



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ  
ΣΧΟΛΗ**

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:  
“ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ  
ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ”**

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΣΤΟΝ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΤΟΥ ΒΟΛΟΥ, ΣΤΗ  
ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΟ ΦΥΤΟΚΟΥ**

**ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΗΣ**

**ΒΟΛΟΣ 2017**



© 2017 Σπυρίδων Μαυρογιάννης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακός και Χωρικός Σχεδιασμός» δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του/της συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)

**Δρ. Νικόλαος Ηλιού**

*Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Δεύτερος Εξεταστής

**Δρ. Ευτυχία Ναθαναήλ**

*Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τρίτος Εξεταστής

**Δρ. Παντελής Κοπελιάς**

*Λέκτορας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

## Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω καταρχήν τον επιβλέποντα καθηγητή μου Νίκο Ηλιού για την πολύτιμη τεχνική υποστήριξη σε επίπεδο λογισμικού και καθοδήγησης, τη σύντροφό μου Έφη Μπαντή, τον φίλο και συνεργάτη Παναγιώτη Σιούλα και την οικογένεια μου για τη αμέριστη συμπαράσταση και ψυχολογική υποστήριξη συμβάλλοντας για την επίτευξη του εγχειρήματος σε μία αρκετά δύσκολη περίοδο.

Σπυρίδων Μαυρογιάννης

## Περίληψη

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή των εθνικών προδιαγραφών διαμόρφωσης ισόπεδων κυκλικών κόμβων (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011) σε πραγματικές διασταυρώσεις της πόλης του Βόλου. Συγκεκριμένα στη διαμόρφωση δύο συνεργαζόμενων κυκλικών κόμβων στη διασταύρωση της οδού Φυτόκου με τον Περιφερειακό δακτύλιο της πόλης και των οδών Φυτόκου και Αγ. Ευστρατίου, δημιουργώντας ασφαλείς συνθήκες προσπέλασης για τους οδηγούς και επιβάτες Ι.Χ., φορητών, Μ.Μ.Μ. καθώς και για πεζούς και ποδηλάτες, βελτιώνοντας παράλληλα τη λειτουργική επίδοση της κύριας διασταύρωσης (Φυτόκου & Περ. Βόλου).

Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία εκτενής εισαγωγή στα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός κυκλικού κόμβου σύμφωνα με τις εθνικές και διεθνείς προδιαγραφές, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, στις κατηγορίες κυκλικών κόμβων και μία ιστορική αναδρομή εφαρμογής κυκλικών κόμβων ή καλύτερα κυκλικών πορειών.

Στα Κεφάλαια 2 έως 6 παρατίθενται τα πιο καίρια σημεία, κατά τη γνώμη του συντάκτη, των εθνικών και δευτερευόντως των αμερικάνικων προδιαγραφών για το Σχεδιασμό (Planning), τον γεωμετρικό σχεδιασμό, τις απαιτήσεις σε οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, τη λειτουργική ανάλυση και το επίπεδο της οδικής ασφάλειας των ισόπεδων κυκλικών κόμβων.

Στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται λογισμικά για το γεωμετρικό σχεδιασμό κυκλικών κόμβων και γίνεται μία επισκόπηση του menu του TORUS v.5.0. το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο τουλάχιστον στην Ελλάδα λογισμικό σχεδιασμού (design) κυκλικών κόμβων και με τη χρήση του οποίου υλοποιήθηκε ο γεωμετρικός σχεδιασμός των δύο προαναφερθέντων συνεργαζόμενων κυκλικών κόμβων της παρούσας εργασίας.

Τέλος, στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθεται η πρόταση διαμόρφωσης των δύο συνεργαζόμενων κυκλικών κόμβων υπό τη μορφή τεχνικής έκθεσης και σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

*Λέξεις Κλειδιά:*

*Ισόπεδος κόμβος κυκλικής κίνησης, κυκλικός κόμβος, ΟΜΟΕ  $K^3$ , Γεωμετρικός σχεδιασμός, Φυτόκου & Περ. Βόλου*

## **Abstract**

The main purpose of this Thesis is the implementation of the national guidelines concerning the design of two closely spaced roundabouts in place of existing intersections in the city of Volos. Namely, the design of two working together roundabouts at the intersection between a local road (Fytokoy) and the Peripheral arterial of Volos and at the intersection between local road Fytokoy and local road Ag. Eystratioy which will contribute to safe travelling for drivers and passengers of private cars, long vehicles, or Mass Transport, as well as pedestrians and cyclists and will further improve the operational performance of the main intersection (Fytokoy & Peripheral arterial).

Specifically, in the first chapter of the Thesis, there is an extensive introduction about the features and characteristics of a roundabout based on the national and international guidelines, their advantages and disadvantages, the types of roundabouts, as well as a historical background of the configuration of roundabouts or circular intersections.

Chapters 2 to 6 focus on the most critical points, from the point of view of the writer of the Thesis, firstly of the national and secondly on the American guidelines for Planning, Geometric design, standard pavement markings and signs, operational analysis and safety performance of roundabouts.

In chapter 7, there comes a number of software about the geometric design of roundabouts, a review of the menu of TORUS v.5.0. which is widely used for designing roundabouts at least in Greece, and which was the basis of the geometric design of the above mentioned closely spaced roundabouts in the present Thesis.

Finally, in chapter 8, is presented the proposition for the design of the two working together roundabouts in the form of technical report according to what was recorded in the previous chapters.

### ***Key Words:***

*Roundabouts, Greek National Guidelines (OMOE K<sup>3</sup>), Geometric design, Fytokoy & Peripheral arterial of Volos intersection*

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>1. Εισαγωγή</b> .....	1
1.1 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κόμβου Κυκλικής Κίνησης .....	3
1.1.1 <i>Ιστορικά</i> .....	3
1.1.2 <i>Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του σύγχρονου κυκλικού κόμβου (roundabout)</i> .....	5
1.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Κόμβων Κυκλικής Κίνησης .....	8
1.3 Κατηγορίες Κόμβων Κυκλικής Κίνησης.....	11
<b>2. Σχεδιασμός (Planning)</b> .....	14
2.1 Βήματα Σχεδιασμού .....	15
2.2 Ειδικές συνθήκες για την εφαρμογή λύσης της μορφής $K^3$ .....	16
2.3 Μέγεθος και απαιτήσεις χώρου στο στάδιο του σχεδιασμού.....	17
2.3.1 <i>Εκτίμηση του αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας και εισόδων/εξόδων</i> .....	17
2.3.2 <i>Απαιτήσεις χώρου (έκταση κατάληψης)</i> .....	18
2.4 Άλλα θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψιν.....	21
<b>3. Γεωμετρικός Σχεδιασμός</b> .....	24
3.1 Βασικές Αρχές.....	24
3.2 Μέγεθος, Θέση και Διάταξη κλάδων πρόσβασης.....	26
3.2.1 <i>Διάμετρος του δακτυλίου κυκλοφορίας</i> .....	27
3.2.2 <i>Βασικές παράμετροι σχεδιασμού</i> .....	28
3.2.3 <i>Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας</i> .....	28
3.2.4 <i>Αριθμός λωρίδων δακτυλίου κυκλοφορίας και εισόδων/εξόδων</i> .....	30
3.2.5 <i>Διάταξη κλάδων Πρόσβασης &amp; Γωνίες μεταξύ των σκελών</i> .....	30
3.2.6 <i>Είσοδοι</i> .....	32
3.2.7 <i>Εξοδοι</i> .....	36
3.2.9 <i>Διαμόρφωση αποκλειστικών λωρίδων δεξιάς στροφής</i> .....	37
3.3 Έλεγχοι Επίδοσης του $K^3$ .....	40
3.3.1 <i>Έλεγχος επικάλυψης πορείας</i> .....	40
3.3.2 <i>Ταχύτητα Σχεδιασμού &amp; Συντομότερη διαδρομή (Fastest Path)</i> .....	40
3.3.3 <i>Ορατότητα</i> .....	43
3.3.4 <i>Όχημα Σχεδιασμού</i> .....	47
3.4 Λεπτομέρειες σχεδιασμού $K^3$ και κατασκευαστικά ζητήματα.....	49
3.4.1 <i>Πεζοδιαβάσεις &amp; Πεζοδρόμια</i> .....	49



3.4.2	Οδοφωτισμός .....	51
3.4.3	Τοπιοτεχνία και αισθητική.....	52
3.4.4	Υψομετρική διαμόρφωση και αποχέτευση καταστρώματος.....	53
3.4.5	Υλικά Κατασκευής Οδοστρώματος Και Κρασπέδων Κυκλικών Κόμβων..	54
<b>4.</b>	<b>Οριζόντια και Κατακόρυφη Σήμανση .....</b>	<b>56</b>
4.1	Οριζόντια Σήμανση - Διαγράμμιση .....	56
4.2	Κατακόρυφη Σήμανση .....	59
<b>5.</b>	<b>Λειτουργική Ανάλυση .....</b>	<b>61</b>
5.1	Γενικά .....	61
5.2	Λειτουργικός σχεδιασμός.....	61
5.3	Συλλογή Δεδομένων .....	62
5.4	Ανάλυση Χωρητικότητας .....	64
5.5	Ανάλυση Καθυστερήσεων.....	64
<b>6.</b>	<b>Οδική Ασφάλεια .....</b>	<b>67</b>
6.1	Γενικά .....	67
6.2	Οι κυκλικοί κόμβοι ως μέτρο ασφάλειας .....	68
6.3	Τύποι και περιπτώσεις ατυχημάτων .....	70
<b>7.</b>	<b>Λογισμικό για το Γεωμετρικό Σχεδιασμό Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου .....</b>	<b>73</b>
7.1	Γενικά .....	73
7.2	Σχεδιασμός $K^3$ με τη Βοήθεια του TORUS Roundabouts v.5.0.....	73
7.2.1	Επισκόπηση του προγράμματος .....	73
7.2.2	Ελάχιστες Απαιτήσεις του Λογισμικού .....	74
7.2.3	Επισκόπηση του Menu.....	74
<b>8.</b>	<b>Τεχνική Έκθεση: Διαμόρφωση Κόμβου Κυκλικής Κίνησης (<math>K^3</math>) στη διασταύρωση των οδών Φυτόκου &amp; Περιφερειακής οδού Βόλου .....</b>	<b>77</b>
8.1	Συνοπτική Περιγραφή της Μελέτης.....	77
8.2	Ισχύοντες Κανονισμοί και Προδιαγραφές .....	78
8.3	Ισόπεδοι Κόμβοι – Υφιστάμενη Κατάσταση .....	79
8.4	Όχημα σχεδιασμού.....	81
8.5	Διαστάσεις Κυκλικών Κόμβων.....	82
8.6	Περιγραφή της Νέας Διαμόρφωσης του Κόμβου.....	83
8.7	Έλεγχοι Επίδοσης και Ασφάλειας της νέας διαμόρφωσης .....	85
8.7.1	Έλεγχος Ταχυτήτων – Συντομότερη Διαδρομή.....	85

8.7.2	Ορατότητα.....	86
8.7.3	Έλεγχος Επικάλυψης Πορειών Εισόδου/Εξόδου .....	88
8.7.4	Εκτίμηση Κινήσεων – Εξυπηρέτηση Οχήματος Σχεδιασμού.....	89
<b>Βιβλιογραφία.....</b>		<b>93</b>



## **Κατάλογος Πινάκων**

**Πίνακας 1.2-1** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα  $K^3$

**Πίνακας 3.2.1-1** Συνιστώμενη διάμετρος κύκλου εξωτερικής περιμέτρου δακτυλίου (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Πίνακας 3.2.2-1** Τυπικά πεδία τιμών σχεδιασμού γεωμετρικών παραμέτρων (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Πίνακας 5.2-1** Εφαρμογές, απαιτούμενοι τύποι και εργαλεία ανάλυσης (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Πίνακας 5.5-1:** Επίπεδο εξυπηρέτησης ανάλογα με τη συνολική καθυστέρηση (ΟΜΟΕ- $K^3$ ,2011)

**Πίνακας 8.7.3-1** Έλεγχος επικάλυψης Πορείας

## **Κατάλογος Σχημάτων – Διαγραμμάτων- Εικόνων**

**Σχήμα 1.-1** Κύρια χαρακτηριστικά Κόμβου Κυκλικής Κίνησης (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).

**Εικόνα 1.1.1-1** Ο «κύκλος του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη 1905

**Εικόνα 1.1.1-2** Ο «κύκλος του Κολόμβου» κατόπιν ανακαίνισης (2005)

**Εικόνα 1.1.1-3** Παράδειγμα περιστροφικής κυκλικής κίνησης (Rotary) (NCHRP & FHWA, 2010)

**Εικόνα 1.1.2-1** Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια επεξεργασία).

**Εικόνα 1.1.2-1** Χαρακτηριστικά στοιχεία σύγχρονου κυκλικού κόμβου (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Σχήμα 1.2-1** Σημεία και τύποι εμπλοκής σε ισόπεδη διασταύρωση και σε  $K^3$  (Πηγή: ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Σχήμα 1.2-2** Σημεία σύγκρουσης μεταξύ πεζών και οχημάτων σε συμβατική ισόπεδη διασταύρωση και σε  $K^3$  (πηγή: ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Σχήμα 2.1-1** Αρχικά βήματα σχεδιασμού (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

**Σχήμα 2.3.1-1** Απαιτούμενος αριθμός λωρίδων δακτυλίου κυκλοφορίας

- Σχήμα 2.3.2-1** Σύγκριση χωρικών απαιτήσεων ενός  $K^3$  μία λωρίδας έναντι συγκρίσιμης σηματοδοτούμενης διασταύρωσης (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).
- Σχήμα 2.3.2-2** Σύγκριση χωρικών απαιτήσεων ενός  $K^3$  δύο λωρίδων έναντι συγκρίσιμης σηματοδοτούμενης διασταύρωσης (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).
- Σχήμα 3.1-1** Γενική διαδικασία γεωμετρικού σχεδιασμού (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).
- Εικόνα 3.2-1** Παραδείγματα πιθανών συνδυασμών θέσης και διάταξης των κλάδων πρόσβασης σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση (NCHRP & FHWA, 2010)
- Σχήμα 3.2.3-1** Διαστάσεις γεωμετρικών παραμέτρων που διαμορφώνονται εντός της διάμετρου  $f$  (OMOE  $K^3$ , 2011).
- Σχήμα 3.2.5-1** Θέση αξόνων στους κλάδους προσέγγισης. (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.5-2** Γωνίες μεταξύ των κλάδων προσέγγισης σε διασταύρωση διάταξης «T» (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.5-3** Γωνίες μεταξύ των κλάδων προσέγγισης σε διασταύρωση διάταξης «Y» (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.6-1** Στοιχεία σχεδιασμού εισόδου σε κυκλικό κόμβο μία λωρίδας  
Πηγή: Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία
- Σχήμα 3.2.6.1-1** Αύξηση του πλάτους εισόδου με προσθήκη νέας λωρίδας (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.6.1-2** Αύξηση του πλάτους εισόδου με διαπλάτυνση του κλάδου προσέγγισης (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.7-1** Στοιχεία σχεδιασμού εξόδου σε κυκλικό κόμβο μία λωρίδας (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.2.9-1** Παράλληλη λωρίδα δεξιάς στροφής που σταματά στην περίμετρο του δακτυλίου κίνησης, χωρίς επιφάνεια αποκλεισμού (βλ. A) και με επιφάνεια αποκλεισμού (βλ. B), (OMOE  $K^3$ , 2011)
- Σχήμα 3.2.9-2** Παρακαμπτήριο κλάδος δεξιάς στροφής, με λωρίδα επιτάχυνσης (OMOE  $K^3$ , 2011)

- Σχήμα 3.2.3-1** Μέθοδος ελέγχου επικάλυψης πορείας (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)
- Σχήμα 3.3.2-1** Ακτίνες διαδρομών οχήματος (Federal Highway Administration, 2000)
- Σχήμα 3.3.3-1** Μήκος ορατότητας για στάση κατά την προσέγγιση (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.3.3-2** Μήκος ορατότητας για στάση επί του κυκλικού καταστρώματος (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.3.3-3** Μήκος ορατότητας για στάση πριν από την πεζοδιάβαση εξόδου (Federal Highway Administration, 2000)
- Σχήμα 3.3.3-4** Τρίγωνο ορατότητας κατά την είσοδο (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 3.3.3-5** Παράδειγμα σχεδιασμού με πολύ μικρή γωνία ορατότητας προς τα αριστερά (<75°), Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία
- Σχήμα 3.3.3-6** Παράδειγμα σχεδιασμού με βελτιωμένη γωνία ορατότητας προς τα αριστερά (>75°), Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία
- Εικόνα 3.3.4-1** Παράδειγμα κυκλικού κόμβου σχεδιασμένου για μεγάλα φορτηγά (National Cooperative Highway Research Program, 2010)
- Σχήμα 3.4.1-1** Πεζοδιαβάσεις κάθετες στις οριογραμμές των κλάδων εισόδου και ευθυγραμμισμένες με τη ροή της κυκλοφορίας (προτιμώμενη διάταξη) (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)
- Εικόνα 3.4.1-1** Παράδειγμα κατασκευής πεζοδρομίου με ενδιάμεση ζώνη τοπιοτεχνίας πριν το οδόστρωμα - Overland Park, Kansas (National Cooperative Highway Research Program, 2010)
- Σχήμα 3.4.2-1** Απεικόνιση φωτιζόμενων επιφανειών γύρω από τους στύλους οδοφωτισμού (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)
- Εικόνα 3.4.3-1** Παράδειγμα ζώνης τοπιοτεχνίας - Coralville, Iowa (National Cooperative Highway Research Program, 2010)
- Εικόνα 4.1-1** Διακεκομμένη γραμμή εισόδου (Federal Highway Administration, 2000)
- Εικόνα 4.1-2** Γραμμή εισόδου με λευκά ισοσκελή τρίγωνα (Federal Highway Administration, 2000)
- Σχήμα 4.1-1** Σήμανση με βέλη για τη χρήση λωρίδων (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

- Σχήμα 4.1-1** Οριζόντια σήμανση στους κλάδους προσέγγισης και αποχώρησης (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 4.1-2:** Οριζόντια σήμανση επί του κυκλικού καταστρώματος (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)
- Σχήμα 4.2-1** Κατακόρυφη σήμανση σε κυκλικό κόμβο 1 ή 2 λωρίδων (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)
- Σχήμα 5.3-1** Φόρτοι κινήσεων ανά κλάδο εισόδου και κατεύθυνση
- Σχήμα 5.3-2** Φόρτοι κινήσεων εισόδου, εξόδου και δακτυλίου κυκλοφορίας
- Σχήμα 5.5-1** Καθυστερήσεις σε σχέση με εισερχόμενο φόρτο και χωρητικότητα (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>,2011)
- Σχήμα 5.5-2** Καθυστερήσεις σε σχέση με τη χωρητικότητα, το λόγο φόρτου/ χωρητικότητας και το γινόμενο χωρητικότητας επί την περίοδο ανάλυσης (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>,2011)
- Σχήμα 6.3-1** Συγκρούσεις εντός του δακτυλίου λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδων για ευθεία πορεία
- Σχήμα 6.3-2** Συγκρούσεις κατά την έξοδο λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας του κινούμενου επί του δακτυλίου
- Σχήμα 6.3-3** Συγκρούσεις κατά την έξοδο λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας από την έναρξη της εισόδου στο δακτύλιο
- Σχήμα 6.3-4** Σημεία σύγκρουσης οχημάτων και πεζών
- Σχήμα 6.3-5** Τύποι ατυχημάτων
- Εικόνα 7.2-1** Εικόνες από το περιβάλλον σχεδίασης του TORUS.
- Εικόνα 7.2.3** Γραμμή Εργαλείων TORUS (TORUS ToolBar/Ribbon)
- Εικόνα 8.3-1** Ευρύτερη Περιοχή Διαμόρφωσης των Κόμβων
- Εικόνα 8.3-2** Διασταύρωση οδού Φυτόκου με Περιφερειακή οδό Βόλου και εγγύτερη περιοχή
- Εικόνα 8.3-3** Περιοχή Κόμβου (Φυτόκου & Περιφερειακή Βόλου)
- Εικόνα 8.3-4** Περιοχή Κομβιδίου (Φυτόκου & Αγίου Ευστρατίου)
- Εικόνα 8.4-1** Τυπικό Όχημα Μελέτης (WB-15)
- Εικόνα 8.4-2** Τυπικό Όχημα Μελέτης (BUS-40)

**Εικόνα 8.6-1** Γενική Διαμόρφωση Κόμβων (Διαστ. οδ. Φυτόκου & Περ. Βόλου)

**Διάγραμμα 8.7.1-1** Πορείες οχημάτων κατά την εκτέλεση της συντομότερης διαδρομής για την εκτίμηση των ταχυτήτων που αναπτύσσονται στον κόμβο.

