



ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ – ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον σχεδιασμό οδών σε υπεραστικό περιβάλλον

Χρήστος-Μάρκος Α. Μαντζάρογλου

Σχολή Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Αναπλ.Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΜΟΥ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ' αρχήν, το πρώτο και μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στο πρόσωπο του καθηγητή μου κ.Κωνσταντίνου Κεπαπτσόγλου, ο οποίος καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας, βρισκόταν πάντα εκεί, έτοιμος να λύσει οποιοδήποτε ζήτημα , οποιαδήποτε απορία , και να βοηθήσει για τη σωστή και απρόσκοπτη ροή των ακαδημαϊκών μου πεπραγμένων. Ένα μεγάλο ευχαριστώ ακόμη, χρωστώ στον επιβλέποντά μου και μέλος του Εργαστηρίου Συγκοινωνιακής Τεχνικής της ΣΑΤΜ-ΜΓ , κ.Λάμπρο Μητρόπουλο, ο οποίος καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας, δεν παρέλειψε στιγμή να με συνδράμει, να με κατευθύνει και να με βοηθήσει να φτάσω στο στόχο μου, που δεν ήταν άλλος από την επιτυχή ολοκλήρωση της συγγραφής του παρόντος.

Εν συνεχεία, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία δεν έλειψε στιγμή από το πλευρό μου, καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας, και με ώθησε με κάθε τρόπο να ξεπεράσω όποια δυσκολία μου παρουσιάστηκε, με σκοπό να επιτύχω τους στόχους μου.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και τις φίλες μου που βρέθηκαν κοντά μου κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού της συγγραφής του κειμένου μου, και που ο καθένας και η καθεμιά με κάθε τρόπο μου έδωσε την απαραίτητη ώθηση για να φτάσω ως το τέλος.

Εν κατακλείδι , το μεγαλύτερο ευχαριστώ, οφείλω να το αποδώσω αφ' ενός στην στην Οικογένεια Ζαφειρούλη, τον κ.Δημήτρη, τον Κωνσταντίνο και τον Νίκο, οι οποίοι στο πρόσωπο ενός παιδιού που ζήτησε να κάνει μαζί τους την πρακτική του άσκηση, είδαν έναν μελλοντικό επιστήμονα και συνεργάτη, και με τη βοήθειά και τη στήριξη τους, και μου άνοιξαν την πόρτα για τον μαγικό κόσμο των Μηχανικών. Αφ' ετέρου, στην, Ι. , η οποία στάθηκε βράχος δίπλα μου σε άσχημες και δύσκολες στιγμές, και που χωρίς τη στήριξη και την αγάπη της, η εργασία αυτή δεν θα είχε φτάσει ποτέ στο τέλος της.

Περιεχόμενα	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
ABSTRACT	10
Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 2^ο : Βιβλιογραφική ανασκόπηση	13
2.1. Αυτόνομα οχήματα	13
2.1.1. Ορισμός	13
2.1.2 Επίπεδα αυτοματισμού αυτόνομων οχημάτων	15
2.1.3 Απαρχές και εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων	17
2.2 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων	20
2.2.1 Επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια	20
2.2.2 Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον	22
2.2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων	27
2.2.4 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στην δημόσια υγεία	29
2.2.5 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον τομέα των logistics	30
2.2.6 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή και στη λειτουργία των κόμβων	31
Κεφάλαιο 3^ο : Βασικά στοιχεία γεωμετρικού σχεδιασμού οδών	35
3.1. Γεωμετρικός Σχεδιασμός οδού – Χάραξη οδού	35
3.1.1 Χάραξη οδού σε Οριζοντιογραφία	35
3.1.2 Χάραξη οδού σε Μηκοτομή	44
3.1.3 Λειτουργική Κατάταξη Οδών	53
3.1.4 Τμήματα Διατομής Οδού (Ορισμοί – Βασικές διαστάσεις)	56
3.2 Τυπικές Διατομές Οδών	58
3.2.1 Πλάτος Νησίδας	59
3.1.3 Πλάτος Επιφάνειας Κυκλοφορίας	63
3.3 Μήκος ορατότητας οδού	71
3.3.1 Μήκος ορατότητας οδού – Μελέτη Μηκοτομής	72
3.3.2 Μήκος ορατότητας – Μελέτη Οριζοντιογραφίας	79
3.3.2.1 Μήκος Ορατότητας για στάση	80
3.3.2.2 Μήκος Ορατότητας για συνάντηση	82
3.3.2.3 Μήκος Ορατότητας για προσπέραση	83
3.3.3. Μήκος ορατότητας για στάση κατά την κίνηση σε καμπύλη	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Αυτόνομα Οχήματα	93
4.1 Εισαγωγή	93
4.2. Αυτόνομα οχήματα για εμπορική χρήση	93
4.3 Χρήση συσκευών LiDAR στα αυτόνομα οχήματα.....	96
4.4. Αλλαγές στα χαρακτηριστικά μεγέθη υπολογισμού χάραξης οδών λόγω LiDAR (αυτόνομων οχημάτων).....	98
4.4.1 Κατά τη μελέτη οριζοντιογραφίας	98
4.4.2 Κατά τη μελέτη μηκοτομής	103
Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα και Αντικείμενα για περαιτέρω έρευνα	113
Κεφάλαιο 6^ο : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 - Το σύνολο των συστημάτων με τα οποία εξοπλίζεται ένα αυτόνομο όχημα (Tyagi & Aswathy, 2021)	14
Εικόνα 2 – Εικόνα από το εσωτερικό της καμπίνας πλοήγησης αυτόνομου λεωφορείου στα Τρίκαλα.....	19
Εικόνα 3 – Αυτόνομο λεωφορείο σε δρόμο των Τρικάλων	19
Εικόνα 4 - Η περίπτωση της αναπόφευκτης σύγκρουσης.....	23
Εικόνα 5 - Αριστερά : κλασική διάταξη χώρου στάθμευσης συμβατικών οχημάτων. Δεξιά : μελλοντική διάταξη χώρου στάθμευσης αυτόνομων οχημάτων (Othman, 2021).....	24
Εικόνα 6 - Πιθανές αλλαγές στην σήμανση για την καλύτερη λειτουργία των συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης των αυτόνομων οχημάτων (Severino, Curto, Barberi, Arena, & Pau, 2021)	26
Εικόνα 7 - Εκτιμώμενη αύξηση της χωρητικότητας σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης αποκλειστικά επιβατηγών οχημάτων (Friedrich, 2016) ...	32
Εικόνα 8 - Παράδειγμα συγκεντρωτικής (αριστερά) και διανεμημένης (δεξιά) διασταύρωσης (Khayatian, και συν., 2020).....	34
Εικόνα 9 – Βασική δυναμική οχήματος (Apostoleris, 2012).....	38
Εικόνα 10 – Επιτρεπόμενες τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εφαπτομενικής και πλευρικής τριβής και ελάχιστων ακτινών οριζοντίων καμπυλών ,	

σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης της οδού, το ανάγλυφο του εδάφους και τις μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες επικλίσεις (Apostoleris, 2012)	40
Εικόνα 11 – Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές της παραμέτρου A κλωθειδούς καμπύλης, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ.....	43
Εικόνα 12 : Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής μισγάγγειας.....	44
Εικόνα 15 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής ράχης.....	45
Εικόνα 14 – Υψομετρική απεικόνιση υφιστάμενης οδού	45
Εικόνα 13 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής πρσανούς	45
Εικόνα 16 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής ρέματος	46
Εικόνα 17 – Χαρακτηριστική απεικόνιση μελέτης μηκοτομής οδού κατά τα πρότυπα της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων , σε επίπεδο οριστικής μελέτης (Απόσπασμα από μελέτη οδικής ασφάλειας οδικού Δικτύου ν.Χίου – Σύνταξη Μελέτης : ZAF Engineering και συνεργάτες).....	47
Εικόνα 18 – Επιτρεπόμενες εφαρμοστέες κλίσεις οδών κατά ΟΜΟΕ-Χ και σύγκριση με ισχύοντες κανονισμούς οδοποιίας άλλων χωρών	49
Εικόνα 19 – Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας και ελάχιστης ακτίνας κυρτής κατακόρυφης καμπύλης	50
Εικόνα 20 – Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας και ακτίνας σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη	51
Εικόνα 21 – Σκαρίφημα ορατότητας για περίπτωση κίνησης σε κοίλη καμπύλη σε συνδυασμό με διέλευση κάτω διάβασης	52
Εικόνα 22 - Πίνακας 2-4 ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ : Λειτουργικά Χαρακτηριστικά και παράμετροι μελέτης οδών.....	53
Εικόνα 23 – Συγκεντρωτικός πίνακας διαστάσεων λωρίδων κυκλοφορίας για κάθε τυπική διατομή οδού (Apostoleris, 2012)	58
Εικόνα 24 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, ΣΧΗΜΑ Π-6 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με στηθαία NJ – εσωτερικές λωρίδες καθοδήγησης διατομών α6νσ, α4νσ, β6νσ , β4νσ & γ4νσ.....	60
Εικόνα 25 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, Σχήμα Π-7 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με μεταλλικό στηθαίο – εσωτερικές λωρίδες καθοδήγησης διατομών α6νσ, α4νσ, β6νσ, β4νσ & γ4νσ	61

Εικόνα 26 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, ΣΧΗΜΑ Π-8 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας διατομών β4ν*σ & γ4ν*	62
Εικόνα 27 : ΟΜΟΕ-ΚΑΟ , Τυπική Διατομή τύπου γ4νΡπ	63
Εικόνα 28 – ΟΜΟΕ - Δ : Τυπικές διατομές οδών κατηγορίας Α – διατομές α6νσ ,α4νσ.....	65
Εικόνα 29 – ΟΜΟΕ – Δ : Τυπικές Διατομές οδών κατηγορίας Β – διατομές β4νσ , β4ν*σ	66
Εικόνα 30 – ΟΜΟΕ – Δ : Τυπική διατομή οδού κατηγορίας Β – διατομές β6νσ...66	
Εικόνα 31 – ΟΜΟΕ – Δ : Τυπική διατομή οδού τύπου γ4νσ.....	67
Εικόνα 32 – ΟΜΟΕ Δ – Τυπική διατομή οδού τύπου γ4ν*.....	67
Εικόνα 33 -ΟΜΟΕ Δ, ΟΜΟΕ ΚΑΟ – Τυπικές Διατομές οδών κατηγορίας Β και Γ 68	
Εικόνα 34 - Σχεδιάγραμμα ορατότητας σε κυρτή κατακόρυφη καμπύλη (Apostoleris, 2012).....	73
Εικόνα 35 - Οδηγός και αντικείμενο ΕΝΤΟΣ καμπύλης (Apostoleris, 2012).....	74
Εικόνα 36 - Οδηγός εκτός καμπύλης – αντικείμενο εντός καμπύλης (Apostoleris, 2012).....	74
Εικόνα 37 - Οδηγός εντός καμπύλης – αντικείμενο εκτός αυτής (Apostoleris, 2012)	75
Εικόνα 38 – Ορατότητα σε κυρτή κατακόρυφη καμπύλη (Apostoleris, 2012).....	76
Εικόνα 39 - Ορατότητα σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη κατά τη διάρκεια της νύχτας (Apostoleris, 2012).....	78
Εικόνα 40 - Μήκος Ορατότητας για στάση (Apostoleris, 2012)	80
Εικόνα 41 - Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας προσπέρασης (Apostoleris, 2012).....	84
Εικόνα 42 - Σχηματικό Διάγραμμα πλήρους διαδικασίας προσπέρασης (με σταθερή ταχύτητα) (Apostoleris, 2012)	85
Εικόνα 43 - Σχηματικό διάγραμμα πλήρους διαδικασίας προσπέρασης με σταθερή επιτάχυνση (Apostoleris, 2012).....	86
Εικόνα 44 - Πίνακας 7-2 , ΟΜΟΕ-Χ, Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών ομάδων Α και Β	88

Εικόνα 45 - Έλεγχος ορατότητας για στάση σε οριζοντιογραφική καμπύλη οδού (Lamm, και συν., 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 4 : Κύριες Αστικές Οδοί (ΟΜΟΕ - ΚΑΟ), 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), 2001).....	88
Εικόνα 46 - Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας σε καμπύλη ($S_h < L$) (Apostoleris, 2012).....	89
Εικόνα 47 – Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας σε καμπύλη $S_h > L$ (Apostoleris, 2012).....	91
Εικόνα 48 - Πίνακας 11-1 , ΟΜΟΕ-Χ , Οριακές τιμές στοιχείων μελέτης οδών....	92
Εικόνα 50 - Αυτόνομο όχημα Jaguar I – Pace του στόλου οχημάτων της εταιρείας WAYMO (WAYMO)	94
Εικόνα 49 - Αυτόνομο όχημα Chrysler Pacifica Minivan – Το πρώτο αυτόνομο όχημα που κυκλοφόρησε μαζικά για εμπορικούς σκοπούς στους δρόμους των ΗΠΑ – Στην οροφή του ξεχωρίζει εμφανώς η συσκευή LiDAR που είναι βασικός πυλώνας επίτευξης της αυτόνομης κίνησής του και η λειτουργία της θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω. (WAYM)	94
Εικόνα 51 - Συσκευή LiDAR τοποθετημένη στην οροφή ενός από τα πρώτα πειραματικά αυτόνομα οχήματα Lexus RX450h της Google	97
Εικόνα 52 - Στιγμιότυπο από την τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου η οποία παράγεται κατά τη λειτουργία μιας συσκευής LiDAR που βρίσκεται τοποθετημένη σε αυτόνομο όχημα.....	97
Εικόνα 53 - (κάτω) τυπική διατομή οδού με τις ισχύουσες διαστάσεις σχεδίασης – (πάνω) ενδεικτική τυπική διατομή οδού βάσει σχεδίασης για κυκλοφορία αμιγώς αυτόνομων οχημάτων (Riggs, Ruhl, Rodier, & Baumgardener, 2019)	99
Εικόνα 55 - Υφιστάμενες διαστάσεις τυπικής διατομής δ-2	100
Εικόνα 54 - Διαστασιολόγηση τυπικής διατομής δ2 για κυκλοφορία αμιγώς αυτόνομων οχημάτων	100
Εικόνα 56 - Τμήμα μελέτης οριζοντιογραφίας οδού σε ψηφιακό περιβάλλον του AutoCAD - Civil3D	102

Εικόνα 57 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κοίλης καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για όχημα οδηγούμενο από άνθρωπο	107
Εικόνα 58 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κοίλης καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για αυτόνομο όχημα.....	108
Εικόνα 59 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κυρτής καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για όχημα οδηγούμενο από άνθρωπο	109
Εικόνα 60 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κυρτής καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για αυτόνομο όχημα.....	110

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 – Τυπικές διατομές οδών ανά κατηγορία οδών	59
Πίνακας 2 – Πίνακας υπολογισμών μεγεθών d και μ κατά ΟΜΟΕ-Χ.....	82
Πίνακας 3 – Πίνακας απαιτούμενων μηκών ορατότητας για προσπέραση (S_u) σε οδούς ομάδων κατηγορίας Α και Β	87
Πίνακας 4 – Πίνακας χωματισμών για οδό σχεδιασμένη βάσει προδιαγραφών ΟΜΟΕ-Χ	111
Πίνακας 5 – Πίνακας χωματισμών για οδό σχεδιασμένη βάσει μεγεθών για αυτόνομα οχήματα	111
Πίνακας 6 - Συγκεντρωτικός πίνακας αλλαγών υπολογισμών για σχεδίαση βάσει συμβατικού και βάσει αυτόνομου οχήματος	112

ABSTRACT

Nowadays, most of the studies conducted on self-driving vehicles are, in their overwhelming majority, associated with issues related to the fields of Electrical and Computer Engineering, as they mainly concern matters of machine learning models maximization, artificial intelligence, etc.

Undoubtedly, these are the fields of engineering which have allowed people to create vehicles that are able to perform their work and their functions, without the physical presence of a driver. In sharp contrast, there have so far been few studies or scientific papers raising the issue of geometric designing of roads, how this could be associated with the circulation of self-driving vehicles too, as well as how it could be improved or adapted to the new designing needs that the development of self-driving vehicles entails. The purpose of this study is to examine how the large scale use of self-driving vehicles could possibly influence the methodology that is currently being applied on geometric roadway designing.

The outcome of this study will be based on the available data concerning the current geometric designing of roads in Greece, as they are shown in the Road Design Guidelines Manual, as well as on information regarding those components of the autonomous vehicles currently on the market, which could in their turn possibly alter the way roads have been designed until now. The relevant data, which will be drawn from both Greek and international academic literature related to this issue, will be quantified after studying the above-mentioned details and information, by using the digital design software Civil 3D of Autodesk, which is appropriate for road construction studies.

As it is expected, the study and the contrastive analysis of these details has led us to the secure conclusion that self-driving vehicles will have a positive impact on the way we are studying the geometric designing of a road, yet more extensive and thorough research on this matter needs to be done, so as these positive results to be corroborated and subsequently integrated into the new guidelines for road designing projects, which will exclusively involve roads for autonomous vehicles.

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνών που αφορά τα αυτόνομα οχήματα, ασχολείται ως επί το πλείστο με ζητήματα τα οποία άπτονται της ειδικότητας Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, καθώς αφορούν κυρίως ζητήματα βελτιστοποίησης μοντέλων μηχανικής μάθησης, τεχνητής νοημοσύνης κλπ. Αδιαμφισβήτητα, το κομμάτι της επιστήμης αυτό, είναι που έχει επιτρέψει στον άνθρωπο να δημιουργήσει οχήματα τα οποία είναι σε θέση να επιτελέσουν τον σκοπό και το έργο τους χωρίς την φυσική του παρουσία στη θέση του οδηγού. Στον αντίποδα, ελάχιστες είναι οι αναφορές εργασιών, επιστημονικών δημοσιεύσεων, που να θίγουν το θέμα του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, και πως αυτός σχετίζεται με την κυκλοφορία των αυτόνομων οχημάτων, πως αυτός θα βελτιωθεί και πως θα προσαρμοσθεί στις νέες σχεδιαστικές ανάγκες που τα αυτόνομα οχήματα θα εισάγουν στην εξίσωση. Σκοπός της παρούσας εργασίας τίθεται το να προβλέψουμε τον τρόπο κατά τον οποίο η χρήση πλήρως αυτόνομων οχημάτων σε ευρεία κλίμακα, δύναται να επηρεάσει την μέχρι σήμερα ισχύουσα μεθοδολογία που ακολουθείται κατά τον γεωμετρικό οδικό σχεδιασμό.

Η πρόβλεψη αυτή θα γίνει βασιζόμενη στα υπάρχοντα στοιχεία γεωμετρικού σχεδιασμού οδών που αφορούν την Ελλάδα, και αποτυπώνονται μέσω των ΟΜΟΕ-Χ, αλλά και των κατασκευαστικών στοιχείων εκείνων που αφορούν τα αυτόνομα οχήματα που κυκλοφορούν στην αγορά, και που με τη σειρά τους θα επηρεάσουν τον τρόπο σχεδιασμού των οδών, όπως αυτός μας ήταν μέχρι και σήμερα γνωστός. Στοιχεία θα αντληθούν αφενός από την διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία που αφορά το αντικείμενο, αλλά και θα ποσοτικοποιηθούν ύστερα από την μελέτη των παραπάνω, με τη χρήση του λογισμικού ψηφιακής σχεδίασης Civil 3D της Autodesk, λογισμικό το οποίο προσφέρεται για μελέτες οδοποιίας.

Όπως είναι αναμενόμενο, η μελέτη και η σύγκριση των παραπάνω μας οδηγεί ασφαλώς στο συμπέρασμα πως τα αυτόνομα οχήματα θα έχουν θετική επίδραση στον τρόπο με τον οποίο μελετάμε γεωμετρικά τη χάραξη της οδού, αλλά και στο γεγονός πως χρειάζεται ακόμη πολλή και εκτεταμένη μελέτη επί του αντικειμένου, προκειμένου τα συμπεράσματα αυτά να επιβεβαιωθούν και εν τέλει

να ενσωματωθούν μελλοντικά στις νέες οδηγίες σχεδίασης οδικών έργων που θα αφορούν αποκλειστικά δρόμους για κίνηση αυτόνομων οχημάτων.

Κεφάλαιο 2^ο : Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Στο παρόν κεφάλαιο της εργασίας , στόχος μας είναι να γίνει μια πλήρης παρουσίαση των χαρακτηριστικών και των επιπτώσεων των αυτόνομων οχημάτων των ανθρωπογενών και μη δραστηριοτήτων που μπορεί αυτά να επηρεάζουν, βασιζόμενοι σε υπάρχουσες έρευνες και μελέτες.

2.1. Αυτόνομα οχήματα

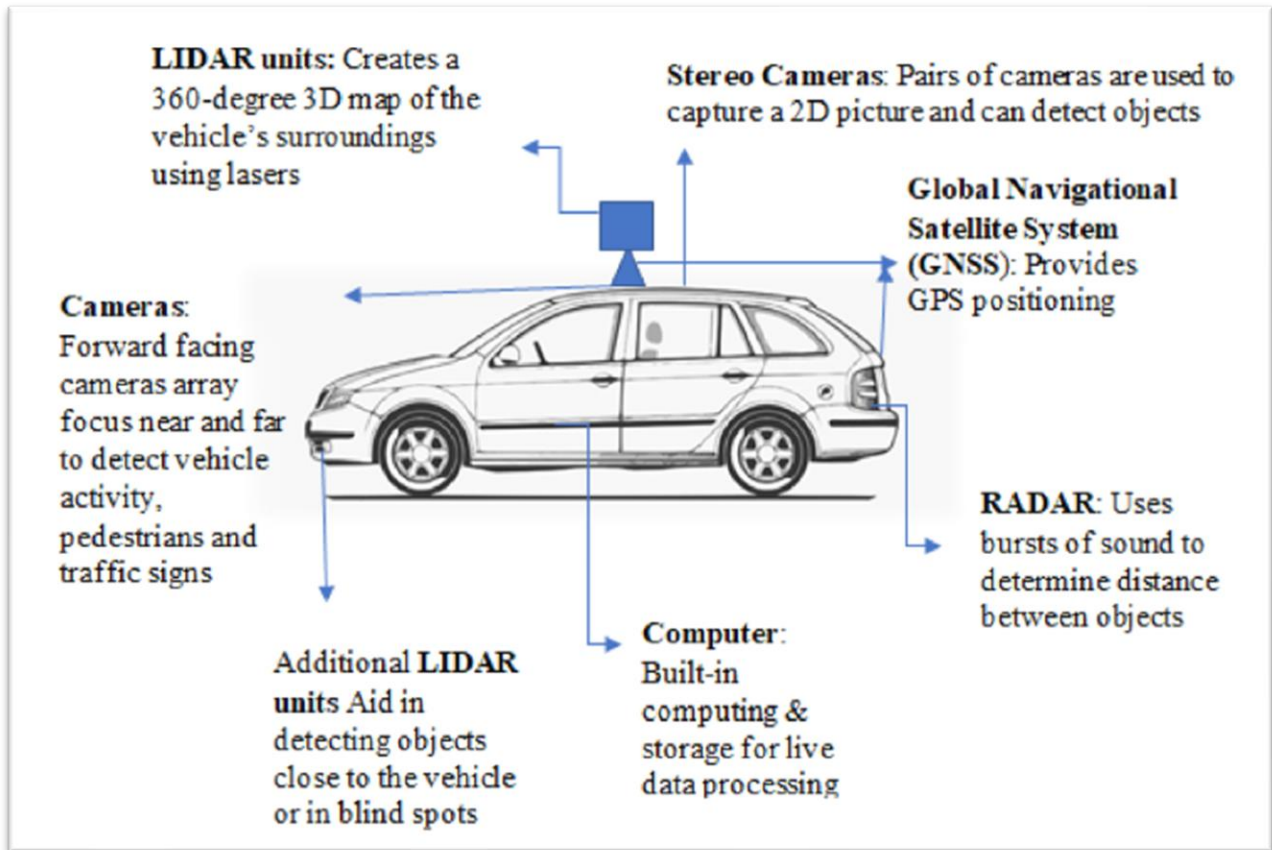
2.1.1. Ορισμός

Πλήρως αυτόνομο όχημα, θεωρείται ένα ΙΧ αυτοκίνητο ή ένα άλλο οποιοδήποτε όχημα ανεξαρτήτως μεγέθους, το οποίο με τη χρήση αισθητήρων, οργάνων και ηλεκτρονικών προγραμμάτων εγκατεστημένων σε αυτό, δύναται να λαμβάνει και να επεξεργάζεται πληροφορίες από το εξωτερικό περιβάλλον του σε πραγματικό χρόνο, και εν τέλει να επιτελεί αυτόματα όλες τις οδηγικές διαδικασίες, τις οποίες σε άλλη περίπτωση θα καλούνταν να επιτελέσει ένας οδηγός με φυσική παρουσία. (Rajasekhar & Jaswal, 2015)

Για να θεωρήσουμε ένα όχημα αυτόνομο, αυτό πρέπει πρώτα να είναι ικανό να φέρει εις πέρας τις παρακάτω βασικές διαδικασίες:

- i) Πλήρης αντίληψη του περιβάλλοντος χώρου: Το να αντιλαμβάνεται άμεσα το περιβάλλον μέσα στο οποίο κινείται, αποτελεί πρωταρχική και βασική προϋπόθεση για τη λειτουργία ενός αυτόνομου οχήματος. Η διαδικασία αυτής της αντίληψης του περιβάλλοντος χώρου, γίνεται με τη χρήση προηγμένων ηλεκτρονικών συσκευών που

συγκαταλέγονται στον βασικό εξοπλισμό ενός αυτόματου οχήματος, όπως συσκευές LiDAR¹, RADAR, GPS² κ.α.



Εικόνα 1 - Το σύνολο των συστημάτων με τα οποία εξοπλίζεται ένα αυτόνομο όχημα (Tyagi & Aswathy, 2021)

- ii) Προγραμματισμό κίνησης: Ο προγραμματισμός κίνησης, περιλαμβάνει μια σειρά από μεμονωμένες ενέργειες, οι οποίες αθροιστικά έχουν ως στόχο την απρόσκοπτη και πλήρως αυτόνομη κίνηση του οχήματος, εντός των πλαισίων του δυναμικού περιβάλλοντος μέσα στο οποίο κινείται. Οι δύο βασικές από τις

¹ LiDAR : Με τα αρχικά του να σημαίνουν *Light Detection And Ranging*, πρόκειται για μια συσκευή που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην βιομηχανία των αυτόνομων οχημάτων. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην εκπομπή ακτινοβολίας λέιζερ με παλμό, και την καταγραφή αυτής της ακτινοβολίας κατά την επιστροφή της στη συσκευή. Με την καταγραφή, το σύστημα δημιουργεί μια τρισδιάστατη απεικόνιση του περιβάλλοντα χώρου γύρω από το όχημα.

² GPS : Το *Global Positioning System (GPS)* ή αλλιώς *Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης*, είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης ακίνητου ή κινούμενου χρήστη, το οποίο βασίζεται στη λειτουργία ενός «πλέγματος» δορυφόρων εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται πομποδέκτες GPS.

προαναφερθείσες ενέργειες, είναι η πλοήγηση του οχήματος (steering), καθώς και η διαρκής προσαρμογή της ταχύτητας κίνησής του.

- iii) Αυτόματη πλοήγηση (Navigation): Η πλοήγηση αποτελεί βασικό ζητούμενο για κάθε είδους όχημα. Η επιτυχημένη πλοήγηση ενός αυτόνομου οχήματος είναι ύψιστης σημασίας, δεδομένης της απουσίας του ανθρώπινου παράγοντα από την διαδικασία της οδήγησης, καθώς αυτός υπό προϋποθέσεις μπορεί να υποκαταστήσει τη λειτουργία των συσκευών εντοπισμού και πλοήγησης GPS.
- iv) Επιτυχημένη οδηγική συμπεριφορά: Πρόκειται για την βασικότερη και ουσιαστικότερη διαδικασία, που καθιστά ένα όχημα πλήρως αυτόνομο. Αποτελεί συνδυασμό των προαναφερθέντων διαδικασιών της αντίληψης του περιβάλλοντα χώρου, του προγραμματισμού της κίνησης του οχήματος και της πλοήγησης. Με την επίτευξη των προηγούμενων, το όχημα βρίσκεται πλέον σε κατάσταση στην οποία πρέπει να δράσει αυτόνομα. Η δράση αυτή περιλαμβάνει βασικές διαδικασίες, όπως:
 - α) «ανίχνευση» λωρίδας – lane detection
 - β) προσπέραση.

Οι παραπάνω διαδικασίες επιτυγχάνονται με τη χρήση σύνθετων υπολογιστικών διαδικασιών, οι οποίες επιτελούνται με τη χρήση διαφόρων μοντέλων και αλγορίθμων, με ιδιαίτερες λεπτομέρειες, στις οποίες λόγω αντικειμένου δεν έχουμε τη δυνατότητα να εντρυφήσουμε.

2.1.2 Επίπεδα αυτοματισμού αυτόνομων οχημάτων

Έχοντας προαναφέρει αρκετές συσκευές με τις οποίες είναι εξοπλισμένα μέχρι στιγμής οχήματα που θεωρούνται αυτόνομα, αλλά και λόγω του ότι τις τελευταίες δεκαετίες, σειρά από τεχνολογικά βοηθήματα και αυτοματισμούς έχουν προστεθεί στα ΙΧ οχήματα ευρείας χρήσης, γεγονός που τα καθιστά εν μέρει «αυτόνομα», έχει προταθεί και δημιουργηθεί μια κατηγοριοποίηση όλων των

οχημάτων σε έξι (6) επίπεδα αυτοματισμού, από την αμερικανική Society of Automotive Engineers και την γερμανική German Association of Automotive Industry, που κατατάσσει τα επίπεδα αυτοματισμού ως εξής:

Επίπεδο 0 – Πλήρης απουσία αυτοματισμών: Πρόκειται για συνηθισμένα συμβατικά οχήματα, των οποίων τον πλήρη έλεγχο έχει ο οδηγός τους.

Επίπεδο 1 – Οδηγική υποβοήθηση: Οχήματα που ανήκουν σε αυτό το επίπεδο, διαθέτουν κάποιου τύπου αυτοματισμό, όπως αυτόματο σύστημα πέδησης σε περίπτωση εντοπισμού εμποδίου.

Επίπεδο 2 – Μερικώς αυτόματη οδήγηση: Οχήματα αυτής της κατηγορίας μπορούν να εκτελέσουν αυτόματα λειτουργίες όπως της πέδησης ή της επιτάχυνσης, ωστόσο κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη οδηγού ο οποίος ανά πάσα στιγμή πρέπει να ελέγχει τις ενδείξεις των αυτόματων συστημάτων και να επανακτά τον έλεγχο του οχήματος όποτε αυτό χρειαστεί.

Σε αυτή την κατηγορία οχημάτων, ανήκουν όλα τα οχήματα της εταιρίας Tesla, η οποία αποτελεί την κραταιά δύναμη τα τελευταία χρόνια στον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, σε συνδυασμό με την κατασκευή αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Επίπεδο 3 – Υπό συνθήκες αυτόματη οδήγηση: Σε αυτό το επίπεδο αυτόματης οδήγησης, ο οδηγός δεν χρειάζεται να επιβλέπει διαρκώς το σύστημα, καθώς μεγάλο μέρος των λειτουργιών γίνεται αυτόματα. Σε περίπτωση που χρειαστεί να επανακτήσει τον έλεγχο του οχήματος, το σύστημα του το επιτρέπει μετά από την πάροδο ενός μικρού χρονικού διαστήματος (της τάξεως των 10 δευτερολέπτων).

Επίπεδο 4 – Υψηλό επίπεδο αυτόματης οδήγησης: Το όχημα μπορεί να εκτελεί όλες τις απαιτούμενες λειτουργίες αυτόματα, χωρίς να είναι απαραίτητη η παρέμβαση οδηγού, εκτός κι αν αυτό απαιτείται λόγω ειδικών συνθηκών, π.χ. λόγω έντονων καιρικών φαινομένων.

Επίπεδο 5 – Πλήρως αυτόματη οδήγηση: Σε ιδεατή κατάσταση, πρόκειται για όχημα το οποίο μπορεί να εκτελέσει αυτόματα όλο το εύρος των λειτουργιών του υπό κάθε συνθήκη, χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπινου

παράγοντα. Στη γερμανική βιβλιογραφία, οχήματα τέτοιου τύπου αναφέρονται ως οχήματα «χωρίς οδηγό».

Για να επιτευχθούν τα επίπεδα αυτοματισμού από 3 έως 5, τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με επιπλέον ειδικά συστήματα ADS (Automated Driving Systems) , μέσω των οποίων, επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ οχημάτων (V2V – Vehicle to Vehicle), με σκοπό την ασφαλή συνύπαρξή τους στην κυκλοφορία, αλλά ταυτόχρονα επικοινωνούν και με ειδικούς πομπούς που βρίσκονται παράπλευρα των οδικών αξόνων (V2I – Vehicle to Infrastructure), από τους οποίους ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο για διάφορες μη ανθρωπογενείς παραμέτρους, όπως κάποια αλλαγή στο όριο ταχύτητας της οδού, ή την ύπαρξη μιας διάβασης πεζών. Η ύπαρξη όλων των παραπάνω, μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως ένα «έξυπνο» περιβάλλον οδήγησης (Smart Road Environment – SRE). (Autonomous Vehicles, 2021)

2.1.3 Απαρχές και εξέλιξη των αυτόνομων οχημάτων

Παρακολουθώντας τις διεθνείς εξελίξεις και τάσεις στην αυτοκίνηση, είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς πως, η αυτόνομη οδήγηση αποτελεί τον βασικό τομέα τον οποίο εξελίσσουν διαρκώς, και επί του οποίου καινοτομούν, όλες οι κρατικές αυτοκινητοβιομηχανίες που κυριαρχούν στην παγκόσμια αγορά.

Εξαιρουμένων κάποιων μεμονωμένων προσπαθειών για την κατασκευή προτύπων αυτόνομων οχημάτων κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, το σύνολο της έρευνας και της εξέλιξης επί του συγκεκριμένου τομέα εντοπίζεται ως επί το πλείστο στην δεύτερη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, αλλά και στην τρέχουσα περίοδο, καθώς πρόκειται για έναν διαρκώς εξελισσόμενο τεχνολογικό κλάδο.

Παρά το διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον σχετικά με τον τομέα της αυτόνομης οδήγησης, σήμερα, δεν συναντά κανείς ευρεία χρήση αυτόνομων οχημάτων (κοινής ωφέλειας ή ΙΧ) , όχι μόνο στην Ελλάδα, αλλά και σε ορισμένες από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά χώρες της Ευρώπης, ή ακόμα και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής . Λόγω του ότι ελάχιστες είναι οι χώρες οι οποίες έχουν εκδώσει άδειες για δοκιμές αυτόνομων οχημάτων σε δημόσιους δρόμους, η

χρήση αυτών περιορίζεται εντός προστατευμένου οδικού περιβάλλοντος, όπως πάρκα, πανεπιστημιούπολεις ή αεροδρόμια, όπου ήδη έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες για την εξυπηρέτηση των αναγκών μεταφοράς.

Η πρώτη προσπάθεια μαζικής παραγωγής οχημάτων υψηλού επιπέδου οδηγικού αυτοματισμού έχει γίνει από την εταιρεία Tesla, της οποίας όμως, όπως προαναφέρθηκε, τα οχήματα μέχρι στιγμής ανήκουν στο δεύτερο από τα έξι επίπεδα που έχουν καθοριστεί διεθνώς, με το έκτο να είναι αυτό στο οποίο ανήκει ένα πλήρως αυτόνομο όχημα. Μια εταιρεία μεγάλου βεληνεκούς που έχει επενδύσει πόρους στην ανάπτυξη, όχι απλώς ενός αυτόνομου οχήματος, αλλά ενός στόλου από αυτόνομα οχήματα, είναι η Google, μέσω της θυγατρικής της εταιρείας Alphabet. Εν αντιθέσει με την Tesla, η Google έθεσε ως στόχο τη δημιουργία ενός οχήματος του οποίου η μορφή διαφέρει από τα συνηθισμένα ΙΧ αυτοκίνητα, με βασική καινοτομία την έλλειψη τιμονιού. Παρά την αδιαμφισβήτητη καινοτομία της, η εταιρεία επέλεξε εν τέλει να συνεργαστεί με τις υπάρχουσες αυτοκινητοβιομηχανίες για την δημιουργία αυτόνομων συστημάτων οδήγησης, καθώς από υψηλόβαθμα στελέχη θεωρήθηκε πως η εταιρεία οφείλει να επικεντρωθεί στο κομμάτι της τεχνολογικής έρευνας (Carson, 2016)

2.1.3.1 Αυτόνομα οχήματα και ελληνική πραγματικότητα

Αναφορικά με την εγχώρια πραγματικότητα, χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της πόλης των Τρικάλων, όπου ήδη εδώ και επτά χρόνια, αρχικά πιλοτικά, και έπειτα πλήρως λειτουργικά, κυκλοφορούν στους δρόμους της πόλης ηλεκτρικά, αυτόνομα λεωφορεία, εξυπηρετώντας τις ανάγκες των δημόσιων συγκοινωνιών της πόλης. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από πόρους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο οποίο συμμετείχαν τέσσερις πόλεις στην Ευρώπη, το Μιλάνο στην Ιταλία, η Λεόν στην Ισπανία, η Λα Ροσέλ στη Γαλλία και η Βαάντα στην Φινλανδία. Η βασική διαφορά που εντοπίζεται στη λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων στις πόλεις αυτές σε σχέση με την Ελλάδα, είναι πως εκεί, τα αυτόνομα λεωφορεία κινούνταν σε πολύ πιο προστατευμένο και ελεγχόμενο περιβάλλον, σε αντίθεση με τα Τρίκαλα, που αναμειγνύονταν στην υπάρχουσα

κυκλοφοριακή ροή. Τα τέσσερα λεωφορεία που συμμετείχαν στο πρόγραμμα για διάστημα έξι μηνών, κάλυψαν συνολικά 3.580 χιλιόμετρα, μεταφέροντας 12.138 επιβάτες (Kassimi, 2016).



Εικόνα 2 – Εικόνα από το εσωτερικό της καμπίνας πλοήγησης αυτόνομου λεωφορείου στα Τρίκαλα



Εικόνα 3 – Αυτόνομο λεωφορείο σε δρόμο των Τρικάλων

2.2 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων

Η αυτόνομη οδήγηση αποτελεί κατ' αρχήν μια άνευ προηγουμένου καινοτομία, καθώς έρχεται να ανατρέψει όσα ίσχυαν μέχρι στιγμής για την οδήγηση που γνωρίζαμε μέχρι πρότινος. Η κυριαρχία των αυτόνομων οχημάτων, σε ένα περιβάλλον (π.χ. αστικό), στο οποίο μέχρι πρότινος κινούνταν αποκλειστικά και μόνο οχήματα με οδηγό, μπορεί να επιφέρει αρκετές αλλαγές σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, όπως στην οδική ασφάλεια, στις χρήσεις γης, στη δημόσια υγεία, στον οδικό σχεδιασμό κ.α.. Οι κυριότεροι τομείς επιπτώσεων είναι:

1. Οδική ασφάλεια
2. Αστικό περιβάλλον
3. Περιβάλλον
4. Δημόσια υγεία
5. Μεταφορές και logistics
6. Κυκλοφοριακή ροή – Λειτουργία κόμβων.

