικών και χρονικών αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων, η κάλυψη του χρόνου αντίδρασης και οι σταθερές, κατά το δυνατό, ταχύτητες με τον παράλληλο έλεγχο της επιτάχυνσης θα μειώσουν τις αναταραχές στη ροή τη κυκλοφορίας και θα οδηγήσουν σε περισσότερο αξιόπιστους χρόνους δρομολογίου.

Ωστόσο, το γεγονός ότι τα οχήματα χωρίς οδηγό θα απαλλάξουν τον άνθρωπο από το οδηγικό έργο και συνεπώς θα μειώσουν το χρόνο που δαπανάται κατά τη διάρκεια της οδήγησης, ενδέχεται να επιφέρει νέες μετακινήσεις και, κατ' επέκταση, αύξηση των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων. Με άλλα λόγια, είναι αρκετά πιθανό η ενθάρρυνση της κινητικότητας να οδηγήσει σε επιπρόσθετη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Τέλος, ένα εξίσου σημαντικό ζήτημα αποτελεί η ταυτόχρονη κυκλοφορία αυτόνομων οχημάτων διαφορετικού επιπέδου αυτοματισμού ή αυτόνομων και χειροκίνητων οχημάτων στο ίδιο οδικό τμήμα.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται μερικές αξιολογικές έρευνες οι οποίες στοχεύουν στην ποσοτικοποίηση των οφελών που προκύπτουν λόγω της βελτίωσης της κυκλοφοριακής ικανότητας για διάφορα επίπεδα διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων στην αγορά. Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει διάφορα μοντέλα προσομοίωσης κυκλοφορίας, εξετάζοντας σενάρια λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων με σκοπό την αξιολόγηση της μελλοντικής απόδοσης της τεχνολογίας.

6.5.1. Επιπτώσεις σε αυτοκινητόδρομους

Στους αυτοκινητόδρομους ελεγχόμενης πρόσβασης η χωρητικότητα των λωρίδων κυκλοφορίας είναι συνάρτηση των αποστάσεων μεταξύ των οχημάτων (Kloostra & Roorda, 2017). Τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση του οδικού χώρου σε σχέση με τα σημερινά συμβατικά οχήματα, καθώς, όντας εξοπλισμένα με τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τους χρόνους αντίδρασης ή και να τους εκμηδενίσουν έχοντας τέλεια γνώση των κινήσεων των γύρω οχημάτων.

Η έρευνα του (Yokota, 1998) αξιολογεί τη βελτίωση της κυκλοφοριακής ροής σύμφωνα με το σύστημα Adaptive Cruise Control (ACC) το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, προσαρμόζει αυτόματα τη ταχύτητα ενός οχήματος ώστε να διατηρεί ασφαλείς αποστάσεις, και προτείνει ένα μοντέλο για τη βελτίωση της χωρητικότητας που είναι συνάρτηση του ποσοστού των οχημάτων που διαθέτουν το σύστημα αυτό. Κατά συνέπεια, η χωρητικότητα της λωρίδας σε μικτή κυκλοφορία δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = \frac{3600}{h_{ACC}P_{ACC} + h_{manual}(1 - P_{ACC})} \quad (6.2)$$

όπου Q: η χωρητικότητα σε επιβατικά αυτοκίνητα ανά ώρα ανά λωρίδα

h_{ACC} : ο χρονικός διαχωρισμός των οχημάτων που διαθέτουν σύστημα ACC σε δευτερόλεπτα

h_{manual} : ο χρονικός διαχωρισμός των χειροκίνητων οχημάτων σε δευτερόλεπτα

P_{ACC} : η αναλογία των οχημάτων με σύστημα ACC στη ροή κυκλοφορίας

Στο μοντέλο γίνεται η υπόθεση ότι κάθε όχημα που διαθέτει ACC διατηρεί την αναμενόμενη απόσταση ανεξάρτητα από το εάν το προπορευόμενο όχημα διαθέτει επίσης το σύστημα αυτό, το οποίο θα απαιτούσε πιθανή επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων υπό τη μορφή του συστήματος Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) (Kloostra & Roorda, 2017). Το σύστημα CACC είναι μια βελτιωμένη μορφή του συστήματος ACC σε συνδεδεμένο περιβάλλον.

Η έρευνα των (Shladover, et al., 2012) εξετάζει τις επιπτώσεις των τεχνολογιών ACC και CACC στη χωρητικότητα των λωρίδων αυτοκινητοδρόμου κάνοντας χρήση μικρο-προσομοιώσεων και συγκεκριμένα αξιολογεί την κυκλοφοριακή ικανότητα ενός τμήματος αυτοκινητοδρόμου με διαφορετικά ποσοστά διείσδυσης οχημάτων, με συστήματα ACC/CACC, στην κυκλοφορία. Η κατανομή των χρονικών και χωρικών αποστάσεων στην προσομοίωση βασίζεται και λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τις προτιμήσεις των χρηστών, οι οποίες προκύπτουν από μετρήσεις πραγματικής οδήγησης. Η έρευνα καταλήγει ότι τα οχήματα με συστήματα ACC προσδίδουν αμελητέα οφέλη στην κυκλοφοριακή ικανότητα, το πολύ έως 7%, λόγω του ότι οι οδηγοί τείνουν να επιλέγουν ρυθμίσεις αποστάσεων παρόμοιες με εκείνες που διατηρούνται κατά την χειροκίνητη οδήγηση. Από την άλλη, τα οχήματα με σύστημα CACC φαίνεται να διπλασιάζουν τη χωρητικότητα

των λωρίδων από 2000 σε 4000 οχήματα την ώρα, όταν αυτά διεισδύουν στη ροή κυκλοφορίας σε ποσοστό 100%.

Αναλυτικότερα, αναφέρεται η έρευνα των (Tientrakool, et al., 2011), η οποία αξιολογεί τη χωρητικότητα αυτοκινητοδρόμων ή εθνικών οδών όταν αυτή επηρεάζεται από χειροκίνητα οχήματα, οχήματα εξοπλισμένα με αισθητήρες ή οχήματα που διαθέτουν τόσο αισθητήρες όσο και συστήματα επικοινωνίας. Τα οχήματα που χρησιμοποιούν αισθητήρες είναι εξοπλισμένα με συστήματα ACC προκειμένου να διατηρούν μια ελεγχόμενη ταχύτητα, όπως και μια απόσταση ασφαλείας από τα προπορευόμενα οχήματα. Τα οχήματα με συστήματα επικοινωνίας μπορούν επιπλέον να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους σχετικά με τη ταχύτητα ή τη πέδηση και να συντονίζουν τη λειτουργία τους.

Για την αξιολόγηση των αποστάσεων ασφαλείας και της χωρητικότητας των λωρίδων εξετάστηκαν τρία σενάρια κυκλοφορίας:

Η αναλογία καθενός από τους τρεις τύπους οχημάτων ποικίλει, αλλά η ταχύτητα όλων των αυτοκινήτων ορίζεται στα 100 km/h.

Είναι παρόμοιο με το πρώτο σενάριο με τη διαφορά ότι υπάρχουν μόνο δύο, και όχι τρεις, τύποι οχημάτων στο δίκτυο του αυτοκινητόδρομου, δηλαδή χειροκίνητα οχήματα και οχήματα με αισθητήρες και σύστημα ACC ή χειροκίνητα οχήματα και οχήματα με συστήματα επικοινωνίας.

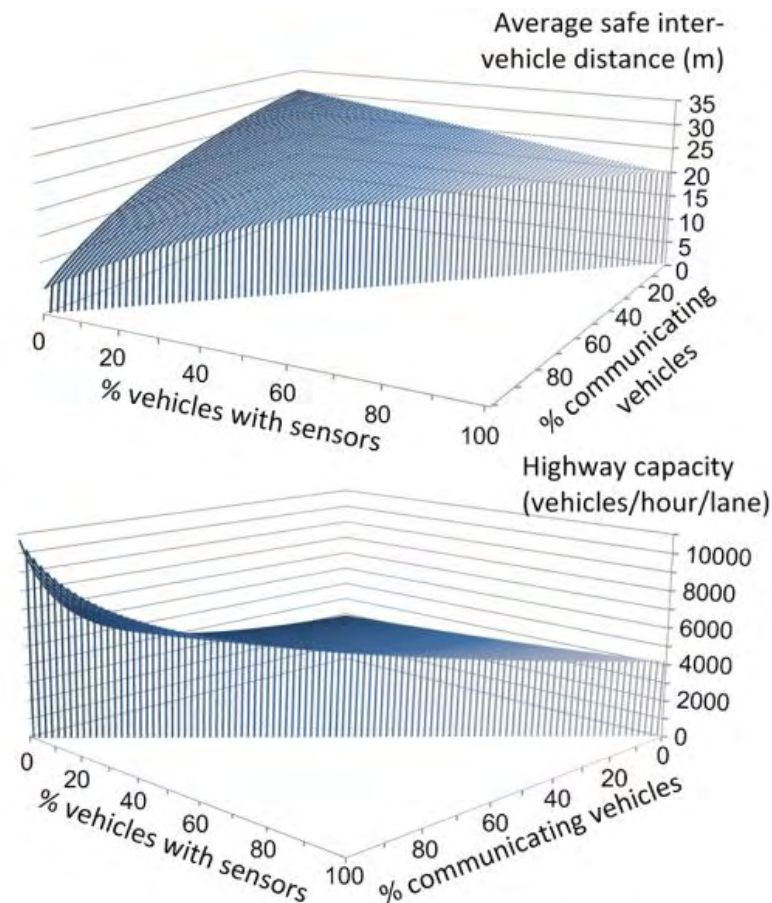
Οι ταχύτητες των οχημάτων ποικίλουν από 0 έως 120 km/h και υπάρχει μόνο ένας τύπος οχήματος στο δίκτυο.

Σε όλα τα σενάρια γίνονται, επίσης, οι εξής υποθέσεις:

- Όλα τα οχήματα κινούνται με την ίδια ταχύτητα.
- Ο μέγιστος και ο ελάχιστος ρυθμός επιβράδυνσης είναι $a_{\min} = -5 \text{ m/s}^2$ και $a_{\max} = -8,5 \text{ m/s}^2$, αντίστοιχα.
- Οι οδηγοί των χειροκίνητων οχημάτων διατηρούν χρονικούς διαχωρισμούς της τάξης των 1,1 δευτερολέπτων.
- Ο χρόνος έως ότου ένα όχημα με αισθητήρια συστήματα εντοπίσει μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης, για παράδειγμα όταν το προπορευόμενο όχημα φρενάρει αιφνιδίως, και ενεργοποιηθεί η αυτόματη πέδηση θεωρείται ίσος με $T_s = 0,245 \text{ s}$.
- Ο χρόνος T_c , που αφορά το χρόνο αντίδρασης ενός οχήματος με συστήματα επικοινωνίας έως ότου εντοπιστεί η κατάσταση έκτακτης ανάγκης και εφαρμοστεί η πέδηση, είναι ίσος με 0,181 s.
- Ο χρόνος $T_p = 0,081 \text{ s}$ είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη παράδοση μηνυμάτων σε όλα τα γειτονικά οχήματα, σε ένα πεδίο εντός 125 μέτρων από το όχημα αποστολής.
- Το μέσο μήκος των οχημάτων είναι 4,3 m.
- Ο χρόνος πέδησης είναι 0,1 δευτερόλεπτα.

Σύμφωνα με τα πορίσματα της μελέτης τόσο τα οχήματα με συστήματα ACC όσο και τα αυτοκίνητα με τεχνολογίες επικοινωνιών συμβάλλουν στη μείωση της

μέσης απόστασης μεταξύ των οχημάτων. Μολαταύτα, η μείωση των αποστάσεων ασφαλείας και η συνακόλουθη αύξηση της χωρητικότητας φαίνεται να είναι αποδοτικότερη στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων οχημάτων, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω διαγράμματα.

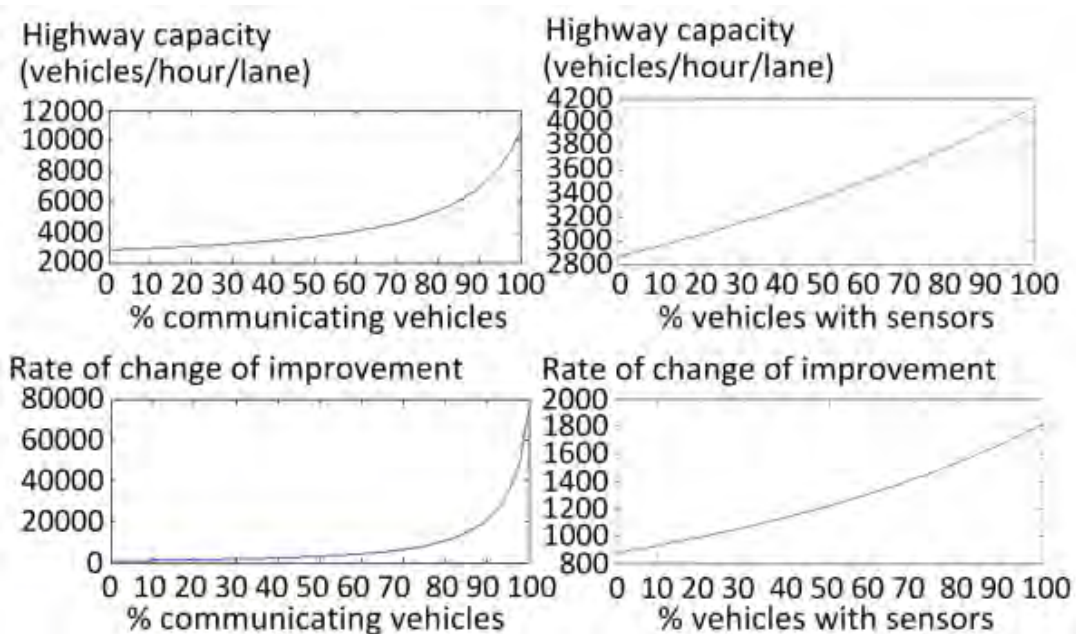


Διάγραμμα 6.1: Μέση απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων και εκτιμώμενη χωρητικότητα αυτοκινητοδρόμου σε ταχύτητα 100 km/h όταν τα ποσοστά των τριών τύπων οχημάτων ποικίλουν. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)

Η μέση απόσταση ασφαλείας από το προπορευόμενο όχημα όταν το 100% των οχημάτων κινούνται χειροκίνητα είναι περίπου 30,56 μέτρα. Η τιμή αυτή μειώνεται με την είσοδο έστω και ενός οχήματος με αισθητήρες ή με σύστημα τεχνολογίας στην λωρίδα κυκλοφορίας. Σε περίπτωση που όλα τα οχήματα είναι διασυνδεδεμένα η απόσταση ασφαλείας ανέρχεται στα 5,03 μέτρα, πράγμα που αντιστοιχεί σε 83,54% μείωση των σημερινών χωρικών διαχωρισμών. Από την άλλη, όταν τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με το σύστημα ACC, η μέση απόσταση ασφαλείας αγγίζει τα 19,91 μέτρα, δηλαδή προκύπτει μείωση της τάξης του 34,85%.

Η αύξηση της χωρητικότητας των λωρίδων κυκλοφορίας αναμένεται να είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση εφαρμογής της διασυνδεδεμένης τεχνολογίας.

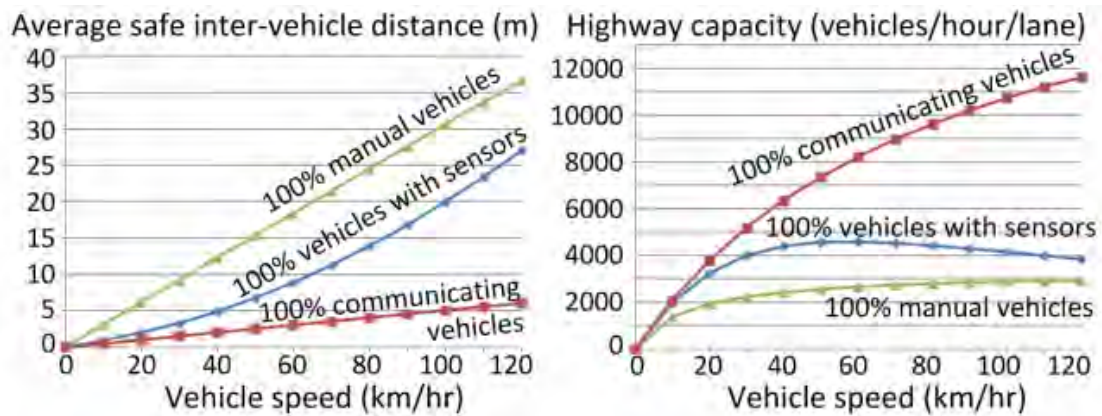
Συγκεκριμένα και σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, η μέση χωρητικότητα λωρίδας για τα σημερινά δεδομένα είναι 2869 οχήματα ανά ώρα και αυξάνεται στα 4131 οχήματα/ώρα/λωρίδα όταν αυτά εξοπλίζονται με έξυπνες τεχνολογίες. Η αύξηση αυτή αντιστοιχεί σε ποσοστό 43%. Εντυπωσιακά φαίνεται να είναι τα αποτελέσματα της μελέτης στην περίπτωση που το σύνολο των οχημάτων επικοινωνούν και ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους, καθώς η χωρητικότητα αγγίζει τα 10721 οχήματα/ώρα/λωρίδα. Η τιμή αυτή είναι 3,7 φορές μεγαλύτερη της χωρητικότητας που προκύπτει από τη λειτουργία των συμβατικών οχημάτων. Αναλύοντας το δεύτερο σενάριο, δηλαδή την κυκλοφορία χειροκίνητων και διασυνδεδεμένων οχημάτων ή χειροκίνητων και οχημάτων με αισθητήρες σε ταχύτητα 100 χιλιομέτρων ανά ώρα, παρατηρείται αύξηση της κυκλοφοριακής απόδοσης καθώς το ποσοστό αυτοκινήτων με ανθρώπινο χειριστή μειώνεται. Η χωρητικότητα των λωρίδων του αυτοκινητόδρομου, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα που ακολουθεί, βελτιώνεται με πολύ αργό ρυθμό όταν τα οχήματα με δυνατότητα επικοινωνίας συνυπάρχουν στη κυκλοφορία σε ποσοστό 30% ή λιγότερο, ενώ βελτιώνεται με αισθητά υψηλότερο ρυθμό όταν τα οχήματα αυτά αποτελούν το 85% της κυκλοφοριακής ροής. Στην περίπτωση των οχημάτων με αισθητήρια όργανα η βελτίωση είναι γραμμική και μικρότερη από την προαναφερθείσα εκδοχή.



Διάγραμμα 6.2: Ρυθμός βελτίωσης της χωρητικότητας σε ταχύτητα 100 km/h όταν το ποσοστό των οχημάτων με συστήματα επικοινωνίας/ με αισθητήρες ποικίλλει. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)

Αναφορικά με το σενάριο 3 και σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.3, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα κίνησης, η μέση απόσταση ασφαλείας για 100% κυκλοφορία οχημάτων με συστήματα ACC αυξάνεται με πολύ υψηλότερο ρυθμό σε σχέση με

την 100% κυκλοφορία διασυνδεδεμένων οχημάτων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μείωση της χωρητικότητας μετά την ταχύτητα των 57 km/h για αναλογία 100% οχημάτων με αισθητήρια συστήματα. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η ταχύτητα στην περίπτωση 100% κυκλοφορία οχημάτων με ικανότητα επικοινωνίας, αυξάνεται και η χωρητικότητα των λωρίδων αυτοκινητόδρομου.



Διάγραμμα 6.3: Μέση απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων και εκτιμώμενη χωρητικότητα αυτοκινητόδρομου όταν η ταχύτητα κίνησης ποικίλλει. [Πηγή]: (Tientrakool, et al., 2011)

6.5.2. Επιπτώσεις σε αρτηριακές οδούς και διασταυρώσεις

Τόσο οι αρτηριακές οδοί όσο και τα σημεία των διασταυρώσεων αποτελούν σημεία του οδικού δικτύου με δυσκολότερη διαχείριση της κυκλοφοριακής ροής εξαιτίας των υψηλών φόρτων που απαντώνται στα τμήματα αυτά γι' αυτό και ελέγχονται με τη βοήθεια κυκλοφοριακών σημάτων και φωτεινών σηματοδοτών. Συχνά, παρατηρείται το φαινόμενο σχηματισμού ουράς, καθώς τα οχήματα αναμένουν την πράσινη ένδειξη για να διασχίσουν τον κόμβο. Συνεπώς, οι αρτηρίες και οι διασταυρώσεις εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά κυκλοφοριακής συμφόρησης, όπως επίσης εμπεριέχουν περισσότερα σημεία πιθανής σύγκρουσης. Σε αυτή τη περίπτωση, η τεχνολογία της διασύνδεσης δύναται να βελτιστοποιήσει τον συγχρονισμό των σημάτων και να ελαχιστοποιήσει τις καθυστερήσεις στις διασταυρώσεις, ιδιαίτερα σε σενάρια χαμηλού ή μεσαίου φόρτου (Kloostra & Roorda, 2017).

Στην έρευνα του (Goodall, 2013) αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος ελέγχου δυναμικού κυκλοφοριακού σήματος και λαμβάνονται υπόψη στοιχεία όπως η θέση, η κατεύθυνση και η ταχύτητα που αναμεταδίδονται μέσω των διασυνδεδεμένων οχημάτων. Σύμφωνα με τα πορίσματα του αλγορίθμου, η απόδοση του συστήματος μεταφορών διατηρείται ή βελτιώνεται ιδιαίτερα στην περίπτωση των χαμηλών ή μεσαίων φόρτων.

Η έρευνα των (Dresner & Stone, 2008) προτείνει μια ριζοσπαστική προσέγγιση για την διαχείριση των διασταυρώσεων με σκοπό την αντικατάσταση της ανάγκης για σηματοδότηση. Σύμφωνα με τη μελέτη, ένα σύστημα ελέγχου διαχείρισης διαμεταφοράς δύναται να ελαχιστοποιήσει τις καθυστερήσεις σε λιγότερο από 3

δευτερόλεπτα κατά μέσο όρο ακόμα και σε υψηλά επίπεδα κυκλοφορίας, όταν περισσότερο από το 90% των οχημάτων κινούνται αυτόνομα. Ακόμη και με μηδενική παρέμβαση στην υφιστάμενη υποδομή και στο σύστημα σηματοδότησης, οι μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων και οι συντομότεροι χρόνοι εκκίνησης υπονοούν ότι τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικότερα την υποδομή και να αξιοποιήσουν το χρόνο πράσινης ένδειξης, αυξάνοντας έτσι τη χωρητικότητα του οδικού τμήματος.

Η έρευνα των (Levin, et al., 2017) προσομοιώνει τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων εντός του αστικού δικτύου του Ώστιν στο Τέξας μέσω ενός δυναμικού μοντέλου ελέγχου κυκλοφορίας. Σύμφωνα με τα πορίσματα της έρευνας, η αύξηση της χωρητικότητας των αρτηριακών λωρίδων επιφέρει μείωση της τάξης του 51% στο χρόνο δρομολογίου. Κάνοντας χρήση ενός συστήματος ελέγχου διασταύρωσης (reservation-based intersection control), κατά το οποίο τα οχήματα επικοινωνούν ασύρματα με το κέντρο διαχείρισης της διασταύρωσης, είναι εφικτό να βελτιστοποιηθεί η χρήση του οδικού χώρου και να μειωθούν οι χρονικές καθυστερήσεις. Η μείωση αυτή στο χρόνο μεταφοράς ανέρχεται στο 78% των σημερινών δεδομένων.

Από τη στιγμή που οι αρτηριακές οδοί και οι διασταυρώσεις αποτελούν ένα εξαιρετικά δυσκολότερο περιβάλλον για την αυτόνομη τεχνολογία, αφού χαρακτηρίζονται από χρονικές καθυστερήσεις που προέρχονται κατά κύριο λόγο από αντικρουόμενες κινήσεις και από τη κυκλοφορία των πεζών, τα οφέλη της καινοτομίας δεν αναμένονται να είναι το ίδιο αισθητά με την περίπτωση των αυτοκινητοδρόμων (Kloostera & Roorda, 2017). Χαρακτηριστικά, η έρευνα των (Fagnant & Kockelman, 2014) εκτιμά ότι τα οφέλη στη μείωση της συμφόρησης στις διασταυρώσεις θα είναι 5%, 10% και 15% για 10%, 50% και 90% ποσοστό αυτόνομων οχημάτων, αντίστοιχα.