**Διάγραμμα 8.7.2-1** Γωνίες Ορατότητας

**Διάγραμμα 8.7.2-2** Μήκη Ορατότητας για στάση κατά την προσέγγιση του κόμβου (μέχρι την είσοδο και μέχρι την πεζοδιάβαση) και για στάση επί του δακτυλίου κυκλοφορίας

**Διάγραμμα 8.7.2-3** Μήκη Ορατότητας κατά την είσοδο

**Διάγραμμα 8.7.4 – 1** Κίνηση Ανατολή – Δύση και Δύση Ανατολή του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) παράλληλα με Ι.Χ. (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 2** Κίνηση Ανατολή – Νότος του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) παράλληλα με Ι.Χ. (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 3** Κίνηση Ανατολή – Βορράς και Βορράς - Δύση του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 4** Κίνηση Δύση – Βορράς του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 5** Κίνηση Δύση – Νότος του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 6** Κίνηση Νότος - Ανατολή του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) (μεγάλος κυκλικός κόμβος)

**Διάγραμμα 8.7.4 – 7** Δυσχερέστερες κινήσεις του οχήματος σχεδιασμού (BUS-40) στο κομβίδιο



## 1. Εισαγωγή

Ένας κυκλικός κόμβος είναι ένας τύπος κυκλικής διασταύρωσης στην οποία τα οχήματα κινούνται δεξιόστροφα (αντίθετα με τους δείκτες του ρολογιού) σε χώρες όπως η Ελλάδα και οι Η.Π.Α και αριστερόστροφα (σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού) σε χώρες όπως η Αγγλία λόγω του διαφορετικού συστήματος οδήγησης. Στην Εικόνα 1.-1 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά ενός τυπικού κυκλικού κόμβου (NCHRP & FHWA, 2010).



**Σχήμα 1.-1** Κύρια χαρακτηριστικά Κόμβου Κυκλικής Κίνησης (NCHRP & FHWA, 2010, ίδια Επεξεργασία).

Η υιοθέτηση των Κόμβων Κυκλικής Κίνησης ( $K^3$ ) καθιερώνεται διεθνώς όλο και περισσότερο, ενώ αυτοί αντικαθιστούν αποτελεσματικά και τους σηματοδοτούμενους ισόπεδους κόμβους. Η διαμόρφωση αυτών των κόμβων επιφέρει την επιβράδυνση των οχημάτων κατά την είσοδο στο δακτύλιο κυκλοφορίας και περιορίζει τη ροή κυκλοφορίας μόνο προς μία κατεύθυνση, ενώ απαλείφει σημαντικό αριθμό πιθανών σημείων σύγκρουσης (σημεία εμπλοκής), τόσο μεταξύ των οχημάτων, όσο και μεταξύ οχημάτων και πεζών σε αστικές και περιαστικές περιοχές. Ειδικά η νησίδα διαχωρισμού, που προβλέπεται πάντα στις οδούς πρόσβασης στο σημείο προσέγγισης του δακτυλίου κυκλοφορίας, παρέχει περισσότερη ασφάλεια στους πεζούς. Η νησίδα διαχωρισμού προσφέρει καταφύγιο στους πεζούς, ώστε να διασχίσουν το οδόστρωμα της κάθε κατεύθυνσης κυκλοφορίας με δυνατότητα ενδιάμεσης στάσης, σε σχετικά ασφαλή θέση. Η μορφή των εν λόγω κόμβων γίνεται συνεχώς δημοφιλέστερη,

λόγω της βελτίωσης της οδικής ασφάλειας και της λειτουργικής αποτελεσματικότητας που αποδεδειγμένα προσφέρουν (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>, 2011).

Οι Κ<sup>3</sup> μπορεί να προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, έναντι των συμβατικών ισόπεδων κόμβων συμβολής ή διασταύρωσης (με ή χωρίς φωτεινή σηματοδότηση), στα οποία μπορεί να περιλαμβάνονται:

- Γενική βελτίωση της οδικής ασφάλειας και της κυκλοφοριακής εξυπηρέτησης. Από στατιστικά στοιχεία άλλων χωρών προκύπτει ότι, σε σχέση με άλλες μορφές, οι Κ<sup>3</sup> επιτυγχάνουν μείωση ατυχημάτων: σοβαρού τραυματισμού και θανατηφόρων μέχρι 90%, τραυματισμού μέχρι 75%, αύξηση κυκλοφοριακής ικανότητας κατά 30-50%, η οποία μπορεί να μειώνεται σε 30-40% σε περίπτωση παρουσίας πεζοδιαβάσεων.
- Περιορισμός των καθυστερήσεων (γενικά αποτρέπεται ο σχηματισμός ουρών).
- Μικρότερες ουρές, ειδικά σε περιόδους εκτός αιχμής κυκλοφορίας.
- Καλύτερη διαχείριση της ταχύτητας, η ρύθμιση της οποίας αποτελεί παράγοντα ίσως τον κρισιμότερο στη θέση ισόπεδου κόμβου (η επιβαλλόμενη μείωση της ταχύτητας σημαίνει ότι: οι οδηγοί έχουν στη διάθεσή τους μεγαλύτερο χρόνο να αποφασίσουν και αντιδράσουν ενώπιον των άλλων κινουμένων οχημάτων και των πεζών, τα ατυχήματα είναι μειωμένης σοβαρότητας, οι πεζοί κινούνται με μεγαλύτερη ασφάλεια).
- Ευκαιρίες για βελτίωση των χαρακτηριστικών των οδών στα σημεία εισόδου σε οικισμένο περιβάλλον (οι βελτιωμένες συνθήκες κυκλοφορίας μειώνουν την κατανάλωση καυσίμων και την παραγωγή ρύπων).
- Σε αρκετές περιπτώσεις αποφυγή ή μετάθεση στο μέλλον της ανάγκης για δαπανηρά έργα, π.χ. για κατασκευή ανισόπεδου κόμβου, έργων διαπλατυνσεων διαμόρφωσης αριστερών στροφών, ή και εγκατάστασης φωτεινής σηματοδότησης.
- Εξοικονόμηση χρηματικών πόρων, επειδή δεν απαιτείται εγκατάσταση και συντήρηση φωτεινής σηματοδότησης. Συγκεκριμένα μπορεί να εξοικονομούνται ετησίως περίπου € 5.000 από δαπάνες οδοφωτισμού και συντήρησης, δεδομένου ότι η ζωή των έργων μπορεί να καλύψει διάρκεια 25 ετών, σε σύγκριση με τα 10 έτη ζωής, που έχει μια συμβατική εγκατάσταση φωτεινής σηματοδότησης (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>, 2011).

Η λειτουργία των ισόπεδων κόμβων κατά μήκος των οδικών αξόνων αποτελεί σοβαρή αιτία πρόκλησης ατυχημάτων. Κατά κανόνα, ποσοστό μεγαλύτερο από το 50% των ατυχημάτων συμβαίνει σε ισόπεδους κόμβους. Ο αριθμός των σημείων πιθανής σύγκρουσης (σημεία εμπλοκής) σε ένα κόμβο πρέπει να μειώνονται στον ελάχιστο δυνατό. Η διαμόρφωση Κ<sup>3</sup> είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του αριθμού των σημείων εμπλοκής και μπορεί πράγματι να παρουσιάζει μικρότερο κίνδυνο για ατυχήματα, σε σύγκριση ακόμα και με τους ανισόπεδους κόμβους.

## 1.1 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κόμβου Κυκλικής Κίνησης

### 1.1.1 Ιστορικά

Οι κυκλοφοριακοί κύκλοι (traffic circles) αποτέλεσαν «κομμάτι» του συγκοινωνιακού συστήματος στις Ηνωμένες Πολιτείες από το 1905, όταν ο πρώτος κύκλος, γνωστός και ως «ο κύκλος του Κολόμβου» (Εικόνα 1.1.1-1), σχεδιάστηκε από τον William Phelps Eno. Συνεπώς αρκετοί εκτενείς κυκλοφοριακοί κύκλοι ή περιστροφικές κυκλικές διαμορφώσεις (rotaries) κατασκευάστηκαν στις Η.Π.Α. Ωστόσο, οι παραπάνω κυκλικές διασταυρώσεις 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).



Εικόνα 1.1.1-1 Ο «κύκλος του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη 1905



Εικόνα 1.1.1-2 Ο «κύκλος του Κολόμβου» κατόπιν ανακαίνισης (2005)



**Εικόνα 1.1.1-3** Παράδειγμα περιστροφικής κυκλικής κίνησης (Rotary) (NCHRP & FHWA, 2010)

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 (NCHRP, 2010)

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.

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 τις προαναφερθείσες, παλαιότερου τύπου κυκλικές διασταυρώσεις.

### 1.1.2 Περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του σύγχρονου κυκλικού κόμβου (roundabout)

Η διάταξη του Κ3 παρουσιάζει συγκεκριμένα ειδικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, που, γενικά, δεν απαντώνται στις άλλες διαμορφώσεις ισόπεδων κόμβων. Ταυτόχρονα, έχουν στοιχεία που συνηθίζονται και σε άλλους τύπους διασταυρώσεων ή συμβολών με παρόμοια λειτουργία. Τα σημαντικότερα από αυτά απεικονίζονται στην επόμενη Εικόνα 1.1.2-1 και είναι τα ακόλουθα.

**Κεντρική νησίδα κόμβου κυκλικής κίνησης**, είναι μια υπερυψωμένη κυκλική επιφάνεια στο κέντρο του κόμβου γύρω από την οποία διεξάγεται η κυκλοφορία στο δακτύλιο κυκλοφορίας.

**Σκέλη κόμβου**, αποτελούν τα οδικά τμήματα που συμβάλλουν στον κόμβο (προσβάσεις του κόμβου), τα οποία μπορεί να είναι 3 ή 4, αλλά και περισσότερα υπό ορισμένες συνθήκες.

**Νησίδα διαχωρισμού**, προβλέπεται σε κάθε πρόσβαση και είναι μία επιφάνεια υπερυψωμένη με κράσπεδα ή τουλάχιστον η επιφάνεια του οδοστρώματος της πρόσβασης με οριζόντια διαγράμμιση ως επιφάνεια αποκλεισμού. Σκοπός είναι να διαχωρίζει την εισερχόμενη από την εξερχόμενη κυκλοφορία, να διοχετεύει και να επιβραδύνει την εισερχόμενη κυκλοφορία και να προσφέρει χώρο καταφυγίου αναμονής για τους πεζούς, που διασχίζουν κάθετα την οδό πρόσβασης, εν γένει σε δύο στάδια.

**Δακτύλιος κυκλοφορίας**, είναι η επιφάνεια οδοστρώματος στην οποία κινούνται αριστερόστροφα τα οχήματα, γύρω από την κεντρική κυκλική νησίδα του κόμβου.

**Υπερβατή ζώνη κεντρικής νησίδας**, κατασκευάζεται εφόσον απαιτείται για τη διέλευση βαρέων οχημάτων, στην περίμετρο της κεντρικής νησίδας. Αυτή η διαμόρφωση δεν είναι απαραίτητη για όλους τους Κ3, αλλά ανάλογα με το μέγεθος της ακτίνας της κυκλικής κεντρικής νησίδας και το όχημα σχεδιασμού.

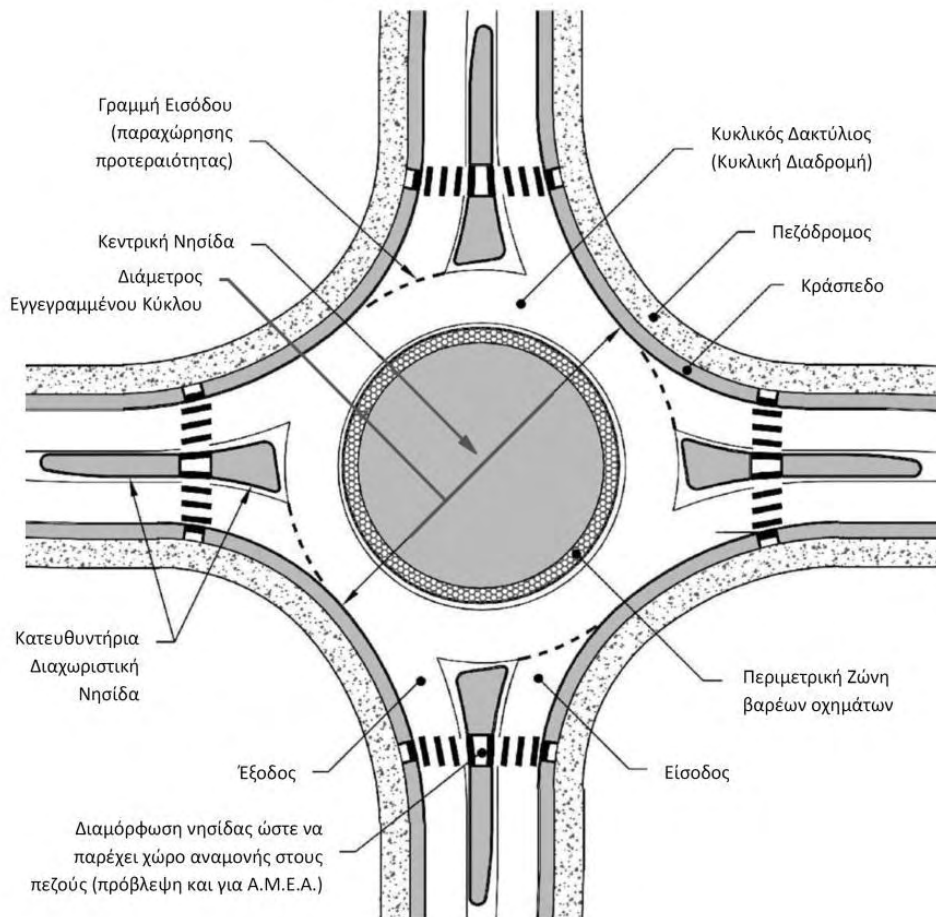
**Γραμμή εισόδου**, είναι η διαγράμμιση (οριζόντια σήμανση) εγκάρσια του οδοστρώματος της πρόσβασης που χρησιμοποιείται για να οριστεί το σημείο εισόδου από μια πρόσβαση στο δακτύλιο κυκλοφορίας. Αυτή γενικά τοποθετείται στην εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου. Σε αυτό το σημείο αναμένονται τα σημεία εμπλοκής μεταξύ των οχημάτων που εισέρχονται στον δακτύλιο κυκλοφορίας και αυτών που ήδη κινούνται επί του δακτυλίου. Κατά κανόνα, ισχύει η προτεραιότητα υπέρ των κινούμενων επί του δακτυλίου, εκτός αν ορίζεται αλλιώς.

**Εγκάρσιες Πεζοδιαβάσεις**, απαιτούνται κυρίως σε αστικό περιβάλλον, ώστε να επιτρέπουν και σε ΑμΕΑ τη διέλευση εγκάρσια σε κάθε οδική πρόσβαση

του κόμβου. Αυτές προβλέπονται εγκάρσια στη νησίδα διαχωρισμού, όπου προστατεύονται οι πεζοί και προσφέρεται η δυνατότητα ενδιάμεσης στάσης πριν αυτοί διασχίσουν και το οδόστρωμα της αντίθετης κατεύθυνσης της οδικής πρόσβασης.

**Διαμορφώσεις για ποδήλατα.** Οι Κ3 θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα και στους ποδηλάτες να κινηθούν εντός και πέριξ της διάταξης, είτε ως οχήματα μέσα στο δακτύλιο κυκλοφορίας, είτε ως πεζοί χρησιμοποιώντας τις κατάλληλα διευρυμένες πεζοδιαβάσεις.

**Ζώνη τοπιοτεχνίας.** Όταν ο κόμβος αναπτύσσεται σε αστικό περιβάλλον, τότε μεταξύ του περιφερειακού πεζοδρομίου και του δακτυλίου κυκλοφορίας συνιστάται να παρεμβάλλεται συνήθως μια ζώνη τοπιοτεχνίας (φύτευση χαμηλού πράσινου), που διαχωρίζει τους πεζούς από τα οχήματα, ενώ κατευθύνει τους πεζούς να διασχίζουν τον κόμβο από τις προβλεπόμενες πεζοδιαβάσεις. Αυτή συνεισφέρει σημαντικά στην αισθητική του κόμβου, ενώ παράλληλα πρέπει να διασφαλίζει το απαιτούμενο ελεύθερο πεδίο ορατότητας (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)



**Εικόνα 1.1.2-1** Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010, ίδια επεξεργασία).

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία ενός τυπικού Κ3 με 4 σκέλη που παρατίθενται παραπάνω (οδικές προσβάσεις) απεικονίζονται στο ενδεικτικό Σχήμα 1.1.2-1



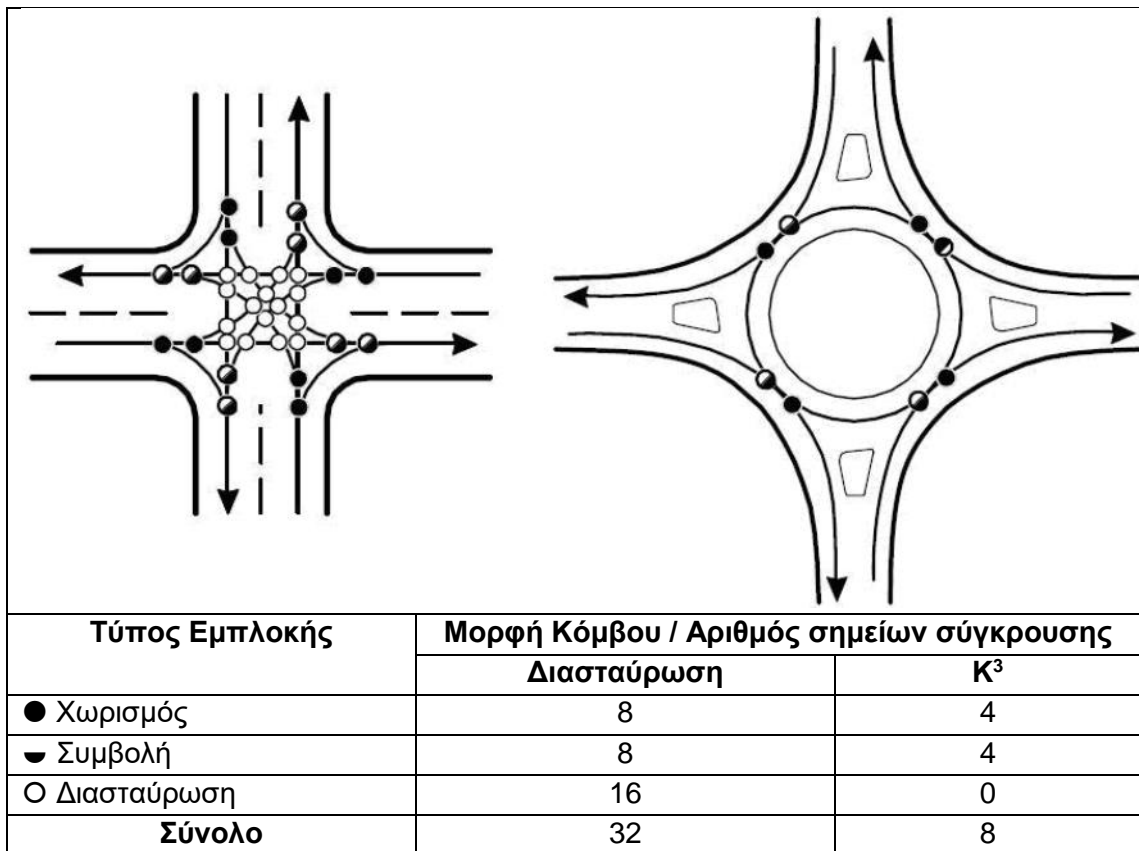
1. Καταφύγιο πεζών στη νησίδα διαχωρισμού
  2. Πεζοδιάβαση
  3. Νησίδα διαχωρισμού
  4. Οριζόντια σήμανση χρήσης λωρίδας δακτύλιο
  5. Γραμμή παραχώρησης προτεραιότητας
  6. Οριογραμμή εξωτερικής περιμέτρου δακτυλίου κυκλοφορίας
  7. Ζώνη τοπιοτεχνίας
  8. Δακτύλιος κυκλοφορίας
  9. Κεντρική νησίδα
  10. Υπερβατή ζώνης κεντρικής νησίδας
- A.** Ιστός οδο φωτισμού  
**B.** Πεζοδρόμιο  
**C.** Ρυθμιστική πινακίδα Π-75  
**D.** Πινακίδα σήμανσης εξόδου από δακτύλιο  
**E.** Πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας

**Εικόνα 1.1.2-1** Χαρακτηριστικά στοιχεία σύγχρονου κυκλικού κόμβου (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

Σε έναν Κόμβο Κυκλικής Κίνησης εκτελούνται κανονικά όλες οι κινήσεις ενός τυπικού ισόπεδου κόμβου συμβολής ή διασταύρωσης, ακολουθώντας τις πορείες που ορίζονται από τη γεωμετρία της διάταξης όπως ευθεία κίνηση, δεξιά στροφή, αριστερή στροφή, αναστροφή (U-turn).

