



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ  
ΕΡΕΥΝΑΣ

**ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΔΗΓΟΥ – ΠΕΖΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
ΜΙΚΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΛΩΡΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

**Επιβλέπων :** Δημήτριος Ναθαναήλ  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

## Περίληψη

Τα οδικά ατυχήματα κατακτούν την τρίτη αιτία θανάτου, μετά τις καρδιοπάθειες και τον καρκίνο, καθώς είναι η αφορμή να χάνονται πολλές, κυρίως νέες, ζωές στην άσφαλτο. Η αυτοματοποίηση των μέσων μεταφοράς στοχεύει στην αύξηση της ασφάλειας αλλά και της αποδοτικότητάς των μεταφορών. Προς αυτή την κατεύθυνση, η ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων είναι μια αναπόφευκτη πραγματικότητα. Η ανέλιξη υπολογιστικών εργαλείων όπως της τεχνητής νοημοσύνης επιταχύνει την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων καθιστώντας τα αυτόνομα οχήματα ένα εύφορο έδαφος για την αυτοκινητοβιομηχανία και την επιστημονική κοινότητα.

Τα Αυτοματοποιημένα Οχήματα παρουσίασαν ταχεία τεχνολογική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία και σύντομα αναμένεται να χρησιμοποιηθούν σε δημόσιους δρόμους. Ωστόσο, η οδική κυκλοφορία είναι απίθανο να γίνει πλήρως αυτοματοποιημένη στο εγγύς μέλλον. Αντ' αυτού, τα αυτόνομα οχήματα θα μοιράζονται το χώρο στο δρόμο με άλλους χρήστες του οδικού δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των ποδηλατών, των πεζών και των οδηγών. Μία σημαντική πρόκληση για την ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων είναι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα εν λόγω οχήματα θα πρέπει να αλληλεπιδράσουν με τις υπόλοιπες ομάδες χρηστών που αναφέρθηκαν παραπάνω, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής και αποδοτική κυκλοφοριακή ροή.

Η παρούσα διπλωματική στοχεύει στην κατανόηση του τρόπου διεξαγωγής των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οδηγών και των πεζών, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων σε περιβάλλοντα μικτής κυκλοφορίας. Αναλύονται τα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα που εξάγονται από τη μελέτη αλληλεπίδρασης οχήματος - πεζού σε αστικές διασταυρώσεις υψηλής πυκνότητας χωρίς σήμανση με χρήση γυαλιών eye tracking σε συνδυασμό με σχολιασμό των συμμετεχόντων. Παράλληλα μοντελοποιείται η συμπεριφορά των οδηγών και των πεζών σε μια διασταύρωση και γίνεται προσπάθεια δημιουργίας λειτουργικού μοντέλου που απεικονίζει τις πιθανές καταστάσεις αμοιβαίας προσοχής μεταξύ οδηγού και πεζού όπως προσδιορίζονται από τα δεδομένα των παρατηρήσεων. Τέλος εξάγονται συμπεράσματα με βάση την ανάλυση των ευρημάτων στις διάφορες παρατηρούμενες καταστάσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγού και πεζού.

## **Abstract**

Road accidents are the third cause of death, after heart disease and cancer, as it is the reason for many, especially new, lives to be lost on the asphalt. The automation of transport means is increasing the safety and the efficiency of transport. To that end, the development of autonomous vehicles is an inevitable reality. The advancement of computational tools such as artificial intelligence accelerates the development of intelligent systems, making autonomous vehicles a fertile ground for the automotive industry and the scientific community.

Automated vehicles have seen rapid technological development over the last decade and will soon be deployed on public roads. However, road traffic is unlikely to become fully automated in the near future. Instead, automated vehicles will share the road space with other human road users, including cyclists, pedestrians and drivers. A major challenge in the development of automated vehicles is understanding how these vehicles should interact with other human road users in order to ensure safe and efficient traffic flow.

This diploma thesis aims to understand how interactions unfold between drivers and pedestrians, in order to ensure the safe integration of automated vehicles into mixed traffic environments. The quantitative and qualitative results derived from the interaction between the driver and the pedestrian study using eye tracking eyewear coupled with participants' commentary are being analyzed. At the same time, the behavior of drivers and pedestrians is modeled at a junction and effort is being made to create working model depicting the possible states of mutual attentiveness between driver and pedestrian as identified from the observation data. Finally, conclusions are drawn based on the analysis of the findings in the various observed states of interaction between the driver and the pedestrian.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018 – 2019 στα πλαίσια του τομέα Βιομηχανικής Διοίκησης & Επιχειρησιακής Έρευνας της Σχολής Μηχανολόγου Μηχανικού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Δημήτριο Ναθαναήλ, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την ευκαιρία που μου προσέφερε να εκπονήσω αυτή τη διπλωματική εργασία με ένα τόσο υποσχόμενο θέμα, καθώς και την υπομονή του και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε καθοδηγώντας με σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον Επιστημονικό Συνεργάτη στον Τομέα Γνωστικής Εργονομίας κ. Κωνσταντίνο Γκίκα που με τη συμπληρωματική βοήθεια, καθοδήγηση και υποστήριξη που μου προσέφερε συνέβαλε στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και ιδιαίτερα στην οικογένεια μου, οι οποίοι δε σταμάτησαν να πιστεύουν σε μένα και να με στηρίζουν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	8
1.1. Η εφεύρεση του αυτοκινήτου.....	8
1.2. Στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα σήμερα.....	9
1.3. Χρήσιμοι ορισμοί και έννοιες.....	12
<b>2. Αυτόνομα οχήματα</b> .....	14
2.1. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτόνομων οχημάτων .....	15
2.2. Επίπεδα αυτονομίας αυτόνομων οχημάτων.....	17
<b>3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση</b> .....	20
3.1. Επικοινωνία αυτόνομων οχημάτων με άλλους χρήστες του οδικού δικτύου.....	20
3.2. Επικοινωνία και αλληλεπίδραση οδηγού – πεζού .....	23
3.3. Επικοινωνία και αλληλεπίδραση οδηγού – με ειδικές ομάδες πεζών.....	24
3.4. Προηγούμενες αντίστοιχες έρευνες και συμπεράσματα από αυτές....	25
<b>4. Διαδικασία διεξαγωγής της μελέτης eyetracking αλληλεπίδρασης των οδηγών με πεζούς</b> .....	32
4.1. Διαδικασία διεξαγωγής της μελέτης .....	32
4.2. Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.....	34
4.3. Μέθοδος επεξεργασίας δεδομένων από την ανάλυση των βίντεο.....	35
<b>5. Αποτελέσματα της μελέτης παρατήρησης αλληλεπίδρασης των οδηγών – πεζών</b> .....	44
5.1. Συμπεριφορά των οδηγών – αλληλεπίδραση των πεζών.....	44
5.1.1. Ευρήματα σχετικά με όλες τις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης.....	48
5.1.2. Ευρήματα που σχετίζονται με τις περιπτώσεις του Μοτίβου Β (π.χ. με > 4 εστιάσεις βλέμματος του οδηγού στον πεζό).....	49
5.1.3. Ευρήματα σχετικά με την ακολουθία της αλληλεπίδρασης.....	50
5.1.4. Γενικές παρατηρήσεις επί του συνόλου των αποτελεσμάτων.....	52
5.2. Περιστατικά κάθετης διέλευσης πεζών.....	53
5.2.1. Ευρήματα σχετικά με τις περιπτώσεις διέλευσης όπου η πρόθεση των πεζών ήταν να διασχίσουν το δρόμο ( κάθετη διέλευση N= 316).....	53
5.2.2. Προσοχή των οδηγών προς τους πεζούς.....	54
5.2.3. Σήματα έκφρασης των πεζών την ώρα που διασχίζουν το δρόμο.....	55
5.2.4. Παρατηρούμενες καταστάσεις αλληλεπίδρασης οδηγού – πεζού.....	56
<b>6. Συμπεράσματα ανάλυσης των παρατηρήσεων</b> .....	57
6.1. Συζήτηση και προτάσεις σχετικά με σχεδίαση αυτόνομων οχημάτων....	58
<b>7. Επίλογος</b> .....	60
<b>8. Παράρτημα</b> .....	62
8.1. Συντομογραφίες.....	62
<b>9. Βιβλιογραφία</b> .....	63

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1 :</b> Οδικά τροχαία ατυχήματα και παθόντες για το διάστημα Ιανουαρίου – Δεκεμβρίου των ετών 2016, 2017 και 2018 .....	10
<b>Πίνακας 2 :</b> Κριτήρια αποφάσεων οδηγών .....	30
<b>Πίνακας 3 :</b> Κριτήρια αποφάσεων πεζών .....	31
<b>Πίνακας 4 :</b> Χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων οδηγών.....	34
<b>Πίνακας 5α :</b> Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel.....	41
<b>Πίνακας 5β :</b> Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel.....	42
<b>Πίνακας 5γ :</b> Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel.....	43
<b>Πίνακας 6 :</b> Τύποι πεζών στις 487 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού .	44
<b>Πίνακας 7 :</b> Διαχωρισμός των πεζών σε μεμονωμένους πεζούς ή μέρος ομάδας πεζών στις 487 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού.....	45
<b>Πίνακας 8α :</b> Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (Ο =Οδηγός, Π = Πεζός, Μ/Ε= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο Α) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο Β) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε όλα τα τμήματα του δρόμου (N=487) .....	47
<b>Πίνακας 8β :</b> Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (Ο =Οδηγός, Π = Πεζός, Μ/Ε= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο Α) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο Β) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε περιστατικά κάθετης διέλευσης (N=316).....	47
<b>Πίνακας 8γ :</b> Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (Ο =Οδηγός, Π = Πεζός, Μ/Ε= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο Α) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο Β) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε περιστατικά παράλληλης κίνησης (N=171).....	48
<b>Πίνακας 9 :</b> Στάδια αλληλεπίδρασης στα διαγράμματα αλληλουχίας .....	50
<b>Πίνακας 10 :</b> Παράγοντες οδικού χρήστη και ιδιαιτερότητες οδικού δικτύου που επηρεάζουν την συμπεριφορά και δεν εξετάστηκαν στην παρούσα ανάλυση.....	52
<b>Πίνακας 11 :</b> Οι έξι πιθανές καταστάσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού κατά τη διέλευση.....	56

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1 :</b> Πλεονεκτήματα χρήσης αυτόνομων οχημάτων .....	16
<b>Εικόνα 2 :</b> Επίπεδα αυτονομίας οχημάτων .....	19
<b>Εικόνα 3 :</b> Σενάρια στροφών στα οποία εξετάστηκε η αλληλεπίδραση οδηγών-πεζών .....	33
<b>Εικόνα 4 :</b> Όργανο παρακολούθησης οφθαλμών με αισθητήρα βλέμματος (Tobii Pro Glasses 2).....	35
<b>Εικόνα 5α :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	36
<b>Εικόνα 5β :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός κινείται παράλληλα με την κατεύθυνση του οχήματός του με αντίθετη φορά .....	37
<b>Εικόνα 5γ :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	37
<b>Εικόνα 5δ :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός διασχίζει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	38
<b>Εικόνα 5ε :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ομάδα πεζών ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	38
<b>Εικόνα 5στ :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ομάδα πεζών ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	39
<b>Εικόνα 5ζ :</b> Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του .....	39
<b>Εικόνα 6 :</b> Περιπτώσεις αλληλεπίδρασης (δηλαδή > 4 εστιάσεις βλέμματος από τον οδηγό προς τον πεζό) και τα σχετικά αποτελέσματα.....	49
<b>Εικόνα 7 :</b> Ακολουθία σημάτων στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οδηγών και πεζών στην αριστερή στροφή του οδηγού .....	51
<b>Εικόνα 8 :</b> Ακολουθία σημάτων στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οδηγών και πεζών στην δεξιά στροφή του οδηγού.....	51

## **Κατάλογος Γραφημάτων**

<b>Γράφημα 1 :</b> Σύνολο οδικών τροχαίων ατυχημάτων και νεκρών για τα έτη 1991 – 2018 .....	10
<b>Γράφημα 2 :</b> Συχνότητα ατυχήματος ανά όχημα ανά έτος μέχρι το 2040.....	11
<b>Γράφημα 3 :</b> Κατανομή των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης ανάλογα με τον αριθμό των εστιάσεων στους πεζούς.(1-11) Τέσσερις φορές ή περισσότερες θεωρήθηκαν ως ένα ουσιαστικό κριτήριο που σημαίνει ο οδηγός είναι αφοσιωμένος στον πεζό και/ή είναι αβέβαιη η πρόθεση του .....	46
<b>Γράφημα 4 :</b> Κατανομή των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης ανάλογα με τον αριθμό των φορών που οι οδηγοί εστίασαν το βλέμμα τους στους πεζούς. Τέσσερις εστιάσεις ή περισσότερες προς τον πεζό θεωρήθηκαν ως ονομαστικό κριτήριο που σημαίνει ότι ο οδηγός έχει επιστήσει την προσοχή του απόλυτα σε έναν πεζό .....	54
<b>Γράφημα 5 :</b> Αθροιστικός αριθμός σημάτων που εκπέμπονται από πεζούς και στις 316 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης κάθετης διέλευσης ( υποδεικνύονται από το συνολικό ύψος ράβδων) και διαχωρισμός τους ανάλογα με τον αριθμό των περιπτώσεων που ένας συγκεκριμένος τύπος σήματος ήταν επαρκής για την ολοκλήρωση μιας αλληλεπίδρασης οδηγού – πεζού .....	56
<b>Γράφημα 6:</b> Μοντελοποίηση πιθανών καταστάσεων αμοιβαίας προσοχής μεταξύ οδηγού και πεζού από την πλευρά του οδηγού .....	57



# 1

## **Εισαγωγή**

### **1.1 Η εφεύρεση του αυτοκινήτου**

Το πρώτο ατμοκίνητο όχημα, κατασκευάστηκε στην Γαλλία το 1769 από τον Νικόλαο Τζόσεφ Κουινιότ (Nicolas Joseph Cugnot), ο οποίος κατασκεύασε ένα ατμοκινούμενο αμάξι, το fardier. Το ασταθές αυτό όχημα ανετράπη και χτύπησε σε ένα τοίχο, αποτελώντας έτσι και το πρώτο ατύχημα με αυτοκινούμενο όχημα στην ιστορία.

Το 1770, ο Γερμανοαυστριακός εφευρέτης Ζίγκφριντ Μάρκουσ (Siegfried Marcus) συναρμολόγησε ένα μηχανοκίνητο αμαξίδιο. Το όχημα του Μάρκουσ έχει ήδη ξεπεράσει το μηχανικό κινητήρα του Κουινιότ σε μηχανική ενέργεια. Ενενήντα δύο χρόνια αργότερα, ο Ετιέν Λενουάρ (Etienne Lenoir) έφτιαξε το πρώτο αυτοκίνητο με μηχανή εσωτερικής καύσης και ένα χρόνο αργότερα πραγματοποίησε το πρώτο ταξίδι με αυτοκίνητο στον κόσμο καλύπτοντας κυκλική διαδρομή 19,3 χιλιομέτρων με μέση ταχύτητα 6,4 χιλιόμετρα / ώρα και ισχύ μόλις 0,5 ίππους (η ιπποδύναμη είναι η δύναμη που δίνει ένα άλογο για να σηκώσει ένα βάρος 75 κιλών σε ύψος 1 μέτρου).

Το αυτοκίνητο, με κινητήρα του Nicholas Otto, εσωτερικής καύσης, βενζίνης, εφευρέθηκε το 1885 από τον Καρλ Μπενζ (Karl Benz) στην Γερμανία. Ο Μπενζ κατέθεσε τα σχέδια αυτού του αυτοκινήτου στις 29 Ιανουαρίου 1886 στο Mannheim για την ευρεσιτεχνία του. Παρότι ο Μπενζ χρεώθηκε την ανακάλυψη του σύγχρονου αυτοκινήτου, αρκετοί άλλοι Γερμανοί μηχανικοί κατασκεύαζαν ένα παρόμοιο όχημα την ίδια εποχή.

Οι πρώτοι πάντως κατασκευαστές αυτοκινήτων στον κόσμο ήταν Γάλλοι: Πανχαρντ (Panhard) και Λεβασό (Levassor) το 1889 και ο Πεζό (Peugeot) το 1891. Λίγα χρόνια μετά τη σημαντική αυτή εφεύρεση και συγκεκριμένα στις 31 Αυγούστου του 1869, σημειώθηκε και ο πρώτος θάνατος που οφείλεται σε όχημα με κινητήρα ατμού, σε μία μικρή πόλη στην Ιρλανδία με θύμα την Μαίρη Γουόρντ (Mary Ward).

Στην Ελλάδα το πρώτο αυτοκίνητο έφθασε το 1896, ενώ μόλις το επόμενο έτος η Ελλάδα αριθμούσε ήδη δύο αυτοκίνητα. Δέκα χρόνια μετά την ύπαρξη και του δεύτερου αυτοκινήτου στην Ελλάδα, στις 4 Μαρτίου του 1907 πραγματοποιήθηκε και το πρώτο τροχαίο ατύχημα, το οποίο δυστυχώς ήταν θανατηφόρο.

## **1.2 Στοιχεία για τα οδικά ατυχήματα σήμερα**

Η οδική ασφάλεια αποτελεί πλέον μείζον κοινωνικό θέμα στην Ευρώπη, καθώς στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα οδικά δυστυχήματα αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου των νέων (ηλικίας 15-24 ετών). Η Ελλάδα έχει βιώσει τα τελευταία χρόνια μια σημαντική μείωση του αριθμού των τραυματισμών και των θανάτων από τροχαία δυστυχήματα, όμως το γεγονός ότι έχει ακόμα ένα πολύ χαμηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας, παραμένει. Ως οδικό τροχαίο ατύχημα (με σωματικές βλάβες) θεωρείται το συμβάν που γίνεται στους δρόμους ή στις πλατείες, που είναι ελεύθερες στη δημόσια χρήση (όχι σε αυλές, βιομηχανικούς χώρους, αμαξοστάσια των επιχειρήσεων μεταφορών κλπ.), με συμμετοχή σε αυτό ενός ή περισσότερων οχημάτων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον βρισκόταν σε κίνηση κατά τη στιγμή του ατυχήματος και είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο ή τον τραυματισμό προσώπου ή προσώπων (ΕΛΣΤΑΤ).

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο Οδικής Ασφάλειας (2016), κάθε χρόνο μια μεγαλούπολη 1,4 εκ. ανθρώπων εξαφανίζεται από τον παγκόσμιο χάρτη, μια πόλη 25.250 ανθρώπων εξαφανίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και ένα χωριό 700 ατόμων, χάνεται στην Ελλάδα! Το ετήσιο κόστος των ατυχημάτων, για τη χώρα μας, κυμαίνεται στα 3 δισ. Ευρώ.

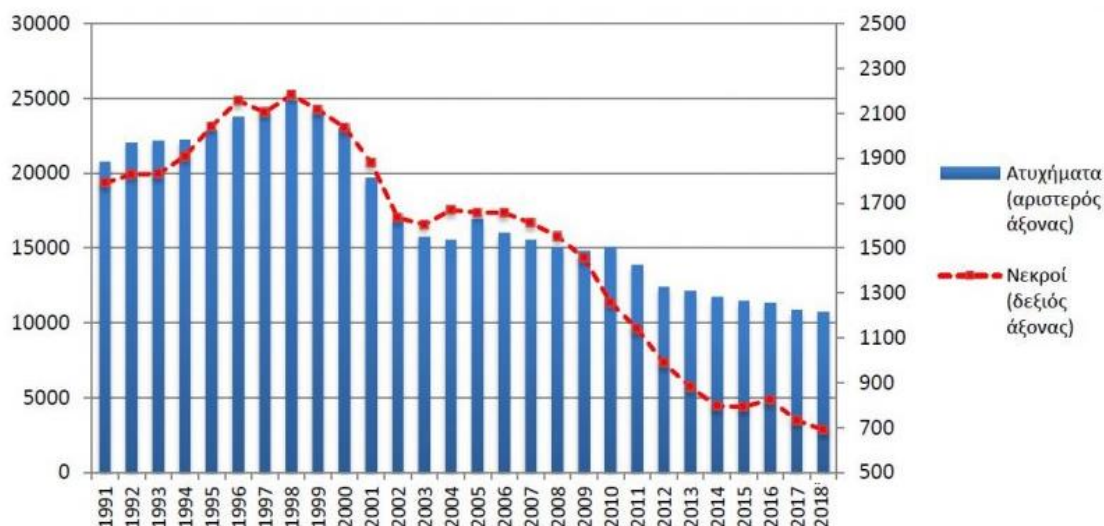
Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) [1] εκτιμά ότι εάν δεν ληφθούν ριζικά μέτρα από τις χώρες, το 2030 τα τροχαία θα προκαλούν 2.400.000 θανάτους ετησίως.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις της ΕΛΣΤΑΤ [2] τα τροχαία ατυχήματα στην Ελλάδα, θανατηφόρα και μη, είχαν μείωση τα τελευταία χρόνια, αλλά και πάλι διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα. Ο μέσος όρος θανάτων από τροχαία ατυχήματα στην ΕΕ, ανά εκατομμύριο κατοίκων, είναι 50, ενώ στην Ελλάδα φτάνει τους 69.(Πίνακας 1)

	2016	2017	2018*
	Ιανουάριος - Δεκέμβριος	Ιανουάριος - Δεκέμβριος	Ιανουάριος - Δεκέμβριος
<b>Ατυχήματα</b>	11.318	10.848	10.740
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-4,2%	-1,0%
<b>Νεκροί</b>	824	731	690
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-11,3%	-5,6%
<b>Βαριά τραυματίες</b>	879	706	748
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-19,7%	5,9%
<b>Ελαφρά τραυματίες</b>	12.946	12.565	12.243
<i>Ετήσια Μεταβολή (%) :</i>		-2,9%	-2,6%

Πίνακας 1: Οδικά τροχαία ατυχήματα και παθόντες για το διάστημα Ιανουαρίου – Δεκεμβρίου των ετών 2016, 2017 και 2018.

Τα τροχαία ατυχήματα σημείωσαν μείωση από το 1991 μέχρι το 2018 τόσο σε νεκρούς και σε αριθμό ατυχημάτων. Αρκεί να αναφέρουμε ότι στα έτη 1996-1999, η χώρα μας έχανε κατ' έτος περίπου 2.000 άτομα! Τα δε ατυχήματα έφταναν στις 25.000. Σύμφωνα με στοιχεία του 2018 κατέβηκαν στους 690 νεκρούς και στα 10.740 ατυχήματα (Γράφημα 1).