2.2.1 Επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια

Βασιζόμενοι σε στοιχεία του Π.Ο.Υ., εκτιμάται πως, το 2016, οι ημερήσιοι θάνατοι που σχετίζονταν με τροχαία ατυχήματα, ανέρχονταν σε 3400. Συνολικά, υπολογίζεται πως, το 94% όλων των τροχαίων ατυχημάτων που λαμβάνουν χώρα ανά τον κόσμο, οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα (Severino, Curto, Barberi, Arena, & Pau, 2021).

Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.1, τα αυτόνομα οχήματα που ανήκουν στα επίπεδα αυτοματισμού 3 και 4, θα είναι σε θέση σε μελλοντικό χρόνο, να υποκαταστήσουν τον άνθρωπο στην διαδικασία της οδήγησης. Αυτή είναι μια κατάσταση που μπορεί να συμβάλλει αδιαμφισβήτητα στον τομέα της οδικής ασφάλειας, καθώς είναι κοινώς αποδεκτό, πως, τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης, υπερτερούν του ανθρώπου σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Λάθη που αφορούν την αντιληπτική ικανότητα και την όραση: Τα αυτόνομα οχήματα έχουν ανά πάσα στιγμή, με τη βοήθεια των συστημάτων που διαθέτουν (LiDAR, RADAR, κάμερες) , πλήρη εικόνα του περιβάλλοντος του χώρου γύρω από το όχημα, σε

αντίθεση με τον συνηθισμένο οδηγό του οποίου η όραση περιλαμβάνει τυφλές γωνίες και νεκρά σημεία. Ακόμα, τα αυτόνομα οχήματα έχουν τη δυνατότητα της επικοινωνίας με άλλα αυτόνομα οχήματα (V2V – Vehicle to Vehicle) , και έτσι «γνωρίζουν» ανά πάσα στιγμή τις προθέσεις και τις αντιδράσεις των υπολοίπων οχημάτων στο δρόμο, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τους ανθρώπους, καθώς αρκετές από τις οδηγικές τους αντιδράσεις είναι ενστικτώδεις και εκτός κανονισμών Κ.Ο.Κ.

2. Χρόνοι αντίδρασης: Τα αυτόνομα οχήματα είναι σε θέση λόγω των τεχνολογιών που ενσωματώνουν, να μειώσουν εξαιρετικά τους μέχρι σήμερα γνωστούς χρόνους σκέψης, αντίδρασης και λήψης απόφασης ενός οδηγού. Ως εκ τούτου, μπορούν να συνεισφέρουν στην «χαλάρωση» των μέτρων ασφαλείας που λαμβάνονται υπ' όψη τόσο για τον σχεδιασμό των δρόμων, όσο και για την ασφαλή κυκλοφορία σε αυτούς.
3. Ανθρωπογενή λάθη: Είναι εύκολα αντιληπτό, πως, τα αυτόματα οχήματα είναι σε θέση να εξαφανίσουν αρκετές από τις πιο συνήθεις αιτίες που οδηγούν σε ατυχήματα ή δυστυχήματα, όπως την κούραση, την διάσπαση της προσοχής ή ακόμα και την οδήγηση υπό την επήρεια αλκοόλ.

Στον αντίποδα των προηγούμενων, υπάρχουν ανησυχίες για την εμφάνιση νέων ειδών οδικών ατυχημάτων, αναφορικά με τα αυτόνομα οχήματα, τα οποία θα έγκεινται ως επί το πλείστο στην ιδιαίτερη αρχή λειτουργίας τους, το αυτόνομο δηλαδή λειτουργικό τους σύστημα. Όπως αναφέρουν οι (Bila, Sivrikaya, Khan, & Albayrak, 2017) (Sohrabi, 2020), υπάρχουν αρκετά σοβαρές πιθανότητες πρόκλησης ατυχημάτων από αυτόνομα οχήματα, λόγω ύπαρξης σε αυτά ελαττωματικών αισθητήρων ανίχνευσης αντικειμένων (πεζών, οχημάτων, εμποδίων κλπ.), οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν το λειτουργικό σύστημα των οχημάτων στη λήψη λανθασμένων οδηγικών αποφάσεων, και εν τέλει να οδηγήσουν σε ατύχημα ή και δυστύχημα. Ακόμα, γίνεται εκτενής αναφορά και για ατυχήματα τα οποία ενδέχεται να προκύψουν από κυβερνοεπιθέσεις (cyber-

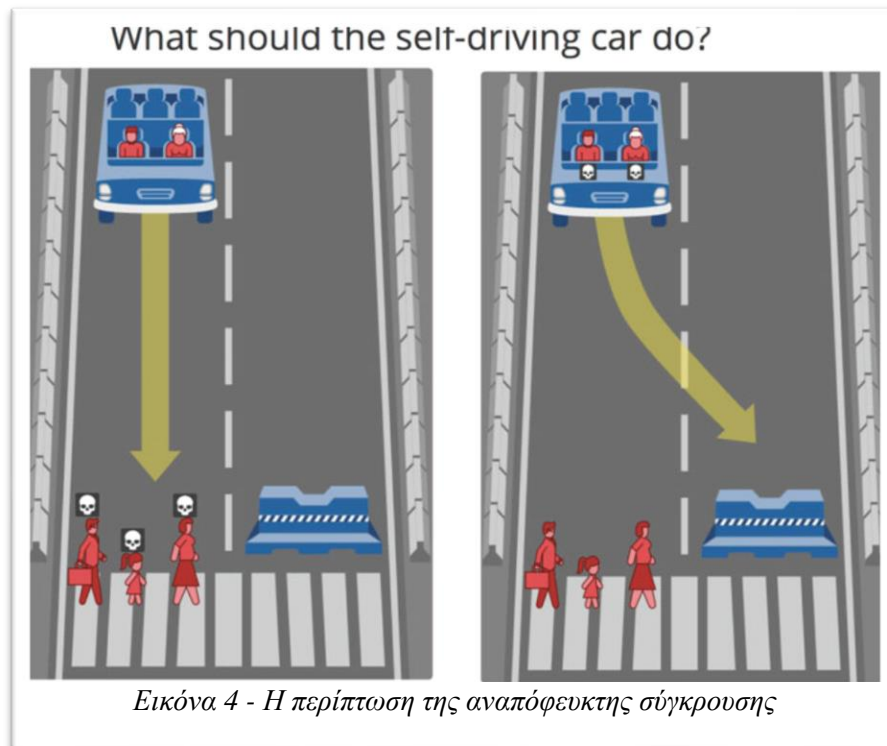
attacks) στους στόλους των αυτόνομων οχημάτων (Taeihagh & Lim, 2019) , καθώς δεν είναι μικρές οι πιθανότητες να υπάρξουν επιθέσεις από hackers, οι οποίοι μέσω των συστημάτων Bluetooth και WiFi που διαθέτουν τα αυτόνομα οχήματα, να προσπαθήσουν να πάρουν τον έλεγχο των αυτόνομων οχημάτων και να επέμβουν έτσι στις βασικές λειτουργίες τους, κάτι το οποίο δεν αποκλείεται να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα. Τέλος, έρευνες αναφέρουν την περίπτωση των αναπόφευκτων συγκρούσεων, στις οποίες δίνεται και ηθική διάσταση πέραν της καθαρά οδηγικής. Αφενός υπάρχει η άποψη πως τέτοιου είδους ατυχήματα είναι εξαιρετικά σπάνιο να συμβούν και ως εκ τούτου δεν θα πρέπει να αποτελούν πηγή έντονης ανησυχίας, αφετέρου όμως δεν είναι λίγες οι φωνές οι οποίες υποστηρίζουν πως η ύπαρξη τέτοιου είδους ατυχημάτων μπορεί να εγείρει σοβαρά ηθικά ερωτήματα, καθώς ένα όχημα ήδη από τη διαδικασία της κατασκευής του, θα είναι προγραμματισμένο να επιλέγει «στόχους» σε περίπτωση αναπόφευκτης σύγκρουσης (Autonomous Vehicles, 2021), δίνοντας έτσι διαφορετική βαρύτητα σε κάθε άνθρωπο (βάση φύλου, ηλικίας κλπ.), κάτι το οποίο λ.χ. απαγορεύεται ρητά από τον Γερμανικό κώδικα ηθικής για την αυτόνομη οδήγηση (Luetge, 2017) .

2.2.2 Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον

2.2.2.1 Επιπτώσεις στους χώρους στάθμευσης

Από τις αρχές του περασμένου αιώνα, και από την εποχή της εγκαθίδρυσης της αυτοκίνησης ως βασικό ιδιωτικό μέσο μετακίνησης, η αναζήτηση για εύρεση χώρου στάθμευσης των Ι.Χ. οχημάτων αποτελούσε βασικό ζητούμενο. Λαμβάνοντας υπ' όψη πως κατά μέσο όρο, ένα όχημα παραμένει σταθμευμένο – αδρανές σχεδόν στο 96% της διάρκειας ζωής του, αλλά και πως σε αρκετές περιπτώσεις, οι υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης σε μεγάλες μητροπόλεις, καλύπτουν σχεδόν το 80% της έκτασης του οικονομικού κέντρου της,

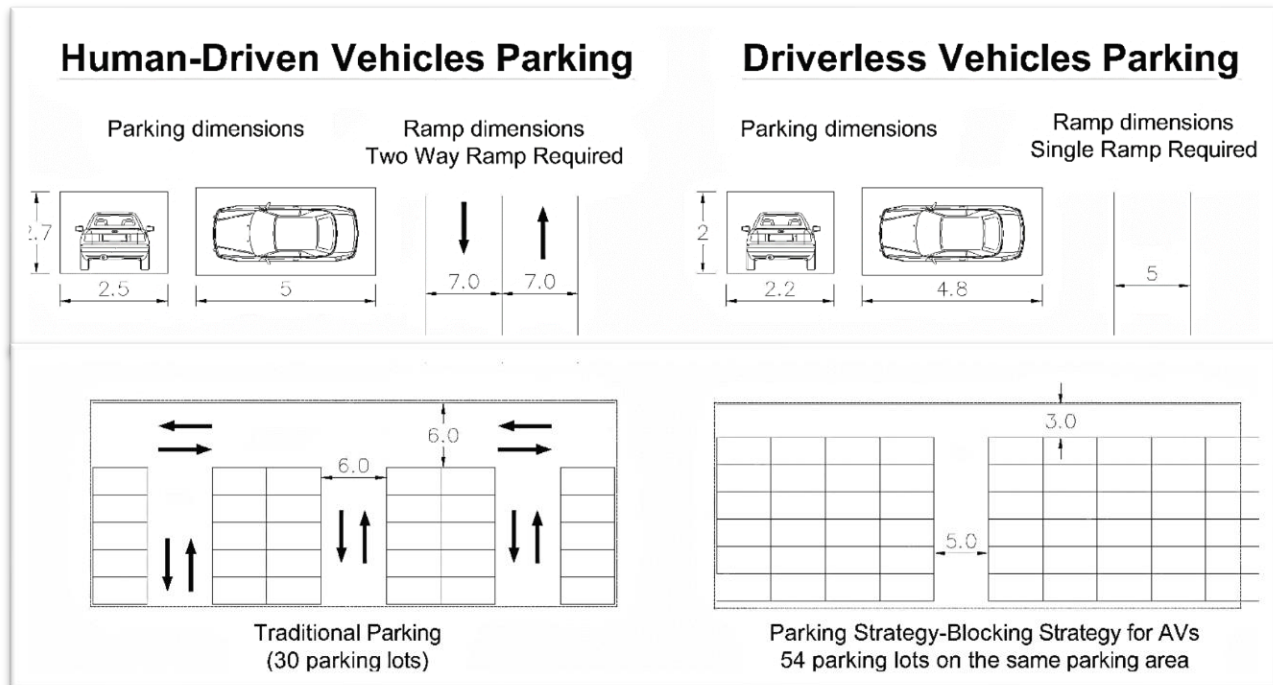
Λύση στο υπάρχον πρόβλημα έρχεται να δώσει η καθιέρωση της χρήσης των αυτόνομων οχημάτων ως μέσα μετακίνησης, και κυρίως η χρήση τους από περισσότερους του ενός επιβάτες, βασιζόμενοι στο concept των shared autonomous vehicles («διαμοιρασμένα» αυτόνομα οχήματα). Όπως αναφέρει ο (Othman, 2021), η χρήση των αυτόνομων οχημάτων πρόκειται αποδεδειγμένα να



Εικόνα 4 - Η περίπτωση της αναπόφευκτης σύγκρουσης

μειώσει σημαντικά τον απαιτούμενο αριθμό θέσεων στάθμευσης, καθώς τα αυτόνομα οχήματα θα βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, επί της ουσίας λειτουργώντας περισσότερο σαν μέσα μαζικής μεταφοράς, δίχως την ύπαρξη διαρκούς ανάγκης στάθμευσης για από-επιβίβαση ατόμων. Επιπρόσθετα, ο ειδικός σχεδιασμός των αυτόνομων οχημάτων, τα οποία διαφέρουν ουσιαστικά από την συνηθισμένη εικόνα που έχουμε για ένα κοινό όχημα, θα βοηθήσουν και στην δημιουργία χώρων στάθμευσης με ικανότητα εξυπηρέτησης πολύ περισσότερων οχημάτων (αναλογία: 2.5 αυτόνομα οχήματα για 1 συμβατικό), καθώς κατά την στάθμευσή τους, τα αυτόνομα οχήματα δεν έχουν ανάγκη ύπαρξης χώρου για άνοιγμα πλαϊνών θυρών (Duarte & Ratti, 2018). Παρακάτω παρατίθεται

σχεδιάγραμμα της αυτοκινητοβιομηχανίας AUDI, στο οποίο παρουσιάζονται οι συγκρίσεις όλων των προαναφερθέντων μεγεθών:



Εικόνα 5 - Αριστερά : κλασική διάταξη χώρου στάθμευσης συμβατικών οχημάτων. Δεξιά : μελλοντική διάταξη χώρου στάθμευσης αυτόνομων οχημάτων (Othman, 2021).

Η δημιουργία τέτοιου είδους χώρων στάθμευσης σαν αυτούς που παρουσιάζονται παραπάνω, εκτός κεντρικών περιοχών μεγάλων αστικών κέντρων, θα βοηθήσει δεδομένα στην αποσυμφόρηση των ήδη βεβαρυμένων αυτών περιοχών, καθώς με τη χρήση αυτών από τα αυτόνομα οχήματα, οι ήδη υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης συμβατικών οχημάτων θα πάψουν πλέον να χρησιμοποιούνται, με αποτέλεσμα αυτές να αποδοθούν και πάλι στους χρήστες της οδού, είτε με τη μορφή μιας επιπλέον λωρίδας κυκλοφορίας, είτε με τη μορφή ειδικής λωρίδας για πεζούς, ποδήλατα κλπ. Ακόμα, θα συνεισφέρουν ενδεχομένως και στην κατάργηση των ογκωδών και αισθητικά ξεπερασμένων πολυόροφων κτιρίων στάθμευσης που βρίσκονται σε κεντρικές περιοχές, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους ιδιοκτήτες τους να αλλάξουν τις χρήσεις των κτιρίων, μετατρέποντάς τα σε εμπορικά, αναβαθμίζοντας έτσι τις πόλεις αφενός αισθητικά, και αφετέρου οικονομικά.










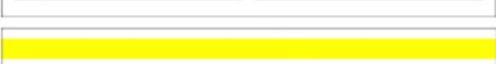
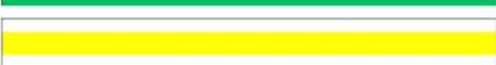

2.2.2.2 Επιπτώσεις στις οδικές υποδομές

Μια άποψη η οποία διατυπώνεται συχνά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία (Severino, Curto, Barberi, Arena, & Pau, 2021) (Faisal et. al, 2019), είναι πως μελλοντικά, θα υπάρξει τάση για την μείωση του απαιτούμενου πλάτους των λωρίδων. Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 5, τα μελλοντικά αυτόνομα οχήματα θα έχουν ελαφρώς τροποποιημένες εξωτερικές διαστάσεις (μήκος και πλάτος), και ως εκ τούτου θα είναι σε θέση να κινούνται σε στενότερες λωρίδες από αυτές που κινούνται σήμερα τα συμβατικά οχήματα, αφενός λόγω της νέας διαστασιολόγησης, και αφετέρου λόγω της εξάλειψης της ανάγκης για ύπαρξη κενού χώρου (buffer zone) μεταξύ των οχημάτων, για αποφυγή συγκρούσεων.

Ακόμα, συχνές είναι οι αναφορές για τις επιπτώσεις που θα έχει η κίνηση των αυτόνομων οχημάτων στο οδόστρωμα, καθώς ο τρόπος με τον οποίο αυτά θα κινούνται, διαφέρει από τον σημερινό. Λόγω της μόνιμής κίνησής τους σε προγραμματισμένες διαδρομές για μεγάλα χρονικά διαστήματα σε μεγαλύτερους αριθμούς απ' ό,τι κινούνται σήμερα τα συμβατικά οχήματα, αλλά και λόγω ενδεχόμενης μείωσης του πλάτους των αξόνων των τροχών τους, θεωρείται ότι τα αυτόνομα οχήματα θα επιφέρουν ταχύτερα απ' ό,τι τα συμβατικά φθορές στο οδόστρωμα (Othman, 2021).

Οι φθορές αυτές δεν θα είναι οι σημαντικότερες τις οποίες θα κληθούμε να αντιμετωπίσουμε κατά την συντήρηση του οδοστρώματος παρ' όλα αυτά, καθώς σημαντική φθορά αναμένεται να παρουσιάσουν και οι υφιστάμενες διαγραμμίσεις στο οδόστρωμα. Μιας και τα αυτόνομα οχήματα είναι προγραμματισμένα να διαβάζουν και να αναγνωρίζουν την σήμανση του οδοστρώματος, αναμένεται να δημιουργηθούν νέες μορφές διαγράμμισης με διαφορετικά χρώματα από τα υπάρχοντα, και διαφορετικές σημασίες (Severino, Curto, Barberi, Arena, & Pau, 2021). Πέραν της αλλαγής στα χρώματα των διαγραμμίσεων, υπάρχει ακόμα η δυνατότητα να καθιερωθεί μια τάση που ακολουθείται τα τελευταία χρόνια στα λειτουργικά συστήματα των αυτόνομων οχημάτων. Σύμφωνα με την τάση αυτή, όλα τα χαρακτηριστικά του δρόμου που αφορούν την διαγράμμιση, και στων οποίων την οπτική αναγνώριση βασίζεται το σύστημα του οχήματος για τη λήψη αποφάσεων, θα ψηφιοποιούνται εντός του λειτουργικού τους συστήματος σε

μορφή ψηφιακού χάρτη. Έτσι, θα μειωθούν αισθητά οι ανάγκες για παρεμβάσεις και επεμβάσεις επί του οδοστρώματος. (Manivasakan, και συν., 2021)

Marking Type	Pavement Marking
Lane Open	
Lane Closed	
Right Turn Single Lane Ramp Closure	
Right Turn For Single Lane Right Ramp Closure	
Merge Right	
Left Turn Two-Lane Ramp-Left Lane Closure	
Left Turn Two-Lane Ramp-Right Lane Closure	
Left Turn Single Lane Ramp Closure	
U-Turn	
Start Work Zone	
End Work Zone	
Work Zone Edge Line (Contrast Pavement Marking)	

Εικόνα 6 - Πιθανές αλλαγές στην σήμανση για την καλύτερη λειτουργία των συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης των αυτόνομων οχημάτων (Severino, Curto, Barberi, Arena, & Pau, 2021)

2.2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων

Παρατηρώντας τις τάσεις που επικρατούν στην αυτοκινητοβιομηχανία τις τελευταίες δύο δεκαετίες, φαίνεται πως αυτές στρέφονται διαρκώς, όλο και περισσότερο σε αναζήτηση νέων τεχνολογιών για την κίνηση των οχημάτων τους. Οι τεχνολογίες αυτές απορρίπτουν τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα ως μέσο τροφοδοσίας του οχήματος, και στρέφονται όλο και περισσότερο σε διάφορες μορφές ηλεκτροκίνησης. Η τάση αυτή σίγουρα δεν αποτελεί έκπληξη, καθώς, παγκοσμίως, η κίνηση οχημάτων που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης, θεωρείται ένας από τους βασικούς παράγοντες που εντείνουν το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, και ως εκ τούτου, αρκετές αυτοκινητοβιομηχανίες ανά τον κόσμο, έχουν θέσει ως στόχο τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων τους.

Ερευνώντας την υπάρχουσα διεθνή βιβλιογραφία, διαπιστώνει κανείς πως η επικρατούσα προσέγγιση για τη μελέτη των προαναφερθέντων επιπτώσεων, είναι η διενέργεια συγκριτικών μελετών μεταξύ των εκπομπών των συνηθισμένων οχημάτων, και των ταχυτήτων οδήγησης κάτω από τις οποίες αυτές καταγράφονται. Σύμφωνα με τους (Barth, Boriboonsomsin, & Wu, 2014), βάσει καταγεγραμμένων μετρήσεων, έχει παρατηρηθεί πως τα υψηλότερα ποσοστά ρύπων συμβατικών οχημάτων, καταγράφονται σε διαστήματα μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης, όπου η συγκέντρωση οχημάτων είναι υψηλή και η ταχύτητα κίνησής τους χαμηλή, καθώς αυτό αναγκάζει τα οχήματα να βρίσκονται σε λειτουργία για εξαιρετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αναφορικά με τα αυτόματα οχήματα, επισημαίνεται, πως, ακολουθώντας την μέθοδο του vehicle platooning (να κινούνται δηλαδή μεταξύ τους σε σειρά, με ιδιαίτερα μικρή απόσταση μεταξύ τους), υπάρχει σημαντική πιθανότητα να μειωθεί η απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση τους περίπου 10-15%, καθώς, λόγω της ιδιαίτερης αεροδυναμικής που αναπτύσσεται από αυτό το είδος κίνησης, θα μειωθεί και η απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση των οχημάτων.

Αναφορά στο vehicle platooning γίνεται και στην μελέτη “SARTRE” (Safe Road Trains for the Environment) της οποίας ένας από τους στόχους ήταν και η μελέτη των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που μπορεί να έχει αυτή η

μέθοδος, αναφορικά με τις πιθανές εκπομπές καυσαερίων. Θεωρείται επίσης πως τα αυτόνομα οχήματα θα βοηθήσουν να εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό ακόμα ένα πρόβλημα το οποίο συμβάλλει στις υψηλές εκπομπές ρύπων. Το πρόβλημα αυτό, είναι η συχνή διακοπή και επανέναρξη της κυκλοφορίας σε δρόμους οι οποίοι είναι συμφορημένοι, και είναι ένα πρόβλημα το οποίο σχετίζεται αποκλειστικά με τον ανθρώπινο οδηγικό παράγοντα. Τα αυτόνομα οχήματα, με τους αισθητήρες τους αλλά και τις δυνατότητες που διαθέτουν για την επικοινωνία οχήματος με όχημα (vehicle to vehicle – V2V) , μπορούν να το εκμηδενίσουν. Ακόμα, σύμφωνα με τους (Eugensson, και συν., 2013) (Tientrakool, 2011), η ανάπτυξη των συστημάτων αυτόνομων οχημάτων θεωρείται πως μπορεί να επιδράσει θετικά προς το περιβάλλον αναφορικά με την ανάγκη κατασκευής και συντήρησης νέων οδικών αξόνων, με την απλοϊκή σκέψη πως, με την ύπαρξη πυκνότερης κυκλοφοριακής ροής είναι λιγότερος ο οδικός χώρος που απαιτείται, και ως εκ τούτου χρειάζονται μικρότερου επιπέδου επενδύσεις και επεμβάσεις στο οδικό δίκτυο.

Στον αντίποδα των προαναφερθεισών πιθανών θετικών επιπτώσεων των αυτόνομων οχημάτων στο κομμάτι των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων, αξίζει να αναφερθεί και η οπτική πως, η μελλοντική κυριαρχία των αυτόνομων οχημάτων, ενώ θα επιφέρει μια μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των οχημάτων αναφορικά με την χρήση ορυκτών καυσίμων, θα αυξήσει σημαντικά το γενικότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους λόγω της εκτεταμένης ανάγκης για μόνιμη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Η οπτική αυτή δικαιολογείται από το γεγονός πως, η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί την ιδιαίτερα συχνή φόρτισή τους, καθώς αυτά έχουν ιδιαίτερα αυξημένες ανάγκες σε ρεύμα για τη λειτουργία όλων των αυτόνομων συστημάτων που ενσωματώνουν, ενώ ακόμα απαιτούνται και ιδιαίτερα υψηλά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας για την συντήρηση και τη λειτουργία των υποδομών στις οποίες βασίζονται για να λειτουργήσουν τα συστήματα αυτόνομης οδήγησης (δίκτυα 5G και λοιπές υποδομές). Υπολογίζεται συνολικά πως η αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που πρόκειται να επέλθει από την καθολική χρήση των αυτόνομων οχημάτων, ανέρχεται περίπου σε 3-20% συγκριτικά με τα σημερινά δεδομένα (Chatila, Tessier , & Perrin, 2021).

2.2.4 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στην δημόσια υγεία

Αναφερόμενοι στο κομμάτι της δημόσιας υγείας, και στις επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει σε αυτό η αποκλειστική χρήση αυτόνομων οχημάτων, σκόπιμο είναι σε αρχικό επίπεδο να εντοπίσουμε τους τρόπους μέσω των οποίων τα υπάρχοντα συστήματα μεταφορών επιβαρύνουν την ανθρώπινη υγεία. Αρχικά, μεγάλη βαρύτητα δίνεται στις συγκρούσεις μεταξύ οχημάτων, οι οποίες αποτελούν και την 8^η συχνότερη αιτία θανάτου παγκοσμίως. Ακόμα, η ηχορύπανση που οφείλεται στην κίνηση των οχημάτων, έχει αποδειχτεί πως συνδέεται με πληθώρα διαταραχών της ανθρώπινης υγείας. Όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για την ανθρώπινη υγεία διαδραματίζει η μόλυνση του αέρα που οφείλεται στις μεταφορές, καθώς όμως και η έκλυση θερμότητας που προκαλείται από τη λειτουργία των οχημάτων, και μελέτες τη συνδέουν με την πρόκληση ακόμα και πνευμονοπάθειας, καθώς επίσης και η δημιουργία ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Ακόμα, αξιοσημείωτη είναι και η επίδραση στη μειωμένη σωματική άσκηση του πληθυσμού, λόγω της επανάπαυσης στις προσφερόμενες υπηρεσίες των οχημάτων. Τέλος, σημαντικές είναι και οι πιθανές επιπτώσεις στην ψυχική υγεία των ανθρώπων, οι οποίες προκύπτουν κυρίως λόγω του κοινωνικού αποκλεισμού που μπορεί να επιφέρει η έλλειψη ενός μέσου μεταφοράς (IX ή MMM), αλλά και λόγω των κακών οδηγικών συμπεριφορών που μπορεί να αντιμετωπίσει κανείς στο δρόμο, που σε συνδυασμό με τις συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης, εντείνουν την ύπαρξη στρες και τη συναισθηματική φόρτιση (Sohrabi, 2020).

Σε συνέχεια των προηγούμενων, αυξημένη αναμένεται να είναι και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από ρύπους που σχετίζονται μόνο με τα κινούμενα μέρη του οχήματος (κατάλοιπα από τριβή ελαστικών κλπ.), όπως και η διαρκής ανακίνηση της σκόνης που βρίσκεται επί του οδοστρώματος, καθώς τα αυτόνομα οχήματα όπως αναφέρθηκε, αναμένεται να κινούνται με μεγαλύτερη συχνότητα από τα συμβατικά, οξύνοντας έτσι ουσιαστικά το ήδη υπάρχον ζήτημα.

Τέλος, αναφορικά με το κομμάτι της ψυχικής υγείας, η χρήση των αυτόνομων οχημάτων ενδέχεται να έχει θετική επίδραση στην καταπολέμηση του

άγχους και του στρες στον πληθυσμό , όπως υποστηρίζουν οι (Cottrell & Barton, 2011).

2.2.5 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον τομέα των logistics

Όπως είναι φυσικό, ένας τομέας ο οποίος βασίζει τεράστιο κομμάτι της εξυπηρέτησης των αναγκών του παγκοσμίως στη χρήση οχημάτων πάσης φύσεως (οχήματα Ι.Χ. , φορτηγά κ.α.) για την μεταφορά και την διανομή αγαθών, είναι αναπόφευκτο να μην επηρεαστεί από μια μετάβαση στη χρήση αυτόνομων οχημάτων.

Όπως αναφέρουν οι (Maunsell, Tanguhuri, & Hogarth, 2014) , σε περίπτωση πλήρους χρήσης αυτόνομων οχημάτων στον τομέα των μεταφορών και των logistics , αναμένεται να υπάρξει μείωση του συνολικού λειτουργικού κόστους ίση με 40% του σημερινού. Το γεγονός αυτό ως επί το πλείστο στο ότι το σύνολο των μεταφορών θα αυτοματοποιηθεί, καταργώντας έτσι ένα βασικό έξοδο της βιομηχανίας των logistics, το οποίο δεν είναι άλλο από την μισθοδοσία των οδηγών των οχημάτων. Άλλη σημαντική αλλαγή που υπάρχει η πιθανότητα να επιφέρει η κυριαρχία των αυτόνομων οχημάτων , είναι το γεγονός πως ο τομέας αυτός της εφοδιαστικής αλυσίδας, θα μπορεί πλέον να λειτουργεί πολύ πιο αποτελεσματικά, καθώς δεν θα υπόκειται σε περιορισμούς που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα, όπως οι περιορισμοί του ωραρίου εργασίας των οδηγών που υφίστανται σήμερα. Έτσι, δεν είναι καθόλου απίθανο μελλοντικά να ερχόμαστε συχνά ολοένα και περισσότερο αντιμέτωποι με την εικόνα γεμάτων οδικών αρτηριών όλων των κατηγοριών και μεγεθών όλες τις ώρες της μέρας, καθώς οι μεταφορές αγαθών δεν θα υπόκεινται πλέον σε κανένα περιορισμό ωραρίου (Hoerl, Ciari, & Auxhausen, 2016).

2.2.6 Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή και στη λειτουργία των κόμβων

Εστιάζοντας πλέον στα ζητήματα που αφορούν περισσότερο τις πιθανές επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον ευρύτερο τομέα των συγκοινωνιών, του οποίου άπτεται άμεσα και η εργασία, θα εξετάσουμε τις πιθανές επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στην διαμόρφωση της κυκλοφοριακής ροής.

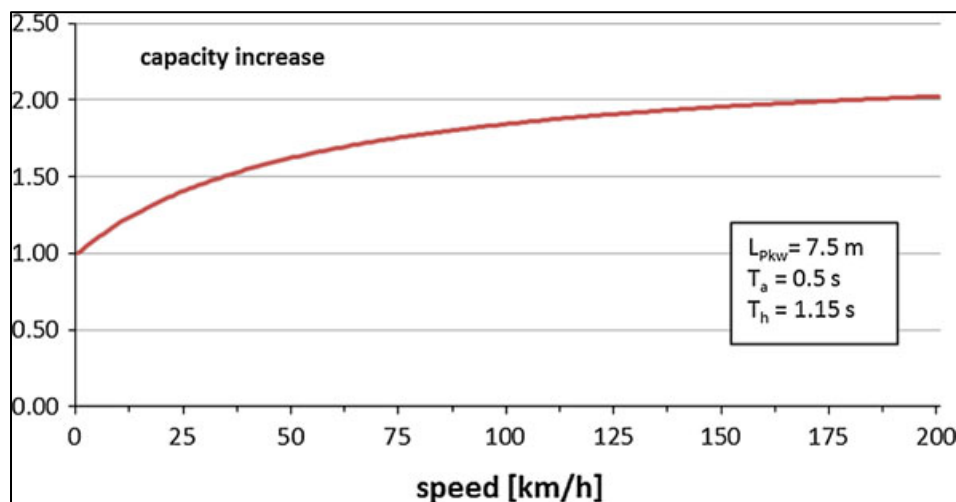
Σε μια πρώτη θεωρητική προσέγγιση, εκτιμώντας πως τα αυτόνομα οχήματα θα έχουν ίδιο μέγεθος με τα συμβατικά, και άρα θα καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο σε μια λωρίδα, αναφέρεται πως μέχρι τώρα επικρατεί η άποψη , πως η ένταξη των αυτόνομων οχημάτων στην κυκλοφοριακή ροή δεν θα επιφέρει μεγάλες αλλαγές σε αυτή. Σημαντική λεπτομέρεια για την παραπάνω προσέγγιση, είναι πως ως αυτόνομα οχήματα λαμβάνονται υπ' όψη τα οχήματα όλων των επιπέδων αυτοματισμού, όπως αυτά έχουν οριστεί από την SAE, ενώ αναφέρεται και πως εν τέλει ενδέχεται να επέλθουν αλλαγές στην κυκλοφοριακή ροή, αλλά μονάχα όταν υπάρξει μια επαρκής «εισροή» αυτόνομων οχημάτων υψηλού επιπέδου αυτοματισμού στον συνολικό υφιστάμενο στόλο (Metz, 2018). Ακόμα, θίγεται και το θέμα της χρήσης των αυτόνομων οχημάτων ως ταξί, μια πιθανή χρήση τους η οποία σε πρώτο βαθμό έχει εγείρει ερωτήματα για το κατά πόσο θα επιβαρύνουν την πιθανώς οξυμένη υπάρχουσα κυκλοφοριακή ροή, οχήματα κενά επιβατών τα οποία θα βρίσκονται διαρκώς εν κινήσει. Συγκρίνοντας την μελλοντική αυτή κατάσταση με την υπάρχουσα, προκύπτει το συμπέρασμα πως πιθανότατα μια τέτοια χρήση των αυτόνομων οχημάτων δεν θα έχει αρνητική επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή, καθώς , όπως τα ταξί εκτελούν δρομολόγια κενά επιβατών, μεταξύ των δρομολογίων κατά τα οποία είναι μισθωμένα, έτσι ακριβώς θα πράττουν και τα αυτόνομα οχήματα.

Ποσοτικοποιώντας το ζήτημα, και μελετώντας συγκεκριμένα την περίπτωση των αυτοκινητοδρόμων, ο Friedrich (Friedrich, 2016) αναφέρει, πώς, η αποκλειστική χρήση αυτόνομων οχημάτων είναι δεδομένο πως θα επηρεάσει την μέγιστη χωρητικότητα λωρίδας ενός αυτοκινητοδρόμου , η οποία ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από μια διατομή της λωρίδας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο παραπάνω ισχυρισμός

τεκμηριώνεται με τη χρήση συγκεκριμένων εξισώσεων για τον υπολογισμό της μέγιστης χωρητικότητας σε αυτοκινητόδρομο, χρησιμοποιώντας αρχικά στοιχεία για συμβατικά και ύστερα για αυτόνομα οχήματα, και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα. Οι εξισώσεις αυτές παρουσιάζονται παρακάτω :

$$C_h = \frac{v}{v \cdot T_h + L}, \quad C_a = \frac{v}{v \cdot T_a + L}$$

με C_h να ορίζεται η χωρητικότητα για κυκλοφορία συμβατικών οχημάτων, v η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, T_h το χρονικό διάκενο μεταξύ των κινούμενων οχημάτων και L το μέσο μήκος οχήματος, και αντίστοιχα C_a και T_a ορίζονται η χωρητικότητα και το χρονικό διάκενο που αφορούν τα αυτόνομα οχήματα. Στους παραπάνω συντελεστές αποδόθηκαν τιμές που έχουν προκύψει εμπειρικά, με $T_h = 1.15s$ και $L = 7.5m$ (4,5m μέσο μήκος οχήματος και 3m ελάχιστη απόσταση από προπορευόμενο όχημα) για Ι.Χ. οχήματα και αντίστοιχα $L = 21m$ για πάσης φύσεως φορτηγά οχήματα, ενώ στον συντελεστή χρονικού διαχωρισμού για τα αυτόνομα οχήματα T_a , ως εφικτή και ταυτόχρονα αποδεκτή τιμή λήφθηκαν τα 0.5s. Βάσει των παραπάνω, και αποδεχόμενοι πως η κυκλοφορία θα αποτελείται αποκλειστικά από αυτόνομα επιβατηγά οχήματα, εκτιμάται πως η κυκλοφοριακή ικανότητα μιας λωρίδας αυτοκινητοδρόμου αναμένεται να αγγίξει και τις 3.900 οχήματα/ώρα, τη στιγμή που με τις υπάρχουσες συνθήκες, ένα ρεαλιστικό σενάριο είναι αυτό της τάξης των 2.200 οχημάτων/ώρα.

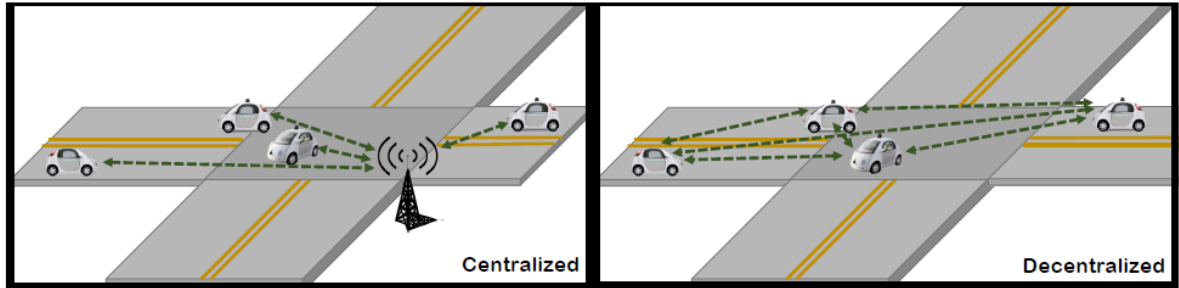


Εικόνα 7 - Εκτιμώμενη αύξηση της χωρητικότητας σε συνάρτηση με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης αποκλειστικά επιβατηγών οχημάτων (Friedrich, 2016)

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί πως η υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν καθιστά απόλυτα σαφές το πότε, πώς και εάν η χρήση πλήρως αυτόνομων οχημάτων θα επηρεάσει σε μικρό ή σε μεγάλο βαθμό την κυκλοφοριακή ροή, καθώς οι περισσότερες δημοσιεύσεις και έρευνες που έχουν διενεργηθεί επί του συγκεκριμένου αντικειμένου, παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Προχωρώντας στο ζήτημα της λειτουργίας των διασταυρώσεων, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η έλευση και μελλοντικά η κυριαρχία των αυτόνομων οχημάτων στην καθημερινότητα θα αλλάξει άρδην τον τρόπο με τον οποίο εξυπηρετούν αυτές τα οχήματα σήμερα. Χαρακτηριστικά, όπως αναφέρουν οι (Khayatian, και συν., 2020), οι διασταυρώσεις που θα χρησιμοποιούνται από τα αυτόνομα οχήματα στο εγγύς μέλλον, θα βασίζονται στη δυνατότητα των αυτόνομων οχημάτων να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με βοηθητικές υποδομές ρύθμισης κυκλοφορίας του οδικού δικτύου, με αποτέλεσμα οι υφιστάμενοι τρόποι ρύθμισης κυκλοφορίας όπως η σήμανση και η φωτεινή σηματοδότηση να αποτελέσουν πλέον παρελθόν. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι διασταυρώσεις θα κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους, ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους, στις συγκεντρωτικές (centralized) και τις διανεμημένες (distributed). Και στις δύο περιπτώσεις, η κατανομή της κυκλοφορίας γίνεται από τον «διαχειριστή διασταύρωσης» (intersection manager). Στην πρώτη περίπτωση, αυτός υλοποιείται ως ένας σταθμός διαχείρισης, ο οποίος θα βρίσκεται πέριξ της διασταύρωσης που έχει τη δυνατότητα να «επικοινωνεί» απ' ευθείας με τα οχήματα που πλησιάζουν. Κατά την επικοινωνία αυτή, ο σταθμός λαμβάνει τις μοναδικές πληροφορίες κάθε οχήματος, όπως την ταχύτητα με την οποία αυτό κινείται, αλλά και με την πρόθεση κίνησής του εντός της διασταύρωσης, και επεξεργαζόμενος συνολικά τις πληροφορίες που δέχεται από το σύνολο των οχημάτων, «αποφασίζει» τον τρόπο με τον οποίο το όχημα θα κινηθεί για να διασχίσει τη διασταύρωση (απ' ευθείας διάσχιση, αναμονή κλπ.). Στην δεύτερη περίπτωση, η κατάσταση περιπλέκεται περισσότερο, καθώς το ρόλο του ρυθμιστή της κυκλοφορίας αναλαμβάνουν αποκλειστικά τα αυτόνομα οχήματα μεταξύ τους, τα οποία με τη βοήθεια αλγορίθμων που είναι εγκατεστημένοι στο λογισμικό τους, αλλά και με τη βοήθεια του διαχειριστή διασταύρωσης, ο οποίος συλλέγει

πληροφορίες για την κίνησή τους, τελικώς λαμβάνουν την απόφαση για τον τρόπο αλλά και τον χρόνο κατά τον οποίο θα διασχίσουν τη διασταύρωση.