## 1.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Κόμβων Κυκλικής Κίνησης

Ένα βασικό πλεονέκτημα των  $K^3$  έναντι των συμβατικών ισόπεδων κόμβων είναι ο περιορισμός των σημείων πιθανής σύγκρουσης. Σε σχέση με μία τυπική διασταύρωση ισόπεδου κόμβου, ένας  $K^3$  ίδιου αριθμού σκελών παρουσιάζει συνολικά σημαντικά λιγότερα σημεία εμπλοκής. Σε ένα τυπικό 4-σκελή ισόπεδο κόμβο παρουσιάζονται 32 σημεία εμπλοκής, ενώ σε ένα 4-σκελή  $K^3$  τα σημεία περιορίζονται σε μόλις 8. Πρακτικά απαλείφονται οι περιπτώσεις εμπλοκής λόγω διασταύρωσης, που είναι οι πλέον επικίνδυνες, αφού αποτελούν προϋπόθεση για πλαγιομετωπικές συγκρούσεις, ενώ προκύπτουν μόνο εμπλοκές συμβολής σε 4 σημεία και χωρισμού σε 4 σημεία (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

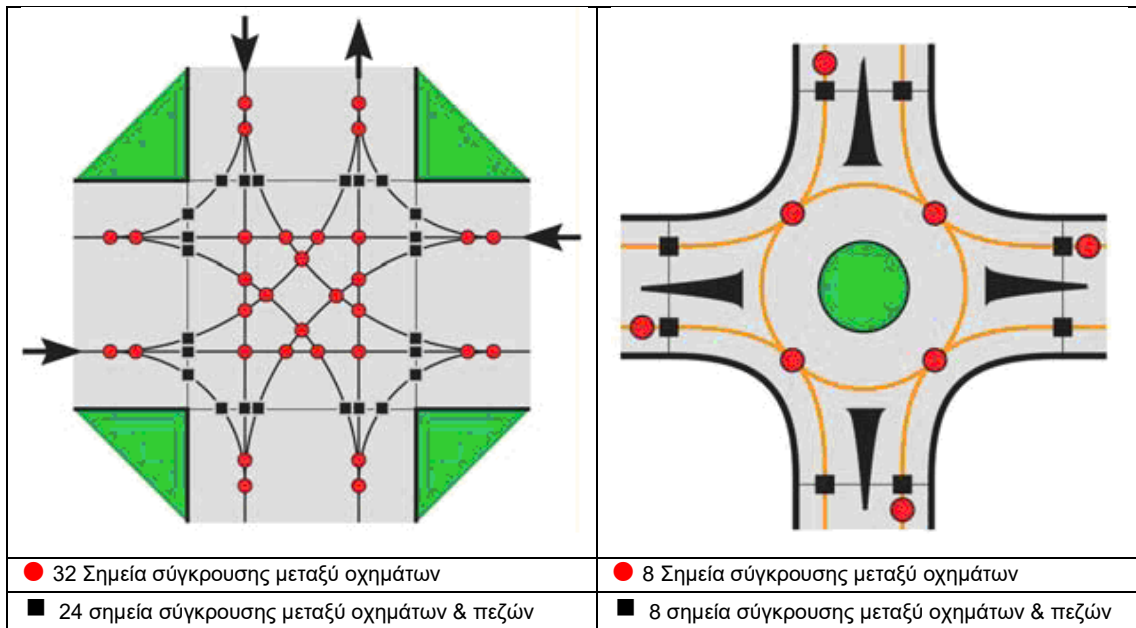


**Σχήμα 1.2-1** Σημεία και τύποι εμπλοκής σε ισόπεδη διασταύρωση και σε  $K^3$  (Πηγή: ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

Αντίθετα, στην περίπτωση 3-σκελή κόμβου, τα σημεία σύγκρουσης μειώνονται από 9 σε 6, όπου και πάλι εκλείπουν τα πλέον επικίνδυνα, που αφορούν στις πλαγιομετωπικές συγκρούσεις (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011).

Επιπρόσθετα, η διαφορά στον αριθμό των σημείων σύγκρουσης μεταξύ οχημάτων και πεζών σε συμβατικό ισόπεδο κόμβο και σε κόμβο κυκλικής κίνησης, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα της επόμενης σελίδας.





**Σχήμα 1.2-2** Σημεία σύγκρουσης μεταξύ πεζών και οχημάτων σε συμβατική ισόπεδη διασταύρωση και σε  $K^3$  (πηγή: ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

Εντούτοις η κατασκευή κόμβων κυκλικής κίνησης δεν πρέπει να θεωρείται πάντα ότι υπερτερεί έναντι άλλων μορφών, ιδιαίτερα μάλιστα των καινοτόμων μορφών κυκλικών κόμβων. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των  $K^3$  σε διάφορους τομείς παρουσιάζονται παρακάτω.

**Πίνακας 1.2-1** Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα  $K^3$

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<b>1. Χρήστες εκτός μηχανοκίνητων οχημάτων</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οι πεζοί χρειάζεται να ελέγξουν μόνο προς μία κατεύθυνση επερχόμενης κυκλοφορίας κάθε φορά</li> <li>• Οι ποδηλάτες έχουν την επιλογή να χρησιμοποιήσουν τον κόμβο όπως και οι πεζοί</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πεζοί με δυσκολία στην όραση ίσως έχουν πρόβλημα στο να βρουν τις πεζοδιαβάσεις και να ελέγξουν εάν τα οχήματα τους έχουν παραχωρήσει προτεραιότητα</li> <li>• Οι ράμπες για ποδήλατα μπορεί να εκληφθούν και ως ράμπες πεζών και αντίστροφα</li> </ul>
<b>2. Οδική ασφάλεια</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μείωση σοβαρότητας συγκρούσεων για όλους τους χρήστες, ασφαλέστερη συγχώνευση στην κυκλική κυκλοφορία, μικρότερες ταχύτητες και άρα διάθεση περισσότερου χρόνου στους χρήστες ώστε και αυτοί να μπορούν να αναγνωρίσουν τις συνθήκες και να διορθώσουν τα σφάλματά τους ή και να αντιμετωπίσουν τα σφάλματα άλλων χρηστών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αύξηση συγκρούσεων ενός οχήματος, με άλλα και με σταθερά εμπόδια σε σχέση με άλλες διαμορφώσεις διασταυρώσεων</li> <li>• Οι κόμβοι σε οδούς με περισσότερες από δύο λωρίδες παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυσκολίες για τους χρήστες με μειωμένη όραση εξ αιτίας της ανάγκης για ανίχνευση των κενών μεταξύ των οχημάτων και αναγνώριση παραχώρησης προτεραιότητας από τα οχήματα.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λιγότερα συνολικά σημεία εμπλοκής και εξάλειψη εμπλοκών αριστερής στροφής</li> </ul>	
<b>3. Λειτουργία</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενδέχεται να παρουσιάζονται μικρότερες καθυστερήσεις και ουρές από άλλες μορφές ρύθμισης της κυκλοφορίας σε διασταύρωση</li> <li>• Μπορεί να μειωθούν οι ανάγκες για πρόσθετες λωρίδες σε ενδιάμεσα τμήματα μεταξύ δύο ισόπεδων διασταυρώσεων, που στην περίπτωση παρουσίας γέφυρας στο ενδιάμεσο αυτών τμήμα όπως συνήθως συμβαίνει σε ανισόπεδους κόμβους (μορφής ρόμβου, μισό τετράφυλλο), αυτό έχει ακόμη μεγαλύτερη οικονομική σημασία</li> <li>• Δημιουργεί τη δυνατότητα σε γειτονικούς σηματοδότες να λειτουργήσουν και με πιο αποδοτικούς κύκλους, όταν ο <math>K^3</math> αντικαθιστά διασταύρωση που καθορίζει τον κύκλο σηματοδότησης</li> <li>• Ρυθμίζει την κυκλοφορία σε κόμβους με υψηλό ποσοστό αριστερών στροφών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η εξίσωση προτεραιότητας σε όλες τις προσβάσεις μπορεί να μειώνει την προχώρηση της κυκλοφορίας για προσβάσεις υψηλών φόρτων</li> <li>• Δεν μπορεί να προσφέρει αποκλειστική προτεραιότητα σε ειδικές κατηγορίες χρηστών (τρένα, οχήματα έκτακτης ανάγκης, μέσα μαζικής μεταφοράς κτλ) εκτός εάν υπάρχουν συσκευές ελέγχου κυκλοφορίας π.χ. δρύφακτα, σηματοδότηση κλπ.</li> <li>• Δεν προτείνονται μεταξύ σηματοδοτούμενων κόμβων</li> <li>• Προσαρμόζονται δύσκολα σε οδούς με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας</li> </ul>
<b>4. Διαχείριση Προσβάσεων</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προσφέρεται δυνατότητα για ασφαλή αναστροφή, στοιχείο που κατά κανόνα δεν ισχύει στις άλλες μορφές ισόπεδων κόμβων</li> <li>• Ειδικά η δυνατότητα αναστροφής έχει εξαιρετική σημασία κατά μήκος των εθνικών και επαρχιακών οδών στη χώρα, όπου ενώ αδειοδοτούνται συνδέσεις παρόδιων εγκαταστάσεων δεν παρέχεται πρόνοια για τις αριστερές στροφές, είτε από την κύρια οδό προς την παρόδια εγκατάσταση, είτε αντιθέτως, αφού αποτελεί σχεδόν κανόνα η απουσία παράπλευρης οδού εξυπηρέτησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορεί να μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων χρονικών κενών για την είσοδο στις οδούς που αποτελούν τα σκέλη του κόμβου, από γειτονικές με τον κόμβο, οδικές ή άλλου είδους (π.χ. χώροι στάθμευσης), προσβάσεις, που δεν είναι σηματοδοτούμενες</li> </ul>
<b>5. Περιβάλλον</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ενδέχεται να μειωθούν: η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ηχορύπανση και η κατανάλωση καυσίμου</li> <li>• Λιγότερες στάσεις σε περιόδους εκτός αιχμής</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πιθανές επιπτώσεις σε φυσικούς και πολιτιστικούς πόρους, λόγω απαιτήσεων μεγαλύτερης κατάληψης που χρειάζεται απαλλοτρίωση</li> </ul>
<b>6. Ρύθμιση κυκλοφορίας</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μειωμένες ταχύτητες κυκλοφορίας</li> <li>• Ωφέλιμη διάταξη σε μεταβατικές περιοχές (από υπεραστική σε αστική), που δίνει έμμεσα την εντύπωση σημαντικής αλλαγής στο περιβάλλον οδήγησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πιο ακριβή λύση σε σχέση με άλλες διαμορφώσεις κόμβων κυρίως εκείνων χωρίς εγκατάσταση φωτεινής σηματοδότησης</li> </ul>

<b>7. Έκταση Κατάληψης</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συχνά απαιτεί λιγότερο χώρο αποθήκευσης για ουρές στις προσβάσεις του κόμβου, επιτρέποντας μικρότερες αποστάσεις μεταξύ κόμβων</li> <li>• Μειώνει την ανάγκη για μεγαλύτερου πλάτους απαλλοτριώσεις κατά μήκος των συνδετήριων οδών μεταξύ των διασταυρώσεων</li> <li>• Καλύτερη δυνατότητα για εξυπηρέτηση χώρων στάθμευσης, πλατύτερα πεζοδρόμια, μεγαλύτερη έκταση φύτευσης πρασίνου, πλατύτερες εξωτερικές λωρίδες, ώστε να περιλαμβάνονται και ποδηλατόδρομοι στις προσβάσεις</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συχνά απαιτεί περισσότερη έκταση κατάληψης απ' ό,τι άλλες διαμορφώσεις κόμβων, πρόβλημα που δεν αντιμετωπίζεται κυρίως σε υφιστάμενους προς αναβάθμιση κόμβους</li> </ul>
<b>8. Λειτουργία και Συντήρηση</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνήθως δεν απαιτείται συντήρηση για εξοπλισμό σηματοδότησης (εκτός των περιπτώσεων σηματοδοτού-μενου κόμβου)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορεί να απαιτεί συντήρηση της ζώνης τοπιοτεχνίας</li> </ul>
<b>9. Αισθητική</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προσφέρει δυνατότητα διαμόρφωσης ελκυστικών εισόδων ή κεντρικών πλατειών σε περιοχές οικισμών</li> <li>• Χρήση ως τοπόσημο σε τουριστικές ή εμπορικές περιοχές για να διαχωριστούν οι περιοχές κατοικίας και εμπορίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορεί να αποτελεί παράγοντα κινδύνου όταν τοποθετούνται σταθερά εμπόδια στην κεντρική νησίδα, σε ευθεία με τις εισόδους, εφόσον η γεωμετρία της πρόσβασης δεν προτρέπει σε μειωμένη ταχύτητα (<math>\leq 40</math> km/h) προσέγγισης</li> </ul>

### 1.3 Κατηγορίες Κόμβων Κυκλικής Κίνησης

Οι  $K^3$  μπορεί να ταξινομηθούν ανάλογα με το μέγεθος και το περιβάλλον όπου κατασκευάζονται σε έξι βασικές κατηγορίες, που περιγράφονται στη συνέχεια:

#### *Κομβίδια κυκλικής κίνησης (Mini Roundabouts)*

Αυτή η κατηγορία εφαρμόζεται εν γένει σε αστικό περιβάλλον. Έχει ως βασικό χαρακτηριστικό την εξ' ολοκλήρου υπερβατή κεντρική νησίδα, που επιτρέπει την εξυπηρέτηση φορτηγών οχημάτων, ενδεχομένως με διέλευση πάνω από αυτήν. Γενικά, απαιτούν μικρή έκταση και εφαρμόζονται σε οδούς με ταχύτητες  $\leq 40$  km/h.

#### *Αστικοί συνεπτυγμένοι (Urban Compact)*

Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η σχετικά μικρή διάμετρος της εξωτερικής περιμέτρου 25 – 30 m, με κατασκευή μη υπερβατής κεντρικής νησίδας. Έχουν μία λωρίδα στο δακτύλιο κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στα σκέλη του κόμβου. Ενδέχεται να χρειαστεί υπερβατή ζώνη πέριξ της κεντρικής νησίδας για εξυπηρέτηση βαρέων οχημάτων. Αυτή η κατηγορία επιλέγεται συνήθως για λόγους παρόμοιους με εκείνους της κατηγορίας των

κομβιδίων, όμως προσφέρει πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για πεζούς και ποδηλάτες, λόγω των ήπιων συνθηκών κυκλοφορίας που επιβάλλει.

### *Αστικοί 1 λωρίδας*

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει Κ3 με μία λωρίδα στο δακτύλιο κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στα σκέλη του κόμβου. Είναι παρόμοιοι με τους αστικούς συνεπυγμένους, όμως έχουν μεγαλύτερη διάμετρο στην εξωτερική περίμετρο (30 – 40 m) και μεγαλύτερες ακτίνες καμπής στις προσβάσεις πριν από την είσοδο στο δακτύλιο. Οι διαχωριστικές νησίδες είναι υπερυψωμένες, ενώ διαθέτουν υπερβατή ζώνη πέριξ της κεντρικής κυκλικής νησίδας, (αν απαιτείται για την εξυπηρέτηση βαρέων φορτηγών). Αυτή η κατηγορία επιλέγεται για αστικό περιβάλλον με μεγαλύτερους κυκλοφοριακούς φόρτους από αυτούς που προβλέπονται για την προηγούμενη κατηγορία και επιτρέπει μεγαλύτερα μεγέθη ταχυτήτων κίνησης και χωρητικότητας.

### *Αστικοί 2 λωρίδων*

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τους Κ3 σε αστικό περιβάλλον, που έχουν τουλάχιστο σε ένα κλάδο πρόσβασης δύο λωρίδες στην κατεύθυνση εισόδου στο δακτύλιο. Η γεωμετρία τους είναι παρόμοια με αυτή των αστικών Κ3 μίας λωρίδας, όμως απαιτεί μεγαλύτερη επιφάνεια, ώστε να επιτρέπεται η κίνηση των οχημάτων σε δυο στοίχους επί του δακτυλίου κυκλοφορίας. Αυτοί οι κόμβοι συνιστώνται όταν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι είναι μεγαλύτεροι από αυτούς που δικαιολογούν την κατασκευή των προηγούμενων κατώτερων κατηγοριών Κ3.

### *Υπεραστικοί 1 λωρίδας*

Είναι παρόμοιες διατάξεις με τις αντίστοιχες αστικές, όμως έχουν γεωμετρία με μεγαλύτερες ακτίνες, ώστε να επιτρέπονται υψηλότερες ταχύτητες επί του δακτυλίου και στις εξόδους. Συνήθως δεν υπάρχει υπερβατή ζώνη πέριξ της κεντρικής νησίδας, αφού οι μεγάλες ακτίνες στο δακτύλιο κυκλοφορίας επιτρέπουν την άνετη κυκλική κίνηση βαρέων φορτηγών. Επειδή συχνά τοποθετούνται σε περιβάλλον όπου αναπτύσσονται ελεύθερα αρκετά υψηλές ταχύτητες, ενδέχεται να απαιτούν μέτρα περιορισμού της ταχύτητας των οχημάτων, όπως σήμανση, ειδική γεωμετρία (καμπυλοειδής) στους κλάδους εισόδου κτλ.

