

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΣΤΟ ΒΟΛΟ»



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΙΟΛΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κυκλικοί κόμβοι αντικαθιστούν ολοένα και περισσότερο τους κλασικούς σηματοδοτούμενους κόμβους καθώς είναι το πλέον καινοτόμο και αποδοτικότερο μέσο ελέγχου διασταυρώσεων τόσο σε αστικό όσο και σε υπεραστικό περιβάλλον. Η διάταξή τους συνδράμει στη μείωση των ατυχημάτων που προκαλούνται μέσω της αλλαγής κατεύθυνσης των οδηγών. Με γνώμονα το σωστό γεωμετρικό σχεδιασμό οι κυκλικοί κόμβοι μπορούν να αποδώσουν τόσο στη λειτουργία όσο και στον καλλωπισμό της περιοχής που εγκαθίστανται. Η επιλογή κυκλικών κόμβων έναντι των υφιστάμενων σηματοδοτούμενων διασταυρώσεων γίνεται διότι μειώνουν την ταχύτητα των οχημάτων, συμβάλλουν θετικά στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης όπως επίσης και στη μείωση της ηχορύπανσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων, αναλύοντας και συγκρίνοντας τα θετικά και τα αρνητικά χαρακτηριστικά τους καθώς και τη διαδικασία για έναν σωστό γεωμετρικό σχεδιασμό. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μελέτη για την αντικατάσταση μιας υφιστάμενης διασταύρωσης με κόμβο κυκλικής κυκλοφορίας ακολουθώντας τις ισχύουσες προδιαγραφές. Με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού γίνεται ο υπολογισμός και ο σχεδιασμός του κυκλικού αυτού κόμβου.

ABSTRACT

Roundabouts are increasingly replacing signalized and non-signalized intersections, because they are the most efficient mean of controlling an intersection as much in an urban as in an interurban environment. The arrangement of roundabouts is contributing in minimizing accidents that are caused of vehicles changing their lanes. With the right geometric design, roundabouts can deliver a better function of the intersection and a better-looking area. An important factor for choosing roundabouts over signalized intersection is the reduced entry speed, less traffic jam and less noise pollution we can achieve.

This diploma thesis describes the geometric characteristics of roundabouts by analyzing and comparing both the advantages and disadvantages, and how we can design a roundabout properly. Furthermore, a plan of the design of a roundabout in the city of Volos is being carried out according to the applicable specifications. It is designed and presented by using the appropriate software to replace the existing signalized intersection

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	9
1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	10
1.1. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ.....	10
1.2. ΕΛΙΓΜΟΙ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΠΛΟΚΗΣ	11
1.3. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	12
1.4. ΧΡΗΣΤΕΣ	13
1.4.1. ΟΔΗΓΟΙ.....	13
1.4.2. ΠΕΖΟΙ	15
1.4.3. ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ.....	15
1.5. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ	15
1.5.1. Καθυστέρηση οχήματος και δημιουργία ουράς	16
1.5.2. Καθυστέρηση σε κύριες ροές οχημάτων	16
1.5.3. Συντονισμός σημάτων κυκλοφορίας	17
1.6. ΧΩΡΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	17
1.7. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	21
1.8. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	21
1.9. ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	22
1.10. ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	23
1.11. ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ.....	24
1.12. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	25
2. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	29
2.1. ΠΕΖΟΙ	29
2.2. ΠΕΖΟΙ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ	32

2.3.	ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ.....	34
2.4.	ΟΔΗΓΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ	36
2.5.	ΜΕΓΑΛΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	39
2.6.	ΔΙΕΛΕΥΣΗ (TRANSIT)	39
2.7.	ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ	40
2.8.	ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΙΑΒΑΣΕΙΣ.....	40
3.	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	41
3.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	45
3.2.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	49
3.2.1.	ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΙ ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ.....	49
3.2.2.	ΙΣΟΠΕΔΟΙ ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ.....	52
3.3.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	55
3.3.1.	ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ.....	55
3.3.2.	ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΙΑΣ ΛΩΡΙΔΑΣ	56
3.3.3.	ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΔΥΟ ΛΩΡΙΔΩΝ	58
4.	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ.....	59
4.1.	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ	60
4.2.	ΌΧΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	61
4.3.	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	61
4.4.	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	65
4.5.	ΠΛΑΤΟΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ.....	66
4.6.	ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΕΩΝ.....	66
4.7.	ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΛΑΔΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	67
4.8.	ΓΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΕΛΩΝ.....	68
4.9.	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΙΣΟΔΩΝ	68
4.10.	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΞΟΔΩΝ	69
4.11.	ΠΟΡΕΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	69
4.12.	ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ	70

5. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (Κ3) ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΟΔΩΝ ΒΟΛΟΥ-ΛΑΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΙΛΕΛΕΡ	70
5.1. Συνοπτική περιγραφή της μελέτης	70
5.2. Ισχύοντες κανονισμοί και προδιαγραφές.....	71
5.3. Ισόπεδος κόμβος – Υφιστάμενη Κατάσταση	71
5.4. Οχήματα Σχεδιασμού.....	76
5.5. Διαστάσεις Κυκλικού Κόμβου.....	76
5.6. Περιγραφή της νέας διαμόρφωσης του κόμβου.....	77
5.7. Έλεγχοι επίδοσης και ασφάλειας νέας διαμόρφωσης κυκλικού κόμβου	79
5.8. Υψομετρικός Σχεδιασμός.....	82
5.9. Κατακόρυφη σήμανση	82
ΛΙΣΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΝΑΦΟΡΩΝ	84

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η έννοια του στενού δρόμου και μεγάλου κόμβου (<i>Wide Nodes, Narrow Roads Concept</i>)	19
Εικόνα 2. Παράδειγμα του στενού δρόμου και μεγάλου κόμβου.....	20
Εικόνα 3. Παράδειγμα πύλης διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών περιοχών, <i>Clearwater, Florida</i>	24
Εικόνα 4. Παράδειγμα αισθητικής παρέμβασης, <i>Ladera Ranch, California</i>	25
Εικόνα 5. Παλιός Κυκλοφοριακός Κύκλος στο Μόναχο (<i>Brilon, 2011</i>).	44
Εικόνα 6. Σύγχρονος Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (<i>Brilon, 2011</i>).....	44
Εικόνα 7. Προτεραιότητα των εντός του κυκλικού κόμβου κινούμενων οχημάτων (<i>Brilon, 2011</i>).	46
Εικόνα 8. Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (<i>NCHRP & FHWA, 2010</i>).	48
Εικόνα 9. Τυπικός κυκλικός κόμβος μιας λωρίδας (<i>Brilon, 2011</i>)	49
Εικόνα 10. Κυκλικός Κόμβος Δύο Επιπέδων (<i>The Highways Agency et al., 2007</i>).	51
Εικόνα 11. Κυκλικός Κόμβος Τριών Επιπέδων (<i>The Highways Agency et al., 2007</i>).	51
Εικόνα 12. Διπλός Κυκλικός Κόμβος μορφής «Αλήθρα» (<i>dumbbell interchange</i>) (<i>NCHRP & FHWA, 2010</i>).....	52
Εικόνα 13. Απλός Κυκλικός Κόμβος (μίας λωρίδας) (<i>Brilon, 2011</i>).	53
Εικόνα 14. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (<i>NCHRP & FHWA, 2010</i>).	54
Εικόνα 15. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (<i>Brilon, 2011</i>).	54
Εικόνα 16. Βήματα σχεδιασμού κόμβου κυκλικής κίνησης (<i>ΟΜΟΕ-K3, 2011</i>)	59
Εικόνα 17. Βασικές γεωμετρικές παράμετροι (<i>ΟΜΟΕ-K3, 2011</i>).....	62
Εικόνα 18. Αποστάσεις ελέγχου επικάλυψης πορείας (<i>ΟΜΟΕ-K3, 2011</i>)	63
Εικόνα 19. Πορείες οχημάτων (<i>ΟΜΟΕ-K3, 2011</i>)	64
Εικόνα 20. Απαιτούμενος αριθμός λωρίδων (<i>ΟΜΟΕ-K3, 2011</i>)	67
Εικόνα 21. Ευρύτερη περιοχή διαμόρφωσης του κόμβου.....	72
Εικόνα 22. Υφιστάμενη κατάσταση στην εγγύτερη περιοχή του κόμβου και ονοματολογία συντρεχουσών οδών.....	73

Εικόνα 23. Όριο οδού και απεικόνιση γειτονικών ιδιοκτησιών με βάση το ψηφιακό υπόβαθρο του Εθνικού Κτηματολογίου	74
Εικόνα 24. Περιοχή Κόμβου – Υφιστάμενη Κατάσταση. (Βόλου – Λάρισας και Κιλελέρ)	74
Εικόνα 25. Απεικόνιση ισοϋψών στον κόμβο μελέτης. Ομαλό υψόμετρο με διακύμανση μεταξύ των 19-20μ (μέγιστη υψομετρική διαφορά 77cm).	75
Εικόνα 26. Όχημα Σχεδιασμού Μελέτης.....	76
Εικόνα 27. Απεικόνιση γωνιών θάλασης και εισόδου	78
Εικόνα 28. Αποτύπωση γεωμετρίας κυκλικού κόμβου σε ορθοφωτοχάρτη	78
Εικόνα 29. Αποτύπωση ευρύτερης περιοχής κυκλικού κόμβου σε ορθοφωτοχάρτη.....	79
Εικόνα 30. 2d προσομοίωση στο Torus ταχυτητών εισόδου – εξόδου για οχήματα σχεδιασμού και για συμβατικά οχήματα	79
Εικόνα 31. Υπολογισμός μηκών ορατότητας με οριζοντιογραφία προτεινόμενης διάταξης στο περιβάλλον του Torus	80
Εικόνα 32. Υπολογισμών γωνιών ορατότητας.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 33. Έλεγχος κίνησης οχήματος σχεδιασμού σε αναστροφή.....	81
Εικόνα 34. Έλεγχος κίνησης οχήματος σχεδιασμού με κατεύθυνση από Βόλο προς την οδό Κιλελέρ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 35. Έλεγχος κίνησης οχήματος σχεδιασμού με κατεύθυνση από Λάρισα προς οδό Μενέλαου Λουντέμη.....	81
Εικόνα 36. Οριζοντιογραφία κυκλικού κόμβου με κατακόρυφη σήμανση	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 1. Σύνοψη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των κυκλικών κόμβων.</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά κόμβων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας 3. Προτεινόμενη διάμετρος της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)</i>	<i>61</i>
<i>Πίνακας 4. Τυπικά πεδία τιμών σχεδιασμού γεωμετρικών παραμέτρων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011) .</i>	<i>62</i>
<i>Πίνακας 5. Ακτίνες συντομότερης διαδρομής και ταχύτητες (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)</i>	<i>64</i>

1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Πολλοί συγκοινωνιακού τύπου δημόσιοι οργανισμοί αναζητούν εναλλακτικές μεθόδους ελέγχου των διασταυρώσεων για να βελτιώσουν την ασφάλεια και να μεταφέρουν περισσότερη κυκλοφορία χωρίς να διευρύνουν τους δρόμους. Οι κυκλικοί κόμβοι γίνονται πιο δημοφιλείς με βάση τα πολλαπλά πλεονεκτήματα στην ασφάλεια, τη λειτουργικότητα και την αισθητική. Ωστόσο, καθώς συνεχώς αυξάνεται η εξοικείωση με αυτούς τους τύπους διασταυρώσεων, είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητά τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματά τους (Goel & Kumar, 2014).

1.1. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ

Είναι γεγονός ότι η διάρθρωση του οδικού συστήματος κρίνεται σημαντική για κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής, από την μεταφορά αγαθών και προϊόντων, μέχρι την μετακίνηση ανθρώπων για διάφορους σκοπούς. Ακολουθώντας, ο συνδυασμός τόσο των κόμβων κυκλοφορίας, όσο και των οδών συνιστά το λεγόμενο “οδικό δίκτυο”. Από την μία πλευρά με τον όρο “κόμβος κυκλοφορίας” αποδίδεται το σύνολο εκείνο των σημείων στα οποία υπάρχει σύνδεση μιας ή και μεγαλύτερου αριθμού οδών. Δεν πρέπει να λησμονεί κανείς φυσικά ότι πρωταρχική επιδίωξη ενός Μηχανικού είναι η καλύτερη δυνατή μετακίνηση των πάσης φύσεως μεταφορικών μέσων που χρησιμοποιούν έναν κόμβο κυκλοφορίας είτε σε υπεραστικό, είτε σε αποκλειστικά αστικό επίπεδο.

Προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω, είναι αναγκαίο να αναφερθεί κανείς σε μία κατηγοριοποίηση των κόμβων κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Πιο αναλυτικά, η έννοια του “ισόπεδου κόμβου” (at grade intersection), όπως άλλωστε μαρτυρά και η ίδια η ονομασία της, αναφέρεται σε εκείνο ακριβώς το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται η ένωση δύο οδών. Παράλληλα, η εν λόγω έννοια είναι άρρηκτα συνδεδεμένη και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει τόσο η συγκεκριμένη οδός όσο και ο χώρος που βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση από αυτήν. Από την άλλη πλευρά, ο όρος “ανισόπεδος κόμβος” (interchange) αναφέρεται στο αποτέλεσμα της ένωσης οδών, όταν αυτές συνδέονται σε επίπεδα που διαφέρουν ουσιαστικά ως προς το ύψος, τον τρόπο δημιουργίας τους καθώς και την μέθοδο σύνδεσης. Δεν πρέπει να λησμονεί κανείς φυσικά πως εάν δύο ή περισσότερες οδοί ενώνονται με διασταύρωση, η συγκεκριμένη ένωση υπάγεται στην κατηγορία της ανισόπεδης σύνδεσης. Με άλλα λόγια, αποκλείεται να

εμπίπτει στην ομάδα ενώσεων που αποτελούν ανισόπεδο κόμβο (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986).

1.2. ΕΛΙΓΜΟΙ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΜΠΛΟΚΗΣ

Είναι γνωστό ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή ενός κόμβου είναι τα “σημεία εμπλοκής” ή εναλλακτικά, “conflict points”, τα οποία συνιστούν ουσιαστικά τις τοποθεσίες όπου τέμνονται τα ρεύματα κυκλοφορίας και αποδίδονται επίσης με τον όρο “ελιγμοί”. Ειδικότερα, τα σημεία ελιγμού είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην πράξη με διαφορετικές μορφές. Αρχικά, συνήθως συμβαίνουν είναι ο ελιγμός που παρατηρείται να εμφανίζεται με την μορφή της διασταύρωσης. Δεύτερον, δεν πρέπει να παραλειφθεί η αναφορά στο διαχωρισμό ή στον μερισμό και τέλος, άξια μνείας είναι και η μέθοδος της συμβολής. Σε κάποιες περιπτώσεις, κάθε φορά που διαπιστώνεται η δημιουργία ενός ελιγμού ανάμεσα σε έναν ελιγμό μερισμού και σε έναν αντίστοιχο συμβολής, η ένωση που διαμορφώνεται αποδίδεται εννοιολογικά με τον όρο “πλέξη” (weaving) (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).

Ακολουθως, εύκολα διαπιστώνει κανείς πως η ποσοτική κατάσταση των ενώσεων εμπλοκής των ρευμάτων κυκλοφορίας είναι αποτέλεσμα της ανοδικής ή καθοδικής πορείας που ακολουθούν τα σκέλη ενός συγκεκριμένου κόμβου.

Ωστόσο, η απόφαση περί του αποτελεσματικότερου είδους κόμβου δεν αποτελεί ένα εύκολο εγχείρημα. Εντούτοις, απαιτεί μία διαδικασία σύγκρισης μεταξύ των περισσότερων διαθέσιμων μορφών. Πιο συγκεκριμένα, θεμελιώδεις παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι εκείνοι της οικονομικής και τεχνικής χρησιμότητας των κόμβων. Σε πρώτο πλαίσιο, κρίνεται επιβεβλημένη η εποπτεία της πρόσβασης των οχημάτων στο εκάστοτε οδικό δίκτυο. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται μία καταγραφή όσων οδών χαρακτηρίζονται από διασταυρώσεις ή από κάποιο άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το οποίο ενδείκνυται να μνημονευθεί στην σχετική έκθεση. Επιπροσθέτως, επιχειρείται μία αναφορά στις τοποθεσίες που λογίζονται ως επικίνδυνες για τους οδηγούς και τα οχήματα, ενώ παράλληλα συνάγονται χρήσιμα πορίσματα για την συχνότητα μετακίνησης αυτοκινήτων σε μία τοπικά ορισμένη περιοχή. Ταυτόχρονα, κάνοντας χρήση των τοπογραφικών μεθόδων, ανευρίσκεται το ακριβές ποσοστό του εδάφους στο οποίο καθίσταται δυνατόν να πραγματοποιηθούν νέα έργα. Εξίσου σημαντική παρουσιάζεται και η επιμέτρηση των πλεονεκτημάτων που θα ακτινοβολεί για τους οδηγούς η αναδιαμόρφωση των οδών και των κόμβων ενός οδικού δικτύου (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986).

1.3. ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Οι κυκλικοί κόμβοι έχουν αποδειχθεί ότι είναι ασφαλέστεροι από άλλες μορφές ομοεπίπεδων διασταυρώσεων (Brown, 1995). Το όφελος για την ασφάλεια είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο σε ότι αφορά ατυχήματα με τραυματισμούς και θανάτους. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των βασικών θεμάτων ασφαλείας. Η απόδοση ασφαλείας ενός κυκλικού κόμβου είναι προϊόν του σχεδιασμού του. Στους κυκλικούς κόμβους, τα οχήματα ταξιδεύουν προς την ίδια κατεύθυνση, εξαλείφοντας τις συγκρούσεις στη δεξιά γωνία και στην αριστερή στροφή που σχετίζονται με τις παραδοσιακές διασταυρώσεις (Zhao et al., 2018). Επιπλέον, ο καλός σχεδιασμός του κυκλικού κόμβου δίνει υψηλή προτεραιότητα στον έλεγχο της ταχύτητας. Ο έλεγχος ταχύτητας παρέχεται από γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όχι μόνο από συσκευές ελέγχου κυκλοφορίας ή εξαιτίας της συγχώνευσης με άλλης κυκλοφοριακή ροή. Εξαιτίας αυτού, ο έλεγχος της ταχύτητας μπορεί να επιτευχθεί όλες τις ώρες της ημέρας. Εάν επιτυγχάνεται με καλό σχεδιασμό, θα πρέπει κατ' αρχήν οι χαμηλότερες ταχύτητες του οχήματος να παρέχουν τα ακόλουθα οφέλη ασφαλείας (Miculescu & Karaman, 2019):

- Παροχή περισσότερου χρόνου στους οδηγούς που εισέρχονται για να κρίνουν, να προσαρμόσουν την ταχύτητα και να εισαχθούν σε ένα κενό με την υπόλοιπη κυκλοφορία, επιτρέποντας έτσι ασφαλέστερες συγχωνεύσεις.
- Μείωση του μεγέθους των τριγώνων όρασης που χρειάζονται για να βλέπουν οι χρήστες ο ένας τον άλλον.
- Αύξηση της πιθανότητας παραχώρησης προτεραιότητας των οδηγών στους πεζούς σε σύγκριση με μια ανεξέλεγκτη διέλευση.
- Παροχή περισσότερου χρόνου σε όλους τους χρήστες για να εντοπίσουν και να διορθώσουν τα λάθη τους ή τα λάθη άλλων.
- Μείριμνα ώστε οι συγκρούσεις να είναι λιγότερο συχνές και λιγότερο σοβαρές, συμπεριλαμβανομένων των ατυχημάτων που περιλαμβάνουν πεζούς και ποδηλάτες.
- Μείριμνα ώστε η διασταύρωση να είναι ασφαλέστερη για αρχάριους χρήστες.

Οι κυκλικοί κόμβοι μονής λωρίδας που έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία χαμηλής ταχύτητας είναι μία από τις ασφαλέστερες λύσεις που διατίθενται για ομοεπίπεδες διασταυρώσεις. Οι οδηγοί δεν έχουν να λάβουν αποφάσεις για τη χρήση λωρίδας. Οι πεζοί διασχίζουν μία λωρίδα κυκλοφορίας τη φορά. Οι ταχύτητες και τα πλάτη των δρόμων είναι αρκετά χαμηλά

ώστε να επιτρέπουν την άνετη μικτή ροή ποδηλάτων και μηχανοκίνητων οχημάτων. Λόγω του αυξημένου αριθμού αντικρουόμενων και αλληλοεπιδρώντων κινήσεων, οι κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων συχνά δεν μπορούν να επιτύχουν τα ίδια επίπεδα βελτίωσης της ασφάλειας με τους αντίστοιχους μονής λωρίδας (Kamalanathsharma et al., 2015). Οι αποφάσεις του οδηγού είναι πιο περίπλοκες σε κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων, με πιο σημαντική τη σωστή επιλογή λωρίδας πριν την είσοδο στη διασταύρωση. Οι πεζοί αντιμετωπίζουν πιθανές συγκρούσεις με πολλαπλές απειλές καθώς διασχίζουν περισσότερες από μία λωρίδες κυκλοφορίας τη φορά. Οι πεζοί με προβλήματα όρασης αντιμετωπίζουν ένα σημαντικά πιο περίπλοκο ακουστικό περιβάλλον που μπορεί να μειώσει την προσβασιμότητα στη διασταύρωση αν δεν υπάρξουν πρόσθετες παρεμβάσεις. Οι ποδηλάτες που κινούνται ως οχήματα πρέπει επιλέξουν τη σωστή λωρίδα για κυκλοφορία, αν κινούνται ως πεζοί, αντιμετωπίζουν τις ίδιες συγκρούσεις με τους άλλους πεζούς. Παρά τις προκλήσεις αυτές, η συνολική απόδοση ασφάλειας των κυκλικών κόμβων πολλαπλών λωρίδων είναι συχνά καλύτερη από συγκρίσιμες διασταυρώσεις με φωτεινή σηματοδότηση, ιδιαίτερα όσον αφορά τις θανατηφόρες συγκρούσεις και τα ατυχήματα με τραυματισμό (Zhu et al., 2014).

1.4. ΧΡΗΣΤΕΣ

Οι αποφάσεις των χρηστών , δηλαδή οι αποφάσεις των οδηγών, των πεζών και των ποδηλατών είναι γενικά πιο απλές σε κυκλικούς κόμβους από ό,τι σε άλλες διασταυρώσεις. Ωστόσο, η κυκλοφορία στους κυκλικούς κόμβους εξαρτάται επίσης αποκλειστικά από τη λήψη αποφάσεων των ανθρώπων και δεν κατευθύνεται από μια συσκευή ελέγχου της κυκλοφορίας.

1.4.1. ΟΔΗΓΟΙ

Οι οδηγοί που πλησιάζουν έναν κυκλικό κόμβο μονής λωρίδας έχουν δύο βασικές αποφάσεις σχετικά με τους άλλους χρήστες: να επιλέξουν την κατάλληλη λωρίδα (όπως ισχύει) για τον προορισμό τους και να υποχωρήσουν σε αυτούς που έχουν δικαίωμα διέλευσης. Η λήψη αποφάσεων πλοήγησης σε κυκλικούς κόμβους είναι γενικά πιο περίπλοκη από ό,τι σε άλλους τύπους διασταυρώσεων, κυρίως επειδή ο οδηγός δεν μπορεί πάντα να δει την έξοδο ή τον προορισμό και επιπλέον εξαιτίας του γεγονότος ότι η διασταύρωση είναι καμπυλωτή και απαιτεί από τους οδηγούς να αλλάζουν σταδιακά κατεύθυνση, αποπροσανατολίζοντας ενδεχομένως τον οδηγό ως προς την προέλευση και τον προορισμό τους. Κατά συνέπεια, ο

σχεδιαστής μπορεί να χρειαστεί να παράσχει πρόσθετη καθοδήγηση με τη μορφή πινακίδων και σημάνσεων που θα βοηθήσουν στην πλοήγηση του οδηγού. Η τελευταία από τις δύο αποφάσεις, δηλαδή να υποχωρήσουν σε όσους έχουν προτεραιότητα συμβαίνει σε πολλά σημεία κατά τη χρήση του κυκλικού κόμβου:

- Οι οδηγοί πρέπει να προσέχουν τυχόν ποδηλάτες που συγχωνεύονται στην κυκλοφορία μηχανοκίνητων οχημάτων από τη δεξιά πλευρά του δρόμου ή από ποδηλατόδρομο.
- Οι οδηγοί πρέπει να υποχωρούν σε οποιονδήποτε πεζό περνάει στην είσοδο (οι νόμοι για αυτό διαφέρουν κάπως από χώρα σε χώρα).
- Οι οδηγοί πρέπει να επιλέξουν ένα αποδεκτό κενό που θα αφήσουν από το προηγούμενο όχημα κατά την είσοδο στον κυκλικό κόμβο.
- Οι οδηγοί πρέπει να υποχωρούν σε πεζούς που διασχίζουν την έξοδο (οι νόμοι για αυτό διαφέρουν κάπως από χώρα σε χώρα).

Αντίθετα, ένας οδηγός που κάνει μια αριστερή στροφή από το δευτερεύον σκέλος μιας αμφίδρομης ελεγχόμενης διασταύρωσης υποχωρεί σε πεζούς και ποδηλάτες και κρίνει τα κενά στον κύριο δρόμο (Goel & Kumar, 2014).

Οι φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις προσπαθούν να απλοποιήσουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τους οδηγούς, ειδικά σε τοποθεσίες όπου υπάρχει φάση προστατευμένης αριστερής στροφής, διαχωρίζοντας τις συγκρούσεις σε χρόνο και χώρο. Ωστόσο, οι κανόνες και οι αποφάσεις του οδηγού για τη διέλευση φωτεινά σηματοδοτημένων διασταυρώσεων σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθούν να είναι αρκετά περίπλοκες. Για φωτεινά σήματα με επιτρεπτή φάση στροφής προς τα αριστερά, ο οδηγός πρέπει να γνωρίζει την αντίθετη κυκλοφορία οχημάτων και την ταχύτητά του, την παρουσία πεζών και την ίδια την ένδειξη σήματος για να εξασφαλίσει νόμιμο ελιγμό. Επιπλέον, στα φωτεινά σήματα κυκλοφορίας, η αστοχία από την πλευρά του οδηγού μπορεί να επιφέρει σοβαρές συνέπειες για τους εμπλεκόμενους.

Αντίθετα, ο εισερχόμενος οδηγός σε έναν κυκλικό κόμβο μπορεί να εστιάσει την προσοχή εξ ολοκλήρου στο ρεύμα κυκλοφορίας που πλησιάζει από τα αριστερά κινούμενο στον κυκλικό κόμβο. Ένας οδηγός πίσω από τον εισερχόμενο οδηγό μπορεί να εστιάσει αποκλειστικά στη διέλευση πεζών. Ενώ η λειτουργία σε κυκλικό κόμβο απαιτεί αυξημένη επαγρύπνηση από τον χρήστη, σε σύγκριση με τα σήματα κυκλοφορίας, η συνέπεια ενός σφάλματος σε έναν κυκλικό κόμβο είναι λιγότερο σοβαρή συγκριτικά (Adeniran et al., 2017).

1.4.2. ΠΕΖΟΙ

Ο σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου επιτρέπει στους πεζούς να διασχίζουν μία κατεύθυνση κυκλοφορίας κάθε φορά σε κάθε σκέλος του κυκλικού κόμβου. Αυτό είναι πολύ απλούστερο από τις αμφίδρομες διασταυρώσεις ελεγχόμενης στάσης, όπου οι πεζοί διασχίζουν τον κύριο δρόμο και αντιμετωπίζουν πιθανές συγκρούσεις μπροστά και πίσω τους (π.χ. αριστερές και δεξιές στροφές). Αν και οι φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις μπορούν να παρέχουν ένδειξη για το πότε οι πεζοί έχουν το δικαίωμα διέλευσης (μέσω ένδειξης WALK), οι πιθανές συγκρούσεις μπορεί να προέρχονται από πολλές κατευθύνσεις: αριστερή στροφή στο πράσινο, δεξιά στροφή στο πράσινο, δεξιά στροφή στο κόκκινο και τρέξιμο ανάμεσα από οχήματα στο κόκκινο φως (Ma et al., 2020).

1.4.3. ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ

Οι αποφάσεις του ποδηλάτη στους κυκλικούς κόμβους εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο ο ποδηλάτης επιλέγει να διασχίσει τη διασταύρωση. Εάν κινείται ως όχημα, όπως συμβαίνει συχνά με έμπειρους ποδηλάτες ή ποδηλάτες σε περιβάλλοντα χαμηλότερου όγκου κυκλοφορίας και χαμηλότερης ταχύτητας, η διαδικασία απόφασης αντικατοπτρίζει τη διαδικασία των μηχανοκίνητων οχημάτων. Εάν ταξιδεύει ως πεζός, όπως συμβαίνει συχνά με λιγότερο έμπειρους ποδηλάτες ή ποδηλάτες σε περιβάλλοντα μεγαλύτερου όγκου κυκλοφορίας, η διαδικασία λήψης απόφασης αντικατοπτρίζει αυτή των πεζών (Zhu et al., 2014).

1.5. ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

Η λειτουργία της κυκλοφορίας οχημάτων σε έναν κυκλικό κόμβο καθορίζεται από την αποδοχή κενού: τα εισερχόμενα οχήματα αναζητούν, αποδέχονται και εισέρχονται σε κενά στην κυκλοφορία. Οι χαμηλές ταχύτητες ενός κυκλικού κόμβου διευκολύνουν αυτή τη διαδικασία αποδοχής κενού. Επιπλέον, η λειτουργική απόδοση (χωρητικότητα) των κυκλικών κόμβων είναι μεγαλύτερη σε χαμηλότερη ταχύτητα κυκλοφορίας λόγω των ακόλουθων δύο φαινομένων:

- Όσο πιο γρήγορη είναι η κυκλοφοριακή κίνηση, τόσο μικρότερα είναι τα κενά που θα δεχτεί άνετα η εισερχόμενη κίνηση. Αυτό μεταφράζεται σε λιγότερα αποδεκτά κενά και επομένως περισσότερες περιπτώσεις εισερχόμενων οχημάτων σταματημένων στη γραμμή απόδοσης προτεραιότητας.