Εικόνα 8 - Παράδειγμα συγκεντρωτικής (αριστερά) και διανεμημένης (δεξιά) διασταύρωσης (Khayatian, και συν., 2020)

Κεφάλαιο 3^ο : Βασικά στοιχεία γεωμετρικού σχεδιασμού οδών

3.1. Γεωμετρικός Σχεδιασμός οδού – Χάραξη οδού

Εξετάζοντας τον οδικό άξονα εν γένει, χωρίς ακόμα να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ αστικού και υπεραστικού, διαπιστώνεται πως κατά τον γεωμετρικό σχεδιασμό οδών, ανεξάρτητα από το σε ποια από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες ανήκουν, είναι υποχρεωτικό για τον εκάστοτε μελετητή να εφαρμόζει συγκεκριμένους κανονισμούς και προδιαγραφές, οι οποίοι ορίζονται από τα τεύχη των ΟΜΟΕ (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων). Οι προαναφερθείσες οδηγίες μελετών οδικών έργων, αφορούν την Ελληνική επικράτεια στο σύνολό της, και ως επί το πλείστο έχουν συγγραφεί βασιζόμενες στα γερμανικά πρότυπα, προσαρμοσμένες όμως στην ελληνική πραγματικότητα.

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται διεξοδικά, οι κανονισμοί αυτοί, καθώς και τα γεωμετρικά μεγέθη που εμπεριέχουν, και που αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο για την ορθή χάραξη και κατασκευή ενός οδικού άξονα. Ακόμα, οφείλουμε να μελετήσουμε και να αναφέρουμε στοιχεία που αφορούν την κατακόρυφη αλλά και οριζόντια σήμανση των οδών. Οι παραπάνω κανονισμοί αφορούν μέχρι και σήμερα, κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας, την μελέτη και χάραξη οδών ούτως ώστε να εξυπηρετείται η κίνηση μη αυτόνομων οχημάτων, και ως εκ τούτου όλα τα μεγέθη που θα αναφερθούν παρακάτω, έχουν ως σημείο αναφοράς ένα τυπικό μη αυτόνομο όχημα, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία αυτό ανήκει (Ι.Χ., λεωφορείο, φορτηγό κ.τ.λ.). Ακόμα, ιδιαίτερη μνεία θα γίνει και στις τυπικές διατομές των προς μελέτη οδών, βασιζόμενοι πάντα στον πίνακα λειτουργικής κατάταξης οδών, όπως αυτός περιλαμβάνεται στο Τεύχος 1 των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων – Λειτουργική Κατάταξη Οδών.

3.1.1 Χάραξη οδού σε Οριζοντιογραφία

Ο γεωμετρικός σχεδιασμός μιας οδού, διακρίνεται σε δυο ξεχωριστές κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές είναι αφ' ενός η μελέτη της οριζοντιογραφίας της

οδού, δηλαδή η μελέτη επί του επιπέδου που ορίζεται από τους άξονες X και Y, ενώ, αφ' ετέρου, όπως θα αναλύσουμε και παρακάτω, μελετάται και η μηκοτομή της οδού, η οποία ορίζεται από τους άξονες X και Z.

Τα βασικά στοιχεία κατά τη μελέτη της οριζοντιογραφίας της οδού είναι τρία και είναι τα εξής :

- i) Ευθυγραμμία
- ii) Κυκλικό Τόξο
- iii) Καμπύλη συναρμογής.

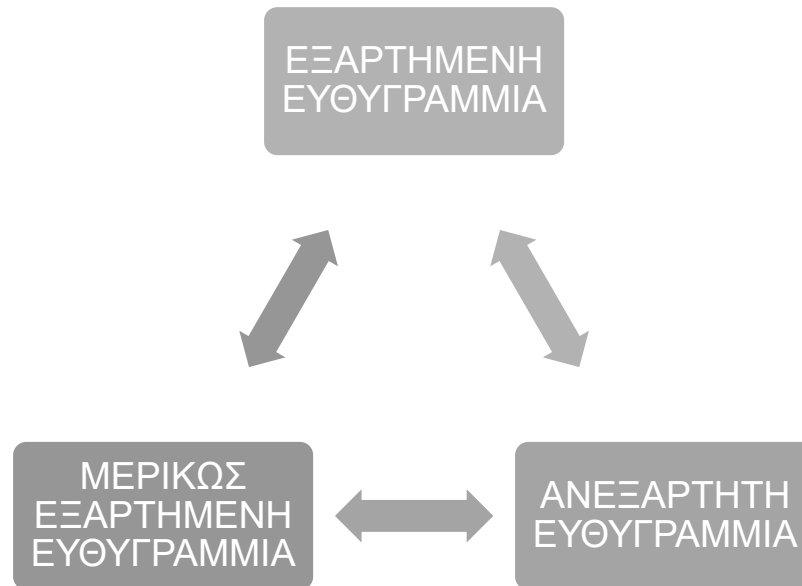
Καθένα από τα παραπάνω διαδραματίζει ξεχωριστό ρόλο κατά τη διαδικασία της μελέτης και θα αναλυθεί παρακάτω.

3.1.1.1 Ευθυγραμμία

Οι ευθυγραμμίες, αποτελούν το πιο εύχρηστο εκ των τριών στοιχείων στα χέρια του εκάστοτε μελετητή, καθώς η χρήση τους κατά την σύλληψη και τη χάραξη της οδούς διέπεται από πολύ λιγότερους περιορισμούς σε σχέση με τα κυκλικά τόξα, και ακόμα περισσότερο τις καμπύλες συναρμογής. Η χρήση των ευθυγραμμιών προτιμάται συνήθως στις παρακάτω περιπτώσεις:

- i) Όταν η χάραξη γίνεται επί ομαλών εδαφών με σχετικά μικρές υψομετρικές διαφορές.
- ii) Σε περιοχές με ύπαρξη ισόπεδων ή και ανισόπεδων κόμβων
- iii) Όταν είναι υποχρεωτική η εξασφάλιση του απαιτούμενου μήκους για προσπέραση (σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας)
- iv) Σε περιοχές με ειδικές πολεοδομικές συνθήκες
- v) Σε περιπτώσεις όπου η χάραξη της οδού έρχεται να «προσαρμοστεί» σε ήδη υπάρχουσες χαράξεις προϋφιστάμενων τεχνικών έργων, όπως σιδηροδρομικών γραμμών.

Η επιστημονική κοινότητα, έχει καταλήξει στην διάκριση των ευθυγραμμιών σε τρεις βασικές κατηγορίες οι οποίες και είναι :



Εξαρτημένη ευθυγραμμία, είναι το ευθύγραμμο τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο καμπυλών, και είναι μικρότερο ενός κάτω ορίου. Αυτό σημαίνει πως ο οδηγός περνώντας από την μια καμπύλη στην άλλη, διερχόμενος από την ευθυγραμμία, θα πρέπει υποχρεωτικά να προσαρμόσει την ταχύτητά του.

Ανεξάρτητη ευθυγραμμία, είναι το ευθύγραμμο τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο καμπυλών, αλλά το μήκος του είναι διπλάσιο ενός άνω ορίου. Σε αυτή την περίπτωση, ο οδηγός περνώντας από την καμπύλη στην ευθυγραμμία, προλαβαίνει να αναπτύξει ταχύτητα ίση με τη V_{85} της οδού και να κινηθεί για ένα διάστημα με αυτή, έως ότου χρειαστεί να προσαρμόσει ξανά την ταχύτητα του για να εισέλθει στην επόμενη καμπύλη

Μερικώς εξαρτημένη ευθυγραμμία, τέλος, είναι το ευθύγραμμο τμήμα το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ δύο καμπυλών, και το μήκος του κυμαίνεται ανάμεσα στα όρια που αναφέρθηκαν στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις.

Εμπειρικά, έχει προκύψει πως, το μέγιστο μήκος μιας ευθυγραμμίας υπολογίζεται από τον τύπο $L_{MAX} = 20 \times V_e$ (όπου V_e είναι η ταχύτητα μελέτης της οδού), ενώ το ελάχιστο μήκος μιας ευθυγραμμίας υπολογίζεται από τον τύπο $L_{MIN} = 6 \times V_e$.

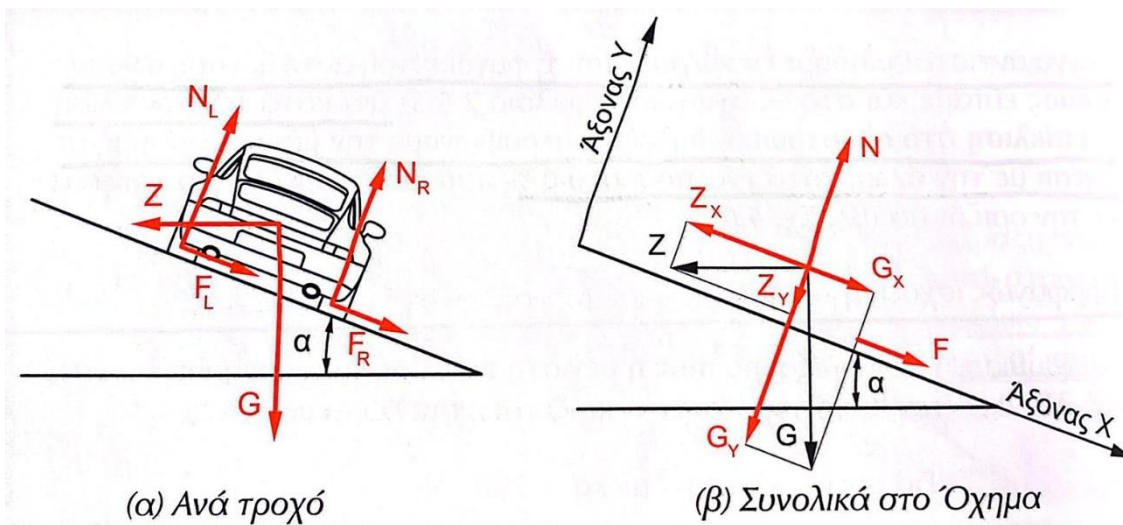
3.1.1.2 Κυκλικό Τόξο

Το κυκλικό τόξο αποτελεί ένα πιο σύνθετο στοιχείο μελέτης της οριζοντιογραφίας της οδού, καθώς, πέραν των ήδη εξεταζόμενων μεγεθών, το όχημα, κατά την κίνησή του σε κυκλικό τόξο, δέχεται ταυτόχρονα εγκάρσιες και εφαπτομενικές δυνάμεις, οι οποίες πρέπει να ισορροπούν, ώστε να επιτυγχάνεται η άνετη και απρόσκοπτη κίνηση του οχήματος.

Όπως γνωρίζουμε ήδη από την Φυσική, ένα όχημα το οποίο κινείται σε κυκλική τροχιά, δέχεται φυγόκεντρο δύναμη Z , η οποία υπολογίζεται ως εξής, και ισούται με :

$$Z = \frac{G}{g} \times \frac{V^2}{R}, \text{ όπου } G \text{ το βάρος του οχήματος, } g \text{ η επιτάχυνση της}$$

βαρύτητας, V η ταχύτητα του οχήματος και R η ακτίνα του κυκλικού τόξου.



Εικόνα 9 – Βασική δυναμική οχήματος (Apostoleris, 2012)

Ο τρόπος με τον οποίο η δύναμη Z αντισταθμίζεται από τον οδικό σχεδιασμό, είναι η εφαρμογή επίκλισης του οδοστρώματος εντός του κυκλικού τόξου (η επίκλιση αυτή επιτυγχάνεται με την υπερύψωση της μιας οριογραμμής του οδοστρώματος συγκριτικά με την άλλη κατά ποσοστό $q\%$)

Βάσει ΟΜΟΕ-Χ, οι μέγιστες επιτρεπόμενες επικλίσεις σε κυκλικά τόξα, ορίζονται ως εξής:

- Για ορεινά εδάφη : $q_{\max} = 7\%$
- Για πεδινά εδάφη : $q_{\max} = 8-9\%$

Βάσει των προηγούμενων, αναλύοντας τη δυναμική του οχήματος (τριβή, κάθετη αντίδραση κλπ.), καταλήγουμε στην πρωταρχική εξίσωση υπολογισμού ακτίνας του κυκλικού τόξου, η οποία προκύπτει γεωμετρικά και είναι η εξής :

$$R = \frac{V^2}{127 \times (f_r + q)}, \text{ (όπου } f_r \text{ ο συντελεστής ακτινικής τριβής)}$$

Είναι προφανές, πώς, εάν στην παραπάνω σχέση εφαρμόσουμε την άνω ακραία τιμή της επίκλισης οδοστρώματος q_{\max} , μας δίνεται αυτομάτως η σχέση για υπολογισμό της ελάχιστης επιτρεπτής ακτίνας R_{\min} .

Έχοντας αναφερθεί στον συντελεστή εφασπτομενικής τριβής, είναι σκόπιμο να αναφερθούμε εν τάχει στο μέγεθος του συντελεστή τριβής κατά την κίνηση του οχήματος. Πρόκειται ουσιαστικά, για τον συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος, όταν και τα δύο βρίσκονται σε κακή κατάσταση, όταν δηλαδή το ελαστικό είναι κακοσυντηρημένο και φθαρμένο, και το οδόστρωμα επίσης κακοσυντηρημένο και ολισθηρό.

Η τριβή είναι μέγεθος διανυσματικό, και οι δύο συνιστώσες που την αποτελούν είναι οι εξής:

- f_t : Εφασπτομενική τριβή, συνιστώσα η οποία είναι παράλληλη με τον άξονα της κίνησης
- f_R : Ακτινική τριβή, συνιστώσα η οποία είναι κάθετη στον άξονα της κίνησης.

Τη σημαντικότερη εκ των δύο, αποτελεί η εφασπτομενική τριβή, καθώς, ενώ η ακτινική τριβή αναλώνεται ως επί το πλείστο για την αντιστάθμιση της φυγοκέντρου δύναμης, η εφασπτομενική είναι αυτή που κρατά το όχημα στην πορεία του. Βάσει του Πυθαγορείου Θεωρήματος, αλλά και εμπειρικά, έχει προκύψει πως η ακτινική τριβή δεν πρέπει να ξεπερνά ποσοστιαία ένα μέρος της συνολικής τριβής, ούτως ώστε να απομένει αρκετή δύναμη ώστε να ασκείται στο όχημα και εφασπτομενική τριβή. Το ποσοστό αυτό έχει ονομαστεί **συντελεστής εμετάλλευσης (n)** της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του συντελεστή τριβής για την εφασπτομενική συνιστώσα. Συνήθως, θεωρούμε πως το **n** έχει επαρκείς τιμές στο διάστημα [0.4-0.5].

Έχοντας αναλύσει όλα τα μεγέθη που αφορούν τον υπολογισμό της ελάχιστης ακτίνας τόξου βάσει της δυναμικής του οχήματος, είναι στιγμή να παρουσιαστούν και οι απαιτήσεις που θέτουν οι ελληνικοί κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως, πρωταρχικό ρόλο στον υπολογισμό των ελάχιστων ακτινών, παίζει η ταχύτητα μελέτης V_e της οδού, σύμφωνα και με τον

$$\text{τύπο: } R = \frac{V^2}{127 \times (fr + q)}$$

Αναφορικά με την μέγιστη επιτρεπόμενη επίκλιση, καθώς και τους επιτρεπόμενους συντελεστές εκμετάλλευσης σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ και την κατηγοριοποίηση των οδών όπως αυτή ορίζεται, παρουσιάζεται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα:

V^* [km/h]	$\max f_{\text{επιτρ}}$ [-]	$\max f_{\text{επιτρ}}$ [-] και R_{min} [m] για οδούς της ομάδας									
		Α						Β			
		πεδινά εδάφη		ημιορεινά και ορεινά εδάφη		όλες οι κατηγορίες εδαφών		όλες οι κατηγορίες εδαφών			
		$q_{\text{max}}=8$ (9)%		$q_{\text{max}}=7\%$		$q_{\text{min}}=2,5\%$		$q_{\text{max}}=6\%$		$q_{\text{min}}=2,5\%$	
		$n=45\%$		$n=40\%$		$n=10\%$		$n=60\%$		$n=30\%$	
		$\max f_{\text{επιτρ}}$	R_{min}	$\max f_{\text{επιτρ}}$	R_{min}	$\max f_{\text{επιτρ}}$	R_{min}	$\max f_{\text{επιτρ}}$	R_{min}	$\max f_{\text{επιτρ}}$	R_{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	0,385	0,160	82 (79)	0,143	93	0,036	325	0,214	72	0,107	149
60	0,353	0,147	125 (120)	0,131	141	0,033	491	0,196	111	0,098	230
70	0,324	0,135	179 (171)	0,120	203	0,030	701	0,180	161	0,090	335
80	0,299	0,124	247 (235)	0,110	279	0,028	958	0,166	223	0,083	467
90	0,276	0,115	327 (311)	0,102	371	0,026	1.263	0,153	299	0,077	628
100	0,256	0,107	422 (401)	0,095	478	0,024	1.618	0,142	390	0,071	820
110	0,239	0,100	531 (503)	0,089	601	0,022	2.022	0,133	494	0,066	1.043
120	0,225	0,094	652 (617)	0,083	739	0,021	2.473	-	-	-	-
130	0,215	0,089	786 (742)	0,079	890	0,020	2.966	-	-	-	-
140	0,207	0,086	929 (876)	0,077	1053	0,019	3.496	-	-	-	-

) η V^ αντιπροσωπεύει τη V_e ή V_{85} για τον προσδιορισμό αντίστοιχα της R_{min} ή των συντελεστών τριβής. Οι τιμές σε () εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

Εικόνα 10 – Επιτρεπόμενες τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή επαπτομενικής και πλευρικής τριβής και ελάχιστων ακτινών οριζοντίων καμπυλών, σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης της οδού, το ανάγλυφο του εδάφους και τις μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες επικλίσεις (Apostoleris, 2012)

3.1.1.3 Καμπύλες Συναρμογής – Κλωθοειδής Καμπύλη

Η καμπύλη συναρμογής, , αποτελεί ένα γεωμετρικό μέγεθος το οποίο εισήλθε στη μελέτη στις οριζοντιογραφίας οδού, με βασικό σκοπό να εξασφαλισθεί η ομαλή μετάβαση του κινούμενου οχήματος από την ευθυγραμμία σε κυκλικό τόξο.

Η ομαλή μετάβαση αυτή, εξασφαλίζεται με τη μέλετη του διαγράμματος καμπυλότητας της οδού, με καμπυλότητα να ορίζουμε ένα μέγεθος το οποίο είναι αντίστροφο της ακτίνας και υπολογίζεται ως εξής : $C = 1/R$. Χαρακτηριστικά, η καμπυλότητα στο τέλος μιας ευθυγραμμίας είναι ίση με μηδέν, ενώ εντός του κυκλικού τόξου με ακτίνα R , η καμπυλότητα ισούται με $1/R$. Με ζητούμενο τον περιορισμό της φυγοκέντρου δύναμης, οι μελετητές επεδίωξαν την ομαλότερη μετάβαση της καμπυλότητας από την τιμή 0 στην τιμή $1/R$. Δοκιμάστηκε η μεσολάβηση κυκλικών τόξων με ακτίνες $2R$ και $3R$, χωρίς να παρουσιαστεί ουσιαστική μεταβολή της φυγοκέντρου δύναμης.

Συνεπώς, κρίθηκε σάφρον, μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου, να παρεμβάλλεται μια καμπύλη, της οποίας η καμπυλότητα αυξάνεται **αναλογικά** με το μήκος της. Αυτή η καμπύλη είναι η **κλωθοειδής καμπύλη** , και πρόκειται για καμπύλη η οποία χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην επιστήμη της Οδοποιίας.

Η μαθηματική της έκφραση είναι ως εξής : $L = A^2 / R$, όπου L είναι το μήκος της κλωθοειδούς, R η ακτίνα του κυκλικού τόξου και A η παράμετρος της κλωθοειδούς, η οποία είναι και το χαρακτηριστικό της μέγεθος.

Συνεχίζοντας τα περί κλωθοειδών , είναι στιγμή να αναλύσουμε τα κριτήρια βάσει των οποίων ο μελετητής καλείται να επιλέξει τι είδους κλωθοειδή καμπύλη θα εφαρμόσει. Τα κριτήρια είναι τα παρακάτω:

1) Κριτήριο δυναμικής της κυκλοφορίας : $f_r + q = V^2/g \cdot R \rightarrow g \cdot f_r = V^2/R - g \cdot q$

Γνωρίζοντας πως η φυγόκεντρος δύναμη Z δίνεται από τη σχέση $Z = m \cdot Q$, προκύπτει πώς το μέγεθος Q (εγκάρσια επιτάχυνση) ισούται με $Q = Z/m$, όπου συνεπάγεται $Q = V^2/R - g \cdot q$. Εφόσον το μέγεθος Q είναι εξ ορισμού μηδενικό στην ευθυγραμμία και φτάνει έως την τιμή Q κατά την κίνηση στην καμπύλη, υπολογίζεται μια διαφορά ΔQ κατά τη διάρκεια της κίνησης του οχήματος.

Με τη βοήθεια της διαφοράς ΔQ , ορίζεται ένα νέο μέγεθος που εξετάζεται για την κίνηση του οχήματος εντός της καμπύλης, το οποίο ονομάζεται εγκάρσιο τίνανγμα (ή αλλιώς μεταβολή της εγκάρσιας επιτάχυνσης), το οποίο ισούται με : $K_Q = V^3/A * (1 - q/f_r + q)$ (Apostoleris, 2012)

Ορίζοντας λοιπόν το μέγιστο ανεκτό K_Q , προκύπτει η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου A , άρα και της κλωθοειδούς καμπύλης.

2) Κριτήριο μεταβολής της κλίσης των οριογραμμών

Πρόκειται για κριτήριο το οποίο γεννά η φύση της καμπύλης , καθώς , στις ευθυγραμμίες, ο δρόμος συνήθως έχει αμφικλινή διατομή κλίσης - q , μέχρι την αρχή του τόξου συναρμογής.

Ορίζοντας με τα γράμματα A και Ω την αρχή και αντίστοιχα το τέλος του τόξου – καμπύλης συναρμογής , θεωρούμε πώς από το A έως το Ω , εφαρμόζουμε γραμμική μεταβολή της υπερύψωσης. Δηλαδή, μια από τις δύο οριογραμμές του οδοστρώματος ξεκινά να υπερυψώνεται στη θέση A , έτσι ώστε στη θέση Ω να έχει φτάσει να έχει επίκλιση q . Η κλίση της οριογραμμής του οδοστρώματος σε σχέση με τον άξονα της οδού, ορίζεται ως ΔS , και το ΔS είναι μέγεθος το οποίο βάσει ΟΜΟΕ-Χ ορίζεται να έχει μέγιστες και ελάχιστες τιμές. Βάσει και του τύπου που παρουσιάζεται παρακάτω , καθίσταται σαφές πώς, εφαρμόζοντας την μέγιστη τιμή ΔS , προκύπτει η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή του μήκους του τόξου-καμπύλης συναρμογής, και ως εκ τούτου προκύπτει και η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου A της κλωθοειδούς καμπύλης. Ο τύπος υπολογισμού που αναφέρθηκε παραπάνω , και συνδέει τα μεγέθη της ακτίνας και της κλίσης ΔS , είναι ο παρακάτω :

$$\min L = \frac{b * (q_{\varepsilon} + q)}{2 * \max \Delta S}, \text{ όπου :}$$

$b \rightarrow$ πλάτος δρόμου

$q_{\varepsilon} \rightarrow$ επίκλιση στην ευθυγραμμία

$q \rightarrow$ επίκλιση στο κυκλικό τόξο

3) Κριτήριο οπτικής αντίληψης

Από σειρά παρατηρήσεων, έχει προκύψει πως το τόξο συναρμογής γίνεται αντιληπτό στον οδηγό κατά την κίνησή του σε αυτό, όταν η μεταβολή της κατεύθυνσης του οχήματος ξεπερνά ένα γωνιακό μέγεθος. Γι' αυτό το λόγο έχει οριστεί πώς η παράμετρος A της κλωθοειδούς η οποία βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την μεταβολή της κατεύθυνσης αυτή, πρέπει να πληροί την ανισότητα : $A \geq R/3$

4) Κριτήριο ασφάλειας κυκλοφορίας,

Εμπειρικά, έχει προκύψει πως για λόγους ασφαλείας, θα πρέπει η παράμετρος A της κλωθοειδούς, σε σχέση με την ακτίνα του κυκλικού τόξου που έπεται, πρέπει να είναι σύμφωνη με την ανισότητα : $A \leq R$

Συνεπώς, από τα κριτήρια 3 και 4, για την παράμετρο A της κλωθοειδούς προκύπτει πως επιτρέπεται να λαμβάνει τιμές εντός του διαστήματος $[R/3, R]$

5) Κριτήρια κατά ΟΜΟΕ-Χ

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα από το σύγγραμμα () , μπορούμε να εντοπίσουμε τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές της παραμέτρου A της κλωθοειδούς κατά ΟΜΟΕ-Χ :

v_e	103/1E (1960-62)*	ΟΜΟΕ-Χ 2001	RAS-L-1		ΕΛΒΕΤΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ
			1995	1984	
30	30				
40	43			30	35
50	58	30	30	50	50
60		40	40	70	70
65	86				
70		60	60	90	90
80	110	80	80	110	120
90		110	110	140	150
100	154	140	150(120)	170	180
110		180			220
120	194	220	240(120)	270	270
130		260			

(*) Οι τιμές υπολογίστηκαν με $q=8\%$ και $b=7,5\mu$.

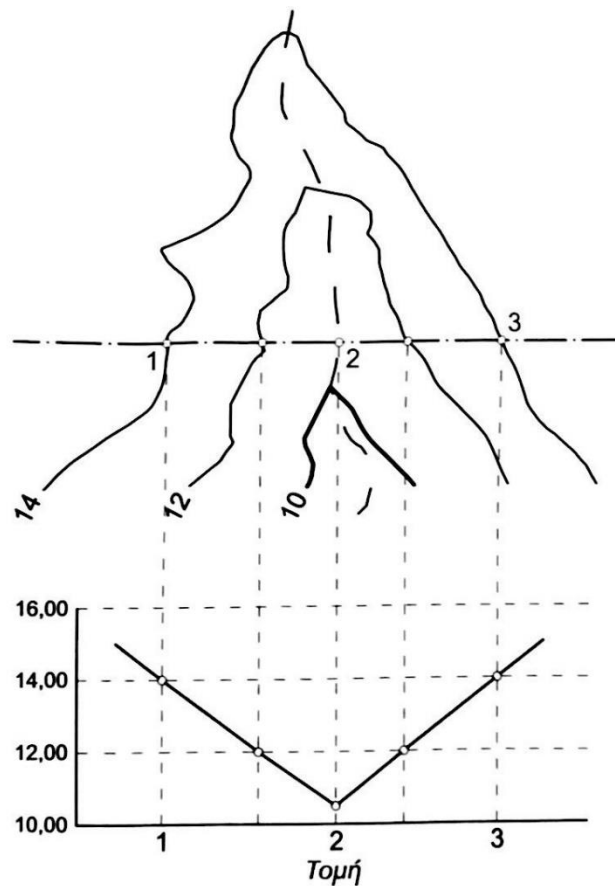
Οι τιμές σε παρένθεση ισχύουν κατ' εξαίρεση

Εικόνα 11 – Ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές της παραμέτρου A κλωθοειδούς καμπύλης, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ

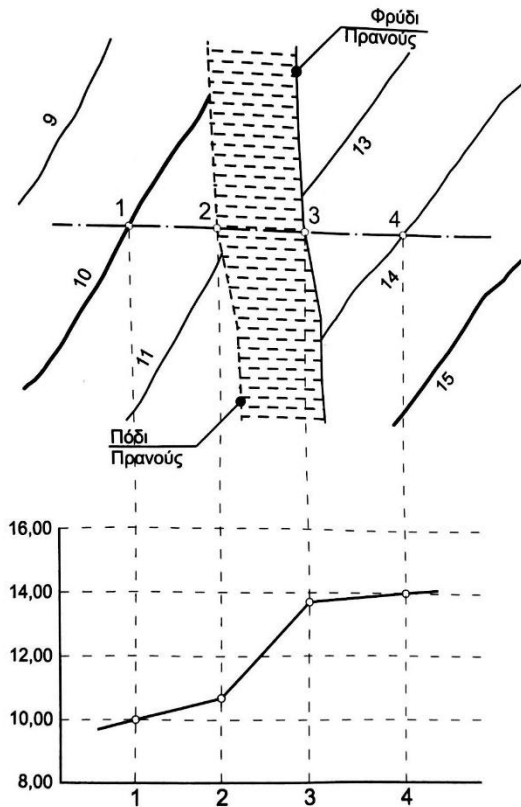
Ακόμη, οι ΟΜΟΕ-Χ ορίζουν πώς, τόξα-καμπύλες συναρμογής ΔΕΝ απαιτούνται, όταν η ακτίνα του κυκλικού τόξου είναι μεγαλύτερη των 1000μ ($R > 1000m$). Τελειώνοντας με την ανάλυση της μελέτης χάραξης σε οριζοντιογραφία, σειρά έχει η χάραξη σε μηκοτομή.

3.1.2 Χάραξη οδού σε Μηκοτομή

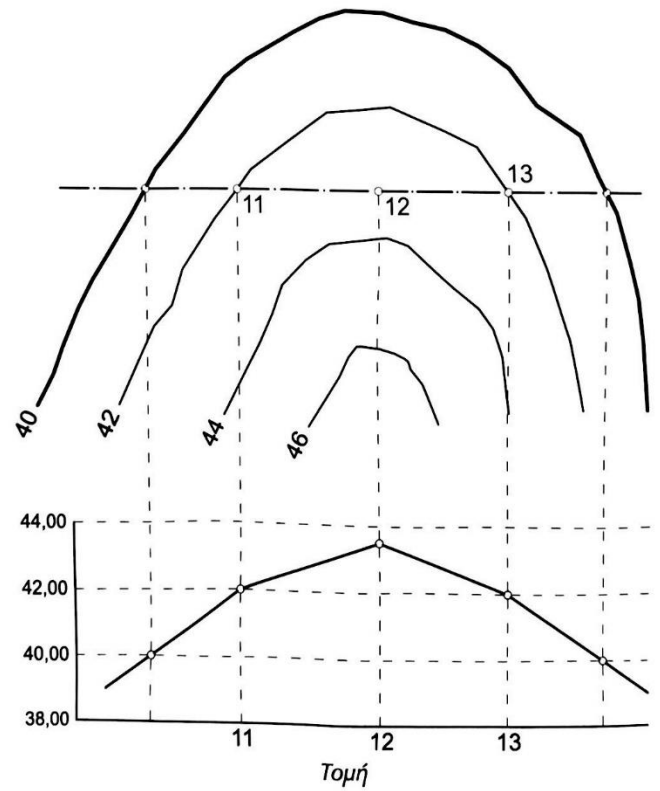
Ως μηκοτομή του εδάφους, ορίζεται η τομή του άξονα της οδού με το έδαφος. Όσο πιο κοντά στην ισοκλινή(**) είναι η πολυγωνική όδευση της οδού, τόσο πιο ομαλή θα είναι και η γραμμή. Όσο περισσότερο παρεκκλίνουμε της ισοκλινούς, τόσο εντονότερο θα είναι και το «ανάγλυφο» της μηκοτομής. Για να γίνει περισσότερο αντιληπτό το αντικείμενο της μηκοτομής οδού, παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα σκαριφήματα χαρακτηριστικών μηκοτομών σημείων του εδάφους:



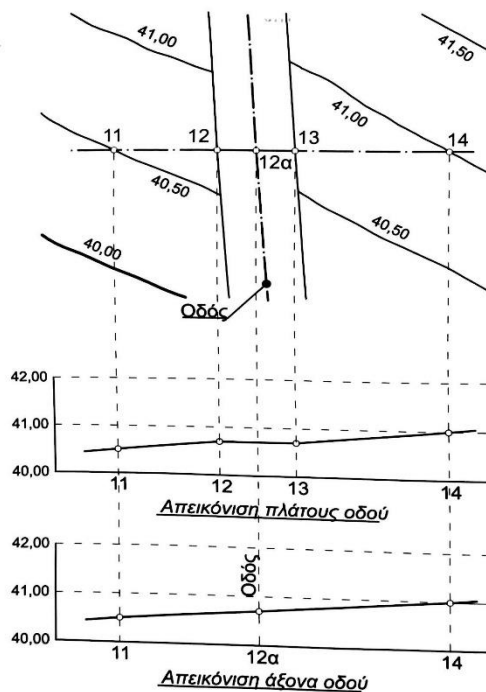
Εικόνα 12 : Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής μισγάγγειας



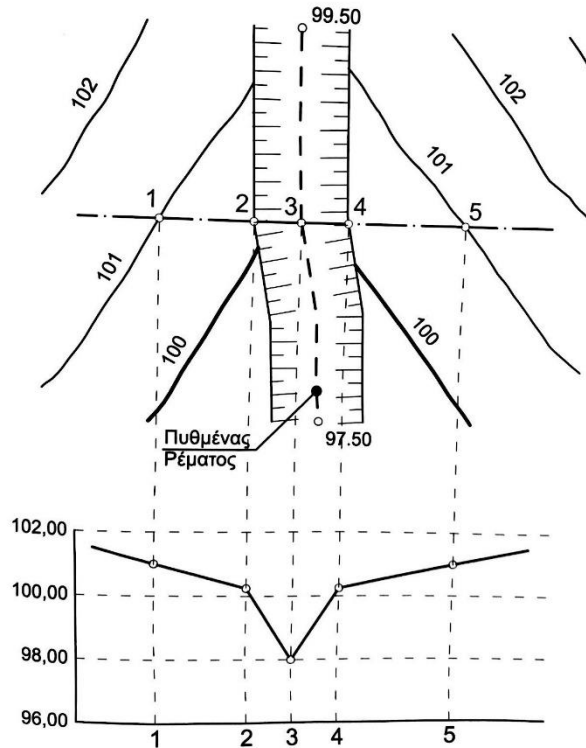
Εικόνα 15 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής πρανούς



Εικόνα 14 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής ράχης



Εικόνα 13 – Υψομετρική απεικόνιση υφιστάμενης οδού

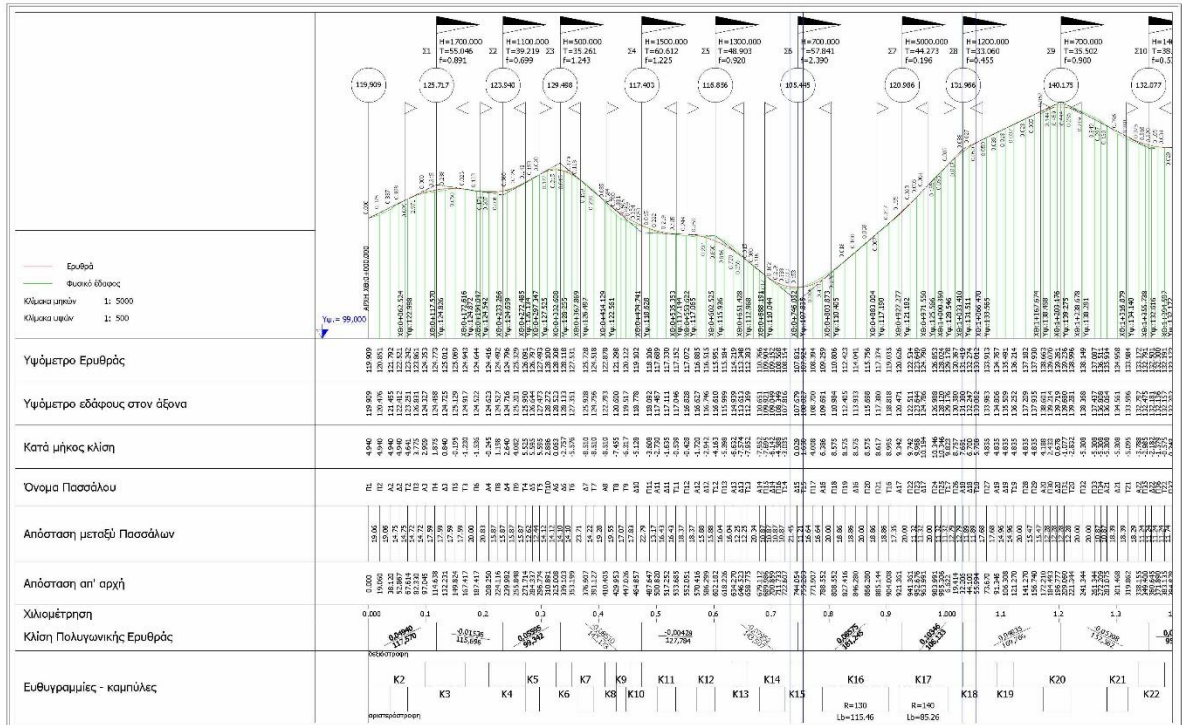


Εικόνα 16 – Υψομετρική απεικόνιση μηκοτομής δρόμου

Ο τρόπος με τον οποίο μια μηκοτομή παρουσιάζεται σε επίπεδο μελέτης, είναι αρκετά συγκεκριμένος και τυποποιημένος, και αποτελείται από έναν πίνακα ο οποίος απεικονίζει στο άνω μέρος του την τομή του εδάφους, και σε επιμέρους σειρές, περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά της οδού εκείνα που σχετίζονται με τη μηκοτομή σε επίπεδο μελέτης. Τα χαρακτηριστικά αυτά αριθμούνται παρακάτω και είναι τα εξής :

- Υψόμετρο ερυθράς
- Υψόμετρο εδάφους
- Αριθμός διατομής
- Απόσταση μεταξύ διατομών
- Απόσταση από την αρχή της οδού
- Χιλιομέτρηση
- Κλίσεις
- Αλληλουχία ευθυγραμμίων – καμπυλών

Ένα τυπικό διάγραμμα μηκοτομής εδάφους παρουσιάζεται παρακάτω :



Εικόνα 17 – Χαρακτηριστική απεικόνιση μελέτης μηκοτομής οδού κατά τα πρότυπα της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων , σε επίπεδο οριστικής μελέτης (Απόσπασμα από μελέτη οδικής ασφάλειας οδικού Δικτύου ν.Χίου – Σύμβαση Μελέτης : ZAF Engineering και συνεργάτες)

Προτού προχωρήσουμε στην τεχνική ανάλυση των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών της μηκοτομής, οφείλουμε να αναφερθούμε στα κριτήρια τα οποία οφείλουμε να ακολουθούμε κατά την υψομετρική χάραξη μιας οδού.

