



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Καταγραφή Φυσιολογικών Παραγόντων που Επηρεάζουν την Οδηγική Συμπεριφορά

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Σ. ΔΟΥΚΕΡΗ

Επιβλέπων : Δημήτριος – Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα : Ουρανία Πετροπούλου
ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2021

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Καταγραφή Φυσιολογικών Παραγόντων που Επηρεάζουν την Οδηγική Συμπεριφορά

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Σ. ΔΟΥΚΕΡΗ

Επιβλέπων : Δημήτριος – Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπουσα : Ουρανία Πετροπούλου
ΕΔΠ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28 Ιανουαρίου 2021.

(Υπογραφή)

.....
Δ.-Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Γ. Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....
Π. Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιανουάριος 2021

(Υπογραφή)

.....
ΔΟΥΚΕΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτης Σ. Δουκέρης, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η οδηγική ασφάλεια και η προστασία της ανθρώπινης ζωής αποτελεί ένα μείζον θέμα διαχρονικά, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η προσπάθεια βελτίωσης της οδηγικής ασφάλειας και προστασίας της ανθρώπινης ζωής, αφορά πλήθος ανθρώπων. Πολίτες – πεζοί, οδηγοί – συνεπιβάτες, συγκοινωνιολόγοι, μελετητές και κατασκευαστές, ερευνητές αποτελούν μερικούς από τους άμεσα ενδιαφερόμενους, οι οποίοι θα πρέπει να ευαισθητοποιηθούν, ενημερωθούν, δράσουν ο καθένας από τη δική του σκοπιά, προς την κατεύθυνση αυτή.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή των φυσιολογικών (ατομικών και εξωτερικών) παραγόντων που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά. Στόχος είναι να γίνει αντιληπτό το εύρος των παραγόντων που επηρεάζουν την συμπεριφορά του οδηγού ή διαφορετικά οι βιολογικοί, ψυχοσωματικοί και τεχνικοί παράγοντες σε ένα ενιαίο πλαίσιο, προκειμένου να αναδειχθεί πως καθένας από αυτούς μεμονωμένα ή σε συνδυασμό μπορεί να επηρεάσει την οδηγική συμπεριφορά στην πράξη.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι ανωτέρω στόχοι, περιφράφησαν αναλυτικά οι διαφορετικοί αυτοί παράγοντες, μεσά από παράθεση της θεωρίας καθώς και της σχετικής επιστημονικής έρευνας, ακολουθούμενες από παραδείγματα που καθιστούν πιο προσιτή την αντίληψη και κατανόηση των παραγόντων αυτών.

Λέξεις Κλειδιά: Οδηγική συμπεριφορά, οπτική αντίληψη, βιολογικοί παράγοντες, ψυχοσωματικοί παράγοντες, τεχνικοί παράγοντες, απόσπαση προσοχής, οπτικό πεδίο, χρήση κινητών τηλεφώνων

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Abstract

Driving safety as well as human life protection are a quite an important task over time, worldwide. Any effort in order to improve both driving safety and human life protection, concerns a wide variety of people engaged in this difficult to solve problem. Civilians – pedestrians, drivers and passengers, design and construction companies, researchers are only some of the people that should not only be aware, but also informed, interested and act towards that direction.

The purpose of this study is to record the physiological (both individual and external) factors that affect driving behavior. The aim is to understand the range of factors that influence driver behavior, meaning the biological, psychosomatic and technical factors in a single context, in order to highlight how each of them individually or in combination can influence driving behavior in practice.

In order for these goals to be achieved, these factors were described in detail, citing both theory and relative scientific research, followed by examples that state clearly the perception and understanding of these factors.

Key words: Driving behaviour, visual perception, biological factors, psychosomatic factors, technical factors, distraction, visual field, smartphone use

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση αυτής της εργασίας αποτέλεσε για μένα μία ευκαιρία να ασχοληθώ με τους παράγοντες που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά. Ένα μείζον θέμα για το οποίο έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται πολλά βήματα προόδου, έχουμε ακόμη όμως αρκετό δρόμο να διανύσουμε μέχρι να αναπτύξουμε όλες εκείνες τις συνθήκες που θα απομακρύνουν τους παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά και θα καλλιεργήσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν θετικά την οδηγική συμπεριφορά. Μου δόθηκε η δυνατότητα να αντιληφθώ και να αποτυπώσω όσο γίνεται πιο περιεκτικά τους κυριότερους παράγοντες που είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό, επιδρούν στην συμπεριφορά των οδηγών. Στόχος ήταν να αντιληφθούμε λίγο καλύτερα τα αίτια, ώστε να κινηθούμε προς την κατεύθυνση απάλειψής των είτε μεμονωμένα είτε συνολικά.

Για όλα τα παραπάνω, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Δημήτριο - Διονύσιο Κουτσούρη, που μου έδωσε αυτή την ευκαιρία. Για την αμέριστη συμπαράστασή και καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ε.ΔΙ.Π. κ. Ουρανία Πετροπούλου, η οποία διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στο αποτέλεσμα αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Ελένη καθώς και την κόρη μου Όλγα, για τον χρόνο, για την εμπιστοσύνη τους, για τη δύναμη, θετική σκέψη και επιμονή (και πολλά διαλείμματα κατά τη συγγραφή της εργασίας) που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 1: Βιολογικοί Παράγοντες.....	10
1.1. Ηλικία και φύλο.....	10
Κεφάλαιο 2: Ψυχοσωματικοί Παράγοντες.....	15
2.1 Αλκοόλ και ψυχοτρόπες ουσίες.....	15
2.2. Αναζήτηση διέγερσης συναισθημάτων	16
2.3. Επιθετικότητα και άγχος	19
2.4. Υπνηλία	20
Κεφάλαιο 3: Τεχνικοί παράγοντες	25
3.1. Η επιρροή του φωτισμού.....	25
3.2 Αντίληψη	40
3.3. Φαινόμενο Οπτικής Πάλμωσης (Flickering Effect).....	47
3.4. Θάμβωση.....	57
3.5. Οπτικό πεδίο και ταχύτητα	60
3.6. Οπτική γεωμετρία του δρόμου	68
3.7. Αποτίμηση της επιρροής της ακτίνας καμπυλότητας και της κλίσης της οδού	69
3.8. Κόμβοι - Διασταυρώσεις.....	70
3.9. Απόσπαση προσοχής του οδηγού.....	75
3.10 Απόσπαση και ηλικία των οδηγών	78
3.11. Απόσπαση προσοχής και φύλο των οδηγών	79
3.12. Απόσπαση της προσοχής των Οδηγών από συστήματα και αίτια εντός του οχήματος	80
3.13. Απόσπαση της προσοχής των Οδηγών από διαφημιστικές πινακίδες	83
3.14. Επίδραση της Χρήσης Κινητών Τηλέφωνων στην Οδηγική Συμπεριφορά	87
3.15. Καιρικές Συνθήκες	91
Συμπεράσματα.....	96
Βιβλιογραφία.....	97

Εισαγωγή

Η σύγχρονη ζωή χαρακτηρίζεται από κινητικότητα και συνεχείς αλλαγές στους τρόπους μετακίνησης των ατόμων και μεταφοράς εμπορικών αγαθών. Σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Κατασκευαστών Αυτοκινήτων (Organisation Internationale des Constructeurs d' Automobiles, OICA) το 2014 ήταν σε κυκλοφορία παγκοσμίως περισσότερα από 1,2 δισ. οχήματα, εκ των οποίων τα 900 εκατ. επιβατικά, παρουσιάζοντας αύξηση σχεδόν 40% σε σχέση με το 2005. Η αυξητική τάση αναμένεται να συνεχιστεί και εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 ο αριθμός των μηχανοκίνητων οχημάτων που θα βρίσκονται σε κυκλοφορία θα φτάσει περίπου τα 2 δισ [1][2].

Με τις δημογραφικές αλλαγές σε παγκόσμιο επίπεδο να είναι ραγδαίες, την αξιοποίηση των οδικών υποδομών να είναι αδιάκοπη και του αριθμού των οχημάτων να αυξάνεται εκθετικά, η εξασφάλιση της οδικής ασφάλειας αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση και πρέπει να είναι από τις βασικές προτεραιότητες των κρατών δεδομένου του μεγάλου αριθμού θανάτων και τραυματισμών που προκαλούνται από τροχαία ατυχήματα. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας¹ μόνο το 2016 έχασαν την ζωή τους σε τροχαίο ατύχημα 1,35 εκατομμύρια άνθρωποι, αριθμός μεγαλύτερος από τον αριθμό των ανθρώπων που πεθαίνουν από ασθένειες όπως HIV/AIDS και φυματίωση. Στην Ευρώπη 25.100 άνθρωποι έχασαν το 2018 την ζωή τους σε τροχαία ατυχήματα, ενώ 135.000 τραυματίστηκαν σοβαρά².

Η κινητικότητα έχει αναμφίβολα ένα τεράστιο και μη αποδεκτό κόστος σε ανθρώπινες ζωές. Τα τροχαία ατυχήματα, εκτός του ότι αποτελούν μια σοβαρή απειλή για την παγκόσμια υγεία, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην κοινωνική και την οικονομική ανάπτυξη. Το ετήσιο κόστος των τροχαίων ατυχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε περίπου 280 δισ. ευρώ, ποσό που ισοδυναμεί περίπου με το 2% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος³.

Η θεώρηση της οδικής ασφάλειας είναι σε μεγάλο βαθμό ανθρωποκεντρική, διότι ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει καίριο ρόλο. Εκτιμάται ότι στο 60-80% των τροχαίων ατυχημάτων ο ανθρώπινος παράγοντας, όπως αυτός σχετίζεται με την σωματική και ψυχική κατάσταση του οδηγού, έχει παίξει καθοριστικό ρόλο [3]. Σύμφωνα με αναφορά της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, πάνω από το 90% των τροχαίων ατυχημάτων οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος⁴. Συνεπώς, είναι κρίσιμο οι χρήστες των οδικών δικτύων να έχουν την βούληση και την ικανότητα να τα χρησιμοποιήσουν με ασφάλεια.

Στην παρούσα εργασία έχοντας ως βάση την διεθνή σχετική βιβλιογραφία εξετάζονται οι παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά, η οποία έχει δυο πτυχές: η μια αφορά το τί επιλέγει ο οδηγός να κάνει και η άλλη αφορά το τί μπορεί ένας οδηγός να κάνει. Οι επιλογές, οι ικανότητες και οι αντιδράσεις ενός οδηγού στα διάφορα ερεθίσματα κατά

¹ World Health Organisation (2018), "Global Status Report on Road Safety":

https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/

² European Commission (4 April 2019), Publication of preliminary road safety statistics 2018:

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-19-1951_en.htm

³ European Commission (2019), Handbook on the External Costs of Transport

(https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/studies/sustainable_en)

⁴ Commission's report on Saving Lives: Boosting Car Safety in the EU, COM(2016) 787.

την οδήγηση δεν είναι αυθαίρετες ή τυχαίες, αλλά επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από μια σειρά διαφορετικών παραγόντων.

Στο πρώτο κεφάλαιο μελετούνται οι βιολογικοί παράγοντες, όπως το φύλο και η ηλικία, οι οποίοι όπως προκύπτει από πλήθος ερευνών και στατιστικών επηρεάζουν όχι μόνο τις ικανότητες ενός οδηγού, αλλά σε πολλές περιπτώσεις φαίνεται ότι παίζουν ρόλο στις αποφάσεις και επιλογές κατά την οδήγηση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται συμπεριφορικοί και ψυχοσωματικοί παράγοντες, όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της προσωπικότητας ενός οδηγού και η κατανάλωση αλκοόλ. Αυτοί οι παράγοντες αξίζει να μελετηθούν, καθώς εμπλέκονται σαφώς στην διαδικασία λήψης αποφάσεων κατά την οδήγηση και επηρεάζουν την ταχύτητα αντίδρασης ενός οδηγού, τον βαθμό εγρήγορσής του, αλλά και την προδιάθεσή του να οδηγήσει ριψοκίνδυνα.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται ενδελεχώς τεχνικοί παράγοντες, οι οποίοι συμβάλουν στη διαμόρφωση ή επηρεάζουν με καθοριστικό τρόπο το οδηγικό περιβάλλον, το οποίο είναι σύνθετο και δυναμικό και για την αποφυγή ατυχήματος ο οδηγός πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται επιτυχώς στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες που επικρατούν σε ένα οδόστρωμα.

Μια καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι ανωτέρω παράγοντες επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά όπως αυτή εκδηλώνεται κατά την πράξη της οδήγησης, μπορεί να συμβάλει στην θέσπιση πιο κατάλληλων και αποτελεσματικών κανόνων οδικής κυκλοφορίας, στην τροποποίηση της συμπεριφοράς των οδηγών, στη βελτίωση των υποδομών των οδικών δικτύων και κατά συνέπεια στην βελτίωση της οδηγικής ασφάλειας μέσω της μείωσης των ανθρώπινων σφαλμάτων και του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων.

Κεφάλαιο 1: Βιολογικοί Παράγοντες

1.1. Ηλικία και φύλο

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δείχνει ότι οι νέοι οδηγοί διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο εμπλοκής σε τροχαίο ατύχημα από ότι μεγαλύτερες ηλικιακές ομάδες [4][5][6], γεγονός που αναδεικνύει την νεότερη ηλικία ως ένα παράγοντα βάση του οποίου μπορεί να προβλεφθούν τροχαία ατυχήματα [7].

Οι νέοι οδηγοί (19-39 ετών) είναι δυο φορές πιο πιθανό να εμπλακούν σε τροχαίο από ότι οι μεγαλύτεροι ενήλικες (56-88 ετών) και ειδικά οδηγοί ηλικίας 18 και 19 ετών έχουν 6 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο από τον μέσο κίνδυνο για πρόκληση τροχαίου ατυχήματος. Η ίδια ηλικιακή ομάδα, σε αντίθεση με οδηγούς 25-54 ετών, διατρέχει 10 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να βγει εκτός δρόμου και ειδικά τα Σαββατοκύριακα τις βραδινές ώρες ο κίνδυνος να προκαλέσει ατύχημα είναι 49 φορές μεγαλύτερος [8].

Συγκριτικές έρευνες μεταξύ των νεότερων και των πιο μεγάλων ηλικιακών ομάδων έχουν δείξει ότι αυτές οι δυο ομάδες τείνουν να εμπλέκονται σε διαφόρων ειδών τροχαία ατυχήματα, ωστόσο οι ομάδες των νεότερων σε ηλικία οδηγών είναι αυτές που κινδυνεύουν πιο πολύ να εμπλακούν σε τροχαίο [9]. Υπάρχει γενικά συμφωνία ότι αυτό οφείλεται στην απειρία των νέων οδηγών και την συνεπακόλουθη αδυναμία τους να αξιολογούν κυκλοφοριακές καταστάσεις σε συνδυασμό με την προθυμία τους να παίρνουν ρίσκα για διάφορους λόγους.

Η οδήγηση είναι μια σύνθετη ψυχοκινητική ικανότητα, η οποία αποκτάται μέσα από την γνώση και την εκπαίδευση, ωστόσο προϋποθέτει αρκετή εμπειρία, ώστε να είναι κανείς σε θέση να χειρίζεται το όχημα και να κάνει τους απαραίτητους χειρισμούς και ελιγμούς. Οι έφηβοι οδηγοί λόγω απειρίας είναι σε μικρότερο βαθμό ικανοί να αναγνωρίσουν και να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους σε σχέση με τους πιο έμπειρους οδηγούς. Επιπλέον, παρουσιάζουν διαφορετικά μοτίβα οπτικής σάρωσης από ότι οι έμπειροι οδηγοί. Οι έφηβοι τείνουν να προσέχουν μεμονωμένους κινδύνους και αναζητούν κυρίως κινδύνους που είναι κοντά στο όχημά τους, ενώ ψάχνουν λιγότερο για πιο μακρινούς κινδύνους [10].

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι νέοι οδηγοί και ειδικά οι έφηβοι τείνουν να θεωρούν ότι ένα ατύχημα είναι πιο πιθανό να συμβεί σε άλλους παρά στους ίδιους, υπερτιμούν τις οδηγικές τους ικανότητες και συγκριτικά με μεγαλύτερους σε ηλικία οδηγούς υποτιμούν τον κίνδυνο εμπλοκής τους σε τροχαίο ατύχημα. Ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να εξηγήσει το μεγάλο ποσοστό τροχαίων ατυχημάτων στις ηλικίες 16-18 ετών είναι η έλλειψη της αίσθησης υπευθυνότητας [11]. Ενδεχομένως, οι νέοι οδηγοί μετά την ηλικία των 18 ετών συνειδητοποιούν σε μεγαλύτερο βαθμό τον κίνδυνο στον οποίο θέτουν τους ίδιους, αλλά και άλλους ανθρώπους, όταν οδηγούν ριψοκίνδυνα.

Κατά την περίοδο όπου οι έφηβοι μαθαίνουν να οδηγούν και κατά τα πρώτα χρόνια της οδήγησης, φαίνεται ότι θέματα που άπτονται της ανάπτυξης τους παίζουν σημαντικό ρόλο στο πώς αυτοί οδηγούν. Κατά την εφηβεία η σωματική ανάπτυξη δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί και έρευνες δείχνουν ότι ο εγκέφαλος και ειδικά ο προμετωπιαίος φλοιός, στον οποίο εδράζεται η λήψη αποφάσεων, η κρίση και η αναστολή των παρορμήσεων, δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως έως και την ηλικία των 25 ετών [12]. Πέρα από τις σωματικές αλλαγές, οι έφηβοι βιώνουν και ψυχοκοινωνικές αλλαγές, κατά τις οποίες αναπτύσσονται

συναισθηματικά, δοκιμάζουν τα όρια και τις ικανότητές τους, αναζητούν την ταυτότητά τους και διαμορφώνουν τις σχέσεις τους με τους συνομήλικούς τους [13]. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την οδηγική τους συμπεριφορά.

Για την εξήγηση της μεγάλης συχνότητας τροχαίων μεταξύ των νέων δεν αρκεί να δοθεί προσοχή μόνο στον παράγοντα ηλικία, αλλά σε συνάρτηση με το νεαρό της ηλικίας χρήσιμο είναι να ληφθούν υπόψιν και να μελετηθούν παράγοντες όπως η παραβίαση του ΚΟΚ, η ταχύτητα οδήγησης, η χρήση ζώνης, η αντίληψη του κινδύνου και η επιθετικότητα.

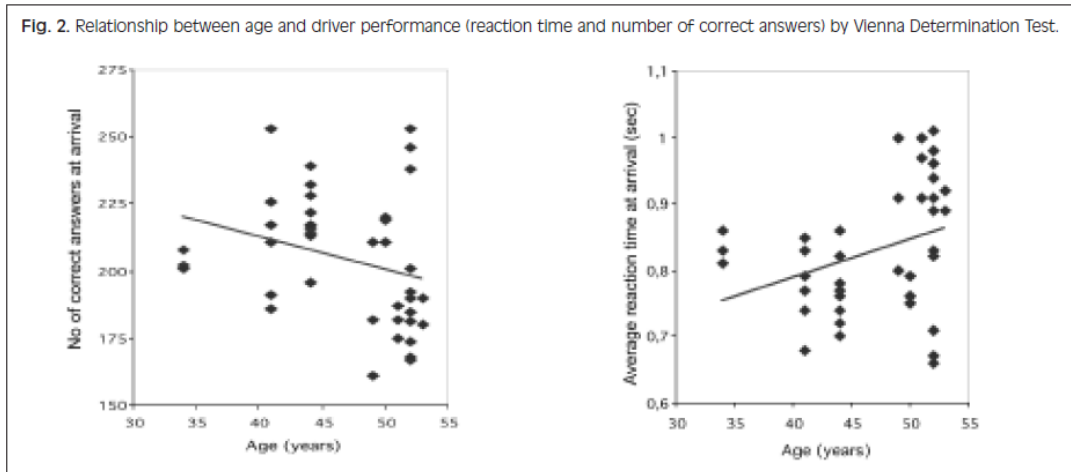
Από διάφορες έρευνες προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι νέοι οδηγοί είναι πιο πιθανό να προβούν σε παραβίαση των κανόνων οδικής κυκλοφορίας από ότι οι μεγαλύτεροι σε ηλικία οδηγοί [5][14][15].
- Νεότεροι οδηγοί είναι πιο πιθανό να οδηγήσουν με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι οι πιο μεγάλοι σε ηλικία οδηγοί [16][17].
- Οι νέοι οδηγοί είναι λιγότερο πιθανό να φορούν ζώνη από ότι οι πιο μεγάλοι οδηγοί [17][4].
- Οι νέοι οδηγοί κατανοούν σε μικρότερο βαθμό τους κινδύνους που σχετίζονται με την οδήγηση και συχνά υποτιμούν το ρίσκο κατά την οδήγηση σε συνθήκες όπως πχ. προσπέραση ή στροφές, όπου απαιτούνται αντανακλαστικά και ικανότητα χειρισμού του οχήματος. Εκτός από την υποτίμηση του κινδύνου που διατρέχουν, οι νέοι οδηγοί τείνουν να υπερεκτιμούν τις οδηγικές τους ικανότητες [18][19].
- Οι νέοι οδηγοί είναι πιο επιθετικοί από τους πιο ηλικιωμένους οδηγούς [20].

Τα μεγάλα ποσοστά τροχαίων ατυχημάτων με εμπλεκόμενους μεγάλους σε ηλικία οδηγούς σχετίζονται με την μειωμένη ικανότητά τους να ανταπεξέλθουν σε περίπλοκες κυκλοφοριακές καταστάσεις, όπως για παράδειγμα οι διασταυρώσεις, οι οποίες απαιτούν την επεξεργασία πολλών ερεθισμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η ικανότητα να αξιολογεί ένας οδηγός τους κινδύνους στο δρόμο έχει παρατηρηθεί ότι βελτιώνεται με την ηλικία, ενώ έρευνες δείχνουν ότι οι διαφορές στην αντίληψη του κινδύνου που σχετίζονται με την ηλικία παρατηρούνται κυρίως στους άνδρες οδηγούς, καθώς οι νεότερες και οι μεγαλύτερες γυναίκες υποτιμούν εξίσου τον προσωπικό κίνδυνο ατυχήματος [21].

Από έρευνα που έκαναν οι Vivoli et al [22] μεταξύ επαγγελματιών οδηγών προέκυψε ότι ο χρόνος αντίδρασης επιδεινώνεται ($rS= 0.337$; $p=0.034$) και ο αριθμός των σωστών απαντήσεων μειώνεται όσο η ηλικία αυξάνεται ($rS= -0.354$; $p=0.025$) ακόμα και σε ένα περιορισμένο ηλικιακό εύρος (Γράφημα 1).



Γραφημα 1: Σχέση μεταξύ ηλικίας και απόδοσης του οδηγού (χρόνος αντίδρασης και πλήθος σωστών απαντήσεων, Vienna Determination Text) [22]

Οι Ryan et al (1998) [23] εξέτασαν την σοβαρότητα των ατυχημάτων σε σχέση με την ηλικία θεωρώντας ατυχήματα όπου υπήρχε μόνο υλική ζημιά ως τα λιγότερο σοβαρά. Η κατηγορία ατυχημάτων με την μεγαλύτερη σοβαρότητα ήταν αυτή όπου στο τροχαίο ή εντός 30 ημερών μετά από αυτό επήλθε ο θάνατος του οδηγού ή κάποιου άλλου προσώπου που εμπλεκόταν στο ατύχημα. Από τις έρευνές τους προέκυψε ότι η σοβαρότητα των τροχαίων σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την ηλικία, με το ποσοστό των σοβαρών τροχαίων να αυξάνεται με την ηλικία του οδηγού.

Όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα, το ποσοστό των οδηγών που ενεπλάκησαν σε τροχαία, στα οποία ένα άτομο τραυματίστηκε ή χρειάστηκε ιατρική φροντίδα χωρίς νοσηλεία, αυξήθηκε από την ηλικιακή ομάδα 17-19 ετών σε περίπου 29% στην ομάδα των 35-39 ετών και έπειτα μειώθηκε σε μόλις πάνω από 24% στην ομάδα των 80 και άνω ετών. Αντιθέτως, το ποσοστό των εισαγωγών σε νοσοκομείο και των θανατηφόρων τροχαίων ατυχημάτων αυξήθηκε ελαφρώς στην ομάδα των κάτω των 25 ετών, μειώθηκε σε ένα ελάχιστο στις ομάδες των 40-44 ετών και 35-39 ετών και μετά αυξήθηκε σε ένα μέγιστο στην ομάδα των 80 ετών και άνω. Το ποσοστό των θανατηφόρων τροχαίων ή αυτών στα οποία ένα άτομο νοσηλεύεται είναι μεγαλύτερο από αυτό των νέων οδηγών (3.8%, 4.8% και 6.4%)

Driver age group	Crash severity*				
	Fatal	Hospital	Other injuries	Property damage	Total
17-19	113 (0.4)	719 [†] (2.5)	7566 [†] (26.6)	20,057 (70.5)	28,455 (100.0)
20-24	127 (0.4)	831 [†] (2.5)	9323 (27.6)	23,479 (69.5)	33,760 (100.0)
25-29	95 (0.4)	455 [†] (2.0)	6440 (28.0)	16,044 (69.7)	23,034 (100.0)
30-34	70 (0.4)	315 (1.7)	5419 (28.7)	13,082 (69.3)	18,886 (100.0)
35-39	40 [†] (0.2)	314 (1.8)	4897 (28.8)	11,758 (69.1)	17,009 (100.0)
40-44	58 (0.4)	237 (1.5)	4397 (28.4)	10,813 (69.7)	15,505 (100.0)
45-49	49 (0.4)	186 (1.6)	3174 (28.0)	7945 (70.0)	11,354 (100.0)
50-54	34 (0.4)	147 (1.8)	2344 (28.5)	5697 (69.3)	8222 (100.0)
55-59	19 (0.3)	119 (1.8)	1724 [†] (26.3)	4682 [†] (71.5)	6544 (100.0)
60-64	37 [†] (0.7)	108 (2.1)	1368 [†] (26.1)	3725 (71.1)	5238 (100.0)
65-69	26 (0.6)	85 (2.1)	1056 [†] (25.7)	2934 (71.5)	4101 (100.0)
70-74	30 [†] (1.1)	75 [†] (2.7)	667 [†] (24.2)	1986 [†] (72.0)	2758 (100.0)
75-79	24 [†] (1.4)	60 [†] (3.4)	453 (25.9)	1214 (69.3)	1751 (100.0)
Over 80	21 [†] (2.0)	47 [†] (4.4)	261 [†] (24.3)	745 (69.4)	1074 (100.0)
Missing	16 (0.0)	123 (0.2)	11,239 (18.9)	48,166 (80.9)	59,544 (100.0)
Total	759 (0.3)	3821 (1.6)	60,328 (25.4)	172,327 (72.6)	237,235 (100.0)

*Numbers in parenthesis denote row percentages.

[†]Denotes a significant difference in the percentage compared to the 45-49 year age group.

Πίνακας 1: Σοβαρότητα της σύγκρουσης με βάση την ηλικία [23]

Οι Ryan et al (1998) [23] μελέτησαν επίσης και την συχνότητα εμπλοκής σε τροχαίο με βάση την ηλικία και το φύλο (Πίνακας 2). Η μεγαλύτερη ομάδα οδηγών που ενεπλάκησαν σε τροχαίο ήταν η ομάδα των 20-24 ετών, ακολουθούμενη από την ομάδα των 17-19 ετών. Οι οδηγοί 70 ετών και άνω αποτέλεσαν το 2.4% του συνόλου των οδηγών που ενεπλάκησαν σε τροχαία. Αν και παρατηρήθηκε ένα ελαφρώς μεγαλύτερο ποσοστό γυναικών οδηγών στην ομάδα των 30-49 ετών και ένα ελαφρώς μικρότερο ποσοστό στην ομάδα των 50-80 ετών και άνω, το συνολικό ποσοστό εμπλοκής των ανδρών οδηγών σε τροχαία ατυχήματα είναι μεγαλύτερο από αυτό των γυναικών. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με το γεγονός ότι οι γυναίκες οδηγούν λιγότερα χιλιόμετρα ανά έτος, οδηγούν κυρίως στην πόλη και κάνουν σύντομα ταξίδια, σπάνια ταξιδεύουν σε κακές καιρικές συνθήκες και συνήθως οδηγούν μικρά αυτοκίνητα. Οι άντρες διανύουν μεγαλύτερο αριθμό χιλιομέτρων ανά έτος, ταξιδεύουν σε αυτοκινητόδρομους και οδηγούν σε μεγαλύτερο ποσοστό φορτηγά ή μεγάλα αυτοκίνητα.

Driver age group	Driver gender							
	Male		Female		Unknown		Total	
	<i>n</i>	(%)	<i>n</i>	(%)	<i>n</i>	(%)	<i>n</i>	(%)
17-19	17,045	12.7	10,739	12.6	671	3.7	28,455	12.0
20-24	19,704	14.7	13,195	15.5	861	4.8	33,760	14.2
25-29	13,420	10.0	8,956	10.5	658	3.7	23,034	9.7
30-34	10,399	7.8	7,861	9.2	626	3.5	18,886	8.0
35-39	8,884	6.6	7,542	8.8	583	3.2	17,009	7.2
40-44	8,324	6.2	6,579	7.7	602	3.3	15,505	6.5
45-49	6,295	4.7	4,600	5.4	459	2.6	11,354	4.8
50-54	4,865	3.6	3,020	3.5	337	1.9	8,222	3.5
55-59	4,069	3.0	2,179	2.6	296	1.6	6,544	2.8
60-64	3,418	2.6	1,549	1.8	271	1.5	5,238	2.2
65-69	2,705	2.0	1,185	1.4	211	1.2	4,101	1.7
70-74	1,743	1.3	850	1.0	165	0.9	2,758	1.2
75-79	1,146	0.9	498	0.6	107	0.6	1,751	0.7
Over 80	718	0.5	284	0.3	72	0.4	1,074	0.5
Missing	31,068	23.2	16,369	19.2	12,107	67.2	59,544	25.1
Total*	133,803	100.0	85,406	100.0	18,026	100.0	237,235	100.0

*Of the 237,235 car driver crash involvements, 56.4% of the drivers were male, 36.0% were female and 7.6% were of unknown sex.

Πίνακας 2: Κατανομή ηλικίας και φύλου των οδηγών που ενεπλάκησαν σε τροχαία, WA 1989- 1992 [23]

Driver age group	Average kilometres driven per day	
	Male	Female
15-19	28.14	20.41
20-24	29.59	21.37
25-29	30.68	22.19
30-34	31.78	23.01
35-39	31.92	22.88
40-44	32.05	22.74
45-49	30.41	21.51
50-54	28.77	20.27
55-59	27.26	18.36
60-64	25.75	16.44
65-69	22.19	14.38
70-74	18.63	12.33
75-79	13.97	9.25
Over 80	9.32	6.16
Other and not stated	39.18	18.63

Πίνακας 3: Μέσος όρος διανυθέντων χιλιομέτρων ανά ημέρα, Αυστραλία, 1991 [23]

Driver age group	Crash involvement rates per 100 million kilometres driven		
	Male	Female	All*
17-19	1343.31	1358.45	1414.36
20-24	759.24	756.95	766.24
25-29	462.35	454.83	467.97
30-34	337.94	369.05	360.39
35-39	302.22	370.76	339.57
40-44	289.16	361.57	329.95
45-49	296.68	352.25	329.10
50-54	307.08	342.48	330.94
55-59	326.73	320.74	333.92
60-64	315.93	366.29	348.46
65-69	344.20	350.34	362.87
70-74	389.83	374.16	402.16
75-79	780.60	1150.53	1019.95
Over 80	703.67	695.76	1038.18

*Includes crashes where the drivers' sex was unknown.

Πίνακας 4: Ποσοστά εμπλοκής σε τροχαίο ατύχημα ανά 100 εκατομμύρια διανυθέντα χιλιόμετρα, WA 1989-1992 [23]

Από πολλές έρευνες που έχουν ασχοληθεί με την σχέση μεταξύ φύλου και αντίληψης κινδύνου προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι άνδρες οδηγοί έχουν την τάση να αξιολογούν κυκλοφοριακές καταστάσεις ως λιγότερο επικίνδυνες και να θεωρούν τα τροχαία ατυχήματα λιγότερα πιθανά από ότι οι γυναίκες οδηγοί [24][18]. Μεταξύ των γυναικών οδηγών επίσης παρατηρούνται μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης ζώνης [17], ενώ οι νέοι σε ηλικία άνδρες οδηγοί δεν δείχνουν ανάλογη συνέπεια στην χρήση ζώνης. Ειδικά όσον αφορά τις γυναίκες οδηγούς, η χρήση ζώνης αυξάνεται συναρτήσει του εισοδήματος, ενώ δεν παρατηρήθηκε αύξηση της χρήσης ζώνης από άνδρες οδηγούς με αυξημένο εισόδημα [17].

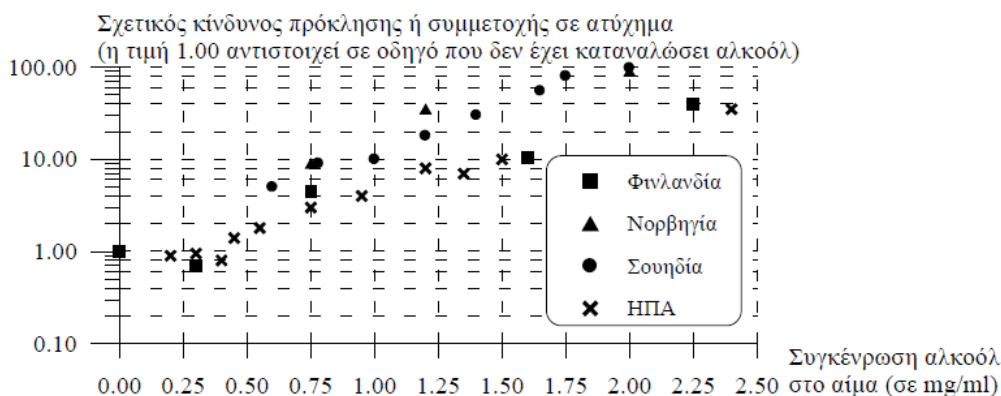
Κεφάλαιο 2: Ψυχοσωματικοί Παράγοντες

2.1 Αλκοόλ και ψυχοτρόπες ουσίες

Διάφορες ψυχοτρόπες ουσίες που λαμβάνονται για ιατρικούς λόγους ή για την δημιουργία ενός αισθήματος χαλάρωσης (όπως πχ. το αλκοόλ και οι παράνομες ναρκωτικές ουσίες) επιδρούν αρνητικά στις ανθρώπινες νοητικές και νευρολογικές λειτουργίες επηρεάζοντας την οδηγική συμπεριφορά με πολλούς τρόπους: εμποδίζουν την ικανότητα του οδηγού να επεξεργαστεί πληροφορίες, μετριάζουν τα αντανακλαστικά του, αυξάνουν τον χρόνο αντίδρασης του και εντείνουν την διάθεσή του για ρισκοκίνδυνη οδήγηση [25].

Στην οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ αποδίδεται ένα μεγάλο ποσοστό των τροχαίων ατυχημάτων, στα οποία τραυματισμοί και θάνατοι είναι πολύ πιο πιθανοί συγκριτικά με τα τροχαία όπου δεν υπήρχε κατανάλωση αλκοόλ. Ειδικά όταν το αλκοόλ συνδυάζεται με χρήση ναρκωτικών ουσιών, τότε ο κίνδυνος για σοβαρά τροχαία ατυχήματα αυξάνεται δραματικά [25].

Όπως φαίνεται στο κατωτέρω σχήμα, ο κίνδυνος για την πρόκληση ατυχήματος εξαρτάται από την ποσότητα αλκοόλ που έχει καταναλώσει ο οδηγός [26]. Ένας οδηγός με περιεκτικότητα στο αίμα του 1.0 mg/ml διατρέχει δεκαπλάσιο κίνδυνο πρόκλησης ή συμμετοχής σε οδικό ατύχημα από έναν οδηγό που δεν έχει καταναλώσει καθόλου αλκοόλ, ενώ εάν η ποσότητα του αλκοόλ διπλασιαστεί (σε 2.0 mg/ml), τότε ο συγκριτικός κίνδυνος εκατονταπλασιάζεται.



Γράφημα 2: Επιπτώσεις από την κατανάλωση αλκοόλ στην οδηγική ασφάλεια [26]

Το αλκοόλ συγκεκριμένα μειώνει την σταθερότητα των χεριών [27], αλλά και την ακρίβεια χειρισμού του οχήματος, όταν το ποσοστό στο αίμα είναι 0.06% [28]. Επίσης, από την κατανάλωση αλκοόλ φαίνεται να επηρεάζεται και η ικανότητα του οδηγού να εκτιμήσει την απόσταση που έχει μπροστά του να διανύσει και την αίσθηση βάθους [29]. Σε έρευνά τους οι Liu et al [30] εξέτασαν μεταξύ άλλων την ικανότητα των οδηγών να εκτιμούν την απόσταση ενός οδικού σήματος από το όχημα και οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι οδηγοί με υψηλότερα ποσοστά αλκοολαιμίας (0.08 και 0.10) έτειναν να υπερεκτιμούν την απόσταση του οχήματος από την πινακίδα που βρισκόταν μπροστά τους και να αργούν να αντιδρούν σε αυτή (πχ. να μειώνουν ταχύτητα σε σήμα «Προσοχή πεζός»). Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι σε έναν πιο σύνθετο δρόμο οι οδηγοί αυτοί χρειάστηκαν περισσότερο

χρόνο για να εκτιμήσουν την σχετική απόσταση από το σήμα. Το οπτικό πεδίο του οδηγού περιορίζεται κατά 6%, όταν το ποσοστό αλκοολαιμίας είναι 0.02% και περιορίζεται κατά 20% όταν το ποσοστό αλκοολαιμίας κυμαίνεται μεταξύ 0.05- 0.08%.

Μέτριες δόσεις αλκοόλ καθυστερούν την αντίδραση του οδηγού και επηρεάζουν την ικανότητα του να αναγνωρίσει σχήματα, με συνέπεια αυτός να χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να αντιδράσει σε επικίνδυνα εμπόδια στο δρόμο. Έρευνες των Chamberlain και Solomon [31], καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ακόμα και μια μικρή κατανάλωση αλκοόλ επηρεάζει τις ικανότητες που απαιτούνται για την οδήγηση, όπως την όραση, την επαγρύπνηση, την ετοιμότητα για φρενάρισμα και τον έλεγχο χειρισμού του τιμονιού.

Ακόμα όμως και όταν μετά από κατανάλωση αλκοόλ η συγκέντρωση οιοπνεύματος στο αίμα μηδενιστεί, ενδέχεται η συμπεριφορά του οδηγού και η οδηγική του απόδοση να εξακολουθεί να είναι αρνητικά επηρεασμένη. Από έρευνες του Bates (2002) [32] προέκυψε ότι με ένα ποσοστό αλκοολαιμίας στο 0.10% η ικανότητα οδήγησης παρέμενε επιδεινωμένη για τουλάχιστον 10 ώρες μετά την κατανάλωση του αλκοόλ και οι οδηγοί εξακολουθούσαν να έχουν δυσκολία να διατηρήσουν την κλίση πορείας (angle of slope) και την ταχύτητα. Για να αποκλειστεί ο κίνδυνος να επηρεαστεί η ικανότητα των πιλότων να χειριστούν το αεροσκάφος, η αεροπορικές αρχές της Αυστραλίας απαιτούν από τους πιλότους να έχουν καταναλώσει το τελευταίο αλκοολούχο ποτό τουλάχιστον 8 ώρες νωρίτερα από την πτήση⁵.

Ο κίνδυνος πρόκλησης τροχαίου ατυχήματος αυξάνεται σε περιπτώσεις χρήσεως θεραπευτικών φαρμάκων, όπως αντιυπερτασικά, αντισταμινικά, φάρμακα κατά του διαβήτη και άλλα λόγω ενδεχόμενης πρόκλησης λιποθυμίας, αδυναμίας ή άλλων παρενεργειών. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φαρμάκων, όπως μεταξύ αντισταμινικών και αντιφλεγμονωδών ουσιών, της οποίας τα αποτελέσματα πολύ συχνά δεν μπορούν να προβλεφθούν, είναι ένα ακόμα σοβαρός παράγοντας κινδύνου.

Ουσίες που δεν λαμβάνονται για ιατρικούς λόγους, όπως οι αμφεταμίνες και τα αναβολικά στεροειδή, ωθούν τον οδηγό να έχει ριψοκίνδυνη συμπεριφορά και συνεπώς αυξάνουν τον κίνδυνο τροχαίου ατυχήματος [25].

2.2. Αναζήτηση διέγερσης συναισθημάτων

Είναι γεγονός ότι τα τροχαία ατυχήματα ευθύνονται για ένα μεγάλο ποσοστό της θνησιμότητας και θνητότητας και τα έτη ζωής που χάνονται εξαιτίας αυτών είναι περισσότερα από αυτά που χάνονται λόγω των περισσότερων ανθρώπινων ασθενειών [25]. Καθώς στην συντριπτική πλειοψηφία τους τα τροχαία ατυχήματα οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, παράγοντες που άπτονται της ανθρώπινης συμπεριφοράς και της ψυχολογίας και φαίνονται να σχετίζονται με την πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων αποτελούν αντικείμενο αναρίθμητων και εκτενών ερευνών.

Από τις προσπάθειες ανάλυσης του ρόλου που διαδραματίζει ο ανθρώπινος παράγοντας στην πρόκληση των τροχαίων ατυχημάτων έχει προκύψει ότι υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης προσωπικότητας, τα οποία ενδεχομένως επηρεάζουν την

⁵ (The Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government, Australia 2006).

οδηγική συμπεριφορά. Για παράδειγμα, ένας ριψοκίνδυνος τρόπος οδήγησης μπορεί να προκαλέσει ένα τροχαίο ατύχημα, συνεπώς η προθυμία ή και η προδιάθεση ενός οδηγού για ριψοκίνδυνη οδήγηση είναι αναμφισβήτητα παράγοντας που αυξάνει τις πιθανότητες πρόκλησης ενός τροχαίου ατυχήματος.

Η προδιάθεση ανάληψης ρίσκου φαίνεται ότι σχετίζεται με κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της προσωπικότητας ενός ατόμου, όπως ο παρορμητισμός και η αναζήτηση διέγερσης συναισθημάτων ή αλλιώς *Sensation Seeking* [33]. Ο παρορμητισμός είναι η τάση ενός ατόμου να εμπλέκεται σε καταστάσεις ή να αντιδρά γρήγορα σε ερεθίσματα χάριν μιας ενδεχόμενης αμοιβής, χωρίς όμως να έχει σχεδιάσει ή να έχει λάβει υπόψιν του το ενδεχόμενο τιμωρίας ή απώλειας της αμοιβής [33]. Η αναζήτηση διέγερσης συναισθημάτων (ΑΔΣ) ορίζεται ως η *επιδίωξη ποικίλων, νέων, σύνθετων και έντονων συναισθημάτων και εμπειριών και της προθυμίας να αναληφθούν φυσικοί, κοινωνικοί, νομικοί και οικονομικοί κίνδυνοι χάριν αυτών των εμπειριών* [34][35][36]. Για την αποτίμηση της ΑΔΣ εισήχθη η κλίμακα μέτρησης (*Sensation Seeking Scale*), η οποία χρησιμοποιείται ως εργαλείο μέτρησης της ΑΔΣ σε πολλές έρευνες και διέκρινε ανάμεσα σε άτομα με υψηλής έντασης και χαμηλής έντασης ΑΔΣ.

Τόσο η παρόρμηση και όσο και η ΑΔΣ σχετίζονται με την συμμετοχή σε διάφορες ριψοκίνδυνες δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα τα επικίνδυνα αθλήματα και οι εγκληματικές πράξεις, αλλά και με την απρόσεκτη οδήγηση, οδήγηση με μεγάλες ταχύτητες και υπό την επήρεια αλκοόλ. Οδηγοί με το χαρακτηριστικό γνώρισμα της ΑΔΣ τείνουν να εμπλέκονται σε καταστάσεις που εμπεριέχουν ρίσκο, διότι αυτές πολύ συχνά τους προκαλούν μια νέα και έντονη διέγερση, την οποία αποζητούν [34].

Σειρά ερευνών δείχνει ότι η ΑΔΣ είναι εντονότερη στην εφηβεία από ότι στην ενήλικη ζωή και έφηβοι με υψηλή ΑΔΣ αναφέρουν μεγαλύτερο αριθμό περιστατικών όπου επέδειξαν ανεύθυνη συμπεριφορά [37].

Στην διαμόρφωση του γνωρίσματος της ΑΔΣ μπορεί να συμβάλει σε ένα βαθμό το κοινωνικό περιβάλλον, ωστόσο αποτελέσματα ερευνών σε δίδυμα που μεγάλωσαν στην οικογένεια και σε δίδυμα που χωρίστηκαν μετά την γέννα δείχνουν ότι η ΑΔΣ έχει γενετική βάση και κληρονομείται από γονείς σε παιδιά [33]. Συγκεκριμένα, η επιστήμη της συμπεριφορικής γενετικής που ασχολείται με τον εντοπισμό και την μελέτη γονιδίων που σχετίζονται με μορφές ψυχοπαθολογίας και με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης προσωπικότητας, έχει ανακαλύψει σχέση μεταξύ του υποδοχέα ντοπαμίνης D4 και της ΑΔΣ [38].

Η βιολογική βάση της ΑΔΣ μελετήθηκε ιδιαίτερα από τον Zuckerman (1994) [34][36][39], ο οποίος μελετώντας τα επίπεδα της μονοαμινοξειδάσης (ΜΑΟ) και την ενζυματική δράση που αυτή έχει στους νευροδιαβιβαστές μονοαμίνης, εξήγαγε συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο η ΜΑΟ επηρεάζει την συμπεριφορά και συγκεκριμένα κατέληξε στο ότι η εμπλοκή σε ριψοκίνδυνες καταστάσεις σχετίζεται με τα χαμηλά επίπεδα ΜΑΟ.