- Η είσοδος στην κυκλοφορία, η οποία διακόπτεται πρώτα στη γραμμή απόδοσης προτεραιότητας μιας διάβασης, απαιτεί ακόμη μεγαλύτερα κενά στην κυκλοφορία για να επιταχυνθεί και να συγχωνευθεί με την κυκλοφορία. Όσο πιο γρήγορη είναι η κυκλοφοριακή κίνηση, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι αυτό το κενό. Αυτό μεταφράζεται σε λιγότερα αποδεκτά κενά και επομένως μεγαλύτερες καθυστερήσεις για την είσοδο στην κυκλοφορία (Goel & Kumar, 2015).

1.5.1. Καθυστέρηση οχήματος και δημιουργία ουράς

Όταν λειτουργούν εντός της χωρητικότητάς τους, οι κυκλικοί κόμβοι συνήθως λειτουργούν με μικρότερες καθυστερήσεις οχημάτων από άλλες μορφές διασταύρωσης και ελέγχου κυκλοφορίας. Σε έναν κυκλικό κόμβο δεν είναι απαραίτητο να σταματήσει τελείως η κυκλοφορία όταν δεν υπάρχουν συγκρούσεις. Όταν υπάρχουν ουρές σε μία ή περισσότερες ροές προς τον κυκλικό κόμβο, συνήθως υπάρχει έστω και μια χαμηλή κίνηση εντός των ουρών και αυτό είναι συνήθως πιο ανεκτό για τους οδηγούς από μια πλήρως σταματημένη ουρά. Η απόδοση των κυκλικών κόμβων σε περιόδους εκτός αιχμής είναι ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλες μορφές διασταύρωσης και παρουσιάζει συνήθως πολύ χαμηλές μέσες καθυστερήσεις (Miculescu & Karaman, 2019).

1.5.2. Καθυστέρηση σε κύριες ροές οχημάτων

Οι κυκλικοί κόμβοι τείνουν να αντιμετωπίζουν ισότιμα όλες τις κινήσεις σε μια διασταύρωση, χωρίς να δίνεται προτεραιότητα στις κύριες ροές οχημάτων έναντι των δευτερευουσών ροών οχημάτων. Κάθε ροή οχημάτων απαιτείται να δίνει προτεραιότητα στην εισερχόμενη κυκλοφορία, ανεξάρτητα από το αν η εισερχόμενη ροή είναι τοπική οδός ή κύρια αρτηρία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη καθυστέρηση στις κύριες κινήσεις από ό,τι θα ήταν επιθυμητό. Αυτό το πρόβλημα είναι πιο οξύ στη διασταύρωση μεγάλων δρόμων μεγάλου όγκου κυκλοφορίας με δευτερεύοντες δρόμους χαμηλού έως μεσαίου όγκου κυκλοφορίας, π.χ. μεγάλες αρτηριακές οδούς με δευτερεύοντες συλλέκτες ή τοπικούς δρόμους. Επομένως, το συνολικό σύστημα ταξινόμησης των οδών και η ιεραρχία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν από την επιλογή μιας διασταύρωσης κυκλικού κόμβου ή ελεγχόμενης με στάση. Αυτός ο περιορισμός πρέπει ειδικά να λαμβάνεται υπόψη σε διαδρομές αντιμετώπισης έκτακτης

ανάγκης σε σύγκριση με άλλους τύπους διασταυρώσεων και ελέγχου. Οι καθυστερήσεις εξαρτώνται από τον όγκο των κινήσεων στροφής και θα πρέπει να αναλύονται ξεχωριστά για κάθε προσέγγιση στη διασταύρωση (Zhu et al., 2014).

1.5.3. Συντονισμός σημάτων κυκλοφορίας

Αποτελεί κοινή πρακτική ο συντονισμός των σημάτων κυκλοφορίας στους αρτηριακούς δρόμους για την ελαχιστοποίηση των στάσεων και της καθυστέρησης του χρόνου διέλευσης στον κύριο δρόμο. Ένας κυκλικός κόμβος με έλεγχο μόνο της απόδοσης προτεραιότητας δεν μπορεί να διαχειριστεί ενεργά για να δώσει προτεραιότητα στις μεγάλες κυκλοφοριακές ροές με τον ίδιο τρόπο. Ως αποτέλεσμα, τα συντονισμένα σήματα κυκλοφορίας που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα σε μεγάλους δρόμους μπορεί να διαταραχθούν από κυκλικούς κόμβους, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των διασταυρώσεων. Επομένως δεν είναι δυνατή η διαχείριση των κυκλικών κόμβων χρησιμοποιώντας ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης της κυκλοφορίας που θα επιτρέψει τη διευκόλυνση ειδικών συμβάντων, την εκτροπή των ροών κυκλοφορίας κ.λ.π., εκτός εάν χρησιμοποιούνται σήματα στον κυκλικό κόμβο ή στη γύρω περιοχή για τέτοιο σκοπό (Kamalanathsharma et al., 2015).

Από την άλλη πλευρά, οι κυκλικοί κόμβοι ενδέχεται να προσφέρουν μια ευκαιρία για πιο αποτελεσματική χρήση των υπαρχόντων σημάτων κυκλοφορίας στην περιοχή. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση ενός κυκλικού κόμβου στη διασταύρωση υψηλότερου όγκου κυκλοφορίας του συστήματος, είτε σε μια μεγάλη διασταύρωση ίδιου επιπέδου είτε στις ράμπες ενός κόμβου. Σε πολλές περιπτώσεις, το ελάχιστο μήκος κύκλου που απαιτείται για ολόκληρο το σύστημα διέπεται από τη διασταύρωση υψηλότερου όγκου στο σύστημα. Για να ελαχιστοποιηθεί η συνολική καθυστέρηση του συστήματος, μπορεί να είναι ωφέλιμο να διαιρεθεί το σύστημα σηματοδότησης σε υποσυστήματα που χωρίζονται από τον κυκλικό κόμβο, εκχωρώντας σε κάθε υποσύστημα ένα μήκος κύκλου που μπορεί να είναι μικρότερο από πριν. Σε αυτές τις περιπτώσεις η συνολική καθυστέρηση, οι στάσεις και οι ουρές μπορεί να μειωθούν (Goel & Kumar, 2014).

1.6. ΧΩΡΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Οι κυκλικοί κόμβοι συχνά απαιτούν περισσότερο χώρο στην άμεση γειτνίαση της διασταύρωσης σε σύγκριση με διασταυρώσεις που ελέγχονται με στάση ή με φωτεινή

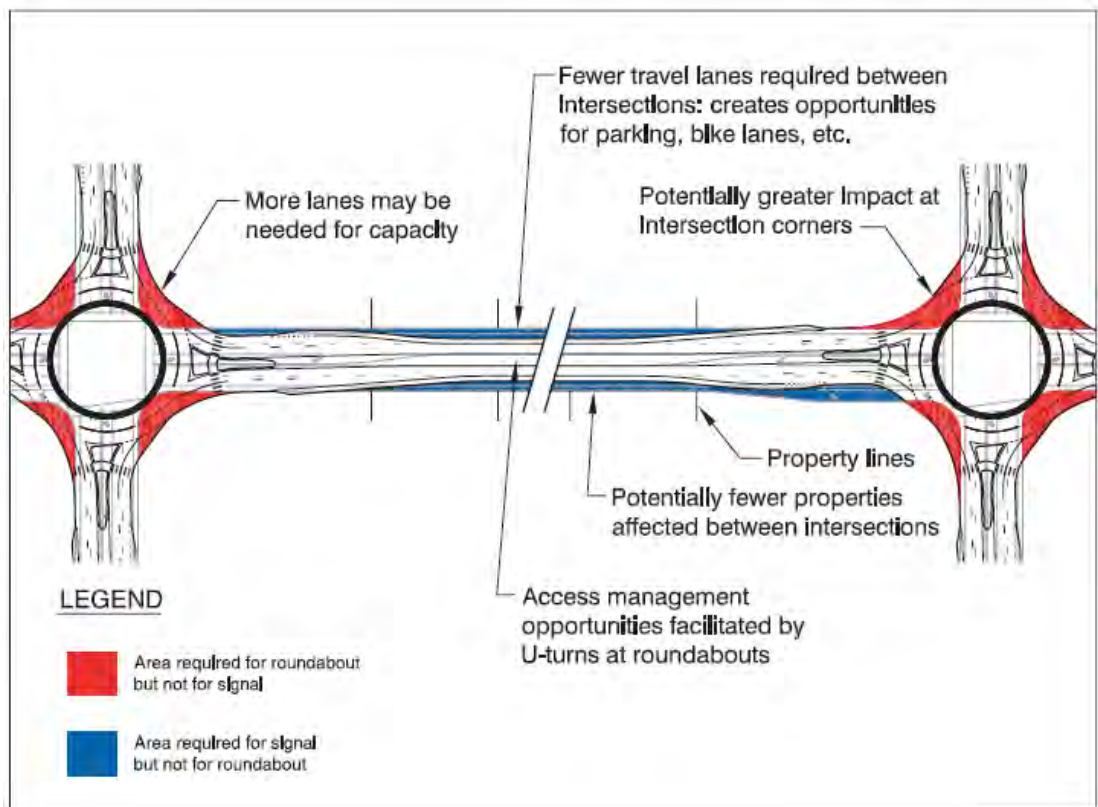
σήμανση. Αυτή η απαίτηση χώρου υπαγορεύεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του μεγέθους και του σχήματος του στρογγυλού κόμβου (π.χ. κυκλικός έναντι μη κυκλικός). Ωστόσο ο πρόσθετος χώρος που απαιτείται στην περιοχή ενός κυκλικού κόμβου μπορεί να αντισταθμιστεί από τον μειωμένο χώρο που απαιτείται μεταξύ των διασταυρώσεων (Xu et al., 2018).

Στο βαθμό που ένας συγκρίσιμος κυκλικός κόμβος υπερέχει ενός κόμβου με φωτεινή σήμανση όσον αφορά τη μειωμένη καθυστέρηση και, επομένως, τις μικρότερες ουρές, θα απαιτήσει λιγότερο χώρο αποθήκευσης ουράς στα σκέλη προσέγγισης. Εάν μια φωτεινά σηματοδοτημένη διασταύρωση απαιτεί μεγάλες ή πολλαπλές λωρίδες στροφής για να παρέχει επαρκή χωρητικότητα ή αποθήκευση, ένας κυκλικός κόμβος με παρόμοια χωρητικότητα συνήθως απαιτεί λιγότερο χώρο στις προσεγγίσεις. Ως αποτέλεσμα είναι δυνατό να τοποθετηθούν κυκλικοί κόμβοι πιο κοντά μεταξύ τους σε σύγκριση με διασταυρώσεις με φωτεινά σήματα λόγω μικρότερων μηκών ουρών (Goel & Kumar, 2015).

Οι κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν ευκαιρίες διαμόρφωσης της διατομής ενός διαδρόμου με τρόπους που είναι διαφορετικοί από εκείνους που παρέχουν οι φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις. Οι διασταυρώσεις με φωτεινή σηματοδότηση λειτουργούν πιο αποτελεσματικά όταν υπάρχει κυκλοφορία πολλαπλών λωρίδων, επιτρέποντας στον μέγιστο αριθμό οχημάτων να διέρχονται στο πράσινο χωρίς στάση. Ωστόσο, απαιτείται διατήρηση των λωρίδων μεταξύ των διαδοχικών φωτεινά σηματοδοτημένων διασταυρώσεων για την ομαλή κίνηση των στοιχημένων οχημάτων. Οι κυκλικοί κόμβοι, από την άλλη πλευρά, παράγουν αποτελεσματικότητα μέσω μιας διαδικασίας αποδοχής κενών. Ενώ η χωρητικότητα της κυκλοφορίας περιορίζεται από την αντικρουόμενη κυκλοφοριακή ροή, οι οδηγοί μπορούν να αποδεχτούν τα κενά όπως φαίνονται αντί να περιμένουν τον χρόνο τους στον κύκλο. Η προκύπτουσα ροή μεταξύ κυκλικών κόμβων τείνει να είναι πιο τυχαία και κάνει πιο αποτελεσματική χρήση των συνδέσμων μεταξύ των διασταυρώσεων. Ως αποτέλεσμα, οι κυκλικοί κόμβοι μπορούν να γίνουν τόσο μεγάλοι όσο χρειάζεται για τη χωρητικότητα του κόμβου, διατηρώντας τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων πιο στενές (Goel & Kumar, 2014).

Αυτή η έννοια μερικές φορές αναφέρεται ως έννοια «μεγάλοι κόμβοι, στενοί δρόμοι» και απεικονίζεται στην Εικόνα 1. Η εξοικονόμηση προτεραιοτήτων μεταξύ των διασταυρώσεων μπορεί να καταστήσει εφικτή την τοποθέτηση στάθμευσης, ευρύτερων πεζοδρομίων, λωρίδων ζαρντινιέρας και ποδηλατοδρόμων. Μια άλλη στρατηγική εξοικονόμησης χώρου είναι η χρήση λωρίδων προσέγγισης για την παροχή πρόσθετης χωρητικότητας στη

διασταύρωση, διατηρώντας παράλληλα το όφελος των μειωμένων χωρικών απαιτήσεων πριν και μετά από μια διασταύρωση (Miculescu & Karaman, 2019).



Εικόνα 1. Η έννοια του στενού δρόμου και μεγάλου κόμβου (*Wide Nodes, Narrow Roads Concept*)

Η ιδέα των μεγάλων κόμβων και στενών δρόμων έχει ευεργετική εφαρμογή σε κόμβους αυτοκινητοδρόμων. Στις ράμπες ανταλλαγής, έχουν χρησιμοποιηθεί ζεύγη κυκλικών κόμβων για τη μείωση του αριθμού των λωρίδων σε υπερυψωμένες και υπόγειες διαβάσεις αυτοκινητοδρόμων. Σε συμπαγείς αστικές περιοχές, υπάρχουν τυπικές φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις και στα δύο άκρα των γεφυρών διάβασης, που απαιτούν πρόσθετες λωρίδες υπέρβασης για την παροχή χωρητικότητας και αποθήκευσης για οχήματα που στρίβουν αριστερά. Στην Εικόνα 2 απεικονίζει ένα παράδειγμα αυτής της εφαρμογής στο Vail, Κολοράντο.



Εικόνα 2. Παράδειγμα του στενού δρόμου και μεγάλου κόμβου

Οι περισσότεροι κυκλικοί κόμβοι σε αρτηριακούς δρόμους έχουν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν τον όγκο κυκλοφορίας που εκτιμάται για ένα μελλοντικό χρονικό ορίζοντα, ο οποίος μπορεί να εκτείνεται 20 ή περισσότερα χρόνια από την ημερομηνία κατασκευής. Οι κυκλικοί κόμβοι συλλεκτών και τοπικών οδών είναι συνήθως σχεδιασμένοι για συνθήκες πλήρους ροής κυκλοφορίας. Αν και είναι σημαντικό να σχεδιασθεί για τις μελλοντικές ανάγκες όγκου κυκλοφορίας και χωρητικότητας, θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι άμεσες επιπτώσεις στους πεζούς και τους χρήστες ποδηλάτων. Ένας κυκλικός κόμβος που έχει κατασκευαστεί με ευρεία διατομή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις κινήσεις ποδηλάτων και πεζών. Ως εκ τούτου, μια σταδιακή υλοποίηση μπορεί να είναι ο κατάλληλος τρόπος για να ικανοποιηθούν οι τρέχουσες ανάγκες των χρηστών, παρέχοντας παράλληλα την ευκαιρία για μελλοντική επέκταση του κυκλικού κόμβου για κάλυψη μελλοντικής αύξησης του όγκου κυκλοφορίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι σημαντικό να κατοχυρώνεται η προτεραιότητα για μελλοντικές προγραμματισμένες βελτιώσεις και επίσης να σχεδιάζεται το υλικό κατασκευής ώστε να επιτρέψει ευκολότερη ενδεχομένη επέκταση στο μέλλον (Kamalanathsharma et al., 2015).

1.7. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Οι κυκλικοί κόμβοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βασικές δημόσιες και ιδιωτικές διασταυρώσεις για τη διευκόλυνση των μεγάλων μετακινήσεων και τη βελτίωση της διαχείρισης της πρόσβασης. Μικρά δημόσια και ιδιωτικά σημεία πρόσβασης μεταξύ κυκλικών κόμβων μπορούν να φιλοξενηθούν από μερικώς ή πλήρως περιορισμένες αμφίδρομες ελεγχόμενες διασταυρώσεις, με τους κυκλικούς κόμβους να παρέχουν ευκαιρίες αναστροφής. Οι περισσότερες από τις αρχές που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της πρόσβασης σε συμβατικές διασταυρώσεις μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε κυκλικούς κόμβους (Bui & Jung, 2018).

Ενώ οι κυκλικοί κόμβοι μπορεί να επιτρέπουν λιγότερες λωρίδες μεταξύ των διασταυρώσεων, το μοτίβο κυκλοφορίας που προκύπτει από τους κυκλικούς κόμβους μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην υπάρχουσα πρόσβαση στο μεσαία νησί ανάμεσα στις δυο κατευθύνσεις οχημάτων. Το πιο τυχαίο μοτίβο αναχώρησης που προκύπτει από έναν κυκλικό κόμβο και η δυνητικά στενότερη διατομή μεταξύ των κυκλικών κόμβων μπορεί να μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων κενών για μη σηματοδοτημένες διασταυρώσεις και δρόμους στο μεσαίο τμήμα ανάμεσα στις δυο κατευθύνσεις οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, μια μη σηματοδοτημένη διασταύρωση μπορεί να έχει μικρότερη χωρητικότητα και μεγαλύτερη καθυστέρηση μετά από έναν κυκλικό κόμβο από ό,τι μετά μια διασταύρωση με φωτεινό σηματοδότη, ακόμη και αν ληφθούν υπόψη οι αναστροφές που διευκολύνουν οι κυκλικοί κόμβοι. Αυτό θα πρέπει να επανεξετάζεται κατά περίπτωση με τα δεδομένα μοτίβα κίνησης στροφής ενός διαδρόμου (Essa & Sayed, 2018).

1.8. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι κυκλικοί κόμβοι μπορούν να προσφέρουν περιβαλλοντικά οφέλη εάν μειώνουν την καθυστέρηση του οχήματος και τον αριθμό και τη διάρκεια των στάσεων σε σύγκριση με μια άλλη διασταύρωση. Ακόμη και όταν υπάρχουν μεγάλοι όγκοι κυκλοφορίας, τα οχήματα συνεχίζουν να προχωρούν αργά σε κινούμενες ουρές αντί να σταματούν τελείως. Αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά τις επιπτώσεις στι θόρυβο, στην ποιότητα του αέρα και στην κατανάλωση καυσίμου, μειώνοντας τον αριθμό των κύκλων επιτάχυνσης/επιβράδυνσης και τον χρόνο που αφιερώνεται σε αδράνεια. Οι κυκλικοί κόμβοι μπορεί επίσης να είναι μια εναλλακτική λύση για να συμβάλουν στην ικανοποίηση των απαιτήσεων σκοπού και αναγκών

για περιβαλλοντικά έγγραφα που έχουν εκπονηθεί βάσει του Νόμου για την Εθνική Περιβαλλοντική Πολιτική (National Environmental Policy Act, NEPA).

1.9. ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το αρχικό κόστος σχεδιασμού και κατασκευής ενός κυκλικού κόμβου μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με το μέγεθος του κυκλικού κόμβου, τις επιπτώσεις των δικαιωμάτων διέλευσης, τις απαιτήσεις φωτισμού και άλλα σχεδιαστικά ή αισθητικά χαρακτηριστικά που μπορεί να είναι επιθυμητά. Μια νέα διασταύρωση κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας σε ένα άκτιστο περιβάλλον μπορεί να έχει κόστος κατασκευής συγκρίσιμο με ένα φωτεινό σηματοδότη (Goel & Kumar, 2015). Ωστόσο, καθώς το μέγεθος του κυκλικού κόμβου αυξάνεται, ιδιαίτερα σε μια πλήρως κτισμένη εμπορική ή οικιστική περιοχή, το κόστος κατασκευής του κυκλικού κόμβου μπορεί να είναι υψηλότερο από αυτό ενός φωτεινού σηματοδότη, ανάλογα με το αποτύπωμα του κυκλικού κόμβου σε σχέση με αυτό που απαιτείται για το σήμα (Yu et al., 2018). Ωστόσο, οι τρέχουσες λειτουργίες και το κόστος συντήρησης ενός κυκλικού κόμβου μπορεί να είναι μικρότερες από αυτές ενός φωτεινού σηματοδότη, με πιθανή εξαίρεση τις αυξημένες ανάγκες φωτισμού για έναν κυκλικό κόμβο. Παρόλο που το αρχικό κόστος κατασκευής μπορεί να είναι μεγαλύτερο, ένας κυκλικός κόμβος μπορεί να έχει μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης από ένα φωτεινό σηματοδότη και η διάρκεια ζωής ενός κυκλικού κόμβου είναι σημαντικά μεγαλύτερη, περίπου 25 χρόνια (Niederhauser, 1997). Οι κυκλικοί κόμβοι παρέχουν επίσης σημαντική εξοικονόμηση κόστους στην κοινωνία λόγω της μείωσης των ατυχημάτων, ιδιαίτερα των θανατηφόρων ατυχημάτων και των τραυματισμών, κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας τους (Goel & Kumar, 2014).

Σε σύγκριση με φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις, ένας κυκλικός κόμβος δεν διαθέτει εξοπλισμό σήματος που απαιτεί σταθερή ισχύ, περιοδική συντήρηση λαμπτήρων και ανίχνευσης και τακτικές ενημερώσεις χρονισμού σήματος. Οι κυκλικοί κόμβοι, ωστόσο, μπορεί να έχουν υψηλότερο κόστος συντήρησης του τοπίου ανάλογα με τον βαθμό εξωραϊσμού που παρέχεται στην κεντρική νησίδα, τις διαχωριστικές νησίδες και την περίμετρο. Το κόστος φωτισμού για κυκλικούς κόμβους μπορεί να είναι μεγαλύτερο από ό,τι για φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις λόγω μεγαλύτερης περιοχής που απαιτείται για κάλυψη. Οι οδηγοί αντιμετωπίζουν μερικές φορές μια κατάσταση σύγχυσης όταν πλησιάζουν μια φωτεινά σηματοδοτημένη διασταύρωση κατά τη διάρκεια μιας διακοπής

ρεύματος, αλλά τέτοιες βλάβες έχουν ελάχιστη προσωρινή επίδραση σε κυκλικούς κόμβους ή οποιεσδήποτε άλλες διασταυρώσεις χωρίς σηματοδότηση, εκτός από την πιθανή απώλεια φωτισμού (Zhu et al., 2014).

1.10.ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Οι κυκλικοί κόμβοι μπορούν να έχουν κατευναστικά αποτελέσματα στους δρόμους μειώνοντας τις ταχύτητες των οχημάτων χρησιμοποιώντας γεωμετρικό σχεδιασμό αντί για συσκευές ελέγχου της κυκλοφορίας ή περιορισμού του όγκου της κυκλοφορίας. Κατά συνέπεια, η μείωση της ταχύτητας μπορεί να πραγματοποιηθεί όλες τις ώρες της ημέρας και σε δρόμους οποιουδήποτε όγκου κυκλοφορίας. Είναι δύσκολο για τους οδηγούς να επιταχύνουν μέσω ενός κατάλληλα σχεδιασμένου κυκλικού κόμβου που αναγκάζει τα οχήματα να αλλάξουν φυσικά κατεύθυνση. Παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν τη χρήση κυκλικών κόμβων κατά τη μετάβαση από ένα αγροτικό περιβάλλον υψηλής ταχύτητας σε ένα αστικό περιβάλλον χαμηλής ταχύτητας και την οριοθέτηση περιοχών εμπορικών χρήσεων από κατοικημένες περιοχές.

Οι κυκλικοί κόμβοι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί με επιτυχία ως πύλη διασύνδεσης μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών όπου αλλάζουν τα όρια ταχύτητας ή σε τερματικά ράμπας αυτοκινητοδρόμων. Σε αυτές τις εφαρμογές, η κατευναστική επίδραση των κυκλικών κόμβων μειώνει τις ταχύτητες κυκλοφορίας και ενισχύει την ιδέα μιας σημαντικής αλλαγής στο περιβάλλον οδήγησης. Αυτές οι διασυνδέσεις μειώνουν επίσης την ανεπιθύμητη εισβολή οχημάτων σε γειτονιές παρέχοντας μια βολική τοποθεσία αναστροφής.

Η Εικόνα 3 δείχνει μια φωτογραφία ενός κυκλικού κόμβου στο Clearwater της Φλόριντα, που παρέχει αυτό το χαρακτηριστικό πύλης μεταξύ εμπορικών και οικιστικών χρήσεων γης.



Εικόνα 3. Παράδειγμα πύλης διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών περιοχών, Clearwater, Florida.

1.11. ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ

Οι κυκλικοί κόμβοι προσφέρουν την ευκαιρία παροχής ελκυστικών εισόδων ή κεντρικών σημείων στις κοινότητες. Ο εξωραϊσμός είναι ένα επιθυμητό αισθητικό χαρακτηριστικό και μπορεί να εγκατασταθεί στην κεντρική νησίδα και στις διαχωριστικές νησίδες, εφόσον πληρούνται οι απαιτήσεις της ορατότητας του δρόμου. Ενδέχεται να είναι δυνατή η τοποθέτηση μνημείων και έργων τέχνης σε ορισμένες περιοχές της κεντρικής νησίδας, εάν δεν αποτελούν κίνδυνο για την ασφάλεια των οχημάτων (Zanon et al., 2017). Επιπλέον, οι υφές του πεζοδρομίου και τα χρώματα που προστίθενται σε ποδιές φορτηγών ή άλλα στοιχεία βελτιώνουν την οπτική εμφάνιση της διασταύρωσης. Κατά την εγκατάσταση εξωραϊσμού ή άλλων καλλιτεχνικών χαρακτηριστικών στην κεντρική νησίδα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σαφής απόσταση και οι μετατοπίσεις για να διασφαλιστεί ότι τα σκληρά αντικείμενα που βρίσκονται απέναντι από τις εισόδους του στρογγυλού κόμβου δεν δημιουργούν κίνδυνο για την ασφάλεια (Olayode et al., 2020).

Οι κυκλικοί κόμβοι χρησιμοποιούνται επίσης σε τουριστικές ή εμπορικές περιοχές για να βελτιώσουν αισθητικά το οπτικό περιβάλλον. Έχουν δικαιολογηθεί ως κίνητρο για την οικονομική ανάπτυξη, μεταφέροντας το μήνυμα ότι η περιοχή είναι ευνοϊκή για επενδύσεις στην ανάπτυξη. Μερικά εκτίθενται ως χαρακτηριστικό γνώρισμα υπογραφής σε κοινοτικές καρτ ποστάλ, διαφημίσεις και ταξιδιωτικά διαφημιστικά (Campos et al., 2014).

Η Εικόνα 4 παρουσιάζει παράδειγμα των αισθητικών παρεμβάσεων που έχουν εφαρμοστεί σε κυκλικούς κόμβους.



Εικόνα 4. Παράδειγμα αισθητικής παρέμβασης, Ladera Ranch, California.

1.12. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Όπως περιγράφεται στις προηγούμενες ενότητες, οι κυκλικοί κόμβοι προσφέρουν μοναδικά χαρακτηριστικά, όπως ασφάλεια, εξέλιξη στη σηματοδότηση, περιβαλλοντικούς παράγοντες, χωρικές απαιτήσεις, κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ηρεμία της κυκλοφορίας, αισθητική και διαχείριση πρόσβασης. Οι αντισταθμίσεις που συνεπάγεται η υλοποίηση ενός κυκλικού κόμβου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε επίπεδο πολιτικής κατά την εισαγωγή κυκλικών κόμβων σε μια περιοχή ή ανά έργο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες όπου ο κυκλικός κόμβος είναι μία από τις εναλλακτικές λύσεις που εξετάζονται (Miculescu & Karaman, 2019).

Ο Πίνακας 1 παρέχει μια επισκόπηση των πρωταρχικών πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των κυκλικών κόμβων για να βοηθήσει στην κατανόηση των χρηστών, των υπεύθυνων χάραξης πολιτικής και των σχεδιαστών κατά την εξέταση αυτού του τύπου διασταύρωσης (Zhu et al., 2014).

Πίνακας 1. Σύνοψη των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των κυκλικών κόμβων.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Μη Μηχανοκίνητοι Χρήστες	
• Οι πεζοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη μόνο μία κατεύθυνση εισερχόμενης κυκλοφορίας κάθε φορά.	• Οι πεζοί με προβλήματα όρασης μπορεί να δυσκολεύονται να βρουν διαβάσεις πεζών και να προσδιορίσουν

• Οι ποδηλάτες έχουν επιλογές για τη διάσχιση κυκλικών κόμβων, ανάλογα με το επίπεδο δεξιοτήτων και άνεσης τους.	πότε/αν τα οχήματα έχουν παραχωρήσει προτεραιότητα στις διαβάσεις πεζών. • Οι ράμπες ποδηλάτων στους κυκλικούς κόμβους μπορεί να συγχέονται με τις ράμπες πεζών.
Ασφάλεια	
• Μειώνει τη σοβαρότητα συγκρούσεων για όλους τους χρήστες, επιτρέπει ασφαλέστερες συγχωνεύσεις των κυκλοφοριακών ροών και παρέχει περισσότερο χρόνο σε όλους τους χρήστες να εντοπίσουν και να διορθώσουν τα λάθη τους ή τα λάθη άλλων λόγω χαμηλότερων ταχυτήτων οχημάτων. • Λιγότερα συνολικά σημεία σύγκρουσης και καμία διένεξη αριστερής στροφής.	• Αύξηση των ατυχημάτων με ένα όχημα και σταθερού αντικειμένου σε σύγκριση με άλλους τύπους διασταυρώσεων. • Οι κυκλικοί κόμβοι πολλών λωρίδων παρουσιάζουν περισσότερες δυσκολίες για άτομα με τύφλωση ή προβλήματα όρασης λόγω των δυσκολιών στον εντοπισμό κενών και στον προσδιορισμό ότι τα οχήματα έχουν παραχωρήσει προτεραιότητα στις διαβάσεις πεζών.
Λειτουργίες	
• Μπορεί να έχει μικρότερες καθυστερήσεις και ουρές από άλλες μορφές ελέγχου διασταυρώσεων. • Μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας μεταξύ των διασταυρώσεων, συμπεριλαμβανομένων των γεφυρών μεταξύ των τερματικών ράμπας ανταλλαγής. • Δημιουργεί τη δυνατότητα ώστε γειτονικοί φωτεινοί σηματοδότες να λειτουργούν με πιο αποδοτικές	• Η ίση προτεραιότητα για όλες τις προσεγγίσεις ροών μπορεί να δημιουργεί καθυστέρηση στις προσεγγίσεις μεγάλου όγκου. • Δεν μπορεί να παρέχει ρητή προτεραιότητα σε συγκεκριμένους χρήστες (π.χ. τρένα, οχήματα έκτακτης ανάγκης, μέσα μαζικής μεταφοράς, πεζούς) εκτός εάν παρέχονται συμπληρωματικές συσκευές ελέγχου της κυκλοφορίας.