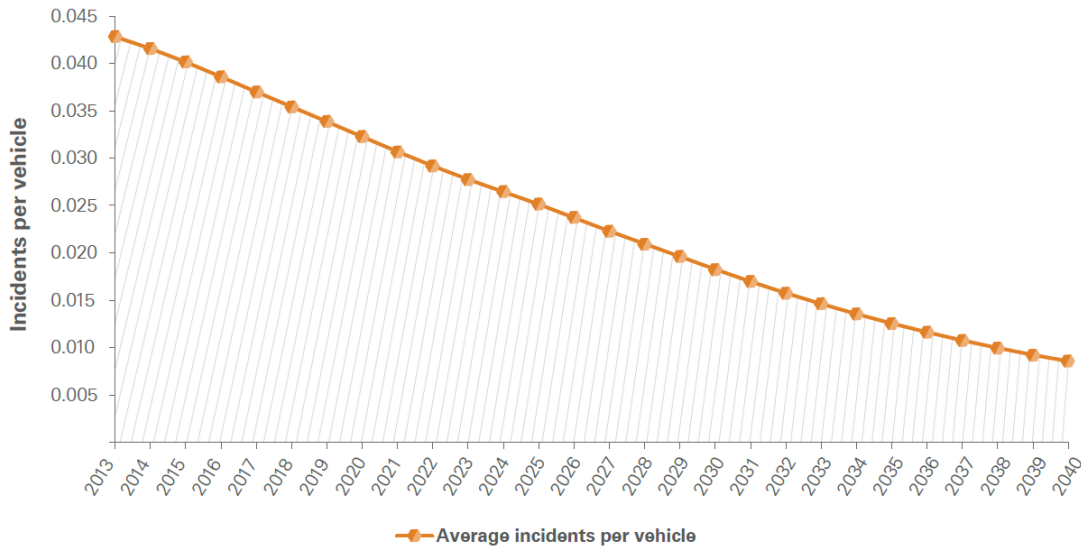
Γράφημα 1 : Σύνολο οδικών τροχαίων ατυχημάτων και νεκρών για τα έτη 1991 – 2018.

Παρά τη μείωση στον αριθμό των θανατηφόρων τροχαίων που παρατηρείται στην Ελλάδα τα τελευταία οκτώ χρόνια –41% λιγότεροι θάνατοι σε σχέση με το 2010–, λόγω της οικονομικής κρίσης, η πιθανότητα θανάτου από τροχαίο είναι σχεδόν τριπλάσια σε σχέση με τη Νορβηγία, τη Σουηδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ελβετία.

Η πλειονότητα των θανόντων από οδικά ατυχήματα είναι άνδρες, νεαρής ηλικίας, οδηγοί οχημάτων. Άλλωστε, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) τα τροχαία είναι η πρώτη αιτία θανάτου σε ηλικίες 15 έως 29 ετών.

Επιπρόσθετα, μία άλλη έρευνα έδειξε ότι 90 – 95 % των οδικών ατυχημάτων προκαλούνται από ανθρώπινο λάθος, εκτιμώντας ότι τα αυτόνομα οχήματα θα μειώσουν αυτό το ποσοστό, αφού θα υπάρξει δυναμική μείωση στη συχνότητα εμφάνισης ατυχημάτων ανά όχημα έως και 80% μέχρι το 2040 [3].

Accident frequency per vehicle by year (baseline scenario)



Source: KPMG LLP actuarial analysis

**Γράφημα 2: Συχνότητα ατυχήματος ανά όχημα ανά έτος μέχρι το 2040**

Στις 16 Απριλίου του 2019, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο θέσπισε νέους κανόνες για την υποχρεωτική καθιέρωση 30 χαρακτηριστικών ασφαλείας για τα νέα αυτοκίνητα, όπως είναι το ευφυές σύστημα ελέγχου ταχύτητας, η συσκευή προειδοποίησης για την απόσπαση της προσοχής του οδηγού και το σύστημα πέδησης έκτακτης ανάγκης.

Οι υποχρεωτικές τεχνολογίες ασφαλείας θα μπορούσαν να συμβάλουν στη διάσωση πάνω από 25.000 ζωνών και την αποτροπή τουλάχιστον 140.000 τραυματισμών έως το 2038, δεδομένου ότι το 90 - 95% των ατυχημάτων οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος.

Τα πιο πάνω στατιστικά, οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να στραφεί σε πιο προηγμένα συστήματα τεχνολογίας, αρχικά ως υποστήριξη του ανθρώπου κατά το οδήγημά του, όπως είναι το Advance Driver Assistance Systems (ADAS) [4] και στη συνέχεια ως αυτοματοποίηση των λειτουργιών του οδηγήματος, με την καθιέρωση του Automated Driving System (ADS). Περαιτέρω έρευνα στα αυτόνομα οχήματα είχε ως αποτέλεσμα την εμπορευματοποίησή τους στις αρχές του 21ου αιώνα.

Έτσι, σε μερικά χρόνια η τεχνολογία των αυτόνομων οχημάτων δεν θα είναι μόνο πιο αποτελεσματική αλλά και πιο ασφαλής από τη δυνητικά φυσιολογική μεταφορά που πιθανό θα χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος με την μη ύπαρξη της τεχνολογίας, αφού θα έχει και τη δυνατότητα να «προβλέπει» το μέλλον χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης.

Οδηγούμαστε λοιπόν σε μία αναπόφευκτη πραγματικότητα αυτόνομων οχημάτων, στην οποία καλούμαστε να προσφέρουμε στον οδηγό, τεχνολογίες που θα καταστήσουν την οδήγηση ασφαλέστερη, θα εξοικονομήσουν χρόνο και χρήμα και θα επιβεβαιώσουν ότι η επένδυση στην αυτοματοποίηση της οδήγησης θα επιφέρει τα μέγιστα επικερδή αποτελέσματα.

### **1.3 Χρήσιμοι ορισμοί και έννοιες**

Η έννοια της αλληλεπίδρασης έχει ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα διπλωματική εργασία και, ως εκ τούτου, στο σημείο αυτό προτού προχωρήσουμε στα επόμενα κεφάλαια, όπου χρησιμοποιείται ευρύτατα ο όρος αυτός, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η συγκεκριμένη ορολογία. Οι τυπικοί ορισμοί σχετικά με τον όρο αλληλεπίδραση περιλαμβάνουν:

- **Αλληλεπίδραση** : Μια περίπτωση όπου δύο ή περισσότερα άτομα ή πράγματα επικοινωνούν ή αντιδρούν μεταξύ τους (Λεξικό Cambridge).

Όπου, περαιτέρω, η έννοια της αντίδρασης ορίζεται ως :

- **Αντίδραση** : Συμπεριφορά, αίσθηση ή ενέργεια που είναι άμεσο αποτέλεσμα κάποιου άλλου γεγονότος (Λεξικό Cambridge).

Με βάση τους ανωτέρω ορισμούς στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης μπορούμε να εισάγουμε τον ακόλουθο ορισμό για τη λέξη αντίδραση :

- **Αντίδραση (ενός χρήστη του οδικού δικτύου προς άλλους χρήστες του οδικού δικτύου)** : Ο χρήστης του οδικού δικτύου A λέγεται ότι αντέδρασε στο χρήστη του οδικού δικτύου B, εάν η συμπεριφορά του A μπορεί να ερμηνευθεί ως A έχοντας αντιληφθεί τον χρήστη B και η συμπεριφορά του A επηρεάστηκε σε κάποιο βαθμό από τον B.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, μια ενέργεια επικοινωνίας από έναν χρήστη του δρόμου σε άλλο (όπως αναφέρεται στον ορισμό της αλληλεπίδρασης παραπάνω) είναι μια ειδική περίπτωση αντίδρασης, δεδομένου ότι η επικοινωνία δεν θα συνέβαινε εάν ο άλλος χρήστης του δρόμου δεν ήταν παρόν. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι ο ορισμός αυτός δεν έχει σχέση με το αν η αντίληψη και η λήψη αποφάσεων του A είναι "συνειδητή" ή όχι. δηλαδή, ο χρήστης A μπορεί να ερμηνευθεί πως αντέδρασε στον B ακόμη και αν ο A είναι τελικά εντελώς ανίκανος να θυμηθεί τον B.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να ορίσουμε και την έννοια της αλληλεπίδρασης για το σκοπό της μελέτης που θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω :

- **Αλληλεπίδραση (μεταξύ των χρηστών του οδικού δικτύου)** : Οι χρήστες του οδικού δικτύου A και B λέγεται ότι αλληλεπιδρούν, εάν αντιδρούν και οι δύο ο ένας στον άλλο (με βάση τον παραπάνω ορισμό της αντίδρασης).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με αυτόν τον ορισμό, εάν ένας μόνο χρήστης του δρόμου αντιδρά σε έναν άλλο, αυτό δεν θεωρείται αλληλεπίδραση. Για να γίνει ο ορισμός αυτός περισσότερο κατανοητός μπορούμε να εξετάσουμε το παράδειγμα όπου ένας οδηγός αυτοκινήτου περνά έναν πεζό, ο οποίος βαδίζει στο πεζοδρόμιο, χωρίς να αλλάζει την ταχύτητα του οχήματός του και χωρίς να δίνει αξιοσημείωτη οπτική προσοχή σε αυτόν, ενώ ταυτόχρονα ο πεζός περιμένει να περάσει το αυτοκίνητο προτού περάσει το δρόμο. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο πεζός αντιδρά στον οδηγό του αυτοκινήτου, αλλά ο οδηγός του αυτοκινήτου δεν αντιδρά στον πεζό, επομένως αυτό δεν θεωρείται αλληλεπίδραση με βάση τον παραπάνω ορισμό.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι ορισμοί αυτοί δεν είναι κατ 'ανάγκη εντελώς ακριβείς και αφήνουν περαιτέρω περιθώρια ερμηνείας. Το παράδειγμα που μόλις περιγράφηκε θα μπορούσε να ταξινομηθεί ως αλληλεπίδραση, παρόλα αυτά, αν ο οδηγός του αυτοκινήτου κριθεί ότι έχει αντιληφθεί τον πεζό σε κάποιο επίπεδο και στη συνέχεια σταματάει να τον κοιτάζει, ως μέρος μιας στρατηγικής (συνειδητής ή μη) για να καταστήσει σαφές ο οδηγός του αυτοκινήτου στον πεζό ότι δε θα τον αφήσει να περάσει.

# 2

## **Αυτόνομα οχήματα**

Τα αυτόνομα αυτοκίνητα γίνονται όλο και πιο απαραίτητο στοιχείο της σύγχρονης κοινωνίας. Η υπερσύγχρονη τεχνολογία ηλεκτρονικών υπολογιστών προσπαθεί να προσομοιώσει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι εγκεφαλοί μας και αν είναι δυνατόν, να βελτιώσει τις επιδόσεις τους. Θα υπάρξει αυξανόμενη ανάγκη για τις εφαρμογές της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης στα αυτοκίνητα, για την πρόληψη της συμφόρησης και των ατυχημάτων. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι τα αυτόνομα αυτοκίνητα θα πρέπει να εργάζονται, να επικοινωνούν και να μαθαίνουν συλλογικά και όχι ως μεμονωμένες μονάδες.

Μία αυτόνομη μηχανή υπάγεται στην κατηγορία των ρομπότ. Ρομπότ είναι η ορολογία που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε οποιαδήποτε μηχανή με κινούμενα μηχανικά μέρη. Τα ρομπότ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αυτά που αντιδρούν με το περιβάλλον και αυτά που δεν αντιδρούν. Στα ρομπότ που αντιδρούν με το περιβάλλον υπάγονται οι υποκατηγορίες μηχανών με δεδομένες συγκεκριμένες αντιδράσεις, και μηχανών που αντιδρούν προσαρμόζοντας κάθε φορά τις κινήσεις τους βάσει των συνθηκών του περιβάλλοντος τους. Αυτές τις μηχανές είναι που ονομάζουμε αυτόνομες. Τι καθορίζει ένα όχημα λοιπόν, ως αυτόνομο?

Στην τρέχουσα παγκόσμια συζήτηση για την αυτόνομη οδήγηση δείχνει ότι δεν υπάρχει μια καθολική ορολογία που να περιγράφει αυστηρά την «αυτονομία». Ωστόσο θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ένα όχημα ως αυτόνομο όταν έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τον περιβάλλοντα χώρο και να προσαρμόζει τη κίνηση του σε αυτόν, χωρίς την συμβολή ανθρώπινου παράγοντα για την οδήγηση του.

Η έλευση αυτόνομων αυτοκινήτων και φορτηγών μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον αριθμό των ατυχημάτων και να βελτιώσουν την οδική ασφάλεια. Οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν επίσης να περιορίσουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρικών ρύπων, αλλά και να αυξήσουν την πρόσβαση στην κινητικότητα για άτομα που δεν μπορούν να οδηγήσουν, για παράδειγμα, τους ηλικιωμένους και τα άτομα με κινητικές δυσκολίες.

Επιπλέον, η αγορά των αυτόνομων οχημάτων αναμένεται να αυξηθεί θεαματικά, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και αποκομίζοντας κέρδη 620 δις ευρώ για την αυτοκινητοβιομηχανία της ΕΕ μέχρι το 2025 και 180 δις ευρώ για τον κλάδο της ηλεκτρονικής [5].

## **2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αυτόνομων οχημάτων**

Μεταξύ των πλεονεκτημάτων της ευρείας χρήσης αυτόνομων οχημάτων είναι :

**(1) Ασφάλεια:** Η μείωση των ατυχημάτων που προκαλούνται από ανθρώπινα σφάλματα στην οδήγηση και οφείλονται κυρίως σε απόσπαση προσοχής ή επικίνδυνη οδήγηση, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους σε ανθρώπινες ζωές πρωτίστως, αλλά και σε υλικές ζημιές.

**(2) Εξοικονόμηση χρόνου:** Εφόσον δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη οδηγού, απαλλάσσονται οι επιβάτες από την υποχρέωση της οδήγησης. Προσφέρεται έτσι η δυνατότητα αντικατάστασης του χρόνου οδήγησης με χρόνο χαλάρωσης ή εργασίας κερδίζοντας έτσι περίπου 1 ώρα κατά μέσο όρο ανά ημέρα.

**(3) Μειωμένες εκπομπές:** Αύξηση των ορίων ταχύτητας, ομαλότερες διαδρομές, αυτοκινητόδρομοι με μεγαλύτερη χωρητικότητα και μειωμένη συμφόρηση, λόγω της μειωμένης ανάγκης για μέτρα ασφαλείας, έχουν ως αποτέλεσμα τη βιώσιμη ανάπτυξη αφού η βελτιστοποίηση του ελέγχου των συστημάτων ενός αυτόνομου οχήματος, όπως είναι το σύστημα κατανάλωσης καυσίμου, θα είναι τέτοια που υπολογίζεται ότι τα οχήματα του μέλλοντος θα βοηθήσουν στη μείωση των εκπομπών κατά 60%.

**(4) Καλύτερη πρόσβαση :** Αύξηση της πρόσβασης στην κινητικότητα για άτομα που δεν μπορούν να οδηγήσουν, για παράδειγμα, τους ηλικιωμένους και τα άτομα με κινητικές δυσκολίες.

**(5) Οικονομική ανάπτυξη :** Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας με στόχο την ανάπτυξη και σχεδίαση αυτόνομων οχημάτων.



# ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



**Εικόνα 1: Πλεονεκτήματα χρήσης αυτόνομων οχημάτων**

Βέβαια η χρήση αυτόνομων οχημάτων υποκρύπτει και μια σειρά από μειονεκτήματα τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν. Ορισμένα από αυτά είναι:

- (1) Η αξιοπιστία λογισμικού.
- (2) Ο κίνδυνος αποτυχίας των συστημάτων ελέγχου.
- (3) Η έλλειψη νομικού πλαισίου σχετικά με την ευθύνη σε περίπτωση ατυχημάτων.
- (4) Η κατάργηση επαγγελμάτων που αφορούν την οδήγηση οχημάτων.

Παράλληλα η αυτόνομη οδήγηση επιφέρει και μια σειρά προκλήσεων οι οποίες πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη :

- (1) Οδική ασφάλεια: εφόσον τα μη επανδρωμένα οχήματα πρέπει να χρησιμοποιούν τους ίδιους δρόμους που χρησιμοποιούν τα μη αυτόνομα οχήματα, οι πεζοί και οι ποδηλάτες, είναι αναγκαία η επιβολή κατάλληλων μέτρων ασφαλείας και η εναρμόνιση των κανόνων οδικής κυκλοφορίας.
- (2) Ζητήματα ευθύνης: η μεταβίβαση των καθηκόντων οδήγησης από τους οδηγούς σε αυτόνομες τεχνολογίες απαιτεί την προσαρμογή των ευρωπαϊκών νομοθετικών διατάξεων περί ευθύνης που καθορίζουν, μεταξύ άλλων, ποιος είναι υπεύθυνος σε περίπτωση ατυχήματος: ο οδηγός ή ο κατασκευαστής;
- (3) Επεξεργασία δεδομένων: οι κανόνες προστασίας δεδομένων ισχύουν και για τον κλάδο αυτοματοποίησης, παρότι δεν έχουν ακόμα ληφθεί συγκεκριμένα μέτρα για

την εγγύηση της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και την προστασία των αυτόνομων οχημάτων έναντι κυβερνοεπιθέσεων.

- (4) Ηθικά ζητήματα: τα αυτόνομα οχήματα πρέπει να σεβαστούν την ανθρώπινη αξιοπρέπεια και την ελευθερία επιλογής. Η διαδικασία σύνταξης κατευθυντήριων γραμμών για την τεχνητή νοημοσύνη βρίσκεται σε εξέλιξη, ενδέχεται όμως να χρειαστούν ειδικές προδιαγραφές.
- (5) Υποδομές: είναι απαραίτητες οι επενδύσεις στην έρευνα και την καινοτομία προκειμένου να αναπτυχθεί η κατάλληλη τεχνολογία και υποδομή.

## **2.2 Τα επίπεδα αυτονομίας ενός οχήματος**

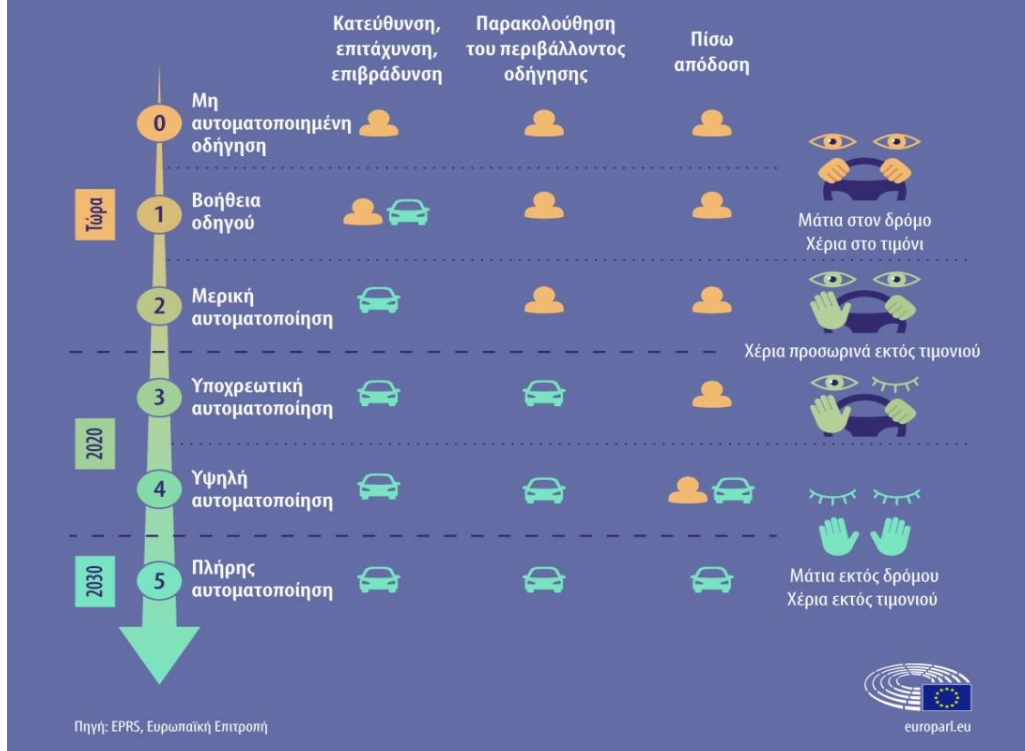
Τα επίπεδα αυτονομίας που περιγράφουν το σύστημα και όχι το όχημα, όπως καθορίζεται από την πολιτική της Εθνικής Υπηρεσίας Οδικής Ασφάλειας των Αυτοκινητόδρομων (NHTSA ) [6] του Υπουργείου Μεταφορών των ΗΠΑ το 2016, είναι :

- (1) Επίπεδο 0: Καμία αυτονομία. Ο οδηγός ελέγχει όλες τις λειτουργίες: τιμόνι, φρένα, γκάζι, ισχύς.
- (2) Επίπεδο 1: Βασικά συστήματα υποβοήθησης της οδήγησης. Οι περισσότερες λειτουργίες εξακολουθούν να ελέγχονται από τον οδηγό, αλλά μια συγκεκριμένη λειτουργία (όπως το τιμόνι ή η επιτάχυνση) μπορεί να γίνει αυτόματα από το αυτοκίνητο.
- (3) Επίπεδο 2: Μερική αυτονομία. Τουλάχιστον ένα σύστημα υποβοήθησης οδηγού τόσο του τιμονιού όσο και της επιτάχυνσης / επιβράδυνσης με χρήση πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον οδήγησης είναι αυτοματοποιημένο, όπως το cruise control και το κεντράρισμα στη λωρίδα. Σημαίνει ότι ο οδηγός απεμπλέκεται από το φυσικό χειρισμό του οχήματος, έχοντας τα χέρια του μακριά από το τιμόνι και το πεντάλ του ποδιού ταυτόχρονα, σύμφωνα με το SAE. Ωστόσο, ο οδηγός πρέπει να είναι πάντα έτοιμος να πάρει τον έλεγχο του οχήματος.
- (4) Επίπεδο 3: Αυτονομία υπό όρους. Τα αυτόνομα οχήματα έχουν πλήρη επίγνωση του περιβάλλοντος και έχουν αναλάβει την οδήγηση, ωστόσο ανά πάσα στιγμή μπορεί να κληθεί ο οδηγός να παρέμβει. Ο οδηγός δεν χρειάζεται να προσέχει στον δρόμο, αλλά πρέπει να είναι σε θέση να αναλάβει τον έλεγχο. Εδώ τα όρια που ορίζονται είναι λίγο ασαφή. Αρχικά, ο οδηγός μπορεί να χρειαστεί αρκετά δευτερόλεπτα για να παρέμβει και να αξιολογήσει την κατάσταση, με την SAE να δηλώνει ότι «μερικά δευτερόλεπτα» είναι αρκετά. Μάλιστα, έρευνα από το πανεπιστήμιο του Stanford έδειξε ότι η μετάβαση από αυτόνομη οδήγηση σε χειροκίνητο έλεγχο του οχήματος, ίσως είναι πολύ δύσκολη για τους οδηγούς, δημιουργώντας έτσι της κατάλληλες συνθήκες για να δημιουργηθούν φαινόμενα

υπερστροφής ή υποστροφής στο όχημα [7]. Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι το επίπεδο 2 ο οδηγός είναι που παρακολουθεί, ελέγχει και κατευθύνει το περιβάλλον οδήγησης, ενώ από το επίπεδο 3 και μετά αυτό ελέγχεται από το ADS (Automated Driving System).