Στις διασταυρώσεις με φωτεινούς σηματοδότες και σε υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους, προκύπτουν συχνά ουρές ανεξάρτητα από τον συντονισμό των φαναριών, εξαιτίας του γεγονότος ότι όταν τα οχήματα είναι ελεύθερα να κινηθούν με την πράσινη ένδειξη, ξεκινούν από μια κατάσταση ακινησίας. Όταν το πρώτο όχημα αναχωρεί με την πράσινη ένδειξη, το επόμενο ακολουθεί εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, το οποίο για τα δεδομένα της μελέτης του (Friedrich, 2016) σε διασταυρώσεις Γερμανικών αστικών οδών λαμβάνεται ίσο με $t_b=1.8$ s. Ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί σε ροή κορεσμού ίση με $q_s=2000$ οχήματα/ώρα. Για τα βαρέα οχήματα θεωρείται $t_b=3,15$ s και $t_b=4,5$ s για τα ημιρυμουλκούμενα φορτηγά.

Σε κάθε περίπτωση ο χρόνος αναχώρησης εξαρτάται από την κίνηση των προπορευόμενων οχημάτων. Έτσι, ο χρόνος ανταπόκρισης στην αναχώρηση του μπροστινού οδηγού θεωρείται ίσος με $T_h=0.6$ s. Για τα δεδομένα της μελέτης ένα όχημα έχει μήκος 4,5 m, διατηρούμενη απόσταση ασφαλείας ίση με 3 m, μέσο αποτύπωμα μπροστά στο φωτεινό σηματοδότη ίσο με 7,5 m και μέση ταχύτητα

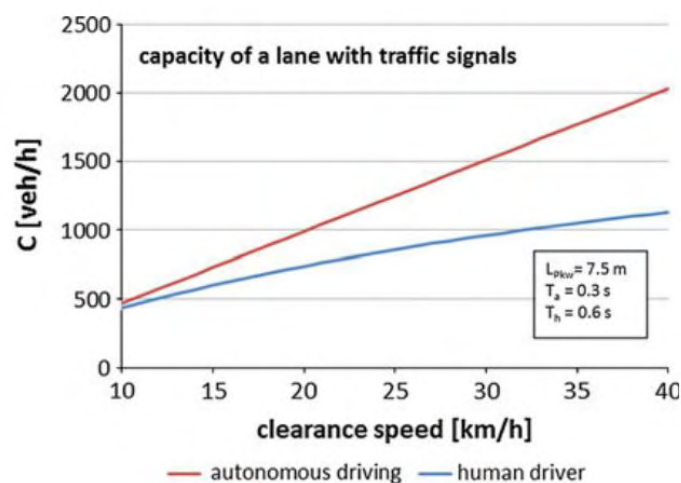
$v=22,5$ km/h. Κατά συνέπεια, ο φόρτος της κυκλοφοριακής ροής σε μια κυκλοφοριακή λωρίδα με φωτεινούς σηματοδότες δίνεται από την εξίσωση:

$$q_s = \frac{v}{vT_h + L} \quad (6.3)$$

Για την ανάλυση του φόρτου κορεσμού σε συνθήκες αυτόνομης και μικτής κυκλοφορίας χρησιμοποιούνται συσχετισμοί που προκύπτουν για τη χωρητικότητα οδικών τμημάτων με υποτιθέμενες τιμές για ουρές που σχηματίζονται στους φωτεινούς σηματοδότες. Ταυτόχρονα, εισάγονται οι μεταβλητές $T_a=0,3s$, $T_{aa}=0,3s$, $T_{ah}=0,6s$, $T_{hx}=0,6s$ (autonomous, autonomous-autonomous, autonomous-human, human-everything).

Στις τρέχουσες συνθήκες κυκλοφορίας όπου τα οχήματα ελέγχονται αποκλειστικά από τον άνθρωπο, η χωρητικότητα στις διασταυρώσεις φτάνει τα 800 οχήματα ανά ώρα ανά λωρίδα. Στην περίπτωση πλήρους αυτόνομης οδήγησης και με χρονική απόσταση $T_a=0,3s$, η χωρητικότητα ανέρχεται στα 1120 οχήματα ανά ώρα και ανά λωρίδα, δηλαδή προκύπτει αύξηση της τάξης του 40%.

Πέρα από τη διάρκεια των χρονικών καθυστερήσεων που προκύπτουν από τις αποστάσεις των οχημάτων, η ταχύτητα κίνησης δύναται να επηρεάσει σημαντικά την τιμή της χωρητικότητας. Σύμφωνα με τη μελέτη, τα αυτόνομα οχήματα έχοντας την ικανότητα να αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες διατηρώντας ταυτόχρονα τα επίπεδα ασφαλείας, αυξάνουν τη χωρητικότητα σε υψηλές ταχύτητες με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τη χειροκίνητη οδήγηση. Είναι πιθανόν, επομένως, με τη χρήση αυτόνομων αυτοκινήτων να επιτευχθούν ταχύτεροι χρόνοι αναχώρησης καθώς και μικρότερες καθυστερήσεις, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της κυκλοφοριακής χωρητικότητας.



Διάγραμμα 6.4: Χωρητικότητα μονής λωρίδας με φωτεινό σηματοδότη σε σχέση με την ταχύτητα.

[Πηγή]: (Friedrich, 2016)

6.5.3. Επιπτώσεις σε κυκλικούς κόμβους

Οι κυκλικοί κόμβοι αφορούν διασταυρώσεις κυκλικής μορφής, στις οποίες τα οχήματα κινούνται αριστερόστροφα γύρω από μια κεντρική νησίδα, ενώ δεν περιέχουν σήματα κυκλοφορίας και φωτεινούς σηματοδότες (Washington State Department of Transportation, 2018). Πρόκειται για οδικά τμήματα που υιοθετούνται ολοένα και περισσότερο στο σχεδιασμό έναντι των σηματοδοτούμενων κόμβων, καθώς εμφανίζουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προαναφερθέντα οδικά στοιχεία. Συγκεκριμένα (Washington State Department of Transportation, 2018):

- Βελτιώνουν την οδική ασφάλεια
- Αποτρέπουν την αύξηση της ταχύτητας πέρα από τα καθορισμένα όρια
- Περιορίζουν τις καθυστερήσεις και το σχηματισμό ουρών
- Εξοικονομούν χρηματικούς πόρους καθώς δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση φωτεινών σηματοδοτών
- Βελτιστοποιούν τη χρήση του οδικού χώρου

Στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων, τα τελευταία είναι σε θέση να διατηρούν μικρότερες αποστάσεις ασφαλείας όταν εισέρχονται σε μια κυκλική διασταύρωση (Shi & Prevedouros, 2016). Η απόσταση μεταξύ των οχημάτων είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται, επίσης, στην εκτίμηση της χωρητικότητας των κυκλικών κόμβων. Στην έρευνα των (Shi & Prevedouros, 2016), η οποία και αναλύεται παρακάτω, παρουσιάζεται η λειτουργική ανάλυση κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας με αυτόνομα οχήματα κάτω από διαφορετικές συνθέσεις κυκλοφορίας.

Η συγκεκριμένη έρευνα στηρίζεται στα πρότυπα του Highway Capacity Manual (HCM), το οποίο παρέχει ένα μοντέλο παλινδρόμησης για την εκτίμηση της χωρητικότητας κυκλικού κόμβου, το οποίο καταγράφει τη συμπεριφορά του οδηγού χρησιμοποιώντας δύο παραμέτρους διαχωρισμού:

- t_c - critical headway (s): Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την είσοδο ενός οχήματος στον κυκλικό κόμβο.
- t_f - follow-up headway (s): Η διαφορά χρόνου μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων που εισέρχονται στον κυκλικό κόμβο σε συνθήκες κορεσμού.

Οι παράμετροι αυτοί οφείλουν να βαθμονομούνται σε κάθε μοντέλο, επειδή οι τιμές τους ποικίλλουν ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τους κανόνες κυκλοφορίας και την εμπειρία του οδηγού.

Κατά τη μοντελοποίηση η χωρητικότητα του κόμβου προσδιορίζεται σύμφωνα με την αρνητική εκθετική εξίσωση κατανομής, υποθέτοντας ότι $t_c=5,19$ s και $t_f=3,19$ s ως εξής:

$$c = \frac{3600}{t_f} e^{-\frac{t_c - \frac{t_f}{2}}{3600} v_c} \quad (6.4)$$

όπου ο όρος v_c αφορά την αντικρουόμενη ροή.

Για το γεωμετρικό σχεδιασμό αστικών οδών συνιστάται ένας χρόνος αντίληψης 2,5 δευτερολέπτων, ενώ στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων ο χρόνος αυτός μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Ταυτόχρονα εισάγεται ο όρος P_D που σχετίζεται με την αναλογία των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφορία και οι αντίστοιχοι διαχωρισμοί t_{c-D} και t_{f-D} . Τότε οι προσαρμοσμένοι σταθμισμένοι μέσοι όροι είναι:

$$t'_c = (1 - P_D) \cdot t_c + P_D \cdot t_{c-D} \quad (6.5)$$

$$t'_f = (1 - P_D) \cdot t_f + P_D \cdot t_{f-D} \quad (6.6)$$

Σύμφωνα με τη βασική περίπτωση που μελετάται στο κεφάλαιο 21 του εγχειριδίου, η χρονική καθυστέρηση στον κυκλικό κόμβο είναι ίση με 35,2 δευτερόλεπτα, κατάσταση η οποία αντιστοιχεί σε επίπεδο εξυπηρέτησης E.

Με σκοπό την εύρεση των αντίστοιχων καθυστερήσεων στη διασταύρωση για την κυκλοφορία οχημάτων χωρίς οδηγό και για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της βασικής περίπτωσης, λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές επιδράσεις των διαφορετικών επιπέδων αυτονομίας των οχημάτων, οι αναλογίες των αυτόνομων οχημάτων στη κυκλοφοριακή ροή ($P_D = 0\%, 0,1\%, 1\%, 5\%, 10\%, 20\%, 30\%, 50\%, 60\%, 90\%, 100\%$) και οι αποστάσεις ασφαλείας τόσο για τα διασυνδεδεμένα όσο και για τα αυτόνομα οχήματα. Επίσης, συνυπολογίζεται ο μικρότερος χρόνος αντίδρασης που χαρακτηρίζει τα αυτόνομα και διασυνδεδεμένα οχήματα και μπορεί να επηρεάσει την απόδοση του συστήματος ως εξής:

- $t_{c-D} = 4,19$ s και $t_{f-D} = 2,19$ s για αυτόνομα οχήματα με χρόνο αντίδρασης 1,5 s
- $t_{c-D} = 3,19$ s και $t_{f-D} = 1,19$ s για διασυνδεδεμένα αυτόνομα οχήματα με χρόνο αντίδρασης 0,5 s

Στους Πίνακες 6.1 και 6.2 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των χρονικών διαχωρισμών, καθώς και εκείνα της χωρητικότητας της λωρίδας για τις διάφορες αναλογίες των CAVs στην κυκλοφορία. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται μείωση του χρόνου εισόδου των οχημάτων στον κυκλικό κόμβο με παράλληλη σταδιακή αύξηση της τιμής της χωρητικότητας. Ωστόσο, η βελτίωση της κυκλοφοριακής ικανότητας είναι περισσότερο αισθητή όταν το ποσοστό των διασυνδεδεμένων οχημάτων είναι διπλάσιο από αυτό των αυτόνομων. Σημειώνεται ότι τα οχήματα εξέρχονται από τον κόμβο δεξιόστροφα από τη δυτική (WB) και τη βόρεια (NB) λωρίδα.

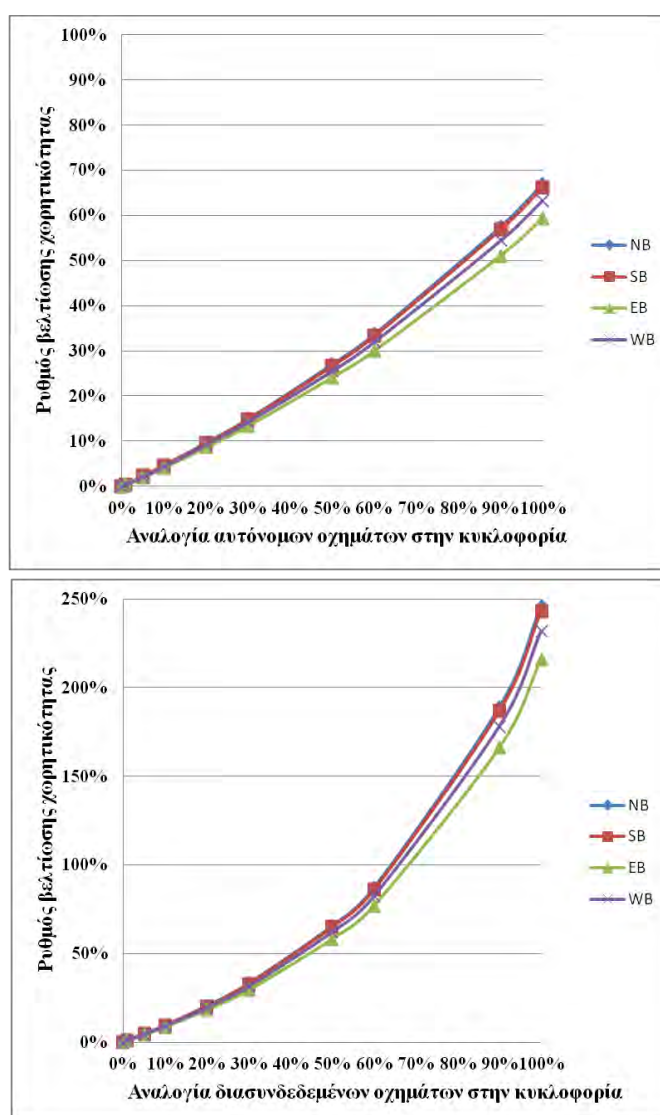
Πίνακας 6.1: Μέσοι χρονικοί διαχωρισμοί και χωρητικότητες για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)

P_D	0%	1%	5%	10%	20%	30%	50%	60%	90%	100%
t_c (s)	5,19	5,18	5,14	5,09	4,99	4,89	4,69	4,59	4,29	4,19
t_f (s)	3,19	3,18	3,14	3,09	2,99	2,89	2,69	2,59	2,29	2,19
c (NB) (veh/h/lane)	496	498	507	519	544	570	630	663	781	828
c (SB) (veh/h/lane)	513	515	525	537	562	589	650	684	805	853
c (EB) (veh/h/lane)	680	683	694	708	739	771	844	884	1027	1083
c WB) (veh/h/lane)	575	577	587	600	628	657	722	759	888	939

Πίνακας 6.2: Μέσοι χρονικοί διαχωρισμοί και χωρητικότητες για ποσοστά διείσδυσης διασυνδεδεμένων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)

P_D	0%	1%	5%	10%	20%	30%	50%	60%	90%	100%
t_c (s)	5,19	5,17	5,09	4,99	4,79	4,59	4,19	3,99	3,39	3,19
t_f (s)	3,19	3,17	3,09	2,99	2,79	2,59	2,19	1,99	1,39	1,19
c (NB) (veh/h/lane)	496	500	519	543	597	660	821	927	1432	1715
c (SB) (veh/h/lane)	513	518	536	561	617	681	846	954	1471	1760
c (EB) (veh/h/lane)	680	686	708	738	804	880	1076	1203	1810	2149
c WB) (veh/h/lane)	575	580	600	627	686	755	932	1048	1599	1908

Σύμφωνα με τα παραπάνω και κάνοντας χρήση της στατιστικής ανάλυσης, όταν η αναλογία των αυτόνομων οχημάτων είναι ίση με $PD = 100\%$, η χωρητικότητα αυξάνεται κατά 60-65%. Παράλληλα, όταν το ποσοστό διεύθυνσης αυτόνομων οχημάτων ξεπερνά το 50% η χωρητικότητα φαίνεται να αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό. Από την άλλη, το μέγεθος αυτό μεγαλώνει κατά 2,5 φορές όταν η κυκλοφορία απαρτίζεται αποκλειστικά από διασυνδεδεμένα οχήματα. Οι μικρότερες αποστάσεις που διατηρούν τα οχήματα αυτά διαμορφώνουν την τάση της βελτίωσης της κυκλοφοριακής ικανότητας σε καμπύλη γραμμή. Όσο αυξάνεται το ποσοστό αυτόνομων ή διασυνδεδεμένων οχημάτων, τόσο βελτιώνεται η κυκλοφοριακή χωρητικότητα της λωρίδας.



Διάγραμμα 6.5: Ρυθμός βελτίωσης χωρητικότητας για διάφορα ποσοστά αυτόνομων (επάνω) και διασυνδεδεμένων οχημάτων (κάτω). Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouras, 2016)

Η στάθμη εξυπηρέτησης στην οποία λειτουργεί ο κυκλικός κόμβος βασίζεται στις χρονικές καθυστερήσεις, οι οποίες μειώνονται καθώς αυξάνεται η αναλογία αυτοκινήτων χωρίς οδηγό. Ενδεικτικά, η μέση καθυστέρηση ανά όχημα μπορεί να μειωθεί κατά 2% με 1% ποσοστό αυτόνομων οχημάτων, κατά 29% με ποσοστό 20% και κατά 75% με 100% αυτόνομη κυκλοφορία.

Πίνακας 6.3: Χρονικές καθυστερήσεις για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)

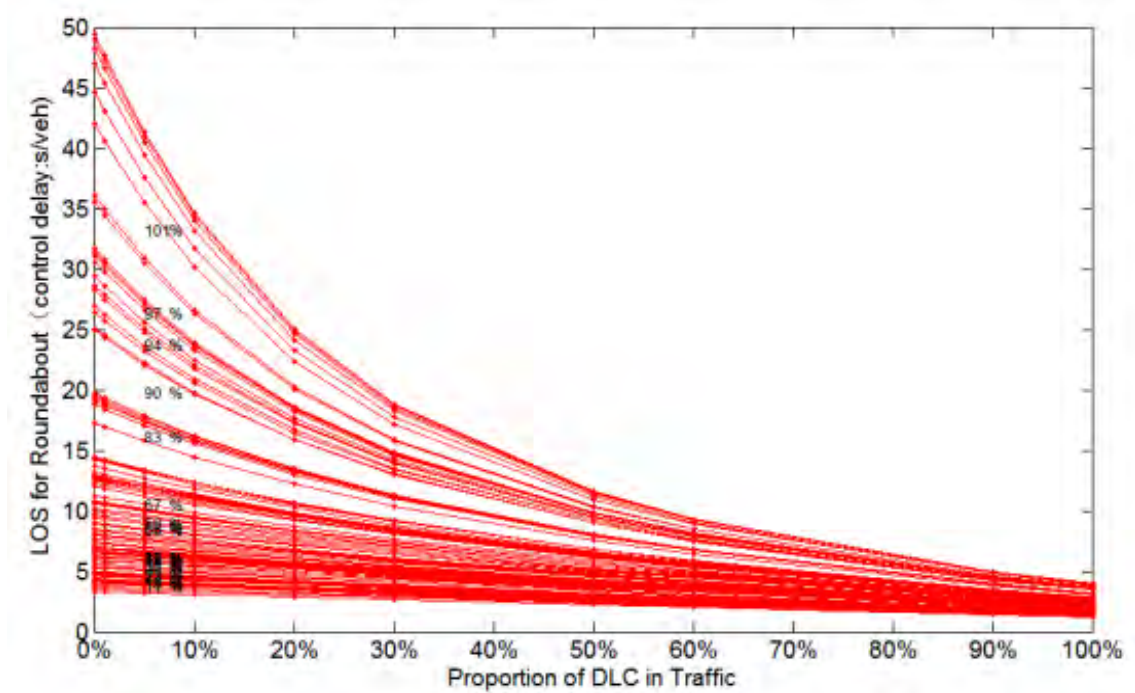
P_D	0%	1%	5%	10%	20%	30%	50%	60%	90%	100%
d_{NB} (s)	40,0	39,3	36,9	34,2	29,5	25,6	19,8	17,5	12,5	11,3
d_{SB} (s)	6,7	6,6	6,4	6,1	5,6	5,1	4,3	3,9	3,0	2,8
d_{EB} (s)	46,9	46,1	42,8	39,0	32,7	27,6	20,4	17,8	12,3	11,0
d_{WB}	49,0	48,1	44,7	40,8	34,1	28,8	21,2	18,4	12,7	11,3
$d_{intersection}$	43,6	42,8	39,9	36,6	30,9	26,4	19,7	17,3	12,2	10,9

Παράλληλα, στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων αυτόνομων οχημάτων παρατηρείται αισθητή βελτίωση για ποσοστό μόλις 5% διείσδυσης τους στην κυκλοφορία. Το επίπεδο εξυπηρέτησης μεταβάλλεται από τη στάθμη Β στη στάθμη Α για ποσοστό 60% διασυνδεδεμένων οχημάτων και οι καθυστερήσεις μειώνονται κατά 3%, 47% και 91% για αναλογία οχημάτων διασύνδεσης 1%, 20% και 100%, αντίστοιχα.

Πίνακας 6.4: Χρονικές καθυστερήσεις για ποσοστά διείσδυσης διασυνδεδεμένων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Shi & Prevedouros, 2016)

P_D	0%	1%	5%	10%	20%	30%	50%	60%	90%	100%
d_{NB} (s)	40,0	38,8	34,4	29,6	22,6	17,7	11,5	9,3	5,0	4,0
d_{SB} (s)	6,7	6,6	6,1	5,6	4,7	4,0	2,8	2,4	1,4	1,1
d_{EB} (s)	46,9	45,3	39,2	32,9	23,8	18,0	11,2	9,0	4,9	3,9
d_{WB}	49,0	47,3	40,9	34,3	24,8	18,6	11,5	9,3	5,0	3,9
$d_{intersection}$	43,6	42,1	36,7	31,1	22,9	17,5	11,1	9,0	4,8	3,9

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας με την προσομοίωση του Monte Carlo, κάνοντας χρήση των ίδιων υποθέσεων. Αναλύοντας τα δεδομένα του Διαγράμματος 6.6 αντιλαμβάνεται κανείς ότι οι καθυστερήσεις για 0% κυκλοφορία αυτόνομων οχημάτων αντιπροσωπεύουν το επίπεδο εξυπηρέτησης στο οποίο λειτουργεί η λωρίδα του κόμβου. Όταν η αρχική καθυστέρηση ελέγχου είναι κάτω από 15 δευτερόλεπτα ανά όχημα, το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι της τάξης του A ή B και οι κόκκινες γραμμές είναι ελαφρώς κεκλιμένες, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρξει μια μικρή και σταθερή μείωση στην χρονική καθυστέρηση όσο αυξάνεται το ποσοστό αυτόνομων οχημάτων. Όταν η αρχική καθυστέρηση είναι μεγαλύτερη από 15 δευτερόλεπτα ανά όχημα, η στάθμη εξυπηρέτησης αντιστοιχεί σε τιμές C,D ή E και οι γραμμές τάσης γίνονται πιο απότομες στα αρχικά στάδια διείσδυσης των αυτόνομων οχημάτων. Σαφώς, οποιαδήποτε μείωση στον χρόνο είναι πολύ μικρή για αναλογία αυτόνομων οχημάτων 1%. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερη είναι η επικρατούσα κυκλοφοριακή συμφόρηση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μείωση της καθυστέρησης με την αύξηση του αριθμού των CAVs. Όταν το ποσοστό των αυτόνομων οχημάτων φτάνει στο 100%, η χρονική καθυστέρηση είναι κάτω από 5 δευτερόλεπτα ανά όχημα.



Διάγραμμα 6.6: Ανάλυση ευαισθησίας Monte Carlo για τον προσδιορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης για ποσοστά διείσδυσης των CAVs. [Πηγή]: (Shi & Prevedouros, 2016)

6.5.4. Επιπτώσεις στα οχηματοχιλιόμετρα

Τα οχηματοχιλιόμετρα σχετίζονται με το σύνολο των χιλιομέτρων που διανύονται από τα οχήματα ενός οδικού συστήματος στη διάρκεια μιας δεδομένης χρονικής περιόδου. Ως κυκλοφοριακό μέγεθος χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των μεταφορών και την διαχείριση της κυκλοφορίας για την εκτίμηση παραγόντων

όπως τη χάραξη της οδού, την ανάλυση των ατυχημάτων και της οδικής ασφάλειας, την εκπομπή ρύπων και την κατανάλωση ενέργειας.