### *Υπεραστικοί 2 λωρίδων*

Είναι παρόμοιοι με τους αντίστοιχους υπεραστικούς μίας λωρίδας, ενώ έχουν δύο λωρίδες στο δακτύλιο κυκλοφορίας και τουλάχιστον για ένα από τους κλάδους πρόσβασης, έστω μόνο σε τμήμα πριν από την είσοδο στο δακτύλιο κυκλοφορίας. Η διάμετρος της περιμέτρου είναι συνήθως μεγαλύτερη και οι ταχύτητες είναι υψηλότερες.

Επιπροσθέτως, οι Κ<sup>3</sup> μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες παραλλαγές ανισόπεδων κόμβων, αντικαθιστώντας τις διασταυρώσεις που

δημιουργούνται σε ένα από τα επίπεδά τους. Πιο συνήθης περίπτωση εφαρμογής  $K^3$  είναι αυτή της διασταύρωσης αστικών αυτοκινητοδρόμων με δευτερεύουσες αρτηρίες. Η παρουσία των  $K^3$  μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων ουρών και καθυστερήσεων επί των σκελών του κόμβου που συνιστούν τη δευτερεύουσα οδό.

Η πιο τυπική περίπτωση χρήσης της μορφής  $K^3$  εφαρμόζεται σε ανισόπεδους κόμβους μορφής ρόμβου ενός ή δύο σημείων διασταύρωσης. Οι ισόπεδες διασταυρώσεις επί της δευτερεύουσας οδού διαμορφώνονται σε  $K^3$

## 2. Σχεδιασμός (Planning)

Στο στάδιο του σχεδιασμού, υπάρχουν πολλοί πιθανοί λόγοι ή στόχοι που αποσκοπούν στη διαμόρφωση ενός κόμβου κυκλικής κίνησης σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση. Σε κάποιες πολιτείες των ΗΠΑ, η διαμόρφωση ενός  $K^3$  σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν και να εξεταστεί εάν αποτελεί μία καλύτερη εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών ισόπεδων διασταυρώσεων. Εντωμεταξύ, σε άλλες τοποθεσίες μπορεί να υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι για τη διαμόρφωση κυκλικών κόμβων, συμπεριλαμβανομένου της αναβάθμισης του επιπέδου ασφάλειας και των λειτουργικών χαρακτηριστικών, της βελτίωσης της αισθητικής, της καλύτερης διαχείρισης των προσβάσεων ή της προώθησης σχεδίων ανάπτυξης που αφορούν τις συγκεκριμένες περιοχές. Ωστόσο, όποιοι και να είναι οι λόγοι για τους οποίους εξετάζεται η διαμόρφωση κόμβων κυκλικής κίνησης σε μία τοποθεσία, πρέπει να δοθούν λογικές απαντήσεις σε μία σειρά ερωτημάτων στο στάδιο του σχεδιασμού, όπως:

- 1) Είναι ο  $K^3$  κατάλληλος για τη συγκεκριμένη τοποθεσία;
- 2) Ποιο θα πρέπει να είναι το μέγεθός του και πόσες λωρίδες κυκλοφορίας απαιτούνται;
- 3) Τι είδους επιπτώσεις αναμένονται;
- 4) Τι είδους καμπάνια ενημέρωσης, εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης των θα ήταν κατάλληλη;

Επιβεβαιώνοντας λοιπόν ότι υπάρχουν αρκετοί καλοί λόγοι ώστε η δημιουργία κυκλικού κόμβου σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση αποτελεί την καλύτερη και συγχρόνως μία αξιόπιστη εναλλακτική, τα παραπάνω στάδια σχεδιασμού αποτρέπουν τη άσκοπη προσπάθεια που απαιτείται για πιο λεπτομερή ανάλυση.

Τα αρχικά βήματα σχεδιασμού αποσαφηνίζουν τους στόχους και το πλαίσιο στο οποίο συζητάται η δημιουργία ενός  $K^3$ . Το επόμενο βήμα αποτελεί να διενεργηθεί μία προκαταρκτική διαμόρφωση του κόμβου, έτσι ώστε να προσδιοριστεί ο ελάχιστος αριθμός των λωρίδων που απαιτούνται σε κάθε πρόσβαση καθώς και το είδος του κόμβου που θα αποτελέσει τη βάση της μελέτης: κομβίδιο,  $K^3$  μιας λωρίδας,  $K^3$  δύο ή περισσότερων λωρίδων. Έχοντας επαρκή χώρο, ένας κόμβος κυκλικής κίνησης μπορεί να σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να εξυπηρετήσει υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους.

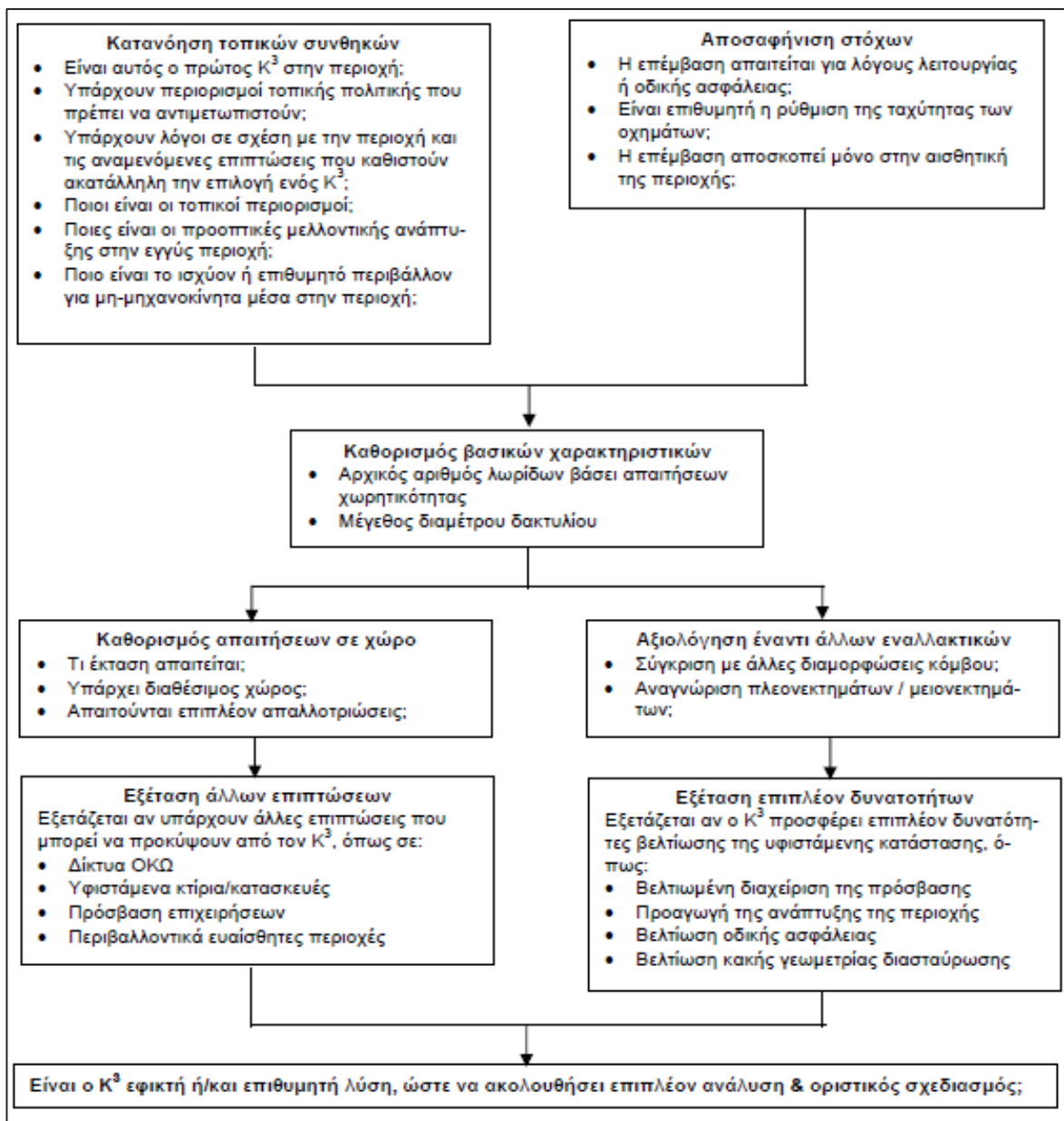
Υπάρχουν πολλές επιπλέον λεπτομέρειες που απαιτούνται για την τελική αποτύπωση ενός  $K^3$  οι οποίες είναι εκτός της διαδικασίας σχεδιασμού και θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο επικεντρώνεται σε περισσότερο «κοινές» ερωτήσεις οι οποίες μπορούν να απαντηθούν μέσω λογικών υποθέσεων και εκτιμήσεων. Ωστόσο, μία μελέτη σκοπιμότητας για την διαμόρφωση και εγκατάσταση ενός  $K^3$  μπορεί κάποιες

φορές να απαιτεί μία προσέγγιση των πιο λεπτομερών παραμέτρων γεωμετρικού σχεδιασμού και λειτουργικών χαρακτηριστικών.

## 2.1 Βήματα Σχεδιασμού

Η διαδικασία επιλογής ως λύσης της μορφής  $K^3$  περιλαμβάνει διάφορα στάδια, από την αρχική σύλληψη και την αναγνώριση των τοπικών αναγκών και περιορισμών, έως την ενδεχόμενη διαπραγμάτευση με τους τοπικούς φορείς, και τελικά τον οριστικό σχεδιασμό της λύσης.

Μια τυπική διαδικασία, για τη λήψη αποφάσεων, σε σχέση με την επιλογή ή απόρριψη της λύσης με μορφή  $K^3$  σε μια περιοχή, πριν από την εκτέλεση των οριστικών αναλύσεων και την εκπόνηση των λεπτομερών μελετών, παρουσιάζεται στο διάγραμμα του επόμενου Σχήματος 2.1-1.



Σχήμα 2.1-1 Αρχικά βήματα σχεδιασμού (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

## 2.2 Ειδικές συνθήκες για την εφαρμογή λύσης της μορφής $K^3$

Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ  $K^3$  η εφαρμογή των κόμβων κυκλικής κίνησης έχει υψηλή πιθανότητα καταλληλότητας όταν συντρέχουν οι ακόλουθες συνθήκες:

- (1) Υφιστάμενοι κόμβοι με υψηλό ποσοστό ατυχημάτων, ή μεγαλύτερης σοβαρότητας ατυχημάτων
- (2) Υφιστάμενοι κόμβοι, που για οποιοδήποτε λόγο, αποτυγχάνουν στην εξυπηρέτηση της κυκλοφοριακής ζήτησης
- (3) Θέσεις όπου άλλες εναλλακτικές λύσεις κρίνονται ως δαπανηρότερες
- (4) Θέσεις όπου η αισθητική αποτελεί έναν από τους κεντρικούς στόχους
- (5) Θέσεις όπου αλλάζει η λειτουργική κατηγορία της οδού, ή είναι επιθυμητή η αλλαγή του επιτρεπόμενου ορίου ταχύτητας-περιλαμβάνονται θέσεις μετάβασης από υπεραστικό σε αστικό περιβάλλον (θέσεις κόμβων εισόδου πόλεων)-ειδικότερα επιβάλλεται η χρήση των μορφών του Σχήματος 1.4-1 για κόμβο εισόδου από υπεραστικό αυτοκινητόδρομο σε αστική αρτηρία
- (6) Θέσεις όπου ο ρυθμός αφίξεων είναι τυχαίος/συνεχής
- (7) Θέσεις όπου είναι επιθυμητός ο τυχαίος/συνεχής ρυθμός αφίξεων, ή τα έργα για την εξυπηρέτηση συγκεντρώσεων οχημάτων (platoons) απαιτούν εξαιρετική δαπάνη ή και δεν είναι κατασκευάσιμα
- (8) Τερματικοί κόμβοι σε κλάδους ανισόπεδων κόμβων
- (9) Ισόπεδοι κόμβοι σε υπεραστικές οδούς υψηλών ταχυτήτων, όπως σε ισόπεδο κόμβο στο πέρας αυτοκινητοδρόμου
- (10) Ισόπεδοι κόμβοι που συνδέουν διαφορετικές κατηγορίες οδών (σε αστικό δίκτυο: αρτηρία-αρτηρία, αρτηρία-συλλεκτήρια, αρτηρία-τοπική, συλλεκτήρια-συλλεκτήρια, συλλεκτήρια-πρόσβαση)
- (11) Ισόπεδοι κόμβοι 4-σκελείς με φόρτους εισόδου  $\leq 8.000$  οχ/ώρα, ή  $EMHK=80.000$  περίπου
- (12) Ισόπεδοι κόμβοι 3-σκελείς με οποιοδήποτε φόρτο
- (13) Ισόπεδοι κόμβοι ρυθμιζόμενοι με STOP (επί της δευτερεύουσας οδού) με υψηλό ποσοστό ατυχημάτων ή μεγάλης σοβαρότητας ατυχήματα
- (14) Ισόπεδοι κόμβοι μεταξύ δυο αρτηριών που λειτουργούν με συντονισμένη σηματοδότηση, όπου τα ποσοστά στρεφουσών κινήσεων είναι υψηλά
- (15) Ισόπεδοι κόμβοι σε εγγύτητα, όπου δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί ο συντονισμός της σηματοδότησης
- (16) Ισόπεδοι κόμβοι όπου προβλέπεται να προστεθούν μελλοντικά νέες προσβάσεις
- (17) Ισόπεδοι κόμβοι κοντά σε σχολεία
- (18) Ισόπεδοι κόμβοι όπου η οδική ασφάλεια έχει μέγιστο ενδιαφέρον



## 2.3 Μέγεθος και απαιτήσεις χώρου στο στάδιο του σχεδιασμού

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τεχνικές σε προκαταρκτικό στάδιο (στο στάδιο του σχεδιασμού) ώστε να προσδιοριστεί ο τύπος του κόμβου κυκλικής κίνησης. Η κυκλοφοριακή ικανότητα και το μέγεθος του κόμβου είναι δύο μεγέθη αλληλένδετα και βασίζονται στον αριθμό των λωρίδων που απαιτούνται ώστε να εξυπηρετούνται οι προβλεπόμενες κυκλοφοριακοί φόρτοι.

Σε γενικές γραμμές οι κυκλικοί κόμβοι μία λωρίδας κυκλοφορίας υπερτερούν έναντι αυτών με περισσότερες λωρίδες, παρέχοντας υψηλότερες επιδόσεις ασφάλειας, αυξημένη δυνατότητα προσπέλασης για πεζούς και ποδηλάτες, μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, και ευκολία στη χρήση από τους μοτοσικλετιστές. Για το λόγο αυτό οι μελετητές θα πρέπει να σχεδιάζουν ένα κόμβο με ορίζοντα 20-ετίας έτσι ώστε να καλύπτουν τη μελλοντική ζήτηση. Ωστόσο εάν η προβλεπόμενη ζήτηση του 20<sup>ου</sup> έτους σχεδιασμού υποδεικνύει παραδείγματος χάρη έναν κυκλικό κόμβο δύο ή περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας αλλά αυτή η ζήτηση δεν είναι πιθανή για αρκετά χρόνια από το έτος μηδέν (0), επιθυμητό θα ήταν, αρχικά ο κόμβος να κατασκευαστεί έχοντας μία λωρίδα κυκλοφορίας με δυνατότητα επέκτασης για τα επόμενα χρόνια και εφόσον η αυξανόμενη ζήτηση το απαιτήσει.

### 2.3.1 Εκτίμηση του αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας και εισόδων εξόδων

Ένα βασικό ερώτημα στο στάδιο του σχεδιασμού που πρέπει να απαντηθεί στο στάδιο του σχεδιασμού αποτελεί ο αριθμός λωρίδων που απαιτούνται ώστε να εξυπηρετούνται οι κυκλοφοριακές ανάγκες και να καλύπτεται επαρκώς η ζήτηση. Ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας δεν επηρεάζει μόνο την κυκλοφοριακή ικανότητα του κυκλικού κόμβου αλλά και επίσης το μέγεθός του. Κάποιες παραδοχές και εκτιμήσεις είναι υποχρεωτικές έτσι ώστε να υπάρξει μία πρώτη προσέγγιση του αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας και συνεπώς μεγέθους του  $K^3$ .

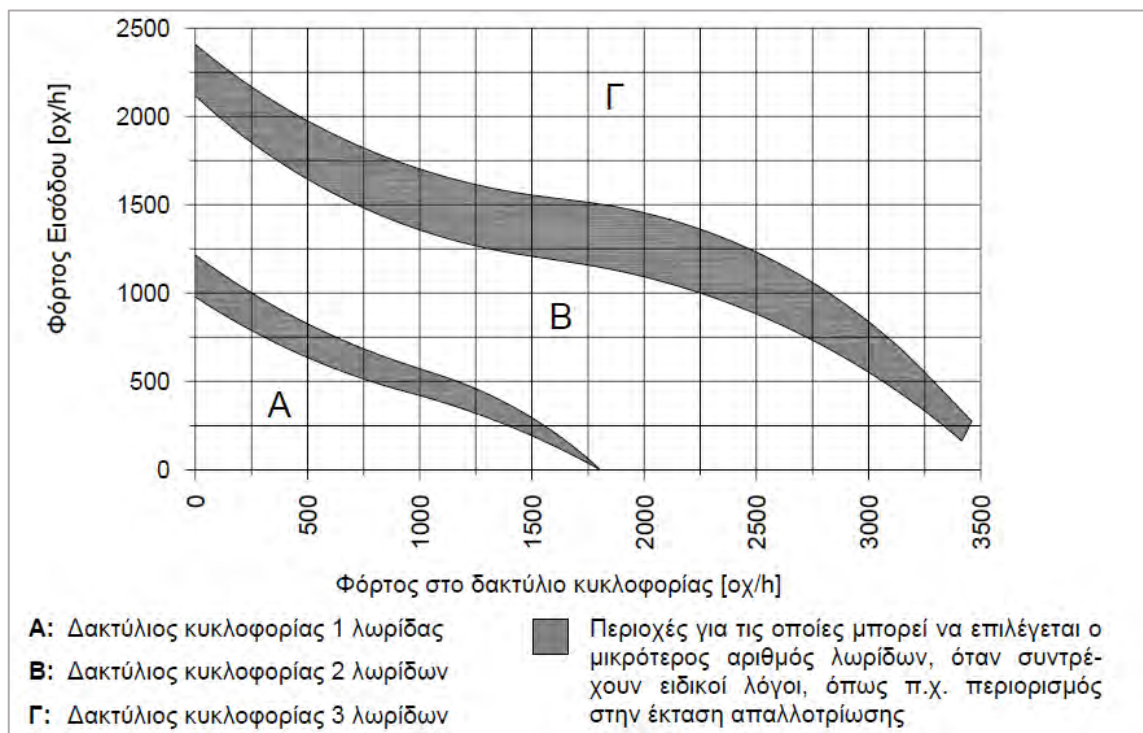
Ο αριθμός των λωρίδων στο δακτύλιο κυκλοφορίας πρέπει να περιορίζεται στον ελάχιστο απαιτούμενο, ανάλογα με την υφιστάμενη και προβλεπόμενη στο μέλλον ζήτηση, όπως αυτή προσδιορίζεται με τη σχετική λειτουργική ανάλυση. Οι μελετητές των  $K^3$  πρέπει να αποθαρρύνονται από την παροχή πρόσθετων λωρίδων, που δεν είναι χρήσιμες για αυξημένη χωρητικότητα, καθώς αυτές μπορεί να μειώνουν την αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού ως προς την οδική ασφάλεια. Εάν πράγματι προβλέπεται, ότι μελλοντικά θα απαιτηθούν πρόσθετες λωρίδες, τότε ένας σχεδιασμός με πρόβλεψη υλοποίησης του έργου κατά φάσεις θα μπορούσε να επιτρέψει τη μελλοντική επέκταση. Η μη ισορροπημένη λειτουργία των λωρίδων, λόγω του πλήθους αυτών, έγκειται σε ένα αριθμό παραγόντων που είναι, ο πτωχός γεωμετρικός σχεδιασμός στις εισόδους/εξόδους, ή στις διαμορφώσεις των στρωφών. Επίσης, χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη μεταβλητές του συστήματος μετά την έξοδο, όπως είναι

θέσεις επί ενός των σκελών όπου: παράγεται σημαντικός αριθμός κινήσεων (λόγω κάποιας εγκατάστασης), λειτουργεί είσοδος/έξοδος κλάδου ανισόπεδου κόμβου, ή συμβαίνει συμφόρηση λόγω επόμενου ισόπεδου κόμβου.

