



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία:

«Γεωμετρικός Σχεδιασμός Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων»

Δημήτρης Νίκου

Επιβλέπων:

Γ. Κανελλαΐδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Συνεπιβλέπων:

Φ. Μερτζάνης

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Αφιερώνεται στην ιερή μνήμη
του παππού μου, Δημήτρη και της γιαγιάς μου, Βασιλικής

Ευχαριστίες

Πριν από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Βασίλη και Δήμητρα, για την υπομονή, την αμέριστη συμπαράσταση και άνευ όρων στήριξη που μου παρείχαν ανέκαθεν και ιδιαίτερα τα τελευταία έτη, προκειμένου να ολοκληρώσω τις προπτυχιακές σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω εν τω συνόλω τον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, αλλά ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Κανελλαΐδη για την έμπνευση, την εμπιστοσύνη και τη δυνατότητα που μου παρείχε να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία, ως το ιδανικότερο επιστέγασμα των σπουδών μου, καθώς και για τον χρόνο που ο ίδιος αφειδώλευτα διέθεσε στη σχολαστική επίβλεψή της. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Φώτη Μερτζάνη για την παροχή της πολύτιμης βοήθειάς του, προκειμένου να ολοκληρωθεί το παρόν εγχείρημα, ειδικά όσον αφορά στη δημιουργία του προγράμματος για τον σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Σύνοψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία άπτεται του αντικειμένου των σύγχρονων ισόπεδων κυκλικών κυκλοφοριακών κόμβων, εξετάζοντας και αναλύοντας όλα τα στοιχεία εκείνα που χαρακτηρίζουν κάθε ένα είδος κόμβου της μορφής αυτής. Δίδεται ιδιαίτερη σημασία στην κυκλοφοριακή ικανότητα, τη στάθμη εξυπηρέτησης της διακινούμενης κυκλοφορίας, κυρίως όσον αφορά στις χρονικές καθυστερήσεις των εισερχόμενων στον κόμβο οχημάτων, το επίπεδο ασφάλειας που παρέχεται στους χρήστες του κόμβου (οδηγούς Ι.Χ. οχημάτων, πεζούς, ποδηλάτες κ.λπ.), καθώς και τα ευρύτερης κλίμακας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την κατασκευή κυκλικών κόμβων έναντι άλλου είδους διαμορφώσεων ισόπεδης σύνδεσης οδών, όπως οι σηματοδοτημένοι κόμβοι. Το μείζονος όμως σημασίας θέμα, το οποίο και καταλαμβάνει σημαντικό χώρο στο πλαίσιο της εργασίας, είναι ο γεωμετρικός σχεδιασμός ισόπεδων κυκλικών κόμβων και οι παράμετροι από τις οποίες αυτός καθορίζεται. Θεμελιώδη στόχο του παρόντος πονήματος αποτελεί η λεπτομερής ανάλυση εθνικών κανονισμών και οδηγιών τόσο βρετανικών και γερμανικών, όσο και αμερικανικών, που αφορούν στο γεωμετρικό σχεδιασμό και τη μελέτη κυκλικών κόμβων, η σύγκρισή τους και, κατόπιν διερεύνησης, ο προσδιορισμός των προδιαγραφών εκείνων, οι οποίες καθίσταται δόκιμο να υιοθετηθούν στην Ελλάδα. Επιπρόσθετα, τμήμα της εργασίας αποτελεί η δημιουργία κατάλληλου λογισμικού για Η/Υ, προκειμένου να είναι εφικτός ο σχεδιασμός ενός ισόπεδου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας και η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της γεωμετρικής χάραξης. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα, το οποίο δέχεται αριθμητικές τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων σχεδίασης του κόμβου και «παράγει» την κάτοψή του σε περιβάλλον CAD.

Λέξεις Κλειδιά

Ισόπεδος κυκλικός κυκλοφοριακός κόμβος, κυκλικός δακτύλιος, κυκλική διαδρομή, κατευθυντήρια – διαχωριστική νησίδα, κυκλική κεντρική νησίδα, περιμετρική ζώνη βαρέων οχημάτων, διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου – εξωτερική διάμετρος, πλάτος εισόδου, διαπλάτυνση εισόδου, πλάτος εξόδου, ακτίνα εισόδου, ακτίνα εξόδου, εκτροπή τροχιάς εισόδου, όχημα σχεδιασμού, ορατότητα, γεωμετρικός σχεδιασμός κυκλικών κόμβων, λογισμικό σχεδίασης κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας σε Η/Υ.

Abstract

The present diploma thesis' main objectives are modern roundabouts, their distinguishing characteristics and optimal roundabout geometric design. Features such as capacity, level of service, entry delays, roundabouts' users' safety (car drivers, pedestrians, bicyclists, handicapped people, etc.), but also environmental and economical benefits, compared to other junction types, like signalized junctions, are taken into great consideration. The most important objective though, that has huge impact on roundabouts' operational performance and safety, is geometric design and as such, it is analyzed and examined thoroughly. This analysis includes German, British and American design guides and aims in a detailed comparison of them and determining which guidelines are applicable in Greece's traffic systems. Furthermore, the thesis' final part includes the creation of a computer program which helps optimizing the geometric design process. The program "reads" certain geometric parameter values and "produces" a complete design of a single lane roundabout in two-dimensional CAD environment.

Key Words

Roundabout, circulatory roadway, splitter island, central island, truck apron, inscribed circle diameter – outer diameter, entry width, entry flaring, exit width, entry curve radius, exit curve radius, entry path deflection, design vehicle, visibility, geometric design of roundabouts, single – lane roundabout design software.

Σύνοψη

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1. Γενικά	1
1.2. Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας	2
1.3. Δομή Διπλωματικής Εργασίας	3
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
2.1. Κυκλοφοριακοί Κόμβοι	7
2.1.1. Ελιγμοί και Σημεία Εμπλοκής	8
2.1.2. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Διαμόρφωσης Κόμβων	11
2.1.3. Ισόπεδοι Κόμβοι	12
2.1.4. Ανισόπεδοι Κόμβοι	16
2.1.5. Κυκλικοί Κόμβοι	23
2.2. Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων	29
2.2.1. Ιστορικά	29
2.2.2. Διάκριση Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους	32
2.2.3. Είδη Κυκλικών Κόμβων	38
2.2.3.1. Ανισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι	38
2.2.3.2. Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι	41
2.2.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων έναντι Εναλλακτικών Μορφών Κόμβων	44
2.2.4.1. Ασφάλεια	44
2.2.4.2. Κυκλοφοριακή Ικανότητα και Καθυστερήσεις	51
2.2.4.3. Κόστη	52
2.2.4.4. Περιβάλλον	53
2.2.4.5. Παρατηρήσεις	53
2.3. Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι	55
2.3.1. Είδη Τυπικών Κυκλικών Κόμβων	55
2.3.1.1. Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου	55
2.3.1.2. Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας	59
2.3.1.3. Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων	66
2.3.2. Ειδικές Μορφές Κυκλικών Κόμβων	74
2.3.2.1. Σπειροειδείς Κόμβοι	74

2.3.2.2.	Κυκλικοί Κόμβοι με Αποκλειστικές Λωρίδες Δεξιών Στροφών ή Κυκλικοί Κόμβοι τύπου «Άνθος»	87
2.3.2.3.	«Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος	89
2.4.	Λεπτομερής Σχεδιασμός Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων	91
3.	Προδιαγραφές Σχεδιασμού Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων	93
3.1.	Εισαγωγή	93
3.2.	Πλαίσιο Οδηγιών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στις Η.Π.Α.	102
3.2.1.	Μέγεθος, Θέση και Διάταξη των προσβάσεων	102
3.2.1.1.	Εγγεγραμμένος Κύκλος	103
3.2.1.2.	Διάταξη των αξόνων των προσβάσεων	106
3.2.1.3.	Σχετική θέση και γωνία μεταξύ των αξόνων των προσβάσεων	109
3.2.2.	Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας	110
3.2.2.1.	Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες	110
3.2.2.2.	Πλάτος Εισόδου	113
3.2.2.3.	Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (μίας λωρίδας)	113
3.2.2.4.	Κυκλική Κεντρική Νησίδα	113
3.2.2.5.	Σχεδιασμός Εισόδου	114
3.2.2.6.	Σχεδιασμός Εξόδου	116
3.2.2.7.	Προσπελάσιμη περιμετρική ζώνη της κυκλικής κεντρικής νησίδας για βαρέα οχήματα	118
3.2.3.	Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων	120
3.2.3.1.	Αριθμός λωρίδων και διαρρύθμιση	121
3.2.3.2.	Πλάτος Εισόδου	121
3.2.3.3.	Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (δύο λωρίδων)	123
3.2.3.4.	Σχεδιασμός Εισόδου	124
3.2.3.5.	Σχεδιασμός Εξόδου	128
3.2.4.	Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου	130
3.2.4.1.	Κριτήρια Σχεδιασμού	131
3.2.4.2.	Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες	133
3.2.5.	Έλεγχος Λειτουργίας Κυκλικού Κόμβου	133
3.2.5.1.	Ταχύτερη Διαδρομή	133
3.2.5.2.	Μήκη Ορατότητας – Επαρκούς Εποπτείας	136

3.3. Πλαίσιο Κανονισμών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στη Μεγάλη Βρετανία	142
3.3.1. Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου	144
3.3.2. Κυκλικός Δακτύλιος (Κυκλική Διαδρομή)	145
3.3.3. Κυκλική Κεντρική Νησίδα	145
3.3.4. Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες	147
3.3.5. Είσοδοι Κυκλικών Κόμβων	148
3.3.6. Έξοδοι Κυκλικών Κόμβων	160
3.3.7. Άλλες Σημαντικές Παράμετροι Σχεδιασμού	162
3.3.7.1. Ορατότητα	162
3.3.7.2. Κατά Μήκος Κλίση και Επίκλιση Οδοστρώματος	169
3.4. Πλαίσιο Οδηγιών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στη Γερμανία	171
3.4.1. Ορισμός Βασικών Στοιχείων	171
3.4.2. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων	179
3.4.3. Εξωτερική Διάμετρος Κυκλικού Κόμβου	180
3.4.4. Κυκλικός Δακτύλιος (Κυκλική διαδρομή)	181
3.4.5. Είσοδος – Έξοδος Κυκλικού Κόμβου	182
3.4.6. Παρακαμπτήριες Λωρίδες Δεξιών Στροφών (Bypass)	185
3.4.7. Κατευθυντήριες – διαχωριστικές νησίδες και επιφάνειες αποκλεισμού	186
3.4.8. Κυκλική Κεντρική Νησίδα	189
3.4.9. Εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων	191
3.4.10. Παρατηρήσεις	192
3.5. Εφαρμογές στην Ελλάδα	194
4. Συγκριτική Ανάλυση Προδιαγραφών Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων	197
4.1. Διάκριση των ισόπεδων κυκλικών κόμβων	198
4.2. Βασικά Ζητήματα στον Σχεδιασμό Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων	200
4.3. Στοιχεία Σχεδιασμού Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων	203
5. Ανάπτυξη Λογισμικού για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου	215
5.1. Ανασκόπηση υφιστάμενων προγραμμάτων Η/Υ, ειδικευμένων στον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων	215

5.2.	Ανάπτυξη λογισμικού Η/Υ για τον σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας	219
6.	Συμπεράσματα και Προτάσεις	247
6.1.	Συμπεράσματα	247
6.2.	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	251
	Βιβλιογραφία	253

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Αναπόσπαστο τμήμα των μεταφορικών συστημάτων που εξυπηρετούν τις απαιτήσεις και ανάγκες για μεταφορές προσώπων και αγαθών είναι τα οδικά δίκτυα. Οι μείζονος κρισιμότητας θέσεις των οδικών δικτύων είναι αδιαμφισβήτητα οι κυκλοφοριακοί κόμβοι, ισόπεδοι και ανισόπεδοι. Κυρίαρχο κριτήριο στον σχεδιασμό τους για έναν Μελετητή είναι η ασφαλής, ταχεία και ομαλή διακίνηση των διάφορων κυκλοφοριακών ρευμάτων που διεκδικούν την προτεραιότητα στα σημεία αυτά. Υφίσταται μία σειρά λύσεων διαμόρφωσης τόσο ισόπεδων, αλλά και ανισόπεδων κυκλοφοριακών κόμβων που εξυπηρετούν τις εκάστοτε ανάγκες συναρτήσει φυσικά ενός κόστους, το οποίο αποτελεί καθοριστική παράμετρο για την υλοποίηση ή μη της προτεινόμενης κατασκευαστικής λύσης.

Είναι γεγονός πως στην Ελλάδα η ύπαρξη κυκλικών κόμβων είναι περιορισμένη με εξαίρεση κάποιες παρωχημένες κυκλικές διαμορφώσεις κυρίως στο πλαίσιο του αστικού ιστού, που όμως

διαφέρουν σημαντικά τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά από έναν κυκλικό κόμβο με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στοιχεία, όπως αυτά προσδιορίζονται με σαφήνεια στα επόμενα κεφάλαια, με κύριο την παραχώρηση προτεραιότητας στην κυκλοφορία της κυκλικής οδού. Στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας προτιμώνται συχνά λύσεις διαχείρισης της κυκλοφορίας σε διασταυρώσεις οδών είτε με σήμανση είτε με φωτεινή σηματοδότηση, οι οποίες αφενός δεν παρέχουν το βαθμό ασφάλειας ενός σύγχρονου ισόπεδου κυκλικού κόμβου και αφετέρου συχνά κοστίζουν σημαντικά περισσότερο τόσο όσον αφορά στην κατασκευή – εγκατάσταση όσο και στη συντήρησή τους.

1.2. Στόχοι Διπλωματικής Εργασίας

Στη Διπλωματική Εργασία καταβάλλεται μία προσπάθεια να καταστούν σαφή τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων ισόπεδων κυκλικών κόμβων και πόσο οι τελευταίοι πλεονεκτούν σημαντικά σε πολλά σημεία σε σχέση με άλλες ισόπεδες διαμορφώσεις, ιδιαίτερα σε επίπεδο ασφάλειας, αλλά και στη λειτουργικότητα, την κυκλοφοριακή ικανότητα και την εξυπηρέτηση που προσφέρουν στην κυκλοφορία με σαφώς μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις των οχημάτων στις προσβάσεις. Επιπρόσθετα, δεν πρέπει να υποτιμώνται τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπεμπόμενης ποσότητας καυσαερίων, σε μία εποχή που το κόστος των υγρών καυσίμων βαίνει αυξανόμενο, ενώ οι διεθνείς συμβάσεις επιβάλλουν όλο και χαμηλότερα όρια εκπομπής αερίων ρύπων.

Θεμελιώδη στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνιστά ο προσδιορισμός ενός οδηγού μελέτης και σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων βάσει διεθνών προτύπων. Για τον λόγο αυτό, παρατίθενται, αξιολογούνται και αναλύονται συγκριτικά, οι ισχύουσες προδιαγραφές σχεδιασμού σε Η.Π.Α., Μεγάλη Βρετανία και Γερμανία, ώστε σε τελικό στάδιο να **καταστεί εφικτή η ανάδειξη ενός πλαισίου προδιαγραφών, κατάλληλου να εφαρμοστεί στα οδικά δίκτυα της Ελλάδας.**

Τέλος θα αναπτυχθεί ένα **πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή** για τον σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας. Το πρόγραμμα θα δέχεται αριθμητικές τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων σχεδιασμού και θα «παράγει» την κάτοψη ενός τρισκελούς, τετρασκελούς ή και πεντασκελούς κυκλικού κόμβου, σύμφωνα με τα προεπιλεγέντα σχεδιαστικά πρότυπα, σε περιβάλλον CAD (Computer Aided Design).

1.3. Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στο **δεύτερο κεφάλαιο της Δ.Ε. (Βιβλιογραφική Ανασκόπηση)** παρουσιάζονται βασικές έννοιες που αφορούν σε ισόπεδους και ανισόπεδους κυκλοφοριακούς κόμβους και στις αρχές που διέπουν τον σχεδιασμό τους γενικά. Στη συνέχεια ορίζεται με σαφήνεια η έννοια του σύγχρονου ισόπεδου κυκλικού κυκλοφοριακού κόμβου και παρατίθενται συνοπτικά τα σημεία στα οποία αυτός διαφέρει από παλαιότερες και πλέον αναχρονιστικές κυκλικές διαμορφώσεις, ώστε να μην υφίσταται θέμα σύγχυσης, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, όπου η κατασκευή κυκλικών κόμβων βρίσκεται σε αρχικό στάδιο.

Επίσης, πραγματοποιείται μία σύντομη ιστορική ανασκόπηση στην εξέλιξη των κυκλικών κόμβων διεθνώς, που οδήγησε στην τελική σημερινή μορφή τους. Παρατίθενται επίσης με λεπτομέρεια τα σημεία διάκρισης, τόσο κατασκευαστικά όσο και λειτουργικά, παλαιότερων κυκλικών διαμορφώσεων και σύγχρονων κυκλικών κόμβων. Εν συνεχεία αναλύονται κάποια θεμελιώδη πλεονεκτήματα των τελευταίων έναντι των πρώτων με έμφαση στο θέμα της ασφάλειας των χρηστών αλλά και της κυκλοφοριακής ικανότητας, του κόστους και των περιβαλλοντικών – ατμοσφαιρικών οφελών που οι τελευταίοι συνεπάγονται. Πραγματοποιείται επίσης μία αναφορά στη διαμόρφωση ποδηλατοδρόμων και διαβάσεων πεζών και πως αυτοί-ές εντάσσονται σε έναν κυκλικό κόμβο.

Στο ίδιο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των τυπικών ισόπεδων κυκλικών κόμβων ως προς τη χωρητικότητά τους, την κυκλοφοριακή

τους ικανότητα, τους δείκτες οδικών ατυχημάτων και τη σοβαρότητά τους, ενώ δίνεται προσοχή και σε πρόσθετες διαμορφώσεις που καθοριστικά επηρεάζουν την εξυπηρέτηση τόσο των οχημάτων όσο και άλλων χρηστών. Εν συνεχεία παρουσιάζονται κάποιες ιδιαίτερες μορφές ισόπεδων κυκλοειδών κόμβων, όπως οι σπειροειδείς κόμβοι (turbo roundabouts), οι οποίοι μάλιστα τυγχάνουν ευρύτατης αποδοχής σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις για λόγους που αναφέρονται.

Στο **τρίτο κεφάλαιο (Προδιαγραφές Σχεδιασμού Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων)** πραγματοποιείται λεπτομερής αναφορά στο γεωμετρικό σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων, στις παραμέτρους που το πλαίσιο κάθε χώρας εκ των Η.Π.Α., Μεγάλης Βρετανίας και Γερμανίας επιβάλλει και στις συνιστώσες που διαμορφώνουν τις παραμέτρους αυτές, όπως η κυκλοφοριακή ικανότητα, το όχημα σχεδιασμού, η ορατότητα κ.ά. Επίσης, προτείνεται το καταλληλότερο πλαίσιο προδιαγραφών γεωμετρικού σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων το οποίο κρίνεται δόκιμο να εφαρμοσθεί στην Ελλάδα, βάσει της ανάλυσης που προηγήθηκε.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο (Συγκριτική Ανάλυση Προδιαγραφών Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων)** πραγματοποιείται μία σύγκριση των παραμέτρων σχεδιασμού κυκλικών κόμβων όπως αυτές καθορίζονται από τα πλαίσια προδιαγραφών της Μ. Βρετανίας, των Η.Π.Α. και της Γερμανίας και επισημαίνονται σημαντικά σημεία απόκλισης και σύγκλισης μεταξύ τους.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο (Ανάπτυξη Λογισμικού για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου)** παρουσιάζεται η πορεία που ακολουθήθηκε προκειμένου να καταστεί εφικτή η δημιουργία ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο θα δέχεται αριθμητικές τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων της χάραξης ενός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας και θα «παράγει» την κάτοψη ενός τέτοιου κόμβου σε περιβάλλον CAD, ο οποίος θα πληροί τις επιλεγείσες προδιαγραφές σχεδιασμού. Παρουσιάζονται όλες οι αναλυτικές γεωμετρικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να καταρτιστεί ο αλγόριθμος του προγράμματος, καθώς και η λογική σύμφωνα με την οποία δημιουργήθηκε το πρόγραμμα.

Στο **έκτο κεφάλαιο (Συμπεράσματα και Προτάσεις)** αναφέρονται όλα εκείνα τα συμπεράσματα που συνάγονται από την παρούσα διπλωματική εργασία, βάσει της ανάλυσης και της σύγκρισης των εθνικών προδιαγραφών σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων, αλλά και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που προηγήθηκαν. Επιπρόσθετα, τίθενται κάποια θέματα, τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης σε πιθανές μελλοντικές εργασίες.

Στη **Βιβλιογραφία** παρουσιάζονται όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές της διπλωματικής εργασίας.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Κυκλοφοριακοί Κόμβοι

Τα οδικά δίκτυα συντίθενται από οδικούς άξονες (οδούς) και κυκλοφοριακούς κόμβους. Οι **κυκλοφοριακοί κόμβοι** είναι οι κρίσιμες εκείνες θέσεις των οδικών δικτύων, όπου συναντώνται – συνδέονται δύο ή περισσότερες οδοί. Στόχο ενός Μελετητή Μηχανικού αποτελεί η άνετη, ταχεία και πρωτίστως ασφαλής κυκλοφορία των οχημάτων που κινούνται στην περιοχή του κόμβου, είτε αστική είτε υπεραστική.

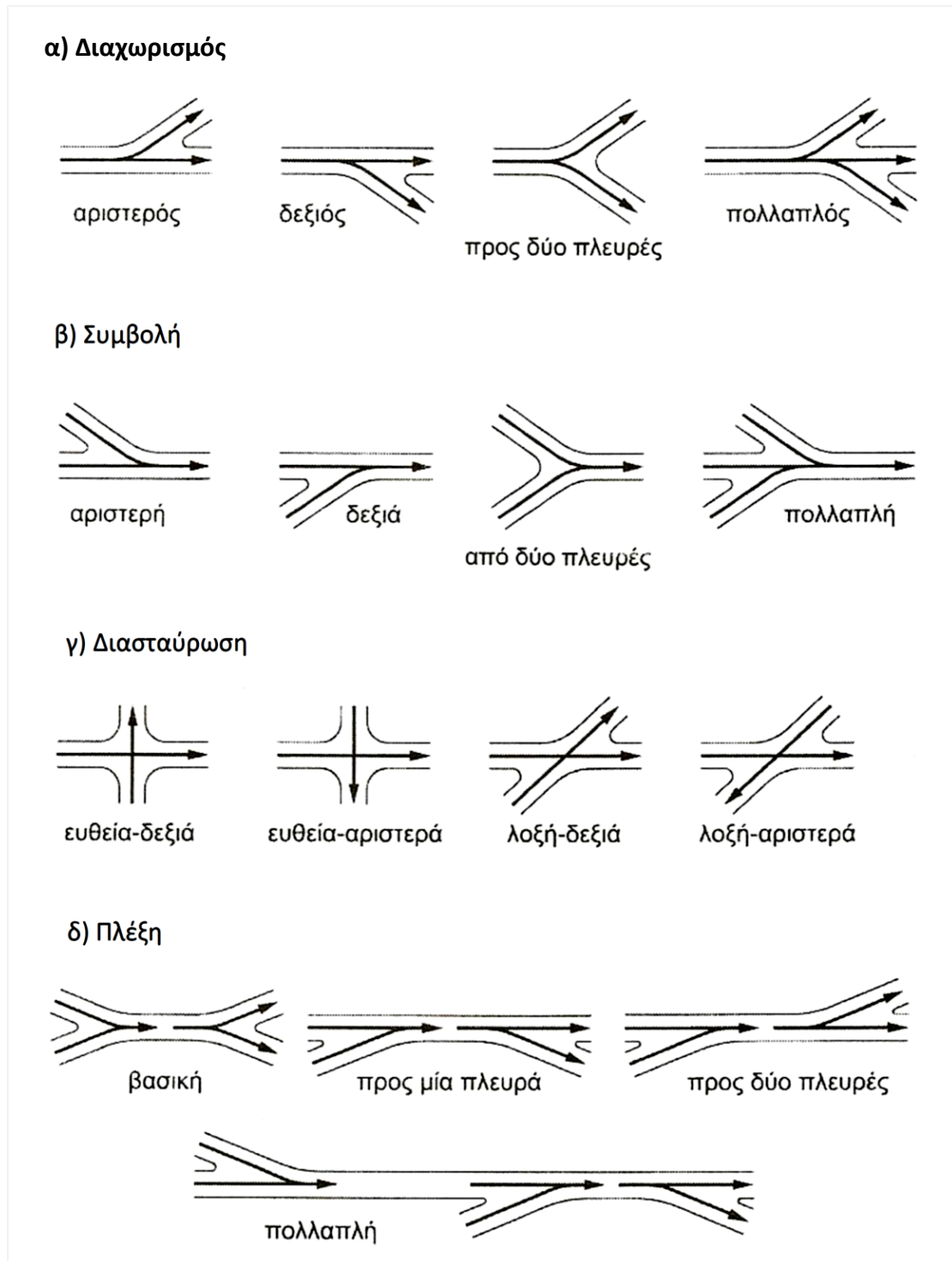
Υφίσταται μία σαφής διάκριση των ποικίλων μορφών κόμβων που υιοθετούνται. Ειδικότερα, αν η συνάντηση – σύνδεση των οδών πραγματοποιείται στο ίδιο επίπεδο, χρησιμοποιείται ο όρος **ισόπεδος κόμβος** (at grade intersection), που περιλαμβάνει και τις διαμορφώσεις – εξοπλισμό των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας, ενώ για την περιοχή όπου η σύνδεση των οδών πραγματοποιείται σε διαφορετικά επίπεδα (με μεταξύ τους σύνδεση), χρησιμοποιείται ο όρος **ανισόπεδος κόμβος** (interchange), που περιλαμβάνει επίσης τα έργα υψομετρικού διαχωρισμού, τους οδικούς

κλάδους σύνδεσης (ράμπες) και τις διαμορφώσεις – εξοπλισμό του παρόδιου χώρου. Επισημαίνεται πως στην περίπτωση μη – σύνδεσης των οδών που διασταυρώνονται, έχουμε απλή ανισόπεδη διασταύρωση (two – level crossing) και όχι ανισόπεδο κόμβο (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986).

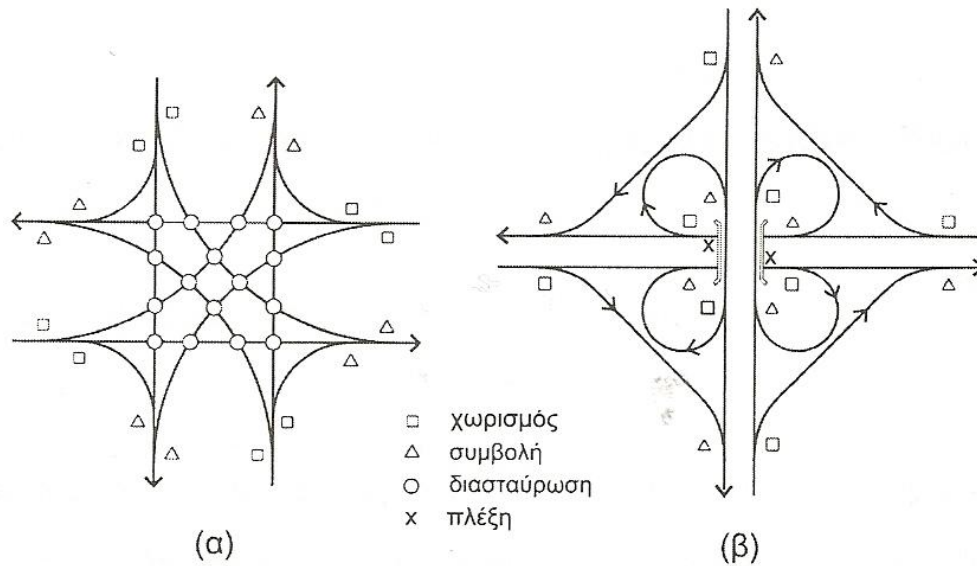
2.1.1. Ελιγμοί και Σημεία Εμπλοκής

Βασικό στοιχείο κάθε κόμβου αποτελούν οι χώροι ελιγμών στα σημεία συνάντησης των κυκλοφοριακών ρευμάτων, γνωστά και ως **σημεία εμπλοκής** (conflict points). Διακρίνονται τρεις κύριες **μορφές ελιγμών**: α) ο **διαχωρισμός** ή μερισμός (diverging), β) η **συμβολή** (merging), γ) η **διασταύρωση** (crossing). Όταν δε, ένας ελιγμός συμβολής δύο ρευμάτων ακολουθείται σε μικρή απόσταση από έναν ελιγμό μερισμού δημιουργείται ένας σύνθετος ελιγμός, γνωστός ως **πλέξη** (weaving) (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).

Εξ' ορισμού προκύπτει πως όσο αυξάνεται ο αριθμός των σκελών ενός κόμβου, αυξάνεται και μάλιστα εκθετικά ο αριθμός των σημείων εμπλοκής των κυκλοφοριακών ρευμάτων, πόσω μάλλον όταν ορισμένα ή όλα τα σκέλη είναι διπλής κατεύθυνσης ή/και έχουν πλέον της μίας λωρίδες.



Σχήμα 2.1. Τύποι Ελιγμών (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).



Σχήμα 2.2. Ελιγμοί σε: α) ισόπεδο τετρασκελή κόμβο και β) ανισόπεδο κόμβο μορφής πλήρους τετράφυλλο (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).

Η επιλογή της κατάλληλης μορφής κόμβου (ισόπεδου ή ανισόπεδου) πραγματοποιείται βάσει μίας τεχνικοοικονομικής φύσης έρευνας – σύγκρισης μεταξύ διάφορων λύσεων ισόπεδων και ανισόπεδων κόμβων. Βασικές παράμετροι αυτής της σύγκρισης είναι:

- Κατηγορίες Διασταυρούμενων Οδών (Κύρια ή Δευτερεύουσα Αρτηρία, Συλλεκτήρια Οδός, Τοπική Οδός).
- Έλεγχος των Προσβάσεων (Πλήρης ή όχι)
- Κυκλοφοριακοί Φόρτοι (Σύνθεση και Διακύμανση)
- Εξάλειψη Επικίνδυνων Σημείων
- Τοπογραφία και διαθέσιμη επιφάνεια γης
- Οφέλη για τους χρήστες
(Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986)

2.1.2. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού και Διαμόρφωσης Κόμβων

(Κανελλαΐδης κ.ά., 2008)

Οι κόμβοι αποτελούν σημαντικό μέρος ενός οδικού δικτύου επειδή, σε μεγάλο βαθμό, η ασφάλεια, η ταχύτητα, το κόστος λειτουργίας και η κυκλοφοριακή ικανότητα στο οδικό δίκτυο εξαρτώνται από την ποιότητα λειτουργίας των κόμβων του. Για τον λόγο αυτό, κατά τη διαμόρφωση των κόμβων πρέπει να εξασφαλίζονται:

- Ασφάλεια της κυκλοφορίας.
- Επαρκής κυκλοφοριακή ικανότητα.
- Αποδεκτό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.
- Ικανοποιητική προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο.

Η **ασφάλεια της κυκλοφορίας** στον κόμβο εξαρτάται από την:

- Εγκαιρη αναγνώριση από όλες τις προσβάσεις του, ώστε οι οδηγοί να πραγματοποιήσουν εγκαίρως τους απαιτούμενους ελιγμούς (ένταξη στην κατάλληλη λωρίδα, τροχοπέδηση, στροφές εισόδου/εξόδου, διασταυρώσεις κτλ.)
- Επαρκή εποπτεία ώστε οι υποχρεούμενοι να περιμένουν κατά την προσέγγιση στον κόμβο να μπορούν εγκαίρως να βλέπουν εκείνους που έχουν προτεραιότητα κίνησης.
- Καταληπτή λειτουργία ώστε να γίνονται ευχερώς αντιληπτά από τους χρήστες οι θέσεις εισόδων/εξόδων, η προτεραιότητα κτλ.
- Κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να κινούνται ασφαλώς τα οχήματα και οι χρήστες (κατάλληλα πλάτη λωρίδων, επαρκείς ακτίνες στροφών, σωστή υψομετρική διαμόρφωση, ασφαλείς διαβάσεις πεζών κτλ.)

Η **κυκλοφοριακή ικανότητα** ενός κόμβου εξαρτάται από τη διευθέτηση της κίνησης όλων των κυκλοφοριακών ρευμάτων, ώστε να μη προκύπτουν υπερβολικά χρονικά διαστήματα αναμονής για κανένα από αυτά.

Το **κόστος κατασκευής και λειτουργίας** θεωρείται αποδεκτό όταν, για δεδομένο επίπεδο ασφάλειας, κυκλοφοριακής ικανότητας, και

προσαρμογής στον περιβάλλοντα χώρο, το σύνολο των δαπανών κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης είναι ελάχιστο.

Η **προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο** ενός κόμβου θεωρείται ικανοποιητική όταν οι επιβαρύνσεις στο περιβάλλον της περιοχής του κόμβου (ηχορρύπανση, ατμοσφαιρική ρύπανση από εκπομπές αερίων, παρεμπόδιση της υφιστάμενης χρήσης γης, οπτική παρείδυση, απορροή ομβρίων υδάτων) παραμένουν κάτω από τα επιτρεπτά όρια.

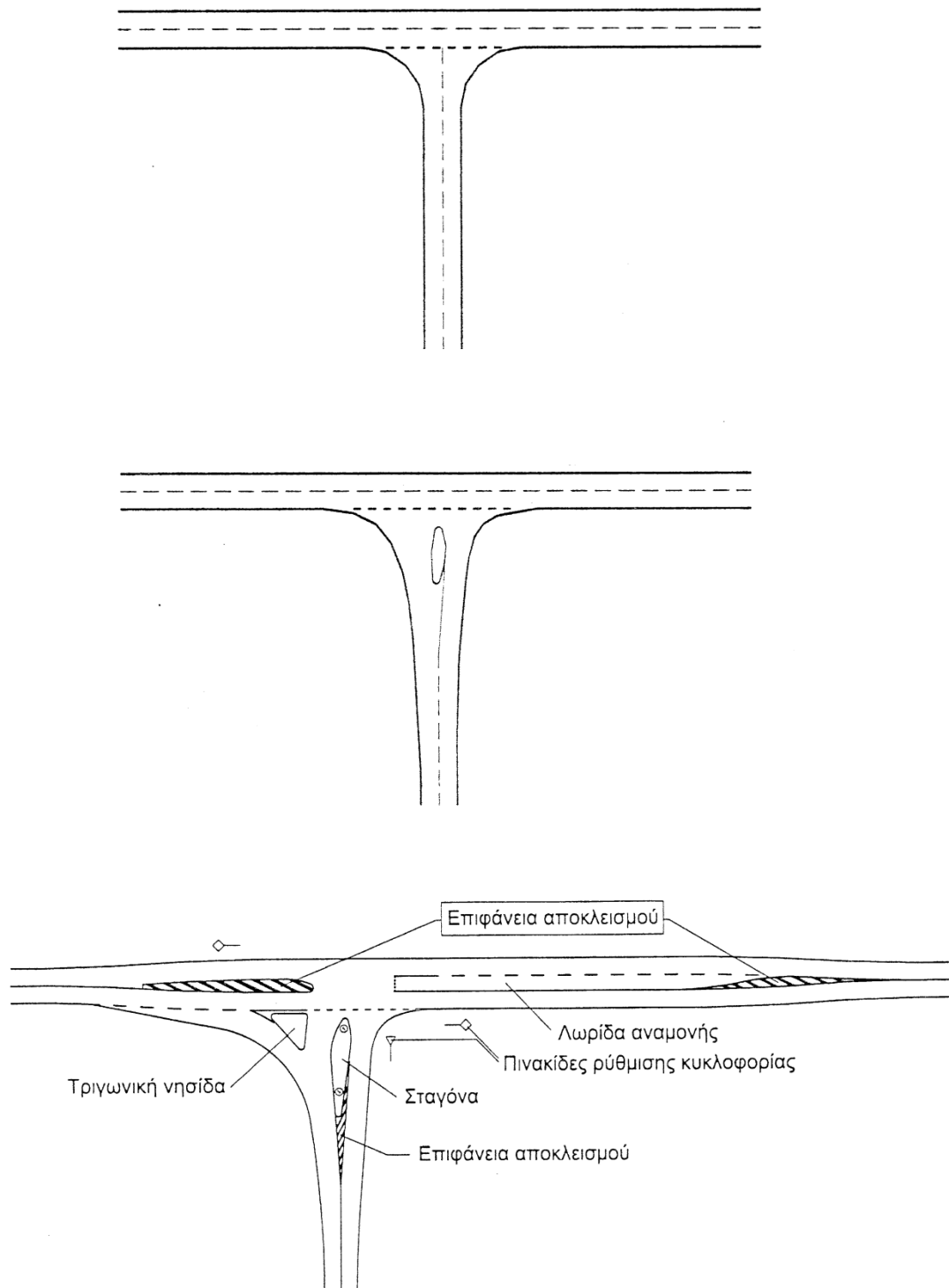
2.1.3. Ισόπεδοι Κόμβοι

Οι ισόπεδοι κόμβοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

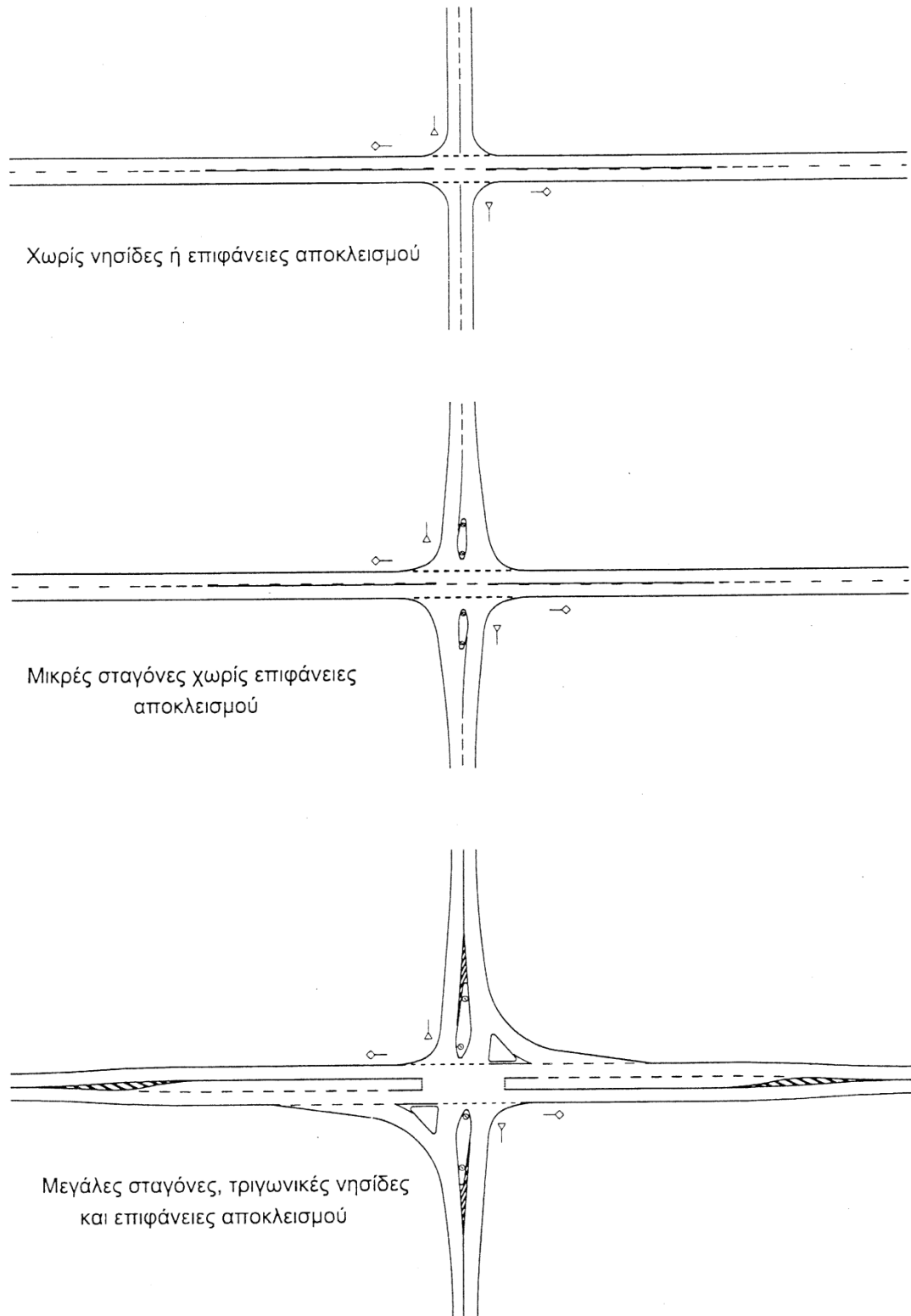
- τον αριθμό των σκελών τους: τριών σκελών, τεσσάρων σκελών, πολυσκελείς
- τη γωνία συνάντησης των σκελών: κόμβοι κατ' ορθή γωνία ή λοξοί
- τη μορφή τους: ταύ (T), ύψιλον (Y) κτλ.
- τον τρόπο διαμόρφωσής τους: με ή χωρίς διοχετευτικές νησίδες
- τον τρόπο ρύθμισης της κυκλοφορίας: σηματοδοτούμενοι ή όχι, με ή χωρίς σήμανση κτλ.

(Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986)

Σημαντικό στοιχείο στη διαμόρφωση των ισόπεδων κόμβων αποτελεί ο βαθμός **διοχετευτικής διαρρύθμισης** (channelization). Με βάση το στοιχείο αυτό οι κόμβοι διακρίνονται σε απλούς, δηλαδή χωρίς διοχετευτική διαρρύθμιση, και σε κόμβους με μερική ή πλήρη διοχετευτική διαρρύθμιση. Η διοχέτευση της κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με νησίδες που διαχωρίζουν και κατευθύνουν τα κυκλοφοριακά ρεύματα ή δημιουργούν χώρους αναμονής (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986). Στα Σχήματα 2.3 και 2.4 παρουσιάζονται διάφορες τυπικές διαμορφώσεις ισόπεδων κόμβων από την απλή μορφή, χωρίς διοχέτευση της κυκλοφορίας, μέχρι την πιο πλήρη μορφή διοχετευτικής διαρρύθμισης.



Σχήμα 2.3. Τρισκελής Κόμβος α) Χωρίς νησίδες ή επιφάνειες αποκλεισμού, β) Με μικρές σταγόνες χωρίς επιφάνειες αποκλεισμού, γ) Με μεγάλη σταγόνα, τριγωνική νησίδα και επιφάνειες αποκλεισμού (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).



Σχήμα 2.4. Τετρασκελής Κόμβος α) Χωρίς νησίδες ή επιφάνειες αποκλεισμού, β) Με μικρές σταγόνες χωρίς επιφάνειες αποκλεισμού, γ) Με μεγάλες σταγόνες, τριγωνικές νησίδες και επιφάνειες αποκλεισμού (Κανελλαΐδης κ.ά., 2008).

Διακρίνονται τα παρακάτω κύρια **στοιχεία διοχετευτικής διαρρύθμισης:**

- *Διαχωριστικές νησίδες:* Τοποθετούνται συνήθως μεταξύ των λωρίδων κυκλοφορίας των κατευθειών ρευμάτων για να διαχωρίσουν τις κινήσεις αντίθετης φοράς. Κανονικά πρέπει να κατασκευάζονται σε ολόκληρο το μήκος μιας αρτηρίας. Διακόπτονται στις περιοχές των κόμβων και τα άκρα τους διαμορφώνονται κατάλληλα για τη διευκόλυνση των κινήσεων των στροφών. Σε ειδικές περιπτώσεις οι διαχωριστικές νησίδες είναι δυνατό να κατασκευάζονται μόνο στην περιοχή του κόμβου. Ανάλογα με το πλάτος τους διακρίνονται σε: α) Περιορισμένου Πλάτους (περί το 1.0m), β) Μέσου Πλάτους (4.0m – 8.0m) γ) Μεγάλου Πλάτους (>8.0m).
- *Λωρίδες Αναμονής για Αριστερές Στροφές:* Όπου το πλάτος της μεσαίας διαχωριστικής νησίδας το επιτρέπει, επιβάλλεται η κατασκευή ειδικών λωρίδων αναμονής πλάτους 3.0m - 3.5m για τα οχήματα που στρέφουν αριστερά, ώστε αυτά να μην παρεμποδίζουν την κατευθείαν κίνηση.
- *Λωρίδες Επιτάχυνσης για Αριστερές Στροφές:* Όπου το πλάτος της μεσαίας νησίδας το επιτρέπει, είναι δυνατή η δημιουργία ειδικής λωρίδας για τα οχήματα που εισέρχονται σε μια αρτηρία αφού στρέψουν αριστερά. Κινούμενα στη λωρίδα αυτή, τα εισερχόμενα οχήματα επιταχύνουν την κίνησή τους και διευκολύνονται έτσι να μπουν στο ρεύμα της κατευθείαν κυκλοφορίας. Λωρίδες επιτάχυνσης χρησιμοποιούνται συνήθως σε διασταυρώσεις μορφής T. Σε διασταυρώσεις 4 σκελών η δημιουργία λωρίδων επιτάχυνσης για αριστερές στροφές δεν συνηθίζεται γιατί απαιτεί αύξηση του πλάτους της μεσαίας διαχωριστικής νησίδας κατά 3.0m - 3.5m πέρα από εκείνη που απαιτείται για τη δημιουργία λωρίδων αναμονής για αριστερές στροφές.
- *Κατευθυντήριες Νησίδες:* Είναι συνήθως τριγωνικής μορφής και αποσκοπούν στον σαφέστερο καθορισμό της κατεύθυνσης για τα οχήματα που στρέφουν. Οι κατευθυντήριες νησίδες για δεξιές στροφές πρέπει να προβλέπονται κυρίως όταν δημιουργούνται μεγάλες επιφάνειες διασταύρωσης, από τη χρησιμοποίηση μεγάλων

ακτίνων στροφής σε διασταυρώσεις κυρίων αρτηριών, ή από τη λοξή συμβολή των διασταυρούμενων οδών. Τριγωνικής μορφής κατευθυντήριες νησίδες για αριστερές στροφές χρησιμοποιούνται συνήθως στις διασταυρώσεις μορφής T. (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986)

2.1.4. Ανισόπεδοι Κόμβοι

Οι ανισόπεδοι κόμβοι προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και κυκλοφοριακή ικανότητα με την εξάλειψη όλων ή των πιο σημαντικών ισόπεδων διασταυρώσεων ρευμάτων και την αντικατάστασή τους με ανισόπεδες διασταυρώσεις δύο ή περισσότερων επιπέδων που συνδέονται μεταξύ τους με κλάδους γνωστούς και ως ράμπες (ramps).

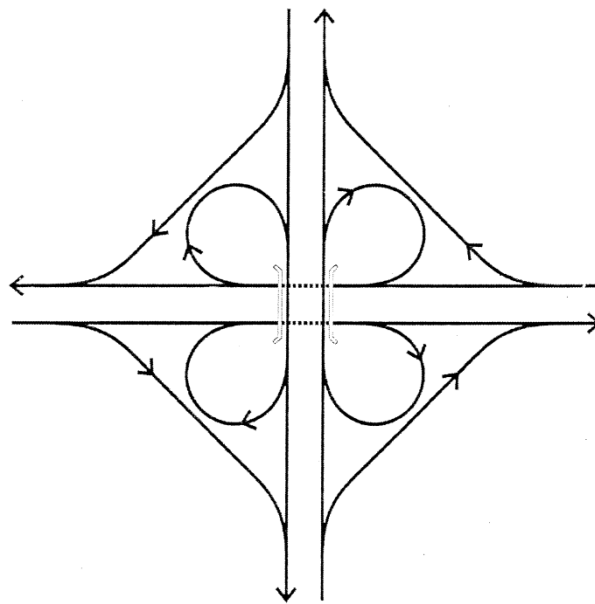
Στις ράμπες, ανάλογα με τη μορφή και τον τρόπο σύνδεσης των σκελών του ανισόπεδου κόμβου διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι:

- *Κατ' ευθεία σύνδεση* (Direct Connection). Χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα για δεξιές στροφές, ενώ θεωρείται μειονεκτική για αριστερές στροφές.
- *Σύνδεση με αναστροφή – Βρόχος* (Loop). Χρησιμοποιείται συνήθως για εξυπηρέτηση αριστερών στροφών.
- *Σύνδεση ενδιάμεσης μορφής* (Semi-direct Connection). Επίσης χρησιμοποιείται συνήθως για εξυπηρέτηση αριστερών στροφών. (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986)

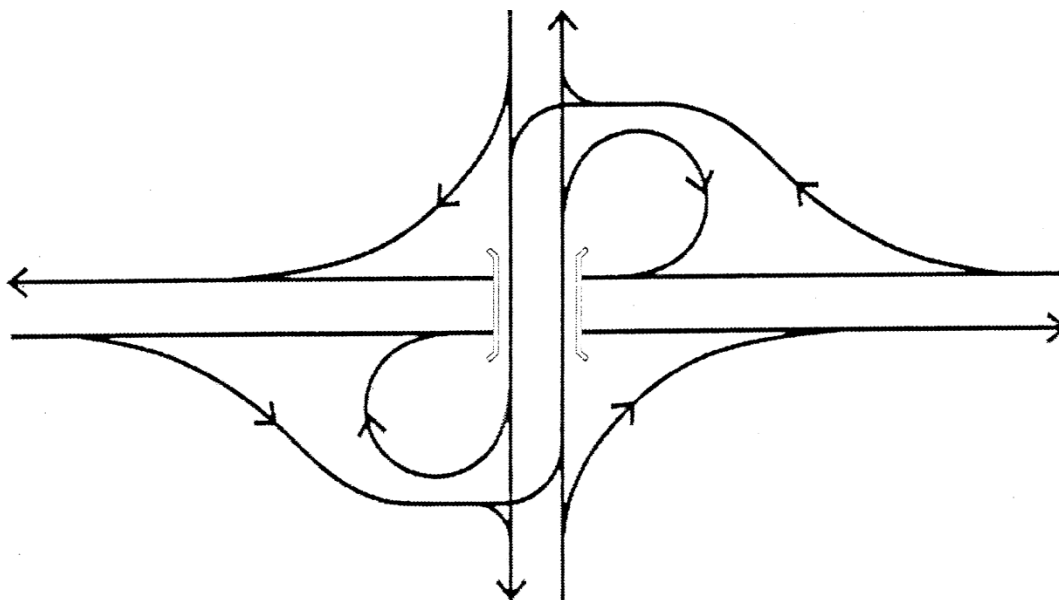
Τύποι Ανισόπεδων Κόμβων

Οι ανισόπεδοι κόμβοι χαρακτηρίζονται συνήθως από:

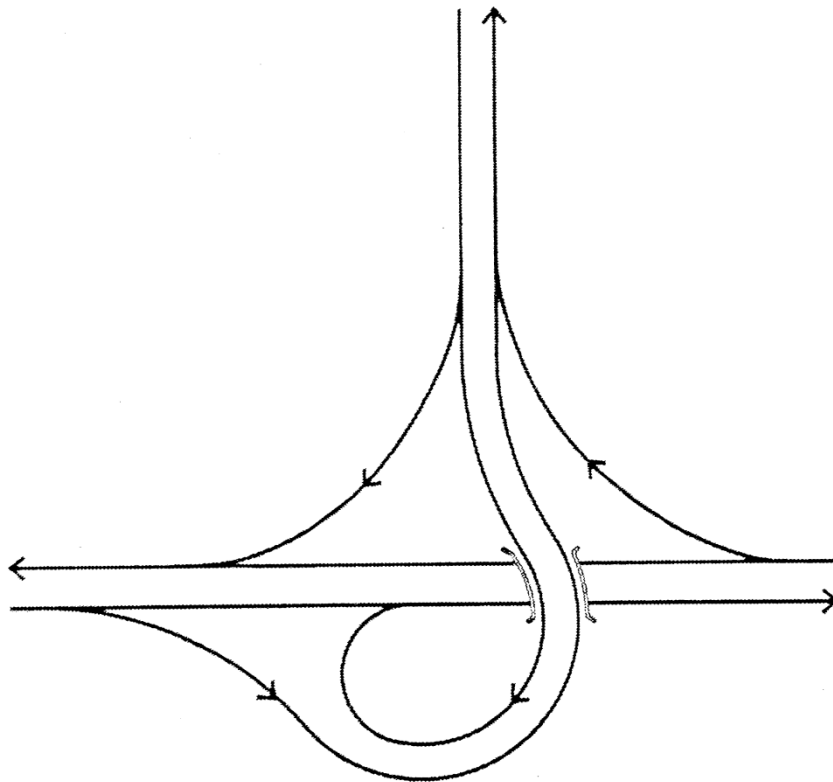
- Τον αριθμό των σκελών τους: Τρισκελείς (π.χ. Σάλπιγγα), Τετρασκελείς (π.χ. Ρόμβος, Τετράφυλλο (πλήρες ή μερικό), Κατευθυντήριοι), Πολυσκελείς.
- Τη μορφή τους: Πλήρες Τετράφυλλο (Clover Leaf), Μερικό Τετράφυλλο (Partial Clover Leaf - Parclo), Ρόμβος (Diamond), Σάλπιγγα ή Τρομπέτα (Trumpet).
- Τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων τεχνικών έργων: ένα ή περισσότερα τεχνικά έργα.



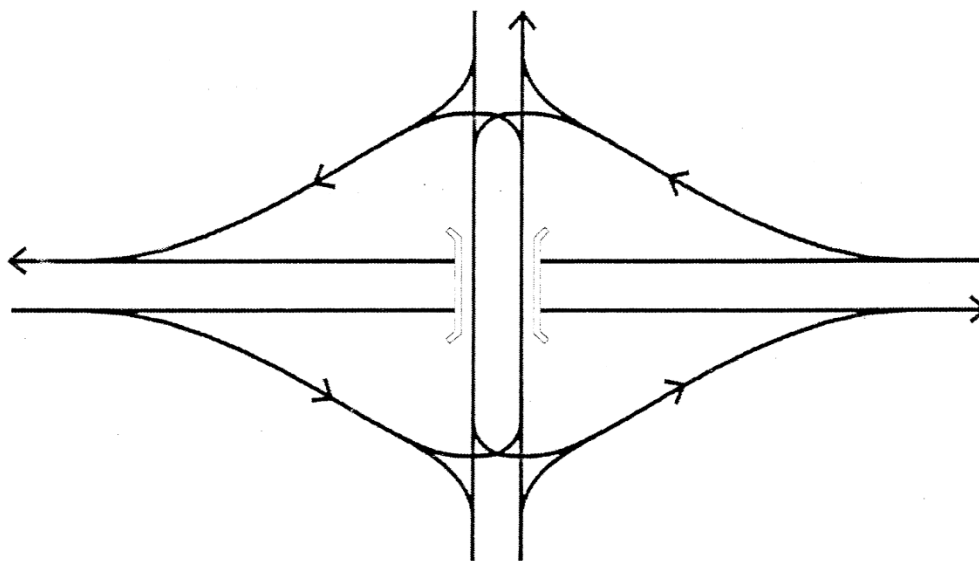
Σχήμα 2.5. Ανισόπεδος Κόμβος μορφής Πλήρους Τετράφυλλου (Clover Leaf)
(Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>)



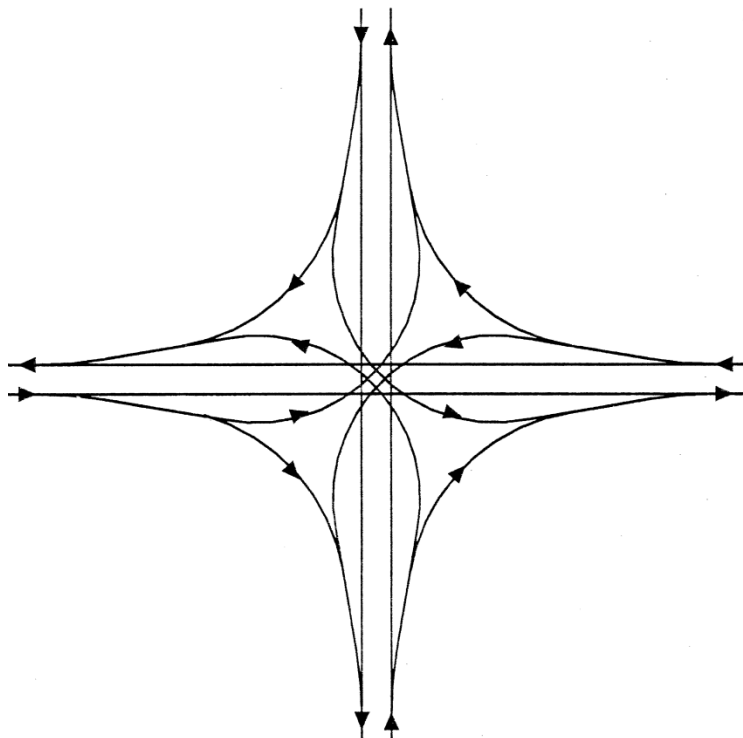
Σχήμα 2.6. Ανισόπεδος Κόμβος μορφής Μερικού Τετράφυλλου (Partial Clover Leaf)
 (Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>)



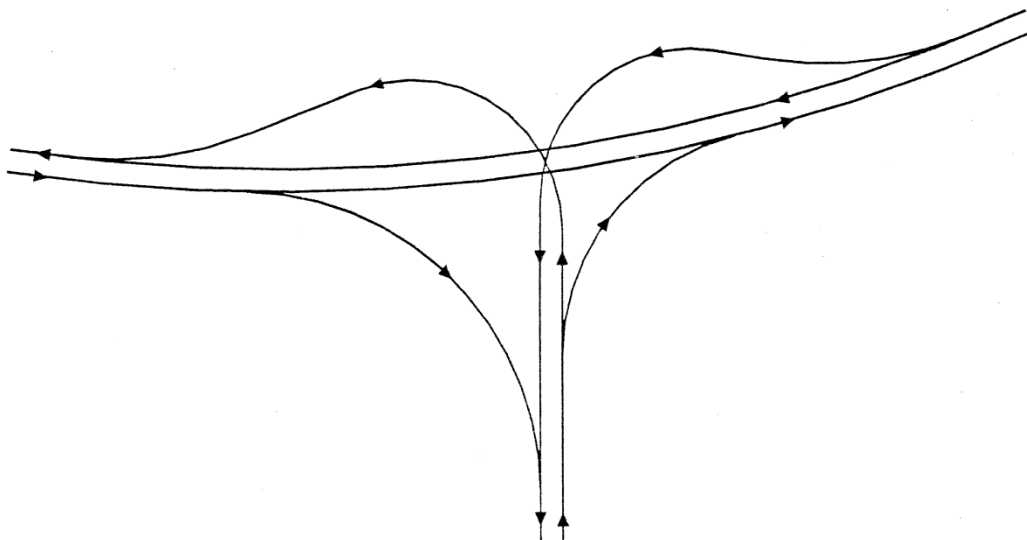
Σχήμα 2.7. Ανισόπεδος Κόμβος μορφής Σάλπιγγας (δεξιάς)
(Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>).



Σχήμα 2.8. Ανισόπεδος Κόμβος μορφής Ρόμβου (Diamond)
 (Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>).



Σχήμα 2.9. Ανισόπεδος Τετρασκελής Κόμβος, Πλήρως Κατευθυντήριος (Fully-Directional) (Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>).



Σχήμα 2.10. Ανισόπεδος Τρισκελής Κόμβος, Κατευθυντήριος (Directional)
(Φωτογραφία και Λειτουργικό Σκαρίφημα) (<http://www.fhwa.dot.gov/>).

2.1.5. Κυκλικοί Κόμβοι

Οι κυκλικοί κόμβοι αποτελούν ειδική μορφή κόμβων κατά την οποία τα οχήματα κινούνται συνεχώς κατά φορά αντίθετη προς εκείνη των ωρολογιακών δεικτών (όπου, φυσικά, η κίνηση της κυκλοφορίας πραγματοποιείται από τη δεξιά πλευρά, όπως στην Ελλάδα), γύρω από μία κεντρική νησίδα, συνηθέστατα κυκλική. Στους κυκλικούς κόμβους όλες οι διασταυρώσεις κυκλοφοριακών ρευμάτων μετατρέπονται σε διαδοχικούς ελιγμούς συμβολής και διαχωρισμού. Τοιουτοτρόπως αποφεύγεται η διασταύρωση, αλλά δημιουργείται περιοχή πολλαπλής πλέξης (Φραντζεσκάκης & Γιαννόπουλος, 1986). Υπάρχουν τόσο ισόπεδοι όσο και ανισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι, με τους τελευταίους να μην τυγχάνουν τόσο ευρείας αποδοχής και εφαρμογής, όσο τουλάχιστον οι πρώτοι. Επισημαίνεται πως σε ισόπεδους κυκλικούς κόμβους ενίοτε είναι δυνατό, ανάλογα πάντα με τις εκάστοτε κυκλοφοριακές συνθήκες, να εφαρμόζεται φωτεινή σηματοδότηση (The Highways Agency et al., 2007).

Στοιχείο αναφοράς των κυκλικών κόμβων είναι η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου (ή εξωτερική διάμετρος): Πρόκειται για τη διάμετρο του κύκλου ο οποίος αποτελεί το εξωτερικό όριο της κυκλικής δακτυλιοειδούς επιφάνειας του οδοστρώματος του κόμβου που περιβάλλει την κεντρική νησίδα.

Ο κυκλικός κόμβος είναι ένα είδος κυκλικής διασταύρωσης, όμως **δεν είναι ορθό να λογίζονται όλες οι κυκλικές διασταυρώσεις ως κυκλικοί κόμβοι**. Καθίσταται μείζονος σημασίας η σαφής διάκριση των σύγχρονων κυκλικών κόμβων από παλαιότερου τύπου κυκλικές διασταυρώσεις:

Περιστροφικές Κυκλοφοριακές Διαμορφώσεις (Rotaries): Πρόκειται για παλαιές κυκλικές διαμορφώσεις με συχνή εφαρμογή ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. μέχρι τη δεκαετία του 1960, αλλά και σε ευρωπαϊκές πόλεις. Χαρακτηριστικό τους αποτελεί η πολύ μεγάλη διάμετρος τους που ξεπερνούσε σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και τα 100m, γεγονός που επέτρεπε τη διατήρηση υψηλών ταχυτήτων (>50km/h), ενώ συχνό φαινόμενο αποτελούσαν οι προσπεράσεις

οχημάτων, αφού η κίνηση εντός του κυκλικού δακτυλίου πραγματοποιούνται σε δύο ή περισσότερες λωρίδες, καθώς και τα οδικά ατυχήματα, τα οποία σε ένα σημαντικά μεγάλο βαθμό οφείλονταν και στο ότι οι περισσότερες περιστροφικές διασταυρώσεις λειτουργούσαν σύμφωνα με τον κανόνα της **Δεξιάς Προτεραιότητας (yield to the right)**, δηλαδή τα οχήματα που κινούνταν εντός της διασταύρωσης, στον κυκλικό δακτύλιο, έπρεπε να διακόπτουν την κίνησή τους και να παραχωρούν την προτεραιότητα της κυκλοφορίας στα οχήματα που εισέρχονταν στην κυκλική οδό, γεγονός που είχε ως άμεσες συνέπειες αφ' ενός υψηλές ταχύτητες εισόδου των οχημάτων και αφ' ετέρου τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης στον κυκλικό δακτύλιο και κατ' επέκταση στις προσβάσεις, υποβαθμίζοντας τη στάθμη εξυπηρέτησης και τη λειτουργικότητα της διασταύρωσης. Στην πλειονότητα των διασταυρώσεων αυτού του είδους, στην κεντρική νησίδα φιλοξενούνταν μνημεία ή ακόμα και κτήρια (πχ. μικρά καταστήματα). Οι περιστροφικές διασταυρώσεις εγκαταλείφθηκαν κυρίως λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκαλούσαν, της περιορισμένης κυκλοφοριακής ικανότητάς τους, αλλά και λόγω των υψηλών δεικτών ατυχημάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Κυκλοφοριακοί Κύκλοι Γειτονιάς (Neighborhood Traffic Circles): Συνήθως κατασκευάζονται, ακόμα και σήμερα, σε θέσεις σύνδεσης τοπικών οδών εντός του πολεοδομικού ιστού, αποσκοπώντας στην ανακούφιση της πυκνής κυκλοφορίας στις γειτονιές, ενώ προτιμώνται και για λόγους αισθητικής, εύκολης προσαρμογής στο περιβάλλον και αποδοχής από τους κατοίκους. Η προτεραιότητα της κυκλοφορίας ρυθμίζεται είτε με σχετική σήμανση (πινακίδες STOP, παραχώρησης προτεραιότητας στην κυκλοφορία του κύκλου) και ανάλογη διαγράμμιση, είτε χωρίς, οπότε και ισχύει η Δεξιά Προτεραιότητα (yield to the right), δηλαδή τα οχήματα που κινούνται στην κυκλική οδό διακόπτουν την κίνησή τους υποχρεωτικά και παραχωρούν προτεραιότητα στα οχήματα που επιθυμούν να εισέλθουν στον κύκλο. Συνήθως οι κυκλοφοριακοί κύκλοι γειτονιάς δεν διαθέτουν κάποιας μορφής διοχετευτική διαρρύθμιση για την καθοδήγηση των οδηγών που τους προσεγγίζουν. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις δε, επιτρέπεται και η απευθείας αριστερή στροφή (NCHRP & FHWA, 2010).

Ιδιαίτερα στην **Ελλάδα** έχουν κατασκευαστεί στο παρελθόν πολλοί **Κυκλοφοριακοί Κύκλοι Γειτονιάς** με όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που τους καθιστούν αναποτελεσματικούς ως προς τη διαχείριση της κυκλοφορίας και κυρίως ως προς την ασφάλεια τόσο των επιβαινόντων σε οχήματα όσο και των πεζών και των ποδηλατών που κυκλοφορούν στην περιοχή του κόμβου και επιθυμούν να διασχίζουν εγκάρσια τις προσβάσεις του. Παρατηρείται το φαινόμενο λοιπόν της προτεραιότητας της δεξιάς κίνησης, δηλαδή τα οχήματα που κυκλοφορούν στον κυκλικό δακτύλιο υποχρεούνται να διακόπτουν την πορεία τους και να σταματούν όποτε κάποιο όχημα προσεγγίζει τη γραμμή εισόδου και επιθυμεί να εισέλθει στον κυκλικό δακτύλιο, παραχωρώντας του την προτεραιότητα. Οι πεζοί δεν διαθέτουν προτεραιότητα κίνησης και είναι αναγκασμένοι να αναμένουν μέχρι να δημιουργηθεί επαρκές χρονικό κενό στην κυκλοφορία της οδού που επιθυμούν να διαβούν και τότε να το πράξουν. Οι διαβάσεις δε, είναι τοποθετημένες ακριβώς στην είσοδο και όχι σε κάποια απόσταση από αυτή. Ένα επίσης επισφαλές για την κυκλοφορία φαινόμενο είναι αυτό της στάθμευσης οχημάτων εντός του κυκλικού δακτυλίου, καθώς υπάρχουν και πολλά εμπορικά καταστήματα περιφερειακά αυτού, τα οποία πέραν της αυξημένης κυκλοφορίας πεζών που προκαλούν στη στενή περιοχή του κόμβου αποκόπτουν τα απαιτούμενα πεδία ορατότητας για τους οδηγούς των οχημάτων. Στα σχήματα 2.11 και 2.12 παρουσιάζονται εικόνες κυκλοφοριακών κύκλων από τον δήμο της Ηλιούπολης (Αττική), μια περιοχή με πλειάδα τέτοιων «ατυχών» κυκλικών διαμορφώσεων, οι οποίες προκαλούν τόσο τη δυσaréσκεια των οδηγών, λόγω των πολλών εμπλοκών τους με άλλα οχήματα σε πολλά σημεία του κόμβου και των αυξημένων χρονοκαθυστερήσεων, όσο και την ανασφάλεια των πεζών.



Σχήμα 2.11. Είσοδος Κυκλοφοριακού Κύκλου Γειτονιάς στην Ηλιούπολη (Αττική).



Σχήμα 2.12. Κυκλοφορία στον κυκλικό δακτύλιο Κυκλοφοριακού Κύκλου Γειτονιάς στην Ηλιούπολη (Αττική).

Σύγχρονοι Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι ή απλά Κυκλικοί Κόμβοι (Modern Roundabouts or Roundabouts): Ορίζονται οι κόμβοι που έχουν κυκλική κεντρική νησίδα, η κίνηση της κυκλοφορίας πραγματοποιείται υποχρεωτικά περιμετρικά της νησίδας αυτής σε μία ή περισσότερες λωρίδες και η έξοδος από τον κυκλικό δακτύλιο πραγματοποιείται προς τα δεξιά. Διαθέτουν **πλήρη διοχετευτική διαρρύθμιση** (κατευθυντήριες νησίδες, επιφάνειες αποκλεισμού κ.λπ.), **σήμανση** και **σχετική διαμήκη και εγκάρσια διαγράμμιση**, καθοδηγώντας τις εισερχόμενες ροές κυκλοφορίας με σαφήνεια προς τη σωστή κατεύθυνση, ώστε να διασχίσουν και να εξέλθουν με ασφάλεια από τον κόμβο. **Προτεραιότητα στους κυκλικούς κόμβους έχει η κυκλοφορία εντός του κόμβου**, η οποία ακολουθεί την κυκλική διαδρομή αυτού, ενώ οι οδηγοί των εισερχόμενων οχημάτων υποχρεώνονται με ανάλογη σήμανση (πινακίδες P-1 (υποχρεωτικής παραχώρησης προτεραιότητας) ή/και P-2 (STOP – υποχρεωτικής διακοπής πορείας)) να παραχωρούν προτεραιότητα στην εντός του κόμβου κυκλική κίνηση. Ο γεωμετρικός σχεδιασμός αυτού του είδους των κόμβων πραγματοποιείται κατά τρόπο κατάλληλο ώστε η λειτουργική ταχύτητα του κόμβου να μην υπερβαίνει τα 50 km/h – 60km/h (NCHRP & FHWA, 2010 & The Highways Agency et al., 2007).

Από τα προαναφερθέντα καθίσταται απολύτως σαφές πως οι σύγχρονοι ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι – εφεξής αναφερόμενοι ως «Κυκλικοί Κόμβοι» ή “Roundabouts” – διαφέρουν τόσο μορφολογικά όσο και λειτουργικά από τις υπόλοιπες κυκλικές διασταυρώσεις παλαιότερου τύπου, όπως οι κυκλοφοριακοί κύκλοι γειτονιάς, που συναντούμε συχνά στην Ελλάδα, και οι οποίες εφεξής θα αναφέρονται ως «Κυκλοφοριακοί Κύκλοι» ή “Traffic Circles” (συμπεριλαμβανομένων τόσο των Κυκλοφοριακών Κύκλων Γειτονιάς (Neighborhood Traffic Circles), όσο και των Περιστροφικών Κυκλοφοριακών Διαμορφώσεων (Rotaries)) (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.13. Παλιός Κυκλοφοριακός Κύκλος στο Μόναχο (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.14. Σύγχρονος Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (Brilon, 2011).

2.2. Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων

2.2.1. Ιστορικά

Η κατασκευή του πρώτου πλήρους μορφής κυκλοφοριακού κύκλου παγκοσμίως τοποθετείται χρονικά το 1905, οπότε και ξεκίνησε η λειτουργία του «Κύκλου του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη και ο οποίος φιλοξενεί αντίστοιχο μνημείο προς τιμή του γνωστού εξερευνητή. Στην Ευρώπη, η Γαλλία πειραματίστηκε από το 1870 με κάποιους πρώιμης μορφής κυκλοφοριακούς κύκλους, όμως πρώτη κατασκευή, αναγνωρίσιμη ως κυκλοφοριακός κύκλος, αποτελεί η Place de l'Etoile η οποία λειτουργεί από το 1907 και ουσιαστικά «πλαisiώσε» την Αψίδα του Θριάμβου στο Παρίσι. Στη Μ. Βρετανία πρώτη αντίστοιχη κατασκευή εντοπίζεται το 1910 στην πόλη Letchworth, η οποία μάλιστα αρχικά προοριζόταν κυρίως για νησίδα πεζών (Brilon, 2011).

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.1, οι κυκλοφοριακοί κύκλοι που αναπτύχθηκαν μέχρι το 1955 απέτυχαν να εκπληρώσουν τους προσδοκώμενους σκοπούς, καθώς λόγω του σχεδιασμού, τόσο του γεωμετρικού (μεγάλη διάμετρος, ακόμα και >100m), όσο και του λειτουργικού (προτεραιότητα των εισερχόμενων οχημάτων), επήλθαν ως συνέπειες οι υψηλές ταχύτητες εισόδου και η διατήρηση υψηλών ταχυτήτων εντός του κύκλου, ενώ λόγω και των πολλών λωρίδων κυκλοφορίας του κυκλικού δακτυλίου, συχνό ήταν το φαινόμενο των ελιγμών ακόμα και των προσπεράσεων μεταξύ οχημάτων. Ως απόρροια αυτών, παρατηρούνταν αφενός υψηλοί δείκτες ατυχημάτων και αφετέρου υποβάθμιση της εξυπηρέτησης της κυκλοφορίας από τον κόμβο, λόγω της συμφόρησης που δημιουργούνταν, ιδιαίτερα στις περιόδους αιχμής. Μία ακόμη παράμετρος που κατέστησε παρωχημένους τους κυκλοφοριακούς κύκλους ήταν και η απρόβλεπτα μεγάλη αύξηση της χρήσης των Ι.Χ. αυτοκινήτων (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.15. Ο «Κύκλος του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη το 1905 (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.16. Ο «Κύκλος του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη το 2005 (κατόπιν ανακαίνισης) (Brilon, 2011).

Ο κυκλικός κόμβος (roundabout) στη σύγχρονη μορφή του αναπτύχθηκε στη Μ. Βρετανία τη δεκαετία του 1970 σε μία προσπάθεια να επιλυθεί το πρόβλημα των κυκλοφοριακών κύκλων (traffic circles) στις συγκοινωνίες. Το 1966 η χώρα υιοθέτησε και εφάρμοσε έναν απλό κανόνα σε όλες τις κυκλικές διασταυρώσεις, ο οποίος υπαγόρευε η εισερχόμενη κυκλοφοριακή ροή να παραχωρεί προτεραιότητα κίνησης στην κυκλοφορία του κυκλικού δακτυλίου εντός της διασταύρωσης. Ο κανόνας αυτός απέτρεπε τη συμφόρηση των οχημάτων εντός της κυκλικής διασταύρωσης αφού τα οχήματα

επιτρεπόταν να εισέλθουν στον κυκλικό δακτύλιο μόνο όταν υπήρχε επαρκής χρονικός διαχωρισμός στην κυκλοφορία σε αυτή. Επίσης οι Βρετανοί πρότειναν τον σχεδιασμό μικρότερης διαμέτρου κυκλικών κόμβων με κατάλληλη γεωμετρία για τη μείωση της λειτουργικής ταχύτητας σε αυτούς (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.17. Προτεραιότητα των εντός του κυκλικού κόμβου κινούμενων οχημάτων (Brilon, 2011).

Οι προαναφερθείσες αλλαγές βελτίωσαν το επίπεδο ασφάλειας των κυκλικών διασταυρώσεων μειώνοντας τόσο τον αριθμό όσο και τη σοβαρότητα των οδικών ατυχημάτων. Οι σύγχρονοι κυκλικοί κόμβοι απέχουν πολύ από τους αναχρονιστικούς κυκλοφοριακούς κύκλους όσον αφορά στη λειτουργικότητά τους και στη στάθμη εξυπηρέτησης της κυκλοφορίας αλλά και στην ασφάλεια που παρέχουν στους χρήστες. Πολλές χώρες, μεταξύ των οποίων οι Η.Π.Α., η Μ. Βρετανία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Ολλανδία και η Αυστραλία έχουν αναπτύξει εκτενείς οδηγίες με μεθόδους και υψηλά πρότυπα διαμόρφωσης κυκλικών κόμβων καθιστώντας τους σημαντικό τμήμα των οδικών δικτύων και κατ' επέκταση των συγκοινωνιακών υποδομών.

2.2.2. Διάκριση Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους

Προηγήθηκαν εκτενείς αναφορές στις διαφορές μεταξύ σύγχρονων Κυκλικών Κόμβων και παλαιότερων Κυκλοφοριακών Κύκλων. Παρακάτω παρατίθεται αντίστοιχος πίνακας όπου παρουσιάζονται τυποποιημένες οι διαφορές αυτές.

Πίνακας 2.1. Διαφορές Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

Χαρακτηριστικό	Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabouts)	Κυκλοφοριακοί Κύκλοι (Traffic Circles)
Ακολουθούμενη Πορεία	Υποχρεωτικά περιφερειακά της κεντρικής κυκλικής νησίδας με αντιωρολογιακή φορά κίνησης (Ελλάδα) και έξοδος προς τα δεξιά.	Σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρεπόταν η απευθείας αριστερή στροφή των οχημάτων που το επιθυμούσαν.
Έλεγχος Κυκλοφορίας Εισόδου	Παραχώρηση προτεραιότητας στην κυκλοφορία εντός του κόμβου σε κάθε περίπτωση.	Παραχώρηση προτεραιότητας συνήθως στα εισερχόμενα στον κύκλο οχήματα, εκτός κι αν υπήρχε ρύθμιση με πινακίδα διακοπής πορείας (STOP) για αυτά, οπότε προτεραιότητα διέθεταν τα εντός του κύκλου οχήματα.
Διαχείριση Κυκλοφορίας	Πραγματοποιείται ένα είδος διαλογής κατά την προσέγγιση του κόμβου από τα οχήματα, των οποίων οι οδηγοί προτρέπονται με έγκαιρη και κατάλληλη πληροφοριακή σήμανση να προεπιλέξουν τη σωστή λωρίδα κυκλοφορίας πριν την είσοδό τους στον κόμβο ανάλογα με την επιθυμητή έξοδο. Ελαχιστοποιούνται έτσι οι ελιγμοί στην κυκλική διαδρομή.	Οι ελιγμοί εντός του κύκλου καθίσταντο αναπόφευκτοι δημιουργώντας μεγάλες περιοχές πολλαπλής πλέξης αυξάνοντας προφανώς και τα σημεία εμπλοκής μεταξύ των οχημάτων.

Πίνακας 2.1. (Συνέχεια) Διαφορές Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

Διάμετρος	Μικρότερες διάμετροι επιλέγονται, ώστε ο κυκλικός δακτύλιος να μην επιτρέπει ανάπτυξη και διατήρηση υψηλών ταχυτήτων στα οχήματα του κόμβου, παρέχοντας αυξημένη ασφάλεια.	Ήταν επιτρεπτή η επιλογή μεγάλων διαμέτρων, οι οποίες άφηναν το περιθώριο υψηλών διατηρούμενων ταχυτήτων εντός του κύκλου. Μικρότερης διαμέτρου κύκλοι επιλέγονταν σε κάποιες περιπτώσεις για την ανακούφιση της κυκλοφορίας τοπικών οδών.
Λειτουργική Ταχύτητα	Διατήρηση σχετικά χαμηλών ταχυτήτων, μέχρι 60km/h.	Διατήρηση υψηλών ταχυτήτων, μεγαλύτερων από 60km/h.
Διαβάσεις Πεζών από και προς την κεντρική κυκλική νησίδα	Απαγορευμένη οποιαδήποτε κίνηση πεζών εντός του κόμβου όσον αφορά στην πρόσβαση στην κεντρική κυκλική νησίδα.	Πολλοί κυκλοφοριακοί κύκλοι επέτρεπαν την πρόσβαση των πεζών στην κεντρική νησίδα, πόσω μάλλον όταν τοποθετούνταν εκεί μνημεία ή/και κτήρια.
Στάθμευση	Απαγορεύεται η στάθμευση εντός του κυκλικού δακτυλίου του κόμβου.	Σε μεγάλους κυκλοφοριακούς κύκλους επιτρεπόταν κατά περίπτωση η στάθμευση στον κυκλικό δακτύλιο.

Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά στοιχεία (βλέπε σχήματα 2.19, 2.20, 2.21) που υιοθετούνται κατά τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων σε αρμονία βέβαια με τα εκάστοτε επιλεγέντα πρότυπα. Τέτοια είναι:

- **Εκτροπή τροχιάς εισόδου (entry path deflection):** Η χάραξη των καμπύλων εισόδου πραγματοποιείται με τόξα κατάλληλης (μικρής) ακτίνας ώστε να μειώνεται η ταχύτητα προσέγγισης και εισόδου των οχημάτων, προς την ασφάλεια φυσικά των χρηστών.
- **Διεύρυνση εισόδου (flaring):** Επιτυγχάνεται είτε με διαπλάτυνση της/των υπάρχουσας/-ών λωρίδας/-ων εισόδου της εκάστοτε πρόσβασης, είτε ακόμα και με προσθήκη μίας επιπλέον λωρίδας εισόδου, εξασφαλίζοντας στην κυκλοφοριακή ροή εισόδου

πρόσθετο χώρο αναμονής προ της γραμμής παραχώρησης προτεραιότητας.

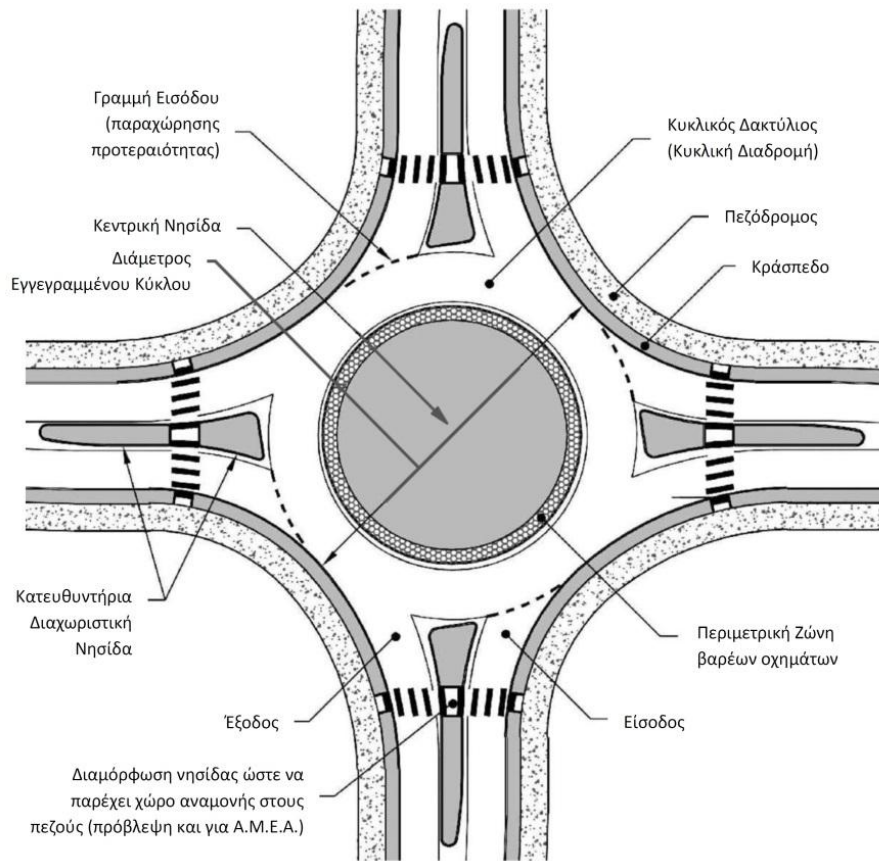
- Κατευθυντήρια διαχωριστική νησίδα στα σκέλη του κόμβου με διπλή κατεύθυνση κυκλοφορίας (Splitter Island): Έχει πολλαπλό ρόλο, καθώς πέραν του κύριου σκοπού, ο οποίος συνίσταται στην αποτελεσματική και ασφαλή διοχετευτική διαρρύθμιση των ροών εισόδου και εξόδου, αποτελεί και χώρο αναμονής για τους πεζούς οι οποίοι διασχίζουν την οδό σε δύο φάσεις, ενώ προσφέρεται και για την τοποθέτηση ρυθμιστικών πινακίδων. Σε κυκλικούς κόμβους μικρής ακτίνας (mini – roundabouts) η κατευθυντήρια νησίδα συνήθως είναι μία διαγραμμισμένη επιφάνεια αποκλεισμού, το γεωμετρικό σχήμα της οποίας σε κάτοψη προσομοιάζει με κατευθυντήρια νησίδα.
- Παρακαμπτήρια λωρίδα (bypass lane): Πρόκειται για επιπλέον – βοηθητική – λωρίδα, η οποία συνδέει την εισερχόμενη στον κόμβο κατεύθυνση μιας πρόσβασης με την εξερχόμενη κατεύθυνση της αμέσως επόμενης, κατά τη φορά κίνησης εντός του κόμβου (αντιωρολογιακή), πρόσβασης, επιτρέποντας στα οχήματα που επιθυμούν να στρέψουν δεξιά, να το πράξουν «παρακάμπτοντας» τον κυκλικό κόμβο, ταχέως και με ασφάλεια. Η κατασκευή μιας παρακαμπτήριας λωρίδας επιλέγεται όταν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που στρέφουν δεξιά είναι σημαντικοί και ικανοί να υποβαθμίζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου και να προκαλούν συμφόρηση σε αυτόν.
- Διαβάσεις πεζών (pedestrian crossing): Τοποθετούνται κατ' ελάχιστο σε μήκος που αντιστοιχεί σε ένα όχημα, πριν από την κυκλική οδό και τη γραμμή εισόδου (γραμμή παραχώρησης προτεραιότητας).

(Wisconsin Department of Transportation, 2008)

Τα **λειτουργικά χαρακτηριστικά** που λαμβάνονται υπόψη στον Σχεδιασμό κυκλικών κόμβων ενδεικτικά είναι τα εξής:

1. Ταχύτητα Μελέτης: Είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των ταχυτήτων μελέτης και μάλιστα διαφορετικών στα διάφορα τμήματα του κόμβου.
2. Κυκλοφοριακές Ικανότητες Στοιχείων του Κόμβου: Ο υπολογισμός της Κυκλοφοριακής Ικανότητας στοιχείων του κόμβου (π.χ. σε περιοχές πλέξης, στα διάφορα σκέλη κτλ.) βάσει των Οδικών, Κυκλοφοριακών και Λειτουργικών Συνθηκών είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό και την τελική διαμόρφωση του κόμβου.
3. Μήκη ορατότητας: Τα μήκη αυτά κρίνονται μείζονος σημασίας προκειμένου να καθοριστούν εν συνεχεία συγκεκριμένες γεωμετρικές παράμετροι.
4. Όχημα Σχεδιασμού: Ιδιαίτερα σε κόμβους οδών, των οποίων η σύνθεση κυκλοφορίας περιλαμβάνει σε σημαντικό ποσοστό βαρέα οχήματα, θα πρέπει ο σχεδιασμός να είναι τέτοιος ώστε ο κόμβος να δύναται να εξυπηρετήσει ανεμπόδιστα τη ροή τέτοιων οχημάτων. Επιλέγεται λοιπόν ένα όχημα με χαρακτηριστικά τέτοια ώστε όταν χρειαστεί να εξυπηρετηθεί επί παραδείγματι ένα φορτηγό τεσσάρων αξόνων αυτό να καταστεί δυνατό ακόμα κι αν σημαίνει πως το όχημα θα πρέπει να χρησιμοποιήσει επιπλέον της διαθέσιμης επιφάνειας οδοστρώματος μία ελαφρώς υπερυψωμένη ζώνη με κράσπεδο (curb) ελάχιστου ύψους περί τα 3cm και μέγιστου 7cm, που εκτείνεται περιμετρικά της κεντρικής νησίδας και ονομάζεται περιμετρική ζώνη – ποδιά (apron).

(Wisconsin Department of Transportation, 2008 & NCHRP & FHWA, 2010)



Σχήμα 2.18. Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.19. Τυπικός κυκλικός κόμβος μιας λωρίδας (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.20. Κυκλικός Κόμβος δύο λωρίδων με παρακαμπτήριες λωρίδες (<http://www.roundaboutsusa.com/>).



Σχήμα 2.21. Περιμετρική ζώνη, κατάλληλα διαμορφωμένη, ώστε όταν καταστεί αναγκαίο να χρησιμοποιείται από βαρέα οχήματα με σκοπό να διευκολύνεται η κίνησή τους (NCHRP & FHWA, 2010).

2.2.3. Είδη Κυκλικών Κόμβων

Οι κυκλικοί κόμβοι διακρίνονται, όπως και οι υπόλοιποι κόμβοι, σε **ανισόπεδους** και **ισόπεδους**.

2.2.3.1. Ανισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabout Interchanges)

Οι ανισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι συναντάμε είναι ο **κυκλικός κόμβος δύο επιπέδων** (δύο γέφυρες), **τριών επιπέδων** (πέντε γέφυρες) και ο διπλός **κυκλικός κόμβος μορφής «αλτήρα»** (dumbbell interchange) (The Highways Agency et al., 2007).

- **Κυκλικός Κόμβος Δύο Επιπέδων** (δύο γεφυρών): Πρόκειται ουσιαστικά για παραλλαγή του ανισόπεδου κόμβου μορφής ρόμβου ή διαμαντιού (diamond interchange), και χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τους Βρετανούς, σε μία προσπάθεια να αυξηθεί η χωρητικότητα και η κυκλοφοριακή ικανότητα των «ρόμβων» που ήδη υπήρχαν στο οδικό δίκτυο. Η εξαρχής κατασκευή δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, πόσω μάλλον όταν πρόκειται για μετατροπή υφιστάμενου κόμβου μορφής ρόμβου, καθώς σημαντικό μέρος του κόστους περιορίζεται στη μία επιπλέον γέφυρα. Σχεδιάστηκε με σκοπό να συνδέσει κύριες με δευτερεύουσες αρτηρίες. Διακρίνεται για την αυξημένη κυκλοφοριακή του ικανότητα (The Highways Agency et al., 2007).
- **Κυκλικός Κόμβος Τριών Επιπέδων** (πέντε γεφυρών): Συγγενής μορφή με τον κυκλικό κόμβο δύο επιπέδων. Πρόκειται για πλήρως κατευθυντήριο κόμβο και χρησιμοποιείται σε διασταύρωση κύριας αρτηρίας με άλλη κύρια ή με δευτερεύουσα αρτηρία. Δεν διακρίνεται για τη μεγάλη κυκλοφοριακή του ικανότητα, ενώ το κόστος αναβάθμισης είναι μεγάλο, ανεξάρτητα του αν ο κύκλος κατασκευάζεται στο υψηλότερο (τρίτο) επίπεδο, στο ενδιάμεσο (δεύτερο) ή στο χαμηλότερο (πρώτο). Το κόστος της εξαρχής κατασκευής δεν είναι υπερβολικό και συγκρίνεται με αυτό άλλων, ίδιας λειτουργίας κόμβων (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.22. Κυκλικός Κόμβος Δύο Επιπέδων (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.23. Κυκλικός Κόμβος Τριών Επιπέδων (The Highways Agency et al., 2007).

- **Κυκλικός Κόμβος μορφής «Αλτήρα»** (dumbbell interchange): Πρόκειται για υβρίδιο κόμβου μορφής ρόμβου (διαμάντι) και κυκλικού κόμβου δύο επιπέδων. Συνδυάζει την αυξημένη χωρητικότητα του δεύτερου και τις απαιτήσεις σχετικά μικρότερης έκτασης γης και μίας γέφυρας του πρώτου. Είναι φανερό πως πρόκειται για λειτουργική αλλά και οικονομική λύση. Χρησιμοποιείται κυρίως για σύνδεση κύριας με δευτερεύουσα αρτηρία (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.24. Διπλός Κυκλικός Κόμβος μορφής «Αλτήρα» (dumbbell interchange) (NCHRP & FHWA, 2010).

2.2.3.2. Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabouts)

Είναι δυνατό να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στους **Απλούς Κυκλικούς Κόμβους** (Normal Roundabouts) και στους **Διπλούς Κυκλικούς Κόμβους** (Double Roundabouts), που ουσιαστικά είναι δύο όμοιοι απλοί κυκλικοί κόμβοι, οι οποίοι είτε διαχωρίζονται με μία νησίδα, είτε συνδέονται με μία μικρού μήκους οδό (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.25. Απλός Κυκλικός Κόμβος (μίας λωρίδας) (Brilon, 2011).



(α)



(β)

Σχήμα 2.26. α) Διπλός Κυκλικός Κόμβος με διαχωριστική νησίδα (The Highways Agency et al., 2007), β) Διπλός Κυκλικός Κόμβος με σύντομη οδό σύνδεσης (NCHRP & FHWA, 2010).

Επισημαίνεται πως οι **διπλοί κυκλικοί κόμβοι** χρησιμεύουν σε περιπτώσεις που ένας κυκλικός κόμβος «πρέπει» να εξυπηρετήσει **περισσότερα από τέσσερα σκέλη**. Εναλλακτικά για τη διαχείριση των πολλών κυκλοφοριακών φόρτων είναι εφικτή η εγκατάσταση φωτεινής σηματοδότησης (The Highways Agency et al., 2007).

Οι **Απλοί Κυκλικοί Κόμβοι** (Normal Roundabouts) διακρίνονται, βάσει διαμέτρου και αριθμού λωρίδων της κυκλικής οδού, στις εξής θεμελιώδεις κατηγορίες:

- **Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου** (Mini Roundabouts).
[Αστικοί (Urban) μόνο]
- **Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας** (Single-Lane Roundabouts). [Αστικοί και Υπεραστικοί (Urban and Rural)]
- **Κυκλικοί Κόμβοι Πολλών Λωρίδων Κυκλοφορίας** (Multi-Lane Roundabouts). [Αστικοί και Υπεραστικοί (Urban and Rural)].
Συνήθως χρησιμοποιούνται εκείνοι με **δύο λωρίδες κυκλοφορίας** (Two-Lane or Double-Lane Roundabouts).

Οι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας κυκλοφορίας χαρακτηρίζονται **Συμπαγείς** (Compact) όταν κάθε σκέλος διαθέτει μία λωρίδα εισόδου και μία λωρίδα εξόδου (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.27. Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 2.28. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



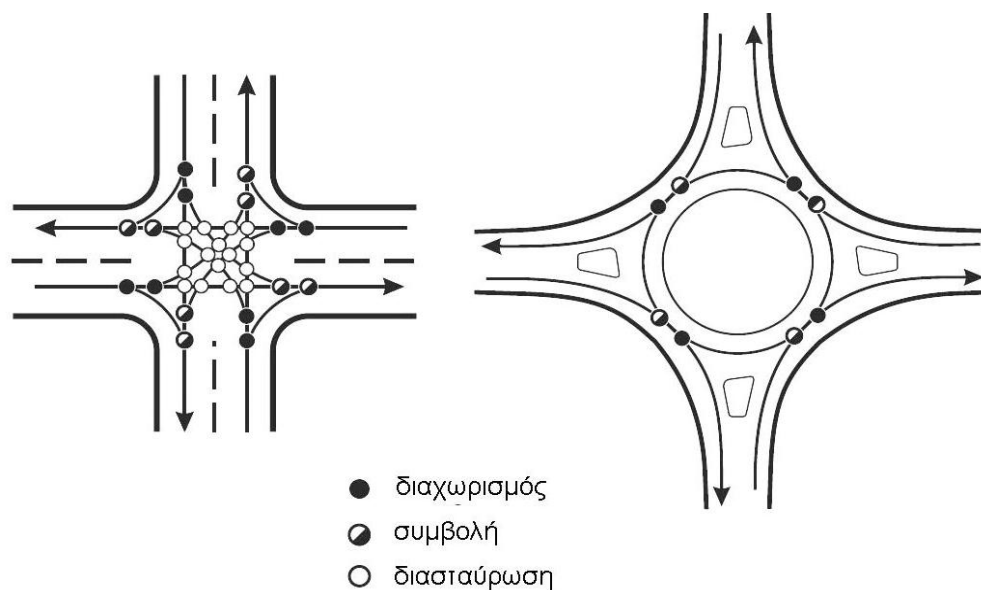
Σχήμα 2.29. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Brilon, 2011).

2.2.4. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων

2.2.4.1. Ασφάλεια

Ασφάλεια Κυκλοφορίας

Οποιαδήποτε σχετική έρευνα σε Ευρώπη και Αμερική επαληθεύει και ενισχύει το ήδη γνωστό επιχείρημα των κυκλικών κόμβων ως της ασφαλέστερης μορφής ισόπεδου κόμβου. Αρκεί να παρατηρήσουμε το σχήμα 2.30, από το οποίο προκύπτει η **μείωση των σημείων εμπλοκής μεταξύ οχημάτων**, από 32 σε έναν τυπικό τετρασκελή ισόπεδο κόμβο, σε 8 σε έναν αντίστοιχο κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας.



Σχήμα 2.30. Σημεία Εμπλοκής Οχημάτων σε τυπικό 4σκελή και σε αντίστοιχο κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).

Επιπρόσθετα, **εξαλείφεται η εμπλοκή της διασταύρωσης** οπότε **αποτρέπονται οι κάθετες πλαγιομετωπικές συγκρούσεις** και γενικά οι συγκρούσεις υπό μεγάλη γωνία, καθώς οι οδηγοί υποχρεώνονται σε

κοινής φοράς τροχιά κίνησης, ενώ λόγω γεωμετρίας της χάραξης διατηρούνται **χαμηλές λειτουργικές ταχύτητες**. Απόρροια όλων των παραπάνω είναι η αισθητή μείωση τόσο του αριθμού όσο και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων σε έναν κυκλικό κόμβο, καθώς η σοβαρότητα όσων ατυχημάτων συμβαίνουν περιορίζεται σε υλικές ζημιές.

Επίσης, **αισθητά μειωμένη** είναι η εμφάνιση της περίπτωσης **νωτομετωπικών συγκρούσεων** που συναντάται σε σηματοδοτημένους κόμβους, καθώς παύει να υφίσταται το κίνητρο της επιτάχυνσης κατά την εμφάνιση του πράσινου σηματοδότη ή της επιβράδυνσης – ακινητοποίησης αντίστοιχα κατά την εμφάνιση του κόκκινου.

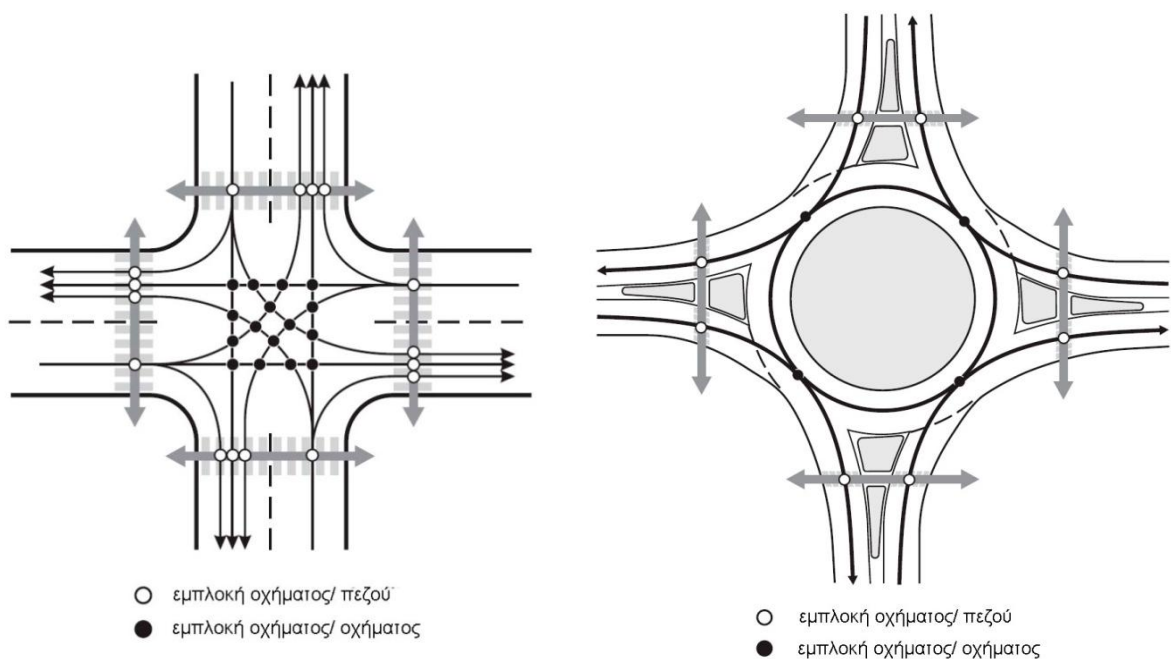
Σε έρευνα του Ινστιτούτου Ασφαλίσεων για την Ασφάλεια των Αυτοκινητοδρόμων (Insurance Institute for Highway Safety - IIHS), το 2004 στις Η.Π.Α. σε 23 κόμβους, αναφέρεται πως η μετατροπή τους από σηματοδοτημένους ή κόμβους με σήμανση, σε κυκλικούς κόμβους είχε ως αποτέλεσμα τη **μείωση των οδικών ατυχημάτων με τραυματισμούς κατά 80%** και **μείωση συνολικά των ατυχημάτων κατά 40%** (NCHRP & FHWA, 2010). Αντίστοιχες έρευνες σε Ευρώπη και Αυστραλία, καταδεικνύουν πως η μετατροπή κόμβων σε κυκλικούς, επέφερε μείωση από 41% έως 61% σε συγκρούσεις με τραυματισμούς και 45% έως 75% μείωση σε ατυχήματα με πολύ σοβαρούς τραυματισμούς και θανάτους (Brilon, 2011 & SWOV, 2012).

Έρευνα του ίδιου Ινστιτούτου (IIHS) στην πόλη Maryland των Η.Π.Α., σε 38 κυκλικούς κόμβους, αναφέρει πως τα οδικά ατυχήματα που συνέβαιναν με τη μεγαλύτερη συχνότητα, αφορούσαν σε σύγκρουση ενός οχήματος με την κεντρική νησίδα, και σε συγκρούσεις οχημάτων στις εισόδους (NCHRP & FHWA, 2010). Βέβαια σε κάθε περίπτωση οι συνέπειες περιορίζονται κυρίως σε υλικές ζημιές και μάλιστα χαμηλού κόστους. Κύριος παράγων των ατυχημάτων αυτών ήταν η υψηλή ταχύτητα, γεγονός που αποδίδεται στη μη έγκαιρη αναγνώριση του κόμβου λόγω ελλιπούς σήμανσης πριν από αυτόν, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες. Σε αντίστοιχη μελέτη για τη μείωση αυτών των ατυχημάτων προτάθηκε εγκατάσταση ρυθμιστικών πινακίδων μεγάλου μεγέθους με συχνότερη τοποθέτηση (περισσότερες

από μία) και σε αποστάσεις κατάλληλες ώστε ο οδηγός να διαθέτει τον απαιτούμενο χρόνο να αντιληφθεί, να αποφασίσει και να δράσει, κατά την προσέγγιση του κόμβου, προσαρμοζόμενος στις εκάστοτε οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες, ενώ για λόγους ασφάλειας προτάθηκε η διαγράμμιση με κατάλληλη αντανακλαστικού τύπου χρώματος των ερεισμάτων των υπερυψωμένων νησίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

Ασφάλεια Πεζών

Οι κατευθυντήριες νησίδες στις προσβάσεις του κυκλικού κόμβου προσφέρουν προστασία στους πεζούς που διασχίζουν την οδό σε δύο φάσεις, ενώ οι τελευταίοι εμπλέκονται με μία κατεύθυνση της κυκλοφορίας σε κάθε φάση. Εννοείται πως **στον αστικό ιστό οι πεζοί διαθέτουν προτεραιότητα** έναντι των οχημάτων, ενώ εκτός πόλης ισχύει το αντίθετο. Οι εγκάρσιες διανυόμενες αποστάσεις επί του οδοστρώματος είναι μικρότερες και οι ταχύτητες των εμπλεκόμενων οχημάτων σαφώς μικρότερες από ότι σε μία τυπική σηματοδοτημένη διασταύρωση (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.31. Σημεία Εμπλοκής Οχημάτων με Πεζούς σε τυπικό 4σκελή και σε αντίστοιχο κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).

Ενδεικτική είναι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.31, η μείωση των σημείων εμπλοκής πεζού με όχημα σε κάθε πρόσβαση ενός κόμβου, από τέσσερα (δεκαέξι συνολικά) σε έναν τυπικό τετρασκελή κόμβο, σε δύο (οκτώ συνολικά) σε έναν αντίστοιχο κυκλικό.

Από ευρωπαϊκές έρευνες προκύπτει πως η μετατροπή συμβατικών κόμβων σε κυκλικούς δύναται να επιφέρει **μείωση στα ατυχήματα με εμπλεκόμενους πεζούς ακόμα και κατά 75%**. Ιδιαίτερα οι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας, αναφέρεται πως παρουσιάζουν μειωμένους δείκτες ατυχημάτων πεζών, μικρότερους ακόμα και από τους αντίστοιχους κόμβους με φωτεινή σηματοδότηση (Brilon, 2011).

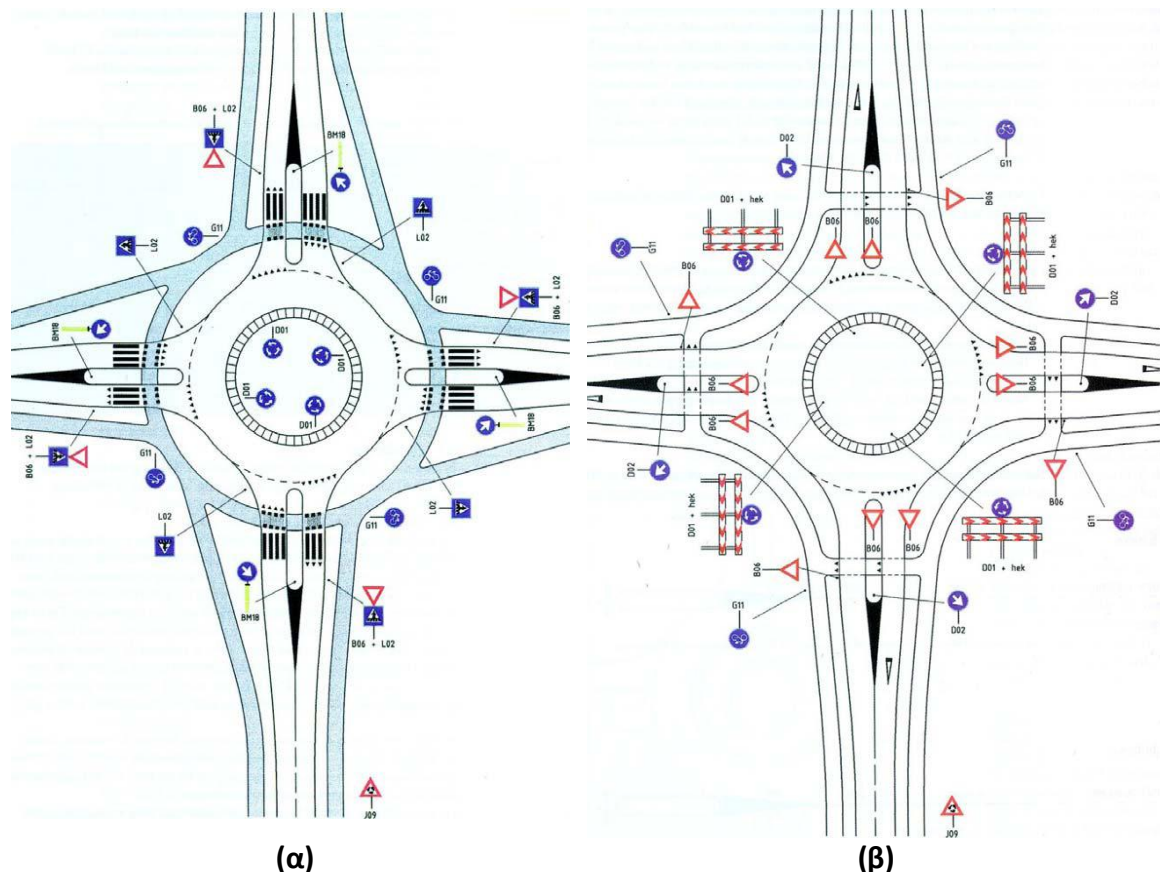
Στον αντίποδα βέβαια, βρίσκεται η μεγάλη συνολικά διανυόμενη απόσταση από έναν πεζό, καθώς η πορεία που πρέπει να ακολουθήσει περιλαμβάνει ένα μεγάλο μήκος περιφερειακά του κόμβου, ενώ ίσως χρειαστεί να καθυστερήσει στις διαβάσεις μέχρι να παρουσιαστεί ικανοποιητικό κενό ροής της κυκλοφορίας ώστε να τις διασχίσει με ασφάλεια (Brilon, 2011).

Ασφάλεια Ποδηλατών

Οι ποδηλάτες συνιστούν μία ιδιαίζουσα κατηγορία χρηστών τόσο των οδών και των κόμβων γενικότερα, αλλά και των κυκλικών κόμβων συγκεκριμένα. Σε **αστικό κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας**, αν η Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Μ.Η.Κ.) δεν ξεπερνά τα 15000 οχήματα είναι αποδεκτό οι ποδηλάτες να εντάσσονται στην κυκλοφορία των οχημάτων στην κυκλική διαδρομή, ενώ αν η Μ.Η.Κ. είναι μεγαλύτερη, απαιτείται η κατασκευή ποδηλατοδρόμου (Brilon, 2011). Σε **υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας**, ανεξαρτήτως Μ.Η.Κ., η κατασκευή ποδηλατοδρόμου είναι απαραίτητη, όπως φυσικά και σε κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων είτε πρόκειται για αστικούς, είτε για υπεραστικούς. **Δύο βασικές αρχές είναι αναγκαίο να διέπουν την κατασκευή και τη λειτουργία ποδηλατοδρόμου: α)** προτεραιότητα εντός του αστικού ιστού διαθέτουν οι ποδηλάτες, **β)** εκτός αυτού, προτεραιότητα διαθέτουν τα οχήματα. Βέβαια, είναι φανερό πως η προτεραιότητα των ποδηλατών εντός του πολεοδομικού ιστού είναι

θέμα, το οποίο εγείρει πολλαπλές δυσκολίες κατά την εφαρμογή του και συχνά τελικά δεν εφαρμόζεται επί του πρακτέου. Έρευνα του Ινστιτούτου Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Συγκοινωνιακών Υποδομών (CROW) της Ολλανδίας, αναφέρει πως οι ποδηλάτες βρίσκονται σε μειονεκτική θέση, με τους οδηγούς αυτοκινήτων και μοτοσυκλετών να μην επιδεικνύουν την αρμόζουσα συμπεριφορά και υπομονή και να μην παραχωρούν προτεραιότητα στους ποδηλάτες (SWOV, 2012).

Ο σχεδιασμός του ποδηλατοδρόμου πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να εξασφαλίζεται πρωτίστως η ασφάλεια των χρηστών και έπειτα η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου. Ενδεικτικά, στο σχήμα 2.32 απεικονίζεται η τυπική γεωμετρική μορφή ενός κυκλικού κόμβου, στον οποίο προτεραιότητα διατηρούν: α) οι ποδηλάτες και β) τα οχήματα.



Σχήμα 2.32. Μορφή κυκλικού κόμβου με ποδηλατόδρομο α) εντός αστικού ιστού με προτεραιότητα των ποδηλατών β) εκτός αστικού ιστού με προτεραιότητα οχημάτων (Fortuijn, 2011).

Σε υπεραστικούς κόμβους, η διαμόρφωση της νησίδας (δίπλα από τη διάβαση πεζών) ώστε να καθίσταται προσπελάσιμη από ποδηλάτες, οι οποίοι προτρέπονται στην παραχώρηση προτεραιότητας, είναι τέτοια (μορφή S (chicane)), ώστε να αποθαρρύνει την απρόσκοπτη κίνηση των ποδηλατών με υψηλή ταχύτητα (βλ. σχ. 2.33) (Fortuijn, 2011).



Σχήμα 2.33. Υπεραστικός κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων με ποδηλατόδρομο (Fortuijn, 2003).

Σε κάθε περίπτωση ο ποδηλατόδρομος κατασκευάζεται σε απόσταση περίπου 5m από την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου και **ποτέ εντός** αυτού, πράγμα που έχει αποδειχθεί εξαιρετικά επικίνδυνο (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.34. Αστικός κυκλικός κόμβος με ποδηλατόδρομο. Ποδήλατα και Πεζοί διατηρούν προτεραιότητα (Fortuijn, 2011).



Σχήμα 2.35. Αποφεύγεται η κατασκευή ποδηλατοδρόμου εντός του κυκλικού δακτυλίου (Brilon, 2011).

2.2.4.2. Κυκλοφοριακή Ικανότητα και Καθυστερήσεις

Στους κυκλικούς κόμβους με υψηλά πρότυπα διαμόρφωσης και σωστό σχεδιασμό, υφίσταται ένα είδος συνεχούς προσαρμογής στη διακύμανση των κυκλοφοριακών φόρτων κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, καθώς τα οχήματα κινούνται με χαμηλή ταχύτητα μεν, απρόσκοπτα δε, καθώς δεν είναι αναγκαίο να ακινητοποιούνται και να αναμένουν σε στάση (όπως π.χ. σε φάση κόκκινου), αλλά απλά να παραχωρούν προτεραιότητα. Οι καθυστερήσεις είναι μειωμένες σε σχέση με αυτές σηματοδοτημένων κόμβων με αντίστοιχους φόρτους κυκλοφορίας, ιδιαίτερα σε περιόδους μη-αιχμής.

Γενικά έχουν επιτευχθεί υψηλές χωρητικότητες σε κυκλικούς κόμβους, υψηλότερες ίσως από ότι αρχικά αναμενόταν, αφού είναι δυνατό ένας κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων να εξυπηρετεί ικανοποιητικά μέχρι και 32000 οχήματα/ημέρα (Μ.Η.Κ.), ενώ πειράματα σε σηματοδοτημένους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων έδειξαν πως σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μπορεί να επιτευχθεί χωρητικότητα της τάξης των 50000 οχημάτων ημερησίως (Brilon, 2011).

Πρέπει να επισημανθεί πως σε πρόσφατη έρευνα του Ινστιτούτου Ασφαλίσεων για την Ασφάλεια των Αυτοκινητοδρόμων (Insurance Institute for Highway Safety - IIHS) των Η.Π.Α., σε τρεις κόμβους σε Kansas, Maryland και Nevada, όπου διάταξη κυκλικού κόμβου αντικατέστησε τυπικό τετρασκελή κόμβο με σήμανση διακοπής πορείας (Stop), διαπιστώθηκε πως οι καθυστερήσεις των οχημάτων μειώθηκαν κατά 13% έως 23% και η αναλογία των οχημάτων που ακινητοποιούνταν μειώθηκε κατά 14% έως 23%. Αντίστοιχη μελέτη του ίδιου Ινστιτούτου στο New Hampshire, στη Νέα Υόρκη και στην Ουάσινγκτον, σε θέσεις όπου σηματοδοτημένοι μετατράπηκαν σε κυκλικούς κόμβους καταδεικνύει **μείωση κατά μέσο όρο της τάξης του 89% στις καθυστερήσεις οχημάτων και 56% μείωση στις στάσεις.** Επίσης, στο Kansas, σε 11 θέσεις στις οποίες κατασκευάστηκαν κυκλικοί κόμβοι μειώθηκαν οι καθυστερήσεις κατά 65% και οι στάσεις κατά 52% (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

Ο κυκλικός κόμβος αποτελεί την ιδανικότερη λύση σε περιπτώσεις διασταύρωσης πέντε ή περισσότερων κλάδων (Brilon, 2011).

Στον αντίποδα όλων των παραπάνω, ένας κυκλικός κόμβος υπολειτουργεί όταν δύο ή περισσότεροι κλάδοι πλησιάζουν τη χωρητικότητά τους την ίδια στιγμή. Επίσης οι κυκλικοί κόμβοι μειονεκτούν έναντι ενός συστήματος συντονισμένης σηματοδότησης που μπορεί να αυξήσει αποτελεσματικά τη χωρητικότητα μίας αρτηρίας και τη στάθμη εξυπηρέτησης.

2.2.4.3. Κόστη

Το κόστος κατασκευής ενός κυκλικού κόμβου είναι ίσως αυξημένο λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας που απαιτείται και των αναγκαίων απαλλοτριώσεων σε σχέση με τη λύση της φωτεινής σηματοδότησης, αλλά ανατρέπεται η οικονομική αυτή διαφορά τόσο με το κέρδος λόγω απουσίας ηλεκτρονικής και ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, πέραν βέβαια του φωτισμού, όσο και με το κέρδος από τη φθηνότερη συντήρηση, συμπεριλαμβανομένης και της χαμηλής βλάβησης, αλλά κυρίως από το σημαντικό κέρδος που αφορά σε κόστη και ζημιές λόγω ατυχημάτων, καθώς αναφέρθηκε πως μειώνονται σημαντικά τόσο αριθμητικά τα ίδια τα ατυχήματα όσο και η σοβαρότητά τους. Υπάρχει βέβαια και το κέρδος της μειωμένης κατανάλωσης καυσίμου στους κυκλικούς κόμβους, η οποία μόνο αμελητέα δεν είναι (SWOV, 2012).

Ενδεικτικά, το εκτιμώμενο κόστος μετατροπής μιας διασταύρωσης σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας κυμαίνεται περί τις 400000€. Βέβαια το κόστος εξαρτάται προφανώς και από το μέγεθος του κόμβου. Έτσι, το κόστος κατασκευής ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων εκτιμάται περίπου στις 600000€ (SWOV, 2012).

2.2.4.4. Περιβάλλον

Τα περιβαλλοντικά οφέλη έχουν δύο εκφάνσεις: Αυτή της μειωμένης επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας και τοπικά της περιοχής του κυκλικού κόμβου και αυτή της αισθητικής.

Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, οι κυκλικοί κόμβοι επιφέρουν μείωση στις εκπομπές αερίων ρύπων (διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, νιτρικό οξείδιο κτλ.) αλλά και στη στάθμη της ηχορρύπανσης καθώς πρακτικά έχει παρατηρηθεί πτώση κατά τρεις (3) έως πέντε (5) ποσοστιαίες μονάδες στα επίπεδα παραγόμενου θορύβου σε σχέση με έναν αντίστοιχο κόμβο με φωτεινή σηματοδότηση. Όσον αφορά μάλιστα τη μειωμένη εκπομπή καυσαερίων, σχετική έρευνα στις Η.Π.Α. αναφέρει πως τα επίπεδα πτώσης ήταν της τάξης του 22% με 37% (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

Από την άποψη της αισθητικής αντίληψης είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι κυκλικοί κόμβοι λόγω της διαμόρφωσης της νησίδας αλλά και του παρόδιου χώρου με χαμηλή βλάστηση συνιστούν μία ελκυστική επιλογή, κυρίως για λόγους αποδοχής από πλευράς πολιτών (Brilon, 2011).

2.2.4.5. Παρατηρήσεις

Συχνά σε κυκλικούς κόμβους, έχει παρατηρηθεί στην κεντρική νησίδα ανάπτυξη βλάστησης με ψηλά δέντρα κτλ., η εγκατάσταση ογκωδών μνημείων, καθώς και παράδοξα, όπως ένα πρατήριο υγρών καυσίμων. Γενικά είναι ασφαλές να αποφεύγεται η τοποθέτηση επικίνδυνων εμποδίων μεγάλου μεγέθους επί της κεντρικής νησίδας (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.36. Προτείνεται η αποφυγή τοποθέτησης εμποδίων επί της κεντρικής νησίδας (Εδώ: Πρατήριο υγρών καυσίμων κοντά στην πόλη Konstanz της Γερμανίας) (Brilon, 2011).

Επίσης έμφαση πρέπει να δοθεί στην περίπτωση του συνδυασμού κυκλικών κόμβων και μέσων σταθερής τροχιάς, όπως ο τροχιόδρομος (τραμ): Πάντα εφαρμόζεται η λύση της φωτεινής σηματοδότησης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.37 (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.37. Κυκλικός Κόμβος και Τραμ, πάντα με φωτεινή σηματοδότηση (Brilon, 2011).

2.3. Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι

Οι ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο σε Ευρώπη όσο σε Αμερική και Αυστραλία, όπως αναφέρθηκε, είναι κυρίως οι **Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου** - Αστικοί (Mini Roundabouts - Urban), οι **Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας** - Αστικοί και Υπεραστικοί (Single-Lane Roundabouts - Urban and Rural) και οι **Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων** - Αστικοί και Υπεραστικοί (Two-Lane Roundabouts - Urban and Rural), ενώ στο πρόσφατο παρελθόν έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία κάποιες ειδικές μορφές κυκλικών κόμβων, όπως οι **Σπειροειδείς Κόμβοι** (Turbo Roundabouts).

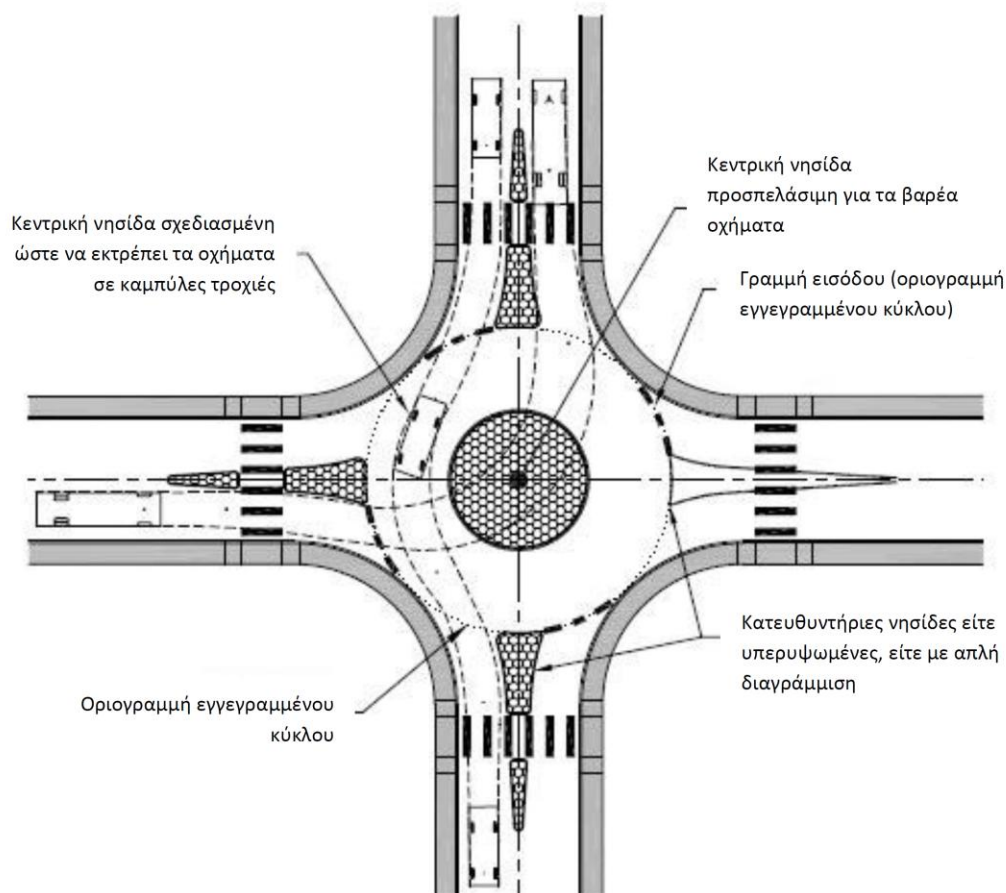
Η μελέτη και ο σχεδιασμός κυκλικών κόμβων είναι πολυπαραμετρικά ζητήματα για ένα Μελετητή Μηχανικό και η επίλυσή τους απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη διάφορα λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με γνώμονα πάντα την ασφάλεια των χρηστών, την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας των οχημάτων, το ελάχιστο δυνατό κόστος κατασκευής και συντήρησης, δεδομένων των δύο προηγούμενων στόχων, και την ομαλότερη προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο.

2.3.1. Είδη Τυπικών Κυκλικών Κόμβων

2.3.1.1. Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts)

Εφευρέθηκαν στη Μ. Βρετανία από τον Frank Blackmore το 1968. Πρόκειται για μικρού μεγέθους κυκλικούς κόμβους με κύριο χαρακτηριστικό στοιχείο την **πλήρως προσπελάσιμη κεντρική κυκλική νησίδα** (για τα βαρέα οχήματα) χωρίς προστατευτικό έρεισμα. Κατασκευάζονται κυρίως σε θέσεις του αστικού ιστού, στις οποίες η μέση λειτουργική ταχύτητα των οδών δεν ξεπερνά τα 50km/h. Δεν προτείνεται η εφαρμογή τους στο υπεραστικό οδικό δίκτυο. Ο

εξοπλισμός του κόμβου είναι δυνατό είτε να περιλαμβάνει κατευθυντήριες νησίδες, υπερυψωμένες με προστατευτικό έρεισμα ή απλά διαγραμμισμένες επιφάνειες, είτε όχι. Διαθέτουν μία λωρίδα τόσο εισόδου όσο και εξόδου και μία λωρίδα στον κυκλικό δακτύλιο. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους και των χαμηλών ταχυτήτων τυγχάνουν αποδοχής από το κοινωνικό περιβάλλον και δη τους πεζούς. Η κεντρική νησίδα είναι προσπελάσιμη για τα βαρέα οχήματα, προκειμένου να διευκολυνθεί η κίνησή τους, όχι όμως για τα υπόλοιπα οχήματα. Το κόστος κατασκευής τους είναι μικρό, καθώς ο εξοπλισμός και οι διαμορφώσεις μπορεί να περιοριστούν σε απλές διαγραμμίσεις και μικροεπεμβάσεις στη διαμόρφωση των γωνιακών ερεισμάτων στις οδούς χωρίς διαπλατύνσεις οδοστρωμάτων κτλ., και αποτελούν μία απόλυτα οικονομική λύση για τη διαχείριση μικρής αστικής κυκλοφορίας σε μία θέση ισόπεδης σύνδεσης οδών (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.38. Χαρακτηριστικά Στοιχεία Εξοπλισμού Κυκλικών Κόμβων Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts) (NCHRP & FHWA, 2010).

Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου ενός τέτοιου κυκλικού κόμβου κυμαίνεται μεταξύ 13m και 27m, το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου περί τα 4.5m – 6m, ενώ το οδόστρωμά του κατασκευάζεται με επίκλιση 2% έως 2.5% προς τα έξω. Η υπερύψωση της κεντρικής νησίδας πρέπει να περιορίζεται στα 4cm. Αυστηρά, οι προσβάσεις να διαθέτουν μία λωρίδα εισόδου και η ταχύτητα αυτής είναι επιθυμητό να μην υπερβαίνει τα 30km/h. Ένας κυκλικός κόμβος ελάχιστης διαμέτρου έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει Μ.Η.Κ. (Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία) της τάξης των 15000 – 20000 οχ./ημ. (οχήματα/ημέρα) (NCHRP & FHWA, 2010).

Πίνακας 2.2. Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Μικρής Διαμέτρου (NCHRP & FHWA, 2010).

Διάμετρος εγγεγρ. κύκλου (m)	Πλάτος κυκλικού δακτυλίου (m)	Μέγιστος αριθμός λωρίδων εισόδου	Μέγιστη Ταχύτητα Εισόδου (km/h)	Μ.Η.Κ. (οχ./ημ.)	Μέγιστη Ροή Εισόδου και κυκλικής πορείας (οχ./ώρα)
13 – 27	4.5 – 6.0	1	25 – 30	15000 – 20000	1200



Σχήμα 2.39. Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts) (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.40. Κυκλικός Κόμβος Ελάχιστης Διαμέτρου με ελάχιστο κόστος κατασκευής (Brilon, 2011).

Πειραματικές έρευνες σε δεκατρείς (13) τετρασκελείς ισόπεδους κόμβους στη Βεστφαλία (Γερμανία), που από μη-σηματοδοτημένοι μετατράπηκαν σε κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου, κατέδειξαν τη μεγάλη επιτυχία τους, καθώς ήταν εφικτή η εξυπηρέτηση άνω των 17000 οχ./ημ. χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις των οχημάτων και μάλιστα με πολύ μικρό κατασκευαστικό κόστος, ενώ αποδείχθηκαν ιδιαίτερα ασφαλείς, με τους δείκτες ατυχημάτων να παρουσιάζουν πτώση, τόσο όσον αφορά στον αριθμό όσο και στη σοβαρότητα των ατυχημάτων (βλ. πίν. 2.3) (Brilon, 2011).

Πίνακας 2.3. Δείκτες Ατυχημάτων και Κόστους πριν και μετά την κατασκευή κυκλικού κόμβου μικρής διαμέτρου (Brilon, 2011).

	Πριν (ισόπ. κόμβος με σήμανση)	Μετά (Mini)
Δείκτης Ατυχημάτων (AR) (ατυχ./10 ⁶ οχ.)	0.79	0.56
Δείκτης Κόστους Ατυχημάτων (ACR) (€/10 ³ οχ.)	9.47	3.91

2.3.1.2. Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας (Single-Lane Roundabouts)

Οι Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας διαθέτουν κυκλικό δακτύλιο μίας λωρίδας, μία λωρίδα εισόδου και μία λωρίδα εξόδου σε όλα τα σκέλη. Διακρίνονται από τους κυκλικούς κόμβους ελάχιστης διαμέτρου, τόσο λόγω της μεγαλύτερης διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου τους, όσο και για τη μη προσπελάσιμη κεντρική νησίδα τους, η οποία είναι υπερυψωμένη. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει ελαφρώς υψηλότερες ταχύτητες εισόδου, κυκλοφορίας και εξόδου. Η κατασκευή τους συνήθως περιλαμβάνει υπερυψωμένη κυκλική κεντρική νησίδα με μία κατάλληλα διαμορφωμένη περιμετρική ζώνη προς χρήση (βλ. σχ. 2.42) από βαρέα οχήματα εντός αστικού περιβάλλοντος, υπερυψωμένες κατευθυντήριες νησίδες και διαβάσεις πεζών. Το μέγεθος του κόμβου εξαρτάται τόσο από το όχημα σχεδιασμού όσο και από τους κυκλοφοριακούς φόρτους των προσβάσεων. Κατασκευάζονται τόσο σε αστικές όσο και σε υπεραστικές θέσεις σύνδεσης οδών (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.41. Αστικοί Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας (διαθέτουν κατάλληλα διαμορφωμένη περιμετρική ζώνη για φορτηγά) (Brilon, 2011).

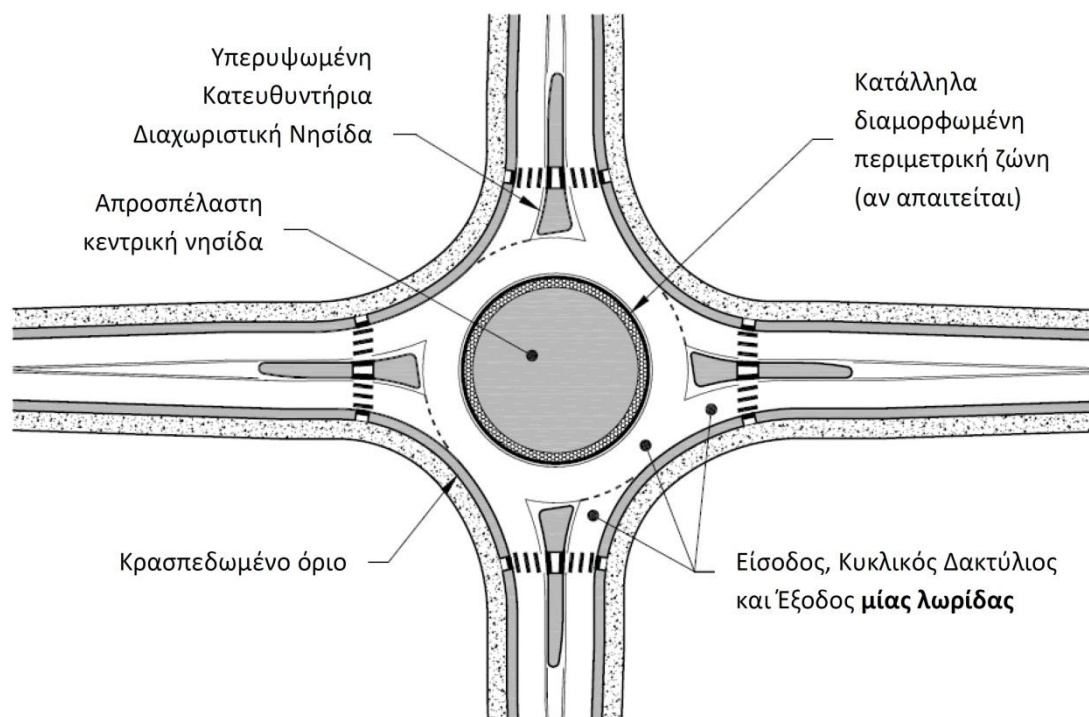


Σχήμα 2.42. Απαραίτητη η κατάλληλα διαμορφωμένη περιμετρική ζώνη για την κίνηση των βαρέων οχημάτων, όταν δεν επαρκεί το πλάτος του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου (NCHRP & FHWA, 2010).

Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται μεταξύ 27m και 55m. Το οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου διαθέτει πλάτος 5.30m – 6.70m και επίκλιση προς τα έξω 2% έως 2.5% για λόγους απορροής των ομβρίων υδάτων, μειωμένων ταχυτήτων στην κυκλική οδό αλλά και επαρκούς εποπτείας της κυκλοφορίας από τους οδηγούς που προσεγγίζουν τον κυκλικό κόμβο. Η περιμετρική ζώνη (σε αστικούς κόμβους) υπερυψώνεται κατ' ελάχιστο 3cm και κατά μέγιστο 7cm. Όπως προαναφέρθηκε οι εισόδοι και οι έξοδοι διαθέτουν αποκλειστικά μία λωρίδα, ενώ οι άξονες των σκελών στις εισόδους πρέπει να κατευθύνονται γεωμετρικά στο κέντρο του κύκλου διατηρώντας την καθετότητά τους ως προς αυτόν – απαγορεύονται εφαπτομενικές εισόδοι. Επιδιώκονται ταχύτητες εισόδου της τάξης των 30km/h – 40km/h. Η χωρητικότητα ενός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας δεν υπερβαίνει τα 25000 οχήματα ημερησίως (NCHRP & FHWA, 2010).

Πίνακας 2.4. Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Μίας Λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).

Διάμετρος εγγεγρ. κύκλου (m)	Πλάτος κυκλικού δακτυλίου (m)	Μέγιστος αριθμός λωρίδων εισόδου	Μέγιστη Ταχύτητα Εισόδου (km/h)	Μ.Η.Κ. (οχ./ημ.)
27 – 55	5.30 – 6.70	1	30 – 40	25000

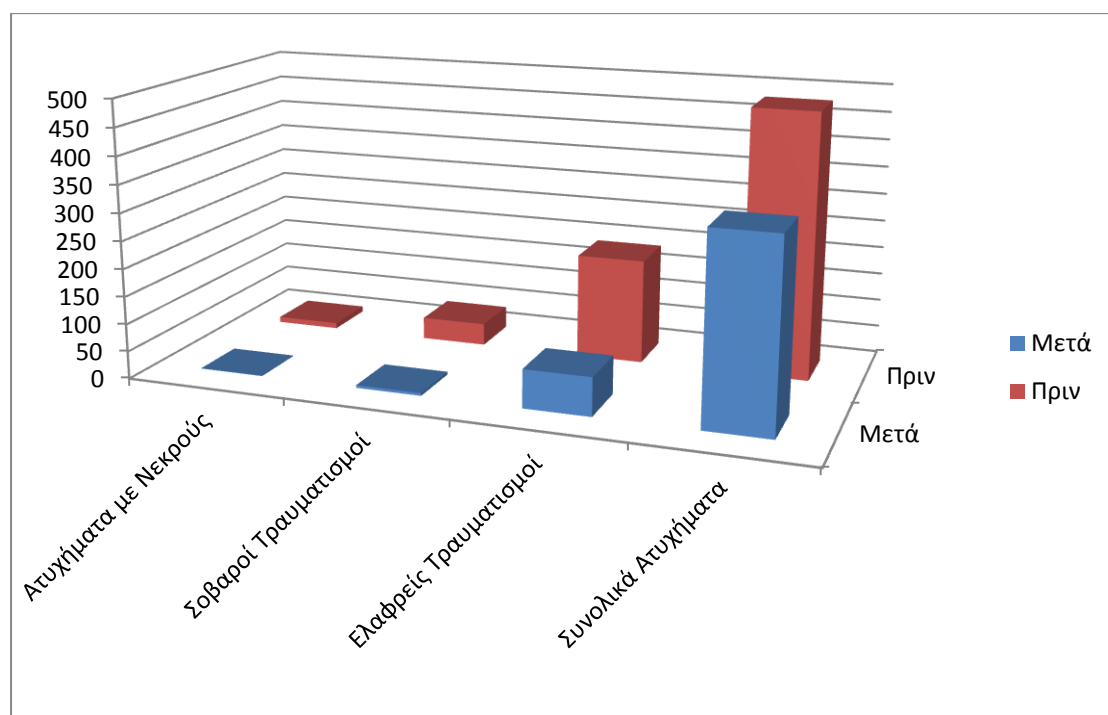


Σχήμα 2.43. Χαρακτηριστικά στοιχεία εξοπλισμού Κυκλικού Κόμβου Μίας Λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).

Οι Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας υπερέχουν σημαντικά και σε επίπεδο ασφάλειας σε σχέση με αντίστοιχους ισόπεδους με σήμανση ή φωτεινή σηματοδότηση (Brilon, 2011). Αυτό επιβεβαιώνουν δεκάδες έρευνες σε Ευρώπη και Αμερική. Ενδεικτικά παρατίθεται ο πίνακας 2.5, ο οποίος συνοψίζει τρεις διαφορετικές γερμανικές αναφορές από έρευνες σε 3500 περίπου θέσεις πριν και μετά την κατασκευή κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (Brilon, 2011).

Πίνακας 2.5. Δείκτες Ατυχημάτων και Κόστους πριν και μετά την κατασκευή κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (Brilon, 2011).

		Πριν (ισόπεδος τετρασκελής κόμβος με σήμανση ή σηματοδότηση)		Μετά (ισόπεδος κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας)	
		Δείκτης Ατυχημάτων (AR) ατυχ./10 ⁶ οχ.	Δείκτης Κόστους Ατυχημάτων (ACR) €/10 ³ οχ.	Δείκτης Ατυχημάτων (AR) ατυχ./10 ⁶ οχ.	Δείκτης Κόστους Ατυχημάτων (ACR) €/10 ³ οχ.
Brilon, Stuwe		0.97	14.77	0.62	7.36
Baumert	Αστικός			0.53	6.02
	Υπεραστικός			0.74	10.06
Meewes				0.92	8.0
Μονάδες:					



Σχήμα 2.44. Μείωση αριθμού και σοβαρότητας ατυχημάτων σε κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας (Brilon, 2011).

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.44 είναι εμφανές πόσο πιο ασφαλής είναι ένας κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας έναντι ενός

παραδοσιακού τετρασκελούς ισόπεδου κόμβου (σηματοδοτημένου και μη). Παρατηρείται μείωση της τάξης του 30% στο σύνολο των οδικών ατυχημάτων, μείωση κατά 60% στους ελαφρείς τραυματισμούς, **μείωση κατά 87% των σοβαρών τραυματισμών** (παραμονή ασθενούς στο νοσοκομείο τουλάχιστον για μία διανυκτέρευση) και τέλος **ελάττωση κατά 88% στα ατυχήματα με θανάτους** εμπλεκόμενων ανθρώπων (Brilon, 2011).

Οι πεζοί πρέπει να διαθέτουν προτεραιότητα στους αστικούς κυκλικούς κόμβους. Οι διαβάσεις τους περιλαμβάνουν εγκάρσιες διαγραμμίσεις (ραβδώσεις) και κατάλληλη διαμόρφωση επί των κατευθυντήριων νησίδων (πρόβλεψη και για Α.Μ.Ε.Α.) ώστε να διασχίζουν μία οδό σε δύο φάσεις, εμπλεκόμενοι σε κάθε φάση με μία ροή (κατεύθυνση) κυκλοφορίας, προς το ασφαλέστερο. Οι δε ποδηλάτες, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.2.4.1, είναι εφικτό αν η Μ.Η.Κ. δεν ξεπερνά τα 15000 οχ./ημ. να εντάσσονται στην κυκλοφορία των οχημάτων στον κυκλικό δακτύλιο, ειδάλλως είναι αναγκαία η μέριμνα για κατασκευή αποκλειστικού ποδηλατοδρόμου περιμετρικά του κυκλικού κόμβου. Οι ποδηλάτες επίσης διαθέτουν προτεραιότητα στους αστικούς κόμβους. Στους υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους προτεραιότητα διαθέτουν τα μηχανοκίνητα οχήματα πάντα. Σε κάθε περίπτωση διάβαση πεζών και ποδηλατόδρομος κατασκευάζονται σε απόσταση περίπου 5m από τη γραμμή εισόδου των οχημάτων στην κυκλική οδό (οριογραμμή εγγεγραμμένου κύκλου) και ποτέ εντός του κόμβου επί του οδοστρώματος της κυκλικής οδού (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.45. Αν η Μ.Η.Κ. δεν ξεπερνά τα 15000 οχ./ημ. τα ποδήλατα εντάσσονται στην κυκλοφορία των μηχανοκίνητων οχημάτων (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.46. Αστικός κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας με ποδηλατόδρομο και διάβαση πεζών. Ποδήλατα και Πεζοί διατηρούν προτεραιότητα (Fortuijn, 2011).



Σχήμα 2.47. Πάνω: Ποδηλατόδρομος σε συνδυασμό με διάβαση πεζών σε αστικό κόμβο. Κάτω: Ποδηλατόδρομος σε υπεραστικό κόμβο (Brilon, 2011).

Επισημαίνεται πως τα ανάποδα τρίγωνα που σχεδιάζονται στο οδόστρωμα, ως μέρος της εγκάρσιας διαγράμμισης, υποδεικνύουν στο όχημα πως είναι υποχρεωμένο να παραχωρήσει την προτεραιότητα κίνησης στην κυκλοφορία που βρίσκεται ακριβώς μετά από αυτά.

Τα προαναφερθέντα ενισχύουν τον ισχυρισμό πως ο κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας θεωρείται η πιο ασφαλής διάταξη ισόπεδου κόμβου από όλες τις μορφές ισόπεδων κόμβων (Brilon, 2011).

Σε περιπτώσεις που οι κυκλοφοριακοί φόρτοι των ρευμάτων κυκλοφορίας που στρέφουν δεξιά (ή γενικά που κατευθύνονται στην αμέσως επόμενη έξοδο) είναι σημαντικοί και ικανοί να υποβαθμίζουν την κυκλοφοριακή ικανότητα του κυκλικού κόμβου και να προκαλούν συμφόρηση σε αυτόν, κατασκευάζονται **παρακαμπτήριες λωρίδες** (bypass lanes) επιτρέποντας την απευθείας δεξιά στροφή με ταχύτητα και ασφάλεια ώστε να ανακουφιστεί η κυκλοφορία και να αναβαθμιστεί η εξυπηρέτηση της από τον κόμβο, αυξάνοντας τη χωρητικότητά του. Οι παρακαμπτήριες λωρίδες διαχωρίζονται από τον κυκλικό κόμβο είτε με διαχωριστικές νησίδες είτε με κράσπεδα (curbs), ποτέ απλά με κατά μήκος διαγράμμιση (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.48. Τετρασκελής υπεραστικός κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας με δύο παρακαμπτήριες λωρίδες (Brilon, 2011).



(α)



(β)

Σχήμα 2.49. Τρισκελείς υπεραστικοί κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας με:
α) δύο παρακαμπτήριες λωρίδες, β) τρεις παρακαμπτήριες λωρίδες (Brilon, 2011).

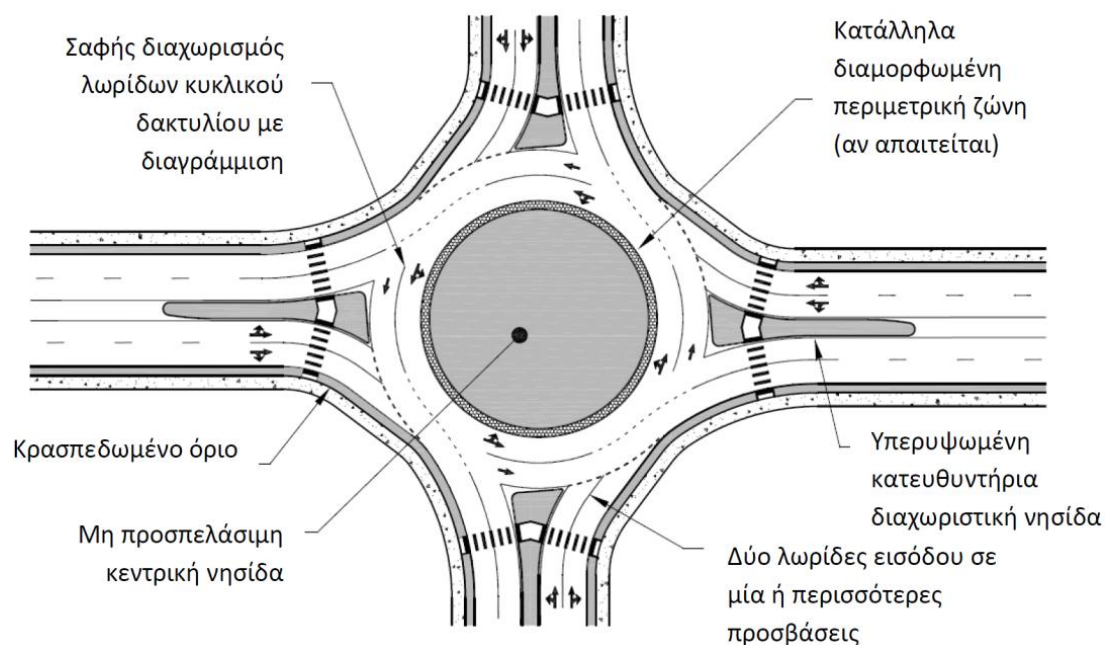
2.3.1.3. Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων (Two-Lane Roundabouts)

Οι Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων διαθέτουν κυκλικό δακτύλιο με δύο λωρίδες κυκλοφορίας, ενώ οι προσβάσεις τους είναι δυνατό να φέρουν εισόδους και εξόδους με μία ή δύο λωρίδες. Προφανώς ο αριθμός των λωρίδων μιας πρόσβασης είναι εφικτό να διαφέρει από

αυτόν μιας άλλης ανάλογα με τους κυκλοφοριακούς φόρτους. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου έχει μήκος 46m – 67m. Ο κυκλικός δακτύλιος καταλαμβάνει πλάτος 8.60m – 9.80m (4.30m – 4.90m για κάθε λωρίδα). Οι επιτρεπόμενες λειτουργικές ταχύτητες κυμαίνονται μεταξύ 40km/h και 50km/h. Η χωρητικότητα ενός τέτοιου κυκλικού κόμβου αγγίζει τα 45000 οχήματα ημερησίως (NCHRP & FHWA, 2010).

Πίνακας 2.6. Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Δύο Λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

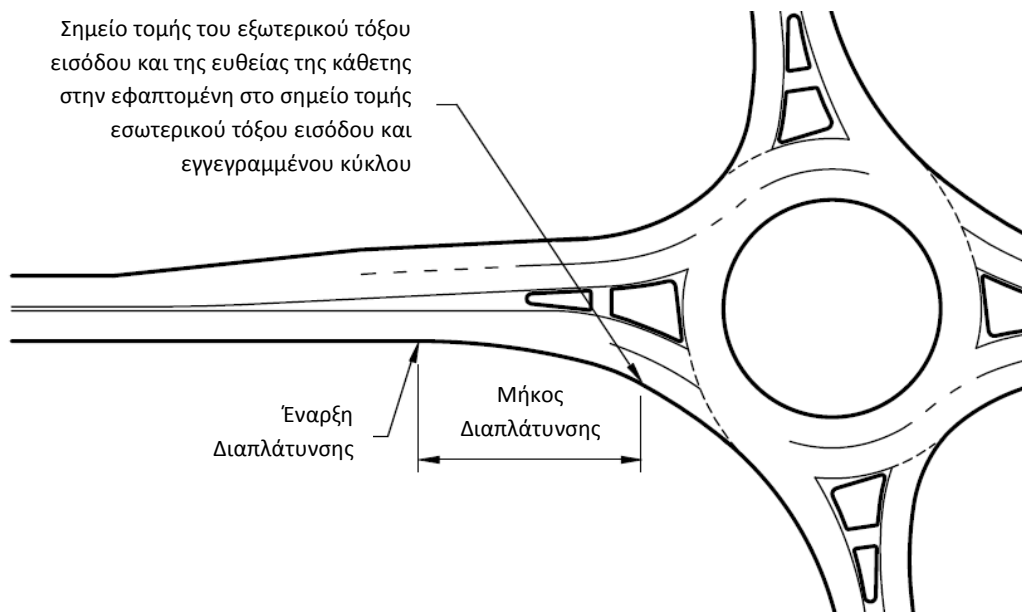
Διάμετρος εγγεγρ. κύκλου (m)	Πλάτος κυκλικού δακτυλίου (m)	Μέγιστος αριθμός λωρίδων εισόδου	Μέγιστος αριθμός λωρίδων εξόδου	Μέγιστη Ταχύτητα Εισόδου (km/h)	Μ.Η.Κ. (οχ./ημ.)
46 – 67	8.60 – 9.80	2	2	40 – 50	45000



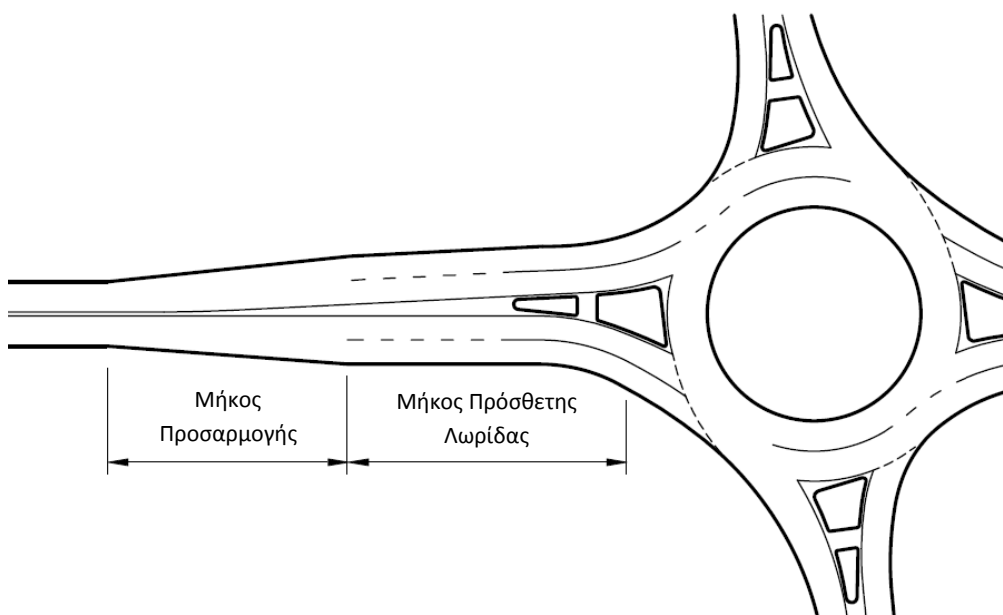
Σχήμα 2.50. Βασικά στοιχεία κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

Επιπρόσθετα έχει παρατηρηθεί, σε μία οδό με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και εφόσον οι φόρτοι εισόδου είναι

αρκούντως μεγάλοι, να πραγματοποιείται κατά την προσέγγιση σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων, διαπλάτυνση (flaring) του οδοστρώματος και δημιουργία πρόσθετου χώρου στην είσοδο (βλ. σχ. 2.51) ή ακόμα και δημιουργία πρόσθετης λωρίδας (βλ. σχ. 2.52) για την κατεύθυνση εισόδου στον κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.51. Διαπλάτυνση (flaring) λωρίδας εισόδου σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 2.52. Δημιουργία πρόσθετης λωρίδας εισόδου σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

Ο σχεδιασμός κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων περιλαμβάνει μη προσπελάσιμη κεντρική νησίδα, περιμετρική ζώνη βαρέων οχημάτων (αν κρίνεται αναγκαίο), υπερυψωμένες κατευθυντήριες νησίδες και γεωμετρικά επιβαλλόμενη εκτροπή τροχιάς εισόδου (entry path deflection) με κατάλληλη διαμόρφωση των τόξων εισόδου, αποσκοπώντας στη μείωση της ταχύτητας των εισερχόμενων οχημάτων. Επιπροσθέτως, είναι δυνατό να περιλαμβάνει διαβάσεις πεζών και ποδηλατόδρομο, όπως και ο κυκλικός κόμβος μιας λωρίδας. Επισημαίνεται πως η κυκλοφορία ποδηλάτων στον κυκλικό δακτύλιο είναι απαγορευμένη. Όταν κρίνεται απαραίτητο για λόγους που προαναφέρθηκαν, προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα και η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου, να κατασκευάζονται παρακαμπτήριες λωρίδες (Brilon, 2011).

Με σειρά αύξουσας χωρητικότητας λοιπόν, προκύπτει η ακόλουθη κατάταξη:

1. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας.
2. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας με παρακαμπτήρια-ες λωρίδα-ες (όπου καθίσταται αναγκαίο).
3. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων με εισόδους μίας λωρίδας.
4. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων με μία ή περισσότερες εισόδους δύο λωρίδων.
5. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων με μία ή περισσότερες εισόδους δύο λωρίδων και με παρακαμπτήρια-ες λωρίδα-ες (όπου καθίσταται αναγκαίο).

(Brilon, 2011)

Η χωρητικότητα αυξάνει περαιτέρω αν τοποθετηθεί φωτεινή σηματοδότηση με αποτέλεσμα τη δυνατότητα εξυπηρέτησης ακόμα και 60000οχ./ημ. από ένα σηματοδοτημένο κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.53. Τετρασκελής κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων με τέσσερις παρακαμπτήριες λωρίδες (<http://www.roundaboutsusa.com/>).

Κρίνεται απαραίτητο στο σημείο αυτό να επισημανθεί πως ανά τον κόσμο υιοθετούνται σχεδιαστικές λογικές, τα πρότυπα των οποίων είναι δυνατό να διαφέρουν λίγο έως πολύ. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στη Γερμανία τα τελευταία χρόνια αντί των κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων (two-lane roundabouts) προτιμώνται και χρησιμοποιούνται οι μικροί κυκλικοί κόμβοι δύο λωρίδων (compact or semi-two-lane roundabout) (βλ. σχ. 2.54), με τη διαφορά από τους πρώτους πως οι λωρίδες στον κυκλικό δακτύλιο δεν ορίζονται με διαγράμμιση αλλά αφήνεται προς χρήση όλο το πλάτος της οδού, ενώ οι έξοδοι διαθέτουν αποκλειστικά μία λωρίδα. Αυτό συμβαίνει σε αντιπαράθεση με τη λογική πολλών άλλων μηχανικών, π.χ. των Αμερικανών και των Γάλλων, οι οποίοι ενστερνίζονται πως οι τροχιές των οχημάτων εμπλέκονται. Οι Γερμανοί θεωρούν πως δεν υφίσταται «φυσική τροχιά» (natural trajectory) των οχημάτων και πως η γεωμετρία της οδού πρέπει να παρέχει χώρο σε όλα τα οχήματα στον κόμβο, ενώ όταν δύο οδηγοί διεκδικούν ένα χώρο θα πρέπει να διευθετούν οι ίδιοι την κατάσταση (Brilon, 2011). Επίσης όταν ένα βαρύ όχημα εισέρχεται στον κυκλικό δακτύλιο χρησιμοποιεί όλο το πλάτος της για να κινηθεί κυκλικά και τα υπόλοιπα οχήματα θα πρέπει να αποφεύγουν εμπλοκή μαζί του (Brilon,

2011). Διευκρινίζεται πως κάθε Μελετητής σχεδιάζει έναν κόμβο με κύριο γνώμονα την ασφάλεια των χρηστών και είναι αρμοδιότητά του η προσαρμογή στις εκάστοτε συνθήκες.



Σχήμα 2.54. Παράδειγμα («μικρού») υπεραστικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων στη Γερμανία. Αποκλειστικά μία λωρίδα εξόδου και απουσία διαγράμμισης στον κυκλικό δακτύλιο (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.55. Παραδείγματα κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων στις Η.Π.Α. (NCHRP & FHWA, 2010).

Υπάρχουν και περιπτώσεις κυκλικών κόμβων τόσο με μεγαλύτερες διαμέτρους όσο και με κυκλική οδό περισσότερων των δύο λωρίδων (multi-lane roundabouts) (βλ. σχ. 2.56). Η χρήση τους βέβαια είναι περιορισμένη καθώς περιορίζεται η ασφάλεια ενώ δημιουργείται επιπλέον σύγχυση στους οδηγούς σχετικά με το πώς πρέπει να οδηγήσουν σε αυτού του είδους τους κόμβους. Αποφεύγεται λοιπόν η κατασκευή κυκλικών κόμβων π.χ. τριών λωρίδων ή και μεγαλύτερων χωρίς φωτεινή σηματοδότηση (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.56. Κυκλικός κόμβος τριών λωρίδων στο Michigan των Η.Π.Α. (NCHRP & FHWA, 2010).

Τέλος πρέπει να δοθεί έμφαση στο ότι σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, μεταξύ των οποίων η Γερμανία και η Ελλάδα, δεν υφίσταται σαφής κανονισμός που να ρυθμίζει την αλληλεπίδραση και την συμπεριφορά των οδηγών εντός του κυκλικού δακτυλίου (Brilon, 2011). Είναι αναγκαίο λοιπόν στο πλαίσιο της οδικής αναβάθμισης με κυκλικούς κόμβους στην Ελλάδα να ενημερωθεί κατάλληλα και ο Κ.Ο.Κ. καθώς και το σύνολο των οδηγών.

2.3.2. Ειδικές Μορφές Κυκλικών Κόμβων

2.3.2.1. Σπειροειδείς Κόμβοι

(Turbo Roundabouts)

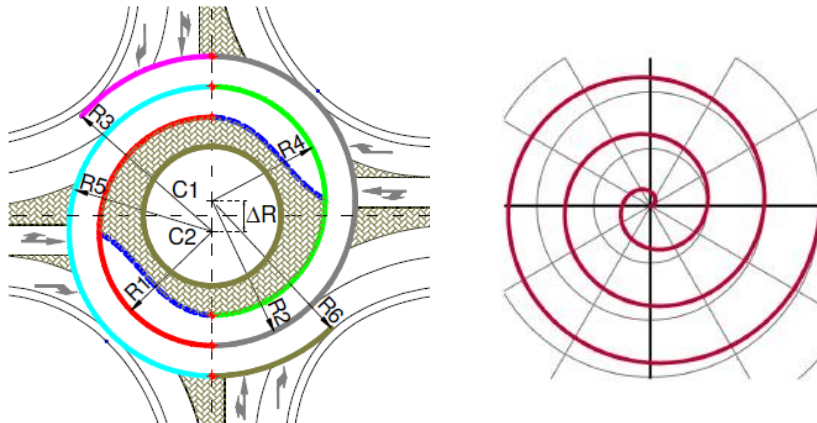
Πρόκειται για ένα είδος κυκλικών κόμβων που αναπτύχθηκε το 1996 στην Ολλανδία από τον Lambertus G.H. Fortuijn (πανεπιστήμιο Delft) αποσκοπώντας στην εξάλειψη των αδυναμιών των κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων, διατηρώντας παράλληλα τα οφέλη αυτών. Έχει καταστεί σαφές πως ενώ οι τελευταίοι υπερτερούν στο θέμα της χωρητικότητας έναντι των κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας, μειονεκτούν σημαντικά στον τομέα της ασφάλειας, αφενός λόγω των υψηλότερων λειτουργικών ταχυτήτων που διατηρούνται ως αποτέλεσμα του ευρύτερου διαθέσιμου πλάτους της οδού, και αφετέρου λόγω της πολυπλοκότερης κυκλοφοριακής κατάστασης, προϊόν των ελιγμών των οχημάτων (περιοχές πολλαπλής πλέξης) και των εμπλοκών κατά την είσοδο/έξοδο και αλλαγή λωρίδων στον κυκλικό δακτύλιο. Επιπρόσθετα στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων είναι προφανές πως είναι αυξημένος ο κίνδυνος για πεζούς και ποδηλάτες, οι οποίοι διανύουν μεγαλύτερα πλάτη οδού στις διαβάσεις και εμπλέκονται με τις ροές δύο λωρίδων σε κάθε μία από τις δύο φάσεις που διασχίζουν κάθε σκέλος του κόμβου (αν προσφέρονται δύο λωρίδες εισόδου και εξόδου στις προσβάσεις του κυκλικού κόμβου).