Η έρευνα των (Kloostra & Roorda, 2017) εξετάζει τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων σε περιφερειακή κλίμακα μέσω του λογισμικού EMME 4. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της έρευνας Transportation Tomorrow Survey του 2011, τα οποία συλλέχθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του Τορόντο κατά τις πρωινές ώρες αιχμής. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διακρίνονται τα εξής σενάρια:

- Σενάριο A1: Περιορισμένη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων μόνο σε αυτοκινητόδρομους.
- Σενάριο A2: Γενική λειτουργία αυτόνομων οχημάτων σε όλα τα οδικά τμήματα.
- Σενάριο B1: Περιορισμένη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων μόνο σε αυτοκινητόδρομους με ταυτόχρονη αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων.
- Σενάριο B2: Γενική λειτουργία αυτόνομων οχημάτων σε όλα τα οδικά τμήματα με ταυτόχρονη αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων.

Τα σενάρια B1 και B2 υποθέτουν αύξηση των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων λόγω της υιοθέτησης των αυτόνομων οχημάτων που ενδέχεται να «γεννήσουν» επιπρόσθετες μετακινήσεις. Τα αποτελέσματα της μελέτης συνοψίζονται στον Πίνακα 6.5.

Πίνακας 6.5: Αύξηση χωρητικότητας και οχηματοχιλιομέτρων για ποσοστά διείσδυσης αυτόνομων οχημάτων. Ανακτήθηκε και τροποποιήθηκε από (Kloostra & Roorda, 2017)

	P_D	Σενάριο A1	Σενάριο A2	Σενάριο B1	Σενάριο B2
Χωρητικότητα αυτοκινητόδρομου	10%	+3%	+3%	+3%	+3%
	50%	+21%	+21%	+21%	+21%
	90%	+80%	+80%	+80%	+80%
Χωρητικότητα εκτός αυτοκινητόδρομου	10%	-	+5%	-	+5%
	50%	-	+10%	-	+10%
	90%	-	+15%	-	+15%
Οχηματοχιλιόμετρα	10%	-	-	+2%	+2%
	50%	-	-	+7,5%	+7,5%
	90%	-	-	+9%	+9%

Σε γενικές γραμμές, η πλειονότητα των οργανισμών σχεδιασμού συστήματος μεταφορών σε μεγάλες αναπτυσσόμενες πόλεις επιδιώκει την ελαχιστοποίηση των οχηματοχιλιομέτρων. Ειδικότερα, οι σύγχρονες πρακτικές σχεδιασμού αποσκοπούν στην έρευνα των κοινωνικών οφελών που προκύπτουν από την μείωση εκπομπών καυσαερίου, κάτι που συνδέεται άμεσα με την ελαχιστοποίηση των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων.

Εν αντιθέσει, η χρήση οχημάτων χωρίς οδηγό εκτιμάται ότι θα επιφέρει επιπρόσθετες μετακινήσεις, με αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών

οχηματοχιλιομέτρων, μετριάζοντας έτσι τα οφέλη της μείωσης της συμφόρησης. Ωστόσο, και παρά το γεγονός αυτό, οι εξοικονομήσεις χρόνου συνεχίζουν να είναι αξιοσημείωτες. Οι εξοικονομήσεις αυτές κυμαίνονται, σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα, από 1 έως 7% για αναλογία αυτόνομων οχημάτων 50% και 12-21% για επίπεδο διείσδυσης 90%.

6.6. Συμπεράσματα

Κάτω από βέλτιστες συνθήκες, η ευρεία υιοθέτηση αυτόνομων οχημάτων, και ειδικότερα των διασυνδεδεμένων αυτόνομων οχημάτων, ενδέχεται να επιφέρει σημαντικά κοινωνικά οφέλη, όπως τη μείωση της συμφόρησης, την ελαχιστοποίηση των συγκρούσεων, τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, την αυξημένη ασφάλεια για όλους τους χρήστες της οδού και την παροχή ελεύθερου και παραγωγικού χρόνου στους μέχρι πρότινος οδηγούς για την ενασχόληση με άλλες δραστηριότητες. Όλα τα οφέλη της λειτουργίας των αυτόνομων οχημάτων πηγάζουν από το γεγονός ότι αυτά δεν εξαρτώνται από τον ανθρώπινο παράγοντα και είναι σε θέση να κινηθούν με έναν πιο προβλέψιμο τρόπο.

Οι εκτιμήσεις των υφιστάμενων ερευνών καταδεικνύουν ότι η λειτουργία των CAVs θα οδηγήσει στη αύξηση της χωρητικότητας των οδικών τμημάτων, τόσο στους μεγάλους αυτοκινητοδρόμους όσο και στις περιοχές των αρτηριών και των κυκλικών κόμβων. Ωστόσο, η αύξηση της χωρητικότητας των λωρίδων στην περίπτωση των αυτοκινητόδρομων ενδέχεται να είναι περισσότερο αισθητή, διαφορά που οφείλεται στην ταχύτητα που αναπτύσσουν τα οχήματα όταν χρησιμοποιούν την εκάστοτε υποδομή.

Εν τέλει, δύο είναι οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το μέγεθος της χωρητικότητας και κατά συνέπεια την απόδοση του συστήματος μεταφορών (Friedrich, 2016):

1. Η μείωση των αποστάσεων μεταξύ των αυτόνομων οχημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο είναι σημαντικό να διατηρείται η άνεση και η ασφάλεια στην οδήγηση παρά τις μικρές αποστάσεις και να ενισχύεται η πρόβλεψη των ενεργειών των υπόλοιπων οχημάτων. Η ενδοεπικοινωνία των οχημάτων θα έχει καθοριστικό ρόλο σε αυτό.
2. Η ταχύτητα της συστοιχίας των οχημάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κίνησης τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο αριθμός των οχημάτων που διασχίζουν την διατομή. Η επίτευξη υψηλών ταχυτήτων διατηρώντας ταυτόχρονα σταθερή την κυκλοφοριακή πυκνότητα είναι εφικτή μόνο με την κυκλοφορία αυτοματοποιημένων οχημάτων.

Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της ελκυστικότητας των μεταφορών, ιδιαίτερα στα τμήματα των αυτοκινητόδρομων, σε σχέση με τα σενάρια λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων επιφέρει ανησυχίες στους υπεύθυνους φορείς, οι οποίοι

συνήθως επιχειρούν να μειώσουν τη ζήτηση και τα οχηματοχιλιόμετρα. Οι προσομοιώσεις που έχουν διαμορφωθεί εκτιμούν ότι η λειτουργία των οχημάτων χωρίς οδηγό θα ενθαρρύνει την διεξαγωγή περαιτέρω μετακινήσεων, πράγμα που εκτιμάται ότι θα επηρεάσει αρνητικά τον ρυθμό αύξησης της χωρητικότητας. Ωστόσο, οι ερευνητές δεν θεωρούν τον παράγοντα αυτό ανασταλτικό για την καθιέρωση της καινοτομίας, καθώς τα οφέλη στην εξοικονόμηση του χρόνου μετακίνησης και στη βελτίωση των τιμών των υπόλοιπων κυκλοφοριακών μεγεθών υπερτερούν, ακόμη και όταν η αναλογία των CAVs στην κυκλοφορία είναι σχετικά μικρή.

7. Νομικά ζητήματα

Η αυτοματοποίηση των οχημάτων πρόκειται να αλλάξει ολοκληρωτικά το τοπίο της οδήγησης από πολλές απόψεις και, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η εκτίμηση και η μελέτη όλων των κανονισμών και των προτύπων που συνδέονται τόσο με το όχημα όσο και με το περιβάλλον επιρροής του. Οι κανονισμοί αφορούν υποχρεωτικές απαιτήσεις που συντάσσονται από τους υπευθύνους για την πολιτική χάραξης και εφαρμόζονται με την έγκριση της κυβέρνησης, ενώ τα πρότυπα αναπτύσσονται από επιστημονικές ομάδες με σκοπό τον καθαρισμό της λειτουργίας ενός προϊόντος και δεν έχουν καμία ισχύ από μόνα τους (Demiridi, et al., 2018).

Παρά τα αναρίθμητα οφέλη της τεχνολογίας, η αυτοματοποίηση των οχημάτων γεννά πολλά ερωτήματα, οι απαντήσεις των οποίων αποτελούν αντικείμενο συζήτησης και έχουν οικονομικό, τεχνικό και σε μεγάλο βαθμό ηθικό και νομικό υπόβαθρο. Ζητήματα, όπως η ανάληψη ευθύνης σε περίπτωση βλάβης ή ατυχήματος, η νομοθεσία για την εξασφάλιση της οδικής ασφάλειας, η προστασία των προσωπικών δεδομένων και η αποφυγή της ηλεκτρονικής απειλής, όπως επίσης και οι προϋποθέσεις για την έκδοση άδειας δοκιμής και ελέγχου τέτοιων οχημάτων, δεν μπορούν να προσδιορισθούν με την ήδη υπάρχουσα νομοθεσία.

Με σκοπό την αντιμετώπιση των παραπάνω επερχόμενων προβλημάτων, αρκετές χώρες και κυβερνήσεις ανά τον κόσμο εισάγουν, ήδη από το 2012 (Demiridi, et al., 2018), ανάλογες τροπολογίες στο ισχύον θεσμικό πλαίσιο. Οι πρακτικές αυτές εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο σε ορισμένες πολιτείες της Αμερικής και σε αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τείνουν να διευκολύνουν την ανάπτυξη και την καθιέρωση των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων.

7.1. Ανάληψη ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Anderson, et al., 2016), (Bartels, et al., 2015), η έννοια της ευθύνης στο αστικό δίκαιο διακρίνεται σε:

1. *υποκειμενική ευθύνη*, στην οποία για την ευθύνη αποζημίωσης εξετάζεται η υπαιτιότητα του ζημιώσαντα και χωρίζεται σε αμέλεια (ελαφριά ή βαριά) ή δόλο,
2. *αντικειμενική ευθύνη*, που αφορά την ευθύνη αποζημίωσης ανεξαρτήτως υπαιτιότητας και
3. *συμβατική ευθύνη*, σχετικά με την αθέτηση όρου ή την αδυναμία εκπλήρωσης κάποιου όρου του συμβολαίου.

Συγκεκριμένα, η συμβατική ευθύνη εμπεριέχει τις εξής περιπτώσεις:

- a. *κατασκευαστικό ελάττωμα*,
- b. *ελλιπής πληροφόρηση του πωλητή προς τον αγοραστή σχετικά με το αντικείμενο και*

c. ελάττωμα κατά το σχεδιασμό του αντικειμένου σύμβασης.

Στις περισσότερες χώρες παγκοσμίως, η νομοθεσία αναφορικά με τα τροχαία ατυχήματα αποτελεί ένα κράμα του δικαίου αδικοπραξιών και της ευθύνης αποζημιώσεως όπως αυτή καθορίζεται από το ασφαλιστικό δίκαιο. Ως εκ τούτου, σε μια δικαστική απόφαση λαμβάνονται υπόψη οι δύο αυτοί παράμετροι, με τη δεύτερη να έχει μεγαλύτερη βαρύτητα.

Υπάρχουν δύο θεωρίες περί της ευθύνης του οδηγού (Κορηλάκης, 2012):

1. η υποκειμενική ευθύνη, στην οποία εξετάζονται η αμέλεια και ο δόλος του οδηγού και
2. η αντικειμενική ευθύνη, κατά την οποία ο χειριστής του οχήματος είναι υπεύθυνος ανεξάρτητα από το αν προκάλεσε το ατύχημα με ή χωρίς τη θέλησή του.

Η σημασία της αρχής της αντικειμενικής ευθύνης γίνεται πιο αισθητή όταν το βάρος της κάλυψης της ζημίας μετακυλισθεί σε πρόσωπο άλλο από αυτό του ζημιώσαντος. Στο πλαίσιο των αυτοκινητικών αδικοπραξιών τέτοια πρόσωπα μπορεί να είναι:

- a. οι ασφαλιστικές εταιρίες και
- b. ο ιδιοκτήτης του οχήματος, σε περίπτωση που δεν έχει το ρόλο του οδηγού την κρίσιμη στιγμή της αδικοπραξίας.

Πράγματι, παρότι οι προαναφερθείς δεν παρίστανται στην αδικοπραξία και ως εκ τούτου δεν μπορούν να έχουν υπαιτιότητα, δύναται να καταστούν συνυπόχρεοι με τον ζημιώσαντα.

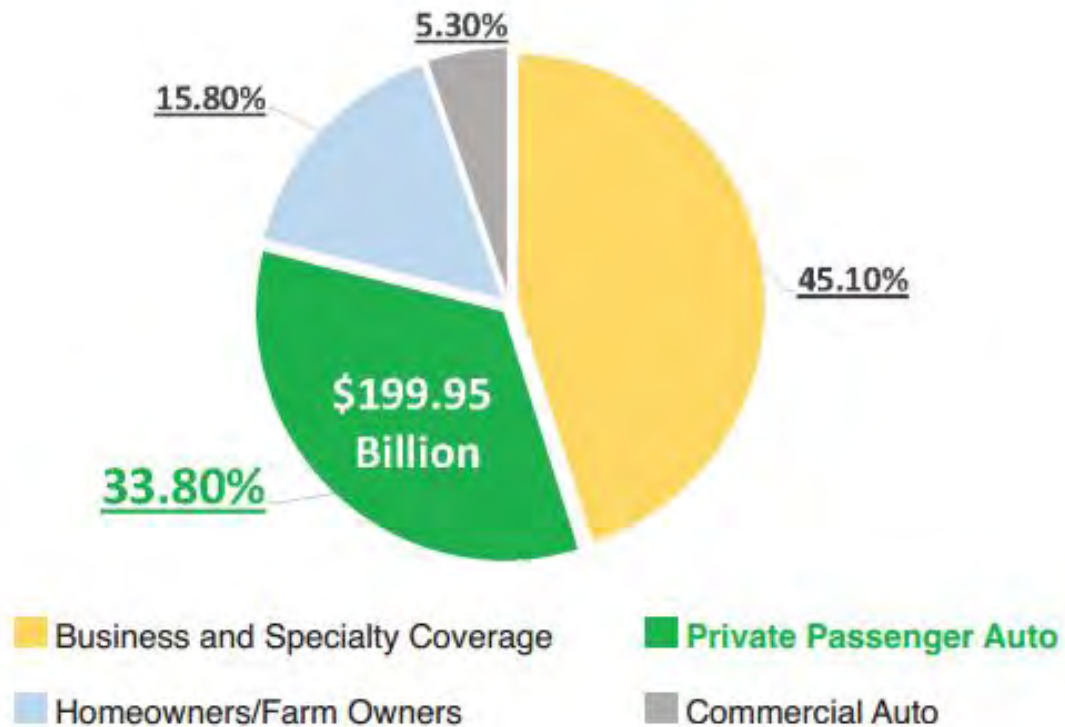
Σύμφωνα με τα παραπάνω και προκειμένου να προσδιοριστεί ο υπεύθυνος του ατυχήματος, εξετάζονται οι εξής τρεις παράγοντες:

1. η ευθύνη του οδηγού,
2. η ευθύνη του οχήματος και
3. περιπτώσεις ανωτέρας βίας και μη υπολογίσιμων συνθηκών, όπως τα καιρικά φαινόμενα ή η ύπαρξη εμποδίου στο οδικό δίκτυο.

7.1.1. Ευθύνη του οδηγού και των ασφαλιστικών εταιριών

Σύμφωνα με τα όσα έχουν έως τώρα αναφερθεί, η αυτοματοποίηση των οχημάτων θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ασφάλιση των ιδιωτικών αυτοκινήτων. Η πλειοψηφία των τροχαίων συμβάντων σήμερα αποδίδεται στο ανθρώπινο λάθος, απόρροια λογική εάν σκεφτεί κανείς ότι ο οδηγός αναλαμβάνει ολοκληρωτικά το χειρισμό του οχήματος. Βάσει των στατιστικών στοιχείων του Ινστιτούτου Ασφαλιστικών Πληροφοριών, ο τομέας της ασφαλιστικής κάλυψης των οχημάτων αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους κλάδους στην ιδιωτική ασφάλιση

παγκοσμίως, με το ύψος του συνολικού ποσού των ασφάλιστρων για το 2015 να φτάνει περίπου τα 200 δισεκατομμύρια δολάρια.



Διάγραμμα 7.1: Σύνολο ασφαλιστικών καλύψεων για το έτος 2015. [Πηγή]: (Karol, 2017)

Ωστόσο, τα δεδομένα αλλάζουν στην περίπτωση της ένταξης των CAVs στην οδική κυκλοφορία, αφού οι τεχνολογίες με τις οποίες αυτά είναι εξοπλισμένα θα μεταβάλλουν τόσο το πλήθος όσο και το συνολικό κόστος των συγκρούσεων. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του θα μειώσει σημαντικά το κόστος της ασφαλιστικής κάλυψης των οχημάτων, κάτι που επιδιώκεται και από τις ίδιες τις ασφαλιστικές εταιρείες οι οποίες παροτρύνουν τους πελάτες τους να εφοδιάζουν τα αυτοκίνητά τους με συστήματα υποβοήθησης οδήγησης, όπως είναι το Adaptive Cruise Control.

Σε περαιτέρω ανάλυση, ο αισθητός περιορισμός των ατυχημάτων είναι πιθανό να εξαφανίσει εξ ολοκλήρου την ανάγκη για εξειδικευμένη ασφάλιση των οχημάτων, καθώς οι τυχαίοι τραυματισμοί που μπορεί να προκύψουν από ενδεχόμενη δυσλειτουργία των υπολογιστικών συστημάτων είναι δυνατό να καλυφθούν από την ασφάλιση υγείας ή την ασφάλεια αστικής ευθύνης του ιδιοκτήτη ή του οδηγού του οχήματος (Anderson, et al., 2016). Παρ' όλα αυτά δεν είναι ξεκάθαρο το ποσοστό μείωσης των συμβάντων κατά το οποίο η ασφαλιστική κάλυψη των αυτοκινήτων δεν θα είναι πια απαραίτητη. Θεωρητικά, το κόστος των αυτοκινητικών συμβάντων θα μπορούσε σήμερα να καλυφθεί με τη χρήση άλλων πολιτικών, γεγονός που απαιτεί ουσιαστική αναθεώρηση της κρατικής νομοθεσίας

και των ασφαλιστικών αγορών και είναι μάλλον απίθανο να συμβεί βραχυπρόθεσμα (Anderson, et al., 2016).

Βέβαια, η εμπλοκή ενός οχήματος χωρίς οδηγό σε ένα συμβάν υπονοεί την περεταίρω διερεύνηση της απόδοσης της ευθύνης, η οποία και θα ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο αυτοματοποίησης στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα. Είναι ξεκάθαρο ότι όταν ένα αυτοκίνητο χωρίς αυτοματοποιημένες λειτουργίες αναμειχθεί σε κάποιο ατύχημα εξαιτίας σφάλματος του οδηγού, ο τελευταίος αναλαμβάνει καθολικά την ευθύνη του συμβάντος. Από την άλλη, στην περίπτωση ενός πλήρους αυτοματοποιημένου οχήματος, στο οποίο το άτομο δε δύναται να επέμβει στο χειρισμό και η πλοήγηση πραγματοποιείται αποκλειστικά από ψηφιακά μέσα, η ισχύουσα νομοθεσία δεν καθορίζει την απόδοση ευθύνης. Τότε, το ανθρώπινο σφάλμα είναι ουσιαστικά ανυπόστατο και η ευθύνη μεταφέρεται στον κατασκευαστή (Marchant & Lindor, 2012).

Ακόμη πιο περίπλοκο μπορεί να θεωρηθεί ένα ατύχημα στο οποίο εμπλέκονται οχήματα με επίπεδο αυτοματισμού 3 ή 4, καθώς στις κατηγορίες αυτές δίνεται η δυνατότητα στον οδηγό να επέμβει στα χειριστήρια όργανα όταν τα πράγματα τείνουν να γίνουν επικίνδυνα. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο, η απόδοση ευθύνης εξαρτάται από την ικανότητα του χειριστή να ανταποκρίνεται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως επίσης και από τα συστήματα ελέγχου και ειδοποίησης του οχήματος (Demiridi, et al., 2018).

Εν αντιθέσει με τα παραπάνω, η μετατόπιση της ευθύνης από τον οδηγό στον κατασκευαστή δύναται να καταστήσει ελκυστικότερες άλλου είδους ασφαλιστικές ρυθμίσεις, αφού τα θύματα υπό αυτές τις συνθήκες θα μπορούσαν ενδεχομένως να ασκήσουν αγωγή εναντίον της κατασκευαστικής εταιρείας. Ωστόσο, οι αγωγές ευθύνης προϊόντος είναι εξαιρετικά δαπανηρές όσο και χρονοβόρες. Για το λόγο αυτό προωθείται ο σχεδιασμός συστημάτων no-fault ή συστημάτων αντικειμενικής ευθύνης, τα οποία παρέχουν αποζημίωση στα θύματα σχετικά γρήγορα και δεν εξαρτώνται από την απόδειξη της υπαιτιότητας του ζημιώσαντος (Anderson, et al., 2016).

Ταυτόχρονα, η καινοτομία αυτή θα αλλάξει τον τύπο των συγκρούσεων και το εύρος της ζημίας. Από τη μία πλευρά γίνεται η υπόθεση ότι η αυτόνομη τεχνολογία είναι σε θέση να μειώσει τα δευτερευούσης σημασίας ατυχήματα που έχουν ως αποτέλεσμα μικρές υλικές ζημιές και είναι πλειοψηφικά περισσότερα από τα σοβαρότερα δυστυχήματα. Από την άλλη, εάν μια σύγκρουση ενός οχήματος χωρίς οδηγό είναι αποτέλεσμα σφάλματος του λογισμικού, ενδέχεται να επηρεαστούν και τα υπόλοιπα οχήματα λόγω της τεχνολογίας της διασύνδεσης. Η αντίφαση αυτή είναι δυνατόν να περιορίσει την πτωτική τάση του κόστους ασφάλισης, όπως επίσης να περιπλέξει τη λήψη αποφάσεων της ασφαλιστικής εταιρείας.

Σε γενικές γραμμές, η απόδοση ευθύνης δεν αναμένεται να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την καθιέρωση των αυτόνομων οχημάτων, αφού το επίπεδο ασφαλείας που αυτά προσβέβουν και το χαμηλό κόστος ασφάλισης

υπερτερούν σε αυτή τη περίπτωση. Καθώς η ευθύνη απομακρύνεται από τον οδηγό και αποδίδεται στα συστήματα ασφαλείας, τα οχήματα χωρίς οδηγό θα γίνονται ολοένα και πιο ελκυστικά. Κοιτάζοντας την άλλη όψη του νομίσματος, οι καινοτομίες αυτές φέρνουν στο προσκήνιο νέες προκλήσεις και, συγκεκριμένα, ενδέχεται να αυξήσουν τον κίνδυνο αστικής ευθύνης κατά τρόπο που να αποθαρρύνει την αποτελεσματική εισαγωγή τους στην αγορά.

7.1.2. Ευθύνη των κατασκευαστικών εταιρειών

Η ευθύνη των κατασκευαστών αυτοκινήτων διέπεται από το νόμο περί ευθύνης των προϊόντων, το οποίο αποτελεί ένα υβρίδιο του δικαίου αδικοπραξιών και του δικαίου των συμβάσεων. Ως παραγωγός ή κατασκευαστής ενός προϊόντος ορίζεται το πρόσωπο που εμπλέκεται με το τελικό προϊόν, τις πρώτες ύλες ή τα συστατικά του, *«καθώς και κάθε πρόσωπο που εμφανίζεται ως παραγωγός του προϊόντος επιθέτοντας σε αυτό την επωνυμία, το σήμα ή άλλο διακριτικό του γνώρισμα»* (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας, 2018). Παράλληλα, ένα προϊόν μπορεί να θεωρηθεί «ελαττωματικό» όταν *«δεν παρέχει την ασφάλεια που ο καταναλωτής εύλογα προσδοκά να έχει λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ειδικές συνθήκες και ιδίως την εξωτερική εμφάνιση του, την αναμενόμενη χρησιμοποίηση του και τον χρόνο κατά τον οποίο τέθηκε σε κυκλοφορία»* (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας, 2018).