Η βασική ιδέα την οποία ακολουθεί όποιος μελετητής κληθεί να σχεδιάσει μια υλοποιήσιμη οδό και οριζοντιογραφικά αλλά και σε μηκοτομή, είναι πως καλείται να σχεδιάσει μια συνεχή γραμμή η οποία επί της ουσίας καλείται να εξομαλύνει τις υφιστάμενες «ανωμαλίες» του φυσικού εδάφους. Η γραμμή αυτή, με το πέρασμα των χρόνων έχει καθιερωθεί και ονομάζεται **ερυθρά** της οδού, καθώς παλαιότερα, σχεδιαζόταν με έντονο κόκκινο χρώμα. Η ερυθρά, είναι επί της ουσίας μια κατακόρυφη πολυγωνική , η οποία δημιουργεί πλευρές και κορυφές. Οι κορυφές της ορίζονται στο επίπεδο, κατά X από τη χιλιομετρική τους θέση και κατά Z από το υψόμετρό τους, και ονομάζονται σημαίες.

Η ουσία της μηκοτομής, είναι πως σε αυτές τις πλευρές και τις κορυφές που δημιουργούνται, καλούμαστε να εγγράψουμε καμπύλες, οι οποίες ουσιαστικά αποτελούν κατακόρυφα τόξα συναρμογής, και διακρίνονται σε κυρτές και κοίλες. Η εγγραφή των τόξων για τη δημιουργία καμπυλών, γίνεται βάσει έξι κριτηρίων, τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΞΩΝ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ

1. Μέγιστη κατά μήκος κλίση S_{max}
2. Ελάχιστη κατά μήκος κλίση S_{min}
3. Ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης ($minH_k$)
4. Ελάχιστη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης καμπύλης ($minH_w$)
5. Ελαχιστοποίηση και εξισορρόπηση χωματουργικών της οδού.

Αναφορικά με το πρώτο κριτήριο, οι ΟΜΟΕ-Χ, αντιστοιχίζουν μια μέγιστη επιτρεπτή κλίση οδού, η οποία είναι σε άμεση συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης της οδού V_e . Η κλίση αυτή S_{max} , ορίζεται ως η κλίση εκείνη η οποία επιτρέπει στο όχημα να κινείται διατηρώντας την λειτουργική του ταχύτητα. Ο πίνακας παρουσιάζεται παρακάτω:

V_e	103/1E (1960-62)	ΟΜΟΕ-Χ (2001)			RAS-L-1(1984)			RAS-L-1(1995)	
		Πεδινό	Λοφώδες	Ορεινό	Ομάδα			Ομάδα	
					A	B	C	A	B
30	6 (8)	-	-	-	-	-	-	-	-
40	6 (8)	-	-	-	-	-	8 (12)	-	-
50	6 (7)	7 (8)	8 (9)	10 (11)	-	8 (12)	7 (10)	9,0	12,0
60		6 (8)	7 (9)	9 (10)	8,0	7 (10)	6 (8)	8,0	10,0
65	5 (6)								
70	-	5 (7)	6 (8)	8 (9)	7,0	6 (8)	5 (7)	7,0	8,0
80	4 (5,5)	4 (6)	5 (7)	7 (9)	6,0	5 (7)	-	6,0	7,0
90	-	4 (5)	5 (6)	7 (8)	5,0	-	-	5,0	6,0
100	3 (5)	3 (5)	4 (6)	6 (8)	4,5	-	-	4,5	5,0
110	-	3 (5)	4 (6)	5 (6)	-	-	-	-	-
120	3 (4)	3 (5)	4 (6)	-	4,0	-	-	4,0	-
130	-	3 (4)	-	-	-	-	-	-	-

Οι τιμές σε παρένθεση εφαρμόζονται κατ' εξαίρεση

Εικόνα 18 – Επιτρεπόμενες εφαρμοστέες κλίσεις οδών κατά ΟΜΟΕ-Χ και σύγκριση με ισχύοντες κανονισμούς οδοποιίας άλλων χωρών

Είθισται, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των κλίσεων να χρησιμοποιούνται με σφροσύνη από τον εκάστοτε μελετητή, και να προτιμώνται οι σχετικά ήπιες κλίσεις. Η S_{max} χρησιμοποιείται συνήθως μόνο σε περιπτώσεις που κρίνεται απολύτως αναγκαία, και σε αυτές τις περιπτώσεις συνήθως στη διατομή της οδού προστίθεται και μια επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας, η οποία εξυπηρετεί τα βραδυπορούντα οχήματα ώστε αυτά να μην παρεμποδίζουν την απρόσκοπτη κυκλοφορία των υπολοίπων.

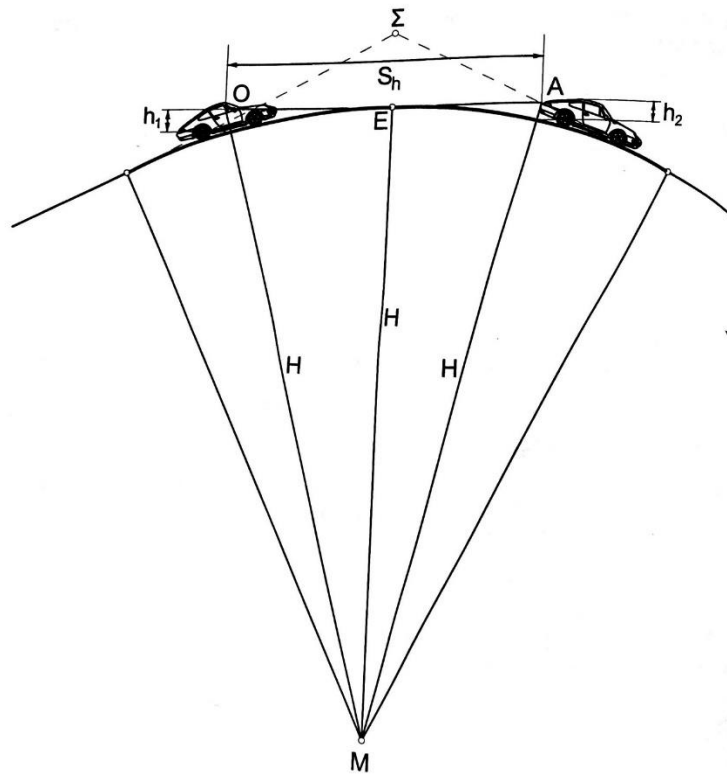
Σχετικά με τις ελάχιστες απαιτούμενες κατά μήκος κλίσεις των οδών, αυτές αφορούν κυρίως την ομαλή απορροή των όμβριων υδάτων, και αποτελούν ως εκ

τούτου αντικείμενο μελέτης περισσότερο τους υδραυλικούς, οπότε δεν θα εμβαθύνουμε περεταίρω.

Προχωρώντας στις κυρτές κατακόρυφες καμπύλες, ως τέτοιες, ορίζουμε κυκλικά τόξα τα οποία εγγράφονται στις πλευρές της πολυγωνικής και στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω. Τις κατακόρυφες καμπύλες, τις θεωρούμε και τις υπολογίζουμε ως κυκλικά τόξα, με ακτίνα καμπυλότητας. Οφείλουμε **πάντοτε** να ελέγχουμε εάν τηρείται η απαιτούμενη ορατότητα για στάση S_h (στην οποία και θα αναφερθούμε διεξοδικά παρακάτω). Γεωμετρικά, ο τύπος που προκύπτει για τον υπολογισμό της ελάχιστης απαιτούμενης καμπύλης είναι ο εξής:

$$\min H_k = (\min S_h)^2 / 2 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$

και προκύπτει βάσει του παρακάτω σχεδίου :



Εικόνα 19 – Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας και ελάχιστης ακτίνας κυρτής κατακόρυφης καμπύλης

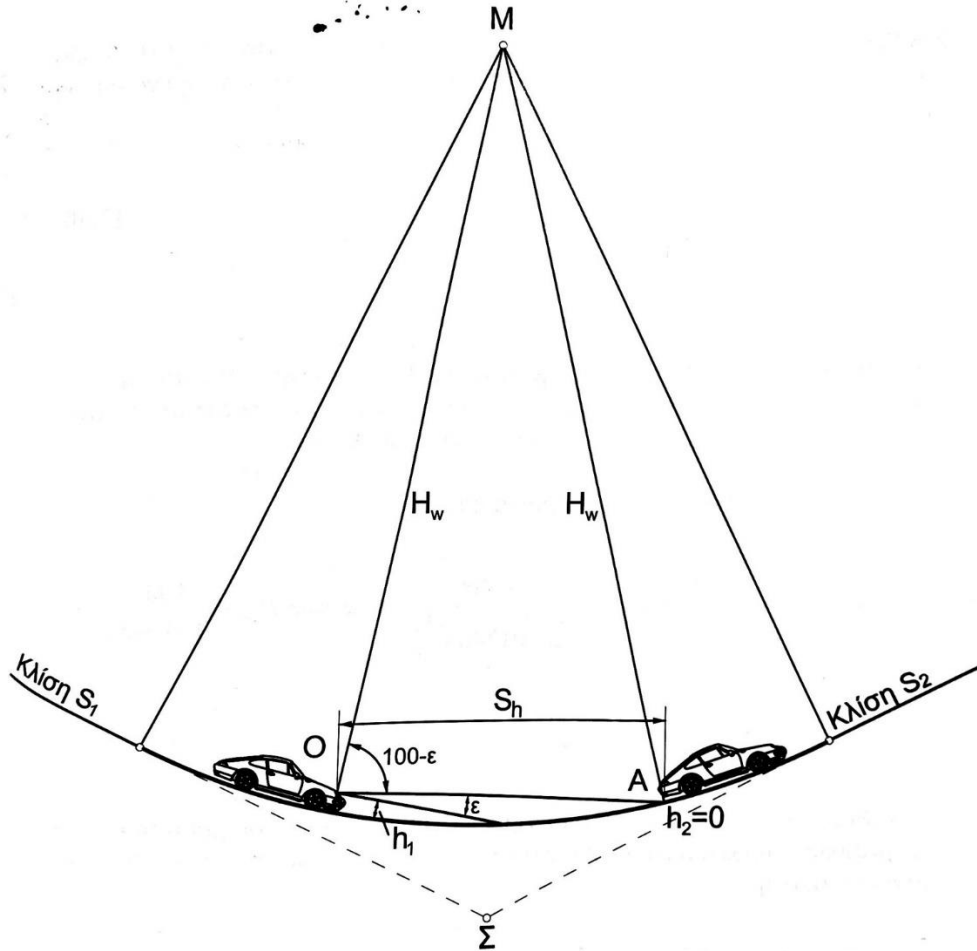
Στην πράξη, η χρήση της ελάχιστης ακτίνας πρέπει να αποφεύγεται.

Τέλος, αναφορικά με την ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα κοίλης κατακόρυφης καμπύλης, πάλι πρέπει όπως και στην περίπτωση των κυρτών καμπυλών να τηρούνται οι προδιαγραφές του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση, αλλά για δύο διαφορετικές περιπτώσεις, και εξετάζεται ακόμη και η άνεση των επιβατών.

Η τήρηση των προδιαγραφών αναφορικά με το μήκος ορατότητας εξετάζεται α) για πορεία κατά τη διάρκεια της νύκτας και β) για περίπτωση κάτω διάβασης (διάβασης κάτω από γέφυρα).

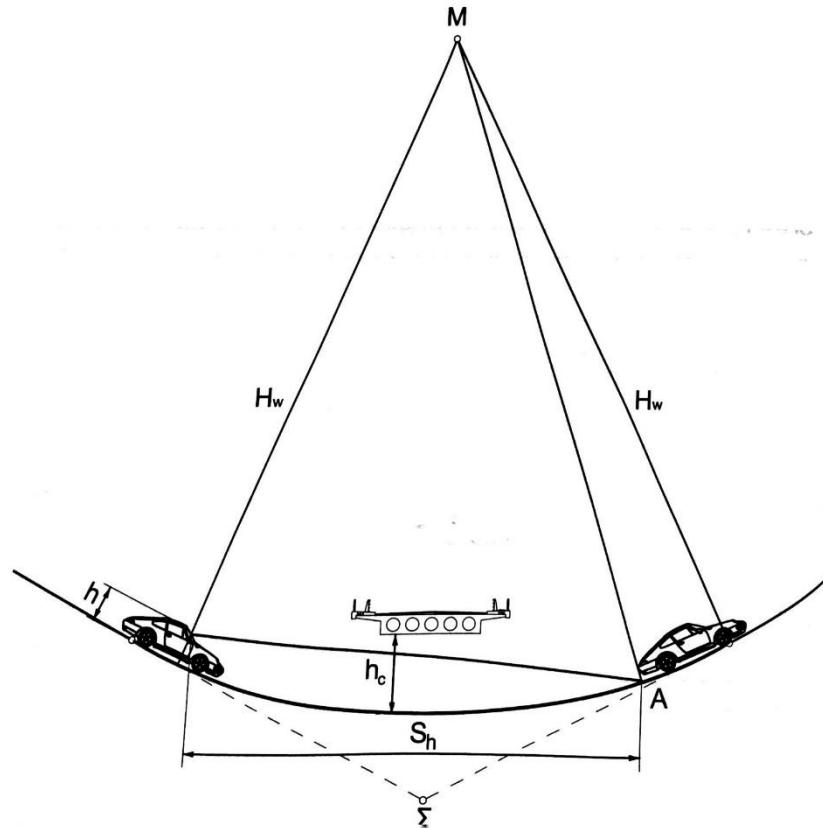
Για την πορεία κατά τη νύκτα, η ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα δίνεται από το παρακάτω σχήμα, βάσει του οποίου προκύπτει και η σχέση υπολογισμού :

$$\min H_w = S_h^2 / (2 * (h + S_h * \sin \epsilon))$$



Εικόνα 20 – Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας και ακτίνας σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη

Για την περίπτωση της κάτω διάβασης, οι ΟΜΟΕ – Χ ορίζουν ένα ελάχιστο ύψος απόστασης από το κάτω μέρος της γέφυρας h_c , όπου $\min h_c = 4.50\text{m}$, και του οποίου η ακριβής απεικόνιση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 21 – Σκαρίφημα ορατότητας για περίπτωση κίνησης σε κοίλη καμπύλη σε συνδυασμό με διέλευση κάτω διάβασης

Τέλος, σε ό,τι αφορά την άνεση των επιβατών κατά την κίνηση στην κοίλη κατακόρυφη καμπύλη, ο τύπος βάσει του οποίου υπολογίζεται η ελάχιστη επιτρεπόμενη ακτίνα, είναι άμεση συνάρτηση ενός συντελεστή άνεσης του επιβάτη, ο οποίος κατ' αρχή ισούται με 0,05, οπότε και η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή της ακτίνας υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\min H_w = V_e^2 / 12.96 \times 0.05 \times 9.81$$

3.1.3 Λειτουργική Κατάταξη Οδών

Προτού ξεκινήσει η εκτενής ανάλυση των μεγεθών και των παραμέτρων που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο, είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναφερθούμε στη βασική διεργασία η οποία μας βοηθά να συντάξουμε την παρούσα εργασία, καθώς συμβάλλει στην απομόνωση από το σύνολο, των οδών εκείνων που βάσει χαρακτηριστικών, ορίζονται ως αστικές οδοί. Ανατρέχοντας στο τεύχος 1 των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων – Λειτουργική Κατάταξη Οδών, διαπιστώνουμε πως, το σύνολο των οδών που τίθενται προς μελέτη στην ελληνική επικράτεια, χωρίζονται σε πέντε μεγάλες ομάδες οδών, καθεμιά από τις οποίες διαθέτει υποκατηγορίες, βάσει του χαρακτηρισμού της εκάστοτε οδού, ο οποίος προκύπτει εν γένει από τον σκοπό τον οποίο αυτή εξυπηρετεί. Παρακάτω, παρατίθεται αυτούσιος ο πίνακας των λειτουργικών χαρακτηριστικών και μελέτης οδών:

Λειτουργικά χαρακτηριστικά οδών		Παράμετροι μελέτης και λειτουργίας οδών				
Ομάδα οδών	Κατηγορία οδού Χαρακτηρισμός οδού	Είδος οχημάτων	Επιτρεπόμενη ταχύτητα V_{limp} [km/h]	Χαρακτηριστικά επιφάνειας κυκλοφορίας	Κόμβοι	Ταχύτητα Μελέτης V_s [km/h]
1	2	3	4	5	6	7
A οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παροδίων ιδιοκτησιών <i>Σημείωση:</i> Η κατηγορία ΑΙ αφορά οδούς σύνδεσης ευρύτερων περιοχών και οι οποίες δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	A I Αυτοκινητόδρομος	μηχ.	≤ 120	διαχωρισμένη	ανισοπ.	(130) 120 110 100
	Οδός ταχείας κυκλοφορίας	μηχ.	≤ 90 (100)	διαχωρισμένη / ενιαία	(ανισοπ.) ισοπ.	(100) 90 (80)
	A II Οδός μεταξύ νομών/επαρχιών	μηχ. γεν.	≤ 110 ≤ 90	διαχωρισμένη	ανισοπ. (ισοπ.)	(120) 110 100 90 (80)
	A III Οδός μεταξύ επαρχιών/οικισμών	μηχ. γεν.	≤ 90 ≤ 80	διαχωρισμένη	(ανισοπ.) ισοπ.	90 80 70 (90) 80 70 (60)
	A IV Οδός μεταξύ μικρών οικισμών	γεν.	≤ 80	ενιαία	ισοπ.	(90) 80 70 60 (50)
	A V Δευτερεύουσα οδός Αγροτική οδός	γεν.	≤ 60 (70)	ενιαία	ισοπ.	(70) 60 50 40 καμία*
AVI Τριτεύουσα οδός Δασική οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	50 40 καμία*	
B οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (ημιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση των παροδίων ιδιοκτησιών <i>Σημείωση:</i> Οι οδοί κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	B I Αστικός αυτοκινητόδρομος	μηχ.	≤ 100	διαχωρισμένη	ανισοπ.	100 90 80 70
	B II Αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας	μηχ.	≤ 90	διαχωρισμένη	ανισοπ. (ισοπ.)	(100) 90 80 70 (60) 90 80 70 60
	B III Αστική αρτηρία	μηχ. γεν.	≤ 70 ≤ 70	διαχωρισμένη	ισοπ. (ισοπ.)	(80) 70 60 (50) 70 60 (50)
	B IV Κύρια συλλεκτήρια οδός	γεν.	≤ 60	ενιαία	ισοπ.	60 50
Γ οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός** ή εντός σχεδίου (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με δυνατότητα εξυπηρέτησης των παροδίων ιδιοκτησιών	Γ III Αστική αρτηρία	γεν. γεν.	50 (≤ 70) 50 (≤ 60)	διαχωρισμένη	ισοπ. (ισοπ.)	(70) (60) 50 (40) (60) 50 (40)
	Γ IV Κύρια συλλεκτήρια οδός	γεν.	≤ 50 (≤ 60)	ενιαία	ισοπ.	(60) 50 (40)
Δ οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση	Δ IV Συλλεκτήρια οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	καμία*
	Δ V Τοπική οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	καμία*
Ε οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την παραμονή	Ε V Τοπική οδός	γεν.	≤ 30 ταχύτητα βηματισμού	ενιαία	ισοπ.	καμία*
	Ε VI Τοπική οδός κατοικιών	γεν.	ταχύτητα βηματισμού	ενιαία	ισοπ.	καμία*

Εικόνα 22 - Πίνακας 2-4 ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ : Λειτουργικά Χαρακτηριστικά και παράμετροι μελέτης οδών

Όπως διακρίνουμε στον παραπάνω πίνακα, οι ομάδες οδών οι οποίες θα μελετήσουμε, είναι οι ομάδες Α, Β και Γ, καθώς αυτές είναι οι τρεις βασικές ομάδες, οι οποίες περιέχουν οδούς με τα στοιχεία που αφορούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δηλαδή τον οδικό σχεδιασμό σε συνθήκες προδιαγραφών, Συγκεκριμένα, θα αναλύσουμε και θα εξετάσουμε όλες τις περιπτώσεις των κατηγοριών Β I (αστικός αυτοκινητόδρομος), II (αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας), III (αστική αρτηρία), IV (κύρια συλλεκτήρια οδός), καθώς και των κατηγοριών Γ III (αστική αρτηρία), IV (κύρια συλλεκτήρια οδός), καθώς και όλες τις περιπτώσεις οδών που ανήκουν στην κατηγορία Α, εξαιρουμένων των οδών κατηγορίας Α V και Α VI (δευτερεύουσα οδός – αγροτική οδός, τριτεύουσα οδός – δασική οδός αντίστοιχα).

Η μέθοδος πάνω στην οποία βασίζεται η παραπάνω κατηγοριοποίηση των οδών ενός οδικού δικτύου, είναι αυτή που υπαγορεύει πως, ένα οδικό δίκτυο πρέπει να ιεραρχείται λειτουργικά, με σκοπό κάθε τμήμα του, βάσει αυτής της ιεράρχησης, να έχει έναν χαρακτήρα λειτουργίας ο οποίος θα σχετίζεται όσο το δυνατόν ακριβέστερα, με την εξυπηρέτηση που καλείται να προσφέρει το τμήμα αυτό, ως μέρος ενός μεγαλύτερου δικτύου. Για βιβλιογραφικούς λόγους, αξίζει να αναφέρουμε πως, οι τρεις βασικές λειτουργίες που καλείται να εξυπηρετήσει μια οδός είναι αυτές της σύνδεσης, της πρόσβασης (στις παρόδιες χρήσεις γης) και της παραμονής (επί της οδού). Ως επί το πλείστον, η λειτουργία της σύνδεσης αφορά το σύνολο των υπεραστικών και των ημιαστικών οδών, και έχει κύριο σκοπό την μεταφορά αγαθών και ατόμων, χωρίς την ύπαρξη για εξυπηρέτηση των άλλων δύο λειτουργικών αναγκών. Η λειτουργία της πρόσβασης, αφορά κυρίως οδούς που βρίσκονται εντός αστικού ιστού ή γενικότερα περιοχών με συνεχή δόμηση, και αφορά την πρόσβαση των χρηστών της οδού, στις παρόδιες χρήσεις γης όπως εμπόριο κλπ. Τέλος, η λειτουργία της παραμονής, που συνδέεται άρρηκτα με την λειτουργία της πρόσβασης, εντοπίζεται σχεδόν αποκλειστικά σε χώρους όπου υφίσταται παρόδια δόμηση, και σπάνια έως ποτέ σε οδούς εκτός αστικού ιστού.

Οι τρεις βασικές κατηγορίες λειτουργιών που προαναφέρθηκαν, έχουν οδηγήσει στην κατάρτιση μιας μεθοδολογίας που αφορά πιο συγκεκριμένα την κατηγοριοποίηση των οδών σε ομάδες, βάσει χαρακτηριστικών τα οποία άπτονται

των τριών αυτών λειτουργιών. Οι κατηγορίες αυτές, όπως φαίνονται και στην εικόνα 7, είναι οι κατηγορίες οδών Α, Β, Γ, Δ και Ε, με καθεμιά από αυτές να χωρίζονται και σε υποκατηγορίες (λειτουργικές βαθμίδες). Εφόσον στην παρούσα εργασία, οι οδοί που θα μελετηθούν ανήκουν στις κατηγορίες Α, Β και Γ, παρακάτω παρατίθενται τα τυπικά χαρακτηριστικά των οδών που αντιστοιχούν στις κατηγορίες αυτές :

- *Ομάδα Οδών Α : Η ομάδα οδών Α περιλαμβάνει οδούς (οδικά τμήματα) που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές), οι οποίες εξυπηρετούν καταρχήν και κυρίως στη σύνδεση. Η λειτουργία της πρόσβασης επιτρέπεται με περιορισμούς στις κατηγορίες II έως IV και απαγορεύεται στην κατηγορία I. Η λειτουργία της παραμονής δεν έχει εδώ εφαρμογή και λαμβάνεται υπόψη μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. (Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001)*
- *Ομάδα Οδών Β : Περιλαμβάνει οδούς οι οποίες διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (ημιαστικές και αστικές) , των οποίων βασική λειτουργία είναι η σύνδεση. Η λειτουργία της πρόσβασης επιτρέπεται σε οδούς αυτής της κατηγορίας με περιορισμούς στις υποκατηγορίες Β III και IV , ενώ απαγορεύεται στις κατηγορίες I και II. (Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001)*
- *Ομάδα Οδών Γ : Περιλαμβάνει οδούς που διατρέχουν περιοχές εντός ή εκτός σχεδίου (περιαστικές ή αστικές) , οι οποίες κατά κύριο λόγο εξυπηρετούν τους σκοπούς τόσο της σύνδεσης , όσο και δευτερευόντως της πρόσβασης και της παραμονής. Οι οδοί της ομάδας Γ που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου, αφορούν περιπτώσεις όπου βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, επιτρέπεται η παράδια δόμηση. (Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001)*

3.1.4 Τμήματα Διατομής Οδού (Ορισμοί – Βασικές διαστάσεις)

Σε συνέχεια των ορισμών που αφορούν τη λειτουργική κατάταξη των οδών κατά το σύστημα που χρησιμοποιούν οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, σειρά έχουν οι ορισμοί που αφορούν τα βασικά μέρη που απαρτίζουν την διατομή μιας οδού. Πρόκειται για έννοιες οι οποίες αφορούν όλα τα είδη των οδών, και αναλόγως της κατηγορίας και της ομάδας στην οποία ανήκει η οδός, η διατομή της απαρτίζεται από όλα τα μεγέθη αυτά, ή από υποσύνολα αυτών.

Ένα από τα βασικότερα τμήματα της διατομής οδού, αποτελεί η **λωρίδα κυκλοφορίας**, κύρια ή πρόσθετη (ΠΛΚ). Ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο, αποτελεί το γεγονός, πώς, κύρια, χαρακτηρίζεται κάθε διηκούσα λωρίδα μιας κανονικής διατομής, ενώ ως **πρόσθετη** χαρακτηρίζεται η λωρίδα εκείνη η οποία προστίθεται στις ήδη υπάρχουσες λωρίδες για συγκεκριμένο μήκος, με σκοπό την εξυπηρέτηση κάποιας πρόσθετης κίνησης οχημάτων, όπως αριστερές η δεξιές στροφές.

Ακόμη ένα σημαντικό είδος λωρίδας επί της διατομής οδού, είναι αυτό της **λωρίδας καθοδήγησης**. Οι λωρίδες καθοδήγησης μπορεί να είναι είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές, με τη βασική διαφορά μεταξύ των δύο να εντοπίζεται στο γεγονός πως οι **εσωτερικές** λωρίδες καθοδήγησης υφίστανται μόνο σε διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας (με σταθερό *New Jersey*** ή διαχωριστική φυτεμένη νησίδα) και είναι **το πλάτος του οδοστρώματος από την εσωτερική οριογραμμή κυκλοφορίας ως την άκρη του οδοστρώματος**, ενώ η **εξωτερική** είναι το πλάτος του οδοστρώματος από την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοφορίας μέχρι το άκρο του οδοστρώματος, όταν η συνέχεια του καταστρώματος της οδού είναι **μη σταθεροποιημένο έρεισμα** (και ταυτίζεται με την οριζόντια διαγράμμιση στην περίπτωση που ακολουθεί σταθεροποιημένο έρεισμα).

Σε συνέχεια των παραπάνω, αναφερόμενοι σε σταθεροποιημένα ή μη έρεισματα, οφείλουμε να αναφέρουμε πως στην κατηγορία των **σταθεροποιημένων ερεισμάτων** συγκαταλέγονται οι **Λωρίδες Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ)**, καθώς και οι **Λωρίδες Πολλαπλών Χρήσεων (ΛΠΧ)**, οι οποίες ως επί το πλείστο εξυπηρετούν παρεμφερείς σκοπούς, δηλαδή τη στάση για

έκτακτη ανάγκη ή την κίνηση σε αυτές οχημάτων έκτακτης ανάγκης (περιπολικά, πυροσβεστικά οχήματα, ασθενοφόρα κλπ.), με τη μεταξύ τους διαφορά να εντοπίζεται στο γεγονός πως οι ΛΕΑ αποτελούν τμήμα διατομής οδών που ανήκουν στις ομάδες Α ή Β, ενώ οι ΛΠΧ συναντώνται συνήθως σε οδούς που κατατάσσονται στις ομάδες οδών Γ, Δ και Ε.

Άλλα βασικά μέρη της τυπικής διατομής μιας οδού, με λεπτές μεταξύ τους αλλά ουσιαστικές εννοιολογικές διαφορές, είναι αυτές του **εύρους οδοστρώματος**, του **εύρους καταστρώματος**, αλλά και των ενιαίων και διαχωρισμένων επιφανειών κυκλοφορίας, βασική διαφορά των οποίων είναι πως οι ενιαίες επιφάνειες ορίζονται ως το σύνολο λωρίδων κυκλοφορίας και καθοδήγησης μεταξύ των οποίων **δεν** υπάρχει διαχωριστική νησίδα, ενώ οι διαχωρισμένες βρίσκονται εκατέρωθεν διαχωριστικής νησίδας. Σε κάθε περίπτωση, το ουσιαστικότερο από το σύνολο των στοιχείων μιας διατομής οδού, είναι το **βασικό πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας**.

Το βασικό πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας, καθορίζεται από το εκάστοτε **αντιπροσωπευτικό όχημα μελέτης** και του **πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων**. Το αντιπροσωπευτικό όχημα μελέτης για την μηχανοκίνητη κυκλοφορία έχει πλάτος 2,50 μ. και ύψος 4,00 μ.. Αντίστοιχα, οι διαστάσεις που αφορούν την μη μηχανοκίνητη κυκλοφορία, δηλαδή την κυκλοφορία ποδηλατών και πεζών, είναι οι εξής: Πλάτος 0,80 μ. για τον ποδηλάτη και 0,75 μ. για τον πεζό, ενώ το ύψος και για τους δύο είναι κοινό και είναι τα 2,00 μ. Αναφορικά με τον **πλευρικό χώρο ελευθερίας κινήσεων**, πρόκειται για τον χώρο του οποίου η ύπαρξη είναι απαραίτητη ως απόσταση ασφαλείας για πιθανώς προεξέχοντα τμήματα φορτίων, πλευρικούς καθρέπτες κλπ., ώστε να είναι δυνατόν να λαμβάνονται υπ' όψη οι μικροεκτροπές της κίνησης των διαφόρων τύπων οχημάτων. Τα πλάτη του πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων ποικίλουν ανάλογα με την ομάδα διατομής στην οποία ανήκει η οδός, και με άνω όριο το 1,25 μ. για οδούς ομάδας διατομών α, μειούται κάθε φορά κατά 0,25 μ., έως την ομάδα διατομών ζ, η οποία δεν έχει προβλεπόμενο πλάτος πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων.

Ομοίως με τις οδούς των οποίων η διατομή ανήκει στην ομάδα ζ, η κυκλοφορία των πεζών θεωρείται πως δεν απαιτεί την ύπαρξη πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων, ενώ για τους ποδηλάτες αυτός ισούται με 0,10 μ. σε κάθε πλευρά της κίνησής τους. Παρακάτω, παρατίθεται ο πίνακας 2-2 του Τεύχους 2 – Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Διατομές, στον οποίο παρουσιάζονται συνολικά οι διαστάσεις των λωρίδων κυκλοφορίας διατομής οδού (αφορά οδούς κατηγοριών Α και Β, με το ενδιαφέρον μας να εστιάζεται στις οδούς κατηγορίας Β):

Πίνακας 2-2 : Διαστάσεις λωρίδων κυκλοφορίας διατομής οδού (πλάτος τυπικού οχήματος για όλες τις ομάδες διατομών : 2,50 m)

Ομάδα διατομής	Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας	Πλάτος πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων τυπικού οχήματος μελέτης	Βασικό πλάτος λωρίδας *	Πρόσθετο πλάτος λωρίδας λόγω αντίθετης κατεύθυνσης κυκλοφορίας	Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας χωρίς αντίθετη κυκλοφορία	Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας με αντίθετη κυκλοφορία
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	2	3	4	5	6	7
α	6 ή 4	1,25	3,75	-	εξωτερική 3,75 εσωτερικές 3,50	-
β	6 ή 4	1,00	3,50	-	3,50	-
	2+1			0,25	3,50	3,75
	2			0,25	-	3,75
γ	4	0,75	3,25	-	3,25	-
	2			0,25	-	3,50
δ	2	0,50	3,00	0,25	-	3,25
ε	2	0,25	2,75	0,25	-	3,00
ζ	2	-	2,50	0,25	-	2,75

* το βασικό πλάτος λωρίδας (στήλη 4) προκύπτει ως άθροισμα του πλάτους του τυπικού οχήματος μελέτης (2,50 m) και του εκατέρωθεν του οχήματος απαιτούμενου χώρου ελευθερίας κινήσεων (στήλη 3)

Εικόνα 23 – Συγκεντρωτικός πίνακας διαστάσεων λωρίδων κυκλοφορίας για κάθε τυπική διατομή οδού (Apostoleris, 2012)

3.2 Τυπικές Διατομές Οδών

Οι τυπικές διατομές των οδών που θα μελετηθούν εν προκειμένω, κωδικοποιούνται βάσει των προδιαγραφών των ΟΜΟΕ – Δ ως εξής: β6ν/ν*σ με καθένα από τα γράμματα και αριθμούς να έχουν μοναδικό ορισμό:

β : Η ομάδα διατομών με βασικό πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας ίσο με 3,50 μ.

6 : Το πλήθος των λωρίδων κυκλοφορίας και για τις δύο κατευθύνσεις της οδού

v : Η κεντρική νησίδα με δύο μονόπλευρα στηθαία τύπου New Jersey ή με αμφίπλευρο μεταλλικό στηθαίο, με ενδιάμεσο χώρο που μπορεί να πληρούται από φυτική γη ή από άλλο υλικό

v^* : Η κεντρική νησίδα με αμφίπλευρο στηθαίο (μεταλλικό ή New Jersey), εδραζόμενο ή πακτούμενο επί του οδοστρώματος.

σ : Σταθεροποιημένο έρεισμα (Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης για οδούς διαχωρισμένης επιφάνειας κυκλοφορίας / Λωρίδα Πολλαπλών Χρήσεων για οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας).

π : Πλευρικός χώρος μεταβλητού πλάτους (για πεζοδρόμιο, ελάχιστο πλάτος $\pi = 1,50 \mu.$,

για πεζοδρόμιο με ποδηλατοδρόμο ελάχιστο πλάτος $\pi = 3,60 \mu.$) (συναντάται μόνο σε διατομές οδών ομάδας Γ)

Οι τυπικές διατομές τις οποίες θα μελετήσουμε στην συνέχεια της εργασίας, παρουσιάζονται ομαδοποιημένες στον παρακάτω πίνακα, συναρτήσεως των ομάδων οδών στις οποίες συναντώνται συχνότερα :

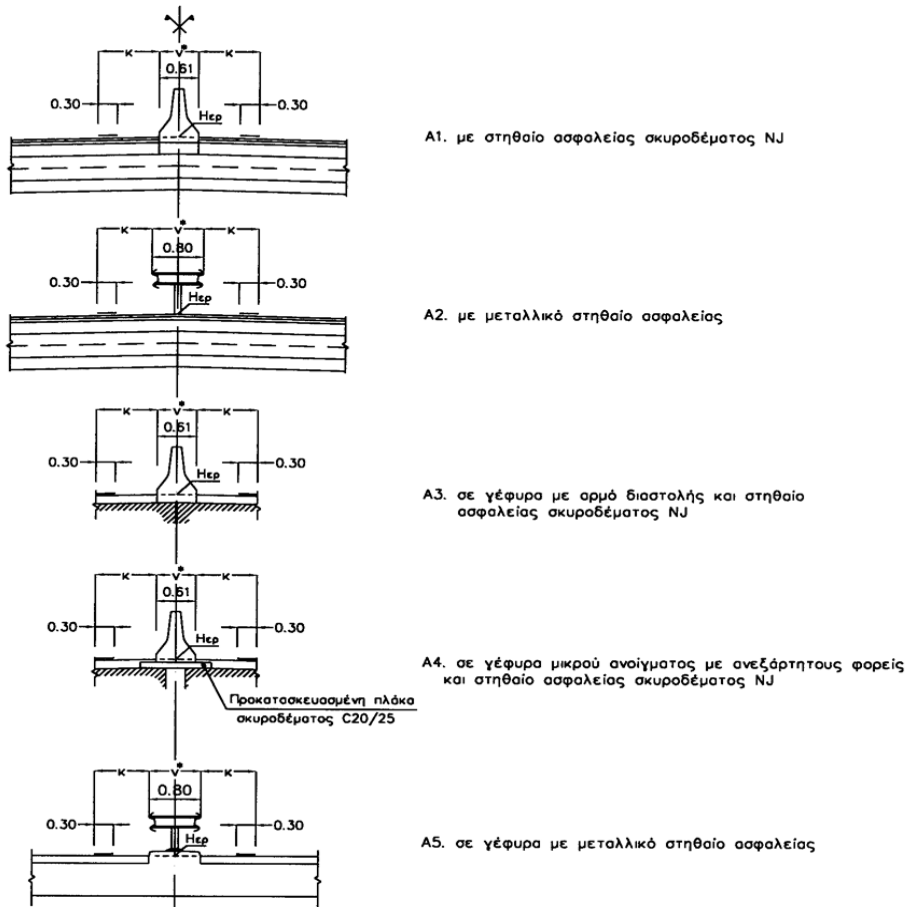
	ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Α	ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Β	ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Γ
ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ	$\alpha 6\nu\sigma$	$\beta 6\nu\sigma$	$\gamma 4\nu P\pi$
	$\alpha 4\nu\sigma$	$\beta 4\nu\sigma$	$\gamma 4 P\pi$
	-	$\beta 4\nu^*\sigma$	$\gamma 2 P\pi$
	-	$\gamma 4\nu\sigma$	$\delta 4 P\pi$
	-	$\gamma 4\nu^*$	-
	-	$\delta 2$	-

Πίνακας 1 – Τυπικές διατομές οδών ανά κατηγορία οδών

3.2.1 Πλάτος Νησίδας

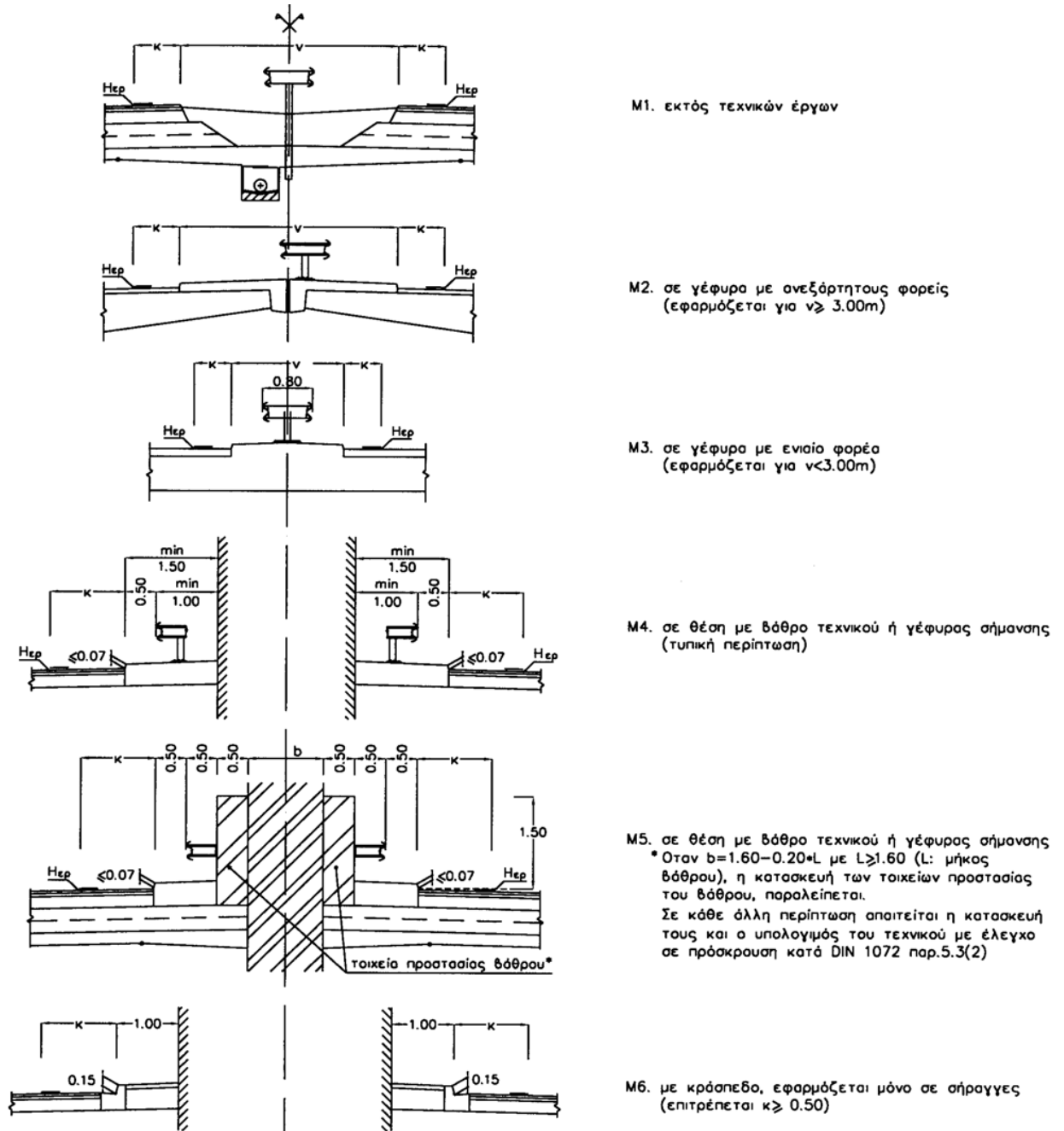
Όπως θα διαπιστώσουμε εν συνεχεία, οι κεντρικές νησίδες αποτελούν αναπόσπαστο σχεδιαστικό κομμάτι της πλειοψηφίας των τυπικών διατομών οι οποίες επιλέγονται για το σχεδιασμό οδών που ανήκουν στις ομάδες Β και Γ. Αυτό συμβαίνει καθώς, η κεντρική νησίδα αποτελεί το βασικό και μοναδικό δομικό διαχωριστικό στοιχείο μεταξύ των αντίθετων ρευμάτων κυκλοφορίας μιας οδού.