- (5) Επίπεδο 4: Υψηλό επίπεδο αυτοματισμού. Εδώ πλέον ο οδηγός αρχίζει και γίνεται «αναλώσιμος». Το αυτόνομο όχημα μπορεί να διαχειριστεί όλες τις λειτουργίες της οδήγησης, ωστόσο υπό συγκεκριμένα σενάρια. Για παράδειγμα ένα τέτοιο σενάριο θα ήταν η οδήγηση στον αυτοκινητόδρομο, ή αυτό που θέλει να κάνει η Google με τα οχήματά της, τα οποία κυκλοφορούν σε μια καλά χαρτογραφημένη περιοχή. Αν βάλουμε ένα όχημα με επίπεδο 4 αυτόνομιας σε ένα άγνωστο σημείο ίσως αντιμετωπίσει μερικά προβλήματα.
  
- (6) Επίπεδο 5: Πλήρης αυτονομία. Σε αυτό το επίπεδο, το αυτόνομο όχημα είναι ικανό να διαχειριστεί με ευκολία την οδήγηση σε όλες τις περιπτώσεις, κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες, όπως θα έκανε και ένας άνθρωπος. Δεν χρειάζονται προαπαιτούμενα για να λειτουργήσει, καθώς οι αισθητήρες και το λογισμικό έχουν πλήρη επίγνωση του περιβάλλοντος.

# ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 2: Επίπεδα αυτονομίας οχημάτων

Τα συστήματα υποβοήθησης οδηγού (επίπεδα αυτοματισμού 1 και 2) αποτελούν ήδη πραγματικότητα στην ευρωπαϊκή αγορά. Τα αυτόνομα οχήματα (επίπεδα 3 και 4) βρίσκονται, προς το παρόν, σε δοκιμαστικό στάδιο και προβλέπεται να κάνουν την εμφάνισή τους στην αγορά μεταξύ του 2020 και του 2030, ενώ τα πλήρως αυτοματοποιημένα οχήματα (επίπεδο 5) αναμένονται για μετά το 2030. Η πλήρης συνδεσιμότητα όλων των νέων οχημάτων αναμένεται να επιτευχθεί έως το 2022.

Ατυχήματα που συνέβησαν με επίκεντρο τα αυτόνομα οχήματα μεγάλων εταιρειών όπως το συμβάν με το αυτόνομο όχημα της Apple [8], της Tesla [9] ή της Uber [10] εγείρουν ερωτήματα και προβληματισμούς όσο αφορά την αξιοπιστία αυτών των οχημάτων. Ωστόσο η έρευνα και ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών βρίσκεται σε πολύ προχωρημένο στάδιο και δεν θα αργήσει μέχρι να αποδειχθεί ότι οι μηχανές θα οδηγούν ασφαλέστερα απ' ότι οι άνθρωποι.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και την ασφαλή ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων, απαιτείται πρώτα η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των ανθρώπων , των σημάτων και ερεθισμάτων σε μια αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων χρηστών του οδικού δικτύου , τα οποία για το σκοπό της παρούσας εργασίας θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια και θα αποτελέσουν το κύριο μέρος της.

# 3

## ***Βιβλιογραφική Ανασκόπηση***

### ***3.1 Επικοινωνία αυτόνομων οχημάτων με άλλους χρήστες του οδικού δικτύου***

Ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο τα αυτόνομα οχήματα θα πρέπει να επικοινωνούν με τους υπόλοιπους χρήστες του οδικού δικτύου είναι περίπλοκος λόγω της γενικής έλλειψης εξοικείωσης του κοινού με αυτά και του προσδιορισμού του τρόπου λειτουργίας τους. Οι κοινωνικές προδιαγραφές και οι προσδοκίες που συνδέονται με τα αυτόνομα οχήματα δεν έχουν αναπτυχθεί ακόμα. Αυτό καθιστά την αποτελεσματική επικοινωνία αυτόνομων οχημάτων και υπόλοιπων χρηστών ακόμη πιο σημαντική. Ενώ οι άνθρωποι γενικά ενδιαφέρονται να μάθουν περισσότερα για τα αυτόνομα οχήματα, έχουν πολλές ανησυχίες για πιθανά προβλήματα. Μια έρευνα που

πραγματοποιήθηκε από τους Schoettle και Sivak (2014) [11] διαπίστωσε σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την αξιοπιστία των αυτόνομων οχημάτων. Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ, τα τρία τέταρτα των ερωτηθέντων ανησυχούσαν μέτρια ή πολύ για τις αλληλεπιδράσεις των αυτόνομων οχημάτων με άλλους οδηγούς, ποδηλάτες και πεζούς. Ταυτόχρονα, περισσότερα από τα δύο τρίτα των ερωτηθέντων ανέμεναν η πλήρης αυτονομία των οχημάτων να οδηγήσει σε λιγότερες και λιγότερο σοβαρές συγκρούσεις. Αυτή η προφανής αντίφαση δείχνει ότι, ενώ το κοινό έχει μεγάλες προσδοκίες για τα αυτόνομα οχήματα, θα είναι αρκετά προσεκτικό και επιφυλακτικό κατά την αρχική του αλληλεπίδραση με την τεχνολογία.

Στην Ευρώπη, το έργο CityMobil2 παρουσίασε ένα μικρό αυτοκινούμενο λεωφορείο δημόσιων συγκοινωνιών στους δρόμους των πόλεων της Ελβετίας, της Γαλλίας και της Ελλάδας (Merat, Madigan, Louw, Dziennus. & Schieben, 2013) [12]. Μελέτες με άτομα που είχαν δοκιμάσει την τεχνολογία έδειξαν ότι οι πεζοί αισθάνθηκαν λιγότερο ασφαλείς γύρω από το όχημα σε περιοχές όπου δεν υπήρχαν σήματα οδικής κυκλοφορίας. Ελλείψει οδικών σημάτων, οι ερωτηθέντες της έρευνας ανέφεραν ότι πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την επίγνωση και τις προθέσεις του οχήματος ήταν ιδιαίτερα σημαντικές. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες ήθελαν να μάθουν εάν το όχημα σταματάει, αν γυρίζει, πόσο γρήγορα πηγαίνει, εάν πρόκειται να αρχίσει να κινείται και αν τους έχει εντοπίσει. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι ερωτηθέντες έδειξαν ότι έτειναν να θέλουν να λαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με το εάν το λεωφορείο στρέφεται ή σταματά οπτικά, αλλά επιθυμούσαν να λάβουν και ακουστικές πληροφορίες σχετικά με το εάν το λεωφορείο επρόκειτο να αρχίσει να κινείται.

Επιπρόσθετα οι συμμετέχοντες εξέφρασαν ανησυχίες για την κατανόηση της κατεύθυνσης της πορείας του οχήματος και του κατά πόσο το όχημα ή οι άλλοι χρήστες του οδικού είχαν προτεραιότητα. Έδειξαν επίσης, να ανησυχούν για το αν το όχημα μπορεί να ανιχνεύσει κινδύνους και τόνισαν τη σημασία του να μπορεί αυτό να εκφράσει τις προθέσεις του και την επίγνωσή του για τους άλλους χρήστες του οδικού δικτύου.

Παράλληλα μια άλλη μελέτη διεξήχθη από τον Rothenbücher (2016) [13] για την αξιολόγηση της στάσης των πεζών απέναντι στα αυτόνομα οχήματα. Οι ερευνητές έκρυψαν τον οδηγό του οχήματος στο κάθισμα του αυτοκινήτου για να δημιουργήσουν την ψευδαίσθηση ότι το όχημα οδηγούσε μόνο του. Το αυτοκίνητο με τον κρυμμένο οδηγό οδήγησε στη συνέχεια σε πολυσύχναστες διασταυρώσεις στην περιοχή, ενώ οι ερευνητές κατέγραψαν βίντεο και πήραν συνεντεύξεις από τους πεζούς που αλληλεπίδρασαν με το όχημα. Καταγράφηκαν 67 περιστατικά αλληλεπίδρασης πεζών – οχήματος και 30 συμμετέχοντες ερωτήθηκαν στη συνέχεια από τους ερευνητές. Το 80 % των ερωτηθέντων απάντησε ότι δεν υπήρχε ορατός οδηγός και το 87 % θεώρησε ότι το όχημα ήταν αυτόνομο. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι οι πεζοί είναι πιθανό να

παρατηρήσουν όταν ένα όχημα δεν έχει έναν άνθρωπο οδηγό παρόν. Από τις 67 καταγεγραμμένες αλληλεπιδράσεις, σχεδόν όλες συμφωνούσαν με τις συνήθειες αλληλεπιδράσεις πεζών οχημάτων σε διασταυρώσεις. Σε περιπτώσεις όπου το όχημα δεν φάνηκε να λειτουργούσε κανονικά (δηλαδή άρχισε να κινείται αμέσως μετά, αφού σταμάτησε), οι πεζοί συχνά δίστασαν και προσπάθησαν να αναζητήσουν τον οδηγό του οχήματος για να βοηθήσουν στην επίλυση της κατάστασης, αλλά όταν δεν είδαν τον οδηγό, επέδειξαν αυξημένη επιφυλακτικότητα και ορισμένοι επέλεξαν να περπατήσουν γύρω από το όχημα αντί μπροστά από αυτό. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όταν ένα αυτόματο όχημα ενεργεί όπως αναμένεται (για παράδειγμα σταματά πριν την διασταύρωση και περιμένει να περάσουν οι πεζοί), οι αλληλεπιδράσεις των πεζών με αυτό θα είναι παρόμοιες με τις συνήθειες μορφές αλληλεπίδρασης που παρατηρούνται με τους ανθρώπινους οδηγούς. Όταν η συμπεριφορά του αυτόνομου οχήματος ξεφεύγει από τους αναμενόμενους κανόνες, ωστόσο, η αβεβαιότητα των πεζών θα είναι δύσκολο να επιλυθεί χωρίς έναν άνθρωπο οδηγό με τον οποίο μπορούν να αλληλεπιδράσουν οι πεζοί.

Ένα άλλο πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τον Clamann (2017) [14] αφορούσε την αξιολόγηση δύο προσεγγίσεων προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την επικοινωνία πεζών σε αλληλεπίδραση με οχήματα. Και οι δύο προσεγγίσεις χρησιμοποιούσαν οπτικές ενδείξεις στο μπροστινό μέρος του οχήματος. Η πρώτη έδειχνε ένα σήμα «Μην περπατάτε» στο μπροστινό μέρος του οχήματος ενώ το όχημα ήταν σε κίνηση, το οποίο άλλαζε σε ένα σήμα «Περπατήστε» όταν το όχημα έφτανε σε πλήρη στάση. Η δεύτερη προσέγγιση έδειχνε την τρέχουσα ταχύτητα του οχήματος, η οποία ήταν είτε στα 24 χμ. / ώρα, είτε στα 40 χμ. / ώρα. Οι συμμετέχοντες περίμεναν να διασχίσουν το δρόμο είτε σε μια διασταύρωση με εμφανή σήμανση είτε σε μια μη σηματοδοτημένη διασταύρωση.

Τα αποτελέσματα δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο προσεγγίσεων ή μια συνθήκη ελέγχου για το πόσο χρόνο οι συμμετέχοντες χρειάστηκαν να αποφασίσουν αν θα διασχίσουν το δρόμο ή όχι. Δεν υπήρξαν επίσης σημαντικές διαφορές στον αριθμό των ανασταλτικών προσπαθειών διέλευσης που πραγματοποιήθηκαν (δηλαδή καθυστερημένες προσπάθειες διέλευσης που έθεσαν τον πεζό στην πορεία του οχήματος). Συνεντεύξεις μετά τη μελέτη έδειξαν ότι το 76% των συμμετεχόντων ανέφεραν ότι είδαν την οπτική απεικόνιση κατά τη διάρκεια του πειράματος, αλλά μόνο το 12% επισήμανε ότι επηρέασε τις αποφάσεις διέλευσης. Παράγοντες που θεωρήθηκαν σημαντικοί από τους ερωτηθέντες στη λήψη αποφάσεων διέλευσης ήταν η απόσταση από το όχημα (56%), η ταχύτητα του οχήματος (46%) και η πυκνότητα κυκλοφορίας (24%). Παρά τη χαμηλή συμμετοχή συμμετεχόντων σε αυτή τη μελέτη, το 46% θεώρησε ότι οι ενδείξεις όπως αυτές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το πείραμα θα ήταν χρήσιμες όταν τα αυτόνομα οχήματα θα είναι διαθέσιμα. Ένας αξιοσημείωτος περιορισμός αυτής της έρευνας ήταν ότι το όχημα, το οποίο έπρεπε να αντιπροσωπεύει ένα αυτόνομο όχημα, είχε στην πραγματικότητα έναν ορατό ανθρώπινο οδηγό, ο οποίος θα μπορούσε να επηρεάσει τα σήματα που οι συμμετέχοντες εξέλαβαν για να λάβουν αποφάσεις διέλευσης ή όχι.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η μελέτη της επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγού – πεζού καθώς και των ερεθισμάτων και σημάτων που πρέπει να λάβουν και τα δύο αυτά μέρη προκειμένου να προχωρήσουν σε μία απόφαση ή όχι διέλευσης, κατέχει ιδιαίτερη σημασία για τη σχεδίαση και μοντελοποίηση των αυτόνομων οχημάτων και για το σκοπό της παρούσας εργασίας θα μελετηθεί αυτή καθεαυτή μόνη της αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια.

### **3.2 Επικοινωνία και αλληλεπίδραση οδηγού – πεζού**

Ενώ οι οδηγοί επικοινωνούν ενεργά ή παθητικά με όλους τους χρήστες του δρόμου, μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας σχετικά με την επικοινωνία του οδηγού επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις τους με τους πεζούς. Οι πεζοί είναι μια ιδιαίτερα σημαντική περίπτωση επειδή είναι ευάλωτη ομάδα και επειδή οι χρήστες των δρόμων είναι συχνά αβέβαιοι ποιος έχει δικαίωμα διέλευσης στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχημάτων και πεζών (Mitman & Ragland, 2007, Hatfield, Fernandes, Job & Smith, 2007) [15]. Επίσης και οι πεζοί και οδηγοί συχνά δεν συμμορφώνονται με τους κανόνες κυκλοφορίας όταν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (Cinnamon, Schuurman, & Hameed, 2011) [16]. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αποτελεσματική επικοινωνία είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Οι πεζοί είναι επίσης συχνά πιο κοντά στους οδηγούς και είναι πιο ικανοί να εκλάβουν οπτικά ή ακουστικά σήματα επικοινωνίας από αυτούς. Παράλληλα οι πεζοί είναι πιο πιθανό να αναζητήσουν επαφή με τα μάτια του οδηγού για να καθορίσουν εάν είναι ασφαλές να περάσουν.

Στην πραγματικότητα η οπτική επαφή μεταξύ οδηγού και πεζού αυξάνει την πιθανότητα να παραχωρήσει ο οδηγός προτεραιότητα στον πεζό (Guéguen, Meineri, & Eyssartier, 2016) [17]. Η χρήση του ήχου του οχήματος είναι επίσης σημαντική για τους πεζούς, όπως φαίνεται σε μια μελέτη που διαπίστωσε ότι τα ήσυχα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι πιθανότερο να συμμετέχουν σε περιστατικά συγκρούσεων με πεζούς από ότι τα οχήματα με ισχυρότερους κινητήρες εσωτερικής καύσης (Wu et al., 2011) [18].

Ως χρήστες του οδικού δικτύου, οι πεζοί εξωτερικεύουν πληροφορίες για τις δικές τους προθέσεις και αναζητούν επίσης πληροφορίες για τις προθέσεις των άλλων χρηστών (Sucha, 2014) [19]. Σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ πεζών και οδηγών, οι πληροφορίες που χρειάζεται ένας πεζός μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την κατάσταση. Για παράδειγμα, η διέλευση σε μια τοποθεσία χωρίς εμφανή σήμανση στο μέσο του δρόμου μπορεί να απαιτήσει περισσότερο προσεκτική συμπεριφορά από έναν πεζό, από ότι να διασχίσει ένα δρόμο σε μια σηματοδοτημένη διασταύρωση, όπου οι οδηγοί αναμένεται να του παραχωρήσουν προτεραιότητα. Ωστόσο, ακόμη και στην τελευταία περίπτωση, οι πεζοί δεν μπορούν να υποθέσουν ότι ο οδηγός θα σταματήσει. Θα



πρέπει να συνεχίσουν να κοιτούν τον οδηγό προκειμένου να είναι σίγουροι ότι μπορούν περάσουν με ασφάλεια (Schneeman & Gohl, 2016) [20]. Στην πραγματικότητα, μία μελέτη διαπίστωσε ότι το ενδεχόμενο να διασχίσει ένας πεζός το δρόμο χωρίς να ελέγξει την κυκλοφορία πραγματοποιήθηκε μόνο σε περίπου δέκα τοις εκατό από όλα τα σενάρια διέλευσης και περισσότερα από τα μισά από αυτά συνέβησαν όταν ο χρόνος σε σύγκρουση ήταν μεγαλύτερος από δέκα δευτερόλεπτα (TTC) (Rasouli, Kotseruba & Tsotsos, 2016 ) [21].

Προφανώς, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων όπου ένας πεζός πρέπει να αλληλεπιδράσει με έναν οδηγό για να διασχίσει το δρόμο, οι πεζός πρέπει να συλλέξει τουλάχιστον κάποιες πληροφορίες από το όχημα ή τον οδηγό για να προσδιορίσει πότε είναι ασφαλές να περάσει. Η κατανόηση του τι είδους πληροφορία θέλει να γνωρίζει ένας πεζός είναι ως εκ τούτου ένα κρίσιμο πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός αυτόνομου οχήματος που μπορεί να αλληλεπιδρά αποτελεσματικά με τους πεζούς.

### **3.3 Επικοινωνία και αλληλεπίδραση οδηγού – με ειδικές ομάδες πεζών**

Το προηγούμενο κεφάλαιο αναφερόταν στην επικοινωνία οδηγών με πεζούς απευθυνόταν σε γενικό, ενήλικα πληθυσμό χωρίς σημαντικές αισθητικές, φυσικές ή γνωστικές διαταραχές. Ορισμένοι πεζοί, ωστόσο, έχουν περιορισμούς που επηρεάζουν τις ανάγκες πληροφόρησης και επικοινωνίας τους. Μια τέτοια ομάδα πεζών είναι εκείνοι που χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασχίσουν το δρόμο, όπως εκείνοι με σωματικές βλάβες και οι ηλικιωμένοι. Οι ηλικιωμένοι πεζοί, ειδικότερα, μπορεί να χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασχίσουν όπως είναι λογικό μια διασταύρωση.

Όπως διαπιστώθηκε από έρευνα που διεξήχθη από τους (Guerrier & Jolibois, 1998) και τον (Langlois 1997) [22] πάνω από το 11 % των ηλικιωμένων ατόμων άνω των 72 ετών ανέφερε δυσκολία στο να διασχίσει το δρόμο και λιγότερο από το 1 τοις εκατό αυτών είχε ταχύτητα βαδίσματος αρκετά γρήγορη ώστε να διασχίσει το δρόμο στο χρόνο που διατίθεται στις σηματοδοτημένες διαβάσεις. Οι πεζοί που χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασχίσουν έναν δρόμο είναι περισσότερο πιθανό να ζητήσουν περισσότερες πληροφορίες από τους οδηγούς για να εξασφαλίσουν ότι ο οδηγός θα τους παραχωρήσει προτεραιότητα και κατά αυτόν τον τρόπο θα έχουν αρκετό χρόνο για να διασχίσουν στο δρόμο.

Τα παιδιά επίσης, συμπεριφέρονται διαφορετικά σε σύγκριση με τον γενικό ενήλικα πληθυσμό και συνεπώς έχουν διαφορετικές ανάγκες επικοινωνίας. Για παράδειγμα, τα μικρά παιδιά τείνουν να βασίζονται αποκλειστικά στην απόσταση του επερχόμενου οχήματος και να αγνοούν την ταχύτητα του όταν αποφασίζουν πότε πρέπει να διασχίσουν το δρόμο (Connolly, Conaglen, Parsonson, & Isler, 1998) [23]. Τα παιδιά ενδέχεται να έχουν μεγαλύτερες δυσκολίες στο να αντιληφθούν ότι οι συνθήκες δεν

είναι ασφαλείς για τη διέλευση. Οι οδηγοί από την άλλη πλευρά, μπορεί να έχουν ιδιαίτερες δυσκολίες επικοινωνίας με τα παιδιά, καθώς για παράδειγμα η επιτάχυνση ή η άρνηση να κάνουν επαφή με τα μάτια είναι λιγότερο πιθανό να ερμηνευτούν από ένα παιδί, όπως θα γινόταν με έναν ενήλικα.

Ενώ οι τυφλοί, ή οι πεζοί που αντιμετωπίζουν προβλήματα όρασης, αλλά και οι κωφοί πεζοί περιορίζονται στις πληροφορίες που έχουν στη διάθεσή τους σχετικά με τις ασφαλείς οδικές συνθήκες, οι τυφλοί πεζοί είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένοι. Οι κωφοί και οι βαρήκοοι πεζοί φαίνεται να είναι λιγότερο ευάλωτοι (Pecchini & Giuliani, 2015) [24]. Οι (Ashmead, Guth, Wall, Long, & Ponchillia 2005) [25] παρατήρησαν τυφλούς πεζούς σε κυκλικούς κόμβους και διαπίστωσαν ότι αυτή η ειδική κατηγορία πεζών συνήθως αποτύγχανε να αντιληφθεί τότε οι οδηγοί τους παραχωρούσαν προτεραιότητα. Οι τυφλοί πεζοί τείνουν επίσης να χάνουν περισσότερες ευκαιρίες ασφαλούς διέλευσης και να λαμβάνουν πιο επικίνδυνες αποφάσεις διέλευσης από τους πεζούς που βλέπουν. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει επειδή οι τυφλοί και οι πεζοί που αντιμετωπίζουν προβλήματα όρασης τείνουν να βασίζονται κυρίως σε ακουστικά μηνύματα όταν αποφασίζουν αν θα διασχίσουν το δρόμο ή όχι (Guth et al., 2005) [26]. Ενώ αυτό μπορεί να είναι σχετικά ασφαλές σε ήσυχες και με χαμηλή κίνηση συνθήκες (όπου είναι ευκολότερο να προσδιοριστεί τότε ένα αυτοκίνητο έρχεται), σε συνθήκες αυξημένης κυκλοφορίας με έντονο θόρυβο περιβάλλοντος, ο προσδιορισμός μιας ασφαλούς διέλευσης με τη χρήση ηχητικών σημάτων καθίσταται πολύ πιο δύσκολη. Υπάρχει προφανώς η ανάγκη για τους τυφλούς και τους πεζούς με προβλήματα όρασης να έχουν έναν αξιόπιστο τρόπο να προσδιορίζουν τότε είναι ασφαλές να διασχίζουν το δρόμο, καθώς και για τους οδηγούς να κοινοποιούν την πρόθεσή τους να τους παραχωρήσουν προτεραιότητα με πιο κατανοητό τρόπο.