διάρκειες κύκλου όπου ο κυκλικός κόμβος αντικαθιστά ένα φωτεινό σηματοδότη που ρυθμίζει τη διάρκεια του κύκλου ελέγχου.	
Διαχείριση Πρόσβασης	
• Διευκολύνει τις αναστροφές που μπορούν να υποκαταστήσουν τις πιο δύσκολες αριστερές στροφές στο μεσαίο μπλοκ.	• Μπορεί να μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων κενών για μη φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις και δρόμους στο μεσαίο μπλοκ (May reduce the number of available gaps for midblock unsignalized intersections and driveways)
Περιβαλλοντικοί παράγοντες	
• Ο θόρυβος, οι επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα και η κατανάλωση καυσίμου ενδέχεται να μειωθούν. • Μικρή στάση σε περιόδους εκτός αιχμής.	• Πιθανές επιπτώσεις σε φυσικούς και πολιτιστικούς πόρους λόγω μεγαλύτερων χωρικών απαιτήσεων στις διασταυρώσεις.
Κατευνασμός κυκλοφορίας	
• Μειωμένες ταχύτητες οχημάτων. • Ευεργετικό σε περιοχές μετάβασης ενισχύοντας την ιδέα μιας σημαντικής αλλαγής στο περιβάλλον οδήγησης.	• Πιο ακριβή από άλλες παρεμβάσεις κατευνασμού της κυκλοφορίας.
Χώρος	
• Συχνά απαιτούν λιγότερο χώρο αποθήκευσης ουράς στις προσεγγίσεις διασταυρώσεων—μπορεί να επιτρέψει πιο κοντινή διασταύρωση και απόσταση πρόσβασης. • Μειώστε την ανάγκη για πρόσθετο δικαίωμα διέλευσης μεταξύ των συνδέσμων διασταύρωσης.	• Συχνά απαιτεί περισσότερο χώρο στην ίδια τη διασταύρωση από άλλους τύπους διασταύρωσης.

Μεγαλύτερη σκοπιμότητα για τοποθέτηση στάθμευσης, φαρδύτερα πεζοδρόμια, λωρίδες ζαρντινιέρας, ευρύτερες εξωτερικές λωρίδες ή/και ποδηλατόδρομους στις προσεγγίσεις.	
Συντήρηση	
Δεν υπάρχει συντήρηση υλικού ή εξοπλισμού.	Μπορεί να απαιτεί συντήρηση τοπίου.
Αισθητική	
- Παρέχει ελκυστικές καταχωρήσεις ή κεντρικά σημεία στις κοινότητες. - Χρησιμοποιείται σε τουριστικές ή εμπορικές περιοχές για διαχωρισμό εμπορικών από οικιστικές περιοχές. - Παροχή ευκαιρίας για εξωραϊσμό ή/και δυνατότητα πύλης για την ενίσχυση της κοινότητας.	Ενδέχεται να δημιουργήσει κίνδυνο για την ασφάλεια εάν τοποθετηθούν σκληρά αντικείμενα στην κεντρική νησίδα ακριβώς απέναντι από τις εισόδους.

2. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Όπως με κάθε σχεδιασμό διασταύρωσης, κάθε τρόπος μεταφοράς απαιτεί προσεκτική εξέταση. Αυτή η ενότητα παρουσιάζει ορισμένα από τα ζητήματα που σχετίζονται με κάθε λειτουργία.

2.1. ΠΕΖΟΙ

Σε θέσεις κυκλικών κόμβων όπου παρέχεται πρόσβαση πεζών, οι πεζοί αναμένουν σε διαβάσεις γύρω από την περίμετρο του κυκλικού κόμβου. Παρέχοντας χώρο για παύση στη διαχωριστική νησίδα, οι πεζοί μπορούν να λάβουν υπόψη μια κατεύθυνση εισερχόμενης κυκλοφορίας κάθε φορά, γεγονός που απλοποιεί τη διέλευση του δρόμου. Ο κυκλικός κόμβος θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να αποθαρρύνει τους πεζούς να περάσουν στην κεντρική νησίδα, π.χ., με προστατευτικά τοπίων στις γωνίες. Οι διαβάσεις πεζών απομακρύνονται από τη γραμμή παραχώρησης προτεραιότητας κατά ένα ή περισσότερα μήκη οχημάτων ώστε να επιτευχθεί (Zanon et al., 2017):

- Μείωση της απόστασης διέλευσης πεζών σε σύγκριση με σημεία εγγύτερα του εγγεγραμμένου κύκλου της διασταύρωσης,
- Ξεχωριστά σημεία παραχώρησης προτεραιότητας οχήματος-οχήματος και οχήματος-πεζών και
- Επίτρεψη στον δεύτερο εισερχόμενο οδηγό να αφιερώσει την προσοχή του στη διέλευση πεζών, ενώ περιμένει τον προπορευόμενο οδηγό να εισέλθει στο κυκλοφοριακό οδόστρωμα.

Οι σχετικά αργές ταχύτητες οχημάτων και ο μειωμένος αριθμός αντιθέσεων είναι δύο κύριοι λόγοι που οι κυκλικοί κόμβοι είναι ασφαλέστεροι από τους περισσότερους άλλους τύπους διασταυρώσεων. Οι χαμηλές ταχύτητες σε συνδυασμό με τις καλά καθορισμένες διαβάσεις και τις διαχωριστικές νησίδες έχουν ως αποτέλεσμα σχετικά υψηλά ποσοστά αυτοκινητιστών που παραχωρούν προτεραιότητα στους πεζούς στους περισσότερους κυκλικούς κόμβους, καθιστώντας εύκολη τη διέλευση των πεζών. Η έρευνα διαπίστωσε ότι οι πεζοί έχουν συχνά πολύ σύντομο χρόνο αναμονής για να περάσουν σε κυκλικές διαβάσεις πεζών (Rodegerdts et al., 2007).

Σε σύγκριση με αμφίδρομες διασταυρώσεις ελεγχόμενες με στάση, οι κυκλικοί κόμβοι συνήθως διευκολύνουν και ασφαλέστερα τους πεζούς να διασχίσουν τον κύριο δρόμο. Τόσο στους κυκλικούς κόμβους όσο και στις αμφίδρομες διασταυρώσεις ελεγχόμενες με σατάση,

οι πεζοί πρέπει να κρίνουν τα κενά στο κύριο ρεύμα κυκλοφορίας. Στους κυκλικούς κόμβους, οι βλέποντες πεζοί πρέπει να κοιτάζουν μόνο προς μία κατεύθυνση κάθε φορά, εντός σχετικά μικρής οπτικής γωνίας. Στις παραδοσιακές διασταυρώσεις, οι πεζοί πρέπει να κοιτάζουν και προς τις δύο κατευθύνσεις στον κύριο δρόμο, εκτός εάν μια ανυψωμένη διάμεσος παρέχει καταφύγιο. Πρέπει επίσης να γνωρίζουν τα οχήματα που στρίβουν από τον μικρότερο δρόμο, επομένως το οπτικό τους πεδίο πρέπει να είναι ευρύ. Οι πεζοί με προβλήματα όρασης μπορεί να δυσκολεύονται να αξιολογήσουν τα κενά σε κυκλικούς κόμβους και αμφίδρομες διασταυρώσεις ελεγχόμενες με στάση. Μειώνοντας την απόσταση ακινητοποίησης, οι χαμηλές ταχύτητες του οχήματος μέσω ενός κυκλικού κόμβου γενικά μειώνουν τη συχνότητα συγκρούσεων με πεζούς και αυξάνουν την πιθανότητα τα οχήματα να παραχωρούν προτεραιότητα στους πεζούς. Η μειωμένη κινητική ενέργεια μειώνει επίσης τη σοβαρότητα των ατυχημάτων πεζών, εάν συμβούν (Miculescu & Karaman, 2019).

Η σύγκριση μεταξύ κυκλικών κόμβων και διασταυρώσεων ελεγχόμενων με στάση είναι λιγότερο σαφής. Ο έλεγχος με στάση σε όλη τη διαδρομή είναι ουσιαστικά ανύπαρκτος στις περισσότερες χώρες εκτός της Βόρειας Αμερικής που έχουν κυκλικούς κόμβους, επομένως υπάρχει λίγη διεθνής εμπειρία για σύγκριση. Οι διασταυρώσεις με ελεγχόμενη στάση μπορεί να προτιμώνται από πεζούς, ειδικά εκείνους με προβλήματα όρασης, επειδή τα οχήματα πρέπει να σταματούν πριν εισέλθουν στη διασταύρωση. Ωστόσο, η διέλευση μιας διασταύρωσης με ελεγχόμενη στάση μπορεί επίσης να είναι εκφοβιστική, καθώς η κυκλοφορία μπορεί να στρέφεται προς την έξοδο από πολλές κατευθύνσεις. Οι κυκλικοί κόμβοι, από την άλλη πλευρά, επιτρέπουν στους πεζούς να διασχίζουν μία κατεύθυνση κυκλοφορίας τη φορά. Ωστόσο, η κυκλοφοριακή ροή μπορεί να κινείται ακόμα και με χαμηλή ταχύτητα, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να κρίνουμε τα κενά, ειδικά για πεζούς που είναι τυφλοί ή έχουν χαμηλή όραση (Zhu et al., 2014).

Οι διασταυρώσεις που ελέγχονται με στάση σε όλη τη διαδρομή συνήθως έχουν χαμηλή συχνότητα σοβαρών συγκρούσεων πεζών λόγω του γεγονότος ότι οι αυτοκινητιστές γενικά σταματούν ή τουλάχιστον επιβραδύνουν σημαντικά πριν περάσουν από τα σήματα στάσης. Ωστόσο, οι διασταυρώσεις με ελεγχόμενη στάση σε όλη τη διαδρομή δεν παρέχουν θετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε αργά οχήματα, αντίθετα, βασίζονται αποκλειστικά στην εξουσία της συσκευής ελέγχου κυκλοφορίας. Η γεωμετρία του κυκλικού κόμβου επιβραδύνει και εκτρέπει φυσικά τα οχήματα, μειώνοντας την πιθανότητα σύγκρουσης υψηλής ταχύτητας λόγω παραβίασης της συσκευής ελέγχου κυκλοφορίας.

Όταν είναι κατάλληλα σχεδιασμένες για να φιλοξενούν πεζούς, οι φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις προσφέρουν θετική καθοδήγηση στους πεζούς παρέχοντας οπτικές και ηχητικές ενδείξεις σήματος πεζών. Από αυτή την άποψη, η διαδικασία λήψης αποφάσεων για τους πεζούς απαιτεί λιγότερη κρίση σε σηματοδοτημένες διασταυρώσεις παρά σε κυκλικούς κόμβους, ιδιαίτερα για πεζούς με προβλήματα όρασης και ηλικιωμένους. Ωστόσο, οι πεζοί σε σηματοδοτημένες διασταυρώσεις είναι ευάλωτοι σε απροσάτευτες κινήσεις δεξιάς στροφής και αριστερής στροφής. Σε προαστικά περιβάλλοντα με μεγάλες διασταυρώσεις και γωνίες μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας, αυτές οι συγκρούσεις συμβαίνουν σε σχετικά υψηλές ταχύτητες, μερικές φορές με αποτέλεσμα σοβαρές συγκρούσεις. Επιπλέον, ατυχήματα οχήματος-πεζού με μεγάλη ταχύτητα συμβαίνουν όταν τα οχήματα περνούν με ταχύτητα από μια ένδειξη κόκκινου σήματος. Από αυτή την άποψη, ο κυκλικός κόμβος παρέχει ένα περιβάλλον περιορισμένης ταχύτητας για τη διαμετακομιστική κυκλοφορία.

Σε διασταυρώσεις αμφίδρομης και ολικής στάσης, οι οδηγοί που στρίβουν δεξιά συχνά κοιτούν μόνο προς τα αριστερά για να ελέγξουν για κινήσεις οχημάτων, θέτοντας σε κίνδυνο ή ενοχλώντας τους πεζούς που διασχίζουν από δεξιά. Η ίδια κατάσταση συμβαίνει με τους αυτοκινητιστές σε σηματοδοτημένες διασταυρώσεις που κινούνται στις δεξιές στροφές με κόκκινο χρώμα. Αυτές οι συγκρούσεις μπορεί να είναι σοβαρές λόγω του γεγονότος ότι πολλοί από αυτούς τους οδηγούς δεν σταματούν εντελώς εάν δεν αντιληφθούν κινήσεις οχημάτων. Με τις διαβάσεις πεζών που βρίσκονται τοποθετημένες πριν από τον κυκλοφοριακό δρόμο, οι κυκλικοί κόμβοι τοποθετούν τους πεζούς σε πιο ορατή θέση.

Οι δύο πληθυσμοί στα αντίθετα άκρα της ηλικιακής συνέχειας —παιδιά και ηλικιωμένοι— και τα άτομα με αναπηρίες κινδυνεύουν ιδιαίτερα στις διασταυρώσεις. Αυτοί οι πεζοί συχνά δυσκολεύονται περισσότερο να διασχίσουν απροσάτευτες οδικές διαβάσεις, περπατούν με χαμηλότερες ταχύτητες από άλλους πεζούς και γενικά προτιμούν μεγαλύτερα κενά στο ρεύμα κυκλοφορίας. Τα παιδιά δεν έχουν εμπειρία στην κυκλοφορία, είναι παρορμητικά και έχουν λιγότερο ανεπτυγμένες γνωστικές ικανότητες και το μικρό τους μέγεθος περιορίζει την ορατότητά τους. Οι ηλικιωμένοι μπορεί να έχουν σωματικούς περιορισμούς, όπως μειωμένη οπτική οξύτητα, ακοή και κινητικότητα (Campos et al., 2014).

Η διέλευση σε κυκλικούς κόμβους πολλών λωρίδων είναι πιο δύσκολη για όλους τους πεζούς, αλλά ειδικά για τους πιο ευάλωτους χρήστες που περιγράφονται παραπάνω. Οι κυκλικοί

κόμβοι πολλαπλών λωρίδων έχουν μεγαλύτερες αποστάσεις διέλευσης και οι πεζοί χρειάζονται διαβεβαίωση ότι όλες οι λωρίδες είναι απαλλαγμένες από κινούμενη κυκλοφορία προτού μπορέσουν να διασχίσουν το δρόμο. Πρόσφατη έρευνα δείχνει ότι δύο έως τρεις φορές περισσότεροι αυτοκινητιστές δεν παραχωρούν προτεραιότητα στους πεζούς σε κυκλικούς κόμβους πολλών λωρίδων παρά σε κυκλικούς κόμβους μονής λωρίδας (Rodegerdts et al., 2008). Επιπλέον, οι πεζοί αντιμετωπίζουν πολλαπλές απειλές για ατύχημα όταν ο οδηγός στην πρώτη λωρίδα σταματά για να παραχωρήσει προτεραιότητα σε έναν πεζό, εμποδίζοντας τις οπτικές γραμμές μεταξύ του πεζού και τυχόν οχημάτων στην επόμενη λωρίδα. Εάν ούτε ο οδηγός στην επόμενη λωρίδα ούτε ο πεζός δουν τον άλλο χρήστη εγκαίρως για να προβούν σε ενέργειες αποφυγής, μπορεί να συμβεί ατύχημα στη δεύτερη λωρίδα (Goel & Kumar, 2015).

2.2. ΠΕΖΟΙ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ

Οι πεζοί που είναι τυφλοί ή έχουν χαμηλή όραση αντιμετωπίζουν πολλά σημεία δυσκολίας όταν διασχίζουν έναν κυκλικό κόμβο. Αναμένεται ότι ένας πεζός με προβλήματα όρασης που έχει καλές ταξιδιωτικές δεξιότητες θα πρέπει να μπορεί να φτάσει σε μια άγνωστη διασταύρωση και να τη διασχίσει χωρίς ειδική εκπαίδευση για τη συγκεκριμένη διασταύρωση. Για τους πεζούς με προβλήματα όρασης, οι κυκλικοί κόμβοι δημιουργούν προβλήματα σε διάφορες τοποθεσίες κατά τη διάρκεια της εμπειρίας διέλευσης (Zhu et al., 2014):

- Εύρεση Πορείας. Οι πεζοί με προβλήματα όρασης μπορεί να δυσκολεύονται να βρουν διαβάσεις πεζών επειδή αυτές βρίσκονται έξω από την προβολή των πλησιέστερων πεζοδρομίων και η καμπυλόγραμμη φύση των κυκλικών κόμβων αλλάζει τα κανονικά ακουστικά και απτικά σημάδια που χρησιμοποιούν για να βρουν διαβάσεις πεζών. Μια λωρίδα τοπίου ή μια άλλη ανιχνεύσιμη παρέμβαση άκρων μεταξύ πεζοδρομίων και κυκλικών κόμβων μπορεί να βοηθήσει να οδηγηθούν όλοι οι πεζοί σε διάβαση πεζών, ιδιαίτερα εκείνοι που είναι τυφλοί ή έχουν χαμηλή όραση (Olayode et al., 2020).
- Ευθυγράμμιση. Ομοίως, οι κυκλικοί κόμβοι δεν περιλαμβάνουν συνήθως τα κανονικά ακουστικά και απτικά σημάδια που χρησιμοποιούνται από πεζούς με προβλήματα όρασης για να ευθυγραμμιστούν με τη διάβαση πεζών. Αυτή η εργασία ευθυγράμμισης μπορεί να απλοποιηθεί εάν οι ράμπες πεζοδρομίων και οι διάδρομοι πεζοδρομίου με διαχωριστικές νησίδες ευθυγραμμίζονται με τη διάβαση πεζών και

εάν εγκατασταθούν ανιχνεύσιμες προειδοποιήσεις σε ράμπες πεζοδρομίου και διαχωριστικές νησίδες.

- Ανίχνευση κενού και παραχώρησης προτεραιότητας. Το πιο κρίσιμο ζήτημα στους κυκλικούς κόμβους για πεζούς με προβλήματα όρασης είναι το γεγονός ότι ο ήχος της κυκλοφορίας κρύβει τις ακουστικές ενδείξεις που χρησιμοποιούν οι τυφλοί πεζοί για να προσδιορίσουν το κατάλληλο χρονικό σημείο για να εισέλθουν στη διάβαση πεζών, σε ότι αφορά τόσο την ανίχνευση κενού όσο και την ανίχνευση της παραχώρησης προτεραιότητας από τα οχήματα. Μπορεί να είναι αδύνατο να προσδιοριστεί μόνο με τον ήχο εάν ένα όχημα έχει σταματήσει ή σκοπεύει να σταματήσει. Αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό στις εξόδους με κυκλικούς κόμβους, διότι χωρίς οπτική επιβεβαίωση, είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς ένα κυκλοφορούν όχημα από ένα όχημα που εξέρχεται. Σε κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων, αυτό το πρόβλημα μεγεθύνεται από την ανάγκη αξιολόγησης της κυκλοφορίας που κινείται σε πολλές κατευθύνσεις σε πολλές λωρίδες. Ακόμα κι αν ένα όχημα στη μία λωρίδα έχει σταματήσει και ένας τυφλός πεζός μπορεί να το αντιληφθεί αυτό, ο πεζός πιθανότατα θα δυσκολευτεί να εκτιμήσει εάν οι αυτοκινητιστές έχουν σταματήσει σε όλες τις λωρίδες εξόδου κυκλικού κόμβου. Παρόλο που έχει διεξαχθεί έρευνα για άλλες πιθανές λύσεις και κάποια έρευνα είναι ακόμη σε εξέλιξη, η εγκατάσταση προσβάσιμων (ηχητικών και δονητικών) σημάτων πεζών σε κυκλικές διαβάσεις πεζών έχει αποδειχθεί ότι είναι μια παρέμβαση που καθιστά σταθερά προσβάσιμους τους κυκλικούς κόμβους πολλών λωρίδων σε πεζούς που είναι τυφλοί ή που έχουν χαμηλή όραση (Zanon et al., 2017).

Οποιαδήποτε νέα ή τροποποιημένη διασταύρωση στις Ηνωμένες Πολιτείες που διαθέτει εγκαταστάσεις πεζών πρέπει να είναι προσβάσιμη και χρησιμοποιήσιμη από όλους τους πεζούς σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Νόμου περί Αμερικανών με Αναπηρία (Americans with Disabilities Act, ADA). Σύμφωνα με την ADA, το δημόσιο δικαίωμα διέλευσης είναι ένα «πρόγραμμα» που παρέχεται από τις πολιτείες και τις τοπικές κυβερνήσεις που δεν πρέπει να κάνουν διακρίσεις σε βάρος των πεζών με αναπηρία (28 CFR 35.150). Οποιαδήποτε εγκατάσταση ή μέρος μιας εγκατάστασης που κατασκευάστηκε πρόσφατα από μια πολιτεία ή τοπική κυβέρνηση και παρέχει εγκαταστάσεις πεζών πρέπει να σχεδιάζεται και να κατασκευάζεται έτσι ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμη και χρησιμοποιήσιμη από άτομα με αναπηρία [28 CFR 35.151(a)]. Οι αλλαγές στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις πρέπει να

περιλαμβάνουν τροποποιήσεις για να καταστούν οι τροποποιημένες περιοχές προσβάσιμες σε άτομα με αναπηρία [28 CFR 735.151 (β)].

Οι Οδηγίες Προσβασιμότητας της ADA του 1994 (ADA Accessibility Guidelines, ADAAG) είναι τα υιοθετημένα πρότυπα που ισχύουν για το δημόσιο δικαίωμα διέλευσης. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές, ωστόσο, δεν εξετάζουν συγκεκριμένα τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να γίνουν οι κυκλικοί κόμβοι προσβάσιμοι. Ωστόσο, αυτές οι διατάξεις σημαίνουν την παροχή πληροφοριών για ασφαλή διασταύρωση δρόμων σε προσβάσιμη μορφή, συμπεριλαμβανομένων των κυκλικών κόμβων.

Ο οργανισμός που είναι αρμόδιος για τη δημιουργία κατευθυντήριων γραμμών προσβασιμότητας, το Συμβούλιο Πρόσβασης των Ηνωμένων Πολιτειών, έχει αναπτύξει το προσχέδιο των κατευθυντήριων γραμμών για τα δημόσια δικαιώματα πρόσβασης (Public Rights-of-Way Accessibility Guidelines, PROWAG), οι οποίες αντιμετωπίζουν πολλά ζητήματα προσβασιμότητας που βρίσκονται στο δημόσιο δικαίωμα διέλευσης και δεν αντιμετωπίζονται από την ADAAG. Τα χαρακτηριστικά προσβασιμότητας σε κυκλικούς κόμβους περιλαμβάνουν πεζοδρόμια και διαβάσεις πεζών που πληρούν τις απαιτήσεις επιφάνειας, κλίσης και απόστασης. ράμπες που συνδέουν πεζοδρόμια και διαβάσεις πεζών. ανιχνεύσιμες παρεμβάσεις άκρων σε ράμπες, νησίδες διαχωρισμού και μεταξύ πεζοδρομίων και κυκλικών κόμβων για την καθοδήγηση των πεζών σε διαβάσεις πεζών, όπως ο εξωραϊσμός δίπλα στο κράσπεδο και σηματοδοτημένες διαβάσεις πεζών (Goel & Kumar, 2015).

Η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αυτοκινητοδρόμων εξέδωσε ένα σημείωμα στο οποίο αναφέρει ότι «το Προσχέδιο Κατευθυντήριων Γραμμών είναι οι επί του παρόντος προτεινόμενες βέλτιστες πρακτικές και μπορεί να θεωρηθεί η κατάσταση της πρακτικής που θα μπορούσε να ακολουθηθεί για περιοχές που δεν καλύπτονται πλήρως από τα τρέχοντα πρότυπα ADAAG» (Isler, 2006). Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν συγκεκριμένες οδηγίες σχεδιασμού για να καταστούν οι κυκλικοί κόμβοι και άλλες διασταυρώσεις προσβάσιμες σε πεζούς με προβλήματα κινητικότητας και προβλήματα όρασης.

2.3. ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ

Πρόσφατη έρευνα σε κυκλικούς κόμβους στις Ηνωμένες Πολιτείες δεν εντόπισε κανένα ουσιαστικό πρόβλημα ασφάλειας για τους ποδηλάτες, όπως υποδεικνύεται από λίγες συγκρούσεις που αναφέρθηκαν σε λεπτομερείς αναφορές ατυχημάτων (3). Ωστόσο, οι κυκλικοί κόμβοι επιβραδύνουν τους οδηγούς σε ταχύτητες πιο συμβατές με τις ταχύτητες του

ποδηλάτου, ενώ μειώνουν τις συγκρούσεις υψηλής ταχύτητας και απλοποιούν τις κινήσεις στροφών για τους ποδηλάτες. Οι τυπικές ταχύτητες ποδηλατιστών στο δρόμο είναι 12 έως 20 m/h (19 έως 32 km/h), επομένως ο σχεδιασμός κυκλικών κόμβων για κυκλοφορία κυκλοφορίας με παρόμοιες ταχύτητες θα ελαχιστοποιήσει τις σχετικές ταχύτητες μεταξύ ποδηλατών και αυτοκινητιστών και ως εκ τούτου θα βελτιώσει την ασφάλεια και τη χρηστικότητα για τους ποδηλάτες. Οι ποδηλάτες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στη σχεδίαση κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων κυκλοφορίας, ειδικά σε περιοχές με μέτρια έως έντονη κυκλοφορία ποδηλάτων (Miculescu & Karaman, 2019).

Όπως και με τους πεζούς, μία από τις δυσκολίες στην υποδοχή των ποδηλατιστών είναι το ευρύ φάσμα των δεξιοτήτων και των επιπέδων άνεσης στη μικτή κυκλοφορία. Μερικοί από τους λιγότερο έμπειρους ποδηλάτες θα επιλέξουν να οδηγούν σε πεζοδρόμια τόσο κατά μήκος δρόμων μακριά από κυκλικούς κόμβους όσο και σε κυκλικούς κόμβους (Hult et al., 2016). Δεδομένου ότι αυτοί οι ποδηλάτες συμπεριφέρονται σαν κυλιόμενοι πεζοί, δεν απαιτούνται ειδικές μέριμνες στους κυκλικούς κόμβους εκτός από αυτές που παρέχονται για τους πεζούς. Γενικά, οι ποδηλάτες που έχουν τις γνώσεις και τις δεξιότητες να οδηγούν αποτελεσματικά και με ασφάλεια στους δρόμους μπορούν να πλοηγούνται σε κυκλικούς κόμβους μονής λωρίδας χαμηλής ταχύτητας χωρίς μεγάλη δυσκολία. Οι πιο έμπειροι και ειδικευμένοι ποδηλάτες δρόμου θα είναι άνετοι όταν ταξιδεύουν σε όλους τους κυκλικούς κόμβους όπως άλλα οχήματα, ακόμη και σε κυκλικούς κόμβους πολλών λωρίδων (Campos et al., 2014).

Οι κυκλικοί κόμβοι μονής λωρίδας είναι πολύ πιο απλοί για τους ποδηλάτες από τους κυκλικούς κόμβους πολλών λωρίδων, καθώς δεν απαιτούν από τους ποδηλάτες να αλλάζουν λωρίδα για να κάνουν κινήσεις αριστερής στροφής ή διαφορετικά να επιλέξουν την κατάλληλη λωρίδα για την κατεύθυνση του ταξιδιού τους. Επιπλέον, σε κυκλικούς κόμβους μονής λωρίδας, οι αυτοκινητιστές είναι λιγότερο πιθανό να κόψουν τους ποδηλάτες όταν βγαίνουν από τον κυκλικό κόμβο. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την επιλογή ενός κυκλικού κόμβου πολλών λωρίδων σε σχέση με έναν κυκλικό κόμβο μονής λωρίδας βραχυπρόθεσμα, ακόμη και όταν οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις κυκλοφορίας υποδηλώνουν ότι μπορεί να είναι επιθυμητός ένας κυκλικός κόμβος πολλών λωρίδων. Επιπλέον, η χρήση κυκλικού κόμβου με εισόδους και εξόδους δύο λωρίδων στον κύριο δρόμο και εισόδους και εξόδους μίας λωρίδας για τον μικρό δρόμο μπορεί να είναι μια καλή λύση για τη μείωση της πολυπλοκότητας για τους ποδηλάτες όταν προτείνεται κυκλικός κόμβος σε

διασταύρωση μεγάλου δρόμου πολλαπλών λωρίδων με έναν μικρό δρόμο (Kumar & Goel, 2016).