Το είδος της κεντρικής νησίδας που επιλέγεται ως μέσον διαχωρισμού της κυκλοφορίας μεταξύ των ρευμάτων οδού, ποικίλλει αναλόγως με την ομάδα οδών στην οποία ανήκει ο κάθε οδικός άξονας, γεγονός το οποίο δικαιολογείται από τις λειτουργίες που πρόκειται να κληθεί να εξυπηρετεί. Έτσι, στις οδούς που ανήκουν στην ομάδα οδών Β, συνηθέστερο επιλεγόμενο τύπο κεντρικής διαχωριστικής νησίδας αποτελεί το στηθαίο τύπου New Jersey ή κάποιο μεταλλικό στηθαίο ασφαλείας, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στα παρακάτω σχήματα :

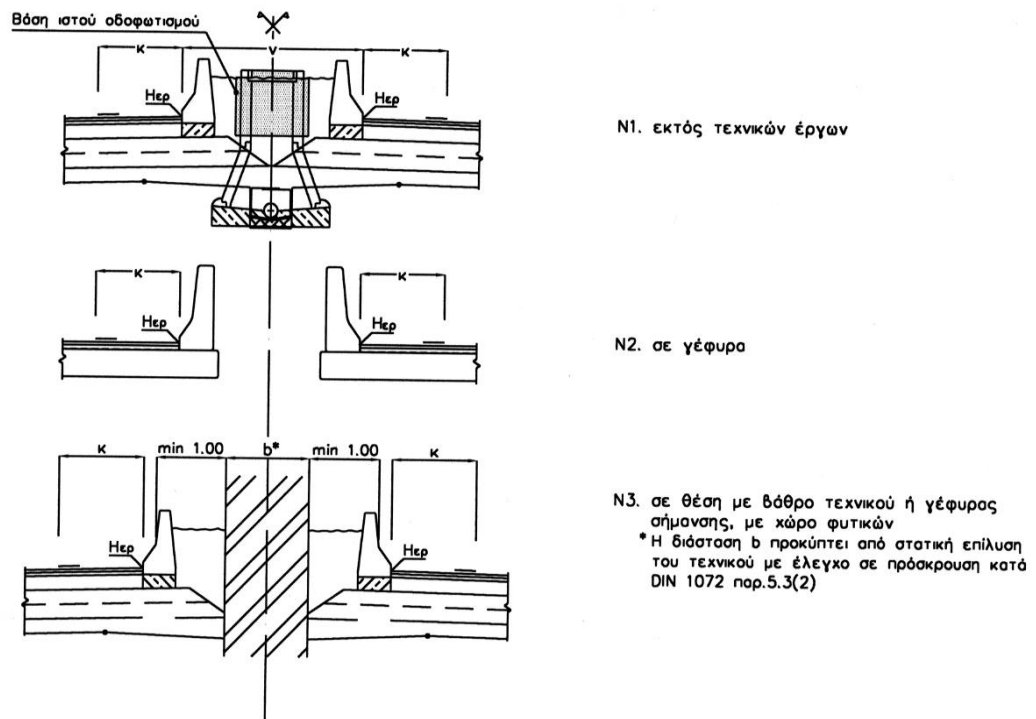


Εικόνα 24 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, ΣΧΗΜΑ Π-6 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με στηθαία NJ – εσωτερικές λωρίδες καθοδήγησης διατομών α6νσ, α4νσ, β6νσ, β4νσ & γ4νσ

Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον σχεδιασμό οδών σε υπεραστικό περιβάλλον



Εικόνα 25 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, Σχήμα Π-7 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας με μεταλλικό στηθαίο – εσωτερικές λωρίδες καθοδήγησης διατομών α6να, α4να, β6να, β4να & γ4να

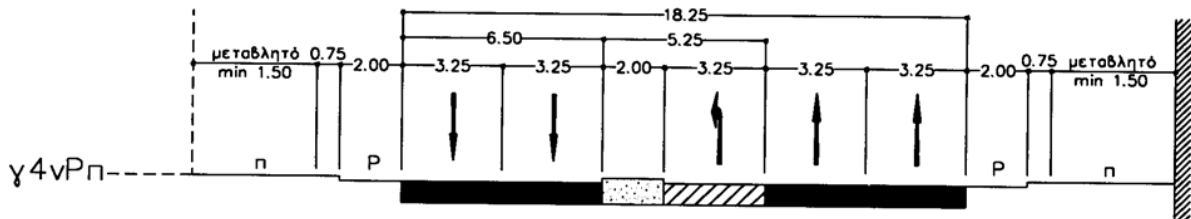


Εικόνα 26 : ΟΜΟΕ-Δ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, ΣΧΗΜΑ Π-8 : Διαμόρφωση κεντρικής νησίδας διατομών β4ν*σ & γ4ν*

Όπως διαπιστώνουμε από τα σχήματα παραπάνω, το τυπικό πλάτος κεντρικής νησίδας σε διατομές οδών που ανήκουν στην ομάδα οδών Α και Β κυμαίνεται μεταξύ 2.00 – 3.00 μ. . Στη βιβλιογραφία αναφέρεται πως, σε περίπτωση που κρίνεται από τον μελετητή πως τίθεται θέμα περιβαλλοντικού, κατασκευαστικού ή ακόμα και οικονομικού λόγου, η κεντρική νησίδα μπορεί να κατασκευαστεί με πλάτος μεγαλύτερο του προβλεπόμενου από τους κανονισμούς. Ακόμα, οφείλουμε να αναφέρουμε πως , κατά κανόνα ισχύει ότι οι κεντρικές νησίδες πρέπει να φυτεύονται, με τρόπο όμως τέτοιο ώστε να μην περιορίζεται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση οχήματος.

Στις κατηγορίες διατομών που ανήκουν στην ομάδα οδών Γ, νησίδα συναντάμε μόνο στην διατομή τύπου γ4νΡπ , όπου όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω, το πλάτος της ορίζεται στα 2.00μ. Το συγκεκριμένο πλάτος νησίδας, είναι και το ελάχιστο επιτρεπτό βάσει των ΟΜΟΕ – ΚΑΟ για οδούς ομάδας Γ, καθώς στο τεύχος των οδηγιών αναφέρεται ρητά πως, τα πλάτη των νησίδων

οφείλουν να είναι μεγαλύτερα ή ίσα με 2.00μ., ενώ σε περίπτωση που οι νησίδες φέρουν δενδροφύτευση, ιστούς οδοφωτισμού, ιστούς φωτεινής σηματοδότησης ή βρίσκονται σε περιοχές με συχνή διάβαση πεζών, το πλάτος τους οφείλει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 2,50 μ.



Εικόνα 27: ΟΜΟΕ-ΚΑΟ , Τυπική Διατομή τύπου γ4vPπ

3.1.3 Πλάτος Επιφάνειας Κυκλοφορίας

Συνεχίζοντας την ανάλυση σχετικά με τα στοιχεία της τυπικής διατομής μιας οδού, θα εστιάσουμε αρχικά στα προκαθορισμένα πλάτη επιφανειών κυκλοφορίας (οδών ομάδας Γ) , όπως αυτά ορίζονται από τους έως τώρα ισχύοντες κανονισμούς. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως για τη λήψη της απόφασης που θα ορίσει εν τέλει το πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας σε μια οδό, εξετάζονται οι εξής περιπτώσεις παράλληλης κίνησης οχημάτων:

- i. Φορτηγό // φορτηγό (ως τυπικό πλάτος φορτηγού οχήματος ορίζεται πλάτος $\pi = 2,50 \mu.$ – ΟΜΟΕ ΚΑΟ , σελ.6 πίνακας 2-1)
- ii. Λεωφορείο // φορτηγό (όμοια με το τυπικό πλάτος φορτηγού οχήματος, τυπικό πλάτος για κάθε είδος λεωφορείου ορίζεται βάσει των ΟΜΟΕ – ΚΑΟ πλάτος $\pi = 2,50 \mu.$)

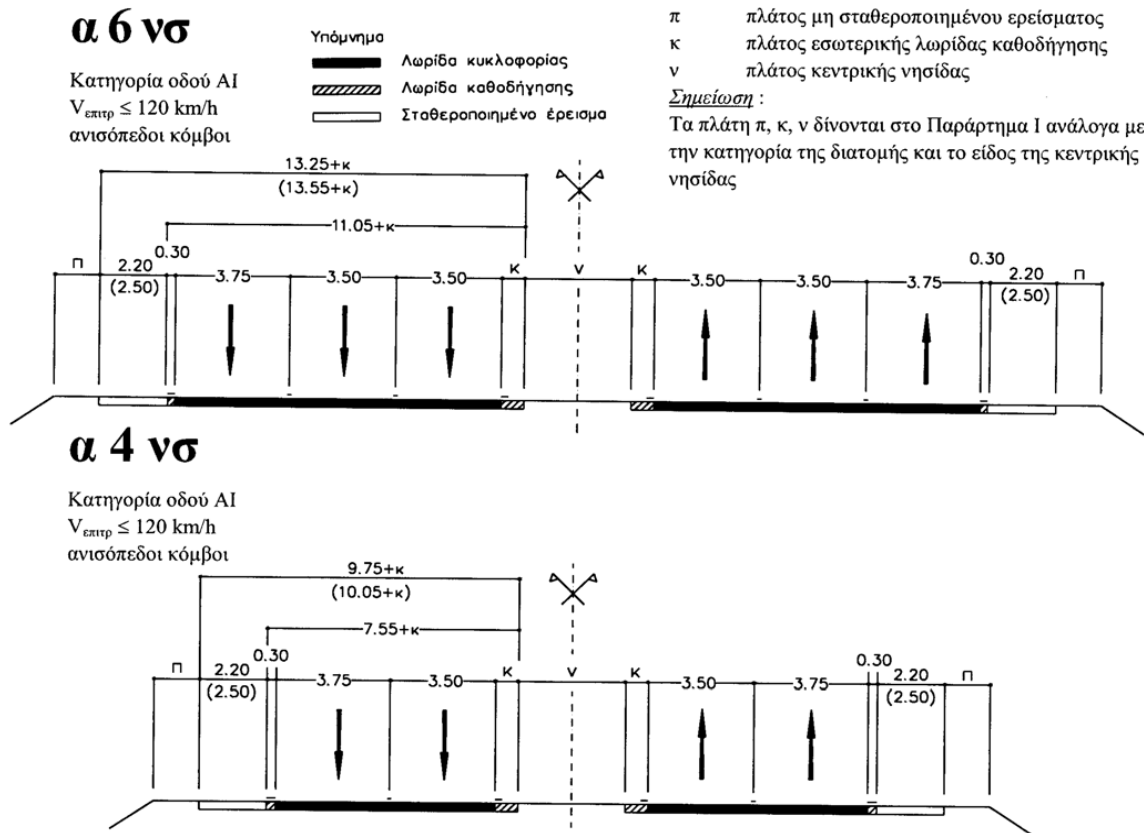
Όπως αναφέραμε ήδη στην προηγούμενη ενότητα, από τις τέσσερις κατηγορίες διατομών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οδών ομάδας Γ, η μοναδική στην οποία συναντάται διαχωριστική κεντρική νησίδα, είναι η διατομή τύπου **γ4vPπ**. Για τη συγκεκριμένη κατηγορία εν προκειμένω, εφόσον διαθέτει διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, ως τυπικό πλάτος για κάθε κατεύθυνση

λαμβάνεται κατά κανόνα πλάτος οδοστρώματος $\pi = 6,50$ μ. Σε περίπτωση που ο μελετητής κρίνει πως η πιθανότητα παράλληλης κίνησης λεωφορείου με λεωφορείο ή λεωφορείου με φορτηγό όχημα είναι σπάνια, ως επαρκές πλάτος ανά κατεύθυνση θεωρείται και πλάτος $\pi = 6,00$ μ.

Για όλες τις υπόλοιπες διατομές οδών ομάδας Γ, στις οποίες δεν προβλέπεται η ύπαρξη κεντρικής νησίδας μεταξύ των δύο ρευμάτων κυκλοφορίας, το τυπικό πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας ορίζεται $\pi = 6,50$ μ. για οδούς 2 κατευθύνσεων με μία λωρίδα ανά κατεύθυνση. Εξαιρέση αποτελούν οδικές αρτηρίες κατηγορίας Γ στις οποίες παρατηρείται αυξημένος φόρτος κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων (π.χ. εντός Βιομηχανικών Περιοχών) , καθώς σε τέτοιες περιπτώσεις θεωρείται σκόπιμο το πλάτος του οδοστρώματος να φτάνει έως και τα 7,00μ. . Αντίθετα, σε περιπτώσεις οδών της ίδιας κατηγορίας όπου η κίνηση βαρέων οχημάτων είναι αμελητέα, όταν υπάρχει περιορισμός στο πλάτος του οδοστρώματος, αυτό δύναται να διαμορφωθεί σε πλάτος $\pi = 6,00$ μ. ή σε εξαιρετικές περιπτώσεις ακόμα και σε πλάτος $\pi = 5,50$ μ.. Τέλος, στην περίπτωση ύπαρξης δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση, το τυπικό πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας κυμαίνεται μεταξύ $13,00 \mu. \leq \pi \leq 12,00 \mu.$, αναλογικά με τα πλάτη των λωρίδων, σε περίπτωση όπου οι διαθέσιμες επιφάνειες **ΔΕΝ** είναι περιορισμένες.

Έχοντας αναλύσει ήδη τα μεγέθη που αφορούν την επιφάνεια κυκλοφορίας οδών κατηγορίας Γ, συνεχίζουμε με τις οδούς κατηγορίας Β. Σε οδούς κατηγορίας Β , αναλόγως με την επιλογή ομάδας διατομής, και ως εκ τούτου, την ύπαρξη ή μη κεντρικής νησίδας, ο όρος «επιφάνεια κυκλοφορίας» ταυτίζεται με το «εύρος οδοστρώματος», το οποίο στις περιπτώσεις των διατομών με κεντρική νησίδα, προσμετρά και το πλάτος της κεντρικής νησίδας στο συνολικό πλάτος . Πρέπει να επισημάνουμε πώς στο εύρος οδοστρώματος προσμετρώνται τα πλάτη τόσο των Λωρίδων Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) , όσο και των Λωρίδων Πολλαπλών Χρήσεων (Λ.Π.Χ.), όταν και εφόσον αυτές υπάρχουν. Τέλος, μιας και αποτελούν τη μειοψηφία στον τομέα των τυπικών διατομών, οφείλουμε να αναφέρουμε και τα μεγέθη που αφορούν τις διατομές οδών κατηγορίας Α. Όμοια με τις οδούς κατηγορίας Β , το πλάτος νησίδας των δύο διατομών των οδών κατηγορίας Α κυμαίνεται μεταξύ 2,00μ. και 3,00μ. , και προσμετράται στο συνολικό πλάτος

καταστρώματος, το οποίο για τη διατομή α6νσ υπολογίζεται ίσο με 35,50μ. ενώ για τη διατομή α4νσ είναι ίσο με 28,50μ (Apostoleris, 2012) . Παρακάτω, παρατίθενται οι διατομές των οδών της κατηγορίας Α, Β και Γ που αφορούν το πεδίο μελέτης μας:



Εικόνα 28 – ΟΜΟΕ - Δ : Τυπικές διατομές οδών κατηγορίας Α – διατομές α6νσ ,α4νσ

β 4 νσ




Κατηγορία οδού

AII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 110$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

BI : $V_{\text{επιτρ}} \leq 100$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

BII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 90$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

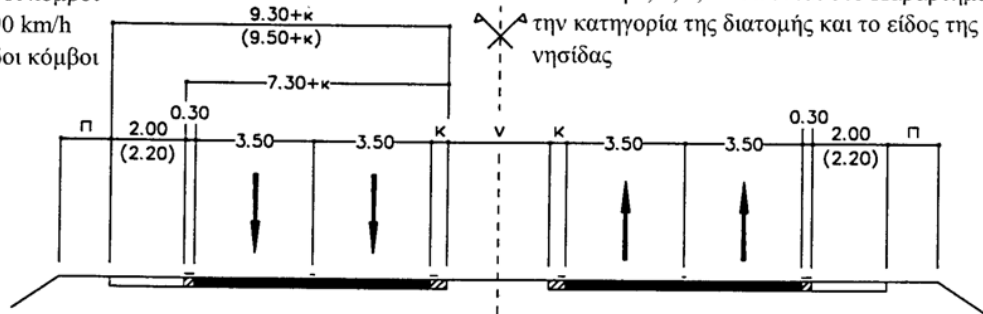
Υπόμνημα

-  Λωρίδα κυκλοφορίας
-  Λωρίδα καθοδήγησης
-  Σταθεροποιημένο έρεισμα

- π πλάτος μη σταθεροποιημένου ερείσματος
- κ πλάτος εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης
- ν πλάτος κεντρικής νησίδας
- ν* πλάτος στηθαίου

Σημείωση :

Τα πλάτη π, κ, ν, ν* δίνονται στο Παράρτημα Ι ανάλο την κατηγορία της διατομής και το είδος της κεντρική νησίδας



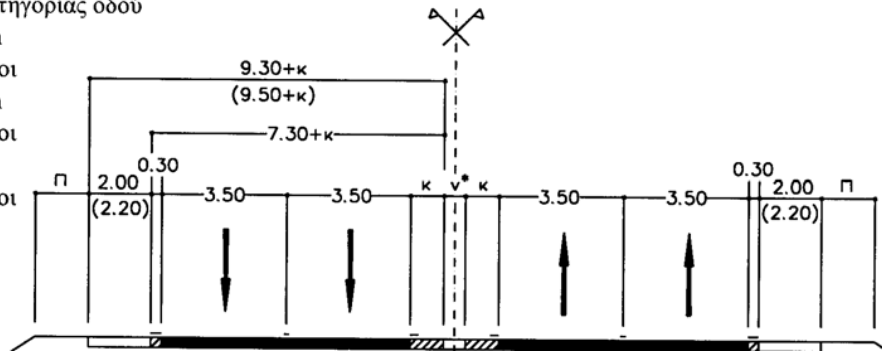
β 4 ν*σ

Σε δυσχερή τμήματα κατηγορίας οδού

AII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 110$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

BI : $V_{\text{επιτρ}} \leq 100$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

BII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 90$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι



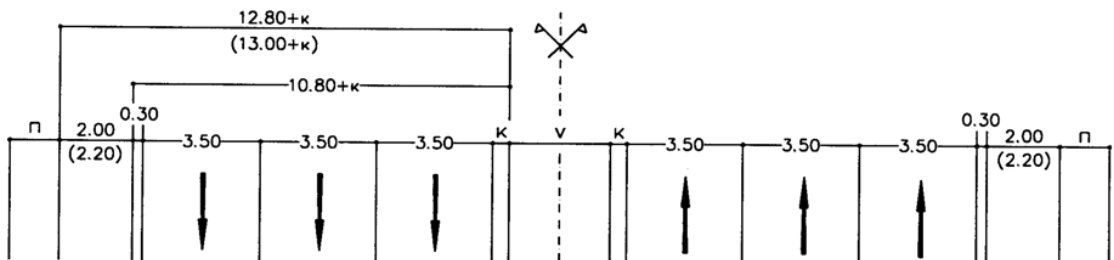
Εικόνα 29 – ΟΜΟΕ – Δ : Τυπικές Διατομές οδών κατηγορίας Β – διατομές β4νσ , β4ν*σ

β 6 νσ

Κατηγορία οδού

AII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 110$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι

BI : $V_{\text{επιτρ}} \leq 100$ km/h
ανισόπεδοι κόμβοι



Εικόνα 30 – ΟΜΟΕ – Δ : Τυπική διατομή οδού κατηγορίας Β – διατομές β6νσ

δ 2

Κατηγορία οδού

AIII, AIV : $V_{\text{επιτρ}} \leq 80 \text{ km/h}$

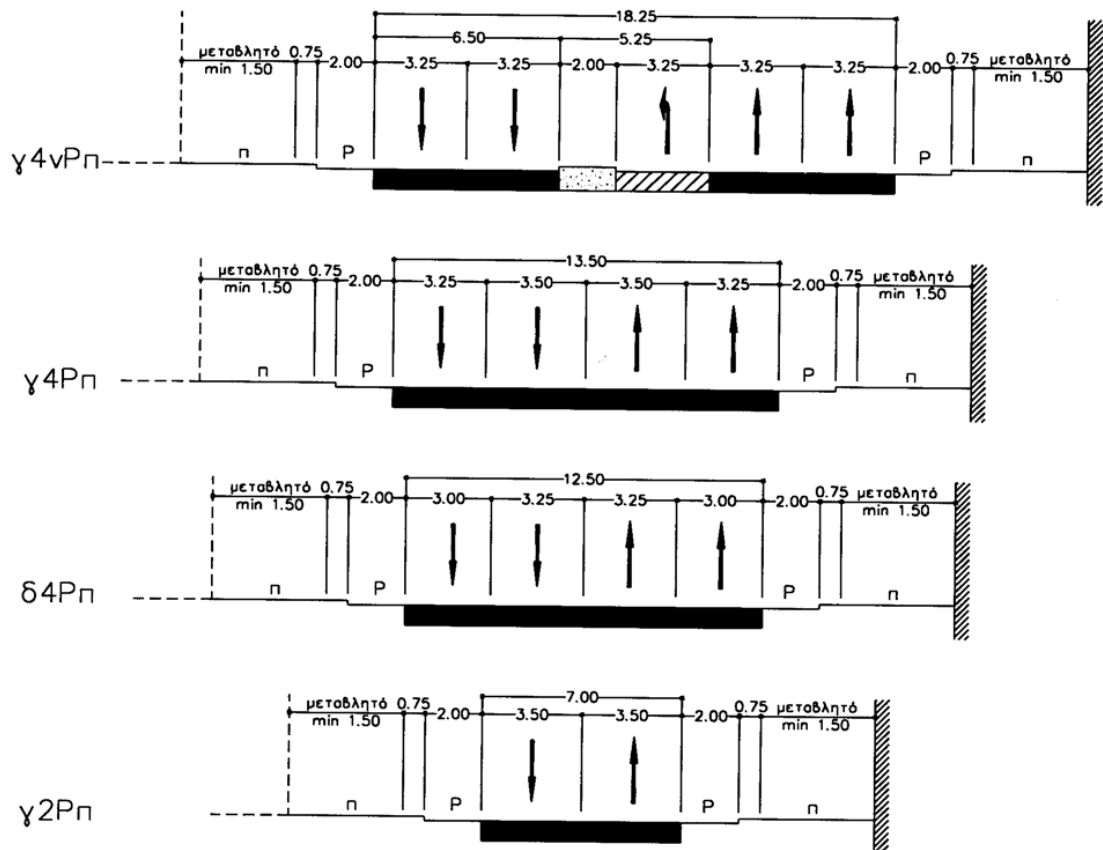
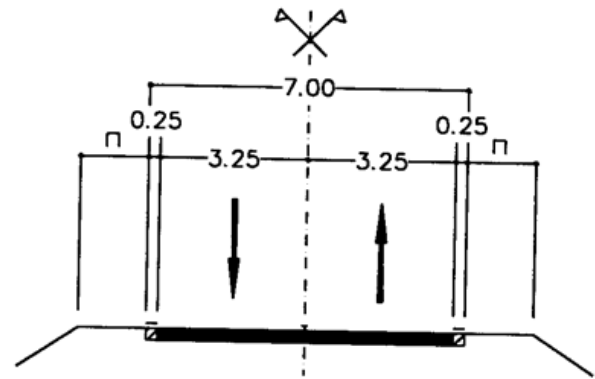
ισόπεδοι κόμβοι

BIII : $V_{\text{επιτρ}} \leq 70 \text{ km/h}$

ισόπεδοι κόμβοι

BIV : $V_{\text{επιτρ}} \leq 60 \text{ km/h}$

ισόπεδοι κόμβοι



Εικόνα 33 -ΟΜΟΕ Δ, ΟΜΟΕ ΚΑΟ – Τυπικές Διατομές οδών κατηγορίας Β και Γ

Βάσει των παραπάνω σχημάτων , αλλά και βάσει των τυπικών μεγεθών των διατομών, όπως αυτά ορίζονται από τις ΟΜΟΕ – Δ , προκύπτουν συνολικά τα τυπικά πλάτη των επιφανειών κυκλοφορίας των οδών κατηγορίας Β, ως εξής :

- **Διατομή τύπου β6νσ**

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας = $2 \times (12,80 + \kappa) + \nu$, όπου :

κ → πλάτος εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης

ν → πλάτος κεντρικής νησίδας

$\kappa =$
 → 0,95μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 → 0,50μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

$\nu =$
 → 2,60μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 → 3,00μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

Συνεπώς, για οδό κατηγορίας Β και τυπικής διατομής β6νσ προκύπτει πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας π :

$\pi =$
 → 30,10μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 → 29,60μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- **Διατομή τύπου β4νσ**

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας = $2 \times (9,30 + \kappa) + \nu$, όπου :

$\kappa =$
 → 0,95μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 → 0,50μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

$\nu =$
 → 2,00μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 → 2,00μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\pi =$
- 22,50μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 21,60μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- **Διατομή τύπου β4ν*σ**

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας = $2 \times (9,30 + \kappa) + \nu$, όπου :

- $\kappa =$
- 0,94⁵ μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 0,95μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\nu =$
- 0,61μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 0,80μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\pi =$
- 20,70μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 21,30μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- **Διατομή τύπου γ4νσ**

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας $\pi = 2 \times (8,80 + \kappa) + \nu$, όπου :

- $\kappa =$
- 0,95 μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 0,50 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\nu =$
- 2,00 μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 2,00 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\pi =$
- 21,50 μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 20,60 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- **Διατομή τύπου γ4ν***

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας $\pi = 2 \times (7,00 + \kappa) + \nu$, όπου :

- $\kappa =$
- 0,74⁵ μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 0,65 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\nu =$
- 0,61 μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 0,80 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- $\pi =$
- 15,00 μ. , για κεντρική νησίδα με διαχωριστικό τύπου New Jersey
 - 16,10 μ. , για κεντρική νησίδα με μεταλλικό στηθαίο

- **Διατομή τύπου δ2**

Πλάτος επιφάνειας κυκλοφορίας (εύρος οδοστρώματος) $\pi = 7,00$ μ.

3.3 Μήκος ορατότητας οδού

Ως μήκος ορατότητας , ορίζεται η ελεύθερη ορατή διαδρομή της οδού, δηλαδή πόσο «μακριά» μπορεί να δει ο οδηγός πάνω στην οδό. Δεν θα πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε, πώς, το μήκος ορατότητας σε μια οδό, είναι ένα μέγεθος που βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το ύψος του οφθαλμού του οδηγού του οχήματος, το οποίο κατά ΟΜΟΕ-Χ (1^η έκδοση – 2001), λαμβάνεται ίσο με $h_A = 1.06\text{m}$.

3.3.1 Μήκος ορατότητας οδού – Μελέτη Μηκοτομής

Ένα από τα χαρακτηριστικότερα μεγέθη τα οποία εξετάζονται συναρτήσει της μηκοτομής μιας οδού κατά τον σχεδιασμό της, είναι το διατιθέμενο μήκος ορατότητας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μήκος ορατότητας ορίζεται η ελεύθερη ορατή διαδρομή της οδού, δηλαδή πόσο «μακριά» μπορεί να δει ο οδηγός πάνω στην οδό. Δεν θα πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε, πώς, το μήκος ορατότητας σε μια οδό, είναι ένα μέγεθος που βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με το ύψος του οφθαλμού του οδηγού του οχήματος, το οποίο κατά ΟΜΟΕ-Χ (1^η έκδοση – 2001), λαμβάνεται ίσο με $h_A = 1.06m$.

Κατά την εφαρμογή των προδιαγραφών για την ορθή μελέτη ορατότητας οδού σε μηκοτομή, διακρίνουμε δύο διαφορετικές περιπτώσεις αναφορικά με τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας, τις εξής παρακάτω :

A) Η μελέτη μήκους ορατότητας που αφορά **κυρτή καμπύλη** της μηκοτομής της οδού, κατά την οποία εξετάζουμε τον περιορισμό της ορατότητας από την ύπαρξη της ίδιας της καμπύλης

B) Η μελέτη μήκους ορατότητας που αφορά **κοίλη καμπύλη** της μηκοτομής της οδού, κατά την οποία εξετάζουμε την ορατότητα μέσω προβολών κατά την διάρκεια της νύχτας, αλλά και την επάρκεια ορατότητας σε κάτω διαβάσεις.

Για τη μελέτη μήκους ορατότητας σε κυρτή καμπύλη μηκοτομής οδού, τα μεγέθη που τίθενται υπό εξέταση είναι αυτά που απεικονίζονται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα, και η σημασία του καθενός δίνεται παρακάτω :

V_{pi} : Κορυφή της κατακόρυφης καμπύλης

V_{pc} : Αρχή της κατακόρυφης καμπύλης

V_{pt} : Τέλος της κατακόρυφης καμπύλης

L : Μήκος κατακόρυφης καμπύλης

H : Ακτίνα κατακόρυφης καμπύλης

E : θέση του οφθαλμού

H_1 : Ύψος οφθαλμού

H_2 : Ύψος αντικειμένου

O : Θέση του αντικειμένου

T : Σημείο επαφής (EO) με την καμπύλη – το σημείο που αποτελεί το φυσικό εμπόδιο που παρεμβάλλεται μεταξύ του οφθαλμού του οδηγού και του εμποδίου που βρίσκεται επί της οδού.

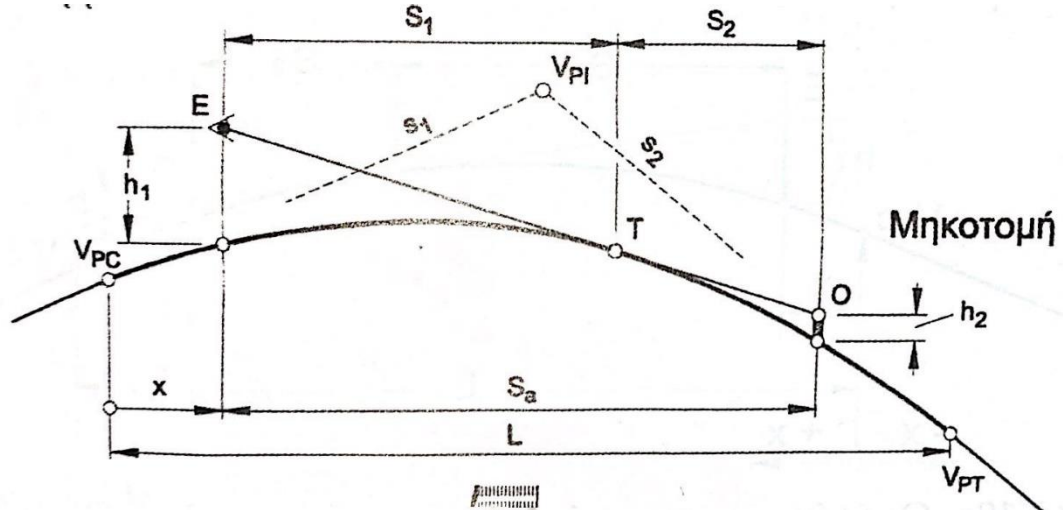
S : Διατιθέμενο μήκος ορατότητας

S_1, S_2 : Συνιστώσες διατιθέμενου μήκους ορατότητας

X : Απόσταση οφθαλμού από την αρχή V_{PC} της καμπύλης

Κατά τη μελέτη ορατότητας σε κυρτή καμπύλη, διακρίνουμε τρεις υποπεριπτώσεις :

- i. Οδηγός και αντικείμενο βρίσκονται εντός καμπύλης ($S < L$)
- ii. Ο οδηγός βρίσκεται πριν την καμπύλη , και το αντικείμενο εντός της

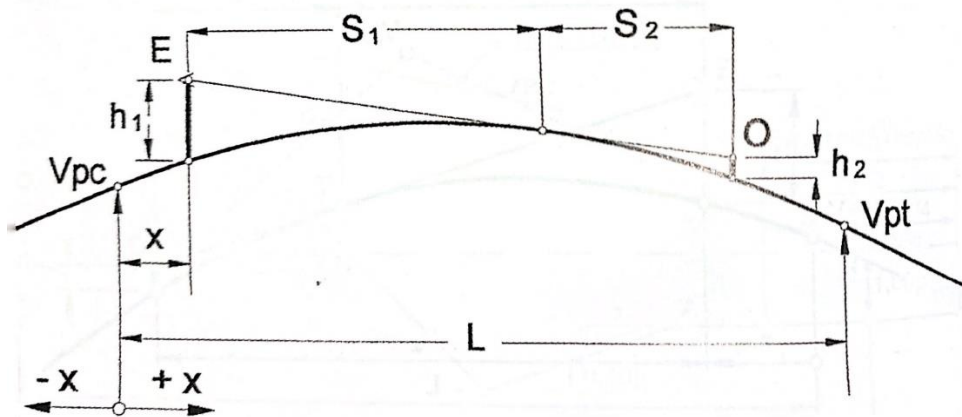


Εικόνα 34 - Σχεδιάγραμμα ορατότητας σε κυρτή κατακόρυφη καμπύλη (Apostoleris, 2012)

($X < 0$)

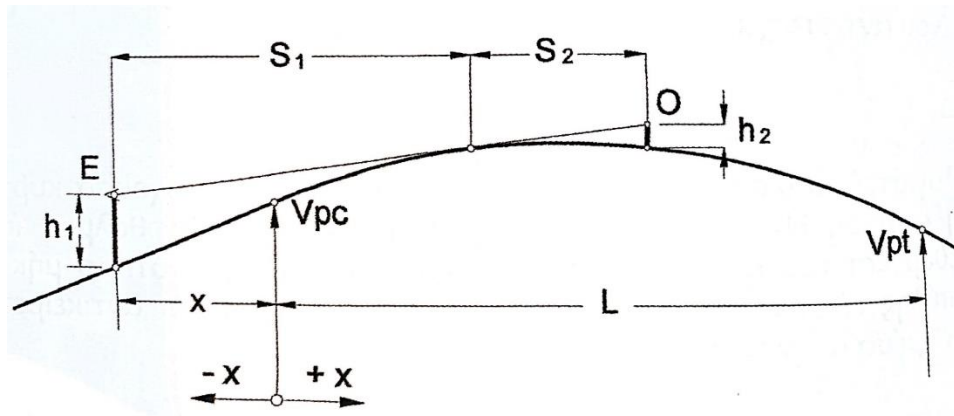
- iii. Ο οδηγός βρίσκεται εντός της καμπύλης και το αντικείμενο εκτός αυτής.