Εφόσον ο δακτύλιος κυκλοφορίας θα έχει 2 λωρίδες, τότε σε οδούς 2 λωρίδων (μια ανά κατεύθυνση) κατηγορίας AII και BIV (βλ. ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ) ή ανώτερης, που συμβάλλουν στον κόμβο, το οδόστρωμα της εισόδου θα διαμορφώνεται με 2 λωρίδες. Στις εξόδους το οδόστρωμα μπορεί να διαμορφώνεται με μια ή δυο λωρίδες, ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τις στρέφουσες κινήσεις.

Κόμβοι με δακτύλιο μιας λωρίδας συνήθως χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που οι συμβάλλουσες οδοί είναι 2 λωρίδων κατηγορίας κατώτερης των AII και BIV.

Ο αριθμός των λωρίδων στον δακτύλιο κυκλοφορίας μπορεί να προσδιορίζεται κατ' αρχήν από το διάγραμμα του επόμενου σχήματος, ανάλογα με το συνδυασμό των φόρτων στις εισόδους και στο δακτύλιο κυκλοφορίας. Το διάγραμμα βασίζεται σε αποδεκτό βαθμό κορεσμού.



**Σχήμα 2.3.1-1** Απαιτούμενος αριθμός λωρίδων δακτυλίου κυκλοφορίας

### 2.3.2 Απαιτήσεις χώρου (έκταση κατάληψης)

Μία αρχική εκτίμηση του χώρου που απαιτείται για τη διαμόρφωση ενός κυκλικού κόμβου είναι ένα συνηθισμένο ερώτημα στο στάδιο του σχεδιασμού και

μπορεί να επηρεάσει την εφαρμοσιμότητα της λύσης τύπου  $K^3$ . Σε αυτό το επίπεδο σημαντικά ερωτήματα πρέπει να απαντηθούν, όπως τα παρακάτω:

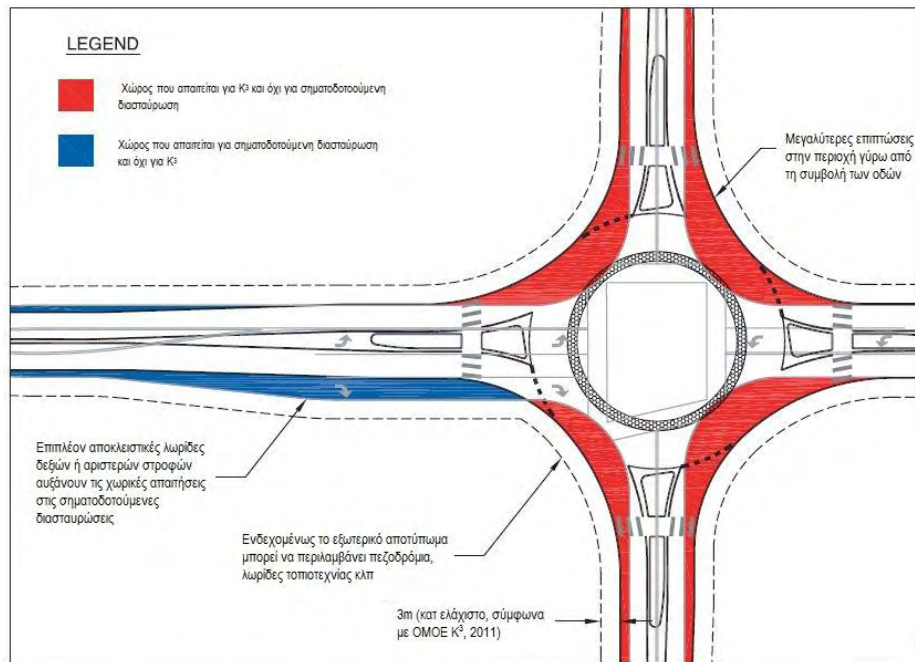
- 1) Υπάρχει επαρκής χώρος για την εγκατάσταση κατάλληλου μεγέθους  $K^3$ ;
- 2) Τι επιπτώσεις θα υπάρξουν στις παρόδους ιδιοκτησίες;
- 3) Απαιτούνται επιπλέον απαλλοτριώσεις τμημάτων παρόδων ιδιοκτησιών;
- 4) Υπάρχουν φυσικοί περιορισμοί που μπορεί να επηρεάσουν τη θέση και τον τελικό γεωμετρικό σχεδιασμό του  $K^3$ ;

Λόγω του γεγονότος ότι πρέπει να εξυπηρετούνται μεγάλα φορτηγά (16,5 και 18,70 μέτρων αντίστοιχα), οι κυκλικοί κόμβοι συνήθως απαιτούν περισσότερο χώρο από ότι οι συμβατικές διασταυρώσεις. Ωστόσο αυτό μπορεί να ισοσταθμιστεί από το χώρο ο οποίος εξοικονομείται από τη μη απαίτηση αποκλειστικών λωρίδων δεξιών ή αριστερών στροφών το οποίο συναντάται σε αρκετές από τις συμβατικές διασταυρώσεις.

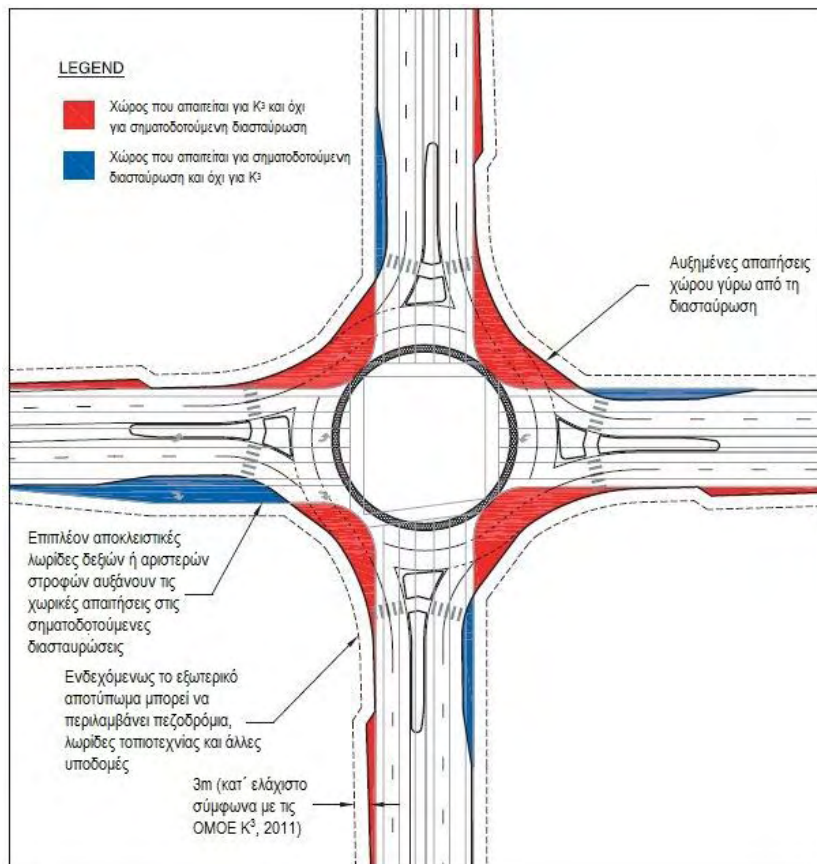
Ο σημαντικότερος δείκτης για τον χώρο που απαιτεί μία λύση της μορφής  $K^3$  είναι η διάμετρος της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας. Ένα λεπτομερές σχέδιο είναι απαραίτητο για να καθορίσει την ακριβή έκταση κατάληψης σε μία συγκεκριμένη περιοχή/διασταύρωση, ειδικά εάν περισσότερες από μία λωρίδες απαιτούνται για να εξυπηρετήσουν την εισερχόμενη και εξερχόμενη κυκλοφορία.

Ένα σημαντικό ερώτημα αποτελεί το εάν ο προτεινόμενος κόμβος κυκλικής κίνησης μπορεί να «χωρέσει» μεταξύ των υπαρχουσών ρυμοτομικών γραμμών ή εάν θα χρειαστούν απαλλοτριώσεις. Τα επόμενα σχήματα υποδεικνύουν ότι μία λύση του τύπου  $K^3$  απαιτεί συνήθως περισσότερο χώρο στη συμβολή των οδών έναντι των συμβατικών διασταυρώσεων. Ωστόσο, όσο η κυκλοφοριακή ικανότητα πρέπει να αυξάνεται λόγω των υψηλών κυκλοφοριακών φόρτων, θα πρέπει να αυξάνεται και το μέγεθος είτε των κυκλικών κόμβων είτε ακόμα και των συμβατικών διασταυρώσεων με τη διαμόρφωση αποκλειστικών λωρίδων δεξιών ή αριστερών στροφών, για τις δεύτερες.

Συνοπτικά, οι κυκλικοί κόμβοι προσφέρουν συνήθως τη δυνατότητα για μείωση των χωρικών απαιτήσεων των προσβάσεων σε σχέση με τις συμβατικές διασταυρώσεις, αλλά απαιτούν περισσότερο χώρο γύρω από τη διασταύρωση αυτή καθ' αυτή. Αυτό ευνοεί την αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας της διασταύρωσης ενώ παράλληλα μειώνει την ανάγκη για επιπλέον λωρίδες κυκλοφορίας μεταξύ διαδοχικών διασταυρώσεων. Το παραπάνω εντάσσεται στη γενικότερη κατεύθυνση «φαρδής κόμβοι, στενοί δρόμοι» του αμερικάνικου κανονισμού.



**Σχήμα 2.3.2-1** Σύγκριση χωρικών απαιτήσεων ενός  $K^3$  μία λωρίδας έναντι συγκρίσιμης σηματοδοτούμενης διασταύρωσης (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).



**Σχήμα 2.3.2-2** Σύγκριση χωρικών απαιτήσεων ενός  $K^3$  δύο λωρίδων έναντι συγκρίσιμης σηματοδοτούμενης διασταύρωσης (NCHRP & FHWA, 2010, Ίδια Επεξεργασία).

## 2.4 Άλλα θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψιν

Ένας μελετητής σχεδιάζοντας ένα σύγχρονο κυκλικό κόμβο θα πρέπει να κρατήσει τις ισορροπίες ανάμεσα στην ασφάλεια, την κυκλοφοριακή ικανότητα, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και άλλους παράγοντες. Για το λόγο αυτό κάποια θεμελιώδη θέματα και αρχές θα πρέπει να εκτιμηθούν σε πρώιμο επίπεδο και πριν να καταρτιστεί η τελική και πιο λεπτομερής μελέτη, έτσι ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση του μεγέθους και των πιθανών επιπτώσεων από την εφαρμογή μιας εναλλακτικής λύσης της μορφής  $K^3$ . Εν τέλει, σχεδιάζοντας ένα κυκλικό κόμβο θα πρέπει να υπάρχει η βέλτιστη δυνατή ισορροπία μεταξύ ασφάλειας, λειτουργικής επίδοσης και εξυπηρέτησης των κατάλληλων οχημάτων σχεδιασμού, αναλόγως των δεδομένων ειδικών παραμέτρων και περιορισμών της υπό εξέταση τοποθεσίας.

### **Όχημα σχεδιασμού.**

Η επιλογή του κατάλληλου οχήματος σχεδιασμού θα πρέπει να εξαρτάται από τον τύπο των προσβάσεων και των χαρακτηριστικών των παρακείμενων χρήσεων γης. Οι τοπικές αρχές με αρμοδιότητες στο οδικό δίκτυο της υπό εξέταση περιοχής θα πρέπει να τους ζητείται να γνωμοδοτούν για τον κατάλληλο τύπο οχήματος σχεδιασμού. Εάν στην περιοχή υπάρχουν εγκαταστάσεις και επιχειρήσεις πανελλαδικής εμβέλειας και όχι μόνο, θα πρέπει να είναι απαραίτητο το να εξυπηρετούνται μεγάλα ή ακόμα και υπερμεγέθη φορτηγά. Μικρότερα οχήματα σχεδιασμού μπορούν να χρησιμοποιούνται συχνότερα σε διασταυρώσεις τοπικών οδών. Το μέγεθος του οχήματος σχεδιασμού συχνά έχει αντίκτυπο στο μέγεθος της διαμέτρου της εξωτερικής περιμέτρου του  $K^3$ . Ωστόσο σε κάποιες περιπτώσεις όπου στην υπό εξέταση περιοχή υπάρχει περιστασιακή διέλευση υπερμεγεθών ή πολύ μεγάλων φορτηγών σύμφωνα με τοπικούς παράγοντες, θα ήταν προτιμότερο ο σχεδιασμός του κόμβου να γίνεται βάσει μικρότερων τύπων οχημάτων σχεδιασμού και τα υπερμεγέθη φορτηγά να ανακατευθύνονται μέσω εναλλακτικής διαδρομής στον τελικό τους προορισμό.

### **Ταχύτητες και διευθέτηση της πορείας των οχημάτων επί του $K^3$ .**

Η επίτευξη κατάλληλων ταχυτήτων για τα οχήματα που διέρχονται από τον  $K^3$  είναι ένας κρίσιμος στόχος του σχεδιασμού και μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ασφάλεια. Ένας καλοσχεδιασμένος κυκλικός κόμβος μειώνει τη σχετική ταχύτητα ανάμεσα στα εμπλεκόμενα ρεύματα κυκλοφορίας, αφού υποχρεώνει τα οχήματα να ακολουθήσουν μία καμπύλη τροχιά. Ο σχεδιασμός της εισόδου στο δακτύλιο κυκλοφορίας θα πρέπει με την κατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση να ρυθμίζει την ταχύτητα εισόδου.

Επιπροσθέτως, σε έναν  $K^3$  με περισσότερες από μία λωρίδες η διάταξη της εισόδου, της εξόδου και των λωρίδων κυκλοφορίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καθοδήγηση των οχημάτων στις σωστές πορείες. Είναι επιθυμητό να

μην υπάρχει επικάλυψη πορειών, ούτε κατά την παράλληλη κίνηση οχημάτων με ίδια προέλευση και προορισμό, ούτε κατά τη διασταύρωση οχημάτων με διαφορετικές πορείες.

Έτσι λοιπόν στην προσπάθεια για επίτευξη χαμηλών ταχυτήτων και κατάλληλης ρύθμισης της πορείας των οχημάτων μπορεί να χρειαστεί η μετατόπιση, προς τα αριστερά συνήθως, των αξόνων των προσβάσεων ή η εφαρμογή άλλων τεχνικών, οι οποίες δύναται να έχουν άμεσο αντίκτυπο στο χώρο που απαιτείται.

### **Πεζοί.**

Σε αστικές και περιαστικές περιοχές όπου αναμένεται η έντονη παρουσία πεζών, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν τα παρακάτω τα οποία περιλαμβάνουν:

- 1) Την ελαχιστοποίηση των λωρίδων κυκλοφορίας που θα πρέπει να διασχίζουν οι πεζοί για τη βελτίωση της εύκολης προσπέλασης και της ασφάλειας του κυκλικού κόμβου για τους πεζούς.
- 2) Τον κατάλληλο γεωμετρικό σχεδιασμό για τη μείωση των ταχυτήτων που ενδεχομένως να αναπτύσσονται στον κόμβο.
- 3) Την εγκατάσταση πεζοδρομίων σε μία εύλογη απόσταση από τον δακτύλιο κυκλοφορίας
- 4) Την εγκατάσταση νησίδων διαχωρισμού της κυκλοφορίας με ελάχιστο πλάτος 1,8m στις διαβάσεις.

### **Ποδηλάτες**

Η ασφάλεια και η δυνατότητα χρήσης ενός  $K^3$  και από ποδηλάτες εξαρτάται κυρίως από το λεπτομερή σχεδιασμό του κυκλικού κόμβου και την ιδιαίτερη πρόνοια για τους ποδηλάτες. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο των NCHRP & FHWA, 2010 η ταχύτητα με την οποία κινείται ένας τυπικός ποδηλάτης κυμαίνεται από 19 έως 32km/h. Οι  $K^3$  οι οποίοι σχεδιάζονται ώστε να περιορίζουν τις ταχύτητες των μηχανοκίνητων οχημάτων σε αυτές τις τιμές θα μπορούσαν ενδεχομένως να ελαχιστοποιήσουν τις διαφορές στις σχετικές ταχύτητες που αναπτύσσονται μεταξύ των ποδηλάτων και των μηχανοκίνητων οχημάτων, βελτιώνοντας έτσι την ασφάλεια και τη δυνατότητα χρήσης του  $K^3$  από τους ποδηλάτες.

Στους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κάτι τέτοιο θα μπορούσε εύκολα να επιτευχθεί. Οι ποδηλάτες μπορούν να κινούνται διαμέσου του κυκλικού κόμβου μαζί με τα μηχανοκίνητα οχήματα και χωρίς να υπάρχει πρόσθετη λωρίδα για ποδηλάτες. Ενδεχομένως οι όποιες ποδηλατολωρίδες θα μπορούσαν να τερματίζονται κατάντι του  $K^3$ .

Σε κυκλικούς κόμβους με περισσότερες από μία λωρίδες, ένας τυπικός ποδηλάτης ή ακόμη και ένας πιο έμπειρος δεν νοιώθει άνετα να διέλθει μέσω του  $K^3$  με τη μηχανοκίνητη κυκλοφορία καθώς αναπτύσσονται μεγαλύτερες ταχύτητες από τις προαναφερθείσες. Για το λόγο αυτό μπορούν να προβλεφθούν, κατάντι του  $K^3$ , ράμπες οι οποίες να παρέχουν πρόσβαση στο πεζοδρόμιο και οι ποδηλάτες να **συνδιαλέγονται με** τον κυκλικό κόμβο όπως οι πεζοί.

### 3. Γεωμετρικός Σχεδιασμός

#### 3.1 Βασικές Αρχές

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται οι βασικές αρχές και οι στόχοι του γεωμετρικού σχεδιασμού που είναι κοινοί για όλες τις κατηγορίες κυκλικών κόμβων.