Όπου χρησιμοποιούνται ποδηλατόδρομοι θα πρέπει να τερματίζονται πριν από τους κυκλικούς κόμβους για να συγχωνεύονται οι ποδηλάτες στην κυκλοφορία με άλλα οχήματα. Επιπλέον, οι ποδηλατόδρομοι δεν πρέπει να βρίσκονται εντός του κυκλοφοριακού οδοστρώματος των κυκλικών κόμβων, καθώς αυτό υποδηλώνει ότι οι ποδηλάτες θα πρέπει να οδηγούν στο εξωτερικό άκρο του κυκλοφοριακού δρόμου, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τις συγκρούσεις με ποδηλάτες και με μηχανοκίνητα οχήματα που εισέρχονται και εξέρχονται. Επειδή ορισμένοι ποδηλάτες μπορεί να μην αισθάνονται άνετα όταν διασχίζουν ορισμένους κυκλικούς κόμβους με τον ίδιο τρόπο όπως άλλα οχήματα, μπορούν να παρασχεθούν ράμπες ποδηλάτων για να επιτρέπεται η πρόσβαση στο πεζοδρόμιο ή σε μια διαδρομή κοινής χρήσης στον κυκλικό κόμβο. Οι ράμπες ποδηλάτων σε κυκλικούς κόμβους έχουν τη δυνατότητα να συγχέονται με τις ράμπες πεζών, ιδιαίτερα για πεζούς που είναι τυφλοί ή έχουν χαμηλή όραση. Ως εκ τούτου, οι ράμπες ποδηλάτων θα πρέπει να προορίζονται για εκείνες τις περιπτώσεις όπου η πολυπλοκότητα του κυκλικού κόμβου ή η ταχύτητα σχεδιασμού μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη άνεση για ορισμένους ποδηλάτες. Οι ράμπες δεν πρέπει κανονικά να χρησιμοποιούνται σε αστικούς κυκλικούς κόμβους μονής λωρίδας (Goel & Kumar, 2015).

2.4. ΟΔΗΓΟΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ

Υπάρχει μια τάση στις Ηνωμένες Πολιτείες να συνεχίζουν να οδηγούν μέχρι μεγαλύτερη ηλικία σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Αυτή η τάση έχει επιπτώσεις σε όλους τους σχεδιασμούς οδοστρωμάτων, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού κυκλικών κόμβων, που κυμαίνονται από λειτουργίες έως το γεωμετρικό σχεδιασμό και το σχεδιασμό πινακίδων. Από αυτή την άποψη, οι σχεδιαστές θα πρέπει να συμβουλευούνται τα διαθέσιμα έγγραφα όπως το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού Αυτοκινητοδρόμων FHWA για ηλικιωμένους οδηγούς και πεζούς (Staplin et al., 2001), το οποίο παρουσιάζει τις ακόλουθες σκέψεις για την κατανόηση των διαφορών των ηλικιωμένων οδηγών και πεζών με την κατανόηση και την πλοήγηση στις διασταυρώσεις (Kumar & Goel, 2016).

- Η μοναδική μεγαλύτερη ανησυχία για την υποδοχή των ηλικιωμένων χρηστών του δρόμου, τόσο των οδηγών όσο και των πεζών, είναι η ικανότητα αυτών των ατόμων να κινούνται με ασφάλεια στις διασταυρώσεις.

- Οι καταστάσεις οδήγησης που περιλαμβάνουν σύνθετες κρίσεις ταχύτητας-απόστασης υπό χρονικούς περιορισμούς είναι πιο προβληματικές για τους ηλικιωμένους οδηγούς και τους πεζούς παρά για τους νεότερους αντίστοιχους τους.
- Οι ηλικιωμένοι οδηγοί είναι πολύ πιο πιθανό να εμπλακούν σε ατυχήματα όπου οι οδηγοί οδηγούσαν πολύ γρήγορα δεδομένης της στροφής ή, το πιο σημαντικό, ήταν έκπληκτοι από την καμπύλη.
- Οι ελιγμοί στην αριστερή στροφή είναι δύσκολοι για τους μεγαλύτερους οδηγούς, καθώς δυσκολεύονται να επιλέξουν αποδεκτά κενά λόγω της μειωμένης ικανότητας να κρίνουν τις επερχόμενες ταχύτητες και τους πιο αργούς χρόνους απόκρισης (Starlin, 1995). Έχουν επίσης μεγαλύτερη δυσκολία στην κατανόηση των ενδείξεων στροφής προς τα αριστερά (Noyce & Kacir, 2001).
- Οι συγκρούσεις στην αριστερή στροφή είναι ιδιαίτερα προβληματικές για τους ηλικιωμένους οδηγούς. Η έρευνα έχει δείξει ότι η πιθανότητα εμπλοκής σε ατυχήματα στην αριστερή στροφή αυξάνεται με την ηλικία (Matthias et al., 1996).
- Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι συγκρούσεις εξαιτίας απώλειας ελέγχου οφείλονται στην αδυναμία διατήρησης της πλευρικής θέσης μέσω της καμπύλης λόγω υπερβολικής ταχύτητας με ανεπαρκή επιβράδυνση στη ζώνη προσέγγισης. Αυτά τα προβλήματα προέρχονται από έναν συνδυασμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της κακής πρόβλεψης των απαιτήσεων ελέγχου του οχήματος, που προκαλούνται από την προηγούμενη ταχύτητα του οδηγού και της ανεπαρκούς αντίληψης των απαιτήσεων της καμπύλης.
- Οι ηλικιωμένοι οδηγοί δυσκολεύονται να επικεντρώσουν την προσοχή τους στις πιο σχετικές πτυχές των νέων καταστάσεων οδήγησης.
- Οι μεγαλύτεροι οδηγοί χρειάζονται γενικά περισσότερο χρόνο από τους μέσους οδηγούς για να αντιδράσουν στα γεγονότα.

Αυτά τα ευρήματα ισχύουν για ηλικιωμένους οδηγούς και πεζούς που συναντούν όλους τους τύπους διασταυρώσεων, συμπεριλαμβανομένων των κυκλικών κόμβων. Τα σημεία που παρατέθηκαν παραπάνω, πάνω από όλα υποδηλώνουν ότι οι χαμηλότερες, πιο συντηρητικές ταχύτητες σχεδιασμού είναι περισσότερο κατάλληλες (Zhu et al., 2014).

Η έρευνα δείχνει ότι οι κυκλικοί κόμβοι μπορεί να αντιμετωπίσουν ορισμένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι οδηγοί στην αντιμετώπιση των διασταυρώσεων. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου είναι ότι όλη η κίνηση

πρέπει να επιβραδύνεται καθώς εισέρχεται στη διασταύρωση. Οι πιο αργές ταχύτητες μπορούν να ωφελήσουν τόσο τον αρχάριο όσο και τον μεγαλύτερο οδηγό καθώς πλοηγούνται στους δρόμους. Μερικά από τα πιθανά οφέλη των πιο αργών ταχυτήτων διασταύρωσης περιλαμβάνουν μείωση της σοβαρότητας σύγκρουσης, ασφαλέστερες συγχωνεύσεις κυκλοφοριακών ροών και περισσότερες ευκαιρίες για σωστή κρίση και εισαγωγή κενών (Stutts, 2005).

Οι πιο αργές και σταθερές ταχύτητες σε κυκλικούς κόμβους μπορούν να καλύψουν τις προτιμήσεις των ηλικιωμένων οδηγών με τους εξής τρόπους:

- Δίνοντας περισσότερο χρόνο για λήψη αποφάσεων, δράση και αντίδραση.
- Παροχή λιγότερο περίπλοκων καταστάσεων για ερμηνεία.
- Απαιτείται απλούστερη λήψη αποφάσεων.
- Μείωση της ανάγκης να κοιτάζει κανείς πάνω από τον ώμο του.
- Μείωση της ανάγκης να κρίνουμε με ακρίβεια τις ταχύτητες στροφής της γρήγορης κυκλοφορίας και
- Μείωση της ανάγκης να κρίνονται με ακρίβεια τα κενά στη γρήγορη κυκλοφορία.
- Τα οφέλη που παρέχει ένας κυκλικός κόμβος στους ηλικιωμένους οδηγούς μπορεί να είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων σε μια διασταύρωση. Για παράδειγμα, οι αμφίδρομες διασταυρώσεις ελεγχόμενης στάσης μπορεί να είναι κατάλληλες για αντικατάσταση με κυκλικό κόμβο όταν μια ανάλυση σύγκρουσης υποδεικνύει ότι επικρατούν ατυχήματα που σχετίζονται με την ηλικία.

Είναι σημαντικό ότι οι ηλικιωμένοι οδηγοί κατανοούν τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων, όπως ο καθορισμός μιας ασφαλούς ταχύτητας προσέγγισης, ο προσδιορισμός του αριθμού των λωρίδων και σε ποια λωρίδα πρέπει να κινηθούν, η κατανόηση της κατεύθυνσης κίνησης στο κυκλοφοριακό οδόστρωμα, η παραχώρηση προτεραιότητας στα οχήματα κατά την είσοδο και η κατανόηση των πινακίδων του δρόμου/διαδρομών σε κάθε έξοδο (Mahmoud et al., 2021). Η έρευνα δείχνει ότι η σωστή χρήση προειδοποιητικών πινακίδων προειδοποίησης κυκλικού κόμβου με βέλη που υποδεικνύουν την κατεύθυνση της ροής της κυκλοφορίας, πινακίδες παραχώρησης προτεραιότητας, πινακίδες κατεύθυνσης και πινακίδες ονόματος οδικού δικτύου μπορεί να βελτιώσει την κατανόηση των κυκλικών κόμβων από τους ηλικιωμένους οδηγούς (Lord et al., 2005). Οι εναέριες πινακίδες πάνω από το οδόστρωμα (overhead lane, που συνιστώνται από

το Εγχειρίδιο Σχεδιασμού Αυτοκινητοδρόμων για Ηλικιωμένους Οδηγούς και Πεζούς (Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians) για σήματα (Staplin et al., 2001), μπορούν να βοηθήσουν στις επιλογές πλοήγησης σε προσεγγίσεις κυκλικού κόμβου πολλών λωρίδων (Hult et al., 2016).

2.5. ΜΕΓΑΛΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Τα μεγάλα οχήματα έχουν άμεσο αντίκτυπο στο σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου. Οι κυκλικοί κόμβοι μονής λωρίδας χρησιμοποιούν συχνά μια διασχίσιμη υπερυψωμένη ποδιά (apron) γύρω από την περίμετρο της κεντρικής νησίδας για να παρέχουν το πρόσθετο πλάτος που απαιτείται για την παρακολούθηση των τροχών των ρυμουλκών μεγάλων οχημάτων. Οι κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων έχουν σχεδιαστεί είτε για να επιτρέπουν στα μεγάλα οχήματα να παρακολουθούν περισσότερες από μία λωρίδες κατά την είσοδο, την κυκλοφορία και την έξοδο είτε για να παραμείνουν εντός της λωρίδας τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, κυκλικοί κόμβοι έχουν σχεδιαστεί με ποδιές ή κλειστούς δρόμους μέσω της κεντρικής νησίδας για να δέχονται φορτηγά μεγάλου μεγέθους, οχήματα έκτακτης ανάγκης ή τρένα (Kumar & Goel, 2016).

2.6. ΔΙΕΛΕΥΣΗ (TRANSIT)

Τα οχήματα διέλευσης (transit) είναι ένας ειδικός τύπος μεγάλου οχήματος και έχουν μοναδικές απαιτήσεις, πολλές από τις οποίες είναι παρόμοιες με εκείνες σε άλλους τύπους διασταυρώσεων. Εάν ο κυκλικός κόμβος έχει σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σχεδιαστικό όχημα, ένα λεωφορείο δεν θα πρέπει να έχει φυσική δυσκολία να διασχίσει τη διασταύρωση. Για να ελαχιστοποιηθεί η ταλαιπωρία των επιβατών, είναι προτιμότερο τα λεωφορεία να μην χρειάζεται να διέρχονται από την υπερυψωμένη ποδιά για φορτηγά εάν υπάρχει. Τα σημεία στάσης των λεωφορείων θα πρέπει να τοποθετούνται προσεκτικά για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα οι ουρές των οχημάτων να διαχυθούν πίσω στο κυκλικό οδόστρωμα. Αυτό συνήθως σημαίνει ότι οι στάσεις λεωφορείων πρέπει να είναι απομακρυσμένες από τη διασταύρωση και να είναι τοποθετημένες με τρόπο που να λαμβάνει υπόψη την ικανότητα του οδηγού του λεωφορείου να συγχωνεύεται στο ρεύμα κυκλοφορίας. Οι διαδρομές πρόσβασης πεζών στη διέλευση θα πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα την ασφάλεια, την άνεση και την ευκολία. Η χωρητικότητα διέλευσης πεζών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη εάν η ζήτηση είναι σημαντική, όπως κοντά σε σταθμό ή τερματικό σταθμό (Goel & Kumar, 2015).

Όταν συνδυάζονται με σήματα, οι κυκλικοί κόμβοι μπορεί να παρέχουν ευκαιρίες για να δοθεί προτεραιότητα στα οχήματα διέλευσης (συμπεριλαμβανομένου του σιδηροδρόμου) και στα οχήματα έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν σήματα που συγκρατούν την είσοδο στην κυκλοφορία ενώ το όχημα διέλευσης εισέρχεται μόνο του ή σε μικτή κυκλοφορία (Zhu et al., 2014).

2.7. ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ

Η διέλευση μεγάλων οχημάτων έκτακτης ανάγκης μέσω κυκλικού κόμβου είναι η ίδια όπως και για άλλα μεγάλα οχήματα και μπορεί να απαιτεί τη χρήση διασχίσιμης ποδιάς. Σε διαδρομές αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης, η καθυστέρηση για τις σχετικές κινήσεις σε προγραμματισμένο κυκλικό κόμβο θα πρέπει να συγκρίνεται με εναλλακτικούς τύπους διασταυρώσεων και ελέγχου. Ακριβώς όπως απαιτείται να κάνουν σε συμβατικές διασταυρώσεις, οι οδηγοί θα πρέπει να εκπαιδεύονται να μην εισέρχονται σε κυκλικό κόμβο όταν ένα όχημα έκτακτης ανάγκης πλησιάζει σε άλλη είσοδο του κόμβου. Μόλις εισέλθουν, θα πρέπει να βγουν από το κυκλοφοριακό οδόστρωμα, εάν είναι δυνατόν, διευκολύνοντας την εκκαθάριση της ουράς μπροστά από το όχημα έκτακτης ανάγκης (Mahmoud et al., 2021). Οι κυκλικοί κόμβοι παρέχουν στα οχήματα έκτακτης ανάγκης το πλεονέκτημα των χαμηλότερων ταχυτήτων των οχημάτων, γεγονός που μπορεί να κάνει τους κυκλικούς κόμβους πιο ασφαλείς για τη διάσχιση σε σύγκριση με τις διασταυρώσεις με φωτεινούς σηματοδότες. Σε αντίθεση με τις φωτεινά σηματοδοτημένες διασταυρώσεις, οι οδηγοί οχημάτων έκτακτης ανάγκης δεν αντιμετωπίζουν οχήματα που τρέχουν απρόσμενα στη διασταύρωση και τα χτυπούν με μεγάλη ταχύτητα (Miculescu & Karaman, 2019).

2.8. ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΕΣ ΔΙΑΒΑΣΕΙΣ

Οι σιδηροδρομικές διελεύσεις μέσω ή κοντά σε έναν κυκλικό κόμβο μπορεί να περιλαμβάνουν πολλές σχεδιαστικές προκλήσεις παρόμοιες με αυτές σε άλλες διασταυρώσεις. Σε εκ των υστέρων τροποποίηση, η σιδηροδρομική γραμμή μπορεί να σχεδιαστεί για να διέρχεται από την κεντρική νησίδα ή σε ένα από τα σκέλη. Οι ουρές που ξεχύνονται πίσω από ένα μπλοκάρισμα σιδηροτροχιών στον κυκλικό κόμβο μπορεί να γεμίσουν το κυκλικό οδόστρωμα και να εμποδίσουν προσωρινά την κίνηση σε οποιαδήποτε προσέγγιση. Ωστόσο, στον βαθμό που η χωρητικότητα προσέγγισης κυκλικού κόμβου έχει μελετηθεί να υπερβαίνει τη μέγιστη κίνηση οι ουρές θα εξαφανιστούν γρήγορα. Επομένως, συνιστάται ανάλυση χωρητικότητας και ασφάλειας ανά περίπτωση (Kumar & Goel, 2016).

3. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Χωρίς αμφιβολία, ένα είδος κόμβων που χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη είναι εκείνος των κυκλικών κόμβων. Η ίδια η ονομασία τους καταδεικνύει και τον τρόπο που διαμορφώνουν την οδική κυκλοφορία. Με άλλα λόγια, η κυκλική διαμόρφωσή τους είναι η ακριβώς αντίθετη από την πορεία που ακολουθούν οι δείκτες ενός συνηθισμένου ρολογιού. Επομένως, η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Πρώτον, κάθε διασταύρωση που υπάρχει σε έναν κυκλικό κόμβο εμφανίζεται με την μορφή ελιγμού. Με την σειρά του, ο ελιγμός αυτός είναι δυνατόν να υπάγεται στην υποομάδα είτε των ελιγμών διαχωρισμού, είτε των ελιγμών συμβολής. Εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η διάρθρωση αυτή συνεπάγεται πολλαπλά οφέλη, δεδομένου ότι έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή μιας πολλαπλής πλέξης (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986). Αναφορικά με τους κόμβους, οι τελευταίοι παρουσιάζονται είτε με ανισόπεδη είτε με ισόπεδη μορφή. Ωστόσο, δίνεται προβάδισμα στην ισόπεδη κατασκευή αυτών. Εξάλλου, απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή κυκλοφορία στους ισόπεδους κόμβους είναι η τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών (The Highways Agency et al., 2007).

Ακόμη, μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των κυκλικών κόμβων είναι εκείνη της εξωτερικής διαμέτρου. Πιο αναλυτικά, η εν λόγω διάμετρος αναφέρεται στο μήκος εκείνο του κύκλου που “αγκαλιάζει” από την εξωτερική όψη τον κόμβο κυκλοφορίας. Συνήθως, ο κόμβος κυκλοφορίας αυτός περιβάλλει με την σειρά του το κεντρικό οδικό δίκτυο που αποτελεί και τον πυρήνα του κυκλικού κόμβου.

Εν προκειμένω, θεωρείται αναγκαίο να επισημανθεί ότι οι κυκλικοί κόμβοι και οι κυκλικές διασταυρώσεις διαφέρουν μεταξύ τους ουσιαστικά, μολονότι οι πρώτοι αποτελούν μία ειδικότερη υποομάδα των δεύτερων. Συνεπώς, αποφεύγεται η ένταξή τους στην ίδια κατηγορία, ενώ συστήνεται η ευκρινής παρουσίαση των διαφορετικών τους στοιχείων. Πιο αναλυτικά ως τέτοια θα μπορούσαν να οριστούν τα ακόλουθα: οι παλαιότερης μορφής διασταυρώσεις διακρίνονταν για την Περιστροφική Κυκλοφοριακή διαμόρφωσή τους. Με άλλα λόγια, με την χρήση των λεγόμενων “Rotaries” ειδικά στην περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής έως και το έτος του 1960, δημιουργήθηκαν κυκλικές διασταυρώσεις με εξαιρετικά υψηλή διάμετρο. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παροχή της δυνατότητας ταχείας διέλευσης για τους οδηγούς. Συχνό φαινόμενο αποτελούσε επίσης η καταγραφή υψηλού αριθμού προσπεράσεων. Ως εκ τούτου, η πρόκληση ατυχημάτων ήταν

αναπόφευκτη. Γενεσιουργός λόγος αυτών των ατυχημάτων ήταν κυρίως η δυνατότητα της “Δεξιάς Προτεραιότητας”. Ειδικότερα, σύμφωνα με αυτήν, οι οδηγοί που μετακινούνταν μέσα στα πλαίσια της διασταύρωσης ήταν αναγκαίο να δίνουν προτεραιότητα στους αντίστοιχους οδηγούς που βρίσκονταν στην κυκλική οδό. Η κατάσταση αυτή δημιουργούσε προβλήματα και στην αποδοτικότητα του δικτύου, δεδομένου ότι μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων “εγκλωβιζόταν” στον κυκλικό δακτύλιο, μειώνοντας τη χρησιμότητα της εν λόγω οδού. Το φαινόμενο αυτό υπήρξε αρνητικό και για τη διατήρηση της καλής κατάστασης των κτιρίων που βρίσκονταν πλησίον τέτοιων οδικών συνδέσεων. Για παράδειγμα, η γρήγορη και ταυτόχρονη επικίνδυνη πορεία των οδηγών συνιστούσε τροχοπέδη για την προσέλκυση ενδιαφέροντος και πολύ περισσότερο, για την προσέλευση των πολιτών στις συγκεκριμένες τοποθεσίες. Εν κατακλείδι, η περιστροφική διάταξη των διασταυρώσεων δεν προτιμάται στην πράξη λόγω των αρνητικών πτυχών που αυτές συνεπάγονται, όπως εκτέθηκαν παραπάνω (NCHRP & FHWA, 2010).

Συνεχίζοντας, με την έννοια των Κυκλοφοριακών Κύκλων Γειτονιάς ή συνεκδοχικά, των “Neighborhood Traffic Circles” αποδίδεται η διαδικασία ένωσης των οδών τοπικού χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μία ειδική μεταχείριση των τοπικών οδικών δικτύων, που ταυτόχρονα, βρίσκονται εντός του αστικού ιστού. Η μεταχείριση αυτή εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς. Αρχικά, βελτιώνεται η εξωτερική εικόνα των μικρών κυκλοφοριακών συνόλων. Παράλληλα, εξασφαλίζεται η ασφαλής διέλευση οχημάτων και πεζών, ενώ δίνεται προβάδισμα στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Ο παράγων της ασφάλειας τίθεται στο επίκεντρο: με την τοποθέτηση ευκρινούς σηματοδότησης και ορθής δημιουργίας γραμμών στο έδαφος γίνεται μία προσπάθεια ρύθμισης της πορείας των οχημάτων που βρίσκονται περιμετρικά της κυκλικής οδού και σταματούν, προκειμένου να εισέλθουν στον κύκλο άλλα αυτοκίνητα. Κατ’ αρχήν, στοιχείο που απουσιάζει από τις σχετικές ρυθμίσεις τοπικών δικτύων είναι η διοχετευτική ρύθμιση, ενώ δεν προτιμάται στην πράξη η μέθοδος εφαρμογής της πρόσβασης με αριστερή στροφή χωρίς κάποιον περιορισμό (NCHRP & FHWA, 2010).

Εάν επιχειρήσει κανείς να επικεντρώσει το πεδίο ενδιαφέροντός του στον Ελλαδικό χώρο θα οδηγηθεί στις παρακάτω διαπιστώσεις. Η δημιουργία Κυκλοφοριακών Κόμβων Γειτονιάς, παρόλο που έχει ληφθεί η απαραίτητη μέριμνα για την ορθή κατασκευή τους, εντούτοις στην πράξη αποδεικνύονται κάτι παραπάνω από επιτυχείς. Σύμφωνα με τα όσα παρατηρήθηκαν στο Ελληνικό οδικό δίκτυο, οι οδηγοί που εισέρχονταν στον κυκλικό δακτύλιο, ήταν αναγκαίο

να σταματήσουν τη διέλευση όσων βρίσκονταν ήδη εντός αυτού. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία παροχής προτεραιότητας στους πεζούς, που αποτελεί και το τρωτό σημείο αυτών των κατασκευών. Από την άλλη πλευρά, η τοποθέτηση των διαβάσεων δεν ήταν σε τοποθεσία που επέτρεπαν την ασφαλή μετακίνηση των πεζών. Δεν πρέπει να λησμονεί κανείς φυσικά την παράλειψη ρύθμισης περί της μόνιμης ή πρόσκαιρης στάθμευσης οχημάτων σε χώρο εντός των πλαisiών του δακτυλίου. Τόσο η ύπαρξη κατοικιών, όσο και η ύπαρξη καταστημάτων συνέβαλαν στην συχνή στάθμευση αυτοκινήτων στον κυκλικό δακτύλιο. Με αυτόν τον τρόπο, μειωνόταν σημαντικά η ορατότητα των πεζών αλλά και των διερχόμενων οδηγών.

Προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω, κάθε φορά που η έξοδος από τον δακτύλιο κυκλικής μορφής γίνεται από τη δεξιά πλευρά, ενώ ταυτόχρονα η πορεία των αυτοκινήτων ακολουθεί την πορεία του κεντρικού κύκλου, γίνεται λόγος για τους λεγόμενους “Σύγχρονους Ισόπεδους Κυκλικούς Κόμβους” (Modern Roundabouts). Συχνά, η συγκεκριμένη κατηγορία είναι δυνατόν να αποδοθεί νοηματικά και με την έννοια των απλών “Κυκλικών Κόμβων”. Βασικές ιδιότητες της συγκεκριμένης υποομάδας είναι ότι προβάδισμα δίνεται στην πορεία των αυτοκινήτων που βρίσκονται μέσα στα πλαίσια των κόμβων. Παράλληλα, εμφανίζουν διαρρύθμιση που χαρακτηρίζεται ως “πλήρης διοχευτικής”. Ακόμη, διαθέτει κατά κανόνα επαρκή σηματοδότηση ενώ ταυτόχρονα, παρατηρείται ευκρινής ύπαρξη γραμμών πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Επομένως, όσοι μετακινούνται με στόχο να εισέλθουν στο εσωτερικό του κόμβου, είναι υποχρεωμένοι να δίνουν προτεραιότητα σε όσα οχήματα κινούνται ήδη εντός αυτού του πλαισίου. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η κατασκευή της εν λόγω οδικής διάρθρωσης επιβάλλει την μετακίνηση των οχημάτων με ταχύτητα που δεν ξεπερνά τα 50 χιλιόμετρα την ώρα (NCHRP & FHWA, 2010 & The Highways Agency et al., 2007).

Ως επιστέγασμα των προαναφερθέντων, οι Κυκλικοί Κόμβοι, που δεν είναι άλλοι από τους ισόπεδους κόμβους, συνιστούν την μορφή οδικής διάρθρωσης που προτιμάται συχνότερα στην πράξη. Αφενός, παρουσιάζουν ιδιαίτερες ιδιότητες που τους διαφοροποιούν από τους λοιπούς τρόπους οδικής διαμόρφωσης, αλλά συνεπάγονται την ύπαρξη πολλαπλών ωφελειών τόσο για τους πεζούς, όσο και για τους μετακινούμενους με οχήματα. Αφετέρου, στην ευρεία κατηγορία των Κυκλοφοριακών Κύκλων εμπίπτουν οι υποομάδες των Περιτροφικών Κυκλοφοριακών Διαμορφώσεων, αλλά και των Κυκλοφοριακών Κύκλων Γειτονιάς (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 5. Παλιός Κυκλοφοριακός Κύκλος στο Μόναχο (Brilon, 2011).



Εικόνα 6. Σύγχρονος Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (Brilon, 2011)

3.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Είναι γεγονός ότι η δημιουργία των κυκλοφοριακών κύκλων δεν αποτελεί μία πρόσφατη ανακάλυψη. Στον αντίποδα, η παρθενική εμφάνιση αυτού τοποθετείται χρονικά στις αρχές του 19ου αιώνα. Πιο αναλυτικά, στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής βρίσκεται ο εμπνευστής του συγκεκριμένου τρόπου διαμόρφωσης του οδικού δικτύου. Είναι ενδεικτικό ότι έχει κατασκευαστεί και σχετικό πολιτιστικό αξιοθέατο, προς τιμήν του συγκεκριμένου κατασκευαστή. Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ηπείρου, τον 18ο αιώνα παρατηρείται μία έντονη κινητικότητα στον συγκεκριμένο τομέα, ιδιαίτερα στην περιοχή του Γαλλικού κράτους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διαμόρφωση της Place de l'Etoile, η οποία αποτελεί το οδικό δίκτυο που περιβάλλει την Αψίδα του Θριάμβου. Το Ηνωμένο Βασίλειο δεν θα μπορούσε να λείπει από τον κατάλογο των χωρών που υιοθέτησαν κάποιας μορφής κυκλοφοριακών κύκλων. Ως εκ τούτου, δέκα έτη μετά την είσοδο στον 19ο αιώνα, διαμορφώθηκε στην περιοχή της Letchworth, ο πρώτος κύκλος που είναι δυνατόν να παρομοιαστεί με την σημερινή αντίληψη που διαθέτει ο μέσος πολίτης για τους κυκλικούς κόμβους κυκλοφορίας (Brilon, 2011).

Σε αυτό το σημείο είναι αναγκαίο να γίνει η παρακάτω επισήμανση. Όσοι κυκλοφοριακοί κύκλοι είχαν κατασκευαστεί μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως επιτυχημένοι. Αυτό οφείλεται σε διάφορους λόγους. Πρώτον, δεν εκπλήρωσαν τους σκοπούς της λειτουργικότητας και της χρησιμότητας, οι οποίοι αποτελούν “πυξίδα” για τη διαμόρφωση ενός πλήρως οργανωμένου οδικού δικτύου. Πιο αναλυτικά, τα ιδιαίτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που παρουσίαζαν οι συγκεκριμένοι κύκλοι, όχι μόνο ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνα για την πρόκληση ατυχημάτων, αλλά ταυτόχρονα, συνέβαλαν στην συγκέντρωση πολλών αυτοκινήτων για μεγάλο χρονικό διάστημα στο ίδιο σημείο. Φυσικά, παράγων που επηρέασε τη γενικότερη κατάσταση των οδικών δικτύων το διάστημα που προαναφέρθηκε ήταν η μαζική απόκτηση ιδιωτικών οχημάτων από τους πολίτες (NCHRP & FHWA, 2010).

Έτσι λοιπόν, με επίκεντρο το Ηνωμένο Βασίλειο, στο οποίο οφείλεται η σημερινή απεικόνιση των κυκλικών κόμβων, καθίσταται απαραίτητο να σημειωθούν τα εξής. Οι Βρετανικοί φορείς, επιχειρώντας να αποσυμφορήσουν τις λωρίδες στις οποίες κινούνταν κατά βάση τα οχήματα της Μαζικής Μεταφοράς θέσπισαν μία βασική οδηγική αρχή, Σύμφωνα με αυτή, όσοι οδηγοί επιθυμούσαν να εισέλθουν εντός του κόμβου δεν ήταν επιτρεπτό να δίνει προτεραιότητα σε όσα οχήματα ήδη βρίσκονταν εντός αυτού. Ως εκ τούτου, επιτεύχθηκε η ομαλή κίνηση των

οχημάτων τόσο εντός, όσο και εκτός του κυκλικού κόμβου, χωρίς να απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την μετακίνηση τους από το ένα σημείο στο άλλο. Επιπροσθέτως, τα Βρετανικά όργανα μερίμνησαν και για την ορθή γεωμετρική κατασκευή των κόμβων, με στόχο την είσοδο οχημάτων με χαμηλή ταχύτητα σε αυτούς (Brilon, 2011).