Πίνακας 2.7. Ενδεικτικά Στοιχεία (χωρητικότητα και σημεία εμπλοκής) Κυκλικών Κόμβων (Fortuijn, 2011).

Τύπος Κυκλικού Κόμβου	Ε.Μ.Η.Κ.* (οχήματα)	Εμπλοκές (Μ.Ε.Α. **/ώρα)
Μίας Λωρίδας	25000	1500
Δύο Λωρίδων (με μία λωρίδα εισόδου – εξόδου στις προσβάσεις)	30000	1500
Δύο Λωρίδων (με δύο λωρίδες εισόδου – εξόδου στις προσβάσεις)	40000	2400

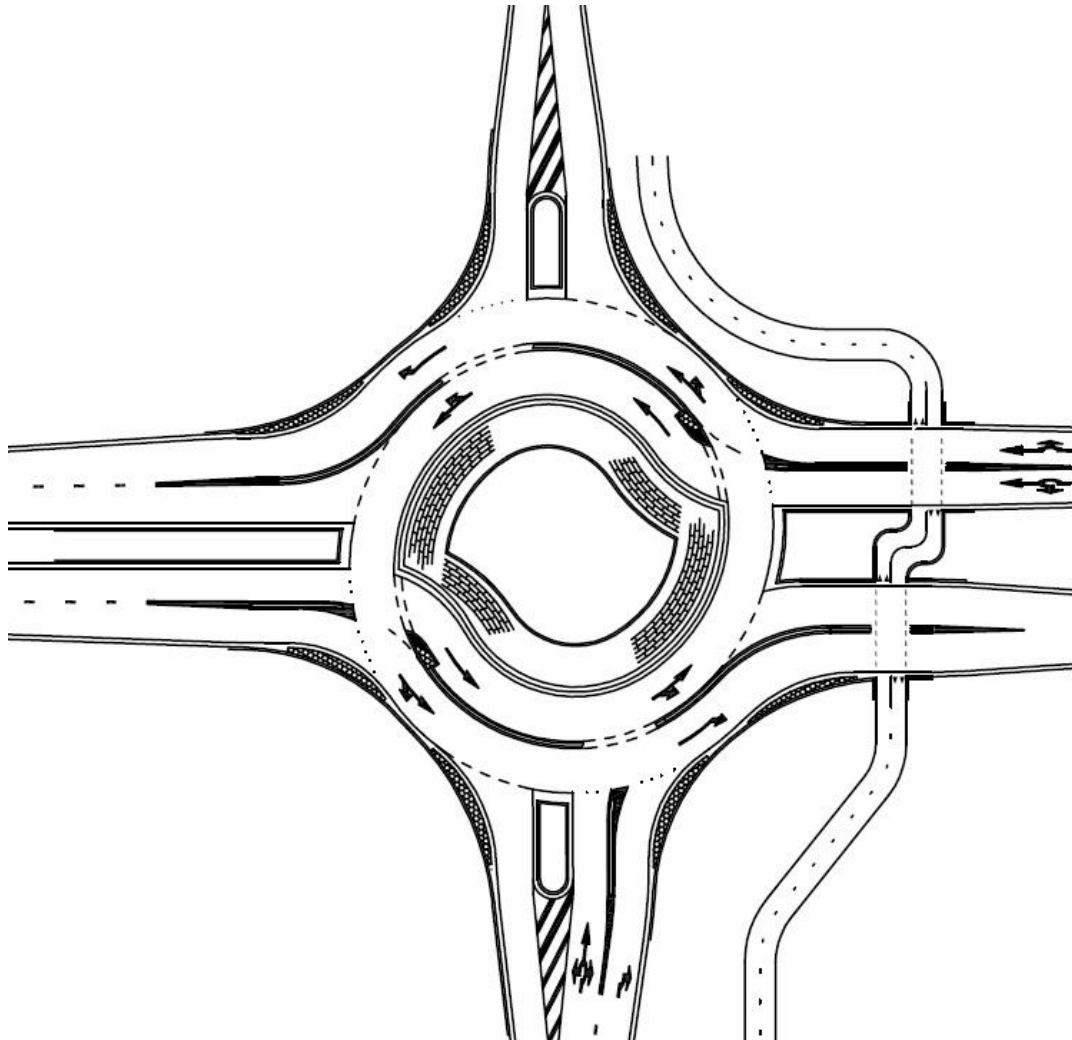
*Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία, **Μονάδες Επιβατικών Οχημάτων

Η λειτουργία των σπειροειδών κόμβων στηρίζεται σε κάποιες θεμελιώδεις αρχές όπως η προβλεψιμότητα και ο γεωμετρικός σχεδιασμός βάσει της **Αρχιμήδειας Σπείρας**. Οι οδηγοί καλούνται να επιλέγουν κατά την είσοδό τους την κατάλληλη λωρίδα κυκλοφορίας, σύμφωνα με την επιθυμητή έξοδο (προορισμός). Ο γεωμετρικός σχεδιασμός δε, είναι τέτοιος ώστε οι οδηγοί κατά την είσοδό τους να παραχωρούν προτεραιότητα σε μία και κατά μέγιστο σε δύο λωρίδες κυκλοφορίας του κόμβου, ενώ αποτρέπεται οποιοσδήποτε ελιγμός εντός αυτού. Αυτό επιτυγχάνεται με την καθοδήγηση των οχημάτων μέσω λωρίδων που ορίζονται από σπειροειδούς τροχιάς γραμμές, σε αντίθεση με τους τυπικούς κυκλικούς κόμβους, στους οποίους οι λωρίδες του κυκλικού δακτυλίου ορίζονται από ομόκεντρους κύκλους (Giuffre et al., 2009).



Σχήμα 2.57. Σχεδιασμός Σπειροειδούς Κόμβου (Turbo Roundabout) (Giuffre et al., 2009 & Fortuijn, 2011).

Ο σπειροειδής κόμβος λοιπόν, επιτυγχάνει να συνδυάσει την ασφάλεια ενός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας, καθώς περιορίζει τις εμπλοκές οχημάτων και τις υψηλές ταχύτητές τους, με την αυξημένη χωρητικότητα ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων. Συγκεντρώνει τα εξής χαρακτηριστικά: δύο λωρίδες κυκλοφορίας στον κόμβο και κατ'ελάχιστο μία έξοδο με δύο λωρίδες - είναι δυνατό όλες οι εξοδοί να διαθέτουν δύο λωρίδες (προς όφελος χωρητικότητας) -, σπειροειδής (όχι ομόκεντρη κυκλική) γεωμετρική χάραξη λωρίδων εντός του κόμβου προς απαλοιφή των ελιγμών εντός του κόμβου (προς όφελος ασφάλειας), μία και κατά μέγιστο δύο λωρίδες κυκλοφορίας στις οποίες η εισερχόμενη κυκλοφορία παραχωρεί προτεραιότητα (Fortuijn, 2011).

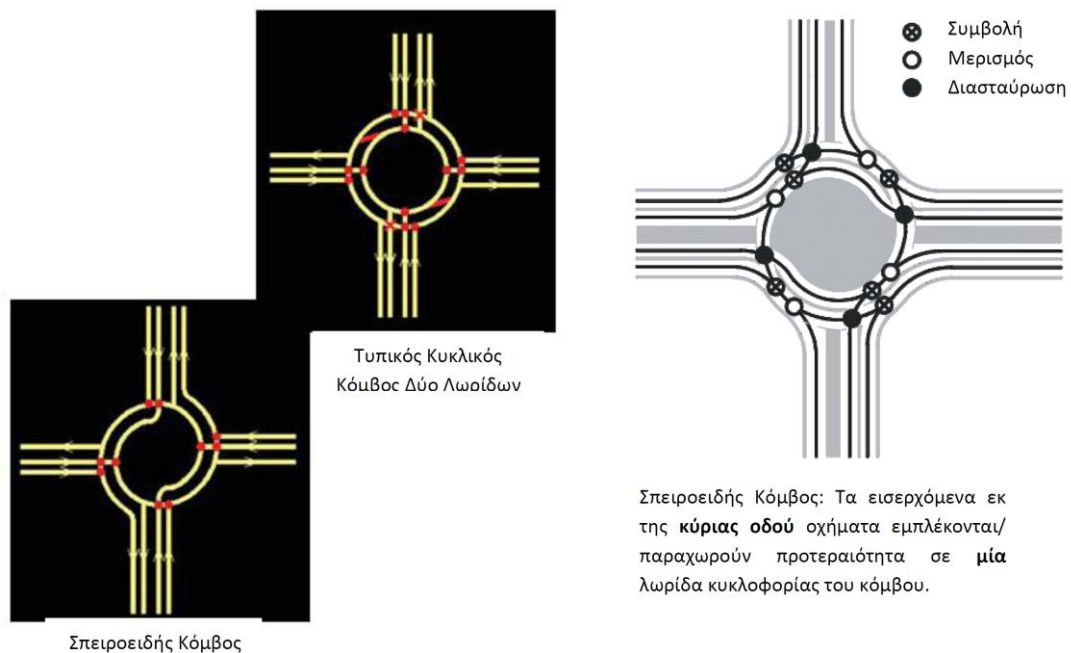


Σχήμα 2.58. Τυπικός Σπειροειδής Κόμβος (Turbo Roundabout), που συνδέει μία κύρια αρτηρία (οριζόντια διεύθυνση) με μία δευτερεύουσα (κατακόρυφη διεύθυνση). Περιλαμβάνει και διάταξη ποδηλατοδρόμου (δεξιό σκέλος) (Fortuijn, 2011).

Πίνακας 2.8. Επικίνδυνα Σημεία Εμπλοκής σε διάφορα είδη κόμβων (Brilon, 2011).

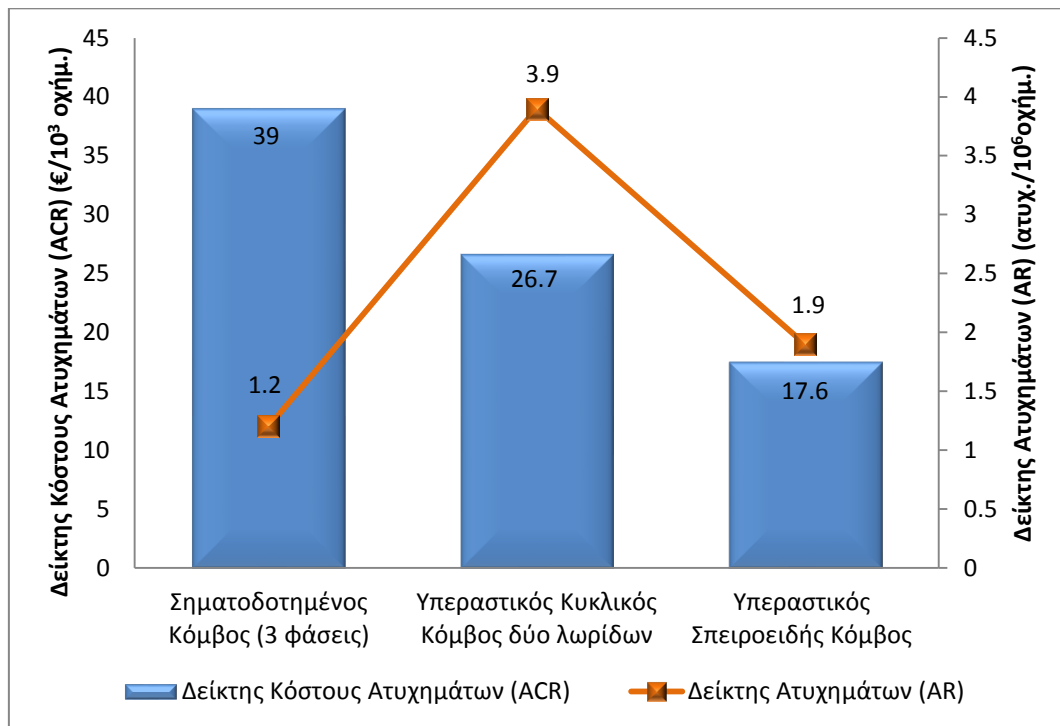
Αριθμός Σκελών	Πλήθος Σημείων Εμπλοκής		
	Μη-Σηματοδοτημένη Διασταύρωση	Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων	Σπειροειδής Κόμβος
3	9	12	7
4	32	16	10

Από τον πίνακα 2.8 καθίσταται απολύτως σαφής η υπεροχή στο θέμα της ασφάλειας του σπειροειδούς κόμβου έναντι του κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και ενός απλού μη σηματοδοτημένου ισόπεδου κόμβου. Έτσι σε έναν τετρασκελή κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων με δύο εξόδους δύο λωρίδων (διασταύρωση κύριας και δευτερεύουσας οδού), εντοπίζονται 16 σημεία εμπλοκής [12 εμπλοκές εισόδου (8 συμβολές και 4 διασταυρώσεις), 2 ελιγμοί αλλαγής λωρίδας και 2 διασταυρώσεις εξόδου], ενώ σε αντίστοιχο σπειροειδή 10 σημεία εμπλοκής (κατά την είσοδο: 6 συμβολές και 4 διασταυρώσεις) χωρίς ελιγμούς αλλαγής λωρίδων.



Σχήμα 2.59. Εμπλοκές οχημάτων σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων και σε αντίστοιχο σπειροειδή κόμβο (Fortuijn, 2011).

Έχει αποδειχθεί ότι ο σπειροειδής κόμβος είναι κατά 35%-40% πιο ικανός κυκλοφοριακά από έναν αντίστοιχο κυκλικό δύο λωρίδων και σαφώς πιο ασφαλής, όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.8. από την άποψη της μείωσης των πιθανοτήτων για οδικό ατύχημα, αλλά και από την άποψη της σοβαρότητας (κόστους) όπως προκύπτει και από το διάγραμμα του σχήματος 2.60 (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.60. Σύγκριση Δεικτών Κόστους Ατυχημάτων για υπεραστικό σπειροειδή κόμβο κοντά στη γερμανική πόλη Baden-Baden (Brilon, 2011).

Οι σπειροειδείς κόμβοι στην Ολλανδία πρακτικά έχουν εκτοπίσει τους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων σαν κατασκευαστική επιλογή, ενώ τυγχάνουν ευρείας αποδοχής τόσο στη Γερμανία όσο και σε άλλες ευρωπαϊκές κυρίως χώρες. Υπάρχουν ωστόσο διαφορές στα πρότυπα που εφαρμόζονται ανά χώρα: Επί παραδείγματι στη Γερμανία, εν αντιθέσει με τις σχεδιαστικές προδιαγραφές που πρώτη η Ολλανδία (CROW) έθεσε, δεν προτιμώνται τα υπερυψωμένα διαχωριστικά τύπου curb (από βασάλτη ή σκληρό καουτσούκ) των λωρίδων εντός του κόμβου (βλ. σχ. 2.61), ώστε να διαχωρίζεται σαφώς η κίνηση των οχημάτων εντός του κόμβου, αλλά απλή διαγράμμιση αντ' αυτών, κυρίως για διευκόλυνση των εκχιονιστικών μηχανημάτων (Brilon, 2011).



Σχήμα 2.61. Στην Ολλανδία χρησιμοποιούνται υπερυψωμένα διαχωριστικά (curbs) λωρίδων εντός του κόμβου, προσπελάσιμα από βαρέα οχήματα (Fortuijn, 2011).



Σχήμα 2.62. Έγκαιρη και σαφής σήμανση και διαγράμμιση οδοστρώματος ώστε οι οδηγοί να επιλέγουν βάσει της επιθυμητής εξόδου (προορισμού) την κατάλληλη λωρίδα εισόδου και κυκλοφορίας στον κόμβο, αποφεύγοντας περιττούς ελιγμούς (Brilon, 2011).

Ο εξοπλισμός και οι διαμορφώσεις ενός σπειροειδούς κόμβου δεν διαφέρουν από αντίστοιχου μεγέθους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων. Η κεντρική νησίδα, η οποία πλέον δεν έχει κυκλικό σχήμα, είναι απροσπέλαστη για τα οχήματα και υπερυψωμένη, ενώ είναι δυνατό να διαθέτει και ποδιά για βαρέα οχήματα. Οι σπειροειδείς κόμβοι διαθέτουν και αυτοί πλήρη διοχετευτική διαρρύθμιση με κατευθυντήριες – διαχωριστικές νησίδες και κατάλληλη διαμήκη και εγκάρσια διαγράμμιση, ενώ είναι δυνατό να διαθέτουν υπερυψωμένα διαμήκη διαχωριστικά στοιχεία από βασάλτη ή σκληρό καουτσούκ ώστε να αποτρέπεται η πλευρική παρέκκλιση των οχημάτων από τη λωρίδα που έχουν επιλέξει για την κίνησή τους εντός του κόμβου. Ισχύουν επίσης συνήθεις κατασκευαστικές πρακτικές όπως η διεύρυνση του οδοστρώματος μιας οδού κατά την είσοδο στον κόμβο (flaring) και η δημιουργία μίας επιπλέον λωρίδας εισόδου, καθώς και η εκτροπή (γεωμετρικά) της τροχιάς κίνησης των εισερχόμενων οχημάτων (deflection) ώστε να ελαττώσουν ταχύτητα. Φυσικά, αν υφίσταται επιτακτική ανάγκη, κατασκευάζονται παρακαμπτήριες λωρίδες προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι σημαντικοί φόρτοι που στρέφουν δεξιά και να αυξηθεί η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου (Brilon, 2011).

Για τους πεζούς κατασκευάζονται διαβάσεις που περιλαμβάνουν εγκάρσια διαγράμμιση στο οδόστρωμα και κατάλληλη διαμόρφωση των κατευθυντήριων νησίδων (ισχύει και στην περίπτωση των σπειροειδών κόμβων πως σε αστικές περιοχές οι πεζοί πρέπει να διαθέτουν προτεραιότητα έναντι των μηχανοκίνητων οχημάτων, αλλά σε υπεραστικές όχι). Για τους ποδηλάτες απαγορεύεται ρητά η κίνησή τους να συγχωνεύεται με την κυκλοφορία των μηχανοκίνητων οχημάτων εντός του κόμβου και αν κρίνεται αναγκαίο κατασκευάζεται ποδηλατόδρομος με τις ανάλογες διαμορφώσεις και ποτέ εντός της κυκλοτερούς διαδρομής του κόμβου (ισχύει επίσης ότι πρέπει οι ποδηλάτες να διατηρούν προτεραιότητα εντός αστικών περιοχών, ενώ εκτός αυτών να την παραχωρούν στα μηχανοκίνητα οχήματα). Διαβάσεις πεζών και ποδηλατόδρομος κατασκευάζονται πάντα σε απόσταση ενός οχήματος ή 5m από τη γραμμή εισόδου στον κυκλοτερή δακτύλιο. Γενικά, πρέπει να επισημανθεί, πως όταν οι σπειροειδείς

κόμβοι επιλέγονται για υπεραστική κυρίως χρήση, αποφεύγεται η εμπλοκή πεζών και ποδηλάτων, καταφεύγοντας σε κατασκευαστικές λύσεις όπως γέφυρες (πεζογέφυρες, ποδηλατογέφυρες) ή υπόγειες διαβάσεις (Brilon, 2011).

Οι σπειροειδείς κόμβοι διακρίνονται και αυτοί σε σηματοδοτημένους και μη, με τους πρώτους να συναντώνται κυρίως στην Ολλανδία, στο δίκτυο της οποίας από το 2000 προστέθηκαν περίπου 160 σπειροειδείς κόμβοι (το 70% αυτών είναι υπεραστικοί) (Fortuijn, 2011). **Συνοψίζοντας** σε έναν τυπικό σπειροειδή κόμβο συναντούμε τα εξής **χαρακτηριστικά στοιχεία**:

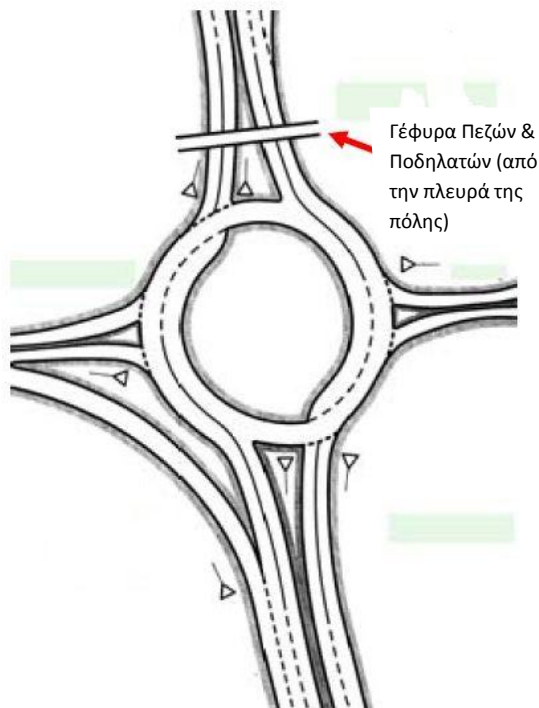
- Η λογική της λειτουργίας του στηρίζεται στην αρχή της αύξησης της χωρητικότητας των κυκλικών κόμβων, χωρίς να αυξάνεται το μέγεθος (διάμετρος), και της διατήρησης της ασφάλειας σε υψηλό επίπεδο.
- Σε τουλάχιστον μία είσοδο εισάγεται μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στον κυκλοτερή δακτύλιο του κόμβου (χαρακτηριστικό χωρητικότητας – ικανότητας).
- Οι εισερχόμενοι οδηγοί παραχωρούν προτεραιότητα σε όχι άνω των δύο λωρίδες κυκλοφορίας (χαρακτηριστικό ασφάλειας).
- Ομαλές καμπύλες λωρίδων αποτέλεσμα της άρτιας εφαρμογής σπειροειδούς διάταξης (χαρακτηριστικό άνεσης).
- Κάθε τομέας του σπειροειδούς κόμβου περιλαμβάνει μία λωρίδα, η κυκλοφορία της οποίας δύναται να επιλέγει αν θα εξέλθει ή θα συνεχίσει την κυκλοτερή κίνηση.
- Σε ανταπόκριση στο προηγούμενο, τουλάχιστον δύο σκελών οι έξοδοι διαθέτουν δύο λωρίδες (χαρακτηριστικό χωρητικότητας – ικανότητας).
- Η διάμετρος του κόμβου διατηρείται μικρή δημιουργώντας βέλτιστης καμπυλότητας τροχιές κίνησης των οχημάτων (χαρακτηριστικό ασφάλειας).
(Fortuijn, 2011)

Επιπλέον χαρακτηριστικά που διέπουν τον σχεδιασμό των σπειροειδών κόμβων:

- Προσπελάσιμη (βατή) περιμετρική ζώνη (apron) (υπερυψώνεται περί τα 3cm - 7cm), η οποία περιβάλλει την κεντρική νησίδα και διευκολύνει την κίνηση βαρέων οχημάτων.
- Υπερυψωμένα διαμήκη διαχωριστικά στοιχεία (curbs) αντί αντίστοιχης διαγράμμισης μεταξύ των λωρίδων για αποφυγή ελιγμών εντός του κόμβου (εξαλείφονται οι πλάγιες συγκρούσεις). Παρατηρείται κυρίως σε ολλανδικές κατασκευές. (Fortuijn, 2011)



Σχήμα 2.63. Ολλανδία: Τετρασκελής (πάνω) και Τρισκελής (κάτω) Σπειροειδής Κόμβος με υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδων (Fortuijn, 2011).



Σχήμα 2.64. Γερμανία: Τετρασκελής Σπειροειδής Κόμβος κοντά στην πόλη Baden-Baden με παρακαμπτήρια λωρίδα και γέφυρα για πεζούς και ποδηλάτες. (Διακρίνεται η απουσία υπερυψωμένων διαχωριστικών των λωρίδων) (Brilon, 2011).

Ανάλογα με τον αριθμό των σκελών και τον αριθμό των λωρίδων εισόδων και εξόδων διακρίνουμε διάφορες παραλλαγές σπειροειδών κόμβων με αντίστοιχες κυκλοφοριακές ικανότητες. Ενδεικτικά αναφέρονται (Fortuijn, 2009):

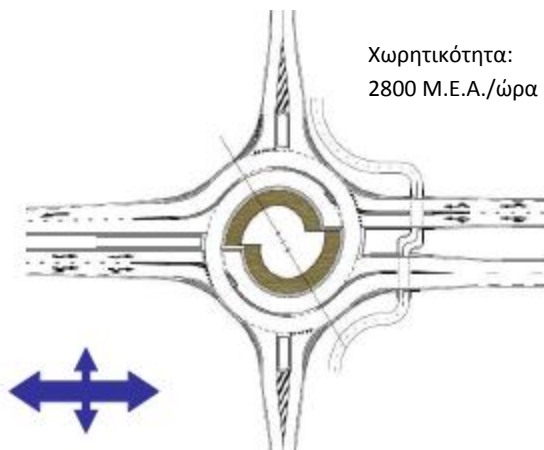
- Βασικός Σπειροειδής Κόμβος (Basic Turbo Roundabout)



Διαθέτει:

- α) Δύο Εξόδους Δύο Λωρίδων και Δύο Εξόδους Μίας Λωρίδας.
 - β) Τέσσερις Εισόδους Δύο Λωρίδων.
- (Fortuijn, 2009)

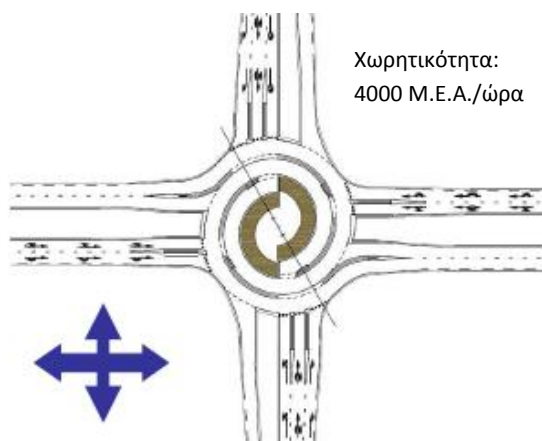
- Σπειροειδής Κόμβος τύπου «Αυγό» (Egg Roundabout)



Διαθέτει:

- α) Δύο Εξόδους Δύο Λωρίδων και Δύο Εξόδους Μίας Λωρίδας.
 - β) Δύο Εισόδους Δύο Λωρίδων και Δύο Εισόδους Μίας Λωρίδας.
- (Fortuijn, 2009)

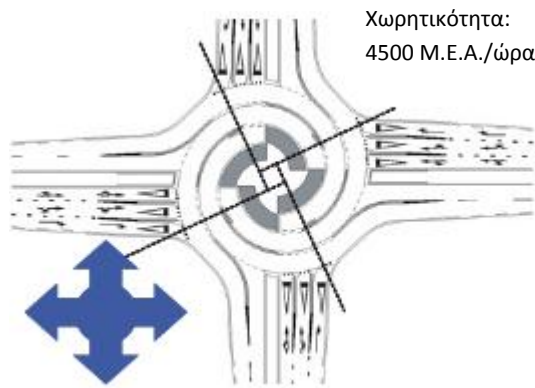
- «Σπείρα» (Spiral Roundabout)



Διαθέτει:

- α) Δύο Εξόδους Δύο Λωρίδων και Δύο Εξόδους Μίας Λωρίδας.
 - β) Δύο Εισόδους Τριών Λωρίδων και Δύο Εισόδους Δύο Λωρίδων.
- (Fortuijn, 2009)

- Σπειροειδής Κόμβος τύπου «Ρότορας» (Rotor Roundabout)



Διαθέτει:

α) Τέσσερις Εξόδους Δύο Λωρίδων.

β) Τέσσερις Εισόδους Τριών Λωρίδων.

Παρέχει τη δυνατότητα:

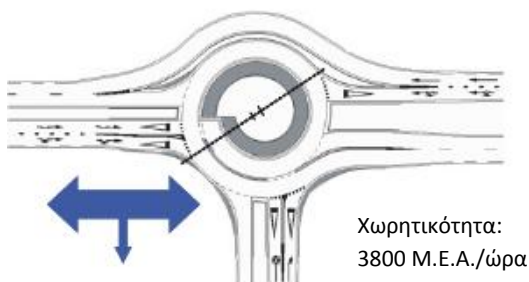
α) Δεξιάς Στροφής μέσω δύο λωρίδων.

β) Ευθείας Κίνησης μέσω δύο λωρίδων.

γ) Αριστερής Στροφής μέσω μίας λωρίδας.

(Fortuijn, 2009)

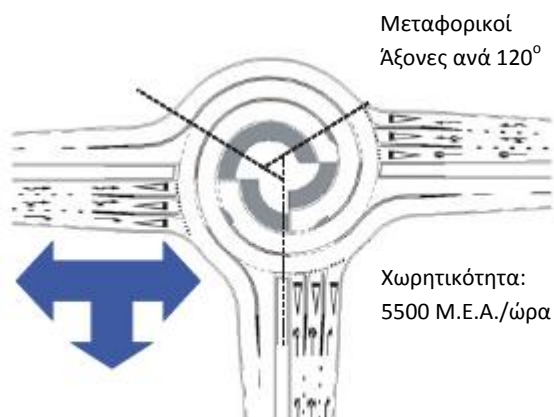
- (Τρισκελής) Σπειροειδής Κόμβος τύπου «Γόνατο» (Knee Roundabout)



Διαθέτει παρακαμπτήρια λωρίδα κατευθείαν κίνησης.

(Fortuijn, 2009)

- (Τρισκελής) Σπειροειδής Κόμβος τύπου «Αστέρι» (Star Roundabout)



Από κάθε κατεύθυνση είναι δυνατή η αριστερή στροφή μέσω δύο λωρίδων.

(Fortuijn, 2009)

Τέλος, είναι εφικτό να συναντήσει κανείς στην Ολλανδία υπερβολικές περιπτώσεις σπειροειδών κόμβων, όπως σηματοδοτημένους «ρότορες», οι οποίοι διαθέτουν Μία Είσοδο με Τρεις Λωρίδες, Δύο Εισόδους με Πέντε Λωρίδες και Μία Είσοδο με Έξι λωρίδες (βλ. σχ. 2.65) (Fortuijn, 2011). Σε κάθε περίπτωση τέτοιου είδους κατασκευαστικές επιλογές απαιτούν λεπτομερή σχεδιασμό και δοκιμές προσομοίωσης, ώστε να μη διακυβεύονται τα πλεονεκτήματα των σπειροειδών κόμβων και κυρίως η ασφάλεια των χρηστών.



Σχήμα 2.65. Ολλανδία: Σηματοδοτημένος Τετρασκελής Σπειροειδής Κόμβος τύπου «Ρότορας». Πεζοί και Ποδηλάτες διέρχονται ανενόχλητοι από υπόγεια διάβαση (Fortuijn, 2011).

2.3.2.2. Κυκλικοί Κόμβοι με Αποκλειστικές Λωρίδες Δεξιών Στροφών ή Κυκλικοί Κόμβοι τύπου «Άνθος» (Flower Roundabout)

Μας συστήθηκαν από τον Σλοβένο Tomaz Tollazzi το 2010 σε μία προσπάθεια αντιμετώπισης των «πιο επικίνδυνων» σημείων εμπλοκής, των διασταυρώσεων, στους σπειροειδείς κόμβους αλλά παράλληλα διατήρησης της χωρητικότητάς τους σε συνδυασμό με την ασφάλεια που προσφέρουν οι κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας. Το αποτέλεσμα βάσει της λογικής του σπειροειδούς κόμβου, η οποία επιτάσσει σαφή διαχωρισμό των εσωτερικών λωρίδων κυκλοφορίας του κόμβου, ήταν η δημιουργία ενός υβριδίου με μία λωρίδα κυκλοφορίας και τέσσερις «παρακαμπτήριες» λωρίδες εντός του κόμβου (Tollazzi et al., 2011).

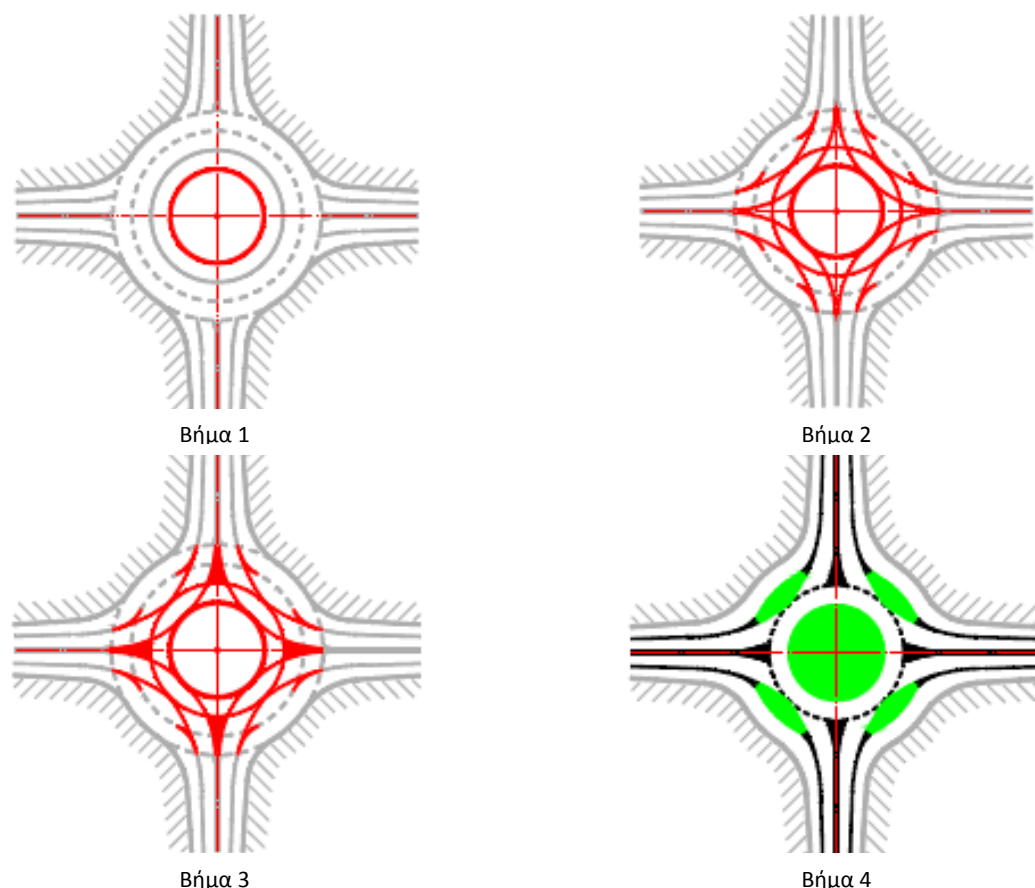


Σχήμα 2.66. Εμπλοκή διασταύρωσης κατά την είσοδο οχημάτων στο σπειροειδή κόμβο. Έχει προκύψει από σχετική έρευνα πως προκαλεί αίσθηση ανασφάλειας και κινδύνου στους οδηγούς (Tollazzi et al., 2011).



Σχήμα 2.67. Κυκλικός Κόμβος τύπου «Άνθος» (Tollazzi et al., 2011).

Ένας επίσης σημαντικός λόγος για την ανάγκη δημιουργίας αυτής της μορφής κυκλικού κόμβου ήταν και το υψηλό κόστος της διαμόρφωσης των σπειροειδών κόμβων σε αντίθεση με το μικρότερο κόστος μετατροπής των ήδη υφιστάμενων κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων σε κόμβους τύπου «άνθος», καθώς απλά διαχωρίζεται η μία λωρίδα κυκλοφορίας του κυκλικού δακτυλίου από τις λωρίδες των δεξιών στροφών με μία νησίδα. Τοιουτοτρόπως η εσωτερική κυκλική διαδρομή χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά από οχήματα που στρέφουν αριστερά ή κατευθύνονται ευθεία, με αποτέλεσμα να εξαλείφονται πλήρως οι ελιγμοί αλλαγών λωρίδων εντός του κόμβου και να απομένουν μόνο οι εμπλοκές συμβολής, οι οποίες θεωρούνται οι πιο ακίνδυνες από άποψη πιθανότητας αλλά και σοβαρότητας οδικών συμβάντων (Tollazzi et al., 2011).



Σχήμα 2.68. Μετατροπή υφιστάμενου κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων σε κυκλικό κόμβο τύπου «Άνθος» με αποκλειστικές λωρίδες δεξιών στροφών (Tollazzi et al., 2011).

Συγκρίνοντας τη χωρητικότητα Κυκλικού Κόμβου Δύο Λωρίδων (Two-Lane Roundabout), Σπειροειδούς Κόμβου (Turbo Roundabout) και Κυκλικού Κόμβου τύπου «Άνθος» με προσομοίωση σε πλατφόρμα PTV VISSIM για τρία βασικά σενάρια με 40%, 60%, και 80% δεξιά στρεφόντων οχημάτων της κυκλοφορίας της κύριας οδού και για φόρτους 750, 1000, 1250 και 1500 οχήματα σε μία ώρα αιχμής, προέκυψε πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους μεταξύ των διαφορετικών τύπων κόμβων, ενώ εμφανίζεται ως βέλτιστη λειτουργικά λύση ο κόμβος «άνθος» για φόρτο 1250 οχημάτων/ώρα και 80% δεξιά στρέφοντα οχήματα με χρονική καθυστέρηση της τάξης των 20 δευτερολέπτων σε σχέση με τον απλό κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων με καθυστέρηση 40 δευτερολέπτων και το σπειροειδή κόμβο με καθυστέρηση οχημάτων της τάξης των 66 δευτερολέπτων. Ωστόσο παρουσιάζεται κορεσμός στον κυκλικό κόμβο τύπου «άνθος» τη στιγμή που εξαντλείται η χωρητικότητα της μίας λωρίδας κυκλοφορίας του κυκλικού δακτυλίου (Tollazzi et al., 2011).

2.3.2.3. «Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος (Magic Roundabout)



Αναφέρεται για καθαρά ιστορικούς λόγους καθώς αποτελεί **παράδειγμα προς αποφυγή**, ενώ συχνά στο παρελθόν έχει ανακηρυχθεί ως ο χειρότερος και πιο επικίνδυνος κυκλικός κόμβος στη Μεγ. Βρετανία. Εφευρέθηκε, όπως και ο κυκλικός κόμβος μικρής διαμέτρου, από τον Βρετανό Frank Blackmore και έχει κατασκευαστεί περιορισμένος αριθμός «μαγικών» κόμβων σε βρετανικές πόλεις όπως το Swindon και το Hemel Hempstead. Ο πρώτος στο Swindon, κατασκευάστηκε το 1972. Ουσιαστικά συνίσταται από πέντε κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου (mini roundabouts) σε κυκλική διάταξη περίξ κεντρικής κυκλικής νησίδας, και οι οποίοι συνδέονται με σύντομες οδούς. Έχει κερδίσει τη δυσαρέσκεια των

χρηστών, καθώς προκαλεί τεράστια σύγχυση ιδιαίτερα σε οδηγούς που τον χρησιμοποιούν για πρώτη φορά, ενώ επίσημα έχει αποσπάσει τον τίτλο του πιο «εχθρικού» κόμβου στη Μ. Βρετανία αρκετές φορές τα τελευταία έτη.



Σχήμα 2.69. «Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος (Magic Roundabout) στο Swindon (Φωτογραφία από τον δορυφόρο GeoEye-1 μέσω Google Earth).

2.4. Λεπτομερής Σχεδιασμός Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων

Δεδομένου πως στην Ελλάδα δεν υφίσταται σαφές πλαίσιο σχεδιασμού και μελέτης σύγχρονων κυκλικών κόμβων και προκειμένου να δοθεί μία σαφής εικόνα των προτύπων που υιοθετούνται διεθνώς, κρίνεται δόκιμο να παρουσιασθούν και να αναλυθούν οι συγκεκριμένες παράμετροι και οδηγίες που διέπουν τον γεωμετρικό σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων σε Η.Π.Α., Μεγάλη Βρετανία και Γερμανία και ακολούθως να επισημανθούν ομοιότητες και διαφορές, ενώ θα επιχειρηθεί τελικά η πρόταση ενός πλαισίου οδηγιών, το οποίο θα κριθεί εφαρμόσιμο στην Ελλάδα. Στο λεπτομερή γεωμετρικό σχεδιασμό κυκλικών κόμβων είναι αφιερωμένο το τρίτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3. Προδιαγραφές Σχεδιασμού Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων

3.1. Εισαγωγή

Ο γεωμετρικός σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου απαιτεί τον συμβιβασμό και την ισορροπία «ανταγωνιστικών» αντικειμενικών στόχων, όπως η ασφάλεια της κυκλοφορίας και η κυκλοφοριακή ικανότητα αυτού. Η ασφαλής λειτουργία κόμβων τέτοιου είδους εξαρτάται από τη γεωμετρία, η οποία είναι αναγκαίο να υποχρεώνει τα οχήματα σε κίνηση με χαμηλές ταχύτητες τόσο κατά την είσοδο, όσο και κατά την κυκλοφορία τους στον κυκλικό δακτύλιο. Ελλιπής γεωμετρικός σχεδιασμός, έχει αποδειχθεί πως επηρεάζει αρνητικά τη συμπεριφορά και τις επιλογές των οδηγών. Καθοριστική παράμετρος διαστασιολόγησης είναι και το όχημα σχεδιασμού, σύμφωνα με το οποίο καθορίζονται τα τόξα ελιγμών της κυκλικής κίνησης. Έτσι, ουσιαστικά **ο γεωμετρικός σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου συνιστά μία διαδικασία βέλτιστης εξισορρόπησης υψηλών προτύπων**

ασφάλειας, αυξημένης κυκλοφοριακής ικανότητας με ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων και αποτελεσματικής εξυπηρέτησης του οχήματος σχεδιασμού.

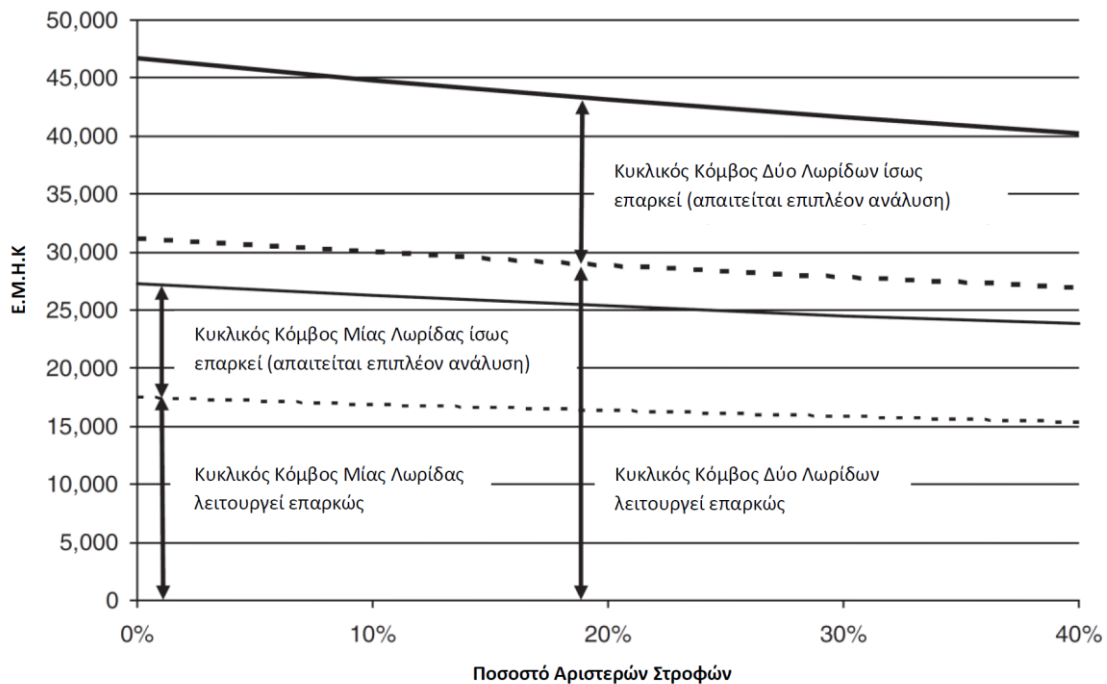
Ενώ η βασική μορφή και τα χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων είναι γενικά ανεξάρτητα της τοποθεσίας κατασκευής τους, η τελική γεωμετρική διαμόρφωση εξαρτάται από τις διατηρούμενες ταχύτητες στην ευρύτερη περιοχή, την επιθυμητή κυκλοφοριακή ικανότητα και χωρητικότητα του κόμβου, τον αναγκαίο αριθμό λωρίδων, τη διαθέσιμη επιφάνεια και άλλες συνιστώσες, μοναδικές για την εκάστοτε θέση. Σε υπεραστικά περιβάλλοντα, όπου οι ταχύτητες μελέτης είναι υψηλές και η κυκλοφορία πεζών και ποδηλατών είναι από ελάχιστη έως ανύπαρκτη, οι σχεδιαστικές παράμετροι διαφέρουν ουσιαστικά από εκείνες κυκλικών κόμβων που κατασκευάζονται εντός αστικών περιοχών, όπου η ασφάλεια πεζών και ποδηλατών κρίνεται μείζονος και πρωταρχικής σημασίας. Επισημαίνεται πως οι τεχνικές σχεδιασμού κόμβων μίας και δύο λωρίδων διαφέρουν επίσης σημαντικά.

Η διαδικασία σχεδιασμού περιλαμβάνει διάφορα στάδια δοκιμών και διαδοχικών προσεγγίσεων, ώστε να διερευνηθούν εναλλακτικές λύσεις για την εκλογή της προσφορότερης. Τα δεδομένα της λειτουργικής ανάλυσης χρησιμοποιούνται ώστε να καθοριστεί ο αριθμός των απαιτούμενων λωρίδων του κυκλικού κόμβου και κατ' επέκταση το μέγεθος και άλλα χαρακτηριστικά αυτού.

Χωρητικότητα

Η χωρητικότητα, η κυκλοφοριακή ικανότητα και το μέγεθος ενός κυκλικού κόμβου είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τον **αριθμό των λωρίδων του κυκλικού δακτυλίου**, ο οποίος θα εξυπηρετεί τους προβλεπόμενους κυκλοφοριακούς φόρτους. Μία μέθοδος προσδιορισμού του απαιτούμενου αριθμού λωρίδων είναι αυτή, η οποία στηρίζεται στην Ε.Μ.Η.Κ. (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία) ή/και στους φόρτους των στρεφουσών κινήσεων. Σε επίπεδο

σχεδιασμού και λειτουργικής ανάλυσης και όχι σε επίπεδο οριστικής μελέτης, είναι εφικτό να προεπιλέγεται ο αριθμός των λωρίδων σύμφωνα με τη δεδομένη Ε.Μ.Η.Κ. και με σενάρια πρόβλεψης ποσοστών αριστερά στρεφόντων οχημάτων, όπως στο διάγραμμα του σχήματος 3.1 (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.1. Συντηρητική Προσέγγιση τεσσάρων φασμάτων για αντίστοιχα ποσοστά αριστερά στρεφόντων οχημάτων, με σκοπό την εκτίμηση του απαιτούμενου αριθμού λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

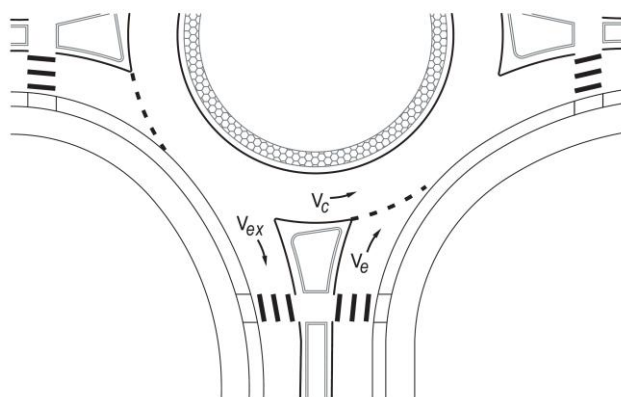
Το παραπάνω διάγραμμα είναι εφαρμόσιμο εφόσον:

- Ο λόγος (K) του κυκλοφοριακού φόρτου της ώρας αιχμής προς τον αντίστοιχο σε ημερήσια βάση κυμαίνεται από 0.09 έως 0.10.
- Κατανομή κυκλοφορίας (D) προς τις διάφορες κατευθύνσεις της τάξης του 0.52 έως 0.58.
- Ο λόγος του φόρτου της δευτερεύουσας οδού προς τη συνολική κυκλοφορία κυμαίνεται μεταξύ 0.33 και 0.50.
- Αποδεκτός λόγος συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου προς χωρητικότητα της τάξης του 0.85 έως 1.00 (κορεσμός).

(NCHRP & FHWA, 2010)

Αν οι φόρτοι εμπίπτουν εντός των ορίων που επιβάλλουν εκτενέστερη ανάλυση, η προτεινόμενη επιλογή πιθανότατα λειτουργεί σε αποδεκτά επίπεδα, όμως λεπτομερέστερη μελέτη και σχεδιασμός βάσει των κυκλοφοριακών φόρτων και των ποσοστών των αντίστοιχων κινήσεων (αριστερές/δεξιές στροφές κ.λπ.) είναι δυνατό να οδηγήσει σε περαιτέρω κατασκευαστικές απαιτήσεις (παρακαμπτήριες λωρίδες κ.λπ.) (NCHRP & FHWA, 2010).

Η επιλογή του αριθμού των λωρίδων εισόδου είναι δυνατό να καθορίζεται σε πρώτη φάση σύμφωνα με το άθροισμα της ροής εισόδου και της κυκλοφοριακής ροής στον κυκλικό δακτύλιο που

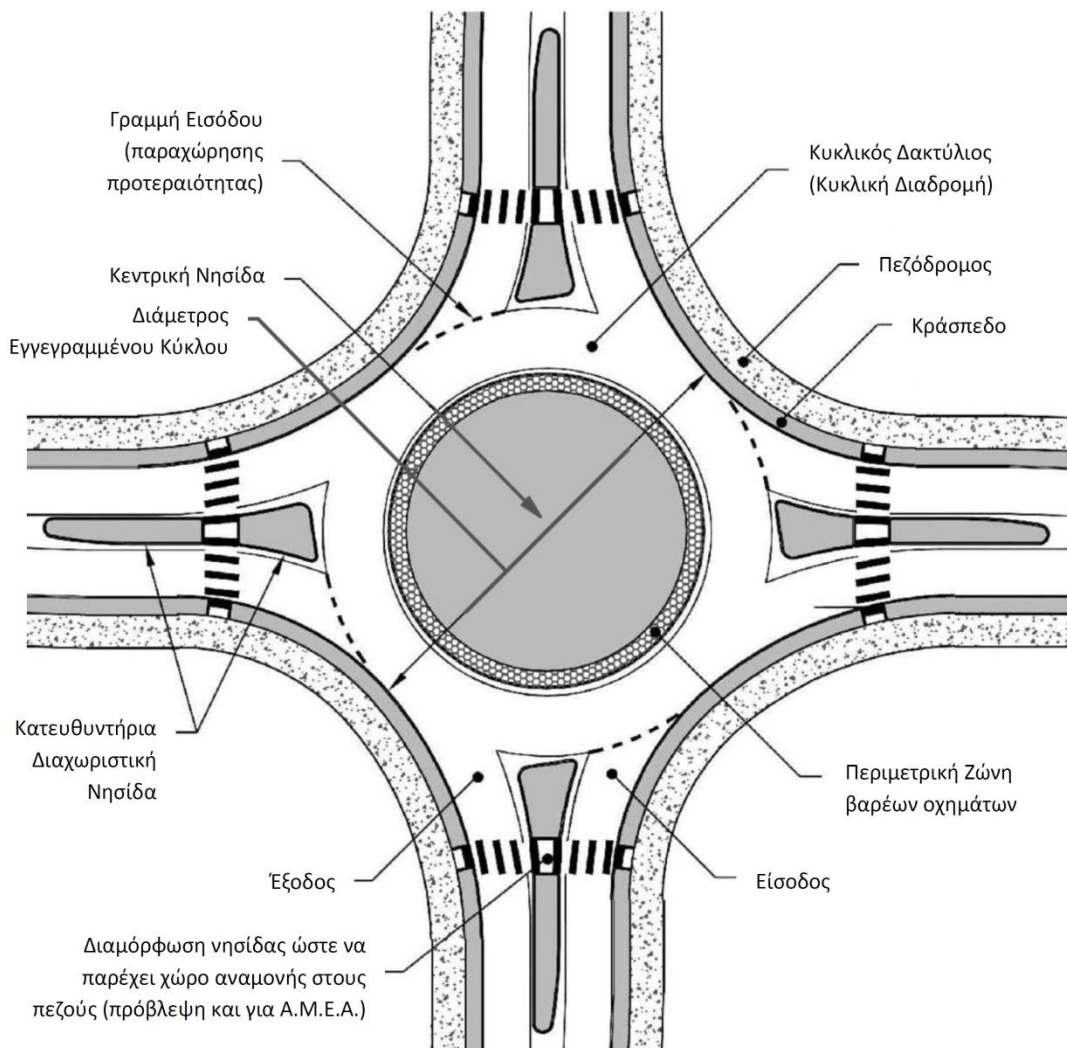


εμπλέκεται με τη ροή εισόδου στη γραμμή αυτής. Προφανώς μικρό άθροισμα εμπλεκόμενων ροών σε ένα σκέλος ενός κυκλικού κόμβου συνεπάγεται μεγαλύτερη χωρητικότητα του σκέλους, καθώς υψηλότερος κυκλοφοριακός φόρτος επιτρέπεται να εισέρχεται στον κόμβο στη μονάδα του χρόνου (NCHRP & FHWA, 2010).

Πίνακας 3.1. Επιλογή αριθμού λωρίδων εισόδου (NCHRP & FHWA, 2010).

Άθροισμα Εμπλεκόμενων Ροών στην είσοδο ($v_c + v_e$) (οχήματα/ώρα)	Απαιτούμενος Αριθμός Λωρίδων Εισόδου
0 – 1000	<ul style="list-style-type: none"> Μία (1) λωρίδα θεωρείται επαρκής.
1000 – 1300	<ul style="list-style-type: none"> Πιθανότατα αναγκάζει Δύο (2) λωρίδες. Ίσως βάσει λεπτομερέστερης ανάλυσης να είναι αρκούντως ικανή Μία (1) λωρίδα.
1300 – 1800	<ul style="list-style-type: none"> Δύο (2) λωρίδες θεωρούνται επαρκείς.
> 1800	<ul style="list-style-type: none"> Απαιτείται λεπτομερέστερη αξιολόγηση χωρητικότητας ώστε να επιβεβαιωθεί ο αριθμός των λωρίδων και περαιτέρω λεπτομέρειες, όπως παρακαμπτήριες λωρίδες κ.λπ.

Βασικές Αρχές και Στόχοι του Γεωμετρικού Σχεδιασμού



Σχήμα 3.2. Βασικά Στοιχεία Τυπικού Κυκλικού Κόμβου (μίας λωρίδας).

Υφίσταται ένα γενικό πλαίσιο αρχών και προϋποθέσεων, τις οποίες είναι απαραίτητο να πληροί κάθε κυκλικός κόμβος ανεξαρτήτως μορφής και από τις οποίες πρέπει να διέπεται ένας σχεδιασμός υψηλών προδιαγραφών:

- Επιβολή **χαμηλών ταχυτήτων** κατά την είσοδο, εντός και κατά την έξοδο του κυκλικού κόμβου, μέσω **εκτροπής** της τροχιάς κίνησης, μετατρέποντας την από ευθεία σε καμπύλη.

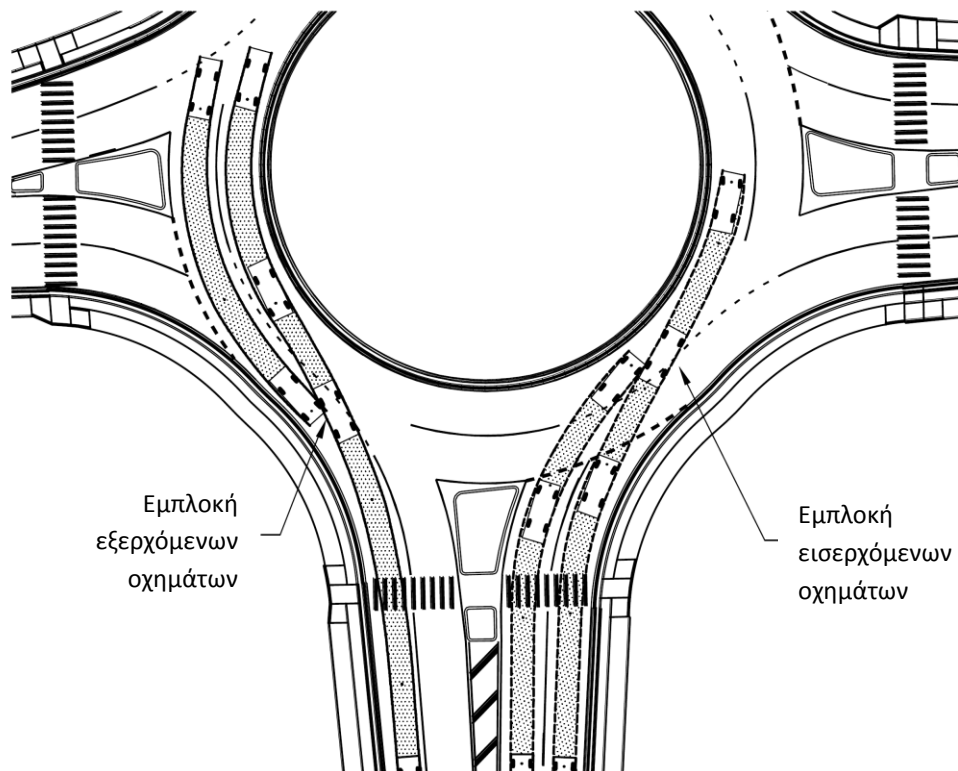
Παρ' όλο που η συχνότητα των ατυχημάτων αποδίδεται κυρίως στους υψηλούς φόρτους, η σοβαρότητά τους εξαρτάται κυρίως από

την ταχύτητα. Έτσι η/οι ταχύτητα/-ες μελέτης σε ένα κυκλικό κόμβο καθορίζουν σε κυρίαρχο βαθμό το επίπεδο ασφάλειάς του. Σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας δόκιμες θεωρούνται μέγιστες ταχύτητες μελέτης εισόδου της τάξης των 30km/h – 40km/h, ενώ σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων αντίστοιχα 40km/h – 50km/h. Οι ταχύτητες αυτές επηρεάζονται τόσο από τη γεωμετρία του κόμβου, όσο και από τις διατηρούμενες λειτουργικές ταχύτητες στις οδούς των προσβάσεων. Διεθνείς έρευνες (NCHRP & FHWA, 2010) κατέδειξαν πως είσοδοι με καμπύλες μειούμενης ακτίνας προτρέπουν τους οδηγούς να ελαττώνουν ταχύτητα τόσο στην είσοδο, όσο και στον κυκλικό δακτύλιο. Ωστόσο, σε κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, διότι ελλιπής γεωμετρικός σχεδιασμός εισόδου δύναται να προκαλέσει μη ομαλή μετάβαση από την αρχική τροχιά κίνησης κατά την είσοδο στην τροχιά της κυκλικής πορείας (σύμπτωση/ σύγκλιση των τροχιών δύο οχημάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται συγχρόνως) με αποτέλεσμα πλάγιες συγκρούσεις οχημάτων (βλ. σχ. 3.3) (NCHRP & FHWA, 2010).

- **Κατασκευή κατάλληλου αριθμού λωρίδων εισόδου/εξόδου.** Προηγουμένως (εδάφιο: «Χωρητικότητα») αναφέρθηκαν κάποιες μέθοδοι από τις οποίες προκύπτει ο αριθμός των λωρίδων, ο οποίος είναι ικανός να εξυπηρετήσει τους εκάστοτε κυκλοφοριακούς φόρτους. Συγκεκριμένα δε, για τους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, είναι αναγκαία λεπτομερής ανάλυση ώστε σε κάθε πρόσβαση να παρέχεται επαρκής αριθμός λωρίδων εισόδου και εξόδου (NCHRP & FHWA, 2010). Επισημαίνεται πως οι Γερμανικοί Κανονισμοί υποδεικνύουν ως ασφαλέστερη την επιλογή μίας λωρίδας εξόδου από κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (Brilon, 2011).
- **Κατάλληλη διαμόρφωση και διαρρύθμιση λωρίδων.** Είναι γενικώς αποδεκτό πως οι οδηγοί δύο οχημάτων σε γειτονικές λωρίδες αποφεύγουν να οδηγούν ο ένας δίπλα στον άλλο, ενώ το φαινόμενο είναι εντονότερο όταν το ένα εκ των δύο είναι βαρύ όχημα. Ειδικά σε κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων με εισόδους δύο λωρίδων, προκύπτει η ανάγκη ορισμένου προσανατολισμού των γραμμών καθοδήγησης (προφανώς και των διαγραμμίσεων), ώστε η «φυσική» τροχιά πορείας των «γειτονικών» οχημάτων να διατηρείται κατά την

είσοδό τους στην κυκλική οδό. Το ίδιο ισχύει και για τις εξόδους δύο λωρίδων σε αυτούς τους κυκλικούς κόμβους (δύο λωρίδων), όπου μικρές ακτίνες οδηγούν σε εμπλοκή δύο οχημάτων που εξέρχονται συγχρόνως (NCHRP & FHWA, 2010).

Από τα προαναφερθέντα καθίσταται σαφές πως ο σχεδιασμός των λωρίδων πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε τα οχήματα να «καθοδηγούνται» τόσο κατά την είσοδο όσο και κατά την έξοδο από ένα κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων χωρίς να συμπίπτουν οι τροχιές κίνησής τους. Σε αυτή την καθοδήγηση σημαντική είναι και η συμβολή της κατάλληλης διαγράμμισης και σήμανσης (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.3. Πρέπει να αποφεύγεται η σύμπτωση των τροχιών κίνησης δύο οχημάτων σε γειτονικές λωρίδες και η εμπλοκή τους τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο (NCHRP & FHWA, 2010).

- **Όχημα Σχεδιασμού:** Ένας σημαντικός παράγων που επηρεάζει τόσο το μέγεθος αλλά και τη διαμόρφωση του κυκλικού κόμβου. Ο όρος συνήθως αναφέρεται στο μεγαλύτερου μεγέθους όχημα που προβλέπεται να κυκλοφορεί στον κυκλικό δακτύλιο και του οποίου οι απαιτήσεις χώρου είναι προφανώς υψηλότερες από αυτές ενός απλού Ι.Χ. οχήματος. Το όχημα σχεδιασμού πρέπει να αποτελεί γνώμονα κατά τον σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου, ώστε να καθίσταται ασφαλής και απρόσκοπτη η κίνησή του στον κυκλικό δακτύλιο είτε με τη χρήση ευρύτερου οδοστρώματος ή με κατασκευή κατάλληλης ζώνης («ποδιάς») περιμετρικά της κεντρικής νησίδας, η οποία θα είναι προσπελάσιμη για αυτό. Το όχημα σχεδιασμού μπορεί να είναι ένα φορτηγό όχημα τριών ή τεσσάρων αξόνων με ρυμουλκούμενο φορτίο του οποίου το συνολικό μήκος ίσως φθάνει και τα 20m, ένα λεωφορείο απλό ή αρθρωτό κ.λπ. Φυσικά, όχημα σχεδιασμού μπορούν να αποτελέσουν και άλλα υπερμεγέθη οχήματα με δύο άξονες όπως για παράδειγμα ασθενοφόρα, πυροσβεστικά κ.λπ., τα οποία είναι δυνατό να εξυπηρετούνται αποτελεσματικά ακόμα και χωρίς περιμετρική ζώνη (NCHRP & FHWA, 2010 & The Highways Agency et al., 2007). Είναι αρμοδιότητα και υποχρέωση του Μελετητή να επιλέξει το κατάλληλο όχημα σχεδιασμού, σύμφωνα και με τη θέση κατασκευής του κόμβου (αστική ή υπεραστική περιοχή), και ακολούθως να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες σχεδιαστικές και κατασκευαστικές. Όλες οι προδιαγραφές που αναλύονται στο παρόν κεφάλαιο αλλά και οι περισσότερες διεθνείς οδηγίες σχεδιασμού κυκλικών κόμβων, επιτάσσουν πως είναι αναγκαία η προσομοίωση σε κατάλληλο λογισμικό Η/Υ της κίνησης και των δυνατών ελιγμών ενός οχήματος σχεδιασμού πριν πραγματοποιηθεί η τελική διαστασιολόγηση.
- **Λοιποί Χρήστες του κυκλικού κόμβου,** πέραν των μηχανοκίνητων οχημάτων, όπως **πεζοί, ποδηλάτες και άτομα με κινητικά προβλήματα,** επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τον γεωμετρικό σχεδιασμό καθώς απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να διασφαλίζονται έναντι της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας.
- **Ορατότητα:** αποτελεί μία ακόμη παράμετρο ασφαλούς λειτουργίας ενός κυκλικού κόμβου και αφορά αφενός στην αναγνώρισή του από

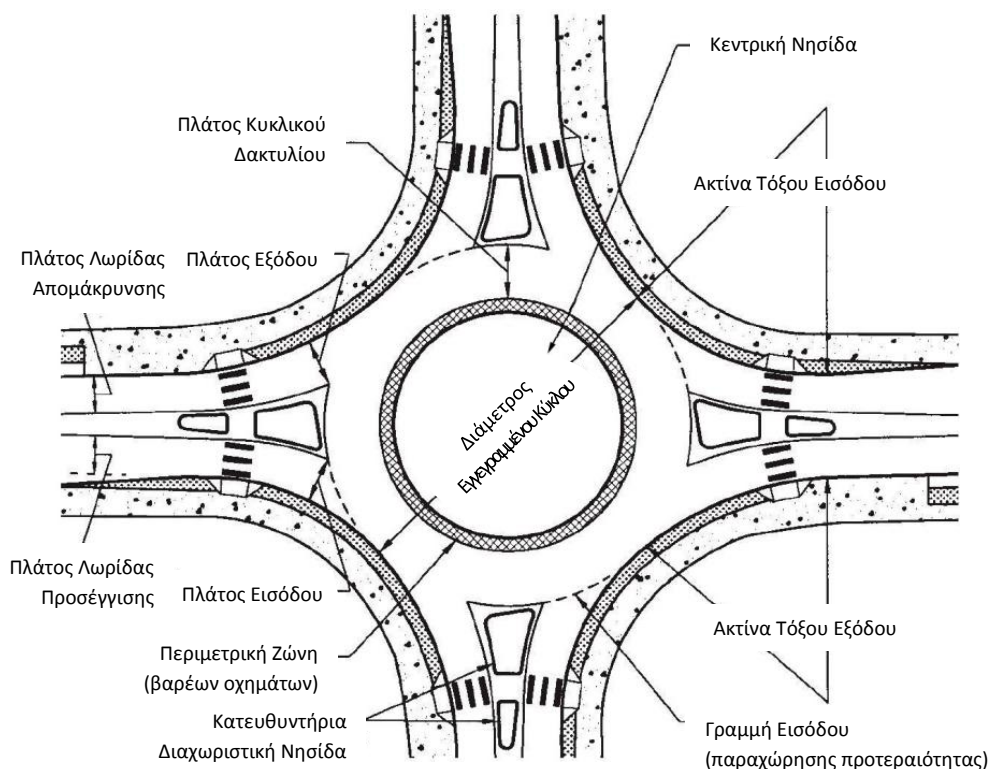
τα οχήματα που τον προσεγγίζουν και αφετέρου στην επαρκή εποπτεία της κυκλοφορίας στον κυκλικό δακτύλιο. Δύο ειδών μήκη ορατότητας ενδιαφέρουν κατά τον σχεδιασμό: α) μήκος ορατότητας προκειμένου να πραγματοποιείται έγκαιρη διακοπή πορείας – ακινητοποίηση οχήματος όταν υφίσταται εμπλοκή του με πεζούς και ποδηλάτες, τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο μίας πρόσβασης (μήκος στάσης - SSD), β) μήκος ορατότητας κόμβου, ώστε οι οδηγοί να αναγνωρίζουν, να αποφασίζουν και να αντιδρούν κατάλληλα σχετικά με την κυκλοφορία σε αυτόν, οπότε είτε να ελαττώνουν ταχύτητα (ή εν ανάγκη να ακινητοποιούν το όχημά τους) κατά την είσοδό τους, είτε κινούμενοι στον κυκλικό δακτύλιο να επιβλέπουν τις εισερχόμενες ροές και να αποφεύγουν εμπλοκές με αυτές, προσαρμόζοντας την ταχύτητά τους (μήκος διασταύρωσης) (NCHRP & FHWA, 2010 & The Highways Agency et al., 2007).

3.2. Πλαίσιο Οδηγιών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στις Η.Π.Α.

[σύμφωνα με τον Πληροφοριακό Οδηγό Κυκλικών Κόμβων των Η.Π.Α. (δεύτερη έκδοση – 2010) – *“NCHRP Report 672, Roundabouts: An Informational Guide (second edition – 2010)”* και τον Οδηγό Κυκλικών Κόμβων του τμήματος συγκοινωνιών της πολιτείας του Wisconsin (2008) – *“Roundabout Guide by Wisconsin’s Department of Transportation” (December 2008 update)*]

3.2.1. Μέγεθος, Θέση και Διάταξη των προσβάσεων

Για κάθε ένα από τα στοιχεία αυτά προκύπτει πλήθος συνδυασμών, οι οποίοι διαθέτουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Βέλτιστη θεωρείται εκείνη η λύση η οποία επιτυγχάνει σε ικανοποιητικό βαθμό τους αντικειμενικούς σκοπούς (ασφάλεια, λειτουργικότητα, οικονομία κ.λπ.), «πλήττοντας» λιγότερο τις παρακείμενες του κόμβου ιδιοκτησίες.



Σχήμα 3.4. Κύρια γεωμετρικά στοιχεία κυκλικών κόμβων (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.1.1. Εγγεγραμμένος Κύκλος

Ο εγγεγραμμένος κύκλος σε έναν κυκλικό κόμβο ορίζεται από την εξωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου. Η διάμετρός του είναι το μήκος που προκύπτει από το άθροισμα της διαμέτρου της κεντρικής κυκλικής νησίδας και του διπλάσιου πλάτους της κυκλικής οδού. Επισημαίνεται πως η κεντρική νησίδα περιλαμβάνει και την προσπελάσιμη/βατή περιμετρική ζώνη (ποδιά), αν υπάρχει. Το μέγεθος της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου καθορίζεται από παράγοντες όπως οι κυκλοφοριακοί φόρτοι, η εξυπηρέτηση του οχήματος σχεδιασμού και ο περιορισμός των υψηλών ταχυτήτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Στους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας, η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου εξαρτάται σημαντικά από τις απαιτήσεις κίνησης του οχήματος σχεδιασμού, ενώ παράλληλα πρέπει να επιτυγχάνεται επαρκής εκτροπή της τροχιάς κίνησης κάθε οχήματος. Επιπρόσθετα, το πλάτος της κυκλικής οδού καθώς και τα πλάτη, οι ακτίνες και οι γωνίες των εισόδων και εξόδων συμβάλλουν ώστε να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις (NCHRP & FHWA, 2010).

Στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, το μέγεθος της διαμέτρου ουσιαστικά ορίζεται από τον συγκερασμό των απαιτήσεων για ικανοποιητική εκτροπή των οχημάτων και για διατήρηση των γραμμών της φυσικής τροχιάς κίνησης των οχημάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Στους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου, αυτή πρέπει να είναι αρκούτσως μεγάλη ώστε το όχημα σχεδιασμού να έχει τη δυνατότητα κίνησης χωρίς απαραίτητα να διέρχεται πάνω από την προσπελάσιμη κεντρική νησίδα (NCHRP & FHWA, 2010).

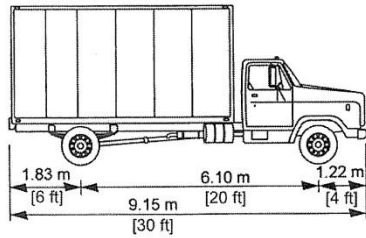
Εν συνεχεία παρατίθενται πίνακες με ενδεικτικές τιμές διαμέτρων για τα αντίστοιχα είδη κυκλικών κόμβων και σύμφωνα με το επιλεγέν όχημα σχεδιασμού (βλ. πίν. 3.2). Οι αριθμητικές τιμές στους κωδικούς των οχημάτων σχεδιασμού (π.χ. WB-15) αντιπροσωπεύουν την απόσταση σε μέτρα (m) του πρώτου από τον τελευταίο άξονα του οχήματος (AASHTO, 2004).

Πίνακας 3.2. Ενδεικτικές τιμές διαμέτρου εγγεγραμμένου κύκλου (NCHRP & FHWA, 2010).

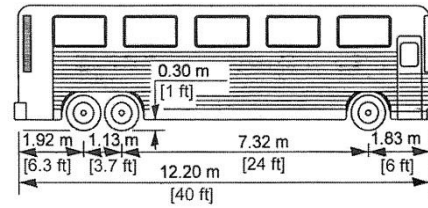
Είδος κυκλικού κόμβου	Όχημα Σχεδιασμού	Σύνηθες εύρος τιμών* διαμέτρου εγγεγραμμένου κύκλου
Κυκλικός Κόμβος Ελάχιστης Διαμέτρου (Mini Roundabout)	SU-9	13 – 27
Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (Single-lane Roundabout)	B-12 WB-15 WB-20	27 – 46 32 – 46 40 – 55
Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Two-lane Roundabout)	WB-15 WB-20	46 – 67 50 – 67

*Θεώρηση κάθετων αξόνων προσβάσεων και κατά μέγιστο τέσσερα σκέλη.

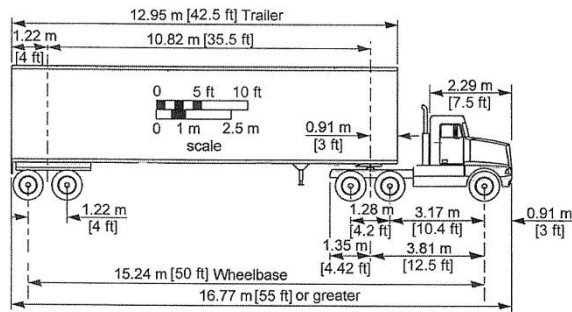
Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζονται οι διαστάσεις των προαναφερθέντων οχημάτων σχεδιασμού και οι ελάχιστες απαιτούμενες ακτίνες στροφής κατά AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).



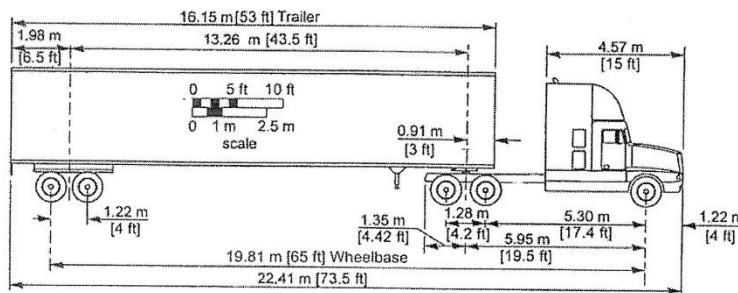
Φορητό δύο αξόνων (Single Unit) SU-9



Υπεραστικό Λεωφορείο B-12



Φορητό (ρυμουκτό) με φορτίο WB-15



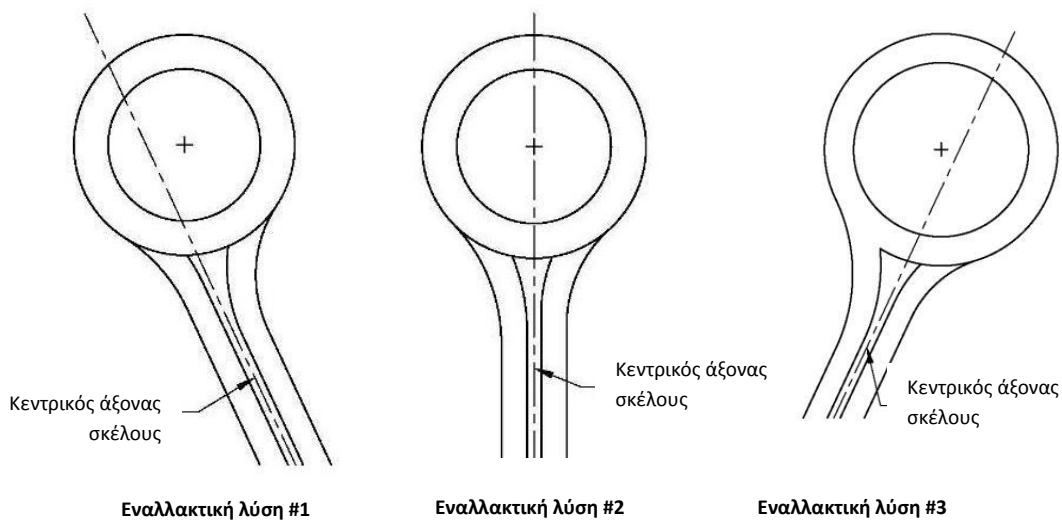
Φορητό (ρυμουκτό) με φορτίο WB-20

Όχημα Σχεδιασμού	Ελάχιστη απαιτούμενη ακτίνα στροφής (εξωτερική) (m)	Ακτίνα κεντρικού άξονα απαιτούμενου πλάτους στροφής (CTR) (m)	Ελάχιστη εσωτερική ακτίνα στροφής (m)
SU-9	12.8	11.6	8.6
B-12	13.7	12.4	6.4
WB-15	13.7	12.6	5.2
WB-20	13.7	12.5	1.3

Σχήμα 3.5. Διαστάσεις οχημάτων σχεδιασμού κατά AASHTO και αντίστοιχες απαιτούμενες ακτίνες στροφής (AASHTO, 2004).

3.2.1.2. Διάταξη των αξόνων των προσβάσεων

Η διάταξη των προσβάσεων και των αξόνων τους επιδρά στο μέγεθος της εκτροπής των τροχιών κίνησης των οχημάτων, άρα και στον έλεγχο των ταχυτήτων τους, στη δυνατότητα εξυπηρέτησης του οχήματος σχεδιασμού και στην ορατότητα και εποπτεία των παρακείμενων σκελών. Η βέλτιστη διάταξη προσδιορίζεται από το μέγεθος και τη σχετική θέση του κυκλικού κόμβου ως προς τις προσβάσεις (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.6. Τρεις εναλλακτικές διατάξεις προσβάσεων (NCHRP & FHWA, 2010).