Η ΜΑΟ είναι ένα ένζυμο που μεταβολίζει τους νευροδιαβιβαστές, όπως η νορεπινεφρίνη, η ντοπαμίνη και η σεροτονίνη και ρυθμίζει την παραγωγή αυτών των νευροδιαβιβαστών κρατώντας τους σε ισορροπία. Παρατηρήθηκε ότι τα επίπεδα της ΜΑΟ είναι χαμηλότερα σε άτομα με υψηλής έντασης ΑΔΣ συγκριτικά με αυτά των ατόμων με χαμηλής έντασης ΑΔΣ.

Η αυξημένη πιθανότητα των ατόμων με υψηλής έντασης ΑΔΣ να εμπλακούν σε ριψοκίνδυνες δραστηριότητες όταν τους δοθεί η ευκαιρία σχετίζεται με την τάση τους να αξιολογούν έναν κίνδυνο ως μικρότερο σε σχέση με άτομα με χαμηλότερη ΑΔΣ και την προσδοκία τους ότι ακόμα σε πρωτόγνωρες για αυτούς καταστάσεις θα βιώσουν λιγότερο άγχος σε σχέση με αυτούς με χαμηλότερης έντασης ΑΔΣ [33]. Επίσης, τα άτομα με υψηλής έντασης ΑΔΣ θεωρούν κάποιες οδηγικές καταστάσεις ως μη επικίνδυνες, επειδή εκτιμούν ότι μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη ταχύτητα και να τηρήσουν μικρές αποστάσεις.

Ο Β. Α. Jonah [40] υποστήριξε ότι η ΑΔΣ ενδεχομένως δεν επηρεάζει μόνο τον τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί αντιλαμβάνονται και αντιδρούν σε έναν κίνδυνο ενώ οδηγούν, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο προσαρμόζονται σε αλλαγές του κινδύνου εντός του οδηγικού περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, οδηγοί με υψηλή ΑΔΣ εκμεταλλεύονται τις βελτιώσεις στην οδηγική ασφάλεια περισσότερο από τους οδηγούς με χαμηλή ΑΔΣ και επιδεικνύουν ακόμα πιο ριψοκίνδυνη συμπεριφορά.

Μεγάλο ενδιαφέρον έχει η έρευνα των Β. Α. Jonah et al [41] για την σχέση ανάμεσα στην ΑΔΣ και την ριψοκίνδυνη οδήγηση. Η έρευνα έγινε σε φοιτητές κολλεγίου, οι οποίοι εκλήθησαν να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο που αφορούσε την οδηγική τους συμπεριφορά και τα επίπεδα της ΑΔΣ. Από τις αναφορές των ίδιων των συμμετεχόντων προκύπτει ότι οι φοιτητές με έντονη ΑΔΣ συγκριτικά με τους φοιτητές με χαμηλής έντασης ΑΔΣ είναι πιο πιθανό να δηλώσουν ότι οδηγούν συχνά χωρίς ζώνη και να οδηγούν με ταχύτητα μεγαλύτερη των 120 χλμ/ώρα εάν στον αυτοκινητόδρομο δεν υπάρχει όριο ταχύτητας. Επίσης, οι φοιτητές με υψηλή ΑΔΣ δήλωσαν ότι καταναλώνουν πιο συχνά αλκοόλ και οδηγούν ενώ γνωρίζουν ότι τα επίπεδα αλκοόλ στο αίμα τους ήταν υψηλότερα από τα επιτρεπόμενα.

Measure	Level of sensation seeking		P
	Low (N = 145, %)	High (N = 134, %)	
Do not always use seat belts	4.9	13.4	0.02
Drive over 120 km/h on expressway if no limit	17.2	37.3	0.001
Drink 2-7 times per week	7.6	28.9	0.001
Drive within 2 h of drinking	28.3	39.5	0.07
Drive while over legal limit	3.5	11.1	0.04
Drink 5 plus beers in 2 h before driving ability impaired	8.9	26.0	0.01
Low chances impaired driver will be caught	23.9	50.8	0.001
Collision involvement last 2 years	20.0	26.1	n.s.
Traffic violation last 2 years	22.8	31.3	0.11

Πίνακας 5: Ριψοκίνδυνη οδήγηση, αντίληψη ρίσκου και ΑΔΣ [41]

Η ΑΔΣ έχει χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει μια ποικιλία συμπεριφορών και έχει βρεθεί ότι σχετίζεται θετικά με την ριψοκίνδυνη συμπεριφορά, την αντιπάθεια δομημένων και τυποποιημένων καταστάσεων και την προτίμηση για έντονες εμπειρίες και καταστάσεις περιπέτειας [42].

2.3. Επιθετικότητα και άγχος

Η επιθετικότητα των οδηγών κατά την οδήγηση είναι ένας ακόμα παράγοντας που έχει μελετηθεί για τον τρόπο με τον οποίο αυξάνει την πιθανότητα πρόκλησης τροχαίων ατυχημάτων, καθώς είναι γενικά αποδεκτό ότι τόσο η επιθετική όσο και η ριψοκίνδυνη οδήγηση είναι συμπεριφορές που μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του οδηγού και των υπόλοιπων χρηστών του οδικού δικτύου. Σύμφωνα με τους Lajunen et al. (1998, p. 108) [43] η επιθετική οδήγηση ορίζεται ως *κάθε μορφή οδηγικής συμπεριφοράς, η οποία έχει ως σκοπό να τραυματίσει ή να βλάψει σωματικά ή ψυχολογικά άλλους χρήστες του οδικού δικτύου*. Με βάση αυτό τον ορισμό η επιθετικότητα κατά την οδήγηση εκδηλώνεται μέσω συμπεριφορών όπως οι ασεβείς χειρονομίες, άσκοπο και υπερβάλλον κορνάρισμα, παραβίαση ερυθρών σηματοδοτών, υπερβολική ταχύτητα και οδήγηση σε πολύ κοντινή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα (tailgate).

Το έντονο συναίσθημα του θυμού συσχετίζεται με την επιθετικότητα και τα αρνητικά συναισθήματα απέναντι στην αιτία του θυμού και συνοδεύεται από μυική ένταση και διέγερση του νευρικού συστήματος. Ο θυμός ως συναίσθημα φαίνεται να είναι πιο συχνός κατά την οδήγηση παρά σε άλλες καταστάσεις [44], και αυτό μπορεί να εξηγηθεί από μια σειρά προβλημάτων που προκύπτουν σε μια οδηγική κατάσταση. Ένα από αυτά είναι η δυσκολία επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών ενός οδικού δικτύου και η επακόλουθη αδυναμία του αποδέκτη να ερμηνεύσει σωστά ένα μήνυμα. Άλλοι παράγοντες, όπως η πίεση χρόνου και η κυκλοφοριακή συμφόρηση, επιβαρύνουν συναισθηματικά τον οδηγό και συμβάλουν στην αύξηση της επιθετικότητας κατά την οδήγηση [45]. Επίσης, την εκδήλωση της οδηγικής επιθετικότητας διευκολύνει το γεγονός ότι οι κοινωνικές κυρώσεις κατά του θυμού στην οδήγηση είναι μικρές λόγω του ότι οι οδηγοί χάρις στο φυσικό εμπόδιο που τους παρέχουν τα οχήματα διατηρούν την ανωνυμία τους [46].

Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας καταδεικνύει ότι οι επιθετικοί οδηγοί τείνουν να εμπλέκονται σε περισσότερα τροχαία ατυχήματα και ένας από τους λόγους είναι η μειωμένη ικανότητα των οδηγών να διαχειριστούν ή να ελέγξουν την επιθετικότητα και τον θυμό τους [47][48][7]. Οι Norris et al ερεύνησαν τους παράγοντες κινδύνου για τροχαία ατυχήματα που σχετίζονται με τον χαρακτήρα ενός οδηγού και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μεγάλη επιθετικότητα σε συνδυασμό με χαμηλή αυτοεκτίμηση ήταν ένας παράγοντας πρόβλεψης μελλοντικών αυτοκινητιστικών ατυχημάτων. Ένα ακόμα εύρημά τους ήταν ότι οδηγοί με αυτό τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών είχαν πολύ περισσότερες πιθανότητες να εμπλακούν σε τροχαίο από οδηγούς δεν είχαν κανένα από τα δυο αυτά χαρακτηριστικά.

Η επιθετικότητα φαίνεται να σχετίζεται με τα επίπεδα της τεστοστερόνης, τα οποία στα αγόρια στο τέλος της εφηβείας είναι 18 φορές υψηλότερα από ότι στην αρχή της ενώ στα κορίτσια δυο φορές υψηλότερα [49]. Σε αντίθεση με την τεστοστερόνη, η σεροτονίνη, η οποία αναστέλλει την επιθετική συμπεριφορά, είναι χαμηλή στα εφηβικά χρόνια και αρχίζει να αυξάνεται σταθερά μετά τα μέσα της δεκαετίας των είκοσι. Η ανεύθυνη συμπεριφορά εκδηλώνεται όχι μόνο μέσω της διάπραξης πλημμελημάτων, αλλά και κατά την οδήγηση. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εγκληματικής δραστηριότητας, αλλά και τροχαίων ατυχημάτων παρατηρούνται μεταξύ ενηλίκων [49] και πολλές έρευνες δείχνουν ότι η επιθετικότητα σχετίζεται με την υψηλή ταχύτητα και την ριψοκίνδυνη οδηγική συμπεριφορά εφήβων και νεαρών ενηλίκων.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά είναι και το άγχος που προκαλεί η καθημερινή οδήγηση τους οδηγούς, η οποία θεωρείται μια στρεσογόνος εμπειρία. Το έντονο άγχος που μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο καρδιακού επεισοδίου και να προκαλέσει έλλειμα προσοχής και στρέβλωση της πραγματικότητας. Αντιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα μπορούν να προκληθούν από την οδήγηση σε στρεσογόνες συνθήκες, όπως θεωρούνται η οδήγηση μεγάλων αποστάσεων, οι αντίξοες καιρικές συνθήκες ή η κυκλοφοριακή κίνηση. Έρευνα των Vinoli et al [22] έδειξε ότι κατά την διάρκεια κυκλοφοριακής συμφόρησης και σε ομίχλη ο καρδιακός ρυθμός των οδηγών φορητών αυξήθηκε και παρατηρήθηκαν υπερκοιλιακές συστολές.

Η συναισθηματική κατάσταση του οδηγού όπως αυτή επηρεάζεται από την οικογενειακή του κατάσταση έχει επίσης αποτελέσει αντικείμενο ερευνών, από τις οποίες προέκυψε ότι οδηγοί που έκαναν αίτηση διαζυγίου προκάλεσαν πολλά ατυχήματα και έκαναν πολλές παραβιάσεις κατά την διάρκεια του χρόνου του διαζυγίου [50]. Σε μελέτες των Norris et al [7] παρατηρήθηκε ότι το έντονο άγχος στην εργασία είναι ένας παράγοντας πρόβλεψης τροχαίου ατυχήματος. Άλλες μελέτες έδειξαν ότι το επαγγελματικό περιβάλλον οδηγών που συμμετείχαν σε τροχαία ήταν πιο στρεσογόνο από ότι των οδηγών που δεν ενεπλάκησαν σε τροχαία [7][51]. Επίσης, σε έρευνα των Selzer και Vinokur (1974) [52] διαπιστώθηκε μια αντίστροφη σχέση μεταξύ εισοδήματος και αυτοκινητιστικών ατυχημάτων. Αυτό οδήγησε τους Norris et al [7] να υποθέσουν ότι το άγχος για την οικονομική κατάσταση αυξάνει την πιθανότητα για την εμπλοκή σε πιο σοβαρά τροχαία ατυχήματα.

2.4. Υπνηλία

Με βάση την γνώση της φυσιολογίας του ύπνου και των δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για την οδήγηση, μπορεί εύκολα να προβλεφθεί η αρνητική επίδραση της υπνηλίας στην οδηγική ικανότητα. Ο ρόλος της υπνηλίας ως παράγοντα που συμβάλει στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων με θανάτους και τραυματισμούς έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών επιδημιολογικών ερευνών, οι οποίες έχουν επιχειρήσει να χαρακτηρίσουν και να ποσοτικοποιήσουν την σχέση μεταξύ υπνηλίας και ρίσκου πρόκλησης τροχαίου ατυχήματος υπό συνηθισμένες οδηγικές συνθήκες και σε υπαρκτούς πληθυσμούς.

Η προσπάθεια ποσοτικοποίησης της σχέσης της υπνηλίας με τα τροχαία ατυχήματα κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό κατάλληλων παρεμβάσεων με σκοπό την μείωση των τροχαίων ατυχημάτων που οφείλονται στην υπνηλία των οδηγών. Στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι έως και το 20% των τροχαίων ατυχημάτων μπορεί να οφείλεται στην οδήγηση σε κατάσταση υπνηλίας [53][54], ενώ άλλες εκτιμήσεις κάνουν λόγο για 79.000 – 103.000 συγκρούσεις και 1.500 θύματα ετησίως στις ΗΠΑ λόγω υπνηλίας [55].

Για την εκτίμηση της κρισιμότητας του παράγοντα υπνηλία στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων, αρκετοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να διακρίνουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία διαφοροποιούν τα τροχαία ατυχήματα που οφείλονται σε υπνηλία

από άλλα τροχαία ατυχήματα. Έχει παρατηρηθεί ότι τα τροχαία ατυχήματα που σχετίζονται με την υπνηλία έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [56][54]:

- συμβαίνουν συνήθως το βράδυ ή στα μέσα του απογεύματος, όταν εμφανίζεται η φυσική τάση των ανθρώπων για ύπνο
- σε αυτά εμπλέκεται ένα όχημα, το οποίο εκτρέπεται από τον οδικό άξονα ή παρατηρείται μετωπική ή πλαγιομετωπική σύγκρουση
- λαμβάνουν χώρα σε αυτοκινητόδρομους μεγάλης ταχύτητας
- έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρούς τραυματισμούς

Ο ανθρώπινος κύκλος ύπνου-αφύπνισης και το πότε ένα άτομο θα νιώσει υπνηλία καθορίζεται από ομοιοστατικούς και κερκαδιανούς παράγοντες, οι οποίοι δημιουργούν ένα προβλέψιμο μοτίβο από δυο κορυφές υπνηλίας εντός της κάθε ημέρας και οι οποίες εμφανίζονται κατά την μέση του ύπνου και περίπου 12 ώρες αργότερα. Για τους περισσότερους ανθρώπους η πρώτη κορυφή είναι γύρω στις 2:00-5:00 π.μ. και στη μέση του απογεύματος [57]. Η στέρηση ύπνου ή ένας διαταραγμένος ύπνος αυξάνουν την υπνηλία, της οποίας οι επιπτώσεις δρουν αθροιστικά σε ένα άτομο. Όσο μεγαλύτερη είναι η στέρηση του ύπνου τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάγκη αυτός να αναπληρωθεί [58].

Η υπνηλία ως αποτέλεσμα νευροβιολογικών διαδικασιών και η συνεπακόλουθη μειωμένη απόδοση εμφανίζεται ανεξάρτητα από την μόρφωση, εκπαίδευση, το επάγγελμα και την προσπάθεια ενός ατόμου να παραμείνει ξύπνιο [59] και επιδρά με συγκεκριμένο τρόπο στον ανθρώπινο οργανισμό: απαιτείται μεγαλύτερη προσπάθεια για να παραμείνει το άτομο ξύπνιο και να αποδώσει αποτελεσματικά, μειώνεται η επαγρύπνηση και αυξάνεται ο χρόνος μη απόκρισης ή καθυστερημένης απόκρισης. Επίσης, επιβραδύνεται η επεξεργασία πληροφοριών και η βραχυπρόθεσμη μνήμη επηρεάζεται αρνητικά.

Η υπνηλία των οδηγών οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα στη μικρή διάρκεια και την κακή ποιότητα του ύπνου. Η υπνηλία κατά την διάρκεια της ημέρας σχετίζεται άμεσα με τον μειωμένο χρόνο βραδινού ύπνου, ο οποίος οδηγεί σε ραγδαία επιδείνωση της απόδοσης, όταν διαρκεί 5 ώρες ή και λιγότερο. Η κακή ποιότητα ύπνου μπορεί να οφείλεται σε διαταραχές ύπνου, όπως η υπνική άπνοια, αλλά σε εξωτερικούς παράγοντες, όπως ο θόρυβος και τα φώτα. Έρευνες έχουν δείξει ότι βραδινός ύπνος με διακοπές, κυρίως λόγω ροχαλητού, κάνει τους οδηγούς να νυστάζουν και να είναι επιρρεπείς σε ατυχήματα [60]. Πέραν των ανωτέρω, η χρήση ηρεμιστικών ή ψυχοδιεγερτικών ουσιών, όπως είναι η καφεΐνη, η νικοτίνη, τα υπνωτικά και τα αγχολυτικά, επηρεάζει τον κύκλο ύπνου-αφύπνισης, διαταράσσοντάς τον.

Το πρόβλημα της υπνηλίας κατά την οδήγηση αναδεικνύεται ως εξαιρετικά σημαντικό, εάν ληφθούν υπόψιν τα δεδομένα διάφορων ερευνών που αφορούν στα ποσοστά των οδηγών που αποκοιμήθηκαν την ώρα της οδήγησης. Σε δημοσκόπηση της κοινής γνώμης στον Καναδά το 20% των οδηγών παραδέχθηκαν ότι αποκοιμήθηκαν τουλάχιστον μια φορά, ενώ οδηγούσαν [61]. Στην έρευνα “Sleep in America” του 2002 το 51% των οδηγών παραδέχθηκε ότι οδηγούσε ενώ ένιωθε υπνηλία, το 17% παραδέχθηκε ότι μισοκοιμόταν και

το 1% ανέφερε ότι ενεπλάκη σε τροχαίο ατύχημα εξαιτίας υπνηλίας⁶ (National Sleep Foundation, 2002).

Αν και τα εκτιμώμενα δημοσιευμένα ποσοστά των τροχαίων που αποδίδονται στην υπνηλία διαφέρουν από χώρα σε χώρα και κυμαίνονται μεταξύ 3- 30% [62], υπάρχει μια πληθώρα ερευνών που παρέχουν επαρκείς αποδείξεις για τον αυξημένο κίνδυνο τροχαίων ατυχημάτων λόγω υπνηλίας των οδηγών, ο οποίος συνδέεται άμεσα με την επίδραση της αύπνιας στην οδηγική απόδοση [59]. Συγκεκριμένα, η αύπνια μειώνει τον βαθμό επαγρύπνησης και προσοχής του οδηγού και κατά συνέπεια και τον χρόνο αντίδρασής του. Η απόδοση του οδηγού επιδεινώνεται ακόμα περισσότερο όταν πέρα από την υπνηλία ο οδηγός έχει καταναλώσει έστω και μια μικρή ποσότητα αλκοόλ, η οποία υπό κανονικές συνθήκες θεωρείται ασφαλής [63]. Εργαστηριακές έρευνες έδειξαν ότι όταν νιώθουν την μεγαλύτερη υπνηλία, οι οδηγοί χάνουν την συνείδηση της ικανότητάς του να οδηγήσουν με ασφάλεια. Επίσης, οι οδηγοί που γνωρίζουν ότι νιώθουν υπερβολικά μεγάλη υπνηλία, υποτιμούν τον κίνδυνο να αποκοιμηθούν κατά την οδήγηση και μάλιστα μεταξύ ατόμων ποικίλει η ικανότητά τους να προβλέψουν το ξεκίνημα του ύπνου [57].

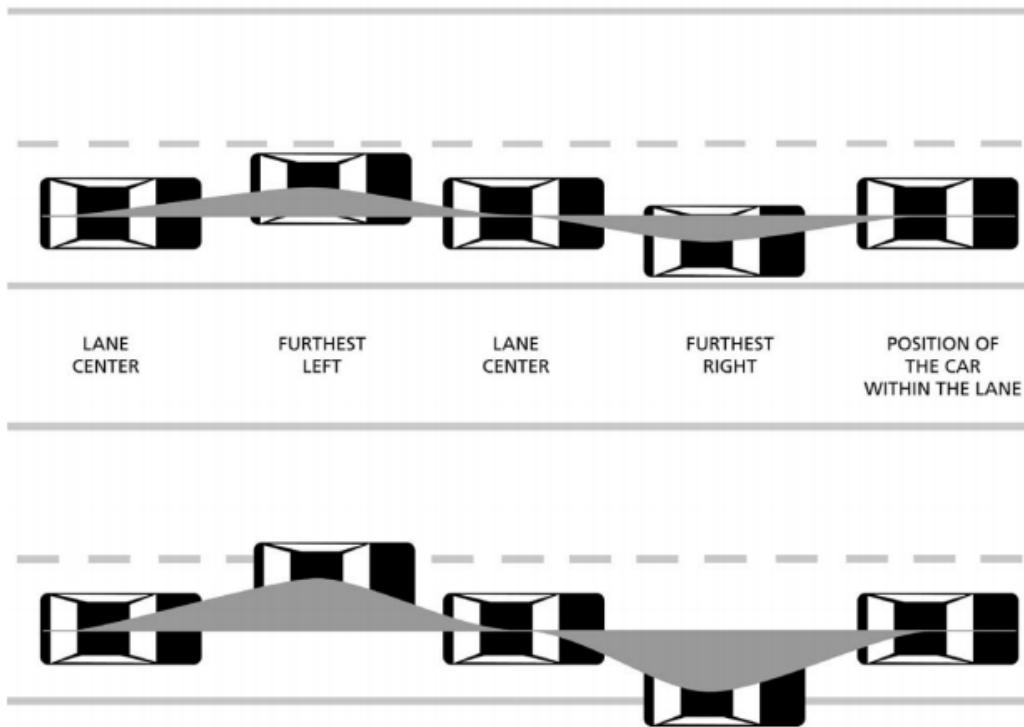
Έρευνες με προσομοίωση οδήγησης έχουν δείξει ότι η μείωση στην οδηγική απόδοση μετά από 21-24 ώρες αγρυπνίας είναι συγκρίσιμη με την επίδραση που έχει μια συγκέντρωση αλκοόλ στο αίμα της τάξης του περίπου 80mg-% [57].

Η αρνητική επίδραση της υπνηλίας στην οδηγική συμπεριφορά είναι εντονότερη και ο κίνδυνος για τροχαίο ατύχημα μεγιστοποιείται όταν η οδήγηση γίνεται σε ένα μονότονο οδηγικό περιβάλλον. Από μια έρευνα του 2004 προέκυψε ότι το 17% των τροχαίων ατυχημάτων στο Ηνωμένο Βασίλειο οφείλονταν μεν στην υπνηλία, αλλά αυτό το ποσοστό διαφοροποιείτο ανάλογα με τον τύπο του δρόμου [64].

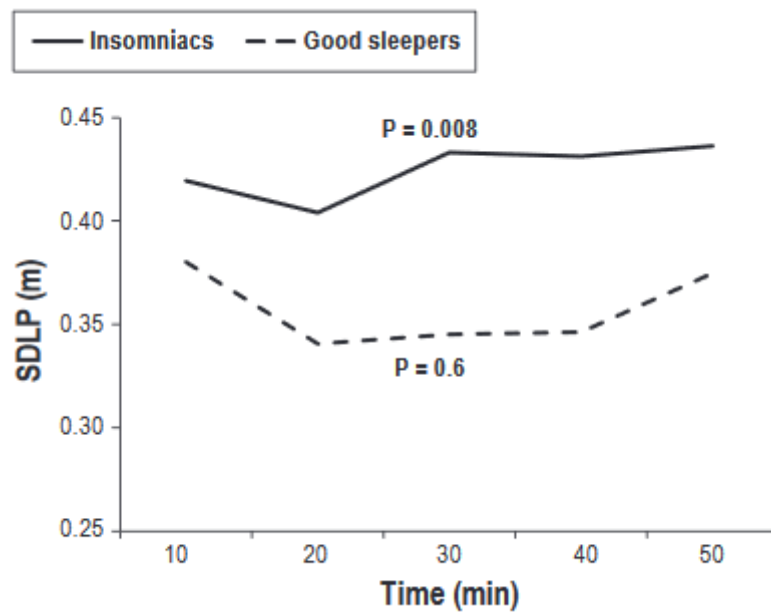
Οι Perrier et al [65] συνέκριναν την οδηγική απόδοση 21 άυπνων ασθενών και 16 υγείων εθελοντών, οι οποίοι υποβλήθηκαν σε τεστ προσομοίωσης οδήγησης μιας ώρας σε μονότονο αυτοκινητόδρομο και σε μια δεκάλεπτη άσκηση ψυχοκινητικής επαγρύπνησης. Οι άυπνοι οδηγοί απέκλιναν περισσότερες φορές από την κάθετη θέση και οδηγούνταν περισσότερες φορές εκτός την λωρίδας οδήγησης (Εικόνα 1, Γράφημα 3).

⁶ <https://www.sleepfoundation.org/professionals/sleep-american-polls/2002-adult-sleep-habits>

CALCULATION AND MEANING OF THE "WEAVING INDEX" (SDLP)



Εικόνα 1: Επεξήγηση απόκλισης από την κάθετη θέση (Standard Deviation of Lateral Position), (Verster et al 2004) [66]



Γράφημα 3: Απόκλιση από την κάθετη τυπική θέση σε εξομοιωτή, με μαύρη γραμμή οι άυπνοι, με διακεκομμένη αυτοί που κοιμούνται καλά [65]

Η υπνηλία κατά την οδήγηση ή το να αποκοιμούνται οι οδηγοί ενώ οδηγούν, θεωρείται ότι είναι ένας πιθανός σημαντικός παράγοντας για την πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων με τραυματισμούς, αν και η σχέση μεταξύ υπνηλίας και τροχαίων δεν έχει ακόμα

ποσοτικοποιηθεί. Τα εκτιμώμενα δημοσιευμένα ποσοστά των τροχαίων που αποδίδονται στην υπνηλία διαφέρουν από χώρα σε χώρα και κυμαίνονται μεταξύ 3- 30% [62].

Φως και ύπνος

Το ζήτημα της επίδρασης του φωτός στις ανθρώπινες λειτουργίες και ιδιαίτερα στον ύπνο έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών τις τελευταίες δεκαετίες. Η έκθεση σε υπερβολικό φως τη νύχτα μπορεί να διαταράξει την ξεκούραση και τον ύπνο των ανθρώπων και μπορεί να προκαλέσει σημαντική ενόχληση σε ορισμένα άτομα ιδίως όταν αυτά έχουν διαφόρων ειδών ευαισθησίες. Άτομα που επηρεάζονται από το υπερβολικό φως για παρατεταμένο χρονικό διάστημα μπορεί επίσης να αισθάνονται αναξιοπαθούντα.

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε πειραματόζωα έδειξαν πως η υπερβολική έκθεση στο φως για ένα παρατεταμένο χρονικό διάστημα, μπορεί να καταστείλει την έκκριση της μελατονίνης και να επηρεάσει έτσι αρνητικά τους βιολογικούς ρυθμούς στον άνθρωπο και κυρίως όσους σχετίζονται με την ανάπαυση και τον ύπνο.

Οι περισσότεροι ζωντανοί οργανισμοί στη γη ακολουθούν τον κίρκαδικό ρυθμό, ένα πρότυπο δηλαδή ύπνου και εγρήγορσης που υπαγορεύεται από τον κύκλο του 24ώρου με την εναλλαγή μέρας και νύχτας. Η έκθεση σε υπερβολικό εξωτερικό τεχνητό φωτισμό διαταράσσει αυτό τον κίρκαδικό ρυθμό, απορυθμίζοντας τις 74 βιολογικές λειτουργίες. Η παρατεταμένη αυτή διατάραξη συνδέεται με διαταραχές ύπνου, παχυσαρκία, διαβήτη, αυξημένη ανάπτυξη καρκινικών κυττάρων και ειδικά καρκίνο του μαστού.

Κεφάλαιο 3: Τεχνικοί παράγοντες

Πολλοί παράγοντες συμμετέχουν στον αυξημένο, δυστυχώς, αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων στη χώρα μας, όπως η υποδομή του οδικού δικτύου / περιβάλλοντος (π.χ. οδόστρωμα, σήμανση, φωτισμός), ο τεχνικός εξοπλισμός και η μηχανολογική κατάσταση των οχημάτων, ο έλεγχος του «οδικού μηχανισμού» (π.χ. επιτήρηση, αστυνόμευση, πρόληψη, περίθαλψη). Ο ανθρώπινος παράγοντας (οδηγοί, πεζοί), όμως, αποτελεί αδιαμφισβήτητα το σημαντικότερο.

Οι στατιστικές υποδεικνύουν ότι η οδηγική συμπεριφορά αποτελεί την κύρια αιτία ατυχημάτων (90%), καθιστώντας την τον πιο σημαντικό παράγοντα στον οποίο πρέπει να στρέψουμε την προσοχή μας.

Η αξιολογία του συστήματος Οδόστρωμα–Όχημα–Οδηγός καθορίζεται από πολυάριθμους και σύνθετους παράγοντες. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην οδηγική συμπεριφορά, πέραν από τα ατομικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με ψυχοσωματικούς–βιολογικούς παράγοντες, διαδραματίζουν και οι διάφοροι τεχνικοί παράγοντες που πρακτικά θέτουν το «περιβάλλον» στο οποίο καλείται ο οδηγός να ανταποκριθεί.

Από την στιγμή που η οδηγική συμπεριφορά καθορίζεται από την αντίληψη-εικόνα που έχουμε από το οδικό περιβάλλον, είναι πολύ σημαντικό να υιοθετήσουμε μια Context Sensitive Design (CDS) προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία θα μπορούμε να σχεδιάσουμε δρόμους που ικανοποιούν τις προσδοκίες των οδηγών, που αποτελούνται από επανάληψη αρμονικών και συντεταγμένων προτύπων (μοτίβο), χωρίς εκπλήξεις και ενοχλητικούς παράγοντες που μπορεί δυνητικά να προκαλέσουν απώλεια ελέγχου του οχήματος και ατύχημα.

Κρίνεται λοιπόν σημαντική η ανάγκη να αναλυθούν οι τεχνικοί–περιβαλλοντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά. Ο στόχος είναι σαφής. Να γίνουν αντιληπτοί οι παράγοντες και να ληφθούν υπόψη προκειμένου να γίνουν τα απαραίτητα βήματα ώστε να μειωθεί η επίδρασή τους στην οδηγική συμπεριφορά.

3.1. Η επιρροή του φωτισμού

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (φάσμα του «ορατού φωτός») και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος. Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες το φως εκδηλώνει ιδιότητες είτε φωτεινού κύματος, (φωτεινή ακτίνα), είτε δέσμης σωματιδίων, (φωτεινή δέσμη ή δέσμες). Το φυσικό φως είναι μια δυναμική παράμετρος, μεταβάλλεται από πρωί σε βράδυ, από μέρα σε μέρα και από εποχή σε εποχή αλλάζοντας την ένταση και το χρώμα του. Για τους μελετητές φωτισμού αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο τόσο στην αξιοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας (λιγότερα ενεργά φωτιστικά σώματα), όσο στο να ορίζει το χώρο και τα χρώματα, να αποκαλύπτει τις περίπλοκες λεπτομέρειες της υφής και της φόρμας και

έχει τη δύναμη να μεταμορφώνει δραματικά την αίσθηση και την αντίληψη εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, ενώ επιδρά στην ψυχολογική διάθεση των ανθρώπων.

Μελέτες που εκπονήθηκαν στο Πανεπιστήμιο Κρήτης έδειξαν ότι η σοβαρότητα των ατυχημάτων συσχετίζεται με το επίπεδο φωτισμού των δρόμων: το 25% των νυχτερινών οδικών ατυχημάτων σε δρόμους που δεν είναι φωτισμένοι είναι θανατηφόρα. Αυτό το ποσοστό είναι τουλάχιστον 3 φορές υψηλότερο σε σχέση με τα ατυχήματα που συμβαίνουν σε δρόμους με φωτισμό. Σημαντική επιβεβαίωση για τα παραπάνω αποτελεί το γεγονός ότι η ίδια αναλογία παρατηρείται και στη Μ. Βρετανία, η οποία παρουσιάζει τη μικρότερη συχνότητα θανατηφόρων ατυχημάτων στην Ευρώπη.

Η βελτίωση της ορατότητας τη νύχτα συμβάλει όχι μόνο στη μείωση των ατυχημάτων αλλά και στη δημιουργία αισθήματος ασφάλειας σε πεζούς και οδηγούς. Η σημασία της ύπαρξης ακρογραμμών και γραμμών αξόνων στις οδούς, αποδείχθηκε από έρευνες πως μειώνει τα ατυχήματα από 20-34%. Η ορθότερη προβολή των γραμμών αυτών θα μπορούσε να αυξήσει ακόμη περισσότερο την ασφάλεια μέσω της μείωσης του φωτός που αντανακλάται [67][68].

Είναι σημαντικό λοιπόν να αντιληφθούμε τους λόγους για τους οποίους λαμβάνει χώρα ένα τέτοιο δεδομένο, προκειμένου να αμβλύνουμε τα αίτια που οδηγούν σε αυτό. Υπάρχουν ισχυρά φυσιολογικά αίτια για αυτή την παρατήρηση.

Η επεξεργασία των οπτικών πληροφοριών σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού δεν πραγματοποιείται αποκλειστικά από τα «γρήγορα» κωνία, τους φωτοϋποδοχείς της όρασης που εξασφαλίζουν γρήγορες αποκρίσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά από τα ραβδία που παρουσιάζουν αργές αντιδράσεις. Ως αποτέλεσμα, οι αργοί οπτικοί χρόνοι αντίδρασης απαιτούν μεγαλύτερες αποστάσεις για την ακινητοποίηση των οχημάτων και καταλήγουν σε ισχυρότερες συγκρούσεις στην περίπτωση ατυχήματος.

Επιπλέον, λόγω της αύξησης του μεγέθους της κόρης του οφθαλμού, στο σούρουπο και σε δρόμους χωρίς φωτισμό, η επίδραση οποιουδήποτε μη διορθωμένου διαθλαστικού σφάλματος (μυωπίας, υπερμετρωπίας, αστιγματισμού) στην όραση είναι πολύ μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα η ανίχνευση πιθανών κινδύνων να είναι ακόμα δυσκολότερη. Ταυτόχρονα, ο οδηγός εκτίθεται συνεχώς στα φώτα των επερχόμενων οχημάτων που προκαλούν θάμβος στην όραση, κούραση και περαιτέρω μείωση των αντανακλαστικών του.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ίδιοι οι οδηγοί δε γνωρίζουν ότι η όρασή τους είναι μειωμένη και τα αντανακλαστικά τους επιβραδύνονται σημαντικά κατά την οδήγηση σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού, ενώ συνηθίζουν να οδηγούν με μεγαλύτερη ταχύτητα στους δρόμους που παρουσιάζουν μειωμένη κίνηση το βράδυ. Σε πολλές περιπτώσεις τα ακανόνιστα διαστήματα όπου χωροθετούνται οι εξωτερικές πηγές φωτισμού, μειώνουν την ικανότητα πεζών και οδηγών να βλέπουν και να προσανατολίζονται. Υψηλής λαμπρότητας φωτισμός, αρκετά μεγαλύτερος από τα όρια που έχουν τεθεί, προκαλεί απόσπαση προσοχής και αποπροσανατολισμό. Φωτεινές επιγραφές και φώτα κτιρίων που αναβοσβήνουν επίσης επιδρούν αρνητικά στην οπτική συγκέντρωση.

Ο κατάλληλος (σταθερός) φωτισμός στους δημόσιους δρόμους είναι υψίστης σημασίας, καθώς βοηθά οχήματα και πεζούς να κινηθούν σε ένα νυχτερινό περιβάλλον, να μπορούν να δουν άνετα και να εντοπίσουν γρήγορα και με ακρίβεια ανθρώπους, αντικείμενα, εμπόδια

μέσα στο δρόμο που διανύουν. Ο φωτισμός των οδών βελτιώνει την οδική ασφάλεια και συμβάλει στην επίτευξη της αποτελεσματικής διακίνησης της κυκλοφορίας υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Ο σχεδιασμός συστημάτων φωτισμού των οδών κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως η ορατότητα, η ασφάλεια, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η πολυπλοκότητα του οπτικού πεδίου ακόμα και η οικονομία ή η αισθητική.

Η διαδικασία σχεδιασμού και μελέτης του οδοφωτισμού ακολουθεί τα εξής βήματα :

1. προσδιορισμός της κατάταξης του οδοστρώματος και των οδών των παρακείμενων περιοχών συναρτήσει της χρήσης του δρόμου και του κυκλοφοριακού φορτίου
2. επιλογή της επιθυμητής φωτεινότητας και λαμπρότητας του οδοστρώματος και του πεζοδρομίου των οδών συναρτήσει της χρήσης του δρόμου και του κυκλοφοριακού φορτίου
3. επιλογή των πηγών φωτός και των φωτιστικών σωμάτων
4. επιλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των συστημάτων φωτισμού
5. υπολογισμός της απόστασης των προς «γεφύρωση» φωτεινών θέσεων
6. καθορισμός οριακών καταστάσεων φωτισμού
7. επιλογή των στηριγμάτων των φωτιστικών και αποδεκτή αισθητική εμφάνιση
8. τήρηση των απαιτούμενων προϋποθέσεων για την ασφάλεια της κυκλοφορίας

Όσον αφορά τον οδικό και κυκλοφοριακό φωτισμό, κατά **DIN 13201-1**, παρέχονται οδηγίες για τα συνιστώμενα πρότυπα φωτισμού για ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες σε πολυσύχναστους δρόμους, ποδηλατόδρομους και πεζοδρομημένα κέντρα πόλεων (αν και συνεχώς υπόκειται σε αναθεώρηση). Στον ακόλουθο πίνακα, ταξινομούνται οι συνθήκες φωτισμού από A1 έως E2 βάσει των κυρίων χρηστών, της ταχύτητας κυκλοφορίας, ορίζονται τα είδη των χρηστών κάθε κατηγορίας και παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογών.

Κατάσταση	Ταχύτητα κυρίων χρηστών	Κύριοι χρήστες	Άλλοι χρήστες	Παραδείγματα εφαρμογών
A1	> 60 km/h	Μηχανοκίνητα οχήματα		Αυτοκινητόδρομοι
A2			Βραδυκίνητα οχήματα	Εθνικοί δρόμοι
A3			Βραδυκίνητα οχήματα, ποδηλάτες, πεζοί	Μικροί επαρχιακοί δρόμοι
B1	30 – 60 km/h	Μηχανοκίνητα, Βραδυκίνητα οχήματα	Ποδηλάτες, πεζοί	Κορμός οδικού δικτύου και οδοί διανομής
B2		Μηχανοκίνητα, Βραδυκίνητα οχήματα, ποδηλάτες	Πεζοί	
C1	5 – 30 km/h	Ποδηλάτες	Πεζοί	Ποδηλατοδρόμοι, μονοπάτια
D1	5 – 30 km/h	Μηχανοκίνητα οχήματα, πεζοί		Περιοχή υπηρεσιών αυτοκ/μων
D2			Βραδυκίνητα οχήματα, ποδηλάτες	Πρατήρια, σταθμοί, χώροι στάθμευσης
D3		Μηχανοκίνητα, ποδηλάτες	Βραδυκίνητα οχήματα, πεζοί	Τοπικό δίκτυο, ζώνη 30km/h με μονοπάτια
D4		Μηχανοκίνητα, Βραδυκίνητα οχήματα, ποδηλάτες, πεζοί		Τοπικό δίκτυο, ζώνη 30km/h χωρίς μονοπάτια
E1	Ταχύτητα βήματος	Πεζοί		Πεζοί και χώροι αγορών
E2			Μηχανοκίνητα, Βραδυκίνητα οχήματα, ποδηλάτες,	Πεζοί και χώροι αγορών με δυνατότητα φόρτωσης/εκφόρτωσης

Πίνακας 6: Συνθήκες φωτισμού σύμφωνα με το Πρότυπο DIN EN 13201 [69]

Αξίζει να σημειωθεί πως στην Ελλάδα, η **Εγκύκλιος του ΥΠΕΧΩΔΕ Δ13/0/281/22/2-3-1990** σχετίζεται με τις απαιτήσεις του φωτισμού των κυκλοφοριακών συνδέσεων στο οδικό δίκτυο, συμπεριλαμβάνει όμως μόνον τη θάμβωση. Τα συνιστώμενα επίπεδα φωτεινότητας και φωτισμού βάσει της **IESNA** (Illuminating Engineering Society of North America) αναλύονται στους ακόλουθους πίνακες ανάλογα με τη χρήση και το είδος του δρόμου (τοπικός, ενδιάμεσης κυκλοφορίας, κύριας κυκλοφορίας, ταχείας κυκλοφορίας και αυτοκινητόδρομος) και την περιοχή ταξινόμησης (εμπορική, κατοικημένη, ενδιάμεση).

(a) Maintained Luminance Values (L_{avg}) in Candelas per Square Meter*					
Road and Area Classification		Average Luminance L_{avg}	Luminance Uniformity		Veiling Luminance Ratio (maximum) L_v to L_{avg}
			L_{avg} to L_{min}	L_{max} to L_{min}	
Freeway Class A		0.6	3.5 to 1	6 to 1	0.3 to 1
Freeway Class B		0.4	3.5 to 1	6 to 1	0.3 to 1
Expressway	Commercial	1.0	3 to 1	5 to 1	0.3 to 1
	Intermediate	0.8	3 to 1	5 to 1	
	Residential	0.6	3.5 to 1	6 to 1	
Major	Commercial	1.2	3 to 1	5 to 1	0.3 to 1
	Intermediate	0.9	3 to 1	5 to 1	
	Residential	0.6	3.5 to 1	6 to 1	
Collector	Commercial	0.8	3 to 1	5 to 1	0.4 to 1
	Intermediate	0.6	3.5 to 1	6 to 1	
	Residential	0.4	4 to 1	8 to 1	
Local	Commercial	0.6	6 to 1	10 to 1	0.4 to 1
	Intermediate	0.5	6 to 1	10 to 1	
	Residential	0.3	6 to 1	10 to 1	

(b) Average Maintained Illuminance Values (E_{avg}) in Lux†					
Road and Area Classification		Pavement Classification			Illuminance Uniformity Ratio E_{avg} to E_{min}
		R1	R2 and R3	R4	
Freeway Class A		6	9	8	3 to 1
Freeway Class B		4	6	5	
Expressway	Commercial	10	14	13	3 to 1
	Intermediate	8	12	10	
	Residential	6	9	8	
Major	Commercial	12	17	15	3 to 1
	Intermediate	9	13	11	
	Residential	6	9	8	
Collector	Commercial	8	12	10	4 to 1
	Intermediate	6	9	8	
	Residential	4	6	5	
Local	Commercial	6	9	8	6 to 1
	Intermediate	5	7	6	
	Residential	3	4	4	

Notes

1. L_v = veiling luminance
 2. These tables do not apply to high mast interchange lighting systems, e.g., mounting heights over 20 meters. See Fig. 24-9.
 3. The relationship between individual and respective luminance and illuminance values is derived from general conditions for dry paving and straight road sections. This relationship does not apply to averages.
 4. For divided highways, where the lighting on one roadway may differ from that on the other, calculations should be made on each roadway independently.
 5. For freeways, the recommended values apply to both mainline and ramp roadways.
- * For approximate values in candelas per square foot, multiply by 0.1.
† For approximate values in footcandles, multiply by 0.1.

Πίνακας 7: Συνιστώμενα επίπεδα φωτεινότητας και φωτισμού βάσει IESNA [70][71]

Road Classification	Horizontal Illuminance (E_{avg}) in Lux		
	Commercial Area	Intermediate Area	Residential Area
Freeways	6	6	6
Expressways	10	8	6
Major	12	9	6
Collector	8	6	6

* Recommended uniformity of illumination is 3 to 1 or better; average-to-minimum for all road classifications at the illuminance levels recommended above. These design values apply only to the travelled portions of the roadway. Interchange roadways are treated individually for purposes of uniformity and illuminance level analysis.

† For approximate values in footcandles, multiply by 0.1.

Πίνακας 8: Τιμές φωτισμού βάσει της IESNA [70][71]

Η επίδρασή του φωτισμού στα διάφορα οδηγικά περιβάλλοντα είναι ιδιαίτερα κρίσιμη. Είναι σημαντικό λοιπόν να αναλυθούν παραπάνω κάποια οδηγικά περιβάλλοντα με ιδιαίτερες απαιτήσεις σχετικά με τον φωτισμό τους.

Σήραγγες

Οι σήραγγες, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σύνθετο και κρίσιμο οδηγικό περιβάλλον. Οι απαιτήσεις φωτισμού τους είναι εντελώς διαφορετικές από αυτές της ανοιχτής οδοποιίας. Θα πρέπει να παρέχουν στον οδηγό ασφάλεια, άνεση και εμπιστοσύνη σε επίπεδο όχι χαμηλότερο από εκείνο που υπάρχει κατά μήκος των δρόμων πρόσβασης στη σήραγγα, τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και κατά την διάρκεια της νύχτας⁷[72].

Ο φωτισμός της σήραγγας κατά την διάρκεια της ημέρας είναι κρίσιμότερος επειδή οι υψηλές τιμές λαμπρότητας που επικρατούν εξωτερικά της σήραγγας σε σχέση με το εσωτερικό της δυσκολεύουν την οπτική προσαρμογή του οδηγού. Η υψηλή αντίθεση μεταξύ του εξωτερικού και εσωτερικού φωτισμού στην είσοδο της οδικής σήραγγάς δίνει την αίσθηση της "μαύρης τρύπας"¹ στο οπτικό πεδίο του οδηγού, επικίνδυνο φαινόμενο για τους οδηγούς [73].