Και οι τρεις υποπεριπτώσεις, παρουσιάζονται σχηματικά παρακάτω :



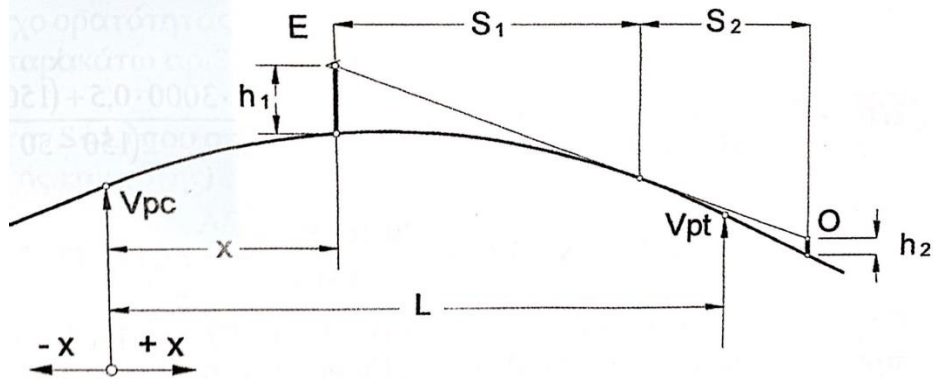
Εικόνα 35 - Οδηγός και αντικείμενο ΕΝΤΟΣ καμπύλης (Apostoleris, 2012)

Το διαθέσιμο μήκος ορατότητας στην παραπάνω περίπτωση υπολογίζεται ως εξής : $S = \sqrt{2H}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$



Εικόνα 36 - Οδηγός εκτός καμπύλης – αντικείμενο εντός καμπύλης (Apostoleris, 2012)

Το διαθέσιμο μήκος ορατότητας σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται ως εξής : $S = \sqrt{2Hh_1 + x^2} + \sqrt{2Hh_2}$



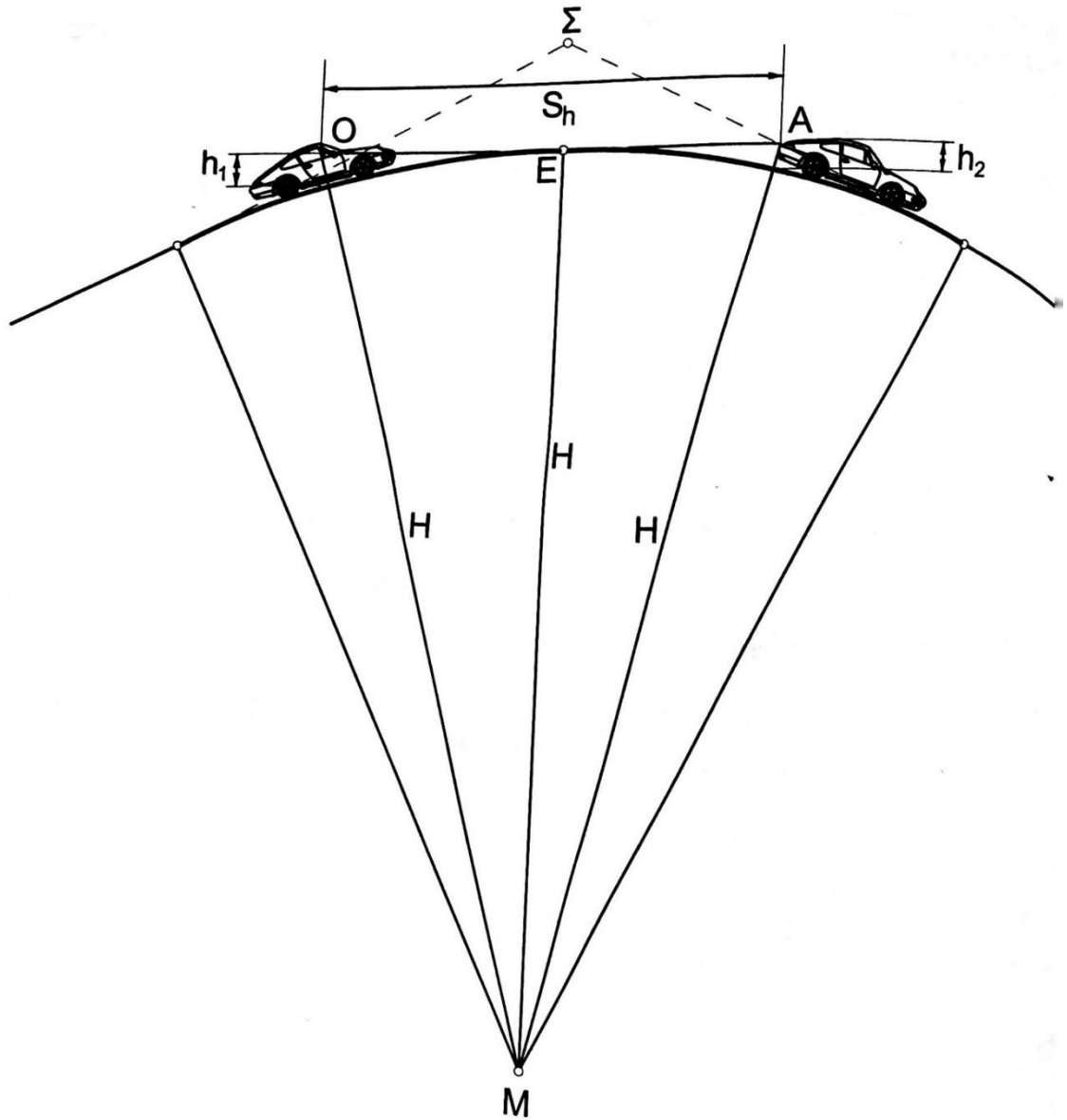
Εικόνα 37 - Οδηγός εντός καμπύλης – αντικείμενο εκτός αυτής (Apostoleris, 2012)

Στην τελευταία περίπτωση, το διατιθέμενο μήκος ορατότητας υπολογίζεται με τον τύπο : $S = \sqrt{2Hh_1 + 2Hh_2} + (L-x-S_1) / 2(L-x-S_1)$.

Αξίζει να αναφέρουμε πως, εξετάζοντας και τις τρεις περιπτώσεις για κίνηση σε κυρτή καμπύλη, καταλήγουμε στο ασφαλές συμπέρασμα πως το διατιθέμενο μήκος ορατότητας έχει πάντα την μικρότερη τιμή στην περίπτωση που ο οδηγός και το αντικείμενο βρίσκονται **εντός** της καμπύλης.

Σε κάθε περίπτωση, ο μελετητής οφείλει να λαμβάνει υπ' όψη του και τις ελάχιστες επιτρεπτές τιμές των ακτινών των καμπυλών επί των οποίων το όχημα κινείται. Ο υπολογισμός της τιμής της ελάχιστης επιτρεπτής ακτίνας κατακόρυφης καμπύλης κατά ΟΜΟΕ γίνεται βάσει γεωμετρικών υπολογισμών επί του παρακάτω σχεδιαγράμματος, και υπολογίζεται από τον τύπο :

$$\min H_k = S^2_h / 2 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$



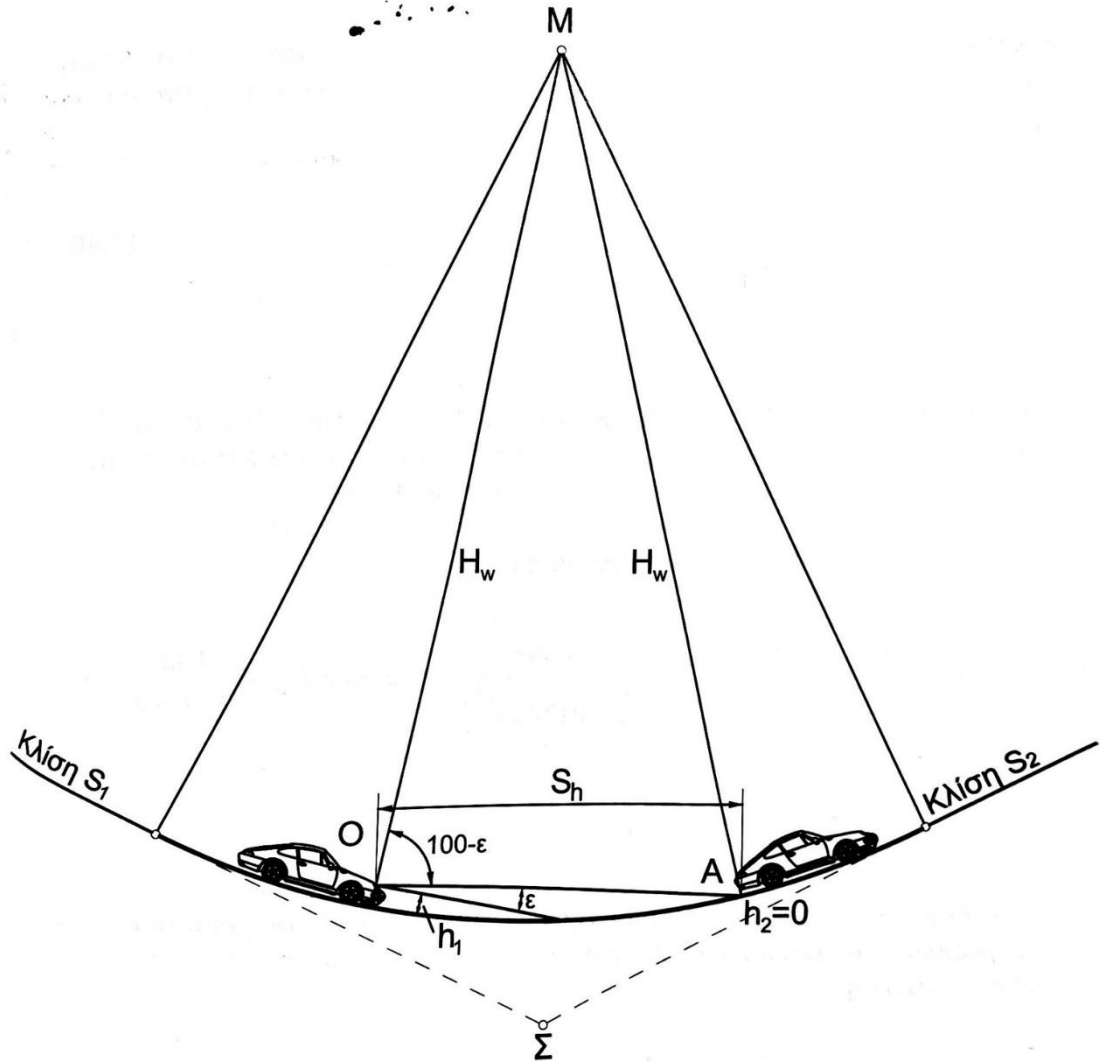
Εικόνα 38 – Ορατότητα σε κυρτή κατακόρυφη καμπύλη (Apostoleris, 2012)

Σε συνέχεια των παραπάνω, θα εξετάσουμε και την περίπτωση μελέτης μήκους ορατότητας σε κατακόρυφες (κοίλες) καμπύλες. Οι υποπεριπτώσεις των κοίλων καμπυλών διακρίνονται στις εξής δυο κατηγορίες :

- i. Εξέταση ορατότητας κατά τη νύχτα
- ii. Εξέταση ορατότητας σε «κάτω» διαβάσεις

Στην πρώτη κατηγορία, θεωρώντας ως δεδομένο πώς κατά τη διάρκεια της νύχτας η ορατότητα εξασφαλίζεται από τους προβολείς του οχήματος, ορίζουμε τρεις παράγοντες από τους οποίους αυτή εξαρτάται. Οι παράγοντες αυτοί είναι :

- i. Το ύψος του προβολέα του οχήματος : Συνήθως υπολογίζεται από 0,5μ. έως 0,6μ.
- ii. Η γωνία διασποράς της δέσμης φωτός του προβολέα του οχήματος : Συνήθως λαμβάνεται ίση με 1° .
- iii. Το ύψος του αντικειμένου που έχει τον ρόλο του εμποδίου επί του οδοστρώματος. Θεωρείται ως επί το πλείστο ίσο με μηδέν (0) , καθώς αυτή είναι η δυσμενέστερη εκδοχή εμποδίου που μπορεί να συναντήσει κανείς επί του οδοστρώματος. Το μηδέν , αντιπροσωπεύει εμπόδια όπως λακκούβες, λάδια κλπ. Ακόμα και στην περίπτωση όμως κινούμενου οχήματος στο αντίθετο ρεύμα, το ύψος του αντικειμένου θεωρείται και πάλι ίσο με το μηδέν , καθώς η δέσμη του προβολέα του οχήματος φωτίζει το «εμπόδιο» από κάτω προς τα επάνω.



Εικόνα 39 - Ορατότητα σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη κατά τη διάρκεια της νύχτας (Apostoleris, 2012)

Βάσει και του παραπάνω σχήματος, καθίσταται σαφές πως το μήκος ορατότητας κατά την κίνηση σε κοίλη καμπύλη υπολογίζεται ως συνάρτηση των προαναφερθέντων μεγεθών, σύμφωνα με τον εξής τύπο :

$$S_h = 2 * (\tan \varepsilon + h_1/S_h) * H_w \text{ ή } \min H_w = \frac{S_h}{2 * (\tan \varepsilon + \frac{h_1}{S_h})} \text{ (τύπος που αφορά τον}$$

υπολογισμό της ελάχιστης κατακόρυφης ακτίνας κατά τη μελέτη της οδού σε μηκοτομή)

Όπου : S_h : Το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση
 ε : Η γωνία διασποράς της δέσμης φωτός του προβολέα σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα του αυτοκινήτου

h_1 : Το ύψος του προβολέα

H_w : Το μήκος της ακτίνας της κοίλης καμπύλης

Η δεύτερη κατηγορία μελέτης περί επαρκούς μήκους ορατότητας σε κοίλη καμπύλη, αφορά την επάρκεια του μήκους ορατότητας σε περιπτώσεις «κάτω» διαβάσεων, δηλαδή σε περιπτώσεις που υπάρχει διάβαση οχήματος κάτω από υφιστάμενο ή προς κατασκευή τεχνικό έργο (τις περισσότερες φορές αφορά γέφυρες). Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κυριότερος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει το μήκος ορατότητας του οδηγού του οχήματος, είναι το ελεύθερο ύψος κάτω από το τεχνικό έργο (γέφυρα ή άλλο), το οποίο συμβολίζεται ως C . Το ύψος C καθορίζεται ανάλογα με την κατηγορία της οδού που διέρχεται κάτω από τη γέφυρα. Ακόμα, συνυπολογίζονται και οι διαφορές κλίσεων μεταξύ της ανωφέρειας και της κατωφέρειας της καμπύλης, το μήκος της καμπύλης L , όπως και το ύψος του οφθαλμού πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος, όσο και το ύψος του αντικειμένου. Δεδομένου όμως πως στη διάθεση μας έχουμε μόνο τυπολόγιο από τους αμερικανικούς κανονισμούς σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων AASHTO, δεν θα προχωρήσουμε σε περαιτέρω ανάλυση.

3.3.2 Μήκος ορατότητας – Μελέτη Οριζοντιογραφίας

Έχοντας ήδη αναλύσει προηγουμένως την ουσία του μεγέθους του μήκους ορατότητας σε αυτοκινητόδρομο, και έχοντας καλύψει ήδη τη μια από τις δύο συνιστώσες μελέτης μιας οδού, την μηκοτομή, δεν έχουμε παρά να αναφερθούμε και στα βασικά μεγέθη που εξετάζονται αναφορικά με το μήκος ορατότητας σε οδό κατά την οριζοντιογραφική μελέτη της.

Τα εξεταζόμενα είδη μηκών ορατότητας τα οποία απασχολούν τον μελετητή κατά την μελέτη οδού σε οριζοντιογραφία είναι τα παρακάτω:

- Μήκος ορατότητας για στάση (S_h)
- Μήκος ορατότητας για συνάντηση (S_t)
- Μήκος ορατότητας για απόφαση (S_d)

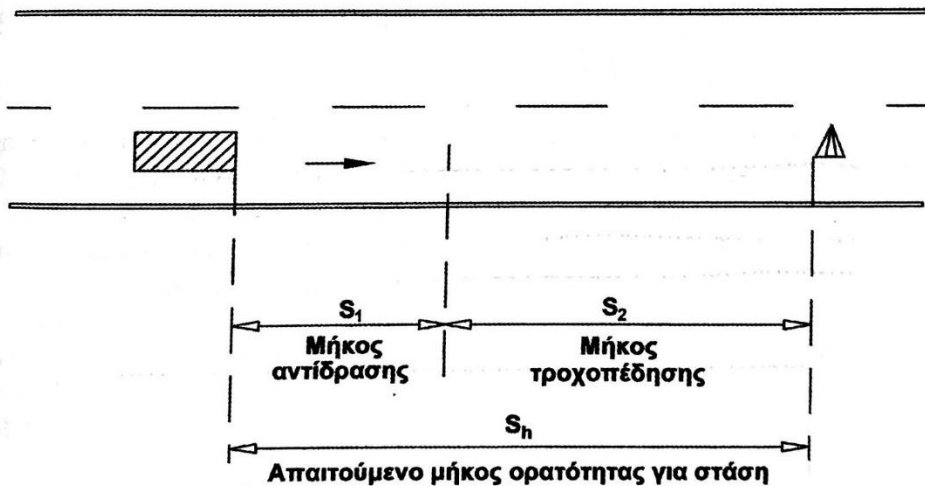
- Μήκος ορατότητας για προσπέραση (S_u)

3.3.2.1 Μήκος Ορατότητας για στάση

Το μήκος ορατότητας για στάση (S_h), είναι το ελάχιστο μήκος το οποίο είναι απαραίτητο για τον οδηγό, έτσι ώστε αυτός κινούμενος με τη λειτουργική ταχύτητα της οδού, να καταφέρει να ακινητοποιήσει το όχημα με ασφάλεια προτού να συγκρουστεί με κάποιο πιθανό απροσδόκητο εμπόδιο που βρίσκεται στο οδόστρωμα. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα, το μήκος ορατότητας για στάση, είναι το άθροισμα των συνιστωσών S_1 και S_2 όπου:

S_1 : Είναι το μήκος της διαδρομής που θα διανύσει το όχημα από την στιγμή που ο οδηγός αντιλαμβάνεται την ύπαρξη του εμποδίου επί του οδοστρώματος, μέχρι την στιγμή που θα πιέσει τον μοχλό πέδησης του οχήματος [Συνιστώσα αντίδρασης].

S_2 : Είναι το μήκος της διαδρομής που θα διανύσει το όχημα από τη στιγμή που θα πιέσει ο οδηγός τον μοχλό πέδησης, μέχρι τη στιγμή που το όχημα θα ακινητοποιηθεί πλήρως [Συνιστώσα τροχοπέδησης].



Εικόνα 40 - Μήκος Ορατότητας για στάση (Apostoleris, 2012)

Το σημαντικότερο μέγεθος που λαμβάνουμε υπ' όψη κατά τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας για στάση, είναι αυτό του χρόνου αντίδρασης του οδηγού t_R (reaction). Ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού υπολογίζεται ως το άθροισμα ορισμένων επιμέρους χρονικών διαστημάτων κατά τη διάρκεια των οποίων

διαδραματίζονται ουσιαστικές διεργασίες όπως η αντίληψη του εμποδίου, η επεξεργασία της πληροφορίας από τον εγκέφαλο του οδηγού για την αντιμετώπιση της κατάστασης, η λήψη αλλά και τέλος η εκτέλεση της απόφασης.

$$\text{Συνεπώς, είναι } t_{R(\text{reaction})} = t_{P(\text{perception})} + t_{I(\text{intellection})} + t_{E(\text{emotion})} + t_{V(\text{volition})}$$

Επιστρέφοντας στις δύο συνιστώσες τους συνολικού απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση S_1 και S_2 , γνωρίζουμε πως κατά τη διάρκεια κίνησης στη διαδρομή S_1 , το όχημα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, οπότε αυτό υπολογίζεται από τον γνωστό τύπο $S = u \times t$, ο οποίος ανάγοντας την ταχύτητα του οχήματος σε km/h, διατυπώνεται εν τέλει ως : $S_1 = 0.278 \times u \times t_r$. Για το διάστημα S_2 , το όχημα εκτελεί επιβραδυνόμενη κίνηση, και αυτό υπολογίζεται ως εξής : $S_2 = u^2 / 254 * (\mu \pm s)$. Συνεπώς, το μήκος ορατότητας για στάση, ως άθροισμα των S_1 και S_2 υπολογίζεται ως εξής : **$S_h = 0.278 \times u \times t \times (u^2/254 \times (\mu \pm s))$** , όπου :

- μ → Συντελεστής που εξαρτάται από τη μέση επιβράδυνση του οχήματος, που στην ουσία μεταφράζεται στον συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος
- S → Κατά μήκος κλίση της οδού

Αποκλίνοντας από την παραπάνω θεωρητική προσέγγιση, κατά ΟΜΟΕ – Χ, το μήκος ορατότητας για στάση (για οδούς κατηγορίας Β) υπολογίζεται βάσει των παρακάτω :

→ Καθοριστική ταχύτητα : Λαμβάνεται η λειτουργική ταχύτητα V_{85} της οδού

→ Χρόνος $t_R = 2$ δευτερόλεπτα

→ Συντελεστής μ : Ορίζεται βάσει του μεγέθους $d = g \times \mu$, το οποίο μέγεθος υπολογίζεται συναρτήσει της V_{85}

Άρα κατά ΟΜΟΕ – Χ, το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση υπολογίζεται ακολούθως : $S_h = V_{85}/3.6 \times t_R + (V_{85}/3.6)^2 / 2 \times (d \pm g \times s)$.

Ενδεικτικά παρατίθεται παρακάτω πίνακας υπολογισμού των μεγεθών d και μ κατά ΟΜΟΕ – Χ :

V_{85} (km/h)	d (m/s ²)	μ
50	4.4	0,449
60	4.2	0,428
70	4.0	0,408
80	3.8	0,387
90	3.6	0,367
100	3.4	0,347
110	3.3	0,336
120	3.1	0,316
130	3.0	0,306

Πίνακας 2 – Πίνακας υπολογισμών μεγεθών d και μ κατά ΟΜΟΕ-Χ

Όπως έχουμε αναφέρει ήδη, οι ΟΜΟΕ-Χ αφορούν οδούς της κατηγορίας Β, και ως εκ τούτου οφείλουμε να αναφερθούμε και στις προδιαγραφές που τίθενται βάσει των ΟΜΟΕ – ΚΑΟ για το μήκος ορατότητας για στάση S_h στις οδούς κατηγορίας Γ. Ο υπολογισμός του μήκους ορατότητας για της οδούς κατηγορίας Γ γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο με αυτόν που ακολουθείται στις υπεραστικές οδούς της κατηγορίας Β, με τη βασική όμως διαφορά να έγκειται στο γεγονός πως ως χρόνος αντίληψης-αντίδρασης t_R λαμβάνεται πλέον χρονικό διάστημα ίσο με 1,5s αντί για 2s.

Ένα ουσιαστικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται μελετητικά σε οδούς κατηγορίας Γ, είναι, πως, εφαρμόζοντας την μεθοδολογία για τον υπολογισμό των μηκών ορατότητας λαμβάνοντας υπ' όψη το σύνηθες όριο ταχύτητας των 50 km/h, προκύπτουν απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση της τάξης των 38-51m, τα οποία βάσει εμπειρίας είναι αδύνατο να τηρηθούν, λόγω της υφιστάμενης παρόδιας δόμησης, αλλά και της ύπαρξης σταθμευμένων οχημάτων

3.3.2.2 Μήκος Ορατότητας για συνάντηση

Μήκος ορατότητας για συνάντηση δύο οχημάτων, κινούμενων σε αντίθετες κατευθύνσεις επί της ίδιας οδού, ονομάζεται το μήκος εκείνο που απαιτείται ώστε τα οχήματα αυτά, κινούμενα με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} της οδού να

μπορέσουν να ακινητοποιηθούν έγκαιρα και να αποφευχθεί η σύγκρουσή τους, και συμβολίζεται με τον όρο S_t . Είναι $S_t = S_{h1} + S_{h2}$

3.3.2.3 Μήκος Ορατότητας για προσπέραση

Είναι το ελάχιστο μήκος ορατότητας που απαιτείται έτσι ώστε να ξεκινήσει και να ολοκληρωθεί ή να ματαιωθεί μια διαδικασία προσπέρασης ενός βραδυπορούντος οχήματος ή εμποδίου, με είσοδο στη λωρίδα κυκλοφορίας αντίθετης κατεύθυνσης (συνεπώς, αφορά διατομές οδών χωρίς κεντρική νησίδα).

Οι περιπτώσεις που εξετάζονται αναφορικά με την επάρκεια ή μη του διατιθέμενου μήκους για προσπέραση είναι δυο, και είναι οι παρακάτω :

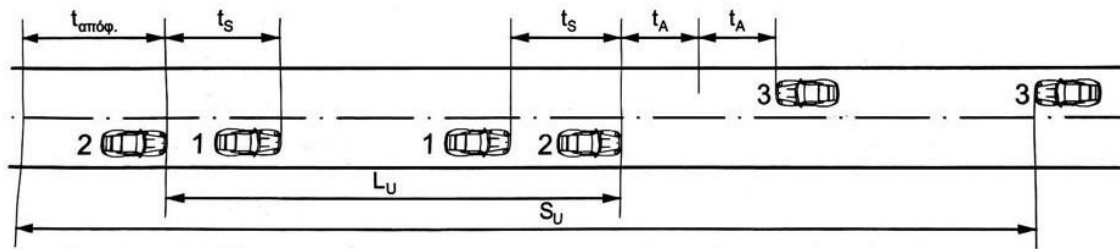
- 1) Προσπέραση με σταθερή ταχύτητα
- 2) Προσπέραση αρχικά με σταθερή ταχύτητα, και ύστερα με επιτάχυνση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσπέρασης.

Στην περίπτωση της προσπέρασης με σταθερή ταχύτητα, ο συνολικός χρόνος t_u που απαιτείται για την προσπέραση υπολογίζεται βάσει τριών επιμέρους χρονικών διαστημάτων, των t_s, t_a και $t_{αποφ}$, τα οποία εξηγούμε ευθύς αμέσως :

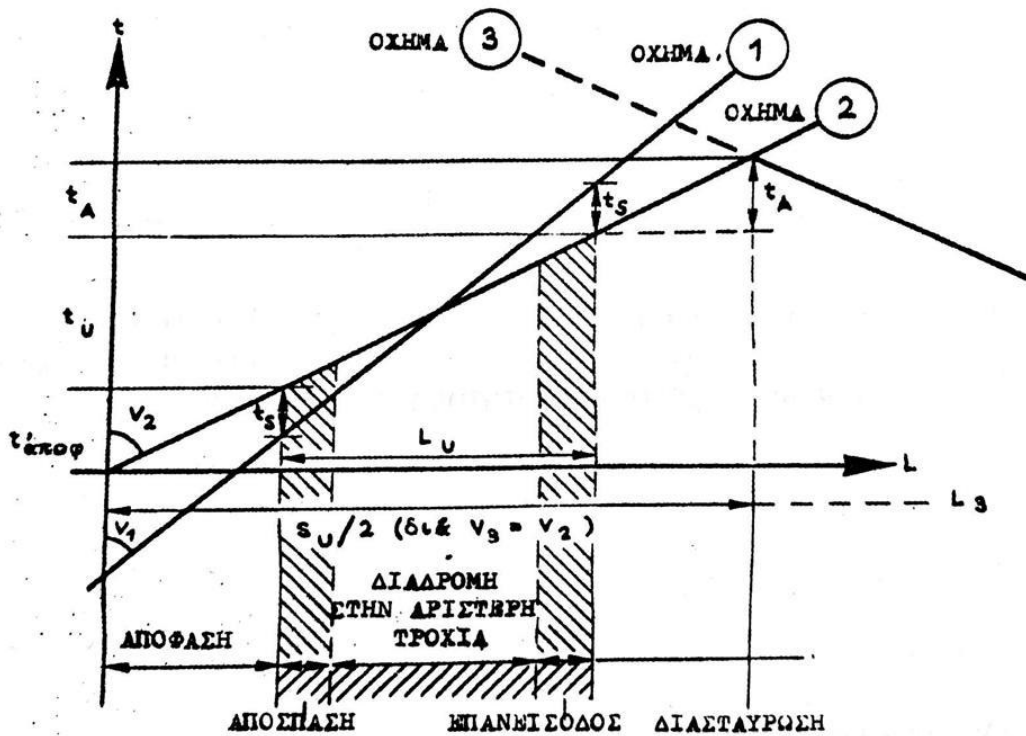
- i) t_s : Η χρονική απόσταση ασφαλείας μεταξύ δύο οχημάτων, με $1s \leq t_s \leq 2s$, με συνηθέστερη τιμή $t_s = 1s$.
- ii) t_a : Ο χρόνος ασφαλείας του προσπερνώντος οχήματος από το αντίθετα ερχόμενο όχημα, με $0 \leq t_a \leq 2s$, με συνηθέστερη τιμή $t_a = 2s$.
- iii) $t_{αποφ}$: Το συνολικό χρονικό διάστημα που χρειάζεται στον οδηγό για να συνειδητοποιήσει ότι επιθυμεί να προσπεράσει προπορευόμενο όχημα, να ελέγξει πως δεν έρχεται κάποιο όχημα από την αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας και να αποφασίσει και να εκτελέσει τον χειρισμό που σηματοδοτεί την αρχή της διαδικασίας προσπέρασης, δηλαδή να στρίψει το τιμόνι και να εισέλθει στο αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας. Υπολογίζεται πως $0 \leq t_{αποφ} \leq 3s$, με συνηθέστερη τιμή τα $3s$.

Για την διαδικασία προσπέρασης με σταθερή ταχύτητα, θεωρητικά αναλύουμε δύο υποπεριπτώσεις της, με πρώτη αυτή της πλήρους διαδικασίας προσπέρασης, και δεύτερη αυτή της ματαίωσής της. Στην περίπτωση της

πλήρους διαδικασίας προσπέρασης, όπου το προσπερνών αλλά και το προσπερνούμενο όχημα κινούνται με σταθερές ταχύτητες V_2 και V_1 αντίστοιχα, θεωρούμε πως η ταχύτητα V_2 είναι συνήθως κατά 10-15 km/h μεγαλύτερη από την V_1 (συνήθως βάσει των ισχύοντων κανονισμών), ενώ η ταχύτητα του αντίθετα κινούμενου οχήματος V_3 θεωρείται και αυτή σταθερή, και ίση με αυτή του V_2 . Παρακάτω, παρατίθεται σκαρίφημα της κίνησης των οχημάτων, καθώς και αναλυτικό σχεδιάγραμμα βάσει του οποίου υπολογίζεται εν τέλει το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση:



Εικόνα 41 - Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας προσπέρασης (Apostoleris, 2012)



Εικόνα 42 - Σχηματικό Διάγραμμα πλήρους διαδικασίας προσπέρασης (με σταθερή ταχύτητα) (Apostoleris, 2012)

Ο υπολογισμός των βασικών μεγεθών χρόνου και μήκους, προκύπτει λοιπόν από τα παραπάνω σχεδιαγράμματα ακολούθως :

$$L_u \begin{cases} \rightarrow V_2 \times t_u =, \text{ συναρτήσεως του οχήματος 2} \\ \rightarrow V_1 \times (t_u + 2t_s), \text{ συναρτήσεως του οχήματος 1} \end{cases}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει πως : $V_2 \times t_u = V_1 \times (t_u + 2t_s)$

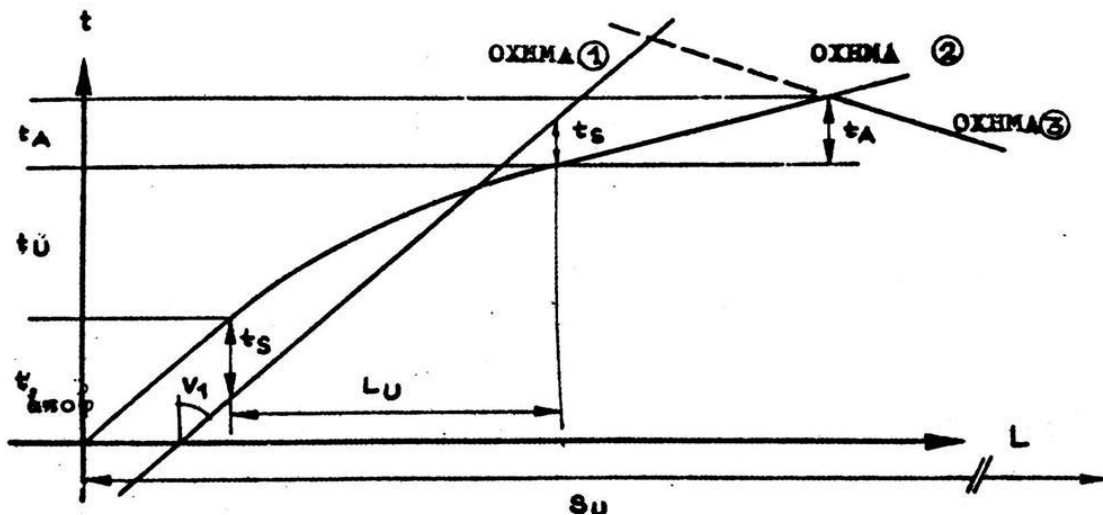
$$\rightarrow t_u = 2 \times t_s \times V_1 / (V_2 - V_1)$$

Συνεπώς, θα έχουμε : $L_u = V_2 \times t_u = 2 \times t_s \times V_2 \times V_1 / (V_2 - V_1)$

Γνωρίζοντας πως η συνολική απόσταση που διανύει το όχημα 2 είναι ίση με $L_2 = V_2 \times [t_{\text{αποφ}} + t_a + 2 \times t_s \times V_1 / (V_2 - V_1)]$, και παραδεχόμενοι πως το αντίθετα κινούμενο όχημα 3 κινείται και αυτό με ταχύτητα V_2 , άρα θα έχει διανύσει κι αυτό απόσταση ίση με του οχήματος 2, δηλαδή L_2 , προκύπτει πως το μήκος ορατότητας για προσπέραση θα είναι : $S_u = 2 \times L_2 = 2 \times V_2 \times [t_{\text{αποφ}} + t_a + 2 \times t_s \times V_1 / (V_2 - V_1)]$.

Η διαδικασία ματαίωσης της προσπέρασης επιλέγεται συνειδητά να μην αναλυθεί στην παρούσα εργασία.

Συνεχίζοντας, αναλύουμε την τελευταία περίπτωση προσπέρασης, αυτής με σταθερή επιτάχυνση. Είναι η περίπτωση κατά την οποία ένα όχημα ακολουθεί προπορευόμενο όχημα σε απόσταση ασφαλείας για κάποιο μήκος διαδρομής, μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη στιγμή για προσπέραση. Έτσι λοιπόν, τα δύο οχήματα μέχρι και την στιγμή έναρξης της διαδικασίας προσπέρασης έχουν την ίδια ταχύτητα, έως ότου το προσπερνών όχημα να μπει στο αντίθετο ρεύμα και να επιταχύνει μέχρι να προσπεράσει το βραδυπορούν όχημα. Παραδεχόμενοι πως το όχημα που προσπερνά έχει σταθερή επιτάχυνση, βάσει του παρακάτω διαγράμματος χρόνου-μήκους, προκύπτουν οι εξής σχέσεις :



Εικόνα 43 - Σχηματικό διάγραμμα πλήρους διαδικασίας προσπέρασης με σταθερή επιτάχυνση (Apostoleris, 2012)

$$\text{Είναι : } L_u = V_1 \times (t_u + 2t_s), \text{ και } t_u = 2 \times \sqrt{\frac{V_1 \times t_s}{a}} \rightarrow V_1 \times 2t_s = \frac{a \times t_u^2}{2},$$

$$\text{Συνεπώς : } L_u = 2 \times V_1 \left(t_s + \sqrt{\frac{V_1 \times t_s}{a}} \right). \text{ Άρα, βάσει και του τελευταίου τύπου,}$$

είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε αλγεβρικά το μήκος ορατότητας για προσπέραση S_u το οποίο ισούται με :

$$S_u = (L_{\alpha\text{ποφ}} + L_u + L_a) + L_3 \rightarrow [\dots] \rightarrow S_u = (V_1 + V_3) \times (t_{\alpha\text{ποφ}} + t_u + t_A) + \frac{a \times t_u^2}{2} \times t_u \times (t_u + 2t_A)$$

Έχοντας υπολογίσει αλγεβρικά τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για προσπέραση για καθεμιά από τις δύο περιπτώσεις που αναφέραμε προηγουμένως, οφείλουμε

να παρουσιάσουμε και αυτούσιο τον πίνακα με τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας κατά ΟΜΟΕ-Χ για οδούς κατηγορίας Α και Β , μιας και οι οδοί κατηγορίας Β αποτελούν αντικείμενο μελέτης μας. Το απαιτούμενο μήκος προσπέρασης κατά ΟΜΟΕ, υπολογίζεται βάσει της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} της κάθε οδού, χωρίς να παρέχεται περεταίρω ανάλυση από μελετητικής απόψεως, και ορίζεται ακολούθως :

V_{85} (km/h)	S_u (m)
60	475
70	500
80	525
90	575
100	625
110	675

Πίνακας 3 – Πίνακας απαιτούμενων μηκών ορατότητας για προσπέραση (S_u) σε οδούς ομάδων κατηγορίας Α και Β

3.3.3. Μήκος ορατότητας για στάση κατά την κίνηση σε καμπύλη

Έχοντας αναφερθεί σε όλα τα παραπάνω μεγέθη, αναλύοντας τα σχηματικά, σε μικρά τμήματα ευθείας οδού, εστιάζουμε τέλος στον υπολογισμό ενός από τα σημαντικότερα μεγέθη κατά τη μελέτη της οδού σε οριζοντιογραφία, που δεν είναι άλλο από το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλο τμήμα (καμπύλη) οδού.

Το μήκος ορατότητας για στάση κατά την κίνηση σε καμπύλη, εξαρτάται πρωτίστως από το μήκος της ακτίνας της καμπύλης, εντός της οποίας κινείται το όχημα. Ο υπολογισμός της ακτίνας αυτής γίνεται βάσει των κανόνων που διέπουν την δυναμική του οχήματος, κατά την κίνησή του σε συνθήκες ολισθηρού (υγρού) οδοστρώματος. Οι ελάχιστες τιμές ακτινών καμπυλών για οδούς κατηγορίας Α και Β, είναι υπολογισμένες και δεδομένες, βάσει του πίνακα 7-2 , ΟΜΟΕ-Χ (Lamm, et al., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), 2001) , όπως παρουσιάζεται παρακάτω αυτούσιος :

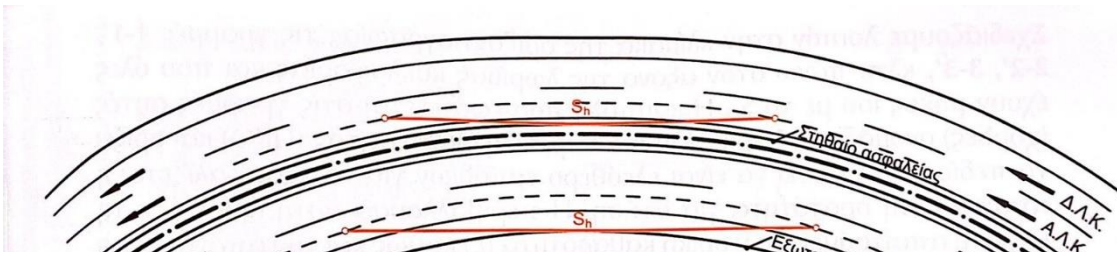
V_e [km/h]	R_{min} [m]					
	Ομάδα οδών Α				Ομάδα οδών Β	
	πεδινά εδάφη		λοφώδη και ορεινά εδάφη		όλες οι κατηγορίες εδαφών	
	$q_{max}=8$ (9)% $n=45\%$	$q_{min}=2.5\%$ $n=10\%$	$q_{max}=7\%$ $n=40\%$	$q_{min}=2.5\%$ $n=10\%$	$q_{max}=6\%$ $n=60\%$	$q_{min}=2.5\%$ $n=30\%$
1	2	3	4	5	6	7
50	80	325	95	325	70	150
60	125 (120)	490	140	490	110	230
70	180 (170)	700	200	700	160	335
80	250 (235)	960	280	960	220	470
90	330 (310)	1.260	370	1.260	300	630
100	420 (400)	1.620	480	1.620	–	–
110	530 (500)	2.020	600	2.020	–	–
120	650 (620)	2.470	740	2.470	–	–
(130)	790 (740)	2.970	890	2.970	–	–

Οι τιμές σε () εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις

Εικόνα 44 - Πίνακας 7-2, ΟΜΟΕ-Χ, Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών ομάδων Α και Β

Κατά την κίνηση του οχήματος σε καμπύλη οδό, η διαδικασία η οποία ακολουθείται από τον μελετητή, ονομάζεται «έλεγχος ορατότητας», και επί της ουσίας αποτελεί έλεγχο εάν η ελάχιστη τιμή ακτίνας που δίνεται από τον παραπάνω πίνακα, είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές ορατότητας που ορίζονται για την εκάστοτε οδό, και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, ανεξαρτήτως από το εάν η επιφάνεια κυκλοφορίας της οδού είναι διαχωρισμένη ή ενιαία.