Υπάρχουν αρκετές διαφορές στη συγκεκριμένη νομοθεσία ανά τον κόσμο ωστόσο πολλά κράτη έχουν, ήδη από το 1970, υιοθετήσει μερικές από τις αναθεωρήσεις του νόμου του American Law Institute. Συνεπώς, στην πλειονότητα των περιπτώσεων ο κατασκευαστής ευθύνεται για κάθε ζημιά ή σωματική βλάβη που οφείλεται σε ελάττωμα ενός προϊόντος (Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας, 2018), το οποίο μπορεί να προέρχεται από κατασκευαστικό σφάλμα, ανεπαρκή σχεδιασμό ή από μη ικανοποιητικές οδηγίες ή προειδοποιήσεις (Geistfeld, 2017).

Στην περίπτωση του αυτόνομου οχήματος, ένα ελάττωμα τέτοιου τύπου φαινομενικά δεν θα επηρεάσει το λογισμικό που εκτελεί τη λειτουργία της οδήγησης. Βέβαια, υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο το λειτουργικό σύστημα να διέπεται από κάποιο σφάλμα προγραμματισμού ή τυπογραφικό λάθος στον κώδικα του αλγορίθμου, γεγονός που θα μπορούσε κανείς να πει ότι το καθιστά μέρος του σχεδιασμού του οχήματος ως προϊόν. Τότε, όλα τα αυτόνομα οχήματα με το ίδιο λογισμικό θα επηρεαστούν από το συγκεκριμένο σφάλμα, σε αντίθεση με το καθαρά κατασκευαστικό ελάττωμα το οποίο έχει επίδραση σε συγκεκριμένες παρτίδες ή σε μεμονωμένα προϊόντα (Geistfeld, 2017). Η ευθύνη του κατασκευαστή όσον αφορά τις κατασκευαστικές αστοχίες περιορίζεται σε ζητήματα ελέγχου της ποιότητας του υλικού των συστημάτων όπως τις κάμερες ή τα ραντάρ.

Σε γενικές γραμμές, ο κανόνας της ευθύνης για τα αυτόνομα οχήματα δεν αναμένεται να διαφέρει σημαντικά από τον αντίστοιχο κανόνα που αφορά τα χειροκίνητα αυτοκίνητα. Οι κατασκευαστικές εταιρίες είναι εξοικειωμένες με αυτή τη μορφή ευθύνης σε βαθμό που μπορούν να υιοθετήσουν τα κατάλληλα μέτρα ελέγχου ποιότητας, καθώς και να προβούν στην ασφάλισή τους για την κάλυψη λοιπών υποχρεώσεων. Κατά συνέπεια, η ευθύνη του κατασκευαστή για το τελικό προϊόν δεν εκτιμάται ότι θα προσθέσει κάποιο νομικό κενό στην ανάπτυξη των οχημάτων χωρίς οδηγό.

Για τους παραπάνω λόγους η έρευνα επικεντρώνεται σε περιπτώσεις στις οποίες ο προγραμματισμός του οχήματος είναι ανεπαρκής, με αποτέλεσμα αυτό να εμπλέκεται σε κάποιο συμβάν. Παρά το γεγονός ότι η αυτόνομη τεχνολογία είναι πιθανό να δημιουργήσει κι άλλα ζητήματα νομικής φύσεως, οι συγκρούσεις και η ανάληψη ευθύνης σε αυτές αποτελούν ζήτημα μείζονος σημασίας για τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Για τον προσδιορισμό των συνθηκών κάτω από τις οποίες ο κατασκευαστής είναι υπεύθυνος, είναι αναγκαία η περαιτέρω διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ο προγραμματισμός ενός αυτόνομου οχήματος θα μπορούσε να προκαλέσει μια σύγκρουση (Geistfeld, 2017).

Η μετακύλιση της ευθύνης από τον οδηγό στον κατασκευαστή θα μεταβάλλει τον τρόπο εφαρμογής του δικαίου των αδικοπραξιών. Αυτό ενδεχομένως να λειτουργήσει ως ανασταλτικός παράγοντας στην προώθηση των αυτόνομων τεχνολογιών από τις αυτοκινητοβιομηχανίες ή, σε άλλη περίπτωση, να δώσει το έναυσμα για υψηλότερη τιμολόγηση των οχημάτων ώστε να καλύψουν τις αυξημένες υποχρεώσεις τους.

Η λύση του ζητήματος της εμπλοκής ενός αυτόνομου οχήματος σε ένα αυτοκινητικό ατύχημα ενδεχομένως να δοθεί από την ίδια την τεχνολογία, αρκεί να αναλογιστεί κανείς τους λόγους για τους οποίους ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αστοχεί και τελικά να οδηγεί σε σύγκρουση. Σε κάθε περίπτωση, το τοπίο σχετικά με την ευθύνη των κατασκευαστικών εταιριών δεν είναι ξεκάθαρο και θεωρείται αναγκαία η σύνταξη και η εφαρμογή σχετικής νομοθεσίας.

7.2. Χρήση και ασφάλεια δεδομένων

Η κοινή χρήση δεδομένων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των CAVs, καθώς η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του οχήματος και όλων των επιμέρους στοιχείων της υποδομής καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα του εν λόγω δικτύου μεταφορών. Μια από τις δημοφιλέστερες τεχνολογίες επικοινωνίας που προωθούνται και εγκαθίστανται στο λειτουργικό σύστημα των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων είναι αυτή του GSM (Global System for Mobile communication). Πρόκειται για ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας, το οποίο ψηφιοποιεί και συμπιέζει δεδομένα και στη συνέχεια τα αποστέλλει σε μια άλλη συσκευή (Rouse, 2017). Για την καλύτερη απόδοση

λειτουργίας της συγκεκριμένης τεχνολογίας προωθείται η χρήση των κινητών τηλεφώνων, μιας και η πλειοψηφία των χρηστών διαθέτει συσκευές έξυπνης τεχνολογίας και, σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία, προβαίνει στην αναβάθμιση τους κατά μέσο όρο ανά 18 μήνες (Fitchard, 2012).

Παράλληλα, ολοένα και περισσότερο τα νέα μοντέλα αυτοκινήτων εξοπλίζονται με τεχνολογίες που επιτρέπουν την ασύρματη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων ή μεταξύ οχήματος και υποδομής μέσω της ταυτόχρονης ανταλλαγής πληροφοριών, όπως είναι το σύστημα DSRC (Demiridi, et al., 2018). Οι επικοινωνίες επιπέδου V2X μπορούν να επιτευχθούν, επίσης, μέσω της τεχνολογίας του Bluetooth.

Οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες λειτουργούν και εγκαθίστανται με τη βοήθεια της ασύρματης σύνδεσης του WiFi, η οποία επιτρέπει σε μια ηλεκτρονική συσκευή να ανταλλάσσει δεδομένα μέσω ενός δικτύου υπολογιστών (Mitchell, 2017). Δεδομένου ότι πρόκειται για αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω του διαδικτύου, είναι πιθανόν σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος τα δεδομένα αυτά, προσωπικά ή μη, να διακυβευτούν. Επιπλέον, τα on-board συστήματα που εντοπίζονται τόσο στα αυτόνομα όσο και στα διασυνδεδεμένα οχήματα, όπως είναι οι κάμερες, τα ραντάρ, το σύστημα lidar ή το GPS θέτουν νέα ζητήματα παραβίασης της ιδιωτικότητας. Οι ανησυχίες αυτές ενδέχεται να υιοθετηθούν από το μεγαλύτερο κομμάτι του πληθυσμού, όσο η οδήγηση με τη καθοδήγηση τεχνολογικών συστημάτων γίνεται όλο και πιο δημοφιλής.

Κατά συνέπεια, προκύπτουν πολλά ερωτήματα σχετικά με την ασφάλεια και τη χρήση των δεδομένων που οφείλουν να απαντηθούν ώστε τα διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα να γίνουν ελκυστικά για το ευρύ κοινό. Τέτοια ζητήματα αφορούν κυρίως (Fagnant & Kockelman, 2015), (Demiridi, et al., 2018):

1. τον καθορισμό του είδους των δεδομένων που αποστέλλονται και του είδους των συστημάτων που τα λαμβάνουν,
2. τον σκοπό της χρήσης, της συλλογής και της επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς επίσης και τον φορέα αξιοποίησής τους,
3. τον ορισμό της πιθανής χρήσης των δεδομένων και τις περιπτώσεις στις οποίες αυτό μπορεί να συμβεί και
4. την εφαρμογή των συστημάτων ασφαλείας για τη θωράκιση των προσωπικών δεδομένων.

Σε μια προσπάθεια διερεύνησης των παραπάνω ζητημάτων, εκτιμάται ότι τα δεδομένα που προκύπτουν από το αποτέλεσμα μιας σύγκρουσης πιθανόν να χρησιμοποιούνται και να επεξεργάζονται από τις κατασκευαστικές εταιρείες, μιας και οι ίδιες θα κατέχουν μεγάλο μερίδιο ευθύνης σε μια τέτοια περίπτωση (Fagnant & Kockelman, 2015). Βέβαια, η πλειοψηφία των χρηστών δε θα επιθυμούσε η συσκευή καταγραφής δεδομένων του οχήματος να χρησιμοποιηθεί εναντίον τους σε οποιαδήποτε πιθανή αντιδικία. Ωστόσο, μπορεί κανείς να πει ότι το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μια επέκταση της υφιστάμενης λειτουργίας των οχημάτων, αφού το

80% των οχημάτων που πωλούνται σήμερα στις ΗΠΑ διαθέτουν παρόμοιους καταγραφείς πληροφοριών (The Economist, 2012).

Η κοινή χρήση των δεδομένων σχετικά με τις μετακινήσεις ενός αυτόνομου οχήματος, όπως είναι ο προορισμός και ο χρόνος αναχώρησης, ενδεχομένως να έχει ευρείας χρήσης εφαρμογές για τους αρμόδιους φορείς. Ως εκ τούτου, η διαδικασία αυτή θεωρείται αμφιλεγόμενη ιδιαίτερα εάν οι πληροφορίες αυτές καταγράφονται και αποθηκεύονται. Από τη στιγμή που τα στοιχεία αυτά δεν προστατεύονται από κάποια σχετική νομοθεσία, θα μπορούσαν πολύ εύκολα να χρησιμοποιηθούν καταχρηστικά για τον εντοπισμό ατόμων, όπως και να δημιουργήσουν θέματα ανεξέλεγκτης παρακολούθησης ή στοχευόμενης διαφήμισης (Fagnant & Kockelman, 2015).

Ακόμα ένα ζήτημα που προκύπτει είναι η προστασία της ιδιωτικής ζωής των πεζών. Ήδη, η ίδια η εταιρεία Google έχει παραδεχτεί ότι παραβίασε το ιδιωτικό απόρρητο πολιτών κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης του προγράμματος Google Street View, καθώς προέβη στην συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω του σήματος WiFi και, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν μερίμνησε για την κάλυψη των προσώπων των ατόμων που εμφανίζονται στους χάρτες της (Streitfeld, 2013).

Μέχρι και σήμερα, ελάχιστες είναι οι νομοθεσίες που προστατεύουν τόσο τους πεζούς όσο και τους οδηγούς ενάντια στη λήψη και τη χρήση των εικόνων τους. Ακόμη και όταν οι φωτογραφίες τους αποτυπώνονται εν αγνοία τους ή παρά τη θέλησή τους, δεν υφίσταται ποινική ευθύνη εφόσον η σύλληψη πραγματοποιείται σε δημόσιο περιβάλλον, όπως σε ένα αστικό οδικό δίκτυο (Bloom, et al., 2017).

Προκειμένου η τεχνολογία να γίνει αποδεκτή από το ευρύ κοινό, είναι απαραίτητη και υποχρεωτική η θέσπιση νομικών κανόνων οι οποίοι να τηρούν το ιδιωτικό απόρρητο και να προστατεύουν τη κοινή χρήση των δεδομένων που μεταφέρονται από αυτόνομα και διασυνδεδεμένα οχήματα. Σε περαιτέρω ανάλυση, οι κατασκευαστικές εταιρείες, και όλοι οι εμπλεκόμενοι οργανισμοί, χρειάζεται να εφαρμόσουν νέες μεθόδους για τη συλλογή δεδομένων, όπως την ανώνυμη συλλογή, ή και να εφαρμόσουν αξιόπιστα πρωτόκολλα ασφαλείας (Demiridi, et al., 2018).

7.3. Εγκληματικές ενέργειες

Η μεγάλη συνδεσιμότητα που διαθέτουν τα νέα αυτόνομα οχήματα τα καθιστά ευάλωτα στις κυβερνοεπιθέσεις και στις υποκλοπές. Έστω ότι ένα όχημα χωρίς οδηγό αναλαμβάνει τη μεταφορά ενός επιβάτη από τον τόπο εργασίας του προς την κατοικία του. Αντ' αυτού, το αυτοκίνητο τον οδηγεί σε μία ερημική τοποθεσία και ακινητοποιείται. Σε ένα χειρότερο σενάριο, ο ιδιοκτήτης ενός αυτόνομου οχήματος το καλεί ώστε να τον παραλάβει από την τρέχουσα τοποθεσία του. Την ίδια στιγμή ο κάτοχος του οχήματος λαμβάνει ένα μήνυμα στο κινητό του

τηλέφωνο, το οποίο τον προειδοποιεί να προβεί στην κατάθεση ενός ποσού σε ένα συγκεκριμένο λογαριασμό προκειμένου το αυτοκίνητο να επιστρέψει στη κατοχή του.

Τα παραπάνω υποθετικά σενάρια τέθηκαν από τους ερευνητές του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν, με σκοπό την απεικόνιση του εύρους των προκλήσεων στον κυβερνοχώρο που οφείλουν να αντιμετωπιστούν πριν την πλήρη καθιέρωση της αυτόνομης τεχνολογίας (Carney, 2018). Η ιδέα ότι ένα όχημα λειτουργεί υπό την επιρροή ενός κακόβουλου συστήματος υπολογιστών ή, χειρότερα, ο έλεγχός του ανακτάται από ένα τρίτο άτομο- hacker, είναι το λιγότερο αποθαρρυντική για την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών.

Όπως συμβαίνει με τις περισσότερες συσκευές που διακρίνονται από τη λειτουργία της διασύνδεσης, ένα αυτόνομο όχημα είναι δυνατόν να ρυθμιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε, χωρίς τη παρουσία ενός οδηγού ή επιβάτη, να γίνει αυτοεργός μιας αξιόποινης πράξης. Για παράδειγμα, ένα αυτοοδηγούμενο όχημα εντοπίζεται παρανόμως να διακινεί ναρκωτικές ουσίες. Σε αυτή τη περίπτωση, δεν είναι εφικτή η απευθείας σύλληψη του ενόχου ακόμα και αν οι αρχές προχωρήσουν στην εξακρίβωση των στοιχείων προέλευσης του οχήματος, αφού η συγκεκριμένη πράξη εμπεριέχει ένα βαθμό σχετικής ανωνυμίας (Douma & Palodichuk, 2012).

Περαιτέρω, ιδιαίτερα ανησυχητικό μοιάζει το ενδεχόμενο εμπλοκής ενός τέτοιου οχήματος σε τρομοκρατική ενέργεια, καθώς και στο παρελθόν τα συμβατικά οχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλακίς ως βομβιστικοί μηχανισμοί. Πλέον, τα πράγματα πιθανώς να απλουστεύονται αρκετά για τους «επίδοξους τρομοκράτες», αφού θα μπορούν να «χτυπήσουν» το στόχο τους, διαδικτυακά, σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη.

Άλλες παρεμβολές στο λειτουργικό σύστημα των CAVs σχετίζονται με την αυξομείωση της ταχύτητας, την αλλαγή πορείας ή την κατευθυνόμενη σύγκρουση (Douma & Palodichuk, 2012).

Θα μπορούσε κανείς να πει ότι η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο είναι μια ατέρμονη μάχη. Άτομα με επαρκείς δεξιότητες γύρω από την τεχνολογία, με υπομονή και επιθυμία για γρήγορο και εύκολο κέρδος ενδεχομένως να προβούν σε κάθε πιθανή λύση προκειμένου να παραβιάσουν τα συστήματα ασφαλείας. Χαρακτηριστικά, η παγκοσμίου φήμης ανασφαλιστική εταιρεία Munich Re δηλώνει ότι το 55% των συνεργατών της που ασχολείται με το πεδίο του διοικητικού κινδύνου θεωρεί ότι η ηλεκτρονική απειλή είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο για την εξάπλωση των αυτόνομων οχημάτων (Hempfield, 2017). Σε περαιτέρω ανάλυση, το 64% των εταιριών δηλώνει εντελώς απροετοίμαστο στο να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις κυβερνοεπιθέσεις (Hempfield, 2017). Παράλληλα, οι χάκερς αρχίζουν ήδη να επωφελούνται από τις αδυναμίες τις τεχνολογίες, αφού τον Αύγουστο του 2016 μια ομάδα ατόμων στην περιοχή του Τέξας κατηγορήθηκε για κλοπή περισσότερων από 100 αυτοκινήτων, τα οποία ξεκλείδωσαν και έθεσαν σε λειτουργία με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (Hempfield, 2017).

Εάν γίνει η υπόθεση ότι το όχημα μπορεί, μεταξύ άλλων, να διαγνώσει τον ηλεκτρονικό κίνδυνο, τότε το τελευταίο θα είναι σε θέση να προειδοποιήσει τον οδηγό, ο οποίος με τη σειρά του θα προχωρήσει στην ανάληψη ελέγχου. Σε αυτή τη περίπτωση, η ευθύνη βαραίνει αφενός τον εγκληματία για την αξιόποινη πράξη της πειρατείας του συστήματος ελέγχου και αφετέρου τον οδηγό που αναλαμβάνει τον ασφαλή χειρισμό του οχήματος (Douma & Palodichuk, 2012). Αντίθετα, εάν το όχημα δεν μπορεί να αντιληφθεί τον κίνδυνο ή αν ο hacker απενεργοποιήσει τη λειτουργία αυτή, τότε οι ενέργειες του οδηγού αποτελούν την τελευταία επιλογή ασφαλείας.

Όλα τα παραπάνω εξαρτώνται από το βαθμό αυτοματισμού και το επίπεδο ελευθερίας που δίνεται στο όχημα. Φυσικά, τα νέα οχήματα ήδη εξοπλίζονται με «μαύρα κουτιά», αντίστοιχα με εκείνα των αεροπορικών μέσων, στα οποία δύναται να καταγραφούν όλες οι λεπτομέρειες και οι αστοχίες που οδηγούν σε μια επιπλοκή (Douma & Palodichuk, 2012). Σε κάθε περίπτωση, θεωρείται αναγκαία νομοθεσία η οποία να καθορίζει την υπαιτιότητα σε πράξη υποκλοπής, καθώς και να διαφυλάσσει τη σωματική ακεραιότητα και την ασφάλεια των χρηστών του δικτύου μεταφορών.

7.4. Ευρωπαϊκή νομοθεσία και κανονισμοί

Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, όντας μέλη της Οικονομικής Επιτροπής Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE- United Nation Economic Commission for Europe), είναι υποχρεωμένες να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς και τα πρότυπα που αυτή καθορίζει. Πρόκειται για έναν πανευρωπαϊκό οργανισμό που ιδρύθηκε το έτος 1947 και έχει ως στόχο την οικονομική ολοκλήρωση των κρατών-μελών του, ενώ περιλαμβάνει συνολικά 56 χώρες από την Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Ασία (UNECE, 2018). Όσον αφορά τις μεταφορές, η Επιτροπή Εσωτερικών Μεταφορών (ITC- Inland Transport Committee) της UNECE είναι η υπεύθυνη πλατφόρμα για τη διευκόλυνση των διεθνών μεταφορών ανθρώπων και αγαθών. Το έργο της πλατφόρμας επικυρώνεται με τη σύμβαση περισσότερων από 50 συμφωνιών και συμβάσεων (Pillath, 2016), οι οποίες προωθούν μέσω τεχνικών κανονισμών την ανάπτυξη των διεθνών οδικών μεταφορών. Η Επιτροπή Εσωτερικών Μεταφορών αποτελείται από δύο μόνιμα επικουρικά όργανα που έχουν ως αντικείμενο μελέτης την αυτοματοποιημένη οδήγηση. Αυτά είναι (Pillath, 2016):

1. Η Ομάδα Εργασίας για την Οδική Ασφάλεια (Working Party on Road Traffic Safety- WP.1). Πρόκειται για έναν διακυβερνητικό οργανισμό, υπεύθυνο για τη διαχείριση διεθνών συμβάσεων οδικής κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένης της Σύμβασης Οδικής Κυκλοφορίας του 1968 και της Σύμβασης Οδικών Σημάτων.

2. Το Παγκόσμιο Φόρουμ για την Εναρμόνιση των Κανονισμών των Οχημάτων (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations- WP.29). Είναι το διακυβερνητικό όργανο που εξασφαλίζει την εναρμόνιση των τεχνικών απαιτήσεων των οχημάτων.

Πέρα από τους προαναφερθέντες οργανισμούς, μελέτες γύρω από τη λειτουργία των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων πραγματοποιούνται από τις ομάδες εργασίας των κρατών- μελών, καθώς και από τους ερευνητές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Demiridi, et al., 2018).

Στην πλειοψηφία των ευρωπαϊκών χωρών η οδηγητική συμπεριφορά ρυθμίζεται σύμφωνα με τους κανόνες κυκλοφορίας και ενισχύεται από το ποινικό και αστικό δίκαιο, τις συμβάσεις της Βιέννης του 1968 και την ευρωπαϊκή οδηγία 2006/126 / ΕΚ (Demiridi, et al., 2018).

Η σύμβαση της Βιέννης του 1968 αφορά μια διεθνή συμφωνία μεταξύ των συμβαλλόμενων μελών που αποσκοπεί στη διευκόλυνση των οδικών μεταφορών με την καθιέρωση πρότυπων κανόνων κυκλοφορίας. Μέχρι σήμερα, η σύμβαση έχει επικυρωθεί από 73 χώρες, ενώ όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν υιοθετήσει τις ρυθμίσεις της σύμβασης, πέρα από την Ισπανία και το Ηνωμένο Βασίλειο (Pillath, 2016). Ωστόσο, η συγκεκριμένη συνθήκη αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια για τη δοκιμή, την ανάπτυξη και την καθιέρωση των αυτόνομων οχημάτων. Συγκεκριμένα, στην παράγραφο 1 του άρθρου 8 αναφέρεται ότι *«κάθε κινούμενο όχημα ή συνδυασμός οχημάτων πρέπει να έχει οδηγό»* (ITC, 1968). Παράλληλα, η παράγραφος 1 του άρθρου 13 ορίζει ότι *«κάθε οδηγός ενός οχήματος πρέπει σε κάθε περίπτωση να διατηρεί τον έλεγχο του οχήματος...»* (ITC, 1968). Οι θεμελιώδεις αυτές αρχές ουσιαστικά απαγορεύουν τη κυκλοφορία αυτόνομων οχημάτων σε όλα τα κράτη που έχουν επικυρώσει τη συνθήκη της Βιέννης, επιτρέποντας μόνο τη χρήση μερικώς αυτοματοποιημένων συστημάτων και πάντα υπό την εποπτεία του οδηγού.