Εικόνα 2: Προσέγγιση προς την σήραγγα. Διακρίνεται το φαινόμενο της «μαύρης τρύπας» [72]

Για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού, βάσει των προτύπων υπολογισμού, εγκαθίσταται μεγάλος αριθμός φωτιστικών σωμάτων στις πρώτες ζώνες των σηράγγων (TBM, 2014)⁸, το πλήθος των οποίων εξαρτώνται από την λαμπρότητα του φυσικού φωτισμού που προσπίπτει στην είσοδο του στομίου της σήραγγας και από το όριο ταχύτητας διέλευσης των αυτοκινήτων.

⁷ Χριστίνα Γκάτζγκα, 'Η Επίδραση του Φυσικού Φωτισμού στο Σύστημα Φωτισμού Ημιστεγάστρων

⁸ TBM, M. T. (2014, MARCH 27). Tunnel Vision. Ανάκτηση από <https://tunnelingonline.com/tunnel-lights-safety/>

Μερικοί από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τον φωτισμό της σήραγγας είναι:

- τα χαρακτηριστικά του δρόμου κυκλοφορίας
- το υλικό της επικάλυψης των τοιχίων
- ο προσανατολισμός της σήραγγας
- το περιβάλλον περιμετρικά του στομίου της σήραγγας κλπ.

Αντίστοιχα προβλήματα δημιουργούνται και κατά την έξοδο από τη σήραγγα. Όταν το στόμιο εξόδου της σήραγγας καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της ορατότητας που φαίνεται από το στόμιο εισόδου της σήραγγα τότε άλλοι οδηγοί ή αντικείμενα μπορούν εύκολα να θεωρηθούν ως σκοτεινές φιγούρες μπροστά από ένα φωτεινό φόντο. Από την άλλη πλευρά, απαιτείται τεχνητός φωτισμός όταν η έξοδος βρίσκεται σε ένα σχετικά μεγάλο σκοτεινό πλαίσιο, στο οποίο μπορούν να μην φαίνονται τα αντικείμενα. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν η μικρού μήκους σήραγγα είναι οριακά $< 200\text{m}$ ή όταν η μικρού μήκους σήραγγα έχει τέτοια καμπύλη ώστε ένα μέρος από την έξοδο να είναι ορατό ή όταν η έξοδος δεν είναι καθόλου ορατή ή ο δρόμος έχει μεγάλη κλίση.

Συνεπώς, ο κρίσιμος παράγοντας είναι εάν οι οδηγοί που προσεγγίζουν την είσοδο ή την έξοδο της σήραγγας από την απόσταση πέδησης μπορούν να διακρίνουν οχήματα, άλλους χρήστες του δρόμου, πεζούς ή πιθανά εμπόδια [72].

Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την οπτική αντίληψη ή και αναγνώριση οχημάτων, πεζών και αντικειμένων, είναι οι ακόλουθοι:

- **Μέση λαμπρότητα (L_{av}):** Είναι η μέση τιμή της λαμπρότητας σε μια ορισμένη επιφάνεια υπολογισμού. Στις σήραγγες η μέση λαμπρότητα μετράται τόσο στην επιφάνεια του οδοστρώματος όσο και στην τοιχοποιία σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών
- **Ομοιομορφία (U) :** Η σωστή κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα καθορίζει την ποιότητα του φωτεινού αποτελέσματος (Τοπαλής κ.ά.,2016, σελ. 258). Το μέγεθος που εκφράζει τη σχέση των λαμπροτήτων σε μια επιλεγμένη περιοχή ονομάζεται ομοιομορφία (U). Στον οδοφωτισμό και στις οδικές σήραγγες συναντάμε δύο συντελεστές ομοιομορφίας: την συνολική ομοιομορφία (U_o) και την διαμήκη (UI) ομοιομορφία.
- **Κάθετη ένταση φωτισμού (E_v)** Είναι η ένταση φωτισμού σε μια συγκεκριμένη θέση σε ύψος 0,1m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου, στην κάθετη επιφάνεια προς την κατεύθυνση της επερχόμενης κίνησης. Το ύψος 0,1m πάνω από την επιφάνεια του δρόμου αντιπροσωπεύει το κέντρο ενός αντικειμένου με διαστάσεις 0,2m x 0.2m.
- **Δείκτης θάμβωσης (Threshold Increment, TI%) :** Ο δείκτης θάμβωσης είναι μια παράμετρος που αφορά την ασφάλεια κίνησης του οδηγού καθώς διανύει ένα δρόμο. Η θάμβωση ορίζεται ως η αίσθηση στιγμιαίας τύφλωσης που προκύπτει από μια φωτεινή πηγή φωτός, όταν αυτή εισέλθει στο οπτικό πεδίο ενός ανθρώπου. Αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.
- **Αντίθεση λαμπρότητας (Contrast, C) :** Η αντίθεση λαμπρότητας (C) ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντος τους, το οποίο βοηθάει στην αναγνώριση τους και εκφράζεται από την κάτωθι σχέση:

$$C = \frac{L_0 - L_b}{L_b} \quad , \text{ όπου:}$$

L_0 = Λαμπρότητα αντικειμένου

L_b = λαμπρότητα περιβάλλοντος στο οποίο το αντικείμενο γίνεται ορατό

- **Συντελεστής αντίθεσης** (Contrast revealing coefficient (q_c)): Είναι το πηλίκο της μέσης λαμπρότητας L της επιφάνειας του δρόμου προς την κατακόρυφη ένταση φωτισμού EVT στο σημείο αυτό.
- **Φωτεινή πάλμωση (Flicker)**: Η φωτεινή πάλμωση είναι το αποτέλεσμα της περιοδικής μεταβολής της λαμπρότητας στο πεδίο όρασης, που προκαλείται από την τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων στην τοιχοποιία ή στην οροφή της σήραγγας. Αναλύεται επίσης διεξοδικότερα ακολούθως.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κρίσιμοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό φωτισμού της σήραγγας οι οποίοι είναι μεταβλητοί και περιλαμβάνουν:

- Τις φυσικές συνθήκες της οδού όπως:
 - η πρόσβαση της σήραγγας,
 - η διάρκεια της σήραγγας,
 - ο προσανατολισμός της σήραγγας
 - οι ατμοσφαιρικές συνθήκες
 - η πυκνότητα κυκλοφορίας
 - τα χαρακτηριστικά του δρόμου κυκλοφορίας
 - το περιβάλλον περιμετρικά του στομίου της σήραγγας κλπ.
 - ο όγκος των οχημάτων
 - η ταχύτητα των οχημάτων
 - οι τύποι των οχημάτων
 - το υλικό της επικάλυψης των τοιχίων
- Πρόσθετες θεωρήσεις, περιλαμβάνουν τη συμβολή του φωτισμού στην είσοδο του στομίου της σήραγγας και αφορούν :
 - Την οπτική καθοδήγηση
 - Την άνεση και
 - τη συνολική συντήρηση της εγκατάστασης

Ακολούθως παρατίθενται τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης του οδικού φωτισμού της σήραγγας τα οποία καθορίζουν την ποιότητα του συστήματος φωτισμού, τα οποία είναι:

- Το επίπεδο φωτεινότητας του δρόμου και των τοίχων σε ύψος 2m από την επιφάνεια του αυτοκινητόδρομου
- Η ομοιομορφία και η κατανομή της φωτεινότητας της οδού και των τοίχων
- Ο περιορισμός της αντανάκλασης που παράγεται από τις πηγές φωτός
- Ο περιορισμός της φωτεινής πάλμωσης (flickering)
- Το επίπεδο ορατότητας των πιθανών εμποδίων

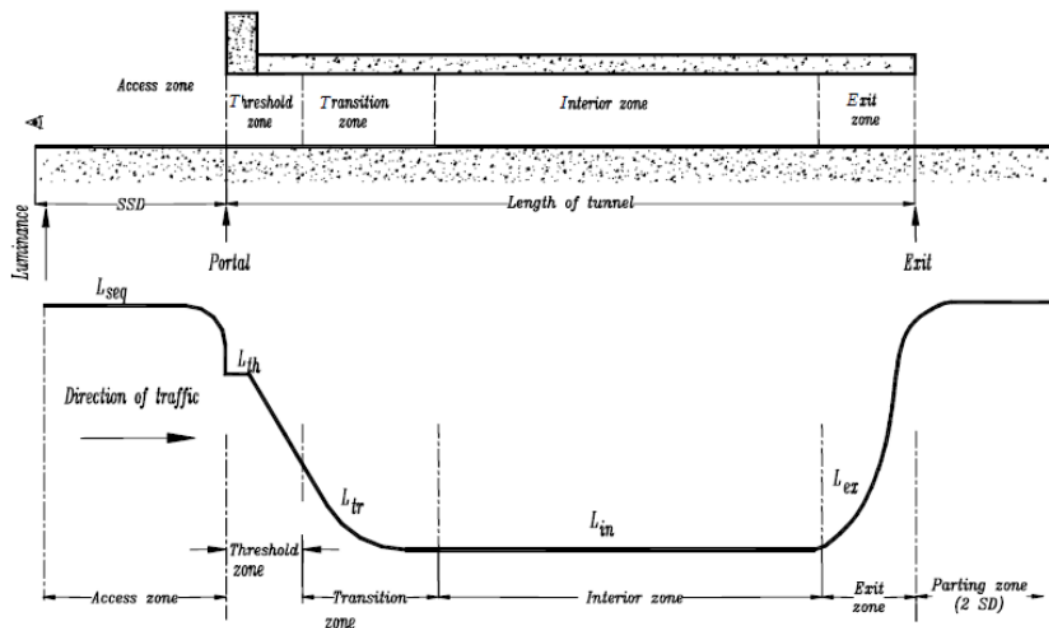
Κατά την διάρκεια της ημέρας ο σχεδιασμός του φωτισμού ημέρας είναι κρίσιμος λόγω του ανθρώπινου οπτικού συστήματος. Ο χρόνος προσαρμογής του ματιού από ένα φωτεινό σε ένα σκοτεινό περιβάλλον απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο προσαρμογής από ότι το αντίστροφο (παρότι και σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει δυσκολία να αντιληφθεί ταυτόχρονα λεπτομέρειες στο δρόμο κάτω από τα επίπεδα φωτισμού που υπάρχουν σε ένα εξαιρετικά φωτισμένο περιβάλλον). Θα πρέπει να υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν έξω από το περιβάλλον της σήραγγας. Πιο συγκεκριμένα, να προβλεφθεί τέτοια λαμπρότητα στην είσοδο της που να ελαχιστοποιεί αυτή την μετάβαση λαμπρότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μεγάλου αριθμού φωτιστικών σωμάτων στα πρώτα τμήματα της σήραγγας τα οποία είναι και τα πιο κρίσιμα που αφορούν στην προσαρμογή του ματιού. Ο φωτισμός της σήραγγας κατά την διάρκεια της ημέρας είναι μεταβλητός και ακολουθεί την εξωτερική λαμπρότητα και αναλόγως ενεργοποιούνται κάθε φορά οι αντίστοιχη ομάδα φωτιστικών σωμάτων τα οποία έχουν προκύψει από την μελέτη φωτισμού

Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο φωτισμός της σήραγγας ακολουθεί τα επίπεδα φωτισμού που επικρατούν έξω από την σήραγγα, είναι σταθερός και έχει την ίδια τιμή λαμπρότητας καθ' όλη την διάρκεια της νύχτας.

Γεννιέται λοιπόν η ανάγκη να περιγραφούν οι διάφορες ζώνες φωτισμού στη σήραγγα, για τις οποίες ισχύουν διαφορετικά δεδομένα κατά τη διάρκεια του φωτισμού ημέρας.

Ζώνες φωτισμού οδικών σιράγγων

Με βάση τα πρότυπα διακρίνονται διαφορετικές ζώνες προσαρμογής για να καθορισθεί το επίπεδο διαμήκους φωτισμού στον ημερήσιο φωτισμό της σήραγγας οι οποίες είναι: η ζώνη προσέγγισης, η ζώνη κατωφλίου, η μεταβατική ζώνη, η εσωτερική ζώνη, η ζώνη εξόδου και η ζώνη διαχωρισμού [72].



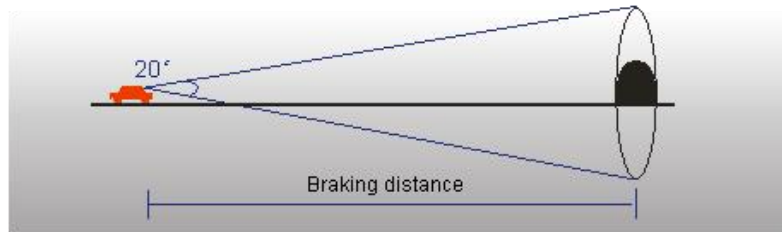
Typical longitudinal section of a one way tunnel

Εικόνα 3: Ζώνες φωτισμού σήραγγας (ΕΛΟΤ CR 14380). Τυπική όψη σήραγγας μονής κατεύθυνσης [72]

- **Ζώνη προσέγγισης (Access Zone):** Πρόκειται για το τμήμα του ανοιχτού δρόμου που βρίσκεται ακριβώς έξω από την είσοδο της σήραγγας, από το τμήμα αυτό ο οδηγός πρέπει να είναι σε θέση να διακρίνει τι υπάρχει μέσα στη σήραγγα. Το μήκος αυτής της ζώνης ισούται με την απόσταση πέδησης (SD – Stopping Distance).
- **Ζώνη Κατωφλίου (Threshold Zone):** Πρόκειται για το αρχικό μέρος της σήραγγας, αμέσως μετά την είσοδο της σήραγγας. Το μήκος της ζώνης κατωφλίου είναι ίσο με την απόσταση πέδησης (SD).
- **Μεταβατική Ζώνη (Transition Zone):** Είναι το μέρος της σήραγγας που έπεται της ζώνης κατωφλίου. Η μεταβατική ζώνη εκτείνεται από το τέλος της ζώνης κατωφλίου μέχρι της αρχή της εσωτερικής ζώνης. Στη μεταβατική ζώνη, το επίπεδο φωτισμού μειώνεται σταδιακά από το επίπεδο φωτισμού που υπάρχει στο τέλος της ζώνης κατωφλίου έως το επίπεδο της εσωτερικής ζώνης.
- **Εσωτερική ζώνη (Interior Zone):** Πρόκειται για το μέρος της σήραγγας αμέσως μετά τη μεταβατική ζώνη. Η εσωτερική ζώνη εκτείνεται από το τέλος της μεταβατικής ζώνης έως την αρχή της ζώνης εξόδου.
- **Ζώνη Εξόδου (Exit Zone):** Αναφέρεται στο κομμάτι της σήραγγας στο οποίο κατά τη διάρκεια της ημέρας η όραση του οδηγού που προσεγγίζει την έξοδο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη φωτεινότητα που υπάρχει στο εξωτερικό της σήραγγας. Η ζώνη εξόδου εκτείνεται από το τέλος της εσωτερικής ζώνης έως την έξοδο της σήραγγας.
- **Ζώνη Διαχωρισμού (Parting Zone):** Είναι το πρώτο τμήμα του ανοιχτού δρόμου αμέσως μετά την πύλη εξόδου της σήραγγας. Η ζώνη διαχωρισμού δεν αποτελεί μέρος της σήραγγας, αλλά συνδέεται στενά με τον φωτισμό της σήραγγας. Οι ζώνες διαχωρισμού ξεκινούν από την ζώνη εξόδου. Συνιστάται το μήκος της ζώνης διαχωρισμού να ισούται με το διπλάσιο της απόστασης πέδησης. Το μήκος αυτό δεν χρειάζεται να ξεπερνάει τα 200m.

Για κάθε μία από τις παραπάνω ζώνες υπάρχει διαφορετική τιμή απαιτούμενης λαμπρότητας, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι μετρήσεις της λαμπρότητας λαμβάνονται από απόσταση ίση με την απόσταση ασφαλούς πέδησης (SSD) :

- **Λαμπρότητα της ζώνης προσέγγισης (L₂₀):** Είναι η μέση λαμπρότητα που περιέχεται σε κωνικό οπτικό πεδίο, υποκείμενη σε γωνία 20°, με την κορυφή τη θέση του οφθαλμού ενός οδηγού σε ύψος 1.5m, που πλησιάζει στη σήραγγα και στοχεύει στο κέντρο του στομίου της σήραγγας. Το L₂₀ υπολογίζεται από ένα σημείο σε απόσταση ίση με την απόσταση πέδησης από την είσοδο της σήραγγας το οποίο βρίσκεται στη μέση της λωρίδας κυκλοφορίας.



Εικόνα 4: Ασφαλής απόσταση πέδησης (SSD)⁹

- **Λαμπρότητα της ζώνης κατωφλίου (L_{th}):** Είναι η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας της δρόμου μιας εγκάρσιας λωρίδας, σε μια δεδομένη θέση στη ζώνη κατωφλίου της σήραγγας.
- **Λαμπρότητα της μεταβατικής ζώνης (L_{tr}):** Είναι η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας της δρόμου μιας εγκάρσιας λωρίδας, σε μια δεδομένη θέση στη ζώνη μετάβασης της σήραγγας.
- **Λαμπρότητα της εσωτερικής ζώνης (L_{in}):** Είναι η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας της δρόμου μιας εγκάρσιας λωρίδας, σε μια δεδομένη θέση στη ζώνη εισόδου της σήραγγας.
- **Διακύμανση τιμών λαμπρότητας:** Ο φωτισμός της σήραγγας μειώνεται βαθμιαία στις διάφορες ζώνες της σήραγγας. Έμμεση σχέση με τον φωτισμό έχει και η απόσταση ασφαλούς πέδησης.

Καθορισμός απόστασης ασφαλούς πέδησης (Stopping Distance, S.D.):

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που σχετίζονται με την ασφάλεια, είναι η ταχύτητα. Στην πράξη, τα σχέδια της οδοποιίας και της σήραγγας είναι τέτοια ώστε η ταχύτητα και η ροή κυκλοφορίας συνήθως είναι αλληλένδετες. Για τους δρόμους στους οποίους αναμένεται υψηλή ροή κυκλοφορίας επιλέγεται υψηλή ταχύτητα σχεδιασμού. Οι υψηλές ταχύτητες απαιτούν καλύτερη ορατότητα και επομένως υψηλότερο επίπεδο λαμπρότητας. Για τον σωστό σχεδιασμό του φωτισμού της σήραγγας υπολογίζεται η ασφαλής απόσταση πέδησης (S.S.D.) (Εικόνα 5, παραπάνω), η οποία υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και μετράται σε m:

$$SSD = U \times t_o + \frac{U^2}{2 \times g \times (f \pm s)}, [74] \text{ όπου :}$$

- SSD: ασφαλής απόσταση πέδησης (m)
- f: είναι ο συντελεστής τριβής οδοστρώματος
- g: η επιτάχυνση βαρύτητας (m/s²)
- U: ταχύτητα του οχήματος (m/s)
- s: κλίση του δρόμου

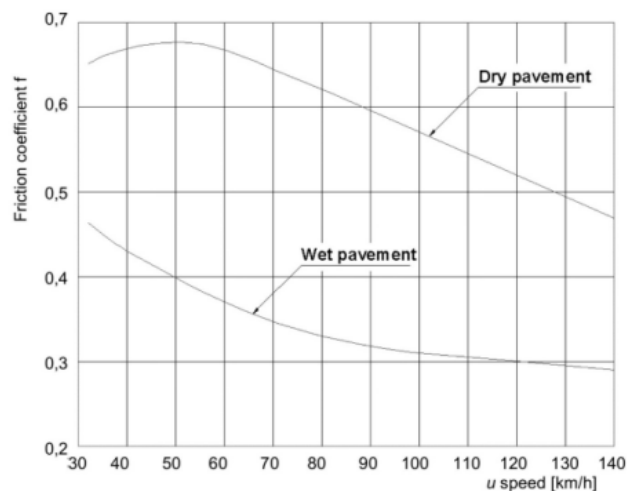
Ενδεικτικά, προκειμένου να δημιουργηθεί στον αναγνώστη μια αίσθηση της τάξης μεγέθους, λαμβανοντας συνήθεις τιμές για τα μεγέθη της ανωτέρω έκφρασης,

⁹ <http://www.lvd.cc/Es/Company/Thesis.asp?page=1&id=211>

Ταχύτητα (km/h)	Απόσταση πέδησης(m)
40	60
60	100
100	160

Πίνακας 9: Ασφαλής απόσταση πέδησης για διάφορες αρχικές ταχύτητες ¹⁰

Ακόμη, ο συντελεστής τριβής f , συνάρτηση της ταχύτητας διαφέρει για υγρό και στεγνό οδόστρωμα (Γράφημα 4). Συνήθως για τις μελέτες φωτισμού σηράγγων λαμβάνεται το υγρό οδόστρωμα.



Γράφημα.4: Τυπικό διάγραμμα του συντελεστή τριβής συνάρτηση της ταχύτητας σχεδιασμού για υγρό και στεγνό οδόστρωμα (ΕΛΟΤ CR 14380, 2004)¹¹ & CIE 88, 2004) [72]

Συστήματα φωτισμού οδικών σηράγγων

Η αντίθεση των αντικειμένων μπορεί να είναι αρνητική ή θετική ανάλογα με τις ιδιότητες ανάκλασης της επιφάνειας του αντικειμένου και του συστήματος φωτισμού που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν δύο τεχνητά συστήματα φωτισμού τα οποία χρησιμοποιούνται για τον φωτισμό οδικών σηράγγων:

- το συμμετρικό σύστημα φωτισμού και
- το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (counter beam και pro beam).

Οι όροι συμμετρικό και ασύμμετρο σύστημα φωτισμού αναφέρονται στην κατανομή της φωτεινής έντασης των φωτιστικών που χρησιμοποιούνται για τα δύο αυτά συστήματα. Ο τύπος του συστήματος φωτισμού καθορίζεται από τον συντελεστή αντίθεσης Q_c και είναι ο λόγος της λαμπρότητας (L) προς την κατακόρυφη ένταση φωτισμού (E_v) δηλαδή L/E_v .

¹⁰ <http://www.lvd.cc/Es/Company/Thesis.asp?page=1&id=211>

¹¹ http://elot.gr/46_301.aspx?prodID=36478, ΕΛΟΤ CR 14380

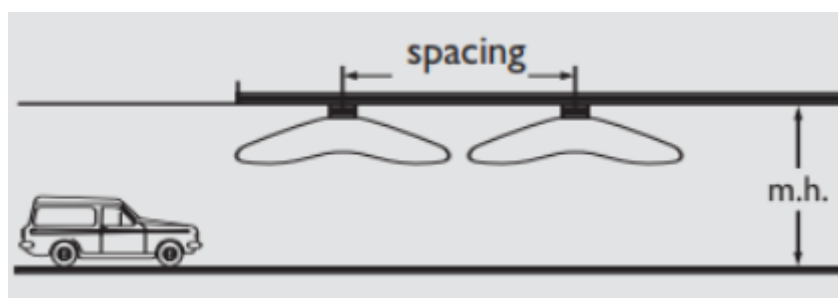
Συστήματα φωτισμού	Συντελεστής αντίθεσης Q_c (λόγος L/E_v)
Συμμετρικό σύστημα φωτισμού	≤ 0.2
Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού (Counter Beam και Pro –beam)	≥ 0.6

Πίνακας 10: Συντελεστής αντίθεσης Q_c [72]

Σύστημα συμμετρικού τύπου

Το συμμετρικό σύστημα φωτισμού χρησιμοποιεί φωτιστικά σώματα όπου η κατανομή της φωτεινής έντασης κατευθύνεται κάθετα τόσο προς την κατεύθυνση της κυκλοφορίας όσο και προς την αντίθετη κατεύθυνση με την ίδια ποσότητα, με αποτέλεσμα να έχουμε την ίδια λαμπρότητα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και αν κινείται ο οδηγός. Το σύστημα συμμετρικού φωτισμού ταιριάζει και για μονής και για διπλής κυκλοφορίας σήραγγες [75] και βοηθάει στην ορατότητα των οχημάτων που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Βάση των προτύπων το συμμετρικό σύστημα φωτισμού μπορεί να είναι εγκάρσιο ή διαμήκες (συνηθέστερος τύπος).

Συμμετρικός διαμήκης φωτισμός: Το φως κατευθύνεται παράλληλα με τον άξονα της σήραγγας. Τα πλεονεκτήματα του διαμήκους φωτισμού είναι η υψηλή αποτελεσματικότητα και η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Ο συμμετρικός εγκάρσιος φωτισμός παρέχει ομοιόμορφη φωτεινότητα σε όλο το εσωτερικό της σήραγγας, έχει χαμηλές τιμές αντίθεσης (contrast), μεγιστοποιεί την φωτεινή ροή παράλληλα με την κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων και μεγιστοποιεί την λαμπρότητα στα αυτοκίνητα (Εικόνα 5):



Εικόνα 5: Συμμετρικός διαμήκης φωτισμός¹²

Το μειονέκτημα του διαμήκους φωτισμού είναι η πιθανή σκίαση και ανομοιομορφία του τοίχου.

Σύστημα φωτισμού ασύμμετρου τύπου: Το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού χωρίζεται σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με το πρότυπο, το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού counter beam και στο ασύμμετρο σύστημα φωτισμού pro beam. Η απόδοση φωτεινότητας στο σύστημα

¹² LIGHTING MANUAL, T. E. (1993). *A handbook of lighting installation design prepared by members of staff of Philips Lighting, Fifth Edition*. Netherland: LIGHTING DESIGN AND APPLICATION CENTER - liDAC.

ασύμμετρου φωτισμού είναι υψηλότερη από του συμμετρικού, το οποίο το κάνει να είναι καταλληλότερο και πιο οικονομικό για τις δύο πρώτες ζώνες της σήραγγας όπου έχουν τις υψηλότερες απαιτήσεις φωτισμού. Τα μειονεκτήματα του ασύμμετρου συστήματος φωτισμού είναι:

- Δεν είναι κατάλληλο για είσοδο σήραγγας με μεγάλη διεύδυση φυσικού φωτισμού.
- Δεν ενδείκνυται για σήραγγες με πολύ υψηλή ροή κυκλοφορίας ή για σήραγγες με υψηλό ποσοστό βαρέων οχημάτων (φορτηγά).
- Δεν είναι κατάλληλο για σήραγγες διπλής κατεύθυνσης.
- Η επίτευξη λαμπρότητας στα τοιχώματα της σήραγγας είναι δύσκολο να επιτευχθεί
- Μειώνει την οπτική απόδοση του οδηγού όταν κοιτάει τους καθρέπτες,

Ασύμμετρος (counter-beam lighting - CBL) φωτισμός: Το φως κατευθύνεται παράλληλα προς τον άξονα της σήραγγας, αλλά αντίθετα με τη ροή της κυκλοφορίας προσφέροντας υψηλή απόδοση και δημιουργώντας έντονες αντιθέσεις φωτισμού (Εικόνα 6). Ο ασύμμετρος φωτισμός χρησιμοποιείται κυρίως στις πρώτες ζώνες σε σήραγγες μεγάλου μήκους. Το σύστημα αντίθετης δέσμης παράγει μια υψηλή τιμή L/E_v και δίνει σχετικά υψηλές τιμές αντίθεσης για τα περισσότερα αντικείμενα στο δρόμο.

Τα συστήματα με τιμές L/E_v μεγαλύτερες από 0.6, απαιτούν ως εκ τούτου μια φωτεινότητα ζώνης χαμηλότερου ορίου από ένα συμμετρικό σύστημα φωτισμού. Τα μειονεκτήματα τους συστήματος είναι ότι η είσοδος της σήραγγας είναι πιο σκοτεινή, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αίσθημα ανασφάλειας των οδηγών, υπάρχει ανομοιομορφία στην τοιχοποιία, και τα μεγαλύτερα οχήματα σκιάζουν τα μικρότερα¹³.

Τα counter beam φωτιστικά κατευθύνονται προς τον οδηγό με ελεγχόμενο τρόπο για την μείωση της θάμβωσης. Παρέχουν υψηλή λαμπρότητα οδοστρώματος και χαμηλή λαμπρότητα στα αντικείμενα έτσι ώστε να ενισχύεται η αρνητική αντίθεση, η δέσμη θα πρέπει να είναι αυστηρά πάνω από τις 45°.



Εικόνα 6: Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού counter-beam¹³

Ασύμμετρος (pro – beam lighting - PBL) φωτισμός: Στο ασύμμετρο σύστημα pro beam η κατεύθυνση του φωτός είναι παράλληλη προς την ροή της κυκλοφορίας (Εικόνα 7). Το σύστημα αυτό έχει χαμηλή θάμβωση προς τον οδηγό, δίνει υψηλή λαμπρότητα αντικειμένου και χαμηλή λαμπρότητα οδοστρώματος έτσι ώστε να δημιουργείται θετική αντίθεση. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αρκετές έρευνες που αποδεικνύουν ότι ο κύριος λόγος για τα ατυχήματα στη σήραγγα δεν σχετίζεται με την προβολή οποιουδήποτε αντικειμένου παρά με το αυτοκίνητο δίπλα μας. Όταν η κυκλοφοριακή ροή είναι υψηλότερη από την αναμενόμενη,

¹³ LIGHTING MANUAL, T. E. (1993). *A handbook of lighting installation design prepared by members of staff of Philips Lighting, Fifth Edition*. Netherland: LIGHTING DESIGN AND APPLICATION CENTER - liDAC.

για να μπορέσει ένας οδηγός να δει το επόμενο αυτοκίνητο, ο φωτισμός Pro-beam θα ήταν επαρκής και οπτικά περισσότερο άνετος καθώς το φως θα κατευθύνεται μόνο μπροστά από τον οδηγό. Όταν υπάρχει μεγάλη κυκλοφοριακή ροή, το ασύμμετρο σύστημα φωτισμού pro beam θα ήταν ο καταλληλότερος τρόπος φωτισμού το οποίο σημαίνει οπτική άνεση και λιγότερα ατυχήματα.



Εικόνα 7: Ασύμμετρο σύστημα φωτισμού pro-beam ¹⁴

Αναγνώριση

Η αναγνώριση αντικειμένων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις αντιθέσεις, οι οποίες ορίζονται από τις διαφορές στη φωτεινότητα και το χρώμα του οπτικού πεδίου. Για να γίνει αντιληπτή η αναγνώριση από το ανθρώπινο μάτι, θα πρέπει να καλύπτονται οι ελάχιστες απαιτούμενες αντιθέσεις. Εξαρτάται από τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος (προσαρμογή φωτεινότητας), δηλαδή όσο φωτεινότερο είναι το περιβάλλον τόσο λιγότερο αντιληπτές γίνονται οι αντιθέσεις. Στη σκοτεινή ατμόσφαιρα, ένα αντικείμενο χρειάζεται είτε να αντιπαραβληθεί πιο απότομα ή να είναι μεγαλύτερο προκειμένου να είναι αντιληπτό.

Η αναγνώριση σχετίζεται άμεσα και με την «ευαισθησία αντιθέσεων». Όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο φωτεινότητας τόσο περισσότερο αντιληπτές γίνονται οι διαφορές φωτεινότητας. Η «ευαισθησία αντιθέσεων» μειώνεται από το έντονο φως.

Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αντανάκλασεων και αντηλιάς, οι αντιθέσεις φωτεινότητας πρέπει να αυξάνονται, προκειμένου να καθίστανται τα αντικείμενα οπτικά ευδιάκριτα και να αναγνωρίζονται. Ένα αντικείμενο και το περιβάλλον του χρειάζονται τουλάχιστον αντίθεση φωτεινότητας L_0 για να καταστούν αναγνωρίσιμα. Όταν συμβαίνουν αντανάκλασεις ή φαινόμενα αντηλιάς τότε δημιουργείται ένα πέπλο φωτεινότητας που προκαλεί το μάτι να προσαρμοστεί στο υψηλότερο επίπεδο φωτεινότητας L . Όταν ένα πρόσωπο ή ένα αντικείμενο είναι επιπέδου φωτεινότητας L_0 , για να καταστεί όχι απλά ορατό αλλά περισσότερο ευδιάκριτο, θα πρέπει να αυξηθούν οι αντιθέσεις φωτεινότητας.

Πολύ σημαντικός παράγοντας που επιδρά επίσης στην αναγνώριση προσώπων ή αντικειμένων είναι και η κατεύθυνση του φωτός. Το κατευθυνόμενο φως μπορεί να δημιουργήσει γκριζες ζώνες (π.χ. μεταξύ σταθμευμένων οχημάτων) και έτσι η φωτεινότητα να διανεμηθεί άνισα, να δημιουργηθούν βαθιές σκιές και η αναγνώριση να είναι προβληματική.

Κατά την οδήγηση τη νύκτα, η απόσταση αντίχενυσης ενός ενδεχόμενου κινδύνου ή εμποδίου, όταν ο φωτισμός του δρόμου πραγματοποιείται μόνο από τα φώτα πορείας του αυτοκινήτου, είναι 50m-75m. Η απόσταση αυτή αυξάνεται στα 250m όταν εγκατασταθεί

¹⁴ LIGHTING MANUAL, T. E. (1993). *A handbook of lighting installation design prepared by members of staff of Philips Lighting, Fifth Edition*. Netherland: LIGHTING DESIGN AND APPLICATION CENTER - liDAC.

οδικός φωτισμός. Επισημαίνεται ότι ένα όχημα για να σταματήσει σε απόσταση 50-75m (σε καλής ποιότητας στεγνό οδόστρωμα) δεν πρέπει να κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη από 75-85 Km/h. Ωστόσο, ο φωτισμός των δρόμων αμβλύνει σημαντικά την αίσθηση κινδύνου και οι οδηγοί αυξάνουν την ταχύτητα οδήγησης (κατά 5-15%) . Τελικά, παρά την αύξηση της ταχύτητας λόγω αλλαγής της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών, η εγκατάσταση φωτισμού μειώνει τον κίνδυνο ατυχήματος κατά περίπου 30% (20% στις ΗΠΑ, 23% στη Φινλανδία, 25% στη Γερμανία και τη Σουηδία, 33% στη Μεγ. Βρετανία, 39% στη Γαλλία, 56% στην Ιαπωνία) [76].

Φωτισμός και ηλικία

Πολλές οπτικές ικανότητες επηρεάζονται άμεσα από την ηλικία των ατόμων. Ειδικά, όσον αφορά τη σήμανση και την αντανάκλαστικότητα, οι απαιτήσεις των ηλικιωμένων οδηγών κατά την τελευταία κυρίως δεκαετία έχουν εξεταστεί από πολλούς ερευνητές. Οι Zwahlen και Schnell [77] ερεύνησαν την εντύπωση των ηλικιωμένων και των νέων οδηγών για τις αποστάσεις και την ανίχνευση των αποστάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι δύο ομάδες κατηγοριών αντιλαμβάνονταν διαφορετικά τις αποστάσεις και τη σήμανση στα πεζοδρόμια υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Οι αποστάσεις ανίχνευσης έγιναν περισσότερο κατανοητές (κατά 55%) από τους νέους οδηγούς. Η βελτίωση του φωτισμού στο οδόστρωμα δε θα βελτιώσει τα αποτελέσματα της νυχτερινής προβολής με τον ίδιο τρόπο για όλες τις ηλικίες [78].

3.2 Αντίληψη

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε την επίδραση του φωτός σε αυτά που αντιλαμβάνεται οπτικά ο οδηγός, κρίνεται σκόπιμο να εξερευνήσουμε τι και πως βλέπει ο οδηγός¹⁵.

Σύμφωνα με την εμπειρική θεωρία περί φωτισμού και αντίληψης του χώρου, η αντίληψη του χώρου είναι αποτέλεσμα εμπειρίας και μάθησης. Οι βασικές αρχές είναι οι εξής:

- Η οπτικά προσλαμβανόμενη πληροφορία, είναι ασαφής και χρειάζεται διόρθωση. Η εικόνα, όπως αυτή μεταφέρεται από τον αμφιβληστροειδή, είναι διδιάστατη.
- Η αντίληψη των νέων ερεθισμάτων βασίζεται στην αφαίρεση και συγκράτηση των κοινών χαρακτηριστικών με εκείνα που έχει ήδη ως αναφορά.
- Η αντίληψη των ερεθισμάτων συντελείται με τη συνένωση των επιμέρους στοιχείων της.

Αντίληψη σχημάτων

Το αισθητό σχήμα είναι το προϊόν της αλληλεπίδρασης μεταξύ του φυσικού αντικειμένου, του μέσου του φωτός που ενεργεί ως διαβιβαστής των πληροφοριών, και των συνθηκών που επικρατούν στο νευρικό σύστημα του θεατή.

¹⁵ Φως Και Ανθρώπινη Συμπεριφορά Σε Εφαρμογές Πραγματικού Χρόνου Στην Εικονική Πραγματικότητα

Αντίληψη χρωμάτων

Πέρα από το σχήμα, όμως, πολύ σημαντικό ρόλο στην οπτική αντίληψη, παίζουν και τα χρώματα. Τα χρώματα που αντιλαμβανόμαστε, εξαρτώνται από τα μήκη κύματος του φωτός που είτε αντανακλά, είτε απορροφά, είτε εκπέμπει το κάθε αντικείμενο. Για παράδειγμα, το κόκκινο χρώμα ενός αντικειμένου γίνεται αντιληπτό επειδή τα κύματα μικρότερου μήκους απορροφώνται από το αντικείμενο, ενώ τα μεγαλύτερα μήκη αντανακλώνται με αποτέλεσμα να διεγείρονται οι περιοχές του αμφιβληστροειδούς με ευαισθησία στο κόκκινο χρώμα. Πέρα όμως από τα μήκη κύματος, η αντίληψη του χρώματος εξαρτάται και από τη δομή και τη σύνθεση του φωτός. Ακόμα και η σύνθεση του φυσικού φωτός, αλλάζει κατά τη διάρκεια της μέρας.

Επιστημονικές έρευνες έδειξαν ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ των φυσιολογικών και ψυχολογικών αντιδράσεων των ανθρώπων απέναντι σε βασικές αποχρώσεις των χρωμάτων [79]. Οι αποχρώσεις αυτές σε συνδυασμό με τα επίπεδα του εξωτερικού φωτισμού μπορούν να οδηγήσουν σε δημιουργία πολύ έντονων ανθρώπινων συναισθημάτων.

Βάσει αποτελεσμάτων σχετικής έρευνας [79]:

1. Το κόκκινο διεγείρει και συλλαμβάνεται γρήγορα από το μάτι.
2. Το κίτρινο δημιουργεί υπερένταση και ταυτόχρονα υπερκινητικότητα και έντονη δραστηριότητα.
3. Το ιώδες και το μπλε αυξάνουν την εσωτερική επαναδραστηριοποίηση και συντελούν στην απόκτηση πλήρους ηρεμίας και συγκέντρωσης.
4. Το πράσινο έχει παρόμοια επίδραση με ένα φωτεινό ερέθισμα που εξισορροπεί τις ετερογενείς τάσεις.

Αντίληψη χώρου

Η ανάπτυξη της ικανότητας αντίληψης των εννοιών του χώρου συνδέεται άμεσα με τη γεωμετρική αντίληψη [80]. Η επικάλυψη των οπτικών πεδίων βοηθάει στον υπολογισμό της τρισδιάστατης υφής και τον υπολογισμό της απόστασης μέσω του τριγωνισμού. Η μέθοδος του τριγωνισμού, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμα σε διάφορες επιστήμες, όπως στην τοπογραφία, αλλά και στην αντίληψη ήχων και στον υπολογισμό απόστασης από τη θερμότητα, αλλά και σε αισθήσεις, όπως η ακοή και τη αφή, αναφέρει ότι υπάρχει ένα νοητό τρίγωνο, που ορίζεται από τα δυο μάτια και το αντικείμενο. Από την απόσταση των δυο ματιών και τη γωνία με την οποία κοιτάμε το αντικείμενο μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο ¹⁶.

Όταν μιλάμε για αντίληψη του χώρου, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην ευχέρεια ανάλυσης και διαπίστωσης διαφορών σχημάτων, της σύγκρισης και της τοποθέτησής τους στο χώρο, της διαπίστωσης αλλαγών κατά την πορεία της εξέλιξης, της αντίληψης περιστροφής των σχημάτων μέσα στο χώρο, του εντοπισμού ενός σχήματος μέσα σε ένα άλλο, της συναρμολόγησης στοιχείων του σχήματος και της σύνθεσης επιμέρους χαρακτηριστικών. Η

¹⁶ http://www.greekarchitects.gr/site_parts/doc_files/matsaka.proptixiaki.2012.10.pdf

ικανότητα αντίληψης του χώρου, επίσης, είναι αυτή που κάνει ένα άτομο ικανό να επικεντρώσει την αντίληψη του σε ένα συγκεκριμένο θέμα, αγνοώντας στοιχεία που δε σχετίζονται με αυτό. Η ικανότητα αυτή της εστίασης δίνει τη δυνατότητα στο άτομο να μένει ανεπηρέαστο από άλλα ερεθίσματα, αλλά και να αναλύει τα δεδομένα και να καταλήγει σε συμπέρασμα.

Όπως αναφέρθηκε, λοιπόν, όταν μιλάμε για αντίληψη χώρου, αναφερόμαστε ουσιαστικά στην αντίληψη των αντικειμένων και στις μεταξύ τους σχέσεις, τοπολογικές και μετρικές. Όμως για να προσδιοριστούν αυτές οι σχέσεις, πρέπει να δοθεί ένα πλαίσιο αναφοράς. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ταξινομηθούν τα συστήματα αναφοράς, αλλά ο πιο εύχρηστος όσον αφορά την κατανόηση λειτουργίας της ανθρώπινης αντίληψης, τα χωρίζει σε δυο κατηγορίες:

1. Τα εγωκεντρικά συστήματα αναφοράς, που ορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό σε σχέση με τον οργανισμό. Περιλαμβάνουν δηλαδή τα μάτια, το κεφάλι και τις συντεταγμένες του σώματος.
2. Τα περιβαλλοντικά συστήματα αναφοράς, που ορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό σε σχέση με τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος.

Παράγοντες επηρεάσιμου οπτικής αντίληψης

Πέραν του φυσικών παραγόντων που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη, όπως το σχήμα, το χρώμα και ο χώρος, θα πρέπει να αναφερθούν και επίκτητοι παράγοντες όπως οι οδηγίες, τα κίνητρα, ποικίλοι πολιτισμικοί παράγοντες, η εμπειρία, συναισθήματα κλπ. Το τι αντιλαμβανόμαστε κάθε στιγμή αποτελεί συνάρτηση της αντιληπτικής προσδιοριστικής τάσης, η οποία ορίζεται ως «μια αντιληπτική προκατάληψη ή προδιάθεση ή ετοιμότητα να αντιληφθούμε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενός ερεθίσματος»¹⁷. Οι παράγοντες αυτοί αναλύονται ως ακολούθως:

- Κίνητρα: Σε ένα περιβάλλον αυξημένων οπτικών ερεθισμάτων, είναι πιο πιθανόν να τραβήξει την προσοχή μας το ερέθισμα εκείνο που σχετίζεται με αυτό που ψάχνουμε να βρούμε
- Οδηγίες: Σε πολλές περιπτώσεις ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε τα δεδομένα που έχουμε, σχετίζεται με τις οδηγίες που έχουμε λάβει για το πως θα τα αντιληφθούμε.
- Πλαίσιο αναφοράς: Ως πλαίσιο αναφοράς θεωρούμε το ιστορικό, κοινωνικοπολιτικό, το ατομικό, το περιστασιασκό και το δομικό πλαίσιο ¹⁸.
- Προσδοκίες: Αυτό που παρατηρούμε επηρεάζεται από αυτό που περιμένουμε να δούμε. Είναι ένας από τους παράγοντες που βοηθούν στην οπτική αντίληψη. Μας βοηθά να επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στο αντικείμενο που παρατηρούμε για να κατανοήσουμε και να ταξινομήσουμε τις πληροφορίες που λαμβάνουμε. [81]
- Πολιτισμικοί παράγοντες: οι άνθρωποι τείνουν να έχουν καλύτερη αντίληψη του χώρου στον οποίο έχουν εξοικειωθεί περισσότερο.

¹⁷ (www.simplypsychology.pwp.blueyonder.co.uk , 2007).

¹⁸ http://visual-memory.co.uk/daniel/Documents/visper/greek/visper01_greek.html

- **Συναισθήματα:** Οι αλλαγές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του δέρματος των παρατηρητών σχετίζεται με το επίπεδο της φυσιολογικής διέγερσης. Παρατηρήθηκε ότι στην πρόκληση λεκτικά θετικών ή αρνητικών συναισθημάτων, υπήρχε σημαντική μεταβολή στην αγωγιμότητα του δέρματος των εθελοντών [81].
- **Εμπειρία:** ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε τα δεδομένα που έχουμε, σχετίζεται με την εμπειρία που έχουμε αποκτήσει για το πως θα τα αντιληφθούμε.
- **Ατομικές διαφορές:** Ατομικά χαρακτηριστικά μπορούν να επηρεάσουν την οπτική αντίληψη. Παραδείγματα όμως η μικρή ανοχή στην αμφισημία, στην δυνατότητα να αντιληφθούμε την κατεύθυνση στην οποία κινείται ένα σώμα, η νοητική περιστροφή, αποτελούν τέτοια.
- **Φύλο:** Τα δύο φύλα τείνουν βιολογικά ή και στερεοτυπικά να παρατηρούν διαφορετικά στοιχεία και για διαφορετική διάρκεια.

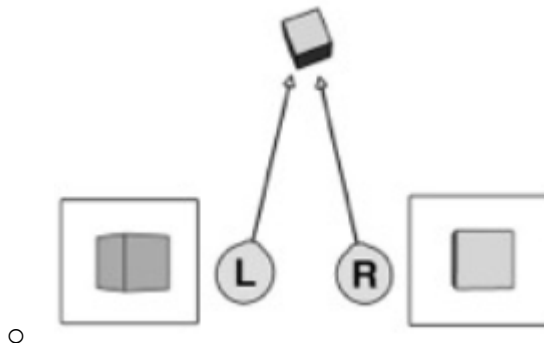
Αντίληψη απόστασης βάθους

Η αντίληψη βάθους και απόστασης είναι δυνατή λόγω της ύπαρξης των δυο οφθαλμών. Αντιλαμβανόμαστε τον τρισδιάστατο κόσμο με βάθος, αν και γνωρίζουμε ότι η εικόνα που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή είναι δισδιάστατη. Για την ερμηνεία του τρισδιάστατου κόσμου χρησιμοποιούνται σήματα απόστασης σε δισδιάστατα είδωλα, τα οποία χωρίζονται σε δυο ομάδες: τα μονοφθαλμικά και τα διοφθαλμικά.