Όπως αναπαρίσταται και σχηματικά παρακάτω, στο ένα ρεύμα, ο έλεγχος ορατότητας έχει να κάνει με εμπόδια τα οποία βρίσκονται παράπλευρα της οδού, και είναι συνήθως κτίσματα, πρανή, τοίχοι αντιστήριξης κλπ, ενώ στο αντίθετα ερχόμενο ρεύμα, ελέγχεται η ορατότητα που μπορεί να παρακωλύεται από εμπόδια επί της κεντρικής νησίδας οδού, όπως φύτευση, στηθαία ασφαλείας κλπ.

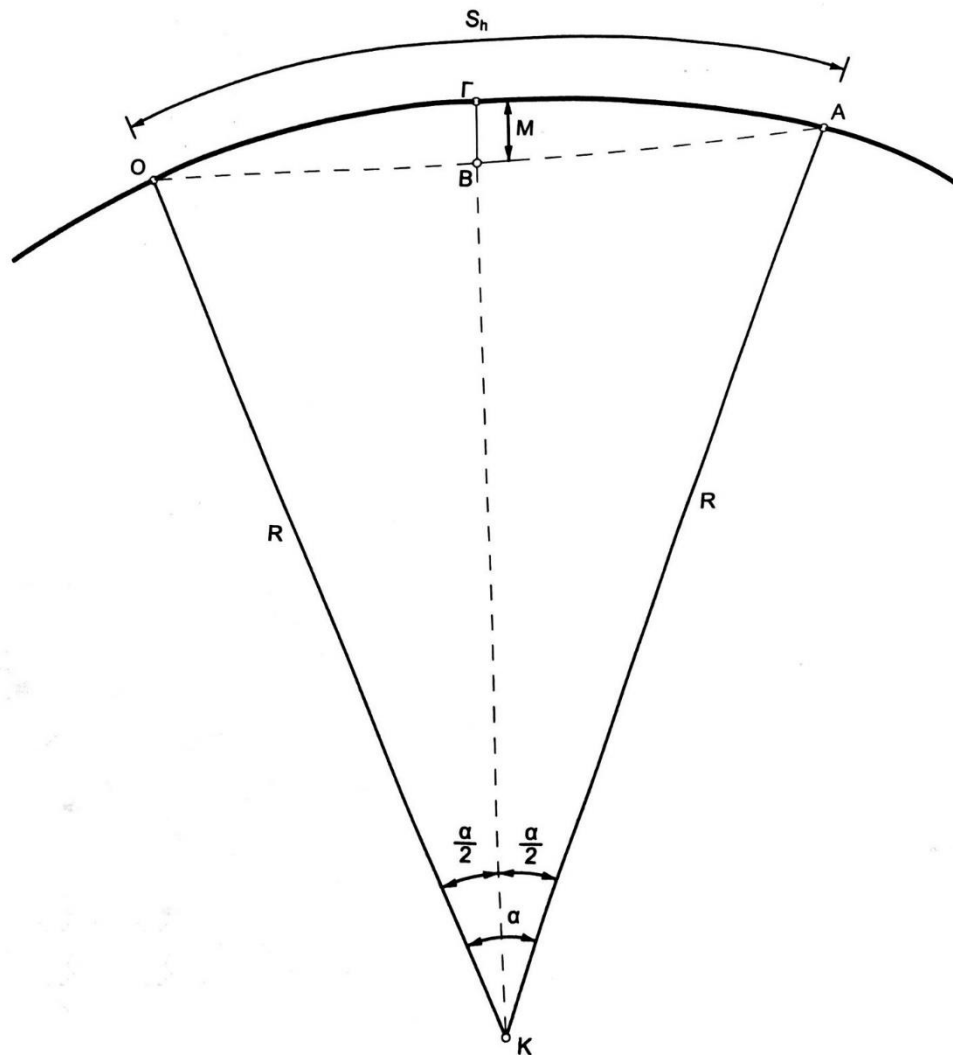


Εικόνα 45 - Έλεγχος ορατότητας για στάση σε οριζοντιογραφική καμπύλη οδού (Lamm, και συν., 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 4 : Κύριες Αστικές Οδοί (ΟΜΟΕ - ΚΑΟ), 2001; Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), 2001)

Η βασική αρχή που ακολουθείται κατά τον έλεγχο της ορατότητας σε οριζοντιογραφική καμπύλη, είναι πως αυτή θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε κάθε θέση της καμπύλης, ακόμα και ελάχιστα εκτός αυτής (ο έλεγχος ορατότητας επαναλαμβάνεται εντός του μήκους της καμπύλης με διάστημα 10μ.). Στις ΟΜΟΕ-Χ, συναντάμε μια από τις ακριβέστερες μεθόδους υπολογισμού και συσχέτισμού των μεγεθών τα οποία αφορούν το μήκος ορατότητας, και διακρίνουμε την διαδικασία του ελέγχου σε δύο ξεχωριστές περιπτώσεις:

i) Μήκος ορατότητας για στάση μικρότερο από το μήκος της καμπύλης ($S_h < L$)

Η συγκεκριμένη περίπτωση, σχηματικά αναπαρίσταται ως εξής :



Εικόνα 46 - Σκαρίφημα υπολογισμού μήκους ορατότητας σε καμπύλη ($S_h < L$) (Apostoleris, 2012)

Βάσει του παραπάνω σκαριφήματος, και με την επίλυση του τριγώνου OKB που δημιουργείται, προκύπτει πως το μήκος ορατότητας υπολογίζεται ως εξής : $S_h = 2 \times R \times \arccos\left(1 - \frac{M}{R}\right)$, όπου :

S_h : Μήκος ορατότητας για στάση , μετρούμενο επί της καμπύλης στον άξονα που χαράσσεται στη μέση της λωρίδας κυκλοφορίας

R : Ακτίνα της καμπύλης στον άξονα της λωρίδας κυκλοφορίας

M : Πλάτος του ελεύθερου εμποδίων χώρου, μετρούμενο από το μέσον της εξεταζόμενης λωρίδας κυκλοφορίας

L : Μήκος καμπύλης επί του άξονα της λωρίδας κυκλοφορίας

ii) Μήκος ορατότητας για στάση μεγαλύτερο του μήκους καμπύλης ($S_h > L$)

Επιλύοντας προσεγγιστικά την σχέση της παραπάνω περίπτωσης ,

έχουμε καταλήξει πως, $S_h = \frac{Sh^2}{8R}$. Στην περίπτωση που εξετάζουμε

εν προκειμένω, η θέση στην οποία συναντάται η μέγιστη εκτροπή

είναι η συμμετρική, δηλαδή $OA_k = A'_kA = \frac{Sh-L}{2}$. Με επίλυση των

τριγώνων που δημιουργούνται, προκύπτει πως τελικά το απαιτούμενο μήκος ορατότητας υπολογίζεται από την σχέση :

$$S_h = \frac{4RM}{L} + \frac{L}{2}$$

Παρακάτω, παρατίθεται αντίστοιχο σχεδιάγραμμα όπως της

προηγούμενης περίπτωσης , στο οποίο και φαίνονται όλα τα στοιχεία

που αναφέρονται κατά τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας :

Επιπτώσεις των αυτόνομων οχημάτων στον σχεδιασμό οδών σε υπεραστικό περιβάλλον

Στοιχεία μελέτης		Βλέπε §	Ομάδες οδών	Καθοριστική ταχύτητα	Οριακές τιμές μεγεθών των στοιχείων μελέτης σύμφωνα με την καθοριστική ταχύτητα [km/h] για V_e ή V_{85} (βλέπε στήλη 4)										
					5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Οριζοντιογραφία	Μέγιστο μήκος ευθυγραμμίας με σταθερή	$\max L$ [m]	7.1.2	A	V_e	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	2.000	2.200	2.400	2.600	
	Ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας μεταξύ ομορρόπων καμπυλών	$\min L$ [m]	7.1.2	A	V_e	300	360	420	480	540	600	660	720	780	
	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης σε εδάφη πεδινά λοφώδη και ορεινά κάθε είδους	$\min R$ [m]	7.2.2	A	V_e	80	125	180	250	330	420	530	650	790	
						95	140	200	280	370	480	600	740	890	
	Ελάχιστη παράμετρος κλωθοειδούς	$\min A$ [m]	7.3.2	A, B	V_e	30	40	60	80	110	140	180	220	260	
	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης για την εφαρμογή αρνητικής επίκλισης -2,0% -2,5%	$\min R$ [m]	9.3	A, B	V_{85}	-	-	(700)	(1.000)	(1.500)	2.000	2.700	3.500	4.500	
-						-	(800)	(1.200)	(1.700)	2.300	3.200	4.200	5.400		
Μηκοτομή	Μέγιστη κατά μήκος κλίση σε εδάφη πεδινά λοφώδη ορεινά κάθε είδους	$\max s$ [%]	8.1.2.1	A	V_e	7,0	6,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
						8,0	7,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
						10,0	9,0	8,0	7,0	7,0	6,0	5,0	-	-	
	Ελάχιστη κατά μήκος κλίση στην περιοχή στορφή του οδοστρώματος	$\min s$ [%]	8.1.2.2	A, B	-	$S_{\min} \geq 0,7\% [s - \Delta s \geq 0,0 \dots 0,2\%]$									
	Ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης*	$\min H_k$ [m]	8.2.2	A, B	V_e	800	2.000	3.000	4.500	6.200	8.500	-			
Ελάχιστη ακτίνα κοίλης καμπύλης*	$\min H_w$ [m]	8.2.2	A, B	V_e	-	3.000	4.500	6.200	8.500	11.000	15.000				
Ελάχιστη επίκλιση	$\min q$ [%]	9.1	A, B	V_{85}	1.350	1.900	2.500	3.300	4.200	5.200	6.300	7.500	10.000		
Διατομή	Μέγιστη επίκλιση σε καμπύλες	$\max q_k$ [%]	9.2.1	A	V_{85}	2,5									
						8,0 (9,0) σε πεδινά εδάφη									
						7,0 σε λοφώδη και ορεινά εδάφη									
	Μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών	$\max \Delta s$ [%]	9.4.2	A, B	V_e	6,0									
						0,50 α	0,40 α	0,25 α	0,20 α						
Ελάχιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών	$\min \Delta s$ [%]	9.4.2	A, B	-	2,0	1,6	1,0	0,9							
					α [m] = απόσταση της οριογραμμής από τον άξονα περιστροφής $\frac{0,1 \alpha}{\alpha}$										
Ορατότητα	Ελάχιστο μήκος ορατότητας για στάση $s =$	$\min S_h$ [m]	10.1.1	A, B	V_{85}	50	65	90	110	140	170	205	245	290	
	Ελάχιστο μήκος ορατότητας για προσπέραση	$\min S_u$ [m]	10.1.3	A	V_{85}	-	475	500	525	575	625	675	-	-	
	Ελάχιστο μήκος ορατότητας για απόφαση	$\min S_d$ [m]	10.3	A	V_{85}	190	230	280	320	360	400	450	500	550	

Εικόνα 48 - Πίνακας 11-1 , ΟΜΟΕ-Χ , Οριακές τιμές στοιχείων μελέτης οδών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Αυτόνομα Οχήματα

4.1 Εισαγωγή

Έχοντας ήδη αναφερθεί επιδερμικά στην έννοια του «αυτόνομου» οχήματος, στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να εμβαθύνουμε περισσότερο, και να εστιάσουμε ουσιαστικά στα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας των αυτόνομων οχημάτων, καθώς και στα μεγέθη εκείνα που τα διαφοροποιούν από τα συμβατικά οχήματα κατά την διαδικασία μελέτης μιας οδού.

4.2. Αυτόνομα οχήματα για εμπορική χρήση

Η προσπάθεια για τη δημιουργία ενός αυτόνομα πλοηγούμενου οχήματος για μαζική χρήση, ξεκίνησε ήδη από τις αρχές του περασμένου αιώνα. Πολλές είναι οι βιβλιογραφικές αναφορές που μιλούν για προσπάθειες ήδη από τη δεκαετία του 1930, για την δημιουργία οχημάτων των οποίων η κίνηση θα μπορούσε να γίνεται εξ αποστάσεως, με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών πεδίων τα οποία θα δημιουργούνταν από ηλεκτρικά κυκλώματα ενσωματωμένα στο οδόστρωμα. (Wikipedia)

Οι δύο πιο ουσιαστικές κινήσεις προς την κατεύθυνση της καθιέρωσης για την αυτόνομη οδήγηση, έγιναν από τις εταιρείες Tesla και Waymo , εκ των οποίων η δεύτερη αποτελεί θυγατρική της γνωστής σε όλους Google Inc.. Η αρχή έγινε από την εταιρεία Waymo, η οποία ξεκίνησε σε πειραματικό επίπεδο τη λειτουργία της αυτόνομης οδήγησης οχημάτων, και το 2012 έλαβε επίσημη άδεια από την πολιτεία της Νεβάδα στις Η.Π.Α. για δοκιμές σε δημόσιο δρόμο, ενός οχήματος με τον απαραίτητο εξοπλισμό για να πλοηγείται δίχως την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι παραπάνω δοκιμές στέφθηκαν με επιτυχία, καθώς το αυτόνομο όχημα κατάφερε να ανταπεξέλθει στις δοκιμασίες που του τέθηκαν, κατά μήκος μιας διαδρομής 22 χιλιομέτρων σε δημόσιο οδικό δίκτυο, με αποτέλεσμα τον Μάιο του 2012, ένα Toyota Prius της Waymo, με τον ειδικά διαμορφωμένο εξοπλισμό του για αυτόνομη πλοήγηση, να γίνει το πρώτο αυτόνομο όχημα που έλαβε άδεια κυκλοφορίας στις Η.Π.Α. Σήμερα, τα οχήματα που χρησιμοποιούνται κατά κόρον από τον στόλο

αυτόνομων οχημάτων της εταιρείας WAYMO είναι τα πλήρως αυτόνομα Jaguar I-Pace και Chrysler Pacifica, όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω :



Εικόνα 49 - Αυτόνομο όχημα Chrysler Pacifica Minivan – Το πρώτο αυτόνομο όχημα που κυκλοφόρησε μαζικά για εμπορικούς σκοπούς στους δρόμους των ΗΠΑ – Στην οροφή του ξεχωρίζει εμφανώς η συσκευή LiDAR που είναι βασικός πυλώνας επίτευξης της αυτόνομης κίνησής του και η λειτουργία της θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω. (WAYMO)



Εικόνα 50 - Αυτόνομο όχημα Jaguar I – Pace του στόλου οχημάτων της εταιρείας WAYMO (WAYMO)

Ο κύριος σκοπός που τα παραπάνω οχήματα καλούνται να εξυπηρετήσουν, είναι υπηρεσίες μισθωμένης μεταφοράς , μέσω της εφαρμογής που έχει αναπτύξει

η εταιρεία WAYMO για τη χρονομίσθωσή τους από ιδιώτες. Οι υπηρεσίες της WAYMO προς το παρόν, παρέχονται αποκλειστικά σε δύο πόλεις των ΗΠΑ, το Phoenix και το San Francisco, με μελλοντική προοπτική για επέκταση και στις υπόλοιπες ηπειρωτικές Η.Π.Α. , αλλά και τη δημιουργία και καθιέρωση στην κυκλοφορία αυτόνομων φορτηγών οχημάτων για εμπορικά δρομολόγια μεταξύ πόλεων στις Η.Π.Α. , λειτουργία η οποία βρίσκεται ακόμα σε στάδιο δοκιμών.

Στον αντίποδα, η εταιρεία TESLA, με κύριο γνώμονα την κατασκευή πρωτίστως ηλεκτρικών και δευτερευόντως αυτόνομων οχημάτων για ιδιωτική χρήση, έχοντας στο ενεργητικό της επιτυχημένες εμπορικές κυκλοφορίες , όπως το πρώτο αμιγώς ηλεκτρικό όχημα με αυτονομία της τάξης των 420 km TESLA Model S το 2012. Η επόμενη καινοτομία που έρχεται να εισάγει στον χώρο της αυτόνομης οδήγησης το 2015, είναι το “Tesla Autopilot 7.0” , ένα λογισμικό φτιαγμένο αποκλειστικά για το TESLA Model S, στο οποίο δίνει πλέον τη δυνατότητα να αποκαλείται «αυτόνομο» όχημα, καθώς διαθέτει πλέον τη λειτουργία του adaptive cruise control, μηχανική υποβοήθηση στο σύστημα διεύθυνσης για μικροδιορθώσεις σε περίπτωση που ο οδηγός χρειαστεί βοήθεια στο χειρισμό του οχήματος, καθώς και ένα από τα πρώτα συστήματα “lane keeping assist” συστήματα δηλαδή που βοηθούν το όχημα με μηχανικά μέσα, χωρίς την παρέμβαση του οδηγού, να βρίσκεται διαρκώς εντός των ορίων της λωρίδας στην οποία κινείται.

Μεταξύ 2015 και 2020, όπου από τον διευθύνοντα σύμβουλο της εταιρείας γίνεται η πρώτη αναφορά για μαζική παραγωγή και κυκλοφορία πλήρως αυτόνομων οχημάτων («ρομπο-ταξί» όπως επί λέξει τα έχει αποκαλέσει), το σύστημα αυτόνομης πλοήγησης της εταιρείας , σε αντίθεση με αυτό της WAYMO, εμφάνισε αρκετές επιπλοκές κατά τη λειτουργία του , και θεωρήθηκε αρκετές φορές υπαίτιο για την πρόκληση οδικών ατυχημάτων ή ακόμα και δυστυχημάτων, λόγω δυσλειτουργιών που παρουσίαζε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Ακόμη μέχρι και σήμερα , ημερομηνία κατά την οποία συντάσσεται η παρούσα εργασία , το μοντέλο για δημιουργία πλήρως αυτόνομων οχημάτων από μεριάς της εταιρείας TESLA παραμένει προβληματικό, καθώς παρά τις συνεχόμενες αναβαθμίσεις λογισμικών που υπόκεινται τα ήδη υπάρχοντα οχήματα, δεν παύουν να είναι

συνήθεις οι δυσλειτουργίες τους με αποτέλεσμα την πρόκληση ατυχημάτων , ατυχήματα τα οποία οφείλονται σε θεμελιώδη οδηγικά λάθη όπως την λανθασμένη ανάγνωση πινακίδων οδοσήμανσης ή την πλήρως απρόβλεπτη ενεργοποίηση του συστήματος πέδησης του οχήματος εν κινήσει, λόγω λανθασμένου οπτικού ερεθίσματος των αισθητήρων με τους οποίους είναι εξοπλισμένα.

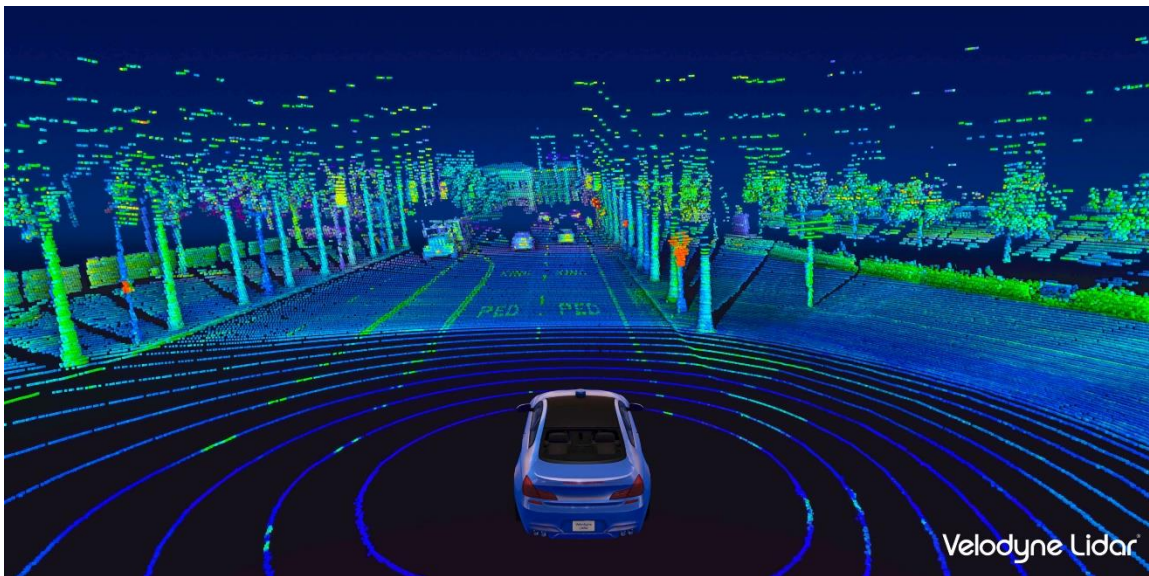
4.3 Χρήση συσκευών LiDAR στα αυτόνομα οχήματα

Ο όρος LiDAR, σύμφωνα με τους (Islam, Habib, Tanvir, & Tashrif, 2022) αποτελεί μια συντομογραφία για τον ορισμό της μεθόδου προσδιορισμού ανίχνευσης αντικειμένου στον χώρο και τον υπολογισμό της απόστασης στην οποία αυτό βρίσκεται από την συσκευή ανίχνευσης - αισθητήρα (Light Detection And Ranging). Οι συσκευές ανίχνευσης αυτές, συστήθηκαν για πρώτη φορά στην επιστημονική κοινότητα την δεκαετία του 1960 , και η δημιουργία τους είναι συνυφασμένη με την εφεύρεση των ακτινών laser, καθώς σε αυτές βασίζεται η λειτουργία τους. Χωρίς να εμβαθύνουμε σε περαιτέρω τεχνική ανάλυση, αρκεί να αναφέρουμε πως η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων LiDAR βασίζεται στην εκπομπή ακτινών laser, μέσου μήκους κύματος μεταξύ 600 και 1000 nm, οι οποίες μετά την εκπομπή και την πρόσκρουση τους σε οποιοδήποτε αντικείμενο , επιστρέφουν στην πηγή εκπομπής τους, δηλαδή στον αισθητήρα, ως αντανακλώμενο φως.

Ακόμα, οι συσκευές LiDAR συμβάλλουν ενεργά στη λειτουργία της «αναγνώρισης λωρίδας» την οποία τα περισσότερα σύγχρονα οχήματα διαθέτουν ενσωματωμένη στον εξοπλισμό τους σήμερα, χάρη στην ικανότητά τους να επεξεργάζονται και να διαχωρίζουν ανάλογα με την ανακλαστικότητα τους, διαφορετικά σημεία που αποτελούν τμήμα του συνολικού νέφους σημείων που δημιουργούν κατά τη λειτουργία τους. (Sundermaier, 2021)



Εικόνα 51 - Συσκευή LiDAR τοποθετημένη στην οροφή ενός από τα πρώτα πειραματικά αυτόνομα οχήματα Lexus RX450h της Google



Εικόνα 52 - Στιγμιότυπο από την τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου η οποία παράγεται κατά τη λειτουργία μιας συσκευής LiDAR που βρίσκεται τοποθετημένη σε αυτόνομο όχημα

4.4. Αλλαγές στα χαρακτηριστικά μεγέθη υπολογισμού χάραξης οδών λόγω LiDAR (αυτόνομων οχημάτων)

Βάσει της σχετικά περιορισμένης διεθνούς βιβλιογραφίας επί του αντικειμένου, αλλά και του γεγονότος πως το σύνολο της έρευνας που έχει γίνει επί του αντικειμένου, αφορά επί το πλείστο τους αμερικανικούς κανονισμούς σχεδίασης αυτοκινητοδρόμων AASHTO, στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν όσο το δυνατό πιο εμπειριστατωμένα οι αλλαγές που θα επέλθουν στην μελέτη του οδικού σχεδιασμού λόγω της ύπαρξης των LiDAR σε οχήματα, βάσει των ελληνικών κανονισμών ΟΜΟΕ, στα σημεία εκείνα που τυχαίνει να υπάρχει ταύτιση μεθοδολογίας υπολογισμών. Πέραν της περιορισμένης διεθνούς βιβλιογραφίας, αξίζει να σταθούμε και στον περιορισμένο αριθμό διαθέσιμων δεδομένων των ελληνικών κανονισμών ΟΜΟΕ – ΚΑΟ, οι οποίες αν και αφορούν το μεγαλύτερο ποσοστό υφιστάμενων οδών στην ελληνική επικράτεια, επί της ουσίας δεν μας δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για να μελετήσουμε σε βάθος τη γεωμετρική κατασκευή τους, και τις ουσιαστικές αλλαγές οι οποίες ενδεχομένως να πρέπει να επέλθουν στο σχεδιασμό τους μετά την καθιέρωση των αυτόνομων οχημάτων στην καθημερινή κυκλοφορία.

4.4.1 Κατά τη μελέτη οριζοντιογραφίας

Η πρώτη και πιο αναίμακτη αλλαγή που πρόκειται να παρουσιαστεί κατά τη μελέτη της οριζοντιογραφίας μιας οδού, λόγω της επικράτησης της κίνησης των αυτόνομων οχημάτων, είναι αυτή της τροποποίησης του απαιτούμενου πλάτους της λωρίδας κάθε οδού ανά περίπτωση. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο (Aryal, 2020), το απαιτούμενο πλάτος σχεδιασμού λωρίδας κυκλοφορίας για αυτόνομα οχήματα, αναμένεται να μειωθεί κατά 25% σε σχέση με αυτό που ορίζουν οι ισχύοντες κανονισμοί για κάθε χώρα. Η εκτίμηση αυτή βασίζεται στο γεγονός πως, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη υποενότητα, τα αυτόνομα οχήματα, με τη βοήθεια όλου του τεχνολογικού εξοπλισμού τον οποίο διαθέτουν (LiDAR, κάμερες κ.α.), είναι σε θέση να διαθέτουν τη λειτουργία Lane Keeping Assist (σύστημα υποβοήθησης παραμονής εντός λωρίδας κυκλοφορίας). Το γεγονός αυτό συγκλίνει με την εκτίμηση της μείωσης του απαιτούμενου πλάτους λωρίδας, καθώς,

τα οχήματα αναμένεται να κινούνται ως επί το πλείστο στο κέντρο της λωρίδας κυκλοφορίας, επιτρέποντας έτσι στον σχεδιαστή της οδού να μικρύνει κατά πολύ τις επιπλέον επιφάνειες ασφαλείας που σήμερα λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη μελέτη της οδού, λόγω του ότι στη διαδικασία της μελέτης υπεισέρχεται ο παράγοντας του ανθρωπίνου λάθους. Ακόμη, όπως έχει αναφερθεί και στην υποενότητα «2.2.2 Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον», μια ακόμη πιθανή αλλαγή στην οριζοντιογραφία των οδών όπως σήμερα τη γνωρίζουμε, ενδεχομένως να επέλθει στο κομμάτι της οριζόντιας και κατακόρυφης σήμανσης. Μιας και δεν υπάρχει ακόμη επίσημη έκδοση των ΟΜΟΕ-Χ που να αφορά τις προδιαγραφές οριζόντιας σήμανσης οδού, αρκεί να αναφέρουμε πως, γνωστές σε όλους μας παρόδιες ενδείξεις όπως πινακίδες απαγόρευσης αναστροφής, ή και διαγράμμιση που επιτρέπει ή απαγορεύει την προσπέραση σε οδό με ενιαία επιφάνειες κυκλοφορίας, θα αντικατασταθούν όπως υποδεικνύει η *Εικόνα 6* της υποενότητας «2.2.2 Επιπτώσεις στο αστικό περιβάλλον»

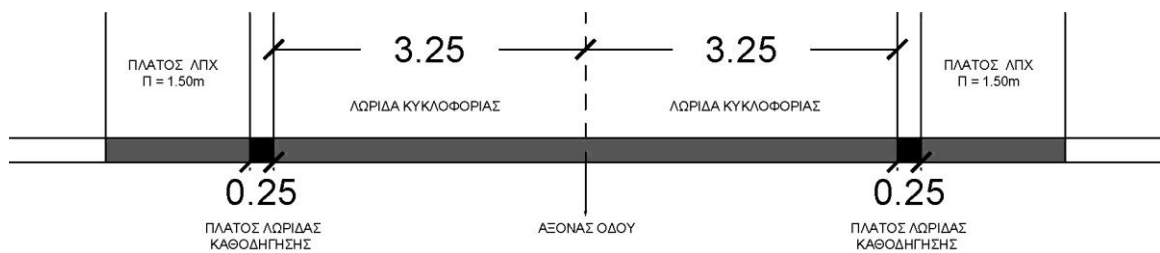
Αν και δεν εξετάζεται η παρούσα οπτική στη συγκεκριμένη εργασία, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί πώς από πολεοδομικής απόψεως, η μείωση του απαιτούμενου πλάτους των λωρίδων κυκλοφορίας, και ως εκ τούτου και του συνολικού πλάτους του οδοστρώματος μιας οδού, θα δημιουργήσει την ευκαιρία για προσθήκη στις υπάρχουσες τυπικές διατομές, μεγαλύτερων χώρων που αφορούν την άνεση της κυκλοφορίας του πεζού και του ποδηλάτη, και γενικότερα



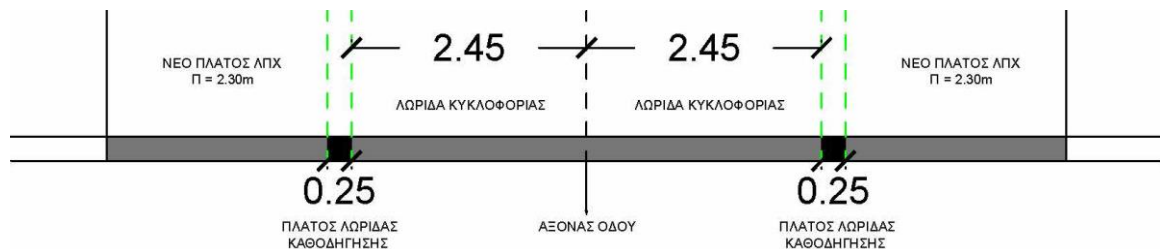
Εικόνα 53 - (κάτω) τυπική διατομή οδού με τις ισχύουσες διαστάσεις σχεδίασης – (πάνω) ενδεικτική τυπική διατομή οδού βάσει σχεδίασης για κυκλοφορία αμιγώς αυτόνομων οχημάτων (Riggs, Ruhl, Rodier, & Baumgardener, 2019)

του ατόμου που κινείται πέριξ της οδού. Χαρακτηριστική εικόνα του παραδείγματος που ήδη αναφέρθηκε, είναι αυτή που παρουσιάζεται στο παρακάτω :

Έχοντας αναφερθεί εκτενώς στη διαστασιολόγηση των λωρίδων κυκλοφορίας σε τυπικές διατομές κατά τα πρότυπα των ελληνικών οδηγιών μελετών οδικών έργων [(Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), 2001), (Lamm, και συν., Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 4 : Κύριες Αστικές Οδοί (ΟΜΟΕ - ΚΑΟ), 2001)], βλέπουμε πως για τις οδούς κατηγορίας Α, Β αλλά και Γ, στις οποίες αντιστοιχούν οι διατομές του Πίνακα 1, σύμφωνα και με τις εικόνες (Εικόνα 28, Εικόνα 29, Εικόνα 30, Εικόνα 31, Εικόνα 32, Εικόνα 33), το ισχύον πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας για οδούς με ή χωρίς διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας είναι ίσο είτε με 3,50μ. ή με 3,25μ. Συνεπώς, μια μείωση του της τάξης του 25% , θα επιφέρει νέα πλάτη L ίσα με : L' = 2.65m και L'' = 2.45m (κατά προσέγγιση και τα 2) . Παρακάτω, παρατίθενται για σύγκριση των μεγεθών, δύο σχέδια της ίδιας διατομής, τύπου δ2 κατά ΟΜΟΕ-Δ , με το πρώτο να αναπαριστά τις σημερινές ισχύουσες οδηγίες σχεδίασης, και το δεύτερο τη σχεδίαση που αναμένεται να επικρατήσει με την εδραίωση των αυτόνομων οχημάτων:



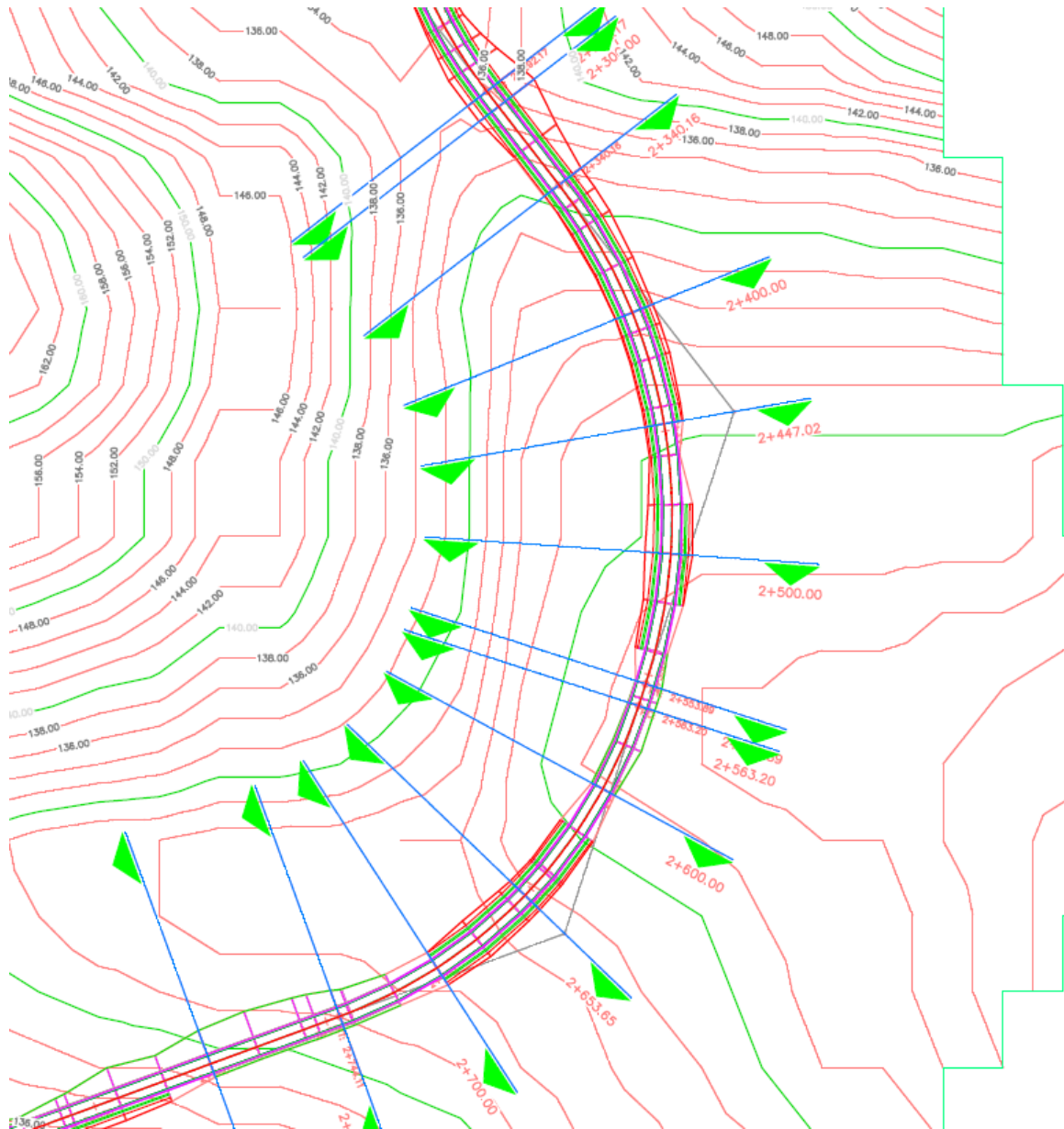
Εικόνα 55 - Υφιστάμενες διαστάσεις τυπικής διατομής δ-2



Εικόνα 54 - Διαστασιολόγηση τυπικής διατομής δ2 για κυκλοφορία αμιγώς αυτόνομων οχημάτων

Πέραν των αλλαγών στη διαστασιολόγηση των τυπικών διατομών των οδών, στο ευρύτερο πλαίσιο της μελέτης οδού κατά την οριζοντιογραφία, δεν προβλέπεται να επέλθουν άλλες σημαντικές αλλαγές που να αφορούν την γεωμετρική χάραξη και κατασκευή της οδού. Από μελετητικής άποψης, αυτό θεωρούνταν ήδη προδιαγεγραμμένο, καθώς οι προδιαγραφές των αυτόνομων οχημάτων από κατασκευαστικής πλευράς παραμένουν ίδιες με αυτές των αυτόνομων, ενώ ακόμα, στον τομέα όπου διαφοροποιούνται βασικά μεγέθη, στον τομέα της ορατότητας, κατά τη μελέτη οριζοντιογραφίας και τον έλεγχο των μηκών ορατότητας, στα σχέδια οδού που έγιναν με την χρήση του λογισμικού της Autodesk – AutoCAD Civil 3D, η ίδια πολυγωνική όδευση οδού, βρέθηκε να πληροί τα κριτήρια ορατότητας τόσο για συμβατικά όσο και για αυτόνομα οχήματα.

Η όδευση αυτή σχεδιάστηκε κυρίως για ακαδημαϊκούς σκοπούς, και ως εκ τούτου έχουν γίνει κάποιες βασικές παραδοχές όπως η ύπαρξη μόνο κυκλικών τόξων και καμιάς άλλης καμπύλης, όπως επίσης και η διέλευση της οδού από έντονο ανάγλυφο, για να έχουμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε συνεχόμενες κυρτές και κοίλες καμπύλες από πλευράς ορατότητας (η ορατότητα σε κυρτές και κοίλες καμπύλες θα αναλυθεί στην επόμενη υποενότητα). Παρακάτω, παρατίθεται απόσπασμα της προαναφερθείσας χάραξης, στην οποία στηρίζονται και οι αλλαγές στις οποίες θα αναφερθούμε στην επόμενη υποενότητα:



Εικόνα 56 - Τμήμα μελέτης οριζοντιογραφίας οδού σε ψηφιακό περιβάλλον του AutoCAD - Civil3D

4.4.2 Κατά τη μελέτη μηκοτομής

Συνεχίζοντας στο κομμάτι της μελέτης της μηκοτομής, οφείλουμε να τονίσουμε πως αυτό είναι και το σκέλος της μελέτης της οδού, όπου, τα αυτόνομα οχήματα αναμένεται να επιφέρουν τις μεγαλύτερες αλλαγές κατά τη διαδικασία της σχεδίασης. Όπως έχει αναφερθεί και στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**, οι βασικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την μελέτη ορατότητας στη μηκοτομή οδού, είναι το ύψος του προβολέα του οχήματος, η γωνία διασποράς της δέσμης φωτός του προβολέα του οχήματος, καθώς και το ύψος του οφθαλμού του οδηγού του οχήματος. Ακόμα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο χρόνος αντίδρασης του οδηγού, ο χρόνος t_R (χρόνος αντίδρασης του οδηγού του οχήματος στο οπτικό ερέθισμα).

Εστιάζοντας αρχικά στο κομμάτι του χρόνου αντίδρασης του οδηγού, οφείλουμε να αναφέρουμε πως αυτός κατά ΟΜΟΕ-Χ ορίζεται ίσως με 2 sec, ενώ στους αντίστοιχους αμερικανικούς κανονισμούς θεωρείται πάλι 2 sec, ευρισκόμενος παρ' όλα αυτά εντός του κλειστού διαστήματος [0.7,2.6]sec. Όπως αναφέρεται (Khaska & Miletics, 2021), (Koren, Borsos, & Klec, 2021), ο χρόνος αντίδρασης για τα αυτόνομα οχήματα που λειτουργούν με LiDAR έχει προσδιοριστεί μεταξύ 0,5 – 0,8sec, με επικρατέστερη τιμή τα 0,5sec, τιμή σαφώς πιο χαμηλή από αυτή των συμβατικών οχημάτων. Το γεγονός αυτό καθιστά λοιπόν τα αυτόνομα οχήματα σαφώς ανώτερα των οχημάτων με ανθρώπους οδηγούς στον τομέα του χρόνου αντίληψης.