Το ερώτημα που γεννάται αφορά στο αν πρέπει ο άξονας κάθε σκέλους να διέρχεται από το κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου ή αν είναι αποδεκτή η μετάθεσή του προς τη μία ή την άλλη πλευρά. Γενικά δεν υφίσταται κάποια προδιαγραφή, ωστόσο έχει κυριαρχική επιρροή επί του σχεδιασμού της εισόδου και της εξόδου. Όπως έχει αναφερθεί, βέλτιστη λύση είναι εκείνη η οποία επιβάλλει ικανοποιητική εκτροπή τροχιών και περιορισμό των ταχυτήτων των οχημάτων, καθώς παράλληλα επιτρέπει επαρκείς γωνίες ορατότητας και εποπτείας της κυκλοφορίας, ενώ εξισορροπείται το κόστος των οδικών ατυχημάτων που περιλαμβάνουν καταστροφή ιδιόκτητης περιουσίας (ακίνητα κ.λπ.) στις δύο πλευρές της οδού. Στο **σχήμα 3.6** παρουσιάζονται τρεις εναλλακτικές διατάξεις σκελών, καθεμία από τις οποίες διαθέτει

πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (NCHRP & FHWA, 2010). Πιο αναλυτικά:

- Εναλλακτική Διάταξη Σκέλους σε κυκλικό κόμβο **#1** (βλ. σχ.3.6).

Πλεονεκτήματα:

- Επιβάλλει αυξημένη εκτροπή
- Αποδοτική διάταξη, σε κόμβους μικρής διαμέτρου, που εξυπηρετεί μεγάλο μεγέθους φορτηγά οχήματα. Επιτρέπει είσοδο μεγάλης ακτίνας, διατηρώντας ικανοποιητική εκτροπή και έλεγχο ταχύτητας.
- Ίσως να μειώνει τις συγκρούσεις στη δεξιά πλευρά της οδού.

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένη ακτίνα εξόδου ή ακόμη και εφαπτόμενη έξοδος, γεγονός που επιτρέπει υψηλές ταχύτητες στα εξερχόμενα οχήματα, τα οποία επιταχύνουν διερχόμενα από το σημείο διάβασης πεζών.
- Ίσως προκαλεί σοβαρότερα ατυχήματα και καταστροφή ιδιωτικής περιουσίας στην αριστερή πλευρά της οδού. (NCHRP & FHWA, 2010)

- Εναλλακτική Διάταξη Σκέλους σε κυκλικό κόμβο **#2** (βλ. σχ.3.6).

Πλεονεκτήματα:

- Μειώνει τις απαιτήσεις γεωμετρικών προσαρμογών κατά μήκος της οδού πρόσβασης, ενώ περιορίζει τα οδικά ατυχήματα στην περιοχή του κόμβου.
- Η χάραξη της εξόδου προτρέπει τους οδηγούς να διατηρούν χαμηλή ταχύτητα.

Μειονεκτήματα:

- Αυξημένη ακτίνα εξόδου ή ακόμη και εφαπτόμενη έξοδος, γεγονός που επιτρέπει υψηλές ταχύτητες στα εξερχόμενα οχήματα, τα οποία επιταχύνουν διερχόμενα από το σημείο διάβασης πεζών.

- Είναι δυνατό να απαιτείται ελαφρώς μεγαλύτερη διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου (σχετικά με τη λύση #1), ώστε να παρέχει ικανοποιητικό έλεγχο ταχυτήτων. (NCHRP & FHWA, 2010)
- Εναλλακτική Διάταξη Σκέλους σε κυκλικό κόμβο #3 (βλ. σχ.3.6).

Πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να χρησιμοποιείται σε κυκλικούς κόμβους μεγάλων διαμέτρων, όπου ο έλεγχος των υψηλών ταχυτήτων είναι ακόμα εφικτός.
- Παρόλο που δεν χρησιμοποιείται συχνά, αυτή η διάταξη είναι ικανή σε ορισμένες περιπτώσεις να ελαχιστοποιεί τις συγκρούσεις οχημάτων και να βελτιστοποιεί την ορατότητα.

Μειονεκτήματα:

- Είναι συχνά δύσκολος ο περιορισμός των ταχυτήτων, ιδιαίτερα σε κυκλικούς κόμβους μικρών διαμέτρων.
- Αυξάνει την ακτίνα εξόδου και την καμπυλότητά της. (NCHRP & FHWA, 2010)

Αποτελεί συνήθη στρατηγική, στην αρχή του σχεδιασμού, να **συντρέχουν οι άξονες των σκελών στο κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου**. Αυτή η διάταξη επιτρέπει το γεωμετρικό σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας, κατά τρόπο τέτοιο που τα οχήματα να υποχρεώνονται σε κίνηση με χαμηλή ταχύτητα, ενώ η νησίδα είναι πιο ευδιάκριτη στους οδηγούς (NCHRP & FHWA, 2010).

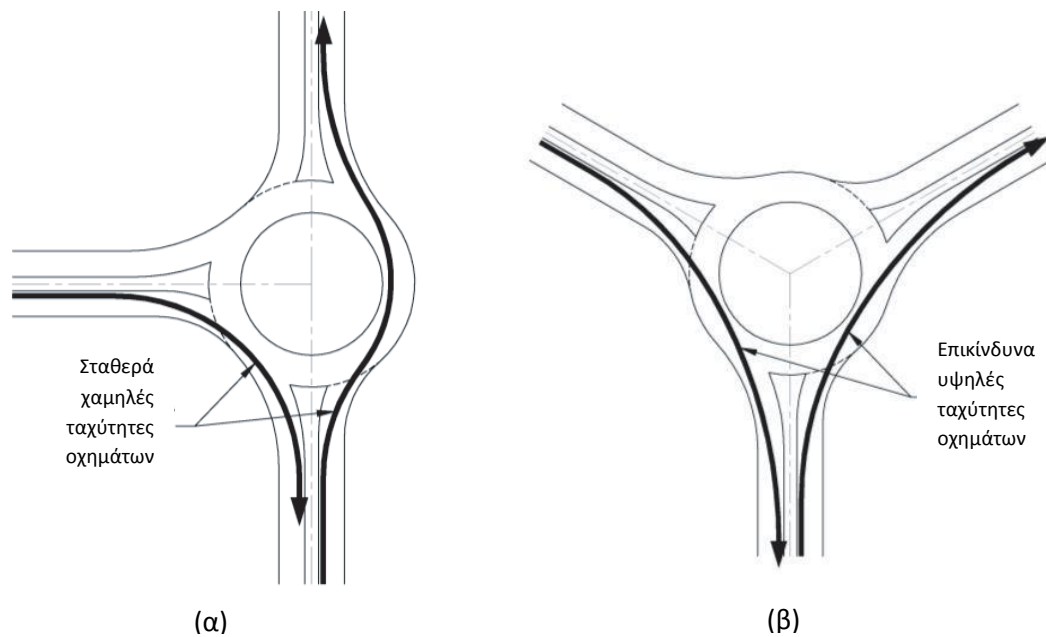
Επίσης συχνή είναι η εφαρμογή της εναλλακτικής λύσης που προβλέπει μετάθεση του κεντρικού άξονα ενός σκέλους προς την αριστερή πλευρά ως προς το κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου, αποσκοπώντας στην αυξημένη εκτροπή των οχημάτων, παρά το γεγονός πως η μεγάλη ακτίνα της καμπύλης εξόδου δεν παρέχει έλεγχο ταχύτητας, εκθέτοντας τους πεζούς στις διαβάσεις (κυρίως σε αστικούς

κόμβους) σε εμπλοκές με οχήματα που κινούνται με υψηλή ταχύτητα και αυξάνοντας τον κίνδυνο για σοβαρά ατυχήματα. Ακριβώς για αυτό τον λόγο αποφεύγεται η χρήση αυτής της διάταξης εντός του πολεοδομικού ιστού (NCHRP & FHWA, 2010).

Διατάξεις με μετάθεση του άξονα του σκέλους προς τα δεξιά του κέντρου του εγγεγραμμένου κύκλου, δεν ενδείκνυνται γενικά, καθώς αποτυγχάνουν να εκτρέψουν ικανοποιητικά τα οχήματα και να ελέγξουν τις υψηλές ταχύτητες, ιδιαίτερα στην είσοδο (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.1.3. Σχετική θέση και γωνία μεταξύ των αξόνων των προσβάσεων

Όπως και σε κάθε είδος διασταύρωσης (σηματοδοτημένες και μη), έτσι και στους κυκλικούς κόμβους, η γωνία τομής των αξόνων των διασταυρούμενων οδών αποτελεί σημαντικό στοιχείο σχεδιασμού. Ωστόσο, δεν είναι αναγκαίο δύο σκέλη αντικρινά να διατάσσονται το ένα ακριβώς απέναντι από το άλλο, όπως επιβάλλεται σε τυπικούς ισόπεδους κόμβους (τρισκελείς ή τετρασκελείς). Είναι επιθυμητό όμως τα σκέλη των προσβάσεων να διασταυρώνονται κάθετα ή σχεδόν κάθετα. Στην περίπτωση που οι άξονες των σκελών δύο προσβάσεων τέμνονται υπό γωνία σημαντικά μεγαλύτερη των 90° (μεγαλύτερη και των 105°), παρατηρούνται υπερβολικές ταχύτητες σε μία ή περισσότερες στρέφουσες δεξιά κινήσεις (βλ. σχ. 3.7). Ο σχεδιασμός με μεγάλη ακτίνα της διαμόρφωσης των γωνιών ώστε να εξυπηρετούνται μεγάλου μεγέθους φορτηγά, είναι δυνατό να οδηγήσει σε υπερβολικό πλάτος (τοπικά) του κυκλικού δακτυλίου και κατ' επέκταση σε υψηλές ταχύτητες, ενώ τίθεται και θέμα ασφάλειας από την άποψη πιθανής σύγχυσης της κυκλικής οδού ως δύο λωρίδων και όχι μίας. Είναι φανερό λοιπόν πως σχεδιάζοντας την τομή των αξόνων των σκελών κάθετη ή σχεδόν κάθετη έχει ως αποτέλεσμα σταθερά χαμηλές ταχύτητες στον κόμβο για όλες τις κινήσεις (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.7. Προβάλλονται οι ταχύτερες διαδρομές οχημάτων: (α) Σε κάθετη τομή αξόνων των σκελών (μορφή T), (β) Σε τομή των αξόνων υπό γωνία σημαντικά μεγαλύτερη των 90° (μεγαλύτερη και των 105° περίπου που θεωρείται το όριο) (μορφή Y) (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.2. Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας

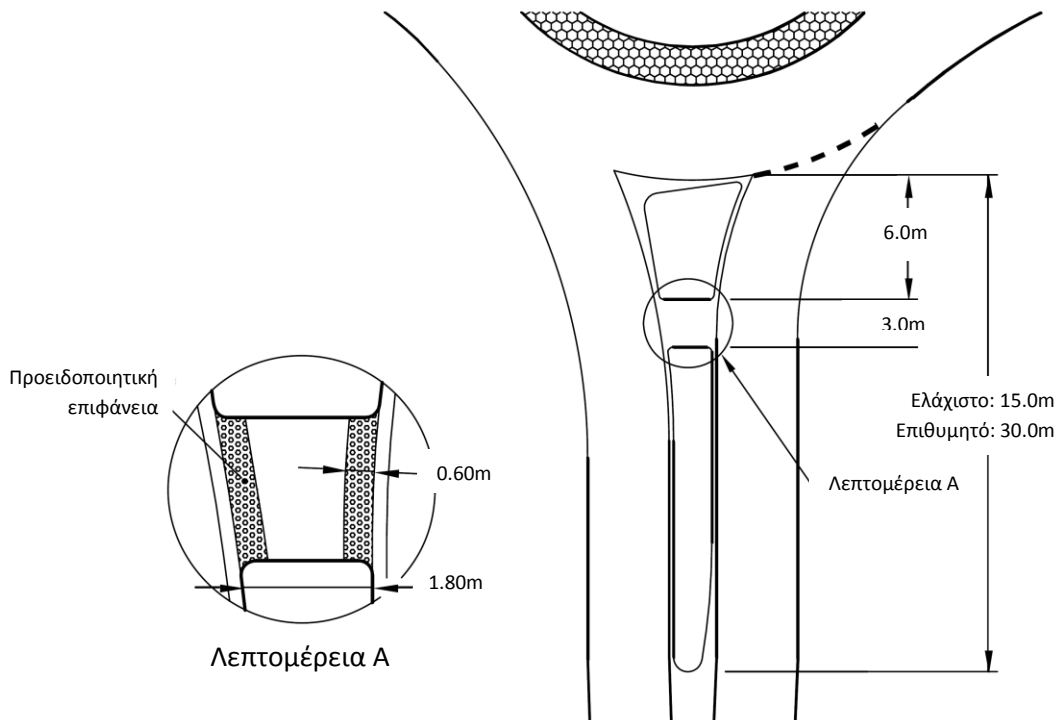
(Single – Lane Roundabout)

3.2.2.1. Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες

Όπως έχει προαναφερθεί, είναι μη προσπελάσιμες για τα οχήματα, καθώς κατασκευάζονται υπερυψωμένες με κράσπεδο.

Είναι αναγκαία η ύπαρξή τους σε οποιαδήποτε κατασκευή κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας. Εκτός από τον προφανή διοχετευτικό σκοπό που εξυπηρετούν, καθοδηγώντας με ασφάλεια και έλεγχο ταχύτητας τα εισερχόμενα/εξερχόμενα οχήματα και διαχωρίζοντας τις αντίθετα κινούμενες ροές, παρέχουν προστασία στους πεζούς, ενώ αποτελούν θέση τοποθέτησης πινακίδων ρύθμισης της κυκλοφορίας (NCHRP & FHWA, 2010).

Το **συνολικό μήκος** μίας τέτοιας νησίδας επιβάλλεται να είναι **κατ' ελάχιστο 15.0m**, ενώ το **προτεινόμενο – επιθυμητό** μήκος είναι της τάξης των **30.0m**, ώστε να παρέχεται επαρκής προστασία στους χρήστες, τόσο στους πεζούς, όσο και στους οδηγούς, προειδοποιώντας τους τελευταίους για τη διαμόρφωση του κόμβου. Σε υπεραστικές θέσεις σύνδεσης οδών με υψηλές ταχύτητες μελέτης, αποδοτικά θεωρούνται μήκη της τάξης των **45.0m** ή και μεγαλύτερα. Το **ελάχιστο πλάτος** της νησίδας είναι **1.80m** στη διάβαση (μήκος 3.0m) των πεζών ώστε να κινούνται ασφαλώς άτομα με αναπηρικό όχημα ή ηλικιωμένοι με βοηθητικό μέσο κίνησης ή ακόμα και πεζοί που μεταφέρουν ποδήλατο (βλ. σχ. 3.8) (NCHRP & FHWA, 2010).

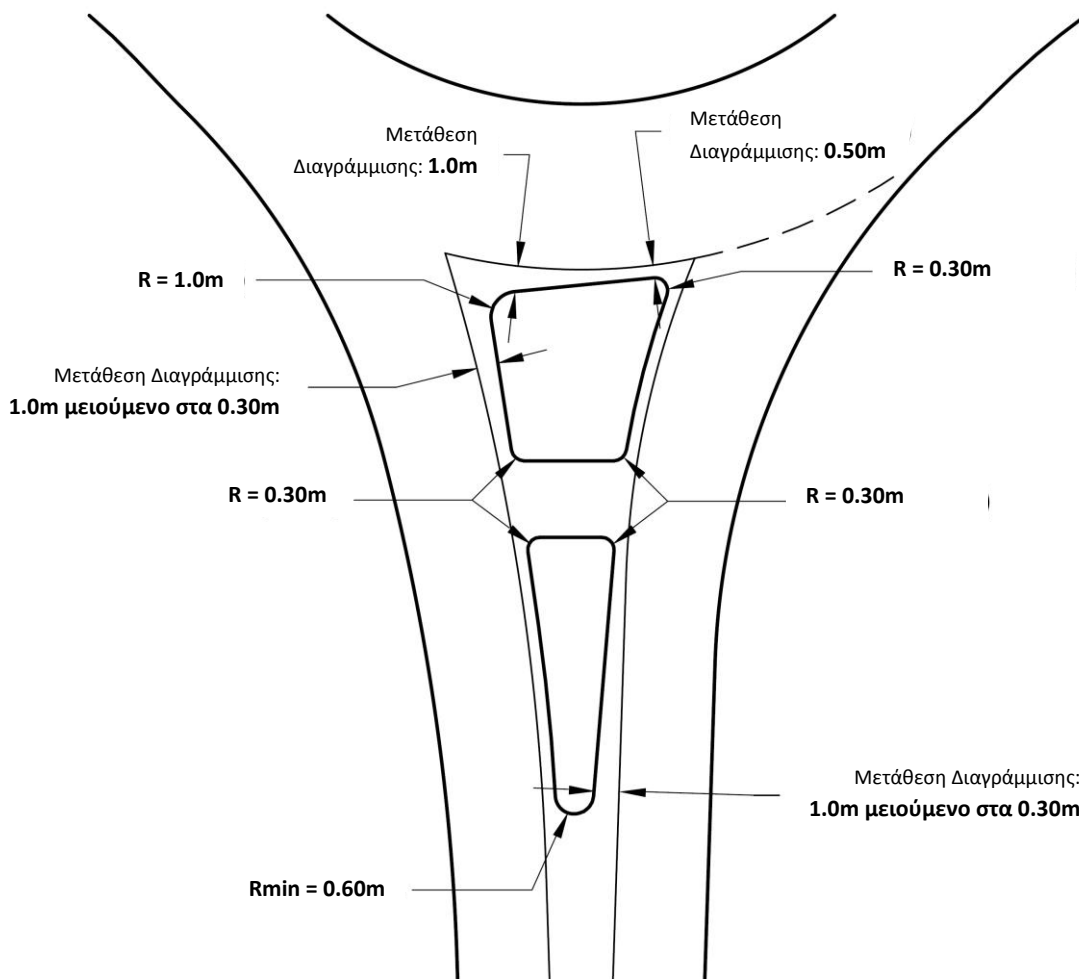


Σχήμα 3.8. Μήκη και Πλάτη κατευθυντήριας – διαχωριστικής νησίδας (NCHRP & FHWA, 2010).

Ωστόσο, θεωρείται δόκιμο να σχεδιάζονται οι νησίδες με διαστάσεις μεγαλύτερες, ιδιαίτερα όσον αφορά στο πλάτος τους, καθώς έρευνες καταδεικνύουν πως αύξησή του συνεπάγεται μείωση του πλήθους των οδικών ατυχημάτων. Βέβαια, μία τέτοια αύξηση απαιτεί και αντίστοιχη αύξηση της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου, ώστε

να διατηρείται ο έλεγχος των ταχυτήτων στην είσοδο από τη γεωμετρία του κόμβου, ενώ δεν είναι δυνατό να αμεληθεί η αύξηση του κόστους αλλά και της χρήσης γης (NCHRP & FHWA, 2010).

Όσον αφορά στις αιχμές της νησίδας στην είσοδο και την έξοδο και στη διαγράμμιση, ακολουθούνται οι οδηγίες της Αμερικανικής Ένωσης Συγκοινωνιών και Αυτοκινητοδρόμων AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Στο σχήμα 3.9 φαίνονται οι προτεινόμενες ακτίνες διαμόρφωσης (στρογγύλευσης) των αιχμών των νησίδων καθώς και τα μήκη μετάθεσης των καμπύλων – διαγραμμίσεων, που περιγράφουν τη νησίδα (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.9. Ακτίνες διαμόρφωσης αιχμών νησίδας και μεταθέσεις διαγραμμίσεων (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.2.2. Πλάτος Εισόδου

Θεωρείται το μήκος από το σημείο τομής της γραμμής εισόδου με την αριστερή οριογραμμή της εισερχόμενης ροής έως την επαπτομένη της δεξιάς οριογραμμής (κάθετο ευθύγραμμο τμήμα) (βλ. σχ. 3.4 & σχ. 3.10). Το εύρος κάθε εισόδου υπαγορεύεται κυρίως από το **όχημα σχεδιασμού**, αλλά και από τις επιθυμητές ταχύτητες των οχημάτων και την ύπαρξη ή όχι πεζών (NCHRP & FHWA, 2010).

Το πλάτος εισόδου (μίας λωρίδας) τυπικά κυμαίνεται από **4.20m – 5.50m**. Εφιστάται η προσοχή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες επιλέγονται πλάτη μεγαλύτερα είτε των 5.50m είτε του πλάτους της κυκλικής οδού, καθώς είναι υπαρκτός ο κίνδυνος παρανόησης από πλευράς οδηγών, οι οποίοι είναι δυνατό να θεωρήσουν πως διατίθενται δύο λωρίδες εισόδου αντί μίας (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.2.3. Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (μίας λωρίδας)

Το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου (βλ. σχ. 3.4) καθορίζεται τόσο από τις λωρίδες εισόδου, όσο και από τις απαιτήσεις ελιγμών του **οχήματος σχεδιασμού**. Κυμαίνεται από την ελάχιστη τιμή, που αντιστοιχεί στο μέγιστο πλάτος εισόδου, έως τη μέγιστη, που αντιστοιχεί στο 120% του μέγιστου πλάτους εισόδου. Ενδεικτικά, λαμβάνει τιμές από **5.30m – 6.70m**. Και εδώ συνιστάται προσεκτικός σχεδιασμός προς αποφυγή φαινομένων κίνησης οχημάτων δίπλα-δίπλα στον κυκλικό δακτύλιο καθ' ότι οι οδηγοί παρερμηνεύουν και θεωρούν πως πρόκειται για οδό δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.2.4. Κυκλική Κεντρική Νησίδα

Όπως έχει προαναφερθεί, πρόκειται για την υπερυψωμένη και μη προσπελάσιμη για τα οχήματα κυκλική περιοχή του κόμβου με χαμηλή βλάστηση, και η οποία περικλείεται από τον κυκλικό δακτύλιο. Είναι σύνηθες η κυκλική κεντρική νησίδα να περιλαμβάνει και μία προσπελάσιμη υπερυψωμένη κυκλική ζώνη χαμηλού προφίλ (5 cm έως 7cm), ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των βαρέων οχημάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

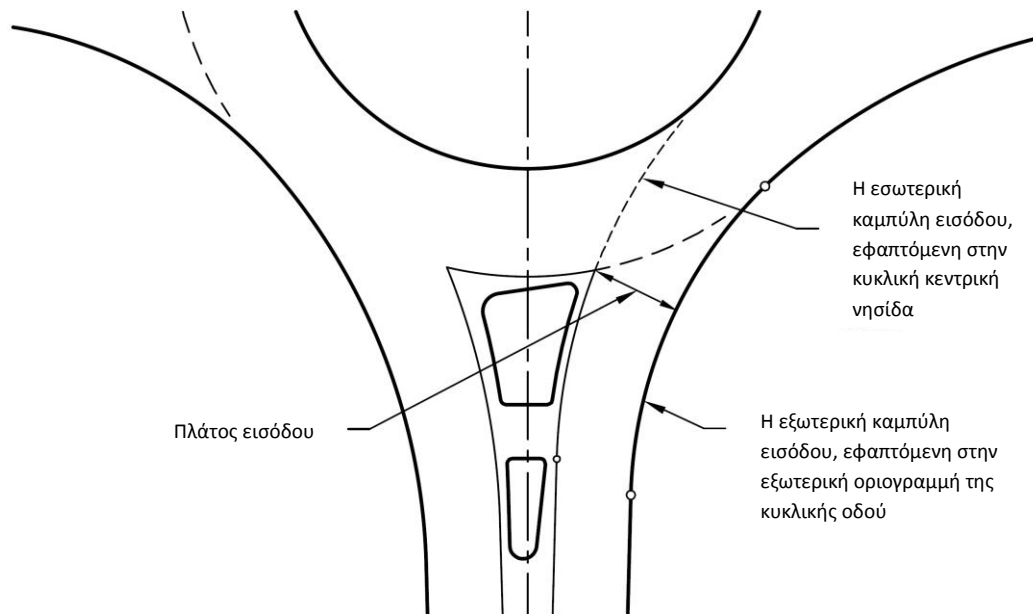
Το μέγεθος της κεντρικής νησίδας καθορίζει σε σημαντικό βαθμό το ποσοστό της εκτροπής της τροχιάς κίνησης των οχημάτων και τη μείωση της ταχύτητάς τους εντός των επιθυμητών ορίων. Ωστόσο η διάμετρος της εξαρτάται από τη διάμετρο του εγγεγραμμένου κύκλου (βλ. παρ. 3.2.1.1) και το απαιτούμενο πλάτος του κυκλικού δακτυλίου. Γενικά, στους υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους απαιτείται μεγαλύτερης διαμέτρου κεντρική νησίδα, σε αντίθεση με τους αστικούς, ώστε να βελτιώνεται το επίπεδο της ορατότητας των οδηγών που προσεγγίζουν τον κόμβο, αλλά και να διευκολύνονται τα βαρέα οχήματα (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.2.5. Σχεδιασμός Εισόδου

Η είσοδος οριοθετείται από μία καμπύλη (συνήθως κρασπεδωμένο όριο), η οποία συντίθεται από ένα ή περισσότερα (ομόρροπα) τόξα. Στους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας μία μονότοξη καμπύλη (μίας ακτίνας) συνήθως είναι επαρκής, αν και σε αυτοκινητοδρόμους υψηλών ταχυτήτων η χρήση συνδυαστικής (π.χ. δίτοξης ή τρίτοξης) καμπύλης αναβαθμίζει την καθοδήγηση των οχημάτων επιμηκώνοντας την αρχική καμπύλη εισόδου (NCHRP & FHWA, 2010).

Η ακτίνα της καμπύλης εισόδου είναι ένας παράγων καθοριστικός για τη λειτουργία του κόμβου, καθώς επηρεάζει τόσο τη χωρητικότητα όσο και την ασφάλεια, ενώ σε συνδυασμό με το πλάτος εισόδου, το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου και τη διάμετρο της κεντρικής νησίδας επηρεάζει την εκτροπή της διεύθυνσης των οχημάτων. Τόξα μεγάλων ακτίνων προάγουν τη διατήρηση υψηλών ταχυτήτων, ενώ είναι αναγκαίο να αποφεύγονται τόξα μικρών ακτίνων, τα οποία όντας απότομα είναι δυνατό να οδηγούν σε οδικά ατυχήματα με συμμετοχή ενός οχήματος. Οι αμερικανικοί κανονισμοί στο σημείο αυτό υιοθετούν τα βρετανικά πρότυπα, τα οποία υπαγορεύουν **ελάχιστη ακτίνα της τάξης των 15m** (ακτίνα μικρότερη των 15m θεωρείται πως υποβαθμίζει την κυκλοφοριακή ικανότητα της εισόδου), ενώ καμπύλη ακτίνας **20m** ή

μεγαλύτερης θεωρείται πως έχει ανεπαίσθητο αντίκτυπο στη χωρητικότητα του κόμβου (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.10. Σχεδιασμός εισόδου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).

Πρώτος στόχος του σχεδιασμού είναι η επιλογή της ιδανικής ακτίνας εισόδου ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές ταχύτητες εισόδου. Η ακτίνα αυτή πρέπει να επιβάλλει μία ταχύτητα σχεδιασμού, η οποία δεν θα υπερβαίνεται ακόμα και στην «ταχύτερη διαδρομή» από τα οχήματα. **Η εξωτερική καμπύλη εισόδου σχεδιάζεται εφαιπτόμενη στο εξώτατο όριο του κυκλικού δακτυλίου και η εσωτερική, εφαιπτόμενη στην κυκλική κεντρική νησίδα**, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.10. Γενικά, η ακτίνα εισόδου σε αστικούς κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυμαίνεται μεταξύ 15m και 30m (NCHRP & FHWA, 2010).

Η γεωμετρία της εισόδου έχει δύο θεμελιώδεις επιδιώξεις: Πρώτον, πρέπει να εξασφαλίζει οριζοντιογραφική χάραξη τέτοια, η οποία «οδηγεί» τα οχήματα ομαλά στον κυκλικό δακτύλιο, στη δεξιά πλευρά της κεντρικής νησίδας, υποχρεώνοντάς τα σε αντιωρολογιακής

(Ελλάδα, Γερμανία, Η.Π.Α. κ.λπ.) φοράς κίνηση και τα **εκτρέπει σε ικανοποιητικό βαθμό**, πάντα προς την ασφάλεια των χρηστών, προς αποφυγή συγκρούσεων με την κεντρική νησίδα. Δεύτερον, πρέπει να εξασφαλίζει στα εισερχόμενα οχήματα **επαρκή ορατότητα και εποπτεία της κυκλοφορίας** στον κυκλικό κόμβο και ιδιαίτερα αυτής που κινείται στον κυκλικό δακτύλιο. Ένα **τυπικό εύρος τιμών της γωνίας εισόδου είναι μεταξύ 20° – 40°** (NCHRP & FHWA, 2010).

Στους υπεραστικούς κόμβους, ένα ακόμα σημείο μείζονος σημασίας είναι οι **διαφορικές ταχύτητες** των προσβάσεων του κόμβου, δηλαδή εάν η μέγιστη διαφορά των ταχυτήτων εισόδου δύο προσβάσεων υπερβαίνει τα 20km/h, είναι αναγκαία ειδική μέριμνα όσον αφορά στη γεωμετρία της εισόδου με τη μεγαλύτερη λειτουργική ταχύτητα, ώστε αυτή να απομειωθεί, είτε με εγκάρσιες προσθήκες (π.χ. μειωτές ταχύτητας - «σαμαράκια»), είτε με αλλαγή στην ευρύτερη γεωμετρική χάραξη της εισόδου (NCHRP & FHWA, 2010).

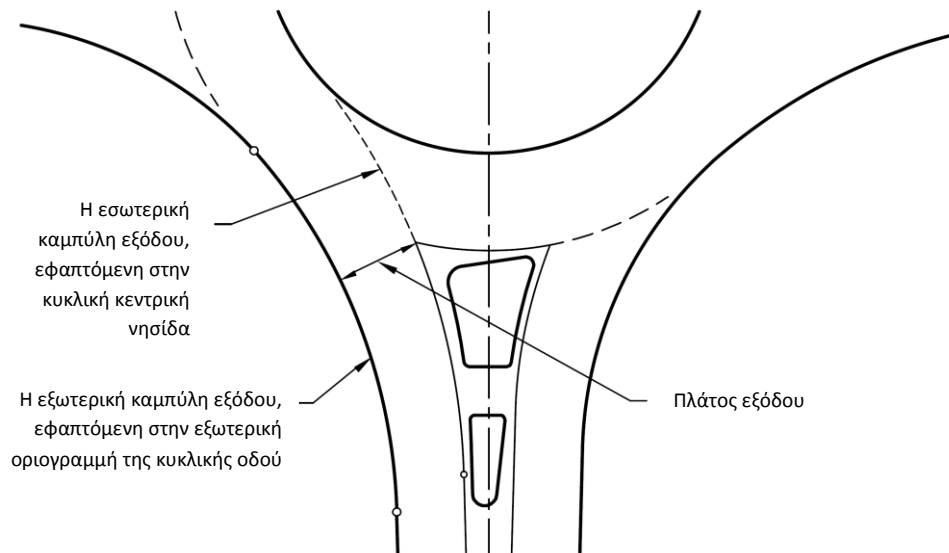
3.2.2.6. Σχεδιασμός Εξόδου

Οι ακτίνες των καμπύλων εξόδου συνήθως σχεδιάζονται μεγαλύτερες εκείνων των καμπύλων εισόδου, ώστε να αποφεύγονται κυκλοφοριακή συμφόρηση και ατυχήματα στις εξόδους των κυκλικών κόμβων. Επίσης, ο σχεδιασμός της εξόδου εξαρτάται σημαντικά και από τη θέση του κόμβου (αστική, υπεραστική), την κίνηση πεζών καθώς και το όχημα σχεδιασμού.

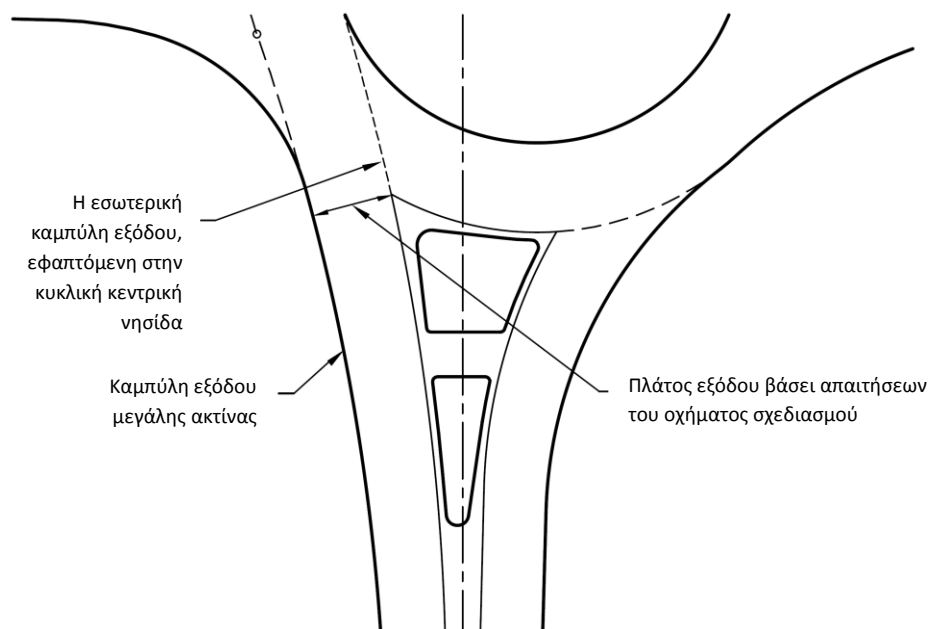
Η εξωτερική καμπύλη εξόδου **σχεδιάζεται εφαπτόμενη στην εξωτερική οριογραμμή της κυκλικής οδού και η εσωτερική, εφαπτόμενη στην κυκλική κεντρική νησίδα** (βλ. σχ. 3.11). Γενικά, η **ακτίνα εξόδου** πρέπει να σχεδιάζεται μεγαλύτερη από 15m, ενώ ένα σύνηθες εύρος τιμών είναι μεταξύ **30m – 60m** (NCHRP & FHWA, 2010).

Σε μερικές περιπτώσεις, απαιτείται, είτε λόγω ανάγκης **αύξησης της εκτροπής της τροχιάς των εισερχόμενων οχημάτων** (οπότε και μετατίθεται ο άξονας της πρόσβασης προς την αριστερή πλευρά της εισόδου), είτε λόγω της αυξημένης κίνησης βαρέων οχημάτων, αρκετά

μεγαλύτερη ακτίνα εξόδου (βλ. σχ. 3.12), σε σχέση με τις προαναφερθείσες τιμές, που κυμαίνεται από **90m έως και 245m** ή και μεγαλύτερη αν κριθεί δόκιμο (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.11. Σχεδιασμός εξόδου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.12. Σχεδιασμός εξόδου κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας με μεγάλη ακτίνα και μετάθεση του άξονα της πρόσβασης προς τα αριστερά (NCHRP & FHWA, 2010).

Επισημαίνεται, πως σε αστικούς κυκλικούς κόμβους, οι έξοδοι πρέπει να σχεδιάζονται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να επιβάλλονται διαδρομές εξόδου χαμηλών ταχυτήτων, ώστε να προστατεύονται οι πεζοί, αν πρόκειται για επίγειες διαβάσεις (NCHRP & FHWA, 2010).

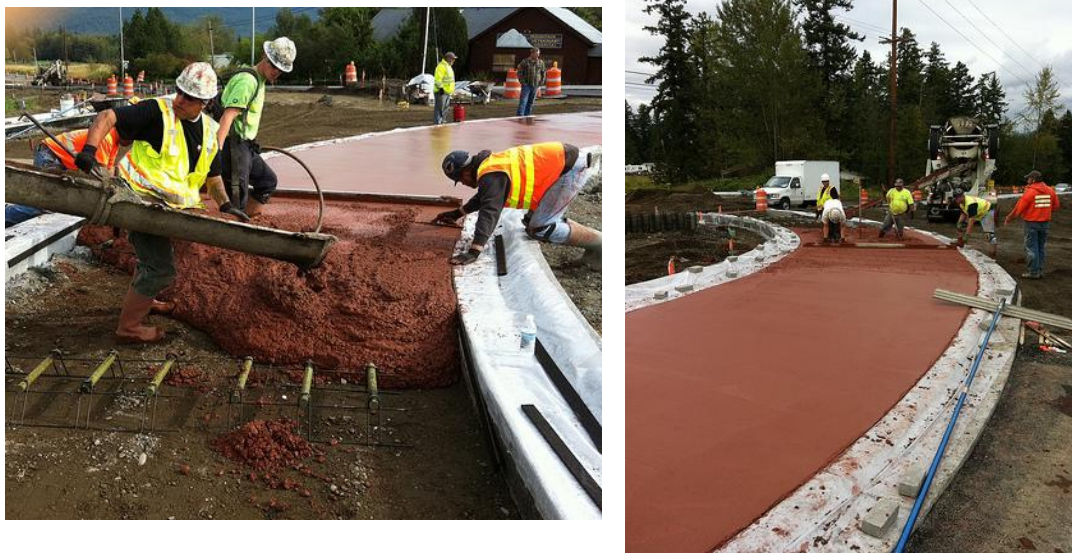
3.2.2.7. Προσπελάσιμη περιμετρική ζώνη της κυκλικής κεντρικής νησίδας για βαρέα οχήματα

Έχουν προηγηθεί εκτενείς αναφορές στους λόγους χρήσης τους αλλά και στον τρόπο και τα υλικά κατασκευής τους. Τοποθετούνται περιμετρικά της κεντρικής νησίδας και είναι ελαφρώς υπερυψωμένες, αλλά προσπελάσιμες για τους τροχούς των βαρέων οχημάτων, αποσκοπώντας στη διευκόλυνση της κυκλοτερούς κίνησής τους όταν το πλάτος του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου είναι ανεπαρκές. Το πλάτος της ποδιάς καθορίζεται συναρτήσει του «αποτυπώματος» της «δυσμενέστερης» διαδρομής του οχήματος σχεδιασμού (NCHRP & FHWA, 2010).

Αν δε γίνεται λεπτομερέστερη προσομοίωση σε Η/Υ για αντίστοιχο όχημα σχεδιασμού, είναι εφικτό να υιοθετούνται **πλάτη από 1m έως και 4.6m και επίκλιση πάντα προς το εξωτερικό του κόμβου της τάξης του 1% - 2%**. Προς αποθάρρυνση των υπόλοιπων οχημάτων να χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη ζώνη, αυτή κατασκευάζεται **υπερυψωμένη κατά 50mm – 75mm** από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Το υλικό κατασκευής πρέπει να είναι διαφορετικό από αυτό που χρησιμοποιείται στους πεζοδρόμους αλλά και από αυτό των οδοστρωμάτων (ασφαλτοσκυρόδεμα). Προτιμώνται είτε κυβόλιθοι, είτε σκυρόδεμα, ενίοτε χρωματισμένο, για αισθητικούς κυρίως λόγους (βλ. σχ. 3.13 & σχ. 3.14) (NCHRP & FHWA, 2010).

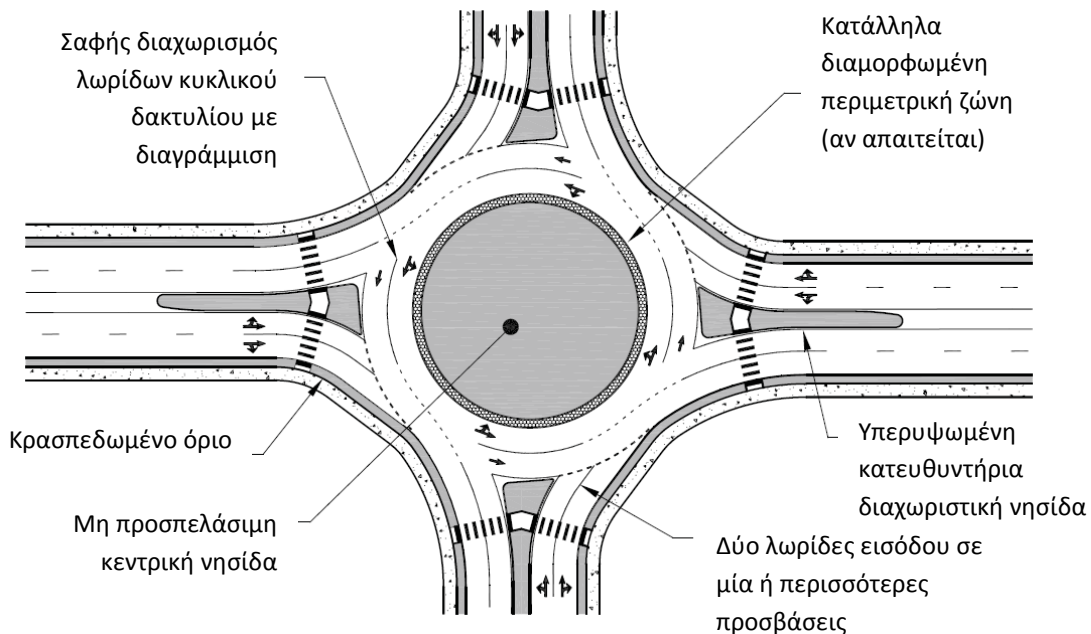


Σχήμα 3.13. Προσπελάσιμη περιμετρική ζώνη της κυκλικής κεντρικής νησίδας για βαρέα οχήματα (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.14. Κατασκευή ποδιάς από χρωματισμένο σκυρόδεμα (<http://www.fhwa.dot.gov/>).

3.2.3. Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Two – Lane Roundabout)



Σχήμα 3.15. Τυπικός κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

Εν γένει, η λογική σχεδιασμού που περιγράφηκε για κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας εφαρμόζεται και στην περίπτωση των δύο λωρίδων, ίσως με πιο πολύπλοκο τρόπο, καθώς οι εισερχόμενες ροές εισέρχονται, διατρέχουν τον κυκλικό δακτύλιο του κόμβου και εξέρχονται δίπλα – δίπλα, μία αλληλεπίδραση μείζονος σημασίας για το Μελετητή. Η γεωμετρία του κόμβου, κυρίως της εισόδου, και η διαρρύθμιση των λωρίδων πρέπει να εξαλείφουν φαινόμενα ανταγωνισμού μεταξύ των οδηγών για τον ίδιο χώρο. Επίσης σημαντικές στην προκείμενη περίπτωση, είναι η διαγράμμιση στο οδόστρωμα και η σήμανση με σκοπό την ασφαλέστερη λειτουργία του κόμβου (NCHRP & FHWA, 2010).

Επιπλέον των προαναφερθεισών προδιαγραφών, στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, υπάρχουν κάποια σημεία κλειδιά για τον σχεδιασμό τους:

- Διαρρύθμιση λωρίδων τέτοια που να επιτρέπει στους οδηγούς να επιλέγουν κατά την είσοδο την κατάλληλη λωρίδα και να μην αλλάζουν κατά την κυκλοφορία τους στον κυκλικό δακτύλιο.

- Γεωμετρική διάταξη των σκελών κατάλληλη ώστε να αποφεύγονται εμπλοκές εξερχόμενων οχημάτων με εκείνα που κυκλοφορούν στον κυκλικό δακτύλιο.
(NCHRP & FHWA, 2010)

Επισημαίνεται πως όσον αφορά στην κεντρική νησίδα ισχύουν όλα όσα αναφέρθηκαν στο εδάφιο 3.2.2.4 για τους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας, καθώς δεν υφίστανται σημαντικές διαφοροποιήσεις (NCHRP & FHWA, 2010).

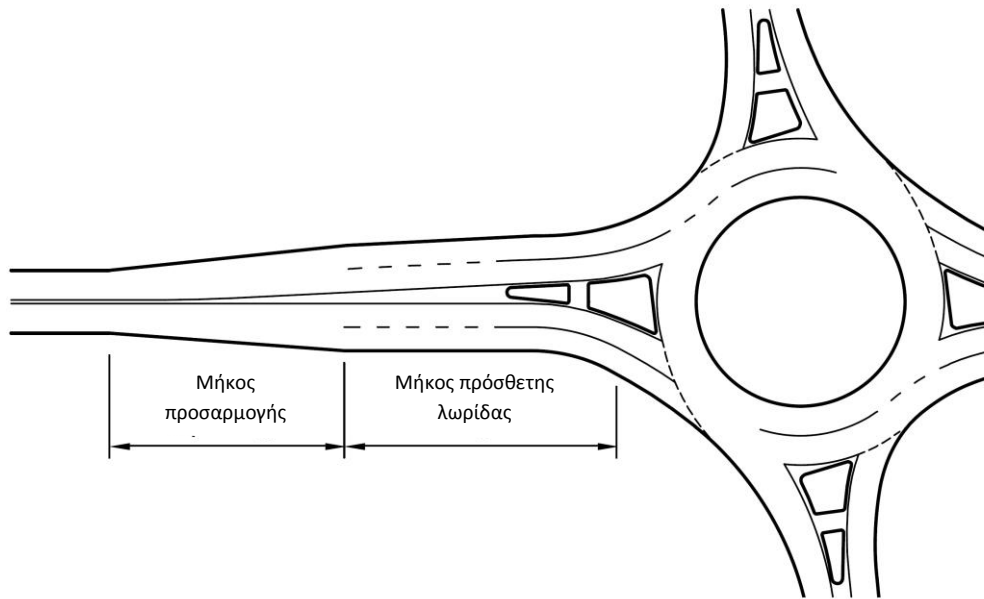
3.2.3.1. Αριθμός λωρίδων και διαρρύθμιση

Στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων υπάρχει τουλάχιστον μία πρόσβαση με δύο λωρίδες είτε εισόδου είτε εξόδου. Βασική σχεδιαστική αρχή παραμένει η «γεωμετρική συνέχεια» από τις λωρίδες εισόδου μέχρι και αυτές της εξόδου να είναι τέτοια ώστε να καθίσταται μη – αναγκαία η αλλαγή λωρίδας στον κυκλικό δακτύλιο. Πρέπει να δίνεται η δυνατότητα στον οδηγό που εισέρχεται, να επιλέξει την κατάλληλη λωρίδα, ανάλογα με την έξοδο που επιθυμεί, και να παραμείνει σε αυτή (NCHRP & FHWA, 2010).

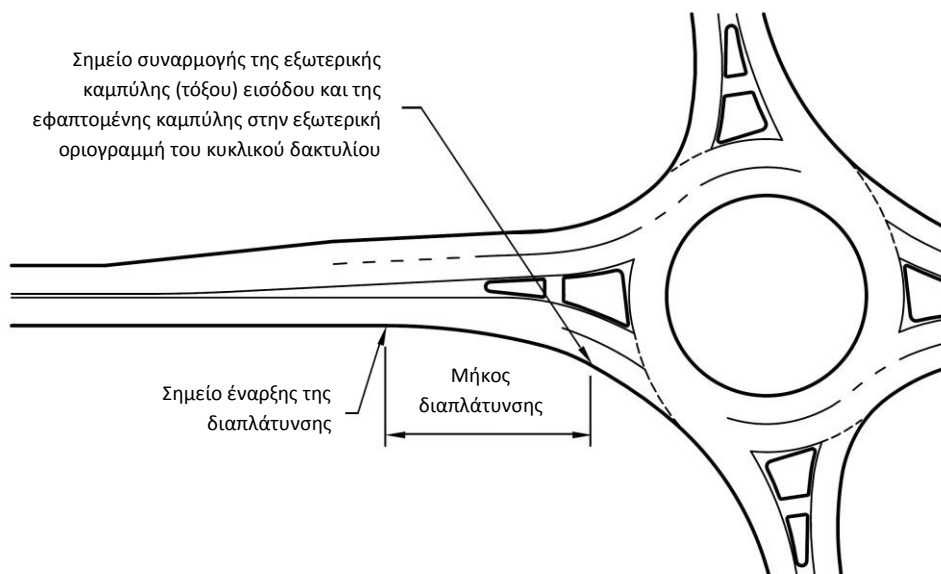
3.2.3.2. Πλάτος Εισόδου

Το απαιτούμενο πλάτος μίας εισόδου δύο λωρίδων εξαρτάται φυσικά από το όχημα σχεδιασμού, αλλά κυμαίνεται γενικά μεταξύ **7.30m – 9.10m** (τυπικές τιμές πλάτους μεμονωμένης λωρίδας: 3.70m – 4.60m). Σε περιοχές όπου οι απαιτήσεις χωρητικότητας σε κάποια είσοδο είναι αυξημένες, δύο είναι οι ενδεικνυόμενες επιλογές:

- Προσθήκη μίας κανονικής λωρίδας στην κατεύθυνση της προσεγγίζουσας τον κόμβο ροής, η οποία προφανώς διατηρείται στην είσοδο του κόμβου (βλ. σχ. 3.16).
- Διεύρυνση της αρχικής (μοναδικής) λωρίδας (flaring) κατά την είσοδο, ξεκινώντας σε μία απόσταση πριν και αυξάνοντας το πλάτος σταδιακά μέχρι τη γραμμή εισόδου (βλ. σχ. 3.17).



Σχήμα 3.16. Προσθήκη μίας κανονικής λωρίδας στην κατεύθυνση της εισερχόμενης ροής (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.17. Διεύρυνση της αρχικής (μοναδικής) λωρίδας (flaring) και τοπική αύξηση του πλάτους στην είσοδο (NCHRP & FHWA, 2010).

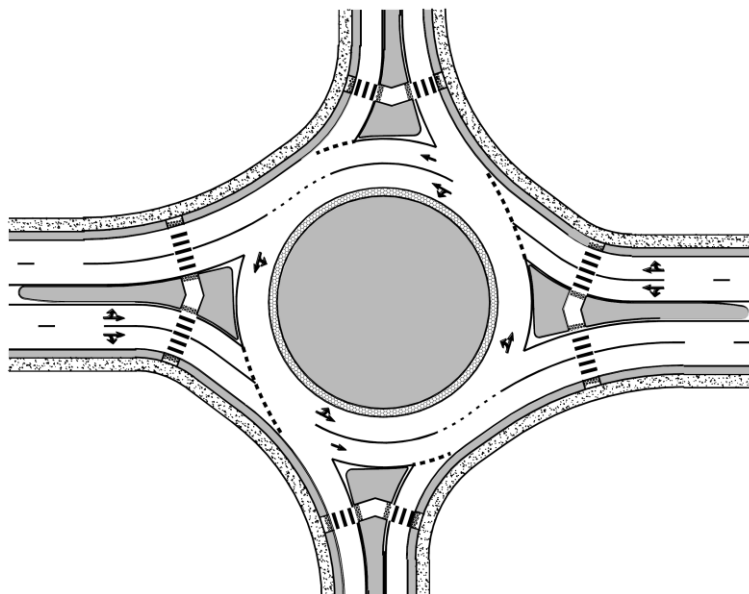
Βρετανικές έρευνες καταδεικνύουν πως η τοπική διαπλάτυνση της εισόδου έχει μικρότερο αρνητικό αντίκτυπο στον τομέα της ασφάλειας ενώ αυξάνει τη χωρητικότητα στην είσοδο, που είναι και ο βασικός στόχος (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.3.3. Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (δύο λωρίδων)

Πρόκειται για ένα μέγεθος, τα κριτήρια καθορισμού του οποίου σχετίζονται με το είδος των οχημάτων που θα κυκλοφορούν στην κυκλική οδό δίπλα – δίπλα, ζήτημα που εγείρει περαιτέρω έρευνα και ανάλυση με συγκοινωνιακά κριτήρια κυρίως (NCHRP & FHWA, 2010).

Γενικά, **κάθε λωρίδα διαθέτει πλάτος της τάξης των 4.30m – 4.90m, δηλαδή ο κυκλικός δακτύλιος κατασκευάζεται με πλάτος που κυμαίνεται από 8.60m – 9.80m** (NCHRP & FHWA, 2010).

Είναι συχνό το φαινόμενο επί αμερικανικών κυκλικών κόμβων η **κατασκευή κυκλικού δακτυλίου με μεταβαλλόμενο πλάτος**, ήτοι στην κύρια οδό να διατίθενται δύο λωρίδες εισόδου και εξόδου άρα και δύο λωρίδες κυκλοφορίας στον κυκλικό δακτύλιο για τα οχήματα από και προς πρόσβαση της κύριας οδού και στη δευτερεύουσα μία λωρίδα σε είσοδο και έξοδο, οπότε (για λόγους συνέπειας) και μία λωρίδα κυκλοφορίας στην κυκλική οδό για τα αντίστοιχα οχήματα (βλ. σχ. 3.17) (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.18. Κυκλικός δακτύλιος μεταβαλλόμενου πλάτους για εξυπηρέτηση μίας κύριας και μίας δευτερεύουσας οδού (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.3.4. Σχεδιασμός Εισόδου

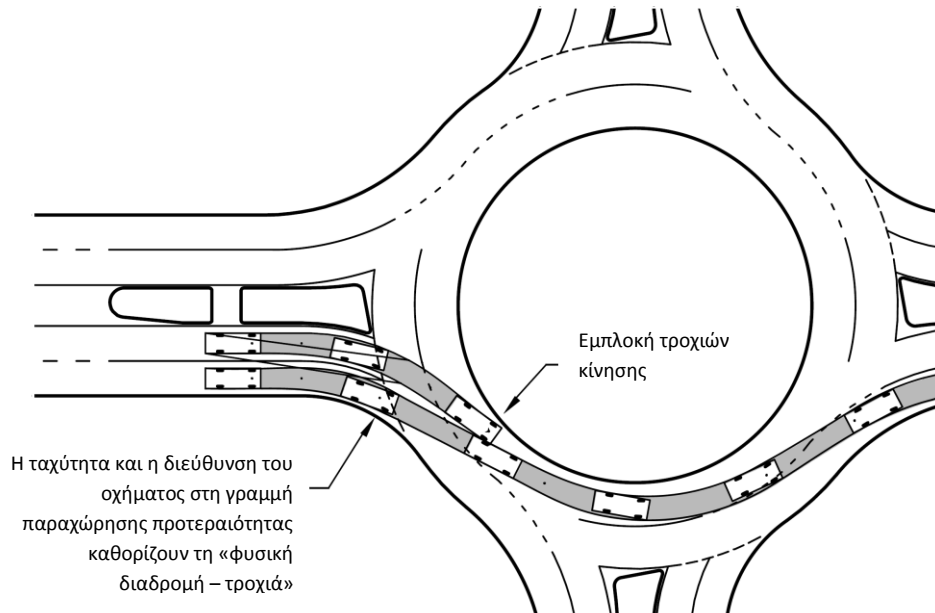
Ο σχεδιασμός της εισόδου πρέπει να επιτυγχάνει ένα είδος ισοροπίας μεταξύ των αντικειμενικών στόχων, όπως ο έλεγχος της ταχύτητας και η επαρκής ορατότητα.

Ο έλεγχος της ταχύτητας είναι εξαρτημένος από την ακτίνα του τόξου εισόδου. Μικρή ακτίνα εισόδου είναι δυνατό μεν να «επιβάλλει» χαμηλή ταχύτητα στα εισερχόμενα οχήματα, όμως μπορεί να οδηγήσει σε σύμπτωση των «φυσικών» τροχιών κίνησής τους, αλλά και σε οδικά ατυχήματα ενός οχήματος που συγκρούεται με την κεντρική νησίδα (NCHRP & FHWA, 2010).

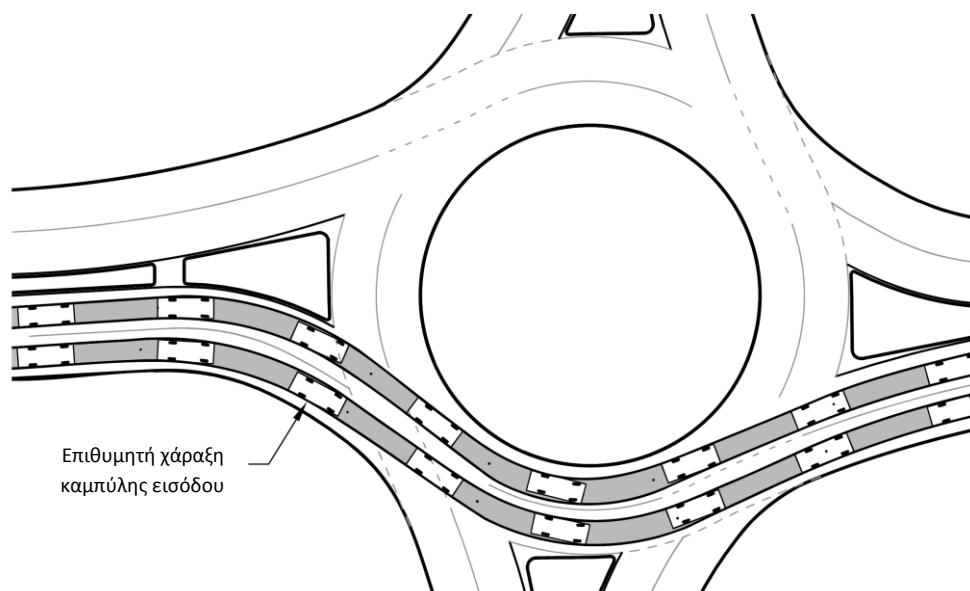
Οι ακτίνες εισόδου πρέπει να υπερβαίνουν τα 20m, ώστε να αποφεύγονται πλαγιομετωπικές συγκρούσεις κατά την είσοδο. Ο Μελετητής είναι αναγκαίο να αποφεύγει τη χρήση πολύ μικρών ακτίνων εισόδου με σκοπό να καταπολεμήσει τα φαινόμενα των «ταχύτερων διαδρομών», καθώς ακτίνες μικρότερες των 13.70m είναι δυνατό να οδηγήσουν σε αχρηστία κάποιας λωρίδας και μειωμένη χωρητικότητα καθώς και σε πλάγιες συγκρούσεις οχημάτων. Ομοίως πρέπει **η ακτίνα της ταχύτερης διαδρομής (R_1) να μην είναι υπερβολικά μικρή** καθώς είναι πιθανό να υποβαθμιστεί η λειτουργικότητα του κόμβου και να αυξηθούν οι πιθανότητες οδικού ατυχήματος. **Ακτίνα R_1 που κυμαίνεται μεταξύ 53m – 84m θεωρείται γενικά ιδανική**, καθώς η ταχύτητα σχεδιασμού περιορίζεται σε 40km/h – 50km/h (NCHRP & FHWA, 2010).

Η εμπλοκή (σύμπτωση) των τροχιών κίνησης δύο οχημάτων (που κινούνται αρχικά παράλληλα), είναι ένα φαινόμενο συχνότερο στις εισόδους, στις οποίες η γεωμετρία της δεξιάς λωρίδας τείνει να οδηγεί τα οχήματα στην αριστερή λωρίδα της κυκλικής οδού (βλ. σχήμα 3.18). Βέβαια είναι δυνατό να συμβαίνει κάτι αντίστοιχο στην έξοδο ενός κυκλικού κόμβου, όταν η γεωμετρία οδηγεί τα οχήματα από την αριστερή λωρίδα του κυκλικού δακτυλίου στη δεξιά λωρίδα της εξόδου (NCHRP & FHWA, 2010).

Το επιθυμητό αποτέλεσμα γεωμετρικής χάραξης είναι εκείνο που διοχετεύει «φυσικά» τα οχήματα στην αντίστοιχη λωρίδα της κυκλικής οδού (βλ. σχ. 3.19) (NCHRP & FHWA, 2010).

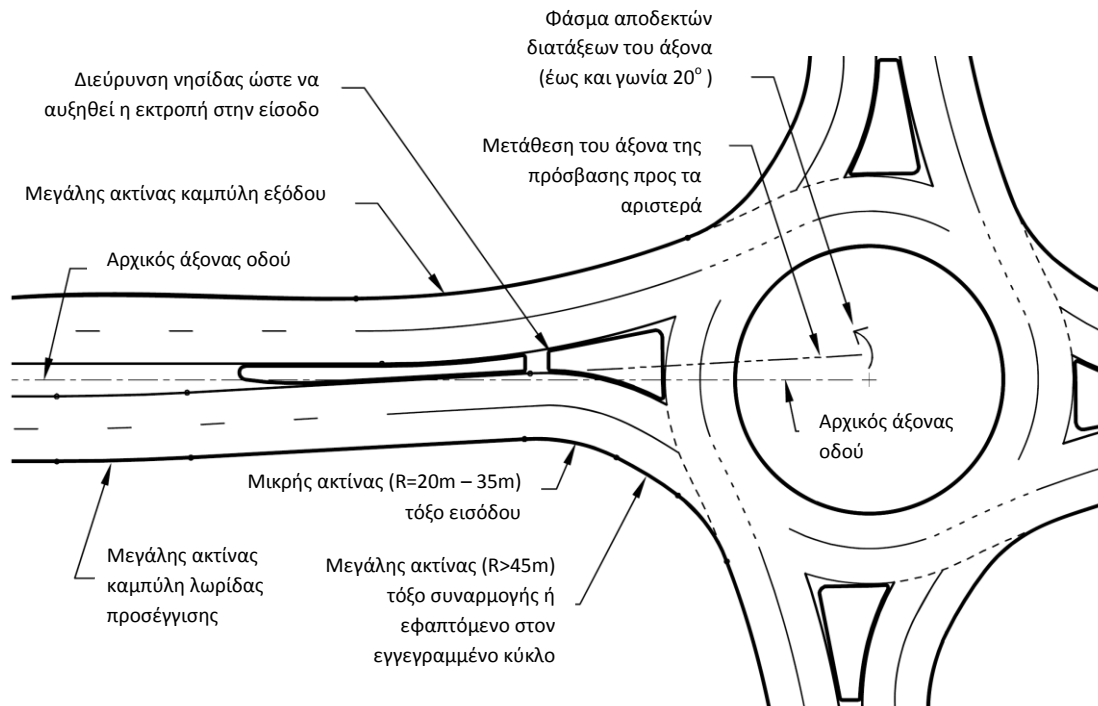


Σχήμα 3.19. Παράδειγμα εμπλοκής των τροχιών κίνησης δύο οχημάτων κατά την είσοδο στην κυκλική οδό (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.20. Επιθυμητή γεωμετρική χάραξη, όσον αφορά στη φυσικά ακολουθούμενη πορεία από τα οχήματα, αλλά και από άποψη επαρκούς εκτροπής (NCHRP & FHWA, 2010).

Μία τεχνική που προάγει αποδεκτές γεωμετρικές χαράξεις εισόδου και άξονα πρόσβασης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.20 (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.21. Γεωμετρική χάραξη εισόδου και άξονα πρόσβασης (NCHRP & FHWA, 2010).

Στην περίπτωση του σχήματος 3.20 χρησιμοποιείται μία σύνθετη καμπύλη ή τόξο εφαπτόμενο στην εξωτερική καμπύλη. Το τελικό αποτύπωμα συνίσταται σε **μία αρχική μικρής ακτίνας καμπύλη εισόδου ακολουθούμενη από μία σύντομη, μεγάλης ακτίνας (εφαπτόμενη στον εγγεγραμμένο κύκλο) καμπύλη συναρμογής** της αρχικής καμπύλης με την οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου, ώστε να καθοδηγούνται τα εισερχόμενα οχήματα από την εκάστοτε λωρίδα εισόδου στην αντίστοιχη («σωστή») λωρίδα του κυκλικού δακτυλίου. Στο σημείο αυτό απαιτείται μέριμνα για την επιλογή του βέλτιστου σημείου αρχής, το οποίο αν βρίσκεται πολύ κοντά στη γραμμή παραχώρησης προτεραιότητας, τότε η μεγάλης ακτίνας (εφαπτόμενη στην οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου) καμπύλη θα είναι πολύ μικρού μήκους προκαλώντας προβλήματα ευθυγράμμισης και καθοδήγησης των οχημάτων. Ωστόσο, αν το σημείο αρχής της καμπύλης

εισόδου είναι μακριά από τη γραμμή εισόδου, τότε εμφανίζονται προβλήματα ελλιπούς εκτροπής και παρατηρούνται υψηλότερες ταχύτητες (NCHRP & FHWA, 2010).

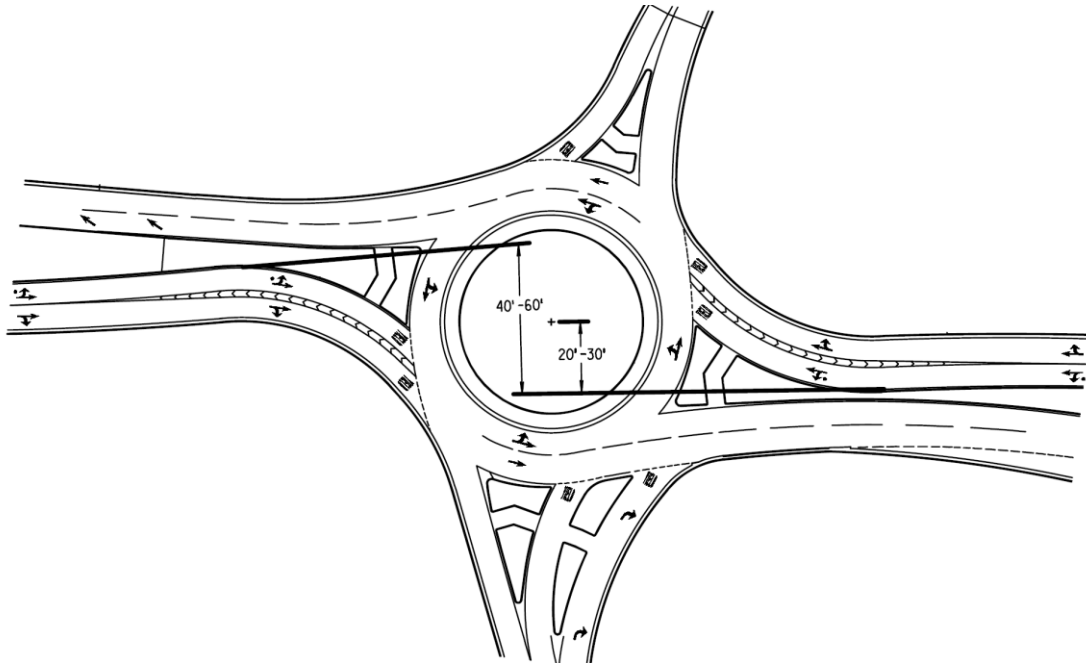
Όσον αφορά στις συνήθεις τιμές, για τις **ακτίνες εισόδου** υφίσταται ένα εύρος από **20m – 35m**, ενώ το τέλος του τόξου αυτού απέχει κατ' ελάχιστο **6m από την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου**. Η **μεγάλης ακτίνας (εφαπτόμενη στην εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου) καμπύλη** λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες των **45m** (NCHRP & FHWA, 2010).

Μία εναλλακτική μέθοδος για τον σχεδιασμό της εισόδου ενός κόμβου με κυκλικό δακτύλιο δύο λωρίδων είναι αυτή κατά την οποία χρησιμοποιείται μία ενιαία ακτίνα για την καμπύλη εισόδου αντί της σύνθετης καμπύλης (τόξο μικρής ακτίνας που ακολουθείται από τόξο μεγάλης ακτίνας) που προαναφέρθηκε. Σημεία κλειδιά στη μέθοδο αυτή είναι να επιτυγχάνονται συγχρόνως ικανοποιητική εκτροπή και έλεγχος της ταχύτητας και να διατηρούνται οι φυσικές τροχιές των εισερχόμενων οχημάτων. Όταν ο κυκλικός δακτύλιος έχει επαρκές πλάτος, τότε η **(εξωτερική) καμπύλη εισόδου μπορεί να σχεδιάζεται εφαπτόμενη σε ομόκεντρο κύκλο με ακτίνα ίση με αυτή του εγγεγραμμένου κύκλου αυξημένη κατά 1.50m** (NCHRP & FHWA, 2010).

Είναι αναγκαίο να επισημανθεί πως η απαιτούμενη εκτροπή των οχημάτων είναι απολύτως ανεξάρτητη του αν οι άξονες των διασταυρούμενων οδών συντρέχουν (τέμνονται) στο κέντρο της κεντρικής νησίδας ή όχι. Είναι αποδεκτό έως ίσως και απαιτητό σε ορισμένες περιπτώσεις, στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων να **μετατίθενται (στρέφονται) οι άξονες των προσβάσεων προς τα αριστερά κατά γωνία 20° – 30° ως προς την αρχική διεύθυνση** (βλ. σχ. 3.22), ώστε να επιτυγχάνεται η **επιθυμητή εκτροπή και ο έλεγχος των ταχυτήτων** (NCHRP & FHWA, 2010).

Μία ακόμη σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι το μήκος ορατότητας (βλ. παρ. 3.2.5.2) και η γωνία του οπτικού πεδίου των εισερχόμενων οδηγών, οι οποίοι πρέπει έγκαιρα και ευκρινώς να

αντιλαμβάνονται την κυκλοφορία τόσο του κυκλικού δακτυλίου, όσο και της επόμενης εισόδου (NCHRP & FHWA, 2010).



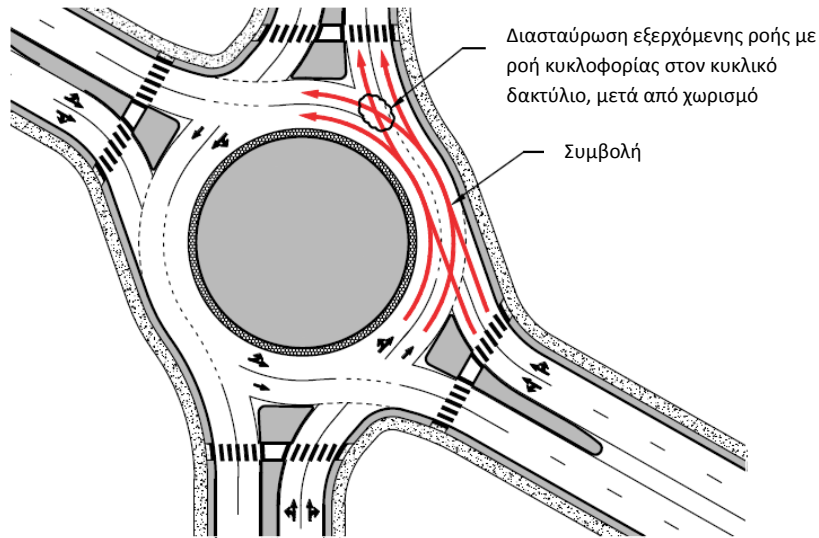
Σχήμα 3.22. Μετάθεση άξονα πρόσβασης προς τα αριστερά – αύξηση εκτροπής (Wisconsin Department of Transportation, 2008).

3.2.3.5. Σχεδιασμός Εξόδου

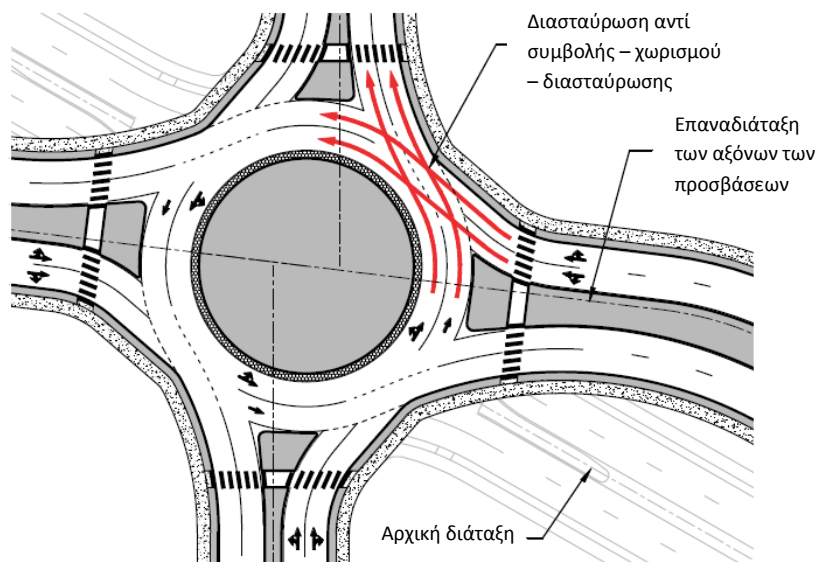
Και στις εξόδους η χάραξη και η οριζοντιογραφία πρέπει να είναι κατάλληλες ώστε να προλαμβάνονται οι εμπλοκές μεταξύ των ροών που κυκλοφορούν στον κυκλικό δακτύλιο και αυτών που εξέρχονται, αλλά και μεταξύ δύο ροών που κινούνται παράλληλα και εξέρχονται ταυτόχρονα (οχήματα που εξέρχονται δίπλα – δίπλα). Γενικά οι ακτίνες των τόξων στις εξόδους είναι σαφώς μεγαλύτερες από εκείνες στις εισόδους (και σαν συνέπεια άλλων παραγόντων όπως η διάμετρος και η γεωμετρία της εισόδου). Ωστόσο είναι σημαντικός ο περιορισμός των υψηλών ταχυτήτων προς την ασφάλεια τόσο των οδηγών όσο και των πεζών (NCHRP & FHWA, 2010).

Είναι δυνατό να προκύψουν προβλήματα όταν η γεωμετρική χάραξη επιτρέπει μεγάλα μήκη συμβολής εντός του κυκλικού δακτυλίου, δηλαδή η εισερχόμενη ροή σε μία λωρίδα αναγκάζεται σε πορεία δίπλα σε μία ροή (εσωτερική λωρίδα), η οποία εξέρχεται στην

επόμενη έξοδο, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εμπλοκές μεταξύ των οχημάτων με άμεσο κίνδυνο πλαγιομετωπικών συγκρούσεων (βλ. σχ. 3.23). Μία λύση, μάλλον η ιδανικότερη, περιλαμβάνει χάραξη τέτοια, η οποία επιβάλλει επαναδιάταξη των σκελών ώστε αντί των συμβολών και έπειτα χωρισμών, να δημιουργούνται διασταυρώσεις, όταν ακόμα οι ταχύτητες των εισερχόμενων οχημάτων είναι χαμηλές συγκρούσεων (βλ. σχ. 3.24) (NCHRP & FHWA, 2010).

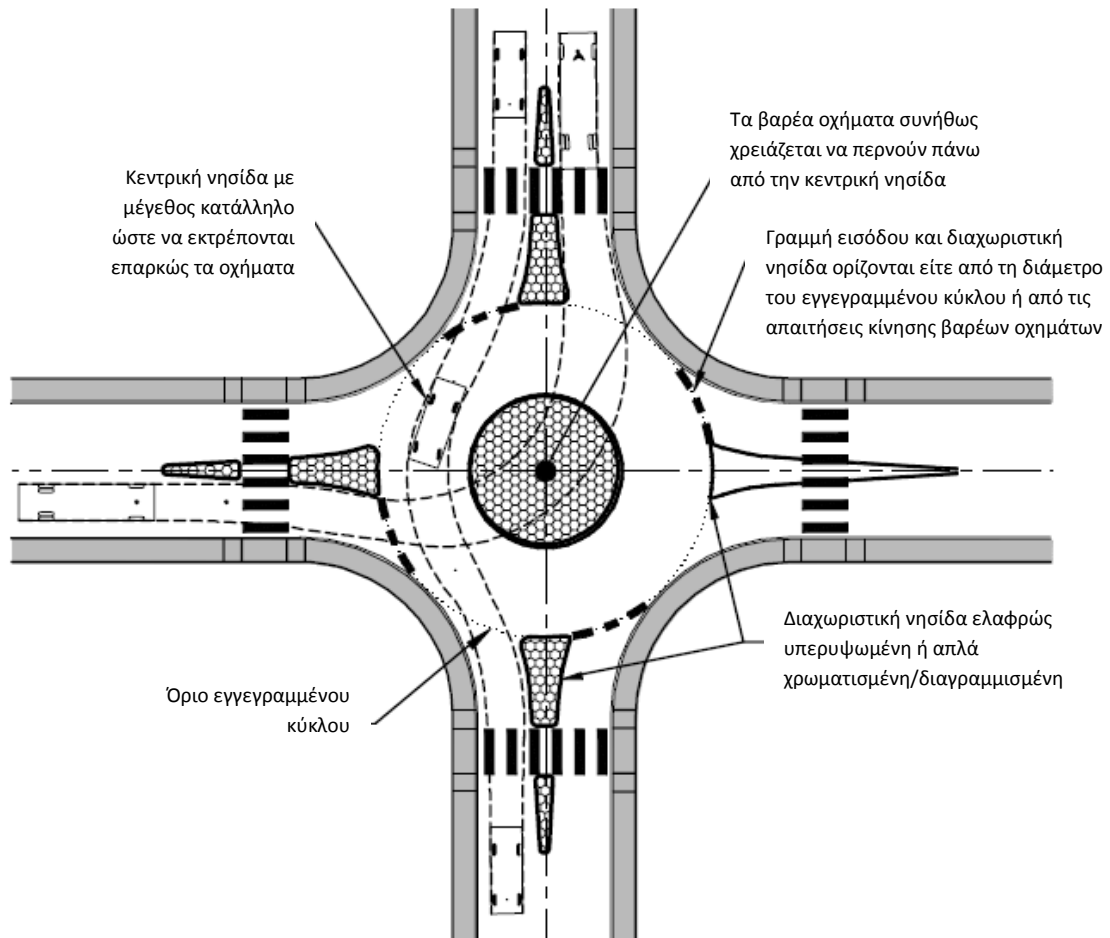


Σχήμα 3.23. Πιθανά σημεία εμπλοκής οχημάτων κατά την έξοδο μίας ροής (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.24. Ευμενής επαναδιάταξη των σκελών του κόμβου του σχ. 3.23 (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.4. Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabout)



Σχήμα 3.25. Βασικά χαρακτηριστικά ενός κόμβου μικρής διαμέτρου (NCHRP & FHWA, 2010).

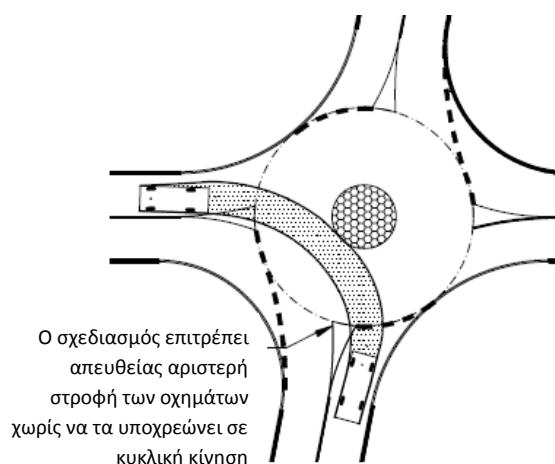
Πρόκειται για μια διαμόρφωση κυκλικού κόμβου, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε θέσεις σύνδεσης οδών ήπιας κυκλοφορίας εντός του αστικού ιστού, αντί σηματορρύθμισης με πινακίδες “STOP” ή αντί φωτεινής σηματοδότησης, με στόχο την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων σε κάθε πρόσβαση (NCHRP & FHWA, 2010).

Αυτού του είδους οι κόμβοι διαθέτουν μικρής διαμέτρου ελαφρώς υπερυψωμένη και πλήρως προσπελάσιμη κυκλική κεντρική νησίδα. Είναι ιδανική λύση σε περιοχές όπου οι ταχύτητες κίνησης των οχημάτων είναι χαμηλές και εξαιτίας χωρικών περιορισμών καθίσταται απαγορευτική η κατασκευή μεγαλύτερου μεγέθους κυκλικών κόμβων (NCHRP & FHWA, 2010).

Σε ότι αφορά στη λειτουργία τους, αυτή παραμένει ίδια με των υπόλοιπων κυκλικών κόμβων, δηλαδή τα εισερχόμενα οχήματα παραχωρούν την προτεραιότητα στα εντός του κυκλικού δακτυλίου κινούμενα οχήματα, ενώ η κίνηση πραγματοποιείται αποκλειστικά και αυστηρά με αντιωρολογιακή φορά (Ελλάδα: κυκλοφορία στην αριστερή πλευρά της οδού). Λόγω του μικρού αποτυπώματος (μεγέθους) του κόμβου **τα βαρέα οχήματα «χρησιμοποιούν» την κεντρική νησίδα προκειμένου να διευκολυνθεί η κίνησή τους, διερχόμενα άνωθέν της.** Η χάραξη βέβαια αποσκοπεί γενικά στην **αποτροπή των επιβατηγών οχημάτων** να χρησιμοποιούν την κεντρική νησίδα, αλλά να κινούνται κυκλικά και περιφερειακά αυτής παραμένοντας στο οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου (NCHRP & FHWA, 2010).