Το Μάρτιο του 2014 η ομάδα WP.1 ενέκρινε την τροποποίηση των άρθρων 8 και 39 η οποία τέθηκε σε ισχύ το 2016 (Demiridi, et al., 2018). Σύμφωνα με την τελευταία, *«τα συστήματα που επηρεάζουν τον τρόπο οδήγησης των οχημάτων, καθώς και οποιαδήποτε άλλα συστήματα μπορούν να αντικατασταθούν ή να απενεργοποιηθούν από τον οδηγό θεωρούνται σύμφωνα με το άρθρο 8»* (Pillath, 2016). Συγκεκριμένα, η τροπολογία αυτή επιτρέπει τον εξοπλισμό των οχημάτων με χαρακτηριστικά μερικής αυτονομίας, με την προϋπόθεση ότι ο οδηγός θα είναι στη θέση του τιμονιού και ανά πάσα στιγμή έτοιμος να ανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος. Παρά το γεγονός ότι η τροποποίηση της Σύμβασης της Βιέννης θέτει τα θεμέλια της ενσωμάτωσης των μεταρρυθμίσεων που σχετίζονται με την καθιέρωση των CAVs, η ύπαρξη του ανθρώπου στη θέση του οδηγού παραμένει υποχρεωτική. Απαιτείται, συνεπώς, περαιτέρω διερεύνηση της τροπολογίας προκειμένου να συμπεριληφθούν σε αυτή οι περιπτώσεις των συστημάτων

αυτοματισμού 4 και 5, στις οποίες η λειτουργία της οδήγησης υποστηρίζεται αποκλειστικά από ψηφιακά μέσα.

Εξίσου σημαντική θεωρείται η εναρμόνιση των τεχνικών απαιτήσεων που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία ενός οχήματος στο ενιαίο ευρωπαϊκό οδικό δίκτυο, ζήτημα που αποτελεί αντικείμενο μελέτης του οργάνου WP.29 της UNECE. Η εναρμόνιση αυτή περιγράφεται καταρχήν από τις ακόλουθες δύο συμφωνίες της UNECE των ετών 1958 και 1998 και αφορούν τον τρόπο κατασκευής και ταξινόμησης των οχημάτων (Pillath, 2016):

- Η Συμφωνία του 1958 απαρτίζεται σήμερα από 54 συμβαλλόμενα μέρη και σχετίζεται με την παροχή ενιαίου πλαισίου για τη θέσπιση διεθνών κανονισμών με ομοιόμορφες διατάξεις δοκιμών για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας οχημάτων.
- Η Συμφωνία του 1998 αφορά τη θέσπιση τεχνικών κανονισμών σε παγκόσμιο επίπεδο για τη κατασκευή καινούριων οχημάτων και τις ανάλογες απαιτήσεις απόδοσης και περιλαμβάνει 35 συμβαλλόμενα μέρη.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελεί ένα από τα παραπάνω συμβαλλόμενα μέλη των δύο Συμφωνιών, αφού το Δεκέμβριο του 2014 προχώρησε στην επικύρωση 118 προτύπων της Συμφωνίας του 1958 και υπερψήφισε τους 16 αντίστοιχους κανονισμούς της Συμφωνίας του 1998 (Pillath, 2016). Η κίνηση αυτή είχε ως στόχο τον εκσυγχρονισμό της νομοθεσίας που διέπει τη λειτουργία των νέων οχημάτων, με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να σημειώνει την προσδοκία της ότι τα προσεχή έτη το ρυθμιστικό πλαίσιο για τα αυτοματοποιημένα οχήματα θα τοποθετηθεί προοδευτικά ως ζήτημα προτεραιότητας για τα αρμόδια όργανα WP.29.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ο κανονισμός επ' αριθμόν 79 αναφορικά με το σύστημα διεύθυνσης, κατά τον οποίο απαγορεύεται η κυκλοφορία ενός πλήρους αυτόνομου οχήματος όταν αυτό κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη των 10 χιλιομέτρων την ώρα (ITC, 2005). Συμπερασματικά, τα παραπάνω πρότυπα δεν προωθούν την ελεύθερη τεχνολογική ανάπτυξη και χρήζουν περαιτέρω τροποποίησης προκειμένου να συμπεριλάβουν τις αυτοματοποιημένες λειτουργίες οδήγησης.

Οι προσπάθειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάπτυξη των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων είναι συνεχείς, καθώς τα αρμόδια όργανα έχουν ξεκινήσει μια σειρά ερευνητικών έργων τα οποία εξετάζουν τις δυνατότητες των συγκεκριμένων τεχνολογιών. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται το πρόγραμμα PReVENT αναφορικά με τη διάδοση των συστημάτων ADAS, το SARTRE που σχετίζεται με τη λειτουργία του platooning, το AdaptIVe για την ανάπτυξη των αυτοματοποιημένων χαρακτηριστικών στα οχήματα και το CityMobil2. Το τελευταίο αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικότερα παραδείγματα στην προσπάθεια ενσωμάτωσης αυτόνομων οχημάτων επιπέδου 5 και ως διάδοχος του CityMobil προωθεί τα έξυπνα συστήματα μεταφορών (ITS) για κυκλοφορία αυτοματοποιημένων οχημάτων σε προστατευμένο αστικό περιβάλλον (Dokic, et

al., 2015). Η εφαρμογή του προγράμματος βασίστηκε στην ιδέα του CyberCars που προωθήθηκε από το ινστιτούτο INRIA στη Γαλλία και αφορά μικρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα που κινούνται αυτόνομα με τη βοήθεια επικοινωνιών V2V (Bouraoui, et al., 2006).

Πίνακας 7.1: Ενδεικτικά ερευνητικά έργα της Ευρωπαϊκής Ένωσης προς την ανάπτυξη της αυτοματοποιημένης οδήγησης.

Ερευνητικό έργο	Περίοδος	Στόχος
PROMETHEUS	1987-1995	Ανάπτυξη τεχνολογιών ραντάρ.
PReVENT	2004-2008	Δοκιμή και διάδοση συστημάτων ADAS.
HAVEit	2008-2011	Αύξηση της οδικής ασφάλειας και της ενίσχυσης της ευρωπαϊκής αυτοκινητοβιομηχανίας σε μια διεθνή αγορά. Χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων (πχ αυτόματη πέδηση).
SARTRE	2009-2012	Πρακτικές εφαρμογές του platooning. Εξοπλισμός οχημάτων με έξυπνα συστήματα και δοκιμή σε υψηλές ταχύτητες.
COMPANION	2013-2016	Διάδοχος του προγράμματος SARTRE. Πρακτική εφαρμογή του platooning στα βαρέα οχήματα.
interactIVe	2010-2013	Μείωση των ατυχημάτων στο ευρωπαϊκό οδικό δίκτυο. Ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ADAS.
AdaptIVe	2014-2017	Ανάπτυξη αυτόνομων και αυτοματοποιημένων χαρακτηριστικών στα οχήματα
CityMobil2	2012-2016	Προώθηση έξυπνων συστημάτων μεταφορών και κυκλοφορία αυτοματοποιημένων οχημάτων σε προστατευμένο αστικό περιβάλλον.
HORIZON 2020	2014-2020	Ανάπτυξη συνεργατικών ευφυών συστημάτων για βιώσιμη κινητικότητα και συνδεδεμένη αυτοματοποίηση οχημάτων

Παράλληλα, τρεις νέες ντιρεκτίβες βρίσκονται σε εξέλιξη, ήδη από το 2017 και αναμένεται να συμμορφωθούν με την εθνική νομοθεσία μέχρι και το έτος 2023

(Demiridi, et al., 2018). Οι οδηγίες αυτές εξασφαλίζουν ότι οι έλεγχοι τεχνικών προδιαγραφών, οδικών επιθεωρήσεων και ελέγχου των οχημάτων θα αυξήσουν την οδική ασφάλεια.

Παρόμοιες πράξεις και προγράμματα έχουν προταθεί από ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες (Dennis & Spulber, 2016), (Broggi, et al., 2015). Χαρακτηριστικά, στη Γαλλία το πρόγραμμα SCOOOP@F είχε ως στόχο τον εξοπλισμό 3000 οχημάτων με επικοινωνίες V2X. Στην Ιταλία στο πλαίσιο του προγράμματος PROUD διενεργήθηκαν δοκιμές αυτόνομης οδήγησης σε αστικούς δρόμους, σε αυτοκινητόδρομους, σε κυκλικούς κόμβους και σηματοδοτημένες διασταυρώσεις αντιμετωπίζοντας σύνθετα σενάρια λειτουργίας. Η Γερμανία, όντας πρωτοπόρος στην τεχνολογική ανάπτυξη και ιδιαίτερα στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, εξόπλισε με αισθητήρες και ψηφιακά συστήματα τον αυτοκινητόδρομο A9, ο οποίος και συνδέει το Μόναχο με το Βερολίνο. Η πλατφόρμα αυτή, στην οποία υποστηρίζονται οι επικοινωνίες V2X, αξιοποιείται τόσο από την αυτοκινητοβιομηχανία Audi όσο και από άλλους εταίρους της βιομηχανίας στο πλαίσιο του προγράμματος Pegasus, για τη δοκιμή αυτοματοποιημένων συστημάτων επιπέδου 4. Άλλες χώρες στις οποίες διενεργούνται αντίστοιχες ενέργειες είναι η Σουηδία, όπου η αυτοκινητοβιομηχανία Volvo εξοπλίζει τα οχήματά της με το σύστημα οδήγησης IntelliSafe Autopilot και η Ολλανδία, η κυβέρνηση της οποίας επένδυσε στο πιλοτικό έργο EasyMile EZ10 στο οποίο αυτόνομα μίνι λεωφορεία (WEpods) μετέφεραν επιβάτες για μικρές διαδρομές.

Ωστόσο καμία από τις παραπάνω πρωτοβουλίες δεν έχει οδηγήσει στη θέσπιση νομοθετικού πλαισίου σχετικά με τη λειτουργία των CAVs, καθώς τόσο στη συνθήκη της Βιέννης του 1968 όσο και στον κανονισμό επ' αριθμόν 79 υπάρχουν ελάχιστες αναφορές στο ζήτημα. Οι αναφορές αυτές περιορίζονται κυρίως σε ό,τι έχει να κάνει με την αυτοματοποίηση του χειρισμού και την θέση που οφείλει να έχει ο οδηγός και χρήζουν αναδιατύπωσης μέσω νέας νομοθεσίας.

Στην προσπάθεια κάλυψης του παραπάνω κενού, η κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου παρουσίασε νέες προσεγγίσεις σχετικά με τα ζητήματα ηθικής και νομικής φύσης της αυτόνομης τεχνολογίας. Στις 18 Οκτωβρίου του 2017 εισήχθη στο αγγλικό κοινοβούλιο το νομοσχέδιο Automated and Electric Vehicles Bill 2017-19, το οποίο αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ανάληψης ευθύνης σε περίπτωση που ένα όχημα με αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά εμπλέκεται σε ένα ατύχημα, καθώς και στη βελτίωση των σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο οδικό δίκτυο (UK Parliament, 2018).

Το νομοσχέδιο της βρετανικής κυβέρνησης απαρτίζεται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει 7 άρθρα αναφορικά με τα θέματα ασφάλισης που προκύπτουν όταν η ευθύνη για το όχημα μοιράζεται μεταξύ του οδηγού και του ίδιου του οχήματος (Butcher & Edmonds, 2017). Ουσιαστικά, το νομοθέτημα αποτελεί μια προέκταση της τωρινής υποχρέωσης των οδηγών να ασφαλίζουν τα οχήματά τους για την παροχή αποζημίωσης σε τρίτους για σωματικές βλάβες ή υλικές ζημιές σε ενδεχόμενο ατύχημα, ώστε να καλύπτεται η περίπτωση κυκλοφορίας οχημάτων

χωρίς οδηγό. Ratio της παραπάνω αρχής είναι η διατήρηση του νομικού καθεστώτος αναφορικά με τα πρόσωπα που ενέχονται σε μια διαφορά που προκύπτει από ασφαλισμένο αυτόνομο ή μερικώς αυτόνομο όχημα, αφού απαλλάσσει από την εν λόγω έννομη σχέση την κατασκευαστική εταιρία, η ευθύνη της οποίας δεν διαδραματίζει κάποιο ρόλο στο πλαίσιο του ασφαλιστικού δικαίου. Ο κατασκευαστής παραμένει υπεύθυνος σε οτιδήποτε αφορά ελαττώματα ή κατασκευαστικές αστοχίες του οχήματος στο πλαίσιο του αστικού δικαίου και ειδικότερα του δικαίου των συμβάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το νομοσχέδιο εξετάζει την περίπτωση στην οποία ο άνθρωπος- οδηγός χρήζει αποζημίωσης, εάν το αυτόνομο όχημα στο οποίο επιβαίνει εμπλέκεται σε ατύχημα (Butcher & Edmonds, 2017).

Το δεύτερο μέρος του νομοθετήματος περιλαμβάνει τα άρθρα 8-15 που σχετίζονται με τις προσπάθειες της Βρετανικής κυβέρνησης να εκπληρώσει τις υποχρεώσεις της στον τομέα της κλιματικής αλλαγής και να βελτιώσει την ποιότητα του αέρα ιδιαίτερα σε πόλεις όπως το Λονδίνο. Παράλληλα, οι αρμόδιοι φορείς δεσμεύονται ότι μέχρι το έτος 2050 οι εκπομπές των οχημάτων και των φορτηγών θα είναι μηδενικές, προωθώντας ταυτόχρονα τη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Περίπου την ίδια περίοδο, τον Ιούνιο του 2017, η Επιτροπή Δεοντολογίας της Γερμανίας δημοσίευσε τη μελέτη με τίτλο «Automated and Connected Driving» που είχε ως στόχο την ανάπτυξη ζητημάτων ηθικής δεοντολογίας αναφορικά με τη λειτουργία της αυτόνομης και διασυνδεδεμένης οδήγησης (Ethics Commission, 2017). Η έρευνα εκπονήθηκε από 5 ομάδες εργασίας οι οποίες στο σύνολό τους κατέληξαν σε ζητήματα που, μεταξύ άλλων, εξετάζουν θέματα όπως τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αυτοματοποιημένων συστημάτων, την ελευθερία επιλογής του ανθρώπου σε καταστάσεις διλήματος, στις οποίες το όχημα πρέπει να λάβει μια απόφαση ανάμεσα σε δύο μοιραία αποτελέσματα και την απόδοση ευθύνης, την εξάρτηση και την υποταγή στα τεχνολογικά συστήματα, τον ρόλο της υποδομής και την χρήση δεδομένων μεταξύ ασφάλειας και προσωπικής αυτονομίας.

Αναφορικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια της κοινής χρήσης δεδομένων τίθεται σε ισχύ μια σειρά διατάξεων, στις οποίες οφείλουν να συμμορφώνονται όλα τα κράτη- μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι λεπτομέρειες της εκάστοτε Οδηγίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2: Ευρωπαϊκές Οδηγίες αναφορικά με την προστασία των δεδομένων.
 [Πηγή]: (Lawspot, 1995), (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2002-2016)

Οδηγία	Ημερομηνία	Στόχος
95/46/EK	24 Οκτωβρίου 1995	<i>Για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών.</i>
2002/58/EK	12 Ιουλίου 2002	<i>Για την επεξεργασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και την προστασία της ιδιωτικής ζωής στον τομέα των ηλεκτρονικών επικοινωνιών.</i>
2006/24/EK	15 Μαρτίου 2006	<i>Για τη διατήρηση δεδομένων που παράγονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία σε συνάρτηση με την παροχή διαθεσίμων στο κοινό υπηρεσιών ηλεκτρονικών επικοινωνιών ή δημοσίων δικτύων επικοινωνιών και για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/58/EK.</i>
2009/136/EK	25 Νοεμβρίου 2009	<i>Για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/22/EK για την καθολική υπηρεσία και τα δικαιώματα των χρηστών όσον αφορά δίκτυα και υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών, της οδηγίας 2002/58/EK σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και την προστασία της ιδιωτικής ζωής στον τομέα των ηλεκτρονικών επικοινωνιών και του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 2006/2004 για τη συνεργασία μεταξύ των εθνικών αρχών που είναι αρμόδιες για την επιβολή της νομοθεσίας για την προστασία των καταναλωτών.</i>
(ΕΕ) 2016/680	27 Απριλίου 2016	<i>Για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα από αρμόδιες αρχές για τους σκοπούς της πρόληψης, διερεύνησης, ανίχνευσης ή δίωξης ποινικών αδικημάτων ή της εκτέλεσης ποινικών κυρώσεων και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών και την κατάργηση της απόφασης-πλαίσιο 2008/977/ΔΕΥ του Συμβουλίου.</i>
(ΕΕ) 2016/681	27 Απριλίου 2016	<i>Για τη χρήση των δεδομένων που περιέχονται στις καταστάσεις ονομάτων επιβατών (PNR) για την πρόληψη, ανίχνευση, διερεύνηση και δίωξη τρομοκρατικών και σοβαρών εγκλημάτων.</i>
(ΕΕ) 2016/679	27 Απριλίου 2016	<i>Για την προστασία των φυσικών προσώπων έναντι της επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα και για την ελεύθερη κυκλοφορία των δεδομένων αυτών, η οποία και καταργεί την Οδηγία 95/46/EK</i>

Περαιτέρω, μια πληθώρα ευρωπαϊκών οργανώσεων εργάζεται πάνω στο ζήτημα, όπως είναι η DG MOVE, η DG JUST, η DG CNECT και η DG GROW (Demiridi, et al., 2018). Στόχος των παραπάνω οργάνων είναι η προστασία των προσωπικών δεδομένων και της ιδιωτικής ζωής, για τη συνακόλουθη ανάπτυξη των αυτοματοποιημένων και διασυνδεδεμένων οχημάτων.

Ωστόσο, και παρά το πλήθος των διατάξεων, υπάρχουν ανοικτά ζητήματα όσον αφορά το σκοπό, τη διάρκεια και τον τρόπο συλλογής των προσωπικών δεδομένων, καθώς και την εκλογή των υπεύθυνων για την παραπάνω διαδικασία.

7.5. Αμερικανική νομοθεσία και κανονισμοί

Όσον αφορά τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, το Υπουργείο Μεταφορών (US Department of Transportation) σε συνεργασία με την Εθνική Υπηρεσία Οδικής Ασφάλειας (National Highway Traffic Safety Administration- NHTSA) καταβάλουν συνεχείς προσπάθειες προκειμένου να αυξήσουν το επίπεδο ασφάλειας και να δημιουργήσουν ένα αποδοτικό σύστημα μεταφορών. Η αξιοποίηση των αυτοματοποιημένων και διασυνδεδεμένων τεχνολογιών προς όφελος των οδικών μεταφορών αποτελεί ζήτημα που απασχολεί τόσο τους δημόσιους όσο και τους ιδιωτικούς φορείς, οι οποίοι και συνεργάζονται σε εθνικό και πολιτειακό επίπεδο.

Συγκεκριμένα, το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ ηγείται της κρατικής προσπάθειας σχετικά με την ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων μέσω του προγράμματος ITS Strategic Plan, το οποίο στοχεύει στην ουσιαστική ένταξη των CAVs στο οδικό δίκτυο όλης της χώρας και στην προώθηση της έρευνας για την ανάπτυξη της αυτοματοποίησης (ITS Joint Program Office, 2015-2019). Στο πλαίσιο αυτό, αναφέρεται το Πρόγραμμα Συνδεδεμένων Οχημάτων (Connected Vehicle Program) που επικεντρώνεται στις τεχνολογίες διασύνδεσης που σχετίζονται με την επικοινωνία μικρής εμβέλειας DSRC (Dennis & Spulber, 2016) και το Smart City Challenge το οποίο προκηρύχθηκε το Δεκέμβριο του 2015 με μια επιχορήγηση της τάξης των 40 εκατομμυρίων δολαρίων, ζητώντας από τις πόλεις μεσαίου μεγέθους να προβούν στην ανάπτυξη ιδεών σχετικά με τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου έξυπνου συστήματος μεταφορών που θα βασίζεται στην ανταλλαγή δεδομένων και στην τεχνολογία της διασύνδεσης (U.S Department of Transportation, 2017). Νικήτρια του διαγωνισμού αναδείχθηκε η πόλη του Κολόμπους στο Οχάιο, η οποία δεσμεύτηκε να προχωρήσει τη διαδικασία εξοπλισμού των οχημάτων με το σύστημα DSRC σε ιδιωτικά και δημόσια οχήματα, καθώς και σε μέσα μαζικής μεταφοράς. Επιπλέον έξι πόλεις χρηματοδοτήθηκαν με το ποσό των 100.000 δολαρίων για τον ίδιο σκοπό, μεταξύ των οποίων το Όστιν, το Κάνσας και το Σαν Φρανσίσκο

Πέρα από την τεχνολογία της διασύνδεσης, το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ μελετάει ζητήματα που αφορούν την αυτοματοποίηση των οχημάτων και

δεσμεύεται να επικεντρωθεί στην πρόοδο των συστημάτων που θα επιτρέψουν την ομαλή και ασφαλή εισαγωγή τέτοιων χαρακτηριστικών στο δίκτυο μεταφορών της Αμερικής (Dennis & Spulber, 2016). Σε περαιτέρω ανάλυση, τα αρμόδια όργανα θεωρούν ότι η ανάπτυξη των αυτοματοποιημένων ή αυτόνομων τεχνολογιών σε συνδυασμό με τη λειτουργία της διασύνδεσης θα αυξήσει τις ικανότητες των οχημάτων και κατά συνέπεια θα βελτιώσει αισθητά τη διεκπεραίωση του οδηγικού έργου.

Σε συνεργασία με την Εθνική Υπηρεσία Οδικής Ασφάλειας και τους κατασκευαστές του κλάδου, το Υπουργείο Μεταφορών αποσκοπεί στη δημιουργία νομοθετικού πλαισίου το οποίο θα διευκολύνει την εισαγωγή αυτοματοποιημένων χαρακτηριστικών στα λειτουργικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων με πλήρη αυτονομία. Σύμφωνα με τη NHTSA, τα χαρακτηριστικά των αυτοματοποιημένων οχημάτων δεν μπορούν να υπόκεινται στα Ομοσπονδιακά Πρότυπα Ασφαλείας Μηχανοκίνητων Οχημάτων (Federal Motor Vehicle Safety Standards- FMVSS) του Υπουργείου Μεταφορών, με την ίδια να προτείνει μια ριζική αναθεώρηση των προηγούμενων κανόνων ώστε να συμπεριληφθούν οι περιπτώσεις των αυτοματοποιημένων αυτοκινήτων. Για το λόγο αυτό, η ίδια υπηρεσία δημοσίευσε το Σεπτέμβριο του 2016 (Dennis & Spulber, 2016) ένα εκτενές έγγραφο σχετικά με την πολιτική των αυτοματοποιημένων οχημάτων, το οποίο όμως δεν έχει καμία ισχύ από μόνο του και δεν επηρεάζει τις ενεργές νομοθετικές ή κανονιστικές διατάξεις. Ωστόσο, η κίνηση αυτή υποδεικνύει ότι η NHTSA εξετάζει σοβαρά το ενδεχόμενο για μελλοντική θέσπιση σχετικών νομοθετημάτων.

Ταυτόχρονα, παρέχεται η δυνατότητα σε κάθε πολιτεία να ενεργεί αυτόνομα και να διενεργεί προσπάθειες με σκοπό την ένταξη των προαναφερθεισών καινοτομιών. Ήδη από το 2011 είκοσι ένα από τα κράτη των ΗΠΑ υπερψήφισαν τροπολογίες ή προχώρησαν στη θέσπιση νέων νομικών πλαισίων αναφορικά με τα αυτόνομα και διασυνδεδεμένα οχήματα, ενώ πέντε κυβερνήσεις εξέδωσαν εκτελεστικές εντολές σχετικά με την αυτόνομη οδήγηση (Demiridi, et al., 2018). Ο συνηθέστερος σκοπός των νομοθετικών προσπαθειών της κάθε πολιτείας είναι η εισαγωγή ορισμών, η έγκριση δοκιμών επί του υφιστάμενου οδικού δικτύου, η προώθηση της ανάπτυξης των προηγμένων τεχνολογιών και ο καθορισμός της απόδοσης ευθύνης.