Ακόμη, όπως αναφέρεται (Khoury, Amine, & Abi Saad, 2019) (Koren, Borsos, & Klec, 2021), ένα ακόμη πρόβλημα που έρχονται να καλύψουν τα LiDAR των αυτόνομων οχημάτων στο κομμάτι της ορατότητας, είναι αυτά της ικανότητας του ανθρωπίνου οφθαλμού να προσδιορίσει με ακρίβεια την απόσταση την οποία παρατηρεί. Είναι χαρακτηριστικό πως, ο ανθρωπίνος οφθαλμός σε «καθαρό» ορίζοντα μπορεί να δει σε βάθος έως και 3,5 χιλιομέτρων, σε αντίθεση με τα διάφορα μοντέλα συσκευών LiDAR τα οποία έχουν εμβέλεια μεταξύ 120 και 300 μέτρων. Ο τομέας όμως όπου τα LiDAR υπερτερούν του ανθρώπου και του ανθρωπίνου οφθαλμού, είναι αυτός της ακρίβειας προσδιορισμού της μετρούμενης απόστασης, καθώς, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας, τα LiDAR έχουν ακρίβεια μέτρησης της τάξης των 2-3cm, σε αντίθεση με τον ανθρωπινό

οφθαλμό, ο οποίος βάσει μελετών έχει αποδειχθεί πως αδυνατεί να προσδιορίσει με ακρίβεια μεγάλες αποστάσεις, με χαρακτηριστικό μέγεθος τον λάθος προσδιορισμό αποστάσεων μεταξύ 6-120μ. από τον ανθρώπινο οφθαλμό σε ποσοστό 25% των μετρήσεων, με το ποσοστό αυτό να μεγαλώνει όσο αυξάνονται και οι αποστάσεις.

Συνεχίζοντας, και εστιάζοντας στο κομμάτι του ύψους του οφθαλμού, οφείλουμε να παρατηρήσουμε πως η διεθνής βιβλιογραφία έχει εστιάσει αρκετά γύρω από αυτόν τον τομέα, αναγνωρίζοντας έτσι την σημασία του στη διαδικασία μελέτης ορατότητας της οδού. Έχοντας ως αντικείμενο μελέτης τα αυτόνομα οχήματα της WAYMO , τα οποία παρουσιάστηκαν εκτενώς παραπάνω, οι (Khoury, Amine, & Abi Saad, 2019) και (Ivancev, Dzambas, & Dragcevin, 2022), καταλήγουν ασφαλώς στο συμπέρασμα πως, το ύψος οφθαλμού του οδηγού του οχήματος θα είναι ίσο με το ύψος της οροφής του οχήματος μελέτης της WAYMO , συν το ύψος της συσκευής LiDAR που παράγει η ίδια η εταιρεία και εξοπλίζει τον στόλο της. Τα μεγέθη αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

i) Ύψος οχήματος = 1,555μ.

ii) Ύψος LiDAR = 0.284μ.

Συνεπώς, το ύψος οφθαλμού κατά τη μελέτη μηκοτομής, θεωρώντας ως όχημα μελέτης αυτόνομο όχημα, τίθεται ίσο με $h_1 = 1.84\mu$.

Το νέο ύψος αυτό, για τους ελληνικούς κανονισμούς χάραξης οδών, αντικαθιστά το υφιστάμενο ύψος οφθαλμού του οδηγού του οχήματος, το οποίο βάσει ΟΜΟΕ-Χ , λαμβάνεται ίσο με $h_A = 1.06 \mu$.

Ακόμα, πολύ σοβαρό ρόλο στον υπολογισμό του μήκους ορατότητας κατά την κίνηση σε καμπύλη , έχει και η γωνία διασποράς της ακτίνας του προβολέα του οχήματος. Στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων , η ακτίνα του προβολέα αντικαθίσταται από την ακτίνα της δέσμης laser που εκπέμπει η συσκευή LiDAR για την χαρτογράφηση του περιβάλλοντος , η οποία όπως αναφέρεται (Khoury, Amine, & Abi Saad, 2019) , ισούται με $26,8^\circ$. Το μέγεθος το οποίο οφείλουμε να αναφέρουμε προτού προχωρήσουμε σε ανάλυση με αριθμητικά και σχηματικά παραδείγματα, είναι αυτό του ύψους του προβολέα του οχήματος, το οποίο κατά

την διεθνή βιβλιογραφία, λαμβάνεται ίσο με το ύψος στο οποίο είναι τοποθετημένη η συσκευή LiDAR επί του οχήματος, δηλαδή 1,84μ.

Συνοψίζοντας όλες τις προαναφερθείσες βιβλιογραφικές πηγές, και ύστερα από συνεκτίμηση των προδιαγραφών που ορίζονται από το τεύχος των ΟΜΟΕ-Χ, καταλήγουμε ασφαλώς στο συμπέρασμα πως η επικράτηση των αυτόνομων οχημάτων θα οδηγήσει σε τροποποίηση των όσων μέχρι σήμερα ίσχυαν. Η τροποποίηση αυτή των ισχυόντων σχεδιαστικών περιορισμών, έγκειται στην αλλαγή του βασικού μεγέθους του **ύψους οφθαλμού** του οδηγού ($h_1 = 1.06m$ για άνθρωπο / $h_1 = 1.84$ για LiDAR), το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο των εξισώσεων για τον υπολογισμό των ελάχιστων τιμών κοίλων και κατακόρυφων καμπυλών.

Προκειμένου να οπτικοποιηθούν και να ποσοτικοποιηθούν οι αλλαγές αυτές, ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία:

- i) Παραδοχή ταχύτητας μελέτης οδού $V_e = 50$ km/h (οδός κατηγορίας A ή B)
- ii) Εύρεση ελάχιστων εφαρμόσιμων ακτινών για κοίλες και κυρτές καμπύλες σε μελέτη μηκοτομής βάσει ΟΜΟΕ-Χ (πίνακας 11-1)
- iii) Αντιστοίχιση ακτινών με τα ελάχιστα απαιτούμενα μήκη ορατότητας βάσει ΟΜΟΕ-Χ (πίνακας 11-1)
- iv) Αντικατάσταση στους υφιστάμενους τύπους του ανθρώπινου ύψους οφθαλμού με ύψος οφθαλμού για LiDAR – Αντικατάσταση γωνίας διασποράς δέσμης φωτός του προβολέα του οχήματος με γωνία διασποράς δέσμης laser LiDAR
- v) Επανυπολογισμός ελάχιστων ακτινών κυρτών και κοίλων καμπυλών για κίνηση αυτόνομων οχημάτων
- vi) Ψηφιακή σχεδίαση και έλεγχος

Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ο σχεδιασμός μιας οδού κατηγορίας A IV, με ταχύτητα μελέτης $V_e = 50$ km/h, η οποία διασχίζει έντονο ανάγλυφο και ενώνει τις κωμοπόλεις του Κορωπίου και των Καλυβίων Θορικού στα Μεσόγεια Αττικής. Η χάραξη της επαναλαμβάνεται πως έγινε επιτηδευμένα διαμέσου έντονου

ανάγλυφου, με σκοπό την ύπαρξη μεγάλων υψομετρικών διαφορών κατά τη μελέτη μηκοτομής.

Βάσει του πίνακα 11-1 – ΟΜΟΕ-Χ, οι ελάχιστες επιτρεπτές τιμές για ακτίνες κυρτών και κοίλων καμπυλών για οδό κατηγορίας Α με ταχύτητα μελέτης $V_e = 50$ km/h ορίζονται ως εξής :

$$\begin{aligned} \min H_k &= 800 \text{ m} \rightarrow \min S_h = 50 \text{ m} \\ \min H_w &= 1350 \text{ m} \rightarrow \min S_h = 50 \text{ m} \end{aligned}$$

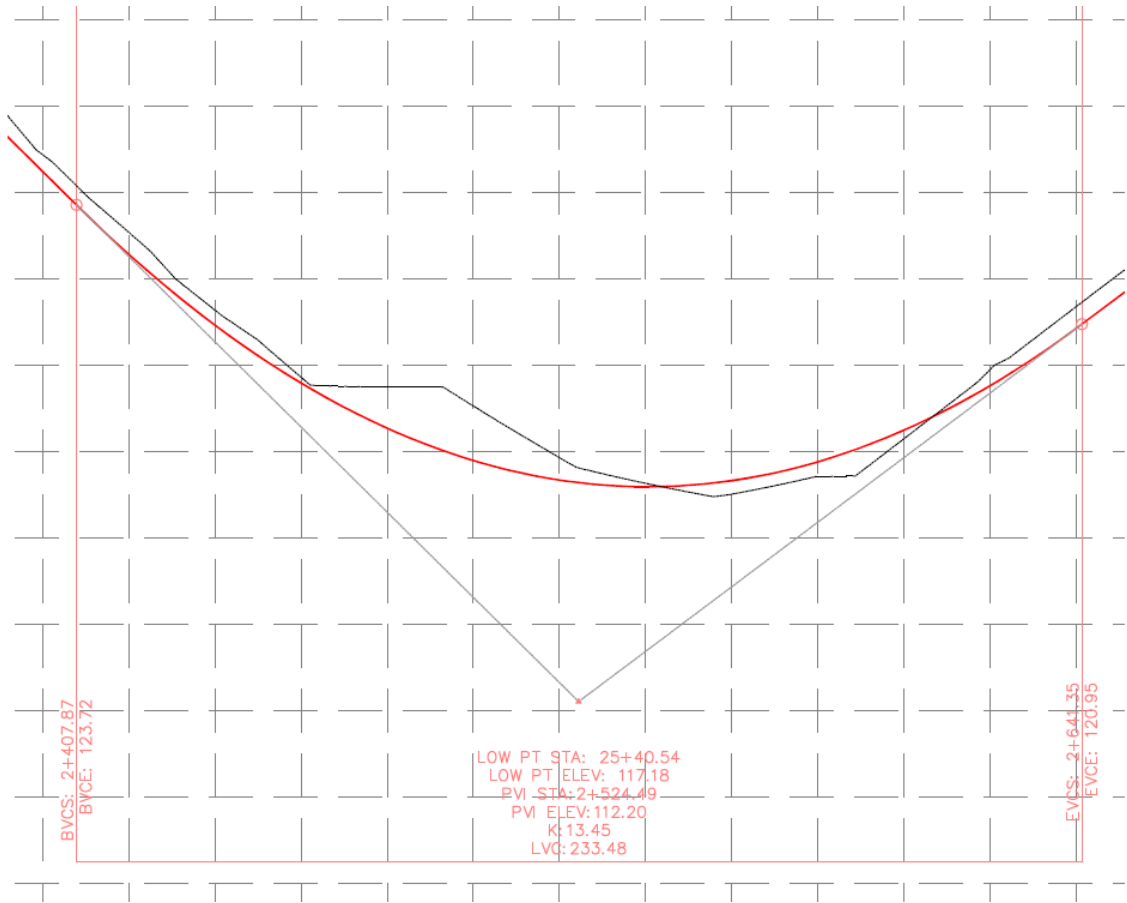
Βάσει των εξισώσεων που έχουν αναφερθεί και στην υποενότητα 3.1.2 *Χάραξη οδού σε Μηκοτομή*, υπολογίστηκαν οι νέες ελάχιστες ακτίνες καμπυλών που προκύπτουν, εάν στις εξισώσεις των ΟΜΟΕ-Χ, εισέλθουν τα μεγέθη των αυτόνομων οχημάτων. Οι νέες τιμές των ελάχιστων ακτίνων βρέθηκαν ίσες με :

$$\begin{aligned} \min H_k &= 500 \text{ m} \\ \min H_w &= 50 \text{ m} \end{aligned}$$

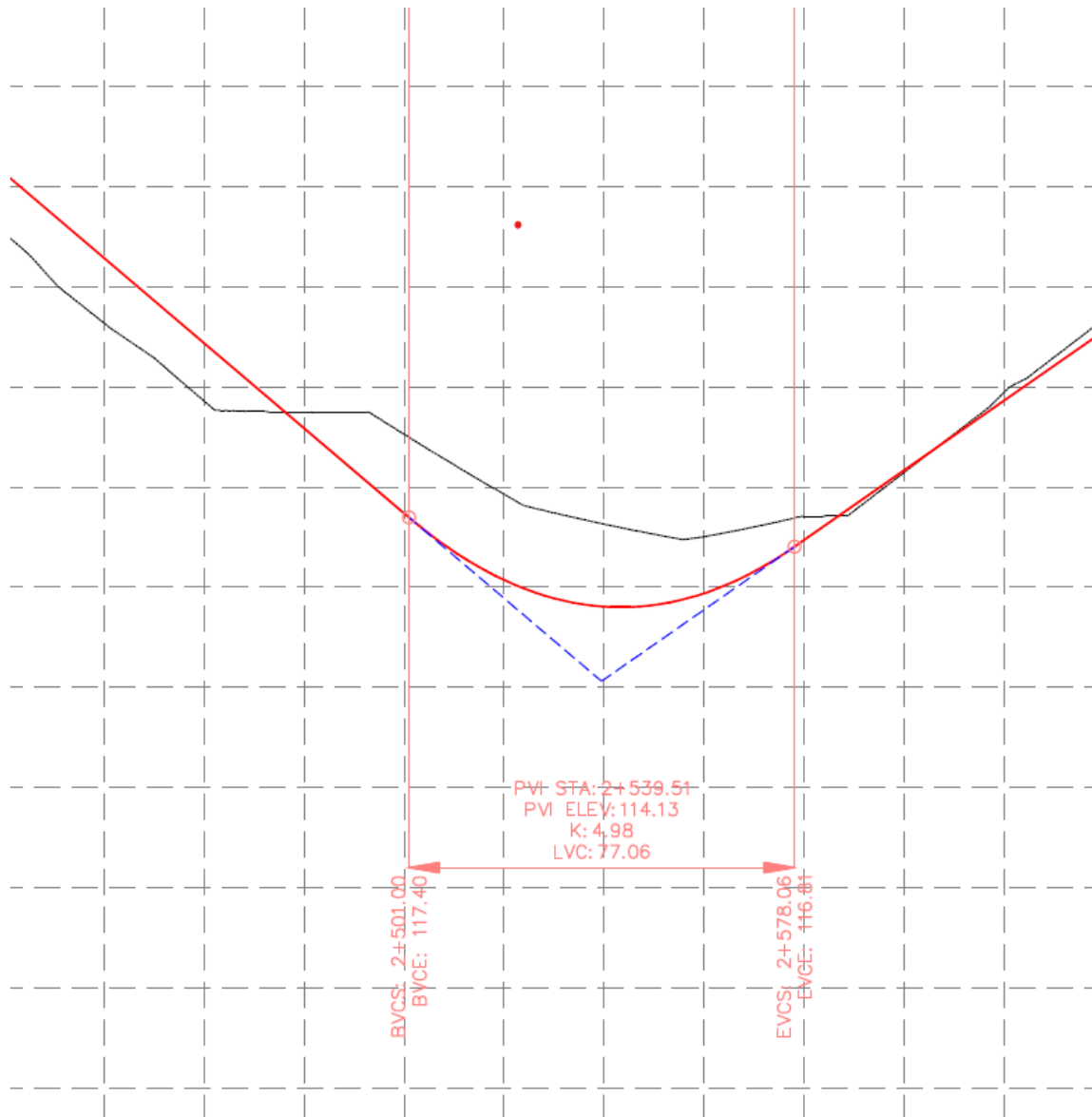
Στην περίπτωση των κοίλων κατακόρυφων καμπυλών, όπου προέκυψε ελάχιστη τιμή ακτίνας ίση με 50μ, λαμβάνοντας υπ' όψη το κριτήριο άνεσης των επιβατών, η πραγματική ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή της ακτίνας ορίζεται ίση με :

$$\min H_w = 400 \text{ m}$$

Μετά τον υπολογισμό των νέων τιμών των ακτινών, αυτές εφαρμόστηκαν στην μηκοτομή της οδού η οποία παρουσιάστηκε προηγουμένως, και παρακάτω θα παρουσιαστούν δύο αποσπάσματα της ίδιας καμπύλης σε μηκοτομή, στην πρώτη περίπτωση σχεδιασμένη για οχήματα οδηγούμενα από άνθρωπο, και στη δεύτερη για αυτόνομα οχήματα :

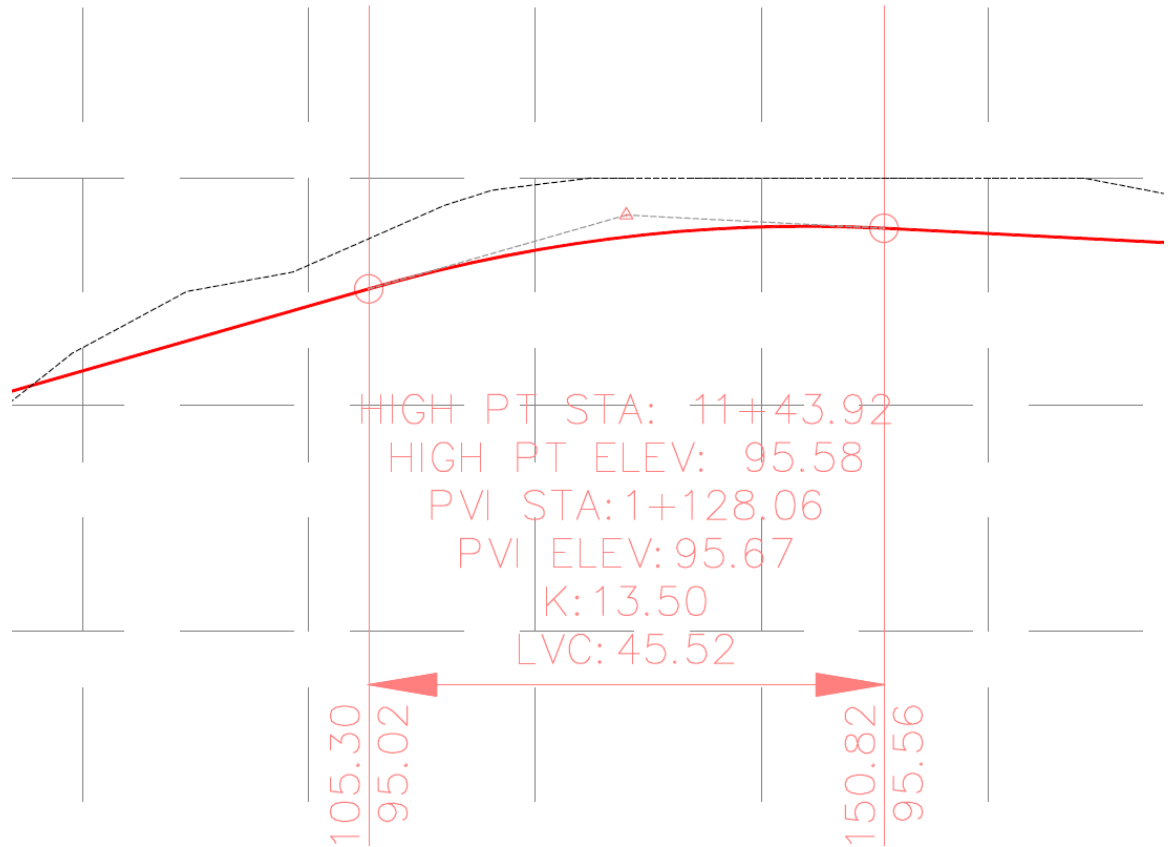


Εικόνα 57 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κοίλης καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για όχημα οδηγούμενο από άνθρωπο

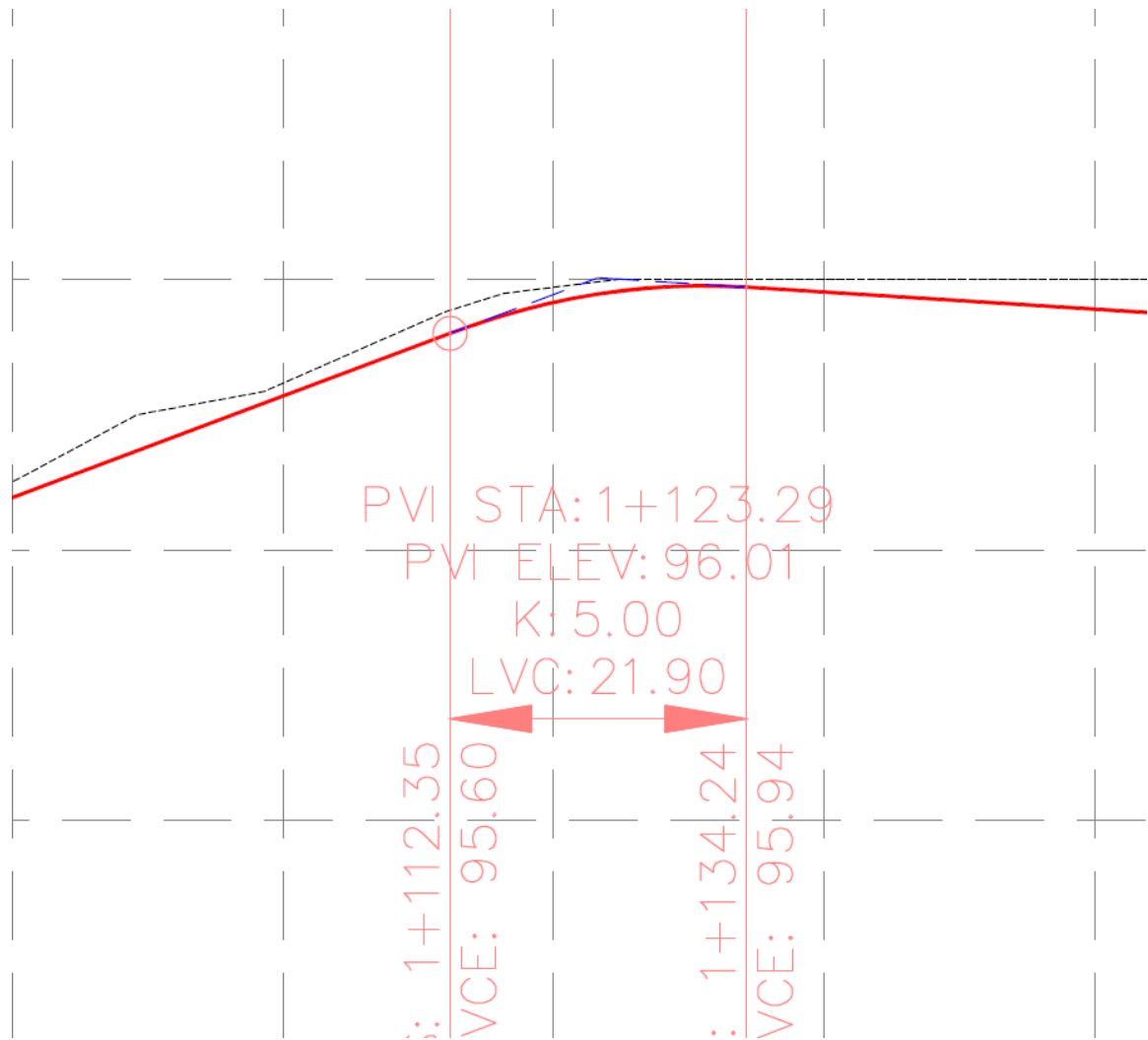


Εικόνα 58 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κοίλης καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για αυτόνομο όχημα

Είναι φανερό από τις δύο παραπάνω εικόνες, πώς , η σχεδίαση σε μηκοτομή μεταξύ των ισχύοντων μέχρι σήμερα, και των απαιτήσεων της σχεδίασης για αυτόνομα οχήματα είναι αισθητά διαφορετική. Η διαφορά αυτή, συναντάται ακόμα και στις κυρτές κατακόρυφες καμπύλες, όπως φαίνεται και στις επόμενες δύο εικόνες που αφορούν την ίδια οδό:



Εικόνα 59 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κυρτής καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για όχημα οδηγούμενο από άνθρωπο



Εικόνα 60 - Σχεδίαση σε μηκοτομή κυρτής καμπύλης με ελάχιστη ακτίνα για αυτόνομο όχημα

Όπως και στην περίπτωση των κοίλων καμπυλών, έτσι και στις κυρτές, η διαφορά που θα προκύψει στην σχεδίαση της οδού, με την εφαρμογή νέων ακτινών, είναι εμφανής.

Ακόμα, αξίζει να αναφερθούμε και στις διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των δύο χαραξενών αναφορικά με τους χωματισμούς της οδού (όπως έχει αναφερθεί και στο 3.1.2 Χάραξη οδού σε Μηκοτομή). Με τη βοήθεια του λογισμικού στο οποίο σχεδιάστηκε η παραπάνω οδός, έχουμε στη διάθεση μας δύο εκθέσεις χωματισμών, μια για κάθε περίπτωση.

ΟΓΚΟΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ 209858.7 m ³	ΟΓΚΟΣ ΕΠΙΧΩΣΕΩΝ 57940.2 m ³	ΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ -151918.5 m ³
ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ		

Πίνακας 4 – Πίνακας χωματισμών για οδό σχεδιασμένη βάσει προδιαγραφών ΟΜΟΕ-Χ για συμβατικά οχήματα

ΟΓΚΟΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ 98286.3 m ³	ΟΓΚΟΣ ΕΠΙΧΩΣΕΩΝ 55244.8 m ³	ΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ -43041.470 m ³
ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΟΧΗΜΑ		

Πίνακας 5 – Πίνακας χωματισμών για οδό σχεδιασμένη βάσει μεγεθών για αυτόνομα οχήματα

Παρατηρώντας κανείς τους δύο παραπάνω πίνακες, είναι εύκολο να αντιληφθεί πως η διαφορά των χωματισμών που προκύπτουν μεταξύ των δύο επιλογών χάραξης της ίδιας οδού (αφενός για όχημα οδηγούμενο από άνθρωπο και αφ' ετέρου για αυτόνομο όχημα) δεν είναι ευκαταφρόνητη. Η ουσιαστική διαφορά εντοπίζεται στον απαιτούμενο όγκο εκσκαφών, καθώς, στην πρώτη περίπτωση απαιτείται η εκσκαφή 209858 m³ υλικών, σε αντίθεση με την δεύτερη, αυτή που είναι σχεδιασμένη για αυτόνομο όχημα, όπου απαιτείται η εκσκαφή λιγότερου από τον μισό όγκο που υπολογίστηκε πριν, δηλαδή 98286 μ³. Η παρατήρηση αυτή αφορά ως επί το πλείστο το κατασκευαστικό κομμάτι της οδού, καθώς, είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι όσο λιγότερα χωματουργικά παρουσιάζει μια προς κατασκευή οδός, τόσο μικραίνει και το ποσό του απαιτούμενου προϋπολογισμού για την κατασκευή της.

Συνοπτικά, στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται όλες οι διαφορές οι οποίες προκύπτουν από την χάραξη σε μηκοτομή μιας οδού, η οποία έχει αρχικά μελετηθεί για κίνηση οχήματος οδηγούμενου από άνθρωπο, και ύστερα για αυτόνομο όχημα :

	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑ	ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΟΧΗΜΑ
Κατηγορία Οδού	A IV	A IV
Ταχύτητα μελέτης V_e	50 km/h	50 km/h
Επιφάνεια κυκλοφορίας οδού	Ενιαία	Ενιαία
Ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης	$\min H_k = 800\text{m}$	$\min H_k = 500\text{m}$
Ελάχιστη ακτίνα κοίλης καμπύλης	$\min H_w = 1350\text{m}$	$\min H_w = 400\text{m}$
Όγκοι χωματισμών	$V = 151918 \text{ m}^3$	$V = 43041 \text{ m}^3$

Πίνακας 6 - Συγκεντρωτικός πίνακας αλλαγών υπολογισμών για σχεδίαση βάσει συμβατικού και βάσει αυτόνομου οχήματος

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα και Αντικείμενα για περαιτέρω έρευνα

Η εργασία αυτή, στόχο και σκοπό είχε την ουσιώδη διερεύνηση και εμβάθυνση επί των αλλαγών και των επιπτώσεων που πρόκειται να επιφέρουν τα αυτόνομα οχήματα, στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, τόσο ειδικά όσο και σε ένα γενικότερο πλαίσιο. Ειδικά, σχετικά με τις αλλαγές που θα προκύψουν στους κανονισμούς των θεμελιωδών μεγεθών που αφορούν την γεωμετρική χάραξη μιας οδού, όπως αυτά ισχύουν σήμερα βάσει των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ που αφορούν συμβατικά οχήματα, και γενικά, στο ευρύτερο κοινωνικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται η κατασκευή μιας οδού, η οποία αποτελεί ένα έργο το οποίο είναι αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας κάθε ανθρώπου, χρήστη της ή μη, σε ευρύτερο πλαίσιο εκτός του καθαρά σχεδιαστικού και οδηγικού.

Από τη μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τις αλλαγές στον γεωμετρικό σχεδιασμό, προέκυψαν ουσιαστικά συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο η επικράτηση των αυτόνομων οχημάτων θα επηρεάσει τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Η αλλαγή του ύψους οφθαλμού του οδηγού από 1,06μ σε 1,84μ , καθώς και η χρήση συσκευής υψηλής τεχνολογίας έναντι του ανθρώπινου οφθαλμού , για την καθοδήγηση ενός οχήματος, φάνηκε πως θα παίξει ουσιαστικό ρόλο στην αλλαγή των όσων μέχρι σήμερα γνωρίζαμε για τη χάραξη των οδών. Ακόμα, η αλλαγή στη διαστασιολόγηση των διατομών των οδών είναι κάτι το οποίο δεν ήταν εκ των ουκ άνευ αναμενόμενο, καθώς το σύστημα πλοήγησης του αυτόνομου οχήματος, είναι αυτό που καθιστά δυνατή την μείωση του πλάτους λωρίδας εντός ή εκτός αστικού ιστού, ακόμα και κατά 25% , δίνοντας έτσι περισσότερο ελεύθερο εκμεταλλεύσιμο χώρο.

Σε ευρύτερο πλαίσιο, φαίνεται πως η επικράτηση των αυτόνομων οχημάτων τείνει να αφήσει ένα θετικό αποτύπωμα , εξεταζόμενη κάθε φορά κάτω από διαφορετική οπτική, καθώς, όλες οι υπάρχουσες απόψεις συγκλίνουν στο γεγονός ότι τομείς όπως το περιβάλλον, η οδική ασφάλεια, οι μεταφορές ή ακόμη και η ψυχική υγεία οδηγών και μη, θα επηρεαστούν θετικά από τα αυτόνομα οχήματα.

Μολονότι η παρούσα εργασία αποτελεί μια έρευνα επάνω στις «επιπτώσεις» των αυτόνομων οχημάτων στον γεωμετρικό οδικό σχεδιασμό, το πεδίο των επιπτώσεων, είτε θετικών είτε αρνητικών, δεν εξαντλείται σε αυτό το

ζήτημα. Ένα πολύ ουσιαστικό κομμάτι που εκκρεμεί προς μελέτη και συζήτηση, είναι οι επιπτώσεις που θα επιφέρουν τα αυτόνομα οχήματα στην κατασκευή και συντήρηση των οδικών υποδομών, καθώς, λόγω της τεχνολογίας που διαθέτουν, είναι προγραμματισμένα να λειτουργούν βάσει κάποιων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αφορούν οπτικά ερεθίσματα, όπως την βαφή της διαγράμμισης επί της επιφάνειας της οδού, η την ανάγκη ή όχι για ύπαρξη φωτισμού επί της οδού, καθώς οι συσκευές LiDAR τις οποίες και φέρουν τα αυτόνομα οχήματα, είναι πομποί και δέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας laser και δεν απαιτούν οπτικό ερέθισμα στο φάσμα του ανθρωπίνως ορατού φωτός.

Ακόμη, ένα πολύ σημαντικό ζήτημα αναφορικά με τα αυτόνομα οχήματα το οποίο οφείλει να μελετηθεί διεξοδικότερα, είναι το κατά πόσο θα κριθεί βιώσιμη ή όχι, η συνύπαρξη εντός του δρόμου αυτόνομων και μη οχημάτων, καθώς αυτή είναι μια κατάσταση η οποία σίγουρα θα αποτελέσει μεταβατικό στάδιο της αυτοκίνησης για αρκετά χρόνια.

Τέλος, ένα εξίσου σημαντικό αντικείμενο το οποίο χρήζει παραπάνω διερεύνησης, είναι ο τρόπος με τον οποίο θα επιδράσουν τα χαρακτηριστικά των αυτόνομων οχημάτων, στον σχεδιασμό και τη λειτουργία κόμβων, τόσο ισόπεδων όσο και ανισόπεδων, καθώς και στον σχεδιασμό των οδών εντός αστικού ιστού, στο κομμάτι που αφορά τις νέες θέσεις στάθμευσης που ενδεχομένως να προκύψουν.

Κεφάλαιο 6^ο : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Apostoleris, A. (2012). *ΟΔΟΠΟΙΪΑ Ι - ΧΑΡΑΞΕΙΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΧΩΜΑΤΙΣΜΩΝ - ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΗ*. Athens.
2. Aryal, P. (2020). *Optimization of geometric road design for autonomous vehicles*.
3. Autonomous Vehicles. (2021). Στο C. Bartneck, C. Luetge, A. Wagner, & S. Welsh, *An introduction to ethics in robotics and AI* (σσ. 83-91). SpringerBriefs in Ethics.
4. Barth, M., Boriboonsomsin, K., & Wu, G. (2014). Vehicle Automation and its potential impact on energy and emissions. Στο G. Meyer , & S. Beiker, *Road Vehicle Automation ,Lecture notes in mobility*. Springer International Publishing Switzerland.
5. Bila, C., Sivrikaya, F., Khan, M. A., & Albayrak, S. (2017). Vehicles of the Future: A Survey of Research on Safety Issues. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1046-1065.
6. Carson. (2016). Google's dream of a steering-wheel-free future is reportedly being curtailed.
7. Chatila, R., Tessier , C., & Perrin, J. (2021). *Ethical issues regarding autonomous vehicles*. National Pilot Committee for Digital Ethics - Comite National Pilote d' Ethique du Numerique.
8. Cottrell, N., & Barton, B. (2011). The role of automation in reducing stress and negative affect while driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*.
9. Duarte, F., & Ratti, C. (2018). The impact of autonomous vehicles on cities. *Journal of Urban Technology*.
10. Eugensson, A., Bronnstrom, M., Frasher, D., Rothoff, M., Solyom, S., & Robertsson, A. (2013). Environmental, safety, legal and societal implications of autonomous driving systems.
11. Faisal et. al, A. (2019). Understanding autonomous vehicles. *Journal of Transport and Land Use*.

12. Friedrich, B. (2016). The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic. Στο M. Mauer, J. Gerdes, B. Lenz, & H. Winner, *Autonomous Driving - Technical, Legal and Social Aspects* (σσ. 317-334). SpringerOpen.
13. Hoerl, S., Ciari, F., & Auxhausen, K. W. (2016). Recent perspective on the impact of autonomous vehicles.
14. Islam, S., Habib, R., Tanvir, S., & Tashrif, T. (2022). Autonomous Driving Vehicle System Using LiDAR Sensor.
15. Ivancev, A. C., Dzambas, T., & Dragceviv, V. (2022). *Road infrastructure requirements to accomodate autonomous vehicles*.
16. Kassimi, A. (2016). World's Most Successful Driverless Bus Pilot in Trikala.
17. Khaska, K., & Miletics, D. (2021). Sight distance analyses for autonomous vehicles in Civil 3D. *Pollack Periodica - An international Journal for Engineering and Information Sciences*.
18. Khayatian, M., Mehrabian, M., Andert, E., Dedinsky, R., Choudhary, S., Lou, Y., & Shirvastava, A. (2020). A Survey on Intersection Management of Connected Autonomomous Vehicles. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 1-28.
19. Khoury, J., Amine, K., & Abi Saad, R. (2019). An Initial Investigation of the Effects of a Fully Automated Vehicle Fleet on Geometric Design. *Journal of Advanced Transportation*.
20. Koren, C., Borsos, A., & Klec, M. (2021). Sight distances at unsignalized intersections : A comparison of guidelines and requirements for human drivers and autonomous vehicles. *Archives of Transport*.
21. Lamm, Psarianos, Kontaratos, Katsios, Soilemezoglou, & Drimalitou. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 1 : Λειτουργική Κατάταξη Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ)*.
22. Lamm, Psarianos, Kontaratos, Katsios, Soilemezoglou, & Drimalitou. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 3 : Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ)*.

23. Lamm, Psarianos, Kontaratos, Katsios, Soilemezoglou, & Drimalitou. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 4 : Κύριες Αστικές Οδοί (ΟΜΟΕ - ΚΑΟ)*.
24. Lamm, R., Ψαριανός, Β., Κονταράτος, Μ., Κάτσιος, Δ., Σοϊλεμέζογλου, Γ., & Δρυμαλίτου, Δ. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων - Τεύχος 2 : Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ)*.
25. Li, Y., & Ibanez-Guzman, J. (2020). Lidar for autonomous driving - The principles, challenges and trends for automotive lidar and perception systems. *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*.
26. Luetge, C. (2017). German ethics code for automated and connected driving. Στο *Philosophy & Technology* (σσ. 547-558). Springer.
27. Manivasakan, H., Kalra, R., O' Hern, S., Fang, Y., Xi, Y., & Zheng, N. (2021). Infrastructure requirements for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads - Current practice and a case study of Melbourne, Australia. Στο *Transportation Research Part A : Policy and Practice , Volume 155* (σσ. 36-53). Elsevier Ltd.
28. Maunsell, D., Tanguturi, P., & Hogarth, J. (2014). Realising the benefits of autonomous vehicles in Australia.
29. Metz, D. (2018). Developing policy for Urban Autonomous Vehicles : Impact on Congestion. *Urban Science*.
30. Othman, K. (2021). Impact of autonomous vehicles on the physical infrastructure : Changes and Challenges. *MDPI designs*.
31. Rajasekhar, V. M., & Jaswal, A. K. (2015). Autonomous Vehicles : The future of automobiles. *IEEE Conference*.
32. Riggs, W., Ruhl, M., Rodier, C., & Baumgardener, W. (2019). Designing Streets for Autonomous Vehicles. *SPRINGER NATURE SWITZERLAND*.
33. Rojas - Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Khreis, H., & Frumkin, H. (2020). Autonomous Vehicles and Public Health.
34. Royo, S., & Ballesta-Garcia, M. (2019). An overview of LiDAR Imaging Systems for autonomous vehicles. *Journal of applied sciences - MDPI*.
35. (χ.χ.). *Safe Road Trains for the Environment*.

36. Severino, A., Curto, S., Barberi, S., Arena, F., & Pau, G. (2021). Autonomous Vehicles: An Analysis Both on Their Distinctiveness and the Potential Impact on Urban Transport Systems.
37. Singh, S., & Saini Singh, B. (2020). Autonomous cars : Recent developments, challenges and possible solutions. *ICCRDA*.
38. Sohrabi, e. (2020). Impacts of autonomous vehicles on public health.
39. Sundermaier, D. L. (2021). Lidars for vehicles: from the requirements to the technical evaluation.
40. Taeihagh, A., & Lim, H. (2019). Governing autonomous vehicles : emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity and industry risks.
41. Tientrakool, P. (2011). Highway Capacity Benefits from using vehicle to vehicle communication and sensors for collision avoidance.
42. Tyagi, A. K., & Aswathy, S. U. (2021). Autonomous Intelligent Vehicles : Research statements, open issues, challenges and road for future. *International Journal of Intelligent Networks*.
43. Verheijen, E., & Jabben, J. (2010). *Effects of electric cars on traffic noise and safety*.
44. Willems, L. (2021). Understanding the impacts of autonomous vehicles in logistics.