### ***3.4 Προηγούμενες αντίστοιχες έρευνες και συμπεράσματα από αυτές***

Για την ασφαλή και αποδοτική ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφορία, πρέπει να διασφαλιστεί ότι αυτά τα οχήματα μπορούν να αλληλεπιδράσουν με άλλους χρήστες του οδικού δικτύου. Αυτό θα επιτρέψει και στους οδηγούς των οχημάτων αλλά και στους πεζούς, οι οποίοι αποτελούν το πιο ευάλωτο κομμάτι της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης να συντονίζουν τις δράσεις τους αρμονικά. Η αλληλεπίδραση μεταξύ οδηγών - πεζών είτε σε κανονική ροή κυκλοφορίας είτε σε διασταυρώσεις χωρίς σήμανση έχει μελετηθεί εντατικά. Αρκετές πρόσφατες μελέτες έχουν προσπαθήσει να εξετάσουν το είδος των σημάτων που ψάχνουν όταν περιμένουν

να διασχίσουν ένα δρόμο. Αποτελέσματα αυτών ήταν η απόσπαση πληροφοριών σχετικά με τη ροή αποφάσεων και των δυο ενδιαφερόμενων μελών.

Έρευνα που διεξήχθη στην Τσεχία το 2016 [27] έδειξε ότι η πιθανότητα να τραυματιστεί θανάσιμα ένας πεζός στην ταχύτητα των 50 km / h είναι 8 φορές μεγαλύτερη από ότι σε αυτή των 30 km / h. Επίσης η πιθανότητα να εμπλακεί ένας οδηγός σε ατύχημα είναι διπλάσια όταν η ταχύτητα του οχήματος του είναι μεγαλύτερη από 50 km/ h από όταν δεν ξεπερνά αυτήν την ταχύτητα.

Όσον αφορά τις αποφάσεις αποκλειστικά των **πεζών** σε μια αλληλεπίδραση πεζού - οδηγού οι παράγοντες που τις διαμορφώνουν φάνηκαν να είναι:

- 1) Η απόσταση του επερχόμενου αυτοκινήτου από το σημείο διάβασης
- 2) Η ταχύτητα του επερχόμενου αυτοκινήτου στο σημείο διάβασης
- 3) Η πυκνότητα των αυτοκινήτων στο σημείο διάβασης (κίνηση)
- 4) Εάν πρόκειται για δρόμο μονής ή διπλής κατεύθυνσης
- 5) Ενδείξεις από τον οδηγό (οπτική επαφή , κίνηση χεριού, << παίξιμο φώτων>>)
- 6) Η παρουσία άλλων πεζών

Σε ότι έχει να κάνει με τους **οδηγούς** οι παράγοντες που φάνηκαν από τα αποτελέσματα της μελέτης να επηρεάζουν περισσότερο τις αποφάσεις τους στο να σταματήσουν ή να διασχίσουν το δρόμο σε μια αλληλεπίδραση είναι :

- 1) Η ταχύτητα του οχήματός τους
- 2) Ο αριθμός των πεζών που διασχίζουν την διάβαση τη στιγμή της αλληλεπίδρασης
- 3) Εάν οι πεζοί δείχνουν αποσπασμένοι- αφηρημένοι

Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης μελέτης έδειξε ότι κριτήρια που καθιστούν μια διάβαση ασφαλή για τους πεζούς είναι:

- 1) Μικρό μήκος διάβασης
- 2) Μικρός χρόνος αναμονής σε αυτήν
- 3) Όταν σταματούν συχνά τα αυτοκίνητα για να περάσουν οι πεζοί
- 4) Όταν δεν χρειάζεται να έχουν καν συνάντηση με οδηγό

5) Ισορροπημένο ποσοστό πυκνότητας αυτοκινήτων – πεζών

6) Όταν καταφθάνουν τα οχήματα στο σημείο διάβασης με μικρή σχετικά ταχύτητα

Η σε βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι πιο συχνοί λόγοι για τους οποίους έκριναν έναν δρόμο οι πεζοί ως μη ασφαλή ήταν:

- 1) Κακό οπτικό πεδίο
- 2) Υψηλή κίνηση στο σημείο της αλληλεπίδρασης
- 3) Υψηλή ταχύτητα των διερχόμενων αυτοκινήτων
- 4) Απουσία φωτεινού σηματοδότη
- 5) Αίσθηση των πεζών ότι δεν πρόκειται να σταματήσει ο οδηγός

Παλαιότερες έρευνες όπως αυτή που πραγματοποιήθηκε στο Ισραήλ το 1975 [28] έδειξαν ότι μπορεί να δημιουργηθεί μια κατηγοριοποίηση αναφορικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τις αντιδράσεις των οδηγών στις αλληλεπιδράσεις τους με πεζούς και μπορούν να χωριστούν σε **α) περιστασιακούς** όπως είναι:

- Το μέρος που λαμβάνει χώρα η συνάντηση (κατοικημένη ή όχι περιοχή)
- Αν υπάρχει σήμανση διάβασης ή όχι

**β) Σε παράγοντες που αφορούν τα οχήματα**, όπως είναι :

- Η ταχύτητα του οχήματος
- Τύπος του οχήματος

**γ) Αλλά και σε παράγοντες που αφορούν ανθρώπινες μεταβλητές**, όπως είναι :

- Χαρακτηριστικά του οδηγού (φύλο, επίπεδο ικανότητας όρασης)

Επιπρόσθετοι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν μια αλληλεπίδραση οδηγού - πεζού φαίνονται να είναι :

- 1) Αλλαγές στην κατεύθυνση ή στην ταχύτητα του επερχόμενου οχήματος
- 2) Να αναβοσβήσει ο οδηγός τα φώτα του αυτοκινήτου του
- 3) Η χρησιμοποίηση κόρνας
- 4) Ο προσανατολισμός του σώματος ή του κεφαλιού του πεζού
- 5) Η στάση του σώματος του πεζού
- 6) Η χειρονομία ενός εκ των δυο μελών

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο Newark των ΗΠΑ [29] το 2013, σύμφωνα με τα οποία υπάρχουν έξι διακριτοί κόμβοι που επηρεάζουν το μοντέλο συμπεριφοράς των πεζών. Αυτοί είναι :

- 1) Εποχή
- 2) Καιρικές συνθήκες
- 3) Μήκος διάβασης
- 4) Προσωπικά κίνητρα
- 5) Ταχύτητα επερχόμενου αυτοκινήτου
- 6) Το εξωτερικό περιβάλλον (διασταύρωσης)

Επιπρόσθετα ανάλυση ευαισθησίας έδειξε ότι χρόνος αναμονής στον φωτεινό σηματοδότη είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά των πεζών. Όταν χρειαστεί να περιμένουν αρκετή ώρα (πάνω από 2 λεπτά) τείνουν να επιδείξουν παραβατική συμπεριφορά.

Παράλληλα έγινε εμφανές μέσω των αποτελεσμάτων ότι οι πεζοί τηρούν σε μεγαλύτερο βαθμό τις ενδείξεις την καλοκαιρινή περίοδο , καθώς τότε λόγω των καλών καιρικών συνθηκών υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός οχημάτων, αλλά και οι οδηγοί τείνουν να οδηγούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Παρόλα αυτά σε περίοδο βροχών οι οδηγοί τείνουν να αυξάνουν την προσοχή τους ενώ οι πεζοί να χάνουν την υπομονετικότητα τους. Επομένως φαίνεται ότι οι καιρικές συνθήκες αποτελούν παράγοντα που ενδέχεται να επηρεάσει μια αλληλεπίδραση οδηγού – πεζού.

Έμφαση πρέπει να δοθεί και στις επιπτώσεις της τεχνολογικής και κοινωνικής απόσπασης της προσοχής σχετικά με τις προειδοποιητικές συμπεριφορές και τους χρόνους διέλευσης όσον αφορά τους πεζούς όταν διασχίζουν το δρόμο. Σύμφωνα με έρευνα που έλαβε χώρα στο Seattle των ΗΠΑ [30] το 2012 ,στην οποία εξετάστηκε η σχέση μεταξύ της απόσπασης προσοχής και της συμπεριφοράς των πεζών όταν διασχίζουν το δρόμο, λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα την ηλικία και το φύλο τους έδειξε ότι οι πεζοί που έστελναν μηνύματα έκαναν 1,87 s περισσότερα να διασχίσουν το δρόμο σε σχέση με τους πεζούς που δεν έκαναν κάποια ενέργεια που να τους αποσπά την προσοχή. Επιπλέον οι πεζοί που έστελναν μηνύματα ήταν 3.9 φορές πιο πιθανό να προβάλλουν τουλάχιστον 1 μη ασφαλή συμπεριφορά όταν διέσχισαν το δρόμο (ανυπακοή στον φωτεινό σηματοδότη , να διασχίζουν τη μεσαία λωρίδα, ή να μην ελέγχουν και τις δύο κατευθύνσεις). Επίσης οι πεζοί που άκουγαν μουσική περπάτησαν περισσότερο από μισό δευτερόλεπτο (0,54 s) πιο γρήγορα στη διάβαση σε σχέση με τους πεζούς που δεν τους αποσπούσε κάτι. Μάλιστα η ίδια έρευνα έδειξε ότι οι ενέργειες των πεζών μπορεί να ευθύνονται έως και για το 15% όλων των θανάτων,

ενώ το 21% των πεζών διαπράττουν 1 ή περισσότερες παραβιάσεις όταν διασχίζουν το δρόμο.

Ταυτόχρονα έντονο ενδιαφέρον έδειξαν τα αποτελέσματα μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα το 2013 [31], σχετικά με τη λήψη αποφάσεων των πεζών όσον αφορά τη διέλευση στα οποία φάνηκε να επηρεάζονται σημαντικά οι αποφάσεις τους από τον τύπο του οδικού δικτύου, τη ροή της κυκλοφορίας και τον έλεγχο της κυκλοφορίας (αν υπάρχει εμφανής σήμανση ή όχι). Πιο συγκεκριμένα σε ότι αφορά τον τύπο του οδικού δικτύου φαίνεται ότι σε κατοικημένες ζώνες (μικρούς αστικούς δρόμους), οι πεζοί θα επιλέξουν τη συντομότερη διαδρομή (π.χ. διαγώνια) εξαιτίας των λίγων περιπτώσεων αλληλεπίδρασης οχημάτων και πεζών. Στις μεγάλες αστικές αρτηρίες, από την άλλη πλευρά, οι περιορισμοί (κυκλοφορία, ταχύτητα κυκλοφορίας, αριθμός λωρίδων κ.λ.π.) είναι τέτοιοι ώστε όλοι οι πεζοί θα επιλέξουν μια προστατευμένη διασταύρωση με σήμανση. Σε μια μικτή αστική περιοχή (π.χ. δευτερεύοντες αστικούς δρόμους), αναμένεται μεγαλύτερη ποικιλία στη συμπεριφορά των πεζών. Όταν για παράδειγμα δεν υπάρχει κυκλοφορία, οι πεζοί θα επιλέξουν τη μικρότερη διαδρομή (π.χ. διαγώνια), λόγω της έλλειψης περιορισμών.

Σε χαμηλή κυκλοφορία υπάρχει αυξημένη πιθανότητα διέλευσης στο μέσο του δρόμου ή διαγώνια, ενώ σε μεγάλη κυκλοφορία υπάρχει αυξημένη πιθανότητα αναζήτησης προστατευόμενης διάβασης στη διασταύρωση. Τέλος, κατά τη συμφόρηση οι πεζοί είναι επίσης πιθανό να διασχίσουν το δρόμο μεταξύ των οχημάτων που είναι σταματημένα. Σε ότι έχει να κάνει με τον έλεγχο της κυκλοφορίας η παρουσία σήματος κυκλοφορίας οδηγεί σε αυξημένη πιθανότητα διέλευσης στη διασταύρωση (φωτεινός σηματοδότης).

Τέλος, εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω βαρύτητα στη λήψη αποφάσεων για τους πεζούς για διέλευση ή όχι σε μια αλληλεπίδραση φαίνεται να έχουν, όπως διαπιστώθηκε από έρευνα που έλαβε μέρος στο Portland των ΗΠΑ το 2014 [32], τα προσωπικά τους κίνητρα, δημογραφικά στοιχεία και το φύλο τους. Για παράδειγμα τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι εργαζόμενοι ή αυτοί που βρίσκονταν σε κάποια ρουτίνα ήταν πιο πιθανό να προβούν σε παραβιάσεις. Το ίδιο ισχύει και για αυτούς που περπατούσαν σε ομάδα. Επίσης τα άτομα που μόλις είχαν χρησιμοποιήσει κάποιο μέσο μαζικής μεταφοράς ήταν και αυτά πιθανό να προβούν σε κάποια παραβίαση. Σημαντική ακόμα φάνηκε και η ύπαρξη push buttons στα φανάρια. Σημαντικές διαφορές όσον αφορά την αντίληψη της ασφάλειας παρατηρήθηκαν επίσης ανάμεσα στις ηλικιακές ομάδες, δηλαδή οι νεότεροι ερωτηθέντες αντιλήφθηκαν μεγαλύτερη ασφάλεια σε σύγκριση με τους ηλικιωμένους ερωτηθέντες. Περισσότερες γυναίκες σε σχέση με τους άνδρες (55,4% έναντι 36,5%) συμφώνησαν ότι οι αποφάσεις διέλευσης βασίζονται σε θέματα ασφάλειας, δηλαδή οι γυναίκες έπαιρναν δυσκολότερα την απόφαση να διασχίσουν τον δρόμο από ότι οι άντρες (το έβρισκαν λιγότερο ασφαλές).

Συνοπτικά το σύνολο των κριτηρίων που φαίνεται να διαμορφώνουν τις αποφάσεις πεζών και οδηγών σε μία αλληλεπίδραση και σχετίζονται με την προτεραιότητα διέλευσης παρουσιάζονται στους πίνακες 2,3.

<b>Κριτήρια αποφάσεων οδηγών</b>	<b>Τρόπος που επηρεάζουν</b>
Η ταχύτητα του οχήματός τους	Οι οδηγοί που οδηγούν σε υψηλές ταχύτητες είναι λιγότερο πιθανό να παραχωρήσουν προτεραιότητα σε ένα πεζό
Ο αριθμός των πεζών που διασχίζουν την διάβαση τη στιγμή της αλληλεπίδρασης	Σε σημεία του οδικού δικτύου, όπου μεγάλος αριθμός πεζών διασχίζει το δρόμο, οι οδηγοί τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί
Προσανατολισμός σώματος – κεφαλιού πεζού/Εάν οι πεζοί δείχνουν αποσπασμένοι- αφηρημένοι	Σε περιπτώσεις που ένας πεζός δείχνει αφηρημένος , ή δεν κοιτάει προς το μέρος του οχήματος τους οι οδηγοί τείνουν να δείχνουν μεγαλύτερη επιφυλακτικότητα
Το μέρος που λαμβάνει χώρα η συνάντηση (κατοικημένη ή όχι περιοχή)	Σε κατοικημένες περιοχές οι οδηγοί τείνουν να επιδεικνύουν μεγαλύτερη προσοχή προς τους πεζούς
Αν υπάρχει σήμανση διάβασης ή όχι	Σε σημεία του οδικού δικτύου , όπου δεν υπάρχει εμφανής σήμανση διάβασης, οι οδηγοί τείνουν να παραχωρούν προτεραιότητα λιγότερο συχνά στους πεζούς
Τύπος του οχήματος	Οι οδηγοί οχημάτων με μεγάλες διαστάσεις τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί και να παραχωρούν πιο συχνά προτεραιότητα στους πεζούς
Χαρακτηριστικά του οδηγού (φύλο, επίπεδο ικανότητας όρασης)	Οι γυναίκες οδηγοί και οι ηλικιωμένοι τείνουν να οδηγούν πιο προσεκτικά από τους άντρες και σε χαμηλότερες ταχύτητες
Εποχή / Καιρικές συνθήκες	Σε περίοδο βροχών οι οδηγοί τείνουν να αυξάνουν τη προσοχή τους, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο τείνουν να οδηγούν σε μεγαλύτερες ταχύτητες

**Πίνακας 2: Κριτήρια αποφάσεων οδηγών**

<b>Κριτήρια αποφάσεων πεζών</b>	<b>Τρόπος που επηρεάζουν</b>
Η απόσταση του επερχόμενου αυτοκινήτου από το σημείο διάβασης	Σε περιπτώσεις που το όχημα απέχει μεγάλη απόσταση από το σημείο διάβασης , οι πεζοί είναι πιο θετικά προσκείμενοι ώστε να διασχίσουν το δρόμο.
Η ταχύτητα του επερχόμενου αυτοκινήτου στο σημείο διάβασης	Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του επερχόμενου οχήματος , τόσο πιο διστακτικοί είναι οι πεζοί στο να διασχίσουν μια διάβαση
Η πυκνότητα - ροή των αυτοκινήτων στο σημείο διάβασης (κίνηση)	Οι πεζοί σε σημεία διάβασης με υψηλή ροή αυτοκινήτων τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί
Εάν πρόκειται για δρόμο μονής ή διπλής κατεύθυνσης	Σε δρόμους διπλής κατεύθυνσης οι πεζοί τείνουν να είναι πιο προσεκτικοί
Ενδείξεις από τον οδηγό (οπτική επαφή , κίνηση χεριού, << παίξιμο φώτων>>)	Σε περιπτώσεις που λαμβάνουν οι πεζοί σήμα από τον οδηγό τείνουν να νιώθουν μεγαλύτερη ασφάλεια ακόμα και σε διασταυρώσεις με υψηλή πυκνότητα οχημάτων
Η παρουσία άλλων πεζών	Η παρουσία άλλων πεζών προκαλεί στους πεζούς αίσθηση μεγαλύτερης ασφάλειας
Εποχή/ Καιρικές συνθήκες	Σε περίοδο βροχών οι πεζοί παραβιάζουν πιο συχνά τις σημάσεις
Προσωπικά κίνητρα / Φύλο / Ηλικία	Για παράδειγμα οι πεζοί που βρίσκονται σε κάποια ρουτίνα τείνουν να είναι πιο επιρρεπείς σε παραβιάσεις
Ύπαρξη ή μη φωτεινού σηματοδότη / Χρόνος αναμονής σε φωτεινό σηματοδότη	Μεγάλος χρόνος αναμονής στο φωτεινό σηματοδότη ωθεί τους πεζούς να χάνουν την υπομονή τους και να προβαίνουν σε παραβιάσεις
Τεχνολογικά / Κοινωνικά( συνομιλία στο κινητό / συνομιλία με άλλους πεζούς)	Οι πεζοί που συνομιλούσαν στο κινητό ήταν πιο πιθανό να προβούν σε κάποιο είδος παραβίασης
Το μέρος που λαμβάνει χώρα η συνάντηση (κατοικημένη ή όχι περιοχή)	Για παράδειγμα σε κατοικημένες περιοχές οι πεζοί τείνουν να επιλέξουν τη συντομότερη διαδρομή, οπότε είναι πιο πιθανό να προβούν σε παραβιάσεις

**Πίνακας 3: Κριτήρια αποφάσεων πεζών**



# 4

## **Διαδικασία διεξαγωγής της μελέτης *eyetracking* αλληλεπίδρασης των οδηγών με πεζούς**

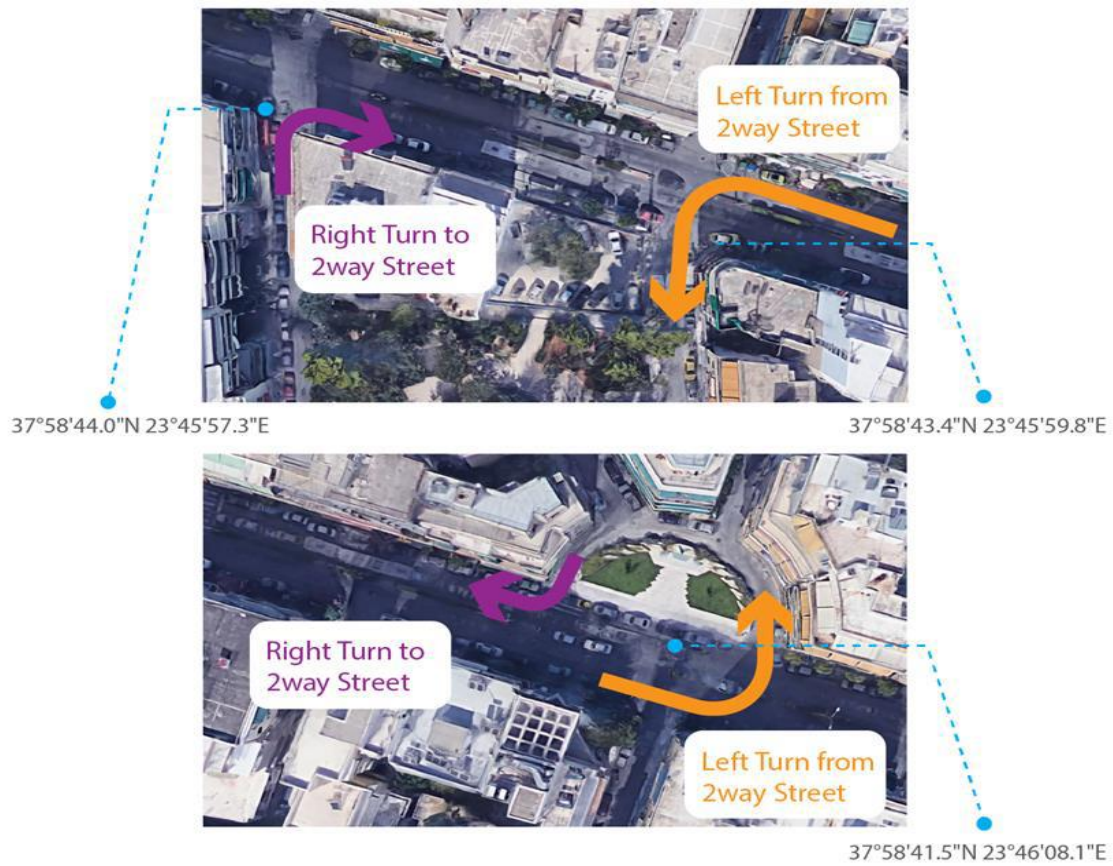
### **4.1 Διαδικασία διεξαγωγής της μελέτης**

Προκειμένου να παρακολουθήσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ των οδηγών των οχημάτων και των πεζών στις διασταυρώσεις, διεξήχθη μελέτη πεδίου με στόχο την καταγραφή των φυσικών αλληλεπιδράσεων οδηγού – πεζού σε διασταυρώσεις υψηλής πυκνότητας χωρίς παρουσία φωτεινού σηματοδότη σε πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια βίντεο, συνοδευόμενη από σχόλια των ίδιων των οδηγών κατά και μετά την εκτέλεση των πειραμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε 21 οδηγούς (10 άνδρες και 11 γυναίκες) με μέσο όρο ηλικίας 39,1 έτη και μέσο όρο ετών εμπειρίας οδήγησης 18,5 έτη να οδηγήσουν το δικό τους αυτοκίνητο σε μια προσχεδιασμένη διαδρομή, σε μία αστική περιοχή της Αθήνας (στην περιοχή του Ζωγράφου) όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, καθώς το όλο πείραμα καταγραφόταν μέσω γυαλιών παρακολούθησης των οφθαλμών των ματιών (*eye tracking*), τα οποία είχαν βαθμονομηθεί στο εργαστήριο προτού ξεκινήσουν οι οδηγοί την προκαθορισμένη διαδρομή.