- **Μονοφθαλμικά σήματα:** είναι ουσιαστικά εικονικά σήματα ενός οφθαλμού και αποτελούν ιδιότητες του ίδιου του ειδώλου. Χρησιμοποιώντας διάφορα σήματα τέτοιου τύπου, γίνονται αντιληπτά τα αντικείμενα, απομακρυσμένα ή μη. Μονοφθαλμικά σήματα αποτελούν:
 - Το **σχετικό μέγεθος** (Relative size): Ανάμεσα σε δυο αντικείμενα με παρόμοιο μέγεθος, αυτό που φαντάζει μεγαλύτερο γίνεται αντιληπτό ως το πιο κοντινό, ενώ αυτό που φαίνεται μικρότερο ως το πιο μακρινό. Με άλλα λόγια, το είδωλο ενός αντικειμένου στον αμφιβληστροειδή είναι μεγαλύτερο όσο πιο κοντά βρίσκεται το αντικείμενο.
 - Η **αλλαγή υφής** (Texture gradient): Η υφή ενός αντικειμένου εξασθενεί, όσο αυτό εκτείνεται σε απόσταση. Η υφή της χλόης, για παράδειγμα, ενός χωραφιού εξασθενεί όσο απομακρύνεται το βλέμμα μας προς τον ορίζοντα και αρχίζουμε να αντιλαμβανόμαστε μόνο το χρώμα μετά από κάποιο σημείο.
 - Η **παράλλαξη κίνησης** (Motion parallax): Τα πιο κοντινά αντικείμενα διασχίζουν το οπτικό μας πεδίο, δηλαδή τον αμφιβληστροειδή, πιο γρήγορα απ' ό,τι τα πιο απομακρυσμένα.
 - Η **αέρια προοπτική** (Aerial perspective): Όσο πιο λαμπρό και διαυγές είναι το είδωλο ενός αντικειμένου, γίνεται αντιληπτό ως πιο κοντινό. Αντίθετα αντικείμενα με θαμπά είδωλα γίνονται αντιληπτά ως μακρύτερα από τον παρατηρητή. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι την αέρια προοπτική επηρεάζει αρκετά και ο παράγοντας της “ατμόσφαιρας”.
 - Η **γραμμική / προοπτική** (Linear perspective): Είδωλα σχημάτων παράλληλων γραμμών φαίνονται να συγκλίνουν, όσο οι γραμμές αυτές

ξεμακραίνουν. Για παράδειγμα, ένας δρόμος σε ευθεία που απομακρύνεται από τον παρατηρητή φαίνεται να στενεύει όσο το βλέμμα σηκώνεται προς τον ορίζοντα.

- Η **παρέμβαση** ή **επικάλυψη** (Interposition-Overlap): Ανάμεσα σε δυο αντικείμενα που επικαλύπτονται, το αντικείμενο που επικαλύπτει το άλλο φαίνεται πλησιέστερο.
 - Το **ύψος στο οπτικό πεδίο** (height in visual field): Αντικείμενο που βρίσκονται χαμηλότερα στο οπτικό μας πεδίο, γίνονται αντιληπτά ως πλησιέστερα.
 - Η **προσαρμογή** (Adaptation). Η προσαρμογή αποτελεί το μόνο μη-εικονικό μονοφθαλμικό σήμα. Όσο ένα αντικείμενο πλησιάζει προς το μάτι, ο φακός προσαρμόζεται έτσι ώστε το είδωλο να παραμείνει εστιασμένο. Το μέγεθος της προσαρμογής χρησιμοποιείται από τον εγκέφαλο για προσδιορισμό της απόστασης [81].
- **Διοφθαλμικά σήματα:** Η ομάδα των διοφθαλμικών (binocular cues) αποτελείται από σήματα βάθους και εξαρτώνται από τη χρήση και των δυο οφθαλμών. Διοφθαλμικά σήματα αποτελούν:
 - Η **ανισοκονία** (Retinal disparity) Η ανισοκονία οφείλεται στην απόσταση μεταξύ των δυο οφθαλμών, η οποία δημιουργεί δυο είδωλα ελαφρώς διαφοροποιημένα μεταξύ τους. Η στερεοσκοπική όραση δημιουργείται από το συνδυασμό και την αλληλοεπικάλυψη των δυο αυτών ειδώλων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα δυο διαφορετικά είδωλα που δημιουργούνται κατά την παρατήρηση ενός κύβου. Ο συνδυασμός των δυο ειδώλων δημιουργεί την αίσθηση του τρισδιάστατου αντικειμένου.¹⁹
 - Η **σύγκλιση** (Convergence) Κατά την παρατήρηση ενός αντικειμένου, τα μάτια του παρατηρητή συγκλίνουν. Η γωνία σύγκλισης αποτελεί σήμα για τον υπολογισμό της απόστασης, καθώς μικρότερη γωνία σύγκλισης αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ αντικειμένου και παρατηρητή²⁰.



Εικόνα 8: Διάγραμμα ειδώλων που δημιουργούνται λόγω της απόστασης των δυο οφθαλμών¹⁷

¹⁹ (http://art.nmu.edu/groups/cognates/wiki/1617e/Retinal_Disparity.html)

²⁰ (Johnston A, <http://www.psychol.ucl.ac.uk/alan.johnston/Depth.html>).

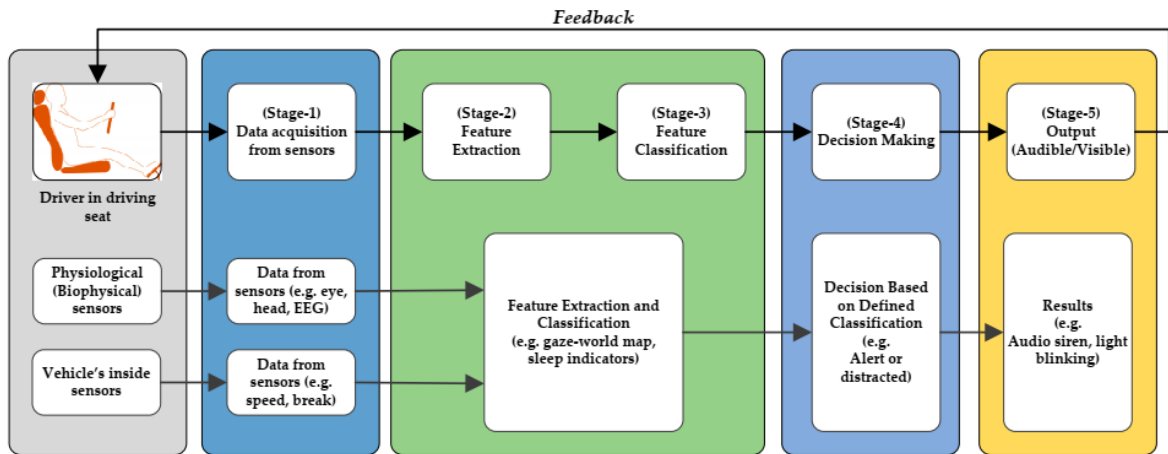
Αντίληψη κίνησης

Η οπτική εμπειρία μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας τη φυσική κίνηση, την οπτική κίνηση, την αντιληπτική κίνηση, τη στροβοσκοπική και τη συμπερασματική κίνηση. Εδώ μπορούν να προστεθούν και οι κιναισθητικοί παράγοντες, οι οποίοι σε συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να παράγουν την αίσθηση της κίνησης. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί η περίπτωση του ιλίγγου [82].

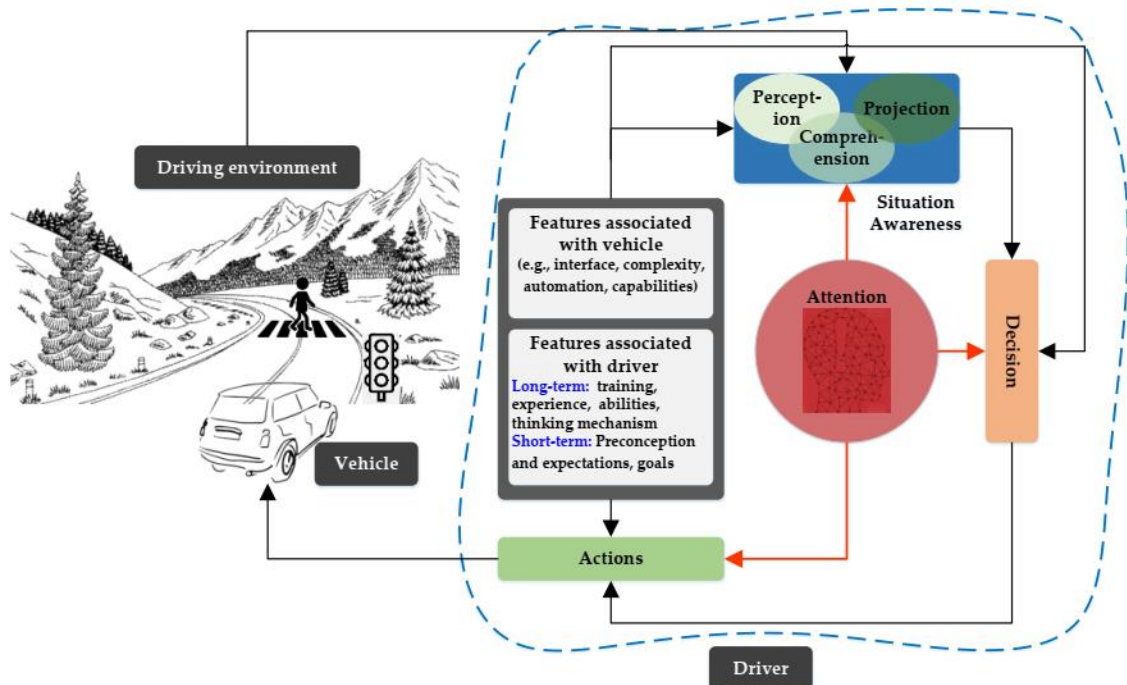
- **Πραγματική κίνηση:** η κίνηση όπως αυτή συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο
- **Οπτική κίνηση:** Συμβαίνει όταν έχουμε μετατόπιση των προβολών ή ολόκληρου του οπτικού πεδίου στον αμφιβληστροειδή. Αυτό συμβαίνει όταν τα μάτια του παρατηρητή δεν ακολουθούν την κίνηση των αντικειμένων.
- **Στροβοσκοπική κίνηση:** Ένα αντικείμενο σε κίνηση γίνεται αντιληπτό όταν το είδωλο του κινείται στον αμφιβληστροειδή. Η αίσθηση κίνησης δημιουργείται από το νευρικό σύστημα συνδυάζοντας το σύνολο των στιγμιαίων ερεθισμάτων στον αμφιβληστροειδή. Δεν είναι τίποτα άλλο δηλαδή πέρα από ένα σύνολο στατικών αλλαγών [82].
- **Συμπερασματική κίνηση:** Αντικείμενα που περιβάλλονται από μεγαλύτερα αντικείμενα, που κινούνται, φαίνονται να κινούνται παρόλο που μπορεί να είναι στάσιμα.
- **Κιναισθητική αντίληψη:** Η φυσική κίνηση μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν ακινησία, όταν τα μάτια σταθεροποιούνται πάνω στο αντικείμενο. Κάθε κίνηση, αλλά και κάθε παρόρμηση κίνησης, ενεργοποιεί το αισθητηριακό κινητικό κέντρο του εγκεφάλου, με αποτέλεσμα ο οργανισμός να αντιδρά προσπαθώντας να αποδώσει την κίνηση οπτικά ούτως ώστε να αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον ως ακίνητο.

Ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την συνολική διαδικασία της οδήγησης, από την λήψη και αντίληψη δεδομένων, την επεξεργασία τους, την λήψη αποφάσεων κλπ. ο οποίος μιμείται την ρεαλιστική διαδικασία που ακολουθεί ένας οδηγός, είναι ο ακόλουθος:

Τα κύρια στοιχεία της διαδικασίας της οδήγησης είναι ο οδηγός, το όχημα και το περιβάλλον στο οποίο εξελίσσεται η οδήγηση (Εικόνα 9, Εικόνα 10). Ο οδηγός ο οποίος είναι ο κύριος άξονας αυτής της διαδικασίας, θα πρέπει να αντιληφθεί το πεδίο οδήγησης (κίνηση, σήματα οδικής κυκλοφορίας, κλπ), να λάβει αποφάσεις και να εκτελέσει τις ανάλογες δράσεις. Οπότε ο ρόλος του οδηγού συνοψίζεται σε 3 στάδια: αντίληψη της συνθήκης, απόφαση και δράσεις.



Εικόνα 9: Τα στάδια διαδικασιών που σχετίζονται με την οδήγηση [83]



Εικόνα 10: Η διαδικασία της οδήγησης [83]

Η αντίληψη του περιβάλλοντος (situational awareness) θεωρείται το πιο σημαντικό και σύνθετο στάδιο, το οποίο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια διαδικασία 3 βημάτων:

- Αντίληψη των στοιχείων του περιβάλλοντος εντός συγκεκριμένου χρονικού και χωρικού «παραθύρου»
- Αντίληψη της διαβάθμισης της σημαντικότητας των στοιχείων
- Πρόβλεψη της εξέλιξης της επίδρασης των στοιχείων που έχει αντιληφθεί

Η ικανότητα ενός οδηγού να αντιληφθεί με ακρίβεια πολλαπλά γεγονότα και συμβάντα παράλληλα, εξαρτάται από την προσοχή που έδειξε κατά τη διάρκεια του πρώτου βήματος (αντίληψη των στοιχείων του περιβάλλοντος). Σε ένα σύνθετο και δυναμικό οδηγικό περιβάλλον, η ανάγκη για προσοχή από τον οδηγό αυξάνει, με στόχο την προστασία της ζωής αλλά και του οχήματος.

3.3. Φαινόμενο Οπτικής Πάλμωσης (Flickering Effect²¹)

Στο οδικό δίκτυο υπάρχουν τεχνικοί παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την οδηγική συμπεριφορά. Ένας σημαντικός εξ'αυτών είναι και το φαινόμενο οπτικής πάλμωσης (flickering effect). Σχετίζεται με την επανάληψη φωτεινών - και όχι μόνον - σημάτων σε μια περιορισμένη περιοχή του οπτικού πεδίου η οποία μπορεί να προκαλέσει δυσφορία και σε ορισμένες περιπτώσεις διαφόρων ειδών ενοχλήσεις σε ανθρώπους με φωτοευαισθησία, δυνητικά επικίνδυνος παράγοντας για την οδήγηση σε ανοικτό δρόμο και σε σήραγγα.

Η φωτοευαισθησία ορίζεται ως μια ασυνήθιστη ευαισθησία σε φωτεινά ερεθίσματα (η διάγνωση γίνεται με εγκεφαλογράφημα EEG κατά το οποίο ο ασθενής εκτίθεται σε διαλείπουσα φωτοδιέγερση). Οι άνθρωποι με φωτοευαισθησία μπορεί να επηρεαστούν από ένα πλήθος διαταραχών που ποικίλουν από αίσθηση ανισορροπίας και δυσφορία μέχρι και επιληπτικά περιστατικά. Η φωτοευαισθησία έχει γονιδιακό αίτιο και τείνει να εμφανίζεται κατά κύριο λόγο σε προεφηβεία και εφηβεία, ενώ επηρεάζει κατά κύριο λόγο τις γυναίκες²². Μεταξύ του 5% και 7% των επιληπτικών ασθενών έχουν κλινικό ιστορικό που σχετίζεται με κρίσεις από οπτικό ερέθισμα στην καθημερινή ζωή, παρόλαυτά ακόμα και άτομα που δεν έχουν παθολογικές αντιδράσεις νιώθουν επίσης δυσφορία, πονοκέφαλο, οφθαλμική ένταση παρουσία οπτικών επαναλαμβανόμενων κρουστικών ερεθισμάτων.

Παράγοντες στο οπτικό πεδίο κατά την οδήγηση που προκαλούν το φαινόμενο οπτικής πάλμωσης

Κατά την οδήγηση σε ανοικτή οδοποιία, οι κύριοι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν μια κρίση εξαιτίας του φαινομένου οπτικής πάλμωσης, είναι [84]:

- Διακοπτόμενο συνεχώς φως από τον ήλιο καθώς ο οδηγός ταξιδεύει κατά μήκος ενός δενδρόφυτου δρόμου
- Διακοπή του ηλιακού φωτός από μεταλλικές υποδομές που υποστηρίζουν τα ηχοπετάσματα
- Ακουστικά εμπόδια (κολωνάκια) χαμηλού ύψους που δημιουργούν διακροτήματα (Πρακτικά δεν σχετίζεται με οπτική πάλμωση αλλά ηχητική πάλμωση επηρεάζει όμως με παρόμοιο μηχανισμό κρίσεις).

²¹ Effects of Flickering Seizures on Road Drivers and Passengers

²² Giulio Dondi et al. / Procedia - Social and Behavioral Sciences 53 (2012) 712 – 721



Εικόνα 11: Παραδείγματα φαινομένου οπτικής πάλμωσης σε ανοικτή οδοποιία [84]

Κατά την οδήγηση σε σήραγγα, στην οποία το φαινόμενο είναι πιο έντονο, η παρουσία φωτεινών πηγών, σε προκαθορισμένες αποστάσεις στην οροφή, μπορεί να οδηγήσει σε επαναλαμβανόμενο φωτεινό μοτίβο που συναρτῆσει της ταχύτητας οδήγησης, μπορεί να οδηγήσει σε κρίση οφειλόμενη στο φαινόμενο αυτό της πάλμωσης. Οι φωτεινές πηγές μπορεί να είναι :

- Κύριες φωτεινές πηγές : φωτιστικά στο εσωτερικό της σήραγγας, τοποθετημένα είτε στη οροφή της σήραγγας είτε στα πλαϊνά τοιχώματα αυτής.



Εικόνα 12: Παραδείγμα φαινομένου οπτικής πάλμωσης σε σήραγγα [84]

- Δευτερεύουσες φωτεινές πηγές : επιφάνειες που ανακλούν ή διαχέουν φως όπως αυτό προσπίπτει από φωτισμό της σήραγγας ή τα φώτα οχημάτων, όπως:
 - Διαχωριστικές γραμμές

- Αντανακλαστικοί δείκτες πεζοδρομίου, επιπλέον των οριζόντιων οδικών σημάτων
- Αντανακλαστική οδική οριοθέτηση (reflective flexible road delineator)



Εικόνα 13: Δευτερεύουσες φωτεινές πηγές, υπεύθυνες για φαινόμενα οπτικής πάλμωσης στη σήραγγα [84]

Σε μερικές σήραγγες, στις οποίες υπάρχουν ελεύθερα ανοίγματα φυσικού φωτισμού, η εναλλαγή φωτός και σκιάς μπορεί επίσης να προκαλέσει κρίσιμες συχνότητες ικανές να προκαλέσουν προβλήματα επαναλαμβανόμενης φωτεινής πάλμωσης σε φωτοευαίσθητα άτομα.

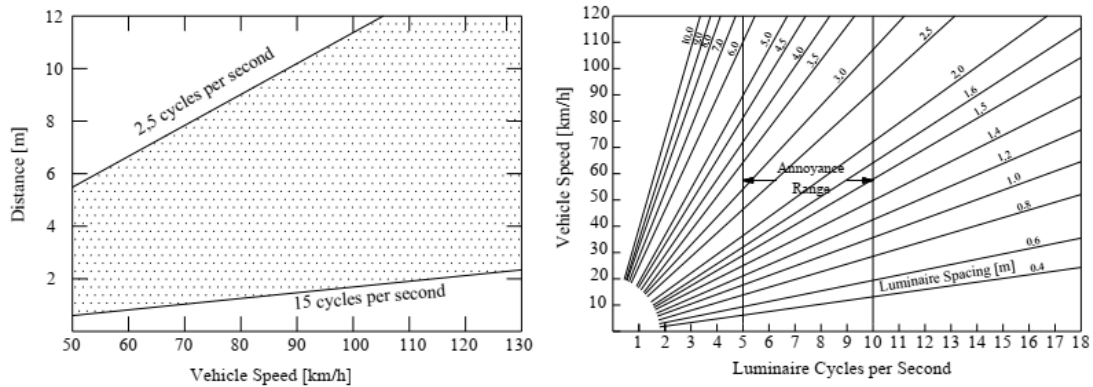


Εικόνα 14: Φαινόμενο οπτικής πάλμωσης σε σήραγγες με ελεύθερα ανοίγματα φυσικού φωτισμού [84][85]

Συχνότητες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα εξαιτίας του φαινομένου οπτικής πάλμωσης

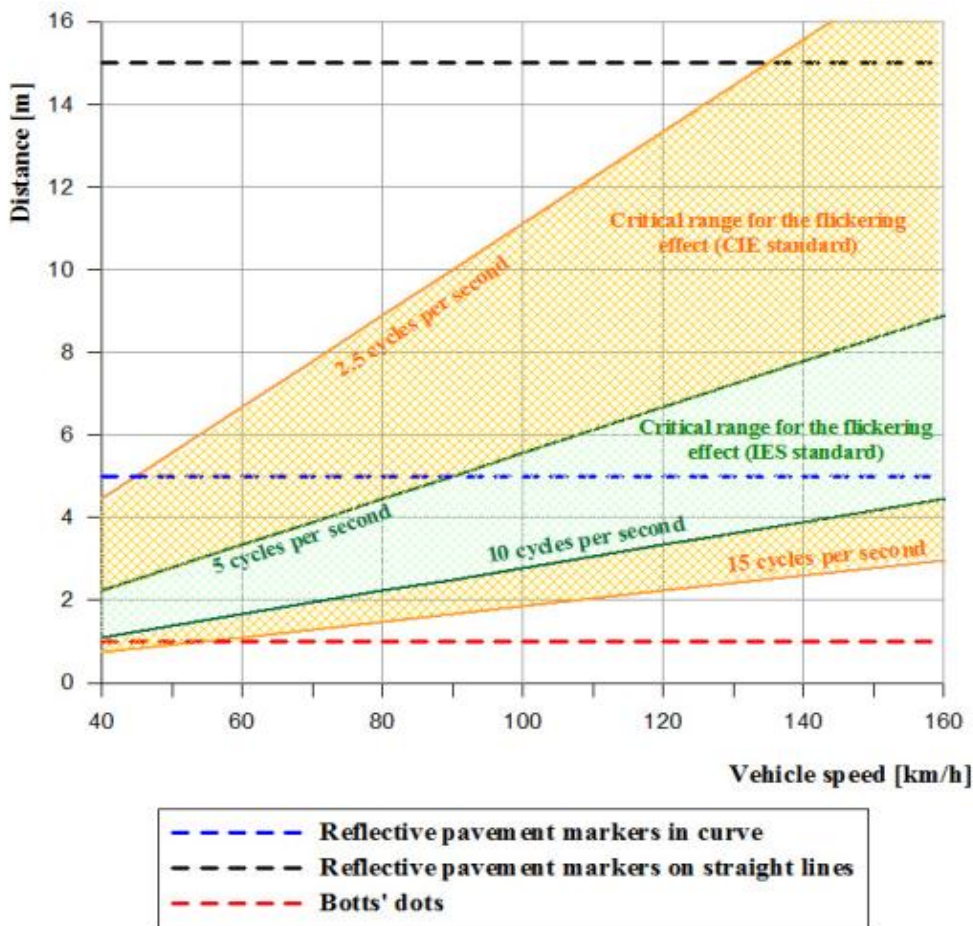
Σύμφωνα με μελέτες, η «ταλάντωση» της φωτεινής ροής σε ένα εύρος συχνοτήτων «ορατών» από το ανθρώπινο μάτι, δεν προκαλεί προβλήματα σε φυσιολογικές συνθήκες φωτισμού όταν η συχνότητα αυτών των διακυμάνσεων είναι χαμηλότερη από $< 2,5 \text{ cycles/s}$ ή μεγαλύτερη από $> 15 \text{ cycles/s}$. Συνεπώς, οι φωτεινές πηγές θα πρέπει να τοποθετούνται σε διαστήματα τέτοια ώστε συναρτήσει και της ταχύτητας υπολογισμού στη σήραγγα, να αποφεύγονται οι «ζώνες» μεταξύ [84]:

- 2.5 και 15 Hz, σύμφωνα με το CIE standard 88-2004 “Guide for the lighting of road tunnels and underpasses”, ή διαφορετικά,



Γράφημα 5: Κρίσιμο εύρος συχνοτήτων για το φαινόμενο οπτικής πάλμωσης (Flickering Effect) [84]

- 5 και 10 Hz, σύμφωνα με το ANSI/IES standard RP-22-1987 “American national standard practice for tunnel lighting”.



Γράφημα 6: Κρίσιμο εύρος συχνοτήτων για το flickering effect illness [84]

Ο υπολογισμός της συχνότητας αυτών των διακυμάνσεων για δεδομένη διάταξη, για ένα άτομο που μετακινείται με συγκεκριμένη ταχύτητα, σχετίζεται με την απόσταση μεταξύ φωτεινών σημείων s (m) και την ταχύτητα οδήγησης v (km/h), σύμφωνα με τον τύπο:

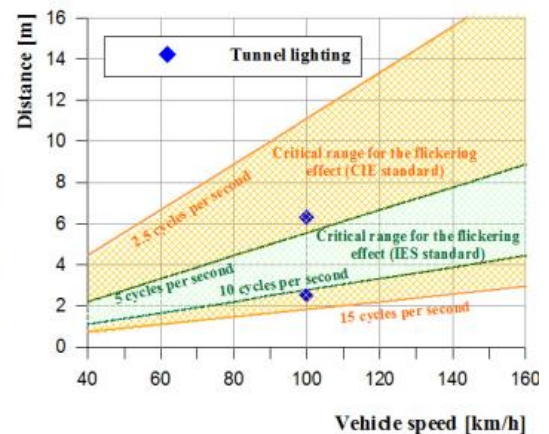
$$f = \frac{V}{3.6} \quad [84]$$

Ενδεικτικά παρατίθεται το συχνοτικό περιεχόμενο των κύριων παραγόντων που οδηγούν στο φαινόμενο οπτικής πάλμωσης (flickering effect), όπως αυτό προέκυψε από μελέτη των Giulio Dondi et al. [86], λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέση ταχύτητα του οχήματος ήταν τα 110 km/h (± 10 km/h) και το εύρος συχνότητας για τους κύριους παράγοντες (διακοπτόμενο συνεχώς φως, διακοπή του ηλιακού φωτός από μεταλλικές υποδομές, ακουστικά εμπόδια) όπως εμφανίζεται ακολούθως:

Type of element	Road tunnels (lighting system)	Noise barrier tunnels	Acoustic barriers
Ranges of frequencies [Hz]	2.50 ÷ 6.30	4.50 ÷ 7.50	8.10 ÷ 9.00

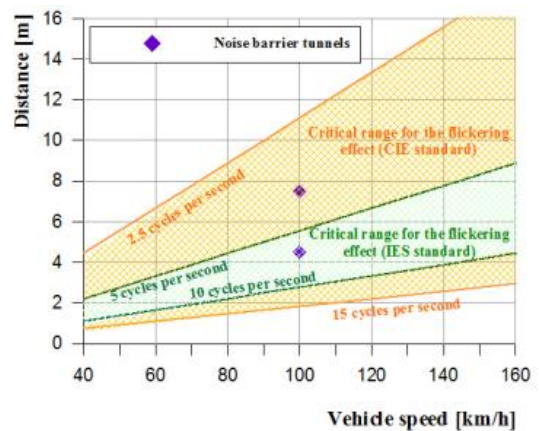
Πίνακας 11: Εύρος συχνοτήτων για τις υπό μελέτη συνθήκες [84]

Τα αποτελέσματα για τις ανωτέρω συνθήκες παρουσιάζονται ακολούθως:



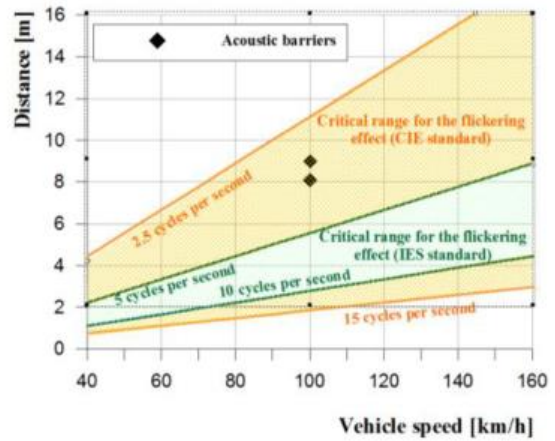
Εικόνα 15: Φωτισμός σήραγγας,

Γράφημα 7: Κρίσιμο εύρος συχνοτήτων για το πρόβλημα φωτεινής πάλμωσης [84]



Εικόνα 16: Ηχοπετάσματα,

Γράφημα 8: Κρίσιμο εύρος συχνοτήτων για το πρόβλημα φωτεινής πάλμωσης [84]



Εικόνα 17: Ακουστικά Εμπόδια,

Γράφημα 9: Κρίσιμο εύρος συχνοτήτων για το πρόβλημα φωτεινής πάλμωσης [84]

Προκειμένου να εξαχθεί η μελέτη φωτισμού λοιπόν μιας εγκατάστασης, πρέπει να υπολογιστεί η συχνότητα της διάταξης από την ανωτέρω αλγεβρική έκφραση (για δεδομένες αποστάσεις φωτιστικών και ταχύτητα μελέτης) για να αποδειχθεί αν βρίσκεται στο κρίσιμο εύρος συχνοτήτων, ώστε να οριστικοποιηθεί η μελέτη ή να επανυπολογισθεί η ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης αυτών των στοιχείων συναρτήσει της υπολογισμένης από μελέτη ταχύτητας στον δρόμο, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο φωτεινής πάλμωσης (flickering effect).

Average vehicle speed [km/h]	100	110	120	130	140
Minimum distance [m]	11.2	12.2	13.3	14.4	15.6

Πίνακας 12: Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης των φωτιστικών ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο φωτεινής πάλμωσης [84]

Πέραν του φαινομένου φωτεινής πάλμωσης υπάρχουν ή συνυπάρχουν και τα ακόλουθα φαινόμενα που σχετίζονται με το φωτισμό ενός δικτύου είτε πρόκειται για ανοικτή οδοποιία είτε για σήραγγα.

- **Φωτοεπιληψία:** αφεσβηγόμενα φώτα ή άλλα επαναλαμβανόμενα μοτίβα διεγείρουν επιληπτικές κρίσεις
- **Στροβοσκοπικό φαινόμενο:** οπτικό φαινόμενο που συμβαίνει όταν η συνεχής κίνηση αντιπροσωπεύεται από μια σειρά σύντομων ή στιγμιαίων δειγμάτων
- **Ημικρανίες ή οξύς πονοκέφαλος:** συχνά συνοδεύονται από ναυτία και άλλες οπτικές ενοχλήσεις
- **Αυξανόμενα επαναλαμβανόμενη συμπεριφορά:** σε περιπτώσεις ατόμων με αυτισμό
- **Ασθενωπία (καταπόνηση των ματιών):** κόπωση, θολή όραση, πονοκέφαλος, μειωμένη απόδοση σε οπτικά απαιτητικά ζητήματα
- **Κρίσεις πανικού, Άγχος, Ταχυπαλμία**

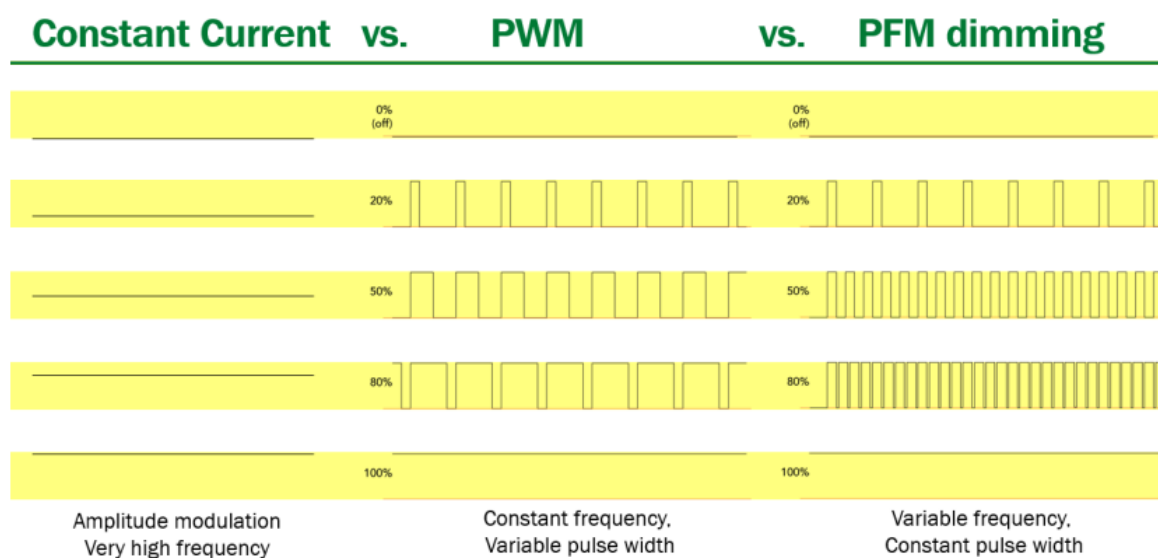
Στην παρούσα χρονική περίοδο, στις εγκαταστάσεις φωτισμού εγκαθίστανται προοδευτικά όλο και περισσότερο φωτιστικά LED, για λόγους ενεργειακής οικονομίας και βιωσιμότητας των υποδομών κλπ. Κρίνεται λοιπόν σημαντικό να αναλυθεί λίγο παραπάνω τι συμβαίνει ως προς το φαινόμενο οπτικής πάλμωσης και την παρούσα τεχνολογία φωτισμού στην οδοποιία.

Ο φωτισμός εντός σήραγγας, όπως έχει προαναφερθεί ακολουθεί ως προς την λαμπρότητα, το φωτισμό εκτός σήραγγας. Αυτό στην περίπτωση λαμπτήρων ατμών Νατρίου υψηλής πίεσης γινόταν με on/off βαθμίδες (ομάδες φωτιστικών), πετυχαίνοντας έτσι υψηλότερη ή χαμηλότερη στάθμη φωτισμού, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Στην περίπτωση του φωτισμού με LED, αυτό γίνεται με dimming των φωτιστικών, με τις ακόλουθες μεθόδους:

Led Dimming

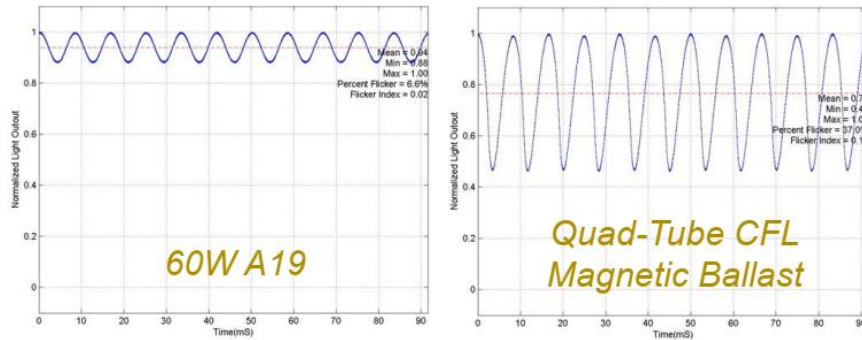
- Συνεχής Μείωση ρεύματος (Constant Current Reduction - CCR) – (χρησιμοποιείται ως αναφορά)
- Διαμόρφωση Εύρους Παλμού (PWM)
- Διαμόρφωση Εύρους Συχνότητας (PFM)

Όπως παρατηρείται και κάτωθι, τα φαινόμενα οπτικής φωτεινής πάλμωσης δεν σχετίζονται μόνο με την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, και την απόσταση των φωτιστικών, αλλά και με τα ίδια τα φωτιστικά (Εικόνα 18)



Εικόνα 18: Σύγκριση του Dimming, ακολουθώντας 3 διαφορετικές μεθόδους για LED φωτισμό [87]

Βέβαια, δεν είναι μόνο ο φωτισμός με LED που παρουσιάζει ένα είδος φωτεινής πάλμωσης. Πολλές διαφορετικές πηγές φωτισμού παράγουν παρόμοια συμπεριφορά (Εικόνα 20).



Εικόνα 19: Φαινόμενο οπτικής πάλμωσης σε διαφορετικές πηγές φωτισμού [87]

Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί το φαινόμενο οπτικής πάλμωσης χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εκφράσεις [87]:

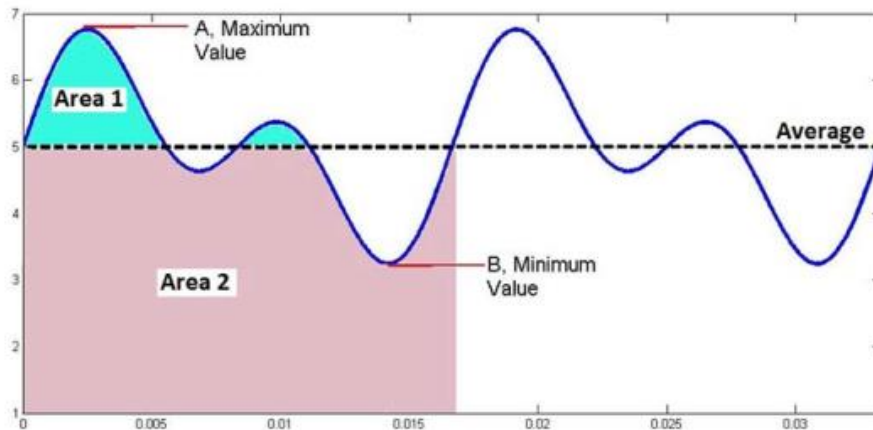
- Ποσοστό πάλμωσης

$$\text{Percent Flicker} = (100\%) \frac{A - B}{A + B}$$

- Δείκτης Πάλμωσης

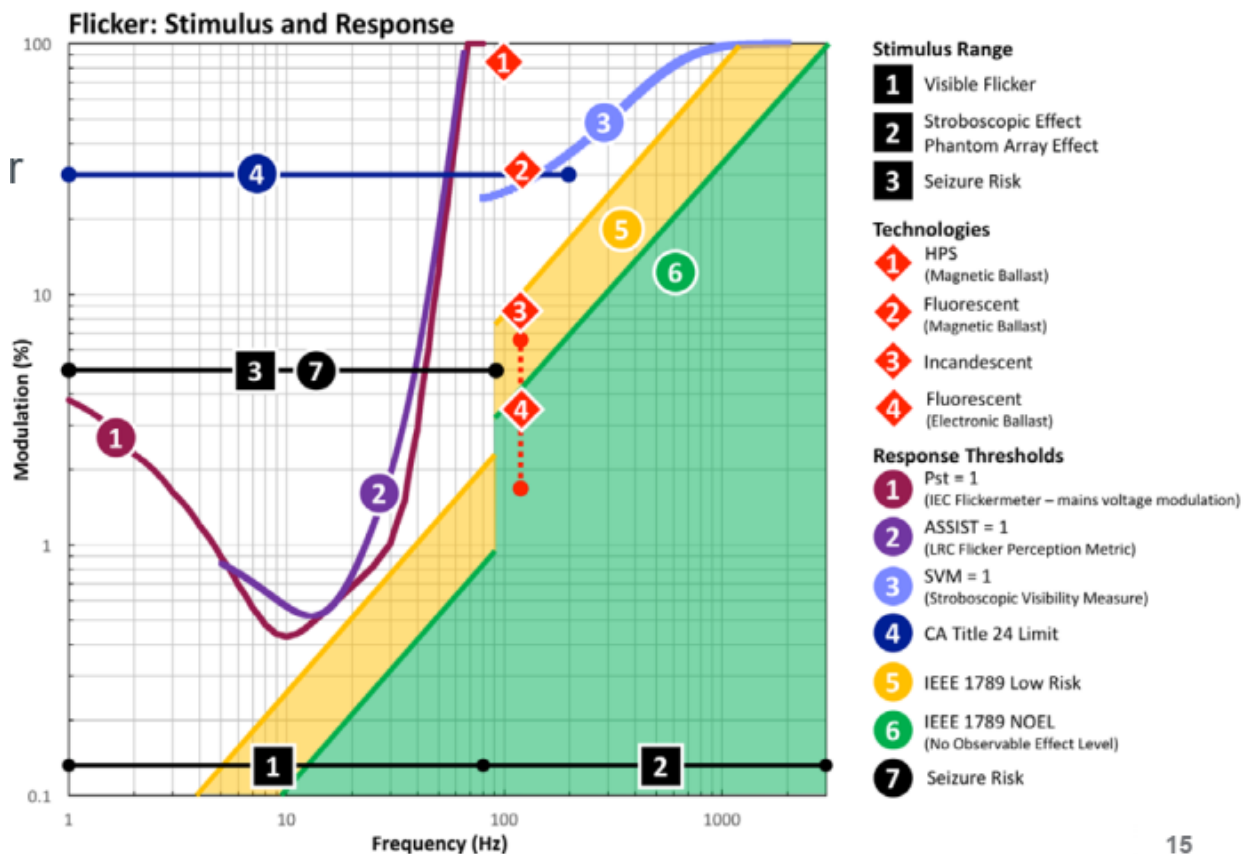
$$\text{Percent Flicker} = (100\%) \frac{\text{Area 1}}{\text{Area 1} + \text{Area 2}}$$

όπου τα A, B, Area 1 & Area 2 προκύπτουν από δεδομένα όπως αυτά παρουσιάζονται στο ακόλουθο γράφημα



Γράφημα 10: Οπτική πάλμωση [87]

Στην ακόλουθη γραφική παράσταση παρουσιάζονται ταυτόχρονα οι ζώνες συχνοτήτων και διαμόρφωσης οι οποίες σχετίζονται με την πρόκληση διαφόρων οπτικών φαινομένων (Γράφημα 11).



15

Γράφημα 11: Φαινόμενο οπτικής πάλμωσης: Ερέθισμα και Απόκριση [87].

Ακολούθως και για λόγους πληρότητας, παρατίθενται διάφορα οπτικά φαινόμενα που σχετίζονται με την αντίληψη του φωτός ή της κίνησης ενός αντικειμένου, φαινόμενα που οδηγούν σε εσφαλμένα οπτικά δεδομένα.

Στροβοσκοπικό φαινόμενο: Είναι οπτικό φαινόμενο που συμβαίνει όταν η συνεχής κίνηση αντιπροσωπεύεται από μια σειρά σύντομων ή στιγμιαίων δειγμάτων. Συμβαίνει όταν η θέαση ενός αντικειμένου παρίσταται ως μια σειρά από διακριτά στιγμιότυπα και το κινούμενο όχημα εκτελεί περιστροφική ή κυκλική κίνηση με έναν ρυθμό κοντά στη συχνότητα δειγματοληψίας (Εικόνα 20). Το περιστρεφόμενο αντικείμενο σε αυτήν την περίπτωση δείχνει να περιστρέφεται στην αντίθετη κατεύθυνση από την πραγματική.



Εικόνα 20: Στροβοσκοπικό φαινόμενο ²³

Phantom Array Effect: Προκαλείται από ένα φωτεινό οπτικό ερέθισμα σε συνδυασμό με γρήγορη κίνηση του ματιού. Όπως και το στροβοσκοπικό φαινόμενο, σχετίζεται με συχνότητες αντίστοιχες με τη συχνότητα δειγματοληψίας.



Εικόνα 21: Phantom Array Effect ²⁴

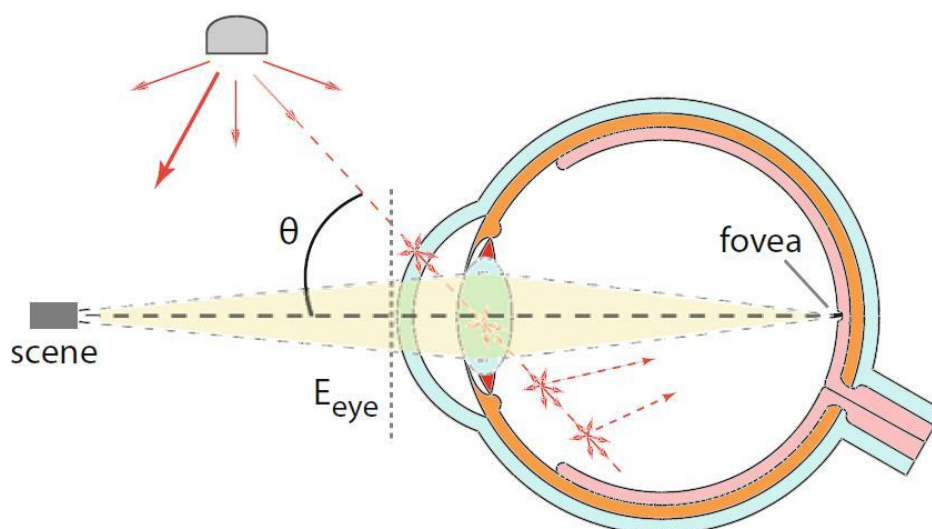
²³ https://en.wikipedia.org/wiki/Stroboscopic_effect

²⁴ <https://www.ies.org/fires/concerns-in-the-age-of-the-led-temporal-light-artifacts/>

3.4. Θάμβωση

Ένας ακόμη τεχνικός παράγοντας που επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά είναι η θάμβωση. Η θάμβωση ορίζεται ως η αίσθηση στιγμιαίας τύφλωσης που προκύπτει από μια φωτεινή πηγή φωτός, όταν αυτή εισέλθει στο οπτικό πεδίο ενός ανθρώπου. Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας, λόγω υπερβολικών αντιθέσεων της. Η θάμβωση μπορεί να πάρει δύο μορφές, οι οποίες κάποιες φορές συμβαίνουν ξεχωριστά και κάποιες άλλες ταυτόχρονα [88]. Οι δύο μορφές είναι γνωστές ως εξής:

- Θάμβωση Ανικανότητας (disability glare), η οποία συμβάλλει στην μειωμένη ευαισθησία οπτικής αντίθεσης αντικειμένων. Αυτή η μειωμένη ευαισθησία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ικανότητα να αναγνωρίσουμε κρίσιμα αντικείμενα στον δρόμο, να διαβάσουμε πινακίδες και να αξιολογήσουμε-αντιμετωπίσουμε κινδύνους. Παρότι η αίσθηση θάμβωσης ποικίλει μεταξύ διαφορετικών ανθρώπων, μπορεί να ποσοτικοποιηθεί αντικειμενικά. Ο μηχανισμός με βάση τον οποίο χάνεται η οπτική απόδοση εξαιτίας της παρουσίας της θάμβωσης γίνεται καλύτερα αντιληπτός εξετάζοντας την εικόνα 22.