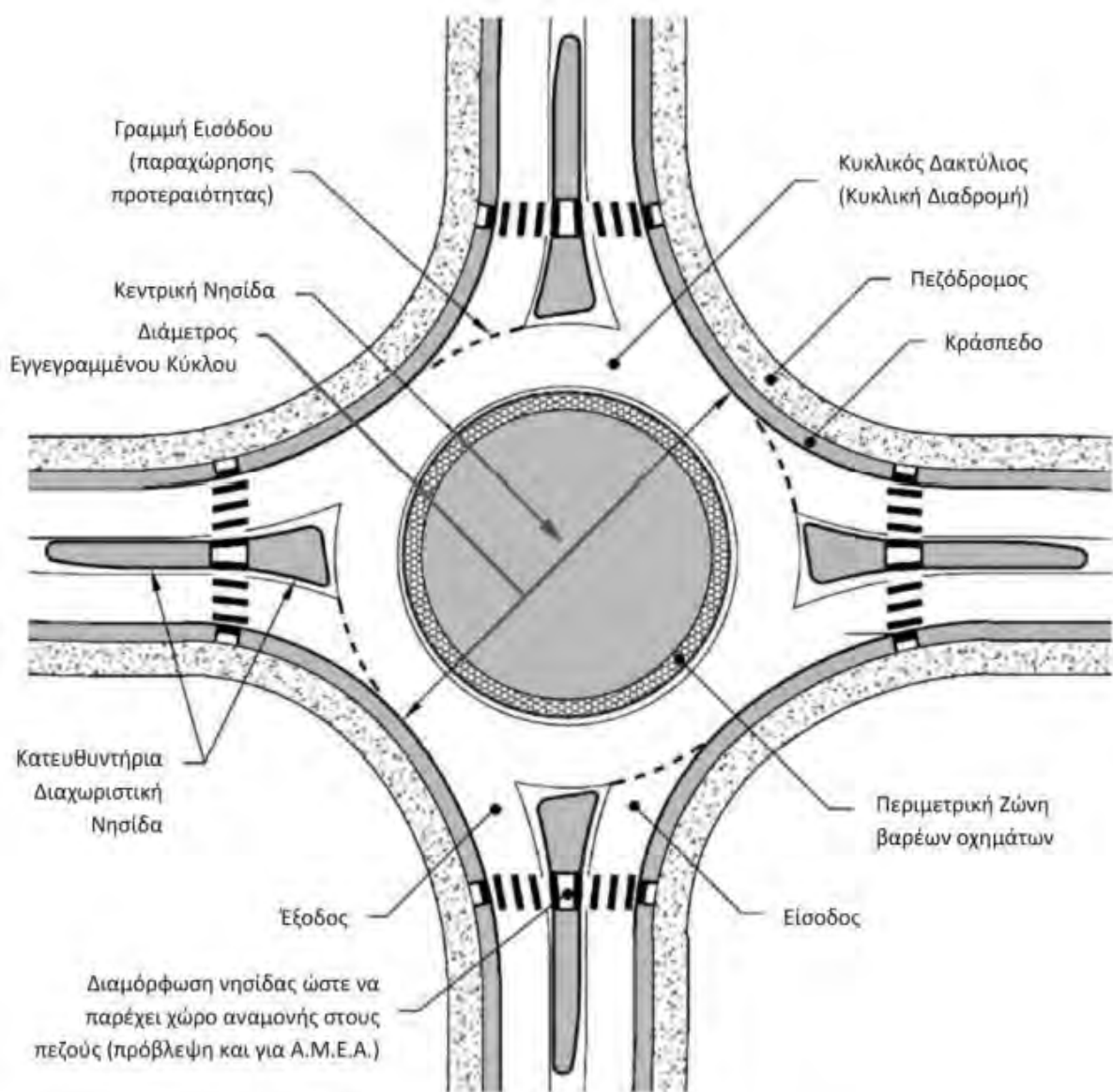
Εικόνα 7. Προτεραιότητα των εντός του κυκλικού κόμβου κινούμενων οχημάτων (Brilon, 2011).

Επομένως, βάσει των όσων προελέχθησαν, γίνεται αντιληπτή μια αισθητή αναβάθμιση της ασφάλειας τόσο των πεζών όσο και των οχημάτων. Οι Βρετανικές οδικές μεταρρυθμίσεις θεωρήθηκαν θετικές, διότι πέτυχαν την αποφυγή των ατυχημάτων. Φυσικά, στον σημερινό κόσμο, η κατασκευή των κυκλικών κόμβων, ανταποκρίνεται επαρκώς στις επιταγές της χρησιμότητας και της λειτουργικότητας, οι οποίες είναι συνυφασμένες με την συνολική δημιουργία ενός οδικού δικτύου. Η Βρετανική πρωτοβουλία αποτέλεσε το έναυσμα για την αντίστοιχη δράση και άλλων κρατών, ανάμεσα στα οποία ήταν η Γερμανία καθώς και η Γαλλία. Βασική επιδίωξη τους ήταν η δημιουργία “ασφαλιστικών δικλείδων” αναφορικά με την ορθολογική κυκλοφορία οχημάτων και πεζών.

Σχετικά με την κατασκευή των κυκλικών κόμβων, προαπαιτούμενη θεωρείται η συμπίεση με ορισμένες ιδιότητες, οι οποίες ενδείκνυται να εφαρμόζονται κάθε φορά. Πιο αναλυτικά, είναι επιβεβλημένη η Διεύρυνση της Εισόδου στον εκάστοτε κόμβο. Η διαδικασία αυτή δύναται να πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, ανάμεσα στους οποίους δεσπόζουν αυτοί της κατασκευής περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας, αλλά και της δημιουργίας μίας χωρικής έκτασης προσωρινής στάθμευσης αυτοκινήτων. Επιπροσθέτως, προτιμάται συχνά στην πράξη η λεγόμενη Εκτροπή της τροχιάς της εισόδου. Σύμφωνα με αυτή, προτείνεται η χρήση μικρής εμβέλειας τόξων για την απεικόνιση των καμπύλων εισόδου. Με την μέθοδο αυτή, τα εισερχόμενα αυτοκίνητα αναγκάζονται να διέλθουν με χαμηλή ταχύτητα, προκειμένου να βρεθούν εντός του κόμβου με τη μέγιστη ασφάλεια. Ακόμη, δεν πρέπει να παραλειφθεί η αναφορά στη γραμμή διαχωρισμού, ειδικά για την περίπτωση της κυκλοφορίας με διπλή κατεύθυνση. Ειδικότερα, πρόκειται για έναν τρόπο που εξασφαλίζει την ομαλή διέλευση των αυτοκινήτων, αποτρέποντας το ενδεχόμενο πρόκλησης ατυχημάτων. Παράλληλα, επιχειρείται η διαμόρφωση ενός ασφαλούς πλαισίου και για τους πεζούς. Δίνει την ευκαιρία, μεταξύ άλλων, για την τοποθέτηση επαρκούς σηματοδότησης, προκειμένου να διευκολυνθεί η διέλευση των οχημάτων. Ειδικά για την περίπτωση κυκλικών κόμβων μικρού μεγέθους, οι γραμμές που τοποθετούνται στο έδαφος για να εμποδίζουν την μετακίνηση των οδηγών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία ουσιαστικά ταυτίζονται σχηματικά με την ίδια την κεντρική κυκλική γραμμή. Εν συνεχεία, η βοηθητική λωρίδα δεν θα μπορούσε να απουσιάζει από τον συγκεκριμένο κατάλογο. Με την “bypass lane” διασφαλίζεται πως οι οδηγοί που επιθυμούν να εξέλθουν από τον κόμβο στρίβοντας δεξιά, δεν θα εμποδίσουν τη διέλευση των λοιπών οχημάτων που εξακολουθούν να βρίσκονται εντός αυτού. Η χρησιμότητα αυτών είναι διπλή, διότι ταυτόχρονα αποτρέπουν την συμφόρηση του οδικού δικτύου. Εξέχουσας σημασίας παρουσιάζεται η ανάγκη φροντίδας των πεζών. Χρήσιμό όπλο λοιπόν στην φάρετρα των εμπλεκόμενων οργάνων τίθεται η δημιουργία των διαβάσεων. Οι συγκεκριμένες διαβάσεις συνήθως κατασκευάζονται σε τοποθεσία πριν τον κυκλικό κόμβο αλλά και το σημείο που κατά κανόνα δίνεται η προτεραιότητα (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

Αναφορικά με τον σκοπό της λειτουργικότητας, ο οποίος θεωρείται ως ο πλέον σημαντικός είναι δυνατόν να λεχθούν τα ακόλουθα. Σε πρώτη φάση, είναι απαραίτητη μία συνολική θεώρηση των ταχυτήτων που μπορούν να αναπτυχθούν σε κάθε τοπικώς ορισμένο οδικό δίκτυο. Ανάλογης σπουδαιότητας είναι η επισκόπηση των κυκλοφοριακών συνθηκών που

παρουσιάζονται εντός και εκτός του συγκεκριμένου κυκλικού κόμβου. Εξάλλου, η τελική διαμόρφωση ενός κόμβου προκύπτει από τις δυνατότητες ορατότητας που προσφέρει τόσο στα διερχόμενα οχήματα, όσο και στους πεζούς. Είναι χαρακτηριστικό ότι ιδιαίτερη μέριμνα ενδείκνυται να ληφθεί για το ενδεχόμενο διέλευσης των λεγόμενων βαρέων οχημάτων. Η κατασκευή ενός οδικού δικτύου είναι απαραίτητο να ανταποκρίνεται στις ανάγκες οχημάτων πάσης φύσεως κυβικών. Για παράδειγμα, συχνά χρησιμοποιείται ένα όχημα μεγάλης κυβικής χωρητικότητας προκειμένου να γίνει αντιληπτή η θέση του στο χώρο και το κατά πόσο επηρεάζει την πορεία των λοιπών αυτοκινήτων ή πεζών (Wisconsin Department of Transportation, 2008 & NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 8. Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 9. Τυπικός κυκλικός κόμβος μιας λωρίδας (Brilon, 2011)

3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Είναι γεγονός ότι οι κυκλικοί κόμβοι εξυπηρετούν την ασφαλή διέλευση οχημάτων και πεζών και διακρίνονται για τη λειτουργικότητα και τη χρησιμότητά τους. Όπως συμβαίνει με τα λοιπά είδη κόμβων, έτσι και οι συγκεκριμένοι είναι δυνατόν να εμφανιστούν είτε σε ανισόπεδη, είτε σε ισόπεδη μορφή.

3.2.1. ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΙ ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ

Με την έννοια των Roundabout Interchanges αποδίδεται ο κόμβος εκείνος που εμφανίζεται με την μορφή των δύο ή των τριών επιπέδων. Στην ίδια υποομάδα εμπίπτει, επιπλέον, και ο κυκλικός κόμβος που προσομοιάζει σε αλτήρα. Η τελευταία αυτή μορφή αποδίδεται στην Αγγλική με τον όρο “Dumbbell Interchange” (The Highways Agency et al., 2007).

Πιο αναλυτικά, η ανάπτυξη του κυκλικού κόμβου δύο επιπέδων, οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στο Ηνωμένο Βασίλειο. Η κατασκευαστική του εικόνα μοιάζει με εκείνη ενός διαμαντιού, αναφορικά με τις διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στα επίπεδά του. Η

συμβολή του έγκειται ακριβώς στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων “ρόμβων” που βρίσκονται στα πλαίσια του οδικού δικτύου. Θετικός παράγοντας που συνέδραμε στην ευρεία διάδοσή του ήταν τα μικρά χρηματικά ποσά που ήταν αναγκαία για την πραγματοποίησή του. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι οι περισσότερες κυκλοφοριακές κατασκευές διέθεταν ήδη κάποιο είδος κόμβου. Ως εκ τούτου, επιχειρήθηκε μία βελτίωση των ήδη υπαρχόντων, χωρίς να χρειαστεί η εξ ολοκλήρου καινούργια κατασκευή τους. Θετικό χαρακτηριστικό του είναι η θετική επίδραση στο σύνολο της κυκλοφορίας, καθώς επίσης και η πετυχημένη ένωση των επιμέρους οδών (The Highways Agency et al., 2007).

Από την άλλη πλευρά, το είδους κόμβου που εμφανίζεται σε τρία επίπεδα, όπως γίνεται αντιληπτό, εμφανίζει ίδιες ιδιότητες με το προλεχθέν είδος. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός κατασκευής αυτής της μορφής έγκειται κυρίως στην ορθή κατεύθυνση των οχημάτων μεταξύ περισσότερων οδικών αρτηριών. Σε αντίθεση με τον κόμβο δύο επιπέδων, η εν λόγω μορφή απαιτεί τη χορήγηση μεγάλων χρηματικών ποσών για την διαμόρφωσή του. Επιπλέον, στα θετικά χαρακτηριστικά του δεν μπορεί να υπαχθεί η αποσυμφόρηση του οδικού δικτύου. Ωστόσο, σε σχέση με άλλα είδη κόμβων, η συγκεκριμένη υποκατηγορία προτιμάται, τόσο από χρηματική όσο και από λειτουργική άποψη (The Highways Agency et al., 2007).



Εικόνα 10. Κυκλικός Κόμβος Δύο Επιπέδων (*The Highways Agency et al., 2007*).



Εικόνα 11. Κυκλικός Κόμβος Τριών Επιπέδων (*The Highways Agency et al., 2007*).

Ιδιάζουσα κατηγορία αποτελεί εκείνη του κόμβου “Αλτήρα”. Η υπό ανάλυση μορφή συνδυάζει ιδιότητες του κόμβου δύο επιπέδων αφενός και του κόμβου τριών επιπέδων αφετέρου. Ειδικότερα, εμφανίζεται στην πράξη με σχήμα “ρόμβου” και κόμβου δύο επιπέδων. Από την μία πλευρά, διακρίνεται για την αυξημένη λειτουργικότητα του προσφέρει καθώς και για την μικρό γεωγραφικό πλάτος που απαιτεί για την κατασκευή του. Από την άλλη πλευρά, συνιστά μία συμφέρουσα οικονομική προοπτική, πετυχαίνοντας την ένωση βασικών και δευτερευουσών οδών (*The Highways Agency et al., 2007*).



Εικόνα 12. Διπλός Κυκλικός Κόμβος μορφής «Αλτήρα» (*dumbbell interchange*) (NCHRP & FHWA, 2010)

3.2.2. ΙΣΟΠΕΔΟΙ ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ

Χωρίς αμφιβολία, οι Roundabouts λαμβάνουν διάφορες μορφές, ανάμεσα στις οποίες κυρίαρχες είναι οι εξής: ο Double Roundabout, ή συνεκδοχικά ο Διπλός Κυκλικός Κόμβος καθώς και ο Normal Roundabout, ή εναλλακτικά ο Απλός Κυκλικός Κόμβος. Με τα προαναφερθέντα είδη αναφέρεται κανείς στους κόμβους κυκλικού χαρακτήρα οι οποίοι είτε δεν συνδέονται καθόλου, είτε ενώνονται με ένα μικρό κομμάτι ασφάλτου (The Highways Agency et al., 2007).



Εικόνα 13. Απλός Κυκλικός Κόμβος (μίας λωρίδας) (Brilon, 2011).

Δεν πρέπει να λησμονεί κανείς ότι η σημασία ενός διπλού κυκλικού κόμβου έγκειται ακριβώς στην πραγματοποίηση των σκοπών που συνεπάγεται η δημιουργία ενός κόμβου ο οποίος αποτελείται από 4 σκέλη και άνω. Σε κάθε περίπτωση, ως αρωγός για την εύρυθμη διέλευση οχημάτων και πεζών τίθεται η τοποθέτηση φωτεινών σηματοδοτών (The Highways Agency et al., 2007).

Ακολουθως, στην κατηγορία των απλών κυκλικών κόμβων εντάσσονται υποομάδες, η δημιουργία των οποίων προκύπτει ανάλογα με ορισμένες ιδιότητες (λ.χ. αριθμός και γεωμετρικά χαρακτηριστικά λωρίδων). Ως εκ τούτου, αξίζει να γίνει μνεία των κυκλικών κόμβων που αποτελούνται από μία και μόνο λωρίδα Κυκλοφορίας (Single-Lane Roundabouts). Επιπλέον, συχνά εμφανιζόμενη στην πράξη είναι η μορφή του κυκλικού κόμβου μικρής διαμέτρου (Mini Roundabouts), καθώς και αυτών που συνεπάγονται τη χρήση περισσότερων της μιας λωρίδας κυκλοφορίας (Multi-Lane Roundabouts). Οι παραπάνω διακρίσεις αναφέρονται είτε σε υπεραστικό είτε σε αστικό επίπεδο κυκλοφορίας. Τέλος, κάθε φορά που ένας κόμβος είναι διαρθρωμένος με μία δυνατότητα εισροής και εκροής από τη

βασική νησίδα κυκλοφορίας, τότε πρόκειται για τον λεγόμενο “Συμπαγή Κόμβο” (The Highways Agency et al., 2007).



Εικόνα 14. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 15. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Brilon, 2011).

Είναι γνωστό ότι η εν λόγω μορφή Κόμβων αποτελεί το συχνότερα εμφανιζόμενο είδος Κόμβων στην πράξη. Ειδικότερα, προτιμάται σχεδόν σε όλο τον κόσμο, ενώ η χρήση του δεσπόζει στους κόλπους των Ευρωπαϊκών κρατών, της Αυστραλίας καθώς και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Όπως προελέχθη, το συγκεκριμένο είδος είναι δυνατόν να αποκρυσταλλωθεί τόσο με την μορφή της Μίας Λωρίδας, όσο και με τη διάταξη της Μικρής Διαμέτρου. Δεν πρέπει να παραλείψει κανείς φυσικά την αναφορά στο είδος των Δύο Λωρίδων. Όλες οι παραπάνω εκφάνσεις μπορούν να δημιουργηθούν τόσο σε υπεραστικό όσο και σε αποκλειστικά αστικό επίπεδο. Αξίζει να αναφερθεί, τέλος, η μορφή του Σπειροειδούς Κόμβου ή εναλλακτικά του Turbo Roundabout, η οποία συνιστά μία ειδικότερη διαμόρφωση της κλασσικής μορφής του κυκλικού κόμβου.

Όπως εύκολα διαπιστώνει κανείς, όλα τα στάδια της διαμόρφωσης ενός κόμβου, από τον σχεδιασμό μέχρι την τελική παράδοσή του για χρήση στους πολίτες κρίνεται επιβεβλημένο να τελεί υπό την εποπτεία ενός Μελετητή Μηχανικού. Αυτό σημαίνει, μεταξύ άλλων, πως ενδείκνυται να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι της εν λόγω κατασκευής. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τις αρχές της χρησιμότητας και της λειτουργικότητας ενός έργου, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να παραγκωνίζεται η οικονομική διάσταση της υπό σχεδίασης κατασκευής. Ωστόσο, εξέχουσας σημασίας είναι όχι μόνο η διασφάλιση της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά και η εξασφάλιση της σωματικής ακεραιότητας και ασφάλειας των πολιτών που χρησιμοποιούν τα οδικά δίκτυα.

3.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΥΠΙΚΩΝ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

3.3.1. ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Είναι γνωστό ότι οι Mini Roundabouts άρχισαν να χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Πιο αναλυτικά, στον Frank Blackmore οφείλεται η δημιουργία της εν λόγω κατασκευής. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η ύπαρξη ενός χώρου στο κέντρο του κόμβου, ο οποίος χρησιμοποιείται για την μετακίνηση οχημάτων υψηλών κυβικών. Ταυτόχρονα, παρατηρείται ότι γύρω από τον συγκεκριμένο κεντρικό χώρο δεν υπάρχει κάποιο είδος περίφραξης. Ο Κόμβος μικρής διαμέτρου, ως εκ τούτου, προτιμάται κυρίως στην περίπτωση των μεγάλων αστικών κέντρων. Η μέση ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων διατηρείται περίπου στα 50 χιλιόμετρα ανά ώρα. Για την ομαλότερη μετακίνηση των οχημάτων χρησιμοποιούνται κατευθυντήριες κατασκευές

οι οποίες βρίσκονται λίγο ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, η συγκεκριμένη κατηγορία είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη μιας δυνατότητας εισροής και αντίστοιχα, μιας δυνατότητας εκροής από τον συγκεκριμένο Κόμβο. Ο κεντρικός χώρος του Κόμβου είναι κατάλληλος κατά κύριο λόγο μόνο για τα βαρέα οχήματα. Το κόστος παραγωγής, επιπλέον, που απαιτείται δεν είναι υψηλό, ενώ συνιστά μία από τις ασφαλέστερες διαρρυθμίσεις ειδικά για την περίπτωση των πεζών. Συνήθως, για τη διευκόλυνση της σήμανσης, δίνεται προβάδισμα στη δημιουργία γραμμών στην επιφάνεια του εδάφους. Εν συνόλω, συνιστά την πλέον συμφέρουσα λύση, ειδικά για την ρύθμιση της οδικής κυκλοφορίας μικρής έκτασης (NCHRP & FHWA, 2010).

3.3.2. ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΙΑΣ ΛΩΡΙΔΑΣ

Προχωρώντας ένα βήμα παρακάτω, οι Single Lane Roundabouts αποτελούνται από έναν βασικό δακτύλιο, ενώ παράλληλα έχουν τοποθετηθεί δυνατότητες διόδου εισροής και εκροής σε κάθε ακτίνα αυτού. Ο κεντρικός χώρος του εν λόγω κόμβου διακρίνεται για το ύψος του, το οποίο διαφοροποιείται από την υπόλοιπη επιφάνεια της κατασκευής. Ως εκ τούτου, ο μεγάλος όγκος των οχημάτων χρησιμοποιεί κατά βάση τις διόδους που περιβάλλουν τον εξέχοντα ως προς το ύψος κεντρικό χώρο. Η διάρθρωση αυτή είναι ιδανική για τη διέλευση αυτοκινήτων με υψηλότερες ταχύτητες. Ακόμη, λαμβάνεται μέριμνα για τη διαμόρφωση χώρων αποκλειστικά προς χρήση των πεζών, ενώ προτείνονται τόσο για αστικό όσο και για υπεραστικό επίπεδο (NCHRP & FHWA, 2010).

Αναλυτικότερα, το τμήμα που ενώνει τα δύο ακραία σημεία του κεντρικού κύκλου μπορεί να κατασκευαστεί από 27 έως 53 εκατοστά. Ακόμη, η επίστρωση του οδικού δικτύου βρίσκεται εντός των ακόλουθων τιμών: από 5,3 έως 6,7 μέτρα. Εξάλλου, για την καλύτερη δυνατή απομάκρυνση του νερού που ενδέχεται να συγκεντρωθεί στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και τη διατήρηση της ταχύτητας των οχημάτων στα αποδεκτά επίπεδα χρησιμοποιείται επίκληση που κυμαίνεται ανάμεσα στο 2 και στο 2,5%. Από την άλλη πλευρά, η ζώνη που βρίσκεται γύρω από τον υπό κρίση κόμβο είναι δυνατόν να αυξηθεί μέχρι 7 εκατοστά. Η ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων κινείται εντός των πλαισίων των 30 έως 40 χιλιομέτρων.

Αναφορικά με τη δυνατότητα εισροής και εκροής από το συγκεκριμένο κυκλικό κόμβο δεν γίνονται αποδεκτές κάθετες είσοδοι και έξοδοι. Αξίζει να αναφερθεί πως ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που μπορούν να εισέλθουν στο συγκεκριμένο δίκτυο ενδείκνυται να είναι

μικρότερος των 25.000 (NCHRP & FHWA, 2010). Όπως μαρτυρούν σχετικές έρευνες, ο εν λόγω σχεδιασμός του κυκλικού κόμβου είναι ο ιδανικός για την αποφυγή ατυχημάτων καθώς και για την μεγιστοποίηση της ασφάλειας των πολιτών, σε σχέση με τους αντίστοιχους ισόπεδους κόμβους (Brilon, 2011). Τα πορίσματα των προαναφερθέντων ερευνών έχουν εδραστεί σε στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και από τις Ευρωπαϊκές Χώρες (Brilon, 2011).

Πέρα από τη χρήση του οδικού δικτύου από τους οδηγούς, δεν πρέπει να ξεχνά κανείς πως και οι πεζοί κάνουν χρήση των κυκλοφοριακών οδών. Προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής διέλευσή τους, εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι. Πρωταρχικής σημασίας είναι η δημιουργία εμφανών γραμμών πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, οι αρμόδιοι φορείς φροντίζουν για τη διαμόρφωση χώρων, οι οποίοι ανταποκρίνονται στις ανάγκες των ατόμων με κινητικά προβλήματα. Σχετικά με τους ποδηλάτες, η κυκλοφορία τους επιτρέπεται στον κεντρικό χώρο μόνο εάν το σύνολο των διερχομένων οχημάτων είναι μικρότερο των 15.000. Σε κάθε περίπτωση, όσοι χρησιμοποιούν ποδήλατο για την μετακίνησή τους έχουν δικαίωμα προτεραιότητας στα πλαίσια των κυκλικών κόμβων που βρίσκονται εντός του αστικού ιστού. Εάν πρόκειται για κυκλοφοριακή οδό εκτός των αστικών κέντρων, τότε οι ποδηλάτες είναι υποχρεωμένοι να δίνουν προτεραιότητα στα διερχόμενα αυτοκίνητα. Ακόμη, οι χώροι που εξυπηρετούν τόσο τους ποδηλάτες όσο και τους πεζούς είναι αναγκαίο να βρίσκονται σε απόσταση 5 μέτρων από το σημείο που εισέρχονται τα οχήματα στον κυκλικό κόμβο (Brilon, 2011).

Ως εκ τούτου, δεν είναι τυχαία η διαπίστωση ότι ο κυκλικός κόμβος που κατασκευάζεται με μία μόνο λωρίδα συνιστά την προτιμότερη μεταξύ των διαθέσιμων κατασκευαστικών οδικών λύσεων (Brilon, 2011). Αυτό ισχύει για όλους όσους χρησιμοποιούν ένα οδικό δίκτυο, από τους πεζούς, τους ποδηλάτες μέχρι και τους οδηγούς οχημάτων.

Συχνό φαινόμενο αποτελεί η αποσυμφόρηση ενός οδικού άξονα με την μέθοδο των παρακαμπτήριων λωρίδων. Οι Bypass Lanes αποτελούν μία λύση κάθε φορά που τα εισερχόμενα οχήματα σε έναν κόμβο εξέρχονται από αυτόν με την χρήση κάποιων εξόδων. Ταυτόχρονα, εξυπηρετείται η ασφαλής και ταχεία διέλευση των αυτοκινήτων προς τον προορισμό τους. Εξάλλου, με τον ίδιο τρόπο ακόμα περισσότερα οχήματα μπορούν να βρεθούν την ίδια στιγμή στο ίδιο κυκλοφοριακό κέντρο. Με στόχο τη διάκριση των Bypass

Lanes από τον Κυκλικό κόμβο χρησιμοποιείται είτε η μέθοδος της διαγράμμισης, είτε της τοποθέτησης υπερυψωμένης ασφάλτου (Brillon, 2011).

3.3.3. ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΔΥΟ ΛΩΡΙΔΩΝ

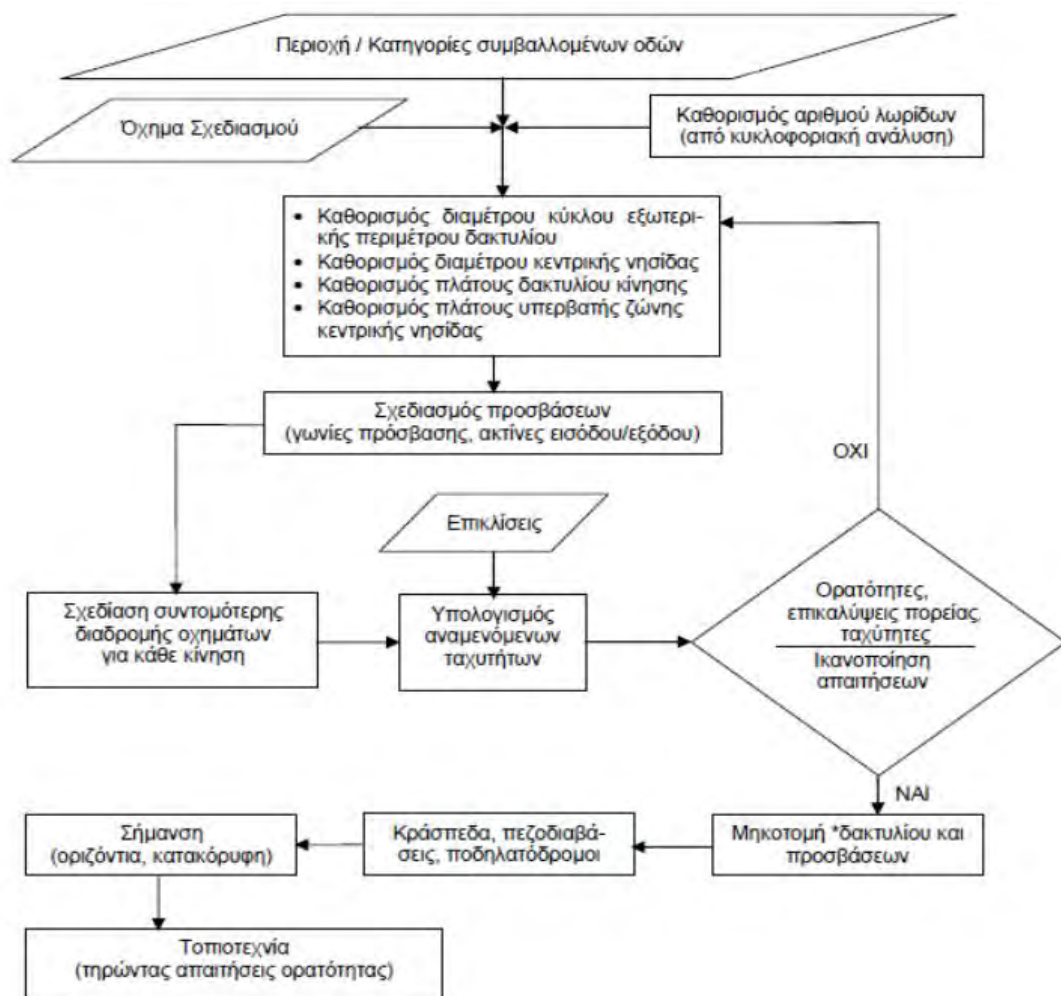
Όπως γίνεται πρόδηλο από τη γραμματική ερμηνεία του συγκεκριμένου όρου, ο εν λόγω κόμβος αποτελείται από έναν κεντρικό χώρο διέλευσης, ο οποίος συνοδεύεται από δύο διαφορετικές λωρίδες. Για την πρόσβαση, λοιπόν, σε έναν Two Lane Roundabout χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία είσοδος και έξοδος. Ο τελικός αριθμός των λωρίδων αποτελεί συνάρτηση του όγκου των οχημάτων που διέρχονται καθημερινά από έναν τοπικά ορισμένα οδικό άξονα. Το μήκος που υπάρχει ανάμεσα σε ακραία σημεία της κεντρικής νησίας κυμαίνεται ανάμεσα στα 46 και στα 67 εκατοστά. Αναφορικά με τις διαστάσεις του κυκλικού άξονα, αυτές κατασκευάζονται ως εξής: από 8,6 έως 9,8 μέτρα. Ακολούθως, ο κυκλικός κόμβος δύο ταχυτήτων είναι δυνατόν να καλύψει τις ανάγκες περίπου 45000 αυτοκινήτων ανά ημέρα, ενώ το νόμιμο όριο ταχύτητας είναι τα 50 χιλιόμετρα την ώρα.