Στη συνέχεια τους δόθηκαν οδηγίες να οδηγήσουν στη επιλεγμένη τοποθεσία με το κανονικό τους μοτίβο. Η διαδρομή είχε συνολικό μήκος 0.75 χιλιόμετρα και επαναλαμβανόταν 5 φορές από τον κάθε συμμετέχοντα οδηγό. Το συνολικό μήκος της διαδρομής ήταν 3.75 χιλιόμετρα και η μέση διάρκεια οδήγησης 18 λεπτά ανά συμμετέχοντα. Η διαδρομή συμπεριλάμβανε μεταξύ άλλων, αριστερή στροφή από δρόμο δύο λωρίδων σε πάροδο, δεξιά στροφή από πάροδο σε δρόμο δύο λωρίδων, ευθεία τμήματα, όπου οι πεζοί διέσχιζαν συχνά το δρόμο, αλλά και πιο μικρούς δρόμους μονής κατεύθυνσης, όπου οι πεζοί συχνά περπατούσαν σε αυτούς. Οι διασταυρώσεις ήταν χωρίς σήμανση, δηλαδή δε συνοδεύονταν από φώτα τροχαίας. Η διαδρομή επιλέχθηκε σε στρατηγικό σημείο, τέτοιο που η πυκνότητα και η ποικιλία περιστατικών αλληλεπίδρασης οδηγού - πεζού θα ήταν ικανοποιητική για την έρευνα μεγάλου εύρους περιπτώσεων. Αμέσως μετά την οδήγηση, οι συμμετέχοντες επέστρεψαν στο εργαστήριο και τους ζητήθηκε να παρακολουθήσουν την καταγραφή

των βίντεο, ενώ σχολίαζαν δυνατά τη συμπεριφορά τους και τη λήψη αποφάσεων για κάθε περίπτωση αλληλεπίδρασης με έναν πεζό.



Εικόνα 3: Σενάρια στροφών στα οποία εξετάστηκε η αλληλεπίδραση οδηγών-πεζών

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης των οδηγών :

Μήκος μονής διαδρομής ανά οδηγό	0,75 χιλιόμετρα
Μήκος συνολικής διαδρομής ανά οδηγό	3,75 χιλιόμετρα
Αριθμός επαναλήψεων διαδρομής ανά οδηγό	5
Μέση διάρκεια συνολικής διαδρομής ανά οδηγό	18 λεπτά
Είδος διασταυρώσεων	Δεξιά / Αριστερή στροφή από / προς πάροδο σε / από κύριο δρόμο, ευθεία τμήματα, δρόμοι μονής κατεύθυνσης
Μέσο παρατήρησης και καταγραφής	Γυαλιά eye tracking ( Tobii Pro Glasses 2) και σχόλια των οδηγών κατά και μετά την εκτέλεση των πειραμάτων
Αριθμός συμμετεχόντων	21
Μέσος όρος ηλικίας συμμετεχόντων	39,1 έτη
Μέση εμπειρία ετών οδήγησης	18,5 έτη
Τοποθεσία μελέτης	Ζωγράφου, Αθήνα, Ελλάδα

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων οδηγών.

## 4.2 Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Όλοι οι συμμετέχοντες οδήγησαν το δικό τους επιβατηγό αυτοκίνητο ενώ ήταν εφοδιασμένοι με ένα φορητό όργανο παρακολούθησης οφθαλμών, δηλαδή έναν αισθητήρα βλέμματος τοποθετημένο σε γυαλιά ματιών (Tobii Pro Glasses 2). Αυτό το σύστημα καταγράφει τη σκηνή κυκλοφορίας από τη πλευρά του οδηγού και προσδιορίζει τα σημεία έμφασης των ματιών των οδηγών με συχνότητα δειγματοληψίας 50Hz και ακρίβεια θέσης του ματιού 0,5 °. Τα μετέπειτα λεκτικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια συνεδριών αυτοσυσχέτισης, δηλαδή συνάφειας και επεξήγησης καταγράφηκαν μέσω ενός λογισμικού οθόνης και λήψης φωνής.



Εικόνα 4: Όργανο παρακολούθησης οφθαλμών με αισθητήρα βλέμματος (Tobii Pro Glasses 2)

### **4.3 Μέθοδος επεξεργασίας δεδομένων από την ανάλυση των βίντεο**

Η παρακολούθηση του βλέμματος και του βίντεο της σκηνής αλληλεπίδρασης για κάθε οδηγό, καθώς και τα αναδρομικά σχόλια του αναλύθηκαν αργότερα ανά τυπικό σενάριο αλληλεπίδρασης (π.χ. πεζός που διασχίζει ένα δρόμο σε διασταύρωση ή σε ευθύ τμήμα, πεζοί που κινούνται παράλληλα με αυτοκίνητα στον ίδιο δρόμο). Στην παρούσα εργασία θα δοθεί έμφαση σε περιπτώσεις όπου ένας πεζός σκοπεύει να διασχίσει τον δρόμο μπροστά από το όχημα του συμμετέχοντα( κάθετη διέλευση) για την ανάλυση και εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων.

Ως περιστατικό αλληλεπίδρασης καθορίστηκε όταν ένας η περισσότεροι πεζοί κοντά στον συμμετέχοντα οδηγό:

- (i) επηρέασε αισθητά την κίνηση του αυτοκινήτου και / ή τη συμπεριφορά του οδηγού
- (ii) απέσπασε τουλάχιστον μια φορά το βλέμμα του οδηγού.

Το σημείο εκκίνησης για κάθε περίπτωση αλληλεπίδρασης καθορίστηκε από τους παρατηρητές σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- (i) Την πρώτη εστίαση βλέμματος(fixation)του οδηγού προς τον πεζό
- (ii) Το πρώτο σήμα του πεζού που ερμηνεύεται από τον οδηγό ως πρόθεση διέλευσης.

Για κάθε περίπτωση αλληλεπίδρασης, αναλύθηκαν τα δεδομένα των βίντεο με την επισήμανση των ακόλουθων ενδείξεων:

- (i) Οπτικές ενδείξεις εστίασης βλέμματος συμμετεχόντων οδηγών στους πεζούς
- (ii) Επαφές ματιών (ανταλλαγή βλέμματος) μεταξύ πεζού και συμμετέχοντος οδηγού
- (iii) Σήματα από τους πεζούς που προμήνυαν την κατεύθυνση που θα ακολουθήσουν (π.χ. προσανατολισμός του κεφαλιού του πεζού, κίνηση / προσανατολισμός του σώματος)
- (iv) Σήματα που υποδείκνυαν στους πεζούς την επίγνωση της πορείας που πρόκειται να ακολουθήσει το όχημα του συμμετέχοντα (δηλαδή ματιά -βλέμμα των πεζών προς το όχημα του συμμετέχοντα).
- (v) Επιπλέον, με βάση το αναδρομικό σχόλιο που υποστηρίζεται από τα βίντεο οι συμμετέχοντες οδηγοί εξέφρασαν την πεποίθησή τους για τη μελλοντική επιδιωκόμενη δράση ενός πεζού.

Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος καταγραφής των χαρακτηριστικών μιας αλληλεπίδρασης στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, αλλά και η μέθοδος της επεξεργασίας των δεδομένων που εξήχθησαν, στις εικόνες 5α έως 5ζ απεικονίζονται διάφορα περιστατικά αλληλεπίδρασης μεταξύ οδηγού και πεζού από την καταγραφή των βίντεο με διαφορετικά χαρακτηριστικά το καθένα στο σύνολο του μήκους της διαδρομής που ακολουθήθηκε από τους συμμετέχοντες οδηγούς.



Εικόνα 5α: Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.



**Εικόνα 5β:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός κινείται παράλληλα με την κατεύθυνση του οχήματός του με αντίθετη φορά.

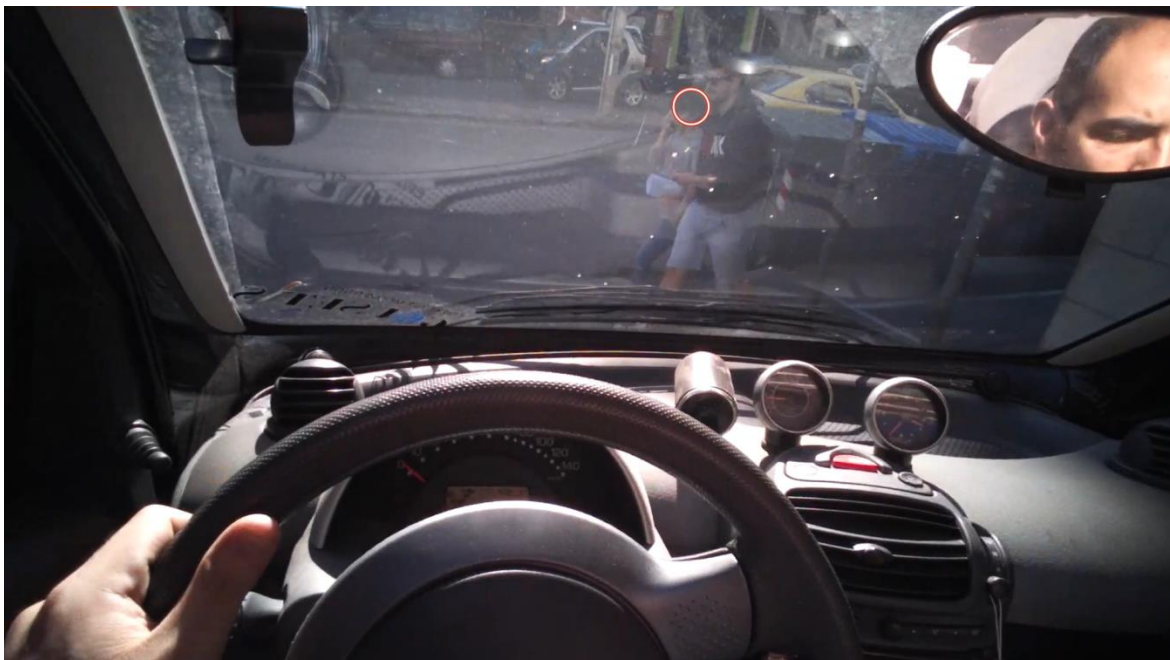


**Εικόνα 5γ:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.





**Εικόνα 5δ:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός διασχίζει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.



**Εικόνα 5ε:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ομάδα πεζών ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.



**Εικόνα 5στ:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ομάδα πεζών ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.



**Εικόνα 5ζ:** Παράδειγμα καταγραφής του βλέμματος συμμετέχοντα οδηγού, καθώς ο πεζός ετοιμάζεται να διασχίσει το δρόμο μπροστά από το όχημα του.



Τα βίντεο και των 21 συμμετεχόντων οδηγών μελετήθηκαν καθένα ξεχωριστά και σε κάθε περιστατικό αλληλεπίδρασης (όπως αυτό περιγράφηκε από τον ορισμό σε προηγούμενο κεφάλαιο) καταγράφηκαν σε φύλλα του excel εξής στοιχεία , όπως αυτά φαίνονται στους πίνακες 5α, 5β, 5γ.

Στην στήλη Α όπως φαίνεται από τον πίνακα 5α σημειώνεται το είδος της διασταύρωσης το οποίο χωρίστηκε όπως προαναφέρθηκε σε : **α)** αριστερή στροφή από δρόμο δύο λωρίδων σε πάροδο, **β)** δεξιά στροφή από πάροδο σε δρόμο δύο λωρίδων, **γ)** ευθεία τμήματα, όπου οι πεζοί διέσχιζαν συχνά το δρόμο, **δ)** αλλά και πιο μικρούς δρόμους μονής κατεύθυνσης, όπου οι πεζοί συχνά περπατούσαν σε αυτούς. Στη στήλη Β καταγράφηκε το είδος της κίνησης των πεζών, δηλαδή αν επρόκειτο για κάθετη διέλευση τους (δηλαδή να διασχίσουν το δρόμο) ή για παράλληλη κίνηση με την κατεύθυνση του επερχόμενου οχήματος. Στη στήλη C διαχωρίστηκε η φόρα του πεζού σε σχέση με τον συμμετέχοντα οδηγό η οποία κατηγοριοποιήθηκε είτε σε αντίθετη φορά είτε σε ίδια φορά αν εξεταζόταν περιστατικό παράλληλης κατεύθυνσης, αλλά και σε κάθετη φορά αν επρόκειτο για περιστατικό στο οποίο η πρόθεση του πεζού ήταν να διασχίσει το δρόμο (κάθετη διέλευση). Στη στήλη D σημειώθηκε αν το περιστατικό έλαβε χώρα πριν η μετά τη στροφή του οχήματος, αν καταγραφόταν βέβαια περιστατικό που διεξήχθη σε στροφή. Στη στήλη E αναφέρεται εάν η αλληλεπίδραση αφορούσε μεμονωμένο πεζό ή πεζούς που περπατούσαν σε ομάδα, ενώ στη στήλη F κατηγοριοποιήθηκαν οι πεζοί σε κατηγορίες προκειμένου να εξετασθούν ενδεχόμενοι περισπασμοί στη διάρκεια της αλληλεπίδρασης και δημιουργήθηκαν οι εξής κατηγορίες ανάλογα με τα περιστατικά που εμφανίστηκαν : **α)** ηλικιωμένος πεζός , **β)** ηλικιωμένος πεζός που κρατούσε τσάντα, **γ)** τυπικός πεζός, **δ)** τυπικός πεζός με τσάντα, **ε)** τυπικός πεζός με καροτσάκι, **στ)** τυπικός πεζός με παιδιά, **ζ)** τυπικός πεζός με κατοικίδιο, **η)** ανήλικος με τσάντα, ή και άλλοι συνδυασμοί αυτών , αν επρόκειτο για ομάδα πεζών ( π.χ. ηλικιωμένος, μαζί με τυπικό πεζό), ή τυπικό πεζό που συνδύαζε διάφορα χαρακτηριστικά που υπάγονται σε αυτές τις κατηγορίες (π.χ. τυπικός πεζός με τσάντα και κατοικίδιο).

A	B	C	D	E	F
Type of ego-car manoeuvre	Parallel / Crossing	Same direction/ Opposite direction	Turn timing	Individual / Group	Type of Person
Straight section course	Crossing	Vertical		Individual	Elderly
Straight section course	Crossing	Vertical		Individual	Elderly
Turn from 1way street to 1way street	Parallel	Same	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard
Straight section course	Parallel	Opposite		Individual	Standard with bag
Left turn from 2way street	Parallel	Same	1-prior to manoeuvre	Individual	Standard
Straight section course	Crossing Diagonal	Same		Individual	Elderly with bag
Turn from 1way street to 1way street	Parallel	Same	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard
Straight section course	Crossing	Vertical		Individual	Standard with bag
Straight section course	Parallel	Same		Individual	Standard with stroller
Straight section course	Crossing	Vertical		Individual	Standard
Left turn from 2way street	Crossing	Vertical	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard
Left turn from 2way street	Crossing	Vertical	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard with bag
Straight section course	Crossing	Vertical		Individual	Standard with bag
Left turn from 2way street	Crossing	Vertical	1-prior to manoeuvre	Individual	Standard
Turn from 1way street to 1way street	Parallel	Same	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard with bag
Straight section course	Crossing	Vertical		Group	Standard
Right turn on 2way street	Crossing	Vertical	1-prior to manoeuvre	Group	Standard
Right turn on 2way street	Crossing	Vertical	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard
Left turn from 2way street	Crossing	Vertical	2-after initiating manoeuvre	Individual	Standard
Straight section course	Crossing	Vertical		Group	Standard
Right turn on 2way street	Crossing	Vertical	1-prior to manoeuvre	Individual	Standard
Turn from 1way street to 1way street	Crossing	Vertical	1-prior to manoeuvre	Individual	Standard

Πίνακας 5α: Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel

Σε ότι αφορά τον πίνακα 5β, στη στήλη G κατηγοριοποιήθηκαν οι κινήσεις του πεζού την στιγμή της εκκίνησης του περιστατικού της αλληλεπίδρασης οι οποίες χωρίστηκαν σε : **α)** ξεκινάει την κίνηση του, **β)** συνεχίζει την κίνηση του ( δηλαδή διατηρεί την ταχύτητα και την κατεύθυνση του χωρίς να επηρεαστεί από την πορεία του επερχόμενου οχήματος), **γ)** παραμένει ακίνητος , **δ)** κάνει βήμα πίσω ,**ε)** σταματάει την κίνηση του (λόγω του επερχόμενου οχήματος), **στ)** επιταχύνει την κίνηση του και **ζ)** επιβραδύνει την κίνηση του. Στη στήλη I καταγράφηκαν τα εξερχόμενα σήματα από τον οδηγό κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης και λειτούργησαν ως εισερχόμενα για τον πεζό , τα οποία ήταν τα εξής : **α)** Η κίνηση / θέση του οχήματός του (δηλαδή μπορεί να επιτάχυνε ή να σταμάτησε, ώστε να περάσει ο πεζός, ή να προεξείχε το όχημά του στο δρόμο και επηρέαζε την κίνηση του πεζού), **β)** χειρονομία, **γ)** ένδειξη φλας, **δ)** ο ήχος του οχήματος, **ε)** σήματα του οδηγού προς άλλους χρήστες (πεζούς) που ώθησαν τον εξεταζόμενο πεζό να προβεί σε μία ενέργεια ( για παράδειγμα ο συμμετέχοντας οδηγός σταμάτησε για να περάσει ένας πεζός και κατά αυτόν τον τρόπο ένας πεζός που ακολουθούσε έλαβε το σήμα να περάσει και αυτός ), καθώς και συνδυασμός αυτών. Στη στήλη J καταγράφηκαν τα εξερχόμενα σήματα που εξέπεμψε ο πεζός – εισερχόμενα για τον οδηγό, τα οποία ήταν : **α)** Προσανατολισμός σώματος / κεφαλιού, **β)** οπτική επαφή μεταξύ πεζού – οδηγού, **γ)** χειρονομία, **δ)** σήμα με κίνηση του κεφαλιού, **ε)** κίνηση του πεζού, **στ)** το να κοιτάξει απλά ο πεζός προς τη μεριά του οδηγού χωρίς να υπάρξει ανταλλαγή βλέμματος, αλλά και συνδυασμός αυτών. Στη στήλη K αναφέρεται το σημείο του οδικού δικτύου στο οποίο βρισκόταν ο πεζός κατά τη διάρκεια της καταγραφής του περιστατικού της αλληλεπίδρασης και μπορεί να ήταν : **α)** πάνω στο δρόμο, **β)** στο πεζοδρόμιο ή **γ)** και στο δρόμο και στο πεζοδρόμιο.

G	I	J	K
P-movements while approaching	Signals from our driver	Signals from Pedestrian	Pedestrian position while interacting
Initiated crossing movement	Turn indicator; Hand Gesture	P body movement; Orientation of P body/Head; Eye contact	On both
Remained idle		Orientation of P body/Head; Eye contact; Hand Gesture	On street
Kept pace	Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head; Eye contact	On street
Kept pace		P body movement; Orientation of P body/Head; Eye contact	On street
Kept pace	Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace		P body movement; Gaze	On street
Kept pace		P body movement; Gaze	On both
Kept pace	Car movement/ Position; Turn indicator	P body movement	On street
Stopped	Car movement/ Position	P body movement; Orientation of P body/Head; Gaze	On street
Initiated crossing movement	Car movement/ Position; Turn indicator; Hand Gesture	Orientation of P body/Head; Eye contact; Hand Gesture; Noding	On street
Stopped	Car movement/ Position; Turn indicator	Orientation of P body/Head; Gaze	On pavement
Kept pace	Car movement/ Position; Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace	Car movement/ Position	P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace	Car movement/ Position; Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace		P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace	Car movement/ Position	P body movement; Orientation of P body/Head; Gaze	On street
Kept pace	Car movement/ Position	P body movement; Orientation of P body/Head	On both
Remained idle	Car movement/ Position	Orientation of P body/Head	On street
Kept pace	Car movement/ Position; Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head; Gaze	On street
Stepped back	Car movement/ Position (stopped); Hand Gesture	Orientation of P body/Head; Eye contact	On street
Kept pace	Interactions with others	P body movement; Orientation of P body/Head	On street
Kept pace	Car movement/ Position; Turn indicator	P body movement; Orientation of P body/Head	On street

Πίνακας 5β: Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel

Στον πίνακα 5γ στη στήλη L σημειώθηκε ο αριθμός των φορών που εστίασε το βλέμμα του ο οδηγός στον πεζό κατά τη διάρκεια ενός περιστατικού αλληλεπίδρασης (καταγράφηκαν περιστατικά από 0 έως 11 εστιάσεις) με τη βοήθεια του οργάνου παρακολούθησης οφθαλμών. Στη στήλη M σημειώθηκε σε ποιον δόθηκε προτεραιότητα, ώστε να περάσει πρώτος σε μια αλληλεπίδραση (δηλαδή είτε πέρασε πρώτος ο οδηγός είτε ο πεζός). Σε περιστατικά παράλληλης διέλευσης, όπου δεν μπορούσε να καταγραφεί με σαφήνεια ποιος πέρασε πρώτα, η στήλη αυτή αφέθηκε κενή. Στη στήλη N σημειώθηκαν τα σχόλια του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης που σχετίζονταν με ένα περιστατικό αλληλεπίδρασης, αλλά και τα αναδρομικά σχόλια αυτών από τη μετέπειτα παρακολούθηση και σχολιασμό των δικών τους καταγραφών. Τέλος στη στήλη O καταγράφηκε αν ο οδηγός ήταν “FOCUSED” δηλαδή πλήρως αφοσιωμένος στον πεζό κατά τη διάρκεια του περιστατικού της αλληλεπίδρασης, ή “AWARE”, δηλαδή απλά τον είχε αντιληφθεί, σύμφωνα με τη συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε και περιελάμβανε τον **αριθμό των εστιάσεων** (όπως θα αναλυθεί και σε επόμενα κεφάλαια 4 ή περισσότερες εστιάσεις βλέμματος χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήριο ότι ο οδηγός είναι πλήρως αφοσιωμένος στον πεζό σε ένα συμβάν αλληλεπίδρασης), **σήματα που εκπέμπονταν από την πλευρά του οδηγού**, για παράδειγμα σε περίπτωση χειρονομίας ο οδηγός θεωρούταν αυτόματα ως “FOCUSED”, **σήματα που εκπέμπονταν από την πλευρά του πεζού**, επί παραδείγματι σε περίπτωση οπτικής επαφής (ανταλλαγής βλέμματος μεταξύ των δυο χρηστών) ο οδηγός κατηγοριοποιούταν ως “FOCUSED”, **αλλά και τα σχόλια των οδηγών αναδρομικά ή μη.**