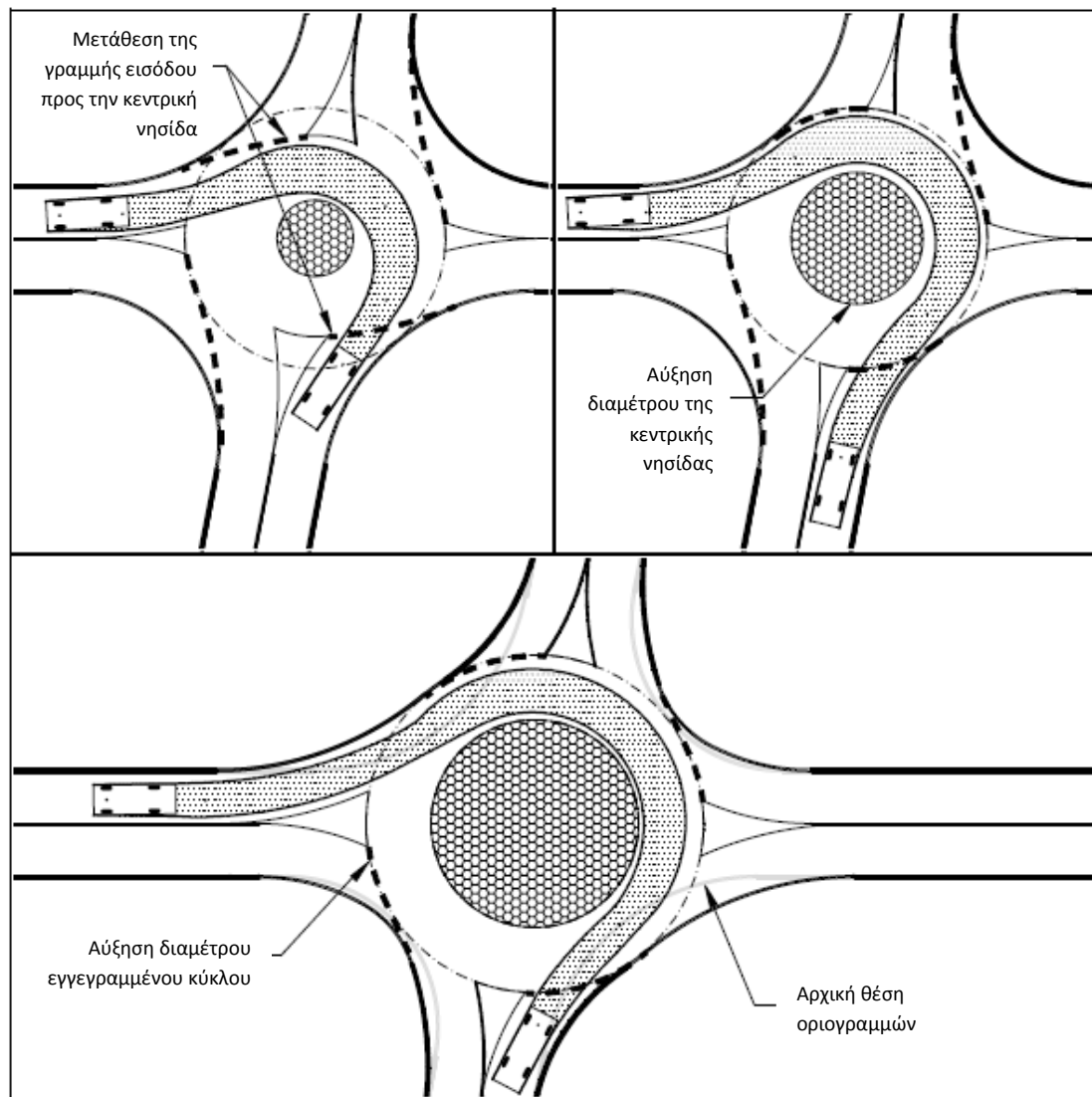
3.2.4.1. Κριτήρια Σχεδιασμού

Κριτήρια σχεδιασμού τέτοιου είδους κόμβων αποτελούν η αποτελεσματική διοχέτευση των οχημάτων στην κυκλική οδό, το όχημα σχεδιασμού και οι απαιτήσεις ελιγμών του και η ορατότητα του κόμβου. Επισημαίνεται πως λόγω της μορφής του κόμβου (πλήρως προσπελάσιμη για όλα τα οχήματα κεντρική νησίδα), **ελλιπής γεωμετρία μπορεί να ενθαρρύνει κάποιους οδηγούς, οι οποίοι επιθυμούν να στρέψουν αριστερά, να το πράττουν απευθείας χωρίς να ακολουθήσουν την υποχρεωτική κυκλική πορεία ή περνώντας πάνω από την κεντρική νησίδα** (βλ. σχ. 3.26) (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.26. Φαινόμενο ελλιπούς γεωμετρικού σχεδιασμού (NCHRP & FHWA, 2010).

Στο σχήμα 3.27 παρουσιάζονται κάποιες πρακτικές με τις οποίες αποτρέπονται τέτοια φαινόμενα είτε μεταθέτοντας τη γραμμή εισόδου πιο κοντά στη νησίδα, είτε διευρύνοντας τη διάμετρο της κεντρικής κυκλικής νησίδας, είτε διευρύνοντας τα όρια του εγγεγραμμένου κύκλου (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.27. Πρακτικές διόρθωσης του ελλιπούς σχεδιασμού του σχ. 3.26 (NCHRP & FHWA, 2010).

Όσον αφορά στην **κεντρική νησίδα**, αυτή κατασκευάζεται είτε από ασφαλτοσκυρόδεμα ή τσιμεντοκονίαμα ή από κάποιο υλικό (π.χ. σκληρό καουτσούκ) πάντα με επίκλιση προς τα έξω της τάξης του 5% - 6% (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.4.2. Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες

Η μορφή ποικίλει από μία απλή διαγραμμισμένη επιφάνεια στο σχήμα της τριγωνικής νησίδας, μία πλήρως προσπελάσιμη τριγωνική νησίδα ή μία μη προσπέλαστη κρασπεδωμένη τριγωνική νησίδα με ελάχιστο εμβαδό, σε κάθε περίπτωση, περί τα 4.50m^2 (NCHRP & FHWA, 2010).

Οι διαβάσεις των πεζών τοποθετούνται συνηθέστατα σε απόσταση 6.0m από τη γραμμή εισόδου του κυκλικού κόμβου και αν είναι αναγκαίο διακόπτεται η συνέχεια της νησίδας ώστε να διευκολύνεται και να προστατεύεται η κίνηση των πεζών και ιδιαίτερα των ατόμων με ειδικές κινητικές ανάγκες, ενώ σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται ράμπες ώστε να είναι εφικτή η κίνηση των αναπηρικών αμαξιδίων ή και των ποδηλάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

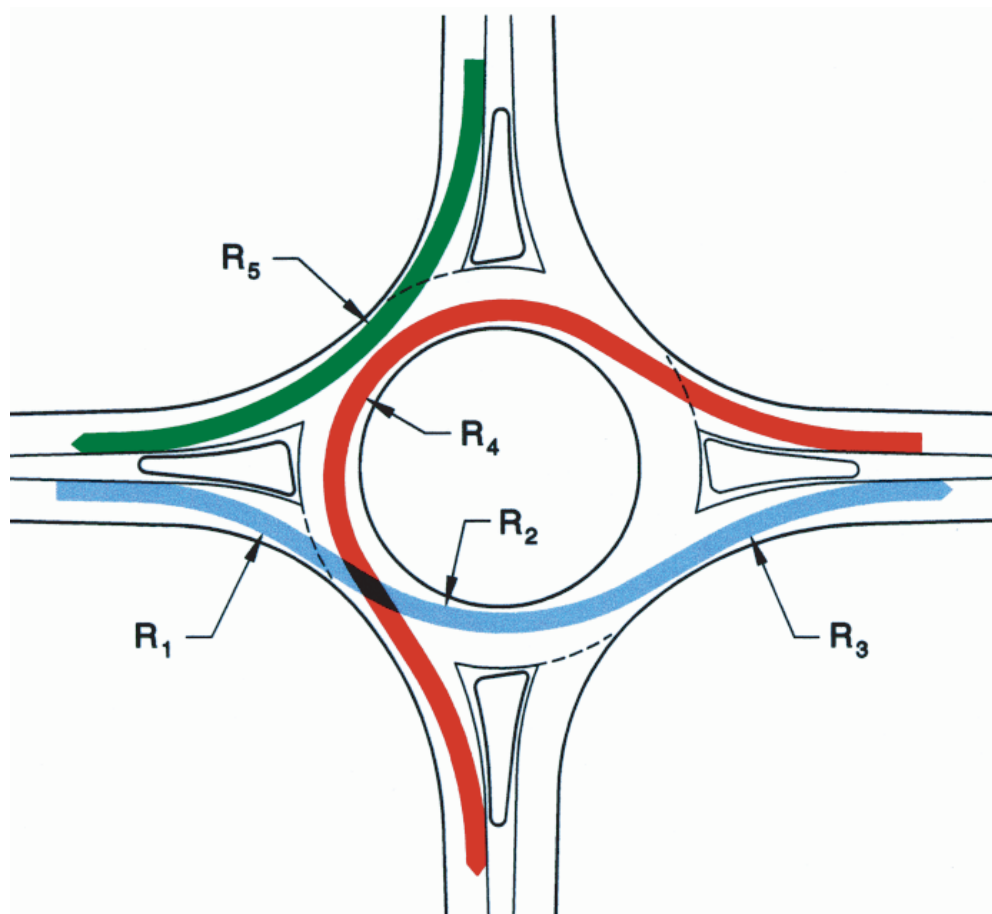
3.2.5. Έλεγχος Λειτουργίας Κυκλικού Κόμβου

Πρόκειται για ένα ζωτικής σημασίας τμήμα του σχεδιασμού κυκλικών κόμβων στις αμερικανικές οδηγίες καθώς διαπιστώνεται εάν η τελική χάραξη πληροί τους αρχικούς στόχους.

3.2.5.1. Ταχύτερη Διαδρομή

Η ταχύτερη διαδρομή η οποία επιβάλλεται από τη γεωμετρία του κόμβου είναι εκείνη η οποία καθορίζει τελικά την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων κατά την είσοδο, εντός και κατά την έξοδο από τον κυκλικό κόμβο. Πρόκειται για την ομαλότερη και ταχύτερη πορεία που είναι εφικτό να ακολουθήσει ένα όχημα, απουσία όλων των διαγραμμίσεων και άλλων οχημάτων στον κόμβο. Αφορά στην είσοδο ενός οχήματος και στη διαδρομή που αυτό ακολουθεί προς κάθε πιθανή έξοδο. Έτσι ελέγχονται ουσιαστικά πέντε (5) κρίσιμες ακτίνες (βλ. σχ. 3.28) για κάθε πρόσβαση:

- R_1 : ακτίνα εισόδου (ελάχιστη ακτίνα για την ταχύτερη είσοδο στον κόμβο).
 - R_2 : ακτίνα κυκλικής κίνησης (ελάχιστη ακτίνα της ταχύτερης διαδρομής παράπλευρα της κεντρικής κυκλικής νησίδας).
 - R_3 : ακτίνα εξόδου (ελάχιστη ακτίνα για την ταχύτερη έξοδο από την κυκλική οδό).
 - R_4 : ακτίνα αριστερής στροφής (ελάχιστη ακτίνα της ταχύτερης πορείας κατά τη στρέφουσα αριστερά κίνηση).
 - R_5 : ακτίνα δεξιάς στροφής (ελάχιστη ακτίνα της ταχύτερης πορείας κατά τη στρέφουσα δεξιά κίνηση).
- (NCHRP & FHWA, 2010)



Σχήμα 3.28. Κρίσιμες ακτίνες ταχύτερων διαδρομών (NCHRP & FHWA, 2010).

Στον πίνακα 3.3 υπενθυμίζονται οι υψηλότερες προβλεπόμενες ταχύτητες εισόδου σε κάθε κόμβο.

Πίνακας 3.3. Υψηλότερες προβλεπόμενες ταχύτητες εισόδου σε κάθε κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).

Είδος κυκλικού κόμβου	Προτεινόμενη Μέγιστη θεωρητική ταχύτητα εισόδου (km/h)
Κυκλικός Κόμβος Ελάχιστης Διαμέτρου (Mini Roundabout)	30
Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (Single-lane Roundabout)	40
Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Two-lane Roundabout)	40 – 50

Γενικά, οι ταχύτερες αυτές διαδρομές σχεδιάζονται είτε στο χέρι είτε, συνηθέστερα, με τη βοήθεια σχεδιαστικών προγραμμάτων CAD (Computer Aided Drafting) καθώς πρόκειται για καμπύλες σύνθετες, που περιλαμβάνουν πολλά διαδοχικά τόξα (NCHRP & FHWA, 2010).

3.2.5.2. Μήκη Ορατότητας – Επαρκούς Εποπτείας

Πρόκειται για μία παράμετρο της μελέτης και του σχεδιασμού κυκλικών κόμβων, η οποία απασχολεί έναν Μελετητή με δύο εκφάνσεις της, **το μήκος ορατότητας για στάση και το μήκος ορατότητας διασταύρωσης.**

Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Στάση (SSD – Stopping Sight Distance)

Είναι το μήκος της απόστασης που διανύει ένα όχημα στο χρόνο που ο οδηγός του χρειάζεται για να αντιληφθεί την ύπαρξη ενός εμποδίου στην οδό επί της οποίας κινείται, να αποφασίσει και να αντιδράσει κατά το δοκούν και να ακινητοποιήσει το όχημα εγκαίρως προ του εμποδίου. Μία επαρκής τέτοια απόσταση πρέπει να παρέχεται σε κάθε σημείο του κυκλικού δακτυλίου ενός κόμβου, αλλά και σε κάθε είσοδο και έξοδο του (NCHRP & FHWA, 2010).

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση (διακοπή πορείας) δίνεται από τη μαθηματική σχέση:

$$d = 0.304 \cdot V \cdot t + 0.047 \cdot V^2 / a \quad (\text{NCHRP \& FHWA, 2010})$$

όπου

d : μήκος ορατότητας διακοπής πορείας (SSD) (σε m)

t : συνολικός χρόνος αντίληψης – απόφασης – αντίδρασης (σε sec, υπολογίζεται περί τα 2.5sec)

V : αρχική ταχύτητα (σε km/h)

a : επιβράδυνση οχήματος λόγω πέδησης (λαμβάνεται περίπου 3.4m/ sec²)

Οπότε η παραπάνω σχέση απλοποιείται:

$$d = 0.76 \cdot V + 0.014 \cdot V^2$$

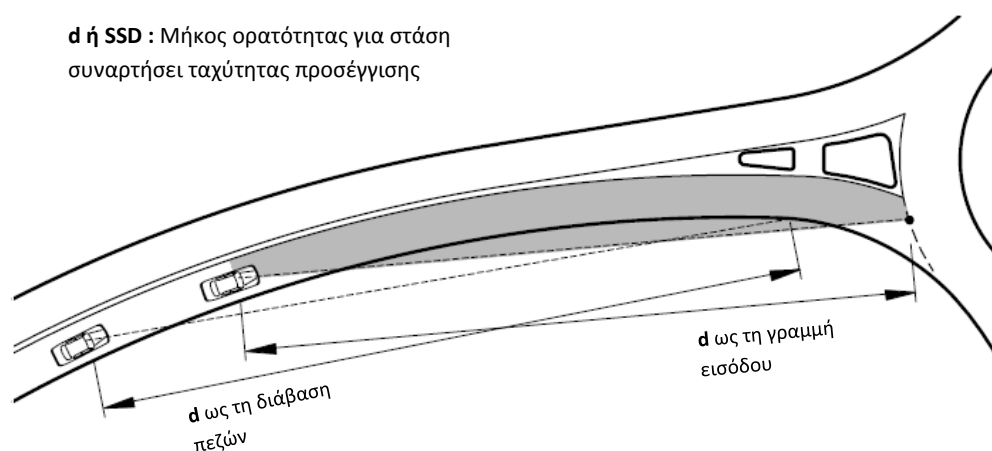
Καταρτίζεται λοιπόν ο πίνακας:

Πίνακας 3.4. Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση (NCHRP & FHWA, 2010).

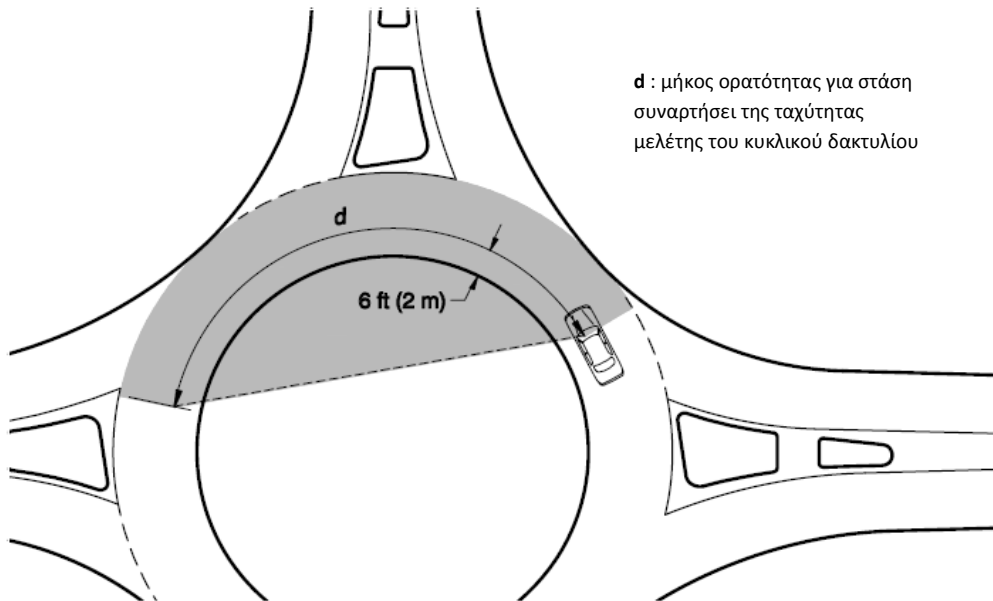
Ταχύτητα (km/h)	Υπολογιζόμενο Μήκος* (m)
10	9
20	19
30	32
40	47
50	64
60	83
70	105
80	129
90	156
100	185

*Στρογγυλοποίηση στο επόμενο ακέραιο ψηφίο

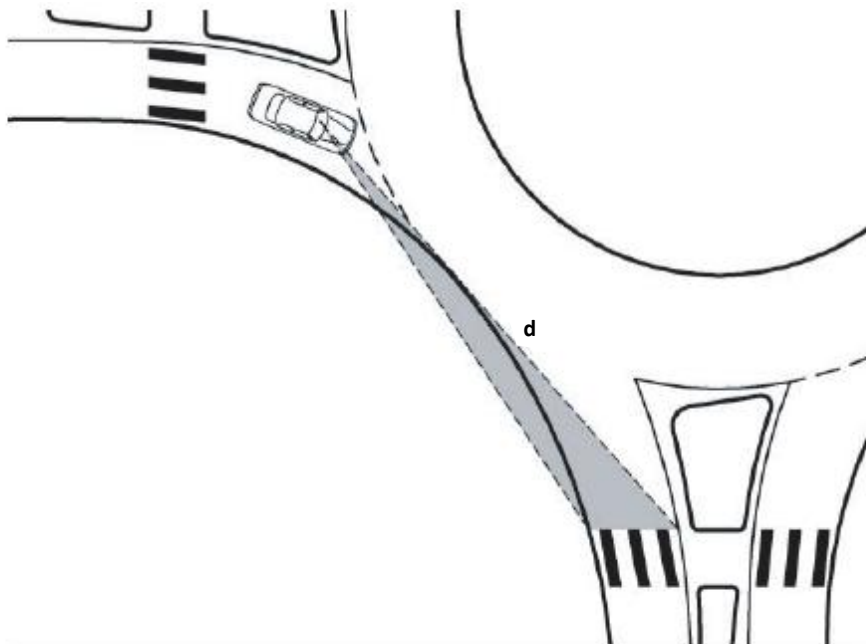
Για τις μετρήσεις μας υποθέτουμε **ύψος οφθαλμού του οδηγού 1.10m** και **ύψος εμποδίου της τάξης των 60cm**. Όπως προαναφέρθηκε, μας ενδιαφέρουν τα μήκη ορατότητας στάσης σε είσοδο (βλ.σχ. 3.29), εντός του κυκλικού δακτυλίου (βλ.σχ. 3.30), και έξοδο (βλ.σχ. 3.31) (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.29. Πεδίο ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση στην είσοδο (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.30. Πεδίο ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση εντός του κυκλικού δακτυλίου (NCHRP & FHWA, 2010).



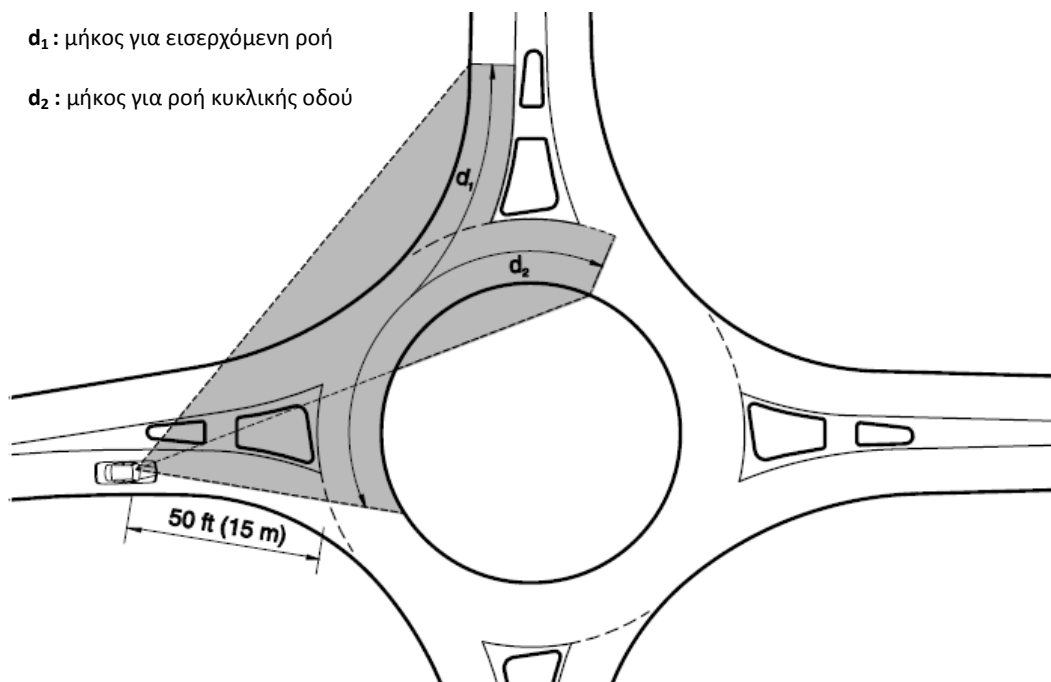
Σχήμα 3.31. Πεδίο ορατότητας και απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση στην έξοδο (NCHRP & FHWA, 2010).

Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας Διασταύρωσης

Πρόκειται για εκείνη την απόσταση που είναι αναγκαία για τον οδηγό ενός οχήματος χωρίς προτεραιότητα να αντιληφθεί την ύπαρξη άλλων οχημάτων με τα οποία είναι δυνατό να εμπλακεί και να αντιδράσει προς την ασφάλεια όλων. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται χρήση πεδίων ορατότητας που επιτρέπουν στον οδηγό να εποπτεύει την υφιστάμενη κυκλοφορία. Προφανώς η ανάγκη αυτού του ελέγχου αφορά στις εισόδους των κυκλικών κόμβων (NCHRP & FHWA, 2010).

Για τις μετρήσεις μας υποθέτουμε **ύψος οφθαλμού του οδηγού 1.10m** και **ύψος εμποδίου της τάξης του 1.10m** (NCHRP & FHWA, 2010).

Στο σχήμα 3.32 παρουσιάζεται η μέθοδος με την οποία καθορίζεται η προκειμένη απόσταση. Όπως φαίνεται, το τρίγωνο ορατότητας περιλαμβάνει δύο εμπλεκόμενες προσβάσεις, οι οποίες ελέγχονται μεμονωμένα (NCHRP & FHWA, 2010).



Σχήμα 3.32. Απαιτούμενο μήκος ορατότητας διασταύρωσης ρευμάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Το μήκος ορατότητας διασταύρωσης κατά την είσοδο (βλ. σχ. 3.32) πρέπει να **περιορίζεται στα 15m**, καθώς βρετανικές έρευνες καταδεικνύουν πως μεγαλύτερα μήκη συνδέονται με μεγαλύτερο πλήθος οδικών ατυχημάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Κατά δεύτερον, τα μήκη εμπλοκής ενός οχήματος που εισέρχεται με οχήματα που ήδη κυκλοφορούν στην κυκλική οδό (βλ. σχ. 3.32) υπολογίζονται από τις εξής μαθηματικές σχέσεις:

$$d_1 = 0.304 \cdot V_{\text{major,entering}} \cdot t_c \quad (\text{NCHRP \& FHWA, 2010})$$

$$d_2 = 0.304 \cdot V_{\text{major,circulating}} \cdot t_c \quad (\text{NCHRP \& FHWA, 2010})$$

όπου:

d_1 : μήκος διασταύρωσης εισόδου (σε m)

d_2 : μήκος διασταύρωσης κυκλοφορίας (σε m)

V_{major} : ταχύτητα σχεδιασμού εμπλεκόμενης ροής (σε km/h)

t_c : κρίσιμος χρόνος για την είσοδο σε μία κύρια οδό (περίπου 5sec)

Σε κάθε είσοδο είναι απαραίτητο να ελέγχονται δύο εμπλεκόμενες ροές: **α) Ροή εισόδου (entering stream)**, η οποία συντίθεται από οχήματα της από ανάντη εισόδου. Ως ταχύτητα αυτής της ροής λαμβάνεται ο μέσος όρος της ταχύτητας εισόδου (ακτίνα R_1) και της ταχύτητας κυκλοφορίας στον κυκλικό δακτύλιο (ακτίνα R_2), **β) Ροή κυκλοφορίας στην κυκλική οδό (circulating stream)**, η οποία συντίθεται από οχήματα που έχουν εισέλθει στον κόμβο από είσοδο διαφορετική αυτής από ανάντη. Ως ταχύτητα αυτής της ροής λαμβάνεται η ταχύτητα των αριστερά στρεφόντων οχημάτων (ακτίνα R_4) (βλ. σχ. 3.28) ρευμάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

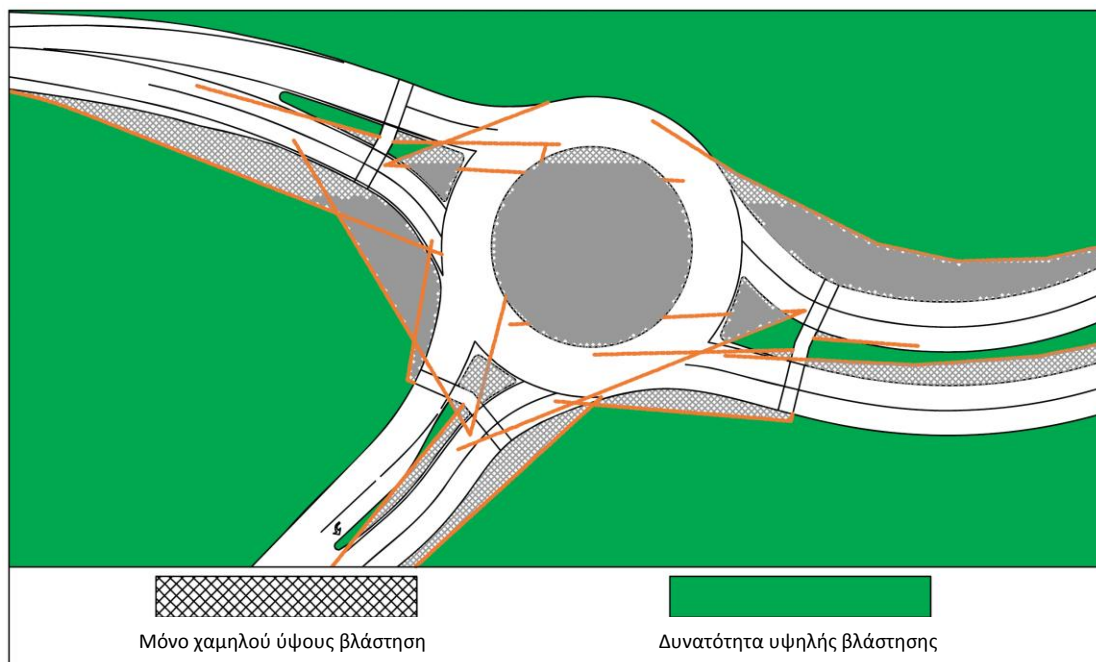
Καταρτίζεται λοιπόν ο πίνακας (βάσει των προηγούμενων σχέσεων):

Πίνακας 3.5. Απαιτούμενο μήκος ορατότητας διασταύρωσης ρευμάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

Ταχύτητα εμπλεκόμενης πρόσβασης (km/h)	Υπολογιζόμενη Απόσταση* (m)
20	28
25	35
30	42
35	49
40	56

*Στρογγυλοποίηση στο επόμενο ακέραιο ψηφίο

Συνδυάζοντας τα συναγόμενα απαιτούμενα μήκη ορατότητας καταλήγει προκύπτει ένα διάγραμμα, το οποίο ουσιαστικά υπαγορεύει σε ποια σημεία είναι ασφαλές να τοποθετείται υψηλή βλάστηση και σε ποια χαμηλή.



Σχήμα 3.33. Συνδυαστικό σχεδιάγραμμα μηκών ορατότητας ρευμάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

3.3. Πλαίσιο Κανονισμών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στη Μεγάλη Βρετανία

[σύμφωνα με το «Εγχειρίδιο Σχεδιασμού για Οδούς και Γέφυρες» και την ενότητα «Γεωμετρικός Σχεδιασμός Κυκλικών Κόμβων» (έκδοση Αυγούστου 2007) – *“Design Manual for Roads and Bridges – TD 16/07 Volume 6, Section 2, Part 3 – Geometric Design of Roundabouts”* (August 2007)]

Στους βρετανικούς κανονισμούς περιλαμβάνονται τα εξής είδη ισόπεδων κυκλικών κόμβων:

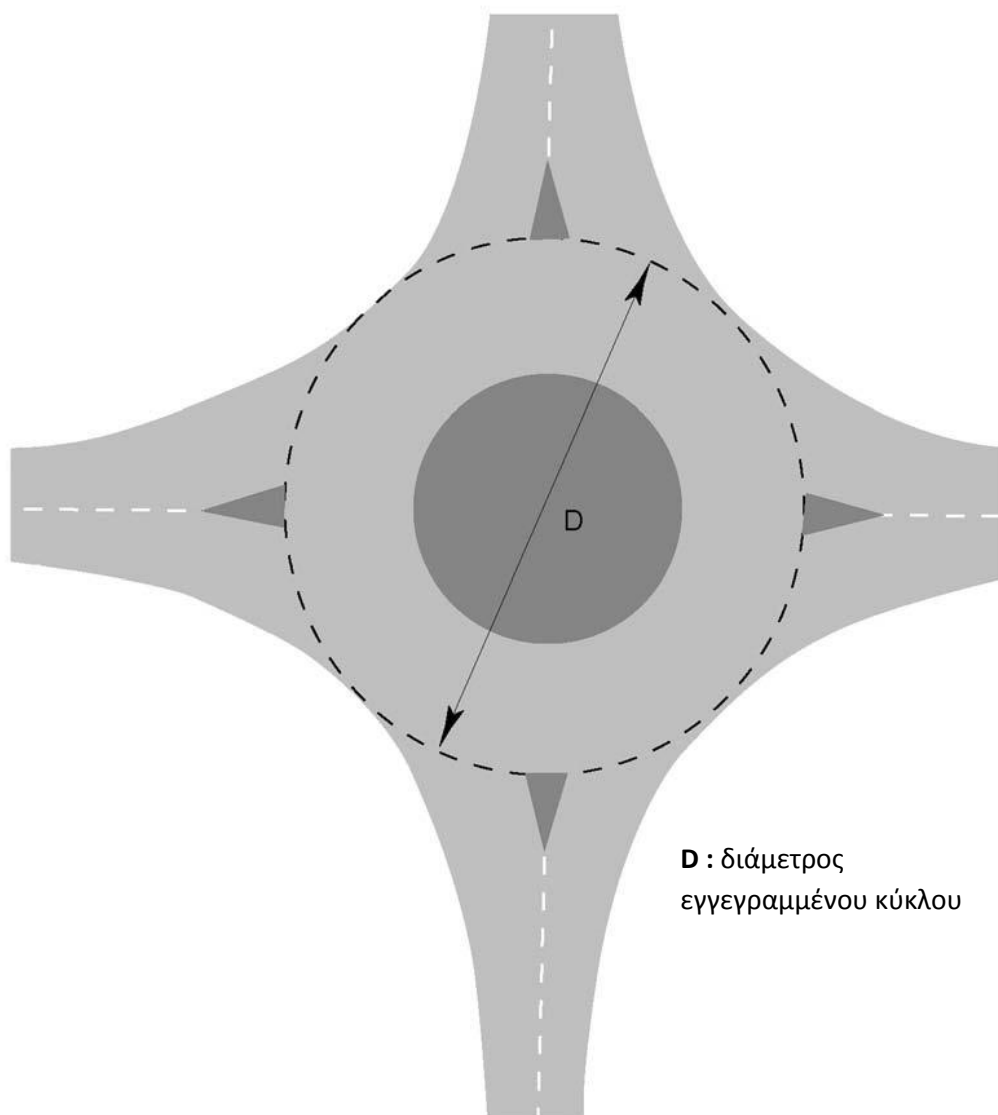
- **Συνήθεις (Απλοί) Κυκλικοί Κόμβοι (Normal Roundabouts):** Διαθέτουν κρασπεδωμένη κεντρική κυκλική νησίδα με ελάχιστη διάμετρο 4m. Οι προσβάσεις τους είναι οδοί μίας ή δύο λωρίδων. Συνήθως στην είσοδο αλλά και στην έξοδο γίνεται διεύρυνση του διατιθέμενου πλάτους (flare) ώστε να επιτρέπεται σε δύο ή τρία οχήματα να εισέλθουν ή να εξέλθουν από την ίδια διατομή του εκάστοτε σκέλους την ίδια χρονική στιγμή. Το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου είναι επαρκές ώστε να κινούνται έως και τρία οχήματα παράλληλα. Συνήθως διαθέτει τρία ή τέσσερα σκέλη.
- **Συμπαγείς Κυκλικοί Κόμβοι (Compact Roundabouts):** Διαθέτουν αποκλειστικά μία λωρίδα εισόδου και μία εξόδου. Το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου είναι κατάλληλο ώστε να αποτρέπεται η παράλληλη κίνηση δύο οχημάτων, οπότε και οι προσπεράσεις.
- **Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου (Mini - Roundabouts):** Η κεντρική κυκλική νησίδα τους είναι πλήρως προσπελάσιμη με διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 1m και 4m.
(The Highways Agency et al., 2007)

Πίνακας 3.6. Επιλογή Κατάλληλου Τύπου Κυκλικού Κόμβου (The Highways Agency et al., 2007).

Κατηγορία	Προσβάσεις	Ανώτατο Όριο Ταχύτητας	Μέγιστη Ε.Μ.Η.Κ. (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία)	Διαχείριση Ποδηλατών	Διαχείριση Πεζών	Συνδυασμένη Κυκλοφορία Πεζών και Ποδηλατών	Τύπος Κυκλικού Κόμβου
1	Ράμπες Εισόδου/ Εξόδου	Οποιοδήποτε	Οποιαδήποτε	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Ανισόπεδος
2	Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας	>65km/h	Οποιαδήποτε	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Σηματοδότηση/ Ράμπες	Κανονικός
3	Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας	>65km/h	>8000	Σηματοδότηση	Σηματοδότηση	Σηματοδότηση	Κανονικός
4	Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας	>65km/h	<8000	Ανάμειξη με την κυκλοφορία	Ανεπίσημα	-	Συμπαγής
5	Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας	<65km/h	>25000	Σηματοδότηση	Σηματοδότηση	Σηματοδότηση	Κανονικός
6	Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας	<65km/h	16000 - 25000	Σηματοδότηση	Σηματοδότηση/ Εγκάρσια Διαγράμμιση	Σηματοδότηση	Κανονικός
7	Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας	<65km/h	<16000	Ανεπίσημα	Ανεπίσημα	Ανεπίσημα	Κανονικός
8	Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας	<65km/h	>12000	Σηματοδότηση	Εγκάρσια Διαγράμμιση	Σηματοδότηση	Κανονικός
9	Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας	<65km/h	8000 – 12000	Ανεπίσημα	Ανεπίσημα/ Εγκάρσια Διαγράμμιση	Ανεπίσημα/ Σηματοδότηση	Κανονικός/ Συμπαγής
10	Μίας Λωρίδας Κυκλοφορίας	<65km/h	<8000	Ανάμειξη με την κυκλοφορία	Ανεπίσημα	Ανεπίσημα	Συμπαγής

3.3.1. Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου

Στους Συνήθεις ή στους Συμπαγείς κυκλικούς κόμβους, η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου κυμαίνεται από **28m – 100m**. Μάλιστα, όταν βρισκόμαστε στην περιοχή 28m – 36m είναι προτιμότερη η επιλογή του συμπαγούς κόμβου. Ένας κόμβος με διάμετρο εγγεγραμμένου κύκλου της τάξης των 28m οριακά εξυπηρετεί τα συνήθη οχήματα σχεδιασμού (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.34. Διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.2. Κυκλικός Δακτύλιος (Κυκλική Διαδρομή)

Σε έναν Συνήθη ή σε έναν Συμπαγή κόμβο ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει **σταθερό πλάτος, το οποίο επιβάλλεται να είναι 1.0 έως 1.2 φορές πολλαπλάσιο του μέγιστου πλάτους εισόδου** (βλ. παρ. 3.3.5), **αλλά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15m στους συνήθεις και τα 6m στους συμπαγείς κόμβους** (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.3. Κυκλική Κεντρική Νησίδα

Η κεντρική νησίδα είναι κυκλική και στους μεν κόμβους μικρής διαμέτρου είναι πλήρως προσπελάσιμη (ειδικά στη Μ. Βρετανία πρόκειται απλά για μια κυκλική περιοχή χρωματισμένη με λευκό χρώμα) με μέγιστη διάμετρο 4m, ενώ στους συνήθεις και στους συμπαγείς είναι κρασπεδωμένη και μη προσπελάσιμη, με ελάχιστη διάμετρο 4m (The Highways Agency et al., 2007).

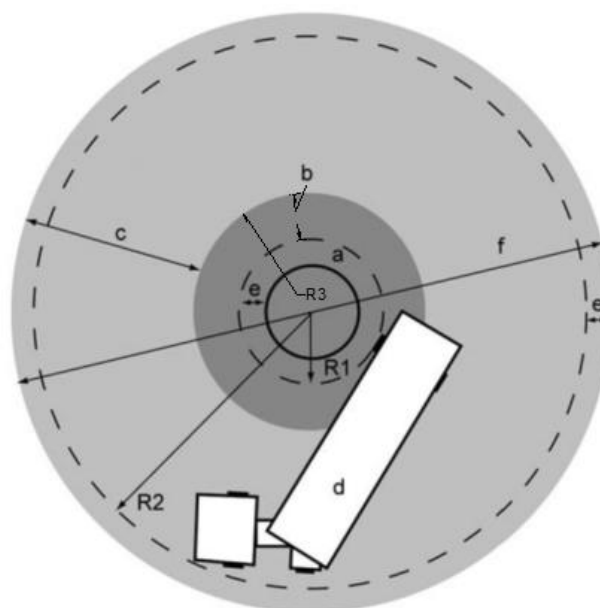
Προφανώς η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου, το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου και η διάμετρος της κεντρικής νησίδας είναι μεγέθη πλήρως αλληλεξαρτώμενα, καθώς ο καθορισμός των τιμών δύο εξ' αυτών σημαίνει και τον καθορισμό του εναπομείναντος (The Highways Agency et al., 2007).

Στους βρετανικούς κανονισμούς λαμβάνεται ως όχημα σχεδιασμού ένα αρθρωτό - ρυμουλκό φορτηγό όχημα με ρυμουλκούμενο φορτίο ενός (οπίσθιου) άξονα με συνολικό μήκος 15.50m, οι απαιτήσεις κίνησης και ελιγμών του οποίου θεωρούνται πως καλύπτουν τις απαιτήσεις και άλλων βαρέων οχημάτων (The Highways Agency et al., 2007).

Προκειμένου τα εισερχόμενα οχήματα να εκτρέπονται επαρκώς σε έναν Συνήθη ή σε ένα μικρό Συμπαγή κυκλικό κόμβο καθίσταται απαραίτητη σε ορισμένες περιπτώσεις, η κατασκευή μίας ελαφρώς υπερυψωμένης κυκλικής ζώνης περιμετρικά της κεντρικής νησίδας, προσπελάσιμης μόνο από τους οπίσθιους τροχούς (του τελευταίου μετατρόχιου άξονα) βαρέων οχημάτων, η οποία είναι αναγκαίο να αποθαρρύνει τους οδηγούς των υπόλοιπων οχημάτων να τη

χρησιμοποιούν, και στην οποία αναφερόμαστε και με τον όρο «ποδιά» (The Highways Agency et al., 2007).

- a : Κύρια κεντρική νησίδα (ορίζεται από την περίμετρο του κύκλου ακτίνας R_1)
- b : Προσπελάσιμη περιμετρική ζώνη (βαρέων οχημάτων)
- c : Πλάτος κυκλικού δακτυλίου (= $1.0 \sim 1.2$ * Μέγιστο πλάτος εισόδου)
- d : Όχημα σχεδιασμού
- e : Μέγιστο περιθώριο 1m
- f : Διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου

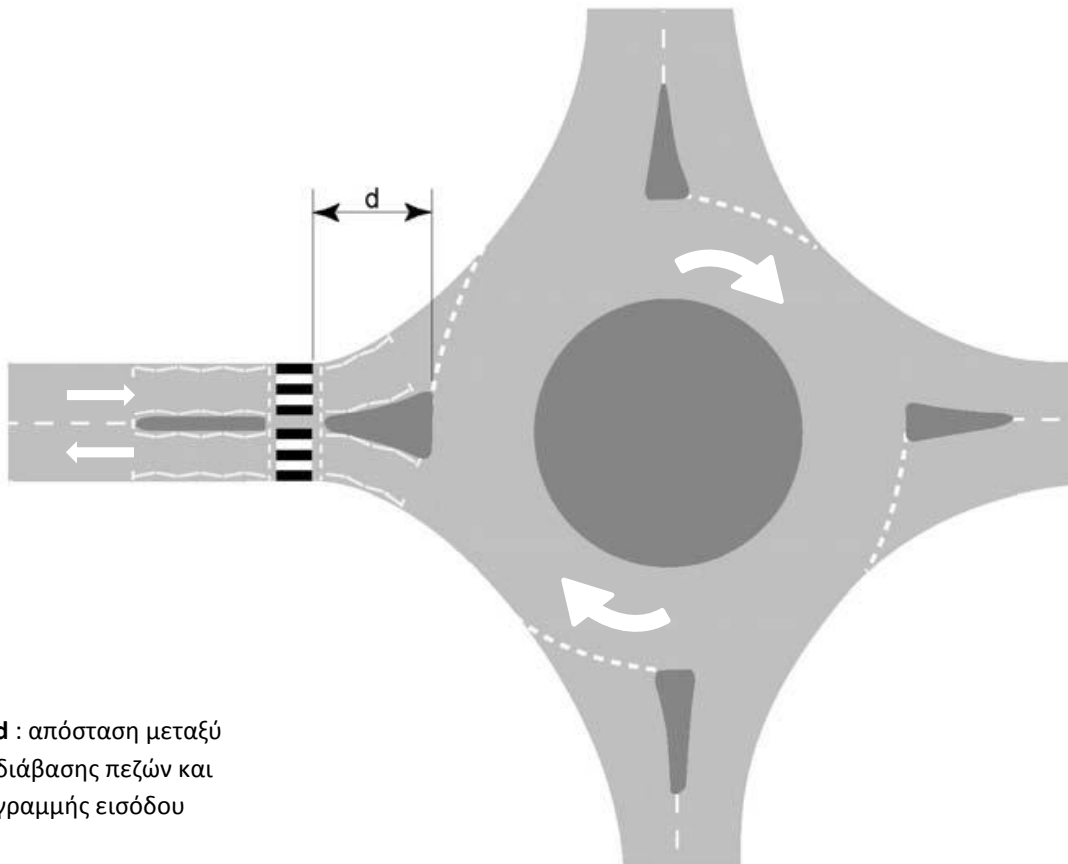


Διάμετρος Κεντρικής Νησίδας ($2R_3$) (m)	Ακτίνα R_1 (m)	Ακτίνα R_2 (m)	Ελάχιστη Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου (m)
4.0	3.0	13.00	28.00
6.0	4.0	13.40	28.80
8.0	5.0	13.90	29.80
10.0	6.0	14.40	30.80
12.0	7.0	15.00	32.00
14.0	8.0	15.60	33.20
16.0	9.0	16.30	34.60
18.0	10.0	17.00	36.00

Σχήμα 3.35. Απαιτούμενες τιμές πλάτους σε συμπαγείς και συνήθεις κυκλικούς κόμβους (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.4. Κατευθυντήριες – Διαχωριστικές Νησίδες

Κατασκευάζονται σε κάθε σκέλος και διαμορφώνονται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να διαχωρίζουν και να διοχετεύουν – καθοδηγούν τις εισερχόμενες και εξερχόμενες κυκλοφοριακές ροές. Συνήθως κατασκευάζονται υπερυψωμένες (π.χ. με σκυρόδεμα), εντός ορίων με διαμόρφωση κρασπέδου, ενώ σε περιπτώσεις με χωρικούς περιορισμούς μπορούν απλά να συνίστανται από αποκλεισμένες επιφάνειες με εγκάρσια ή λοξή διαγράμμιση. Οι νησίδες με κράσπεδο λειτουργούν, όταν προβλέπονται αντίστοιχες διαβάσεις, και ως προστασία των πεζών που διασχίζουν την οδό σε δύο φάσεις, ενώ επιβάλλεται να διατίθεται χώρος επαρκής ώστε να «προστατεύονται» απροβλημάτιστα πεζοί όρθιοι αλλά και άτομα με αναπηρικό αμαξίδιο και οι συνοδοί τους, καθώς και ποδηλάτες, ενώ σε αυτές τις νησίδες τοποθετούνται και οι απαραίτητες ρυθμιστικές πινακίδες (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.36. Διαμόρφωση νησίδων και διαβάσεων πεζών (αν υπάρχουν) (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.5. Είσοδοι Κυκλικών Κόμβων

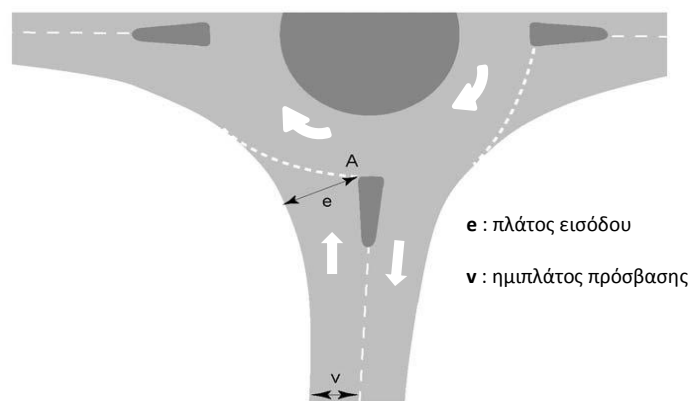
Ο τελικός σχεδιασμός μίας ασφαλούς και επαρκούς σε χωρητικότητα εισόδου είναι συνισταμένη τεσσάρων βασικών παραμέτρων: Ημιπλάτος Πρόσβασης, Πλάτος Εισόδου, Διαπλάτυνση Εισόδου, Γωνία Εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

Ημιπλάτος Πρόσβασης

Πρόκειται για το πλάτος της πρόσβασης που διατίθεται στην εισερχόμενη ροή και δεν περιλαμβάνει επιφάνειες αποκλεισμού, πριν την έναρξη της διαπλάτυνσης της εισόδου. Είναι η ελάχιστη απόσταση από τη διαχωριστική γραμμή των δύο κατευθύνσεων της πρόσβασης ή την παρειά της διαχωριστικής νησίδας, έως την οριογραμμή της οδού (The Highways Agency et al., 2007).

Πλάτος Εισόδου

Στο σχήμα 3.36 παρουσιάζεται το οριζόμενο ως πλάτος εισόδου και είναι το μέγιστο εγκάρσιο μήκος συμπεριλαμβανομένης και της τοπικής διαπλάτυνσης στη διατομή της εισόδου, και το οποίο επηρεάζει καθοριστικά τη χωρητικότητα της εισόδου και τη λειτουργικότητα και εξυπηρετικότητα του κόμβου. Σε έναν Συνήθη κυκλικό κόμβο προστίθενται μία ή δύο (ποτέ περισσότερες) επιπλέον λωρίδες, ενώ σε καμία περίπτωση το πλάτος εισόδου δεν πρέπει να υπερβαίνει το συνολικό πλάτος τεσσάρων λωρίδων (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.37. Ημιπλάτος πρόσβασης και πλάτος εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

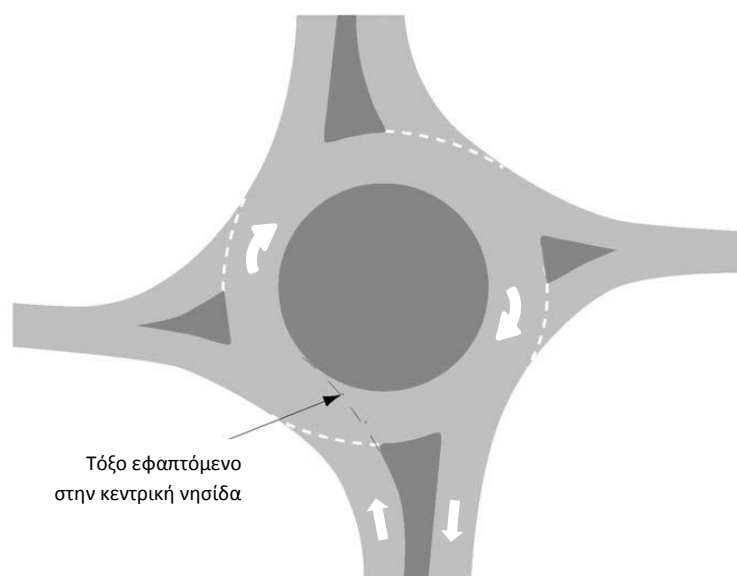
Το πλάτος των λωρίδων εισόδου κυμαίνεται για καθεμία από 3.0m – 4.50m (σε εισόδους πολλών λωρίδων, το πλάτος καθεμίας εξ αυτών είναι προτιμώμενο να περιορίζεται μεταξύ 3.0m και 3.50m, ενώ σε είσοδο μίας λωρίδας καταλληλότερη τιμή πλάτους θεωρείται αυτή των 4.50m) (The Highways Agency et al., 2007).

Όσον αφορά σε Συνήθη κυκλικό κόμβο, σε πρόσβαση μίας κατεύθυνσης, το πλάτος εισόδου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10.50m, ενώ σε πρόσβαση διπλής κατεύθυνσης η αντίστοιχη τιμή είναι 15.0m (The Highways Agency et al., 2007).

Όταν παρέχεται διαπλάτυνση στην είσοδο, η επιπλέον μικρολωρίδα που δημιουργείται πρέπει να διαθέτει ελάχιστο πλάτος 2.50m (The Highways Agency et al., 2007).

Διάταξη – Ευθυγράμμιση Λωρίδων Εισόδου

Πρόκειται για ένα κρίσιμο σημείο του συνολικού σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου. Σε όλους τους κυκλικούς κόμβους (εκτός Συμπαγών κόμβων σε αστική θέση) επιβάλλεται η αριστερή γραμμή της εισόδου – δηλ. ο φορέας του τόξου του ορίου της κατευθυντήριας - διαχωριστικής νησίδας – εφάπτεται στην κεντρική κυκλική νησίδα, αποσκοπώντας παράλληλα στην αποφυγή σύμπτωσης των τροχιών κίνησης οχημάτων (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.38. Διάταξη λωρίδων εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

Ως μέσο ενεργό μήκος διαπλάτυνσης ορίζεται το μέσο μήκος κατά το οποίο η είσοδος διευρύνεται από επαρκώς ($(e+v)/2$) έως πλήρως ($e=AB$). Καθορίζεται ως εξής:

- Κατασκευάζεται η καμπύλη GD παράλληλη στην καμπύλη AH, η οποία συνίσταται από τη διαχωριστική γραμμή των δύο κατευθύνσεων της πρόσβασης και από το τόξο του ορίου της διαχωριστικής – διοχετευτικής νησίδας, και η οποία απέχει από τη GD απόσταση ίση με το ημιπλάτος της πρόσβασης.
- Κατασκευάζεται η καμπύλη CF' παράλληλη στην καμπύλη BG, η οποία απέχει από αυτή απόσταση ίση με το μισό του ευθύγραμμου τμήματος BD. F' είναι το σημείο τομής της CF' με την DG.
- Το μήκος της καμπύλης CF' είναι και το μέσο ενεργό μήκος διαπλάτυνσης I'.

(The Highways Agency et al., 2007)

Το συνολικό μήκος της εξωτερικής οριογραμμής από το σημείο έναρξης της διαπλάτυνσης έως τη διατομή εισόδου είναι περίπου διπλάσιο του μέσου ενεργού μήκους διαπλάτυνσης, δηλ. $BG = 2I'$.

Καθίσταται σαφές πως η **αύξηση της χωρητικότητας της εισόδου επιτυγχάνεται με αύξηση του μέσου ενεργού μήκους διαπλάτυνσης**. Σε αστικά σημεία, μία **ελάχιστη τιμή** αυτού του μήκους της τάξης των **5m** είναι επιθυμητή, ενώ σε υπεραστικά σημεία η αντίστοιχη ελάχιστη τιμή είναι **25m** (The Highways Agency et al., 2007).

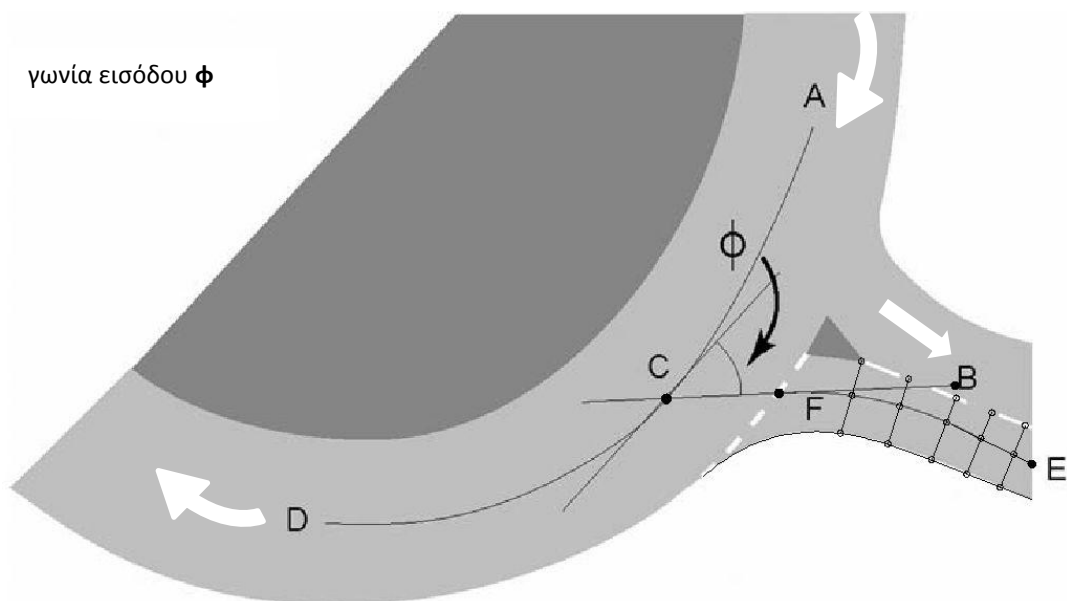
Η οξύτητα της διαπλάτυνσης δίνεται από τη σχέση $S = 1.6 (e-v)/I'$ και αποτελεί ένα ενδεικτικό μέτρο του επιπλέον πλάτους στην είσοδο. Πρέπει να ισχύει $0 \leq S \leq 1$, καθώς για τιμές μικρότερες του μηδέν παρατηρείται βαθμιαία διαπλάτυνση ενώ για τιμές μεγαλύτερες της μονάδας παρατηρείται οξεία διαπλάτυνση. Μακριές βαθμιαίες διαπλάτυνσεις θεωρούνται πιο αποδοτικές, αλλά σύντομες και οξείες διαπλάτυνσεις είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν και είναι πιο οικονομικές από άποψη χρήσης γης (The Highways Agency et al., 2007).

Γωνία Εισόδου

Η γωνία εισόδου ϕ είναι μία γεωμετρική παράμετρος, η οποία επηρεάζει αποκλειστικά τη γωνία εμπλοκής μεταξύ της εισερχόμενης ροής και της ροής που κυκλοφορεί στην κυκλική οδό.

Ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του κυκλικού κόμβου:

- Σε ένα μεγάλο μεγέθους κυκλικό κόμβο στον οποίο τα σκέλη είναι σαφώς διαχωρισμένα, η γωνία εισόδου προσδιορίζεται ως εξής:



Σχήμα 3.40. Ορισμός Γωνίας Εισόδου σε ένα μεγάλο μεγέθους κυκλικό κόμβο (The Highways Agency et al., 2007).

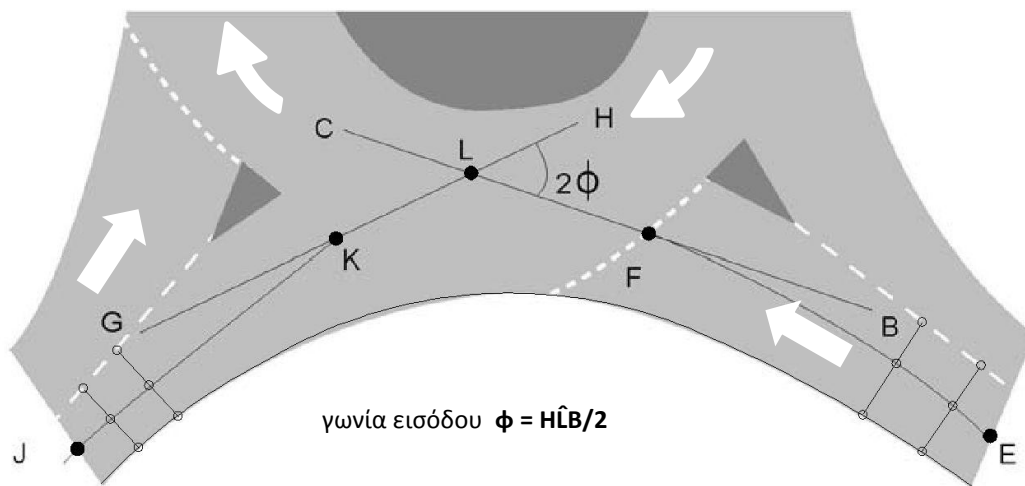
1. Κατασκευάζεται η καμπύλη EF ως ο γεωμετρικός τόπος των μέσων κάθε διατομής, δηλ. των μέσων των αποστάσεων της εξωτερικής οριογραμμής και της διαχωριστικής γραμμής των δύο κατευθύνσεων (ή της εσωτερικής παρειάς της διαχωριστικής νησίδας, αν υπάρχει) σε κάθε διατομή.
2. Κατασκευάζεται η ευθεία BC ως η εφαπτομένη στην EF στο σημείο F (στο οποίο η EF τέμνει τη γραμμή εισόδου).
3. Κατασκευάζεται η AD ως η μεσοπαράλληλος των δυο οριογραμμών του κυκλικού δακτυλίου (η οποία

αντιπροσωπεύει τον άξονα της τροχιά της ροής που κινείται στον κυκλικό δακτύλιο).

4. Η γωνία εισόδου ϕ ορίζεται ως η οξεία γωνία μεταξύ της ευθείας BC και της εφαπτομένης ευθείας στην AD στο σημείο τομής της με τη BC.

(The Highways Agency et al., 2007)

- Σε ένα μικρού μεγέθους συνήθη ή συμπαγή κυκλικό κόμβο, στον οποίο μάλιστα τα σκέλη είναι ανεπαρκώς ή ασαφώς διαχωρισμένα, η γωνία εισόδου προσδιορίζεται ως εξής:



Σχήμα 3.41. Ορισμός Γωνίας Εισόδου σε ένα μικρού μεγέθους κυκλικό κόμβο (The Highways Agency et al., 2007).

1. Κατασκευάζεται η EF ως ο γεωμετρικός τόπος των μέσων των διατομών της κατεύθυνσης εισόδου, και η εφαπτομένη της στο σημείο F, BC, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.
 2. Κατασκευάζεται επίσης στην επόμενη έξοδο αντίστοιχα η JK και η εφαπτομένη της στο σημείο K (όπου K το σημείο τομής της JK με τον εγγεγραμμένο κύκλο), GH.
 3. Η γωνία εισόδου ϕ ορίζεται ως το μισό της γωνίας \widehat{HLB} .
*Επισημαίνεται πως αν η γωνία $\widehat{GLB} > 180^\circ$, τότε τίθεται $\phi = 0$.
- (The Highways Agency et al., 2007)

Εάν δεν είναι διακριτό ποια από τις δύο μεθόδους είναι καταλληλότερη να χρησιμοποιηθεί, κατασκευάζονται οι καμπύλες – φορείς των τροχιών κίνησης των οχημάτων στην είσοδο, στον κυκλικό

δακτύλιο και στην επόμενη έξοδο (δηλ. οι γεωμετρικοί τόποι των μέσων των διαδοχικών διατομών). Αν το σημείο τομής των εφαπτόμενων ευθειών των καμπύλων εισόδου και εξόδου στα σημεία τομής τους με τον εγγεγραμμένο κύκλο είναι σε απόσταση μικρότερη από το κέντρο του κόμβου σε σχέση με την αντίστοιχη απόσταση της μεσοπαραλλήλου, τότε επιλέγεται η πρώτη μέθοδος, ενώ αν δεν είναι σε αυτή τη ζώνη επιλέγεται η δεύτερη (The Highways Agency et al., 2007).

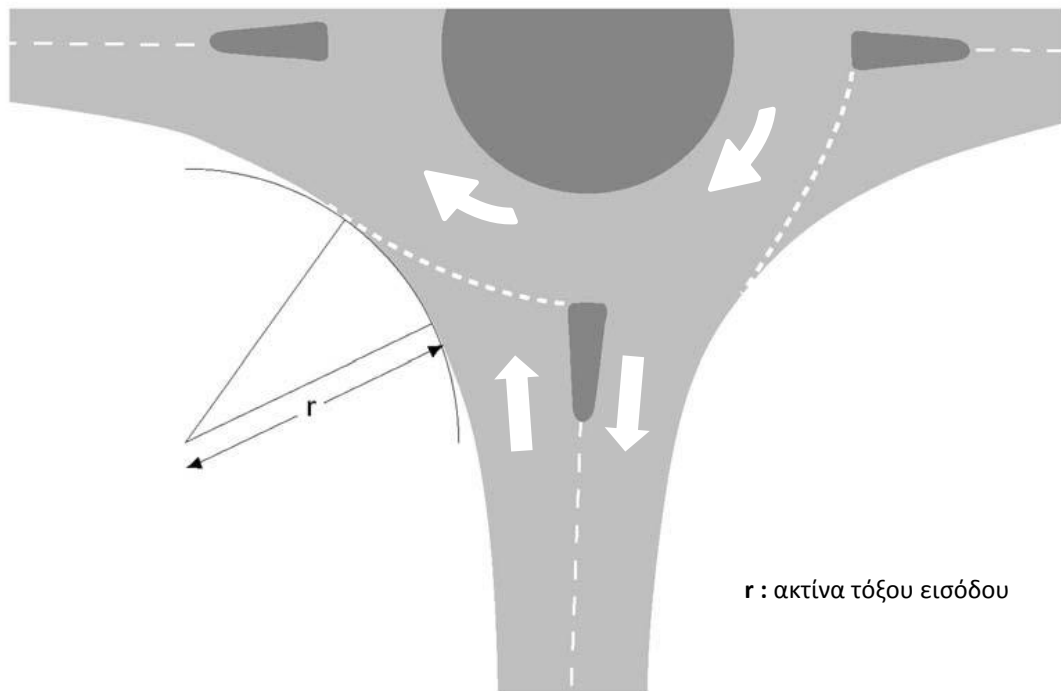
Γενικά, η γωνία εισόδου κυμαίνεται από 20° έως 60°. Μικρές γωνίες εισόδου αναγκάζουν τους οδηγούς να κοιτάζουν πάνω από τον ώμο τους ή να χρησιμοποιούν τους καθρέφτες τους προκειμένου κατά τη συμβολή με τη ροή της κυκλικής οδού να εισέλθουν με ασφάλεια σε αυτή. Αντίστοιχα, μεγάλες γωνίες εισόδου τείνουν να υποβαθμίζουν τη χωρητικότητα και να εκτρέπουν σε υπερβολικό βαθμό τα εισερχόμενα οχήματα υποχρεώνοντάς τα σε βίαιη επιβράδυνση και υπερβολική χρήση του συστήματος πέδησης τους, ιδιαίτερα όταν οι λειτουργικές ταχύτητες είναι υψηλές, ενώ ενισχύονται οι πιθανότητες οδικών ατυχημάτων (The Highways Agency et al., 2007).

Ακτίνα Τόξου Εισόδου

Πρόκειται για την ελάχιστη ακτίνα της εξωτερικής οριογραμμής για μήκος από 25m πριν από τη γραμμή εισόδου έως και 10m μετά από αυτή. Είναι η ακτίνα του τόξου εκείνου που αρμόζει καλύτερα για μήκος μεγαλύτερο των 25m (The Highways Agency et al., 2007).

Η ακτίνα του τόξου εισόδου (βλ. σχ. 3.42) δεν πρέπει να λαμβάνει τιμές μικρότερες των **10m (ελάχιστη)**. Εξαιρεση αποτελεί η περίπτωση συμπαγούς κυκλικού κόμβου με προσβάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνά από βαρέα οχήματα, οπότε και η **προτεινόμενη ελάχιστη ακτίνα είναι 20m**. Ωστόσο, ακτίνες της τάξης των 100m ή μεγαλύτερες τείνουν να παρέχουν ανεπαρκή εκτροπή στην είσοδο (The Highways Agency et al., 2007).

Η χωρητικότητα της εισόδου αυξάνεται με την αύξηση της ακτίνας του τόξου εισόδου, όμως αύξηση πέραν της τιμής των 20m οδηγεί σε πολύ μικρή σχετική αύξηση της χωρητικότητας, ενώ μείωση της ακτίνας κάτω των 15m συνεπάγεται και μείωση της χωρητικότητας (The Highways Agency et al., 2007).



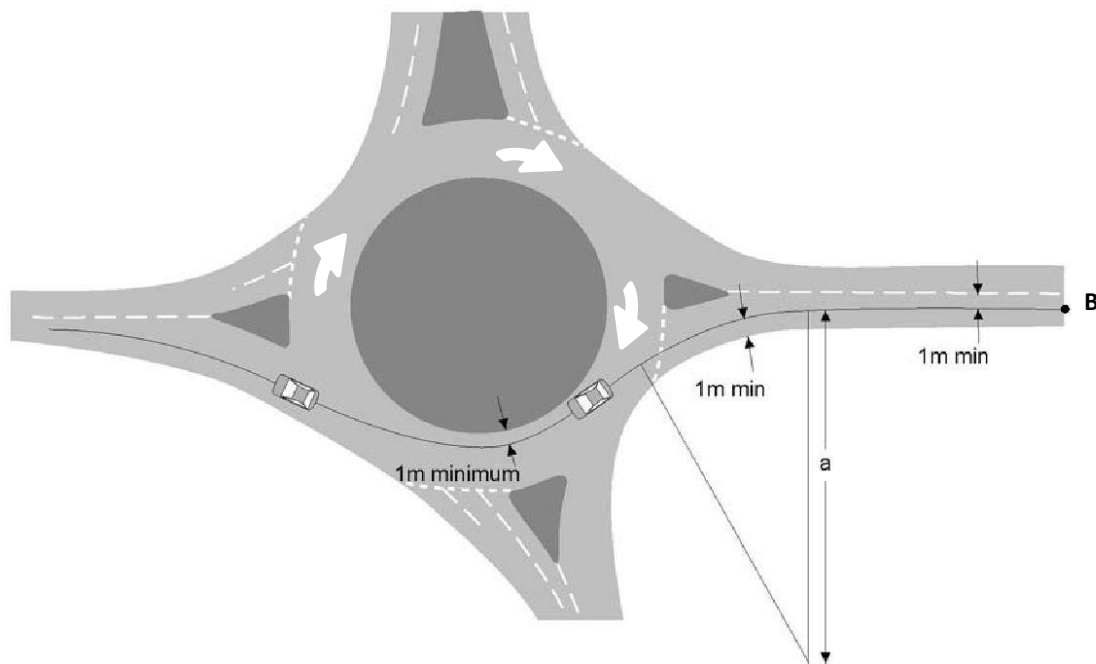
Σχήμα 3.42. Ακτίνα τόξου εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

Ακτίνα Τροχιάς Εισόδου

Η ακτίνα τροχιάς εισόδου είναι η κύρια παράμετρος καθορισμού του βαθμού εκτροπής των εισερχόμενων οχημάτων προς τα δεξιά. Ο λόγος που αυτή η παράμετρος καθίσταται τόσο σημαντική είναι η επιρροή της στη λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων στον κόμβο (The Highways Agency et al., 2007).

Προκειμένου να καθορισθεί η ακτίνα τροχιάς της εισόδου, σχεδιάζεται η ταχύτερη διαδρομή που είναι εφικτή λόγω γεωμετρίας, δηλαδή η ομαλότερη διαδρομή που ακολουθεί ένα όχημα το οποίο εισέρχεται στην κυκλικό δακτύλιο, τον διατρέχει και εξέρχεται, απουσία κυκλοφορίας άλλων οχημάτων (The Highways Agency et al., 2007).

Υποτίθεται ότι η διαδρομή διαθέτει πλάτος 2m, τέτοιο ώστε το όχημα που την ακολουθεί απέχει κατ' ελάχιστο 1m από την αριστερή οριογραμμή και τη διαχωριστική γραμμή (ή την παρειά της νησίδας). Το σημείο αρχής βρίσκεται σε απόσταση 50m από τη γραμμή εισόδου/ παραχώρησης προτεραιότητας (The Highways Agency et al., 2007).



a : ακτίνα τροχιάς εισόδου (πρέπει να μετράται στο σκέλος με το μικρότερης ακτίνας τόξο εισόδου)

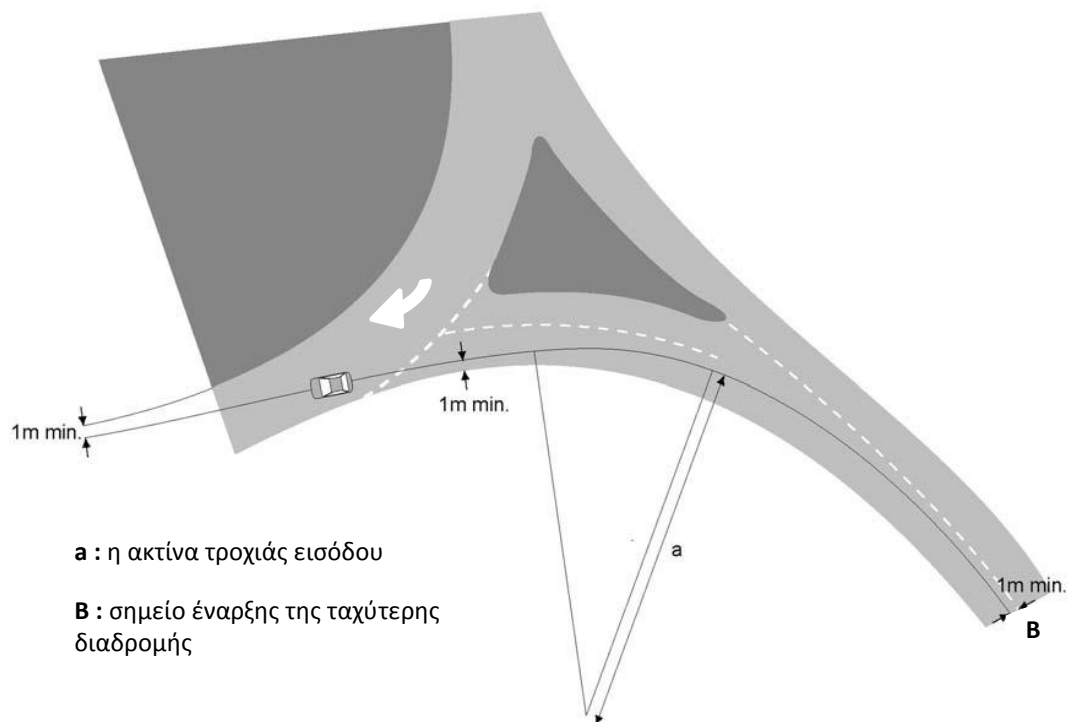
B : σημείο έναρξης σε απόσταση 50m από τη γραμμή εισόδου και 1m από τη δεξιά οριογραμμή

Σχήμα 3.43. Καθορισμός της ακτίνας της τροχιάς εισόδου σε τετρασκελή κόμβο (The Highways Agency et al., 2007).

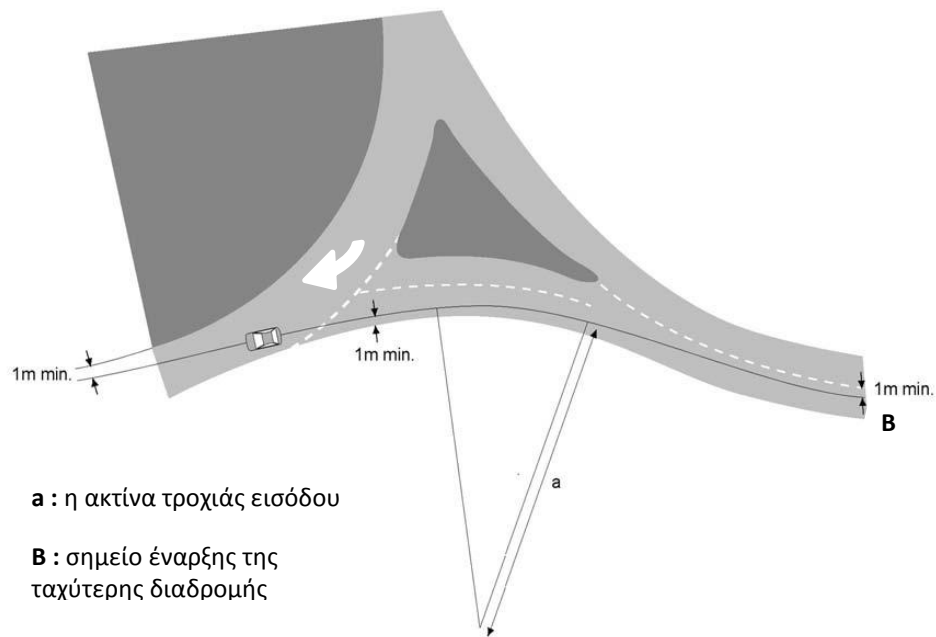
Η ακτίνα τροχιάς εισόδου επιβάλλεται να ελέγχεται για όλες τις δυνατές κινήσεις ενός εισερχόμενου στον κόμβο οχήματος, δηλαδή κατευθείαν και στρέφουσες δεξιά και αριστερά. **Δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 70m σε Συμπαγείς κυκλικούς κόμβους εντός αστικού ιστού** (όπου το όριο ταχύτητας και η ταχύτητα σχεδιασμού δεν υπερβαίνουν τα 65km/h), **ενώ στους υπόλοιπους κυκλικούς κόμβους η αντίστοιχη μέγιστη προτεινόμενη ακτίνα είναι 100m** (The Highways Agency et al., 2007).

Σε αστικές περιοχές, όπου χωρικοί περιορισμοί σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις στρεφουσών κινήσεων οδηγούν σε λύσεις Συνήθων ή

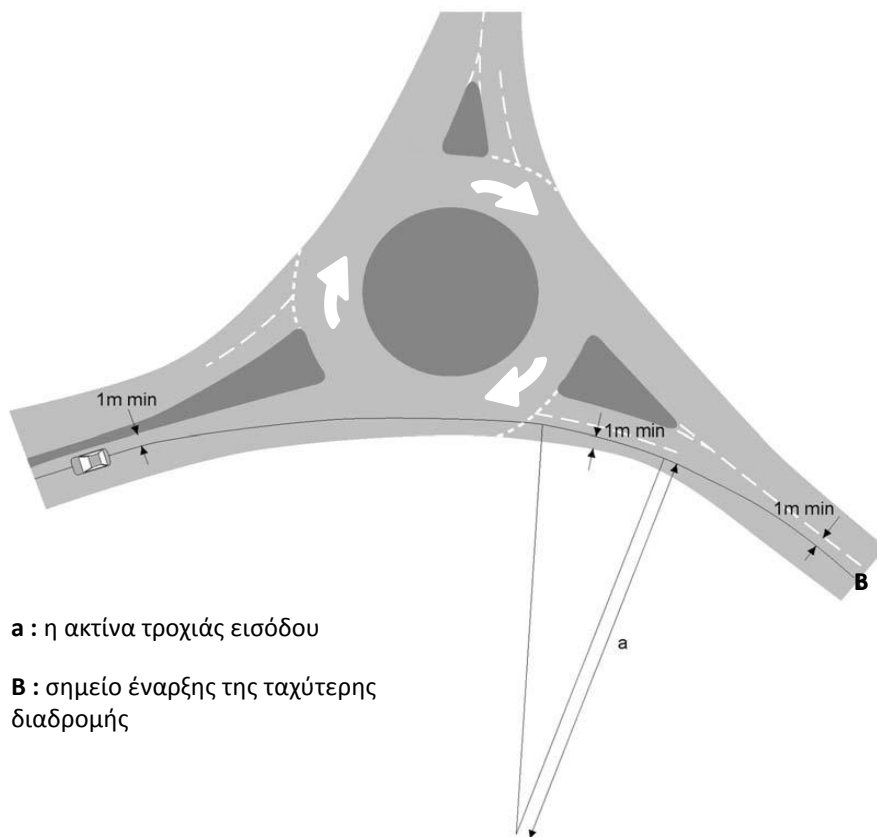
Συμπαγών κυκλικών κόμβων, οι οποίοι είναι ανέφικτο να παρέχουν επαρκή εκτροπή, αυτή αυξάνεται είτε με μεγέθυνση της διαχωριστικής – διοχετευτικής νησίδας, είτε με την κατασκευή προσπελάσιμης για βαρέα οχήματα περιμετρικής ζώνης στην κυκλική κεντρική νησίδα. Η ζώνη αυτή, ούσα απροσπέλαστη για τα Ι.Χ. οχήματα, τα υποχρεώνει σε μεγαλύτερου βαθμού εκτροπής κίνηση (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.44. Καθορισμός της ακτίνας της τροχιάς εισόδου σε πρόσβαση το σκέλος της οποίας καμπυλώνει προς τα αριστερά (στρέφει τα κοίλα προς τα αριστερά) (The Highways Agency et al., 2007).