Εικόνα 22: Μηχανισμός Θάμβωσης [89]

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας εστιάζει σε μία εικόνα του περιβάλλοντος και έτσι το τελικό οπτικό αποτέλεσμα καθορίζεται από την λαμπρότητα της εικόνας. Ταυτόχρονα όμως η φωτεινή ροή, που προέρχεται από μία πηγή θάμβωσης που βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο όρασης, διασκορπίζεται στο φακό και στον βολβό του ματιού. Μέρος αυτής της φωτεινής ροής, ανακατευθύνεται προς το κεντρικό βοθρίο (Το κεντρικό βοθρίο, μια μικρή περιοχή που περιέχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση κωνίων στο μάτι και είναι υπεύθυνη για την κεντρική όραση), όπου επιδρά αρνητικά στην εικόνα (που κοιτάμε), μειώνοντας έτσι την αντίθεση. Συμπεριφέρεται, λοιπόν σαν ένα φωτεινό πέπλο λαμπρότητας, καλύπτοντας το πεδίο όρασης [89].

Κατά την οδήγηση, η θάμβωση κατά κύριο λόγο συναντάται στις πηγές φωτισμού ή διαφορετικά στα φωτιστικά ανοικτής οδοποιίας και στα φωτιστικά των σηράγγων. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του δείκτη θάμβωσης (TI) εξαρτάται από την κατανομή του φωτός εντός του φωτιστικού σώματος (μεταξύ 70° και 90° στο κατακόρυφο επίπεδο), τη λαμπρότητα του δρόμου, την διάταξη των φωτιστικών σωμάτων και τον τύπο τους, το ύψος ανάρτησης των φωτιστικών σωμάτων καθώς και την θέση του παρατηρητή [69]. Υπολογίζεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$TI = 65 \frac{L_V}{L_{av}^{0,8}} [69], \quad \text{όπου:}$$

TI: δείκτης θάμβωσης

L_V : ισοδύναμη λαμπρότητα σε cd/m^2 για έναν παρατηρητή ο οποίος βλέπει σε ευθεία παράλληλη προς τον διαμήκη άξονα του δρόμου και 1° κάτω από το οριζόντιο επίπεδο

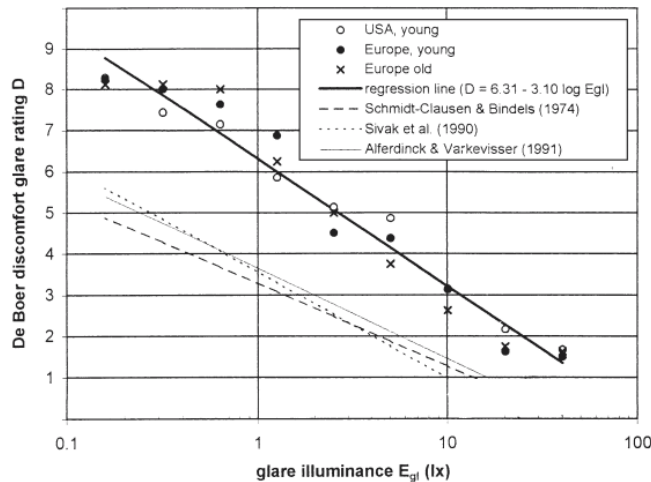
L_{av} : η μέση λαμπρότητα της επιφάνειας του δρόμου σε cd/m^2 και ορίζεται ως το ποσοστό αύξησης της λαμπρότητας περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου

Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι η θάμβωση μπορεί να αποφευχθεί όταν μεταξύ των σημείων του οπτικού πεδίου με την μέγιστη και την ελάχιστη λαμπρότητα ισχύει η σχέση:

$$\frac{L_{max}-L_{min}}{L_{min}} < 0.1, [69]$$

Η τιμή του TI κατ' ουσίαν, περιγράφει την μείωση της οπτικής απόδοσης εξαιτίας της θάμβωσης. Κάθε κομμάτι του οδοστρώματος, έχει διαφορετικά επίπεδα θάμβωσης και έτσι η επίδραση της θάμβωσης σε ένα παρατηρητή θα είναι διαφορετική σε κάθε σημείο.

- Ψυχολογική θάμβωση (discomfort glare), η οποία προκαλεί αίσθηση δυσφορίας χωρίς απαραίτητα να εξασθενεί την θέαση των αντικειμένων. Μπορεί να ορισθεί με τη βοήθεια κλίμακας βαθμονόμησης (DeBoer rating scale), βαθμολογώντας πόσο ενοχλητική είναι μια δέσμη φωτός όταν αυτή προσπίπτει απευθείας πάνω μας (εξαρτάται από την ηλικία καθώς και από προηγούμενη έκθεση σε πηγές θάμβωσης [90]).



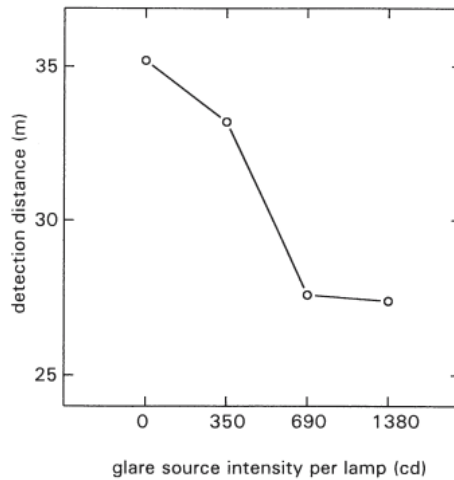
Γράφημα 12: Η κλίμακα DeBoer συναρτήσσει της φωτεινότητας όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τον παρατηρητή [88]

Επίσης, ανεξάρτητα από την μορφή της, η θάμβωση μπορεί να είναι άμεση ή ανακλώμενη:

- Η άμεση θάμβωση μπορεί να προκληθεί από ένα «ιδιαίτερο φωτεινό» φωτιστικό το οποίο θα βρεθεί εντός του οπτικού πεδίου ενός παρατηρητή
- Η ανακλώμενη θάμβωση προκύπτει όταν κάποιο φωτιστικό σημείο φωτίζει εκτός από τον δρόμο και κάποιο άλλο κοντινό σημείο (σπίτι, πινακίδα, τοίχο) έτσι ο φωτισμός ανακλάται και το αποτέλεσμα του οπτικού πεδίου του παρατηρητή αλλοιώνεται.

Η θάμβωση είναι ίσως το πιο σοβαρό αποτέλεσμα του οχληρού φωτισμού που μπορεί να προκαλέσει έντονη οπτική δυσφορία. Στο άτομο δημιουργείται μια γενική δυσφορία και έντονα συναισθήματα ανασφάλειας και αποπροσανατολισμού. Είναι πολύ εύκολο να χάσει την πορεία της κίνησης του, να διχαστεί και να κυριευθεί από συναισθήματα άγχους, απογοήτευσης, ακόμη και πανικού. Αυτό που απειλείται άμεσα είναι η ασφάλεια του ίδιου του ατόμου, αλλά και των υπολοίπων που βρίσκονται σε κοντινή ακτίνα απόστασης και μπορεί να επηρεαστούν από λανθασμένες ή επικίνδυνες ενέργειες του υπό τις συνθήκες αυτές. Συνήθης περίπτωση είναι οι οδηγοί να τυφλώνονται στιγμιαία εξαιτίας της θάμβωσης από διερχόμενα αυτοκίνητα σε νυχτερινή οδήγηση, σε σκοτεινό οδόστρωμα. Η θάμβωση αυξάνεται όταν η φωτεινότητα της πηγής αυξάνεται, η φωτεινότητα του υποβάθρου μειώνεται και η γωνία μεταξύ του «line of sight» και της φωτεινής πηγής, επίσης μειώνεται [91][92].

Σε πειράματα που έγιναν σχετικά, καταγράφηκαν μεταξύ άλλων, η ταχύτητα οδήγησης και η φωτεινότητα του σκηνικού, σε συνθήκες για τις οποίες η μόνη παράμετρος που μεταβαλλόταν ήταν η θάμβωση. Παρατηρήθηκε η επίδραση της πηγής θάμβωσης στην απόσταση αναγνώρισης αντικειμένων.



Γράφημα 13: Το απαιτούμενο διάστημα αναγνώρισης αντικειμένου συναρτήσει της έντασης θάμβωσης της πηγής [88]

Από το ανωτέρω διάγραμμα, διαπιστώνεται η επίδραση της θάμβωσης (φυσιολογική και ψυχολογική) στην οδηγική συμπεριφορά και στην αποτελεσματικότητα του οδηγού: μείωση ταχύτητας εξαιτίας της μείωσης της ικανότητας αναγνώρισης ενός εμποδίου (αναγνώριση αντικειμένου σε κοντινότερη απόσταση).

Για να αποφύγουμε τη θάμβωση, θα πρέπει:

- η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της οπτικής γραμμής (δηλαδή της νοητής γραμμής που διέρχεται από το κέντρο του οπτικού πεδίου του εργαζομένου) και του φωτιστικού σώματος να είναι μεγαλύτερη των 30° ,
- να μη συμπίπτει η οπτική γραμμή με την κατεύθυνση των ανακλώμενων ακτινών (κατοπτρισμός σε λεία επιφάνεια = έμμεση θάμβωση),
- η λαμπρότητα του γενικού φωτισμού να είναι μικρότερη από 0,3 SB, ενώ του τοπικού, μικρότερη από 0,2 SB

3.5. Οπτικό πεδίο και ταχύτητα ²⁵

Κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό να γίνει αντιληπτή η επίδραση του «οπτικού περιβάλλοντος» στο οποίο καλείται ο οδηγός να ανταποκριθεί και πως αυτό επηρεάζει την αντίληψή του, τις αποφάσεις του και διαμορφώνει τις επιλογές του. Επιλογές που βασίζονται στο οπτικό πεδίο όπως το αντιλαμβάνεται ο ίδιος ο οδηγός, με τη βοήθεια των φίλτρων που θέτουν η εμπειρία, τα ατομικά χαρακτηριστικά κλπ. Επιλογές που θα καθορίσουν την ταχύτητα με την οποία κινείται ο οδηγός, το ύψος της οδήγησης, το επίπεδο της προσοχής του στον δρόμο, το οδικό δίκτυο που θα χρησιμοποιήσει, κ.α., παράγοντες καθοριστικούς για την οδηγική του συμπεριφορά.

²⁵ Quantifying visual road environment to establish a speeding prediction model: An examination using naturalistic driving data

Αν και η οδήγηση λαμβάνει χώρα σε ένα πολυσύνθετο περιβάλλον, οι ικανότητες όρασης του οδηγού, η ευκρίνεια, το λειτουργικό οπτικό του πεδίο και η αντίληψη βάθους και κίνησης, καθορίζουν σε μεγάλο ποσοστό την ανίχνευση και αναγνώριση των «αντικειμένων» που τον ενδιαφέρουν (π.χ. σήματα της τροχαίας, άλλα οχήματα, πεζοί), τον προσανατολισμό του στο χώρο και την αποφυγή πιθανών εμποδίων. Είναι αδιαμφισβήτητο, επομένως, ότι η όραση του οδηγού αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την ασφαλή οδήγηση και για αυτό το λόγο οφείλουμε ως οδηγοί να εξασφαλίζουμε ΠΑΝΤΑ την καλύτερη όραση.

Η όραση είναι το σημαντικότερο από τα πέντε κανάλια επικοινωνίας του ανθρώπινου σώματος με το περιβάλλον. Το φάσμα των δεδομένων που επεξεργάζεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος μέσω του καναλιού της όρασης είναι κατά πολύ ευρύτερο από αυτά των άλλων αισθήσεων. Περίπου το 30% του εγκεφάλου ασχολείται με την επεξεργασία και την ερμηνεία των ερεθισμάτων της όρασης.

Φυσικά, η όραση αποτελεί και την κυριότερη οδό μέσω της οποίας ο οδηγός συλλέγει τις περισσότερες από τις πληροφορίες που χρειάζεται για την εκτέλεση της εργασίας του και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων των ενεργειών του.

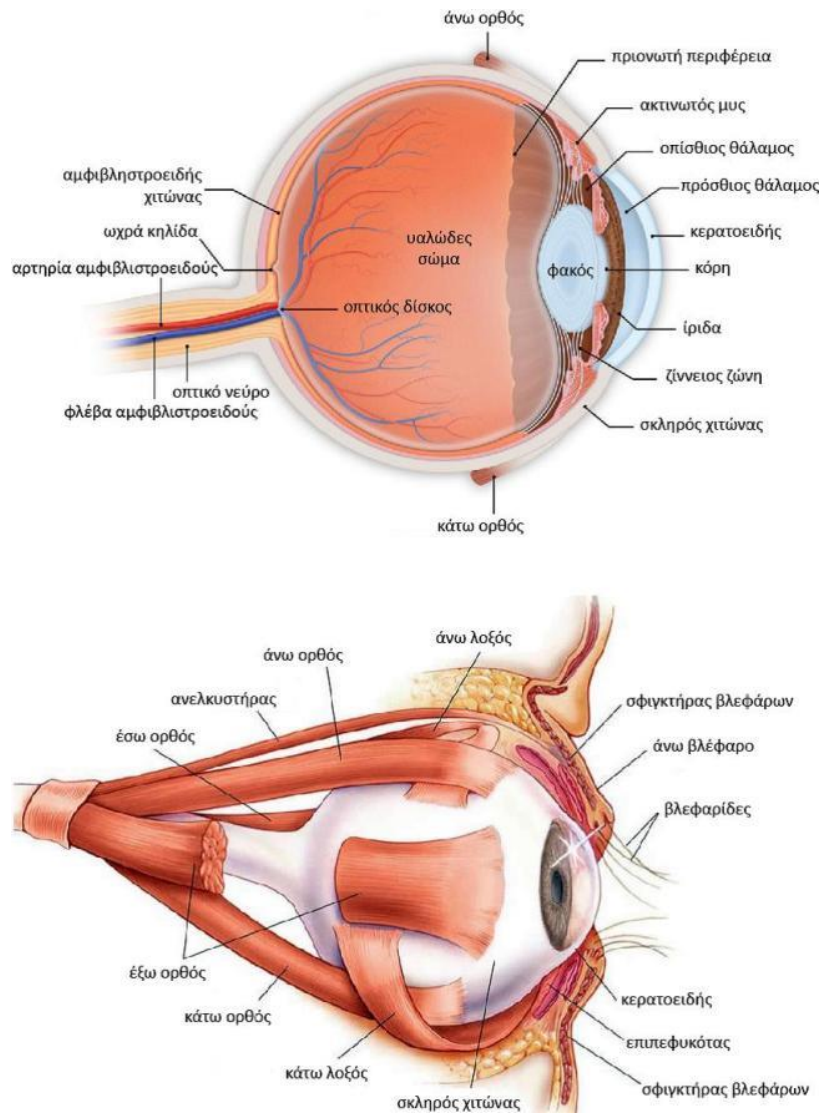
Ο Μηχανισμός της όρασης²⁶

Η ανθρώπινη όραση έχει συχνά παρομοιαστεί με τις λειτουργίες της φωτογραφικής μηχανής, αλλά στην πραγματικότητα αποτελεί ένα σαφώς πιο εξελιγμένο μηχανισμό μέσω του οποίου αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο που μας περιβάλλει σε επίπεδο μορφών, χρωματικών αποχρώσεων και κίνησης.

Το όργανο μέσω του οποίου επιτελείται η λειτουργία της όρασης είναι ο οφθαλμός, η δομή και λειτουργία του οποίου είναι αρκετά σύνθετη. Για τις ανάγκες της αναφοράς μας θα παρουσιάσουμε μόνο περιληπτικά τη λειτουργία της όρασης, επικεντρωνόμενοι κυρίως σε κάποια στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την κατανόηση τόσο του μηχανισμού της όρασης όσο και της κόπωσης του οπτικού συστήματος.

Σε πολύ αδρές γραμμές λοιπόν, ο μηχανισμός της όρασης θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής: τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπουν τα αντικείμενα που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο (είτε είναι τα ίδια πηγές φωτός είτε εξ αντανακλάσεως), αφού περάσουν από τον κερατοειδή χιτώνα, τον πρόσθιο θάλαμο, την κόρη και τον κρυσταλλοειδή φακό, φθάνουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Εκεί υπάρχουν οι απολήξεις του οπτικού νεύρου (αισθητήριοι δέκτες) όπου και μετατρέπεται η προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ορατού οπτικού φάσματος σε νευρικά σήματα. Στη συνέχεια το νευρικό ερέθισμα, κατάλληλα επεξεργασμένο μεταφέρεται μέσω του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο δημιουργώντας την οπτική αίσθηση.

²⁶ <https://applyergonomics.wordpress.com/2017/05/05/%CE%BF%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83-%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD-%CE%B5%CF%81%CE%B3/>



Εικόνα 23: Απλοποιημένη αναπαράσταση του οφθαλμού²⁷

Στην πραγματικότητα, αυτό που «βλέπει» ο άνθρωπος δεν αντιστοιχεί απόλυτα στα οπτικά ερεθίσματα του φυσικού αντικειμένου. Εξαρτάται τόσο από τη φυσική δομή και βιολογική κατάσταση των ματιών και του εγκεφάλου του όσο και από εξατομικευμένο τρόπο που οι προθέσεις, οι επιθυμίες, τα ενδιαφέροντα και οι εμπειρίες μεταφράζουν τα νευρικά σήματα που λαμβάνει ο εγκέφαλος. Με λίγα λόγια οι άνθρωποι δεν βλέπουν τα διάφορα αντικείμενα όπως είναι, αλλά όπως εκείνοι είναι φτιαγμένοι για να τα δουν.

Οπτικό πεδίο – Κεντρική και περιφερειακή όραση

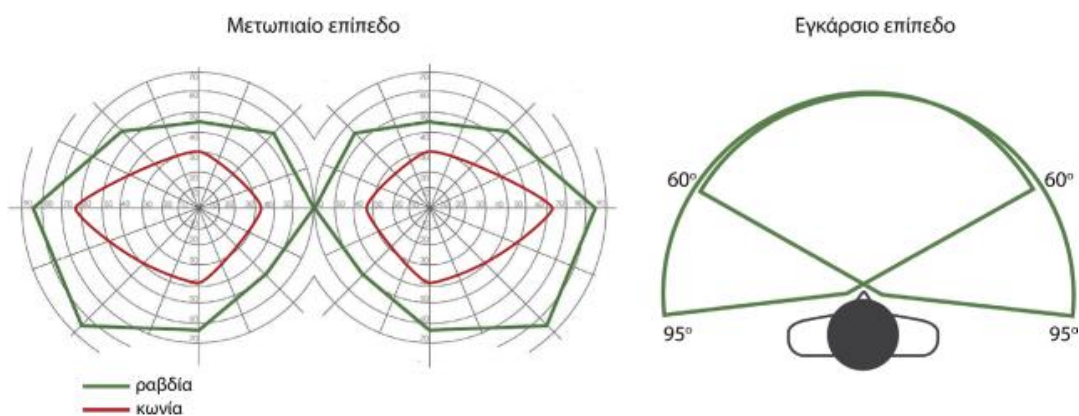
Οπτικό πεδίο ονομάζουμε την περιοχή που καλύπτει η όραση του ανθρώπου όταν το κεφάλι του είναι ακίνητο. Το ανθρώπινο μάτι σε ηρεμία έχει πεδίο όρασης 120 μοιρών κατακόρυφα και 150 μοιρών οριζόντια. Τα δύο μάτια μαζί ανεβάζουν το οριζόντιο πεδίο κοντά στις 200

²⁷ <https://applyergonomics.wordpress.com/2017/05/05/%CE%BF%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83-%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD-%CE%B5%CF%81%CE%B3/>

μοίρες. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα όρια του οπτικού πεδίου, τόσο για όραση με τον ένα οφθαλμό, όσο και για όραση με τους δύο οφθαλμούς.

Το οπτικό πεδίο χωρίζεται σε δύο περιοχές, στην περιοχή της κεντρικής όρασης, όπου είναι δυνατή η αντίληψη των λεπτομερειών των αντικειμένων, καθώς και των χρωμάτων (περιοχή που περικλείεται στο κόκκινο πλαίσιο για το αριστερό σχήμα – μετωπιαίο επίπεδο οπτικού πεδίου) και στην περιοχή της περιφερειακής όρασης στην οποία μόνο χονδρικές πληροφορίες, όπως περιγράμματα και μεταβολές της διαφοράς φωτεινότητας, μπορούν να γίνουν αντιληπτές (περιοχή που περικλείεται στο πράσινο πλαίσιο) (Εικόνα 24).

Η κεντρική και η περιφερειακή όραση αποτελούν ξεχωριστές αλλά συμπληρωματικές λειτουργίες της όρασης. Έχοντας μόνο την κεντρική όραση είναι σαν να βρίσκεται κάποιος σε σκοτεινό δωμάτιο με ένα μόνο φακό με πολύ στενή δέσμη φωτός. Η εξέταση του χώρου είναι δυνατή, αλλά υπάρχει αβεβαιότητα για το ευρύτερο περιβάλλον. Αντίθετα η περιφερειακή όραση από μόνη της, εξασφαλίζει να μπορεί όλος ο χώρος να γίνει αντιληπτός, όχι όμως με λεπτομέρεια.



Εικόνα 24: Τα όρια του οπτικού πεδίου²⁸

Κατόπτευση ή ανίχνευση του χώρου

Οι κινήσεις των οφθαλμών για τη συλλογή οπτικών πληροφοριών από το περιβάλλον δεν γίνονται με τυχαίο τρόπο. Τα περιγράμματα των αντικειμένων, τα όρια μεταξύ δύο επιφανειών με διαφορετικά χρώματα ή με διαφορετική φωτεινή ένταση, καθώς και οποιαδήποτε αλλαγή συμβεί εντός του οπτικού πεδίου, σε ένα σημείο του χώρου που καλύπτει η περιφερειακή όραση, προκαλούν την κίνηση των οφθαλμών προς αυτό (μέσω εντολών του αυτόνομου νευρικού συστήματος), ώστε να βρεθεί στο κέντρο του οπτικού πεδίου και μέσω της κεντρικής όρασης να γίνει συλλογή των λεπτομερών οπτικών πληροφοριών. Η διαδικασία αυτή αποκαλείται και εστίαση των οφθαλμών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που βρίσκονται στο οπτικό πεδίο, η κατόπτευση του χώρου επηρεάζεται επίσης από τις γνώσεις και τις εμπειρίες του ανθρώπου ή τους στόχους της εργασίας που εκτελεί τη συγκεκριμένη στιγμή

²⁸ <https://applyergonomics.wordpress.com/2017/05/05/%CE%BF%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%83-%CE%BF%CF%80%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD-%CE%B5%CF%81%CE%B3/>

(επηρεάζουν το πώς αξιολογεί και δίνει προτεραιότητα στην κάθε παρατηρούμενη μέσω της περιφερειακής όρασης μεταβολή εντός του οπτικού του πεδίου).

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι το οπτικό σύστημα του ανθρώπου συλλέγει στιγμιαία λεπτομερείς πληροφορίες από συγκεκριμένες περιοχές του περιβάλλοντος, σαν να ελάμβανε πολλές στιγμιαίες φωτογραφίες. Μέσω του μηχανισμού της εστίασης των οφθαλμών μπορεί να αντιληφθεί λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που τον ενδιαφέρουν. Με τη βοήθεια της μνήμης και τους μηχανισμούς της αντίληψης, συνθέτει -ολοκληρώνει αυτές τις στιγμιαίες εικόνες σε μία ολοκληρωμένη και συνεχή εικόνα. Η ολοκληρωμένη εικόνα που δημιουργείται στον εγκέφαλο δεν περιέχει ασυνέχειες και μπορεί να είναι δυναμική (κινούμενη).

Οπτική Προσαρμογή – Θάμβωση – Συνέπειες ακατάλληλου φωτισμού

Το ανθρώπινο οπτικό σύστημα προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες γενικού φωτισμού, ώστε να καταφέρει να ανταποκριθεί στο μεγάλο εύρος φωτισμού που προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή (σε συνθήκες πχ μια σκοτεινής νύχτας ή μιας ηλιόλουστης ημέρας). Η προσαρμογή από το σκοτάδι στο φως είναι γρήγορη – μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα – ενώ το αντίθετο απαιτεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Προκειμένου οι αισθητήριοι δέκτες που βρίσκονται στον αμφιβληστροειδή χιτώνα να εκτίθενται σε κατάλληλα επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ή κατάλληλη ένταση φωτός), η διάμετρος της κόρης αυξομειώνεται αντίστοιχα (κατ' αντιστοιχία με τη λειτουργία του διαφράγματος μιας φωτογραφικής μηχανής που επιτρέπει λιγότερο ή περισσότερο φως να διέλθει από αυτό). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αυξομείωσης του μήκους του ακτινωτού μυός από τον οποίο αποτελείται η ίριδα.

Το βάθος πεδίου του ανθρώπινου οπτικού συστήματος (η ικανότητα του ματιού σε ηρεμία να διακρίνει καθαρά αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση) είναι κατά μέσο όρο από 6 μέτρα έως το άπειρο. Προκειμένου το είδωλο ενός αντικειμένου, στο οποίο επικεντρώνει την προσοχή του ο θεατής, να δημιουργηθεί ακριβώς μπροστά στους αισθητήριους δέκτες του αμφιβληστροειδούς χιτώνα, το πάχος του κρυσταλλοειδούς φακού αυξομειώνεται με τη βοήθεια κατάλληλων μυών. Όσο η εστίαση γίνεται μακρύτερα από τους οφθαλμούς, τόσο οι μύες τους φορτίζονται λιγότερο, ενώ αντίθετα, η ανάγνωση κειμένων ή η παρατήρηση εικόνων από μικρή απόσταση προξενεί αυξημένη κόπωση του οπτικού συστήματος.

Επίσης, η για μακρό χρονικό διάστημα εστίαση των οφθαλμών σε ένα σημείο, συνεπάγεται τη στατική φόρτιση τόσο των μυών που εξασφαλίζουν τις σακκαδικές κινήσεις των οφθαλμών, όσο και των μυών της ίριδας.

Τέλος, ένα σύνολο μυών εξασφαλίζει τις κινήσεις του οφθαλμού αλλά ακόμα και του κεφαλιού, κατά τη λειτουργία της κατόπτρευσης του περιβάλλοντος (ώστε να εστιάζει στις εκάστοτε πηγές πληροφόρησης).

Γίνεται λοιπόν κατανοητό, ότι όταν οι συνθήκες του οπτικού περιβάλλοντος δεν είναι κατάλληλες (ελλιπής φωτισμός, αυξημένες οπτικές απαιτήσεις), για να μπορέσει το οπτικό σύστημα του οργανισμού να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις, το σύνολο των μυών του οφθαλμού που εμπλέκονται επιβαρύνονται σημαντικά με συνέπεια την γρήγορη κόπωση τους.

Η οπτική κόπωση μπορεί να εκδηλωθεί με ψυχοσωματικά συμπτώματα ή ακόμα και βλάβες του οφθαλμού όπως:

- ο ερεθισμός των οφθαλμών
- η δακρύρροια
- η επιπεφυκίτιδα
- η διπλωπία
- οι πονοκέφαλοι
- η υπνηλία
- η μειωμένη οπτική οξύτητα

Παρατεταμένη κόπωση του οπτικού συστήματος μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη απώλεια της οπτικής οξύτητας και μόνιμες βλάβες του.

Εκτός από την οπτική κόπωση, ένα οπτικά επιβαρυνμένο περιβάλλον μπορεί να αποτελεί την αιτία εμφάνισης ενοχλητικών ή και επικίνδυνων συμπτωμάτων στο οπτικό σύστημα του ανθρώπου και μέσω του φαινομένου της θάμβωσης. Η θάμβωση προκαλείται όταν υπάρχουν περιοχές με υψηλή λαμπρότητα μέσα στο οπτικό πεδίο του εργαζόμενου ή περιοχές με μεγάλη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ τους και διακρίνεται στην φυσιολογική και ψυχολογική.

Επιβαρυντικό Οπτικό Περιβάλλον

Με βάση όσα ήδη αναπτύχθηκαν, γίνεται εμφανής η σημασία του κατάλληλου οπτικού περιβάλλοντος εργασίας για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας ενός οδηγού αλλά και την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης και του κινδύνων που αυτό μπορεί να επιφέρει. Η μείωση της κόπωσης του οπτικού συστήματος και των συνεπειών της πρέπει να αποτελεί επιδίωξη κάθε προσπάθειας βελτίωσης των οδηγικών συνθηκών.

Επιβαρυντικές για το οπτικό σύστημα συνθήκες φωτισμού δημιουργούνται από:

- ανεπαρκή ένταση φωτισμού για τις οπτικές απαιτήσεις της εργασίας που εκτελείται,
- ακατάλληλη χωροθέτηση των πηγών του φωτός ή/και κατεύθυνση των ακτινών του φωτός, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα:
 - θάμβωση, δηλαδή απευθείας πρόσπτωση φωτεινών ακτινών μεγάλης έντασης στους οφθαλμούς
 - μεγάλες διαφορές φωτεινότητας μέσα στο οπτικό πεδίο
 - τη δημιουργία ανακλάσεων στις επιφάνειες εργασίας ή τις οθόνες των Η/Υ
- ακατάλληλη σύσταση του τεχνητού φωτισμού, πολύ διαφορετική από τη σύσταση του φυσικού φωτός, ως προς το εκπεμπόμενο φάσμα.

Αυξημένες οπτικές απαιτήσεις δημιουργούν μεταξύ άλλων:

- η ανάγκη εστίασης των οφθαλμών για μακρό χρονικό διάστημα σε ένα συγκεκριμένο σημείο του οπτικού πεδίου
- η παρακολούθηση ενός κινούμενου αντικειμένου μικρών διαστάσεων για μεγάλο χρονικό διάστημα
- η ανάγκη για λήψη πολλών οπτικών πληροφοριών σε σύντομο χρόνο
- η ανάγνωση κειμένων με μικρού μεγέθους και πυκνογραμμένους χαρακτήρες
- η παρατήρηση γραφικών αναπαραστάσεων και εικόνων με πολλά και έντονα χρώματα

- η ανάγνωση κειμένων ή παρατήρηση εικόνων από μικρή απόσταση.

Σχεδιαστικές οδηγίες για εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών φωτισμού

Είτε πρόκειται για νέα εγκατάσταση, είτε για ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης, ο σχεδιασμός του φωτισμού αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία και εξαρτάται από την αποτελεσματική εφαρμογή των γενικών κατευθυντήριων οδηγιών.

Οι βασικές αρχές για την εξασφάλιση ενός κατάλληλου οπτικού περιβάλλοντος απαιτούν :

- να επιδιώκεται κατά το δυνατό η χρήση φυσικού (έναντι του τεχνητού) φωτισμού όπου αυτό είναι εφικτό και καλύπτει τις απαιτούμενες ανάγκες
- να εξασφαλίζονται καλές συνθήκες φωτισμού (επαρκής φωτισμός φυσικός ή τεχνητός και αποφυγή συνθηκών που προκαλούν οπτική κόπωση και θάμβωση)
- να επιδιώκεται όπου αυτό είναι εφικτό, η μείωση των οπτικών απαιτήσεων του κάθε σημείου που πρόκειται να φωτιστεί,
- ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των διατάξεων από τις οποίες οι οδηγοί συλλέγουν οπτικές πληροφορίες (ενδεικτικά όργανα, οπτικά σήματα, κ.λπ.), να εξασφαλίζουν την άνετη και απρόσκοπτη λήψη των αναγκαίων πληροφοριών
- να εξασφαλίζεται η παροχή οπτικών διαλειμάτων

Αναφορικά με την ηλικία των οδηγών, είναι αποδεδειγμένο ότι όσο μεγαλώνει η ηλικία τόσο περισσότερη ένταση φωτισμού απαιτείται. Συγκεκριμένα ισχύει ότι εάν ένα άτομο ηλικίας 40 ετών χρειάζεται X μονάδες έντασης φωτισμού, τότε:

- ένα άτομο ηλικίας 10 ετών χρειάζεται X/3 μονάδες έντασης φωτισμού,
- ένα άτομο ηλικίας 20 ετών χρειάζεται X/2 μονάδες έντασης φωτισμού,
- ένα άτομο ηλικίας 30 ετών χρειάζεται X/1.5 μονάδες έντασης φωτισμού,
- ένα άτομο ηλικίας 50 ετών χρειάζεται 2X μονάδες έντασης φωτισμού,
- ένα άτομο ηλικίας 60 ετών χρειάζεται 3X μονάδες έντασης φωτισμού.

Σχέση οπτικού πεδίου και ταχύτητας

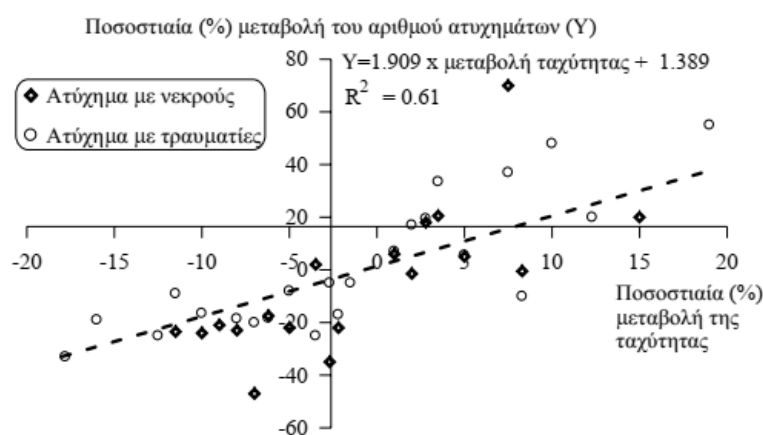
Κατά την διάρκεια της οδήγησης, οι οδηγοί συνεχώς εκτελούν την ακόλουθη επανάληψη: αντιλαμβάνομαι ό,τι βλέπω – αποφασίζω – δρω, καθιστώντας την αντίληψη του τι βλέπει ο οδηγός, έναν παράγοντα που καθορίζει σημαντικά την οδηγική συμπεριφορά [93][94].

Από την σκοπιά του σχεδιασμού του δρόμου, ο Friedman (2006) [95] έδειξε ότι χαρακτηριστικά του οδοστρώματος όπως το πλάτος της λωρίδας, η διαγράμμιση του δρόμου, το πλήθος των λωρίδων, κ.α., επηρεάζουν τις επιλογές των οδηγών ως προς την ταχύτητα.

Εάν ο σχεδιασμός του δρόμου είναι «ελαστικός», πλατιές λωρίδες, χωρίς στρόφες, κλπ., οι οδηγοί νιώθουν μεγαλύτερη ασφάλεια και χαλαρώνουν, αυξάνοντας την ταχύτητα του οχήματός τους [96]. Το ίδιο περίπου συμβαίνει όταν οδηγούν σε ανοικτό πεδίο με φυσικό υπόβαθρο (δέντρα, φυτά) και λιγότερο εντός σηράγγων ή σε πιο ορεινές διαδρομές. Σε διαφορετική τοπολογία, οι παράμετροι αλλάζουν. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, σε μονότονο περιβάλλον, με σήραγγες, ή εντός κατοικημένης περιοχής, η αίσθηση ασφάλειας των οδηγών μειώνεται, όπως αντίστοιχα και η ταχύτητα των οχημάτων [97].

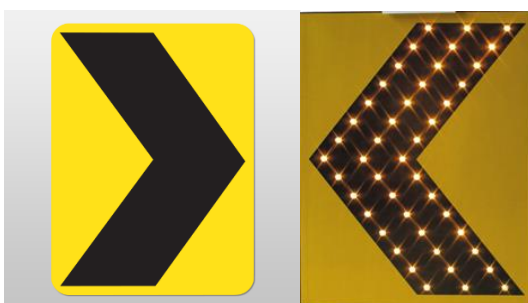
Όπως έχει επίσης αναφερθεί, στην ταχύτητα του οδηγού συμβάλλουν και ατομικά χαρακτηριστικά της προσωπικότητας του οδηγού, όπως η αναζήτηση της περιπέτειας, ο οδηγικός θυμός κ.α. [98]. Οι οδηγοί τείνουν να συμμορφώνονται περισσότερο με τα όρια ταχύτητας καθώς μεγαλώνουν ηλικιακά ή όσο το επίπεδο εκπαίδευσης τους γίνεται πιο υψηλό [99].

Οι περισσότεροι οδηγοί επίσης, ζουν με την πλάνη ότι πιθανή πρόσκρουση σε εμπόδιο με ταχύτητα 80 km/h ή πιθανή μετωπική σύγκρουση με ταχύτητα κάθε οχήματος 60 km/h δεν θα έχει σοβαρές συνέπειες.



Γράφημα 14: Συσχέτιση μεταξύ της μεταβολής της ταχύτητας και της μεταβολής του αριθμού των ατυχημάτων, [100]

Βοήθεια στην καλύτερη αντίληψη του οπτικού πεδίου και καλύτερη κατά συνέπεια επιλογή της ταχύτητας του οχήματος μπορεί να προσφέρει η σωστή οδική σήμανση. Ένας συνδυασμός από σήματα όπως το κάτωθι, τα οποία προειδοποιούν για στροφή ή μείωση του πλάτους του οδοστρώματος, με ή χωρίς αφεσβηνόμενο βέλος, σε συνδυασμό με μεγαλύτερο χώρο πλέον της Λ.Ε.Α. ενδεχομένως να βοηθήσουν σε αυτό το πρόβλημα, βοηθώντας και στην μείωση της ταχύτητας και στην καλύτερη θέση εντός της λωρίδας. Επιλογές που βοηθούν έτι περαιτέρω αποτελούν τα χαμηλότερα όρια ταχύτητας, οι αυστηρότεροι κανόνες καθώς και η αστυνόμευση, καθώς και τα σαμαράκια η/και τεχνητά εμπόδια επί του οδοστρώματος. [101][102][103].



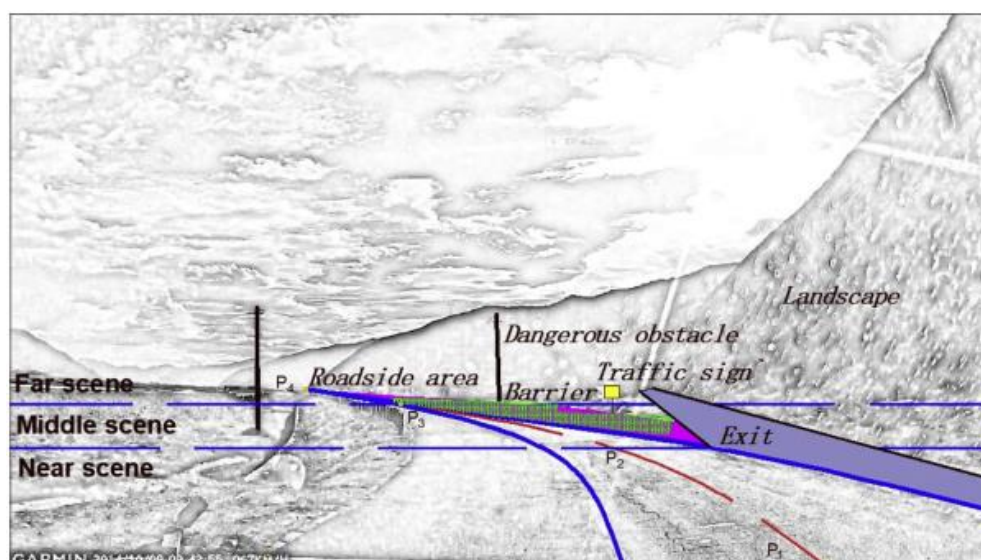
Εικόνα 25: Παράδειγμα οδικής σήμανσης [104]

3.6. Οπτική γεωμετρία του δρόμου

Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι η οπτική του δρόμου, των πρανών καθώς και όλων των παραστάσεων που συνθέτουν το οδηγικό πεδίο, όπως το αντιλαμβάνεται ο οδηγός, είναι διαφορετική σε σχέση με την πραγματικότητα [105][106]²⁹. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Bidulka et al. [107], σε πολλές περιπτώσεις, οι οδηγοί αντιλαμβάνονται εσφαλμένα τις διάφορες παραστάσεις όταν το οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο μπλέκονται, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένες οδηγικές αποφάσεις, εξαιτίας της δυσκολίας του οδηγού στο να αντιληφθεί την κοντινή σε αυτόν γεωμετρία του δρόμου.

Καθίσταται σαφές λοιπόν ότι η οδηγική συμπεριφορά δεν επηρεάζεται από το αντικειμενικό οδηγικό περιβάλλον αλλά από το περιβάλλον που ο οδηγός αντιλαμβάνεται εμπλουτισμένο με υποκειμενικά χαρακτηριστικά που ο ίδιος ο οδηγός θέτει [108].

Για να μπορούν τα ανωτέρω να γίνουν αντιληπτά κρίνεται σκόπιμο να τα καλύψουμε λίγο ακόμη, θέτοντας ένα από παράδειγμα, ως ακολούθως:



Εικόνα 26: Το οπτικό πεδίο ενός οδηγού [109]

Όπως φαίνεται παραπάνω, το σκηνικό που βλέπει ο οδηγός αποτελείται από μακρινό τοπίο, μπάρες, εξόδους, επικίνδυνα εμπόδια, και σήματα κυκλοφορίας.

Το οπτικό πεδίο του οδηγού διακρίνεται σε «κοντινό σκηνικό», «μέσης απόστασης σκηνικό», και «μακρινό σκηνικό». Λαμβάνονται υπόψη το μήκος της στροφής, η καμπυλότητα της στροφής καθώς και η κλίση της. Συνδυάζοντας τα παραπάνω οι πιο κρίσιμοι παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωμετρία του δρόμου και την ταχύτητα του οδηγού, είναι ο συνδυασμός τους, δηλαδή το μήκος της στροφής που βλέπει ο οδηγός στο «κοντινό σκηνικό», η καμπυλότητα του δρόμου στο «μεσαίας απόστασης σκηνικό» καθώς και το συνολικό οπτικό πεδίο στο «κοντινό σκηνικό». Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση των ανωτέρω παραγόντων στην ταχύτητα, μπορεί να συνοψιστεί ως ακολούθως [96]:

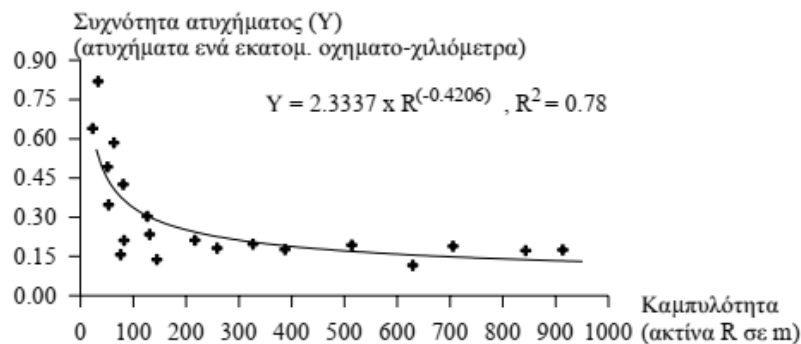
²⁹ new treatments for improving driver performance on combined horizontal and crest vertical curves on two-lane rural roads

	Κοντινό Σκηνικό	Μέτριας Απόστασης Σκηνικό	Μακρινό Σκηνικό
Μήκος Στροφής που βλέπει ο οδηγός	Θετική		Θετική
Καμπυλότητα Στροφής	Αρνητική	Θετική	
Κλίση Στροφής	Αρνητική		Θετική

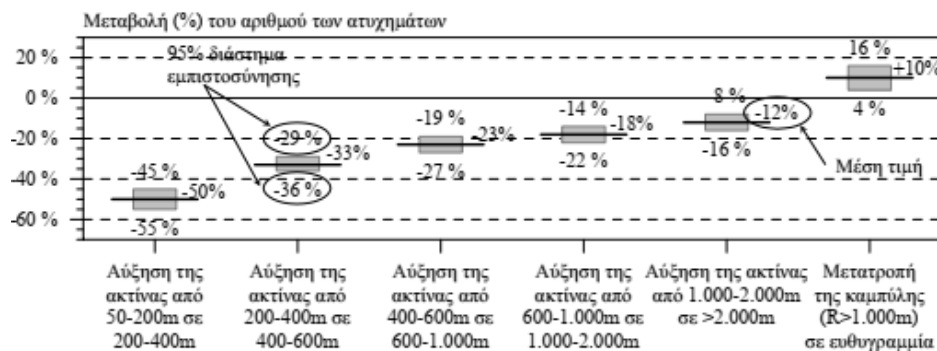
Πίνακας 13: Η επιλογή του οδηγού αναφορικά με την ταχύτητα όταν υπάρχουν στροφές στο οπτικό του πεδίο στο κοντινό, μέσης απόστασης ή μακρινό σκηνικό [109].