L	M	N	O
Number of ego-driver fixations	Who passed in front	Commentary of ego-driver	Results
4	Pedestrian	Dd : Tou eipe peraste; Dv :Ekshgei oti tou eipe peraste	FOCUSED
1	Ego car	Dd:Eipe Oti ton eide	FOCUSED
3	Ego car		FOCUSED
2			AWARE
3			AWARE
3	Pedestrian		AWARE
1			AWARE
3	Pedestrian		AWARE
4		Dv:Eipe edw to karotsi	AWARE
4	Pedestrian	Dd : Ths eipe peraste;Dv:Eipe oti parolo pou den hthele h kuria na perasei thn afhse	FOCUSED
1	Ego car	Dv:Eipe oti eprepe na thn afhsei na perasei	AWARE
0	Pedestrian	Dv:Eipe oti o pezos eixe hdh peraseo opote sunexise	AWARE
1	Pedestrian		AWARE
1	Pedestrian	Dv:Eipe oti eide ton pezo kai afou eixe perasei perase kai autos	AWARE
4		Dv:Eipe oti provlhmatisthke giati o pezos htan sto dromo kai oxi sto pezodromio	AWARE
2	Pedestrian	Dv:Eipe oti stamathse gia tous pezous kai meta phre thesh gia na stripsei	AWARE
2	Pedestrian	Dv:Eipe oti paraxorhse proteraiothta stous pezous	AWARE
1	Ego car	Dv:Eipe oti o pezos htan stamathmenos , opote katalave oti tou paraxwrei thn proteraiothta	AWARE
1	Pedestrian	Dv:Eipe oti prosexe ama thelei na perasei o pezos	AWARE
2	Pedestrian	Dd:Eipe oti paraligo na tous patouse; Dv:Eipe oti stamathse teleutaia stigmh	FOCUSED
1	Pedestrian		AWARE
2	Pedestrian		AWARE

Πίνακας 5γ: Καταγραφή χαρακτηριστικών περιστατικών αλληλεπίδρασης σε φύλλα εργασίας του excel

Με βάση το παραπάνω και αφού εξηγήθηκε ο τρόπος καταγραφής των δεδομένων κάθε περιστατικού, στο σημείο αυτό μπορούν να γίνουν κατανοητά με σαφήνεια τα περιστατικά των εικόνων 5α- 5ζ (με κίτρινο χρώμα σημειώνεται το κάθε περιστατικό αντιστοίχως στους πίνακες 5α- 5γ ). Για παράδειγμα στη **εικόνα 5α** το περιστατικό αναλύεται ως εξής : Περιστατικό κάθετης διέλευσης ηλικιωμένου, μεμονωμένου πεζού σε ευθύ τμήμα δρόμου (πάνω στο δρόμο , αλλά και στο πεζοδρόμιο), στο οποίο ο πεζός άρχισε την κίνηση του τη στιγμή εκκίνησης της αλληλεπίδρασης. Ο οδηγός είχε ανάψει φλας και έκανε χειρονομία στον πεζό, τα αντίστοιχα σήματα που εξέπεμψε ο πεζός ήταν η κίνηση και ο προσανατολισμός του σώματος και του κεφαλιού του, επίσης υπήρχε οπτική επαφή μεταξύ οδηγού - πεζού. Ο οδηγός έδωσε προτεραιότητα στον πεζό ,οι εστιάσεις βλέμματος ήταν 4 και επίσης στο αναδρομικό σχόλιό του ο οδηγός αναφέρει πως του έδωσε προτεραιότητα λεκτικά, αλλά και με χειρονομία. Επομένως ο οδηγός με βάση τα παραπάνω : οπτική επαφή, χειρονομία και με αριθμό εστιάσεων (4 φορές), χαρακτηρίζεται όπως φαίνεται ως πλήρως αφοσιωμένος στον πεζό, δηλαδή “ FOCUSED”. Όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο μία από αυτές τις 3 παραμέτρους να εμφανιστεί σε ένα περιστατικό ( οπτική επαφή, χειρονομία οδηγού , 4 ή περισσότερες εστιάσεις βλέμματος) ο οδηγός χαρακτηρίζεται ως “ FOCUSED” , όπως συμβαίνει και στην αλληλεπίδραση της **εικόνας 5στ** , στην οποία οι εστιάσεις του οδηγού είναι 2 (δηλαδή λιγότερες από το όριο των 4 φορές), αλλά καθώς υπάρχει χειρονομία από τον οδηγό, αλλά και οπτική επαφή μεταξύ των χρηστών ο οδηγός θεωρείται “FOCUSED”.

# 5

## **Αποτελέσματα της μελέτης παρατήρησης αλληλεπίδρασης των οδηγών – πεζών**

### **5.1 Συμπεριφορά των οδηγών – Αλληλεπίδραση των πεζών**

Συνολικά καταγράφηκαν 487 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού, οι οποίες αναλύθηκαν και σχολιάστηκαν από την πλευρά του οδηγού. Οι παραπάνω περιπτώσεις περιελάμβαναν 265 αλληλεπιδράσεις σε ευθύ δρόμο, 80 αλληλεπιδράσεις αριστερής στροφής από δρόμο δύο λωρίδων σε πάροδο, 99 αλληλεπιδράσεις δεξιάς στροφή από πάροδο σε δρόμο δύο λωρίδων. Εκτός από τις παραπάνω, περιελάμβανε 43 αλληλεπιδράσεις σε δεξιά στροφή μονής κατεύθυνσης, 316 αλληλεπιδράσεις σε διασταύρωση (περιστατικά κάθετης διέλευσης), 82 αλληλεπιδράσεις με πεζούς να περπατάνε παράλληλα στην ίδια κατεύθυνση με τα οχήματα των συμμετεχόντων οδηγών, καθώς και 89 αλληλεπιδράσεις με τους πεζούς να περπατάνε παράλληλα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι κατηγορίες πεζών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Οι κατηγορίες δεν ήταν συγκεκριμένες, με την έννοια ότι υπήρχαν πεζοί μεγάλης ηλικίας κρατώντας τσάντες καθώς και νέοι πεζοί με κατοικίδια κτλ. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται ο διαχωρισμός των πεζών σε μεμονωμένους πεζούς ή μέρος ομάδας πεζών.

	Διασταύρωση	Ευθύς δρόμος
Νέος	273	154
Ηλικιωμένος	43	19
Μεταφορά τσάντας	111	56
Μεταφορά καροτσάκι βρέφους	5	6
Μαζί με κατοικίδιο	2	3
Μαζί με παιδιά	8	4

Πίνακας 6: Τύποι πεζών στις 487 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού.

	Διασταύρωση	Ευθύς δρόμος
Μεμονωμένος πεζός	255	152
Ομάδα πεζών	61	19

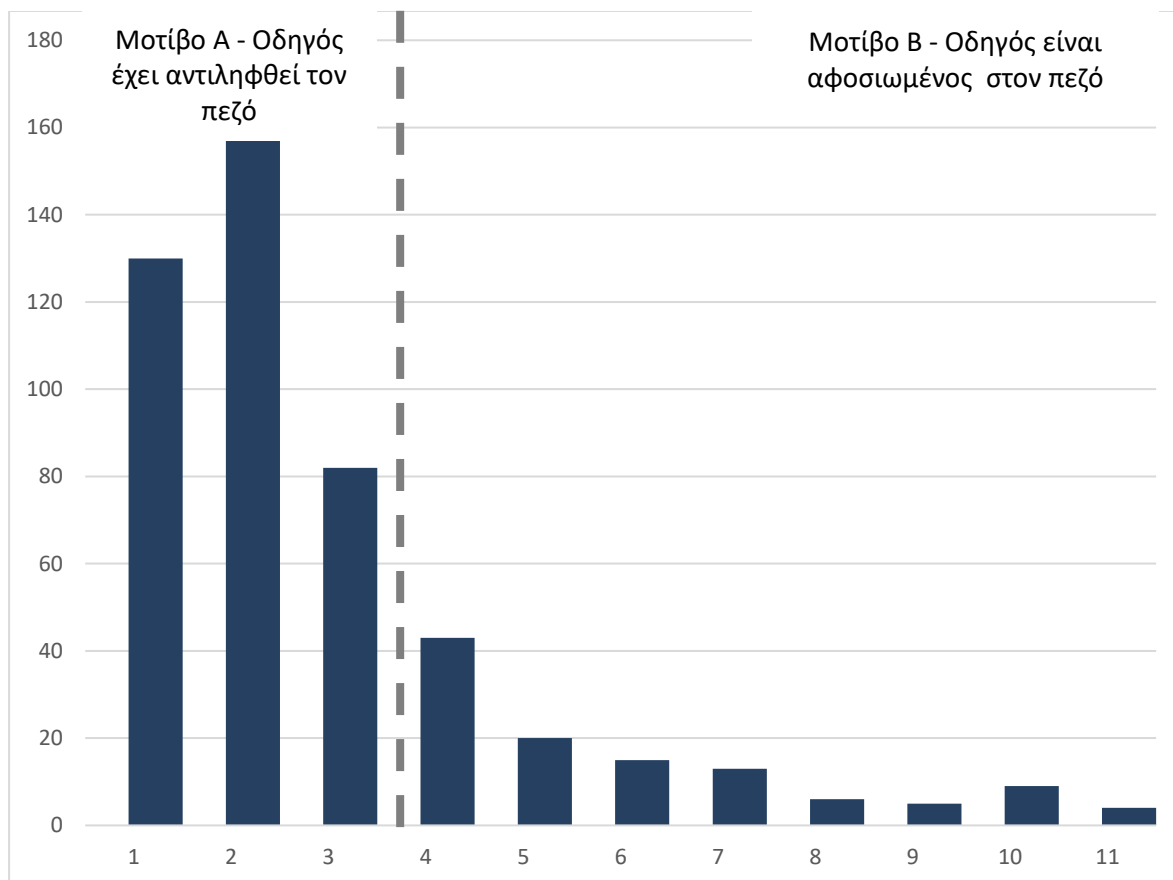
**Πίνακας 7: Διαχωρισμός των πεζών σε μεμονωμένους πεζούς ή μέρος ομάδας πεζών στις 487 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού.**

Οι παραπάνω κατηγορίες είναι αθροιστικές, δηλαδή το άθροισμα των στηλών ισούται με το σύνολο των παρατηρήσεων που αναλύθηκαν.

Μια πρώτη παρατήρηση ήταν ότι η αλληλεπίδραση οδηγού-πεζού μπορεί να επιλυθεί είτε με μια μορφή συντονισμού μέσω της σωματικής κίνησης – έμμεσο σήμα – π.χ. ο πεζός να δείξει την κατεύθυνση που σκοπεύει να ακολουθήσει με την κίνηση του σώματος / κεφαλιού, ή μπορεί να περιλαμβάνει μια μορφή μη λεκτικής επικοινωνίας με σήματα μεταξύ του οδηγού και του πεζού, π.χ επαφή με τα μάτια, χειρονομία και νεύμα (δεν εξετάστηκαν φώτα στροφής).

Επιπλέον, με βάση τα σχόλια των οδηγών που καταγράφηκαν σε βίντεο, ήταν προφανές ότι, από την πλευρά των οδηγών, οι περιπτώσεις αλληλεπίδρασης τους διαχωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προσοχή του οδηγού προς τους πεζούς ή διαφορετικά, ανάλογα με την βεβαιότητα του οδηγού για την επόμενη κίνηση του πεζού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο οδηγός θα αντιδρούσε σύμφωνα με τα έμμεσα σήματα των πεζών (π.χ. κίνηση/προσανατολισμός σώματος / κεφαλιού, βλέμμα πεζών) που ήταν βασισμένα στους παράγοντες και την κατάσταση την συγκεκριμένη στιγμή. Αντ' αυτού, σε περίπου ¼ περιπτώσεων κάποιος οδηγός έδειξε αβεβαιότητα για την μελλοντική κίνηση του πεζού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο οδηγός για να σιγουρευτεί, προσπαθούσε να βρει περαιτέρω σήματα από τον πεζό για την πρόθεση του ή έκανε σήμα στον πεζό. (π.χ. φώτα που αναβοσβήνουν, χειρονομία)

Η παρατήρηση αυτή τεκμηριώνεται από μια ανάλυση της εστίασης του βλέμματος των οδηγών, όπου μας έδειξε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης οι οδηγοί εστίαζαν 3 φορές ή λιγότερες στον πεζό. (Γράφημα 2) Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, 3 εστιάσεις του βλέμματος είναι λογικό κριτήριο για να διαχωριστούν οι περιπτώσεις αλληλεπίδρασης των οδηγών, σε δυο μοτίβα, ρουτίνας και μη (Μοτίβο Α και Μοτίβο Β). Στο πρώτο μοτίβο ο οδηγός έχει αντιληφθεί τον οδηγό αλλά δεν δίνει την πλήρη προσοχή του. Αντιθέτως, στο δεύτερο μοτίβο, ο πεζός αποτελεί κύριο μέλημα του οδηγού, τουλάχιστον σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης.



**Γράφημα 3:** Κατανομή των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης ανάλογα με τον αριθμό των εστιάσεων στους πεζούς.(1-11) Τέσσερις φορές ή περισσότερες θεωρήθηκαν ως ένα ουσιαστικό κριτήριο που σημαίνει ο οδηγός είναι αφοσιωμένος στον πεζό και/ή είναι αβέβαιη η πρόθεση του.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 8, η μεγάλη πλειοψηφία (77%) των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού υπόκειται στο μοτίβο Α, όπου χαρακτηρίζεται από την πεποίθηση του οδηγού για την μελλοντική δράση του πεζού με βάση τα έμμεσα σήματα (π.χ. κίνηση του σώματος, προσανατολισμός του κεφαλιού ή βλέμμα), όπου έχουν νόημα στους παράγοντες και τους κανόνες της κάθε κατάστασης. Αντιθέτως, περίπου το ¼ των περιπτώσεων (23%), χαρακτηρίζονται ως μοτίβο Β, υποδηλώνοντας ένα επίπεδο αβεβαιότητας του οδηγού όπου μπορεί να τον κάνει να εκπέμψει ένα σήμα στον πεζό (π.χ. να αναβοσβήσει τα φώτα του οχήματος, χειρονομία) ή και να αναζητήσει περαιτέρω μηνύματα από τον πεζό για να καταλάβει τις προθέσεις του.

Παρόλα αυτά, και στα δύο μοτίβα, το κύριο μέλημα του οδηγού είναι να αποσαφηνίσει τις μελλοντικές προθέσεις του πεζού, που επηρεάζουν την απόφαση του οδηγού για τον αν θα δώσει προτεραιότητα στον πεζό ή όχι. Ως εκ τούτου, όλες οι περιπτώσεις



επισημάνθηκαν σύμφωνα με το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ως 1) ο πεζός περνάει πρώτος, 2) ο οδηγός περνάει πρώτος, 3) παράλληλη κίνηση και των δύο.

A: Οδηγός-Πεζός συνολικές αλληλεπιδράσεις (487 περιπτώσεις)								
Σήματα από τους πεζούς	Μοτίβο A				Μοτίβο B			
	Οδηγοί έχουν αντιληφθεί τον πεζό				Οδηγοί αφοσιωμένοι στον πεζό			
	N(376)	Περνάει το δρόμο			N(111)	Περνάει το δρόμο		
O		Π	M/E	O		Π	M/E	
<b>Έμμεσο σήμα</b>	<b>376</b>	<b>0,29</b>	<b>0,44</b>	<b>0,27</b>	<b>46</b>	<b>0,24</b>	<b>0,54</b>	<b>0,22</b>
Κίνηση σώματος	219	0,21	0,45	0,35	25	0,08	0,6	0,32
Βλέμμα	157	0,41	0,42	0,17	21	0,43	0,48	0,10
<b>Άμεσο σήμα</b>					<b>65</b>	<b>0,20</b>	<b>0,71</b>	<b>0,09</b>
Οπτική επαφή					52	0,17	0,75	0,08
Οπτική επαφή, χειρονομία, νεύμα					13	0,31	0,54	0,15
Χειρονομία, νεύμα Οδηγού					24	0,13	0,83	0,04

**Πίνακας 8α : Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (O =Οδηγός, Π = Πεζός, M/E= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο A) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο B) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε όλα τα τμήματα του δρόμου (N=487)**

B: Οδηγός-Πεζός αλληλεπιδράσεις κάθετης διέλευσης των πεζών (316 περιπτώσεις)								
Σήματα από τους πεζούς	Μοτίβο A				Μοτίβο B			
	Οδηγοί έχουν αντιληφθεί τον πεζό				Οδηγοί αφοσιωμένοι στον πεζό			
	N(242)	Περνάει το δρόμο			N(74)	Περνάει το δρόμο		
O		Π	M/E	O		Π	M/E	
<b>Έμμεσο σήμα</b>	<b>242</b>	<b>0,35</b>	<b>0,65</b>		<b>23</b>	<b>0,13</b>	<b>0,87</b>	-
Κίνηση σώματος	124	0,26	0,74	-	12	0,00	1,00	-
Βλέμμα	118	0,45	0,55	-	11	0,27	0,73	-
<b>Άμεσο σήμα</b>					<b>51</b>	<b>0,18</b>	<b>0,82</b>	-
Οπτική επαφή					42	0,14	0,86	-
Οπτική επαφή, χειρονομία, νεύμα					9	0,33	0,67	-
Χειρονομία, νεύμα Οδηγού					21	0,14	0,86	-

**Πίνακας 8β : Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (O =Οδηγός, Π = Πεζός, M/E= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο A) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο B) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε περιστατικά κάθετης διέλευσης (N=316)**



Γ: Οδηγός-Πεζός αλληλεπιδράσεις καθώς κατευθύνονται παράλληλα στο δρόμο (171 περιπτώσεις)								
Σήματα από τους πεζούς	Μοτίβο Α				Μοτίβο Β			
	N(134)	Οδηγοί έχουν αντιληφθεί τον πεζό			N(37)	Οδηγοί αφοσιωμένοι στον πεζό		
		Περνάει το δρόμο				Περνάει το δρόμο		
		Ο	Π	Μ/Ε		Ο	Π	Μ/Ε
<b>Έμμεσο σήμα</b>	<b>134</b>	<b>0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>0,76</b>	<b>23</b>	<b>0,35</b>	<b>0,22</b>	<b>0,43</b>
Κίνηση σώματος	95	0,14	0,06	0,80	13	0,15	0,23	0,62
Βλέμμα	39	0,31	0,03	0,67	10	0,60	0,20	0,20
<b>Άμεσο σήμα</b>					<b>14</b>	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>	<b>0,43</b>
Οπτική επαφή					10	0,30	0,30	0,40
Οπτική επαφή, χειρονομία, νεύμα					4	0,25	0,25	0,5
Χειρονομία, νεύμα Οδηγού					3	0	0,86	0,33

**Πίνακας 8γ : Σχετικές συχνότητες περάσματος του δρόμου (Ο =Οδηγός, Π = Πεζός, Μ/Ε= Μη εφαρμόσιμο), όταν ένας οδηγός είναι σίγουρος για την μελλοντική ενέργεια του πεζού (μοτίβο Α) ή λιγότερο σίγουρος (μοτίβο Β) καθώς και τον τύπο των σημάτων των οδηγών και των πεζών σε περιστατικά παράλληλης κίνησης (N=171)**

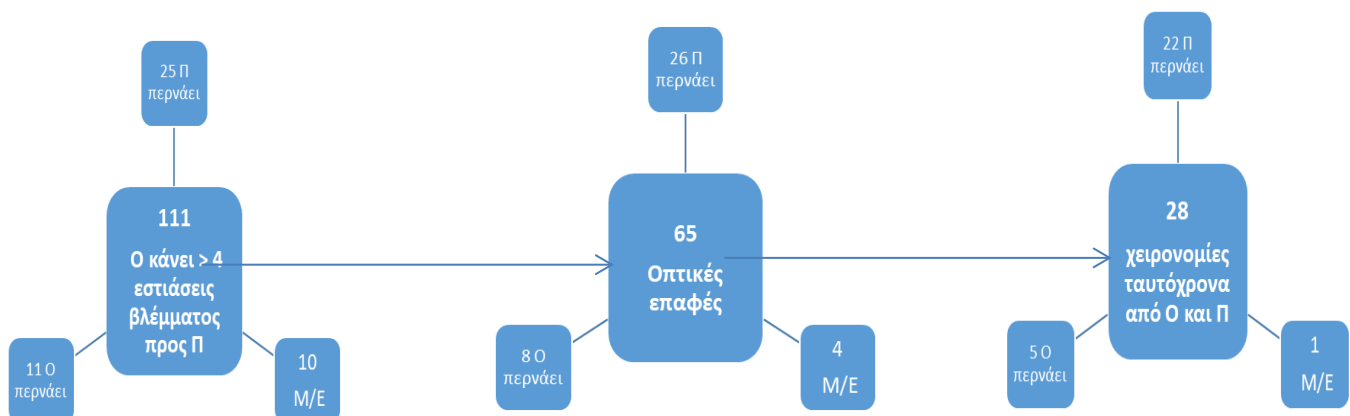
### 5.1.1 Ευρήματα σχετικά με όλες τις περιπτώσεις αλληλεπίδρασης:

- Το 87% όλων των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης (N=422) επιλύθηκαν αποκλειστικά μέσω έμμεσων σημάτων (π.χ. κίνηση σώματος, προσανατολισμός σώματος / κεφαλιού και βλέμμα).
- Κανένα βλέμμα από τον πεζό (N=219) τείνει να οδηγήσει τον πεζό να περάσει πρώτος (Π=0.45, Ο=0.21, Μ/Ε=0.35). Αυτό είναι ιδιαίτερο εμφανές στο μοτίβο Β χωρίς βλέμμα (N=12) στα περιστατικά κάθετης διέλευσης (Πίνακας 8β) όπου ο οδηγός αποδίδει προτεραιότητα στο 100% των περιπτώσεων.
- Αντιθέτως, λαμβάνοντας ο οδηγός βλέμμα από τον πεζό αλλά χωρίς οπτική επαφή (N=157) τείνει να οδηγήσει σε μια πιο ισορροπημένη κατάσταση σχετικά με το ποιος θα λάβει προτεραιότητα. (Π=0.42, Ο=0.41, Μ/Ε= 0.17)

### 5.1.2 Ευρήματα που σχετίζονται με τις περιπτώσεις του Μοτίβου Β (π.χ. με > 4 εστιάσεις βλέμματος του οδηγού στον πεζό)

- Ανεξάρτητα από το βλέμμα των πεζών, οι περιπτώσεις του μοτίβου Β (N=111) τείνουν να έχουν ως αποτέλεσμα τη διέλευση των πεζών πρώτη (Π=0.64, Ο=0.21, Μ/Ε=0.14)
- Το 88% των οπτικών επαφών μεταξύ των πεζών και των οδηγών (N=65) συμβαίνουν όταν ο πεζός βρίσκεται στον δρόμο (όχι στο πεζοδρόμιο).
- Από τις 111 περιπτώσεις του μοτίβου Β, 65 (59%) οδήγησαν σε οπτική επαφή μεταξύ πεζού και οδηγού και άλλες 28 περιπτώσεις (24%) είχαν ως αποτέλεσμα τις χειρονομίες μεταξύ των δύο. (24 χειρονομίες οδηγών, 13 χειρονομίες πεζών καθώς και 9 αμοιβαίες).

Μια απεικόνιση του αποτελέσματος αυτών των αλληλεπιδράσεων παρουσιάζεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6: Περιπτώσεις αλληλεπίδρασης (δηλαδή > 4 εστιάσεις βλέμματος από τον οδηγό προς τον πεζό) και τα σχετικά αποτελέσματα.