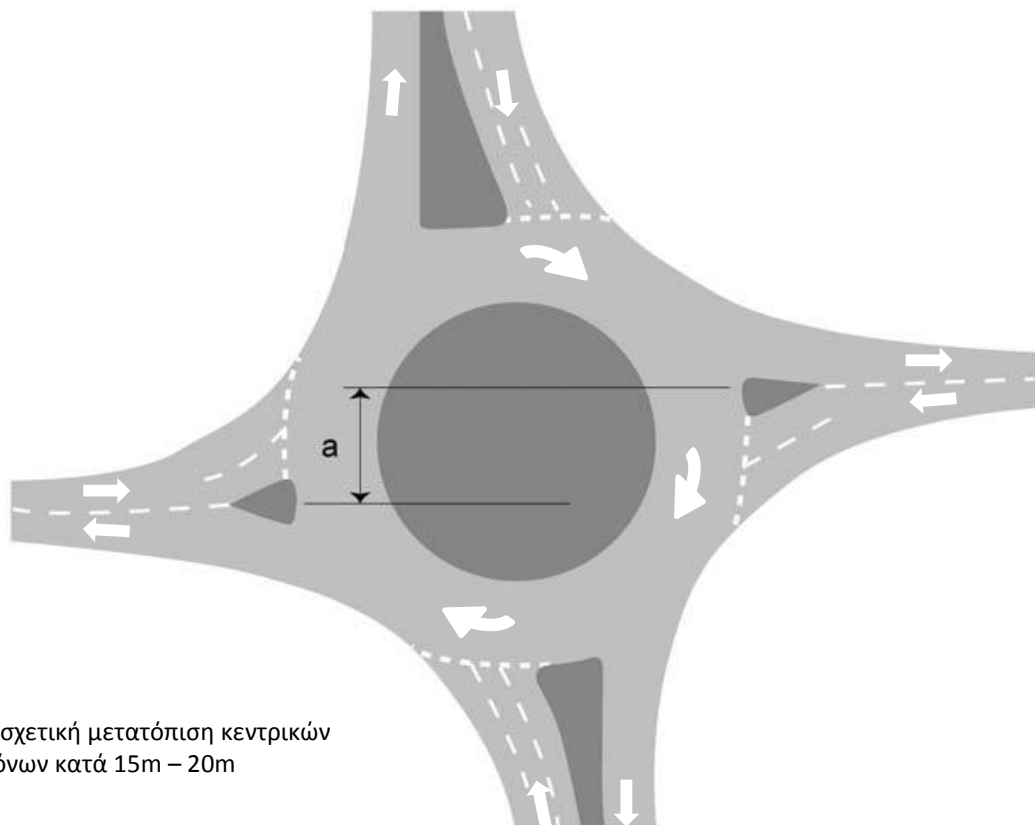


Σχήμα 3.45. Καθορισμός της ακτίνας της τροχιάς εισόδου σε πρόσβαση το σκέλος της οποίας καμπυλώνει προς τα δεξιά (στρέφει τα κοίλα προς τα δεξιά) (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.46. Καθορισμός της ακτίνας της τροχιάς εισόδου για δεξιά στροφή σε τρισκελή κυκλικό κόμβο μορφής Y (The Highways Agency et al., 2007).

Μια μέθοδος δημιουργίας εκτροπής στην είσοδο ενός Συνήθους κυκλικού κόμβου είναι η κλιμάκωση αντιδιαμετρικών σκελών του κόμβου, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 3.47, μειώνοντας τοιουτοτρόπως το συνολικό μέγεθος του κόμβου και την προς απαλλοτρίωση εδαφική επιφάνεια, ενώ παρέχεται μία πιο καταληπτή και σαφής διαδρομή εξόδου με επαρκές πλάτος ώστε να αποφεύγονται οι οποιεσδήποτε εμπλοκές οχημάτων (The Highways Agency et al., 2007).



a : σχετική μετατόπιση κεντρικών αξόνων κατά 15m – 20m

Σχήμα 3.47. Αύξηση της εκτροπής εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.6. Έξοδοι Κυκλικών Κόμβων

Πλάτος Εξόδου

Πρόκειται για το διατιθέμενο πλάτος οδοστρώματος στη διατομή εξόδου (βλ. σχ. 3.48) και μετράται με τρόπο αντίστοιχο όπως και το πλάτος εισόδου, ως η απόσταση από την εξωτερική οριογραμμή έως την παρειά της νησίδας. Οι τιμές είναι παραπλήσιες αυτών του πλάτους εισόδου και ελαφρώς μικρότερες, καθώς δεν υφίσταται τόσο μεγάλης κλίμακας διαπλάτυνση. Με εξαίρεση τους Συμπαγείς κόμβους, οι έξοδοι, όπου καθίσταται δυνατό, διαθέτουν μία επιπλέον λωρίδα (The Highways Agency et al., 2007).

Επί παραδείγματι, σε έναν Συνήθη κυκλικό κόμβο, αν σε ένα σκέλος η οδός παρέχει μία λωρίδα κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση, το πλάτος εξόδου είναι περίπου 7.0m – 7.50m και απομειώνεται σταδιακά έως τα 6.0m (ελάχιστη τιμή, ώστε να είναι εφικτή η προσπέραση ενός ακινητοποιημένου στην άκρη της οδού οχήματος σε έκτακτη ανάγκη), ενώ αν η πρόσβαση παρέχει δύο λωρίδες κυκλοφορίας σε κάθε κατεύθυνση, το πλάτος εξόδου κυμαίνεται τότε μεταξύ 10m και 11m και σταδιακά απομειώνεται έως το πλάτος των δύο λωρίδων. Η απομείωση πραγματοποιείται με λόγο 1:15 έως 1:20 (The Highways Agency et al., 2007).

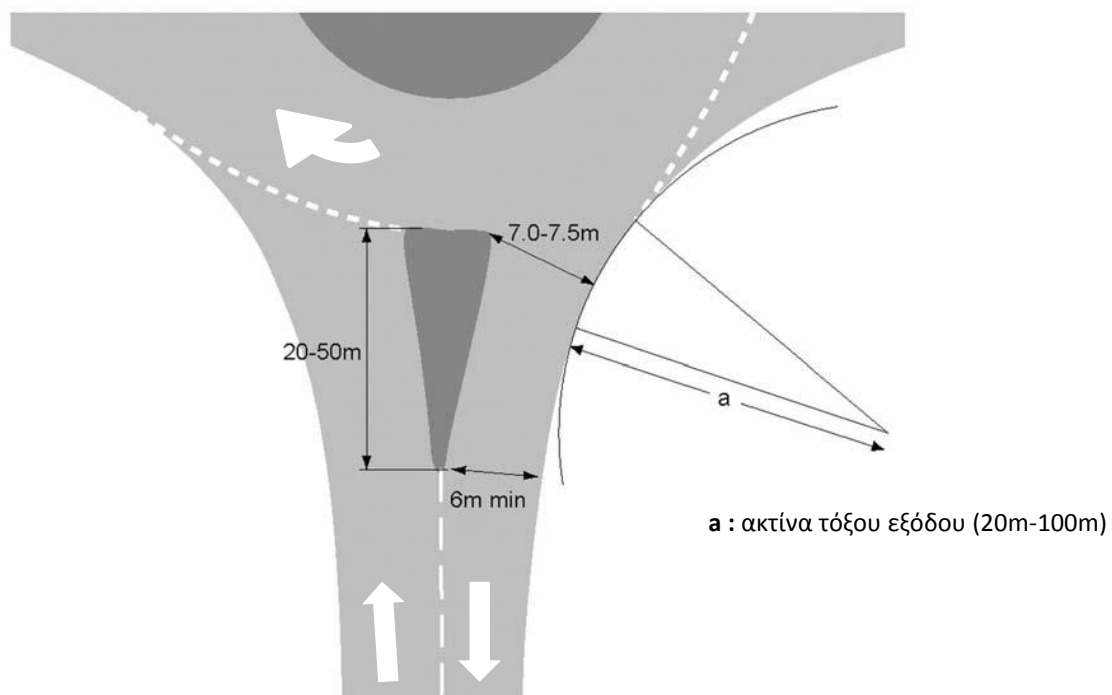
Αντίστοιχα, σε έναν Συμπαγή κυκλικό κόμβο το πλάτος εξόδου είναι όμοιο με αυτό στην είσοδο (The Highways Agency et al., 2007).

Ακτίνα Τόξου Εξόδου

Πρόκειται για την ακτίνα, την αντίστοιχη του τόξου εισόδου, στην έξοδο, η τιμή της οποίας (βλ. σχ. 3.48) επιβάλλεται να υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή της ακτίνας εισόδου (εξαιρούνται οι Συμπαγείς κόμβοι, στους οποίους οι δύο τιμές εξισώνονται) (The Highways Agency et al., 2007).

Σε ένα Συμπαγή κυκλικό κόμβο η ακτίνα του τόξου εξόδου κυμαίνεται από 15m – 20m (The Highways Agency et al., 2007).

Στους υπόλοιπους κόμβους η ακτίνα του τόξου εξόδου κυμαίνεται στο φάσμα 20m – 100m. Προτιμάται μία ακτίνα της τάξης των 40m, όμως σε μεγαλύτερου μεγέθους κυκλικούς κόμβους στη συμβολή κύριων οδών υψηλών ταχυτήτων μία μεγαλύτερη ακτίνα ίσως να καθίσταται ιδανικότερη. Συνήθως, πιο δόκιμη θεωρείται μία λύση σύνθετης (πολύτοξης) καμπύλης με ακτίνα σταδιακά αυξανόμενη από τα 40m έως τα 100m. Μεγαλύτερες των 100m ακτίνες αποφεύγονται καθώς συνεπάγονται αρκετά υψηλότερες ταχύτητας προς κίνδυνο πεζών ποδηλατών και άλλων χρηστών (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.48. Ακτίνα τόξου εξόδου σε Κανονικό Κυκλικό Κόμβο (The Highways Agency et al., 2007).

Είναι απαραίτητος ο έλεγχος της εξόδου ώστε τα οχήματα να μην καθοδηγούνται προς την κατευθυντήρια – διαχωριστική νησίδα. Προτιμάται ο φορέας της παρειάς της νησίδας να «τελειώνει» ως εφαιπτόμενη καμπύλη στη διαχωριστική γραμμή, ενώ το μήκος της

νησίδα πρέπει να είναι επαρκώς μεγάλο ώστε να αποτρέπεται ένα εξερχόμενο όχημα από το να παρεκκλίνει προς την αντίθετης κατεύθυνσης ροή (The Highways Agency et al., 2007).

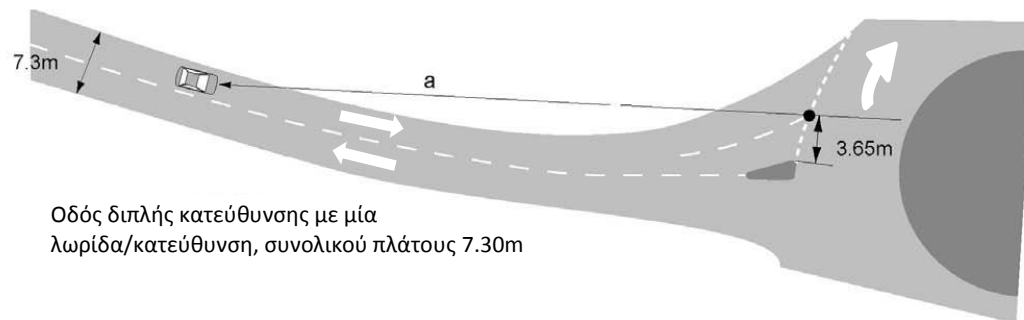
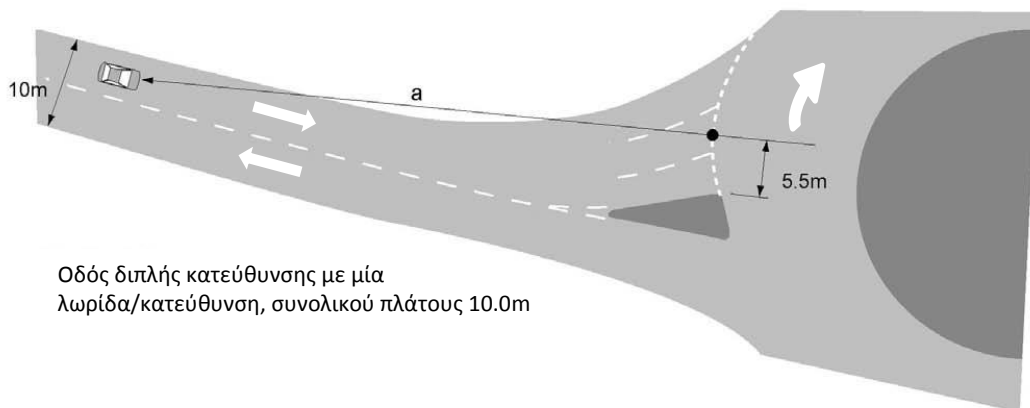
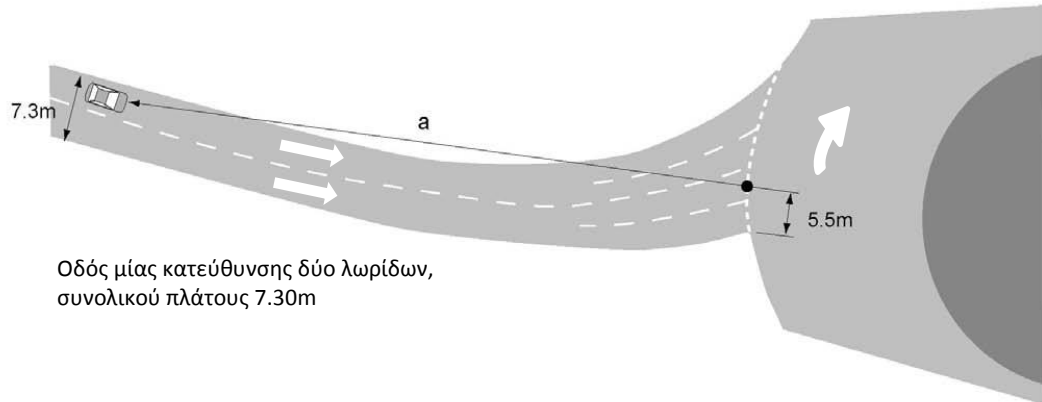
3.3.7. Άλλες Σημαντικές Παράμετροι Σχεδιασμού

3.3.7.1. Ορατότητα

Γενικά, είναι αναγκαίο οποιοδήποτε εμπόδιο με ύψος 0.26m έως και 2.0m να γίνεται έγκαιρα αντιληπτό από τον οδηγό ενός οχήματος, θεωρώντας ύψος οφθαλμού της τάξης του 1.05m έως και 2.0m, ώστε ο τελευταίος να διαθέτει τον απαραίτητο χρόνο απόφασης και αντίδρασης (The Highways Agency et al., 2007).

Ορατότητα Προσέγγισης (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση – SSD (Stopping Sight Distance))

Πρόκειται για την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση (για δεδομένη ταχύτητα σχεδιασμού της οδού) ενός αντικειμένου (εμποδίου) στη γραμμή εισόδου και του οδηγού που προσεγγίζει τον κυκλικό κόμβο, ώστε ο οδηγός να αντιληφθεί την ύπαρξη του εμποδίου, να αποφασίσει και να αντιδράσει ακινητοποιώντας το όχημά του έγκαιρα προ του εμποδίου αυτού προς την ασφάλεια τόσο του ιδίου όσο και των υπόλοιπων χρηστών της οδού (βλ. σχ. 3.49). Επισημαίνεται πως το αναφερόμενο ως εμπόδιο, δύναται να είναι πινακίδα που πληροφορεί για παραχώρηση προτεραιότητας κ.λπ. (The Highways Agency et al., 2007).

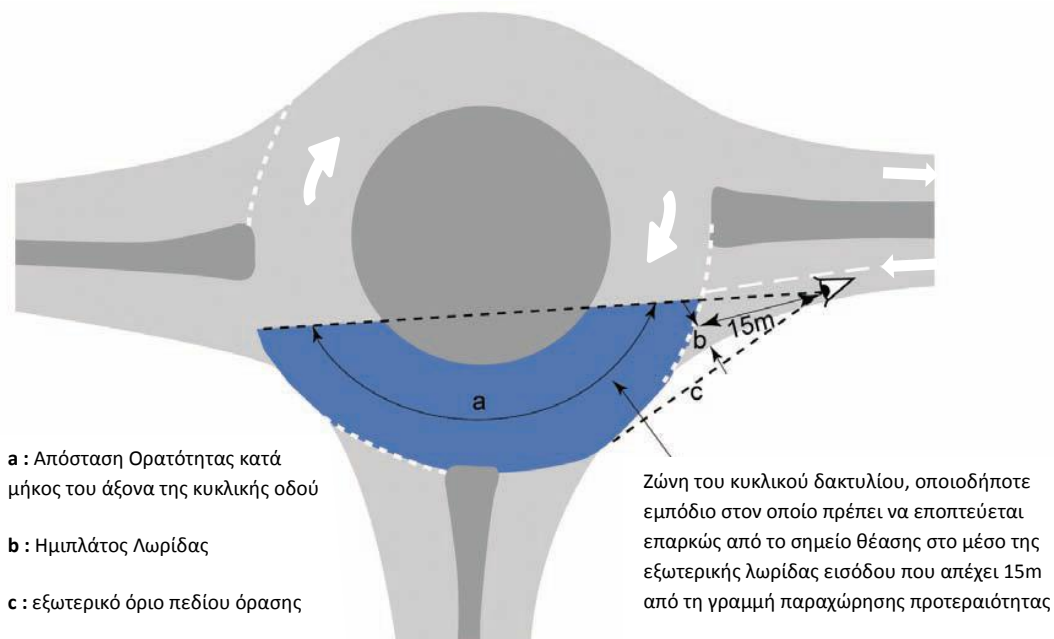


a : επιθυμητό ελάχιστο μήκος ορατότητας για ακινητοποίηση του οχήματος

Σχήμα 3.49. Μήκος ορατότητας για στάση (SSD) σε καμπύλη πρόσβαση (The Highways Agency et al., 2007).

Ορατότητα Εισόδου (Ορατότητα προς τα αριστερά)

Οι οδηγοί όλων των οχημάτων που προσεγγίζουν τη γραμμή εισόδου (παραχώρησης προτεραιότητας), πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται αντικείμενα ύψους 0.26m – 2.0m, τα οποία βρίσκονται σε οποιοδήποτε σημείο μιας διατομής της κυκλικής οδού για μήκος όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 3.50 και το οποίο λαμβάνει τιμές του πίνακα 3.7 ανάλογα και με τη διάμετρο του εγγεγραμμένου κύκλου. Η απόσταση πρέπει να μετράται από το μέσο της δεξιότερης λωρίδας εισόδου από σημείο που απέχει κατ' ελάχιστο 15m από τη γραμμή εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.50. Απαιτούμενη ορατότητα κατά την είσοδο (προς τα αριστερά) (The Highways Agency et al., 2007).

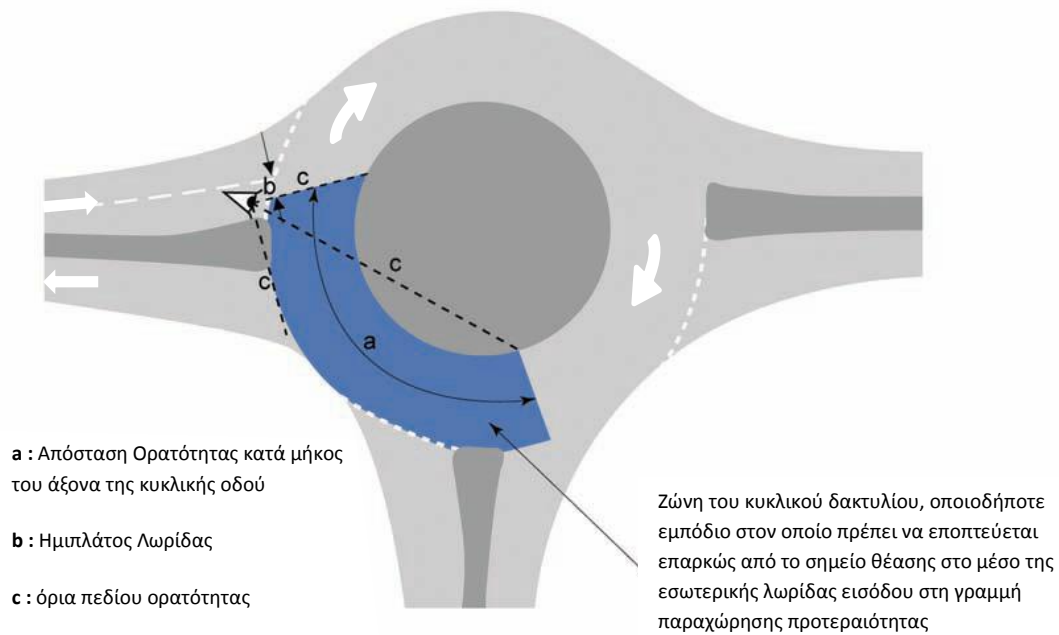
Πίνακας 3.7. Απόσταση ορατότητας κατά την είσοδο οχήματος στην κυκλική οδό
(The Highways Agency et al., 2007).

Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου (m)	Απόσταση Ορατότητας κατά μήκος του άξονα της κυκλικής οδού (m)
<40	Καθ' όλο το μήκος της κυκλικής οδού
40 – 60	40
60 – 100	50
>100	70

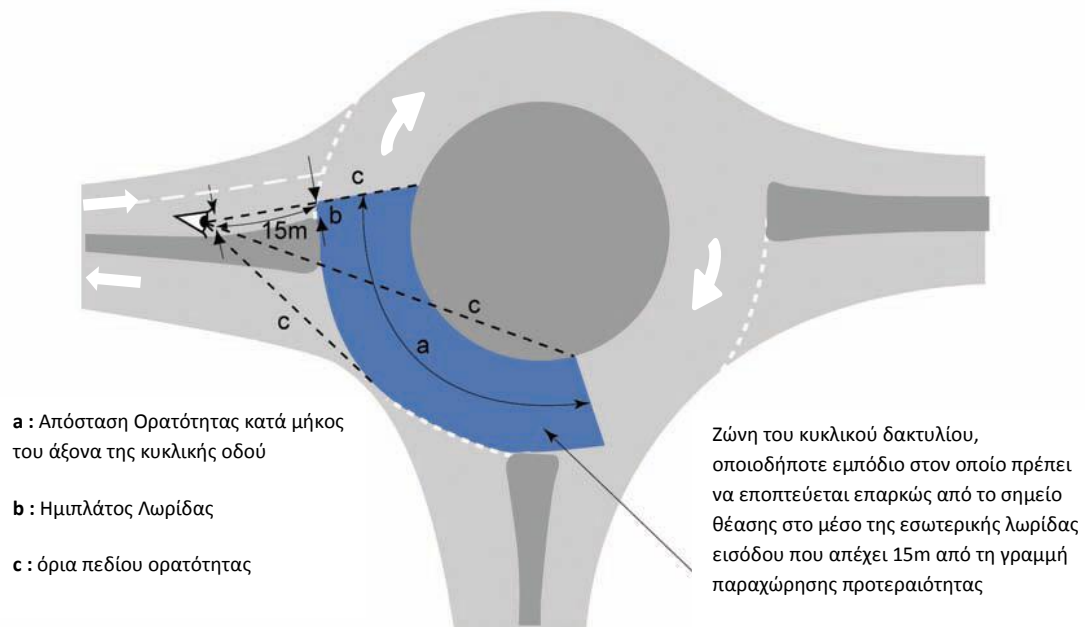
Εποπτεία Κυκλοφορίας (Ορατότητα προς τα δεξιά)

Οι οδηγοί όλων των οχημάτων που προσεγγίζουν τη γραμμή εισόδου (βλ. σχ. 3.51), επιβάλλεται να δύνανται να εποπτεύουν όλο το πλάτος της κυκλικής οδού στα δεξιά τους, από το μέσο της εσωτερικής λωρίδας εισόδου και για μήκος όπως αυτό προσδιορίζεται με τη βοήθεια του πίνακα 3.7 (κατά μήκος του άξονα του κυκλικού δακτυλίου). Η ορατότητα πρέπει επίσης να ελέγχεται και για θέση που απέχει 15m από τη γραμμή εισόδου στο μέσο της εσωτερικής λωρίδας (βλ. σχ. 3.51) (The Highways Agency et al., 2007).

Η ζώνη ορατότητας ορίζεται για ύψος οφθαλμού του οδηγού 1.05m – 2.0m και για ύψος εμποδίου 1.05m – 2.0m (The Highways Agency et al., 2007).



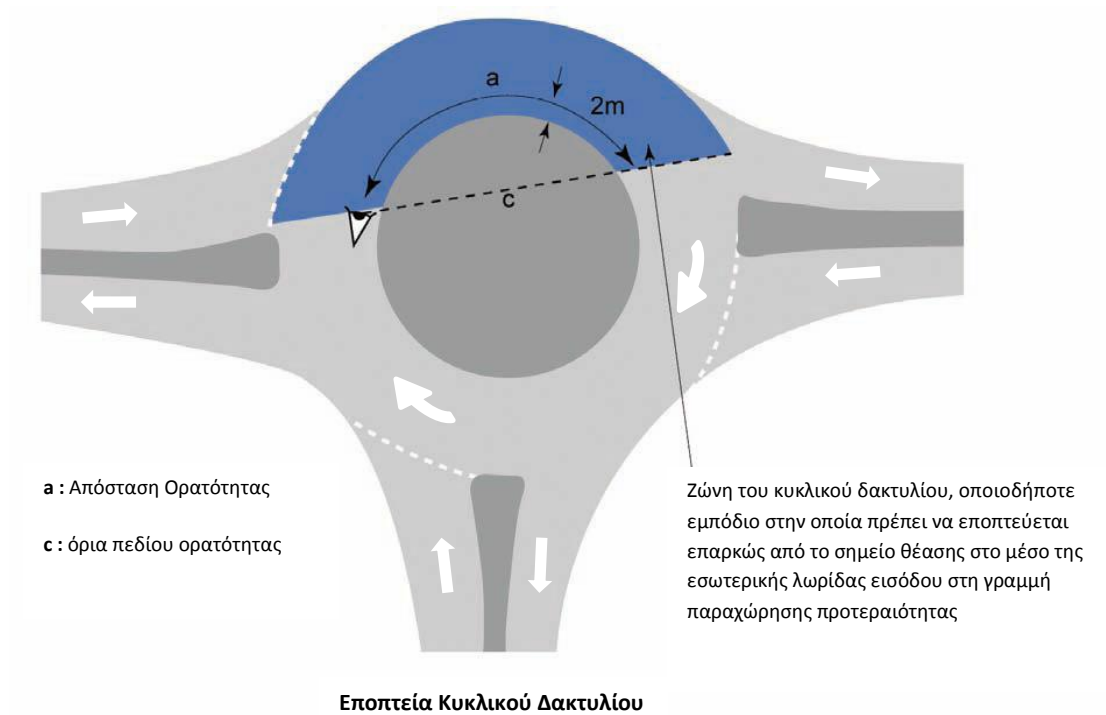
Σχήμα 3.51. Απαιτούμενη ορατότητα κατά την είσοδο (προς τα δεξιά) (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.52. Απαιτούμενη ορατότητα κατά την είσοδο (προς τα δεξιά) από απόσταση 15m από τη γραμμή εισόδου (The Highways Agency et al., 2007).

Εποπτεία Κυκλικού Δακτυλίου

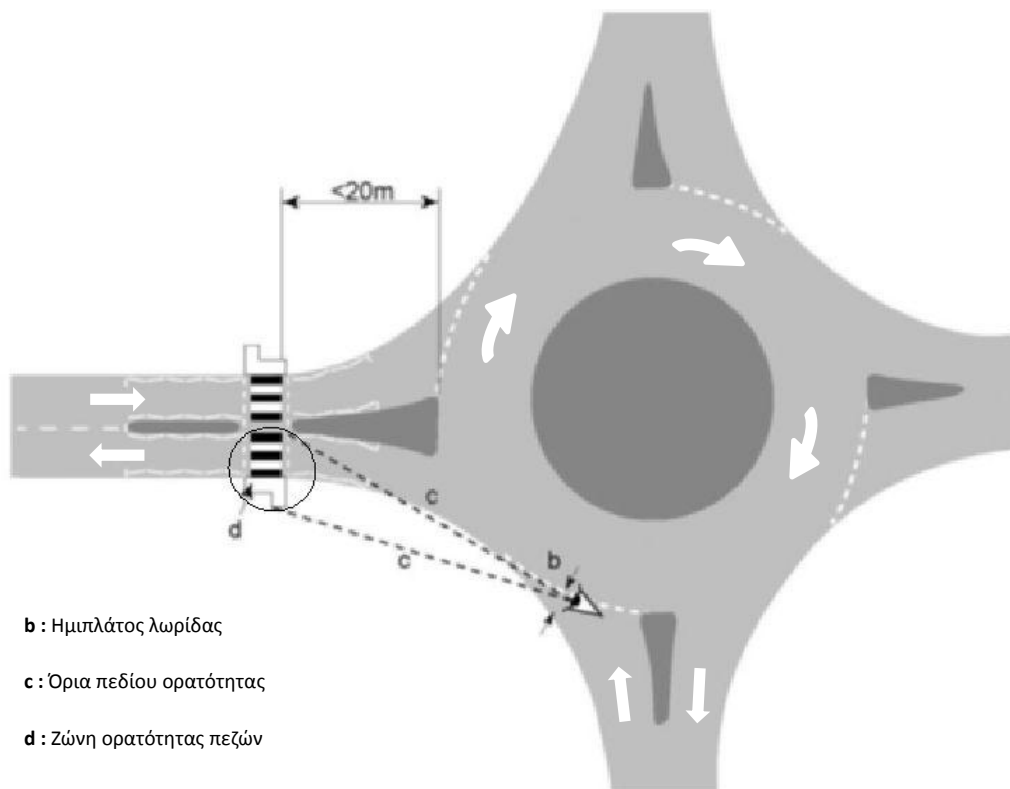
Οι οδηγοί των οχημάτων των ευρισκομένων στον κυκλικό δακτύλιο, είναι απαραίτητο να έχουν τη δυνατότητα εποπτείας της οδού μπροστά τους για απόσταση όπως αυτή ορίζεται από τον πίνακα 3.7 και ενώ θεωρείται πως η θέση θέασης απέχει από την παρειά της κεντρικής νησίδας 2m. Η ζώνη ορατότητας προσδιορίζεται για ύψος οφθαλμού 1.05m – 2.0m και για ύψος εμποδίου 1.05m – 2.0m (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.53. Απαιτούμενη ορατότητα στον κυκλικό δακτύλιο (The Highways Agency et al., 2007).

Εποπτεία Διάβασης Πεζών

Οι οδηγοί, οι οποίοι βρίσκονται στη γραμμή εισόδου σε έναν κυκλικό κόμβο πρέπει να δύνανται να εποπτεύουν τη διάβαση πεζών στην επόμενη έξοδο σε όλο το πλάτος της εφόσον αυτή βρίσκεται σε απόσταση 20m κατά μέγιστο (οι διαβάσεις των πεζών κατασκευάζονται σε απόσταση 20m – 60m από την πλησιέστερη γραμμή εισόδου) (The Highways Agency et al., 2007).



Σχήμα 3.54. Απαιτούμενη ορατότητα ως προς τους πεζούς (The Highways Agency et al., 2007).

Ορατότητα Εξόδου

Ισχύει ότι επιβάλλει ο πίνακας 3.7, ενώ αφού ένα όχημα εξέλθει από το πλαίσιο του εγγεγραμμένου κύκλου ισχύουν οι απαιτήσεις για την απόσταση ακινητοποίησης του οχήματος (SSD) (The Highways Agency et al., 2007).

3.3.7.2. Κατά Μήκος Κλίση και Επίκλιση Οδοστρώματος

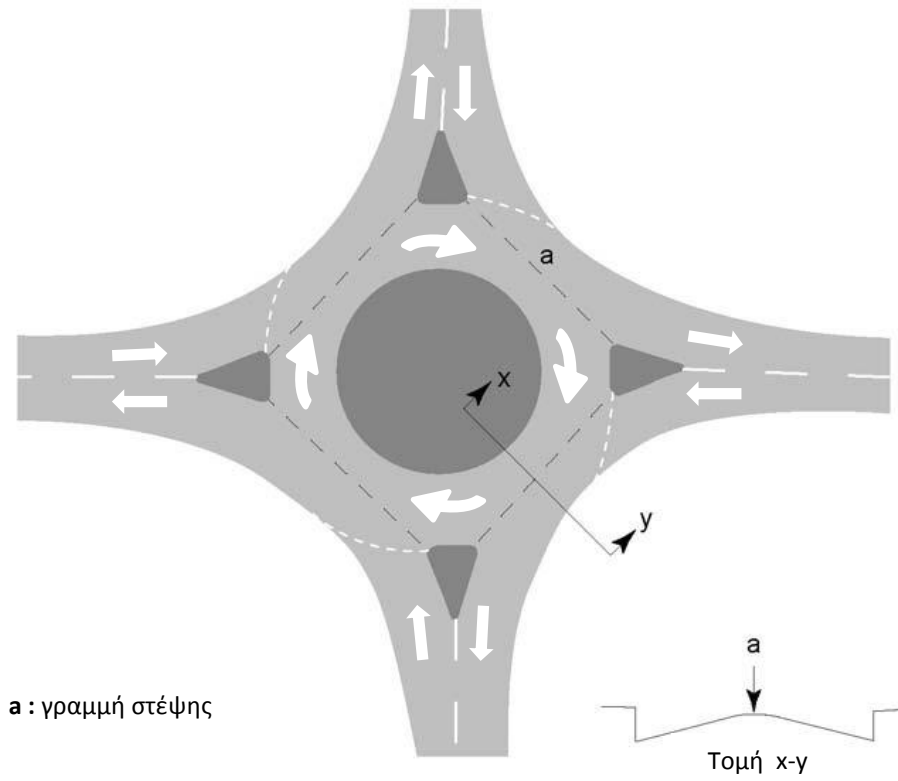
Ως γνωστόν, το οδόστρωμα κατασκευάζεται τόσο κατά μήκος όσο και εγκάρσια με κλίση τέτοια ώστε σε κάθε περίπτωση να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική απορροή των υδάτων. Έτσι στην περιοχή του κόμβου η **κατά μήκος κλίση του οδοστρώματος στις προσβάσεις δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή 2%**. Όσον αφορά στην **επίκλιση, είναι ανάλογη της λειτουργικής ταχύτητας των οχημάτων και σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνει το 5%, ενώ σε μήκος 20m από τη γραμμή εισόδου πρέπει η τιμή της να μειώνεται σε 2%** καθώς και λόγω γεωμετρίας εκτροπής (καμπύλη που στρέφει τα κοίλα προς τα έξω) οι ταχύτητες προσέγγισης μειώνονται επίσης (The Highways Agency et al., 2007).

Όσον αφορά στην επίκλιση του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου, τυπική θεωρείται μία τιμή της τάξης του 2%, ενώ σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνεται το 2.5%. Προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα λιμνάσματος υδάτων, μία διαμήκης κλίση της τάξης του 0.67% (και πάντα >0.50%) κρίνεται αναγκαία (The Highways Agency et al., 2007).

Προκειμένου να σχεδιαστεί η επίκλιση του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου, χαράσσεται μία γραμμή στέψης, η οποία είτε συνδέει τα άκρα των διαχωριστικών – κατευθυντήριων νησίδων σαν πολυγωνική (βλ. σχ. 3.55), είτε σαν κυκλική διαχωρίζει το οδόστρωμα με λόγο 2:1 (βλ. σχ. 3.56 (The Highways Agency et al., 2007)).

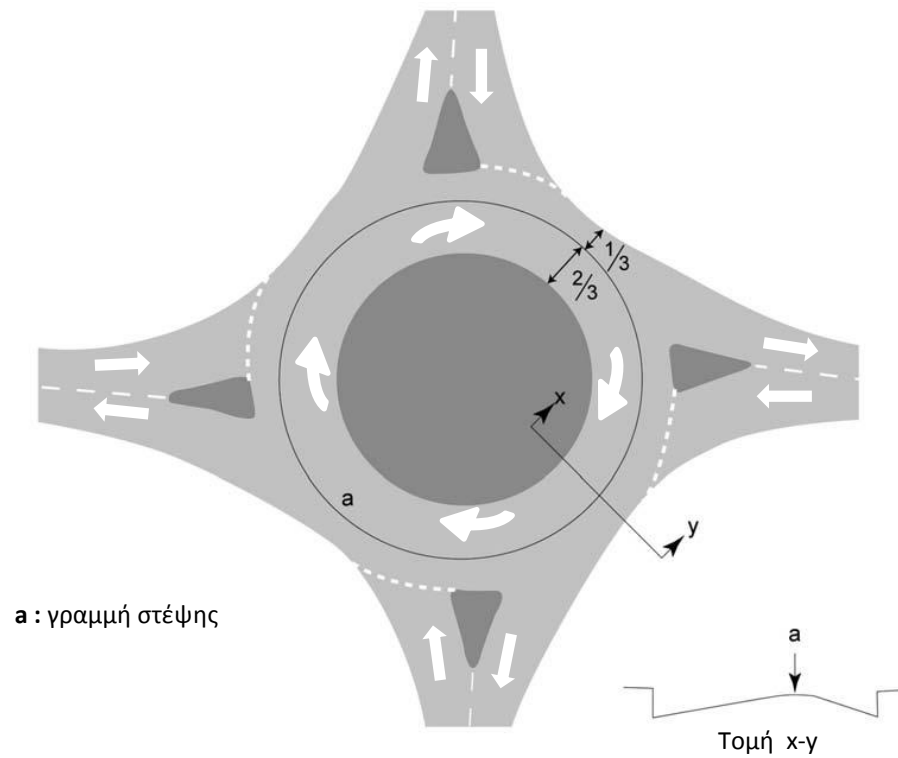
Είναι προτιμότερο όμως σε Κανονικούς αλλά και σε Συμπαγείς Κυκλικούς Κόμβους, στον κυκλικό δακτύλιο να χρησιμοποιείται μία ενιαία επίκλιση της τάξης του 2% προς τα έξω (The Highways Agency et al., 2007).

Στις εξόδους εφαρμόζεται επίκλιση όπως και στις εισόδους με μέγιστη την τιμή 2% (The Highways Agency et al., 2007).



a : γραμμή στέψης

Σχήμα 3.55. Γραμμή στέψης που ενώνει τα άκρα των διαχωριστικών νησίδων (The Highways Agency et al., 2007).



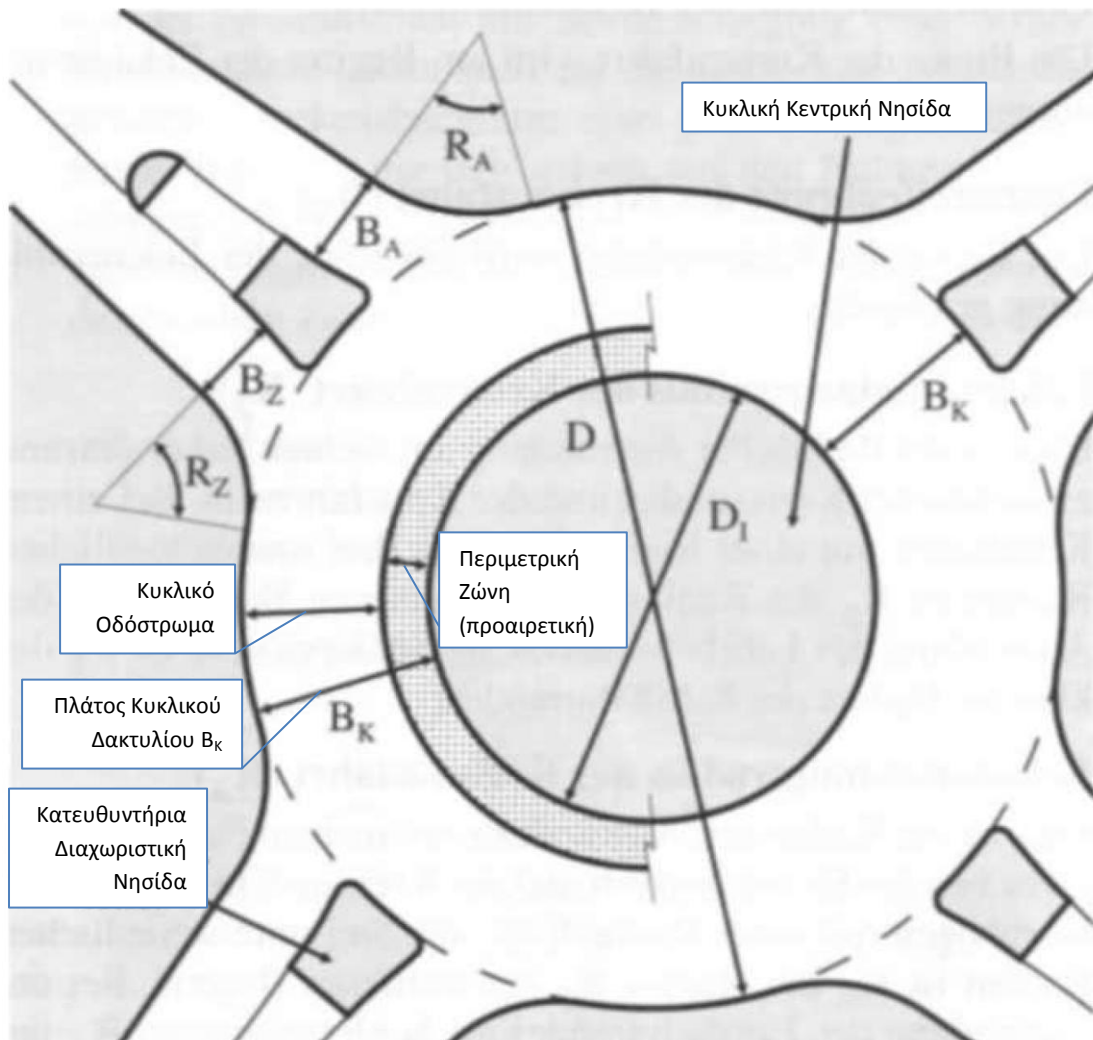
a : γραμμή στέψης

Σχήμα 3.56. Κυκλική γραμμή στέψης που χωρίζει το οδόστρωμα στον κυκλικό δακτύλιο με λόγο 2:1 (The Highways Agency et al., 2007).

3.4. Πλαίσιο Οδηγιών Γεωμετρικού Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων στη Γερμανία

[σύμφωνα με το «Πληροφοριακό Δελτίο για την Εγκατάσταση Κυκλικών Κυκλοφοριακών Κόμβων» (2006) του Τμήματος Σχεδιασμού Οδών της Ερευνητικής Εταιρείας Οδών και Συγκοινωνιών – **“Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren” (2006) - Arbeitsgruppe Strassenentwurf,FGSV (Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen)**]

3.4.1. Ορισμός Βασικών Στοιχείων



Σχήμα 3.57. Βασικά Στοιχεία Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου.

Κυκλική Κεντρική Νησίδα (Kreisinsel): Πρόκειται για την υπερυψωμένη κυκλική κατασκευή στο κέντρο του κυκλικού κόμβου, γύρω από την οποία κινείται η κυκλοφορία. Σε κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου η κυκλική νησίδα είναι προσπελάσιμη (FGSV, 2006).

Κυκλικός Δακτύλιος (Kreisfahrbahn): Περιλαμβάνει το πλάτος του διατιθέμενου οδοστρώματος της κυκλικής διαδρομής και το πλάτος της περιμετρικής ζώνης για τα βαρέα οχήματα, εάν αυτή υπάρχει. Το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου συμβολίζεται με B_K (Breite des Kreisrings) (FGSV, 2006).

Εξωτερική Διάμετρος (Außendurchmesser) (D): Είναι η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου, δηλαδή της εξωτερικής οριογραμμής του κυκλικού δακτυλίου. Πρόκειται για το βασικό εκείνο μέγεθος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος του κυκλικού κόμβου (FGSV, 2006).

Εσωτερική Διάμετρος (Innendurchmesser) (D_i): Είναι η διάμετρος της κυκλικής κεντρικής νησίδας (FGSV, 2006).

Κατευθυντήρια Διαχωριστική Νησίδα (Fahrbahnteiler): Διαχωρίζει τα αντίθετα κινούμενα ρεύματα και τα κατευθύνει προς (είσοδος) και από (έξοδος) τον κυκλικό δακτύλιο, ενώ παρέχει χώρο αναμονής σε πεζούς και ποδηλάτες που διασχίζουν την οδό σε δύο φάσεις, προστατεύοντάς τους από την κυκλοφορία των οχημάτων (FGSV, 2006).

Πλάτος Εισόδου (Fahrstreifenbreite der Kreiszufahrt) (B_Z): Μετράται ακριβώς πριν το σημείο αρχής (κατά τη φορά κίνησης) του τόξου εισόδου (FGSV, 2006).

Πλάτος Εξόδου (Fahrstreifenbreite der Kreisausfahrt) (B_A): Μετράται ακριβώς μετά το σημείο τέλους (κατά τη φορά κίνησης) του τόξου εξόδου (FGSV, 2006).

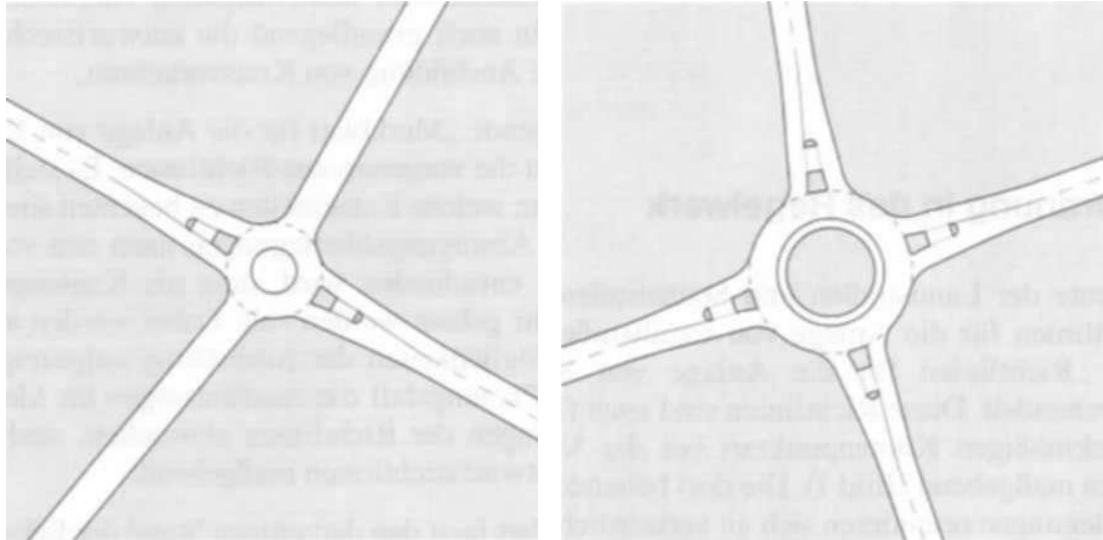
Ακτίνα Καμπύλης Εισόδου (Eckausrundungsradius der Kreiszufahrt) (R_Z): Είναι η ακτίνα του τόξου συναρμογής της εξωτερικής οριογραμμής με τον εγγεγραμμένο κύκλο στην είσοδο ή, εάν αντί ενός τόξου χρησιμοποιείται τρίτοξη κανιστροειδής καμπύλη, είναι η ακτίνα του μεσαίου τόξου (FGSV, 2006).

Ακτίνα Καμπύλης Εξόδου (Eckausrundungsradius der Kreisausfahrt) (R_A): Είναι η ακτίνα του τόξου συναρμογής της εξωτερικής οριογραμμής της πρόσβασης με τον εγγεγραμμένο κύκλο στην έξοδο ή, εάν αντί ενός τόξου χρησιμοποιείται τρίτοξη κανιστροειδής καμπύλη, είναι η ακτίνα του μεσαίου τόξου (FGSV, 2006).

Στη Γερμανία συναντώνται τα εξής **είδη κυκλικών κόμβων** (βλ. σχ. 3.58):

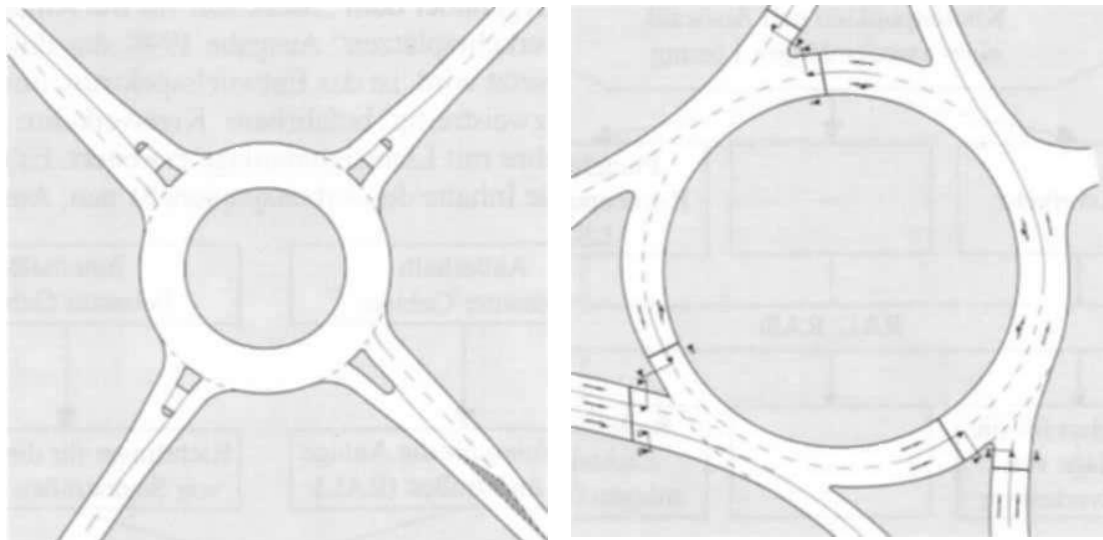
- **Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου** (Minikreisverkehr): Η εξωτερική διάμετρος (εγγεγραμμένου κύκλου) λαμβάνει τιμές 13m – 26m. Είναι προτιμότερο η μέγιστη τιμή της διαμέτρου αυτής να περιορίζεται στα 22m και αντί κυκλικού κόμβου μικρής διαμέτρου 26m να επιλέγεται μικρός κυκλικός κόμβος ίσης διαμέτρου. Κατασκευάζεται αποκλειστικά σε αστικές θέσεις ισόπεδης σύνδεσης οδών. Ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει μία λωρίδα κυκλοφορίας (FGSV, 2006).
- **Μικρός Κυκλικός Κόμβος** (Kleiner Kreisverkehr): Διαθέτει εξωτερική διάμετρο τουλάχιστον 26m (αστικός: 26m – 40m, υπεραστικός: 30m – 50m). Ο κυκλικός δακτύλιος παρέχει μία λωρίδα κυκλοφορίας. Όταν οι κυκλοφοριακές απαιτήσεις είναι μεγάλες είναι δυνατό να αυξάνεται η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου με παρακαμπτήριες λωρίδες (FGSV, 2006).
- **Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων** (Kleiner Kreisverkehr mit Zweistreifig Befahrbarer Kreisfahrbahn): Διαθέτει εξωτερική διάμετρο της τάξης των 40m – 60m. Ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει πλάτος ίσο με αυτό δύο λωρίδων χωρίς όμως διαμήκη διαγράμμιση που να διαχωρίζει ρεύματα κυκλοφορίας. Ουσιαστικά κατασκευάζεται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ο μικρός κυκλικός κόμβος, ακόμα και με παρακαμπτήριες λωρίδες, αδυνατεί να εξυπηρετήσει την κυκλοφορία. Οι έξοδοι διαθέτουν αυστηρά μία λωρίδα (FGSV, 2006).
- **Μεγάλος Κυκλικός Κόμβος** (Grosser Kreisverkehr): Διαθέτει εξωτερική διάμετρο 60m – 80m. Ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει δύο ή και τρεις λωρίδες κυκλοφορίας που διαχωρίζονται με κατάλληλη διαμήκη διαγράμμιση, ενώ για την ασφαλέστερη ρύθμιση της

κυκλοφορίας εγκαθίσταται συχνά και φωτεινή σηματοδότηση (FGSV, 2006).



(α)

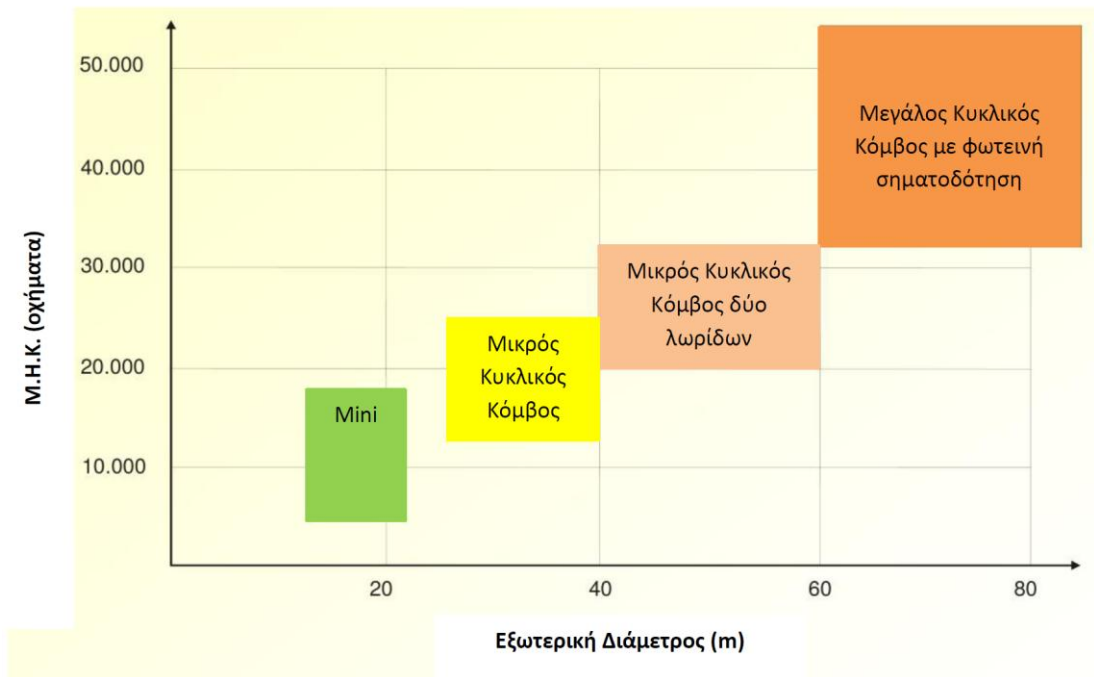
(β)



(γ)

(δ)

Σχήμα 3.58. Βασικές Μορφές Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων στη Γερμανία: **α)** Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Minikreisverkehr) **β)** Μικρός Κυκλικός Κόμβος (Kleiner Kreisverkehr) **γ)** Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Zweistreifig Befahrbarer Kreisverkehr). **δ)** Μεγάλος Κυκλικός Κόμβος (Grosser Kreisverkehr) (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.59. Χωρητικότητα Κυκλικών Κόμβων (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.60. Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Minikreisverkehr) (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.61. Αστικός Μικρός Κυκλικός Κόμβος (Kleiner Kreisverkehr innerhalb bebauter Gebiete) (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.62. Υπεραστικός Μικρός Κυκλικός Κόμβος (Kleiner Kreisverkehr ausserhalb bebauter Gebiete) (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.63. Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Zweistreifig Befahrbarer Kreisverkehr) (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.64. Μεγάλος Κυκλικός Κόμβος (Grosser Kreisverkehr) (Brilon et al., 2006).



Σχήμα 3.65. Μεγάλος Κυκλικός Κόμβος με Σηματοδότηση (Grosser Kreisverkehr mit Lichtsignalanlage - LSA) (Brilon et al., 2006).

Επισημαίνεται πως πλέον η κατασκευή μεγάλων κυκλικών κόμβων με δύο ή περισσότερες λωρίδες στη Γερμανία δεν προτείνεται ούτε από τις οδηγίες αλλά ούτε και από τους αρμόδιους ειδικούς και έχει εγκαταλειφθεί, κυρίως για λόγους ασφάλειας (Brilon, 2011).

3.4.2. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων

Για μία ασφαλή διαμόρφωση κυκλικού κόμβου πρέπει να εξασφαλίζεται η τήρηση των εξής αρχών σχεδιασμού:

- Όσο το δυνατόν πιο ομαλή μετάβαση από την ευθυγραμμία μίας πρόσβασης στον κυκλικό δακτύλιο (κυκλική διαδρομή).
- Σαφής εκτροπή της τροχιάς κίνησης των διερχόμενων από τον κόμβο οχημάτων μέσω της κεντρικής νησίδας.
- Μία λωρίδα εξόδου από τον (οποιασδήποτε μορφής) κυκλικό κόμβο. (FGSV, 2006)

Είναι επίσης αναγκαίο να πληρούνται οι τέσσερις (4) βασικές απαιτήσεις ενός άρτιου και λειτουργικού οδικού κόμβου, δηλαδή η έγκαιρη αναγνώρισή του, η επαρκής εποπτεία και ορατότητα, η σαφής και καταληπτή λειτουργία του και η κατάλληλη διαμόρφωση για ασφαλή διέλευση της κυκλοφορίας. Ιδίως όσον αφορά στην έγκαιρη αναγνώριση και την επαρκή ορατότητα, εφιστάται η προσοχή στις εξής αντίστοιχες ιδιαιτερότητες:

- Ο κυκλικός κόμβος πρέπει να καθίσταται εγκαίρως αναγνωρίσιμος οποιαδήποτε στιγμή ενός 24ώρου μέρα και νύχτα και κυρίως αν πρόκειται για υπεραστική περιοχή, ενώ πρέπει ο οδηγός ενός οχήματος να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται πλήρως την υφιστάμενη κατάσταση της κυκλοφορίας στον κόμβο.
- Η οπτική επαφή μεταξύ οδηγών, πεζών και ποδηλατών, δηλαδή όλων των πιθανών χρηστών του κόμβου, που αλληλεπιδρούν – εμπλέκονται, επιβάλλεται να είναι απρόσκοπτη και ανεμπόδιστη. Αντίθετα, δεν είναι απαραίτητη και επιθυμητή η ορατότητα προς το αντιδιαμετρικό (απέναντι) σκέλος του κυκλικού κόμβου και την κυκλοφορία σε αυτό. (FGSV, 2006)

Όσον αφορά στα μεγέθη που εξετάζονται και στις τιμές που προτείνονται για τον σχεδιασμό συγκεκριμένων στοιχείων του κυκλικού κόμβου, ακολουθείται η εξής λογική: Οι ελάχιστες τιμές δεν πρέπει να αγνοούνται σε καμία περίπτωση, οι συνήθεις (τυπικές) τιμές αφορούν

σε πλεονεκτική διαμόρφωση, ενώ οι μέγιστες τιμές είναι δυνατό να υπερβαίνονται όταν καθίσταται αναγκαίο και δικαιολογείται αναλυτικά (FGSV, 2006).

3.4.3. Εξωτερική Διάμετρος Κυκλικού Κόμβου

Πρόκειται για ένα μέγεθος, η τιμή του οποίου εξαρτάται από το είδος του κυκλικού κόμβου, από τις τοπικές οδικές συνθήκες και από το πλήθος και το είδος (κύρια ή δευτερεύουσα οδός κ.λπ.) των προσβάσεων. Μία μεγάλη εξωτερική διάμετρος αφενός διευκολύνει τη μηχανοκίνητη κυκλοφορία και δη των βαρέων οχημάτων, αφετέρου επιτρέπει διατήρηση υψηλότερων ταχυτήτων, υποχρεώνει τους πεζούς να διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις και απαιτεί μεγαλύτερη επιφάνεια απαλλοτρίωσης για την κατασκευή του κόμβου (FGSV, 2006).

Η εξωτερική διάμετρος ενός μικρού κυκλικού κόμβου (μίας λωρίδας) (Kleiner Kreisverkehr) είναι κατ' ελάχιστο της τάξης των 26m, ενώ εντός αστικών περιοχών, η αντίστοιχη ελάχιστη τιμή είναι 30m, ώστε να εξασφαλίζεται ταχύτερη διέλευση των οχημάτων από τον κόμβο, μία μεγαλύτερου μεγέθους και άρα πιο εύκολα αντιληπτή κεντρική νησίδα, ενώ αυξάνεται δραστικά το ποσοστό της εκτροπής της τροχιάς κίνησης των οχημάτων. Γενικά διάμετροι της τάξης των 40m και μεγαλύτερων σε αστικές περιοχές και των 50m και μεγαλύτερων σε υπεραστικές, πρέπει να αποφεύγονται (FGSV, 2006).

Η εξωτερική διάμετρος ενός κυκλικού κόμβου μικρής διαμέτρου (Minikreisverkehr) λαμβάνει την ελάχιστη τιμή των 13m, ώστε το μέγεθος της κεντρικής νησίδας να μην είναι πολύ μικρό (FGSV, 2006).

Η εξωτερική διάμετρος ενός μικρού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων (Kleiner Kreisverkehr mit Zweistreifig Befahrbarer Kreisfahrbahn) πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 40m. Μία συνήθης τιμή εξωτερικής διαμέτρου για έναν αστικό κόμβο αυτού του είδους είναι τα 50m, ενώ για έναν υπεραστικό τα 55m, εξασφαλίζοντας επαρκή εκτροπή στην κίνηση των διερχόμενων οχημάτων (FGSV, 2006).

Πίνακας 3.8. Εξωτερική Διάμετρος (σε m) Κυκλικών Κόμβων (FGSV, 2006).

	Είδος Κυκλικού Κόμβου:	Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου	Μικρός Κυκλικός Κόμβος	Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων
Αστική Περιοχή	Ελάχιστη Τιμή	13	26	40
	Συνήθης Τιμή		30-35	50
	Μέγιστη Τιμή	22	40	60
Υπεραστική Περιοχή	Ελάχιστη Τιμή	-	30	45
	Συνήθης Τιμή	-	35-45	55
	Μέγιστη Τιμή	-	50	60

3.4.4. Κυκλικός Δακτύλιος (Κυκλική διαδρομή)

Κατασκευάζεται πάντα απολύτως κυκλικός και αποφεύγονται ελλειψοειδείς μορφές ή μεταβαλλόμενης ακτίνας κλειστές γραμμές. Μοναδική εξαίρεση, σε περίπτωση ανάγκης λόγω ιδιομορφιών της θέσης κατασκευής σε αστική περιοχή, είναι δυνατό ο δακτύλιος να αποτελείται από δύο ημικύκλια τα άκρα των οποίων συνδέονται με ίσα ευθύγραμμα τμήματα, το μήκος των οποίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα των ημικυκλίων (FGSV, 2006).

Πίνακας 3.9. Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (σε m) (FGSV, 2006).

Είδος Κυκλικού Κόμβου:	Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου	Μικρός Κυκλικός Κόμβος				Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων
		26	30	35	>40	
Εξωτερική Διάμετρος:	13 - 22	26	30	35	>40	40 - 60
Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου:	4.0 - 6.0*	9.0	8.0	7.0	6.50	9.0 - 10.0**

*Η μικρότερη εξωτερική διάμετρος απαιτεί το μεγαλύτερο πλάτος κυκλικού δακτυλίου

**Για σύνθεση κυκλοφορίας με υψηλό ποσοστό βαρέων οχημάτων συνιστάται το μεγαλύτερο πλάτος κυκλικού δακτυλίου

Το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου προκύπτει συναρτήσει της εξωτερικής διαμέτρου, ενώ κρίνεται σκόπιμο σε υπεραστικές περιοχές το πλάτος να είναι αρκούντως μεγάλο ώστε να εξυπηρετούνται βαρέα οχήματα (FGSV, 2006).

Σε πολλές περιπτώσεις, το διατιθέμενο πλάτος του οδοστρώματος του κυκλικού δακτυλίου μίας λωρίδας δεν επαρκεί για την κίνηση βαρέων κυρίως οχημάτων. Αντί λοιπόν να διαπλατυνθεί το οδόστρωμα, κατασκευάζεται μία κυκλική δακτυλιοειδής ζώνη γύρω από την κεντρική νησίδα, ελαφρώς υπερυψωμένη (4cm – 5cm), ώστε να αποθαρρύνονται οι οδηγοί των Ι.Χ. οχημάτων να την υπερβαίνουν. Ο λόγος του πλάτους της ζώνης αυτής προς το αντίστοιχο του οδοστρώματος είναι 1:3 περίπου και η επίκλιση της τής τάξης του 2.5% προς τα έξω. Η υπερυψωμένη αυτή ζώνη, που ονομάζεται κατά τους Αμερικανούς και «ποδιά», είναι κρασπεδωμένη και προσπελάσιμη μόνο για βαρέα οχήματα. Κατά τον Κ.Ο.Κ. η ζώνη δεν ανήκει στην οδό και πρέπει να διαχωρίζεται από αυτή με συνεχή διαμήκη διαγράμμιση (FGSV, 2006).

Το οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου κατασκευάζεται με κλίση 0.6% και με επίκλιση 2.5% προς τα έξω, ώστε να εξασφαλίζεται αποτελεσματική αποστράγγιση των υδάτων. Κατασκευαστικά, είναι δόκιμο να κλίνει ενιαία το οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου (FGSV, 2006).

3.4.5. Είσοδος – Έξοδος Κυκλικού Κόμβου

Αποτελεί γενικότερη επιδίωξη του σχεδιασμού, οι άξονες των προσβάσεων να συντρέχουν στο κέντρο του κυκλικού κόμβου. Όσον αφορά στη **γωνία εισόδου**, δηλαδή την οξεία γωνία που σχηματίζει η εφαπτομένη στο σημείο τομής της τροχιάς εισόδου με τον εγγεγραμμένο κύκλο, με την εφαπτομένη στο μέσο του κυκλικού δακτυλίου, πρέπει **να προσεγγίζει την «ιδανική» τιμή των 60°**. Εφαπτόμενες εισοδοί απαγορεύονται. Ομοίως για τις εξόδους.



Σχήμα 3.66. Είσοδος – Έξοδος κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (Brilon et al., 2006).

Προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα μίας εισόδου είναι δυνατό να κατασκευάζεται με δύο λωρίδες, στην περίπτωση που μία παρακαμπτήρια λωρίδα δεν επιλύει το πρόβλημα της αυξημένης κυκλοφορίας. Είσοδοι δύο λωρίδων χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε μικρούς κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, ενώ οι έξοδοι διαθέτουν πάντα μία λωρίδα (FGSV, 2006).

Πλάτος Λωρίδων Κυκλοφορίας

Σε αστικές περιοχές οι λωρίδες εισόδου πρέπει να διαθέτουν πλάτος από **3.25m – 3.75m** και οι λωρίδες εξόδου από **3.50m – 4.0m**. Σε υπεραστικές περιοχές οι αντίστοιχες τιμές είναι **3.50m – 4.0m για λωρίδες εισόδου και 3.75m – 4.50m για λωρίδες εξόδου** (FGSV, 2006).

Η επιπλέον λωρίδα στην κατεύθυνση εισόδου μίας πρόσβασης προστίθεται στα αριστερά της ήδη υπάρχουσας. Η προσθήκη στα δεξιά πραγματοποιείται μόνο σε περιπτώσεις σημαντικών στρεφουσών δεξιά ρών (FGSV, 2006).

Τόξα Εισόδου (Στρογγυλεύσεις)

Η συναρμογή των οριογραμμών της οδού πρόσβασης με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου (εγγεγραμμένο κύκλο) πραγματοποιείται με τόξα μικρών ακτίνων (βλ. πίν. 3.10) (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.67. Καμπύλη (τόξο) συναρμογής (στρογγύλευσης) οριογραμμής εισόδου (FGSV, 2006).

Πίνακας 3.10. Ακτίνες Τόξων Συναρμογής (σε m) (FGSV, 2006).

	Είδος Κυκλικού Κόμβου:	Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου	Μικρός Κυκλικός Κόμβος	Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων με είσοδο δύο λωρίδων
Αστική Περιοχή	Ακτίνα Εισόδου:	8.0 - 10.0	10.0 - 14.0	12.0 - 16.0
	Ακτίνα Εξόδου:	8.0 - 10.0	12.0 - 16.0	12.0 - 16.0
Υπεραστική Περιοχή	Ακτίνα Εισόδου:	-	14.0 - 16.0	14.0 - 16.0
	Ακτίνα Εξόδου:	-	16.0 - 18.0	16.0 - 18.0

3.4.6. Παρακαμπτήριες Λωρίδες Δεξιών Στροφών (Bypass)

Όταν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι μίας πρόσβασης που στρέφουν δεξιά είναι σημαντικοί και παρατηρείται υποβάθμιση της κυκλοφοριακής ικανότητας του κόμβου και καθυστερήσεις στην είσοδο της πρόσβασης αυτής, προτείνεται ως αποτελεσματικότερη η λύση των παρακαμπτήριων λωρίδων για τις στρέφουσες δεξιά ροές. Τοιουτοτρόπως επιτυγχάνονται ταυτόχρονα δύο στόχοι: της ασφαλούς διακίνησης μίας σημαντικής ροής χωρίς να αναθεωρηθεί ο σχεδιασμός για την προσθήκη επιπλέον λωρίδας στον κυκλικό δακτύλιο ή/και στην είσοδο και η αναβάθμιση της στάθμης εξυπηρέτησης του κόμβου, καθώς η στρέφουσα ροή δεν εμπλέκεται με καμία άλλη (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.68. Παρακαμπτήρια λωρίδα δεξιάς στροφής (από Βορρά προς Δύση) (Brilon et al., 2006).

Η παρακαμπτήρια λωρίδα διαχωρίζεται σαφώς από τον κυκλικό δακτύλιο με διαμήκη διαχωριστική νησίδα ελάχιστου πλάτους 2.5m, ενώ προσαρμογή της και η ενσωμάτωσή της με τη λωρίδα της επόμενης εξόδου του κυκλικού κόμβου πραγματοποιείται σε ένα μήκος κατ' ελάχιστο 30m (FGSV, 2006).

3.4.7. Κατευθυντήριες – διαχωριστικές νησίδες και επιφάνειες αποκλεισμού

Πρόκειται για βασικά στοιχεία του κυκλικού κόμβου, τα οποία:

- Προάγουν την αναγνωρισιμότητα του κόμβου και καθιστούν σαφή την υποχρέωση της παραχώρησης προτεραιότητας στην κυκλοφορία του κυκλικού δακτυλίου.
- Διαχωρίζουν τις αντίθετα κινούμενες ροές και διοχετεύουν με ασφάλεια την κυκλοφορία εντός και εκτός του κόμβου.
- Παρέχουν ασφάλεια, προσφέροντας την απαραίτητη επιφάνεια αναμονής, στους πεζούς και τους ποδηλάτες που διασχίζουν την οδό σε δύο φάσεις, διασταυρούμενοι κάθε φορά με μία κατεύθυνση κίνησης των οχημάτων.
- Προσφέρουν την αναγκαία επιφάνεια για την τοποθέτηση πινακίδων.
(FGSV, 2006)

Οι κατευθυντήριες νησίδες κατασκευάζονται σε κάθε περίπτωση σε μικρούς κυκλικούς κόμβους και σε μικρούς κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, ενώ η κατασκευή τους είναι προαιρετική σε περιπτώσεις κυκλικών κόμβων μικρής διαμέτρου (mini), ειδικά όταν υπάρχουν χωρικοί περιορισμοί, οπότε και καθίσταται αδύνατη. Όταν η διατιθέμενη επιφάνεια για την κατασκευή του κυκλικού κόμβου και των προσβάσεων είναι περιορισμένη είναι δυνατό οι νησίδες να κατασκευάζονται ελαφρώς υπερυψωμένες, προσπελάσιμες για τα βαρέα οχήματα και απροσπέλαστες για την υπόλοιπη κυκλοφορία, ή ακόμα και να λαμβάνουν τη μορφή επιφάνειας αποκλεισμού με διαγράμμιση ή χρωματισμό ενός χρώματος (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.69. Ελαφρώς υπερυψωμένη κατευθυντήρια νησίδα, προσπελάσιμη για τα βαρέα οχήματα (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.70. Κατευθυντήρια νησίδα με τη μορφή λευκά χρωματισμένης επιφάνειας (FGSV, 2006).

Η αναγκαιότητα ύπαρξης κατευθυντήριων νησίδων εξετάζεται βάσει της σύνθεσης της κυκλοφορίας (βαρέα και άλλα οχήματα), της κυκλοφορίας πεζών, και της διατιθέμενης επιφάνειας. Το ελάχιστο πλάτος μίας κατευθυντήριας νησίδας είναι 1.60m, ενώ στη θέση διάβασης των πεζών (εάν υπάρχει) το ελάχιστο πλάτος είναι 2.0m ή και 2.50m αν υφίσταται κίνηση ποδηλάτων (FGSV, 2006).

Επισημαίνεται πως η διάβαση πεζών (ή/και του ποδηλατοδρόμου, αν υπάρχει) κατασκευάζεται σε θέση τέτοια ώστε το πλησιέστερο όριό της (του) στη γραμμή εισόδου να απέχει από αυτή κατ' ελάχιστο 5m (ιδανικά 8m) (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.71. Τυπική κατευθυντήρια νησίδα με διάβαση πεζών (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.72. Τυπική κατευθυντήρια νησίδα με διάβαση πεζών και ποδηλατόδρομο (Brilon et al., 2006).

3.4.8. Κυκλική Κεντρική Νησίδα

Η κεντρική νησίδα είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία ενός κυκλικού κόμβου, καθώς:

- Βελτιώνει την αναγνωρισιμότητα του κόμβου.
- Εκτρέπει την τροχιά κίνησης των διερχόμενων οχημάτων ώστε να διατηρούνται επιθυμητά χαμηλές ταχύτητες στον κυκλικό δακτύλιο.
- Οριοθετεί το οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου.
- Προσφέρει δυνατότητα διεύρυνσης του κυκλικού δακτυλίου κυρίως όταν πρόκειται για διευκόλυνση της κίνησης και των ελιγμών βαρέων οχημάτων.

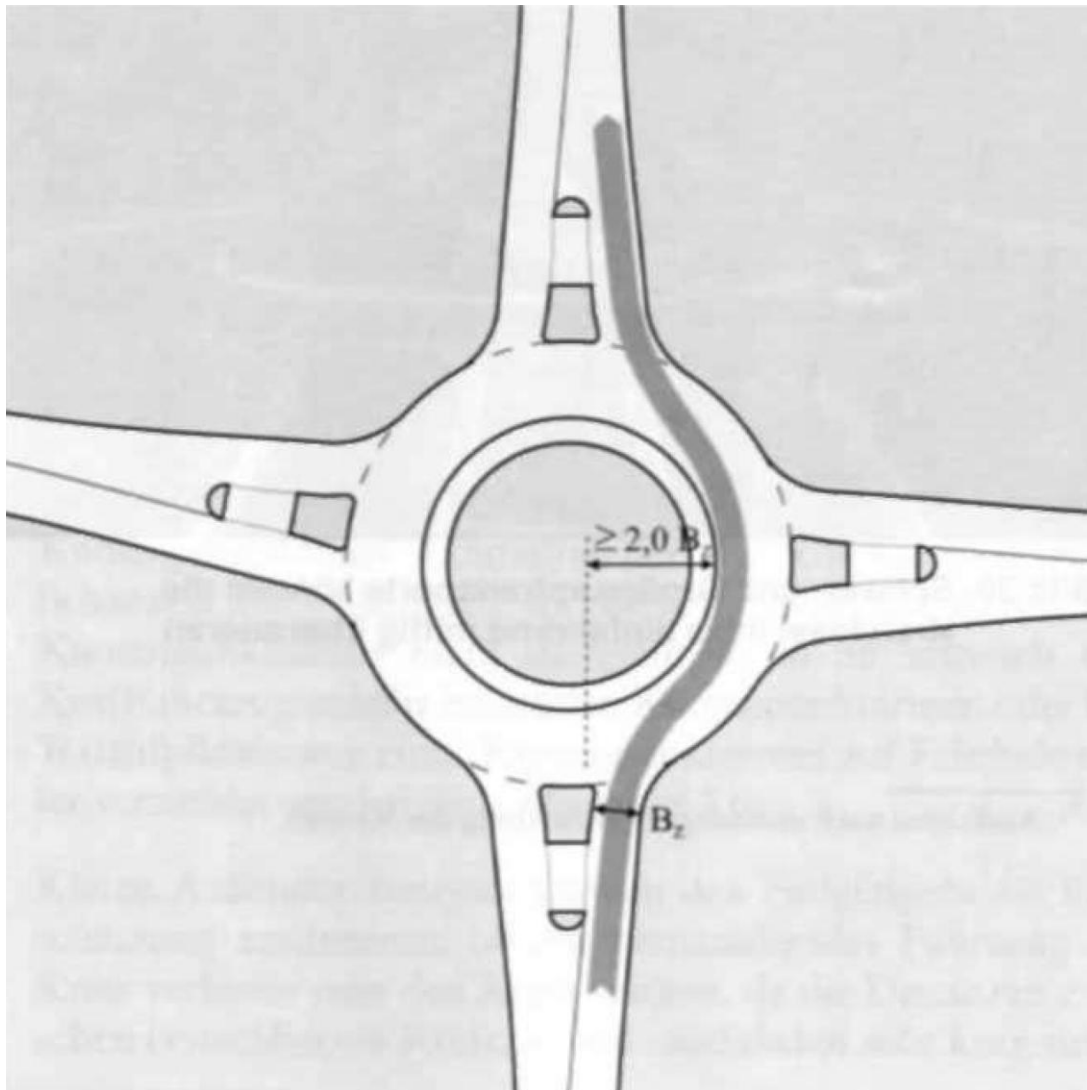
(FGSV, 2006)

Η κεντρική νησίδα σε υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους κατασκευάζεται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να παρέχεται απρόσκοπτη ορατότητα σε μία εισερχόμενη ροή προς την ακριβώς απέναντι πρόσβαση, αλλά και ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις ορατότητας κατά την κίνηση στον κυκλικό δακτύλιο. Αυτό επιτυγχάνεται με τοποθέτηση πολύ χαμηλής βλάστησης στη νησίδα, ενώ είναι απαγορευμένη η τοποθέτηση εμποδίων (πινακίδες, δέντρα, έργα τέχνης, τοιχώματα, στύλοι φωτισμού κ.λπ.) σε αυτή ακριβώς απέναντι από μία είσοδο ώστε σε περίπτωση οδικού ατυχήματος κατά την οποία ένα όχημα προσκρούει εισερχόμενο στην κεντρική νησίδα να περιορίζεται η σοβαρότητά του σε υλικές ζημιές (FGSV, 2006).

Η εσωτερική διάμετρος πρέπει να είναι αρκούντως μεγάλη ώστε η κεντρική νησίδα να εκτρέπει την τροχιά κίνησης των διερχόμενων οχημάτων επαρκώς και να διατηρούνται επιθυμητά χαμηλές ταχύτητες στις εισόδους, στον κυκλικό δακτύλιο και στις εξόδους του κόμβου. Ένας αποδεκτός βαθμός εκτροπής αφορά σε παρέκκλιση της τροχιάς ενός κατ' ευθεία κινούμενου οχήματος κατ' ελάχιστο μήκος ίσο με $2B_z$, όπου B_z το πλάτος εισόδου (βλ. σχ. 3.73) (FGSV, 2006).

Η ελάχιστη τιμή της διαμέτρου της κεντρικής νησίδας (σε ένα κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου - mini) είναι 4m. Τα υλικά κατασκευής που προτείνονται είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα, το

ασφαλτοσκυρόδεμα, ενώ στους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου είναι δυνατό να κατασκευάζεται ακόμα και από σκληρό καουτσούκ. Η κεντρική νησίδα κατασκευάζεται πάντα υπερυψωμένη με ελάχιστο ύψος (σε ένα κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου - mini) της τάξης των 5cm ώστε να διαχωρίζεται από το οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου. Σε μικρούς και μεγάλους κυκλικούς κόμβους, όπως προαναφέρθηκε, η νησίδα περικλείεται από μία κατάλληλα διαμορφωμένη ζώνη ελαφρώς υπερυψωμένη προσπελάσιμη μόνο για βαρέα οχήματα ώστε να εξυπηρετείται η κίνησή τους χωρίς να διευρύνεται το οδόστρωμα (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.73. Εκτροπή τροχιάς κίνησης εισερχόμενου οχήματος (FGSV, 2006).