Οι Two Lane Roundabouts με την σειρά τους χαρακτηρίζονται από έναν κεντρικό χώρο από τον οποίο δεν διέρχονται οχήματα. Δεύτερον, ο άξονας που περιβάλλει τον κεντρικό χώρο χρησιμοποιείται για οχήματα υψηλών κυβικών. Εν συνεχεία, δίνεται η δυνατότητα εξόδου από το συγκεκριμένο χωρικά ορισμένο δίκτυο. Λαμβάνεται και στην περίπτωση αυτή ειδική μέριμνα για τους πεζούς και τους ποδηλάτες, χωρίς να καθίσταται εφικτή η διέλευση των τελευταίων στον κυκλικό δακτύλιο. Και στην περίπτωση αυτή δίνεται η δυνατότητα διαμόρφωσης παρακαμπτήριων λωρίδων, έτσι ώστε να αποσυμφορηθεί η κυκλοφορία στον κυκλικό κόμβο. Συμπερασματικά, εάν επιχειρήσει κανείς μία σύγκριση του αριθμού των οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από τις διάφορες εκφάνσεις των Κυκλικών Κόμβων θα οδηγηθεί στα παρακάτω πορίσματα: στην πρώτη θέση βρίσκεται ο κυκλικός κόμβος μίας Λωρίδας, ενώ ακολουθεί ο κόμβος που κατασκευάζεται με μία Λωρίδα και επικουρείται από παρακαμπτήριες λωρίδες. Στην συνέχεια, βρίσκεται ο κόμβος που διαμορφώνεται με παραπάνω από μία λωρίδες, ενώ στην τέταρτη θέση τοποθετείται ο κόμβος του οποίου η υλοποίηση σχετίζεται με την ύπαρξη περισσότερων εισόδων, εξόδων και λωρίδων. Στην τελευταία θέση βρίσκεται η μορφή του κόμβου, για τη λειτουργικότητα του οποίου απαιτούνται περισσότερες από μία παρακαμπτήριες λωρίδες, είσοδοι καθώς και εξοδοί (Brillon, 2011). Επίσης, ο αριθμός των οχημάτων που μπορούν να διέλθουν από ένα οδικό

δίκτυο είναι ανάλογος της σηματοδότησης που έχει διαμορφωθεί στον εκάστοτε άξονα (Brilon, 2011).

4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Μόλις ο σχεδιασμός Κ3 κρίνεται ωφέλιμος, τότε ακολουθεί ο γεωμετρικός σχεδιασμός, ο οποίος είναι πολύ σημαντικός στο θέμα της ασφάλειας και της λειτουργίας του κυκλικού κόμβου. Οι περισσότερες γεωμετρικές παράμετροι εξαρτώνται από τους ελιγμούς που απαιτούνται από τον σχεδιασμό του οχήματος. Όπως είναι φυσικό, ένας γεωμετρικός σχεδιασμός που δεν είναι καλός συμβάλλει αρνητικά στην οδική συμπεριφορά όσων τον χρησιμοποιούν. Ο διαρκής καθορισμός των σχεδιαστικών παραμέτρων συνιστά σημαντικό παράγοντα όσον αφορά τη δημιουργία ενός ασφαλούς κυκλικού κόμβου και μόνο με αυτό τον τρόπο οδηγούμαστε σε μια αποδεκτή απόφαση. Η Εικόνα 16 που ακολουθεί παρουσιάζει τα βήματα που ακολουθούνται για τον σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου.



Εικόνα 16. Βήματα σχεδιασμού κόμβου κυκλικής κίνησης (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Πριν φτάσει κανείς στο στάδιο του σχεδιασμού ενός Κ3 απαιτείται προηγουμένως να γνωρίζει απόλυτα το πρόβλημα. Χρειάζεται επίσης να είναι αναλυτικά ενημερωμένος για το χώρο που είναι διαθέσιμος καθώς επίσης και για τα οχήματα που πρόκειται να κινούνται στον κόμβο. Το όχημα σχεδιασμού επιλέγεται βάσει της χωροθέτησης κόμβου, της κατηγορίας της οδού κ.α.. Από την επιλογή του οχήματος σχεδιασμού εξαρτάται και ο προσδιορισμός της ακτίνας στην εξωτερική παράμετρο της κυκλοφοριακής λωρίδας καθώς και του πλάτους εισόδου και εξόδου στον κόμβο. Ο κόμβος πρέπει να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε αν η ακτίνα είναι μικρή, η κεντρική νησίδα να είναι υπερβατή για μεγάλα οχήματα (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011).

4.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΤΥΠΟ

Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και περιοχές υπάρχουν και διαφορετικών ειδών κυκλικοί κόμβοι. Υπάρχουν διαφορές στους κυκλικούς κόμβους ανά χώρα. Η τοποθεσία (αστικό/ υπεραστικό), ο χώρος που μπορεί να διατεθεί και ο κυκλοφοριακός φόρτος που αναμένεται συνιστούν παράγοντες που συμβάλλουν στο να επιλεχθεί ο σωστός τύπος κόμβου. Βάσει των ακόλουθων κριτηρίων (Πίνακας 2), γίνεται η επιλογή του τύπου κόμβου (Steinbrück, 2015).

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά κόμβων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

		Διάμετρος (m)	V_{max} εισόδου (km/h)	Εξυπηρέτηση φόρτου σε 4-σκελή (οχ/ημέρα)
	Μίνι κυκλικοί κόμβοι	13-25	25	≤ 10.000
Αστικοί κυκλικοί κόμβοι	Συνεπτυγμένοι	25-30	25	≤ 15.000
	1 λωρίδας	30-40	35	≤ 25.000
	2 λωρίδων	45-50	40	≤ 45.000
Υπεραστικοί κυκλικοί κόμβοι	1 λωρίδας	35-40	40	≤ 20.000
	2 λωρίδων	55-60	50	≤ 45.000

4.2. ΌΧΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Τα ίχνη των τροχών των οχημάτων είναι εκείνα που καθορίζουν τον σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου και είναι εκείνα που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στον κόμβο. Άλλοι παράγοντες που ορίζουν το όχημα σχεδιασμού είναι, για παράδειγμα, οι λειτουργικές κατηγορίες των δρόμων που επιδρούν στον κόμβο, ο χαρακτήρας της περιοχής από την οποία δημιουργείται η κυκλοφορία στις οδούς (αστική/ υπεραστική, εμπορική/ βιομηχανική, κατοικίας), η κυκλοφοριακή σύνθεση και ο φόρτος. Όπως ορίζεται, οι κυκλικοί κόμβοι που θα βρίσκονται σε όλες τις οδούς κατηγορίας ΑΙΙΙ ή ανώτερης και στις ΒΙΙΙ ή ανώτερης, θα είναι με τέτοιες διαστάσεις σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν τα φορτηγά (ανεξάρτητο ρυμουλκό ή ημί – ρυμουλκούμενο). Εάν όμως η αρμόδια υπηρεσία ορίσει κάτι διαφορετικό και τεκμηριώσει την απόφασή της για οχήματα σχεδιασμού μικρότερα ή μεγαλύτερα από τον αριθμό των φορτηγών, τότε η παραπάνω απόφαση θα αλλάξει (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011).

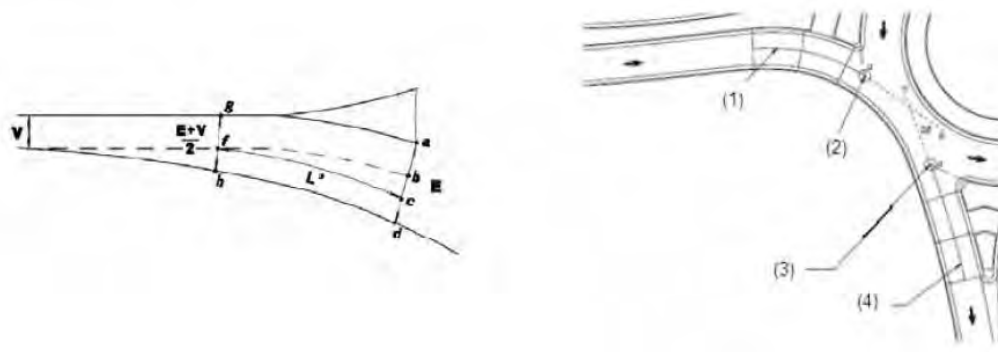
4.3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι συμβαλλόμενες οδοί στον κόμβο και η κατηγορία του καθώς και ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, είναι παράγοντες που καθορίζουν τη διάμεσο της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα μεγέθη αυτά:

Πίνακας 3. Προτεινόμενη διάμετρος της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Κατηγορία Κ ³	Όχημα σχεδιασμού- Μήκος οχήματος (m)	Διάμετρος f (m)
Κομβίδιο	Λεωφορείο - 12,00m	15-30
Αστικός Συνεπτυγμένος		25-35
Αστικός 1 Λωρίδας	Φορτηγό - 16,50m	35-45
Αστικός 2 Λωρίδων		45-70
Υπεραστικός 1 Λωρίδας	φορτηγό - 18,70m	40-60
Υπεραστικός 2 Λωρίδων		55-75

Ακολουθεί η απεικόνιση βασικών γεωμετρικών στοιχείων που παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων (Σήμα 15).



Εικόνα 17. Βασικές γεωμετρικές παράμετροι (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Αναλυτικότερα:

V: Είναι το κανονικό πλάτος της λωρίδας της κανονικής διατομής στην οδό πρόσβασης.

E: Είναι το πλάτος της λωρίδας

L': Το μισό του μήκους ανάπτυξης της διαπλάτυνσης από πλάτος V σε E.

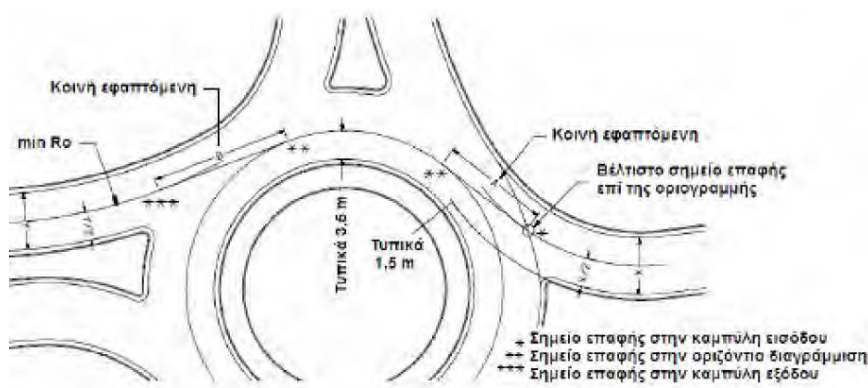
Φ: Είναι η γωνία εισόδου.

1. Πρόκειται για την καμπύλη στο ήμισυ της διαπλατυσμένης λωρίδας εισόδου.
2. Αντικατοπτρίζεται το σημείο επαφής στην καμπύλη εισόδου στη θέση οριογραμμής. Διαφαίνεται η αρχή που εφάπτεται στην εσωτερική περίμετρο του δακτυλίου κυκλοφορίας έχοντας την απόσταση από αυτή στα 1,5 μέτρα.
3. Αντικατοπτρίζεται το σημείο επαφής στην καμπύλη εξόδου στη θέση της οριογραμμής. Διαφαίνεται η αρχή που εφάπτεται στην εσωτερική περίμετρο του δακτυλίου κυκλοφορίας έχοντας την απόσταση από αυτή στα 1,5 μέτρα.
4. Πρόκειται για την καμπύλη στο μέσο της διαπλατυσμένης λωρίδας εξόδου.

Πίνακας 4. Τυπικά πεδία τιμών σχεδιασμού γεωμετρικών παραμέτρων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Γεωμετρικές παράμετροι	Αριθμός λωρίδων στην είσοδο		
	1 λωρίδα	2 λωρίδες	3 λωρίδες
Πλάτος εισόδου (E)	5,5-6,7m	7,3-8,5m	10,4-12,2m
Αποτελεσματικό τμήμα μήκους διαπλάτυνσης (L')	50 έως 100m Εάν χρειάζεται για αυξημένη κυκλοφοριακή ικανότητα		
Ακτίνα εισόδου (Ri)	17-27m	17-30m	20-30m
Γωνία εισόδου (Φ)	16°-30°		
Διάμετρος εξωτερικής περιμέτρου (f)	35-45m	50-65m	60-90m
Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας (c)	1,0 έως 1,2 φορές του μεγαλύτερου (E)		
Ακτίνα εξόδου (Ro)	Πρέπει να είναι > Ri		

Στην Εικόνα 18 που ακολουθεί διαφαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ελέγχεται η αποφυγή της επικάλυψης της πορείας εισόδου και εξόδου.



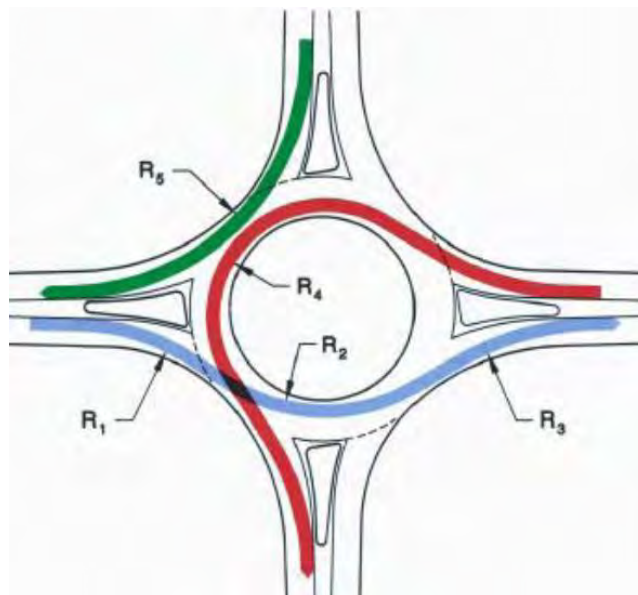
Εικόνα 18. Αποστάσεις ελέγχου επικάλυψης πορείας (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Ο σχεδιασμός της πιο σύντομης διαδρομής καθώς και ο υπολογισμός των ταχυτήτων στις καμπύλες με τις ακτίνες R1, R2, R3, R4 και R5 βοηθούν να διαπιστωθεί αν είναι σωστός ο γεωμετρικός σχεδιασμός του κυκλικού κόμβου. Στον ακόλουθο πίνακα αντικατοπτρίζονται οι προτεινόμενες ακτίνες. Η διαδικασία του ελέγχου γίνεται με τον υπολογισμό των ταχυτήτων που αναπτύσσονται κατά μήκος της πιο σύντομης διαδρομής με σκοπό να μη διαφέρουν μεταξύ τους οι ταχύτητες αυτές περισσότερο από 20 χιλιόμετρα την ώρα.

Από την ακτίνα R2 του κύκλου στην εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου, την απόσταση από το τέλος της καμπύλης με την R2 έως την διάβαση πεζών που διασταυρώνει την έξοδο και τέλος, από την επιτάχυνση που είναι δυνατόν να αναπτύσσεται από το τέλος της καμπύλης

με ακτίνα R2 έως την διάβαση πεζών που διασχίζει την έξοδο, εξαρτάται η ταχύτητα στην πορεία της πιο σύντομης διαδρομής και όχι από την ακτίνα της καμπύλης εξόδου.

Εικάζεται ότι οι οδηγοί επιταχύνουν μόλις φτάσουν στο τέλος της καμπύλης με ακτίνα R2 με τιμή επιτάχυνσης 3,5 m/s². Ανάμεσα στο δακτύλιο κυκλοφορίας και τη διάβαση πεζών διαφαίνεται αύξηση της ταχύτητας από 5 έως 10km/h.



Εικόνα 19. Πορείες οχημάτων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

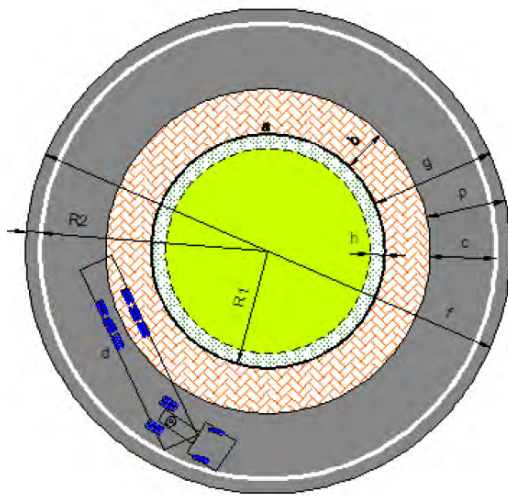
Πίνακας 5. Ακτίνες συντομότερης διαδρομής και ταχύτητες (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

Γεωμετρία συντομότερης διαδρομής		Δακτύλιος κυκλοφορίας			
		1 Λωρίδας		2 Λωρίδων	
		R _{max} (m)	V (km/h)	R _{max} (m)	V (km/h)
R1	Εισόδου	26-30	32	46-54	40
R2	Δακτυλίου	30-35	31	54-63	40
R3	Εξόδου	46-54	40	46-54	40
R4	Αριστερής στροφής	30-35	31	54-63	40
R4	Ελάχιστης	5,5-6,0	16	65-54	20
R5	Δεξιάς στροφής	46-54	40	46-54	40

Με βάση τις εξισώσεις που ακολουθούν, γίνεται ο υπολογισμός των ταχυτήτων για κάθε μια από τις καμπύλες με ακτίνες R1 έως R5:

Για τις καμπύλες:

- R1, R3 και R5 η εξίσωση είναι : $V=8,7602 \cdot R^{0,3861}$
- R2 και R4 η εξίσωση είναι : $V=8,6164 \cdot V^{0,3673}$



Στοιχεία		f (m)	R1 (m)	b (m)
Δακτύλιος κυκλοφορίας	2 Λωρίδες	80,0	29,0	1,0
		70,0	23,5	2,0
		60,0	18,5	2,0
		54,0	15,0	2,5
		46,0	10,5	3,0
	1 Λωρίδα	54,0	17,5	0,0
		46,0	12,0	1,5
		40,0	12,0	1,5
		34,0	9,0	1,5
		30,0	6,0	2,5
		24,0	3,5	2,5
		24,0	5,0	0,0
		16,0	1,0	0,0

Οι συμβολισμοί σημαίνουν:

a: Κράσπεδο κεντρικής νησίδας

b: Υπερβατή ζώνη κεντρικής νησίδας

p: Πλάτος ασφαλτικού οδοστρώματος

c: Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας

d: Όχημα σχεδιασμού

e: Ελάχιστο πλάτος ασφαλτικού ερείσματος 1,0 m

f: Εξωτερική διάμετρος

g: Πλάτος κυκλοφορίσμο μεταξύ κρασπέδων

h: Πλάτος λωρίδας μόνο με χλοοτάπητα 1,0 m χωρίς οπτικά εμπόδια

4.4. ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Όπως ορίζεται στο Γερμανικό πρότυπο σχετικά με το σχεδιασμό των μικρών (μίνι) κυκλικών κόμβων, δεν παρουσιάζεται πρόβλημα λειτουργίας του κόμβου, σε περίπτωση διέλευσης 12.000 οχημάτων τη μέρα.

Μπορούν να εξυπηρετηθούν ακόμη και 18.000 οχήματα τη μέρα με βασική προϋπόθεση ο μίνι κυκλικός κόμβος να έχει μεγαλύτερη διάμετρο ώστε ο φόρτος να είναι σχεδόν ομοιόμορφα κατανεμημένος.

Όπως όμως διαφαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, προτείνεται το σύνολο των οχημάτων που κινούνται στον κόμβο να μην υπερβαίνει τα 1200 οχήματα την ώρα (Baier, 2014).

4.5. ΠΛΑΤΟΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ

Το πλάτος δακτυλίου αφορά τη λωρίδα που βρίσκεται γύρω από την κεντρική νησίδα όπου κυκλοφορούν τα οχήματα. Στο πλάτος δακτυλίου δεν προλαμβάνεται το πλάτος ρείθρου που μπορεί να υπάρξει στην εσωτερική ή εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου.

Για να εξυπηρετηθούν μεγάλα οχήματα σχεδιασμού, χρειάζεται και ο σωστός σχεδιασμός. Σε κόμβους που περιλαμβάνουν δύο κυκλοφοριακές λωρίδες μελετάται η κίνηση μεγάλων φορτηγών που κινούνται παράλληλα με μικρά επιβατικά οχήματα δίχως να εμπλέκονται τα ίχνη τους. Εντός του πλάτους των οριογραμμών δεν είναι απαραίτητο να περιλαμβάνεται το αμάξωμα του φορτηγού διότι ο πρόβολος στο πίσω ή το μπροστά μέρος μπορεί να υπερβαίνει τις οριογραμμές και έτσι έχει καθοριστεί ελεύθερη ζώνη 1,0 μέτρου περιμετρικά του δακτυλίου. Εάν ο κόμβος διαθέτει μια κυκλοφοριακή λωρίδα το πλάτος που απαιτείται θα υπολογιστεί βάσει του αποτυπώματος λεωφορείου με ενιαίο σώμα μήκους 15 μέτρων ή βάσει μεγάλου οχήματος πυροσβεστικής (ΟΜΟΕ – Κ3, 2011).

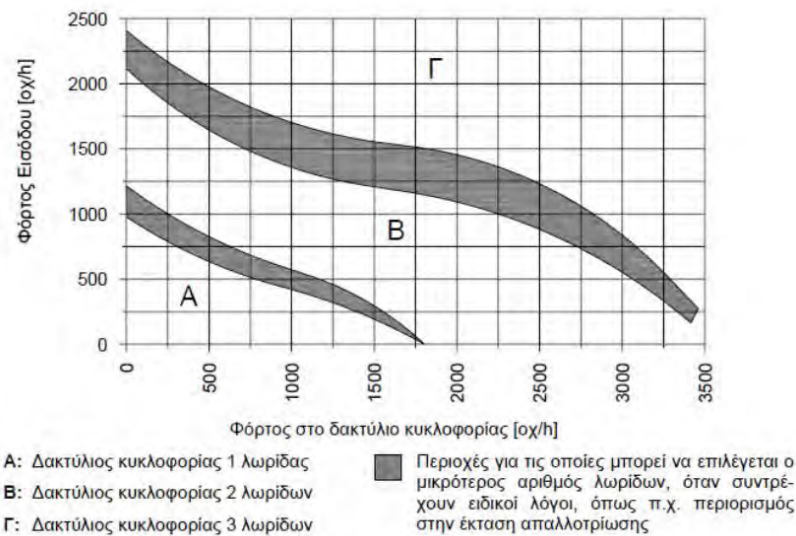
4.6. ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΕΩΝ

Σύμφωνα με όσα υπολογίζονται από τη λειτουργική ανάλυση και την υφιστάμενη μελλοντική ζήτηση, ο αριθμός κυκλοφοριακών λωρίδων θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος που απαιτείται. Δεν θα πρέπει να σχεδιαστούν επιπλέον λωρίδες με σκοπό να αυξήσουν τη χωρητικότητα, αντίθετα πρέπει να παραμείνουν μόνο οι απαραίτητες λωρίδες ώστε να διασφαλιστεί η οδική ασφάλεια. Στο μέλλον, εάν χρειαστεί να αυξηθούν οι κυκλοφοριακές λωρίδες, τότε ο σχεδιασμός αυτός καλό είναι να γίνει σε στάδια.

Σε όσους κόμβους υπάρχουν δύο κυκλοφοριακές λωρίδες που συμβάλλουν σε αυτούς, μία για κάθε κατεύθυνση (ΑII και ΒIV), οι είσοδοι θα διαμορφωθούν έτσι ώστε να έχουν δύο λωρίδες, ενώ οι έξοδοι θα διαμορφωθούν είτε με μία είτε με δύο κυκλοφοριακές λωρίδες βάσει του φόρτου κυκλοφορίας κάθε φορά. Κάθε φορά που αυξάνεται ο φόρτος στην κυκλοφορία και η έξοδος από τον κόμβο που οδηγεί σε οδό με δύο λωρίδες, μία προς κάθε κατεύθυνση, τότε η δεύτερη λωρίδα που έχει προστεθεί θα συνεχίζεται σε μήκος 175 μέτρων μετά από την περίμετρο του δακτυλίου κυκλοφορίας πριν μπουν τα οχήματα στη μια και μοναδική λωρίδα κατεύθυνσης.

Εάν οι κατηγορίες είναι κατώτερες από τις ΑII και ΒIV και στον κόμβο περιλαμβάνονται δύο λωρίδες πρόσβασης τότε ο δακτύλιος θα περιλαμβάνει μια λωρίδα. Εάν οι οδοί πρόσβασης σε κόμβο είναι 4 ή 6-ιχνων, τότε θα διαμορφωθούν σε δύο ή σε τρεις λωρίδες στον κλάδο εισόδου βάσει του κυκλοφοριακού δακτυλίου.

Βάσει του ακόλουθου διαγράμματος είναι εύκολος ο προσδιορισμός του αριθμού κυκλοφοριακών λωρίδων στον κόμβο, κάτι που εξαρτάται από τον συνδυασμό του φόρτου κυκλοφορίας στις εισόδους και στον δακτύλιο κυκλοφορίας.



Εικόνα 20. Απαιτούμενος αριθμός λωρίδων (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011)

4.7. ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΛΑΔΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Η σωστή λειτουργία ενός κόμβου εξαρτάται και από τη σωστή διάταξη των κλάδων πρόσβασης, διότι η τελευταία επιδρά στη ρύθμιση ταχύτητας, στη μείωση ορατότητας μεταξύ κλάδων, ενώ δεν βοηθά τα οχήματα σχεδιασμού για τον κόμβο. Για παράδειγμα, από τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις είναι όταν ο άξονας του κλάδου πρόσβασης βρίσκεται σε ευθεία γραμμή με το κέντρο του κόμβου.

Οι τρεις τύποι διάταξης είναι οι εξής (ΟΜΟΕ-Κ3, 2011):

- Όταν ο άξονας της οδού πρόσβασης βρίσκεται σε ευθεία γραμμή με το κέντρο του κόμβου.
- Όταν ο άξονας της οδού πρόσβασης βρίσκεται στα αριστερά από το κέντρο του κόμβου και,
- Όταν ο άξονας της οδού πρόσβασης βρίσκεται στα δεξιά από το κέντρο του κόμβου.

4.8. ΓΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΕΛΩΝ

Στο ζήτημα της μείωσης των εμπλοκών μεταξύ των οχημάτων ή των οχημάτων και των πεζών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η γωνία μεταξύ των σκελών, η οποία αποτελεί το βασικότερο λόγο εφαρμογής των κυκλικών κόμβων. Επιπλέον πρόβλημα στην κίνηση των οχημάτων θα δημιουργηθεί αν η γωνία είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι γωνίες ανάμεσα στους κλάδους είναι πολύ μεγάλες, τότε οι ταχύτητες αναπτύσσονται πιο εύκολα με αποτέλεσμα συχνά οι οδηγοί να μην ακολουθούν την πορεία του κόμβου ή να ακολουθούν λωρίδες που δεν ανήκουν στην πορεία εξόδου από τον κόμβο. Η πιο σωστή διάταξη γωνίας, είναι αυτή των 90 μοιρών, αν όμως οι γωνίες είναι μεγαλύτερες από αυτό τότε και ο κύκλος πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχει μεγαλύτερη διάμετρο ώστε να μην αναπτύσσονται και μεγάλες ταχύτητες στα οχήματα.

Όταν οι κόμβοι διαθέτουν 3 οδούς πρόσβασης, προτιμάται η διάταξη της μορφής T με διάταξη γωνίας 90 μοιρών και όχι η διάταξη της μορφής Y, καθώς σε αυτή χρειάζονται τροποποιήσεις σχετικά με τη ρύθμιση της ταχύτητας οι οποίες περιλαμβάνουν τροποποίηση στη διάμετρο των κυκλοφοριακών λωρίδων, μείωση του πλάτους και των ακτινών της καμπής σκελών πρόσβασης στην είσοδο στον κόμβο καθώς και μετατόπιση προς τα αριστερά του άξονα των κλάδων πρόσβασης (ΟΜΟΕ – K3, 2011).

4.9. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΙΣΟΔΩΝ

Θέλοντας να εξασφαλιστεί η ομαλή είσοδος των οχημάτων στον κόμβο και να ρυθμιστούν σωστά οι ταχύτητες εισόδου σε αυτόν, χρειάζεται να δοθεί προσοχή στο σχεδιασμό της εισόδου. Για παράδειγμα σε εισόδους που διαθέτουν μια λωρίδα, το πλάτος ορίζεται πως πρέπει να είναι μεταξύ 4 και 5 μέτρων και οι ακτίνες εισόδου μεταξύ 15 και 30 μέτρων. Αναφορικά με το πλάτος, δεν συνίσταται να σχεδιάζεται μεγαλύτερο για να αποφευχθούν οι παράλληλες κινήσεις των οχημάτων. Τέλος, στους μίνι κυκλικούς κόμβους το πλάτος ορίζεται να είναι μεταξύ 4 και 5 μέτρων με τις ακτίνες εισόδου να είναι μεταξύ 3 και 20 μέτρων.