Τα τελικά σχέδια  $K^3$  που θα παραχθούν θα πρέπει να διέπονται από τις παρακάτω βασικές αρχές:

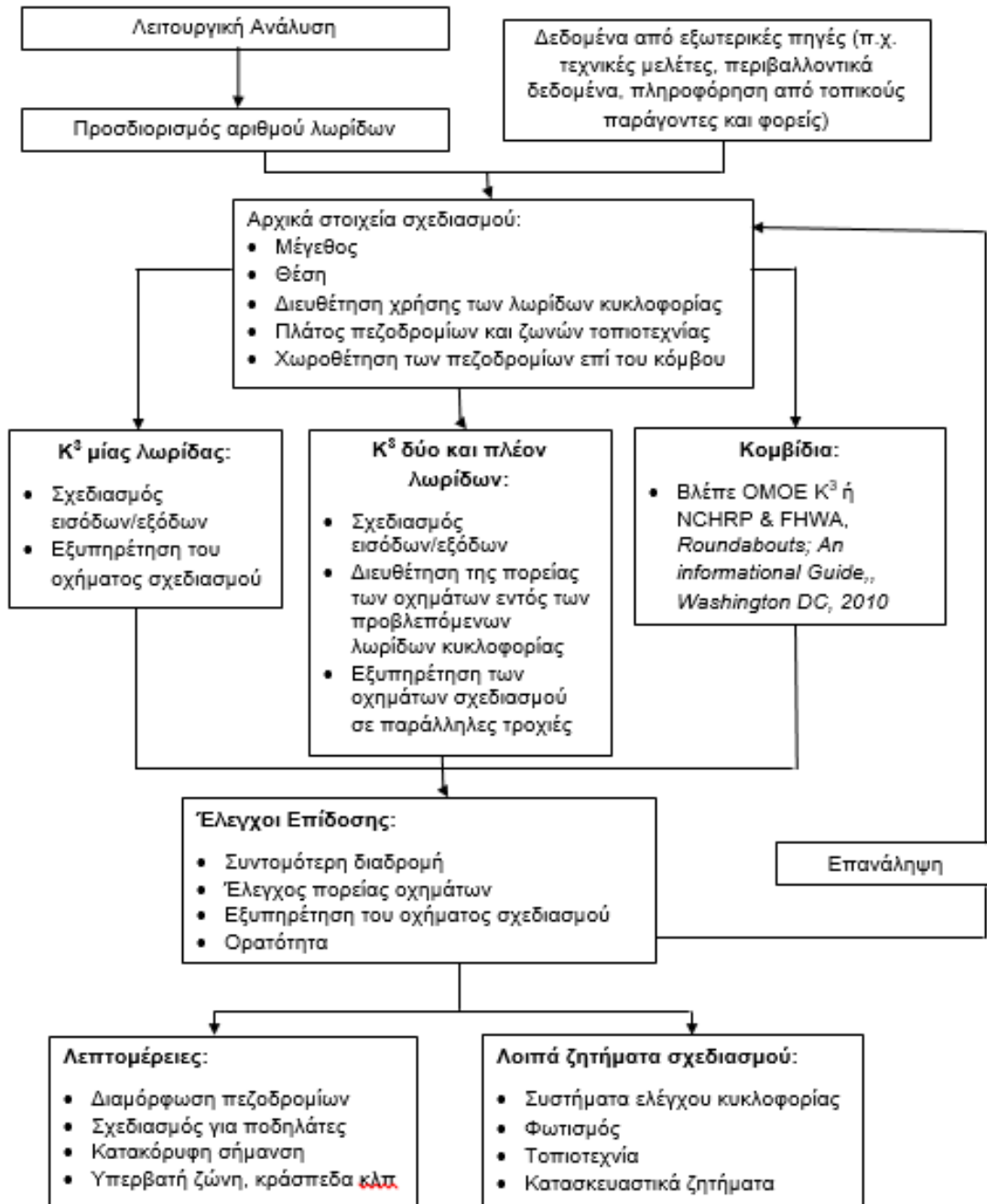
- Επίτευξη χαμηλών ταχυτήτων εισόδου αλλά και διαφορές ταχυτήτων από τμήμα σε τμήμα του  $K^3$  που δεν ξεπερνούν τα 20Km/h, μέσω της κατάλληλης γεωμετρικής διαμόρφωσης των εισόδων.
- Επιλογή κατάλληλου αριθμού λωρίδων και κατάλληλης σήμανσης για τη χρήση των λωρίδων κυκλοφορίας με στόχο την επίτευξη επαρκούς κυκλοφοριακής ικανότητας, ισορροπίας στους κυκλοφοριακούς φόρτους ανά λωρίδα και ομαλής συνέχειας μεταξύ των λωρίδων εισόδου, κυκλικού δακτυλίου και εξόδου.
- Επαρκής καθοδήγηση των οχημάτων στις σωστές πορείες ώστε να μην υπάρχει επικάλυψη πορειών.
- Επαρκής εξυπηρέτηση του οχήματος σχεδιασμού.
- Κάλυψη των αναγκών πεζών και ποδηλατιστών.
- Επαρκής και απρόσκοπτη, από εμπόδια και φυσική ή τεχνητή βλάστηση, απόσταση ορατότητας για τον οδηγό ώστε να αναγνωρίζει άμεσα τη διασταύρωση και παράλληλα να μπορεί να αντιληφθεί και να προβλέψει την κίνηση των άλλων χρηστών.

Κάθε μία από τις παραπάνω αρχές επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια και τη λειτουργία του  $K^3$ . Κατά τη διαδικασία γεωμετρικού σχεδιασμού θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να εκτιμώνται άμεσα οι οποιοσδήποτε ανισορροπίες μεταξύ της ασφάλειας, τη λειτουργιάς και του κόστους. Δίνοντας προτεραιότητα ή ευνοώντας έναν από τους τρεις παραπάνω παράγοντες, άμεσα επηρεάζονται αρνητικά οι άλλοι δύο. Ένα απλό παράδειγμα μιας τέτοιου είδους ανισορροπίας είναι η προσπάθεια του μελετητή να σχεδιάσει έναν  $K^3$  που να μπορεί να εξυπηρετεί μεγάλα οχήματα σχεδιασμού και παράλληλα να προσπαθεί να περιορίσει της ταχύτητες που ενδεχομένως μπορούν να αναπτυχθούν στον κόμβο. Αυξάνοντας το πλάτος εισόδου ή την ακτίνα της καμπύλης εισόδου ώστε να μπορούν να εξυπηρετούνται απρόσκοπτα τα μεγάλα οχήματα σχεδιασμού (μεγάλα φορτηγά), αυξάνονται αναπόφευκτα και οι ταχύτητες εισόδου στον  $K^3$ . Για το λόγο αυτό ένας μελετητής πρέπει να κρατήσει μία ισορροπία μεταξύ των ανταγωνιστικών στοιχείων σχεδιασμού το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην τροποποίηση ή αναπροσαρμογή των προκαταρκτικών σχεδίων. Για την εξυπηρέτηση μεγάλων οχημάτων και παράλληλα τον περιορισμό των ταχυτήτων



εισόδου στον  $K^3$  απαιτούνται επιπλέον τροποποιήσεις, όπως η μετατόπιση του άξονα των προσβάσεων προς τα αριστερά ως προς το κέντρο του κόμβου ή η αύξηση της διαμέτρου της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η γενική διαδικασία γεωμετρικού σχεδιασμού.



Σχήμα 3.1-1 Γενική διαδικασία γεωμετρικού σχεδιασμού (NCHRP & FHWA, 2010, ίδια Επεξεργασία).

### 3.2 Μέγεθος, Θέση και Διάταξη κλάδων πρόσβασης

Η σχεδίαση ενός κόμβου κυκλικής κίνησης περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση τριών αποφάσεων σχεδίασης (μέγεθος, θέση και διάταξη των κλάδων πρόσβασης) έτσι ώστε να υπάρξει η πολυπόθητη ισορροπία μεταξύ των βασικών αρχών και των στόχων που διατυπώθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Υπάρχουν αρκετοί πιθανοί συνδυασμοί μεταξύ των στοιχείων σχεδιασμού καθένας με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Η επιλογή του βέλτιστου σχεδίου υπόκειται σε περιορισμούς λόγω της δεδομένης περιοχής εγκατάστασης του προτεινόμενου κόμβου συναρτήσει της δυνατότητας για επαρκή ρύθμιση των ταχυτήτων εισόδου, της εξυπηρέτησης βαρέων οχημάτων και άλλων στόχων του σχεδιασμού.



α) Το κέντρο του  $K^3$  συμπίπτει με αυτό της υφιστάμενης διασταύρωσης



β) Το κέντρο του  $K^3$  μετατοπισμένο προς τα κάτω



β) Το κέντρο του  $K^3$  μετατοπισμένο προς τα δεξιά

**Εικόνα 3.2-1** Παραδείγματα πιθανών συνδυασμών θέσης και διάταξης των κλάδων πρόσβασης σε μία συγκεκριμένη διασταύρωση (NCHRP & FHWA, 2010)

Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται τρεις πιθανοί συνδυασμοί θέσης και διάταξης των κλάδων πρόσβασης για μία συγκεκριμένη διασταύρωση. Σε κάθε παράδειγμα το μέγεθος του κυκλικού δακτυλίου κυκλοφορίας παραμένει το ίδιο. Όπως εύκολα μπορεί να φανταστεί κανείς μπορούν να παραχθούν πολλές άλλες πιθανές εναλλακτικές μεταβάλλοντας το μέγεθος της εξωτερικής διαμέτρου. Κάθε μία εναλλακτική που παρουσιάζεται στην εικόνα έχει ως

αποτέλεσμα διαφορετικές επιπτώσεις στις παρόδεις ιδιοκτησίες. Η παραγωγή ενός ικανοποιητικού αριθμού σκαριφημάτων με τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις βοηθά τον μελετητή στο να αναγνωρίσει τις επιπτώσεις αυτές και να εκτιμήσει το εύρος των λύσεων που είναι πραγματικά εφικτές. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όπου το κέντρο του  $K^3$  έχει μετατοπιστεί από το κέντρο της υφιστάμενης διασταύρωσης, οι κλάδοι πρόσβασης απαιτούν κατάλληλη προσαρμογή ώστε οι γωνίες που σχηματίζουν μεταξύ τους να είναι περίπου  $90^\circ$  και να επιτυγχάνεται ευκολότερα ο περιορισμός της ταχύτητας των οχημάτων εντός των επιθυμητών ορίων.

### 3.2.1 Διάμετρος του δακτυλίου κυκλοφορίας

Η επιλογή της διαμέτρου της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας είναι συνήθως το πρώτο βήμα στη διαδικασία του γεωμετρικού σχεδιασμού. Η διάμετρος αυτή θα πρέπει να είναι μεγάλη αρκετά ώστε να εξυπηρετείται το όχημα σχεδιασμού ενώ παράλληλα θα περιορίζει τις ταχύτητες που αναπτύσσονται από τα μικρότερα οχήματα, στα επιθυμητά χαμηλά επίπεδα.

Τα συνιστώμενα μεγέθη διαμέτρου του κύκλου της εξωτερικής περιμέτρου του δακτυλίου κυκλοφορίας, ανάλογα με την περιοχή που εξυπηρετούν οι συμβαλλόμενες οδοί του κόμβου, την κατηγορία του κόμβου και τον αριθμό των λωρίδων του δακτυλίου, αναφέρονται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 3.2.1-1** Συνιστώμενη διάμετρος κύκλου εξωτερικής περιμέτρου δακτυλίου (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

Κατηγορία $K^3$	Όχημα σχεδιασμού / Μήκος οχήματος (m)	*Διάμετρος f (m)
Κομβίδιο	Λεωφορείο / 12,00 m βλ. Μέρος 1, Παρ Α, §3.1	15-30
Αστικός Συνεπτυγμένος		25-35
Αστικός 1 Λωρίδας	Φορτηγό / 16,50 m βλ. Μέρος 1, Παρ Α, §4.3	35-45
Αστικός 2 Λωρίδων		45-70
Υπεραστικός 1 Λωρίδας	Φορτηγό / 18,70 m βλ. Μέρος 1, Παρ Α, §4.4	40-60
Υπεραστικός 2 Λωρίδων		55-75

\* Τα μεγέθη αφορούν σε κόμβους με αριθμό σκελών το πολύ 4, που διασταυρώνονται με γωνίες περίπου  $90^\circ$

### 3.2.2 Βασικές παράμετροι σχεδιασμού

Οι βασικές γεωμετρικές παράμετροι σχεδιασμού των  $K^3$  περιγράφονται στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 3.2.2-1** Τυπικά πεδία τιμών σχεδιασμού γεωμετρικών παραμέτρων (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

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

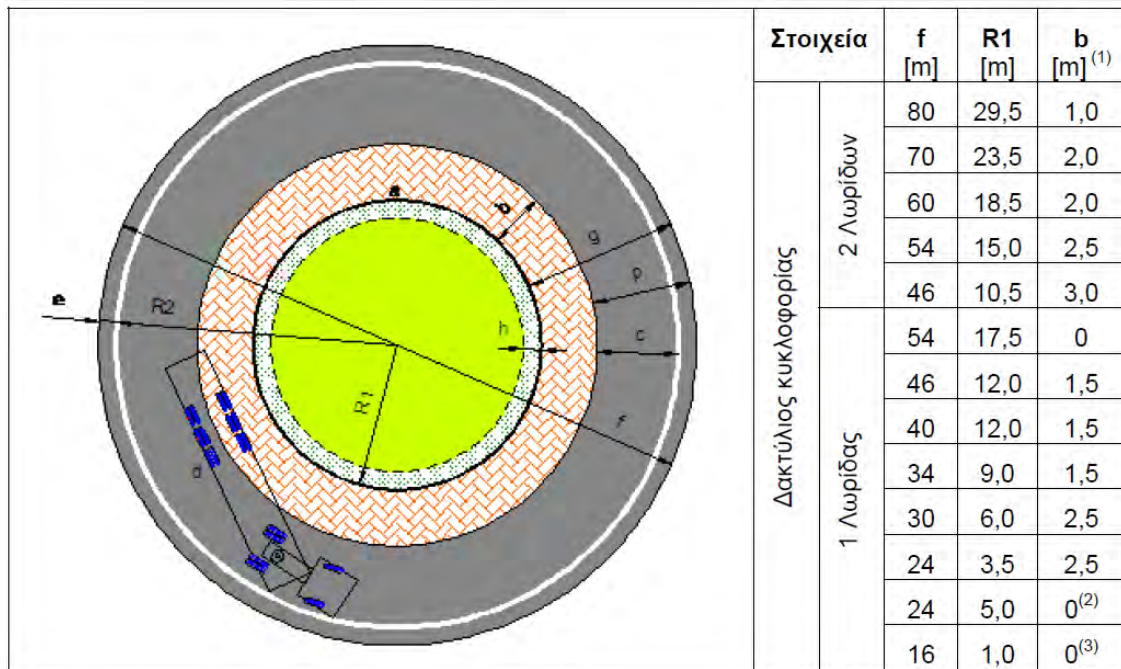
### 3.2.3 Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι τυπικές διαστάσεις γεωμετρικών παραμέτρων που διαμορφώνονται εντός της διάμετρού  $f$ , του δακτυλίου κυκλοφορίας ενός  $K^3$ , μία εξ αυτών και το πλάτος του δακτυλίου κυκλοφορίας.

Οι νησίδες διαχωρισμού στις προσβάσεις δεν επιτρέπεται να προβάλλουν μέσα στο πλάτος «g» του δακτυλίου, εφόσον το περιμετρικό ασφαλικό έρεισμα έχει το ελάχιστο πλάτος  $e=1,0$  m (βλ. επόμενο Σχήμα 3.2.3-1).

Αν μετά το σχεδιασμό των βασικών γεωμετρικών στοιχείων και τον έλεγχο του πλάτους κατάληψης από το όχημα σχεδιασμού (με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού) προκύπτει η ανάγκη για χρήση υπερβατής ζώνης πέριξ της κεντρικής νησίδας, αυτή θα περιορίζεται σε πλάτος από 0,6 έως 4,2 m. Σε διαφορετική

περίπτωση θα εξετάζεται εκ νέου ο σχεδιασμός, ώστε να παρέχεται ο απαραίτητος χώρος για την κίνηση των οχημάτων χωρίς τη χρήση υπερβατής ζώνης. Η διαδικασία επιλογής ακτίνας εσωτερικής διαμέτρου δακτυλίου κυκλοφορίας περιλαμβάνει και τη θεώρηση των ταχυτήτων, που αναμένεται να αναπτύσσουν τα οχήματα.



- (1) Το πλάτος υπερβατής ζώνης καλύπτει την εξυπηρέτηση φορτηγού ρυμουλκού με ημιρυμουλκούμενο εκτός από τις επόμενες περιπτώσεις <sup>(2)</sup> και <sup>(3)</sup>
- (2) Προσφέρεται εξυπηρέτηση μόνο φορτηγού και λεωφορείου, ενώ για εξυπηρέτηση φορτηγού ρυμουλκού με ημιρυμουλκούμενο απαιτείται η κατασκευή πλήρως υπερβατής κεντρικής νησίδας
- (3) Εφόσον χρειάζεται να εξυπηρετείται η διέλευση φορτηγού ή και λεωφορείου τότε η κεντρική νησίδα κατασκευάζεται υπερυψωμένη κατά 100 mm πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος

a: Κράσπεδο κεντρικής νησίδας	e: Ελάχιστο πλάτος ασφαλτικού ερείσματος 1,0 m
b: Υπερβατή ζώνη κεντρικής νησίδας	f: Εξωτερική διάμετρος
p: Πλάτος ασφαλτικού οδοστρώματος	g: Πλάτος κυκλοφορίσμο μεταξύ κρασπέδων
c: Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας	h: Πλάτος λωρίδας μόνο με χλοοτάπητα 1,0 m χωρίς οπτικά εμπόδια
d: Όχημα σχεδιασμού	

**Σχήμα 3.2.3-1** Διαστάσεις γεωμετρικών παραμέτρων που διαμορφώνονται εντός της διαμέτρου f (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>,2011).

Το πλάτος του τυχόν ρείθρου (gutter) στην εσωτερική ή εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου δεν περιλαμβάνεται στο πλάτος αυτού.

Για δακτύλιο 2 λωρίδων με σημαντικό φόρτο βαρέων οχημάτων, το συνολικό πλάτος του δακτυλίου πρέπει να ελέγχεται με κατάλληλο λογισμικό, ώστε κατ' ελάχιστο να εξυπηρετεί το μεγαλύτερο όχημα σχεδιασμού (συνήθως λαμβάνεται το ανεξάρτητο ρυμουλκό με ημιρυμουλκούμενο) σε παράλληλη κίνηση με μικρό επιβατηγό όχημα, χωρίς να εμπλέκονται τα ίχνη των αμαξωμάτων τους. Αυτό δε σημαίνει απαραίτητα ότι το αμάξιμα του φορτηγού

πρέπει να βρίσκεται μέσα στο πλάτος που ορίζουν οι οριογραμμές κυκλοφορίας, καθώς ο πρόβολος στο εμπρόσθιο ή οπίσθιο μέρος του μπορεί να υπερβαίνει αυτές τις οριογραμμές. Για αυτό το λόγο στην περίμετρο του δακτυλίου προβλέπεται ελεύθερη ζώνη πλάτους 1,0 m (βλ. τη διάσταση στο επόμενο σχήμα 2.3.3-1).

Για δακτύλιο 1 λωρίδας, το πλάτος του οδοστρώματος του δακτυλίου πρέπει να εξυπηρετεί λεωφορείο ενιαίου σώματος μήκους 15 m, ή μεγάλο όχημα της πυροσβεστικής. Εννοείται ότι τα ακόμη μεγαλύτερα οχήματα μπορεί να χρησιμοποιούν την προβλεπόμενη υπερβατή ζώνη της κεντρικής νησίδας.

Η εμφάνιση του φαινομένου του ύβου καμήλας, που προκύπτει επειδή παραμένει εκτός χρήσης τμήμα του δακτυλίου στην περίμετρό του, πρέπει να αποφεύγεται. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται όταν τα ίχνη των οχημάτων από τη φυσιολογική οδήγηση στην επιφάνεια κύλισης, για δεξιά στροφή προς έξοδο στο αμέσως επόμενο σκέλος, δεν περνούν πάνω από το πλήρες πλάτος του δακτυλίου (την επιφάνεια που προσομοιάζει με ύβος καμήλας. Σε δακτυλίους με δυο ή περισσότερες λωρίδες αυτό το φαινόμενο προκαλείται από κακό σχεδιασμό, που δημιουργεί κίνδυνο πλαγιομετωπικών συγκρούσεων, λόγω επικάλυψης των τροχιών των παράλληλα κινουμένων οχημάτων.