Όπως μπορεί να προκύψει από την εικόνα 6, η οπτική επαφή μεταξύ πεζών και οδηγών (N=65), έχει ως αποτέλεσμα τη διέλευση των πεζών πρώτα (Π=0.71, Ο=0.20, Μ/Ε=0.09). Επιπλέον, μια κίνηση/χειρονομία μεταξύ των πεζών και των οδηγών (N=28) ενισχύει το αποτέλεσμα να περνάνε οι πεζοί πρώτοι (Π=0.79, Ο=1.18, Μ/Ε= 0.03)

### 5.1.3 Ευρήματα σχετικά με την ακολουθία της αλληλεπίδρασης

Όλες οι αλληλουχίες χαρτογραφήθηκαν σε ένα «τετραφασικό δίκτυο επικοινωνίας» όπως στον πίνακα 9 παρακάτω.

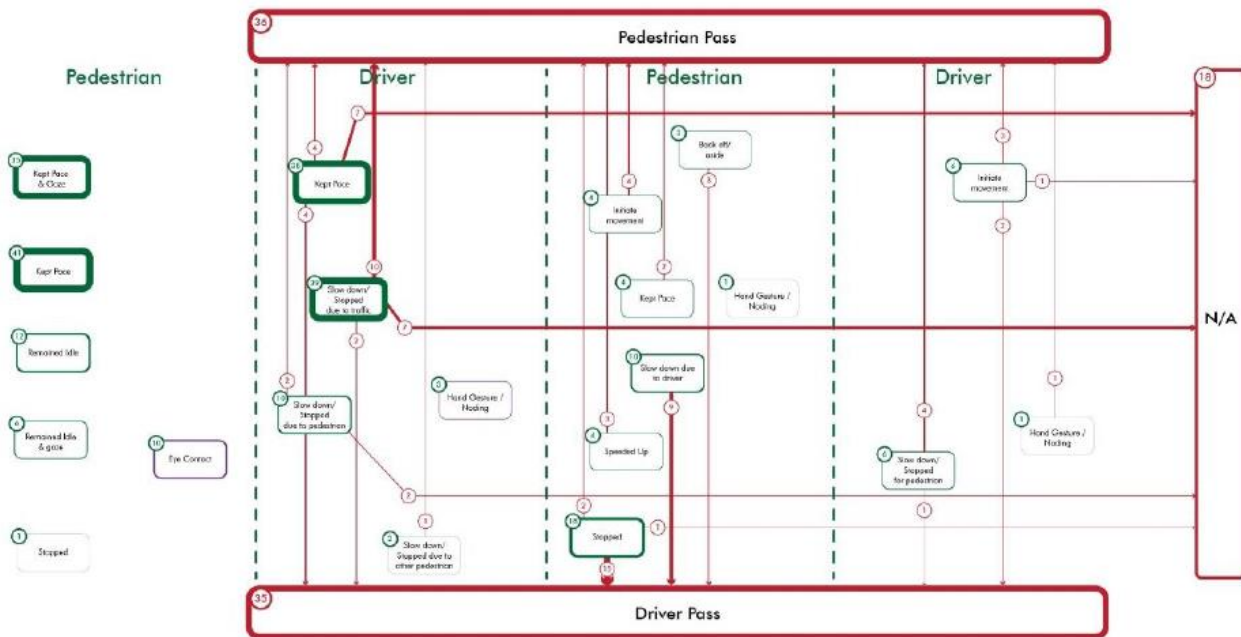
Στάδια	Χρήστης Δρόμου	Περιγραφή
Στάδιο I.	Πεζός	Η κίνηση των πεζών ακολουθούμενη από το βλέμμα στην αρχή της αλληλεπίδρασης
Στάδιο II.	Οδηγός	Η συμπεριφορά του οδηγού στην αρχή της αλληλεπίδρασης μαζί με τυχόν σήματα από την πλευρά του
Στάδιο III.	Πεζός	Οποιαδήποτε αλλαγή στη συμπεριφορά του πεζού κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης μαζί με τυχόν σήματα από την πλευρά του
Στάδιο IV.	Οδηγός	Οποιαδήποτε αλλαγή στη συμπεριφορά του οδηγού

Πίνακας 9: Στάδια αλληλεπίδρασης στα διαγράμματα αλληλουχίας

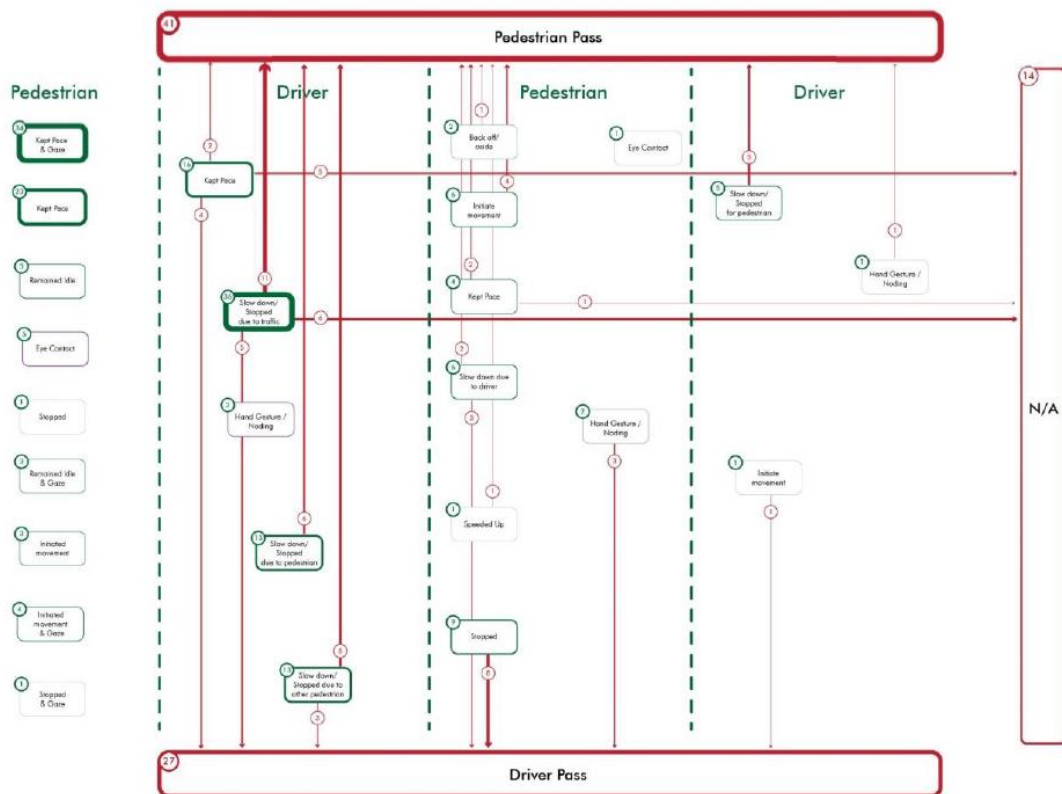
Όλες οι αλληλεπιδράσεις ξεκίνησαν μετά από ένα συγκεκριμένο σήμα από τον πεζό, είτε έμμεσο, είτε άμεσο. Υπάρχουν έμμεσα σήματα (κίνηση του σώματος, προσανατολισμός του προσώπου/σώματος, βλέμμα) και σαφή/ άμεσα σήματα (οπτική επαφή, χειρονομία). Η επικοινωνία ξεκινάει όταν ο οδηγός ανταποκρίνεται με έμμεσο ή άμεσο σήμα. Πολλές αλληλεπιδράσεις τελειώνουν σε αυτό το σημείο, ενώ άλλες συνεχίζονται με μια απάντηση από τον πεζό και μια δεύτερη ανταπόκριση από τον οδηγό.

Τα κόκκινα βέλη δείχνουν το τελευταίο σημείο αλληλεπίδρασης μαζί με τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Υπάρχουν 3 επιλογές: 1) Ο πεζός περνάει μπροστά από το αμάξι, 2) ο οδηγός περνάει μπροστά από το πεζό και 3) M/E που σημαίνει ότι όποιος και να πέρασε δεν επηρεάζει την κίνηση του άλλου. (λόγω μεγάλης απόστασης ή αλλαγή κατεύθυνσης).

Οι αριθμοί στο πλαίσιο των σημάτων ή τα βέλη απεικονίζουν τον αριθμό των σημάτων. Επίσης το πάχος της γραμμής είναι εξίσου ανάλογο προς τον αριθμό.



Εικόνα 7: Ακολουθία σημάτων στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οδηγών και πεζών στην αριστερή στροφή του οδηγού



Εικόνα 8: Ακολουθία σημάτων στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οδηγών και πεζών στην δεξιά στροφή του οδηγού

#### 5.1.4 Γενικές παρατηρήσεις επί του συνόλου των αποτελεσμάτων

- Στις 122 περιπτώσεις όπου ο οδηγός διατηρούσε την ταχύτητα του οχήματος του σταθερή κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης, μόνο σε 12 περιπτώσεις πέρασε ο πεζός μπροστά από το αμάξι. ( $P=0.10$ ,  $O=0.57$ ,  $M/E=0.34$ ).
- Σε 80 περιπτώσεις όπου τόσο οι οδηγοί όσο και οι πεζοί συνέχισαν να διατηρούν την κατεύθυνση και την ταχύτητα τους στην αρχή της αλληλεπίδρασης, μόνο στις 9 περιπτώσεις ο πεζός πέρασε μπροστά από το αμάξι ( $P=0.11$ ,  $O=0.50$ ,  $M/E=0.39$ ).
- Σε 198 περιπτώσεις όπου ο οδηγός επιβραδύνει ή σταμάτησε (λόγω κίνησης στους δρόμους) υπάρχει μια υψηλή τάση να περάσει ο πεζός πρώτα ( $P = 0.71$ ,  $O=0.21$ ,  $M/E=0.08$ ).
- Στην αριστερή καθώς και στην δεξιά στροφή, η οπτική επαφή προκαλεί συχνά την ακινητοποίηση του οδηγού για τον πεζό
- Στην δεξιά στροφή ο οδηγός σταμάτησε πιο συχνά για τους πεζούς
- Στην αριστερή στροφή ξεκινούσε πιο συχνά αλληλεπίδραση με τους πεζούς να σταματούν το βήμα τους.
- Όλες οι χειρονομίες που υπήρξαν, έγιναν για να δώσουν την προτεραιότητα και όχι για να την διεκδικήσουν.
- Όταν η επικοινωνία- αλληλεπίδραση διήρκεσε για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο πεζός πέρασε πρώτα.
- Το μεγαλύτερο μέρος των επικοινωνιών βασίστηκε μόνο σε έμμεσα σήματα.

Εκτιμάται ότι οι παραπάνω δείκτες μπορούν να προβλέψουν την συμπεριφορά αλληλεπίδρασης κατά 2/3. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και δεν εξετάστηκαν στην ανάλυση είναι οι παρακάτω : 1) ο χρήστης του οδικού δικτύου, 2) ιδιαιτερότητες του οδικού δικτύου, εγγενείς ή περιστασιακές. Ο πίνακας 10 παρέχει ενδεικτικά παραδείγματα από αυτούς τους παράγοντες.

Παράγοντες	Οδικός χρήστης	Κατάσταση οδικού δικτύου
Εγγενείς παράγοντες	Ευκρίνεια, ευελιξία, αντίληψη	Φυσικά εμπόδια, πεζοδρόμιο
Περιστασιακοί παράγοντες	Μεταφορά φορτίου, έλλειψη χρόνου	Εμπόδια, άλλοι χρήστες δρόμου, έλλειψη φως

**Πίνακας 10: Παράγοντες οδικού χρήστη και ιδιαιτερότητες οδικού δικτύου που επηρεάζουν την συμπεριφορά και δεν εξετάστηκαν στην παρούσα ανάλυση.**

## 5.2 Περιστατικά κάθετης διέλευσης πεζών

Συνολικά αναλύθηκαν 316 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού. Μια πρώτη ανάλυση των φορών που σταθεροποιήθηκε το βλέμμα των οδηγών σε πεζούς μαζί με τα αναδρομικά σχόλια των οδηγών για κάθε περίπτωση αλληλεπίδρασης έδειξε ότι:

- (i) Στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων (82%), ένας οδηγός εστίασε το βλέμμα του σε έναν πεζό 3 ή λιγότερες φορές
- (ii) Σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων (73%), ένας οδηγός εξέφρασε την πεποίθηση του για τη μελλοντική επιδιωκόμενη δράση ενός πεζού, παρόλο που δεν εκτέμφθηκαν σκόπιμα σήματα από τον πεζό (π.χ. χειρονομία, κούνημα κεφαλιού).

### 5.2.1 Ευρήματα σχετικά με τις περιπτώσεις διέλευσης όπου η πρόθεση των πεζών ήταν να διασχίσουν το δρόμο (κάθετη διέλευση N= 316)

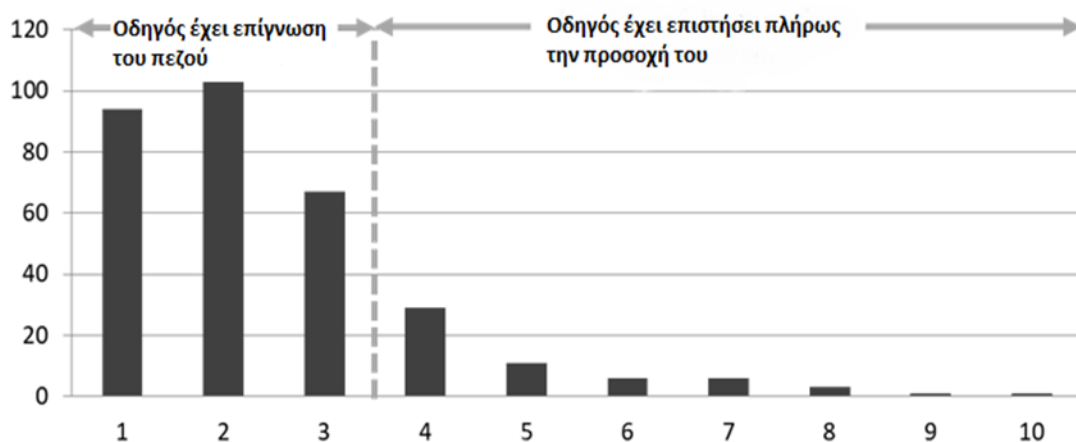
- Στις διασταυρώσεις, όπου οι πεζοί δεν βλέπουν προς τη κατεύθυνση του επερχόμενου οχήματος του οδηγού (N=124), υπάρχει μια έντονη τάση οι πεζοί να περνάνε πρώτοι. (Π=0.74, Ο=0.26)
- Οι πολλαπλές (>4) εστιάσεις βλέμματος από τους οδηγούς στους πεζούς (N=74) οδήγησαν σε αξιοσημείωτη τάση οι πεζοί να περνάνε πρώτοι (Π=0.84, Ο=0.16)
- Κανένα βλέμμα από τους πεζούς σε συνάρτηση με (>4) εστιάσεις βλέμματος από τους οδηγούς (N=12) έχει ως αποτέλεσμα να περνάνε 100% οι πεζοί πρώτοι. (Π=1, Ο=0)
- Όταν ένας πεζός ξεκίνησε την κίνηση του καθώς πλησίαζε ο οδηγός (N=40), είχε ως αποτέλεσμα να περνάνε 100% οι πεζοί πρώτα. (Π=1, Ο=0)
- Όταν ο πεζός διατηρούσε το ρυθμό βαδίσματος του (N=140), αυτό είχε ως αποτέλεσμα να περνάνε οι πεζοί τις περισσότερες φορές (Π=0.93, Ο=0.07)
- Όταν ο πεζός σταμάτησε ή επιβράδυνε ή πήγε προς τα πίσω (N=68), τότε ο οδηγός πέρασε πρώτος. (Π=0.26, Ο=0.72, Μ/Ε=0.02)
- Όταν ο πεζός παρέμεινε στάσιμος στην αρχή της αλληλεπίδρασης (N=57), είχε ως αποτέλεσμα ο οδηγός να περάσει πρώτος. (Π=0.32, Ο=0.63, Μ/Ε=0.05)
- Όταν ο πεζός επιτάχυνε το βάδισμά του στην αρχή της αλληλεπίδρασης (N=11), είχε ως αποτέλεσμα ο πεζός να περάσει πρώτος σε όλες τις περιπτώσεις. (Π=1, Ο=0)

Τα παραπάνω ευρήματα αποτελούν τη βάση για τον προσδιορισμό διαφορετικών επιπέδων αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού από την πλευρά των οδηγών. Συγκεκριμένα, τα επίπεδα αυτά εξετάζουν αφενός την οπτική προσοχή που επιδεικνύουν οι οδηγοί για τους πεζούς και αφετέρου την εκφραστικότητα των σημάτων που εκπέμπονται από τους πεζούς και την ερμηνεία αυτών από τους οδηγούς.

### 5.2.2. Προσοχή των οδηγών προς τους πεζούς

Η κατανομή της συχνότητας των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης ανάλογα με τον αριθμό των φορών που οι οδηγοί εστίασαν το βλέμμα τους στους πεζούς παρουσιάζεται στο γράφημα 4. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης (264 από 316, δηλαδή 82%) ο οδηγός σταθεροποίησε το βλέμμα του σε έναν πεζό τρεις φορές ή λιγότερο. Λαμβάνοντας υπόψη τα μετέπειτα σχόλια των οδηγών κατά τη διάρκεια παρακολούθησης των βίντεο, κρίθηκε σκόπιμο να επιλεχθούν οι 3 εστιάσεις του βλέμματος του οδηγού ως προς τον πεζό ως κριτήριο για τον διαχωρισμό των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης σε δύο επίπεδα προσοχής των οδηγών στους πεζούς:

- i) Ο οδηγός θεωρείται ότι έχει επίγνωση του πεζού αλλά δεν δίνει την πλήρη προσοχή του (εφεξής Α) και
- ii) Ο οδηγός θεωρείται ότι έχει επιστήσει πλήρως την προσοχή του στον πεζό, τουλάχιστον σε κάποιο χρονικό σημείο κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης (που στο εξής αναφέρεται ως F).



Γράφημα 4: Κατανομή των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης ανάλογα με τον αριθμό των φορών που οι οδηγοί εστίασαν το βλέμμα τους στους πεζούς. Τέσσερις εστιάσεις ή περισσότερες προς τον πεζό θεωρήθηκαν ως ονομαστικό κριτήριο που σημαίνει ότι ο οδηγός έχει επιστήσει την προσοχή του απόλυτα σε έναν πεζό

### 5.2.3 Σήματα έκφρασης των πεζών την ώρα που διασχίζουν το δρόμο

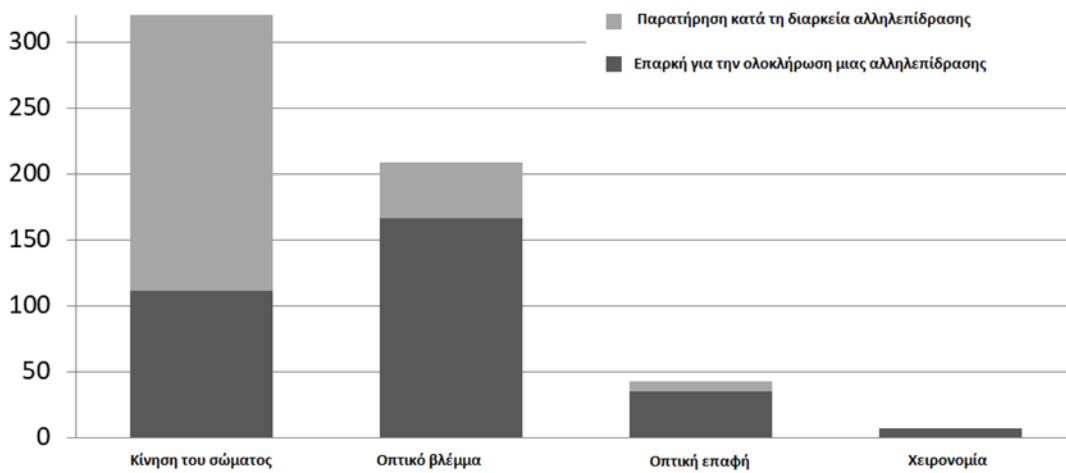
Τα παρατηρήσιμα σήματα που εκπέμπονται από τους πεζούς κατά τη διάρκεια μιας αλληλεπίδρασης κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την εκφραστικότητα τους σε σχέση με την πρόθεση διέλευσης των πεζών σε τρία επίπεδα:

- (i) Χαμηλό επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας, δηλαδή, σήματα από την κίνηση του σώματος του πεζού που υποδηλώνουν την κατεύθυνση που σκοπεύει να ακολουθήσει, π.χ. πορεία που ακολουθεί / προσανατολισμός κεφαλιού.
- (ii) Μεσαίο επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας, δηλαδή, απλό κοίταγμα των πεζών προς το όχημα των συμμετεχόντων που υποδηλώνει την επίγνωση / παρακολούθηση του οχήματος των συμμετεχόντων από τους πεζούς και
- (iii) Υψηλό επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας, δηλαδή, επαφή ματιών μεταξύ οδηγού-πεζού, ακολουθούμενη περιστασιακά από χειρονομία / κούνημα του κεφαλιού του πεζού, υποδηλώνοντας ρητή επικοινωνία.

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 5, τα σήματα του σώματος που εκπέμπονται από την κίνηση του σώματος / προσανατολισμό του κεφαλιού του πεζού ήταν προφανώς πάντα ευδιάκριτα, δηλαδή και στις 316 περιπτώσεις (100%), αλλά μόνο περίπου το ένα τρίτο των περιπτώσεων (35%) επιλύθηκαν μόνο μέσω ατών των σημάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρατηρήθηκε να πηγαίνει το βλέμμα των πεζών προς το όχημα των συμμετεχόντων στο 65% των περιπτώσεων αλληλεπίδρασης.

Στην πραγματικότητα, η στρέψη του βλέμματος του πεζού προς τον οδηγό, σε συνδυασμό με τα παραπάνω σήματα που εκπέμπονται από την κίνηση του σώματος, κρίθηκαν επαρκή για την επίλυση των μισών περιπτώσεων αλληλεπίδρασης (52%). Τέλος, στο 13% των περιπτώσεων παρατηρήθηκαν σήματα με υψηλό επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας, όπως αποδεικνύεται από επαφές με τα μάτια και χειρονομίες / κούνημα κεφαλιού. Από αυτές τις περιπτώσεις, οι περισσότερες επιλύθηκαν αποκλειστικά μέσω επαφής ματιών μεταξύ πεζού και οδηγού (11%), ενώ μόνο το 2% αφορούσε πρόσθετα σήματα, π.χ. χειρονομίες / κούνημα κεφαλιού.





**Γράφημα 5:** Αθροιστικός αριθμός σημάτων που εκπέμπονται από πεζούς και στις 316 περιπτώσεις αλληλεπίδρασης κάθετης διέλευσης (υποδεικνύονται από το συνολικό ύψος ράβδων) και διαχωρισμός τους ανάλογα με τον αριθμό των περιπτώσεων που ένας συγκεκριμένος τύπος σήματος ήταν επαρκής για την ολοκλήρωση μιας αλληλεπίδρασης οδηγού – πεζού.