Οι καμπές από τον κλάδο εισόδου μέχρι την είσοδο στον δακτύλιο κυκλικής κυκλοφορίας δεν πρέπει να προκαλεί διαφορές ταχυτήτων πιο μεγάλες των 20 χιλιομέτρων την ώρα. Στις εισόδους με δύο ή περισσότερες λωρίδες, τα οχήματα πρέπει να οδηγούνται στη σωστή λωρίδα στον δακτύλιο και για αυτό τα τμήματα ή τα τόξα μεγάλης ακτίνας πρέπει να χρησιμοποιούνται ευθύγραμμα με σκοπό τη συναρμογή ανάμεσα στα τόξα εισόδου και στον δακτύλιο, όπως αντικατοπτρίζεται στο ακόλουθο σχήμα.

Σε όσες οδούς αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες ($V \geq 70 \text{ km/h}$), προτείνεται η δημιουργία θλάσης προς τα αριστερά της πλευράς κίνησης με στόχο η ταχύτητα να μειωθεί κατά τη διάρκεια προσέγγισης του δακτυλίου. Εάν στην είσοδο στον κόμβο παρουσιαστούν εμπλοκές στις τροχιές στα βαρέα οχήματα, τότε θα χρησιμοποιηθούν ειδικές ακτίνες καμπυλότητας. Για να αποφευχθεί η αύξηση της ταχύτητας των οχημάτων εξαιτίας των ειδικών ακτινών, ορίζεται η κατασκευή διαχωριστικών νησίδων με ταυτόχρονη διαγράμμιση επί του οδοστρώματος αποσκοπώντας στην ορθότερη καθοδήγηση των οχημάτων χωρίς να εμπλέκονται οι τροχιές τους (ΟΜΟΕ – Κ3, 2011).

4.10.ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΞΟΔΩΝ

Οι ακτίνες των εξόδων είναι μεγαλύτερες από εκείνες των εισόδων στον κόμβο με σκοπό να αποφεύγεται η δημιουργία ουρών και ατυχημάτων. Όμως η ακτίνα εξόδου ορίζεται πως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα διαδρομής κυκλικής κίνησης στον κόμβο για να μην δημιουργούνται υψηλές ταχύτητες στις διαβάσεις πεζών.

Στη διαδικασία του σχεδιασμού, πρέπει να δοθεί έμφαση στην ορατότητα, ώστε να δοθεί η ευκαιρία στους οδηγούς να επιλέξουν την πιθανότητα στάσης των πεζών αλλά και στους πεζούς ώστε να μάθουν να ερμηνεύουν ορθά τις επερχόμενες κινήσεις των οδηγών στη διάρκεια του χρόνου που έχουν να περάσουν τη διάβαση.

Όταν τα οχήματα κινούνται με χαμηλή ταχύτητα στις εξόδους, είναι πιο εύκολο για τους πεζούς να αντιληφθούν τις προθέσεις των οδηγών και αντίστροφα είναι ευκολότερο να γίνουν αντιληπτοί οι πεζοί από τους οδηγούς και έτσι δεν επιταχύνουν βλέποντάς τους.

Όταν οι οδηγοί απομακρύνονται από τον δακτύλιο προς τον κλάδο της εξόδου η μετάβαση πρέπει να είναι ομαλή.

4.11.ΠΟΡΕΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Είναι απαραίτητο να υπάρξει σωστή καθοδήγηση των οχημάτων στη διάρκεια της κίνησής τους στους κλάδους εισόδου και εξόδου όσο αλλά και για όσο βρίσκονται στη λωρίδα κυκλοφορίας εντός του κόμβου.

Επίσης πρέπει να αποφεύγεται η επικάλυψη πορειών, τόσο στην παράλληλη κίνηση οχημάτων με ίδια προέλευση και προορισμό, αλλά και στη διασταύρωση οχημάτων με διαφορετικές πορείες (ΟΜΟΕ - Κ3, 2011).

Οι Εικόνες που ακολουθούν απεικονίζουν αφενός μια προβληματική διάταξη και αφετέρου παρουσιάζονται τρόποι γεωμετρικά βελτιωμένων κόμβων.

4.12. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ

Ως κεντρική νησίδα ορίζεται η υπερυψωμένη επιφάνεια η οποία είναι μη υπερβατή και περικυκλώνεται από το κυκλικό κατάστρωμα, ενώ είναι δυνατόν να συμπεριλαμβάνεται σε αυτή και η υπερβατή περιμετρική ζώνη. Σε κάθε τύπο κόμβου, εκτός του μίνι κυκλικού, η κεντρική νησίδα κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι καλαίσθητη οπτικά. Το μέγεθος μιας κεντρικής νησίδας επιδρά σημαντικά στο κατά πόσο μπορεί να συμβεί κάποια εκτροπή της κινούμενης κυκλοφορίας μέσα στον κυκλικό κόμβο. Ως προς την κατασκευή μιας κεντρικής νησίδας σε μίνι κυκλικό κόμβο, επιλέγεται να είναι είτε πλακόστρωτη είτε ασφαλοστρωμένη.

Στις εικόνες που ακολουθούν διαφαίνεται η κεντρική νησίδα που υπάρχει σε έναν μίνι κυκλικό κόμβο, με το ύψος του εξωτερικού της να είναι στα 4cm ώστε να μπορεί να διαπεραστεί από βαρέα οχήματα ενώ όσο πλησιάζουμε στο κέντρο αυξάνει το ύψος. Τέλος, όπως αναφέρει ο Steinbrück (2015), η νησίδα που βρίσκεται στο κέντρο ενός μίνι κυκλικού κόμβου είτε θα είναι αποτυπωμένη στο έδαφος, είτε υπερυψωμένη.

5. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΟΜΒΟΥ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (Κ3) ΣΤΗ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΟΔΩΝ ΒΟΛΟΥ-ΛΑΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΙΛΕΛΕΡ

5.1. Συνοπτική περιγραφή της μελέτης

Η μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας αναφέρεται στην προσπάθεια να διαμορφωθεί κατά οριζοντιογραφικό τρόπο ένας ισόπεδος κυκλικός κόμβος, στη διασταύρωση των οδών Βόλου – Λαρίσης (περιφερειακής οδού) και Κιλελέρ. Η διάταξη του νέου κυκλικού κόμβου θα υποστεί ομαλή συναρμογή σε σχέση με το πώς είναι γεωμετρικά διαμορφωμένες οι υφιστάμενες συμβάλλουσες οδοί. Ο σχεδιασμός του εν λόγω κυκλικού κόμβου πραγματοποιήθηκε με βάση τις εθνικές προδιαγραφές ΟΜΟΕ-Κ3 ούτως ώστε να αυξηθεί το επίπεδο ασφαλείας αλλά και να βελτιωθεί η λειτουργική επίδοση της διασταύρωσης.

Η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί έχει ως τελικό αποτέλεσμα το να διαμορφωθεί οριζοντιογραφικά ένας κυκλικός κόμβος ο οποίος θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία:

- Κεντρική νησίδα
- Υπερβατή ζώνη και νησίδες διαχωρισμού,
- Κατάλληλη γεωμετρία εισόδου και εξόδου με στόχο τον έλεγχο των ταχυτήτων που αναπτύσσονται κυρίως στην διασταύρωση των οδών περιφερειακής Βόλου – Λαρίσης και Κιλελέρ
- Απευθείας δεξιές στροφές ούτως ώστε να εξυπηρετούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα οχήματα και να μειώνονται οι καθυστερήσεις
- Γίνεται διαμόρφωση διαβάσεων πεζών αλλά και πεζοδρομίου τα οποία θα έχουν το κατάλληλο πλάτος στην εξωτερική οριογραμμή του κόμβου προκειμένου να εξυπηρετούνται οι πεζοί ασφαλώς και χωρίς εμπόδιο

Κάποια δεδομένα που ελήφθησαν υπόψιν για το σχεδιασμό ήταν τα εξής:

- Υπάρχει σημαντική κίνηση βαρέων οχημάτων επί της περιφερειακής οδού Βόλου – Λαρίσης αλλά και από και προς την οδό Κιλελέρ καθώς η περιοχή είναι βιομηχανική και δραστηριοποιούνται αρκετές επιχειρήσεις πρωτογενούς τομέα περίξ του κόμβου
- Οι παρόδιες ιδιοκτησίες και τα όρια απαλλοτρίωσης
- Τέλος, σημαντική παράμετρος της μελέτης ήταν το να γίνουν οι ελάχιστες δυνατές παρεμβάσεις αλλά και το πιο χαμηλό κόστος για να κατασκευαστεί ο εν λόγω κόμβος

5.2. Ισχύοντες κανονισμοί και προδιαγραφές

Έγινε χρήση συγκεκριμένων Οδηγιών και Κανονισμών που είναι οι ακόλουθοι:

- ΟΜΟΕ-Χ και ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ της ΓΓΔΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ
- Έγινε χρήση των σχεδίων ΟΜΟΕ-Κ3 και ΟΜΟΕ-ΙΚ

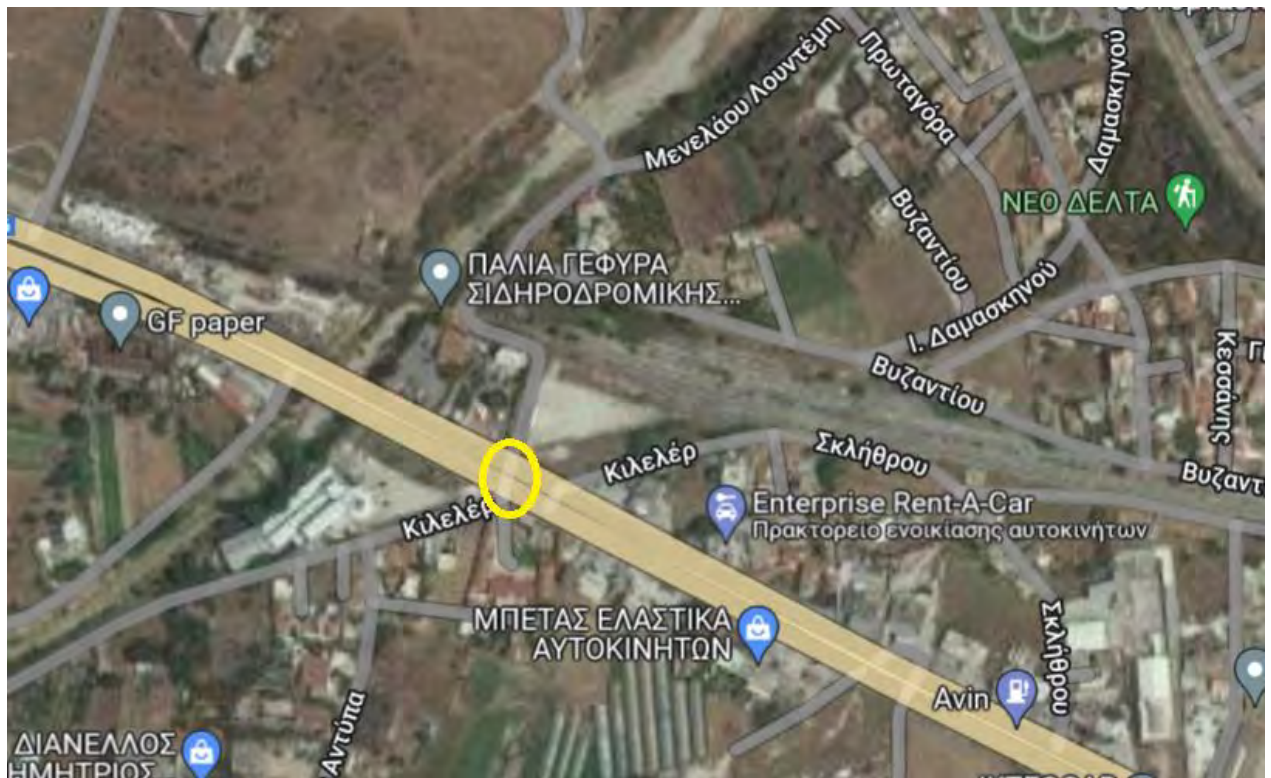
5.3. Ισόπεδος κόμβος – Υφιστάμενη Κατάσταση

Ο κόμβος ο οποίος εξετάζεται βρίσκεται στην περιφερειακή οδό Βόλου – Λαρίσης στη συμβολή με την οδό Κιλελέρ και την οδό Μενέλαου Λουντέμη. Η υφιστάμενη διασταύρωση είναι συμβατικού τύπου, σηματοδοτούμενη με φωτεινούς σηματοδότες. Η λειτουργική κατάταξη των συμβαλλουσών οδών είναι η εξής σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ:

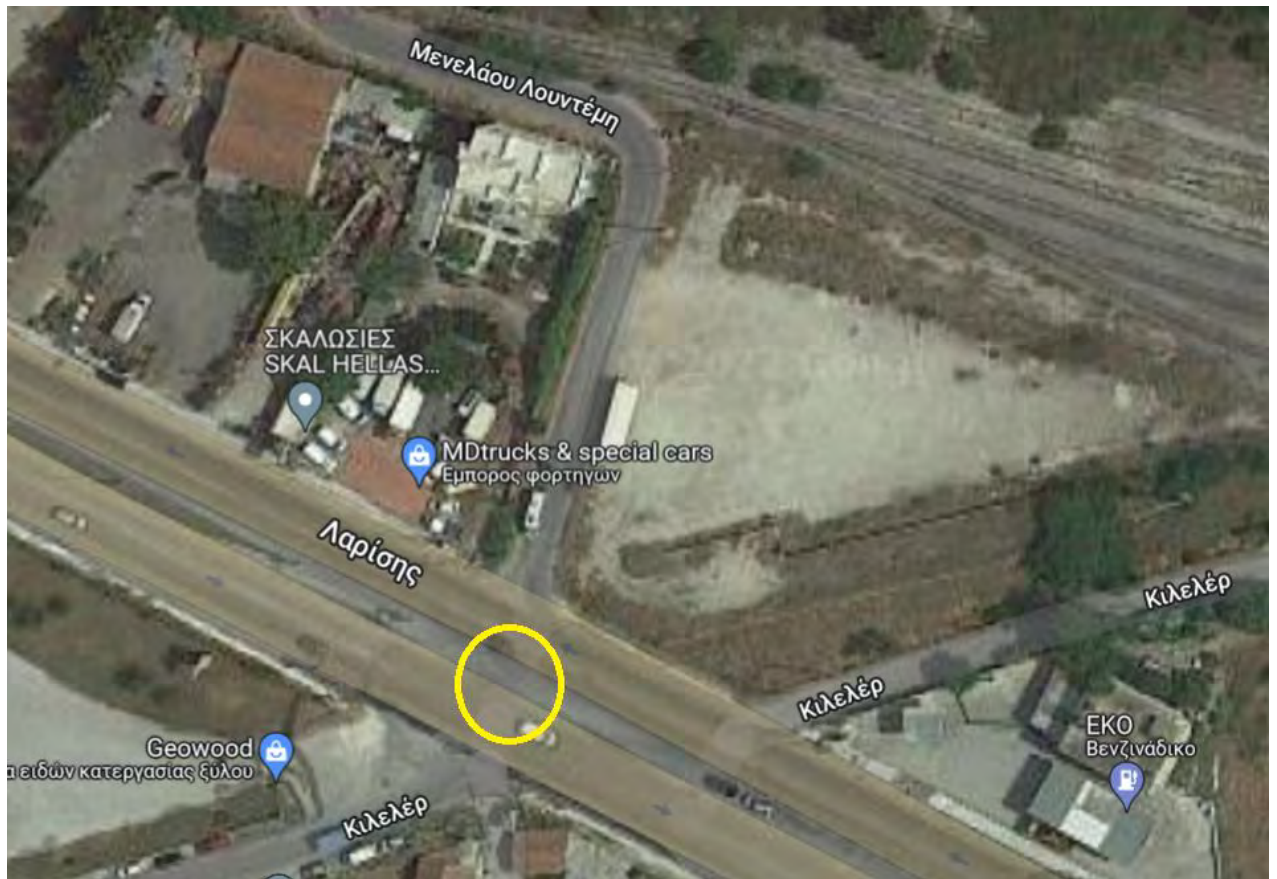
- Περιφερειακή οδός Βόλου - Λαρίσης: Κατηγορία και Χαρακτηρισμός οδού: ΒΙΙ

- Οδός Κιλελέρ: Κατηγορία και Χαρακτηρισμός οδού: ΓΙΙΙ
- Ενώ η Οδός Μενέλαου Λουντέμη είναι μικρότερης κατηγορίας (ΔV, τοπική οδός με βασική λειτουργία την πρόσβαση).

Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε την ευρύτερη περιοχή διαμόρφωσης του κυκλικού κόμβου. Σε κοντινή απόσταση από την υπό μελέτη διασταύρωση βρίσκονται επιχειρήσεις πρωτογενούς και δευτερογενούς τομέα (κατεργασία ξύλου, συνεργεία αυτοκινήτων, εμπορία σκαλωσιών, εμπορία φορτηγών, εμπορία πλακακιών, ενοικίαση αυτοκινήτων κλπ). Ως εκ τούτου, μπορεί μεν να μην υπάρχει σημαντική διέλευση πεζών εκατέρωθεν του δρόμου Βόλου – Λάρισας στο ύψος της Κιλελέρ αλλά υπάρχει σημαντική διέλευση φορτηγών βαρέως τύπου λόγω της βιομηχανικής και εμπορικής δραστηριότητας της περιοχής. Τέλος, σημειώνεται ότι πέριξ του σημείου υπάρχει η παλαιά γέφυρα της σιδηροδρομικής γραμμής Λάρισας – Βόλου, ενώ ο δρόμος Λάρισας – Βόλου εν γένει κινείται παράλληλα με τη σιδηροδρομική γραμμή.



Εικόνα 21. Ευρύτερη περιοχή διαμόρφωσης του κόμβου



Εικόνα 22. Υφιστάμενη κατάσταση στην εγγύτερη περιοχή του κόμβου και ονοματολογία συντρεχουσών οδών



Εικόνα 23. Όριο οδού και απεικόνιση γειτονικών ιδιοκτησιών με βάση το ψηφιακό υπόβαθρο του Εθνικού Κτηματολογίου



Εικόνα 24. Περιοχή Κόμβου – Υφιστάμενη Κατάσταση. (Βόλου – Λάρισας και Κιλελέρ)

Η αναγκαιότητα κυκλοφοριακής διαμόρφωσης κρίνεται απαραίτητη δεδομένου ότι θα συνεισφέρει κυρίως στην οδική ασφάλεια δεδομένου του υψηλού ποσοστού ατυχημάτων¹ στην υπό μελέτη διασταύρωση (Βόλου – Λάρισας και Κιλελέρ) και δευτερευόντως στην κυκλοφοριακή ικανότητα της υποδομής. Παράλληλα θα αναβαθμίσει αισθητικά την περιοχή εγκατάστασης.

Ακολουθεί τέλος το σχέδιο των υψομέτρων της περιοχής (με μορφή ισοψών καμπυλών) στην θέση του νέου κόμβου.

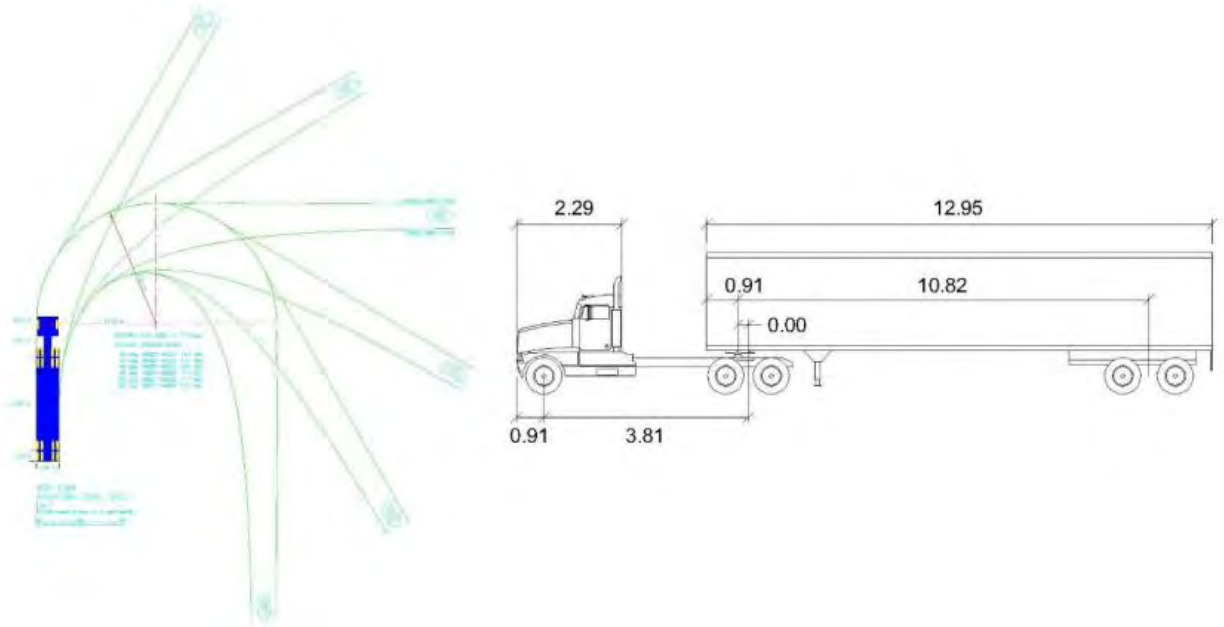


Εικόνα 25. Απεικόνιση ισοϋψών στον κόμβο μελέτης. Ομαλό υψόμετρο με διακύμανση μεταξύ των 19-20μ (μέγιστη υψομετρική διαφορά 77cm).

¹ Σημειώνεται πως ακριβώς σε αυτήν τη θέση που πρόκειται να σχεδιαστεί ο κόμβος, έχει συντελεστεί τραγικό ατύχημα κατά το έτος 2011, με έναν νεκρό, το οποίο μάλιστα έγινε πρώτο θέμα στις τοπικές εφημερίδες της εποχής. Ενδεικτικά αναγράφεται το εν λόγω άρθρο για το ατύχημα που συνετελέσθη στο σημείο: «Σάββατο 27 Αυγούστου 2011 19:58. Ένα κοριτσάκι δέκα χρονών είναι ο τραγικός απολογισμός τροχαίου δυστυχήματος που σημειώθηκε πριν μία, περίπου, ώρα, στην Εθνική οδό Λάρισας Βόλου στο ύψος της οδού Κιλελέρ. Θύμα τροχαίου 10χρονο κορίτσι. Στο αυτοκίνητο επέβαιναν συνολικά πέντε άτομα, μια οικογένεια Σέρβων που έκανε διακοπές στη χώρα μας και τα υπόλοιπα μέλη της οικογένειας μεταφέρθηκαν στο Γενικό νοσοκομείο Λάρισας όπου και νοσηλεύονται.»

5.4. Οχήματα Σχεδιασμού

Το όχημα σχεδιασμού επιλέχθηκε με βάσει τα οριζόμενα από τις εθνικές προδιαγραφές για αστικούς κόμβους δύο λωρίδων με διάμετρο από 35m έως 50m, στην προκειμένη περίπτωση επικαθήμενο φορτηγό μήκους 16,76m (WB- 15, AASHTO US (2004)).



Εικόνα 26. Όχημα Σχεδιασμού Μελέτης

5.5. Διαστάσεις Κυκλικού Κόμβου

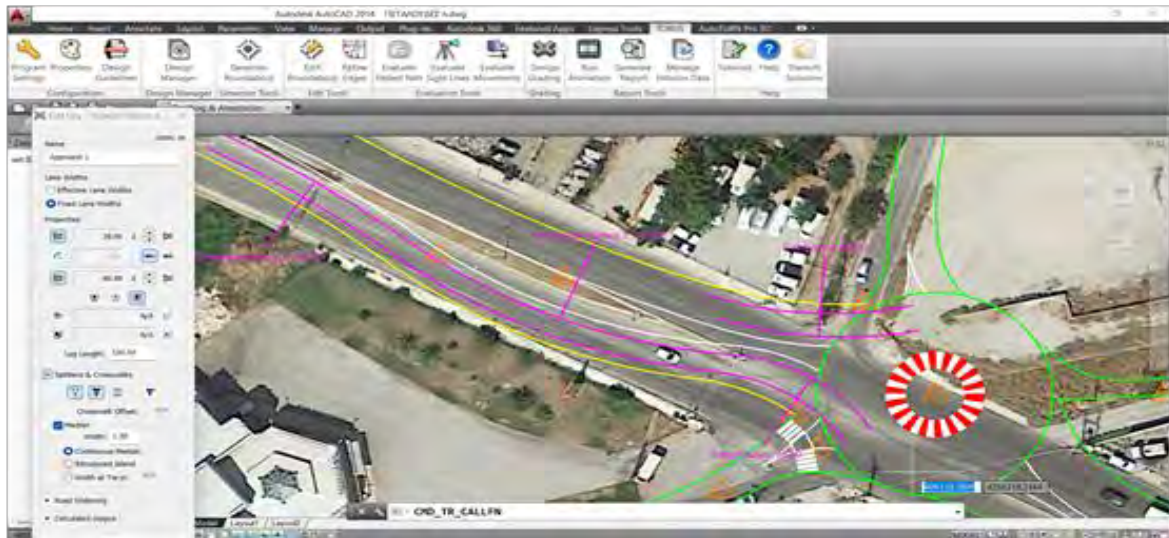
Στο γεωμετρικό σχεδιασμό του κόμβου επελέγησαν τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά βάσει του σχήματος 2.2-1, σελ. 32, των ΟΜΟΕ-Κ3.

- ➔ Έχουμε 2 λωρίδες εισόδου άρα επιλέγεται πλάτος εισόδου 8m (μεταξύ των 7,3-8,5m όπως ορίζεται)
- ➔ Αποτελεσματικό τμήμα μήκους διαπλάτυνσης δεν ορίζεται καθώς τίθεται ανάγκη αυξημένης κυκλοφοριακής ικανότητας
- ➔ Η γωνία εισόδου θα πρέπει να διαμορφώνεται στις 30°
- ➔ Η διάμετρος της εξωτερικής περιμέτρου τίθεται ίση με 36m
- ➔ Το πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας θα τεθεί ίσο με 10m

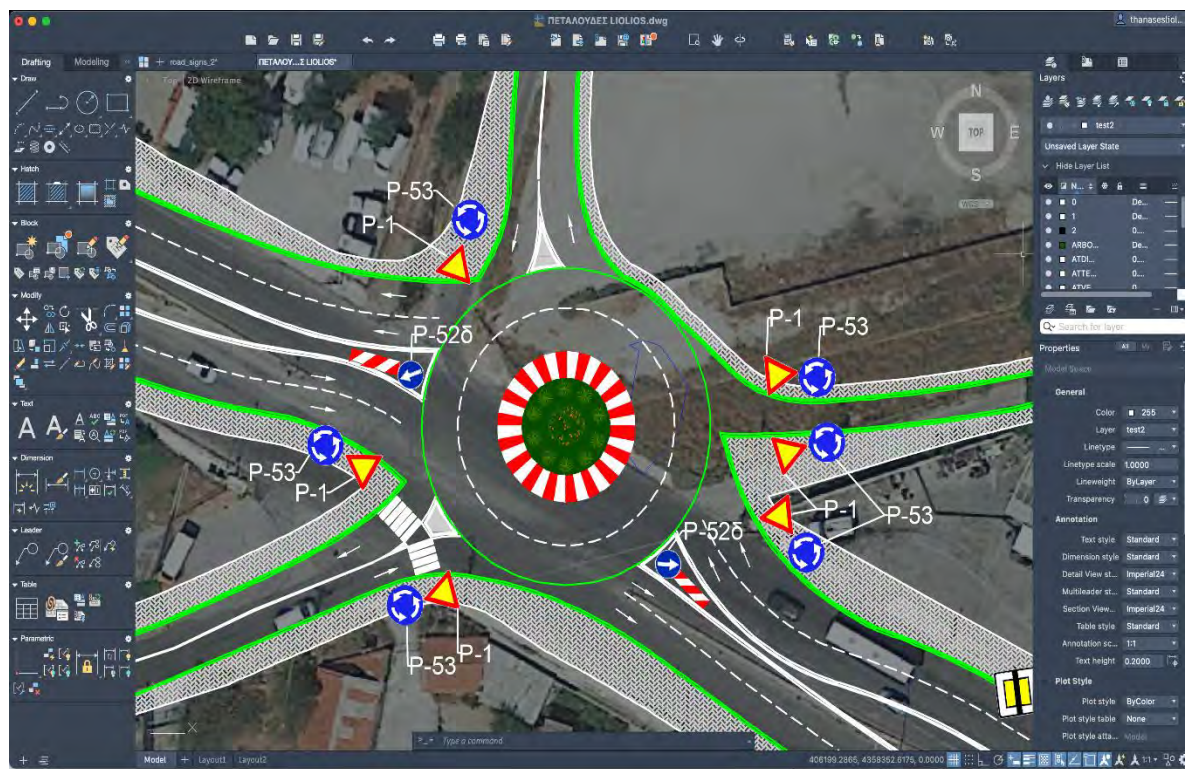
5.6. Περιγραφή της νέας διαμόρφωσης του κόμβου

Η λογική που διαμορφώθηκε ο κόμβος βασίζεται στους παρακάτω άξονες:

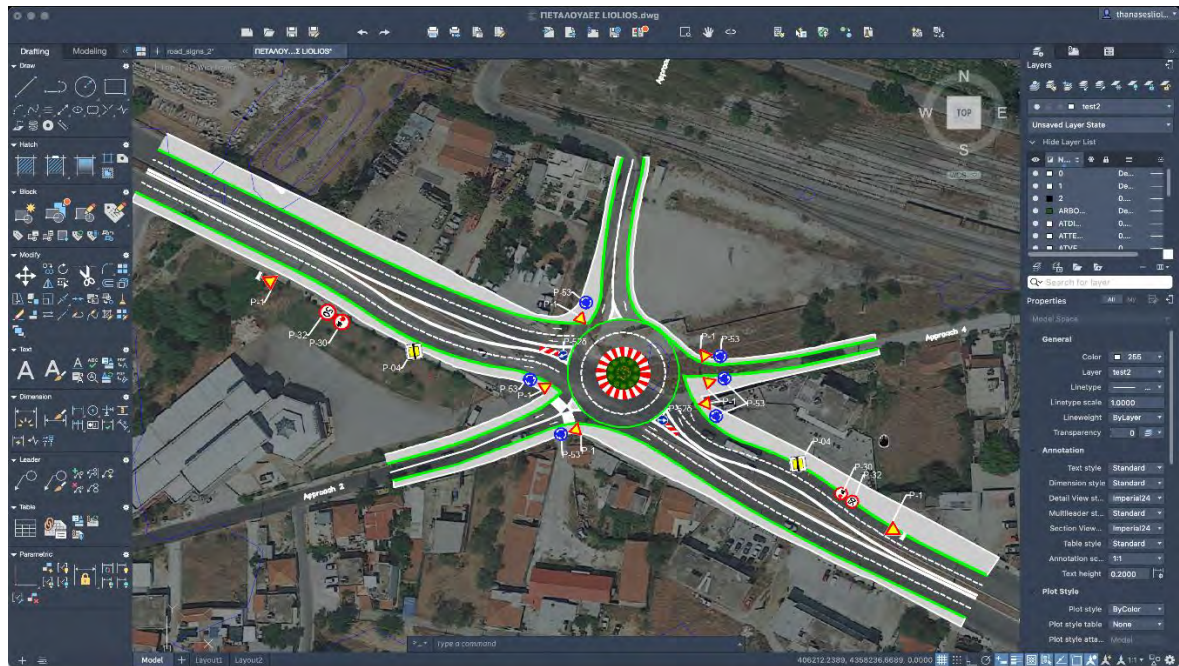
- Ο κυκλικός κόμβος έπρεπε να διαμορφωθεί σε υψομετρικό επίπεδο ανάλογο με τις συμβάλλουσες οδούς προς αποφυγή περιττών χωματισμών. Το ευνοϊκό στοιχείο στην περίπτωση μας είναι πως όλες οι συμβάλλουσες οδοί βρίσκονται σε παρόμοιο υψόμετρο (δλδ μέγιστη υψομετρική διαφορά στους 60-70 πόντους, όλες οι οδοί περί του υψομέτρου των 20m).
- Η κατασκευή ενός μεσαίου μεγέθους κυκλικού κόμβου θα συμβάλει τα μέγιστα στην αναβάθμιση της κυκλοφοριακής ικανότητας και της οδικής ασφάλειας της περιοχής.
- Η διαμόρφωση παρακαμπτήριων κλάδων άμεσης δεξιάς στροφής στις τέσσερις από τις πέντε προσβάσεις (κλάδους) του κόμβου, διευκολύνει την κίνηση των βαρέων οχημάτων που στρίβουν δεξιά. Η διαμόρφωση αυτή απαιτεί περισσότερο χώρο και έχει υψηλότερο κόστος κατασκευής, ωστόσο βελτιώνει εξαιρετικά την οδική ασφάλεια.
- Η κατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση στις εισόδους και εξόδους του κόμβου συμβάλει στην καλύτερη δυνατή ρύθμιση των ταχυτήτων που αναπτύσσονται από τα συμβατικά Ι.Χ.
- Η προτεινόμενη διαμόρφωση οδηγεί στην αποφυγή της επικάλυψης της πορείας των οχημάτων κατά την είσοδο, την κυκλική πορεία και κατά την έξοδο από τον κόμβο
- Λόγω των αυξημένων ταχυτήτων που αναπτύσσονται στην οδό Λαρίσης οι λωρίδες εισόδου διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να μειώσουν την ταχύτητα εισόδου όπως περιγράφεται και στις ΟΜΟΕ Κ3. Έγινε θλάση των κλάδων εισόδου της οδού Λαρίσης με γωνίες $K1 = 200^\circ$, $K2 = 100^\circ$ και $K1 = 180^\circ$, $K2 = 90^\circ$ αντίστοιχα.