#### 3.2.4 Αριθμός λωρίδων δακτυλίου κυκλοφορία και εισόδων/εξόδων

Η εκτίμηση ή και ο καθορισμός του αριθμού των λωρίδων τόσο του δακτυλίου κυκλοφορίας αλλά και εισόδων/εξόδων αλλά και τα όσα πρέπει να ληφθούν υπόψιν του μελετητή, παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2, §2.3.1. Ο απαιτούμενος αριθμός λωρίδων του δακτυλίου εκτιμάται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με βάση το Σχήμα 2.4-1, σελ.35 των ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup> (Σχήμα 2.3.1-1 της παρούσας εργασίας).

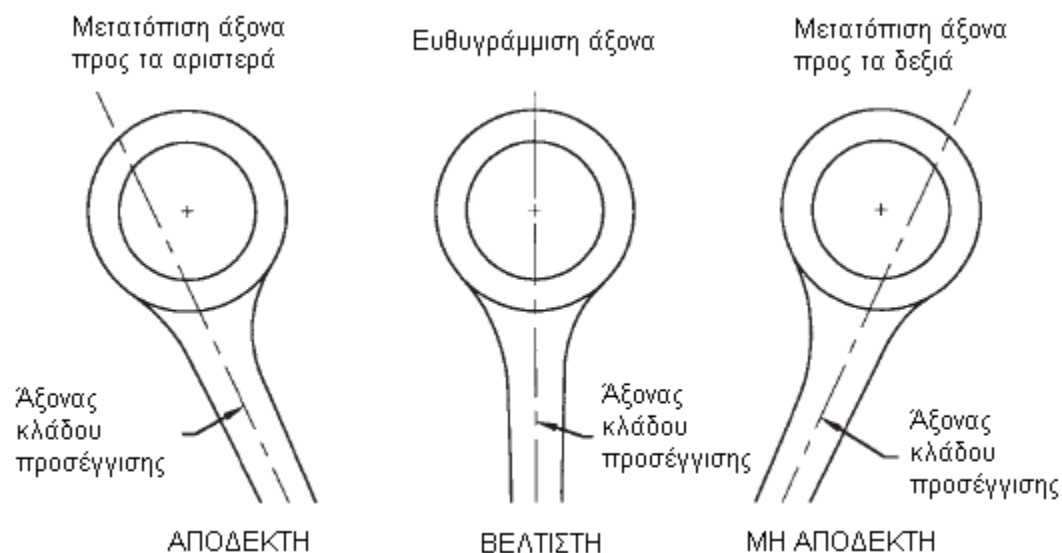
#### 3.2.5 Διάταξη κλάδων Πρόσβασης & Γωνίες μεταξύ των σκελών

Η ευθυγράμμιση των κλάδων προσέγγισης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου, καθώς επηρεάζει το βαθμό εκτροπής, άρα και την ταχύτητα των οχημάτων, το επίπεδο εξυπηρέτησης και το βαθμό ορατότητας. Θεωρητικά, η βέλτιστη τοποθέτηση ενός κυκλικού κόμβου επιτυγχάνεται όταν οι άξονες όλων των κλάδων προσέγγισης διέρχονται από το κέντρο του εγγεγραμμένου στον κόμβο κύκλου. Η συγκεκριμένη τοποθέτηση εξασφαλίζει επαρκή εκτροπή, επομένως και χαμηλές ταχύτητες, τόσο στις εισόδους όσο και στις εξόδους του κόμβου. Ακόμη, η ευθυγράμμιση των επιμέρους αξόνων καθιστά εμφανή την κεντρική νησίδα στους επερχόμενους οδηγούς, λόγω βελτιωμένης ορατότητας.

Σε περίπτωση που η ευθυγράμμιση των κλάδων προσέγγισης δεν είναι εφικτή, είναι αποδεκτή μία μικρή μετατόπιση του άξονά τους προς τα αριστερά

και άρα η διέλευσή του από τα αριστερά του κέντρου του εγγεγραμμένου κύκλου. Ακόμη κι έτσι, εξασφαλίζεται επαρκής καμπυλότητα και κατ' επέκταση εκτροπή των οχημάτων στην είσοδο του κόμβου, ενώ σε πολλές περιπτώσεις επιδιώκεται μία τέτοια μετατόπιση για τη βελτίωση της καμπυλότητας, κυρίως όταν ο εγγεγραμμένος κύκλος είναι μικρός. Παρόλα αυτά, απαιτείται μεγάλη προσοχή ώστε με αυτόν τον τρόπο να μην προκύψει υπερβολικά εφαιπτομενική έξοδος και ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, όπου απαιτείται επαρκής καμπυλότητα της πορείας εξόδου για τη διατήρηση χαμηλών ταχυτήτων κοντά στην πεζοδιάβαση εξόδου.

Αυτό που δεν είναι σχεδόν ποτέ αποδεκτό είναι η μετατόπιση του άξονα του κλάδου προσέγγισης προς τα δεξιά του κέντρου του κύκλου. Η διάταξη αυτή δημιουργεί μία περισσότερο εφαιπτομενική γωνία εισόδου και παρέχει μειωμένη καμπυλότητα εισόδου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα οχήματα να εισέρχονται στον κυκλικό κόμβο με πολύ μεγάλες ταχύτητες, προκαλώντας ατυχήματα λόγω απώλειας ελέγχου του οχήματος και συγκρούσεις μεταξύ εισερχόμενης και κινούμενης εντός του κόμβου κυκλοφορίας.



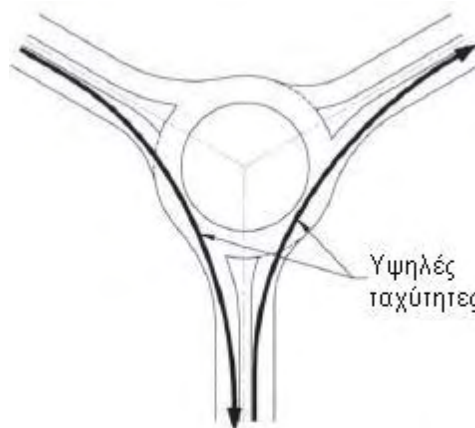
**Σχήμα 3.2.5-1** Θέση αξόνων στους κλάδους προσέγγισης. (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)

Ακόμη, είναι επιθυμητό, αλλά όχι απαραίτητο, οι σχηματιζόμενες γωνίες μεταξύ των εισόδων του κόμβου να είναι κάθετες ή σχεδόν κάθετες μεταξύ τους (π.χ. διασταύρωση διάταξης «Τ»), ώστε να εξασφαλίζονται χαμηλές και σταθερές ταχύτητες για όλες τις κινήσεις, καθώς και η απαραίτητη ορατότητα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ο βέλτιστος διαχωρισμός μεταξύ των διαδοχικών εισόδων και εξόδων, καθώς προκύπτουν γωνίες  $90^\circ$  για κόμβους τεσσάρων κλάδων,  $72^\circ$  για κόμβους πέντε κλάδων κλπ. Σε περίπτωση που δύο κλάδοι προσέγγισης σχηματίζουν γωνία πολύ μεγαλύτερη των  $90^\circ$  (π.χ. διασταύρωση διάταξης «Υ»), δημιουργείται ο κίνδυνος ανάπτυξης υπερβολικών ταχυτήτων κατά τις

δεξιόστροφες κινήσεις. Το γεγονός αυτό αντιμετωπίζεται συνήθως με αύξηση της διαμέτρου του εγγεγραμμένου κύκλου ή με μείωση του πλάτους και των ακτίνων εισόδου, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη εκτροπή. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή για γωνία πολύ μικρότερη των  $90^\circ$ , αυξάνεται η δυσκολία των οδηγών να ελέγξουν για τυχόν επερχόμενη κυκλοφορία. Σε αστικό περιβάλλον, όπου οι ταχύτητες γενικά είναι χαμηλές, η ευθυγράμμιση των κλάδων προσέγγισης δεν αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα.



**Σχήμα 3.2.5-2** Γωνίες μεταξύ των κλάδων προσέγγισης σε διασταύρωση διάταξης «Τ» (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)



**Σχήμα 3.2.5-3** Γωνίες μεταξύ των κλάδων προσέγγισης σε διασταύρωση διάταξης «Υ» (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)

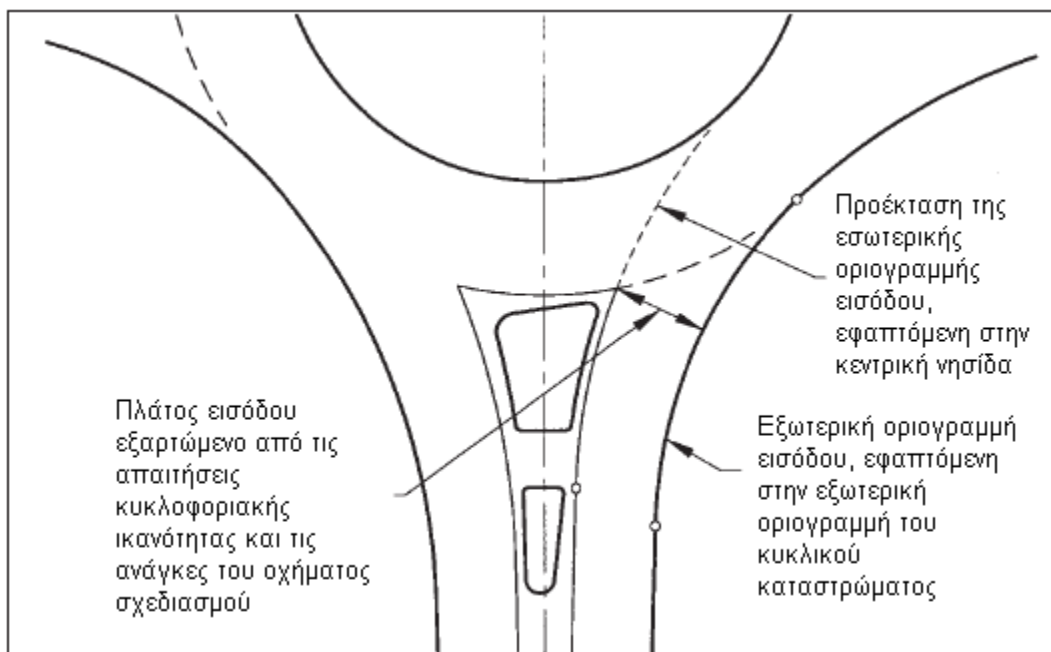
### 3.2.6 Είσοδοι

Η ακτίνα εισόδου ορίζει την καμπύλη της δεξιάς (εξωτερικής) οριογραμμής του κλάδου προσέγγισης στον κυκλικό κόμβο και δε θα πρέπει να συγχέεται με την ακτίνα της διαδρομής εισόδου, η οποία καθορίζεται από τη συντομότερη διαδρομή του οχήματος σχεδιασμού κατά την προσέγγιση. Η ακτίνα εισόδου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη λειτουργία ενός κυκλικού κόμβου, καθώς



επιδρά στην κυκλοφοριακή ικανότητα και την οδική ασφάλεια που αυτός προσφέρει. Η ακτίνα εισόδου, σε συνδυασμό με το πλάτος εισόδου, το πλάτος κυκλικού καταστρώματος και τη γεωμετρία της κεντρικής νησίδας, ρυθμίζει το βαθμό εκτροπής της εισερχόμενης κυκλοφορίας. Μεγάλες ακτίνες εισόδου επιτρέπουν υψηλότερες ταχύτητες εισόδου, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα ποσοστά συγκρούσεων μεταξύ εισερχόμενης και ήδη κινούμενης εντός του κόμβου κυκλοφορίας ή προσκρούσεων σε σταθερά εμπόδια. Αντίθετα, η λειτουργικότητα του κόμβου βελτιώνεται με τις μεγάλες ακτίνες εισόδου, ενώ εξυπηρετούνται και τα μεγαλύτερα οχήματα.

Η καμπύλη εισόδου (εξωτερική οριογραμμή εισόδου) εφάπτεται καμπυλόγραμμα στην εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού καταστρώματος. Ομοίως, η προέκταση της εσωτερικής (αριστερής) οριογραμμής εισόδου θα πρέπει να εφάπτεται καμπυλόγραμμα στην κεντρική νησίδα.



**Σχήμα 3.2.6-1** Στοιχεία σχεδιασμού εισόδου σε κυκλικό κόμβο μία λωρίδας

Πηγή: Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία

Στους κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυκλοφορίας είναι σχετικά απλό να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα εισόδου. Το πλεονέκτημα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι πως δε σημειώνονται συγκρούσεις μεταξύ παρακείμενων λωρίδων, καθώς υπάρχει μόνο ένα ρεύμα εισερχόμενης και κινούμενης εντός του κόμβου κυκλοφορίας. Επομένως, η ακτίνα της διαδρομής εισόδου μπορεί να διαμορφωθεί με κατάλληλη αύξηση ή μείωση της ακτίνας εισόδου. Όσον αφορά στις γωνίες εισόδου (γωνίες μεταξύ του κλάδου εισόδου και της γραμμής εισόδου), οι μεγάλες γωνίες δεν παρέχουν επαρκή ορατότητα προς τα αριστερά, δυσκολεύοντας τις κινήσεις ελέγχου των οδηγών, ενώ αντίθετα οι μικρές γωνίες δεν παρέχουν την απαραίτητη ευθυγράμμιση του κλάδου εισόδου, ώστε να

αποφευχθούν οι λανθασμένες κινήσεις (αριστερόστροφη κίνηση μπροστά από την κεντρική νησίδα).

Δεδομένου ότι παρέχεται επαρκής ορατότητα για το όχημα σχεδιασμού, τα εισερχόμενα οχήματα προσαρμόζουν την πορεία τους σύμφωνα με τη γεωμετρία εισόδου.

Στους κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας, ο σχεδιασμός της καμπύλης εισόδου γίνεται πιο περίπλοκος. Οι μικρές ακτίνες εισόδου οδηγούν σε εμπλοκές μεταξύ των οχημάτων παρακείμενων λωρίδων, συντελώντας συχνά σε περιορισμένη χρήση μίας ή περισσότερων από τις υφιστάμενες λωρίδες κυκλοφορίας και κατ' επέκταση σε μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας και της συνολικής ασφάλειας του κόμβου.

### 3.2.6.1 Πλάτος Εισόδου

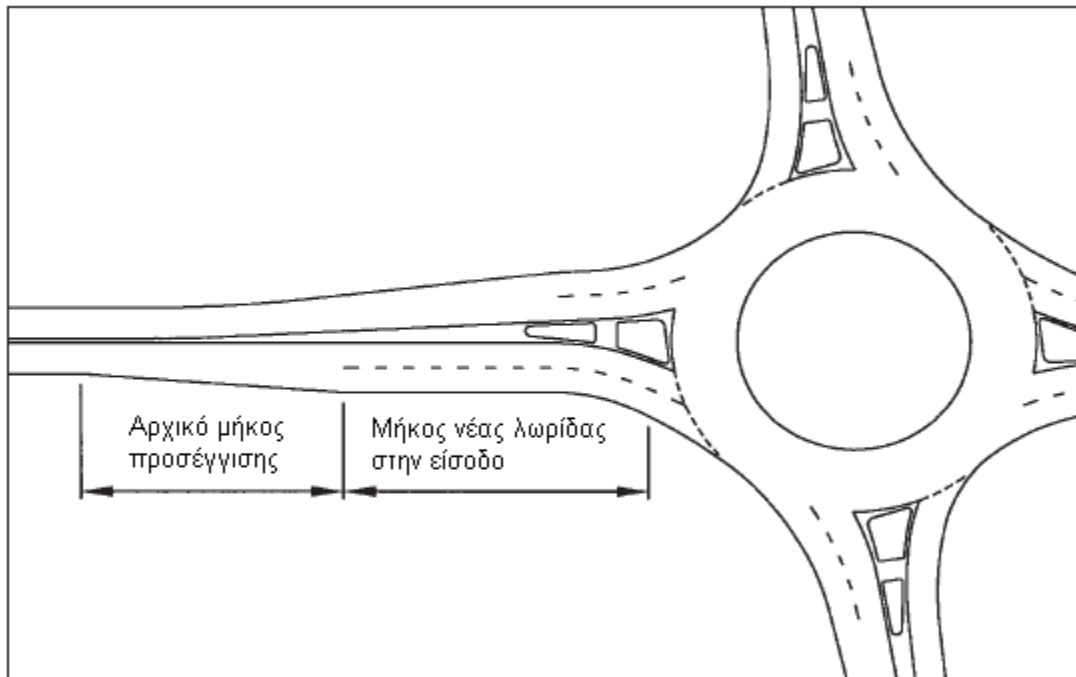
Η κυκλοφοριακή ικανότητα των κλάδων προσέγγισης, άρα και του κυκλικού κόμβου συνολικά, καθορίζεται όχι απλά από τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας, αλλά κυρίως από το συνολικό πλάτος εισόδου. Όσο αυξάνεται το πλάτος αυτό, τόσο μεγαλώνει η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου.

Το πλάτος εισόδου μετριέται κάθετα, από το σημείο όπου η γραμμή εισόδου τέμνει την αριστερή οριογραμμή του κλάδου προσέγγισης έως την αντίστοιχη δεξιά οριογραμμή. Το πλάτος της κάθε εισόδου του κυκλικού κόμβου υπαγορεύεται από τις ανάγκες της αντίστοιχης εισερχόμενης κυκλοφορίας και εκφράζεται από τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίας.

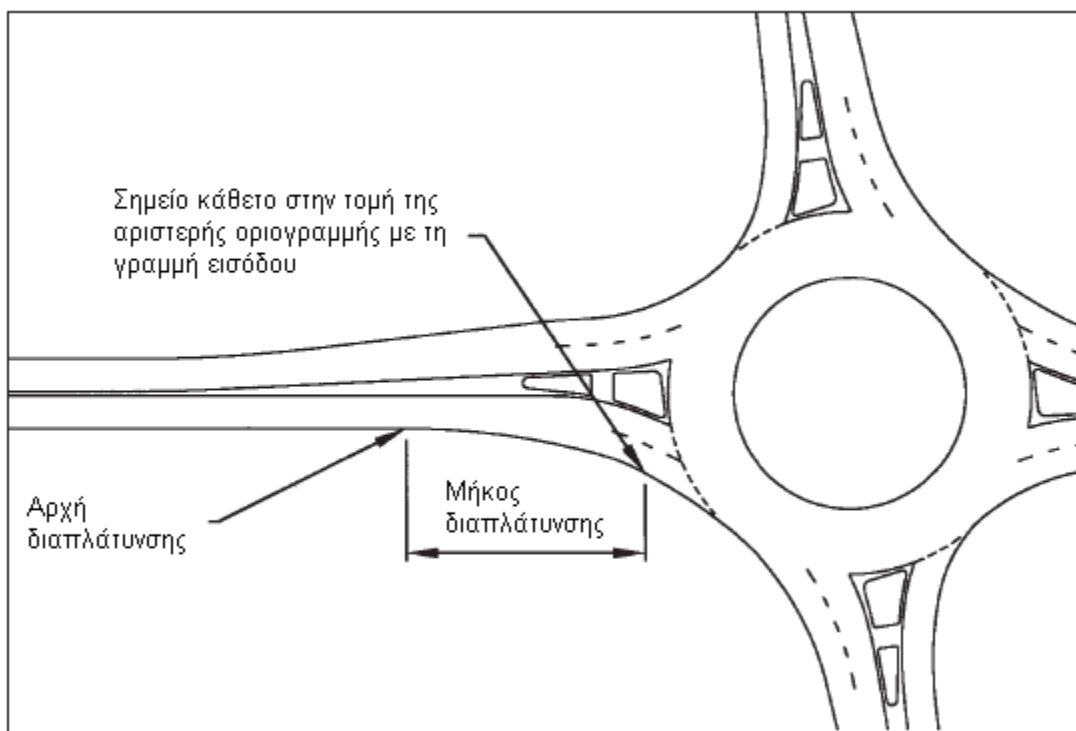
Για λόγους ασφαλείας, το πλάτος των εισόδων είναι προτιμότερο να έχει μικρές κατά το δυνατόν τιμές. Οι ανάγκες άνετης διέλευσης και ελιγμών του οχήματος σχεδιασμού, όμως, οδηγούν σε μεγαλύτερα πλάτη εισόδων. Παρόλα αυτά, τα μεγαλύτερα πλάτη εισόδων συνεπάγονται υψηλότερες ταχύτητες και κατ' επέκταση μεγαλύτερη συχνότητα συγκρούσεων και κίνδυνο ατυχημάτων κατά τη διέλευση των πεζών. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε περιπτώσεις όπου το πλάτος των εισόδων ξεπερνά το αντίστοιχο του κυκλικού καταστρώματος, καθώς είναι πιθανό να προκληθεί σύγχυση στους εισερχόμενους οδηγούς, δημιουργώντας την εντύπωση για ύπαρξη περισσότερων από μία λωρίδων εισόδου, λόγω αυξημένου πλάτους, ενώ υπάρχει μόνο μία λωρίδα επί του κυκλικού καταστρώματος για να δεχθεί την επερχόμενη κυκλοφορία. Στην περίπτωση αυτή, ασφάλεια και κυκλοφοριακή ικανότητα εμφανίζουν αντικρουόμενες απαιτήσεις.