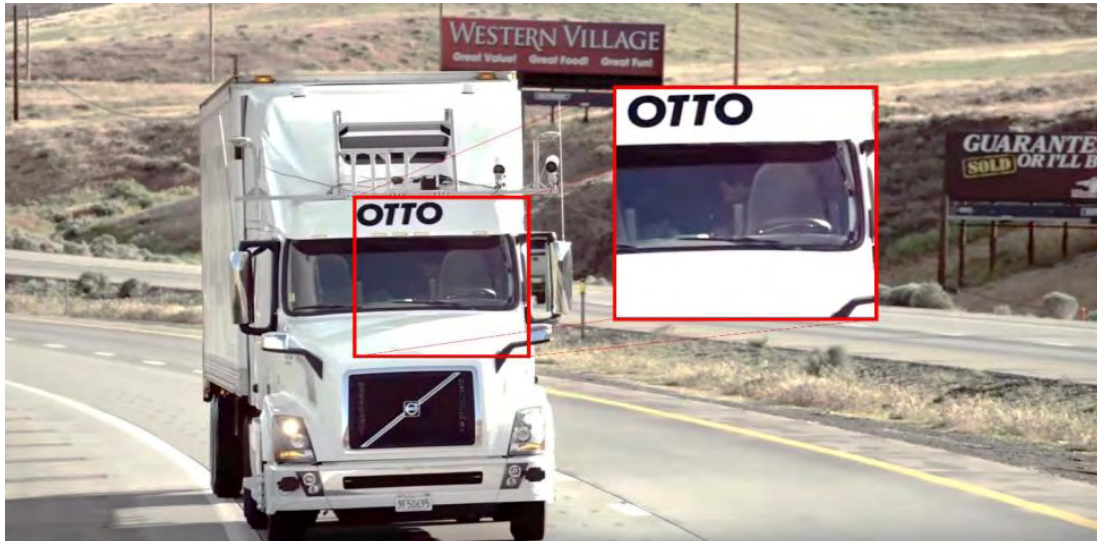
Η Νεβάδα ήταν η πρώτη πολιτεία που υιοθέτησε τη νομοθεσία σχετικά με την αυτοματοποίηση των οχημάτων το 2011 (Dennis & Spulber, 2016). Το νομοσχέδιο της Νεβάδα AB 511 (2011) ήταν αρκετά ασαφές, καθώς δεν παρείχε επαρκείς λεπτομέρειες αναφορικά με τον τρόπο ρύθμισης των οχημάτων με αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά. Ωστόσο, η παρέμβαση του Τμήματος Μηχανοκίνητων Οχημάτων ήταν καθοριστική, αφού το Μάρτιο του 2012 εξέδωσε τους απαραίτητους νομικούς όρους για να καταστεί δυνατή η δοκιμή αυτοματοποιημένων οχημάτων (Dennis & Spulber, 2016). Το νομοθέτημα SB 313 του 2013 έθεσε τα θεμέλια για την έναρξη δοκιμής αυτόνομων οχημάτων σε

αυτοκινητόδρομους στην περιοχή της Νεβάδα, με την προϋπόθεση της ύπαρξης ενός χειριστή σε θέση που να του επιτρέπει την ανάληψη ελέγχου σε περίπτωση ανάγκης. Περαιτέρω, το νομοσχέδιο αποφασήνισε ζητήματα σχετικά με την απαλλαγή ευθύνης του κατασκευαστή στην περίπτωση μετατροπής συμβατικού οχήματος σε αυτόνομο από τρίτο πρόσωπο (Denis, 2013). Εν συνεχεία και το έτος 2017, ο νόμος SB 313 τροποποιήθηκε ώστε να καταστεί δυνατή η λειτουργία αυτόνομων οχημάτων, χωρίς τη παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα, εφόσον τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις (Demiridi, et al., 2018). Έως τώρα, περισσότερες από έξι εταιρείες έχουν λάβει άδεια για δοκιμή των οχημάτων τους από τις αρμόδιες αρχές της Νεβάδα, μεταξύ των οποίων η Google, η Audi, η Continental, η Hyundai-Kia και η Daimler.



Εικόνα 7.1: Πιστοποιητικό άδειας λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων της Νεβάδα. [Πηγή]: (Dennis & Spulber, 2016)

Βέβαια και παρά το γεγονός ότι η πολιτεία της Νεβάδα έχει εγκρίνει την δοκιμή αυτόνομων οχημάτων, οι αρμόδιοι φορείς θεωρούν ότι επί του παρόντος τα αυτόνομα οχήματα δεν μπορούν να είναι ακόμη διαθέσιμα για το ευρύ κοινό. Μάλιστα, πρόσφατα στοιχεία καταδεικνύουν ότι οι κανονισμοί του νομικού πλαισίου της Νεβάδα δε λειτουργούν όπως προβλέπεται. Συγκεκριμένα, η εταιρεία Otto, η οποία εμπορεύεται συστήματα αυτοματισμού για οχήματα, πραγματοποίησε δοκιμή στον αυτοκινητόδρομο I-80 της Νεβάδα χωρίς να λάβει την αντίστοιχη άδεια. Παρ' όλα αυτά, το Τμήμα Μηχανοκίνητων Οχημάτων δεν επέβαλε κυρώσεις στην εταιρεία, η οποία συνέχισε τη διεξαγωγή των δοκιμών για αρκετό διάστημα. Στη συνέχεια η Otto υπέβαλε αίτηση, η οποία και εγκρίθηκε, για την πρώτη επίσημη εγκατάσταση δοκιμής αυτόνομων οχημάτων στη Νεβάδα. Η πλατφόρμα αυτή, γνωστή και ως Autonomous Vehicle Certification Facility (AVCF) δημιουργήθηκε με σκοπό την ασφαλή χρήση οχημάτων χωρίς οδηγό από τους καταναλωτές, τα οποία, τα οποία και κατασκευάζονται από την εταιρεία Otto και τη μητρική της, Uber (Dennis & Spulber, 2016).



Εικόνα 7.2: Δοκιμή φορτηγού οχήματος χωρίς οδηγό της εταιρείας Otto στον αυτοκινητόδρομο της Νεβάδα [Πηγή]: (Dennis & Spulber, 2016)

Εν συνεχεία, το νομοσχέδιο SB 1298 που εγκρίθηκε το 2012, υποχρέωσε το Τμήμα Περιπολίας Αυτοκινητόδρομων της Καλιφόρνια να υιοθετήσει πρότυπα ασφαλείας και απαιτήσεις σχετικά με την απόδοση του συστήματος με σκοπό την εξασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας και δοκιμής αυτόνομων οχημάτων σε δημόσιους δρόμους (National Conference of State Legislatures, 2018). Από τον Ιανουάριο του 2014 (Dennis & Spulber, 2016) περισσότεροι από 20 αναπτυξιακοί φορείς έχουν λάβει άδεια για δοκιμή αυτόνομων οχημάτων όπως είναι η Google, η Tesla Motors, η Nissan, η Mercedes Benz, η BMW, η Ford και η Faraday & Future Inc. Σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς, οι εταιρείες που δοκιμάζουν τα αυτοματοποιημένα μοντέλα τους στο δημόσιο δίκτυο είναι υποχρεωμένες να αναφέρουν οποιαδήποτε εμπλοκή προκύψει, ανεξάρτητα από την παρέμβαση ή όχι του τμήματος της τροχαίας.

Το εν λόγω νομοθέτημα κατεύθυνε το Τμήμα Μηχανοκίνητων Οχημάτων της Καλιφόρνια στην υιοθέτηση ενός πλήρους ρυθμιστικού πλαισίου για την εμπορική ανάπτυξη αυτόνομων αυτοκινήτων. Ταυτόχρονα, το 2016 η Αρχή Μεταφορών του Contra Costa αδειοδοτήθηκε αναφορικά με τη δοκιμή οχημάτων χωρίς τιμόνι, πεντάλ φρένου, επιταχυντή ή/και οδηγό, εφόσον το πείραμα διεξάγεται σε συγκεκριμένες θέσεις και το όχημα λειτουργεί με συγκεκριμένα όρια ταχυτήτων (National Conference of State Legislatures, 2018). Συμπληρωματικοί κανόνες θεσπίστηκαν και εντός του έτους 2017 σχετικά με τον πειραματισμό αυτόνομης οδήγησης και την έκδοση αντίστοιχων αδειών, χωρίς ωστόσο να έχει υιοθετηθεί ένα συνολικό ρυθμιστικό πλαίσιο για την χρήση τέτοιων οχημάτων από τους καταναλωτές.

Η Φλόριντα υπήρξε η δεύτερη πολιτεία, μετά τη Νεβάδα, που εξέδωσε νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την αυτόνομη οδήγηση. Το νομοθέτημα του 2012 περιελάμβανε τους ορισμούς «αυτόνομο οχήμα» και «αυτόνομη τεχνολογία» και

δήλωνε τη νομοθετική πρόθεση για την ενθάρρυνση της ασφαλούς ανάπτυξης, δοκιμής και λειτουργίας μηχανοκίνητων οχημάτων με αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά σε δημόσιους δρόμους του κράτους, εφόσον ο φορέας εκμετάλλευσης του οχήματος πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές (National Conference of State Legislatures, 2018).

Έπειτα, το νομοσχέδιο HB 7027 της Φλόριντα επέτρεψε τη χρήση αυτόνομων οχημάτων σε δημόσιους δρόμους από άτομα με έγκυρη άδεια οδήγησης και εξάλειψε ορισμένες περιοριστικές διατάξεις που σχετίζονται με τη λειτουργία του αυτόνομου οχήματος για δοκιμαστικούς σκοπούς, όπως και την υποχρεωτική απαίτηση να υπάρχει οδηγός.

Η πολιτεία του Μίσιγκαν εισήγαγε, επίσης, σχετικά νωρίς νομοθεσία φιλική προς τη λειτουργία των CAVs, καθώς το 2013 η έγκριση του νομοσχεδίου SB 169 απέδωσε τους ορισμούς των όρων «αυτοματοποιημένη τεχνολογία», «αυτοματοποιημένο όχημα» και «αυτοματοποιημένη λειτουργία» και επέτρεψε τη δοκιμή αυτοματοποιημένων οχημάτων σε ορισμένα μέρη, υπό ορισμένες προϋποθέσεις (National Conference of State Legislatures, 2018). Παράλληλα, ο νόμος SB 663 την ίδια χρονιά περιόρισε την ευθύνη του κατασκευαστή για ζημιές που προκύπτουν από τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται από τρίτο.

Οι μετέπειτα νομοθεσίες που ψηφίστηκαν από τα αρμόδια διοικητικά όργανα του Μίσιγκαν βελτίωσαν τις παραπάνω ορολογίες, επέτρεψαν τη λειτουργία αυτόνομων οχημάτων σε δημόσιους δρόμους χωρίς τη παρουσία οδηγού, προώθησαν τη δημιουργία κέντρων δοκιμής της αυτόματης τεχνολογίας και καθόρισαν τα ζητήματα απόδοσης ευθύνης σε περίπτωση αυτοκινητικού συμβάντος.

Μεταγενέστερα, και άλλες πολιτείες των ΗΠΑ υπερψήφισαν νομοσχέδια σχετικά με τη λειτουργία και δοκιμή αυτοματοποιημένων τεχνολογιών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7.3. Χαρακτηριστικά, το νομικό πλαίσιο τόσο της Βόρειας Ντακότα όσο και της Λουιζιάνα περιλαμβάνουν ορισμούς που σχετίζονται με τα συστήματα αυτοματοποίησης κατά την οδήγηση, όπως «αυτόνομη τεχνολογία» και «αυτοματοποιημένο όχημα», χωρίς όμως να συντρέχουν περαιτέρω διατάξεις προς ρύθμιση. Ωστόσο, και οι δύο κώδικες τονίζουν την αναγκαιότητα χάραξης νέας πολιτικής και, παράλληλα, ορισμένοι από τους κανόνες αναφέρουν ότι οι αρχές αναμένεται να εκδώσουν ειδικές άδειες και πινακίδες κυκλοφορίας για τους κατασκευαστές, ενώ οι τελευταίοι να παραδώσουν αναφορές σχετικά με τα αποτελέσματα των δοκιμών και τα δεδομένα που αποστέλλονται (Marchant & Lindor, 2012).

Πίνακας 7.3: Ανασκόπηση της νομοθεσίας των ΗΠΑ αναφορικά με τα CAVs. [Πηγή]: (Conference on Sustainable Urban Mobility, 2018), (Demiridi, et al., 2018)

Πολιτεία	Νομοσχέδιο	Έτος	Ορολογία	Δοκιμές	Platooning	Δημόσια Λειτουργία	Απόδοση Ευθύνης
Alabama	SJR 81	2016	X		X		
	SB 125	2018					
Arkansas	HB 1754	2017	X	X	X	X	
California	SB 1298	2012	X	X	X		X
	AB 1592	2016					
	AB 669	2017					
	AB 1444	2017					
	SB 145	2017					
	SB 1	2017					
Colorado	SB 213	2017	X	X	X		X
Connecticut	SB 260	2017	X	X		X	
Florida	HB 1207	2012	X	X	X	X	X
	HB 599	2012					
	HB 7027	2016					
	HB 7061	2016					
Illinois	HB 791	2017	X				
Louisiana	HB 1143	2016	X				
Michigan	SB 169	2013	X	X	X	X	X
	SB 663	2013					
	SB 995	2016					
	SB 996	2016					
	SB 997	2016					
	SB 998	2016					
Nevada	AB 511	2011	X	X	X	X	X
	SB 140	2011					
	SB 313	2013					
	AB 69	2017					
New York	SB 2005	2017	X	X			
	AB 9508	2018					
North Carolina	HB 469	2017	X		X	X	
	HB 716	2017					
North Dakota	HB 1065	2015	X				
	HB 1202	2017					
South Carolina	HB 3289	2017	X		X		
Tennessee	SB 598	2015	X	X	X	X	X
	SB 2333	2016					
	SB 1561	2016					
	SB 676	2017					
	SB 151	2017					
Texas	HB 1791	2017	X	X		X	X
	SB 2205	2017					
Utah	HB 373	2015	X	X			
	HB 280	2016					
	SB 56	2018					
Washington	DC B 19-0931	2012				X	X
	HB 2970	2018					

Η μεγαλύτερη πρόκληση για την αμερικανική νομοθεσία είναι η εναρμόνιση όλων των επιμέρους ρυθμιστικών πλαισίων, καθώς κάθε πολιτεία υιοθετεί και εκδίδει

τους δικούς της κανόνες ώστε να είναι σε θέση να εποπτεύει την εξέλιξη των αυτοματοποιημένων οχημάτων εντός των συνόρων της. Τα τελευταία χρόνια, περισσότερες από τις μισές πολιτείες των ΗΠΑ έχουν εισάγει νομοθεσίες αναφορικά με τα CAVs, οι οποίες εξετάζουν το ζήτημα κάνοντας χρήση διαφορετικών προσεγγίσεων. Παρά το γεγονός ότι τα νομοσχέδια θεσπίζονται με σκοπό την ανάπτυξη της τεχνολογίας εντός της πολιτείας, κανένα από αυτά δεν περιλαμβάνει κοινούς ορισμούς, τρόπους αδειοδότησης και δοκιμής ή κοινά κατασκευαστικά πρότυπα, πράγμα που αποτελεί εμπόδιο στην έρευνα των αυτοκινητοβιομηχανιών. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Chris Urmsen, «οι εταιρείες δεν είναι δυνατό να σχεδιάζουν οχήματα για το Τέξας που δεν μπορούν να κυκλοφορήσουν στο Ιλλινόις, τη Φλόριδα ή τη Νέα Υόρκη» (West, 2016).

Η ανάγκη θέσπισης ενιαίου νομικού πλαισίου καταδεικνύεται και στην έκθεση της NHTSA που αναγράφεται παραπάνω και αναφέρεται ως Ομοσπονδιακή Πολιτική Αυτοματοποιημένων Οχημάτων (Federal Automated Vehicles Policy). Μεταξύ των πιθανών κανονισμών προτείνονται κατευθυντήριες γραμμές για ενιαίες ρυθμιστικές διατάξεις στο σύνολο των πολιτειών, εξαιρούνται αναχρονιστικοί κανονισμοί ασφαλείας και αναλύονται τα νέα συστήματα και εργαλεία για την ενθάρρυνση της κυκλοφορίας οχημάτων χωρίς οδηγό (West, 2016). Ωστόσο, η πολιτική της NHTSA συνεχίζει να μην έχει καμία νομική ισχύ, οπότε και λειτουργεί ως καθοδήγηση και όχι ως κανονιστική ρύθμιση. Ως εκ τούτου, εναπόκειται στην κατασκευαστική εταιρεία η συμμόρφωση ή όχι με το περιεχόμενο του εγγράφου, αν και σίγουρα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ιδιαίτερα στο στάδιο της δοκιμής και της αντιστοίχισης σε επίπεδο αυτοματοποίησης (Demiridi, et al., 2018). Περαιτέρω, το έγγραφο της NHTSA αναφέρει ότι οι αρχές της κάθε πολιτείας παραμένουν υπεύθυνες για τη χορήγηση άδειας κυκλοφορίας, την ταξινόμηση των οχημάτων, την έκδοση νόμων, την διεξαγωγή επιθεωρήσεων και τη ρύθμιση ζητημάτων ασφαλείας, ενώ προτείνεται ένα ενιαίο κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με τις διαδικασίες δοκιμής και λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων (Demiridi, et al., 2018).

Όσον αφορά την προστασία των προσωπικών δεδομένων και της ιδιωτικής ζωής, οι ΗΠΑ διαθέτουν ένα αποκεντρωτικό αλλά ταυτόχρονα ισχυρό νομικό πλαίσιο, το οποίο, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, κατανέμεται ως εξής (ITI, 2016), (Rau, 2017):

- Συνταγματικές προστασίες: Η Τέταρτη Τροποποίηση του Αμερικανικού Συντάγματος εξασφαλίζει το δικαίωμα του ατόμου στην προστασία της ιδιωτικής ζωής, καθώς και στην προστασία του από παράλογες κυβερνητικές έρευνες και κατασχέσεις. Ταυτόχρονα, ο κατοχυρωμένος νόμος του Ανώτατου Δικαστηρίου των ΗΠΑ σχετικά με τα ανθρώπινα δικαιώματα εγγυάται τη προστασία της έκθεσης των προσωπικών πληροφοριών.
- Ομοσπονδιακά καταστατικά: Αρκετοί ομοσπονδιακοί νόμοι περί απορρήτου ρυθμίζουν τη συλλογή, τη χρήση και τη παράθεση των δεδομένων

στους τομείς της χρηματοδότησης, της υγείας, τις πληροφορίες που αφορούν τα παιδιά, την καταναλωτική πίστωση, την ασφάλιση, τη στέγαση, την απασχόληση και τα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται το νομοθέτημα περί Ιδιωτικού Απορρήτου του 1974 που προστατεύει την αλόγιστη χρήση δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, ο νόμος ECPA (Electronic Communications Privacy Act) σχετικά με την υποκλοπή των ηλεκτρονικών επικοινωνιών και ο νόμος CFAA (Computer Fraud and Abuse Act) ο οποίος επιβάλλει ποινικές κυρώσεις σε περίπτωση μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης σε αποθηκευμένες πληροφορίες σε υπολογιστή.

- Ομοσπονδιακή Αρχή Συμμόρφωσης: Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Εμπορίου (Federal Trade Commission) έχει ευρεία εξουσία σύμφωνα με την πράξη FTC για την αντιμετώπιση «*αθέμιτων ή παραπλανητικών πράξεων ή πρακτικών που επηρεάζουν το εμπόριο*». Το νομοθέτημα αυτό χρησιμοποιείται σε ποικίλες περιπτώσεις ενάντια σε εταιρείες που εφαρμόζουν αθέμιτες πρακτικές όσον αφορά τη συλλογή και τη χρήση δεδομένων, με σκοπό τη προστασία του καταναλωτή.
- Προστασία του κράτους δικαίου: Υπάρχουν πολυάριθμοι πρόσθετοι μηχανισμοί προστασίας της ιδιωτικής ζωής βάσει του αμερικάνικου κρατικού δικαίου, οι οποίοι καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα πολιτικών απορρήτου, συμπεριλαμβανομένων των διατάξεων του δικαιώματος της ιδιωτικής ζωής στα διάφορα συντάγματα πολιτειακής κλίμακας και τους νόμους παραβίασης της ασφάλειας που υποχρεώνουν τις εταιρείες να αποκαλύπτουν παραβιάσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών που οδηγούν σε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα προσωπικά δεδομένα των καταναλωτών. Ανάμεσα στις πολιτείες, η Καλιφόρνια θεωρείται πρωτοπόρος σε νομικά ζητήματα που αφορούν την προστασία της ιδιωτικής ζωής.

7.6. Ελληνική νομοθεσία και κανονισμοί

Στην Ελλάδα η οδηγική συμπεριφορά, η απόδοση ευθύνης και η ταξινόμηση των οχημάτων διέπονται και καλύπτονται από τους κανόνες κυκλοφορίας, το αστικό και το ποινικό δίκαιο. Ο Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας που ρυθμίζει τις μεταφορές στο σύνολο του ελληνικού οδικού δικτύου, τροποποιήθηκε από την κυβέρνηση το 2012 και περιλαμβάνει τέσσερα μέρη. Το πρώτο μέρος του ΚΟΚ περιέχει γενικούς ορισμούς, οδηγίες σχετικά με τη σήμανση και τη σηματοδότηση, καθώς και κανόνες οδικής συμπεριφοράς. Στο δεύτερο μέρος αναφέρονται όλες οι απαιτούμενες τεχνικές προδιαγραφές των οχημάτων για την αποκόμιση της νόμιμης άδειας κυκλοφορίας, όπως και οι απαραίτητες δεξιότητες που οφείλουν να διαθέτουν οι οδηγοί. Στο τρίτο μέρος του εγχειριδίου αναγράφονται τα διοικητικά μέτρα, τα πρόστιμα και οι κυρώσεις που επιβάλλονται στους παραβάτες και, στο τέταρτο και τελευταίο μέρος παρατίθεται το παράρτημα όλων των πινακίδων

σήμανσης σύμφωνα με τις οποίες ρυθμίζεται η κυκλοφορία στο ελληνικό οδικό δίκτυο.

Παράλληλα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας, βρίσκεται σε ισχύ ο νόμος Νόμος ΓπΝ'/1911 «περί της εκ των αυτοκινήτων ποινικής και αστικής ευθύνης» ο οποίος εκδόθηκε επί Βασιλέως Γεωργίου Α' (Lawspot, 1911) και τροποποιήθηκε μεταγενέστερα. Στο συγκεκριμένο νομοθέτημα αναφέρεται, επίσης, η έννοια της «αντικειμενικής ευθύνης του ιδιοκτήτη και κατόχου αυτοκινήτου, έστω και αν δεν μπορεί να του αποδοθεί πταίσμα για το τροχαίο ατύχημα» (Κλουκινιώτη, 2015). Με άλλα λόγια, ο ιδιοκτήτης του οχήματος καθίσταται συνυπόχρεος με τον ζημιώσαντα παρά το γεγονός ότι δεν παρίσταται τη στιγμή του ατυχήματος, καθώς διαπιστώνεται ότι το συγκεκριμένο πρόσωπο συνδέεται με την πηγή του κινδύνου, δηλαδή το αυτοκίνητο, αντλώντας άμεσα ή έμμεσα ωφελήματα (Κλουκινιώτη, 2015).

Όσον αφορά τη διείσδυση των αυτόνομων οχημάτων στην ελληνική αγορά, η παράγραφος 1 του άρθρου 13 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας θέτει τεράστια εμπόδια στην υλοποίηση μιας τέτοιας προσπάθειας. Συγκεκριμένα, η παράγραφος αναφέρει ότι «κάθε κινούμενο όχημα ή συνδυασμός οχημάτων επιβάλλεται να έχει οδηγό» (Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2012). Σε περαιτέρω ανάλυση, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τα προσόντα και τις απαιτούμενες δεξιότητες ου οφείλει να έχει ο οδηγός, πράγμα που καθιστά σαφή την απαγόρευση οχημάτων χωρίς οδηγό.

Στο πλαίσιο του προγράμματος CityMobil2 το Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών υπερψήφισε το νόμο υπ' αριθμόν 4313, ο οποίος αποτέλεσε μια εξαίρεση του παραπάνω κανόνα, με σκοπό να καταστεί δυνατή η δοκιμή του λεωφορείου χωρίς οδηγό στην περιοχή των Τρικάλων. Το πείραμα αυτό αποτέλεσε ένα «πάντρεμα» καινοτομίας, παράδοσης και τουριστικής προβολής και σύμφωνα με τον δήμο Τρικάλων, στο χρονικό διάστημα 1 Σεπτεμβρίου 2015- 29 Φεβρουαρίου 2016 τα τρία αυτοματοποιημένα λεωφορεία αστικού τύπου πραγματοποίησαν 1490 δρομολόγια και μετέφεραν περισσότερους από 12.000 επιβάτες (Ecopress, 2018). Η κίνηση του οχήματος καταγραφόταν από κάμερες, ενώ ταυτόχρονα ένας οδηγός από απόσταση μπορούσε να το ακινητοποιήσει σε περίπτωση ανάγκης. Ο οδηγός ήταν, επίσης, επιφορτισμένος με την ευθύνη, σε περίπτωση ατυχήματος, σαν να οδηγούσε ένα πραγματικό όχημα (Demiridi, et al., 2018).