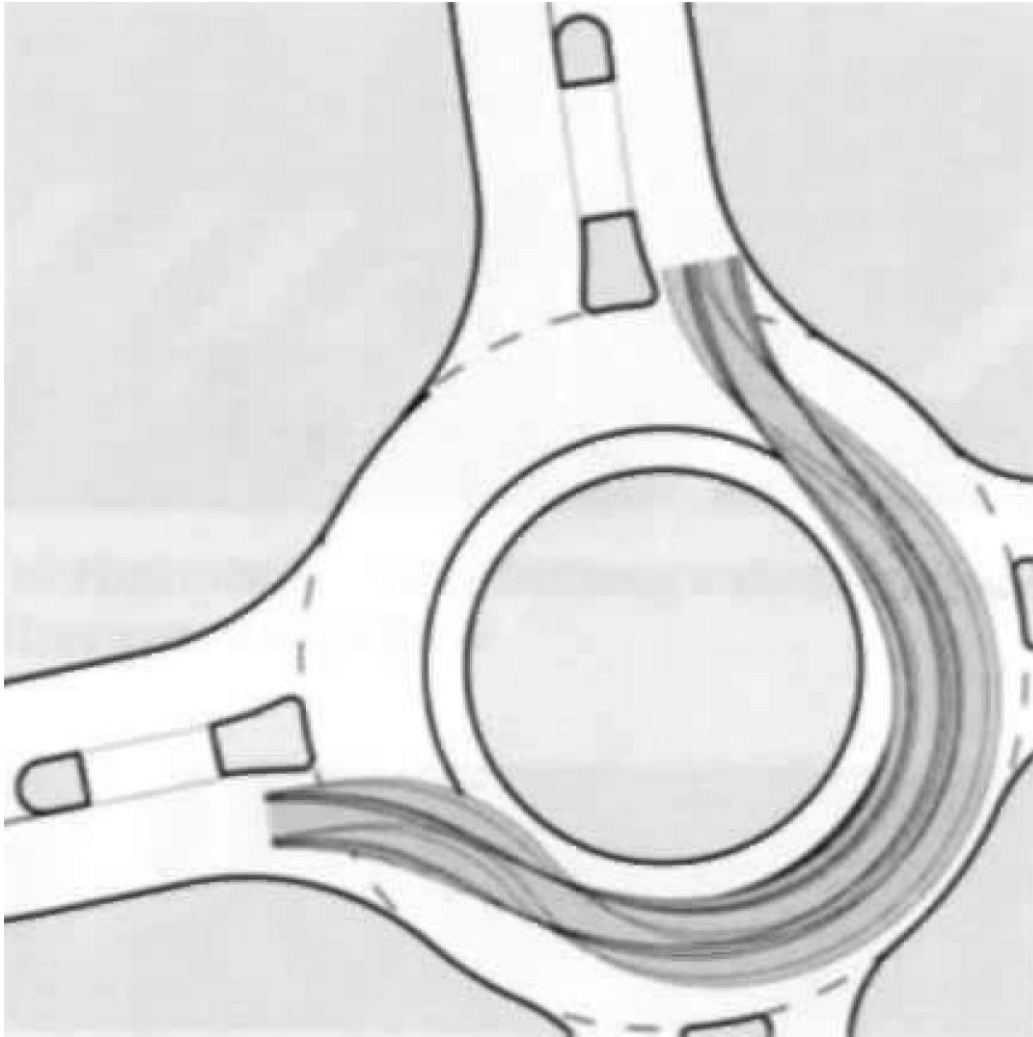
3.4.9. Εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων

Εκτός από την προσπελάσιμη για τα βαρέα οχήματα περιμετρική ζώνη στην οποία αναφερθήκαμε εκτενώς, είναι αναγκαίες, σε ορισμένες περιπτώσεις, επιπλέον παρεμβάσεις ώστε να διευκολύνονται οι ελιγμοί τους π.χ. κατά την είσοδο ή έξοδό τους από τον κυκλικό δακτύλιο. Μία τέτοια παρέμβαση που παρατηρείται συχνά είναι η κατασκευή προσπελάσιμης επιφάνειας δεξιάς στροφής, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.74 (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.74. Προσπελάσιμη για βαρέα οχήματα επιφάνεια δεξιάς στροφής εξόδου, καθώς και προσπελάσιμη κατευθυντήρια νησίδα (FGSV, 2006).

Κρίνεται απαραίτητο, προκειμένου να ελεγχθεί η γεωμετρική χάραξη και να διασφαλιστεί πως εξασφαλίζεται η δυνατότητα άνετης κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων κατά την είσοδο/έξοδό τους και κατά την κίνησή τους στον κυκλικό δακτύλιο (βλ. σχ. 3.75), να πραγματοποιείται προσομοίωση σε δυναμικό περιβάλλον κατάλληλου λογισμικού Η/Υ, ενώ πρέπει να προβλέπεται ένα επιπλέον περιθώριο 0.5m σε αστικές περιοχές και 1.0m σε υπεραστικές (FGSV, 2006).



Σχήμα 3.75. Προσομοίωση τροχιάς κίνησης οχημάτων στον κυκλικό δακτύλιο (FGSV, 2006).

3.4.10. Παρατηρήσεις

Στις γερμανικές οδηγίες επικρατεί μία λογική όσον αφορά στο σχεδιασμό κυκλικών κόμβων σύμφωνα με την οποία, εφόσον πληρούται το κριτήριο της αναγκαίας χωρητικότητας, προτιμώνται να κατασκευάζονται κυκλικοί κόμβοι μίας λωρίδας, κυρίως για λόγους ασφάλειας. Προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα, προστίθενται παρακαμπτήριες λωρίδες (αποκλειστικές λωρίδες δεξιάς στροφής), ενώ αν οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες, επιλέγεται η λύση του μικρού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων με μία λωρίδα εισόδου και τέλος, σε

περιπτώσεις ανάγκης, η λύση του κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων με δύο λωρίδες εισόδου (Brilon, 2011).

Επισημαίνεται πως προφανώς ο αριθμός των λωρίδων εισόδου είναι ίσος ή μικρότερος από τον αριθμό των λωρίδων του κυκλικού δακτυλίου, ενώ **πάντα κατασκευάζεται έξοδος αυστηρά μίας λωρίδας** (Brilon, 2011).

Τα τελευταία έτη εξέλιξης των ισόπεδων κυκλικών κόμβων στη Γερμανία χρησιμοποιείται με ιδιαίτερα μεγάλη επιτυχία το είδος εκείνο του **μικρού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων**, με εξωτερική διάμετρο 40m – 60m, του οποίου ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει πλάτος επαρκές ώστε δύο οχήματα να κινούνται παράλληλα (δίπλα – δίπλα), όμως **δεν υφίσταται κανένα ίχνος διαμήκου διαγράμμισης** που να διαχωρίζει λωρίδες κυκλοφορίας, ενώ **έχει εγκαταλειφθεί η διαμόρφωση του μεγάλου κυκλικού κόμβου** με εξωτερική διάμετρο 60m – 80m, με δακτύλιο δύο λωρίδων κυκλοφορίας που οριοθετούνται σαφώς με κατάλληλη διαμήκη διαγράμμιση και με εισόδους και εξόδους έως και δύο λωρίδων, κυρίως για λόγους ασφάλειας, καθώς παρατηρήθηκε διαχρονικά μεγάλη συχνότητα οδικών ατυχημάτων (Brilon, 2011).

3.5. Εφαρμογές στην Ελλάδα

Η κατασκευή κυκλικών κόμβων στην Ελλάδα είναι σχετικά περιορισμένη, δεδομένου πως όσες κυκλικές διαμορφώσεις έχουν υλοποιηθεί κυρίως εντός πολεοδομικού ιστού, σε μεγάλα αστικά κέντρα όπως η Αθήνα, δεν έχουν τα χαρακτηριστικά, τουλάχιστον τα λειτουργικά, σύγχρονων κυκλικών κόμβων, ενώ και όσον αφορά στη χάραξη διαφέρουν σε καίρια σημεία, όπως επισημάνθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και κατέστη αντιληπτό από την ανάλυση των τριών πλαισίων προδιαγραφών σχεδιασμού που ισχύουν σε Μ. Βρετανία, Η.Π.Α. και Γερμανία.

Κατά τα τελευταία έτη παρατηρείται στην Ελλάδα μία προτίμηση προς λύσεις κυκλικών κόμβων αντί αντίστοιχων με φωτεινή σηματοδότηση τόσο λόγω της ελαχιστοποίησης των χρονικών καθυστερήσεων, όσο και για τους μικρότερους δείκτες οδικών ατυχημάτων που οι πρώτοι παρουσιάζουν, ενώ δε θα ήταν υπερβολή να αναφερθεί πως πρόκειται για ελκυστικές διαμορφώσεις, οι οποίες γίνονται συντομότερα αποδεκτές από τους χρήστες ίσως και λόγω της βλάστησης που περιλαμβάνουν. Στην κατασκευή άρτιων και λειτουργικών κυκλικών κόμβων οι οποίοι θα ανταποκρίνονται πλήρως στις απαιτήσεις για ασφαλή, ταχεία και άνετη διέλευση της κυκλοφορίας τόσο των οχημάτων όσο και των πεζών, ατόμων με κινητικά προβλήματα και ποδηλατών (αν πρόκειται για αστική περιοχή), θεωρείται πως το αμερικανικό πλαίσιο προδιαγραφών θα συμβάλει προς το σκοπό αυτό αποτελεσματικότερα. **Οι αμερικανικές οδηγίες κρίνεται δόκιμο να εφαρμοστούν στην Ελλάδα, καθώς** κατόπιν της ανάλυσης που προηγήθηκε, **αποδεικνύονται πλήρεις και θεωρούνται χρησιμότερες** για την κατάρτιση ενός αντίστοιχου ελληνικού πλαισίου προδιαγραφών αφού, εκτός από το γεγονός ότι είναι αναλυτικά περιγραφικές ως προς το γεωμετρικό σχεδιασμό, περιλαμβάνουν εμπειριστατωμένα και λεπτομερή στοιχεία που αφορούν τόσο στη διαχείριση της κυκλοφορίας και τη χωρητικότητα – κυκλοφοριακή ικανότητα ενός κόμβου, όσο και στον παρόδιο εξοπλισμό (φωτισμός, σήμανση κ.λπ.), στις διαγραμμίσεις και στα υλικά που θεωρείται ορθό να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των στοιχείων του κόμβου.

Όπου κριθεί απαραίτητο, είναι δυνατό οι βρετανικοί κανονισμοί να λειτουργήσουν επικουρικά, καθώς είναι εξίσου πλήρεις όσον αφορά στο γεωμετρικό σχεδιασμό.

Από τη συγκριτική ανάλυση που έπεται (τέταρτο κεφάλαιο) ενισχύεται η εντύπωση πως το αμερικανικό πλαίσιο οδηγιών είναι η ιδανικότερη επιλογή προκειμένου κατά την κατάρτιση αντίστοιχων ελληνικών προδιαγραφών να ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι που συνιστούν έναν κυκλικό κόμβο ασφαλή προς τους χρήστες (οδηγούς, πεζούς, ποδηλάτες κ.λπ.) και επαρκώς ικανό να εξυπηρετεί την κυκλοφορία ελαχιστοποιώντας τις χρονικές καθυστερήσεις των οχημάτων και παρέχοντας τη δυνατότητα σε βαρέα οχήματα να διέρχονται με ευκολία από τον κόμβο, ικανοποιώντας τις αυξημένες απαιτήσεις ελιγμών τους.

4. Συγκριτική Ανάλυση Προδιαγραφών Σχεδιασμού Κυκλικών Κόμβων

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μία λεπτομερής σύγκριση των προδιαγραφών που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο, προκειμένου να καταστούν σαφείς τόσο οι ομοιότητες όσο και οι διαφορές μεταξύ του πλαισίου Κανονισμών στη Μ. Βρετανία, του ισχύοντος πλαισίου Οδηγιών στις Η.Π.Α. και του αντίστοιχου στη Γερμανία, που αφορούν στο σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων.

Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ως γενική παρατήρηση, μετά την ανασκόπηση των προαναφερθεισών ισχυουσών προδιαγραφών, πως υφίσταται μία βασική διαφορά, κατ' αρχάς, ως προς τη δεσμευτικότητα του κάθε εθνικού πλαισίου, καθώς το βρετανικό συνίσταται από ένα σύνολο **Κανονισμών**, οι οποίοι αποτελούν δεσμευτικές νομοθετικές πράξεις, η εφαρμογή των οποίων είναι υποχρεωτική σε κάθε περίπτωση, ενώ το αμερικανικό και το γερμανικό συνίστανται από **Οδηγίες**, οι οποίες αποτελούν νομοθετικές πράξεις που ορίζουν τις γενικές κατευθύνσεις προς ένα αποτέλεσμα, με πολλά περιθώρια επιλογών από τους Μελετητές.

Οι κυκλικοί κόμβοι στις Η.Π.Α. με τη σύγχρονη μορφή τους έκαναν σχετικά πρόσφατα την εμφάνισή τους στο οδικό δίκτυο της χώρας και οι αμερικανικές οδηγίες σχεδιασμού κυκλικών κόμβων καταρτίστηκαν κυρίως βάσει των προϋπαρχόντων βρετανικών κανονισμών. Παρά το γεγονός αυτό, οι αμερικανικές προδιαγραφές είναι πλήρεις και αναλύουν εκτενώς κάθε παράμετρο που αφορά στη διαμόρφωση άρτιων κυκλικών κόμβων από γεωμετρικής και λειτουργικής πλευράς.

Η σειρά με την οποία παρατίθενται σε κάθε θέμα οι προβλεπόμενες από το εκάστοτε εθνικό πλαίσιο προδιαγραφές, είναι: βρετανικές, αμερικανικές και γερμανικές. Αυτό συμβαίνει τόσο λόγω της αντίστοιχης δεσμευτικότητας όσο και για το λόγο ότι η Μ. Βρετανία αποτελεί τη «γενέτειρα» των σύγχρονων κυκλικών κόμβων διεθνώς.

4.1. Διάκριση των ισόπεδων κυκλικών κόμβων

Τόσο στις βρετανικές όσο και στις αμερικανικές προδιαγραφές διακρίνονται γενικά οι εξής ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι:

1. **Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabout):** Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με μία λωρίδα κυκλοφορίας και κατασκευάζεται μόνο σε αστικές περιοχές.
2. **Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας (Single Lane Roundabout):** Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με μία λωρίδα κυκλοφορίας.
3. **Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων (Double Lane Roundabout):** Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με δύο λωρίδες κυκλοφορίας.
4. **Κυκλικός Κόμβος Τριών Λωρίδων (Three Lane Roundabout):** Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

Επισημαίνεται πως στους βρετανικούς κανονισμούς πραγματοποιείται μία περαιτέρω διάκριση των κυκλικών κόμβων σε Συμπαγείς και Συνήθεις (βλ. παρ. 3.3).

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές διακρίνονται οι εξής ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι:

1. **Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου** (Minikreisverkehr): Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με μία λωρίδα κυκλοφορίας και κατασκευάζεται μόνο σε αστικές περιοχές.
2. **Μικρός Κυκλικός Κόμβος** (Kleiner Kreisverkehr): Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με μία λωρίδα κυκλοφορίας.
3. **Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων** (Kleiner Kreisverkehr mit Zweistreifig Befahrbarer Kreisfahrbahn): Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με δύο λωρίδες κυκλοφορίας.
4. **Μεγάλος Κυκλικός Κόμβος** (Grosser Kreisverkehr): Διαθέτει κυκλικό δακτύλιο με δύο ή και τρεις λωρίδες κυκλοφορίας.

Επισημαίνεται πως η κατασκευή των μεγάλων κυκλικών κόμβων έχει εγκαταλειφθεί εντελώς στη Γερμανία.

Το **συμπέρασμα** που προκύπτει από τα προαναφερθέντα είναι πως τα άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους είδη κυκλικών κόμβων και τα οποία μας ενδιαφέρουν, είναι τα εξής:

- Ο *κυκλικός κόμβος μικρής διαμέτρου* των βρετανικών, ο *κυκλικός κόμβος μικρής διαμέτρου* των αμερικανικών και ο *κυκλικός κόμβος μικρής διαμέτρου* των γερμανικών προδιαγραφών.
- Ο *κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας* των βρετανικών, ο *κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας* των αμερικανικών και ο *μικρός κυκλικός κόμβος* των γερμανικών προδιαγραφών.
- Ο *κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων* των βρετανικών, ο *κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων* των αμερικανικών και ο *μικρός κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων* των γερμανικών προδιαγραφών.

Εφιστάται η προσοχή στο γεγονός πως η κυκλοφορία σε Η.Π.Α. και Γερμανία κινείται στη δεξιά πλευρά των οδών και με αντιωρολογιακή φορά στον κυκλικό δακτύλιο ενός κυκλικού κόμβου, ενώ στη Μ. Βρετανία στην αριστερή πλευρά και με ωρολογιακή φορά αντίστοιχα.

4.2. Βασικά Ζητήματα στον Σχεδιασμό Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων

Εκτός των διαφορών στις αριθμητικές τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων, υφίστανται σημαντικές διαφορές μεταξύ των προδιαγραφών κάθε χώρας κυρίως όσον αφορά στη λογική, στο πλαίσιο της οποίας καθορίζονται αυτές οι προδιαγραφές διαμόρφωσης των κόμβων.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά στο μείζον θέμα της εκτροπής της τροχιάς κίνησης ενός εισερχόμενου οχήματος και της μετατροπής της από ευθύγραμμη σε καμπύλη, με σκοπό τη μείωση της ταχύτητας εισόδου σε αποδεκτά επίπεδα, όπως αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1, υφίσταται ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ της Μ. Βρετανίας και των Η.Π.Α. με τη Γερμανία. Οι προδιαγραφές των δύο πρώτων προβλέπουν και επιδιώκουν την εκτροπή μέσω της κεντρικής νησίδας, της διαμόρφωσης των κατευθυντήριων νησίδων και των τόξων εισόδων με ακτίνες κατάλληλες, ακόμη και της μετάθεσης (αν κριθεί απαραίτητο) του άξονα μιας πρόσβασης προς τα αριστερά, ενώ στις γερμανικές προδιαγραφές η μόνη τεχνική που προβλέπεται για την επαρκή εκτροπή της τροχιάς ενός εισερχόμενου οχήματος είναι η διαμόρφωση κατάλληλου μεγέθους (διαμέτρου) κεντρικής νησίδας.

Πίνακας 4.1. Επιθυμητές ταχύτητες εισόδου σε αστικούς και υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους (NCHRP & FHWA, 2010 & Brilon, 2011).

		Επιθυμητές Ταχύτητες Εισόδου (km/h)		
		Μ. Βρετανία	Η.Π.Α.	Γερμανία
Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας	Αστικός	50	30	40
	Υπεραστικός	60	40	50
Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων	Αστικός	50	40	40
	Υπεραστικός	60	50	50

Στις γερμανικές οδηγίες δεν θίγεται το θέμα της διαπλάτυνσης στην είσοδο, σε αντίθεση με τις βρετανικές και τις αμερικανικές

προδιαγραφές, οι οποίες ουσιαστικά συστήνουν η είσοδος να διαπλάτυνεται σε κάθε περίπτωση, εκτός αν οι περιορισμοί της διαθέσιμης επιφάνειας δεν το επιτρέπουν.

Επίσης, τα τελευταία έτη εξέλιξης των ισόπεδων κυκλικών κόμβων στη Γερμανία χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία το είδος εκείνο του **μικρού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων** με εξωτερική διάμετρο 40m – 60m, του οποίου ο κυκλικός δακτύλιος διαθέτει πλάτος επαρκές ώστε δύο οχήματα να κινούνται παράλληλα (δίπλα – δίπλα), όμως **δεν υφίσταται κανένα ίχνος διαμήκου διαγράμμισης** ώστε να διακρίνονται οι λωρίδες κυκλοφορίας. Αντίθετα, δηλαδή, με ότι προβλέπεται στις αμερικανικές οδηγίες, στις γερμανικές δεν γίνεται δεκτή η θεωρία της φυσικής πορείας (natural trajectory) ενός εισερχόμενου οχήματος, η οποία αποσκοπεί στην αποφυγή σύμπτωσης των τροχιών δύο ταυτόχρονα εισερχόμενων οχημάτων, θεωρώντας πως πρέπει να διατίθεται η απαιτούμενη επιφάνεια στην κυκλοφορία και οι οδηγοί δύο οχημάτων που διεκδικούν τον ίδιο χώρο στο οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου βρίσκονται σε θέση να διαχειρίζονται αυτοβούλως την κατάσταση, ενώ η απουσία διαγράμμισης αποθαρρύνει τις προσπεράσεις.

Ένα ακόμη στοιχείο που διακρίνει τους μικρούς κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων στη Γερμανία, είναι ότι διαθέτουν αποκλειστικά εξόδους μίας λωρίδας σε όλες τις προσβάσεις. Ουσιαστικά, δηλαδή συνιστάται από τις γερμανικές οδηγίες οι έξοδοι κυκλικού κόμβου οποιασδήποτε μορφής να διαθέτουν πάντα μία μόνο λωρίδα, προς αποφυγή επικίνδυνων εμπλοκών μεταξύ των οχημάτων που εξέρχονται.

Όσον αφορά στην ορατότητα, τόσο στις βρετανικές (παρ. 3.3.7.1) όσο και στις αμερικανικές προδιαγραφές (παρ. 3.2.5.2) δίδεται ιδιαίτερη σημασία στον καθορισμό των απαιτούμενων μηκών ορατότητας και των αντίστοιχων πεδίων. Στις γερμανικές προσδιορίζεται ως βασική αρχή σχεδιασμού η επαρκής εποπτεία της κυκλοφορίας στον κυκλικό δακτύλιο από τους οδηγούς που εισέρχονται ή κινούνται σε αυτόν και η απρόσκοπτη οπτική επαφή μεταξύ οδηγών οχημάτων, πεζών και ποδηλατών που αλληλεπιδρούν (εμπλέκονται) σε εισόδους και εξόδους, χωρίς να ορίζονται αυστηρές απαιτήσεις ως προς

τον καθορισμό συγκεκριμένων τιμών απαραίτητων αποστάσεων ορατότητας.

Ένα θέμα λειτουργικό στο οποίο παρατηρείται απόλυτη σύγκλιση, αφορά στην προτεραιότητα των πεζών και των ποδηλατών. Οι χρήστες αυτοί προβλέπεται πως διατηρούν την προτεραιότητα κίνησης σε διαβάσεις κυκλικών κόμβων σε αστικές θέσεις και τα οχήματα πρέπει σε κάθε περίπτωση να τους την παραχωρούν. Το ακριβώς αντίθετο ισχύει στις διαβάσεις υπεραστικών κυκλικών κόμβων όπου η μηχανοκίνητη κυκλοφορία έχει προτεραιότητα.

Ένα ζήτημα που πρέπει να αναφερθεί, αφορά στο τόξο εξόδου σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (βλ. παρ. 3.2.3.5), για την ακτίνα του οποίου υφίσταται μία ασάφεια στις αμερικανικές προδιαγραφές, στις οποίες απλά προτείνεται η εν λόγω ακτίνα να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του τόξου εισόδου, χωρίς να προσδιορίζεται κάποιο εύρος συγκεκριμένων αριθμητικών τιμών. Στο σημείο αυτό θεωρείται δόκιμο να υιοθετηθεί ότι ισχύει για τα τόξα εξόδου σε κόμβο μίας λωρίδας. Επίσης, δεν διευκρινίζεται κάποιο εύρος τιμών όσον αφορά στο μήκος διαπλάτυνσης, απλά αναφέρεται ότι αυτή πρέπει να πραγματοποιείται βαθμιαία σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση.

Οι βρετανικοί κανονισμοί παρουσιάζουν δύο σημαντικές ασάφειες. Η μία αφορά στο θέμα της περιμετρικής ζώνης για τα βαρέα οχήματα, για την οποία δεν δίνονται συγκεκριμένες διαστάσεις, όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 4.3, και η άλλη στις διαστάσεις της κατευθυντήριας νησίδας, για την οποία απλά προτείνεται ένα ελάχιστο πλάτος.

Τέλος, οι αμερικανικές οδηγίες σχεδιασμού και μελέτης κυκλικών κόμβων μπορεί να χαρακτηριστούν ως πλήρεις, καθώς εξετάζουν και αναλύουν εκτενώς κάθε παράμετρο σχεδιασμού είτε αφορά στη διαχείριση της κυκλοφορίας, είτε στον λεπτομερή γεωμετρικό σχεδιασμό, είτε στον εξοπλισμό και τα υλικά κατασκευής των στοιχείων των κυκλικών κόμβων, είτε ακόμη και στις παρόδιες διαμορφώσεις. Οι βρετανικοί κανονισμοί είναι εξίσου αναλυτικοί και διαφωτιστικοί, απαιτούν όμως σε ορισμένα σημεία την επικουρία κανονισμών που

αφορούν στο σχεδιασμό των οδών. Οι γερμανικές προδιαγραφές σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων είναι περιεκτικές και σαφείς ως προς τον καθορισμό των μεγεθών γεωμετρικού σχεδιασμού και η λογική σύμφωνα με την οποία έχουν καταρτισθεί, αφήνει το περιθώριο επιλογών στο Μελετητή ως προς την τήρηση βασικών αρχών σχεδιασμού, όπως η επαρκής εκτροπή των εισερχόμενων οχημάτων και η απαιτούμενη ορατότητα.

4.3. Στοιχεία Σχεδιασμού Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων

Αριθμός Σκελών

Στη *Μ. Βρετανία* και στις *Η.Π.Α.* προτείνεται ο κυκλικός κόμβος να διαθέτει τρία ή τέσσερα σκέλη, ενώ συγκεκριμένα στις βρετανικές προδιαγραφές προτείνεται τη λύση του διπλού κυκλικού κόμβου αν πρόκειται να εξυπηρετηθούν πέντε ή και περισσότερα σκέλη. Ωστόσο, στη *Μ. Βρετανία* είναι συχνό το φαινόμενο πεντασκελών κυκλικών κόμβων, κυρίως παλαιότερης κατασκευής. Στις *γερμανικές* προδιαγραφές προβλέπεται ο σχεδιασμός κυκλικού κόμβου έως και πέντε σκελών. Όσον αφορά στους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου και οι τρεις εθνικές προδιαγραφές θεωρούν μέγιστο τον αριθμό των τεσσάρων σκελών.

Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές προβλέπεται γενικά ελάχιστη διάμετρος εγγεγραμμένου κύκλου 28m και μέγιστη 100m τόσο για αστικούς όσο και για υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους μίας ή δύο λωρίδων, ενώ προτείνεται για το φάσμα από 28m – 36m την επιλογή συμπαγούς κυκλικού κόμβου (μία λωρίδα εισόδου, κυκλικός δακτύλιος μίας λωρίδας, μία λωρίδα εξόδου). Η διάμετρος των 28m είναι η ελάχιστη διάμετρος που μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις κίνησης του οχήματος σχεδιασμού (αρθρωτό ρυμουλκό φορτηγό όχημα με ρυμουλκούμενο φορτίο ενός οπίσθιου άξονα, συνολικού μήκους

15.5m). Η τιμή των 28m είναι η μέγιστη που μπορεί να επιλεγεί για τους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου στη Μ. Βρετανία.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές προτείνονται, για έναν κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου, τιμές αυτής από 13m – 27m για το αντίστοιχο όχημα σχεδιασμού (βλ. πίν. 3.2 & σχ. 3.5), για έναν κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας διάμετρο 27m – 55m, ανάλογα και με το όχημα σχεδιασμού (βλ. πίν. 3.2 & σχ. 3.5), για έναν κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων διάμετρο 46m – 67m, ανάλογα και με το όχημα σχεδιασμού (βλ. πίν. 3.2 & σχ. 3.5).

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές προτείνονται για έναν κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου, τιμές αυτής από 13m – 26m, για έναν μικρό κυκλικό κόμβο διάμετρο 26m – 50m (26m – 40m για αστικό, 40m – 50m για υπεραστικό) και για έναν μικρό κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων διάμετρο 40m – 60m. Επισημαίνεται πως στις γερμανικές οδηγίες δεν περιέχεται κάποια σαφής αναφορά σε όχημα σχεδιασμού θεωρώντας πως είναι εφαρμόσιμο ότι ισχύει για τη χάραξη οδών, ενώ στο τέλος των οδηγιών προτείνεται η προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να επιβεβαιωθεί πως η τελική χάραξη του κυκλικού κόμβου πληροί τις απαιτήσεις κίνησης βαρέων οχημάτων.

Διάμετρος Κυκλικής Κεντρικής Νησίδας

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές προβλέπεται γενικά για τους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου μέγιστη διάμετρος κεντρικής νησίδας της τάξης των 4m και για τους υπόλοιπους κυκλικούς κόμβους ελάχιστη διάμετρος κεντρικής νησίδας αυτή των 4m.

Στις *αμερικανικές* και στις *γερμανικές* προδιαγραφές δεν τίθενται κάποια συγκεκριμένα όρια για την τιμή της διαμέτρου της κεντρικής νησίδας. Βέβαια ειδικά στις γερμανικές συνιστάται η διάμετρος της κεντρικής νησίδας πρέπει να είναι αρκούντως μεγάλη ώστε να εκτρέπει την τροχιά των εισερχόμενων οχημάτων από ευθύγραμμη σε καμπύλη.

Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές προτείνεται να λαμβάνεται το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου ίσο με 1 έως 1.2 φορές πολλαπλάσιο του μέγιστου πλάτους εισόδου του κυκλικού κόμβου, ενώ δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6m στους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου και σε αυτούς μίας λωρίδας και τα 15m στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές, ομοίως, προτείνεται να λαμβάνεται το πλάτος του κυκλικού δακτυλίου ίσο με 1 έως 1.2 φορές πολλαπλάσιο του μέγιστου πλάτους εισόδου του κυκλικού κόμβου και να κυμαίνεται από 5.30m – 6.70m στους κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου και σε αυτούς μίας λωρίδας και από 8.60m – 9.80m στους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές προτείνεται για έναν κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου πλάτος κυκλικού δακτυλίου 4.0m – 6.0m, για έναν μικρό κυκλικό κόμβο αντίστοιχο πλάτος 6.50m – 9.0m και για έναν μικρό κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων πλάτος κυκλικού δακτυλίου 9.0m – 10.0m.

Περιμετρική Ζώνη Βαρέων Οχημάτων

Όπως έχει ορισθεί, πρόκειται για την ελαφρώς υπερυψωμένη ζώνη περιμετρικά της κεντρικής νησίδας σε κυκλικούς κόμβους μίας και δύο λωρίδων, η οποία αποσκοπεί στη διευκόλυνση της κυκλικής κίνησης του οχήματος σχεδιασμού διατηρώντας παράλληλα την απαιτούμενη εκτροπή των τροχιών των υπόλοιπων οχημάτων, αποθαρρύνοντας τους οδηγούς τους να την υπερβαίνουν.

Όσον αφορά στις *βρετανικές* προδιαγραφές, προβλέπεται από αυτές πως η ελαφρώς υπερυψωμένη αυτή ζώνη κατασκευάζεται με πλάτος κατάλληλο ώστε να εξυπηρετείται στο όχημα σχεδιασμού χωρίς ωστόσο να αναφέρονται σε συγκεκριμένα όρια του πλάτους αυτού και παραπέμποντας στους γενικούς κανονισμούς οδοποιίας και στο αντίστοιχο κεφάλαιο των προσπελάσιμων ζωνών. Βέβαια από το σχήμα

3.35 είναι δυνατό να εξαχθεί με ασφάλεια το συμπέρασμα πως το πλάτος της εν λόγω ζώνης μπορεί να προσεγγίζει και τα 3m. Το ύψος της επίσης δεν καθορίζεται με σαφήνεια.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές προτείνεται η κατασκευή προσπελάσιμης περιμετρικής ζώνης, όταν απαιτείται, με πλάτος 1.0m – 4.6m και ύψος 5.0cm – 7.5cm.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές προτείνεται το πλάτος της περιμετρικής ζώνης να είναι κατά μέγιστο ίσο με το 1/3 του πλάτους του κυκλικού δακτυλίου και το ύψος της από 4.0cm – 5.0cm.

Κατά Μήκος Κλίση και Επίκλιση Οδοστρώματος Κυκλικού Δακτυλίου

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές προβλέπεται κατά μήκος κλίση 0.67% στο οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου και επίκλιση της τάξης του 2% προς το εξωτερικό όριό του. Βέβαια υφίσταται μία περαιτέρω ανάλυση για την επίκλιση σε μεγάλου μεγέθους κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων, κατά την οποία το οδόστρωμα είναι προτιμότερο να κατασκευάζεται αμφικλινές (βλ. σχ. 3.55 & σχ. 3.56).

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές δεν αναφέρεται κάποια πρόταση όσον αφορά στην κατά μήκος κλίση, παρά μόνο για την επίκλιση, η οποία είναι της τάξης του 2%.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές προτείνεται κατά μήκος κλίση 0.6% στο οδόστρωμα του κυκλικού δακτυλίου και επίκλιση της τάξης του 2.5% προς το εξωτερικό όριό του.

Διάταξη των Αξόνων των Προσβάσεων

Τόσο στις *βρετανικές* και στις *αμερικανικές* όσο και στις *γερμανικές* προδιαγραφές προτείνεται οι άξονες των προσβάσεων να διέρχονται από το κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου. Ωστόσο, όσον αφορά στους κυκλικούς κόμβους μίας και δύο λωρίδων, και στις *βρετανικές* αλλά και στις *αμερικανικές* δίδεται ένα περιθώριο απόκλισης του άξονα προς τα δεξιά 7.0m – 10.0m στις *βρετανικές* (βλ.

σχ. 3.47) και προς τα αριστερά έως και κατά $20^{\circ} - 30^{\circ}$ στις αμερικανικές (βλ. σχ. 3.22) προκειμένου, όταν απαιτείται, να αυξάνεται η εκτροπή της τροχιάς του εισερχόμενου οχήματος και να μειώνεται η ταχύτητά του στα αποδεκτά όρια.

Κατευθυντήριες Διαχωριστικές Νησίδες

Όσον αφορά σε κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου το βρετανικό και αμερικανικό πλαίσιο προδιαγραφών συγκλίνουν πως η νησίδα επιβάλλεται να κατασκευάζεται αν όχι με την προτιμότερη μορφή της υπερυψωμένης κρασπεδωμένης νησίδας, τουλάχιστον με τη μορφή της επιφάνειας με το σχήμα της νησίδας, η οποία φέρει λοξή διαγράμμιση ή χρωματίζεται πλήρως. Στις γερμανικές οδηγίες η ύπαρξη νησίδας οποιασδήποτε μορφής είναι προαιρετική, ανάλογα με τους χωρικούς περιορισμούς.

Στις βρετανικές προδιαγραφές προβλέπεται η κατασκευή υπερυψωμένης κατευθυντήριας νησίδας ή η δημιουργία αντίστοιχης χρωματισμένης/διαγραμμισμένης επιφάνειας σε αστικούς και υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους μίας και δύο λωρίδων με τις πλευρές της νησίδας σε είσοδο και έξοδο να διαμορφώνονται ως τόξα, οι φορείς των οποίων εφάπτονται στην κεντρική νησίδα (βλ. σχ. 3.38), συμβάλλοντας στην αποτελεσματική εκτροπή κατά την είσοδο και την άρτια καθοδήγηση του οχήματος από τη γραμμή εισόδου στον κυκλικό δακτύλιο και από αυτόν στην έξοδο με ασφάλεια και έλεγχο της ταχύτητας.

Στις αμερικανικές προδιαγραφές προτείνεται η κατασκευή υπερυψωμένης και κρασπεδωμένης κατευθυντήριας νησίδας σε κάθε περίπτωση κυκλικού κόμβου μίας και δύο λωρίδων, με τις πλευρές της σε είσοδο και έξοδο να διαμορφώνονται ως τόξα, οι φορείς των οποίων εφάπτονται στην κεντρική νησίδα (βλ. σχ. 3.10), συμβάλλοντας στην αποτελεσματική εκτροπή κατά την είσοδο και την άρτια καθοδήγηση του οχήματος από τη γραμμή εισόδου στον κυκλικό δακτύλιο και από αυτόν στην έξοδο με ασφάλεια και έλεγχο της ταχύτητας.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές, ομοίως με τις βρετανικές, προβλέπεται η κατασκευή υπερυψωμένης κατευθυντήριας νησίδας ή η δημιουργία αντίστοιχης χρωματισμένης/διαγραμμισμένης επιφάνειας, χωρίς όμως να μεριμνάται η καμπυλωτή διαμόρφωση των πλευρών της νησίδας ώστε να προάγεται η εκτροπή της τροχιάς εισόδου των οχημάτων.

Όσον αφορά στις διαστάσεις της κατευθυντήριας νησίδας, στις βρετανικές προδιαγραφές δεν αναφέρονται διαστάσεις. Ομοίως και στις *γερμανικές*, εκτός από το ελάχιστο πλάτος που πρέπει να είναι 1.60m ή 2.0m όταν υπάρχει διάβαση πεζών ή 2.50m όταν υπάρχει ποδηλατόδρομος. Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές, οι οποίες είναι ιδιαίτερα αναλυτικές όσον αφορά στο θέμα αυτό, προτείνεται για κυκλικό κόμβο μικρής διαμέτρου ελάχιστο εμβαδό νησίδας 4.50m^2 , για κυκλικό κόμβο μίας ή δύο λωρίδων ελάχιστο μήκος 15.0m (επιθυμητό: 30m σε αστικές περιοχές και 45.0m σε υπεραστικές), ενώ το ελάχιστο πλάτος της νησίδας είναι 1.80m. Στις *αμερικανικές* οδηγίες ακόμη περιλαμβάνονται και οι ακτίνες στρογγύλευσης των αιχμών της νησίδας (βλ. σχ. 3.9).

Πλάτος Εισόδου

Στις βρετανικές προδιαγραφές προτείνονται ως καταλληλότερες τιμές για το πλάτος εισόδου (βλ. σχ. 3.37) 3.0m – 4.50m για κάθε λωρίδα, ενώ διευκρινίζεται πως σε εισόδους δύο λωρίδων ιδανική είναι μία τιμή μεταξύ 3.0m – 3.50m για κάθε λωρίδα και σε είσοδο μίας λωρίδας το προτιμώμενο πλάτος είναι 4.50m.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές προτείνεται το πλάτος εισόδου (βλ. σχ. 3.4 & σχ. 3.10) να κυμαίνεται από 4.20m – 5.50m σε είσοδο μίας λωρίδας και από 3.70m – 4.60m για κάθε λωρίδα σε εισόδους δύο λωρίδων.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές υπαγορεύεται πως σε αστικούς κυκλικούς κόμβους κάθε λωρίδα εισόδου πρέπει να διαθέτει πλάτος (βλ. σχ. 3.57) της τάξης των 3.25m – 3.75m, ενώ σε υπεραστικές

περιοχές το αντίστοιχο πλάτος κάθε λωρίδας εισόδου κυμαίνεται από 3.50m – 4. 0m.

Διαπλάτυνση

Στους *βρετανικούς* κανονισμούς προβλέπεται διαπλάτυνση (βλ. σχ. 3.39) που κυμαίνεται από 2.50m έως και το πλάτος της υπάρχουσας λωρίδας εισόδου δημιουργώντας επαρκή χώρο στη διατομή της εισόδου για δύο οχήματα. Η διαπλάτυνση πραγματοποιείται βαθμιαία σε μήκος κατ' ελάχιστο 10m αστικές περιοχές και 50m σε υπεραστικές.

Στις *αμερικανικές* οδηγίες προβλέπεται διαπλάτυνση (βλ. σχ. 3.17) με τιμή ίση με την τιμή του πλάτους της υπάρχουσας λωρίδας και η οποία πραγματοποιείται σε μήκος το οποίο δεν διευκρινίζεται αλλά πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο.

Στις *γερμανικές* οδηγίες δεν προβλέπεται κανενός είδους διαπλάτυνση στην είσοδο.

Ακτίνα Τόξου Εισόδου

Οι προτεινόμενες από τις *βρετανικές* προδιαγραφές τιμές για την ακτίνα του τόξου εισόδου κυμαίνονται γενικά από 20m – 100m (στους Συμπαγείς κυκλικούς κόμβους: 15m – 20m), ενώ για κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου και όχημα σχεδιασμού με μικρές απαιτήσεις είναι δυνατό να επιλέγεται η ελάχιστη τιμή των 10m. Επισημαίνεται πως ακτίνες μεγαλύτερες των 100m παρέχουν ανεπαρκή εκτροπή.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές προβλέπεται για την ακτίνα του τόξου εισόδου σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας (βλ. σχ. 3.10) τιμές από 15m – 30m. Όσον αφορά σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων είναι εφικτό να χρησιμοποιείται μία δίτοξη καμπύλη (βλ. σχ. 3.21) με την ακτίνα του πρώτου τόξου να λαμβάνει τιμές από 20m – 35m και του δεύτερου τιμές μεγαλύτερες των 45m.

Στις *γερμανικές* οδηγίες προτείνεται η ακτίνα του τόξου εισόδου (βλ. πίν. 3.10) να λαμβάνει τιμές 8.0m – 10.0m για κυκλικούς κόμβους

μικρής διαμέτρου, 10.0m – 14.0m για αστικούς και 14.0m – 16.0m για υπεραστικούς μικρούς κυκλικούς κόμβους, 12.0m – 16.0m για αστικούς και 14.0m – 16.0m για υπεραστικούς μικρούς κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων.

Πλάτος Εξόδου

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές προτείνεται, όσον αφορά στο πλάτος εξόδου, στους Συμπαγείς κυκλικούς κόμβους να είναι ίσο με το πλάτος εισόδου, ενώ σε έναν Συνήθη κυκλικό κόμβο το πλάτος εξόδου να κυμαίνεται από 7.0m – 7.50m (βλ. σχ. 3.48) για έξοδο μίας λωρίδας και από 10.0m – 11.0m για έξοδο δύο λωρίδων.

Στις *αμερικανικές* οδηγίες προτείνεται πλάτος λωρίδων εξόδου ίσο με αυτό των λωρίδων εισόδου.

Στις *γερμανικές* προδιαγραφές υπαγορεύεται πως σε αστικούς κυκλικούς κόμβους κάθε λωρίδα εισόδου πρέπει να διαθέτει πλάτος της τάξης των 3.50m – 4.0m, ενώ σε υπεραστικές περιοχές το αντίστοιχο πλάτος κάθε λωρίδας εισόδου κυμαίνεται από 3.75m – 4.50m.

Ακτίνα Τόξου Εξόδου

Στις *βρετανικές* προδιαγραφές υπαγορεύεται πως η ακτίνα του τόξου εξόδου (βλ. σχ. 3.48) στους Συμπαγείς κυκλικούς κόμβους είναι ίση με αυτή του τόξου εισόδου και κυμαίνεται από 15m – 20m, ενώ στους υπόλοιπους επιβάλλεται να είναι μεγαλύτερη και να μην υπερβαίνει τα 100m.

Στις *αμερικανικές* προδιαγραφές υπαγορεύεται πως η ακτίνα του τόξου εξόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης της εισόδου και προτείνουν τιμές από 30m – 60m σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας, ενώ αν κριθεί απαραίτητο λόγω αυξημένης εκτροπής στην είσοδο ή για την εξυπηρέτηση βαρέων οχημάτων είναι δυνατό να επιλεγεί μία ακτίνα έως και 245m (βλ. σχ. 3.12).

Στις *γερμανικές* οδηγίες προτείνεται η ακτίνα του τόξου εξόδου (βλ. πίν. 3.10) να λαμβάνει τιμές 8.0m – 10.0m για κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου, 12.0m – 16.0m για αστικούς και 16.0m – 18.0m για υπεραστικούς μικρούς κυκλικούς κόμβους, 12.0m – 16.0m για αστικούς και 16.0m – 18.0m για υπεραστικούς μικρούς κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά τα φάσματα των αριθμητικών τιμών που προτείνονται για κάθε μέγεθος σχεδιασμού από τις αντίστοιχες προδιαγραφές για κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας και αντίστοιχα στον πίνακα 4.3 για κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων.

Πίνακας 4.2. Μεγέθη Σχεδιασμού Κυκλικού Κόμβου Μίας Λωρίδας.

Στοιχεία Κυκλικού Κόμβου Μίας Λωρίδας	Πλαίσιο Προδιαγραφών σε:		
	Μ. Βρετανία	Η.Π.Α.	Γερμανία
Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου (m)	28m – 100m (συμπαγής: 28 – 36)	27m – 55m	26m – 50m
Πλάτος Εισόδου (m)	3.0m – 4.50m (προτ. 4.50m)	4.20m – 5.50m	3.25m – 3.75m (αστικός)
			3.50m – 4.0m (υπεραστικός)
Πλάτος Εξόδου (m)	Ίσο με πλάτος εισόδου (7.0m – 7.5m)	Ίσο με πλάτος εισόδου	3.50m – 4.0m (αστικός)
			3.75m – 4.50m (υπεραστικός)
Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (Μίας Λωρίδας) (m)	1 – 1.2 φορές το μέγιστο πλάτος εισόδου ($\leq 6.0m$)	1 – 1.2 φορές το μέγιστο πλάτος εισόδου (μεταξύ 5.30m – 6.70m)	6.50m – 9.0m
Μήκος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας (m)	-	Min: 15.0 m ≥30m (αστικός) ≥45m (υπεραστικός)	-
Ελάχιστο Πλάτος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας (στη διάβαση πεζών) (m)	-	2.40m (στη διάβαση πεζών, σε απόσταση 10m από εγγεγραμμένο κύκλο)	2.0m (στη διάβαση πεζών, σε απόσταση 5m-8m από εγγεγραμμένο κύκλο)
Ελάχιστο Μήκος Διαπλάτυνσης (m)	10m (αστικός)	Όσο το δυνατό μεγαλύτερο	-
	50m (υπεραστικός)		
Ακτίνα Τόξου Εισόδου(m)	20m – 100m (συμπαγής: 15m – 20m)	15m – 30m (προτιμ. 20m-25m)	10m – 14m (αστικός)
			14m – 16m (υπεραστικός)
Ακτίνα Τόξου Εξόδου (m)	20m – 100m (συμπαγής: 15m – 20m)	30m – 60m ή και μεγαλύτερη αν κρίνεται απαιτητό	12m – 16m (αστικός)
			16m – 18m (υπεραστικός)

Πίνακας 4.3. Μεγέθη Σχεδιασμού Κυκλικού Κόμβου Δύο Λωρίδων.

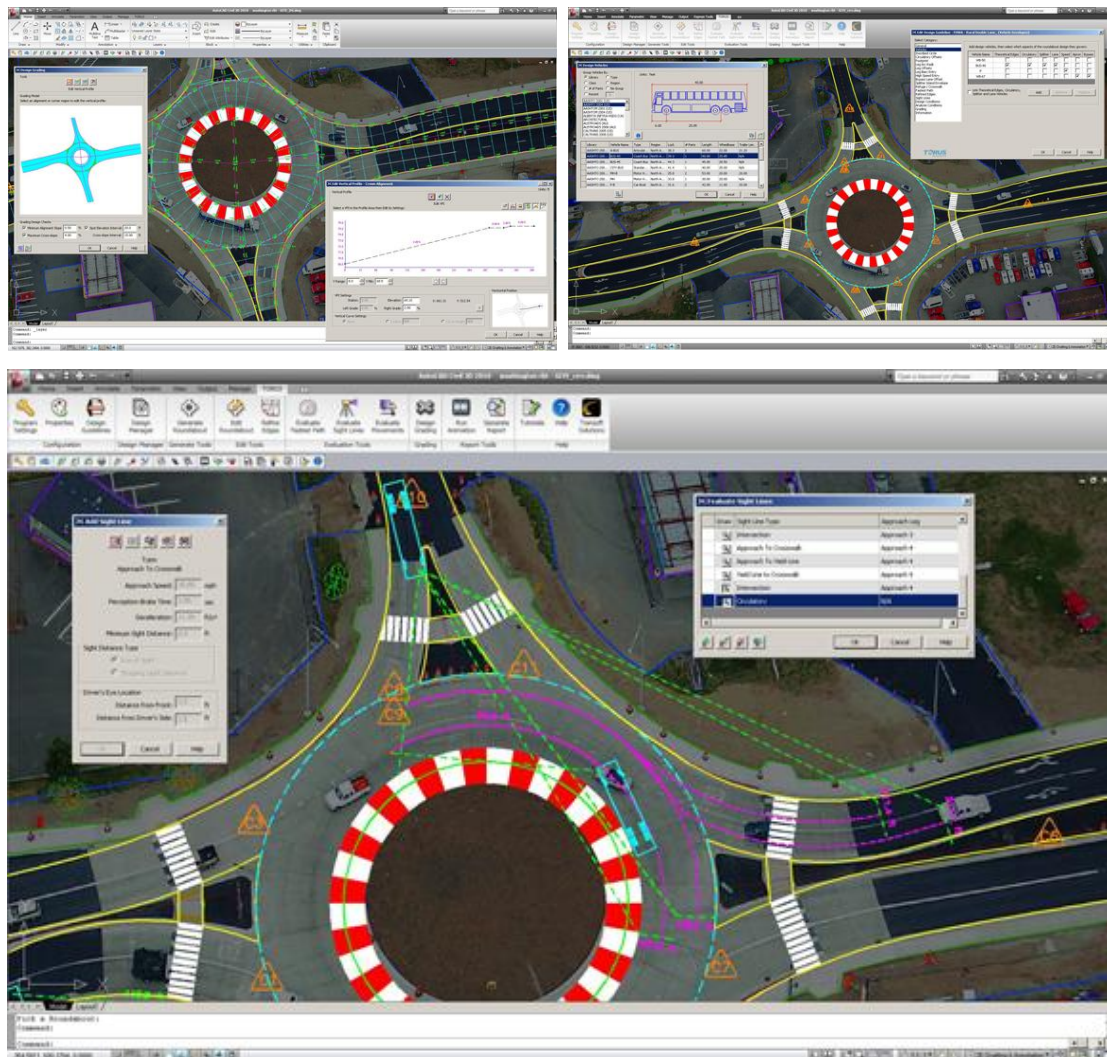
Στοιχεία Κυκλικού Κόμβου Δύο Λωρίδων	Πλαίσιο Προδιαγραφών σε:		
	Μ. Βρετανία	Η.Π.Α.	Γερμανία
Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου (m)	28m – 100m	46m – 67m	40m – 60m
Πλάτος κάθε Λωρίδας Εισόδου (m)	3.0m – 4.50m (πρωτ. 3.0m – 3.50m)	3.70m – 4.60m	3.25m – 3.75m (αστικός)
			3.50m – 4.0m (υπεραστικός)
Πλάτος κάθε Λωρίδας Εξόδου (m)	5.0m – 5.50m	Ίσο με πλάτος εισόδου	3.50m – 4.0m (αστικός)
			3.75m – 4.50m (υπεραστικός)
Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου (Δύο Λωρίδων) (m)	1 – 1.2 φορές το μέγιστο πλάτος εισόδου (≤15.0m)	8.60m – 9.80m	9.0m – 10.0m
Μήκος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας (m)	-	Min: 15.0 m	-
		≥30m (αστικός)	-
Ελάχιστο Πλάτος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας (στη διάβαση πεζών) (m)	-	2.40m (στη διάβαση πεζών, σε απόσταση 10m από εγγεγραμμένο κύκλο)	2.0m (στη διάβαση πεζών, σε απόσταση 5m-8m από εγγεγραμμένο κύκλο)
Ελάχιστο Μήκος Διαπλάτυνσης (m)	10m (αστικός)	Όσο το δυνατό μεγαλύτερο	-
	50m (υπεραστικός)		
Ακτίνα Τόξου Εισόδου(m)	20m – 100m	Δίτοξη Καμπύλη: Ακτίνα 1 ^{ου} τόξου: 20m – 35m Ακτίνα 2 ^{ου} τόξου: ≥45m	12m – 16m (αστικός)
			12m – 16m (υπεραστικός)
Ακτίνα Τόξου Εξόδου (m)	20m – 100m	30m – 60m ή και μεγαλύτερη αν κρίνεται απαιτητό	12m – 16m (αστικός)
			16m – 18m (υπεραστικός)

5. Ανάπτυξη Λογισμικού για το Γεωμετρικό Σχεδιασμό Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου

5.1. Ανασκόπηση υφιστάμενων προγραμμάτων Η/Υ, ειδικευμένων στον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων

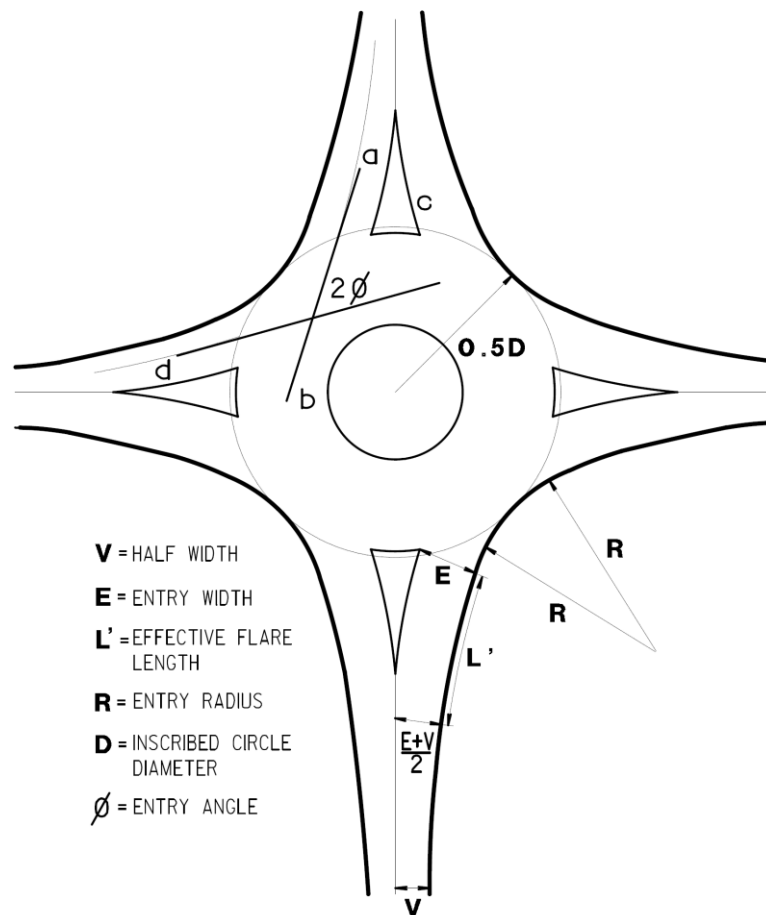
Τα πιο δημοφιλή προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή για τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων προσφέρουν τη δυνατότητα τόσο του γεωμετρικού σχεδιασμού ενός κόμβου, όσο και της αξιολόγησης της λειτουργικότητάς του, όσον αφορά στην κυκλοφοριακή του ικανότητα (φόρτοι, ουρές, καθυστερήσεις κ.τ.λ.), την ασφάλεια κ.ά. Διεθνώς χρησιμοποιούνται προγράμματα διάφορων εταιρειών λογισμικού, με τα παρακάτω να επικρατούν και να υπερτερούν σε καίρια σημεία τόσο όσον αφορά το περιβάλλον και τη συμβατότητά τους με άλλα δημοφιλή προγράμματα συναφούς αντικειμένου όσο και για τη δυνατότητα προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο στις απαιτήσεις του σχεδιαστή – μελετητή μηχανικού.

TORUS Roundabouts (Transoft Solutions)



Σχήμα 5.1. Εικόνες από το περιβάλλον σχεδίασης του TORUS.

Πρόκειται για ένα προηγμένο σχεδιαστικό (CAD - based) πρόγραμμα (κυκλοφορεί στην τρίτη του έκδοση) και προορίζεται **αποκλειστικά** για τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων. Παράγει τις αποδοτικότερες γεωμετρικά λύσεις βασιζόμενο κυρίως στην κίνηση και τη δυνατότητα ελιγμών του οχήματος σχεδιασμού συνυπολογίζοντας τις απαιτήσεις για ελεγχόμενες λειτουργικές ταχύτητες και επαρκή ορατότητα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του TORUS αποτελεί η δυνατότητα δυναμικής επέμβασης στη διαμόρφωση από πλευράς του χρήστη σε κάθε σημείο της διαδικασίας σχεδιασμού, που συνεπάγεται αξιόπιστες και οικονομικές (τόσο σε χρόνο, όσο και σε κόστος) κατασκευαστικές λύσεις.

RODEL

Σχήμα 5.2. Κύριες παράμετροι σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου κατά τη λογική του RODEL.

Το **RODEL** (ROundabouts DELay) είναι ένα αμφίδρομο πρόγραμμα προοριζόμενο για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων. Αναπτύχθηκε από το Τμήμα Οδών του Συμβουλίου της Κομητείας του Staffordshire (Highways Department of Staffordshire County Council) στην Αγγλία.

Ο σκοπός του **RODEL** είναι:

- Να βελτιώσει την ποιότητα του σχεδιασμού.
- Να μειώσει δραστικά τον χρόνο σχεδιασμού.
- Να μειώσει το κόστος της έκτασης γης και των υπηρεσιών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου.

- Να επιτρέψει την ταχύτερη εξέταση πολυάριθμων λύσεων διαμόρφωσης, με κύριο γνώμονα την ασφάλεια.
- Να εξάγει την βέλτιστη χάραξη ικανοποιώντας αντικρουόμενες παραμέτρους όπως το κόστος, η κυκλοφοριακή ικανότητα και η ασφάλεια.

Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι λειτουργίας του προγράμματος:

- Στην πρώτη περίπτωση ο χρήστης διευκρινίζει τους στόχους για τη μέση καθυστέρηση και τη μέγιστη ουρά αναμονής. Το λογισμικό RODEL παράγει άμεσα διάφορους συνδυασμούς της γεωμετρίας εισόδου για κάθε πρόσβαση, βασισμένους στα δεδομένα που εισήχθησαν. Ανάλογα με τις λεπτομέρειες και τους περιορισμούς ανά περιοχή, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό του κυκλικού κόμβου.
- Στην δεύτερη περίπτωση ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή ο χρήστης επιλέγει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εισόδου κάθε πρόσβασης, καθώς και τα δεδομένα που αφορούν στην κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου και το πρόγραμμα εξάγει τα αποτελέσματα για τις ουρές αναμονής και τις καθυστερήσεις που προβλέπεται πως θα προκύψουν σε κάθε πρόσβαση. Έτσι το πρόγραμμα δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη, εάν προκύπτουν μεγάλες καθυστερήσεις, να μεταβάλλει τη διαμόρφωση σε χαρακτηριστικά σημεία του κόμβου ώστε, δοκιμαστικά, τελικά να αναχθεί στη βέλτιστη λύση.

SIDRA

Το πρόγραμμα **SIDRA** (Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid) είναι το πιο διαδεδομένο λογισμικό κυκλοφοριακής τεχνικής για τους κυκλικούς κόμβους. Έχει αναπτυχθεί από την ARRB Transport Research στην Αυστραλία. Αποτελεί ένα λογισμικό κυκλοφοριακής τεχνικής, όμως παρέχει την δυνατότητα γεωμετρικού σχεδιασμού ενός άρτιου λειτουργικά κυκλικού κόμβου.

5.2. Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό ισόπεδων κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας

Στο ομολογουμένως στενό (όσον αφορά στις μεγάλες απαιτήσεις για την υλοποίηση ενός αξιόλογου προγράμματος) πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα, ο αλγόριθμος του οποίου είναι γραμμένος σε γλώσσα Fortran, το οποίο θα «διαβάξει» τις προκαθορισμένες από το χρήστη αριθμητικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού (βλ. πίν. 6.1) και θα «παράγει» την διαμορφούμενη κάτοψη ενός τρισκελούς ή τετρασκελούς κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας σε περιβάλλον AutoCAD (Autodesk). Ο κυκλικός κόμβος πληροί τις αμερικανικές προδιαγραφές.

Το πρόγραμμα αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας, καθώς επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιεί αναδιαμορφώσεις μεταβάλλοντας τις τιμές των αντίστοιχων μεγεθών και να εμφανίζεται σε πραγματικό χρόνο το αποτέλεσμα της χάραξης στο ευέλικτο σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος AutoCAD, το οποίο είναι ένα εκ των δημοφιλέστερων προγραμμάτων σχεδίασης στην αγορά του αντίστοιχου λογισμικού. Ο αλγόριθμος του προγράμματος θα γραφεί σε γλώσσα Fortran στη σουίτα Microsoft Developer Studio και το εκτελέσιμο αρχείο (.exe) θα εκτελείται σε λειτουργικό Microsoft Windows 7.

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα μεγέθη των οποίων οι αριθμητικές τιμές πρέπει να προσδιοριστούν από τον χρήστη – υπεύθυνο σχεδιασμού ώστε να προκύψει ο κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας.

Πίνακας 5.1. Προτεινόμενα φάσματα τιμών των προσδιοριστέων μεγεθών σχεδιασμού για κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας.

Ισόπεδος Κυκλικός Κόμβος Μίας Λωρίδας					
α/α Σκέλους	#1	#2	#3	#4	#5
Καρτεσιανές Συντεταγμένες (x_i, y_i) «τυχαίου» σημείου άξονα σκέλους					
Γωνία θ άξονα σκέλους ως προς x , $\theta_i = \arctan \frac{y_i}{x_i}$ (μέτρηση αντιωρολογιακής φοράς) (επισημαίνεται πως η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών σκελών δεν πρέπει να είναι σε καμία περίπτωση μικρότερη των 60°)					
Γωνία Εισόδου ϕ (Πρέπει $20^\circ - 60^\circ$)**					
Αρχικό Πλάτος Εισόδου (Ημιπλάτος* Πρόσβασης)					
Τελικό Πλάτος Εξόδου (Ημιπλάτος* Πρόσβασης)					
Προσδιοριστέα Μεγέθη Σχεδιασμού	Προτεινόμενες Τιμές	Επιλεγείσες Τιμές			
Εξωτερική Διάμετρος* D_{ex} (εγγεγραμμένου κύκλου) (m)	27 – 55				
Πλάτος Εισόδου* w_{in} (m)	4.20 – 5.50 (προτιμ. 4.50-5.0)				
Πλάτος Εξόδου* w_{out} (m)	4.20 – 5.50 (προτιμ. 4.50-5.0)				
Πλάτος Κυκλικού Δακτυλίου w_c $= (1.0 \sim 1.2) \cdot w_{in}^{max}$ (m)	5.30 – 6.70				
Μήκος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας l_{isi} (m)	15 – 60 (προτιμ. 20 – 50)				
Πλάτος Κατευθυντήριας Διαχωριστικής Νησίδας w_i (m)	$1.80 + 2 \cdot 0.30$ (min στη διάβαση πεζών, σε απόσταση 10m από εγγεγραμμένο κύκλο) (προτιμ. >3.0)				
Ενεργό Μήκος Διαπλάτυνσης* L_{eff} (m) [Συνολικό Μήκος Διαπλάτυνσης $L_{flare} = 2 \cdot L_{eff}$]	5m – 100m urban (min): 5 rural (min): 25				
Ακτίνα Τόξου Εισόδου R_{in} (m)	15 – 30 (προτιμ. 20-25)				
Ακτίνα Τόξου Εξόδου R_{out} (m)	30 – 60 (ή όπως είσοδο)				
Ακτίνες Στρογγύλευσης αιχμών νησίδας (στην αιχμή αρχής και στις αιχμές τέλους) (m)	Αρχής: 0.60 (min) Τέλους: 0.30 (standard)				
Offset διαγραμμίσεων (m)	0.30				

* Παράμετροι με σημαντική επιρροή στη χωρητικότητα, ** Έλεγχος μετά τη χάραξη

Διατύπωση αναλυτικών γεωμετρικών σχέσεων

Στην προκείμενη παράγραφο διατυπώνονται όλες οι γεωμετρικές εξισώσεις με τις οποίες καθίσταται εφικτή η γραφή του αλγόριθμου και η χάραξη του κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας κυκλοφορίας μέσω του προγράμματος που θα δημιουργηθεί βάσει του αλγορίθμου. Επισημαίνεται πως η γεωμετρική χάραξη πραγματοποιείται σε δισδιάστατο περιβάλλον, **δεδομένου ότι οι άξονες των οδικών τμημάτων (σκελών) του κόμβου διέρχονται από το κέντρο του εγγεγραμμένου κύκλου και της κυκλικής κεντρικής νησίδας, το κέντρο του κυκλικού κόμβου, το οποίο θεωρείται και η αρχή του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων $O(0,0)$.**

Προκειμένου να ευρεθούν τα απαραίτητα σημεία που ορίζουν την αρχή και το τέλος των καμπύλων που διαμορφώνουν τον κόμβο επιλύονται μη γραμμικά συστήματα δύο εξισώσεων και δύο αγνώστων. Παρουσιάζονται οι γενικές λύσεις, σύμφωνα με τις οποίες επιλύονται όλα τα συστήματα.

Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται σχήματα, τα οποία συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της λογικής σχεδιασμού που ακολουθείται.

- **Γενική Λύση #1 (ΓΛ1)**

Για το σύστημα της μορφής:

$$\{(x - a)^2 + (y - b)^2 = c, x^2 + y^2 = d\}$$

Προκύπτουν οι πραγματικές λύσεις:

$$b = 0, a \neq 0, x = \frac{a^2 - c + d}{2a}, y = -\sqrt{d - \frac{(a^2 - c + d)^2}{4a^2}}$$

$$b = 0, a \neq 0, x = \frac{a^2 - c + d}{2a}, y = \sqrt{d - \frac{(a^2 - c + d)^2}{4a^2}}$$

και

$$a^2 + b^2 \neq 0,$$

$$x = \frac{1}{2(a^2 + b^2)}(a^3 - \sqrt{(-b^2(a^4 + 2a^2b^2 - 2a^2c - 2a^2d + b^4 - 2b^2c - 2b^2d + c^2 - 2cd + d^2)) + ab^2 - ac + ad}, b \neq 0,$$

$$y = \frac{1}{2b(a^2 + b^2)}(a^2b^2 + a\sqrt{(-b^2(a^4 + 2a^2b^2 - 2a^2c - 2a^2d + b^4 - 2b^2c - 2b^2d + c^2 - 2cd + d^2)) + b^4 - b^2c + b^2d}$$

$$a^2 + b^2 \neq 0,$$

$$x = \frac{1}{2(a^2 + b^2)}(a^3 + \sqrt{(-b^2(a^4 + 2a^2b^2 - 2a^2c - 2a^2d + b^4 - 2b^2c - 2b^2d + c^2 - 2cd + d^2)) + ab^2 - ac + ad}, b \neq 0,$$

$$y = \frac{1}{2b(a^2 + b^2)}(a^2b^2 - a\sqrt{(-b^2(a^4 + 2a^2b^2 - 2a^2c - 2a^2d + b^4 - 2b^2c - 2b^2d + c^2 - 2cd + d^2)) + b^4 - b^2c + b^2d}$$

- **Γενική Λύση #2 (ΓΛ2)**

Για το σύστημα της μορφής:

$$\{(x - a)^2 + (y - b)^2 = c, y = kx + l\}$$

Προκύπτουν οι πραγματικές λύσεις:

$$k^2 + 1 \neq 0, x = \frac{1}{k^2 + 1} \left(-\sqrt{-a^2 k^2 + 2abk - 2akl - b^2 + 2bl + ck^2 + c - l^2} + a + bk - kl \right), y = \frac{1}{k^2 + 1} \left(-k \sqrt{-a^2 k^2 + 2abk - 2akl - b^2 + 2bl + ck^2 + c - l^2} + ak + bk^2 + l \right)$$

$$k^2 + 1 \neq 0, x = \frac{1}{k^2 + 1} \left(\sqrt{-a^2 k^2 + 2abk - 2akl - b^2 + 2bl + ck^2 + c - l^2} + a + bk - kl \right), y = \frac{1}{k^2 + 1} \left(k \sqrt{-a^2 k^2 + 2abk - 2akl - b^2 + 2bl + ck^2 + c - l^2} + ak + bk^2 + l \right)$$

- **Γενική Λύση #3 (ΓΛ3)**

Για το σύστημα της μορφής:

$$\{x^2 + y^2 = a, y = bx + c\}$$

Προκύπτουν οι πραγματικές λύσεις:

$$b^2 + 1 \neq 0, x = \frac{-\sqrt{ab^2 + a - c^2} - bc}{b^2 + 1}, y = \frac{c - b\sqrt{ab^2 + a - c^2}}{b^2 + 1}$$

$$b^2 + 1 \neq 0, x = \frac{\sqrt{ab^2 + a - c^2} - bc}{b^2 + 1}, y = \frac{b\sqrt{ab^2 + a - c^2} + c}{b^2 + 1}$$

Στοιχεία Σχεδιασμού:**Κυκλική Κεντρική Νησίδα**

Σχεδιάζεται με κέντρο την αρχή των αξόνων $O(0,0)$ και ακτίνα:

$$R_1 = (D_{ex} - 2 \cdot w_c) / 2$$

Η εξίσωση της κεντρικής νησίδας είναι:

$$\text{κύκλος } (c_1): \quad x^2 + y^2 = R_1^2$$

Εγγεγραμμένος Κύκλος

Σχεδιάζεται με κέντρο την αρχή των αξόνων $O(0,0)$ και ακτίνα:

$$R_2 = D_{ex} / 2$$

Η εξίσωση του εγγεγραμμένου κύκλου είναι:

$$\text{κύκλος } (c_2): \quad x^2 + y^2 = R_2^2$$

Άξονας κάθε σκέλους (πρόσβασης)

Εφόσον, κατά την αρχική παραδοχή, οι άξονες όλων των σκελών διέρχονται από το $O(0,0)$, αρκεί ένα ακόμα (τυχαίο) σημείο κάθε άξονα ώστε να οριστεί η εξίσωσή του.

Έστω ένας i – σκελής κυκλικός κόμβος, $i = 1$ έως 5 και έστω (x_{ti}, y_{ti}) τυχαίο σημείο του i σκέλους. Τότε:

- Πολικές Συντεταγμένες $|\vec{q}_i|$, θ , όπου το διάνυσμα

$$\vec{q}_i = (x_{ti} - 0, y_{ti} - 0), \quad |\vec{q}_i| = \sqrt{(x_{ti}^2 + y_{ti}^2)}$$
 και θ_i η γωνία που σχηματίζει ο οδικός άξονας με τον άξονα των x .
- Καρτεσιανές Συντεταγμένες x_i , y_i :

$$x_i = |\vec{q}_i| \cos \theta_i \quad \text{και} \quad y_i = |\vec{q}_i| \sin \theta_i$$

Ισχύει: $\frac{y_i}{x_i} = \tan \theta_i = \lambda_i$, όπου λ_i ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας i .

Άρα: $\theta_i = \tan^{-1} \lambda_i = \tan^{-1} \frac{y_i}{x_i}$ ή $\theta_i = \arctan \lambda_i = \arctan \frac{y_i}{x_i}$

Και: $y_i = \tan \theta_i * x_i$ ή $y_i = \lambda_i * x_i$

Οριογραμμές κάθε σκέλους (πρόσβασης)

Έστω ότι τα πλάτη της δεξιάς και αριστερής οριογραμμής του i – σκέλους είναι w_{ir} και w_{il} αντίστοιχα. Προκύπτουν και οι αντίστοιχες εξισώσεις:

Δεξιά οριογραμμή: $y = \lambda_i x + \frac{w_{ir}}{\cos \theta_i}$

Αριστερή οριογραμμή: $y = \lambda_i x - \frac{w_{il}}{\cos \theta_i}$

Σημείο τομής άξονα κάθε σκέλους με τον εγγεγραμμένο κύκλο

Επιλύεται το σύστημα των δύο εξισώσεων:

$$x^2 + y^2 = R_2^2$$

$$y_i = \tan \theta_i * x_i$$

οπότε προκύπτει το σημείο τομής (x_{0i}, y_{0i}) κάθε i – άξονα:

$$x_{0i} = \pm \sqrt{\frac{R_2^2}{1+(\tan \theta_i)^2}}, \quad y_{0i} = x_{0i} \tan \theta_i$$

ή

$$x_{0i} = \pm \sqrt{\frac{R_2^2}{1+\lambda_i^2}}, \quad y_{0i} = \lambda_i x_{0i}$$

Περιοχή κατευθυντήριας – διαχωριστικής νησίδας (η συνολικά αποκλεισμένη, που οριοθετείται από τη διαγράμμιση)

Ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Χάραξη κύκλου με κέντρο το σημείο (x_{0i}, y_{0i}) και ακτίνα $w_i/2$.

$$(x - x_{0i})^2 + (y - y_{0i})^2 = \left(\frac{w_i}{2}\right)^2, \text{ κύκλος } (c_{wi})$$

2. Σημεία τομής του κύκλου (c_{wi}) με τον εγγεγραμμένο κύκλο (c_2) .
Επιλύεται το σύστημα των δύο εξισώσεων:

$$(x - x_{0i})^2 + (y - y_{0i})^2 = \left(\frac{w_i}{2}\right)^2, \text{ όπου } w_i: \text{ πλάτος νησίδας}$$

$$x^2 + y^2 = R_2^2$$

Προκύπτουν τα σημεία (σύμφωνα με τη ΓΛ1) με συντεταγμένες:

$$(x_{k1}, y_{k1}) \text{ και } (y_{k2}, x_{k2})$$

αν τεθεί:

$$\mathbf{a} = x_{0i}, \quad \mathbf{b} = y_{0i}, \quad \mathbf{c} = \left(\frac{w_i}{2}\right)^2, \quad \mathbf{d} = R_2^2$$

3. Χάραξη κύκλου με κέντρο $(0,0)$ και ακτίνα $R_3=R_2+L_{fli}$, όπου L_{fli} το συνολικό μήκος διαπλάτυνσης.

Η εξίσωση του κύκλου:

$$\text{κύκλος } (c_3): \quad x^2 + y^2 = R_3^2$$

4. Σημείο τομής του κύκλου (c_3) με τον i – άξονα του σκέλους.

$$x_{k3} = \pm \sqrt{\frac{R_3^2}{1+\lambda_i^2}}, \quad y_{k3} = \lambda_i x_{k3}$$

5. Χάραξη ευθύγραμμων τμημάτων με κοινή αρχή το σημείο (x_{k3}, y_{k3}) και τελικά τα σημεία (x_{k1}, y_{k1}) και (x_{k2}, y_{k2}) αντίστοιχα. Οι φορείς των ευθύγραμμων τμημάτων αυτών είναι ευθείες που παριστάνονται από τις εξής εξισώσεις:

$$\text{ευθεία } (\varepsilon_1): \quad y = \lambda_{\varepsilon 1} x + (y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{k3})$$

$$\text{ευθεία } (\varepsilon_2): \quad y = \lambda_{\varepsilon 2} x + (y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 2} x_{k3})$$

$$\text{όπου:} \quad \lambda_{\varepsilon 1} = \frac{y_{k3} - y_{k1}}{x_{k3} - x_{k1}}, \quad \lambda_{\varepsilon 2} = \frac{y_{k3} - y_{k2}}{x_{k3} - x_{k2}}$$

6. Χάραξη τόξου του καμπύλου τμήματος της νησίδας, το οποίο εφάπτεται στην ευθεία (ε_1) (είσοδος) και στην κεντρική νησίδα. Προκειμένου να ευρεθεί το κέντρο του κύκλου στον οποίο ανήκει το τόξο, με ακτίνα R_{INi} :

- Χαράσσεται κύκλος με ακτίνα $R_{n1i} = R_1 + R_{INi}$ και με εξίσωση:

$$\text{κύκλος } (c_{n1i}): \quad x^2 + y^2 = R_{n1i}^2$$

- Έπειτα, χαράσσεται ευθεία (ε_1') παράλληλη στην ευθεία (ε_1) , σε απόσταση $1.5R_{INi}$ και η οποία παριστάνεται από την εξίσωση:

$$\text{ευθεία } (\varepsilon_1'): \quad y = \lambda_{\varepsilon 1} x + (y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{k3}) + \frac{R_{INi}}{\cos \theta_i}$$

- Υπολογίζεται το σημείο τομής της ευθείας (ε_1') και του κύκλου (c_{n1}) (από τη ΓΛ3):

$$(x_{n10}, y_{n10})$$

$$\text{αν τεθεί: } \mathbf{a} = R_{n1i}^2, \quad \mathbf{b} = \lambda_{\varepsilon 1}, \quad \mathbf{c} = y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{k3} + \frac{R_{INi}}{\cos \theta_i}$$

- Χαράσσεται κύκλος με κέντρο το σημείο (x_{n10}, y_{n10}) και ακτίνα R_{INi} , ο οποίος εφάπτεται στην ευθεία (ε_1) και στην κεντρική νησίδα, και η εξίσωση αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_{IN1i}): \quad (x - x_{n10})^2 + (y - y_{n10})^2 = (R_{INi})^2$$

- Σημείο επαφής του κύκλου (c_{IN1i}) με την ευθεία (ε_1) (από τη ΓΛ2):

$$x_{n11} = \frac{-b}{2a}, \quad y_{n11} = \lambda_{\varepsilon 1} x_{n11} + (y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{k3})$$

$$\text{αν τεθεί:} \quad a = x_{n10}, \quad b = y_{n10}, \quad c = (R_{INi})^2,$$

$$k = \lambda_{\varepsilon 1}, \quad l = y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{k3}$$

- Σημείο τομής του κύκλου (c_{IN1i}) με τον εγγεγραμμένο κύκλο (c_2) (από τη ΓΛ1):

$$(x_{n12}, y_{n12})$$

$$\text{αν τεθεί:} \quad a = x_{n10}, \quad b = y_{n10}, \quad c = (R_{IN})^2, \quad d = R_2^2$$

7. Χάραξη τόξου του καμπύλου τμήματος της νησίδας, το οποίο εφάπτεται στην ευθεία (ε_2) (έξοδος) και στην κεντρική νησίδα. Προκειμένου να ευρεθεί το κέντρο του κύκλου στον οποίο ανήκει το τόξο, με ακτίνα R_{OUTi} :

- Χαράσσεται κύκλος με ακτίνα $R_{n2i} = R_1 + R_{OUTi}$ και με εξίσωση:

$$\text{κύκλος } (c_{n2i}): \quad x^2 + y^2 = R_{n2i}^2$$

- Έπειτα, χαράσσεται ευθεία (ε_2') παράλληλη στην ευθεία (ε_2) , σε απόσταση $1.5R_{OUTi}$ και η οποία παριστάνεται από την εξίσωση:

$$\text{ευθεία } (\varepsilon_2'): \quad y = \lambda_{\varepsilon 2} x + (y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 2} x_{k3}) - \frac{R_{OUTi}}{\cos \theta_i}$$

- Υπολογίζεται το σημείο τομής της ευθείας (ε_2') και του κύκλου (c_{n2}) (από ΓΛ3).

$$(x_{n20}, y_{n20})$$

αν τεθεί: $\mathbf{a} = R_{n2i}^2$, $\mathbf{b} = \lambda_{\varepsilon 2}$, $\mathbf{c} = y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 2} x_{k3} - \frac{R_{OUTi}}{\cos \theta_i}$

- Χαράσσεται κύκλος με κέντρο το σημείο (x_{n20}, y_{n20}) και ακτίνα $1.5R_{OUTi}$, ο οποίος εφάπτεται στην ευθεία (ε_2) και στην κεντρική νησίδα, και η εξίσωση αυτού:

$$\text{κύκλος (c}_{OUT1i}\text{): } (x - x_{n20})^2 + (y - y_{n20})^2 = (R_{OUTi})^2$$

- Σημείο επαφής του κύκλου (c_{OUT1i}) με την ευθεία (ε_2) (από ΓΛ2):

$$(x_{n21} , y_{n21})$$

αν τεθεί: $\mathbf{a} = x_{n20}$, $\mathbf{b} = y_{n20}$, $\mathbf{c} = (R_{OUTi})^2$,

$$\mathbf{k} = \lambda_{\varepsilon 2} , \quad \mathbf{l} = y_{k3} - \lambda_{\varepsilon 2} x_{k3}$$

- Σημείο τομής του κύκλου (c_{OUT1i}) με τον εγγεγραμμένο κύκλο (c_2) (από τη ΓΛ1):

$$(x_{n22} , y_{n22})$$

αν τεθεί: $\mathbf{a} = x_{n20}$, $\mathbf{b} = y_{n20}$, $\mathbf{c} = (R_{OUT})^2$, $\mathbf{d} = R_2^2$

Οριογραμμή Εισόδου (μετά διαπλάτυνσης)

Όπως προαναφέρθηκε η είσοδος διαπλάτνεται κατά τις γνωστές προδιαγραφές. Η δεξιά οριογραμμή της (μοναδικής) λωρίδας εισόδου σχεδιάζεται ακολουθώντας τα εξής βήματα:

1. Χαράσσεται κύκλος με κέντρο το σημείο τομής του άξονα του σκέλους με τον εγγεγραμμένο κύκλο (x_{0i}, y_{0i}) και ακτίνα:

$$R_6 = \frac{w_i}{2} + 1.15w_{INi}$$

Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_6): \quad (x - x_{0i})^2 + (y - y_{0i})^2 = R_6^2$$

2. Σημεία τομής του κύκλου (c_6) με τον εγγεγραμμένο κύκλο, επιλύοντας το αντίστοιχο σύστημα εξισώσεων (από ΓΛ1):

$$(x_{n1}, y_{n1})$$

αν τεθεί: $\mathbf{a} = x_0, \mathbf{b} = y_0, \mathbf{c} = R_6^2, \mathbf{d} = R_2^2$

3. Χάραξη κύκλου με κέντρο την αρχή των αξόνων (0,0) και ακτίνα $R_3 = R_2 + L_{fi}$, όπου L_{fi} το συνολικό μήκος διαπλάτυνσης.