3.7. Αποτίμηση της επιρροής της ακτίνας καμπυλότητας και της κλίσης της οδού

Υπάρχει πληθώρα εμπειρικών διαπιστώσεων ότι οι μικρές ακτίνες καμπυλότητας και οι μεγάλες κλίσεις στη χάραξη συμβάλλουν στην αύξηση των ατυχημάτων, [100]. Στο Γράφημα 15 δίνεται η συσχέτιση ανάμεσα στη συχνότητα ατυχημάτων και στην ακτίνα καμπυλότητας. Διαπιστώνεται σημαντική αύξηση της συχνότητας ατυχημάτων σε στροφές με ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη από 400m, εξ' ου και η ανάγκη βελτιώσεων των χαράξεων με ακτίνες μικρότερες από 400m (Γράφημα 16). Σε ό,τι αφορά τη σύγκριση της σχετικής επικινδυνότητας των αριστερόστροφων και δεξιόστροφων καμπυλών, οι αριστερόστροφες καμπύλες παρουσιάζουν κατά 10% μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε σχέση με τις δεξιόστροφες [110]. Σημαντική επιρροή στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας έχει και η μείωση της κλίσης της οδού, ιδίως σε επίπεδα κάτω από 3%, (Γράφημα 17).



Γράφημα 15: Επιρροή της ακτίνας καμπυλότητας στη συχνότητα ατυχημάτων [26]



Γράφημα 16: Επιπτώσεις στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας από την αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας [26]



Γράφημα 17: Επιπτώσεις στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας από τη μείωση της κλίσης της οδού [26]

3.8. Κόμβοι - Διασταυρώσεις

Οι κόμβοι αποτελούν κρίσιμα σημεία του οδικού δικτύου. Είναι τα σημεία όπου οι οδηγοί αλλάζουν διαδρομές ώστε να πραγματοποιούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί προελεύσεων - προορισμών με το ελάχιστο δυνατό δίκτυο. Διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες: **ισόπεδοι κόμβοι** (με ή χωρίς φωτεινή σηματοδότηση, σήμανση), **ανισόπεδοι κόμβοι** (με ή χωρίς ράμπες εισόδου, εξόδου) και κάθε κατηγορία επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο την οδηγική συμπεριφορά.

Οι κόμβοι χαρακτηρίζονται από υψηλότερο ποσοστό ατυχημάτων σε σχέση με άλλα οδικά τμήματα λόγω του μεγαλύτερου αριθμού εν δυνάμει σημείων σύγκρουσης. Όπου αυτό είναι εφικτό, προτείνεται ο σχεδιασμός ανισόπεδων κόμβων, δεν είναι όμως πάντα εφικτό.

Ανισόπεδοι κόμβοι :

Στην περίπτωση των ανισόπεδων κόμβων, ο σχεδιασμός είναι τέτοιος ώστε να εγγυάται τις πιο ασφαλείς δυνατόν συνθήκες, για τον οδηγό και τους συνεπιβάτες του. Οι απαιτήσεις κυκλοφοριακής ασφάλειας κατά τη διαμόρφωση ενός ανισόπεδου κόμβου, είναι ³⁰:

- Έγκαιρη αναγνώριση: Πρωταρχική σημασία έχει η σωστή και πλήρης σήμανση. Τα σημεία εισόδου και εξόδου γίνονται εύκολα αντιληπτά με τη βοήθεια σωστής χάραξης και οπτικής καθοδήγησης (π.χ. διαγράμμιση)
- Επαρκής ορατότητα των γειτονικών επιμέρους τμημάτων του κόμβου
- Εύκολη κατανόηση του κόμβου
- Σωστή χάραξη, ώστε το οδόστρωμα να ανταποκρίνεται στα δυναμικά χαρακτηριστικά των οχημάτων, και η υποδομή του να είναι τέτοια που να υποστηρίζει όλες τις δυνατές συνθήκες (π.χ. γρήγορη απορροή των επιφανειακών όμβριων υδάτων)

Η ποιότητα της κυκλοφορίας στην περιοχή του κόμβου θα πρέπει να είναι της ίδιας ή παρόμοιας στάθμης με εκείνη της ελεύθερης διαδρομής, χωρίς να δημιουργούνται κυκλοφοριακά προβλήματα στις ράμπες εισόδου ή εξόδου.

³⁰ Άγγελος Λ. Νικηφοριάδης, ΥΠΕΧΩΔΕ / 3^ο Δ.Ε.Κ.Ε. Θεσσαλονίκης

Ισόπεδοι Κόμβοι:

Και στην περίπτωση των ισόπεδων κόμβων, ο σχεδιασμός διαρκώς αναβαθμίζεται ώστε να εγγυάται τις πιο ασφαλείς δυνατόν συνθήκες, για τον οδηγό και τους συνεπιβάτες του. Διακρίνεται σε:

- Ισόπεδος κόμβος με κυκλική πορεία (round about),

Ένας από τους συνηθέστερους λόγους επιλογής των κυκλικών κόμβων έναντι των άλλων συμβατικής μορφής ισόπεδων κόμβων είναι η προσφερόμενη βελτιωμένη οδική ασφάλεια. Οι κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν λιγότερα σημεία πιθανών συγκρούσεων, απαλείφοντας, μάλιστα, τις εμπλοκές τύπου διασταύρωσης (πλαγιομετωπικές συγκρούσεις). Επιπλέον, η ιδιαίτερη γεωμετρία που έχουν, ρυθμίζει τις ταχύτητες των οχημάτων, με αποτέλεσμα τα οχήματα να κινούνται σε χαμηλές και ομοιόμορφες ταχύτητες, προσφέροντας μεγαλύτερο περιθώριο για αντίδραση, αλλά και ηπιότερες επιπτώσεις σε τυχόν συγκρούσεις. Δεν είναι δυστυχώς όμως πάντα η επιλογή ενός τέτοιου κόμβου στον σχεδιασμό ενός οδικού δικτύου³¹.

Η χρήση των κόμβων κυκλικής κυκλοφορίας, κρίνεται επιθυμητή και παρέχει πλεονεκτήματα στις παρακάτω περιπτώσεις:

- ✓ Διασταυρώσεις με υψηλά ποσοστά ελαφρών ή σοβαρών ατυχημάτων
- ✓ Διασταυρώσεις με σύνθετα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, ασυμμετρίες, λοξότητες, > 4 προσβάσεις
- ✓ Διασταυρώσεις επαρχιακών οδών, με υψηλές ταχύτητες
- ✓ Πολλαπλές, κοντινές διασταυρώσεις
- ✓ Αντικατάσταση οδών με σήμανση Stop
- ✓ Αντικατάσταση σηματοδοτούμενων διασταυρώσεων
- ✓ Διασταυρώσεις με αριστερές στροφές και υψηλούς όγκους οχημάτων
- ✓ Διασταυρώσεις με υψηλό αριθμό αναστροφών
- ✓ Μετάβαση από οδούς υψηλών ταχυτήτων σε άλλες χαμηλότερων ταχυτήτων
- ✓ Διασταυρώσεις με μεγάλες πλευρικές καθυστερήσεις
- Ισόπεδος κόμβος με σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις

Το επίπεδο της οδικής ασφάλειας στις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις εξαρτάται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η διάταξη του περιβάλλοντος χώρου, ο κυκλοφοριακός φόρτος στις προσβάσεις, οι φάσεις και η χρονική διάρκεια της περιόδου σηματοδότησης και φυσικά ο τρόπος συμπεριφοράς των οδηγών και πεζών, που θεωρείται ως ένας από τους κυριότερους παράγοντες πρόκλησης ατυχημάτων [111]. Η μη συμμόρφωση των οδηγών με τις ενδείξεις του φωτεινού σηματοδότη όπως για παράδειγμα η παραβίαση ερυθρού σηματοδότη, αποτελεί μια πολύ συχνή παράβαση του Κ.Ο.Κ. η οποία αυξάνει τις πιθανότητες πρόκλησης τροχαίου ατυχήματος, ειδικότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου οι κυκλοφοριακοί φόρτοι είναι υψηλότεροι.

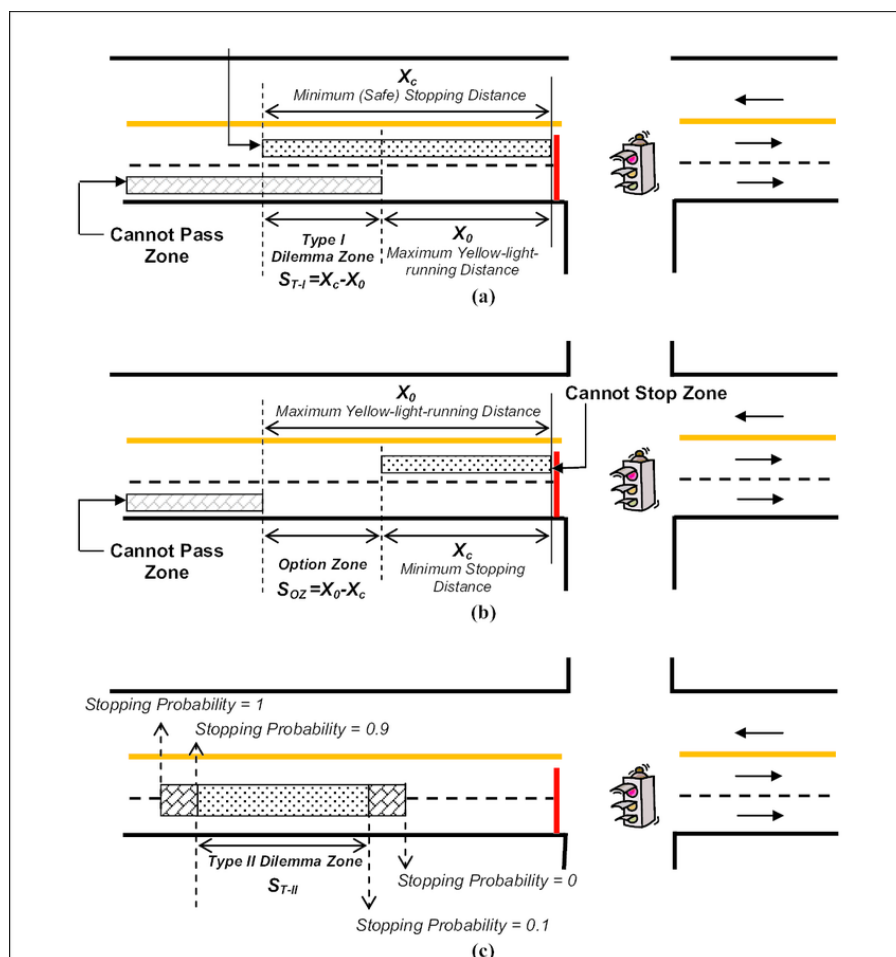
Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις που επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά, αποτελεί η λήψη απόφασης από έναν οδηγό για το αν θα πρέπει να διασχίσει ή όχι τη διασταύρωση κατά τη διάρκεια της κίτρινης ένδειξης του σηματοδότη [112]. Όπως είναι γνωστό, η κίτρινη ένδειξη σηματοδότησης παίζει σημαντικό ρόλο στο

³¹ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Κυκλικοί κόμβοι: Διαμόρφωση Διαδικασίας Αξιολόγησης Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων. ΕΥΤΕΡΠΗ ΔΑΜΑΣΚΟΥ Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος

σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας και έχει σχεδιαστεί για να προειδοποιεί τον οδηγό ότι θα επέλθει το κόκκινο σήμα. Αποτελεί το κρίσιμο όριο εναλλαγής της ένδειξης σηματοδότησης σε κόκκινη, το οποίο αν παραβιαστεί μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις στις διασταυρώσεις, με τα οχήματα που έρχονται από τις άλλες προσβάσεις.

Η ζώνη διλήμματος αποτελεί μια περιοχή κοντά στη γραμμή στάσης σε μια σηματοδοτούμενη διασταύρωση στην οποία το όχημα είναι πολύ κοντά για να σταματήσει με ασφάλεια και ταυτόχρονα πολύ μακριά για να διασχίσει εντελώς τη διασταύρωση με ταχύτητα εντός των επιτρεπόμενων ορίων πριν ξεκινήσει η κόκκινη φάση (Type I dilemma zone). Διαφορετικά, το φαινόμενο της ζώνης διλήμματος συμβαίνει σε μια σηματοδοτούμενη διασταύρωση, όπου τα οχήματα δεν μπορούν να σταματήσουν με ασφάλεια πριν από τη γραμμή στάσης ούτε μπορούν να διασχίσουν τη διασταύρωση πριν από την εμφάνιση της κόκκινης ένδειξης (Εικόνα 27).

Μια πιθανοκρατική περιγραφή του τι σημαίνει ζώνη διλήμματος (Type II dilemma zone), ορίζεται ως το τμήμα της οδού όπου περισσότερο από το 10% και λιγότερο από το 90% των οδηγών θα επιλέξουν να σταματήσουν (Εικόνα 27).



Εικόνα 27: Ζώνες διλήμματος τύπου 1 και 2 [113]

Πιθανή υψηλή ταχύτητα του οχήματος τη χρονική στιγμή που εμφανίζεται η κίτρινη ένδειξη σηματοδότησης, συμβάλλει στο γεγονός ότι οποιαδήποτε απόφαση ληφθεί από τον οδηγό

είναι πιθανό να οδηγήσει σε ανεπιθύμητους κινδύνους. Η ξαφνική παύση μπορεί να οδηγήσει το όχημα να υποστεί σύγκρουση στο πίσω μέρος του από το όχημα που το ακολουθεί και η επιτάχυνση για να διασχίσει τη διασταύρωση μπορεί να προκαλέσει σύγκρουση εντός του κόμβου. Οι οδηγοί συχνά αισθάνονται άγχος όταν αντιμετωπίζουν μια τέτοια κατάσταση και συχνά μπορεί να υπάρξουν σοβαρές συνέπειες όταν λαμβάνονται εσφαλμένες αποφάσεις. Ο κύριος περιορισμός στον προσδιορισμό της ζώνης διλήμματος με αυτό τον τρόπο είναι ότι υποθέτει ότι οι οδηγοί που προσεγγίζουν τη διασταύρωση έχουν πλήρη γνώση για όλες τις μεταβλητές και ότι η απόφαση που λαμβάνουν για τη διακοπή ή τη συνέχιση της πορείας του οχήματος τους είναι συνεπώς σαφής. Στην πραγματικότητα, οι οδηγοί έχουν μια αντίληψη για ορισμένες μεταβλητές, όπως η απόσταση τους από τη στάση, αλλά δεν έχουν τέλεια γνώση για όλες και έτσι τους δημιουργείται δυσκολία στη λήψη απόφασης όταν αντιμετωπίζουν την κίτρινη ένδειξη [114]. Προϋποθέτει επίσης ότι ο οδηγός είναι ενήμερος για προσέγγιση σε φωτεινό σηματοδότη / διασταύρωση και η ταχύτητά του είναι η ανάλογη³².

Επιλέγοντας τη λανθασμένη απόφαση ο οδηγός διασχίζει τη διασταύρωση περνώντας με κόκκινο φανάρι με κίνδυνο να οδηγηθεί σε πλαγιομετωπική σύγκρουση ή σε ατύχημα με πεζό, που διασχίζει εκείνη την στιγμή τη διάβαση. Η διάρκεια του κίτρινου σηματοδότη είναι αρκετά μικρή, ώστε να **προειδοποιήσει** και όχι να παρατείνει το πράσινο. Λειτουργεί όμως μόνο για οχήματα που κινούνται με ταχύτητα προσέγγισης σε φωτεινό σηματοδότη.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ενέργειες του οδηγού που καθορίζουν την απόκρισή του στο κίτρινο σήμα μπορούν να χωριστούν σε εξωτερικούς και εσωτερικούς. Τα εξωτερικά στοιχεία περιλαμβάνουν την απόσταση του οχήματος από το σημείο που βρίσκεται όταν η ένδειξη γίνεται κίτρινη έως τη διασταύρωση, την ταχύτητα που έχει εκείνη τη στιγμή, τη διάταξη της διασταύρωσης, την κλίση, τον τύπο και το μοντέλο του οχήματος, την παρουσία προπορευόμενου οχήματος, την παρουσία πεζών που περιμένουν στη διασταύρωση, καθώς και τις καιρικές συνθήκες. Τα εσωτερικά στοιχεία περιλαμβάνουν την ψυχολογική κατάσταση του οδηγού (άγχος, εκνευρισμό, βιασύνη), τη φυσική κατάσταση (κόπωση, υπνηλία), την απόσπαση της προσοχής κλπ. Στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται μόνο στοιχεία που έχουν να κάνουν με εξωτερικούς παράγοντες επιρροής της απόφασης των οδηγών στη λήψη απόφασης στη ζώνη διλήμματος [115].

Όσον αφορά τις αντιδράσεις των οδηγών, σχετικά με την επιβράδυνση και επιτάχυνση στην κίτρινη ένδειξη προκύπτουν μετά από μελέτες τα ακόλουθα, τα οποία για να γίνουν αντιληπτά πρέπει αρχικά να οριστεί ο χρόνος αντίδρασης. Όταν ο οδηγός δέχεται ένα ερέθισμα, όπως η εμφάνιση κίτρινου σήματος, ο **συνολικός χρόνος αντίδρασης** του μπορεί να χωριστεί σε χρόνο νοητικής επεξεργασίας και σε χρόνο υλοποίησης. Ο χρόνος νοητικής επεξεργασίας αποτελεί το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να αντιληφθεί ο οδηγός το ερέθισμα και να πάρει μια απόφαση και το χρόνο υλοποίησης το διάστημα που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση μιας ενέργειας από τον οδηγό, όπως η ανύψωση του ποδιού από το γκάζι και η ακινητοποίηση του φρένου. Επειδή ο χρόνος νοητικής επεξεργασίας είναι μια εσωτερική διεργασία που δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα και αντικειμενικά, συνήθως μετρείται από κοινού με τον χρόνο υλοποίησης. Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού, (perception-reaction-time - PRT), επηρεάζεται κυρίως από το χρόνο που έχει στη διάθεση του ώστε να προσεγγίσει τη διασταύρωση, (time to intersection TTI),

³² Characterizing driver behavior in dilemma zones at signalized roundabouts

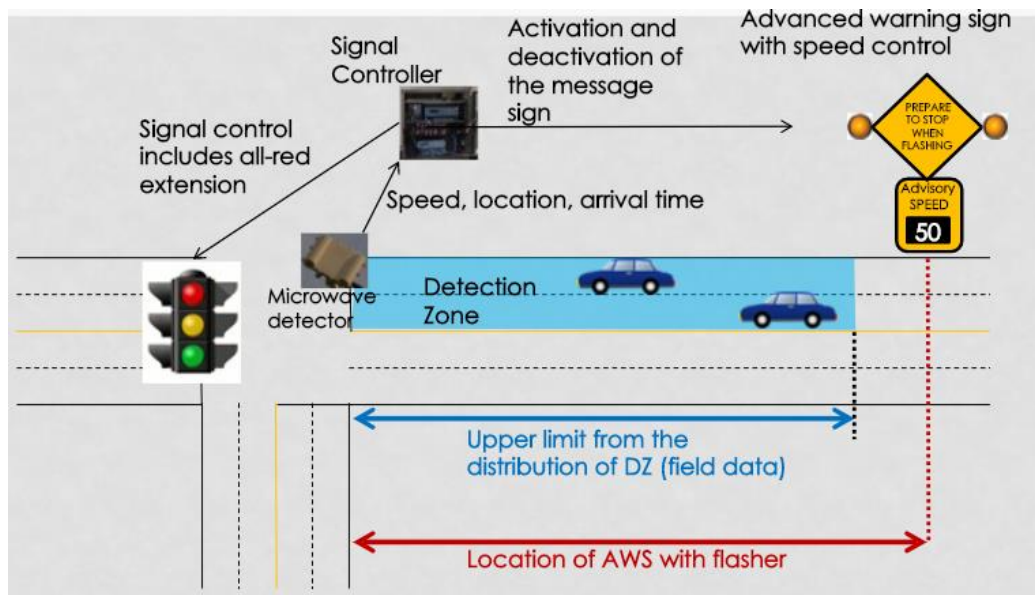
από τη στιγμή που εμφανίζεται η κίτρινη ένδειξη. Ο PRT αυξάνει γραμμικά με το TTI. Επιπλέον, όσον αφορά τις αποφάσεις για διακοπή της κίνησης του οχήματος παρατηρήθηκε ότι η ηλικία και το φύλο παίζουν ρόλο. Οι οδηγοί που κατατάσσονται στην ηλικιακή ομάδα από 65 και άνω ετών τείνουν να σταματούν σε μικρότερη απόσταση από τη διασταύρωση σε σύγκριση με την νεότερη ηλικιακή ομάδα, έτσι έχουν ζώνη διλήμματος που είναι πιο κοντά στη γραμμή στάσης. Επίσης οι γυναίκες οδηγοί είναι πιο πιθανό να σταματήσουν σε σύγκριση με τους άνδρες οδηγούς [116].

Η χρήση κινητού τηλεφώνου επίσης μπορεί να επηρεάσει τη λήψη απόφασης του οδηγού σε μια ζώνη διλήμματος. Δημιουργεί αντιπερισπασμό από την οδήγηση και θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των οδηγών, των επιβατών και άλλων χρηστών του οδικού δικτύου, μειώνοντας την απόδοση οδήγησης. Συνεπώς, οι οδηγοί που η προσοχή τους έχει αποσπαστεί λόγω του κινητού τηλεφώνου αποτελούν μια πρόσθετη απειλή για τους άλλους όταν πλησιάζουν σε μια διασταύρωση. Σε μια σηματοδοτούμενη διασταύρωση, αυτοί οι οδηγοί αντιμετωπίζουν συχνά μια πρόκληση λήψης απόφασης για το αν θα σταματήσουν ή θα συνεχίσουν την πορεία τους κατά την εμφάνιση της κίτρινης ένδειξης. Μια εσφαλμένη απόφαση μπορεί να οδηγήσει σε σύγκρουση. Έρευνες δείχνουν ότι οι οδηγοί που χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο ανταποκρίνονται σε ξαφνικό συμβάν σχεδόν ένα τέταρτο του δευτερολέπτου αργότερα από τους αδιάσπαστους οδηγούς. Αυτό δυσκολεύει ακόμα περισσότερο τη λήψη σωστής απόφασης και την αποφυγή ατυχήματος [117].

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, η συμμόρφωση των οδηγών σε σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις φαίνεται να είναι μάλλον χαμηλή και σίγουρα σε μη επιθυμητά επίπεδα. Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές ταχύτητες που επιλέγουν πολλοί οδηγοί. Περισσότερο από το 50% των οδηγών που πλησιάζουν στη διασταύρωση, η οποία αποτελεί το χώρο μελέτης, υπερβαίνουν το όριο ταχύτητας. Όταν εξετάζεται το φύλο, οι γυναίκες οδηγοί καταδεικνύουν μια πιο υπάκουη συμπεριφορά στους κανόνες από τους άνδρες οδηγούς. Το ποσοστό των επιθετικών γυναικών οδηγών είναι σημαντικά χαμηλότερο από το ποσοστό των επιθετικών ανδρών οδηγών. Αυτό υποστηρίζεται και από τα δεδομένα ταχύτητας. Οι γυναίκες οδηγοί ταξιδεύουν κατά μέσο όρο σε ταχύτητες χαμηλότερες από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, ενώ οι άνδρες υπερβαίνουν αυτό το όριο. Φαίνεται λοιπόν ότι υπάρχει ισχυρή σχέση μεταξύ του φύλου, της υπακοής και της επιθετικότητας των Ελλήνων οδηγών.

Αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει προκειμένου να μετριαστεί το πρόβλημα της Ζώνης Διλήμματος, χρησιμοποιώντας διάφορες έξυπνες στρατηγικές, οι οποίες μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν:

- επέκταση της διάρκειας της πράσινης ένδειξης του σηματοδότη για να βοηθήσει τους οδηγούς που ήταν παγιδευμένοι στη «Ζώνη Διλήμματος» (DZ) ώστε να απελευθερωθεί από οχήματα ο κόμβος και να είναι διαθέσιμος για το επόμενο πράσινο φανάρι [116][118][119], χωρίς όμως ιδιαίτερη επιτυχία,
- συστήματα ελέγχου με ανίχνευση οχημάτων, με τη βοήθεια επαγωγικών βρόχων κάτω από το οδόστρωμα ή μικροκυματικού ανιχνευτή (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Σύστημα Ελέγχου με ανίχνευση οχημάτων, με τη βοήθεια μικροκυματικού ανιχνευτή³³

Τα συστήματα αυτά αποσκοπούν στον περιορισμό της πιθανότητας παγίδευσης οχημάτων στη ζώνη διλήμματος, απαιτείται όμως ο προσδιορισμός της θέσης και του μήκους της ζώνης αυτής.

Καλό θα ήταν να καταλάβουμε όλοι μας ότι θα πρέπει να προσεγγίζουμε μια διασταύρωση με ταχύτητα τέτοια ώστε να είμαστε σε θέση να ακολουθήσουμε οποιαδήποτε από τις επιλογές επιβάλλεται (από φωτεινό σηματοδότη ή οποιοδήποτε απρόοπτο) με την ίδια ευκολία, χωρίς να προκληθεί οποιαδήποτε αναστάτωση στη κυκλοφορία.

3.9. Απόσπαση προσοχής του οδηγού

Η απόσπαση της προσοχής του οδηγού αποτελεί ένα μείζον θέμα στην ασφάλεια στον χώρο των μεταφορών. Έρευνες επί πρόσφατων ατυχημάτων δείχνουν ότι η απόσπαση της προσοχής του οδηγού έχει μεγαλύτερο αρνητικό αντίκτυπο στην οδηγική ασφάλεια σε σχέση με διάφορους άλλους συνήθεις ενόχους παράγοντες όπως η κούραση ή το αλκοόλ³⁴. Για παράδειγμα, τα κινητά τηλέφωνα αποτελούν αιτία απόσπασης της προσοχής για το 14% των οδηγών σε θανάσιμα ατυχήματα³⁵.

Για να μειωθούν τα θνησιγενή αυτά ατυχήματα, θα πρέπει να γίνουν κατανοητά τα αίτια που τα προκαλούν. Έτσι, η απόσπαση προσοχής για τους οδηγούς έχει ταξινομηθεί σε 4 μεγάλες κατηγορίες: (α) άνθρωποι, (β) αντικείμενα, (γ) γεγονότα, (δ) δραστηριότητες³⁶.

Ως απόσπαση προσοχής ορίζεται η παράλληλη ενασχόληση του οδηγού και με κάποιο άλλο ερέθισμα, πέραν της οδήγησης (φαγητό, ποτό, αποστολή μηνυμάτων, κλήση, χρήση της τεχνολογίας του οχήματος, περιπλάνηση του βλέμματος εκτός του δρόμου), γεγονός που

³³ <http://attap.umd.edu/wp-content/uploads/2016/05/2nd-DZ-protection-system-US-40-and-MD-910C.pptx>

³⁴ (Chen, Wu, Zhong, Lyu, & Huang, 2015; Craft & Preslopsky, 2013).

³⁵ (National Highway Traffic Safety Administration, 2015)

³⁶ (Bayly, Young, & Regan, 2008)

επηρεάζει την απόδοσή του και τον μηχανισμό αποφάσεών του . Θεωρείται υπεύθυνη για περίπου το μισό του συνόλου των ατυχημάτων. Οι δραστηριότητες αυτές κατηγοριοποιούνται (σύμφωνα με το NHTSA) σε:

- Οπτική απόσπαση προσοχής (περιπλάνηση του βλέμματος εκτός του δρόμου)
- Φυσική απόσπαση προσοχής (χέρια εκτός τιμονιού)
- Νοητική απόσπαση προσοχής (σκέψη για κάτι που απασχολεί τον οδηγό)
- Ηχητική απόσπαση προσοχής (μη λήψη ηχητικών σημάτων από το περιβάλλον)

Ως απόσπαση προσοχής κατά την οδήγηση μπορούμε να θεωρήσουμε οποιοδήποτε αίτιο επηρεάζει την προσοχή του οδηγού και τον μηχανισμό αποφάσεών του.

Μπορούμε να την διακρίνουμε - ταξινομήσουμε σε αποσπάσεις που αφορούν τον ίδιο τον οδηγό ως άτομο («ατομικές») και σε αποσπάσεις που σχετίζονται με το σύστημα οδηγός - όχημα-οπτικό πεδίο-οδήγηση («εξωτερικές αποσπάσεις»).

«Ατομικές αποσπάσεις»: Περιλαμβάνουν το φαγητό, πόση υγρών, κάπνισμα, θάμβωση, περιπλάνηση του μυαλού κλπ.

«Εξωτερικές αποσπάσεις»: Περιλαμβάνουν την συνομιλία στο κινητό, ρύθμιση συσκευών ενσωματωμένων στο όχημα (πλοηγοί, ηχοσύστημα), έλεγχος e-mail ή αποστολή μηνυμάτων, συνομιλία με τους συνεπιβάτες, πινακίδες σήμανσης ή διαφημιστικές ή οποιαδήποτε άλλη απόσπαση στο οπτικό πεδίο του οδηγού.

Είναι μείζονος σημασίας κατά συνέπεια, να διερευνηθούν οι κύριες πηγές απόσπασης προσοχής, πιθανές τάσεις ή επαναλαμβανόμενες εξωτερικές, οι πιθανές διαφορές αν υπάρχουν στα είδη απόσπασης προσοχής ή πως το φύλο ή η ηλικία σχετίζονται με την απόσπαση προσοχής.

Σε πολλές περιπτώσεις οι οδηγοί δείχνουν την προσοχή τους σε περισσότερες πηγές πληροφορίας. Η ανθρώπινη προσοχή όμως είναι συγκεκριμένη και είναι αδύνατον να ανταποκριθεί σε όλα ταυτόχρονα. Η εναλλαγή μεταξύ πολλαπλών αντικειμένων τα οποία συναγωνίζονται μεταξύ τους και τα οποία χρίζουν της προσοχής του οδηγού, απαιτεί διανοητική προσπάθεια, μειώνοντας έτσι την απόδοση του οδηγού και αυξάνοντας την ευαισθησία για περίσπαση από εξωτερικούς παράγοντες.

Βέβαια, από τη μια πλευρά, πολλές από τις λειτουργίες της οδήγησης γίνονται σχεδόν αυτόματα από τον οδηγό δίνοντας το περιθώριο σε αυτόν να ασχοληθεί και με άλλα αντικείμενα καθώς οδηγά. Από την άλλη μεριά όμως, οι οδηγοί δείχνουν αρκετή από την προσοχή τους σε αποκρίσεις σε δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον, με αποτέλεσμα αποσπασμένη προσοχή και οδηγικά σφάλματα.

Οι ξαφνικές απαιτήσεις στην προσοχή ή τη σκέψη του οδηγού είναι δυνητικά επικίνδυνες επειδή δεν μπορούν να προβλεφθούν ή να ποσοτικοποιηθούν και προστίθενται στον ήδη επιβαρυσμένο κύριο όγκο επεξεργαστικού φόρτου του οδηγού. Εάν ήταν προβλέψιμο, ο οδηγός θα προσπαθούσε να το διαχειριστεί κάνοντας την οδήγηση πιο εύκολη, ήτοι μειώνοντας την ταχύτητα του [120].

Αποσπάσεις όπως οι κάτωθι αποτελούν καθημερινότητα μάλλον για πολλούς από τους οδηγούς:

- Η αποστολή μηνυμάτων κειμένου, η αλληλεπίδραση με το σύστημα ψυχαγωγίας ή τον πλοηγό κατά την οδήγηση (αυξάνουν την πιθανότητα να βγει το όχημα εκτός λωρίδας³⁷) ή η αποστολή e-mail, ακόμα και με ομιλία (αυξάνουν τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού κατά 30% ³⁸).
- Διαφημιστικές πινακίδες επί του δρόμου
- Ελλιπής προσοχή και ονειροπόληση³⁹ (περί το 4% των θανατηφόρων ατυχημάτων που σχετίζεται με απόσπαση προσοχής)

Ακολούθως, η παράθεση υποκατηγοριών απόσπασης προσοχής, όπως αυτά προέκυψαν από πραγματικά δεδομένα, για το διάστημα 2010-13 για την District of Columbia, αποτελούν δε μερικές μόνο από τις περιστάσεις που μπορεί να προκύψουν κατά την οδήγηση (Washington DC), [121].

- Εντός οχήματος, αποσπάσεις σχετιζόμενες με την τεχνολογία (IVTD)
- Εντός οχήματος, αποσπάσεις μη σχετιζόμενες με την τεχνολογία (IVNTD)
- Αποσπάσεις επί του δρόμου (ORD)
- Αυτόματες συμπεριφορικές αποσπάσεις (ABD)
- Εσωτερικές ατομικές-νοητικές αποσπάσεις (ICD)
- Αποσπάσεις που δεν είναι ξεκάθαρες (DNC)

Table 1
Percentage of specific and congregated driver distractions (2010–2013 FARS data).

Distractor	% (count)	Subcategory	% (count)	Category	% (count)
Other cellular phone related	5.8% (799)	IVTD	15.1% (2077)	External	25.7% (3518)
While talking or listening to cellular phone	3.5% (476)				
While manipulating cellular phone	2.0% (280)				
While using or reaching for device/object brought into vehicle	1.8% (251)				
Adjusting audio or climate controls	1.4% (185)				
While using other component/controls integral to vehicle	0.6% (86)				
By other occupant(s)	4.3% (586)	IVNTD	4.8% (646)		
By a moving object in vehicle	0.5% (60)				
By outside person, object or event	5.8% (795)	ORD	5.8% (795)		
Eating or drinking	1.1% (155)	ABD	1.5% (205)	Internal	42.1% (8223)
Smoking Related	0.4% (50)				
Inattention (inattentive), details unknown	17.5% (3523)	ICD	40.6% (8018)		
Looked but did not see	10.3% (1404)				
Lost in thought/day dreaming	7.8% (2403)				
Distraction/inattention	3.9% (539)				
Careless/inattentive	0.9% (125)				
Distraction/careless	0.2% (24)				
Distraction (distracted), details unknown	25.7% (1073)	DNC	32.2% (1966)	Unknown	32.2% (1966)
Other distraction	6.5% (893)				
Total	100% (13,707)	100%(13,707)		100%(13,707)	

Πίνακας 14: Η ποσόστωση των αποσπάσεων προσοχής των οδηγών [121]

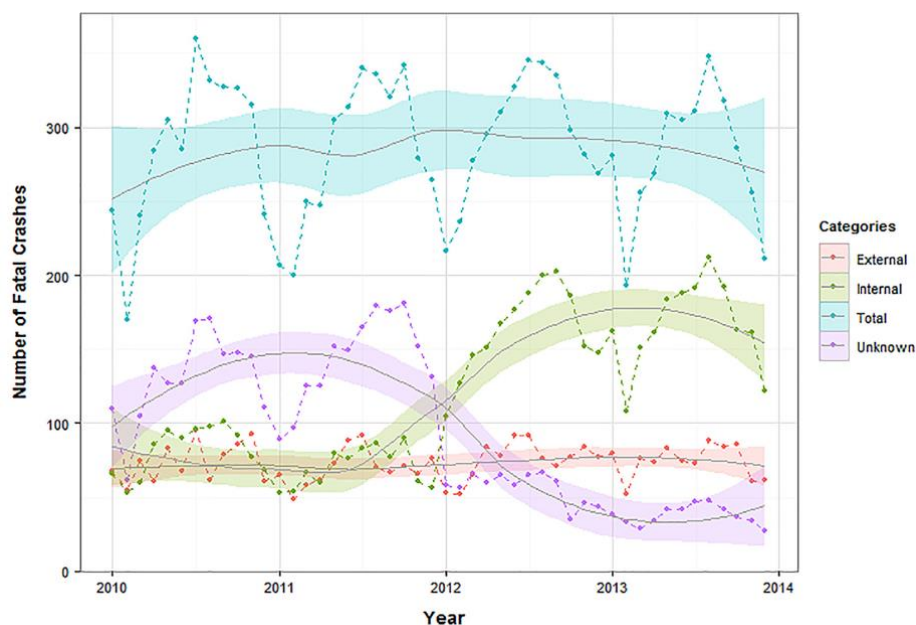
Κάποιες από τις αποσπάσεις αυτές εξαρτώνται από τον οδηγό άρα μπορεί να τις διαχειριστεί διαφορετικά ενώ κάποιες άλλες είναι αστάθμητες ή ακούσιες.

Η διάθεση πολλών περιστατικών ανά κατηγορία απόσπασης προσοχής επέτρεψε την διερεύνηση των παραγόντων που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα δυστυχήματα που σχετίζονται με απόσπαση προσοχής (Γράφημα 18).

³⁷ (Caird, Willness, Steel, & Scialfa, 2008; Haigney, Taylor, & Westerman, 2000; Lesch & Hancock, 2004; Rakauskas, Gugerty, & Ward, 2004; Strayer & Drews, 2007). Hosking, Young, and Regan (2009)

³⁸ (Lee, Caven, Haake, & Brown, 2001)

³⁹ (Glaze & Ellis, 2003)



Γράφημα 18: Οι τάσεις των κατηγοριών απόσπασης προσοχής με 98% διάστημα εμπιστοσύνης [121]

Ακολούθως γίνεται προσπάθεια να αναδειχθούν λίγο περισσότερο κάποια συγκεκριμένα αίτια που σχετίζονται με την απόσπαση προσοχής ώστε να γίνει πιο ξεκάθαρος ο μηχανισμός και πως αυτός επιδρά στην οδηγική συμπεριφορά, με στόχο να του δίδεται η απαραίτητη σημασία.

3.10 Απόσπαση και ηλικία των οδηγών

Η ικανότητα συγκέντρωσης καθώς και απόσπαση της προσοχής συναρτήσει της ηλικίας είναι ένα μέγεθος που πρέπει να μελετηθεί για κάθε υποκατηγορία απόσπασης προσοχής. Στον κάτωθι πίνακα (Πίνακας 15) παρατίθεται το πλήθος των ατυχημάτων ανά υποκατηγορία (IVTD, IVNTD, ORD, ...), όπως αυτές περιγράφονται παραπάνω ανά ηλικία. Μερικά ατυχήματα λαμβάνονται υπόψη παραπάνω από μία φορές στον παραπάνω πίνακα εξαιτίας και των αλληλοσχετισμών που εμφανίζονται.

Table 2
Contingency table for the Chi-square test of independence (2010–2013 FARS data).

Age group (years)	IVTD	IVNTD	ORD	ABD	ICD	DNC	Total
14–24	730	222	159	49	1155	1032	3347
25–44	864	273	292	74	1835	1451	4789
45–64	381	111	242	57	1567	1187	3545
65–80	78	35	77	19	646	459	1314
81 and above	23	5	19	5	336	213	601
Total	2076	646	789	204	5539	4342	13596*

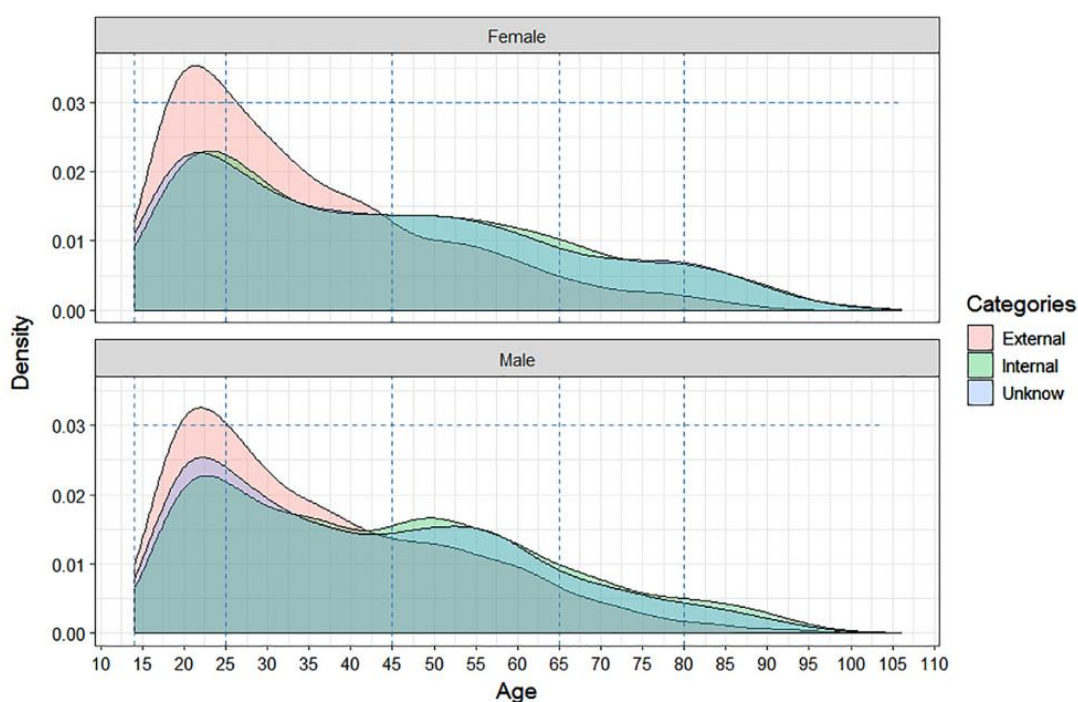
Πίνακας 15: Πλήθος ατυχημάτων ανά υποκατηγορία απόσπασης προσοχής και ηλικίας [121]

Παρατηρείται σημαντική μείωση των ατυχημάτων όσο μεγαλώνει η ηλικία των οδηγών. Οι λόγοι ποικίλουν. Σχετίζονται με την αντίληψη της οδήγησης ως μιας διαδικασίας που εξυπηρετεί τον άνθρωπο και χρήζει του απαραίτητου σεβασμού, σχετίζεται ακόμη με την

υπακοή στον κώδικα οδικής κυκλοφορίας, την ωρίμανση και την αποφυγή νεανικών συμπτωμάτων που σχετίζονται με την ταχύτητα και το ρίσκο. Τέλος σχετίζεται και με την αποδοχή ότι λόγω ηλικίας πολλά από τα οδηγικά χαρακτηριστικά πιθανόν φθίνουν, άρα η συνεπαγόμενη οδηγική συμπεριφορά πρέπει να είναι η δέουσα.

3.11. Απόσπαση προσοχής και φύλο των οδηγών

Αν και η σύνδεση μεταξύ ηλικίας και οδηγικής συμπεριφοράς έχει αναλυθεί εκτενώς στο 2^ο κεφάλαιο, κρίνεται σημαντικό να συμπεριληφθεί συμπληρωματικά και στο παρόν, συναρτήσε της απόσπασης προσοχής, για λόγους πληρότητας. Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας που αφορούν τα δύο φύλα, συναρτήσε των θανατηφόρων οχημάτων, παρουσιάζονται στο ακόλουθο γράφημα. Και στα δύο φύλα, σε νεαρές ηλικίες, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επηρεαστούν από εξωτερικές, παρά από εσωτερικές και άλλες αποσπάσεις.



Γράφημα 19: Οι πυκνότητες πιθανότητας για απόσπαση προσοχής από εσωτερικούς, εξωτερικούς και άγνωστους παράγοντες, συναρτήσε του φύλου και της ηλικίας [121].

Κατ' αντιστοιχία με παραπάνω, η απόσπαση της προσοχής συναρτήσε του φύλου είναι ένα μέγεθος που πρέπει να μελετηθεί για κάθε υποκατηγορία απόσπασης προσοχής. Στον κάτωθι πίνακα (πιν.) παρατίθεται το πλήθος των ατυχημάτων ανά υποκατηγορία (IVTD, IVNTD, ORD, ...) και ανά φύλο.

Contingency table for the Chi-square test of independence (2010–2013 FARS data).

Sex	IVTD	IVNTD	ORD	ABD	ICD	DNC	Total
Male	1285(0.6196)	371(0.5743)	592(0.7484)	141(0.6946)	3948(0.7125)	3130(0.7197)	9467
Female	789(0.3804)	275(0.4257)	199(0.2516)	62(0.3054)	1593(0.2875)	1219(0.2803)	4137
Total	2074	646	791	203	5541	4349	13604 [*]

Note*: 103 cases were dropped from the total sample because of missing driver ages.

Πίνακας 16: Πλήθος ατυχημάτων ανά υποκατηγορία απόσπασης προσοχής και φύλου (2010–2013 FARS data) [121]

Οι διάφορες κατηγορίες απόσπασης προσοχής έχουν διαφορετικό αντίκτυπο μεταξύ των διαφόρων ηλικιών και των δύο φύλων. Κατά συνέπεια, οι εκστρατείες που σχετίζονται με την οδηγική συμπεριφορά (σχετικά με την απόσπαση προσοχής), τα διάφορα προγράμματα και η γενικότερη πολιτική που σχετίζεται με την οδηγική ασφάλεια, θα πρέπει να προσαρμοστεί αναλόγως.

Κατάλληλος σχεδιασμός του εσωτερικού των οχημάτων και του εξωτερικού περιβάλλοντος του οδικού δικτύου μπορεί να βοηθήσει τους οδηγούς να δείχνουν αρκετή προσοχή στην οδήγηση και να μην αποσπάται η προσοχή τους εύκολα. Επιπρόσθετα η αύξηση των σχετιζόμενων με την τεχνολογία αποσπάσεων, επιτάσσει ακόμα περισσότερο την ανάγκη για νόμους και κανονισμούς σχετικά με την χρήση έξυπνων κινητών, κλπ. κατά την διάρκεια της οδήγησης.

3.12. Απόσπαση της προσοχής των Οδηγών από συστήματα και αίτια εντός του οχήματος ⁴⁰.

Μια πολύ βασική κατηγορία απόσπασης της προσοχής σχετίζεται με συστήματα του οχήματος (σύστημα ψυχαγωγίας, ρυθμίσεις κλιματισμού κλπ). Συστήματα τα οποία ακόμα και αν δεν απαιτήσουν την οπτική επαφή του οδηγού σε μια οθόνη, του παρέχουν πληροφορίες (μηνύματα ήχου κλπ.) ή εκτελούν δράσεις που ο οδηγός δεν πρόβλεψε ή εκκίνησε.