### 5.2.4 Παρατηρούμενες καταστάσεις αλληλεπίδρασης οδηγού – πεζού

Λαμβάνοντας υπόψη τα δύο επίπεδα προσοχής των οδηγών στους πεζούς και τα τρία επίπεδα εκφραστικότητας / σαφήνειας των πεζών όταν διασχίζουν το δρόμο (όπως αυτά περιγράφηκαν παραπάνω), κατασκευάστηκε ένας πίνακας που περιλαμβάνει τις πιθανές καταστάσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού κατά τη διάρκεια της διέλευσης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 11, μια αλληλεπίδραση οδηγού-πεζού μπορεί να διεκπεραιωθεί σε κάθε μια από τις έξι πιθανές καταστάσεις. Επίσης, τα στοιχεία με ένα μεσαίο επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας φαίνεται να επιλύουν μεγάλο αριθμό περιπτώσεων αλληλεπίδρασης.

Αφοσίωση του οδηγού	Εκφραστικότητα Πεζού			
	Χαμηλή % (f)	Μεσαία % (f)	Υψηλή % (f)	Σύνολο % (f)
Έχει αντιληφθεί τον πεζό	40% (101)	59% (149)	1% (3)	100% (253)
Πλήρως αφοσίωση στον πεζό	16% (11)	25% (17)	59% (40)	100% (68)
<b>Σύνολο</b>	<b>35% (112)</b>	<b>52% (166)</b>	<b>13% (43)</b>	<b>100% (321)</b>

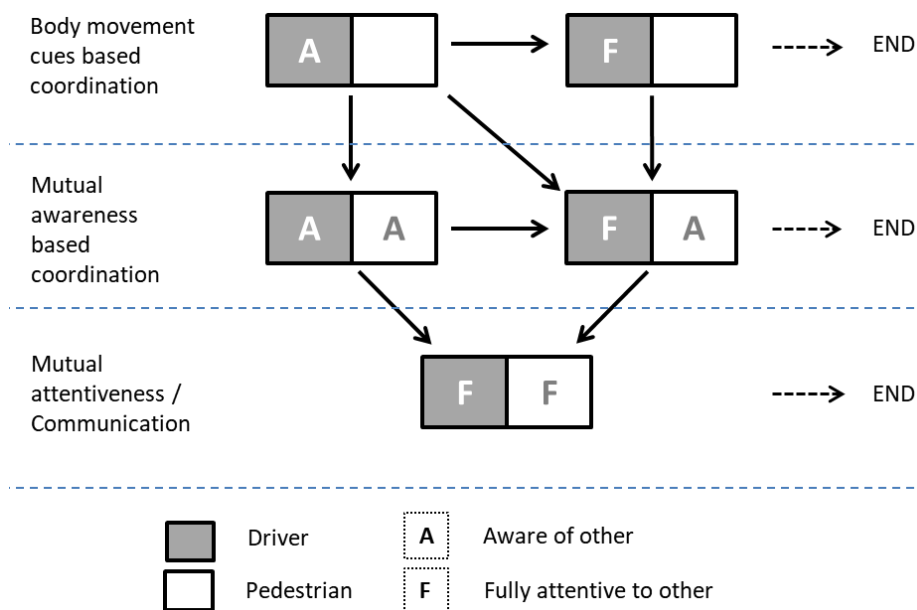
**Πίνακας 11:** Οι έξι πιθανές καταστάσεις αλληλεπίδρασης οδηγού-πεζού κατά τη διέλευση

# 6

## Συμπεράσματα ανάλυσης των παρατηρήσεων

Η ανάλυση των διαφόρων περιπτώσεων αλληλεπίδρασης οχήματος / πεζών έδειξε μια κατηγοριοποιημένη δομή σημάτων και συμβόλων που εκπέμπονται από τους πεζούς ανάλογα με την εκφραστικότητα / σαφήνεια τους. Ένα κύριο συμπέρασμα αυτής της πρώιμης ανάλυσης είναι ότι τα σήματα με μεσαίο επίπεδο εκφραστικότητας / σαφήνειας φαίνεται να επιλύουν ένα μεγάλο αριθμό αλληλεπιδράσεων, γι 'αυτό είναι σημαντικό να θεωρήσουμε ξεχωριστά αυτό το είδος σημάτων εκτός εκείνων που ήδη αναφέρονται στη βιβλιογραφία, π.χ. τα σήματα που λαμβάνονται από την κίνηση του σώματος του πεζού από τη μία πλευρά και την επαφή με τα μάτια / τα ρητά (άμεσα) σήματα από την άλλη.

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και αναλύσεις, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο εργασίας που απεικονίζει τα επίπεδα αμοιβαίας προσοχής πεζών – οδηγών από την πλευρά του οδηγού (Γράφημα 6).



Γράφημα 6: Μοντελοποίηση πιθανών καταστάσεων αμοιβαίας προσοχής μεταξύ οδηγού και πεζού από την πλευρά του οδηγού

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 6, στην αρχή μιας αλληλεπίδρασης, ένας οδηγός αντιλαμβάνεται έναν πεζό: αυτό μπορεί να εξελιχθεί στην κατάσταση που οδηγός που εφιστά πλήρως την προσοχή στον πεζό. Και στις δύο αυτές δυνατές καταστάσεις προσοχής των οδηγών, μια αλληλεπίδραση μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά αποκλειστικά μέσω της αναγνώρισης σημάτων φυσικής κίνησης, π.χ. βασιζόμενοι σε σήματα της κίνησης του σώματος του πεζού. Ωστόσο, σε πιο απαιτητικές περιπτώσεις όπου παρατηρείται το φαινόμενο οι οδηγοί – πεζοί να πρέπει να μοιραστούν τον ίδιο χώρο, την ίδια χρονική στιγμή είναι απαραίτητη η αμοιβαία προσοχή. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης αποδεικνύουν ότι οι οδηγοί χρησιμοποιούν συνήθως το βλέμμα των πεζών προς το όχημά τους ως ένα σήμα για να επιβεβαιώσουν την ετοιμότητα των πεζών να συντονίσουν και να μοιραστούν τους ίδιους πόρους: η τακτική αυτή συχνά επαρκεί για την ολοκλήρωση μιας αλληλεπίδρασης, εξοικονομώντας πόρους (δηλαδή συντονισμός αμοιβαίας επίγνωσης της αλληλεπίδρασης). Μόνο όταν ο αμοιβαίος αυτός συντονισμός οδηγεί σε ασαφείς προθέσεις ή παρεξηγήσεις, και οι δύο χρήστες του δρόμου υποχρεώνονται να αφιερώσουν την πλήρη προσοχή τους (μέσω της επαφής με τα μάτια και χειρονομιών) και να επικοινωνήσουν ρητά μεταξύ τους τις υποδεικνύοντας τις μελλοντικές τους προβλεπόμενες ενέργειες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το παρόν μοντέλο πρέπει να τεκμηριωθεί με περισσότερα δεδομένα και να εξεταστούν περισσότερα περιστατικά, π.χ. παράλληλη κίνηση οδηγού και πεζού. Είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικό, το μοντέλο να συμπληρωθεί με την άποψη των πεζών, καθώς από τη μεθοδολογία αυτής της μελέτης ήταν εφικτό να παρατηρηθεί μόνο η πλευρά του οδηγού στην αλληλεπίδραση.

## **6.1 Συζήτηση και προτάσεις σχετικά με σχεδίαση αυτόνομων οχημάτων**

Οι αλληλεπιδράσεις, όπου χρησιμοποιείται ρητή επικοινωνία (άμεσα σήματα), εμφανίζονται σπάνια σε αλληλεπιδράσεις οχημάτων - πεζών. Όπως φαίνεται και από την εξαγωγή συμπερασμάτων και το μοντέλο που σχεδιάστηκε, οι περισσότερες πιθανές καταστάσεις που απαιτούν αλληλεπίδραση επιλύονται πριν δημιουργηθούν. Αυτό σημαίνει ότι η σχεδίαση και η μοντελοποίηση σε ότι αφορά την ευφυΐα των αυτόματων οχημάτων πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίζει πιθανές αλληλεπιδράσεις νωρίς και να προσπαθεί να τις επιλύσει προσαρμόζοντας την συμπεριφορά οδήγησης με τρόπο που ο άλλος χρήστης του οδικού δικτύου (στην προκειμένη περίπτωση ο πεζός) να κατανοεί την πρόθεση του οχήματος χωρίς να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε ρητή επικοινωνία (άμεσο σήμα). Μέσα στις παρατηρήσεις χρησιμοποιήθηκε ρητή επικοινωνία από τους οδηγούς προς τους πεζούς, όταν η αλληλεπίδραση δεν είχε ως αποτέλεσμα την αναμενόμενη συμπεριφορά και η σχετική ταχύτητα ήταν πολύ χαμηλή και η απόσταση πολύ μικρή.

Στο εύρος των περιπτώσεων κοινής χρήσης του οδικού δικτύου, όλοι οι συμμετέχοντες στην κυκλοφορία θεωρητικά είχαν την ίδια προτεραιότητα. Ενώ αυτή η περίπτωση χρήσης φαίνεται να ενθαρρύνει την ρητή επικοινωνία, γενικά οι καταστάσεις διαφέρουν συγκριτικά με τη διασταύρωση: οι χρήστες της οδού αποφεύγουν να

επικοινωνούν ρητά ρυθμίζοντας τις κινήσεις τους για να επιλύσουν έγκαιρα πιθανές καταστάσεις που απαιτούν αλληλεπίδραση. Π.χ. αν οι οδηγοί βλέπουν πεζούς που περπατούν στη δεξιά πλευρά, θα προσαρμόσουν την πλευρική τους θέση προς τα αριστερά. Οι πεζοί συνήθως δηλώνουν την πρόθεσή τους να διασχίσουν το δρόμο αλλάζοντας την κατεύθυνση τους, ή τον προσανατολισμό του σώματος / κεφαλιού τους, κοιτάζοντας το πλησιέστερο όχημα - αν το εν λόγω όχημα είναι κοντά και διατηρεί τη ταχύτητά του, οι πεζοί θα διασχίσουν μετά το όχημα. Εάν το όχημα είναι πιο μακριά, οι πεζοί θα διασχίζουν το δρόμο ενώ οι οδηγοί επιβραδύνουν ή ρυθμίζουν την πλευρική τους θέση αναλόγως( πηγαίνουν είτε πιο δεξιά, είτε πιο αριστερά.)

Η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού πρωτοτύπου σεναρίου και η ανάλυση των αποτελεσμάτων του για τη μελέτη αλληλεπίδρασης των οδηγού - πεζού είναι σχεδόν αδύνατη, δεδομένου ότι θα πρέπει να κατασκευαστούν, να λειτουργήσουν και να παρατηρηθούν εκατοντάδες πρωτότυπα οχήματα σε συνάρτηση με τη συμπεριφορά των πεζών. Παρ'όλα αυτά, ακόμη και σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης, το μοντέλο που σχεδιάστηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράξει μια σειρά προτάσεων για μελλοντικά αυτοματοποιημένα οχήματα.

**i)** Την ανάγκη να αναπτυχθούν τεχνολογίες για την ανίχνευση των πεποιθήσεων των πεζών για χρήση σε μελλοντικά αυτόνομα οχήματα, π.χ. βλέμμα πεζού προς το όχημα.

**(ii)** Την ανάγκη να παρέχεται στους πεζούς η πληροφόρηση πρώτου επιπέδου ότι έχουν γίνει αντιληπτοί από το όχημα.

**(iii)** Την ανάγκη να παρέχεται στους πεζούς πληροφόρηση δευτέρου επιπέδου για να αποσαφηνιστεί εάν ένας συγκεκριμένος πεζός είναι το επίκεντρο της προσοχής του οχήματος

Ως γενική πρόταση για τα μελλοντικά αυτόνομα οχήματα και την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης που πρέπει να διαθέτουν με βάση τις παρατηρήσεις, μπορούμε να πούμε ότι ένα αυτοματοποιημένο όχημα θα πρέπει να προσπαθήσει να αποφύγει πιθανές καταστάσεις και περιστατικά που απαιτούν αλληλεπίδραση προσαρμόζοντας νωρίς την οδηγική του συμπεριφορά αναλόγως, σε επικείμενη συνάντηση πεζού - οχήματος (π.χ. να επιβραδύνει νωρίς για να δώσει το δικαίωμα διέλευσης ή να επιταχύνει / διατηρήσει την ταχύτητα του για να περάσει πρώτα). Για την επίλυση καταστάσεων στις οποίες η κινηματική προσαρμογή δεν επιτυγχάνει το επιθυμητό αποτέλεσμα (π.χ. να απαιτούνται για τη διεκπεραίωση της αλληλεπίδρασης άμεσα σήματα), θα πρέπει να χρησιμοποιείται ρητή επικοινωνία με το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης του αυτόνομου οχήματος.( eHMI).

Καθώς τα αυτόνομα οχήματα θα είναι σε θέση να μεταδίδουν σήματα προτού ο οδηγός να μπορεί να γίνει πλήρως αντιληπτός από έναν πεζό και να γνωστοποιήσουν ρητά μια συμπεριφορά αποδίδοντας νωρίτερα τα eHMIs, μπορούν να επιλυθούν άμεσα περιπτώσεις αλληλεπίδρασης που δεν απαιτούν ρητή επικοινωνία. Επομένως, τα γενικά συμπεράσματα δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως καθολική κατευθυντήρια

γραμμή για τη συμπεριφορά ενός αυτόνομου οχήματος, αλλά μάλλον να βοηθούν στη διαδικασία ανάπτυξης του σχεδιασμού των τροχιών και των δυνατοτήτων επικοινωνίας. Επιπλέον, η χρήση διαφορετικών περιπτώσεων από εκείνες που έχουν παρατηρηθεί και αναλυθεί θα απαιτήσει ενδεχομένως άλλες στρατηγικές αλληλεπίδρασης.

# 7

## **Επίλογος**

Οι δρόμοι των οδικών δικτύων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι. Ο λόγος είναι ότι το ανθρώπινο μυαλό, οι ανθρώπινες αντιδράσεις, μπορούν να είναι εξαιρετικά απρόβλεπτες. Σύντομα, η ανθρωπότητα θα χρειαστεί να αντιμετωπίσει ένα νέο είδος οδηγού. Τα τελευταία χρόνια επενδύθηκαν πολλά χρήματα για την ανάπτυξη των αυτόνομων οχημάτων. Έτσι, αναπόφευκτα η ανθρωπότητα θα μοιράζεται σύντομα το οδικό δίκτυο με οχήματα χωρίς οδηγό.

Η εποχή που το οδικό δίκτυο θα αποτελείτε αποκλειστικά από αυτόνομα οχήματα πλήρους αυτοματοποίησης θα καθυστερήσει για λίγο ακόμη. Τα αυτόνομα οχήματα θα μπορούν τότε να επικοινωνούν και να προβλέπουν επακριβώς τις ενέργειες των άλλων χρηστών του οδικού δικτύου, μέσω συστημάτων επικοινωνίας και αισθητήρων. Μέχρι την πλήρη αυτοματοποίηση των δρόμων όμως, θα χρειαστεί να περάσουμε από ένα αφενός λιγότερο ασφαλή, αφετέρου δυσκολότερο ως προς την υλοποίησή του μεταβατικό στάδιο.

Η έρευνα για τα αυτόνομα οχήματα έχει γίνει πιο έντονη τα τελευταία χρόνια, με τους πιο φιλόδοξους επιστήμονες να εκτιμούν πως η πλήρη αυτοματοποίηση των δρόμων θα επέλθει σε λιγότερο από 25 χρόνια. Υπάρχει ήδη μεγάλος αριθμός ερευνών προς αυτή την κατεύθυνση και ο αριθμός αυξάνεται εκθετικά όσο εμφανίζεται εντονότερα η ανάγκη για ανάπτυξη των αυτόνομων συστημάτων που θα κάνουν τους δρόμους μας ασφαλέστερους.

Όσο μέχρι στιγμής η έρευνα επικεντρωνόταν στην ανάπτυξη των αισθητήρων και του λογισμικού των αυτόνομων συστημάτων για την υλοποίηση των ενεργειών αναγνώρισης της θέσης τους, πλοήγησης και σχεδιασμού της βέλτιστης διαδρομής. Η αλληλεπίδρασή τους με τους υπόλοιπους χρήστες του οδικού δικτύου και ειδικότερα με τους πεζούς, χρήζει εκτενέστερης έρευνας και διεξοδικότερης ανάλυσης.

Παρόλο που υπάρχουν έρευνες που εξετάζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των οδηγών των πεζών, αυτές περιορίζονταν στη βάση παρατήρησής τους από εξωτερικούς

παρατηρητές. Η χρήση των γυαλιών eye tracking κατά την οδήγηση, καθώς και τα σχόλια των οδηγών που τα συνόδευαν μας επέτρεψε την παρατήρηση και ανάλυση των αλληλεπιδράσεων από την οπτική γωνία του ίδιου του οδηγού. Από αυτό προκύπτουν πιο αξιόπιστα και εύρωστα αποτελέσματα.

Η έρευνα των αυτόνομων συστημάτων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων αφού εμπίπτει τόσο στην ανάπτυξη συστημάτων τεχνολογίας αιχμής, όσο και στον τομέα γνωστικής εργονομίας για την πλήρη κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς κατά την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με μηχανές.

Είναι επιτακτική η ανάγκη περαιτέρω έρευνας για την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, προτού είμαστε σε θέση να θέσουμε ευρεία τη χρήση των αυτόνομων οχημάτων. Επομένως η έρευνα προς την κατεύθυνση της γνωστικής εργονομίας των αυτόνομων συστημάτων όπως η παρούσα διπλωματική εργασία, έχουν ισχυρή προοπτική.

Έτσι συνάγεται η συμβολή και η αναγκαιότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης των αυτόνομων συστημάτων, τέτοιων που θα καταστήσουν τους δρόμους ασφαλέστερους και τη μετάβαση στην αυτοματοποίηση των μέσων μεταφοράς ομαλότερη.

# 8

## *Παράρτημα*

### **8.1 Συντομογραφίες**

**ΕΛΣΤΑΤ** : Ελληνική Στατιστική Αρχή

**WHO** : World Health Organization

**ADAS** : Advance Driver Assistance Systems

**ADS** : Automated Driving System

**NHTSA** : National Highway Traffic Safety Administration

**SAE** : Society of Automotive Engineers

**TTC** : Time To Collision

**eHMI** : External Human-Machine-Interface of the AV that is meant to communicate with surrounding traffic participants

# 9

## Βιβλιογραφία

- [1] WHO “Road traffic injuries”, 2018.
- [2] ΕΛΣΤΑΤ : Ελληνική Στατιστική Αρχή «Δελτίο τύπου οδικών τροχαίων ατυχημάτων», 2019.
- [3] J. Albright, A. Bell, J. Schneider, and C. Nyce, “Marketplace of change: Automobile insurance in the era of autonomous vehicles”, 2015.
- [4] J. S. V. Goncalves et al., “Testing Advanced Driver Assistance Systems with a serious-game-based human factors analysis suite,” in 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, MI, USA, 2014.
- [5] European Parliament “Research for TRAN Committee – Self-piloted cars: The future of road transport?”, 2016.
- [6]. NHTSA, “Automated Vehicles for Safety,” 2018.
- [7] Kubota Taylor, “Taking back control of an autonomous car affects human steering behavior, Stanford research shows,” 2016.
- [8] Dave Lee, “Apple self-driving car in minor crash.”
- [9] theguardian.com, “Tesla driver dies in first fatal crash while using autopilot mode.”
- [10] theverge.com, “Safety driver of fatal self-driving Uber crash was reportedly watching Hulu at time of accident.”
- [11] Schoettle B., & Sivak M.” A survey of public opinion about autonomous and self-driving vehicles in the US, the UK, and Australia.” Michigan, USA .University of Michigan, Transportation Research Institute (UMTRI), July 2014.
- [12] Merat, Madigan, Louw, Dziennus. &Schieben, “What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of Automated Road Transport Systems”, 2013.



- [13] Rothenbücher, D., Li, J., Sirkin, D., Mok, B., & Ju, W. (2016, August). "Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles. In Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)", 2016 25th IEEE International Symposium, 795-802.
- [14] Clamann, M., & Cummings, M." Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles", 2017. Retrieved from <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1437891>.
- [15] Mitman, M., & Ragland, D." Crosswalk confusion: More evidence why pedestrian and driver knowledge of the vehicle code should not be assumed. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board", 2007.
- [16] Cinnamon, J., Schuurman, N., & Hameed, S. M." Pedestrian injury and human behaviour: observing road-rule violations at high-incident intersections.", 2011.
- [17] Gueguen, N., Eyssartier, C., & Meineri," A pedestrian's smile and drivers' behavior: When a smile increases careful driving." Journal of Safety Research, 2016.
- [18] Wu, J., Austin, R. & Chen, C.L." Incidence rates of pedestrian and bicyclist crashes by hybrid electric passenger vehicles: an update". National Highway Traffic Safety Administration. Washington, DC, 2011.
- [19] Sucha, M." Road users' strategies and communication: driver-pedestrian interaction. Transport Research Arena (TRA), 2014.
- [20] Schneemann, F., & Gohl, I." Analyzing driver-pedestrian interaction at crosswalks: A contribution to autonomous driving in urban environments." In Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2016.
- [21] Rasouli, A., Kotseruba, I., & Tsotsos, J. K." Agreeing to Cross: How Drivers and Pedestrians Communicate", 2017.
- [22] Guerrier, J. H., & Jolibois Jr, S. C." The safety of elderly pedestrians at five urban intersections in Miami." In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1998.
- [23] Connelly, M. L., Conaglen, H. M., Parsonson, B. S., & Isler, R. B." Child pedestrians' crossing gap thresholds." Accident Analysis & Prevention, 1998.
- [24] Pecchini, D., & Giuliani, F." Street-crossing behavior of people with disabilities." Journal of Transportation Engineering, 2015.
- [25] Ashmead, D. H., Guth, D., Wall, R. S., Long, R. G., & Ponchillia, P. E." Street crossing by sighted and blind pedestrians at a modern roundabout." Journal of Transportation Engineering, 2005.

- [26] Guth, D., Ashmead, D., Long, R., Wall, R., & Ponchillia, P." Blind and sighted pedestrians' judgments of gaps in traffic at roundabouts." *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2005.
- [27] Sucha, M., Dostal, D.,& Risser, R. "Pedestrian-driver communication and decision strategies at marked crossings",2017.
- [28] Katz, A., Zaidel, D.,& Elgrishi, A." An Experimental Study of Driver and Pedestrian Interaction During the Crossing Conflict", 1975.
- [29] Bedeley, R.T., Attoh-Okine, O. N., & Lee, E." Modelling pedestrian crossing behaviour using Bayesian networks", 2013.
- [30] Thonpson, L., Rivara, F.,Ayyagari, R., & Ebel, B. "Impact of social and technological distraction on pedestrian crossing behaviour: an observational study", 2012.
- [31] Papadimitriou, E., Lassare, S., & Yannis, G. "Introducing human factors in pedestrian crossing behavior models", 2015.
- [32] Kothuri, S., M. "Exploring Pedestrian Responsive Traffic Signal Timing Strategies in Urban Areas", 2014.