Σε ό,τι αφορά την διαφύλαξη των δεδομένων και την προστασία της προσωπικής ζωής το θεσμικό πλαίσιο της Ελλάδας εμφανίζεται περισσότερο επαρκές. Ο υπεύθυνος φορέας για τη λήψη αποφάσεων, τη θέσπιση πρακτικών και τη παροχή πληροφοριών αναφορικά με την ιδιωτικότητα των δεδομένων στην Ελλάδα είναι η Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα και, παράλληλα, υιοθετούνται και τηρούνται οι κανόνες που εκδίδονται από τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ενδεικτικά, παρατίθενται οι παρακάτω πρωτοβουλίες (Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, 1997-2018):

- Το 1997 η Αρχή Προστασίας Δεδομένων δημοσίευσε το νόμο 2472 αναφορικά με την «προστασία του ατόμου από την επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα». Όπως αναγράφεται στο άρθρο 4, τα προσωπικά δεδομένα για να τύχουν νόμιμης επεξεργασίας οφείλουν να συλλέγονται κατά θεμιτό τρόπο για καθορισμένους, σαφείς και νόμιμους σκοπούς και να υφίστανται νόμιμη επεξεργασία ενόψει των σκοπών αυτών.
- Ο νόμος 3471/2006 τροποποίησε το παραπάνω ρυθμιστικό πλαίσιο, με σκοπό την ενσωμάτωση της προστασίας των δεδομένων στον τομέα της ηλεκτρονικής επικοινωνίας και την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/58/EK. Το νομοθέτημα περιέχει όλους τους κανονισμούς που διέπουν τη διαδικασία αποστολής και λήψης, καθώς και την επεξεργασία των ηλεκτρονικών δεδομένων.
- Το 2009 υπερψηφίστηκε ο νόμος υπ' αριθμόν 3783, ο οποίος περιέχει μια πληθώρα διατάξεων σχετικά με την ταυτοποίηση των κατόχων και των χρηστών εξοπλισμού και υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας για λόγους εθνικής ασφάλειας και την εξακρίβωση ιδιαίτερα σοβαρών εγκλημάτων.
- Με σκοπό την ενσωμάτωση της Οδηγίας 2006/254/EK στο ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο, ψηφίστηκε ο νόμος 3917/2011 ο οποίος και καθορίζει τον τρόπο διατήρησης και αποθήκευσης των δεδομένων που υποβάλλονται σε επεξεργασία και ανακτώνται από υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών ή τη χρήση συστημάτων επιτήρησης με τη λήψη ή καταγραφή ήχου ή εικόνας.
- Πρόσφατα, στις 25 Μαΐου του 2018 ξεκίνησε η εφαρμογή του Κανονισμού (ΕΕ) 2016/679 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και αφορά όλες τις επιχειρήσεις και τους δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, οι οποίοι επεξεργάζονται προσωπικά δεδομένα. Ο Κανονισμός αυτός, γνωστός και ως Γενικός Κανονισμός για τα Προσωπικά Δεδομένα (GDPR), αποκρυσταλλώνει τις πιο πρόσφατες εξελίξεις σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης με στόχο τη διαφύλαξη της ασφάλειας των δεδομένων των πολιτών, στους οποίους και αναγνωρίζει νέα δικαιώματα.
- Τέλος, αναφέρεται η Απόφαση με αριθμό 58/2005 τη Αρχής Προστασίας Δεδομένων, σχετικά με τις κάμερες διαχείρισης της κυκλοφορίας, η Γνωμοδότηση 1/2009 για τη λειτουργία κλειστών κυκλωμάτων τηλεόρασης σε δημόσιους χώρους, η Οδηγία 1/2005 αναφορικά με την ασφαλή καταστροφή προσωπικών δεδομένων μετά το πέρας της περιόδου που απαιτείται για την πραγματοποίηση του σκοπού επεξεργασίας και η απόφαση 91/2009.

7.7. Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ισχύουσα νομοθεσία, καθώς και όλα τα ζητήματα που απορρέουν από αυτή σχετικά με την ανάπτυξη των διασυνδεδεμένων και αυτόνομων οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στην

Αμερική και στην Ελλάδα. Τα ζητήματα αυτά επικεντρώνονται κατά κύριο λόγο στην απόδοση ευθύνης σε περίπτωση εμπλοκής αυτόνομου οχήματος σε κάποιο συμβάν, αφού οι ισχύουσες διατάξεις δεν ξεκαθαρίζουν το βαθμό υπαιτιότητας των οδηγών, των ασφαλιστικών και των κατασκευαστικών εταιρειών. Παράλληλα, η προστασία των προσωπικών δεδομένων και η αποφυγή ηλεκτρονικών επιθέσεων αποτελούν θέματα προς συζήτηση.

Παρά τις προσπάθειες που έχουν καταβληθεί για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων, η ανάγκη θέσπισης εξειδικευμένου νομικού πλαισίου εξακολουθεί να υπάρχει, καθώς πολλά ερωτήματα αναφορικά με την λειτουργία των CAVs παραμένουν αναπάντητα. Χαρακτηριστικά, τα αρμόδια όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν δρομολογήσει μια σειρά ερευνητικών έργων για τη δοκιμή και την εξοικείωση του κοινού με τις αυτοματοποιημένες τεχνολογίες, χωρίς ωστόσο να έχουν μεριμνήσει για την ανάλογη σύνταξη ρυθμιστικού πλαισίου. Από την άλλη, οι περισσότερες πολιτείες των ΗΠΑ έχουν προβεί στην ψήφιση νομοθετημάτων αναφορικά με τα αυτοματοποιημένα οχήματα, με το πρόβλημα να εντοπίζεται στην δυσκολία εναρμόνισης όλων των επιμέρους νομοθεσιών.

Όσον αφορά την Ελλάδα, αυτή, ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οφείλει να συμμορφωθεί με τις προτεινόμενες διατάξεις και να προχωρήσει στη διενέργεια συμπληρωματικών μελετών, όπως τη δοκιμή οχημάτων χωρίς οδηγό, ώστε να ανταποκριθεί έγκαιρα στην άφιξη των προηγμένων τεχνολογιών.

Συνολικά, θα μπορούσε κανείς να πει ότι οι προσπάθειες σύνταξης επαρκούς νομοθετικού πλαισίου βρίσκονται σε εξέλιξη και το τοπίο των μεταφορών αναμένεται να αλλάξει ριζικά σε παγκόσμιο επίπεδο τις επόμενες δεκαετίες.

8. Συμπεράσματα

Η σύλληψη της ιδέας του αυτόνομου οχήματος πραγματοποιήθηκε πολλές δεκαετίες πριν, αφού αρκετοί ερευνητές ήδη από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα περιέγραψαν στις μελέτες τους ένα εξιδανικευμένο όχημα με δυνατότητες αυτοπλοήγησης, το οποίο προσομοιάζει το αυτοκίνητο χωρίς οδηγό όπως αυτό υφίσταται σήμερα. Οι συνεχείς προσπάθειες πάνω στην έρευνα του προτύπου αυτού, καθώς και η εφεύρεση πολλών επιμέρους πρώιμων μηχανισμών οδήγησαν στην ανάπτυξη της τεχνολογικής καινοτομίας που σήμερα αναφέρεται ως CAVs.

Τα διασυνδεδεμένα και αυτόνομα οχήματα αποτελούν επιτεύγματα της σύγχρονης βιομηχανίας αυτοκινήτων, τα οποία εξοπλίζονται με τα πιο εξελιγμένα συστήματα καθοδήγησης με σκοπό την υποστήριξη του οδηγικού έργου ή την εξ ολοκλήρου ανάληψη ελέγχου του χειρισμού των οργάνων. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία της διασύνδεσης επιτρέπει σε ένα όχημα να ανταλλάσσει δεδομένα με τα άλλα οχήματα της οδού, όπως και με τα συστήματα της υποδομής ή τους πεζούς, αναφορικά με το στίγμα του στο χάρτη, την ταχύτητα κίνησής του ή τα σημεία εμπλοκής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των συστημάτων C-ITS, το πιο αξιοσημείωτο εκ των οποίων είναι το ασύρματο πρότυπο μικρής εμβέλειας DSRC, το οποίο προωθεί την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ δύο στοιχείων σε εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες. Άλλα συστήματα της κατηγορίας των Συνεργατικών Ευφυών Συστημάτων είναι ο δέκτης LIDAR, ο δέκτης RADAR και το GPS.

Παράλληλα, ένα πλήρως αυτόνομο όχημα είναι κατασκευασμένο ώστε να εκτελεί όλες τις λειτουργίες χειρισμού χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Ωστόσο, ο βαθμός ελευθερίας που δίνεται σε ένα όχημα, ο οποίος σχετίζεται με το στάδιο αυτοματοποίησης στο οποίο εμπίπτουν τα εγκαταστημένα συστήματα ελέγχου, είναι αυτός που καθορίζει το ποσοστό ανάμιξης του οδηγού. Σύμφωνα με τα πρότυπα SAE υπάρχουν έξι στάδια αυτοματοποίησης τα οποία κυμαίνονται από τον μηδενικό (level 0) έως τον πλήρη αυτοματισμό (level 5). Σε ένα όχημα είναι δυνατό να αποδοθεί ο χαρακτηρισμός «αυτόνομο» όταν αυτό ανήκει στην κατηγορία αυτοματοποίησης 3 και άνω.

Συνδυάζοντας τις δυνατότητες της συνεργασίας, της συνδεσιμότητας και του αυτοματισμού είναι εφικτό να πολλαπλασιαστούν οι αυτόματες και επικοινωνιακές ιδιότητες του συστήματος και το όχημα να έχει μια τέλεια αντίληψη του περιγύρου του, γεγονός που θα συμβάλλει στη δημιουργία ενός αποδοτικού και ισχυρού οδικού δικτύου μεταφορών.

Όπως συμβαίνει με τις περισσότερες τεχνολογικές εξελίξεις αυτού του είδους, η αποδοχή των διασυνδεδεμένων και ιδιαίτερα των αυτόνομων οχημάτων από το αγοραστικό κοινό είναι εκείνη που θα καθορίσει τον χρόνο και τον τρόπο με τα οποία αυτά θα τεθούν στην κυκλοφορία. Οι υφιστάμενες μελέτες λειτουργούν για την ώρα σε καθαρά υποθετικό επίπεδο και αναδεικνύουν ότι οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τα οφέλη που προκύπτουν από την τεχνολογία, μεταξύ των

οποίων την παραγωγική αξιοποίηση του χρόνου και το χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, όμως διατηρούν επιφυλακτική στάση απέναντι σε άλλα ζητήματα όπως την ασφάλεια των υπολογιστικών συστημάτων, το συνολικό κόστος, την επαρκή νομοθεσία, τη διαρροή των προσωπικών τους δεδομένων και την τεχνολογική εξάρτηση. Συγκεκριμένα, η ασφάλεια φαίνεται να αποτελεί τον πλέον διαφορούμενο παράγοντα της καινοτομίας, αφού παρά το γεγονός ότι τα αυτόνομα οχήματα υπόσχονται να εξαλείψουν το ανθρώπινο λάθος στο οποίο και αποδίδεται το 94% των περιπτώσεων των ατυχημάτων, η ανησυχία των χρηστών αναφορικά με τις τυχόν τεχνολογικές δυσλειτουργίες οξύνεται. Σύμφωνα με τους αναλυτές, η δυσπιστία του καταναλωτικού κοινού σχετικά με την αποδοτικότητα των υπολογιστών στην οδήγηση οφείλεται στη μηδαμινή εξοικείωσή τους με τα συστήματα ADAS.

Ωστόσο, ο βαθμός απήχησης διαμορφώνεται ανάλογα με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε αγοραστικού κοινού. Χαρακτηριστικά, οι άντρες εμφανίζονται περισσότερο δεκτικοί με τα αυτοματοποιημένα συστήματα και είναι πρόθυμοι να προβούν στην αγορά ενός αυτόνομου οχήματος σχετικά γρήγορα. Επίσης, τα νεότερα σε ηλικία άτομα, τα οποία ως επί το πλείστον συμβαδίζουν με τις εξελίξεις της τεχνολογίας, φαίνεται να αντιλαμβάνονται το ρίσκο της εναπόθεσης του οδηγικού έργου στα ψηφιακά συστήματα. Την ίδια στάση διατηρούν και οι καταναλωτές που διαθέτουν υψηλό μορφωτικό επίπεδο. Περαιτέρω, οι ομάδες με χαμηλά εισοδηματικά κριτήρια είναι αρνητικές έναντι της ιδέας των αυτόνομων οχημάτων εξαιτίας του υψηλού εκτιμώμενου κόστους εξοπλισμού τους και ταυτόχρονα αναφέρουν ότι υπάρχουν ανοικτά ζητήματα νομικής φύσεως.

Εξίσου αξιοσημείωτη είναι η αλλαγή που παρατηρείται στα μοντέλα ιδιοκτησίας. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία και προς έκπληξη των μελετητών, οι καταναλωτές στο μέλλον θα είναι πρόθυμοι τόσο να έχουν στην κατοχή τους ένα αυτόνομο όχημα όσο και να το χρησιμοποιούν ως δημόσια υπηρεσία μεταφοράς. Λαμβάνοντας υπόψη το μη προσιτό αρχικά κόστος των οχημάτων χωρίς οδηγό, αναμένεται η ενίσχυση της κοινής χρήσης αυτοκινήτων, με τα συνακόλουθα οφέλη της μείωσης της συμφόρησης.

Όσον αφορά τα ελληνικά δεδομένα, τα ποσοστά αποδοχής των αυτόνομων τεχνολογιών από τους Έλληνες καταναλωτές δεν μπορούν να προσδιοριστούν, καθώς οι στατιστικές έρευνες που εξετάζουν το ζήτημα είναι περιορισμένες. Ωστόσο, βάσει των πληροφοριών που εξάγονται από την Παράγραφο 5.1.3, οι Έλληνες οδηγοί διατηρούν, σε γενικές γραμμές, μια θετική άποψη απέναντι στα αυτοματοποιημένα συστήματα.

Μια ακόμη ενδιαφέρουσα πτυχή της εξεταζόμενης τεχνολογίας είναι οι μεταβολές που αναμένεται να επέλθουν στα κυκλοφοριακά μεγέθη. Τα CAVs όντας αποδεδειγμένα από τον ανθρώπινο παράγοντα και προγραμματισμένα να κινούνται με έναν περισσότερο προβλέψιμο τρόπο, έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν εμφανώς υψηλότερες ταχύτητες και, ταυτόχρονα, να διατηρούν

συγκριτικά μικρότερες αποστάσεις ασφαλείας από τα προπορευόμενα οχήματα. Το πλεονέκτημα αυτό εκτιμάται ότι θα αυξήσει τις τιμές χωρητικότητας των λωρίδων κυκλοφορίας κατά τρόπο που εξαρτάται από τον τύπο της οδού και από την αναλογία των αυτόνομων ή των διασυνδεδεμένων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή.

Στους αυτοκινητόδρομους, οι οποίοι αποτελούν οδικά τμήματα που ευνοούν την ανάπτυξη υψηλών ταχυτήτων, η βελτίωση της χωρητικότητας και η συνακόλουθη άνεση του δρομολογίου που βιώνουν οι χρήστες είναι περισσότερο αισθητή σε σχέση με τους άλλους τύπους οδών. Πιο συγκεκριμένα, η χωρητικότητα λωρίδας αυτοκινητοδρόμου αυξάνεται κατά ποσοστό 7-43% των σημερινών δεδομένων για 100% κυκλοφορία οχημάτων με αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά, ενώ βελτιώνεται σε ποσοστό έως και 273% στην περίπτωση που όλα τα οχήματα διαθέτουν ικανότητες επικοινωνίας. Αυτό έρχεται ως αποτέλεσμα της αξιοσημείωτης μείωσης των αποστάσεων ασφαλείας κατά 34,85% για αυτόνομα οχήματα και κατά 83,54% για διασυνδεδεμένα.

Οι αρτηριακές οδοί, καθώς και τα σημεία των διασταυρώσεων διαμορφώνουν ένα εξαιρετικά προκλητικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των CAVs λόγω του υψηλού φόρτου των χρηστών, των κυκλοφοριακών σημάτων και των φωτεινών σηματοδοτών και ως εκ τούτου εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσοστά συμφόρησης, όπως επίσης και αρκετά σημεία πιθανής σύγκρουσης. Οι μέχρι τώρα έρευνες αναδεικνύουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση στα τμήματα των διασταυρώσεων είναι δυνατό να μειωθεί κατά 5,10 και 15% για ποσοστά διείσδυσης 10,50 και 90% αυτόνομων οχημάτων στην αγορά. Ταυτόχρονα, η χωρητικότητα των λωρίδων εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 40%, ενώ οι χρονικές καθυστερήσεις μπορούν να μειωθούν κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 50% ή κατά 78% περίπου στην περίπτωση ενίσχυσης της V2I επικοινωνίας.

Όσον αφορά τα τμήματα των κυκλικών κόμβων, η λειτουργική ανάλυση κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας η οποία και παρουσιάζεται στην Παράγραφο 6.5.3 της παρούσας εργασίας καταδεικνύει αύξηση της χωρητικότητας κατά 60-65% και 150% για 100% κυκλοφορία αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων, αντίστοιχα. Παράλληλα, αναφέρεται η μείωση των χρονικών καθυστερήσεων κατά 75% των σημερινών δεδομένων για 100% αναλογία αυτόνομων οχημάτων και η μεταβολή της στάθμης εξυπηρέτησης της λωρίδας από επίπεδο Β σε επίπεδο Α για ποσοστό μόλις 60% διασυνδεδεμένων οχημάτων.

Σε κάθε περίπτωση, όσο αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης των CAVs στην ροή της κυκλοφορίας, άλλο τόσο αυξάνεται ο ρυθμός βελτίωσης της χωρητικότητας του εξεταζόμενου τμήματος.

Σε αντίθεση με όσα αναφέρονται παραπάνω, η αύξηση της ζήτησης των μετακινήσεων ως αποτέλεσμα της άνεσης και της προσβασιμότητας που παρέχει η αυτόνομη τεχνολογία, εκτιμάται ότι θα αυξήσει σε ένα βαθμό το σύνολο των οχηματοχιλιομέτρων. Η αύξηση αυτή, παρά την αρνητική επιρροή που αναμένεται να έχει στο ρυθμό αύξησης της χωρητικότητας, δεν επιφέρει ανησυχία στους

ερευνητές, καθώς τα οφέλη που προκύπτουν από την κυκλοφορία των αυτόνομων οχημάτων υπερಿಸχύουν σε όλες τις περιπτώσεις.

Το επόμενο και τελευταίο ζήτημα που εξετάζεται είναι οι ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις που διέπουν τις μεταφορές τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τις ΗΠΑ, όσο και στην Ελλάδα. Τα ζητήματα που προκύπτουν λόγω της χρήσης των CAVs συνοψίζονται στα εξής τρία σημεία: στην απόδοση ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος, στην προστασία των προσωπικών δεδομένων και στις εγκληματικές ενέργειες στον κυβερνοχώρο.

Ειδικότερα, ο καθορισμός της ανάληψης της ευθύνης στην περίπτωση που ένα όχημα χωρίς οδηγό εμπλέκεται σε ένα αυτοκινητικό συμβάν, αποτελεί το μεγαλύτερο κεφάλαιο προς συζήτηση, αφού μπορεί να έχει κοινωνικό, οικονομικό, τεχνικό, νομικό και σε μεγάλο βαθμό ηθικό αντίκτυπο. Ωστόσο, οι υπάρχοντες κανονισμοί δεν διαλευκάνουν το βαθμό υπαιτιότητας των εμπλεκόμενων μερών. Η ευθύνη του οδηγού εκτιμάται ότι θα διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο αυτοματοποίησης των συστημάτων, ενώ ο τρόπος εμπλοκής των ασφαλιστικών εταιριών δεν είναι ξεκάθαρος. Όσον αφορά τους κατασκευαστές, αυτοί ενδέχεται να επωμιστούν επιπλέον μερίδιο ευθύνης σε περίπτωση προγραμματιστικής αστοχίας.

Εν συνεχεία, τα ερευνητικά έργα στο πλαίσιο των προγραμμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με τη δοκιμή των αυτοματοποιημένων τεχνολογιών παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Παρ' όλα αυτά, οι προσπάθειες θέσπισης ανάλογου ρυθμιστικού πλαισίου είναι ελάχιστες.

Αντίθετα, οι αρμόδιες αρχές των περισσότερων πολιτειών των ΗΠΑ έχουν μεριμνήσει, ήδη από τις αρχές της δεκαετίας, για τη σύνταξη νομοθετημάτων αναφορικά με τη χρήση των CAVs. Ιδιαίτερα πολιτείες όπως η Νεβάδα ή το Μίσιγκαν έχουν προβεί σε τροπολογίες που διευθετούν τόσο τα ζητήματα δημόσιας κυκλοφορίας των αυτόνομων οχημάτων, όσο και την απόδοση ευθύνης σε τυχόν δυσλειτουργία. Μολαταύτα, η εναρμόνιση των επιμέρους νομοθεσιών για την αποτελεσματική λειτουργία των οχημάτων χωρίς οδηγό στο σύνολο του οδικού δικτύου της χώρας, αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση για την Αμερική.

Σε ό,τι αφορά τα προσωπικά δεδομένα, αυτά προστατεύονται επαρκώς υπό τις υπάρχουσες οδηγίες, οι οποίες και υπόκεινται σε συνεχείς τροποποιήσεις με σκοπό την επικαιροποίηση και ανταπόκρισή τους στις διαρκώς μεταβαλλόμενες τεχνολογικές απαιτήσεις.

Τέλος, στην Ελλάδα οι προσπάθειες ένταξης των αυτόνομων οχημάτων στην αγορά είναι μηδαμινές, τόσο από την άποψη των δοκιμών και των ερευνητικών έργων όσο και από νομικής σκοπιάς. Οι κανόνες που διέπουν τις μεταφορές είναι ιδιαίτερα αναχρονιστικοί και θέτουν τεράστια εμπόδια στην πρόοδο της εξεταζόμενης τεχνολογίας.

9. Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν ζητήματα, τα οποία ανακύπτουν από την επερχόμενη αντικατάσταση των χειροκίνητων οχημάτων από εκείνα της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας. Τα ζητήματα αυτά επικεντρώνονται κατά κύριο λόγο στην αποδοχή των CAVs από το ευρύ κοινό, στις πιθανές επιπτώσεις που αναμένονται στα κυκλοφοριακά μεγέθη, καθώς και στις ισχύουσες νομικές διατάξεις και το κατά πόσο αυτές διασφαλίζουν την περίπτωση κυκλοφορίας οχημάτων χωρίς οδηγό. Κατά την ανάλυση των συμπερασμάτων του προηγούμενου Κεφαλαίου εντοπίζει κανείς ανοικτά θέματα προς επίλυση, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω εργασίας και συνοψίζονται ως εξής:

Αναφορικά με τη διαδικασία υιοθέτησης των αυτόνομων και διασυνδεδεμένων οχημάτων, τον τρόπο διεξαγωγής στατιστικών ερευνών και τα αποτελέσματα των προτιμήσεων του αγοραστικού κοινού, προτείνονται:

- Η διεξαγωγή επιπλέον στατιστικών ερευνών σχετικά με την απήχηση της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας στο αγοραστικό κοινό, με την ταυτόχρονη επέκταση του εύρους και των χαρακτηριστικών του δείγματος που θα προσδώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην εγκυρότητα των στατιστικών στοιχείων.
- Η μελέτη των προτιμήσεων συγκεκριμένων κατηγοριών ή συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών ώστε να ληφθούν υπόψη οι τυχόν ιδιαίτερες ανάγκες των συγκεκριμένων ομάδων.
- Η συχνότερη διεξαγωγή τέτοιου είδους ερευνών για την επικαιροποίηση των αποτελεσμάτων με τις τεχνολογικές εξελίξεις.
- Η μελέτη του τρόπου εξοικείωσης των καταναλωτών με τα συστήματα υποβοήθησης οδήγησης- ADAS και κατά συνέπεια με την αυτόνομη τεχνολογία, με έμφαση στις αντιδράσεις του κοινού πάνω στο ζήτημα του σταδιακού εξοπλισμού των οχημάτων με αυτοματοποιημένα συστήματα.
- Η περαιτέρω διερεύνηση πάνω στο ζήτημα της ιδιοκτησίας και της δημόσιας υπηρέσας των αυτόνομων οχημάτων.