Εικόνα 27. Απεικόνιση γωνιών θλάσης και εισόδου



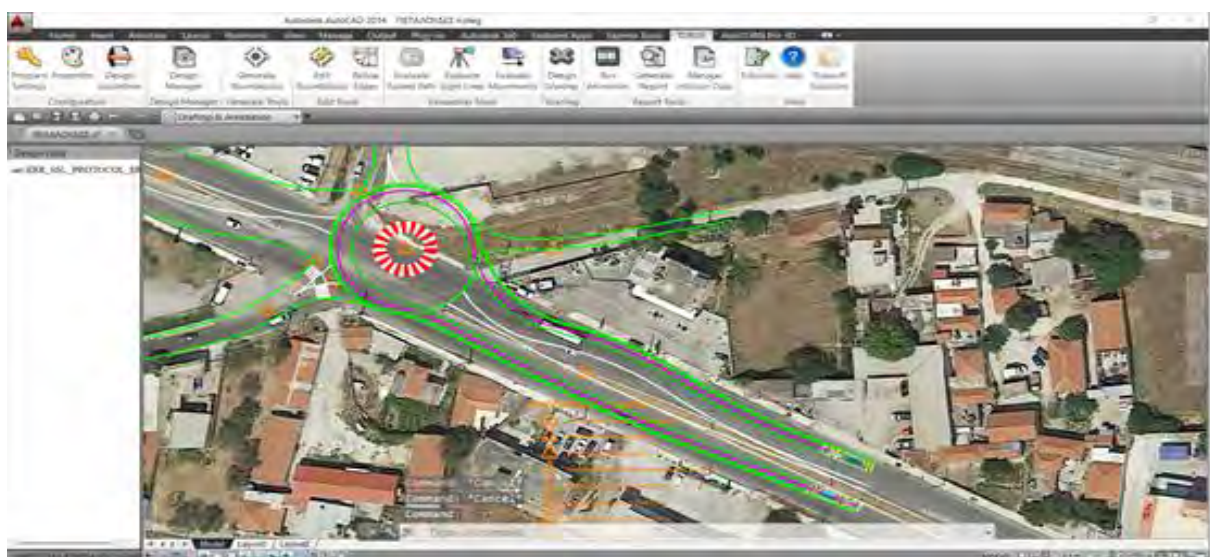
Εικόνα 28. Αποτύπωση γεωμετρίας κυκλικού κόμβου σε ορθοφωτοχάρτη



Εικόνα 29. Αποτύπωση ευρύτερης περιοχής κυκλικού κόμβου σε ορθοφωτοχάρτη

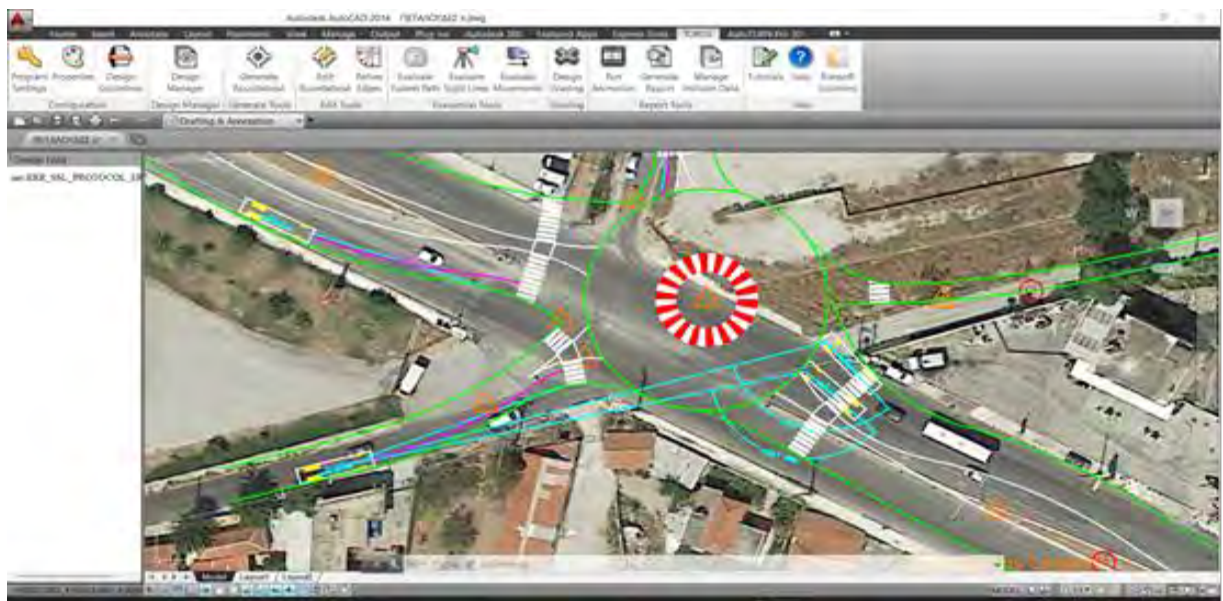
5.7. Έλεγχοι επίδοσης και ασφάλειας νέας διαμόρφωσης κυκλικού κόμβου

Στο λογισμικό Torus έγινε έλεγχος ταχυτήτων που αναπτύσσονται στη νέα διαμόρφωση κόμβου με βάση πάντα τα οχήματα σχεδιασμού, και εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι κατά την είσοδο οι ταχύτητες δεν υπερβαίνουν τα 40 χλμ/ώρα και οι ταχύτητες κατά την έξοδο δεν υπερβαίνουν τα 45 χλμ/ώρα. Επιπροσθετως, καθ'όλη τη διαδρομή είσοδος – κυκλικός κόμβος – έξοδος, δεν υφίσταται κάποια διαφορά ταχυτήτων μεγαλύτερη των 15 χλμ/ώρα.



Εικόνα 30. 2d προσομοίωση στο Torus ταχυτητών εισόδου – εξόδου για οχήματα σχεδιασμού και για συμβατικά οχήματα

Όσον αφορά την ορατότητα για την προτεινόμενη οριζοντιογραφική διαμόρφωση του νέου κυκλικού κόμβου, διαπιστώνεται πως αυτή είναι αρκετά υψηλή. Υπολογίστηκαν οι αποστάσεις ορατότητας με χρήση του λογισμικού Torus και διαπιστώθηκε πως δεν υστερούμε σε σχέση με τις αποστάσεις που συνιστώνται από τις ΟΜΟΕ -Κ3. Σχετικά με την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων (με βάση την οποία έγιναν και οι υπολογισμοί των αποστάσεων ορατότητας), συνυπολογίστηκαν και οι ταχύτητες με τις οποίες εν γένει γίνεται η κίνηση επί της περιφερειακής οδού Βόλου – Λάρισας (αυτή κυμαίνεται μεταξύ των 70-80km/h) και φυσικά όχι με το επιθυμητό όριο ταχύτητας που μπορεί και να επιβληθεί αν στο σχεδιασμό συμπεριληφθούν και οι κατάλληλες πινακίδες κυκλοφορίας. Για την ταχύτητα της επερχόμενης κυκλοφορίας έγινε χρήση των ταχυτητών εισόδου (30 – 40km/h) και κυκλικής πορείας (30 - 35 km/h) όπως αυτές εκτιμήθηκαν προηγουμένως.



Εικόνα 31. Υπολογισμός μηκών ορατότητας με οριζοντιογραφία προτεινόμενης διάταξης στο περιβάλλον του Torus

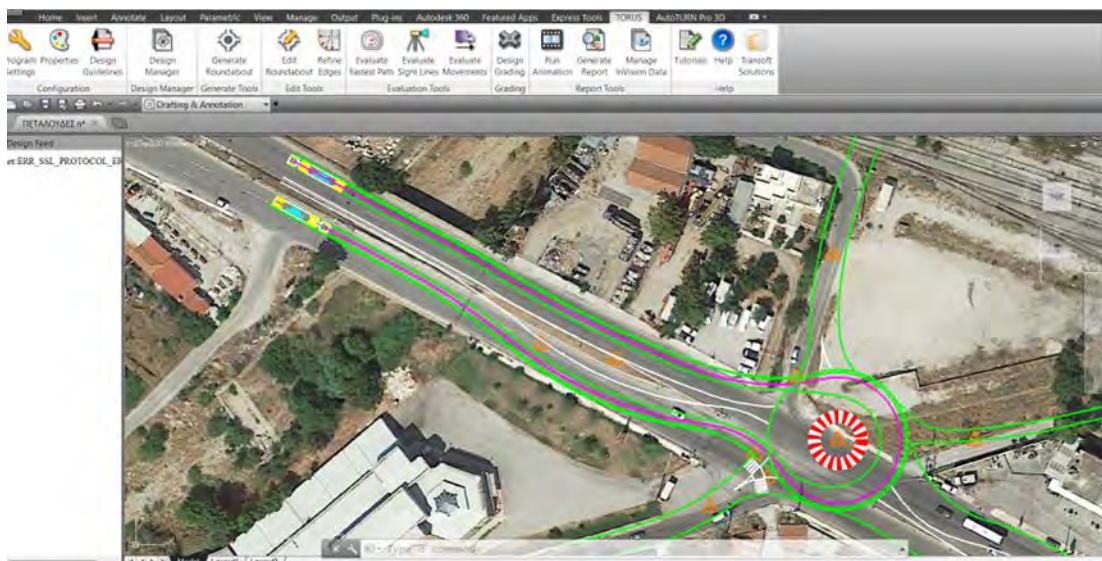
Οι γωνίες ορατότητας κυμάνθηκαν μεταξύ 65-120 μοίρες κατόπιν του σχετικού ελέγχου.

Εν τέλει, με βάση τη σύνθεση που γίνεται στις επιφάνειες ορατότητας, επιτυγχάνεται η δέσμευση και η διατήρηση των επιφανειών πέριξ του κυκλικού κόμβου σε καθεστώς ελεύθερης ορατότητας και δεν τίθενται στοιχεία που την περιορίζουν, ενώ, αντιθέτως, στα χωρία εκτός των επιφανειών ορατότητας μπορεί να τεθεί και πιο υψηλή φύτευση δέντρων για να περιοριστεί η ορατότητα στην ελάχιστη δυνατή και να αποτραπούν κατά αυτόν τον τρόπο οι πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Τέλος εκτιμούμε την κίνηση των οχημάτων σχεδιασμού κατόπιν της προτεινόμενης οριζοντιογραφικής διαμόρφωσης ούτως ώστε να διασφαλίσουμε ότι κινούνται απρόσκοπτα και με επάρκεια.



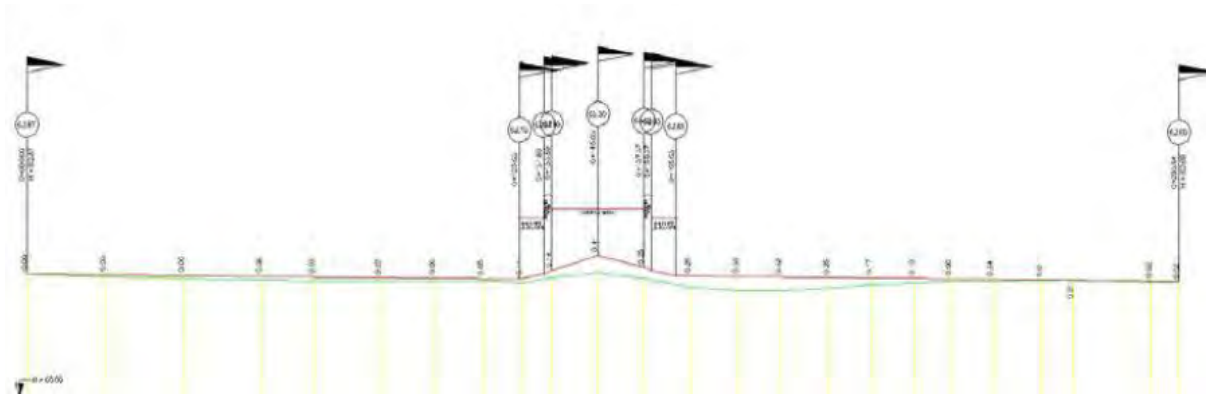
Εικόνα 32. Έλεγχος κίνησης οχήματος σχεδιασμού επί της περιφερειακής οδού Λαρίσης – Βόλου



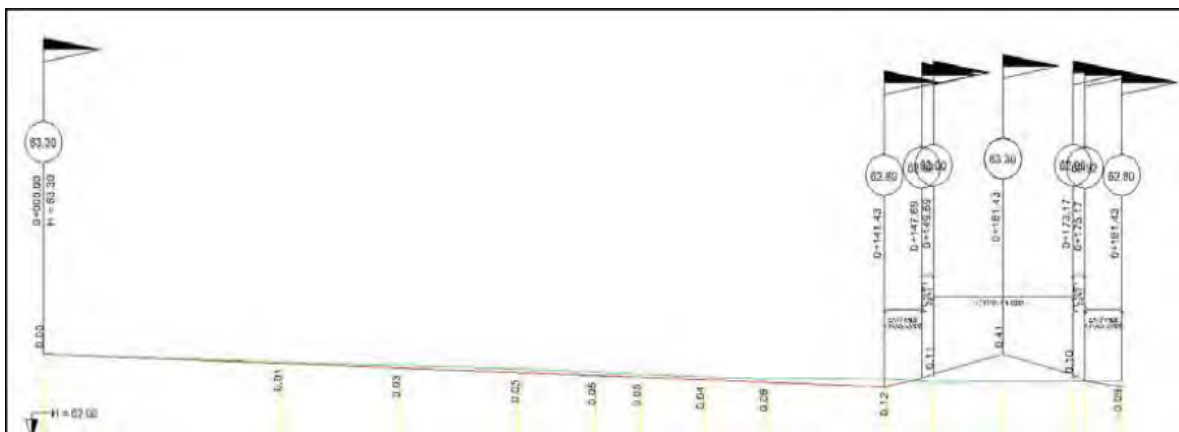
Εικόνα 33. Έλεγχος κίνησης οχήματος σχεδιασμού σε αναστροφή

5.8. Υψομετρικός Σχεδιασμός

Ο υψομετρικός σχεδιασμός είναι το τελευταίο αλλά πολύ θεμελιώδες βήμα για να σχεδιαστεί ένας κόμβος αφού ενδέχεται να οδηγήσει σε μεταβολές στο σύνολο των οριζοντιογραφικών στοιχείων. Εν προκειμένω, για τον υψομετρικό σχεδιασμό του νέου κυκλικού κόμβου συμπεριλήφθηκαν στους υπολογισμούς οι κλίσεις των συμβαλλουσών οδών και έγινε η κατάλληλη προσαρμογή αφού είχαμε και αλλαγές στη θέση του άξονα της εκάστοτε οδού. Ένα θετικό στοιχείο είναι το γεγονός πως ο νέος κυκλικός κόμβος είναι σε πεδινό σημείο άρα οι κατά μήκος κλίσεις των συντρεχουσών οδών (όπως ήδη τονίσθηκε) ήταν ιδιαίτερα μικρές. Η μορφή που είχαν οι μηκοτομές εμφανίζεται στα ακόλουθα σχήματα.



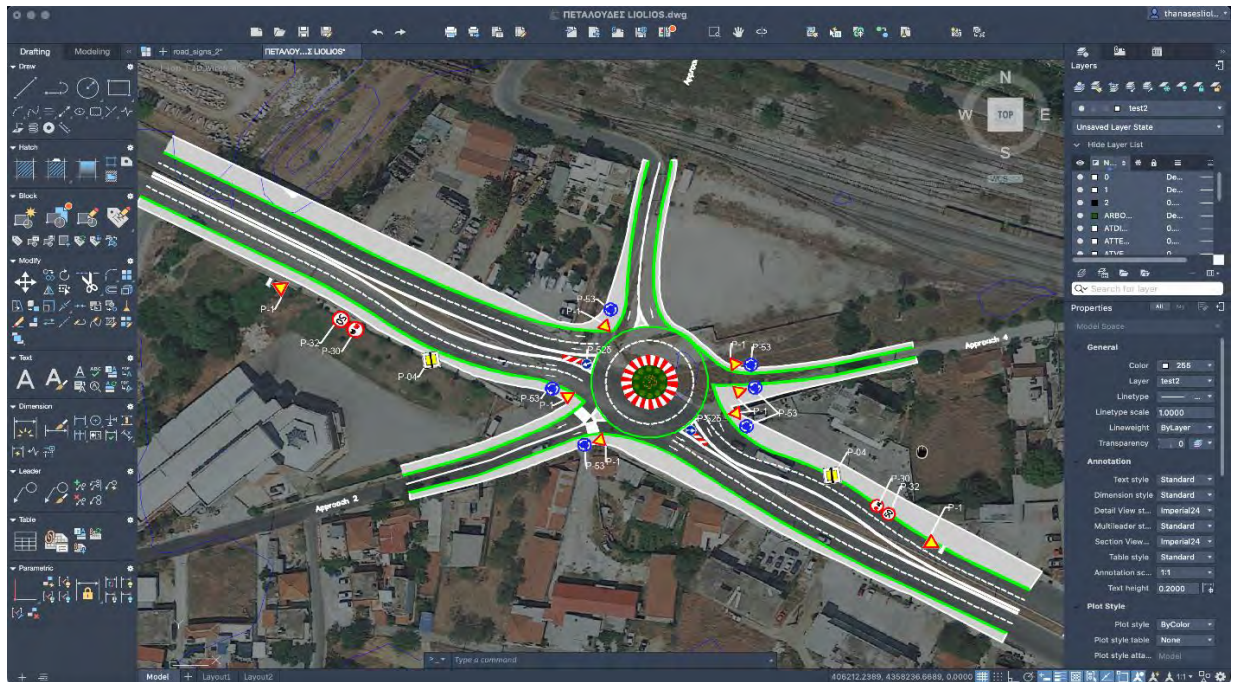
Εικόνα 34. Μηκοτομή σκέλους επί της οδού Βόλου Λαρίσης



Εικόνα 35. Μηκοτομή από Βορρά προς Νότο (από οδό Μενέλαου Λουντέμη προς οδό Κιλελέρ)

5.9. Κατακόρυφη σήμανση

Για την τελική διαμόρφωση του Κυκλικού Κόμβου τοποθετήθηκαν πινακίδες κατακόρυφης σήμανσης όπως προβλέπεται από τις ΟΜΟΕ Κ3 για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του κόμβου όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 36: Οριζοντιογραφία κυκλικού κόμβου με κατακόρυφη σήμανση

Αρχικά γίνεται προειδοποίηση των οδηγών που επρόκειτο να εισέλθουν στον κυκλικό κόμβο μέσω της οδού Λαρίσης για μείωση της ταχύτητας με όριο τα 50 χλμ./ώρα και παραχώρηση προτεραιότητας στους κινούμενους επί του δακτυλίου. Στις υπόλοιπες τρεις εισόδους, εφόσον οι ταχύτητες εισόδου είναι αρκετά χαμηλές η σήμανση που τοποθετήθηκε είναι προειδοποιητική ως προς την είσοδο σε κυκλικό κόμβο και παραχώρηση προτεραιότητας στους κινούμενους επί του δακτυλίου.

ΛΙΣΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

ADA, Americans with Disabilities Act. www.ada.gov/pubs/ada.htm.

ADAAG, Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines. www.access-board.gov/adaag/html/adaag.htm.

Adeniran, J. A., Yusuf, R. O., & Olajire, A. A. (2017). Exposure to coarse and fine particulate matter at and around major intra-urban traffic intersections of Ilorin metropolis, Nigeria. *Atmospheric Environment*, 166, 383-392.

Baier, R., Leu, P., Klemp-Kohnen, A., Reinartz, A., Maier, R., & Schmotz, M. (2014).
Minikreisverkehre-Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen.

big-trouble-mini-roundabouts. (n.d.). Ανάκτηση από: <https://www.safedrivingforlife.info/blog/big-trouble-mini-roundabouts>

Brilon W., “Studies on Roundabouts in Germany: Lessons learned”, paper presented at the 3rd TRB Roundabout Conference, Carmel, Indiana, 2011.

Brown, M. (1995). TRL state of the art review—the design of roundabouts. *London, United Kingdom*.

Bui, K. H. N., & Jung, J. J. (2018). Cooperative game-theoretic approach to traffic flow optimization for multiple intersections. *Computers & Electrical Engineering*, 71, 1012-1024.

Campos, G. R., Falcone, P., Wymeersch, H., Hult, R., & Sjöberg, J. (2014, December). Cooperative receding horizon conflict resolution at traffic intersections. In *53rd IEEE Conference on Decision and Control* (pp. 2932-2937). IEEE.

Essa, M., & Sayed, T. (2018). Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level. *Transportation research part C: emerging technologies*, 89, 289-302.

Goel, A., & Kumar, P. (2014). A review of fundamental drivers governing the emissions, dispersion and exposure to vehicle-emitted nanoparticles at signalised traffic intersections. *Atmospheric Environment*, 97, 316-331.

Goel, A., & Kumar, P. (2015). Characterisation of nanoparticle emissions and exposure at traffic intersections through fast-response mobile and sequential measurements. *Atmospheric Environment*, 107, 374-390.

Goel, A., & Kumar, P. (2015). Zone of influence for particle number concentrations at signalised traffic intersections. *Atmospheric Environment*, 123, 25-38.

- Hult, R., Zanon, M., Gros, S., & Falcone, P. (2016, December). Primal decomposition of the optimal coordination of vehicles at traffic intersections. In *2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC)* (pp. 2567-2573). IEEE.
- Isler, F. D. "INFORMATION: Public Rights-of-Way Access Advisory." Memo from FHWA Associate Administrator for Civil Rights to Division Administrators, Resource Center Directors, and Federal Lands Highway Division Engineers. January 23, 2006. www.fhwa.dot.gov/environment/bikeped/prwaa.htm.
- Kamalanathsharma, R. K., Rakha, H. A., & Yang, H. (2015). Networkwide impacts of vehicle ecospeed control in the vicinity of traffic signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2503(1), 91-99.
- Kumar, P., & Goel, A. (2016). Concentration dynamics of coarse and fine particulate matter at and around signalised traffic intersections. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18(9), 1220-1235.
- Lord, D., van Schalkwyk, I., Staplin, L., & Chrysler, S. (2005). Reducing older driver injuries at intersections using more accommodating roundabout design practices. *Texas Transportation Institute and The Texas A&M University System*.
- Ma, W., Wan, L., Yu, C., Zou, L., & Zheng, J. (2020). Multi-objective optimization of traffic signals based on vehicle trajectory data at isolated intersections. *Transportation research part C: emerging technologies*, 120, 102821.
- Mahmoud, N., Abdel-Aty, M., Cai, Q., & Yuan, J. (2021). Predicting cycle-level traffic movements at signalized intersections using machine learning models. *Transportation research part C: emerging technologies*, 124, 102930.
- Matthias, J. S., De Nicholas, M. E., & Thomas, G. B. (1996). *A study of the relationship between left turn accidents and driver age in Arizona* (No. AZ-SP-9603).
- Miculescu, D., & Karaman, S. (2019). Polling-systems-based autonomous vehicle coordination in traffic intersections with no traffic signals. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65(2), 680-694.
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, "Modern Roundabouts: An Informational Guide, 2nd edition", Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2010.
- Niederhauser, M. E., Collins, B. A., & Myers, E. J. (1997). THE USE OF ROUNDABOUTS: COMPARISON WITH ALTERNATE DESIGN SOLUTION. In *Institute of Transportation Engineers 67th annual Meeting* *Institute of Transportation Engineers (ITE)*.

nmfv.dk. (n.d.). Ανάκτηση από: https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/06/RDC_Germ

Noyce, D. A., & Kacir, K. C. (2001). Drivers' understanding of protected-permitted left-turn signal displays. *Transportation Research Record*, 1754(1), 1-10.

Olayode, I. O., Tartibu, L. K., Okwu, M. O., & Uchechi, U. F. (2020). Intelligent transportation systems, un-signalized road intersections and traffic congestion in Johannesburg: a systematic review. *Procedia CIRP*, 91, 844-850.

Rodegerdts, L., M. Blogg, E. Wemple, E. Myers, M. Kyte, M. Dixon, G. List, A. Flannery, R. Troutbeck, W. Brilon, N. Wu, B. Persaud, C. Lyon, D. Harkey, and D. Carter. NCHRP Report 572: Roundabouts in the United States. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2007.

Staplin, L. "Simulator and Field Measures of Driver Age Differences in Left-Turn Gap Judgments." *Transportation Research Record* 1485. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp. 49-55.

Staplin, L., K. Lococo, S. Byington, and D. Harkey. Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians. Publication No. FHWA-RD-01-103. FHWA, Washington, D.C., May 2001.

Steinbrück. S. (2015). *Empfehlungen zum Einsatz*.

Stutts, J. C., Transportation Research Board, & National Cooperative Highway Research Program Synthesis Program. (2005). *NCHRP Synthesis 348: improving the safety of older road users*.

The Highways Agency, Transport Scotland, Transport Wales – Welsh Assembly Government, The Department for Regional Development – Northern Ireland, "Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) – Geometric Design of Roundabouts", United Kingdom, 2007. Tollazz

Xu, B., Ban, X. J., Bian, Y., Li, W., Wang, J., Li, S. E., & Li, K. (2018). Cooperative method of traffic signal optimization and speed control of connected vehicles at isolated intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(4), 1390-1403.

Yu, C., Feng, Y., Liu, H. X., Ma, W., & Yang, X. (2018). Integrated optimization of traffic signals and vehicle trajectories at isolated urban intersections. *Transportation Research Part B: Methodological*, 112, 89-112.

Zanon, M., Gros, S., Wymeersch, H., & Falcone, P. (2017). An asynchronous algorithm for optimal vehicle coordination at traffic intersections. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 12008-12014.

- Zhao, H. T., Liu, X. R., Chen, X. X., & Lu, J. C. (2018). Cellular automata model for traffic flow at intersections in internet of vehicles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 494, 40-51.
- Zhu, J. Z., Cao, J. X., & Zhu, Y. (2014). Traffic volume forecasting based on radial basis function neural network with the consideration of traffic flows at the adjacent intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 47, 139-154.
- Κανελλαΐδης Γ., Μαλέρδος Γ., Καλτσούνης Α., Γλαρός Γ., Δραγομάνοβιτς Α., «Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας – Στοιχεία Ισόπεδων και Ανισόπεδων Κόμβων», Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2008.
- ΟΜΟΕ-Κ3. (2011). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων*.
- Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γιαννόπουλος Γ.Α., «Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική», Εκδόσεις Επίκεντρο, Θεσσαλονίκη, 1986.