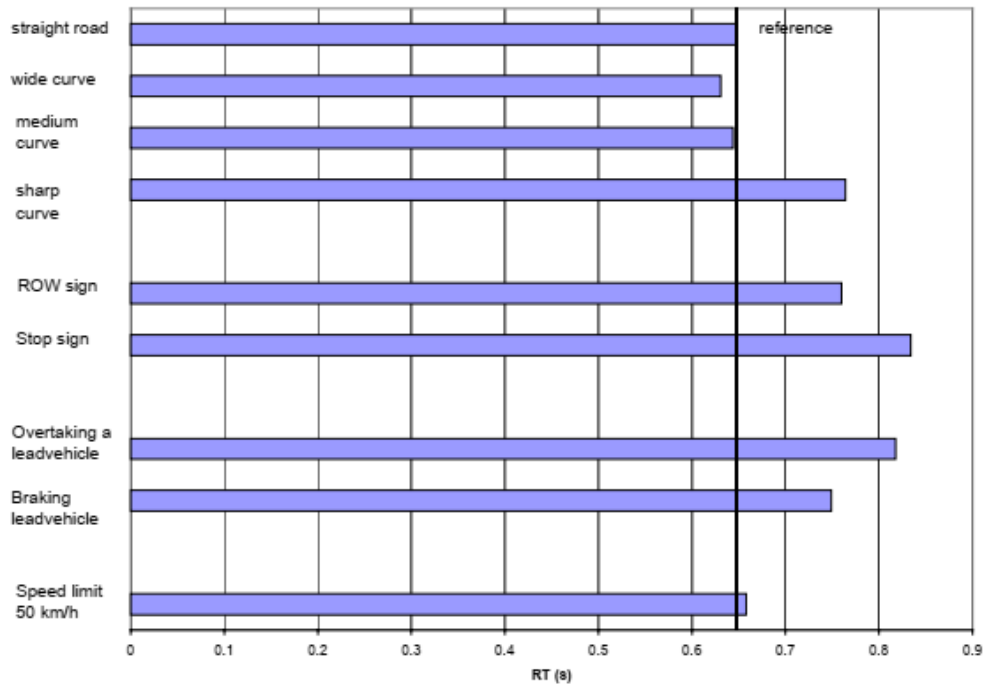
Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο αυτό, χρησιμοποιήθηκε προσομοιωτής PDT, ώστε να καταγράψει την επίδραση (στο φόρτο νοητικών δεδομένων του οδηγού) των διαφόρων συστημάτων εντός του οχήματος, κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε κρίσιμες και μη, υποθετικές συνθήκες. Κατά την διάρκεια της οδήγησης ένα μικρό κόκκινο σήμα εμφανιζόταν (για 1 sec), το οποίο οι οδηγοί θα πρέπει να δείξουν ότι το αντιλήφθηκαν, ενώ ταυτόχρονα συνέχιζαν να οδηγούν κανονικά. Ο χρόνος αντίδρασης μετρήθηκε σε ms και αν δεν γινόταν αντιληπτό εντός 2 secs, τότε λαμβάνόταν ως μη αντιληπτό.

RT = Reaction Time (Χρόνος Αντίδρασης)

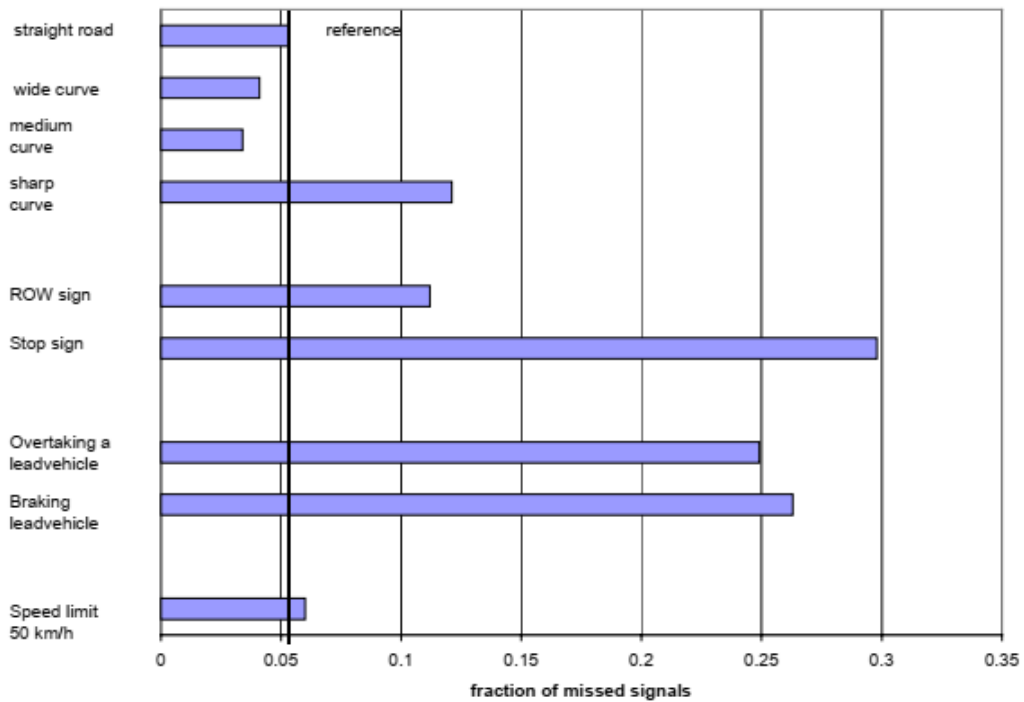
PDT = Μέθοδος Peripheral Detection Task με προσομοίωση οδήγησης

Επιλέγοντας ως αναφορά την οδήγηση με 80 km/h σε περιφερειακό οδικό δίκτυο, έγινε προσπάθεια να καταγραφεί μια μέση τιμή του χρόνου αντίδρασης του οδηγού, για συγκεκριμένες διεργασίες. Και στις δύο περιπτώσεις, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και ο χρόνος αντίδρασης και το ποσοστό οπτικών σημάτων που δεν έγιναν αντιληπτά, είναι ευαίσθητα στις μεταβολές του φόρτου νοητικής επεξεργασίας δεδομένων του οδηγού.

⁴⁰ Measuring distraction: the Peripheral Detection Task

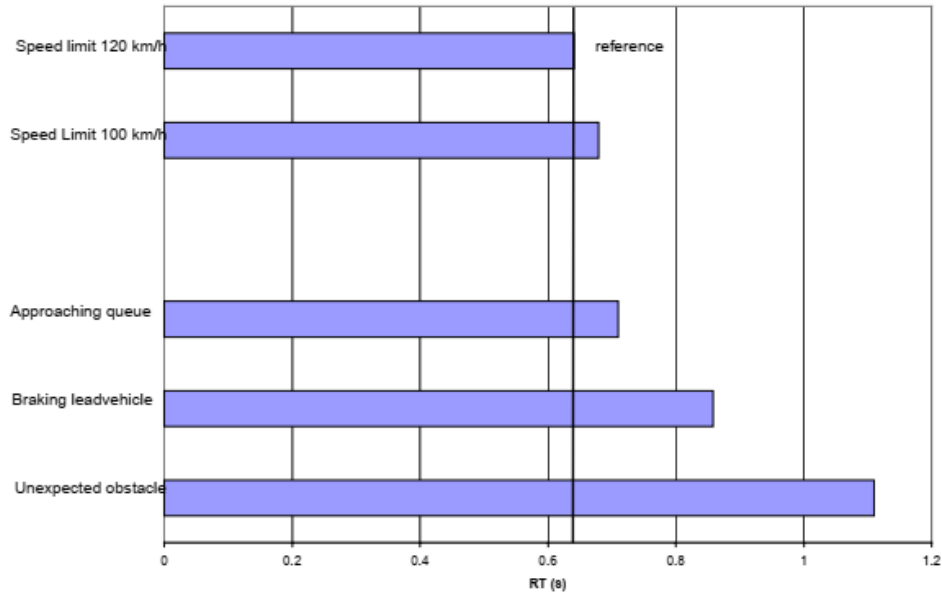


Γράφημα 20: Μέση τιμή χρόνου αντίδρασης του οδηγού στο PDT κατά την διάρκεια συγκεκριμένων οδηγικών λειτουργιών σε περιφερειακό οδικό δίκτυο [122]

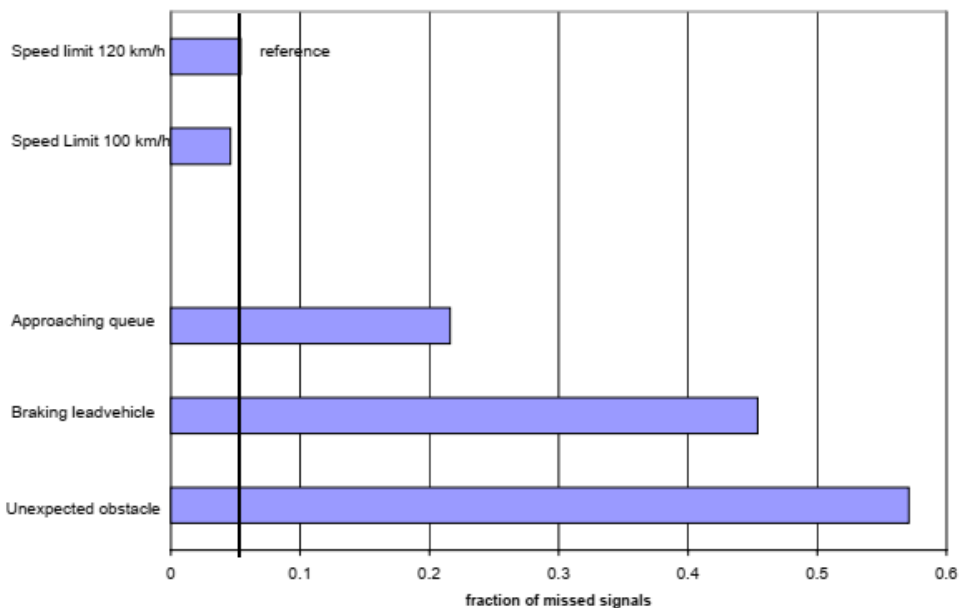


Γράφημα 21: Λόγος των σημάτων που δεν ανιχνεύθηκαν από τον οδηγό στο PDT κατά την διάρκεια συγκεκριμένων οδηγικών λειτουργιών σε περιφερειακό οδικό δίκτυο [122]

Ανάλογη προσπάθεια έγινε και στην περίπτωση αυτοκινητοδρόμου για τον οποίο η ταχύτητα αναφοράς είναι 120 km/h, με διαφορετικά πιθανά συμβάντα. Τα κάτωθι αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι και ο χρόνος απόκρισης και η αδυναμία αναγνώρισης σημάτων κατά την διάρκεια των οδηγικών καθηκόντων είναι επίσης ευαίσθητα σε μεταβολές των οδηγικών συνθηκών.



Γράφημα 22: Μέση τιμή χρόνου αντίδρασης του οδηγού στο PDT κατά την διάρκεια συγκεκριμένων οδηγικών λειτουργιών σε αυτοκινητόδρομο [122]



Γράφημα 23: Λόγος των σημάτων που δεν ανιχνεύθηκαν από τον οδηγό στο PDT κατά την διάρκεια διαφόρων ερεθισμάτων σε αυτοκινητόδρομο [122].

Συνθήκες που απαιτούν άμεσες δράσεις και χαρακτηρίζονται από ξαφνικές και απροσδόκητες αλλαγές στην απόδοση του οδηγού, καταγράφονται στο PDT, γεγονός που καταδεικνύει ότι το PDT είναι κατάλληλο για την καταγραφή μεταβολών στην οδηγική συμπεριφορά συναρτήσει του φόρτου δεδομένων προς επεξεργασία από τον οδηγό. Η απόδοση του PDT ως αξιόπιστο μέσο μελέτης, κρίθηκε πολύ ικανοποιητική ακόμα και σε ηχητικά μηνύματα όταν μήνυμα εστάλλη μόνο σε μερικούς από τους συμμετέχοντες στο πείραμα οδηγούς, εμφανίζοντας σημαντικές διαφορές στην καταγραφή σε σχέση με τους οδηγούς στους οποίους δεν δόθηκε το σχετικό ηχητικό μήνυμα.

3.13. Απόσπαση της προσοχής των Οδηγών από διαφημιστικές πινακίδες ⁴¹.

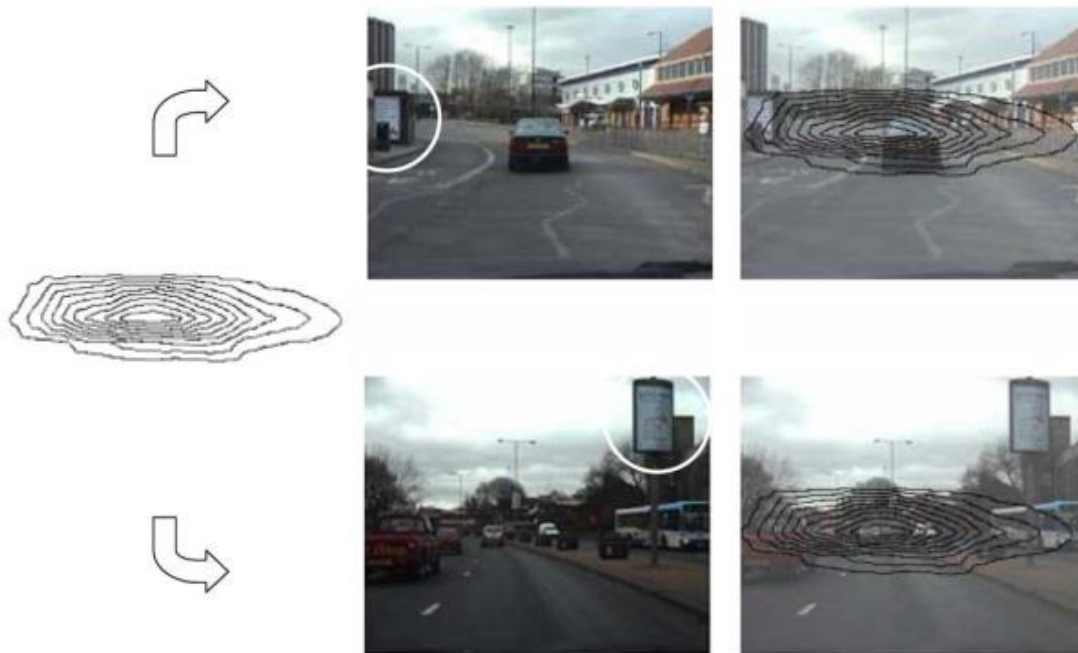
Σε πολλές περιπτώσεις οι οδηγοί συχνά αφήνουν την προσοχή τους και το μάτι τους να πέσει σε ασχετα αντικείμενα. Το ποσοστό του χρόνου οδήγησης που συμβαίνει αυτό, εκτιμάται ότι κυμαίνεται από ~20% - ~50% [123][124][125]. Σε αυτά τα κενά προσοχής στοχεύουν οι διαφημίσεις στην άκρη του δρόμου. Η προσοχή του οδηγού στις διαφημίσεις με τίμημα την επεξεργασία πληροφορίας από τον οδηγό για το οδικό δίκτυο, αποτελεί απόσπαση προσοχής παρά έλκυση της προσοχής στην διαφήμιση μιας και η κύρια εργασία που θα έπρεπε να εκτελείται κατά την οδήγηση, είναι η ίδια η οδήγηση.

Σημαντική προσοχή θα πρέπει να δοθεί **στο σημείο επί του δρόμου** που υπάρχει μια διαφημιστική πινακίδα, π.χ. σε πιθανές στροφές όπου η προσοχή του οδηγού θα πρέπει να είναι εξ'ολοκλήρου στραμμένη στο να αντλήσει πληροφορίες σχετικά με την στροφή, [125][126]. Αυτές οι επιπλέον οπτικές απαιτήσεις μειώνουν αυτό το περιθώριο για διαφημίσεις ή διαφορετικά, το καθιστούν επικίνδυνο σημείο για διαφημίσεις.

Ένας ακόμη παράγοντας είναι το οριζόντιο παράθυρο οπτικής αναζήτησης στο οπτικό πεδίο. Αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι οι οδηγοί τείνουν να κινούν το βλέμμα τους πολύ περισσότερο στο οριζόντιο επίπεδο, παρά σε κατακόρυφο [10][127]. Αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο γιατί η οποιαδήποτε σχετική πληροφορία είναι κατανεμημένη με μεγαλύτερη πυκνότητα στο οριζόντιο επίπεδο. Το πιο σημαντικό σκηνικό για τον οδηγό είναι το να κοιτάει ευθεία μπροστά, έτσι ακόμα και αν φευγαλέα κοιτάξει κάπου αλλού, θα ξανακοιτάξει μπροστά (για έλεγχο), πριν ξανακοιτάξει οπουδήποτε αλλού [128].

Όταν τα μάτια δεν κοιτάζουν ευθεία μπροστά, τείνουν να κοιτάζουν αριστερά και δεξιά, πεζούς, σταθμευμένα οχήματα, κάθετες οδούς και άλλους πιθανούς κινδύνους. Αυτό κατά συνέπεια δημιουργεί ένα «οριζόντιο παράθυρο οπτικής αναζήτησης» όπου επικεντρώνεται ο οδηγός και από αυτό θα προσπαθήσει να αντλήσει πληροφορίες σχετικά με την οδήγηση (Εικόνα 29). Γίνεται αποδεκτό λοιπόν ότι εάν μια διαφημιστική πινακίδα βρίσκεται εντός αυτού του παραθύρου, θα τραβήξει περισσότερη προσοχή από άλλες διαφημίσεις που βρίσκονται εκτός (Εικόνα 29)

⁴¹ Attraction and distraction of attention with roadside advertisements



Εικόνα 29: Τα ομόκεντρα σχήματα χωροθετούν το «οριζόντιο παράθυρο οπτικής αναζήτησης» [129]

(α) δεξιά πάνω – η διαφημιστική πινακίδα βρίσκεται εντός του παραθύρου οπτικού πεδίου του οδηγού και μάλλον αποσπά την προσοχή του οδηγού (Street-Level Advertisement (SLA)),

(β) δεξιά κάτω – η διαφημιστική πινακίδα βρίσκεται εκτός του οπτικού παραθύρου του οδηγού (Raised-Level Advertisement (RLA)).

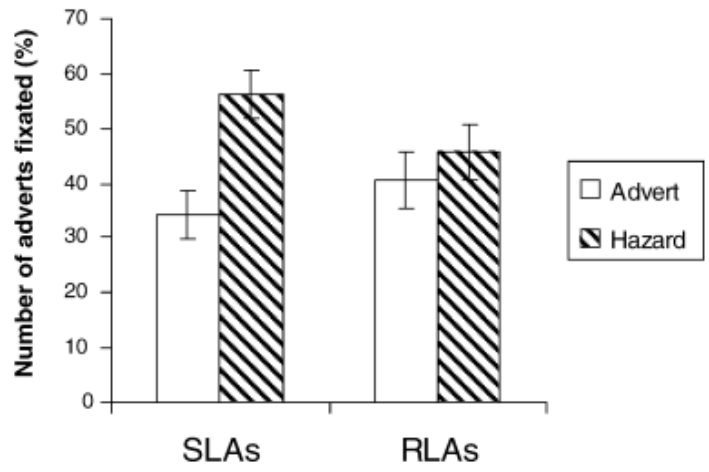
Τα πειραματικά αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από τον συνδυασμό του τι βλέπει το μάτι του οδηγού σε σχέση με το τι θα έπρεπε να βλέπει ευθεία μπροστά του, δείχνουν τα ακόλουθα:

Means for eye movement measures that landed upon the target advertisements across all conditions (with standard deviations)

Instruction set media type	Advertisement		Hazard	
	RLAs	SLAs	RLAs	SLAs
Percentage of advertisements looked at (%)	40.6 (17.3)	34.4 (14.6)	45.6 (23.1)	56.3 (20.1)
Time from advertisement appearance to first fixation (ms)	3643 (1098)	1918 (1184)	3858 (1323)	3759 (1945)
Number of fixations on target advertisement	1.52 (0.34)	2.31 (0.78)	1.44 (0.35)	1.87 (0.56)
Total gaze duration on target advertisement (ms)	553 (254)	965 (578)	491 (221)	864 (382)
Mean fixation duration on target advertisement (ms)	371 (143)	406 (165)	338 (109)	448 (182)

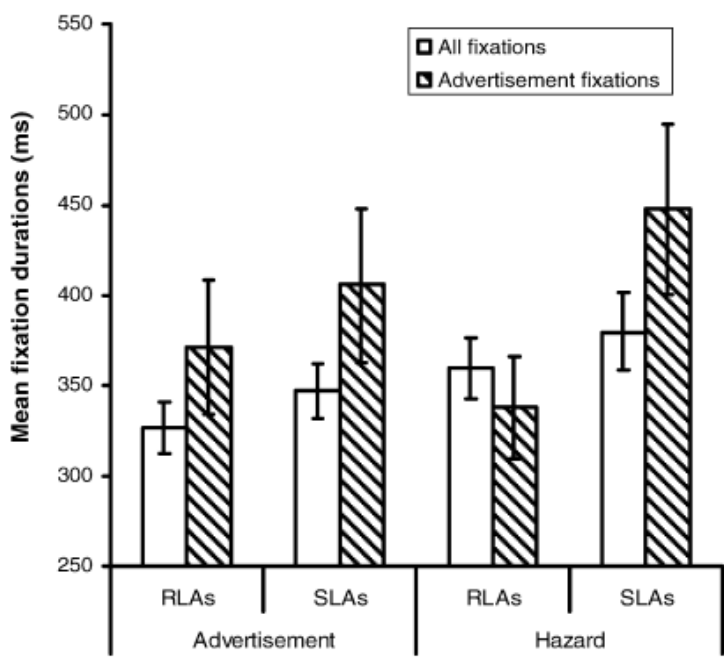
Πίνακας 17: Μέση τιμή των κινήσεων του βλέμματος του οδηγού σχετικά με τις διαφημιστικές πινακίδες (με συνυπολογισμένη την τυπική απόκλιση) [129]

Τα ανωτέρω αποτελέσματα συνοψίζονται στα ακόλουθα γραφήματα:



Γράφημα 24: Το μέσο ποσοστό των διαφημίσεων που οι οδηγοί κοιτούν, διακρινόμενο σε SLA, RLA σχετικά με την θέση της διαφημιστικής πινακίδας και ως προς το αν αυτή η συνθήκη θεωρείται επικίνδυνη ή διαχειρίσιμη (περιλαμβάνεται και το τυπικό σφάλμα) [129].

Τα αποτελέσματα του πειράματος καταδεικνύουν ακριβώς το πρόβλημα. Όταν στους συμμετέχοντες ζητήθηκε να αναγνωρίσουν τους κινδύνους κατά τη διάρκεια της οδήγησης, αναγνώρισαν την πλειοψηφία των SLA κινδύνων και τους απέφυγαν. Όταν όμως ενώ οδηγούσαν, αναζητούσαν διαφημίσεις ή ήταν πιο αμέριμοι, τότε αναγνώρισαν σημαντικά λιγότερους SLA κινδύνους. Ο αυξημένος αριθμός των αναρτήσεων στο επίπεδο του δρόμου, σε επικίνδυνη συνθήκη, καταδεικνύει ακόμα περισσότερο το γεγονός ότι οι SLAs (π.χ. στασεις λεωφορείων) αποτελούν πηγή μεγαλύτερων κινδύνων. Η τάση του οδηγού να προσπαθεί να κοιτάξει ώστε να καλύψει όλο το SLA φάσμα του οπτικού πεδίου, έχει σαν στόχο την αναγνώριση πιθανών κινδύνων και την αποφυγή τους, αυτό όμως που συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις είναι ότι οι διαφημιστικές πινακίδες στο πεδίο αυτό του οδηγού λειτουργούν ανταγωνιστικά ως προς την προσοχή του με την αναγνώριση πιθανών κινδύνων, με δυσάρεστες συνήθως συνέπειες.

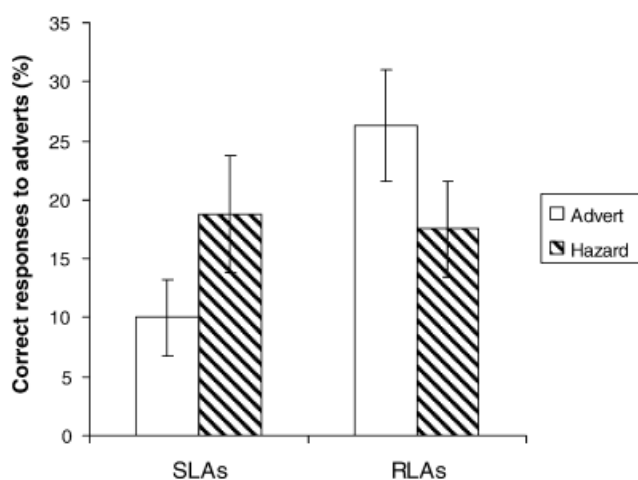


Γράφημα 25: Σύγκριση της μέσης διάρκειας της προσήλωσης του βλέμματος σε γενικά οπτικά ερεθίσματα οδηγικού χαρακτήρα, σε σχέση με την μέση διάρκεια προσήλωσης σε διαφημίσεις, ταξινομημένα σε SLAs, RLAs και σε κινδύνους, διαφημίσεις [129].

Όταν μια διαφημιστική πινακίδα βρίσκεται στην SLA περιοχή σε επικίνδυνη θέση, τείνει να δημιουργεί στον οδηγό μεγαλύτερη διάρκεια προσήλωσης από ότι ένα μέσο βλέμμα. Στην περίπτωση που ο οδηγός αντιληφθεί ότι υπάρχουν πιθανοί κίνδυνοι τείνει να λαμβάνει περισσότερα στιγμιότυπα από αυτούς τους κινδύνους από ότι σε περιπτώσεις με λιγότερους κινδύνους. Η διαδικασία σταματά όταν αναγνωριστεί ο κίνδυνος. Οι SLA διαφημίσεις απασχολούν το ίδιο την διάρκεια προσήλωσης των οδηγών, όσο δηλαδή και οι πραγματικοί κίνδυνοι, σταματώντας έτσι την αναζήτηση για άλλους πιθανούς κινδύνους και δυνητικά περιορίζοντας την περιφερειακή προσοχή [130].

Η καθυστέρηση (μεγαλύτερος χρόνος) στην περίπτωση των SLAs διαφημιστικών πινακίδων οφείλεται στην δυσκολία επεξεργασίας των δεδομένων τη δεδομένη στιγμή από τον οδηγό [131]. Οι SLAs διαφημίσεις εμφανίζονται σε πιο «γεμάτες οπτικά» περιοχές του οπτικού πεδίου (μαζί με βιτρίνες καταστημάτων, πεζούς, ποδήλατα, εστιατόρια). Η οπτική εγγύτητα όλων των παραγόντων που απασχολούν την προσοχή έχει αναγνωρισθεί ότι αυξάνει τον χρόνο που απαιτείται για να ανταποκριθεί ο οδηγός στα νέα δεδομένα [132][133], αυξάνοντας έτσι και τον χρόνο που δαπανά ο οδηγός από το συνολικό σκηνικό για να εντοπίσει και κάποιο στοιχείο στόχο (καποια πιθανή στροφή, όνομα οδού που θα πρέπει να στρέψει)

Καταδεικνύεται σε επίπεδο χρονικών μονάδων (Γράφημα 25) πόσο μεγάλη είναι η επιβάρυνση στην απόσπαση προσοχής του οδηγού, από τις διαφημιστικές πινακίδες και δει εκείνες που είναι τοποθετημένες στο οριζόντιο παράθυρο οπτικής αναζήτησης», ήτοι στο εγγύς οπτικό του πεδίο.



Γράφημα 26: Το ποσοστό των διαφημίσεων που αναγνωριστικάν σωστά από τους οδηγούς, σε ένα τεστ μνήμης που υποβλήθηκαν μετά την οδήγηση [129].

Είναι ανησυχητικό το υψηλό σχετικά ποσοστό των διαφημίσεων που αναγνωρίστηκαν ορθά από τους οδηγούς, γεγονός που καταδεικνύει έτι περαιτέρω το πρόβλημα που υπάρχει σχετικά και την ανάγκη διαμόρφωσης του σχετικού νομοθετικού πλαισίου περί της θέσης των διαφημιστικών πινακίδων είτε ως προς το SLA, RLA επίπεδο, είτε ως προς τα σημεία επί του οδοστρώματος που επιλέγονται (στροφές ή ευθείες).

3.14. Επίδραση της Χρήσης Κινητών Τηλεφώνων στην Οδηγική Συμπεριφορά ⁴²

Η χρήση κινητών τηλεφώνων κατά τη διάρκεια της οδήγησης θεωρείται μια από τις κύριες αιτίες οδικών ατυχημάτων. Ως αποτέλεσμα αυτού, αρκετές χώρες έχουν θεσπίσει σχετική νομοθεσία που απαγορεύει μερικές από τις χρήσεις κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης, απαγορεύουν πρακτικά την χρήση κινητού τηλεφώνου όταν αυτή γίνεται χωρίς την χρήση bluetooth. Οι διαφορές στη νομοθεσία μεταξύ των κρατών καταδεικνύουν την έλλειψη ενιαίας αντίληψης σχετικά με την επίδραση της χρήσης κινητών τηλεφώνων στην οδηγική συμπεριφορά. Την ίδια στιγμή οι κανονισμοί αυτοί δεν έχουν γίνει ακόμα ευρέως «αποδεκτοί» από τους οδηγούς, ενώ η απόσπαση προσοχής γίνεται όλο και πιο συχνή με την εκρηκτική ανάπτυξη των χρήσεων των smartphones.

Μεταξύ των υποχρεώσεων των οδηγών είναι ο έλεγχος της σταθερής πορείας του οχήματος και η συνεχής παρακολούθηση του δρόμου, τα οποία είναι άμεσα συνδεδεμένα με την χειροκίνητη λειτουργία του οχήματος και την οπτική προσοχή. Σύμφωνα με μελέτες, η οπτική απόσπαση προσοχής θεωρείται ως η κύρια αιτία ατυχημάτων. Για παράδειγμα, το μέσο ποσοστό του χρόνου στον οποίο ο οδηγός κοιτά εκτός δρόμου (Total Eyes-Off-Road Time (TEORT)) είναι 33,1%, ποσοστό το οποίο γίνεται 59,5% όταν ο οδηγός απαντά σε κλήσεις ή καλεί ο ίδιος χωρίς hands-free λειτουργία. Η επίδραση της απόσπασης προσοχής στην απόδοση του οδηγού εξαιτίας των κινητών τηλεφώνων είναι αρνητική, και γίνεται ακόμα αρνητικότερη αν καταλάβουμε ότι δεν σημαίνει μόνον απόσπαση από το οπτικό πεδίο αλλά και ψυχολογική –νοητική παρέμβαση στην σκέψη του οδηγού κατά την διάρκεια της συνομιλίας. Η προσοχή του οδηγού πρακτικά διαχωρίζεται στη διαχείριση του οχήματος και την επεξεργασία της πληροφορίας που λαμβάνει από το περιβάλλον σε σχέση με την οδήγηση. Όταν η απόσπαση της προσοχής του οδηγού λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου είναι μεγάλη, τότε μέρος της προσοχής του οδηγού πηγαίνει εκεί, κλέβοντας προσοχή και χρόνο από τις υπόλοιπες διεργασίες του οδηγού. Παρότι μια συζήτηση είναι ηχητική και οι διεργασίες του οδηγού οπτικές, η συζήτηση διεγείρει την οπτική μνήμη, κανοντάς μας να σκεφτόμαστε αναπολούμε, οπτικοποιούμε εικόνες, παραστάσεις βάσει των λεγομένων της συζήτησης. Ως εκ τούτου η δυνατότητα του οδηγού να επεξεργαστεί οπτικά δεδομένα γίνεται πιο αργή και λιγότερο ευαίσθητη. Προς απόδειξη τούτου, μελέτη συνέκρινε το ρυθμό των χτύπων της καρδιάς και της αντίστασης του δέρματος κατά τη διάρκεια κλήσεων στο κινητό τηλέφωνο και συνομιλίας με τους συνεπιβάτες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όταν ο οδηγός εμπλέκεται σε οποιαδήποτε από τις δύο ανωτέρω λειτουργίες ο ρυθμό των χτύπων της καρδιάς καθώς και η αντίσταση του δέρματος μεταβάλλονται σημαντικά, χωρίς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο αιτίων.

Συνήθεις συνέπειες της απόσπασης του οδηγού λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου είναι σημαντική μείωση στην ταχύτητα, δυσκολία στην διατήρηση σταθερής ταχύτητας, μη σταθερή απόσταση από το προπορευόμενο όχημα, δυσκολία διατήρησης της λωρίδας. Επιπλέον η ικανότητα του οδηγού να αναγνωρίζει οδικά σήματα υποβαθμίζεται σημαντικά, όπως επίσης και ο χρόνος αντίδρασης.

Πιο αναλυτικά, η χρήση κινητών τηλεφώνων βηματοποιείται σε 5 διαδικασίες: κλήση, απάντηση κλήσης, ομιλία και ακρόαση, κλείσιμο κλήσης, ανάγνωση πληροφοριών.

⁴² Effect of Using Mobile Phones on Driver's Control Behavior Based on Naturalistic Driving Data

Η χρήση του κινητού τηλεφώνου κατά τη διάρκεια της οδήγησης, μπορεί να διακριθεί σε χειροκίνητη κλήση (απάντηση σε κλήση και δημιουργία κλήσης) και σε αναζήτηση και λήψη πληροφοριών.

Task	Sub-Operations	Description	Judging Criteria
Hand-held call	Answering	Check the incoming call with one hand and prepare the call.	Driver's line of sight starts to move.
	Dialing	Click the screen with one hand to dial.	Driver's line of sight starts to move.
	Talking and listening	Drive with one hand and communicate with a phone.	Put the phone at the ear.
	Hanging up	Stop talking and put the phone down with one hand.	Put the phone away from the ear.
View information	Viewing	Click on the screen with one hand to browse information. Keep eyes off the road for a long time.	Driver's line of sight starts to move.

Πίνακας 18: Περιγραφή των δραστηριοτήτων που αποσπούν την προσοχή κατά την χρήση κινητού τηλεφώνου [134].

Χρήση κινητού τηλεφώνου για κλήσεις

Η χρονική ακολουθία μιας κλήσης είναι η ακόλουθη. Για τις ανάγκες διεξαγωγής του πειράματος στο οποίο αντιστοιχούν τα κάτωθι γραφήματα, έγιναν κάποιες παραδοχές (Εικόνα 30). Ελήφθη υπόψη ένα διάστημα 3s πριν και μετά την κλήση ως το μεσοδιάστημα πριν και μετά την μεταβολή που προκαλεί η κλήση και 1s ως το μεταβατικό στάδιο. Οι διαφορετικές καταστάσεις που προκύπτουν είναι:

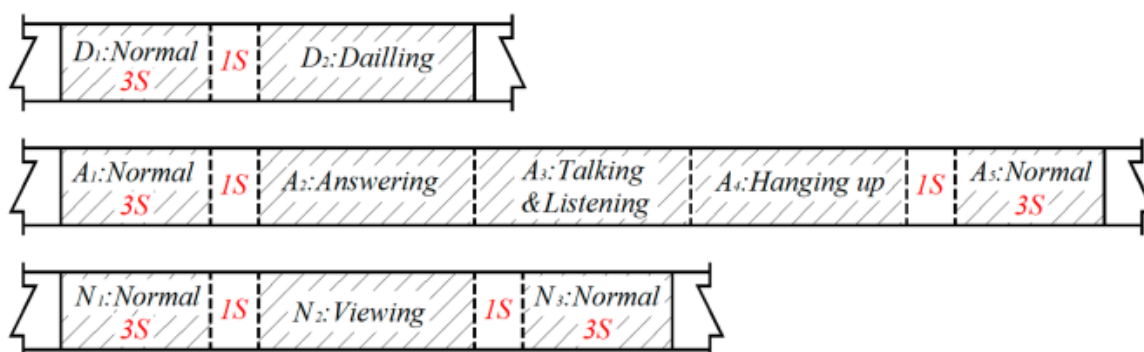
A₁: Οδήγηση υπό κανονικές συνθήκες

A₂: Απάντηση μιας κλήσης

A₃: Συνομιλία

A₄: Τερματισμός της κλήσης

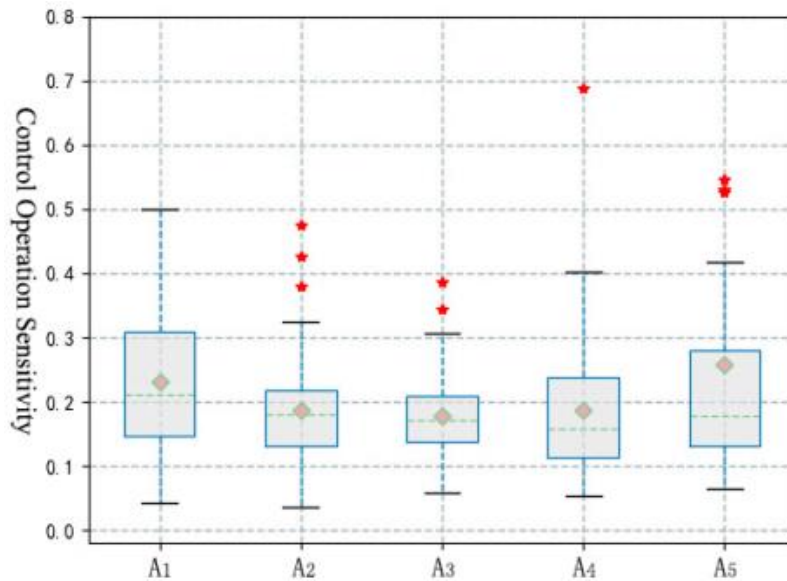
A₅: Οδήγηση υπό κανονικές συνθήκες



Εικόνα 30: Χρονική ακολουθία μιας κλήσης [134].

Για τα διαστήματα αυτά, μελετήθηκε η ευαισθησία του οδηγού στον έλεγχο του οχήματος καθώς και η σταθερότητα στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση (απόσταση από

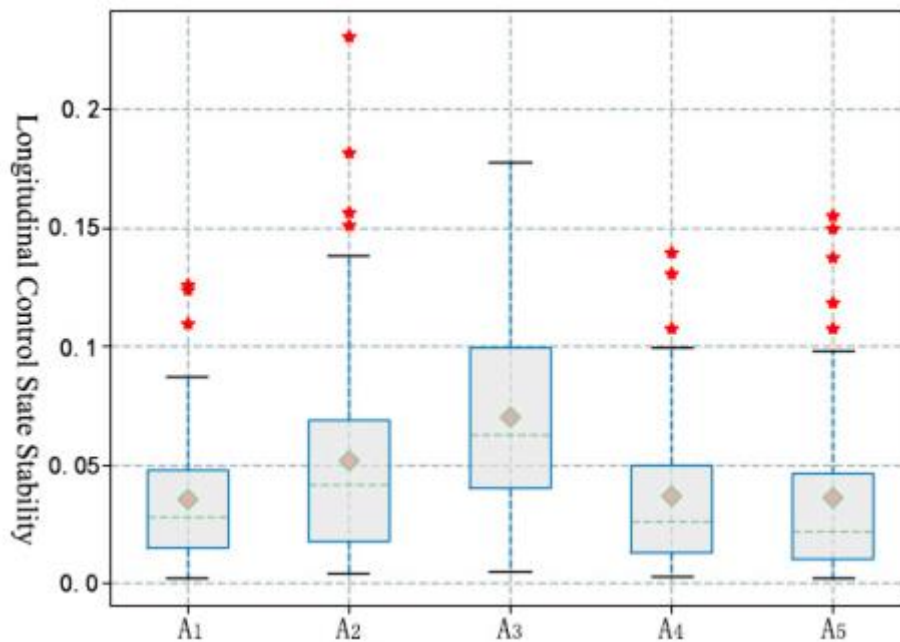
προπορευόμενο όχημα, έλεγχος πέδησης, σταθερότητα στην ταχύτητα) για τις παραπάνω φάσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ακολούθως (με τυπική απόκλιση).



Γράφημα 27: Αποτελέσματα της σχετικής ευαισθησίας του οδηγού στον έλεγχο του οχήματος κατά τη διάρκεια μιας κλήσης [134].

Παρατηρείται ότι η ευαισθησία του οδηγού σχετικά με τον έλεγχο του οχήματος είναι αρκετά μικρότερη κατά τη διάρκεια μιας κλήσης (A₂, A₃, A₄), σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες οδήγησης (A₁, A₅).

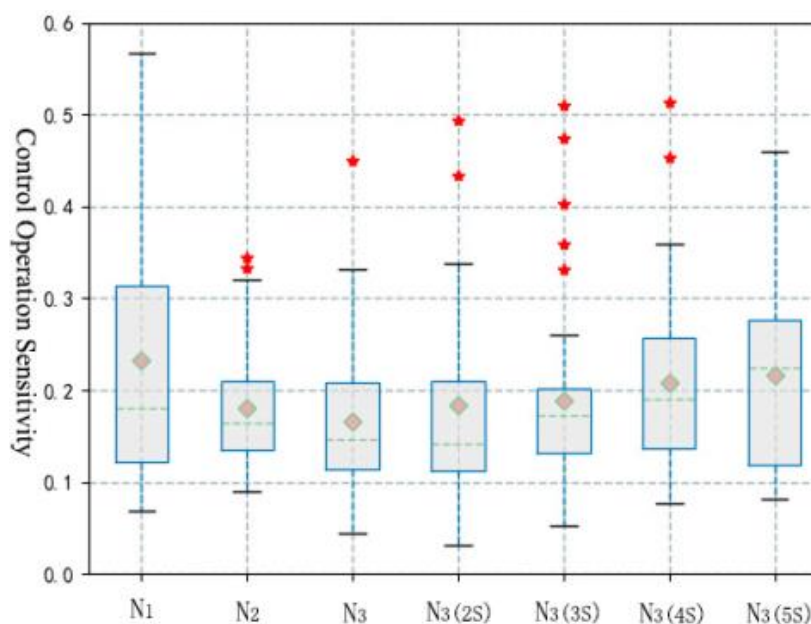
Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και στην περίπτωση της σταθερότητας στον έλεγχο του οχήματος στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση.



Γράφημα 28: Αποτελέσματα της σταθερότητας στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση του οδηγού κατά τη διάρκεια μιας κλήσης [134]

Χρήση κινητού τηλεφώνου για αναζήτηση και ανάγνωση πληροφοριών

Αντίστοιχα, μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης κινητού τηλεφώνου για αναζήτηση και ανάγνωση πληροφοριών στην οδηγική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα :



Γράφημα 30: Αποτελέσματα της σχετικής ευαισθησίας του οδηγού στον έλεγχο του οχήματος κατά τη διαδικασία ανάγνωσης πληροφοριών στο κινητό [134].

Σε αυτήν την περίπτωση διαπιστώθηκε ότι ως προς την σταθερότητα στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση του οδηγού, δεν παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες μεταβολές. Διαπιστώθηκε όμως σημαντική μείωση στον πλευρικό έλεγχο του οχήματος από τον οδηγό, καθώς και στην σχετική ευαισθησία του οδηγού ως προς τον έλεγχο του οχήματος, κατά την διαδικασία ανάγνωσης πληροφοριών από το κινητό τηλέφωνο.

Συνοψίζοντας, οι οδηγοί χρησιμοποιούν διαφορετική στρατηγική προκειμένου να διαχειριστούν το έξτρα φορτίο που προκαλείται εξαιτίας της χρήσης κινητού τηλεφώνου. Λειτουργίες όπως η δημιουργία κλήσης, απάντηση κλήσης, ανάγνωση πληροφοριών από την οθόνη του κινητού αποσπούν την προσοχή του οδηγού. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται η ευαισθησία στον έλεγχο του οχήματος στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση όταν καλεί ή απαντά σε μια κλήση, ενώ μειώνεται ο πλευρικός έλεγχος του οχήματος όταν διαβάζει πληροφορίες από την οθόνη του κινητού.

Στην περίπτωση χειροκίνητων κλήσεων, η συνομιλία συντελεί σε μείωση της ευαισθησίας του ελέγχου του οχήματος από τον οδηγό, ο βαθμός της επίδρασης όμως, δεν διαφέρει από άλλες χειροκίνητες λειτουργίες που αποσπούν την προσοχή. Επιπρόσθετα η συνομιλία συνεπάγεται σημαντική μείωση στην σταθερότητα του ελέγχου στην κατά μήκος του οδοστρώματος οδήγηση ιδιαίτερα κατά την φάση της αποδοχής κλήσης. Η απαγόρευση της συνομιλίας (με το κινητό στο αυτί), λύνει μερικώς μόνον το πρόβλημα, αφού δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη και την επιβάρυνση των διανοητικών λειτουργιών.

Επιπλέον, με την ραγδαία εξέλιξη των λειτουργιών των κινητών τηλεφώνων και της συνεπαγόμενης χρήσης τους, αυξάνεται η εξάρτηση των οδηγών από τα κινητά. Τα μέσα

κοινωνικής δικτύωσης, η χρήση ως GPS πλοηγούς, κλπ, έχουν καταστήσει τους οδηγούς πλήρως εξαρτημένους από τις συσκευές τους.

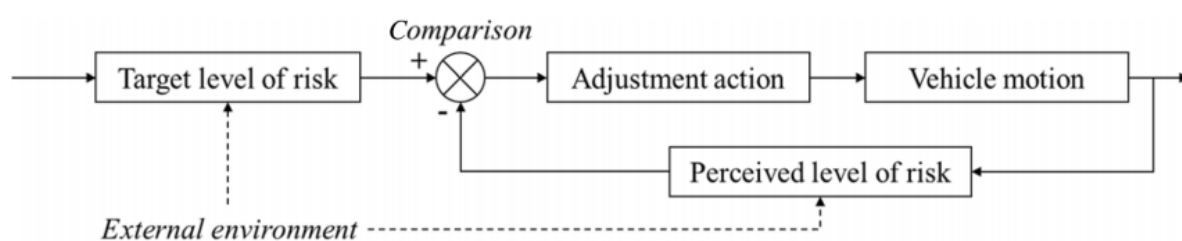
Θα πρέπει να γίνουν σημαντικά και θαρραλέα βήματα σχετικά με την χρήση των κινητών τηλεφώνων κατά τη διάρκεια της οδήγησης, ώστε να περιοριστούν και από αυτήν την σκοπιά οι δυσάρεστες ή οι ακόμα πιο δυσάρεστες συνέπειες τους, οι οποίες κοστίζουν συνεχώς ζωές.