Σχετικά με τις επιπτώσεις στα κυκλοφοριακά μεγέθη, τα ζητήματα που προσφέρονται για επιπλέον ανάλυση είναι:

- Ο συνυπολογισμός των διαφορετικών τύπων των οδών, των οδοστρωμάτων και των οχημάτων, των πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας και άλλων απρόβλεπτων παραγόντων όπως τα καιρικά φαινόμενα ή την τυχόν ύπαρξη εμποδίων κατά μήκος της οδού και η επανεξέταση της μεταβολής των βασικών μεγεθών κυκλοφορίας υπό αυτές τις συνθήκες.
- Οι εκτιμήσεις του ποσοστού βελτίωσης των κυκλοφοριακών μεγεθών με τη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων διείσδυσης των CAVs στη ροή κυκλοφορίας,

εναλλακτικών υποθέσεων ισορροπίας με τη χρήση περισσότερων μοντέλων προσομοίωσης, καθώς και με την εφαρμογή των τιμών της Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (ΜΗΚ) και της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας (ΕΜΗΚ).

- Οι δυνατότητες της περαιτέρω αύξησης του ρυθμού βελτίωσης των κυκλοφοριακών παραμέτρων με την ταυτόχρονη μείωση των αρνητικών επιδράσεων λόγω της αύξησης των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων και, παράλληλα, η έρευνα πάνω στις εναλλακτικές μορφές διαχείρισης της κυκλοφορίας.

- Η διερεύνηση της επιρροής των μεταβολών αυτών στους τομείς της δημόσιας πολιτικής, της μηχανικής των μεταφορών και του πολεοδομικού σχεδιασμού.

Σε ό,τι αφορά τα ζητήματα νομικής φύσεως, στα οποία η έλλειψη ρυθμιστικού πλαισίου φιλικού προς τα αυτόνομα οχήματα είναι εμφανής, προτείνονται τα εξής:

- Η περαιτέρω έρευνα σχετικά με την απόδοση της ευθύνης σε τυχόν αυτοκινητικό συμβάν και τον βαθμό υπαιτιότητας των εμπλεκόμενων μερών. Ειδικότερα, κρίνεται αναγκαία η μελέτη της παροχής αποζημίωσης στα θύματα όταν το όχημα που εμπλέκεται σε ατύχημα είναι πλήρως αυτόνομο, καθώς και η έρευνα για την εφαρμογή των κατάλληλων ασφαλιστικών ρυθμίσεων. Περαιτέρω, οφείλει να εξεταστεί το ζήτημα της απαλλαγής της ευθύνης του κατασκευαστή στην περίπτωση μετατροπής συμβατικού οχήματος σε αυτόνομο από τρίτο πρόσωπο.

- Η διερεύνηση της αποφυγής των ηλεκτρονικών υποθέσεων και της χρήσης των οχημάτων χωρίς οδηγό σε παράνομες ενέργειες.

- Η συνολική εξέταση των απαιτήσεων λειτουργίας, καθώς και η πρόβλεψη των τροπολογιών που θα οδηγήσουν στη θέσπιση ενός εξειδικευμένου και ενιαίου νομοθετικού πλαισίου για τη δημόσια λειτουργία των οχημάτων χωρίς οδηγό τόσο στην Ευρώπη όσο και στις ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, στην Αμερική είναι απαραίτητος ο καθορισμός των βημάτων που οφείλουν να ακολουθήσουν οι αρμόδιοι φορείς για την εναρμόνιση των πολιτειακών νομοθεσιών σε εθνικό επίπεδο.

Τέλος, κάνοντας ξεχωριστή αναφορά στην περίπτωση της Ελλάδας, η οποία και προσαρμόζεται με πιο αργούς ρυθμούς στις τεχνολογικές εξελίξεις, οι ενέργειες που οφείλουν να διευθετηθούν στο πεδίο μελέτης των CAVs σχετίζονται με:

- Την διεξαγωγή επίσημων στατιστικών ερευνών σχετικά με την αποδοχή της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας από τους Έλληνες καταναλωτές.

- Την μελέτη των απαιτήσεων λειτουργίας για τη δοκιμή τόσο των διασυνδεδεμένων όσο και των οχημάτων χωρίς οδηγό στο οδικό δίκτυο.

- Την έρευνα των προϋποθέσεων για την παροχή χρηματοδότησης ερευνητικών προγραμμάτων, αντίστοιχων με εκείνο του CityMobil2 που είχε ευρεία εφαρμογή στην περιοχή των Τρικάλων.

- Τα ζητήματα που οφείλουν να εξεταστούν για την ουσιαστική εναρμόνιση της νομοθεσίας που διέπει τις μεταφορές με τις ευρωπαϊκές ρυθμιστικές διατάξεις.

Βιβλιογραφία

- U.S Department of Transportation, 2018. *Connected Vehicles: Vehicle-to-Pedestrian Communications*, Washington: U.S Department of Transportation.
- 3M, 2018. *3M*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/%7B%22what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it%22%3A%7B%7B%7D%7D%3Fstoryid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795
[Πρόσβαση 22 May 2018].
- ACEA , 2017. *What is Truck Platooning*, Brussels : ACEA, European Automobile Manufacturers Association.
- Anderson, J. M. και συν., 2016. *Autonomous Vehicle Technology, A Guide for Policymakers*, Santa Monica, Calif: Rand Corporation.
- Applitoools, 2017. *Applitoools*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://applitoools.com/>
[Πρόσβαση 19 May 2018].
- Arseneau, B., Roy, S., Salazar, J. & Yang, J., 2015. *Autonomous and Connected Vehicles- Preparing for the Future of Surface Transportation* , Omaha: HDR.
- Autotrader, 2018. *Autotrader*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.autotrader.com/car-news/automated-vs-autonomous-vehicles-there-difference-273139>
[Πρόσβαση 26 May 2018].
- Bartels, A., Eberle, U. & Knapp, A., 2015. *System Classification and Glossary*, European Union: Adaptive.
- Bates, J. & Leibling, D., 2012. *Spaced out Perspectives on parking policy*, London: RAC Foundation.
- Bhagat, H. R., 2016. *ET Tech*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://tech.economictimes.indiatimes.com/news/technology/sneak-peek-at-the-tech-behind-self-driving-cars/55085492>
[Πρόσβαση 22 February 2018].
- Bloom, C., Tan, J., Ramjohn, J. & Bauer, L., 2017. *Self-Driving Cars and Data Collection: Privacy Perceptions of Networked Autonomous Vehicles*, Santa Clara, USA: Carnegie Mellon University.
- Bouraoui, L. και συν., 2006. *Cybercar cooperation for safe intersections*, Le Chesnay Cedex, France: INRIA.

- Broggi, A., Cerri, P. & Debattisti, S., 2015. PROUD- Public Road Urban Driverless-Car Test. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 September, pp. 3508- 3519.
- Butcher, L. & Edmonds, T., 2017. *Automated and Electric Vehicles Bill 2017-19*, London: House of Commons.
- Carney, S., 2018. *Michigan News, University of Michigan*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://news.umich.edu/cybersecurity-in-self-driving-cars-u-m-releases-threat-identification-tool/>
[Πρόσβαση 5 May 2018].
- Casley, S. V., Jardim, A. S. & Quartulli, A. M., 2013. *A Study of Public Acceptance of Autonomus Cars*, Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute.
- CB INSIGHTS, 2017. *CB INSIGHTS*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.cbinsights.com/research/autonomous-driverless-vehicles-corporations-list/>
[Πρόσβαση 26 April 2018].
- Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2017. *Autonomous Vehicles*, Michigan: University of Michigan.
- DARPA, 2014. *DARPA*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.darpa.mil/news-events/2014-03-13>
[Πρόσβαση 17 March 2018].
- Demiridi, E., Kopelias, P., Nathanail, E. & Skabardonis, A., 2018. 4th Conference on Sustainable Urban Mobility, *Connected and Autonomous Vehicles – Legal issues in Europe, the USA and Greece*, Volos: s.n.
- Denis, S., 2013. *Nevada Legislature*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
<https://www.leg.state.nv.us/Session/77th2013/Reports/history.cfm?ID=759>
[Πρόσβαση 13 May 2018].
- Dennis, E. P. & Spulber, A., 2016. *International Scan of Connected and Automated Vehicle Technology Deployment Efforts*, Michigan: Michigan Department of Transportation.
- Dokic, J., Müller, B. & Meyer, G., 2015. *European Roadmap Smart Systems for Automated Driving*, Berlin: European Technology Platform on Smart Systems Integration.
- Dopart, K., 2015. *U.S. DOT Automation Program*, Washington: U.S. Department of Transportation .
- Dormehl, L. & Edelstein, S., 2018. *Digital Trends*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.digitaltrends.com/cars/history-of-self-driving-cars->

milestones/

[Πρόσβαση 20 March 2018].

Douma, F. & Palodichuk, S. A., 2012. *Criminal Liability Issues Created by Autonomous Vehicles*, Santa Clara: Santa Clara University, School of Law.

Dresner, K. & Stone, P., 2008. *A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management*, Austin, Texas: Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin.

Driveless Transportation, 2014. *Driveless Transportation*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.driverlesstransportation.com/platooning-1157>

[Πρόσβαση 6 June 2018].

Ethics Commission, 2017. *Automated and Connected Driving*, Berlin: Ethics Commission, Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure.

European Commission, 2016. *C-ITS Platform*, Brussels: European Commission.

European Road Safety Observatory, 2017. *Annual Accident Report 2017*, European Union: European Commission.

European Truck Platooning, 2016. *European Truck Platooning Challenge 2016- Creating next generation mobility*, Amsterdam: European Truck Platooning.

Fagnant, D. J. & Kockelman, K., 2015. *Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations for capitalizing on self-driven vehicles*, Austin, Texas: Transportation Research Part A.

Fagnant, D. J. & Kockelman, K. M., 2014. *The future of fully automated vehicles: opportunities for vehicle-and ride-sharing, with cost and emissions*, Austin, Texas: Southwest Region University Transportation Center, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.

Fitchard, K., 2012. *Gigaom*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://gigaom.com/2012/06/06/is-detroit-buying-verizons-lte-connected-car-vision/>

[Πρόσβαση 4 May 2018].

Fitzgerald, V., 2016. *The Manufacturer Thought Leadership Network*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://themanufacturertln.com/automation/jlr-tests-future-autonomous-vehicles/>

[Πρόσβαση 22 May 2018].

Friedrich, B., 2016. The effect of Autonomous Vehicles on Traffic. Στο: M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz & H. Winner, επιμ. *Autonomous Driving, Technical, Legal and Social Aspects*. Berlin: Daimler und Benz Stiftung, pp. 317-334.

- Future Mobility, 2017. *Future Mobility*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.futuremobility.gr/connectivity/how-works-connected-vehicles-technology>
[Πρόσβαση 5 March 2018].
- Gallina, E., 2017. *Formtrends*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.formtrends.com/yangfeng-automotive-interiors-xim17/>
[Πρόσβαση 6 June 2018].
- Geistfeld, M. A. ..., 2017. *A Roadmap for Autonomous Vehicles: State Tort Liability, Automobile Insurance, and Federal Safety Regulation*, New York: NYU School of Law.
- Golson, J., 2016. *The Verge*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.theverge.com/2016/6/30/12072408/tesla-autopilot-car-crash-death-autonomous-model-s>
[Πρόσβαση 30 January 2018].
- Goodall, N. J., 2013. *Traffic Signal Control with Connected Vehicles*, Virginia: University of Virginia.
- Goodman, P., 2016. *AxleAddict*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://axleaddict.com/safety/Advantages-and-Disadvantages-of-Driverless-Cars>
[Πρόσβαση 15 April 2018].
- Hempfield, C., 2017. *TechCrunch*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://techcrunch.com/2017/02/18/why-a-cybersecurity-solution-for-driverless-cars-may-be-found-under-the-hood/>
[Πρόσβαση 5 May 2018].
- HERE, 2017. *Consumer Acceptance of Autonomous Vehicles- 3 Key Insights for the Automotive Industry*, Amsterdam: HERE.
- Higgins, T., 2017. *The Wall Street Journal*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.wsj.com/articles/the-end-of-car-ownership-1498011001>
[Πρόσβαση 11 April 2018].
- Honda, 2018. *Honda*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.hondanews.ca/en/news/release/Honda-Demonstrates-Advanced-Vehicle-to-Pedestrian-and-Vehicle-to-Motorcycle-Safety-Technologies->
[Πρόσβαση 23 May 2018].
- Hsu, J., 2016. *IEEE Spectrum*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/driverless-cars-inspire-both-fear-and-hope>
[Πρόσβαση 24 March 2018].

International Energy Agency, 2010. *CO2 Emissions from Fuel Combustion*, Paris: International Energy Agency.

International Transport Workers' Federation, 2017. *Managing the Transition to Driverless Road Freight Transport*, London: International Transport Workers' Federation.

ITC, 1968. *Convention on road traffic*, Vienna: ITC.

ITC, 2005. *Regulation No. 79, UNIFORM PROVISIONS CONCERNING THE APPROVAL OF VEHICLES WITH REGARD TO STEERING EQUIPMENT*, Geneva : ITC.

ITI, 2016. *The U.S. Privacy and Data Protection Framework: Basic Characteristics and Recent Reforms*, Washington : ITI.

ITS Joint Program Office, 2015-2019. *Connected Vehicles: Benefits, Roles, Outcomes*, Washington: United States Department of Transportation.

ITS Joint Program Office, 2015-2019. *Intelligent Transportation Systems Joint Program Office*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.its.dot.gov/research_areas/strategicplan2015.htm
[Πρόσβαση 11 May 2018].

J.D. Power and Associates, 2012. *Autonomous Driving Technology Piques Interest of Premium Vehicle Owners*, California: The McGraw-Hill Companies.

Karol, T., 2017. *Insurance and the evolution of automated driving systems*, Washington: NAMIC.

Kevan, T., 2017. *Digital Engineering*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.digitaleng.news/de/v2v-technology-work-progress/>
[Πρόσβαση 14 March 2018].

Kloostera, B. & Roorda, M. J., 2017. *FULLY AUTONOMOUS VEHICLES: ANALYZING TRANSPORTATION NETWORK, PERFORMANCE AND OPERATING SCENARIOS IN THE GREATER TORONTO AREA, CANADA*, Washington: Transportation Research Board.

Laird, 2015. *Laird*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.lairdtech.com/news/laird-featured-industry-leader-connected-vehicles>
[Πρόσβαση 23 May 2018].

Lavina, J. & Bonelli, C., 2017. *Cadillac*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
<http://media.cadillac.com/media/us/en/cadillac/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2017/mar/0309-v2v.html>
[Πρόσβαση 24 May 2018].

- Lawspot, 1911. *Lawspot*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.lawspot.gr/nomikes-plirofories/nomothesia/nomos-gpn-1911-yp-arithm-3950>
[Πρόσβαση 16 Μάιος 2018].
- Lawspot, 1995. *Lawspot*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.lawspot.gr/nomikes-plirofories/nomothesia/anazitisi/256997/2005/58/E%CE%9A>
[Πρόσβαση 10 Μάιος 2018].
- Layson, G., 2017. *Automotive News*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
<http://www.autonews.com/article/20170322/COPY01/303229950/magna-sharpens-focus-on-camera-production-for-autonomous-vehicles>
[Πρόσβαση 24 May 2018].
- Leonard, M., 2017. *GCN*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://gcn.com/articles/2017/08/03/connected-vehicles.aspx>
[Πρόσβαση 22 May 2018].
- Levin, M. W., Li, T., Boyles, S. D. & Kockelman, K. M., 2017. A general framework for modeling shared autonomous vehicles with dynamic network-loading and dynamic ride-sharing application. *Computers, Environment and Urban Systems*, 8 May, pp. 373-383.
- Levinson, D., 2017. *Transportist*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://transportist.org/2017/06/29/on-the-differences-between-autonomous-automated-self-driving-and-driverless-cars/>
[Πρόσβαση 26 May 2018].
- Lippert, J., 2016. *Machine Market*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://minutes.machine.market/index.php/2016/04/25/autonomous-technology-at-ports-the-self-driving-cranes-and-carriers/>
[Πρόσβαση 6 June 2018].
- Marchant, G. y. E. & Lindor, R. A., 2012. *The Coming Collision Between Autonomous Vehicles and the Liability System*, Santa Clara, California: Santa Clara University, School of law.
- McKinsey&Company, 2014. *McKinsey&Company*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/whats-driving-the-connected-car>
[Πρόσβαση 19 May 2018].
- Mitchell, B., 2017. *Lifewire*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.lifewire.com/introduction-to-wi-fi-wireless-networking-818265>
[Πρόσβαση 4 May 2018].

- National Conference of State Legislatures, 2018. *National Conference of State Legislatures*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx>
[Πρόσβαση 14 May 2018].
- Newcomb, D., 2012. *CNN*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://edition.cnn.com/2012/09/18/tech/innovation/ieee-2040-cars/index.html>
[Πρόσβαση 2 June 2018].
- Pillath, S., 2016. *Automated vehicles in the EU*, European Parliament: Brussels.
- Rau, A. C., 2017. *Privacy, Data Protection and Cybersecurity Law Review*. 4th επιμ. London: Law Business Research Ltd.
- Reina, D. G. και συν., 2013. *The Role of Ad Hoc Networks in the Internet of Things: A Case Scenario for Smart Environments*, Berlin: Springer Verlag.
- Rouse, M., 2017. *SearchMobileComputing*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM>
[Πρόσβαση 4 May 2018].
- Self Driving Car, 2014. *Self Driving Car*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://selfdrivingcarproject.wordpress.com/swot/>
[Πρόσβαση 27 May 2018].
- Shiers, W. & Barnett, C., 2016. Automatic for the people. *Commercial Motor*, 30 June, pp. 38-41.
- Shi, L. & Prevedouros, P. D., 2016. Operational Analysis of Roundabouts with a Mix of Driverless Vehicles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 25 July, pp. 123-131.
- Shladover, S. E., Su, D. & Lu, X.-Y., 2012. *Impacts of Cooperative Adaptive Cruise Control on Freeway Traffic Flow*, Washington: Transportation Research Board.
- Shofi, S., 2018. *servisense*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://servisense.com/cars-wallpapers/stanford-lab-cart.html>
[Πρόσβαση 18 May 2018].
- Siemens AG, 2015. *Vehicle-to-X (V2X) communication technology*, Dubai : Siemens.
- Streitfeld, D., 2013. *The New York Times*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nytimes.com/2013/03/13/technology/google-pays-fine-over-street-view-privacy-breach.html>
[Πρόσβαση 6 May 2018].

- The Economist, 2012. *The Economist*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.economist.com/node/21557309>
[Πρόσβαση 4 May 2018].
- Tientrakool, P., Ho, Y.-C. & Maxemchuk, N. F., 2011. *Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors for Collision Avoidance*, New York: Department of Electrical Engineering Columbia University.
- Transportation Research Board, 2010. *Highway Capacity Manual*, Washington: Transportation Research Board.
- Turpen, A., 2015. *CarNewsCafe*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.carnewscafe.com/2015/06/us-dot-summarizes-the-vehicle-to-pedestrian-tech-under-investigation/>
[Πρόσβαση 23 May 2018].
- U.S Department of Transportation, 2017. *U.S Department of Transportation*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.transportation.gov/smartcity>
[Πρόσβαση 11 May 2018].
- U.S Department of Transportation, N., 2015. *Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*, Washington: NHTSA.
- UK Parliament, 2018. *UK Parliament*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.parliament.uk/business/news/2017/october/automated-and-electric-vehicles-bill/>
[Πρόσβαση 9 May 2018].
- UNECE, 2018. *UNECE*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.unece.org/mission.html>
[Πρόσβαση 6 May 2018].
- Vickery, N., 2017. *Cerasis*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://cerasis.com/2017/05/24/autonomous-vehicles-in-logistics/>
[Πρόσβαση 11 April 2018].
- Washington State Department of Transportation, 2018. *Washington State Department of Transportation*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.wsdot.wa.gov/Safety/roundabouts/BasicFacts.htm>
[Πρόσβαση 29 April 2018].
- Waymo, 2014. *Waymo*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://waymo.com/press/>
[Πρόσβαση 18 May 2018].

- West, D. M., 2016. *Moving forward: Self-driving vehicles in China, Europe, Japan, Korea, and the United States*, Washington: Center for Technology Innovation.
- Wired Brand Lab, 2018. *Wired Brand Lab*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.wired.com/brandlab/2016/03/a-brief-history-of-autonomous-vehicle-technology/>
[Πρόσβαση 21 March 2018].
- Yokota, T. U., 1998. *Evaluation of AHS Effect on Mean Speed by Static Method*, Ibaraki, Japan: Public Works Research Institute.
- Ynkoff, L., 2016. *The Drive*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.thedrive.com/news/5804/elon-musk-may-be-secretly-planning-to-use-lidar-in-future-tesla-models-updated>
[Πρόσβαση 24 May 2018].
- Αλέξη, Έ., 2014. *Ραντάρ*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Αλεξίου, Α., 2008. *Υποδείγματα Δυναμικής Κατανομής Κυκλοφορίας, Εφαρμογές Βελτιστοποίησης Συστημάτων Ελέγχου της Κυκλοφορίας με το Σύστημα VISTA*, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα, 1997-2018. *Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.dpa.gr/>
[Πρόσβαση 17 Μάιος 2018].
- Βακούφτση, Φ., 2009. *Οπτικά Συστήματα Οχημάτων*, Κοζάνη: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας.
- Γιαννής, Γ., Γκόλιας, Ι. & Κανελλαΐδης, Γ., 2004. *Έννοιες Βασικών Παραμέτρων Κυκλοφορίας*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ecopress, 2018. *Ecopress*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://ecopress.gr/?p=5872>
[Πρόσβαση 16 Μάιος 2018].
- Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2002-2016. *EUR- Lex*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
[Πρόσβαση 24 Απρίλιος 2018].
- KEMEA, 2014. *KEMEA*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.kemel.gr/articles/analysisi-swot-kai-pestel>
[Πρόσβαση 26 Μάιος 2018].

- Κλουκινιώτη, Ε., 2015. *E. Fotopoulou Law Office*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://efotopoulou.gr/i-antikimeniki-efthini-idioktiti-aftokinitou/>
[Πρόσβαση 16 Μάιος 2018].
- Κοπελιάς, Π., 2016. *Βασικές αρχές κυκλοφοριακής τεχνικής και θεωρίας ουρών*, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας- Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Κορνηλάκης, Π. Κ., 2012. *Ειδικό Ενοχικό Δικαιο Ι*. 2η επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσει Σάκκουλα.
- Κουτελιέρης, Γ., 2014. *Σκάι. gr*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.skai.gr/news/auto/article/258782/cruise-control-exupno-sustima-oikonomikis-kai-asfalous-odigisis/>
[Πρόσβαση 15 Φεβρουάριος 2018].
- Μιζάρας, Β., 2011. *Ευφυή Συστήματα Μεταφορών ITS*, Αθήνα: ITS Hellas.
- Μπουραζάνης, Σ., 2016. *Σύγχρονες Τεχνολογίες Αυτόνομης Οδήγησης*, Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Σουρής, Χ., 2017. *Ερευνα αποδοχής αυτόνομων οχημάτων από τους Έλληνες οδηγούς*, Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο .
- Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας, 2018. *Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.efpolis.gr/el/asfaleia-ton-katanaloton/efthini-paragogou-ellatomatika-proionta.html>
[Πρόσβαση 3 Μάιος 2018].
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2012. *Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας*, Αθήνα: Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών.
- Φραντζεσκάκης, Ι. & Γιαννόπουλος, Γ., 1986. *Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική*. 1η επιμ. Θεσσαλονίκη: Παρατηρητής.