Η εξίσωση του κύκλου:

$$\text{κύκλος } (c_3): \quad x^2 + y^2 = R_3^2$$

4. Σημεία τομής του κύκλου (c_3) με τη δεξιά οριογραμμή (προ διαπλάτυνσης). Επιλύεται το σύστημα των δύο εξισώσεων:

$$x^2 + y^2 = R_3^2$$

$$y = \lambda_i x + \frac{w_{ir}}{\cos \theta_i}$$

Οπότε προκύπτουν τα ζητούμενα σημεία (από ΓΛ3):

$$(x_{n2}, y_{n2})$$

αν τεθεί:

$$\mathbf{a} = R_3^2, \mathbf{b} = \lambda_i, \mathbf{c} = \frac{w_{ir}}{\cos \theta_i}$$

5. Ενώνοντας τα σημεία (x_{n1}, y_{n1}) και (x_{n2}, y_{n2}) προκύπτει το αντίστοιχο ευθύγραμμο τμήμα και η εξίσωση της ευθείας – φορέα:

$$\text{ευθεία } (v_1): \quad y = \lambda_{n1}x + (y_{n2} - \lambda_{n1}x_{n2})$$

$$\text{όπου:} \quad \lambda_{n1} = \frac{y_{n2} - y_{n1}}{x_{n2} - x_{n1}}$$

Τοιουτοτρόπως προκύπτει η εξωτερική οριογραμμή (v_1) της εισόδου του σκέλους.

Στα επόμενα βήματα καταδεικνύεται ο τρόπος σχεδίασης του τόξου εισόδου σαν καμπύλη συναρμογής της εξωτερικής οριογραμμής με τον εγγεγραμμένο κύκλο με ακτίνα R_{INi} .

6. Χάραξη κύκλου με κέντρο την αρχή (0,0) και ακτίνα $R_7=R_2+R_{INi}$.
Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_7): \quad x^2 + y^2 = R_7^2$$

7. Χάραξη ευθείας παράλληλης της (v_1) σε απόσταση ίση με R_{INi} με εξίσωση:

$$\text{ευθεία } (v_1'): \quad y = \lambda_{n1}x + (y_{n2} - \lambda_{n1}x_{n2}) + \frac{R_{INi}}{\cos \theta_i}$$

8. Σημείο τομής της ευθείας (v_1') και του κύκλου (c_7) (από ΓΛ3):

$$(x_{n3}, y_{n3})$$

αν τεθεί:

$$\mathbf{a} = R_7^2, \quad \mathbf{b} = \lambda_{n1}, \quad \mathbf{c} = (y_{n2} - \lambda_{n1}x_{n2}) + \frac{R_{INi}}{\cos \theta_i}$$

9. Χάραξη κύκλου με κέντρο (x_{n3}, y_{n3}) και ακτίνα R_{INi} , ο οποίος εφάπτεται στη δεξιά οριογραμμή του σκέλους και στον εγγεγραμμένο κύκλο. Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_{IN2i}): \quad (x - x_{n3})^2 + (y - y_{n3})^2 = R_{INi}^2$$

10. Σημείο επαφής του παραπάνω (βήμα 9) κύκλου με τον εγγεγραμμένο κύκλο (c_2) (από ΓΛ1):

$$(x_{n4}, y_{n4})$$

$$\text{αν τεθεί: } \mathbf{a} = x_{n3}, \mathbf{b} = y_{n3}, \mathbf{c} = R_{INi}^2, \mathbf{d} = R_2^2$$

11. Σημείο επαφής του παραπάνω (βήμα 9) κύκλου με τη δεξιά οριογραμμή του σκέλους (v_1) (από ΓΛ2):

$$(x_{n5}, y_{n5})$$

$$\begin{aligned} \text{αν τεθεί: } \mathbf{a} &= x_{n3}, \mathbf{b} = y_{n3}, \mathbf{c} = R_{INi}^2, \\ \mathbf{k} &= \lambda_{n1}, \mathbf{l} = y_{n2} - \lambda_{n1}x_{n2} \end{aligned}$$

Οριογραμμή Εξόδου

Είναι το τελευταίο στάδιο σχεδίασης του κυκλικού κόμβου και έχοντας προεπιλέξει το πλάτος εξόδου w_{OUTi} και ακτίνα εξόδου R_{OUTi} ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Χαράσσεται κύκλος με κέντρο το σημείο τομής του άξονα του σκέλους με τον εγγεγραμμένο κύκλο (x_{0i}, y_{0i}) και ακτίνα:

$$R_8 = \frac{w_i}{2} + 1.15w_{OUTi}$$

Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_8): \quad (x - x_{0i})^2 + (y - y_{0i})^2 = R_8^2$$

2. Σημεία τομής του κύκλου (c_8) με τον εγγεγραμμένο κύκλο, επιλύοντας το αντίστοιχο σύστημα εξισώσεων (από ΓΛ1):

$$(x_{m1}, y_{m1})$$

$$\text{αν τεθεί: } \mathbf{a} = x_0, \mathbf{b} = y_0, \mathbf{c} = R_8^2, \mathbf{d} = R_2^2$$

3. Χάραξη κύκλου με κέντρο την αρχή των αξόνων (0,0) και ακτίνα $R_3 = R_2 + L_{fli}$, όπου L_{fli} το συνολικό μήκος διαπλάτυνσης.

Η εξίσωση του κύκλου:

$$\text{κύκλος } (c_3): \quad x^2 + y^2 = R_3^2$$

4. Σημεία τομής του κύκλου (c_3) με την αριστερή οριογραμμή (προ διαπλάτυνσης). Επιλύεται το σύστημα των δύο εξισώσεων:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= R_3^2 \\ y &= \lambda_i x - \frac{w_{il}}{\cos \theta_i} \end{aligned}$$

Οπότε προκύπτουν τα ζητούμενα σημεία:

$$(x_{m2}, y_{m2})$$

αν τεθεί: $a = R_3^2$, $b = \lambda_i$, $c = \frac{w_{il}}{\cos \theta_i}$

5. Ενώνοντας τα σημεία (x_{m1}, y_{m1}) και (x_{m2}, y_{m2}) προκύπτει το αντίστοιχο ευθύγραμμο τμήμα και η εξίσωση της ευθείας – φορέα:

$$\text{ευθεία } (\mu_1): \quad y = \lambda_{m1} x + (y_{m2} - \lambda_{m1} x_{m2})$$

όπου: $\lambda_{m1} = \frac{y_{m2} - y_{m1}}{x_{m2} - x_{m1}}$

Τοιουτοτρόπως προκύπτει η εξωτερική οριογραμμή (μ_1) της εξόδου του σκέλους.

Στα επόμενα βήματα καταδεικνύεται ο τρόπος σχεδίασης του τόξου εξόδου σαν καμπύλη συναρμογής της εξωτερικής οριογραμμής με τον εγγεγραμμένο κύκλο με ακτίνα R_{OUTi} .

6. Χάραξη κύκλου με κέντρο την αρχή (0,0) και ακτίνα $R_9 = R_2 + R_{OUTi}$.

Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_9): \quad x^2 + y^2 = R_9^2$$

7. Χάραξη ευθείας παράλληλης της (μ_1) σε απόσταση ίση με R_{OUTi} με εξίσωση:

$$\text{ευθεία } (\mu_1'): \quad y = \lambda_{m1}x + (y_{m2} - \lambda_{m1}x_{m2}) - \frac{R_{OUTi}}{\cos \theta_i}$$

8. Σημείο τομής της ευθείας (μ_1') και του κύκλου (c_9) (από ΓΛ3).

$$(x_{m3}, y_{m3})$$

αν τεθεί:

$$a = R_9^2, \quad b = \lambda_{m1}, \quad c = (y_{m2} - \lambda_{m1}x_{m2}) - \frac{R_{OUTi}}{\cos \theta_i}$$

9. Χάραξη κύκλου με κέντρο (x_{m3}, y_{m3}) και ακτίνα R_{OUTi} , ο οποίος εφάπτεται στην αριστερή οριογραμμή του σκέλους και στον εγγεγραμμένο κύκλο. Η εξίσωση του κύκλου αυτού:

$$\text{κύκλος } (c_{OUT2i}): \quad (x - x_{m3})^2 + (y - y_{m3})^2 = R_{OUTi}^2$$

10. Σημείο επαφής του παραπάνω κύκλου (c_{OUT2i}) με τον εγγεγραμμένο κύκλο (από ΓΛ1):

$$(x_{m4}, y_{m4})$$

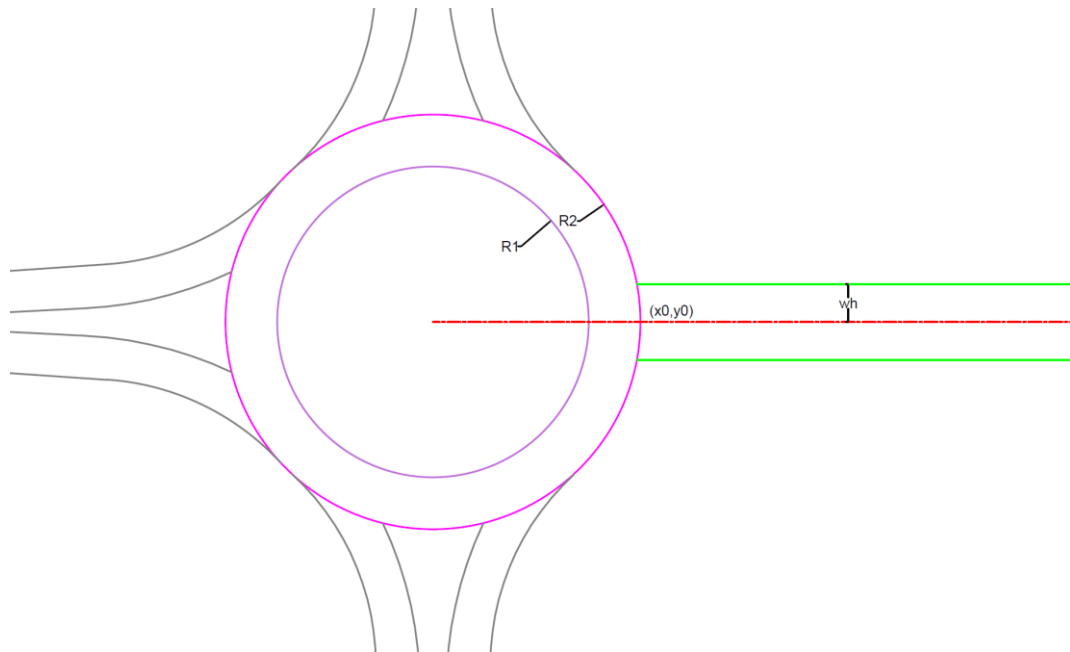
$$\text{αν τεθεί:} \quad a = x_{m3}, \quad b = y_{m3}, \quad c = R_{OUTi}^2, \quad d = R_2^2$$

11. Σημείο επαφής του παραπάνω (βήμα 9) κύκλου με την αριστερή οριογραμμή του σκέλους (από ΓΛ2):

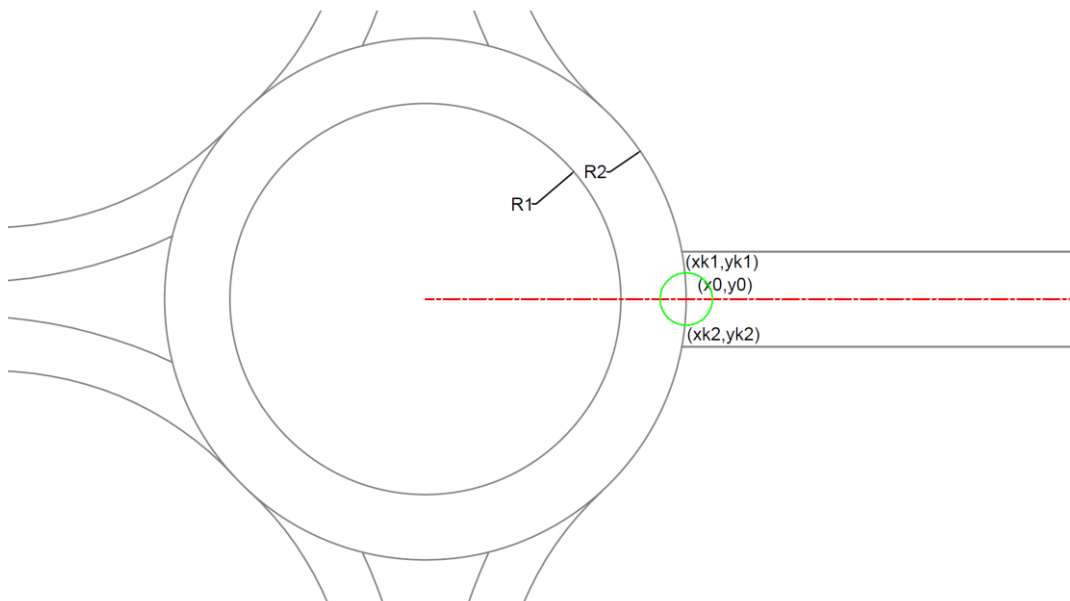
$$(x_{m5}, y_{m5})$$

$$\text{αν τεθεί:} \quad a = x_{m3}, \quad b = y_{m3}, \quad c = R_{OUTi}^2,$$

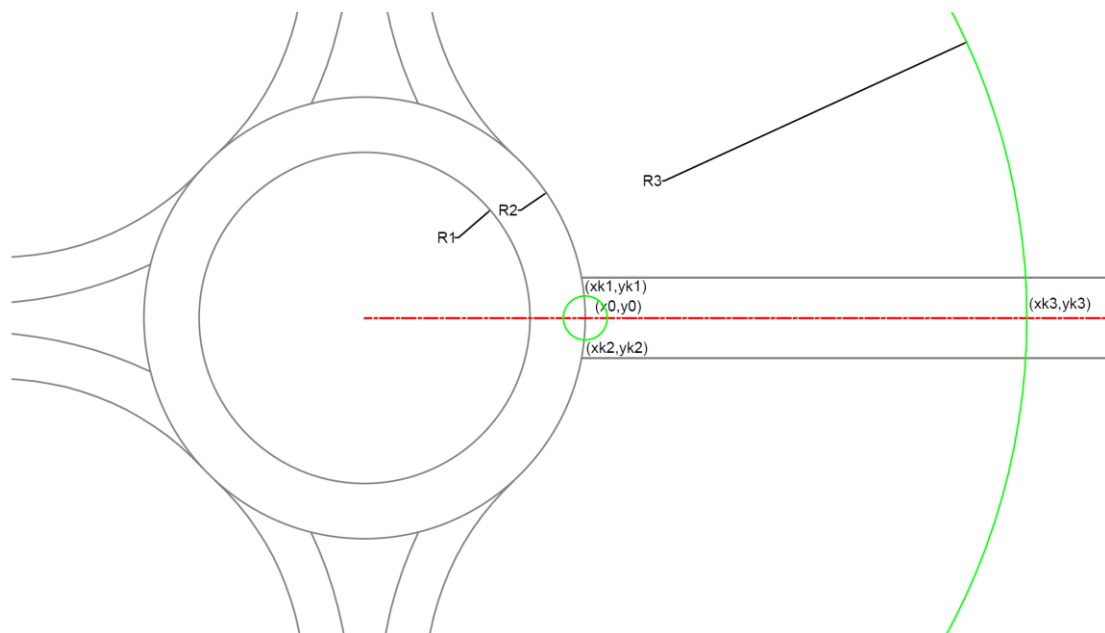
$$k = \lambda_{m1}, \quad l = y_{m2} - \lambda_{m1}x_{m2}$$

Βοηθητικά Σχήματα Σχεδιασμού:

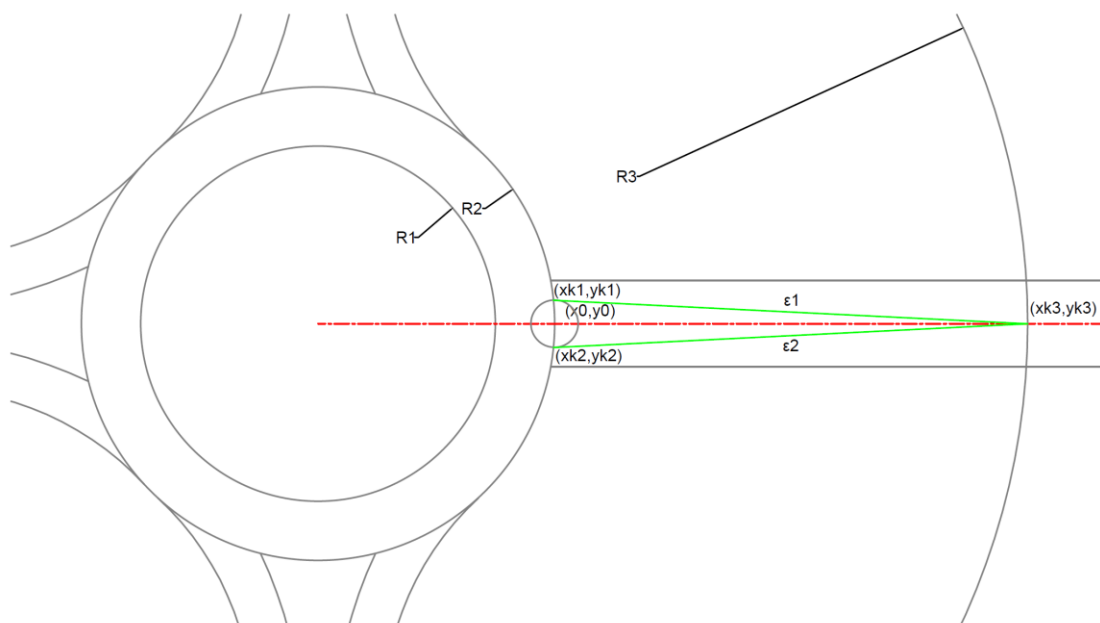
Σχήμα 5.3. Χάραξη εγγεγραμμένου κύκλου, κεντρικής νησίδας, άξονα πρόσβασης και αρχικών οριογραμμών και εύρεση σημείου (x_0, y_0) .



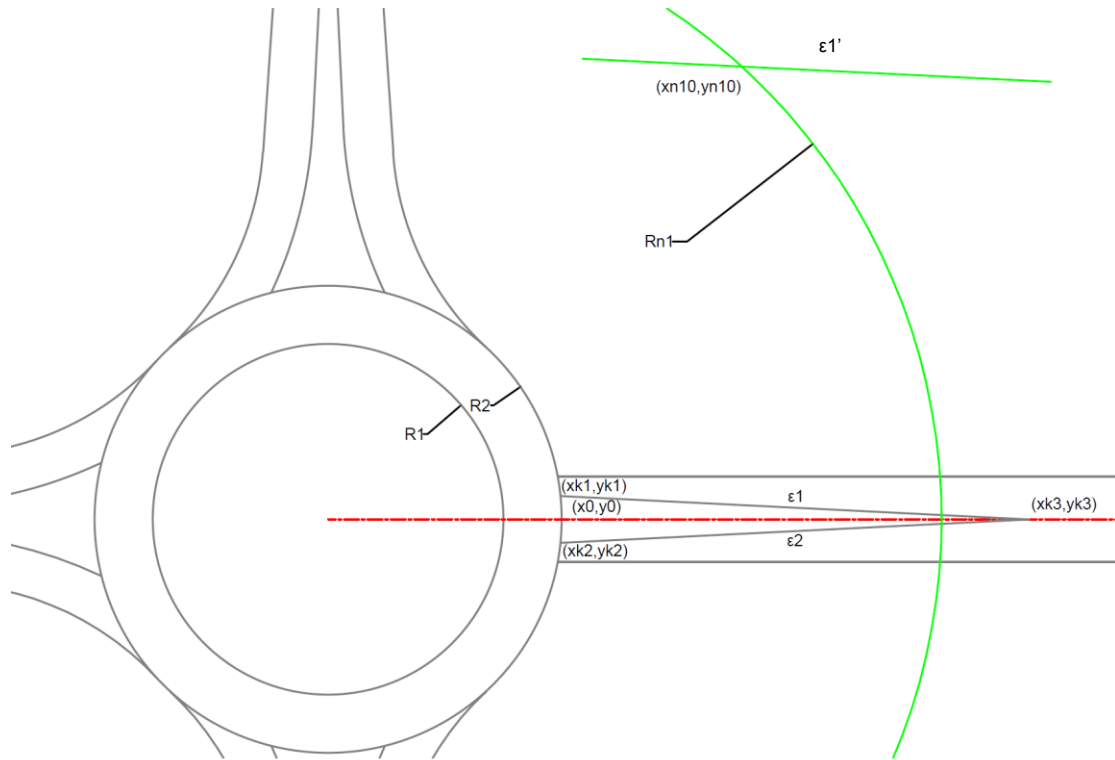
Σχήμα 5.4. Χάραξη κύκλου c_w και εύρεση σημείων (x_{k1}, y_{k1}) , (x_{k2}, y_{k2}) .



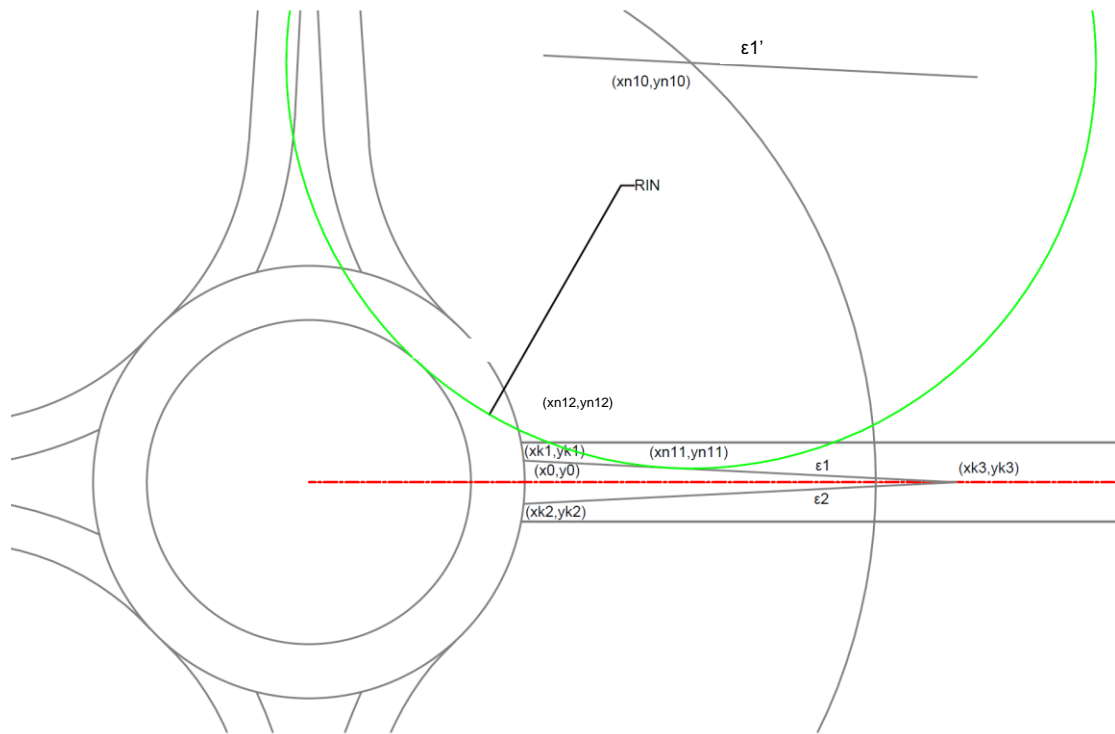
Σχήμα 5.5. Χάραξη κύκλου c_3 και εύρεση σημείου (xk_3, yk_3) .



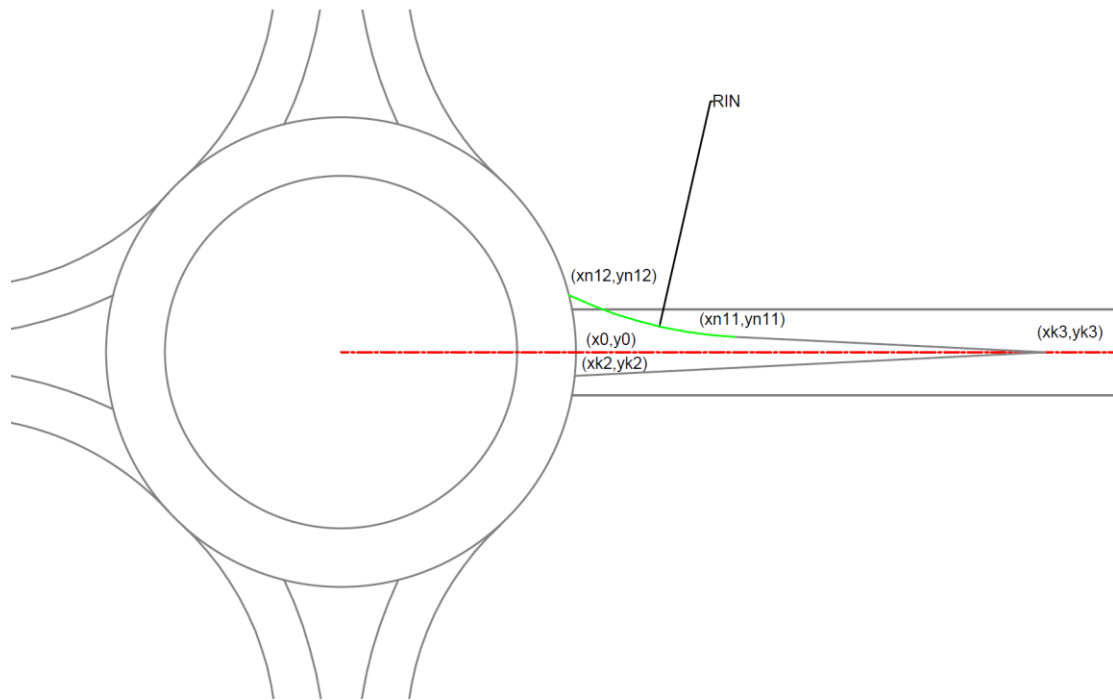
Σχήμα 5.6. Χάραξη ευθύγραμμων τμημάτων και των αντίστοιχων φορέων τους ϵ_1 , ϵ_2 .



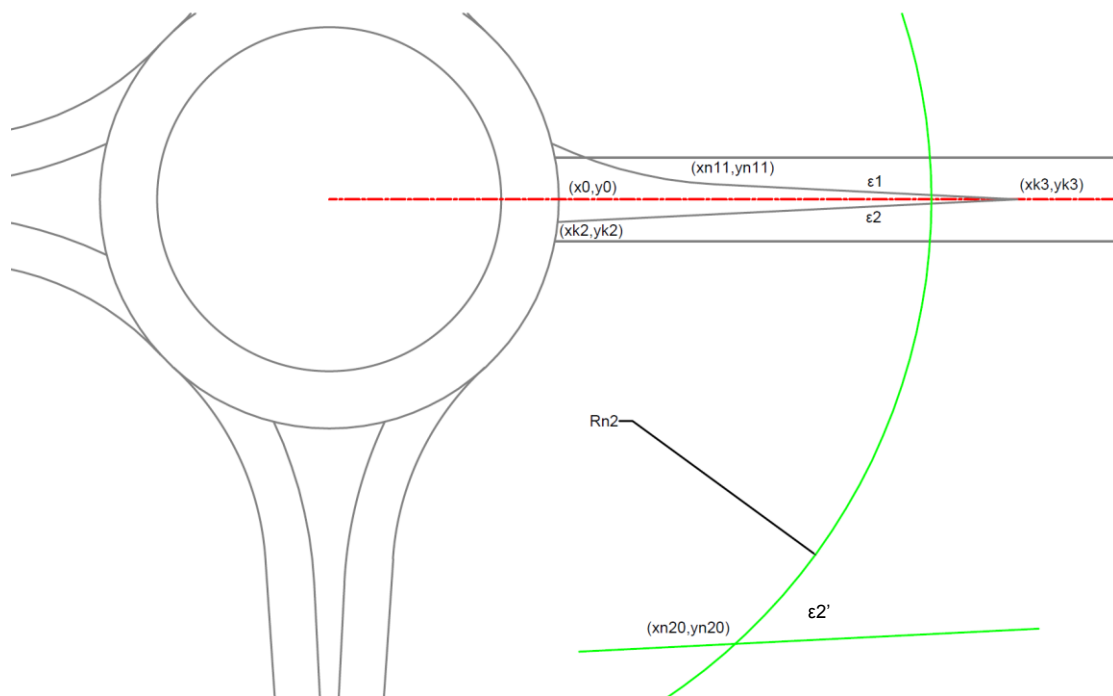
Σχήμα 5.7. Εύρεση σημείου (x_{n10}, y_{n10}) .



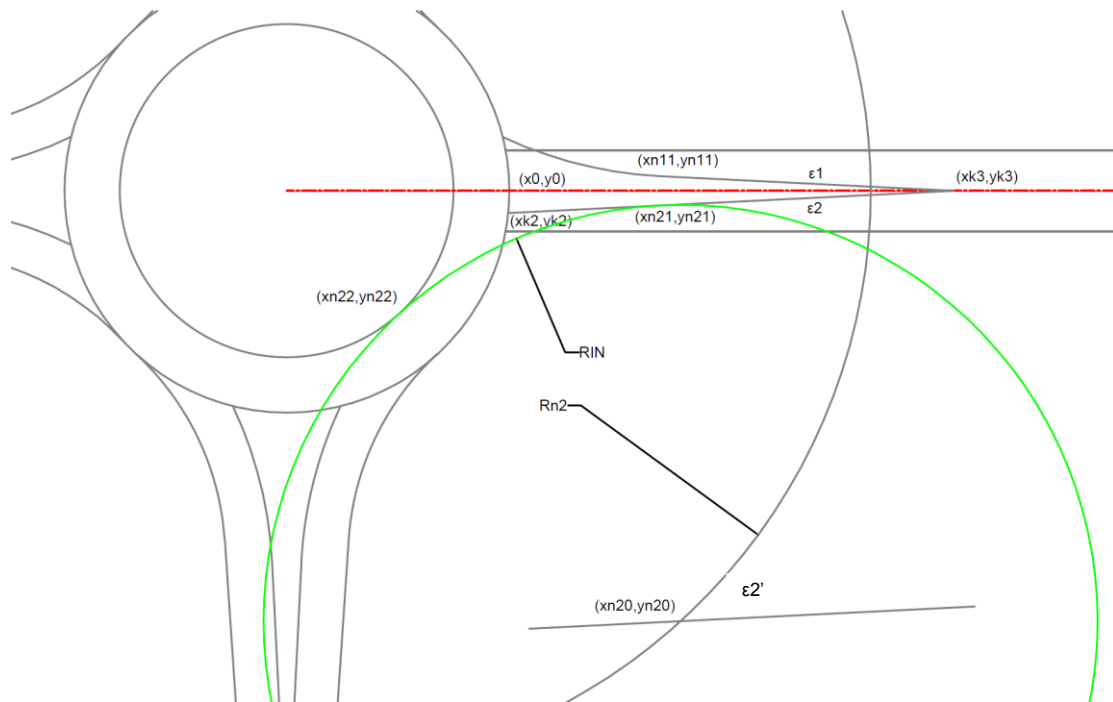
Σχήμα 5.8. Χάραξη κύκλου c_{IN1} .



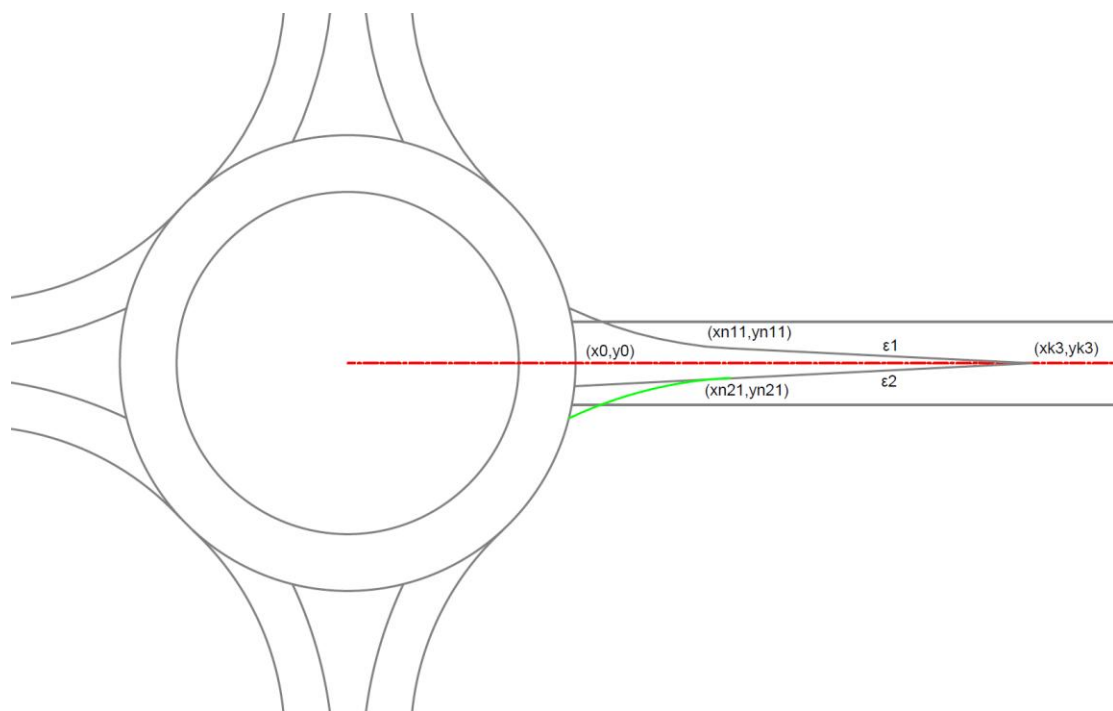
Σχήμα 5.9. Χάραξη εσωτερικού τόξου εισόδου.



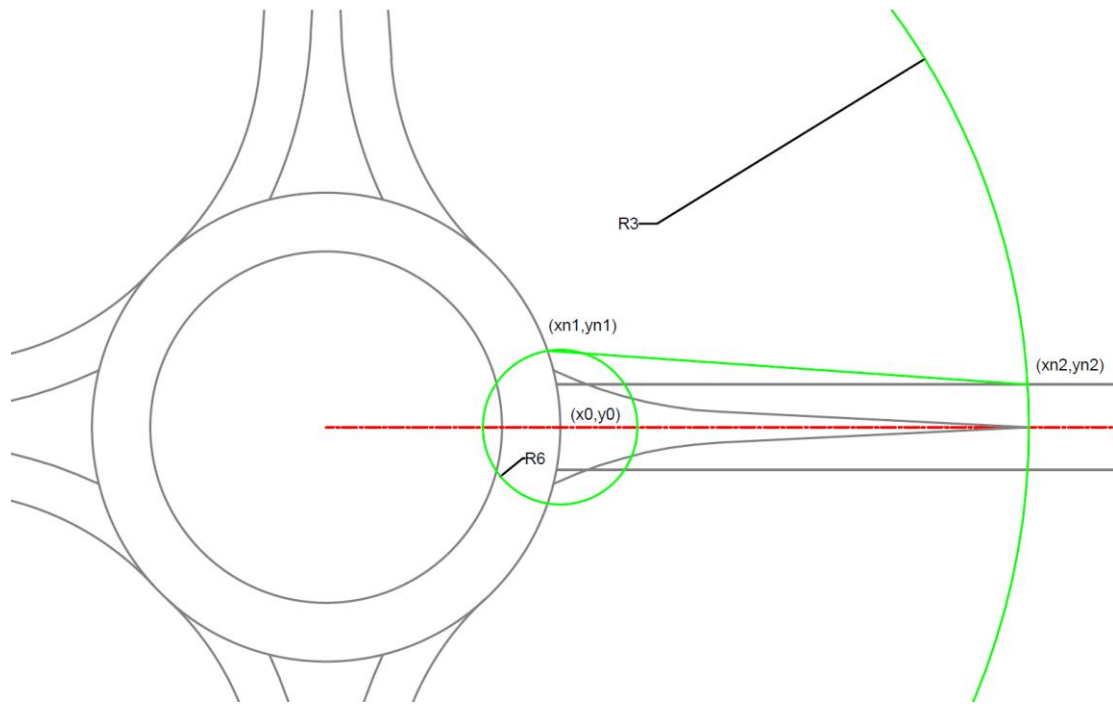
Σχήμα 5.10. Εύρεση σημείου (x_{n20}, y_{n20}) .



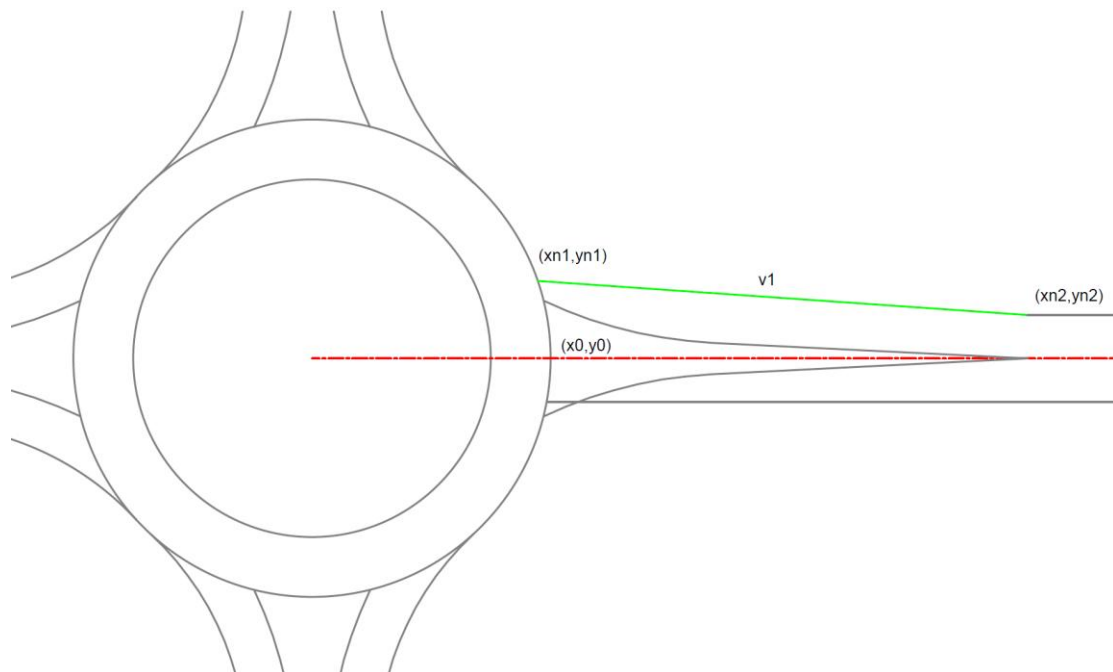
Σχήμα 5.11. Χάραξη κύκλου cOUT1.



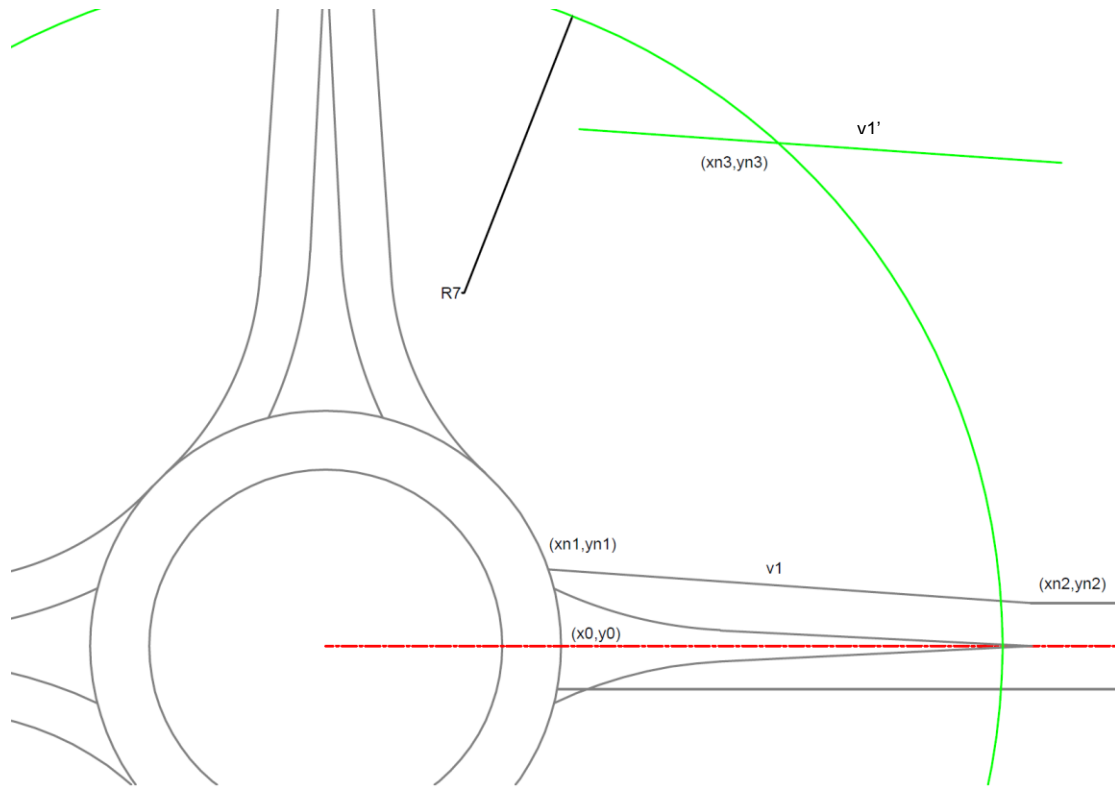
Σχήμα 5.12. Χάραξη εσωτερικού τόξου εξόδου.



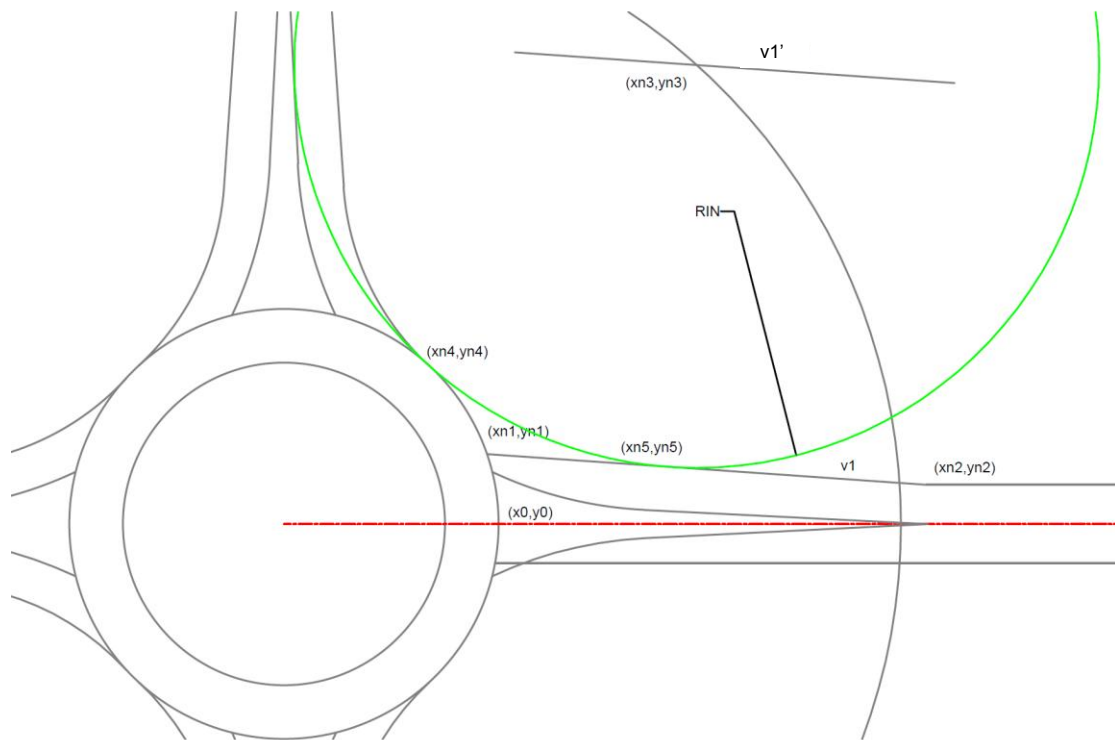
Σχήμα 5.13. Εύρεση σημείων (x_{n1}, y_{n1}) και (x_{n2}, y_{n2}) .



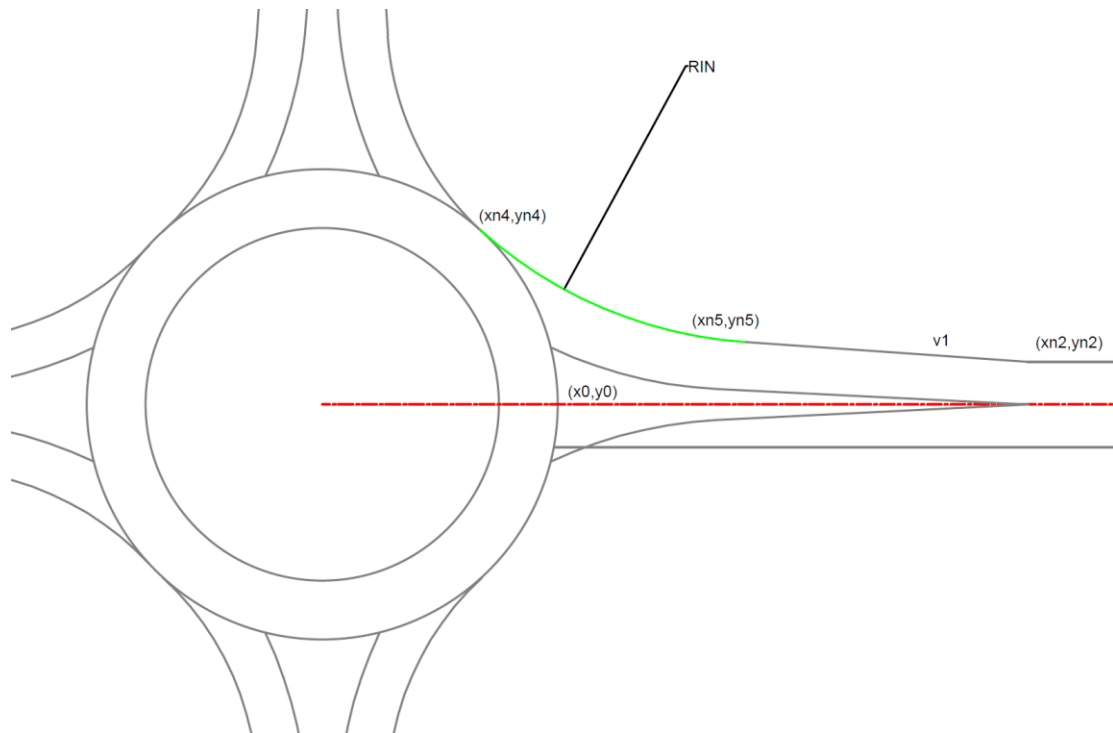
Σχήμα 5.14. Χάραξη ευθύγραμμου τμήματος v_1 .



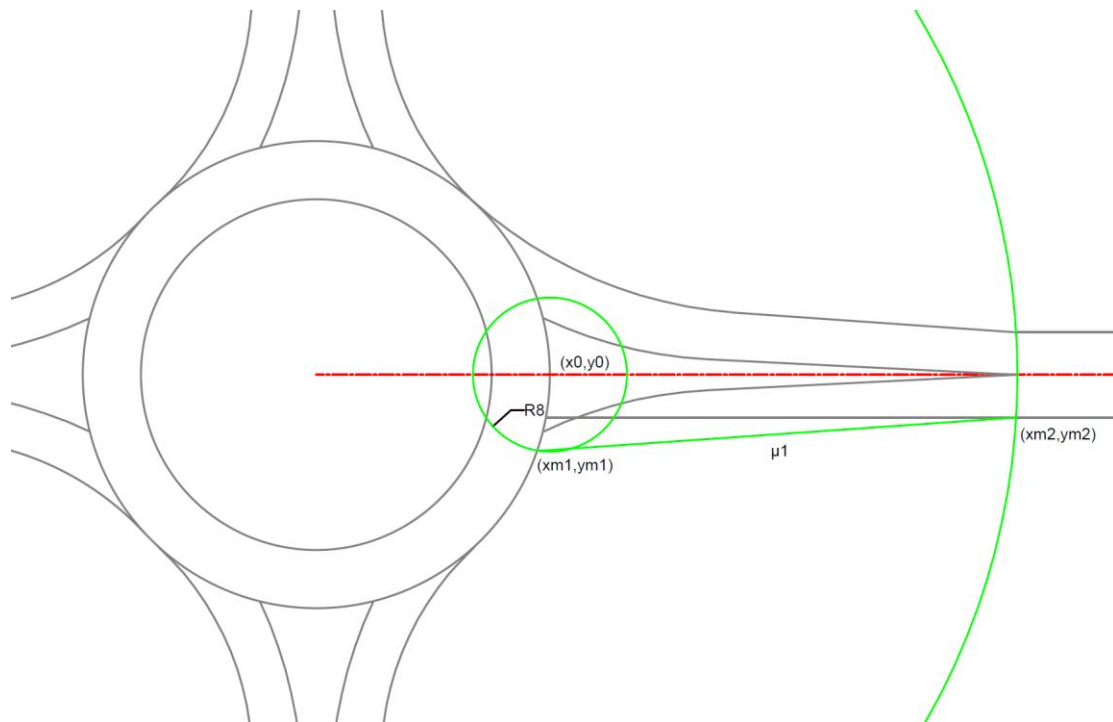
Σχήμα 5.15. Εύρεση σημείου (x_{n3}, y_{n3}) .



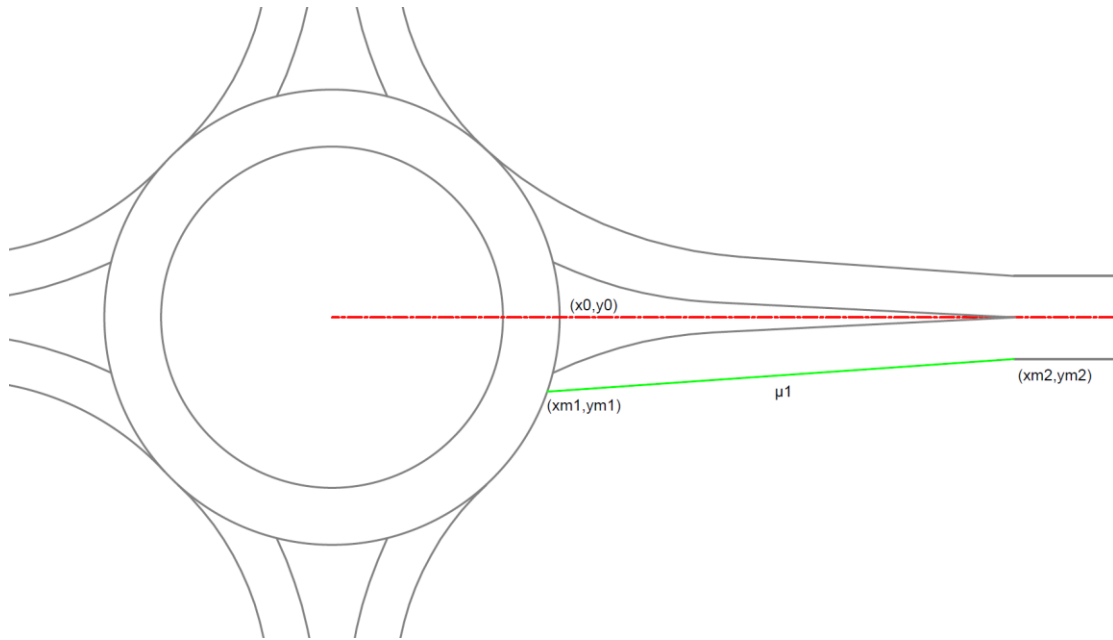
Σχήμα 5.16. Χάραξη κύκλου c_{IN2} .



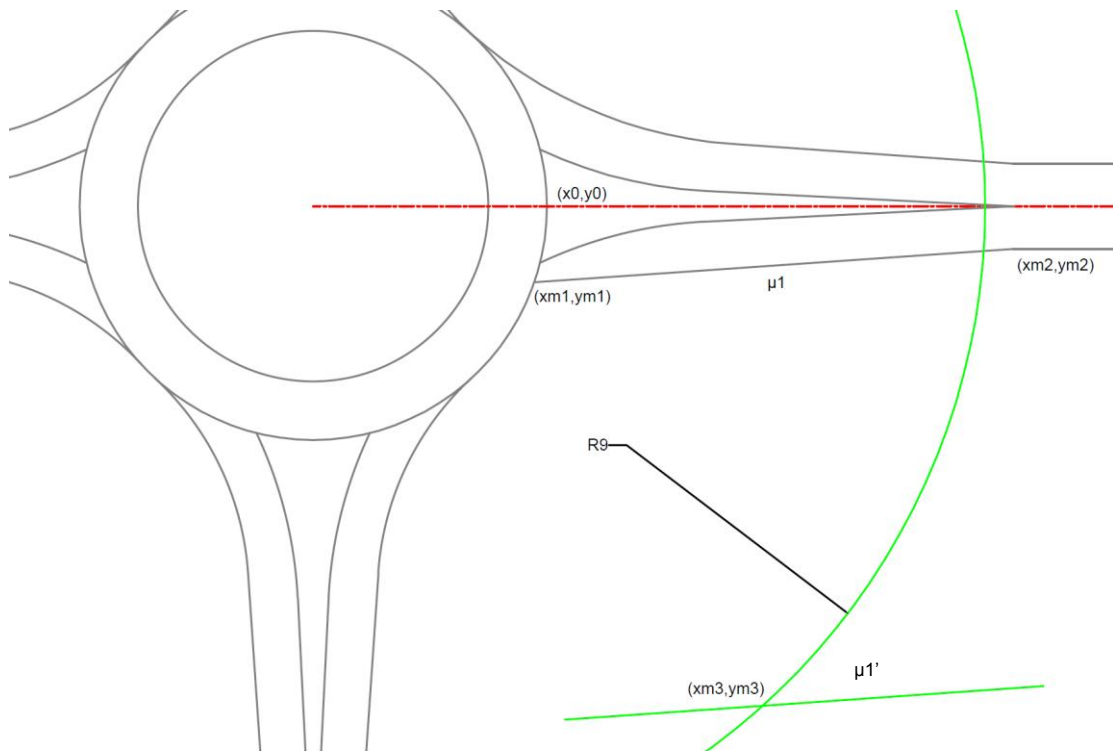
Σχήμα 5.17. Χάραξη εξωτερικού τόξου εισόδου.



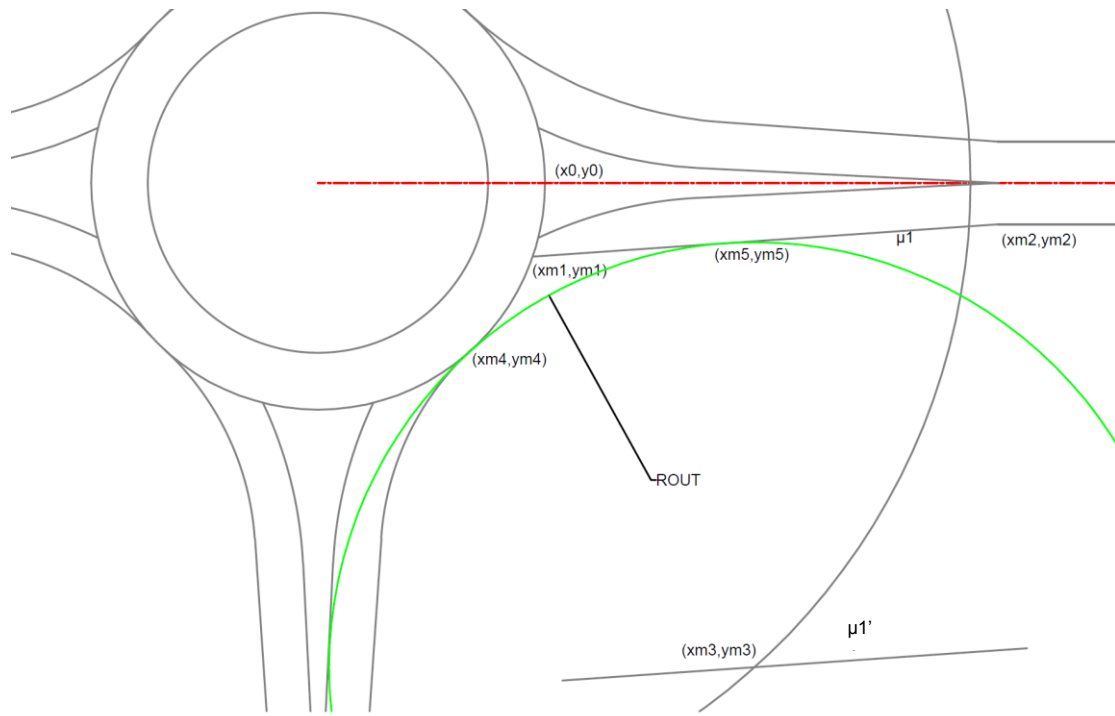
Σχήμα 5.18. Εύρεση σημείων $(xm1, ym1)$ και $(xm2, ym2)$.



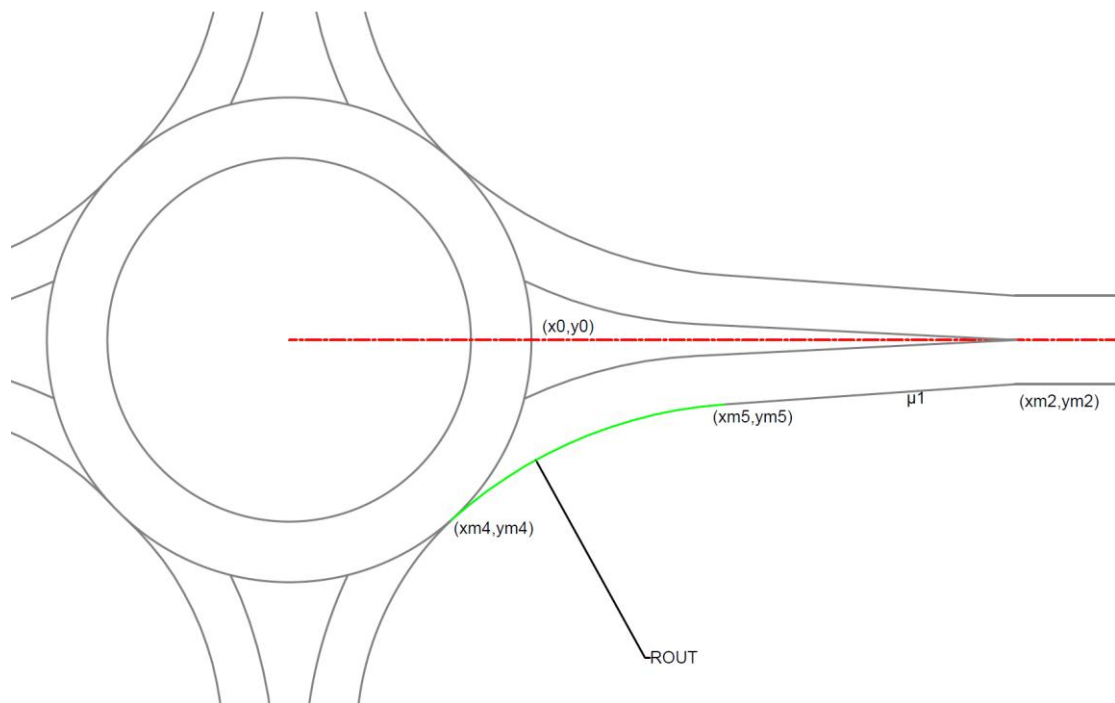
Σχήμα 5.19. Χάραξη ευθύγραμμου τμήματος μ_1 .



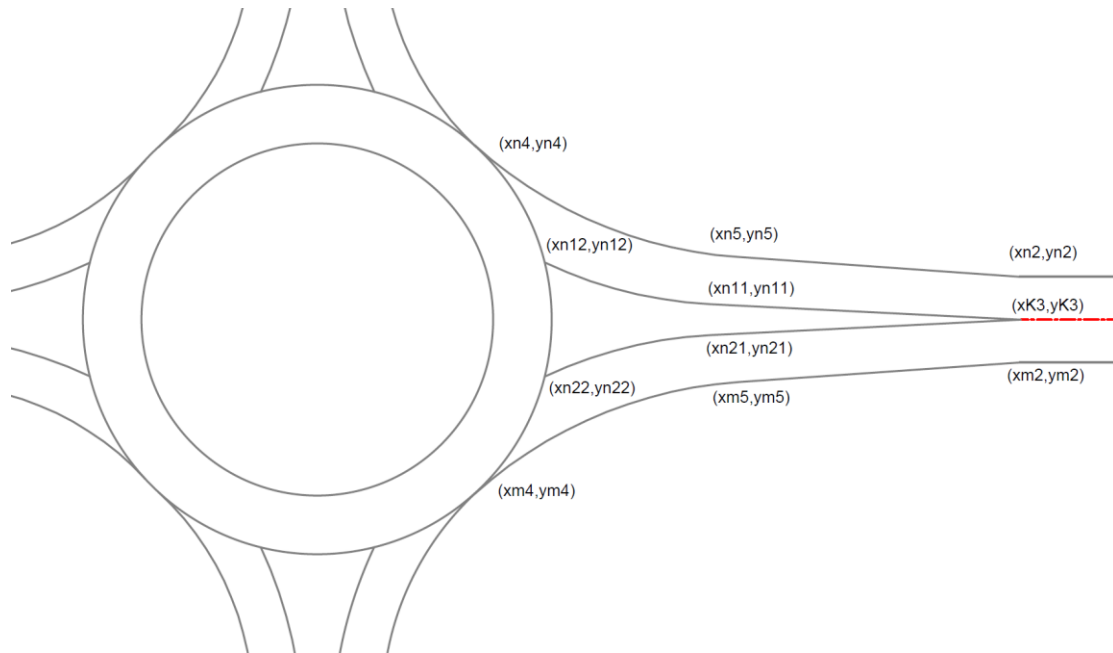
Σχήμα 5.20. Εύρεση σημείου (x_{m3}, y_{m3}) .



Σχήμα 5.21. Χάραξη κύκλου cOUT2.



Σχήμα 5.22. Χάραξη εξωτερικού τόξου εξόδου.



Σχήμα 5.23. Τελική χάραξη σκέλους.

6. Συμπεράσματα και Προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

Οι ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι συγκεντρώνουν συγκεκριμένα **πλεονεκτήματα**, τα οποία τους καθιστούν προτιμότερη λύση διαμόρφωσης κόμβου σε θέσεις ισόπεδης σύνδεσης τριών ή τεσσάρων οδών (προσβάσεων) σε σχέση π.χ. με αντίστοιχους σηματοδοτημένους, ενώ σε περίπτωση πέντε προσβάσεων αποτελούν την προσφορότερη επιλογή. Τα κυριότερα εξ' αυτών είναι το **υψηλό επίπεδο ασφάλειας** που παρέχουν **τόσο όσον αφορά στα οχήματα, όσο και στους πεζούς και ποδηλάτες**, καθώς και η **ελαχιστοποίηση των χρονικών καθυστερήσεων** της μηχανοκίνητης κυκλοφορίας. Σε ότι αφορά στην ασφάλεια, αναφέρεται πως τα οδικά ατυχήματα που παρατηρούνται σε κυκλικούς κόμβους είναι σημαντικά μειωμένα και η σοβαρότητα όσων συμβαίνουν περιορίζεται σε υλικές κυρίως ζημιές, ενώ πεζοί και ποδηλάτες προστατεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό, με τις μέγιστες λειτουργικές ταχύτητες των οχημάτων να περιορίζονται σε 40km/h – 50km/h. Ένα ακόμη όφελος που προκύπτει από την κατασκευή κυκλικών αντί άλλων ειδών ισόπεδων κόμβων, είναι η μείωση της

καταναλισκόμενης ενέργειας (υγρά και άλλα καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια κ.λπ.) και των εκπεμπόμενων αερίων ρύπων, καθώς η διαχείριση της κυκλοφορίας από έναν κυκλικό κόμβο, δεδομένης της επαρκούς κυκλοφοριακής του ικανότητας, πραγματοποιείται με τρόπο τέτοιο που αποτρέπεται η οξεία επιτάχυνση (όπως π.χ. παρατηρείται σε φωτεινούς σηματοδότες στο χρόνο του πορτοκαλί).

Είναι χρήσιμο να αναφερθούν βέβαια και δύο σημεία στα οποία οι κυκλικοί κόμβοι υστερούν έναντι άλλων διαμορφώσεων, καθώς αφ' ενός έχουν αρκετά αυξημένες απαιτήσεις διαθέσιμης επιφάνειας γης και αφ' ετέρου η χωρητικότητά τους είναι πεπερασμένη και προσεγγίζει κατά μέγιστο μία Μ.Η.Κ. (Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία) της τάξης των 40000 οχημάτων/ημέρα (αφορά σε μεγάλο κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων). Αν αυτά τα δύο στοιχεία δεν αποτελούν εμπόδιο, τότε είναι ασφαλές να υποστηριχθεί πως ένας κυκλικός κόμβος αποτελεί τη βέλτιστη ισόπεδη διαμόρφωση σύνδεσης οδών.

Στη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρατίθενται πολυάριθμες **έρευνες ασφάλειας** διεθνώς, οι οποίες αναδεικνύουν τους τετρασκελείς κυκλικούς κόμβους ως την ασφαλέστερη μορφή κόμβων. Ενδεικτικά αναφέρεται το αποτέλεσμα έρευνας στις Η.Π.Α. κατά την οποία σε 23 περιπτώσεις μετατροπής τετρασκελούς σηματοδοτημένου κόμβου σε αντίστοιχο κυκλικό, επήλθε μείωση των οδικών ατυχημάτων με σοβαρούς τραυματισμούς κατά 80% και μείωση των ατυχημάτων συνολικά κατά 40%. Ειδικά για τους πεζούς ο κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας θεωρείται η ασφαλέστερη διαμόρφωση όλων των ισόπεδων οδικών συνδέσεων καθώς σε έρευνα στη Γερμανία, μετατροπή τετρασκελών ισόπεδων κόμβων με σήμανση σε κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας επέφερε μείωση στα ατυχήματα με εμπλεκόμενους πεζούς κατά 75%.

Όσον αφορά στην ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων και στην ομαλή, ταχεία και ασφαλή διέλευση της κυκλοφορίας από έναν κυκλικό κόμβο, αυτές επιτυγχάνονται κυρίως μέσω ενός **άρτιου σχεδιασμού και μίας γεωμετρικής χάραξης**, η οποία πληροί βασικές προδιαγραφές όπως αυτές αναλύονται λεπτομερώς στο αντίστοιχο κεφάλαιο του σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων. Επιτυχής θεωρείται μία

χάραξη, η οποία επιβάλλει χαμηλές ταχύτητες στα οχήματα που εισέρχονται, κινούνται στον κυκλικό δακτύλιο και εξέρχονται από αυτόν, της τάξης των 50km/h – 60km/h, ενώ δεν δημιουργεί αμφιβολίες στους οδηγούς για τον τρόπο που πρέπει να κινηθούν, ειδικά σε περιπτώσεις κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων. Αυτό επιτυγχάνεται σε σημαντικό βαθμό μέσω της επαρκούς εκτροπής της τροχιάς κίνησης και της σωστής διαρρύθμισης και διάταξης των λωρίδων κυκλοφορίας στις εισόδους και στις εξόδους αλλά και στον κυκλικό δακτύλιο. Όσον αφορά στην εκτροπή αυτή καθορίζεται από το κατάλληλο μέγεθος της κεντρικής νησίδας, τα τόξα εισόδων και τη διαμόρφωση των κατευθυντήριων νησίδων (ή, αν καταστεί αναγκαίο, και τη μετατόπιση του άξονα μίας πρόσβασης προς τα αριστερά) ώστε να μετατρέπεται η ευθεία τροχιά ενός εισερχόμενου οχήματος σε καμπύλη βαθμιαία και ομαλά, ενώ και η χάραξη των εξόδων πρέπει να είναι κατάλληλη (επιτυχής διαμόρφωση του τόξου εξόδου) ώστε τα οχήματα να μην επιταχύνουν πριν διέλθουν από τη διάβαση των πεζών, αν υπάρχει.

Μία άλλη παράμετρος επιτυχούς σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου είναι το **όχημα σχεδιασμού**, από την επιλογή του οποίου επηρεάζεται σημαντικά η διαστασιολόγηση πολλών στοιχείων του κόμβου, αφού οι απαιτήσεις κίνησης και ελιγμών του είναι δυνατό να καταστήσουν απαραίτητη την κατασκευή περιμετρικής ζώνης γύρω από την κεντρική νησίδα ή ακόμα και τη μετάθεση του άξονα της πρόσβασης προς τα αριστερά.

Επίσης σημαντική συνιστώσα ενός άρτια σχεδιασμένου και ασφαλούς κυκλικού κόμβου είναι η **ορατότητα** (απαιτούμενο μήκος για στάση και απαιτούμενο μήκος διασταύρωσης) που πρέπει να διαθέτει ένας οδηγός σε καίρια σημεία του κόμβου και η οποία ουσιαστικά καθορίζει σε ποιες θέσεις στην περιοχή του κυκλικού κόμβου είναι δυνατό να τοποθετούνται υψηλά εμπόδια (βλάστηση, κτήρια κ.λπ.) και σε ποιες πρέπει να αποφεύγεται.

Προκειμένου να εξεταστούν οι προαναφερθείσες παράμετροι σχεδιασμού επιλέχθηκαν τα πλαίσια προδιαγραφών μελέτης και χάραξης κυκλικών κόμβων σε τρεις χώρες, οι οποίες διαθέτουν μεγάλη εμπειρία στην κατασκευή τους και έχουν καταρτίσει βάσει αυτής της

εμπειρίας υψηλά πρότυπα διαμόρφωσης τέτοιου είδους κόμβων, στη Μ. Βρετανία, στις Η.Π.Α. και στη Γερμανία. Κατόπιν εκτενούς **ανάλυσης των βρετανικών κανονισμών, των αμερικανικών και των γερμανικών οδηγιών** (τρίτο κεφάλαιο), και λεπτομερούς **σύγκρισής τους** (τέταρτο κεφάλαιο) προέκυψε το ασφαλές γενικό συμπέρασμα πως οι προδιαγραφές των δύο πρώτων χωρών συγκλίνουν σε αξιοσημείωτο βαθμό τόσο στη λογική σχεδιασμού όσο και σε αρκετά αριθμητικά μεγέθη, με τις αμερικανικές οδηγίες να είναι πλήρεις και να αναλύουν λεπτομερώς κάθε παράμετρο που αφορά σε μία άρθια και αποτελεσματική γεωμετρική χάραξη ενός κυκλικού κόμβου, ενώ το γερμανικό πλαίσιο προδιαγραφών χαρακτηρίζεται ως περιεκτικό και σαφές όσον αφορά στον αριθμητικό προσδιορισμό των παραμέτρων γεωμετρικού σχεδιασμού, ενώ αφήνει το περιθώριο επιλογών στο Μελετητή σε βασικά θέματα που αφορούν στην απαιτούμενη εκτροπή της τροχιάς εισερχόμενων οχημάτων και στην επαρκή ορατότητα στην περιοχή του κόμβου, θεωρώντας όμως μείζονος σημασίας την επιρροή τους στην ασφάλεια και λειτουργικότητα του κόμβου. Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε χρησιμότερη, προκειμένου να καταρτιστεί ένα ελληνικό πλαίσιο σχεδιασμού ισόπεδων κυκλικών κόμβων (βλ. 3.5), η υιοθέτηση των αμερικανικών προδιαγραφών, καθώς ούσες εκτενώς αναλυτικές κρίνεται πως δύνανται να βοηθούν πιο αποτελεσματικά ένα Μελετητή στον σχεδιασμό μίας βέλτιστης διαμόρφωσης ισόπεδου κυκλικού κόμβου.

Δεδομένου του ότι ένας γεωμετρικός σχεδιασμός, στην πράξη, απαιτεί συνεχείς αναδιαμορφώσεις της χάραξης ενός κυκλικού κόμβου ώστε να διορθώνονται ελλείψεις και ατέλειες που αυτή παρουσιάζει και οι οποίες εντοπίζονται στην πορεία, καθίσταται απαραίτητη η χρήση Η/Υ (ηλεκτρονικού υπολογιστή), ώστε οι αναδιαμορφώσεις να πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη. Στο πλαίσιο αυτής της ανάγκης αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα Η/Υ που συμβάλλει στη δυναμική σχεδίαση σε περιβάλλον CAD (AutoCAD), με τον χρήστη να δίνει αριθμητικές τιμές συγκεκριμένων μεγεθών και να «παράγεται» αυτόματα ο κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι σύμφωνο με τις αμερικανικές προδιαγραφές και επαφίεται στην ικανότητα και το

γνωστικό υπόβαθρο του Υπεύθυνου Σχεδιασμού να ελέγχει την αρτιότητα του διαμορφούμενου αποτελέσματος και να αναζητά τη βέλτιστη κατασκευαστική λύση.

6.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Μία παράμετρος ασφάλειας που χρήζει διερεύνησης αφορά στο πως θα καταστεί εφικτή η έγκαιρη επιβράδυνση ενός οχήματος που προσεγγίζει έναν υπεραστικό κυκλικό κόμβο και το οποίο κινείται με ταχύτητα υψηλότερη από το προβλεπόμενο όριο, μέσω της γεωμετρικής χάραξης, αν υποτεθεί πως η σήμανση δεν επαρκεί. Είναι μία εύλογη υπόθεση, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, όπου σημαντικό ποσοστό των οδηγών συνηθίζει να κινείται σε αυτοκινητοδρόμους αλλά και σε λεωφόρους αγνοώντας τα ανώτατα επιτρεπτά όρια ταχύτητας.

Περαιτέρω έρευνα απαιτείται επίσης, όσον αφορά στο θέμα των σπειροειδών κόμβων, στο οποίο πραγματοποιήθηκε αναφορά στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Πρόκειται για μία παραλλαγή της μορφής των κυκλικών κόμβων, η οποία τυγχάνει ευρείας αποδοχής σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες όπως η Ολλανδία και η Γερμανία, στις οποίες τείνει να καταστεί μόνιμος αντικαταστάτης των κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων καθώς παρουσιάζει αξιόλογα πλεονεκτήματα. Θα ήταν δυνατό επίσης, στο πλαίσιο μίας διπλωματικής εργασίας επί παραδείγματι, να αναπτυχθεί και ένα πρόγραμμα Η/Υ για τη χάραξη σπειροειδών κόμβων που θα διευκολύνει τη διαδικασία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης της τελικής διαμόρφωσης.

Βιβλιογραφία

Κανελλαΐδης Γ., Μαλέρδος Γ., Καλτσούνης Α., Γλαρός Γ., **«Σημειώσεις για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό των Οδών»**, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2006.

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.

Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γιαννόπουλος Γ.Α., **«Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική»**, Εκδόσεις Επίκεντρο, Θεσσαλονίκη, 1986.

Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., **«Οδική Ασφάλεια»**, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Federal Highway Administration, **“Roundabouts in the United States”**, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2007.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), **“A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”** (“AASHTO’s Green Book”), 2004.

Brilon W., Bondzio L., Weiser F., **“Das neue Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren”**, IVU-Seminar, Ludwigsburg, 2006.

Brilon W., **“Turbo – Roundabouts: An Experience from Germany”**, TRB National Roundabout Conference, Kansas City, 2008.

Brilon W., Ruhr University, Institute of Transportation and Traffic Engineering (Germany), **“Experiences with Modern Roundabouts in Germany – a state-of-the-art report”**, Seminar on Recent European Developments of Roundabout Design, Athens, 2011.

Brilon W., **“Roundabouts: A State of the Art in Germany”**, Ruhr University, Institute of Transportation and Traffic Engineering (Germany), Bochum, 2011.

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

Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Strassenentwurf, **“Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren”**, Köln, 2006.

Fortuijn L.G.H., **“Roundabouts in the Netherlands, Development and Experience”**, International Roundabout Design and Capacity Seminar in connection with the TRB 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011.

Fortuijn L.G.H., **“Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety”**, Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers (ITE), Seattle, 2003.

Fortuijn L.G.H., **“Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance”**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR Journal), 2009.

Giuffre O., Guerrieri M., Grana A., **“Turbo – Roundabout General Design Criteria and Functional Principles”**, Palermo, 2009.

Hansen I.A., Fortuijn L.G.H., **“Steigerung der Leistungsfähigkeit and Sicherheit von mehrspurigen Kreisverkehrsplätzen durch Spiralform”**, Strassenverkehrstechnik Nr.1, 2006.

Kennedy J.V., Peirce J., Summersgill I., **“International Comparison of Roundabout Design Guidelines”**, 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, 2005.

Mohamed A., Hosni Y., **“Roundabouts Design, Modeling and Simulation”**, University of Central Florida, 2001.

Pochowski A., Myers E. J., **“Review of State Roundabout Programs”**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR Journal), Washington D.C., 2010.

Spacek P., **“Basis of the Swiss Design Standard for Roundabouts”**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR Journal), Washington D.C., 2004.

Stone J. R., Chae K., Pillalamarri S., **“The Effects of Roundabouts on Pedestrian Safety”**, The Southeastern Transportation Center, Knoxville, Tennessee, 2002.

SWOV Institute for Road Safety Research **fact sheet “Roundabouts”**, Leidschendam (NL), 2010.

SWOV Institute for Road Safety Research **fact sheet “Roundabouts”**, Leidschendam (NL), 2012.

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.

Tollazzi T., Rencelj M., Turnsek S., **“Roundabout with Depressed Lanes for Right Turning – “Flower Roundabout”**, University of Maribor, 2011.

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.

Wisconsin Department of Transportation, **“Roundabout Guide”**, State of Wisconsin, 2008.

<http://www.fhwa.dot.gov/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 10/01/2012.

<http://www.roundaboutsusa.com/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 20/01/2012.

<http://www.transoftsolutions.com/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 21/05/2012.

<http://www.wolframalpha.com/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 30/05/2012.