Οι μελετητές των αυτοκινητοδρόμων και γενικότερα του οδικού δικτύου, καθώς και οι διαχειριστές τους, θα πρέπει να βρουν αποτελεσματικούς τρόπους για να βοηθήσουν τους οδηγούς να επαγρυπνούν μειώνοντας από το οπτικό τους πεδίο την απόσπαση προσοχής, αλλά ταυτόχρονα και την πλήξη, την υπνηλία και την κούραση.

3.15. Καιρικές Συνθήκες⁴³

Ως ένα βαθμό, όλοι οι οδηγοί αντιμετωπίζουν την πρόκληση της οδήγησης υπό αντίξοες συνθήκες. Ως «αντίξοες» καιρικές συνθήκες κατά την οδήγηση εννοούμε τις συνθήκες εκείνες όπου οι μεταβολές του καιρού απαιτούν από τον οδηγό να επιδείξει ιδιαίτερη προσοχή και να προσαρμόσει τη συνήθη οδηγική συμπεριφορά. Οι συνθήκες αυτές τείνουν να μειώνουν τόσο την ορατότητα του οδηγού όσο την πρόσφυση, την σταθερότητα και την ικανότητα πέδησης του οχήματος ή αλλαγής της κατεύθυνσής του με ασφάλεια. Στις αντίξοες αυτές καιρικές συνθήκες κατά την οδήγηση συμπεριλαμβάνονται η βροχόπτωση, πλημμύρα, χιονόπτωση, ομίχλη, χαλάζι, ισχυροί άνεμοι, ριπές, εξαιρετικά κρύος ή ζεστός καιρός, οδήγηση κόντρα στον ήλιο (σε ανατολή ή δύση).

Η αντίληψη του κινδύνου (παρότι υποκειμενική) είναι μια παράμετρος-κλειδί, μας περιγράφει πως ο οδηγός αναγνωρίζει το επίπεδο του κινδύνου του οδικού περιβάλλοντος και χρησιμοποιείται για να εξηγήσει γιατί και πως οι οδηγοί τροποποιούν την συμπεριφορά τους όταν αντιμετωπίζουν κακό καιρό. Σύμφωνα με τη θεωρία αντιστάθμισης κινδύνου και τη θεωρία της ομοιόστασης οι οδηγοί συνεχώς προσαρμόζουν την οδηγική συμπεριφορά τους συγκρίνοντας συνεχώς το επίπεδο κινδύνου όπως το έχουν αντιληφθεί, σε σχέση με ένα επίπεδο αναφοράς, σύμφωνα με το οποίο μπορούν να διαχειριστούν την οδήγηση με ασφάλεια.



Εικόνα 31: Θεωρία ομοιόστασης [135]

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το πως οι οδηγοί αντιλαμβάνονται και ανταποκρίνονται στις διάφορες καιρικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται δεδομένα όπως αυτά

⁴³ Influence of adverse weather on drivers' perceived risk during car following based on driving simulations

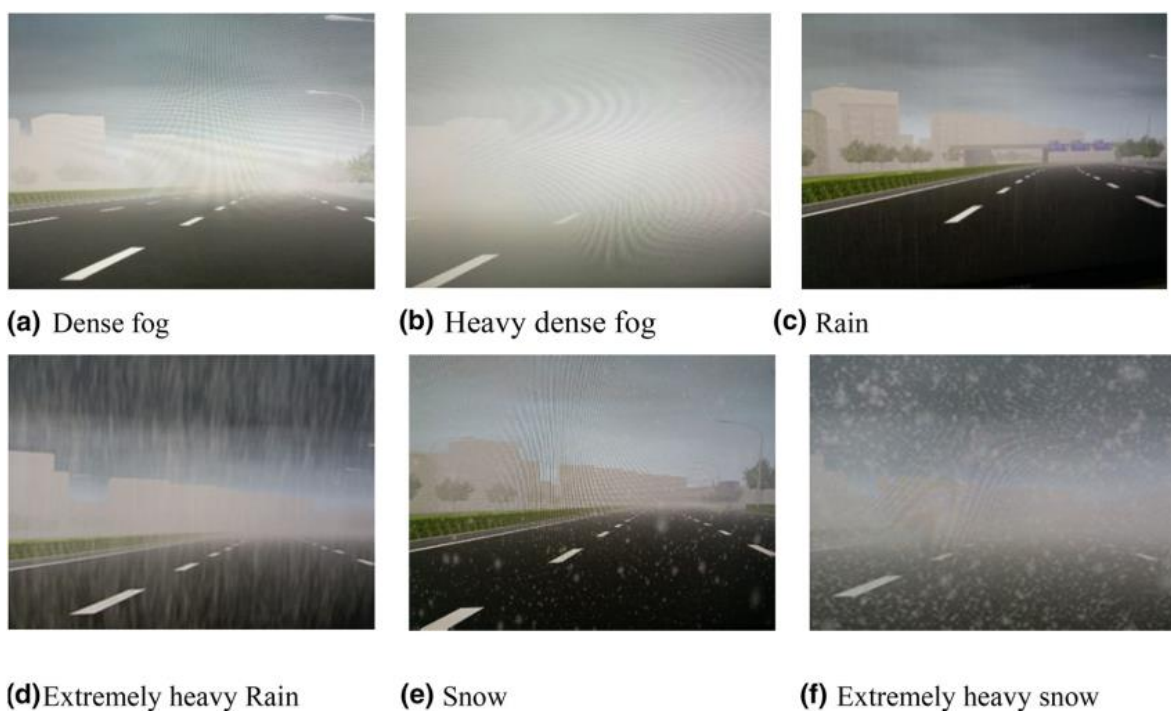
προέκυψαν από μελέτες και παρατηρήσεις επί πραγματικών οδηγών σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης [136] με καταγραφή τους και σε πραγματικό χρόνο και από ερωτηματολόγια. Χρησιμοποιούνται επίσης δεδομένα που προκύπτουν από προσομοιώσεις.

Ενδεικτικά, σύμφωνα με την μελέτη των Chen Chen et al. 2019 [106], προσομοιώθηκαν διάφορες καιρικές συνθήκες όπως αυτές περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 19), και ενδεικτικά παρατίθενται στην Εικόνα 32:

ID	Configuration of three functions				Matched weather condition (actual weather grade)	Abbreviation
	SetRain (%)	SetSnow (%)	SetFog (m)	Friction (%)		
1	-	-	10,000	100	Clear sky	CS
2	-	-	1500	100	Light fog (1000 m < S ≤ 100,000 m)	LF
3	-	-	800	100	Fog (500 m < S ≤ 1000 m)	F
4	-	-	300	100	Dense fog (200 m < S ≤ 500 m)	DF
5	-	-	50	100	Heavy dense fog (50 m < S ≤ 200 m)	HDF
6	20	-	2000	100	Light rain (0–9.9) mm/24 h	LR
7	45	-	800	75	Rain (10.0–24.9) mm/24 h	R
8	70	-	550	60	Heavy rain (25.0–49.9) mm/24 h	HR
9	95	-	300	45	Extremely heavy rain (100.0–249.0) mm/24 h	EHR
10	-	45	500	45	Snow (2.5–4.9) mm/24 h	S
11	-	95	100	20	Extremely heavy snow (10–19.9) mm/24 h	EHS

S denotes visibility distance

Πίνακας 19: Οι διαφορετικές δυνατές συνθήκες που μελετήθηκαν [135]



Εικόνα 32: Οπτική απεικόνιση των διαφορετικών καιρικών συνθηκών [135]

Επιπλέον μελετήθηκε στην προσομοίωση αυτή, η ανταπόκριση στην κατά μήκος του δρόμου οδήγηση και κατά συνέπεια στην δυνατότητα να συμβαδίζει στην επιτάχυνση, επιβράδυνση και διατήρηση σταθερής πορείας, σε σχέση με προπορευόμενο όχημα. Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται οι επιπτώσεις των διαφόρων καιρικών συνθηκών στους δρόμους, στη ροή κυκλοφορίας, καθώς και τις αποφάσεις του οδηγού.

Road Weather Variables	Roadway Impacts	Traffic Flow Impacts	Operational Impacts
Air temperature and humidity	N/A	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • Road treatment strategy (e.g., snow and ice control) • Construction planning (e.g., paving and striping)
Wind speed	<ul style="list-style-type: none"> • Visibility distance (due to blowing snow, dust) • Lane obstruction (due to wind-blown snow, debris) 	<ul style="list-style-type: none"> • Traffic speed • Travel time delay • Accident risk 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle performance (e.g., stability) • Access control (e.g., restrict vehicle type, close road) • Evacuation decision support
Precipitation (type, rate, start/end times)	<ul style="list-style-type: none"> • Visibility distance • Pavement friction • Lane obstruction 	<ul style="list-style-type: none"> • Roadway capacity • Traffic speed • Travel time delay • Accident risk 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle performance (e.g., traction) • Driver capabilities/behavior • Road treatment strategy • Traffic signal timing • Speed limit control • Evacuation decision support • Institutional coordination
Fog	Visibility distance	<ul style="list-style-type: none"> • Traffic speed • Speed variance • Travel time delay • Accident risk 	<ul style="list-style-type: none"> • Driver capabilities/behavior • Road treatment strategy • Access control • Speed limit control
Pavement temperature	Infrastructure damage	N/A	Road treatment strategy
Pavement condition	<ul style="list-style-type: none"> • Pavement friction • Infrastructure damage 	<ul style="list-style-type: none"> • Roadway capacity • Traffic speed • Travel time delay • Accident risk 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle performance • Driver capabilities/behavior (e.g., route choice) • Road treatment strategy • Traffic signal timing • Speed limit control
Water level	Lane submersion	<ul style="list-style-type: none"> • Traffic speed • Travel time delay • Accident risk 	<ul style="list-style-type: none"> • Access control • Evacuation decision support • Institutional coordination

Πίνακας 20: Επίδραση των διαφόρων καιρικών συνθηκών στη ροή κυκλοφορίας και οι επιπτώσεις στον δρόμο και τον οδηγό ⁴⁴

Επιπλέον, πέραν των προκλήσεων που δημιουργούνται όπως ο έλεγχος του οχήματος σε στροφή ή πέδηση, ο οδηγός θα πρέπει να επιδειξει ιδιαίτερη προσοχή και σεβασμό και ως προς τους άλλους οδηγούς οι οποίοι αντιμετωπίζουν και αυτοί ιδιαίτερες δυσκολίες, όπως και σε αντικείμενα που πιθανόν βρίσκονται στο οδόστρωμα. Ενδεικτικά και όχι αποκλειστικά, αναφέρονται:

- Σπρέι νερού από προπορευόμενο όχημα, που περιορίζει το οπτικό πεδίο.

⁴⁴ https://ops.fhwa.dot.gov/weather/q1_roadimpact.htm

- Βράχοι ή φυσικά εμπόδια που βρέθηκαν επί του οδικού δικτύου εξαιτίας των καιρικών συνθηκών και οχήματα εκατέρωθεν που παρεκκλίνουν της πορείας τους για να τα αποφύγουν.
- Αυξημένη δυσκολία αναγνώρισης πεζών, ποδηλατών εξαιτίας της μειωμένης ορατότητας είτε απευθείας είτε από καθρέπτες, οι οποίοι έχουν επίσης μειωμένη ορατότητα ή δεν θέλουν να βραχούν, άρα βιάζονται λίγο περισσότερο.
- Το υγρό οδόστρωμα μπορεί να προκαλέσει κορεσμό στις εγκοπές των ελαστικών με αποτέλεσμα την κακή πρόσφυση.
- Ο ισχυρός άνεμος προκαλεί δυσκολία στην πορεία οχημάτων με μεγάλη επιφάνεια (φορτηγά).

Η επίδραση του καιρού στην ασφάλεια

Κατά μέσο όρο συμβαίνουν παγκοσμίως 5.891.000 οδικά ατυχήματα κάθε χρόνο, εκ των οποίων τα 1.235.000 σχετίζονται με «αντίξοες» καιρικές συνθήκες (βροχή, χαλάζι, χιόνι, ομίχλη, ισχυροί άνεμοι, κλπ.) ή ολισθηρό οδόστρωμα (υγρό, χιονισμένο ή παγωμένο).

Η πλειοψηφία των τροχαίων ατυχημάτων συμβαίνει σε ολισθηρό υγρό οδόστρωμα (70%) και κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης (46%). Σε μια προσπάθεια να επισημανθεί η επίδραση των καιρικών συνθηκών και να λαμβάνεται πλέον περισσότερο υπόψη από τους οδηγούς, παρατίθενται τα ακόλουθα στοιχεία: (Πίνακας 21).

Οδικές καιρικές συνθήκες	Στατιστικά ατυχημάτων που σχετίζονται με τον καιρό		
	M.O. (2007 - 2016)	(2007 - 2016) %	
Υγρό οδόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> • 860,286 crashes • 324,394 persons injured • 4,050 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 15% of vehicle crashes • 15% of crash injuries • 12% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 70% of weather-related crashes • 78% of weather-related injuries • 76% of weather-related fatalities
Βροχόπτωση	<ul style="list-style-type: none"> • 556,151 crashes • 212,647 persons injured • 2,473 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 10% of vehicle crashes • 10% of crash injuries • 8% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 46% of weather-related crashes • 51% of weather-related injuries • 46% of weather-related fatalities
Χιονόπτωση / Χιονόνερο	<ul style="list-style-type: none"> • 219,942 crashes • 54,839 persons injured • 688 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 4% of vehicle crashes • 3% of crash injuries • 2% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 18% of weather-related crashes • 14% of weather-related injuries • 13% of weather-related fatalities
Παγωμένο οδόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> • 156,164 crashes • 41,860 persons injured • 521 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 3% of vehicle crashes • 2% of crash injuries • 2% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 13% of weather-related crashes • 11% of weather-related injuries • 10% of weather-related fatalities
Χιονισμένο οδόστρωμα	<ul style="list-style-type: none"> • 186,076 crashes • 42,036 persons injured • 496 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 4% of vehicle crashes • 2% of crash injuries • 2% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 16% of weather-related crashes • 11% of weather-related injuries • 10% of weather-related fatalities
Ομίχλη	<ul style="list-style-type: none"> • 25,451 crashes • 8,902 persons injured • 464 persons killed 	<ul style="list-style-type: none"> • 1% of vehicle crashes • 1% of crash injuries • 2% of crash fatalities 	<ul style="list-style-type: none"> • 3% of weather-related crashes • 3% of weather-related injuries • 9% of weather-related fatalities

Πίνακας 21: Στατιστικά οδικών ατυχημάτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες⁴⁵

⁴⁵ https://ops.fhwa.dot.gov/weather/q1_roadimpact.htm

Οι καιρικές συνθήκες αποτελούν έναν παράγοντα που επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά και ως τέτοιες, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Απαιτείται έλεγχος του οχήματος πριν από την οδήγηση με δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Έλεγχος των ελαστικών, των υαλοκαθαριστήρων, φώτα ομίχλης, υγρά φρένων ή καθαρισμού. Η προσοχή του οδηγού πρέπει να είναι συνεχώς στραμμένη στον δρόμο, χωρίς πιθανές αποσπάσεις, αύξηση της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα, όχι προσπεράσεις.

Συμπεράσματα

Δυστυχώς, τα δυστυχήματα που σημειώνονται κάθε χρόνο στην ασφάλτο, όπως αυτά καταγράφονται σε ετήσια βάση από τους αρμόδιους φορείς είναι ιδιαίτερα δραματικά και υψηλά.

Οι φυσιολογικοί και όχι μόνον παράγοντες που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά είναι πολύπλευροι. Ορισμένοι σχετίζονται με τεχνικά ή περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, πολλοί όμως ακόμη σχετίζονται με ατομικά χαρακτηριστικά. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή και ανάδειξη ενός ευρέος φάσματος φυσιολογικών παραγόντων που επηρεάζουν την οδηγική συμπεριφορά υπό το πρίσμα της αναγνώρισης των αιτίων και των κινδύνων που γεννούνται από αυτούς.

Είναι μείζονος σημασίας να γίνει αντιληπτό τόσο από τους αρμόδιους φορείς υπεύθυνους για την ασφάλεια κατά την οδήγηση όσο και από κάθε οδηγό, συνεπιβάτη, πεζό, ότι η προστασία της ζωής είναι ιδιαίτερα σημαντική για να την παίρνουμε αψηφιστα και να γίνουν όλα τα απαραίτητα βήματα προκειμένου να περιοριστεί ο κίνδυνος που γεννά κάθε ένας από τους παράγοντες που αναλύθηκαν ανωτέρω.

Ευχής έργον είναι οι οδηγοί να αντιληφθούν τους παράγοντες αυτούς και να τους ενσωματώσουν στην οδηγική κουλτούρα τους, ελπίζοντας ότι θα περιοριστούν τα δυστυχήματα. Δεν αρκεί όμως η ελπίδα. Θα πρέπει κάθε ένας από εμάς είτε είναι οδηγός, συνεπιβάτης, πεζός είτε υπεύθυνος φορέα που σχετίζεται με την οδηγική ασφάλεια (τροχαία, δήμος, ρυθμιστικές αρχές, κατασκευή υποδομών) να εργαστεί συστηματικά προς αυτήν την κατεύθυνση και ως προς τον εαυτό του και σε συνεργασία με τους υπόλοιπους.

Είναι ένα εξαιρετικά σημαντικό ζήτημα για να μην του δίνεται η δέουσα σημασία.

Μπορούμε να τα καταφέρουμε όλοι μαζί.

Βιβλιογραφία

- [1] M. Gross, “A planet with two billion cars,” *Curr. Biol.*, vol. 26, no. 8, pp. R307–R310, 2016, doi: 10.1016/j.cub.2016.04.019.
- [2] D. Sperling and D. Gordon, *Two billion cars: driving toward sustainability*. Oxford University Press, 2010.
- [3] F. Taggi, M. Giustini, G. Fondi, T. Macchia, and M. Chiarotti, “L’epidemiologia degli incidenti stradali (I): i dati di base ei fattori di rischio,” *I Dati Socio-Sanitari Della Sicur. Str. Rome, Italy Ist. Super. di Sanita*, 2001.
- [4] M. Abdel-Aty, C. L. Chen, E. Radwan, and P. A. Brady, “Analysis of crash-involvement trends by drivers’ age in Florida,” *ITE J.*, vol. 69, no. 2, pp. 69–74, 1999.
- [5] A. Dobson, W. Brown, J. Ball, J. Powers, and M. McFadden, “Women drivers’ behaviour, socio-demographic characteristics and accidents,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 31, no. 5, pp. 525–535, 1999, doi: 10.1016/S0001-4575(99)00009-3.
- [6] R. Attewell, “WOMEN BEHIND THE WHEEL: A STATISTICAL OVERVIEW OF ROAD CRASH INVOLVEMENT,” 1998.
- [7] F. H. Norris, B. A. Matthews, and J. K. Riad, “Characterological, situational, and behavioral risk factors for motor vehicle accidents: A prospective examination,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 32, no. 4, pp. 505–515, 2000, doi: 10.1016/S0001-4575(99)00068-8.
- [8] B. Brorsson, H. Rydgren, and J. Ifver, “Single-vehicle accidents in Sweden: A comparative study of risk and risk factors by age,” *J. Safety Res.*, vol. 24, no. 1, pp. 55–65, 1993, doi: 10.1016/0022-4375(93)90050-W.
- [9] G. McGwin and D. B. Brown, “Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 31, no. 3, pp. 181–198, 1999, doi: 10.1016/s0001-4575(98)00061-x.
- [10] R. R. Mourant and T. H. Rockwell, “Strategies of visual search by novice and experimental drivers,” *Hum. Factors*, vol. 14, no. 4, p. 325—335, 1972, doi: 10.1177/001872087201400405.
- [11] J. Arnett, “Developmental sources of crash risk in young drivers,” *Inj. Prev.*, vol. 8 Suppl 2, pp. ii17-21; discussion ii21, Oct. 2002, doi: 10.1136/ip.8.suppl_2.ii17.
- [12] M. Ernst and M. P. Paulus, “Neurobiology of decision making: A selective review from a neurocognitive and clinical perspective,” *Biol. Psychiatry*, vol. 58, no. 8, pp. 597–604, 2005, doi: 10.1016/j.biopsych.2005.06.004.
- [13] J. T. Shope and C. R. Bingham, “Teen Driving. Motor-Vehicle Crashes and Factors That Contribute,” *Am. J. Prev. Med.*, vol. 35, no. 3 SUPPL., 2008, doi: 10.1016/j.amepre.2008.06.022.
- [14] A. T. McCartt, S. A. Ribner, A. I. Pack, and M. C. Hammer, “The scope and nature of the drowsy driving problem in New York state,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 28, no. 4, pp. 511–517, 1996, doi: 10.1016/0001-4575(96)00021-8.

- [15] M. L. Meadows, S. G. Stradling, and S. Lawson, "The role of social deviance and violations in predicting road traffic accidents in a sample of young offenders," *Br. J. Psychol.*, vol. 89, no. 3, pp. 417–431, 1998, doi: 10.1111/j.2044-8295.1998.tb02694.x.
- [16] D. Ingram, B. Lancaster, and S. Hope, *Recreational drugs and driving: prevalence survey*. 2000.
- [17] D. Shinar, E. Schechtman, and R. Compton, "Self-reports of safe driving behaviors in relationship to sex, age, education and income in the US adult driving population," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 33, no. 1, pp. 111–116, 2001, doi: 10.1016/S0001-4575(00)00021-X.
- [18] A. Ian Glendon, L. Dorn, D. R. Davies, G. Matthews, and R. G. Taylor, "Age and gender differences in perceived accident likelihood and driver competences," *Risk Anal.*, vol. 16, no. 6, pp. 755–762, 1996, doi: 10.1111/j.1539-6924.1996.tb00826.x.
- [19] D. K. Dekker, B. M. Kotwal, and N. D. Lerner, "Understanding driver performance variability and perception of risk," Technical Report for Federal Highway Administration, 1994.
- [20] R. W. Novaco, "Aggression on roadways," in *Advances in psychology*, vol. 76, Elsevier, 1991, pp. 253–326.
- [21] M. ML and M. AR, "Age differences in male drivers' perception of accident risk: the role of perceived driving ability," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 18, no. 4, pp. 299–313, 1986.
- [22] G. VIVOLI, M. BERGOMI, S. ROVESTI, G. Carrozzi, and A. Vezzosi, "Biochemical and haemodynamic indicators of stress in truck drivers," *Ergonomics*, vol. 36, no. 9, pp. 1089–1097, 1993.
- [23] G. A. Ryan, M. Legge, and D. Rosman, "Age related changes in drivers' crash risk and crash type," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 30, no. 3, pp. 379–387, 1998, doi: 10.1016/S0001-4575(97)00098-5.
- [24] C. Alm and E. Lindberg, "Perceived Risk, Feelings of Safety and Worry Associated with Different Travel Modes," p. 42, 2000.
- [25] E. Petridou and M. Moustaki, "Human factors in the causation of road traffic crashes," *Eur. J. Epidemiol.*, vol. 16, no. 9, pp. 819–826, 2000, doi: 10.1023/A:1007649804201.
- [26] Β. Προφυλλίδης, "Ανάλυση Και Μοντελοποίηση Των Παραμέτρων Οδικής Ασφάλειας," pp. 10–11, 2005.
- [27] J. C. Laberg and T. Löberg, "Expectancy and tolerance: a study of acute alcohol intoxication using the balanced placebo design.," *J. Stud. Alcohol*, vol. 50, no. 5, pp. 448–455, 1989.
- [28] A. M. Smiley, "Marijuana: on-road and driving simulator studies," *Alcohol, Drugs Driv.*, vol. 2, no. 3–4, pp. 121–134, 1986.
- [29] H. Moskowitz and D. Fiorentino, "A Review of the Literature on the Effects of Low Doses of Alcohol on Driving-Related Skills," *Natl. Highw. Traffic Saf. Adm. Off. Res. Traffic Rec.*, vol. April, no. April, pp. 1–28, 2000.

- [30] Y. C. Liu and C. H. Ho, "Effects of different blood alcohol concentrations and post-alcohol impairment on driving behavior and task performance," *Traffic Inj. Prev.*, vol. 11, no. 4, pp. 334–341, 2010, doi: 10.1080/15389581003747522.
- [31] E. Chamberlain and R. Solomon, "The case for a 0.05% criminal law blood alcohol concentration limit for driving," *Inj. Prev.*, vol. 8, no. SUPPL. 3, pp. 1–17, 2002, doi: 10.1136/ip.8.suppl_3.iii1.
- [32] J. W. Bates, "An examination of hangover effects on pilot performance," 2001.
- [33] M. Zuckerman and D. M. Kuhlman, "Personality and risk-taking: Common biosocial factors," *J. Pers.*, vol. 68, no. 6, pp. 999–1029, 2000, doi: 10.1111/1467-6494.00124.
- [34] J. Arnett, "Sensation seeking: A new conceptualization and a new scale," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 16, no. 2, pp. 289–296, 1994, doi: 10.1016/0191-8869(94)90165-1.
- [35] M. Zuckerman, "Impulsive unsocialized sensation seeking: The biological foundations of a basic dimension of personality.," in *Temperament: Individual differences at the interface of biology and behavior.*, Washington, DC, US: American Psychological Association, 1994, pp. 219–255.
- [36] M. Zuckerman, *Behavioral expressions and biosocial bases of sensation seeking.* Cambridge university press, 1994.
- [37] M. Zuckerman, S. B. Eysenck, and H. J. Eysenck, "Sensation seeking in England and America: Cross-cultural, age, and sex comparisons," *J. Consult. Clin. Psychol.*, vol. 46, no. 1, pp. 139–149, 1978, doi: 10.1037/0022-006X.46.1.139.
- [38] R. Ebstein *et al.*, "Dopamine D4 receptor (D4DR) exon III polymorphism associated with human personality trait of Novelty Seeking," *Nat. Genet.*, vol. 12:78-80, Feb. 1996, doi: 10.1038/ng0196-78.
- [39] M. Zuckerman, "Impulsive unsocialized sensation seeking: The biological foundations of a basic dimension of personality.," 1994.
- [40] B. A. Jonah, "Sensation seeking and risky driving: A review and synthesis of the literature," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 29, no. 5, pp. 651–665, 1997, doi: 10.1016/S0001-4575(97)00017-1.
- [41] B. A. Jonah, R. Thiessen, and E. Au-Yeung, "Sensation seeking, risky driving and behavioral adaptation," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 33, no. 5, pp. 679–684, 2001, doi: 10.1016/S0001-4575(00)00085-3.
- [42] G. Galloway and K. Lopez, "Sensation seeking and attitudes to aspects of national parks: A preliminary empirical investigation," *Tour. Manag.*, vol. 20, no. 6, pp. 665–671, 1999.
- [43] T. Lajunen, D. Parker, and S. G. Stradling, "Dimensions of driver anger, aggressive and highway code violations and their mediation by safety orientation in UK drivers," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 1, no. 2, pp. 107–121, 1998, doi: 10.1016/S1369-8478(98)00009-6.
- [44] B. Parkinson, "Anger on and off the road," *Br. J. Psychol.*, vol. 92, no. 3, pp. 507–526, 2001, doi: 10.1348/000712601162310.

- [45] J. L. Deffenbacher, E. R. Oetting, and R. S. Lynch, "Development of a Driving Anger Scale," *Psychol. Rep.*, vol. 74, no. 1, pp. 83–91, Feb. 1994, doi: 10.2466/pr0.1994.74.1.83.
- [46] P. Ellison-Potter, P. Bell, and J. Deffenbacher, "The Effects of Trait Driving Anger, Anonymity, and Aggressive Stimuli on Aggressive Driving Behavior," *J. Appl. Soc. Psychol.*, vol. 31, pp. 431–443, Jul. 2006, doi: 10.1111/j.1559-1816.2001.tb00204.x.
- [47] G. Matthews, L. Dorn, and A. I. Glendon, "Personality correlates of driver stress," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 12, no. 6, pp. 535–549, 1991.
- [48] A. Furnham and J. Saipé, "Personality correlates of convicted drivers," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 14, no. 2, pp. 329–336, 1993, doi: 10.1016/0191-8869(93)90131-L.
- [49] J. J. Arnett, "Sensation seeking, aggressiveness, and adolescent reckless behavior," *Pers. Individ. Dif.*, vol. 20, no. 6, pp. 693–702, 1996, doi: 10.1016/0191-8869(96)00027-X.
- [50] L. McMurray, "Emotional stress and driving performance: The effect of divorce.," *Behav. Res. Highw. Saf.*, 1970.
- [51] S. Cartwright, C. L. Cooper, and A. Barron, "The Company Car Driver, Occupational Stress as a Predictor of Motor Vehicle Accident Involvement," *Hum. Relations*, vol. 49, no. 2, pp. 195–208, Feb. 1996, doi: 10.1177/001872679604900204.
- [52] M. L. Selzer and A. Vinokur, "Life events, subjective stress, and traffic accidents.," *Am. J. Psychiatry*, vol. 131, no. 8, pp. 903–906, Aug. 1974, doi: 10.1176/ajp.131.8.903.
- [53] J. A. Horne, "Time of Day, road characteristics and awareness," *Sleepy Driv. Pilot. B. Abstr. Inst. Psychosoc. Med. Karolinska Institutet, Estocolmo*, pp. 10–11, 2000.
- [54] J. A. Horne and L. A. Reyner, "Sleep related vehicle accidents," *Bmj*, vol. 310, no. 6979, p. 565, 1995, doi: 10.1136/bmj.310.6979.565.
- [55] R. R. Knipling and J.-S. Wang, "Revised estimates of the US drowsy driver crash problem size based on general estimates system case reviews," in *Annual proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 1995, vol. 39, pp. 451–466.
- [56] J. C. Stutts, J. W. Wilkins, and B. V. Vaughn, "Why do people have drowsy driving crashes," *Input from drivers who just did. Washingt. AAA Found. Traffic Saf.*, 1999.
- [57] J. L. Connor, "7KH UROH RI GULYHU VOHHSLQHV V LQ FDU FUDVKHV a review of the epidemiological evidence," pp. 187–188, 2009.
- [58] D. Leger, "The cost of sleep-related accidents: A report for the National Commission on Sleep Disorders Research," *Sleep*, vol. 17, no. 1, pp. 84–93, 1994, doi: 10.1093/sleep/17.1.84.
- [59] D. F. Dinges, "An overview of sleepiness and accidents," *J. Sleep Res.*, vol. 4, pp. 4–14, 1995.
- [60] C. D. Hanning and M. Welsh, "Sleepiness, snoring and driving habits," *J. Sleep Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 51–54, 1996.

- [61] D. J. Beirness, H. M. Simpson, and K. Desmond, *The road safety monitor 2004: Drowsy driving*. 2005.
- [62] J. Connor *et al.*, “Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: Population based case control study,” *Br. Med. J.*, vol. 324, no. 7346, pp. 1125–1128, 2002, doi: 10.1136/bmj.324.7346.1125.
- [63] J. A. Horne, L. A. Reyner, and P. R. Barrett, “Driving impairment due to sleepiness is exacerbated by low alcohol intake,” *Occup. Environ. Med.*, vol. 60, no. 9, pp. 689–692, 2003, doi: 10.1136/oem.60.9.689.
- [64] D. Flatley, L. A. Reyner, and J. A. Horne, “Sleep-related crashes on sections of different road types in the UK (1995-2001),” *ROAD Saf. Res. Rep. 52*, 2004.
- [65] J. Perrier, F. Bertran, S. Marie, C. Couque, J. Bulla, and P. Denise, “Perrier et al. 2014.”
- [66] J. C. Verster, D. S. Veldhuijzen, and E. R. Volkerts, “Residual effects of sleep medication on driving ability,” *Sleep Med. Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 309–325, 2004, doi: 10.1016/j.smr.2004.02.001.
- [67] T. R. Miller, *Benefit-cost analysis of lane marking*, no. 1334. 1992.
- [68] P. Moses, “Edge lines and single vehicle accidents,” *West. Road*, pp. 8–9, 1986.
- [69] X. Κυριακίδου, “Φωτισμός δρόμων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13201,” 2016.
- [70] J. Y. Suk and R. Walter, *Street Lighting and Public Safety: New Nighttime Lighting Documentation Method*. 2018.
- [71] Τ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ, “Ο ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΓΑΛΟΥΠΟΛΕΙΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΑΙΣΘΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ,” 2014.
- [72] Χ. ΓΚΑΖΓΚΑ, “Η επίδραση του φυσικού φωτισμού στο σύστημα φωτισμού ημιστεγών,” 2018.
- [73] Δ. Πατούκας, “Ανάπτυξη λογισμικού δυναμικού συστήματος μέτρησης λαμπρότητας οδών και σηράγγων,” 2016.
- [74] A. Mehri *et al.*, “Safety evaluation of lighting at very long tunnels on the basis of visual adaptation,” *Saf. Sci.*, vol. 116, no. March, pp. 196–207, 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2019.03.018.
- [75] Χ. Δημητρης, “Φωτισμος Οδικων Σηραγγων Κατα Cie 88-1990 Με Χρηση Υπολογιστη,” 2003.
- [76] R. Elvik, “Meta-analysis of evaluations of public lighting as accident countermeasure,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 1485, no. 1, pp. 12–24, 1995.
- [77] H. T. Zwahlen and T. Schnell, “Visual Target Detection Models for Civil Twilight and Night Driving Conditions,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 1692, no. 1, pp. 49–65, Jan. 1999, doi: 10.3141/1692-07.
- [78] T. Horberry, J. Anderson, M. A. Regan, T. J. Triggs, and J. Brown, “Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 38, no. 1, pp. 185–191,

- 2006, doi: 10.1016/j.aap.2005.09.007.
- [79] F. H. Mahnke, *Color, environment, and human response: an interdisciplinary understanding of color and its use as a beneficial element in the design of the architectural environment*. John Wiley & Sons, 1996.
- [80] A. J. Bishop, “Spatial abilities and mathematics education—A review,” *Educ. Stud. Math.*, vol. 11, no. 3, pp. 257–269, 1980.
- [81] D. P. Eisenman *et al.*, “PTSD in Latino patients: Illness beliefs, treatment preferences, and implications for care,” *J. Gen. Intern. Med.*, vol. 23, no. 9, p. 1386, 2008.
- [82] R. Arnheim, “Τέχνη και Οπτική Αντίληψη, Η ψυχολογία της Δημιουργικής Όρασης (Γ΄ Έκδοση εκδ.),” *Ιάκωβος Ποταμιάνος, Αθήνα, Θεμέλιο*, 1974.
- [83] M. Q. Khan and S. Lee, “Gaze and eye tracking: Techniques and applications in ADAS,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 24, 2019, doi: 10.3390/s19245540.
- [84] G. Dondi, V. Vignali, C. Lantieri, and G. Manganelli, “Effects of flickering seizures on road drivers and passengers,” *Procedia-social Behav. Sci.*, vol. 53, pp. 711–720, 2012.
- [85] A. Peña-García and T. P. L. Nguyen, “A global perspective for sustainable highway tunnel lighting regulations: Greater road safety with a lower environmental impact,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 12, 2018, doi: 10.3390/ijerph15122658.
- [86] G. Dondi, V. Vignali, C. Lantieri, and G. Manganelli, “Effects of Flickering Seizures on Road Drivers and Passengers,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 53, pp. 711–720, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.921.
- [87] N. J. Miller, “Flicker : How to avoid it , test for it , and fix it,” no. May, 2018.
- [88] J. Theeuwes, J. W. A. M. Alferdinck, and M. Perel, “Relation between glare and driving performance,” *Hum. Factors*, vol. 44, no. 1, pp. 95–107, 2002, doi: 10.1518/0018720024494775.
- [89] Γ.-Φ. Τάντουλος, “ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΦΩΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ,” 2019.
- [90] M. Sivak, M. Flannagan, M. Ensing, and C. J. Simmons, “Discomfort glare is task dependent,” *Int. J. Veh. Des.*, vol. 12, no. 2, pp. 152–159, 1991.
- [91] J. W. A. M. Alferdinck, “Traffic safety aspects of high-intensity discharge headlamps; discomfort glare and direction indicator conspicuity,” *Vis. Veh.*, vol. 5, pp. 337–344, 1996.
- [92] J. Alferdinck and J. Varkevisser, “Discomfort glare from D1 headlamps of different size,” 1991.
- [93] B. Peters and L. Nilsson, “Modelling the driver in control,” in *Modelling driver behaviour in automotive environments*, Springer, 2007, pp. 85–104.
- [94] Y. Cheng, L. Gao, Y. Zhao, and F. Du, “Drivers’ visual characteristics when merging onto or exiting an urban expressway.,” *PLoS ONE*, vol. 11, no. 9. Public

- Library of Science, Zhao, Yanan: zyn@bit.edu.cn, 2016, doi: 10.1371/journal.pone.0162298.
- [95] S. Friedman, “In counter-productive policy creating serious consequences? The case of highway maintenance,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 22, no. 4, pp. 371–394, 2006, doi: 10.1002/sdr.351.
- [96] D. Shinar, *Traffic safety and human behavior*. Emerald Group Publishing, 2017.
- [97] H. Wan, Z. Du, Q. Yan, and X. Chen, “Evaluating the effectiveness of speed reduction markings in highway tunnels,” *Transport*, vol. 33, no. 3, pp. 647–656, 2018, doi: 10.3846/transport.2018.1574.
- [98] R. S. Tay, P. G. Champness, and B. C. Watson, “Personality and Speeding: Some Policy Implications,” *IATSS Res.*, vol. 27, no. 1, pp. 68–74, 2003, [Online]. Available: http://eprints.qut.edu.au/7039/1/7039_1.pdf.
- [99] F. Mannering, “An empirical analysis of driver perceptions of the relationship between speed limits and safety,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 12, no. 2, pp. 99–106, 2009, doi: 10.1016/j.trf.2008.08.004.
- [100] R. Elvik, A. Høye, T. Vaa, and M. Sørensen, *The Contribution of Research to Road Safety Policy-Making*, *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group Publishing Limited, 2009.
- [101] B. Antić, D. Pešić, M. Vujanić, and K. Lipovac, “The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed - Belgrade experience,” *Saf. Sci.*, vol. 57, no. August, pp. 303–312, 2013, doi: 10.1016/j.ssci.2013.03.008.
- [102] A. Yuan, C. Li, and G. Zhang, “GRSP/MOT Speed management pilot project in China,” 2012.
- [103] B. Yu, S. Bao, Y. Chen, and Y. Chen, “Using 3D Mobile Mapping to Evaluate Intersection Design Through Drivers’ Visual Perception,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 19222–19231, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2896217.
- [104] S. Kazemzadehazad, S. Monajjem, G. S. Larue, and M. J. King, “Evaluating new treatments for improving driver performance on combined horizontal and crest vertical curves on two-lane rural roads: A driving simulator study,” *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 62, pp. 727–739, 2019, doi: 10.1016/j.trf.2019.03.002.
- [105] H. Y. and E. S. M., “Effect of Vertical Alignment on Driver Perception of Horizontal Curves,” *J. Transp. Eng.*, vol. 129, no. 4, pp. 399–407, Jul. 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(399).
- [106] C. Chen, X. Zhao, H. Liu, G. Ren, Y. Zhang, and X. Liu, “Assessing the influence of adverse weather on traffic flow characteristics using a driving simulator and VISSIM,” *Sustain.*, vol. 11, no. 3, 2019, doi: 10.3390/su11030830.
- [107] S. Bidulka, T. Sayed, and Y. Hassan, “Influence of Vertical Alignment on Horizontal Curve Perception: Phase I: Examining the Hypothesis,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 1796, no. 1, pp. 12–23, Jan. 2002, doi: 10.3141/1796-02.
- [108] G. Weller, B. Schlag, T. Friedel, and C. Rammin, “Behaviourally relevant road categorisation: A step towards self-explaining rural roads,” *Accid. Anal. Prev.*, vol.

- 40, no. 4, pp. 1581–1588, 2008, doi: 10.1016/j.aap.2008.04.009.
- [109] B. Yu, Y. Chen, and S. Bao, “Quantifying visual road environment to establish a speeding prediction model: An examination using naturalistic driving data,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 129, no. May, pp. 289–298, 2019, doi: 10.1016/j.aap.2019.05.011.
- [110] V. Shankar, F. Mannering, and W. Barfield, “Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 27, no. 3, pp. 371–389, 1995.
- [111] P. Papaioannou, “Driver behaviour, dilemma zone and safety effects at urban signalised intersections in Greece,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 39, no. 1, pp. 147–158, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.06.014>.
- [112] P. L. Olson and R. W. Rothery, “Driver Response to the Amber Phase of Traffic Signals,” *Oper. Res.*, vol. 9, no. 5, pp. 650–663, Oct. 1961, doi: 10.1287/opre.9.5.650.
- [113] Z. Li and H. Wei, “Modeling Dynamics of Dilemma Zones by Formulating Dynamical Contributing Factors with Video-observed Trajectory Data,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 80, pp. 880–900, 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.05.048.
- [114] P. T. Savolainen, A. Sharma, and T. J. Gates, “Driver decision-making in the dilemma zone—Examining the influences of clearance intervals, enforcement cameras and the provision of advance warning through a panel data random parameters probit model,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 96, pp. 351–360, 2016.
- [115] R. Mabuchi and K. Yamada, “Prediction of driver’s stop or go at yellow traffic signal from vehicle behavior,” in *2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2013, pp. 1161–1166.
- [116] H. Rakha, A. Amer, and I. El-Shawarby, “Modeling Driver Behavior Within a Signalized Intersection Approach Decision–Dilemma Zone,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 2069, no. 1, pp. 16–25, 2008.
- [117] Z. Rahman *et al.*, “Evaluation of cell phone induced driver behavior at a type II dilemma zone,” *Cogent Eng.*, vol. 5, no. 1, p. 1436927, 2018.
- [118] H. Rakha, I. El-Shawarby, and J. R. Setti, “Characterizing driver behavior on signalized intersection approaches at the onset of a yellow-phase trigger,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 630–640, 2007.
- [119] C. V Zegeer and R. C. Deen, *Green-extension systems at high-speed intersections*, vol. 496. Citeseer, 1978.
- [120] L. Harms, *Experimental studies of variations in cognitive load and driving speed in traffic and in driving simulation*. Statens väg-och Trafikinstitut., VTI särtryck 148, 1989.
- [121] L. Qin, Z. (Richard) Li, Z. Chen, M. S. Andi Bill, and D. A. Noyce, “Understanding driver distractions in fatal crashes: An exploratory empirical analysis,” *J. Safety Res.*, vol. 69, pp. 23–31, 2019, doi: 10.1016/j.jsr.2019.01.004.
- [122] M. H. Martens and W. van Winsum, “Measuring distraction: the peripheral detection task,” *TNO Hum. Factors, ...*, no. January 2000, pp. 1–7, 2000, [Online]. Available: http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/Human_Factors/driver-

distraction/PDF/34.PDF.

- [123] P. Green, "WHERE DO DRIVERS LOOK WHILE DRIVING (AND FOR HOW LONG)? IN: HUMAN FACTORS IN TRAFFIC SAFETY," *Publ. Lawyers Judges Publ. Company, Inc.*, 2002.
- [124] P. K. Hughes and B. L. Cole, "What attracts attention when driving?," *Ergonomics*, vol. 29, no. 3, pp. 377–391, 1986, doi: 10.1080/00140138608968272.
- [125] M. F. Land and D. N. Lee, "Where we look when we steer," *Nature*, vol. 369, no. 6483, pp. 742–744, 1994, doi: 10.1038/369742a0.
- [126] D. Shinar, E. D. McDowell, N. J. Rackoff, and T. H. Rockwell, "Field dependence and driver visual search behavior," *Hum. Factors*, vol. 20, no. 5, pp. 553–559, 1978.
- [127] D. E. Crundall and G. Underwood, "Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers," *Ergonomics*, vol. 41, no. 4, pp. 448–458, 1998, doi: 10.1080/001401398186937.
- [128] G. Underwood, P. Chapman, N. Brocklehurst, J. Underwood, and D. Crundall, "Visual attention while driving: Sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers," *Ergonomics*, vol. 46, no. 6, pp. 629–646, 2003, doi: 10.1080/0014013031000090116.
- [129] D. Crundall, E. Van Loon, and G. Underwood, "Attraction and distraction of attention with roadside advertisements," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 38, no. 4, pp. 671–677, 2006, doi: 10.1016/j.aap.2005.12.012.
- [130] D. Crundall, G. Underwood, and P. Chapman, "Driving experience and the functional field of view.," *Perception*, vol. 28, no. 9, pp. 1075–1087, 1999, doi: 10.1068/p281075.
- [131] K. Rayner, "Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research," *Psychol. Bull.*, vol. 124, no. 3, pp. 372–422, 1998, doi: 10.1037/0033-2909.124.3.372.
- [132] B. A. Eriksen and C. W. Eriksen, "Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task," *Percept. Psychophys.*, vol. 16, no. 1, pp. 143–149, 1974.
- [133] G. D. Logan, "The CODE theory of visual attention: an integration of space-based and object-based attention," *Psychol. Rev.*, vol. 103, no. 4, pp. 603–649, 1996, doi: 10.1037/0033-295X.103.4.603.
- [134] L. Zhang, B. Cui, M. Yang, F. Guo, and J. Wang, "Effect of using mobile phones on driver's control behavior based on naturalistic driving data," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 8, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3390/ijerph16081464.
- [135] C. Chen, X. Zhao, H. Liu, G. Ren, and X. Liu, "Influence of adverse weather on drivers' perceived risk during car following based on driving simulations," *J. Mod. Transp.*, vol. 27, no. 4, pp. 282–292, 2019, doi: 10.1007/s40534-019-00197-4.
- [136] O. A. Hjelkrem and E. O. Ryeng, "Chosen risk level during car-following in adverse weather conditions," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 95, pp. 227–235, 2016.