Εάν η αύξηση του πλάτους εισόδου είναι αναπόφευκτη, τότε πραγματοποιείται με:

- ✓ Προσθήκη λωρίδας κυκλοφορίας και διατήρηση των υφιστάμενων παράλληλων λωρίδων.
- ✓ Σταδιακή διαπλάτυνση του κλάδου προσέγγισης.



**Σχήμα 3.2.6.1-1** Αύξηση του πλάτους εισόδου με προσθήκη νέας λωρίδας (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)

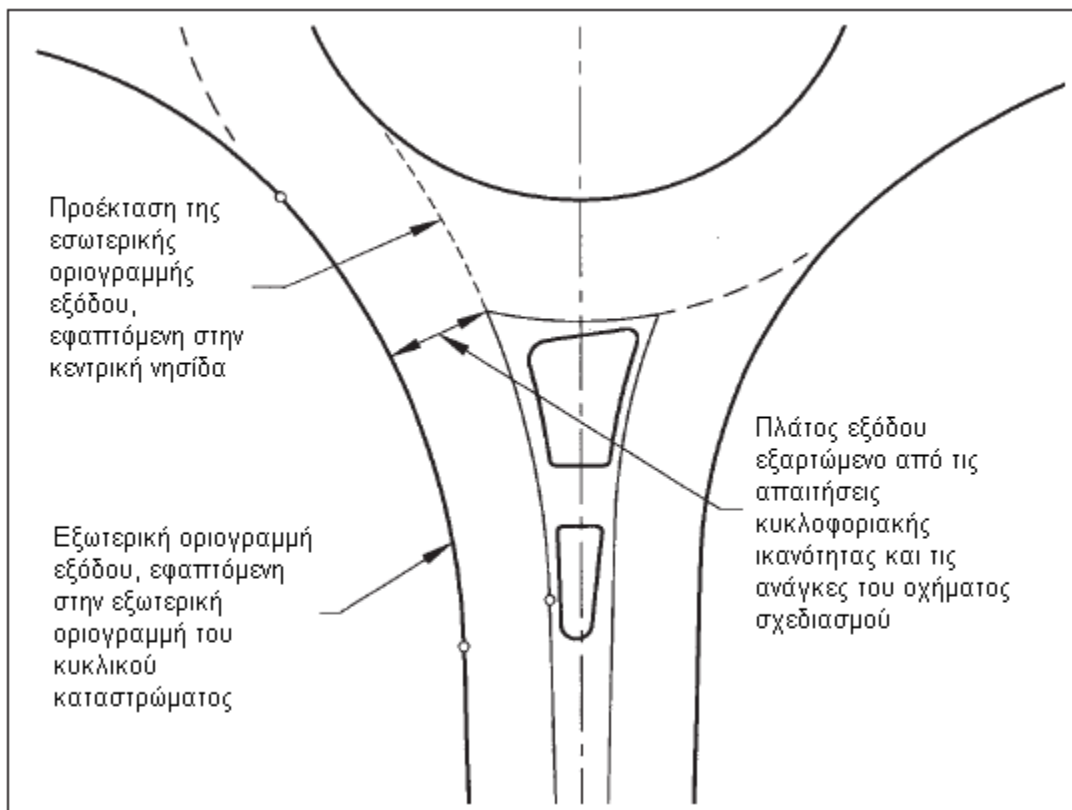


**Σχήμα 3.2.6.1-2** Αύξηση του πλάτους εισόδου με διαπλάτυνση του κλάδου προσέγγισης (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)

### 3.2.7 Έξοδοι

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα συμφόρησης και συγκρούσεων κατά τις εξόδους, χρησιμοποιούνται ακτίνες εξόδου μεγαλύτερες από αυτές στις εισόδους των κυκλικών κόμβων, υπό τον περιορισμό, βέβαια, ότι οι ταχύτητες διατηρούνται χαμηλές στις πεζοδιαβάσεις που βρίσκονται στις εξόδους. Η ακτίνα της διαδρομής εξόδου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση ή μεγαλύτερη από την ακτίνα της διαδρομής κυκλικής κίνησης επί του κόμβου, διότι σε αντίθετη περίπτωση, τα οχήματα θα κινούνται πολύ γρήγορα ώστε να προσαρμοστούν εγκαίρως στη γεωμετρία εξόδου και έτσι δημιουργείται ο κίνδυνος πρόσκρουσης στη διαχωριστική νησίδα ή σύγκρουσης με την επερχόμενη κυκλοφορία στην παρακείμενη λωρίδα προσέγγισης. Με την ίδια λογική, η ακτίνα της διαδρομής εξόδου δε θα πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από την ακτίνα της διαδρομής κυκλικής κίνησης επί του κόμβου, ώστε να εξασφαλίζονται χαμηλές ταχύτητες στις πεζοδιαβάσεις που βρίσκονται κατάντη.

Η καμπύλη εξόδου (εξωτερική οριογραμμή εξόδου) σχεδιάζεται έτσι ώστε να εφάπτεται καμπυλόγραμμα στην εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού καταστρώματος. Ομοίως, η προέκταση της εσωτερικής οριογραμμής του κλάδου εξόδου θα πρέπει να εφάπτεται καμπυλόγραμμα στην κεντρική νησίδα.



**Σχήμα 3.2.7-1** Στοιχεία σχεδιασμού εξόδου σε κυκλικό κόμβο μία λωρίδας (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)

Σε αστικούς κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυκλοφορίας, οι έξοδοι θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούνται χαμηλές ταχύτητες και να μεγιστοποιείται η ασφάλεια και η άνεση των πεζών που διασχίζουν τις πεζοδιαβάσεις στους κλάδους εξόδου. Σε υπεραστικές περιοχές, όπου ο αριθμός των πεζών είναι πολύ μικρός ή παρατηρείται συχνή διέλευση μεγάλων οχημάτων, επιτρέπονται μεγάλες ακτίνες εξόδου, διευκολύνοντας τα οχήματα να εξέλθουν άνετα και γρήγορα από τον κυκλικό κόμβο και να αποκτήσουν την ταχύτητα που είχαν προτού εισέλθουν. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν υπαγορεύει κατασκευή πλήρως ευθύγραμμων τμημάτων που εφάπτονται στην κεντρική νησίδα, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα μελλοντικής μετατροπής των περιοχών αυτών σε αστικές. Για το λόγο αυτό, προτείνεται πάντοτε να παρέχεται στις εξόδους η απαραίτητη μέριμνα για τους πεζούς, εκτός εάν υπάρχουν ξεχωριστές εγκαταστάσεις για πεζούς ή η δραστηριότητά τους στην περιοχή περιορίζεται από άλλους παράγοντες.

Σε κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας, ο σχεδιασμός των εξόδων παρουσιάζει δυσκολίες, όπως και στην περίπτωση του σχεδιασμού των εισόδων. Πιο συγκεκριμένα, εάν οι ακτίνες εξόδου είναι πολύ μικρές, υπάρχει ο κίνδυνος συγκρούσεων μεταξύ της εξερχόμενης και της κινούμενης επί του κόμβου κυκλοφορίας, λόγω επικάλυψης πορείας. Αντίθετα, οι μεγάλες ακτίνες, όμοια με τους κόμβους μίας λωρίδας, θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των πεζών που διασχίζουν τις πεζοδιαβάσεις εξόδου, λόγω των υψηλών ταχυτήτων που επιτρέπουν.

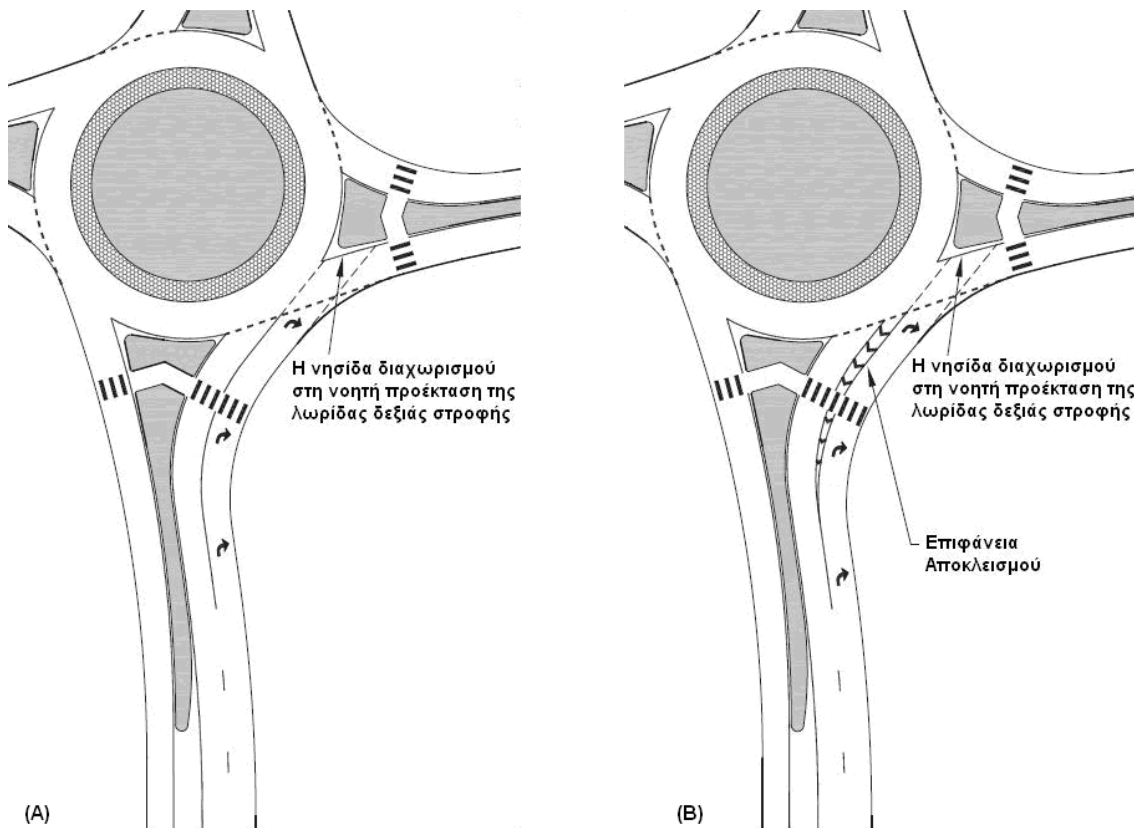
### 3.2.9 Διαμόρφωση αποκλειστικών λωρίδων δεξιάς στροφής

Σε περίπτωση Κ3 με δακτύλιο κυκλοφορίας μίας λωρίδας, όπου παρουσιάζονται υψηλοί φόρτοι δεξιά στρεφόντων οχημάτων από μια είσοδο προς την αμέσως επόμενη έξοδο, ενδέχεται να χρειάζεται αποκλειστική λωρίδα δεξιάς στροφής (παρακαμπτηρίου κλάδος). Η χρήση παρακαμπτηρίου κλάδου δεξιάς στροφής μπορεί να αντιμετωπίσει ζητήματα αυξημένης ζήτησης δεξιά στρεφουσών κινήσεων, αλλά και ασφαλείας έναντι πεζών και ποδηλατών. Επιπλέον, αυτή η παραλλαγή εφαρμόζεται για την αποφυγή εξ αρχής της κατασκευής δακτυλίου κυκλοφορίας δύο λωρίδων. Η άμεση εφαρμογή παρακαμπτηρίου κλάδου δεξιάς στροφής μπορεί να μεταθέσει την ανάγκη δακτυλίου 2 λωρίδων για πολύ αργότερα ή και να την απαλείψει, ανάλογα με την εξέλιξη της ζήτησης.

Για το σχεδιασμό αποκλειστικών λωρίδων δεξιάς στροφής προτείνονται οι ακόλουθες εναλλακτικές:

α) Προσθήκη παράλληλης λωρίδας δεξιάς στροφής μέχρι την περίμετρο του δακτυλίου

Σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται δύο λωρίδες λίγο πριν από την είσοδο του κλάδου στο δακτύλιο, όμως η συνέχεια της δεξιάς διακόπτεται στη γραμμή εισόδου, ενώ στην προέκτασή της βρίσκεται η νησίδα διαχωρισμού της επόμενης πρόσβασης. Αυτή η διαμόρφωση περιορίζει στο ελάχιστο τον απαιτούμενο επιπλέον χώρο σε σχέση με την τυπική μορφή κόμβου μιας λωρίδας. Στην έξοδο της δεξιάς λωρίδας τοποθετείται σήμανση παραχώρησης προτεραιότητας.



**Σχήμα 3.2.9-1** Παράλληλη λωρίδα δεξιάς στροφής που σταματά στην περίμετρο του δακτυλίου κίνησης, χωρίς επιφάνεια αποκλεισμού (βλ. Α) και με επιφάνεια αποκλεισμού (βλ. Β), (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

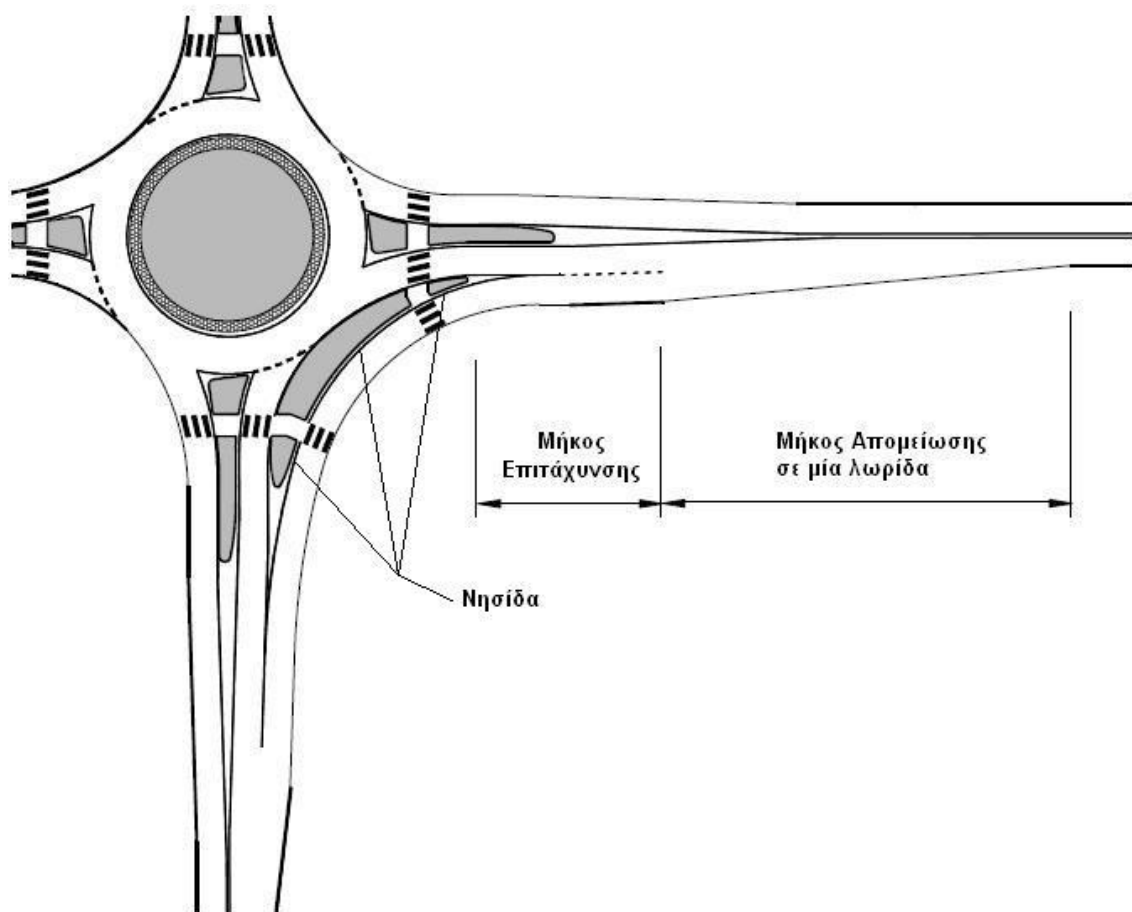
### β). Χρήση υπερυψωμένης νησίδας για το διαχωρισμό της λωρίδας δεξιάς στροφής

Η διαγραμμισμένη επιφάνεια αποκλεισμού που αναφέρεται στην προηγούμενη εναλλακτική αντικαθίσταται από μη υπερβατή νησίδα, που διαχωρίζει δομικά τις πορείες των οχημάτων τουλάχιστον 10-15 m προ της γραμμής εισόδου στο δακτύλιο. Παραμένει η σήμανση παραχώρησης προτεραιότητας για τους οδηγούς που εισέρχονται στον επόμενο κλάδο εξόδου από τη λωρίδα δεξιάς στροφής.

### γ) Χρήση παρακαμπτηρίου κλάδου άμεσης δεξιάς στροφής

Μια παραλλαγή της προηγούμενης διαμόρφωσης του Σχήματος 2.11-3 είναι αυτή όπου, η δεξιά στροφή διαχωρίζεται πλήρως με επέκταση της διαχωριστικής νησίδας και στη συνέχεια, εφόσον ο κλάδος εξόδου είναι μιας λωρίδας, προστίθεται λωρίδα επιτάχυνσης. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνονται, η κίνηση βαρέων οχημάτων που στρίβουν δεξιά και η συγχώνευση των οχημάτων με το κυρίως ρεύμα κυκλοφορίας του κλάδου εξόδου. Αυτή η διαμόρφωση απαιτεί περισσότερο χώρο και έχει υψηλότερο κόστος κατασκευής. Όμως αυτή, εμποδίζοντας την εσφαλμένη χρήση της λωρίδας δεξιάς στροφής για όσους από τους οδηγούς θα ήθελαν να συνεχίσουν κινούμενοι ευθεία, επί του δακτυλίου κυκλοφορίας βελτιώνει εξαιρετικά την οδική ασφάλεια.

Σημειώνεται ότι, ανάλογα με τους φόρτους, μπορεί να σβήνει η λωρίδα εγγύς της διαχωριστικής νησίδας, αντί της λωρίδας αποκλειστικής δεξιάς στροφής.



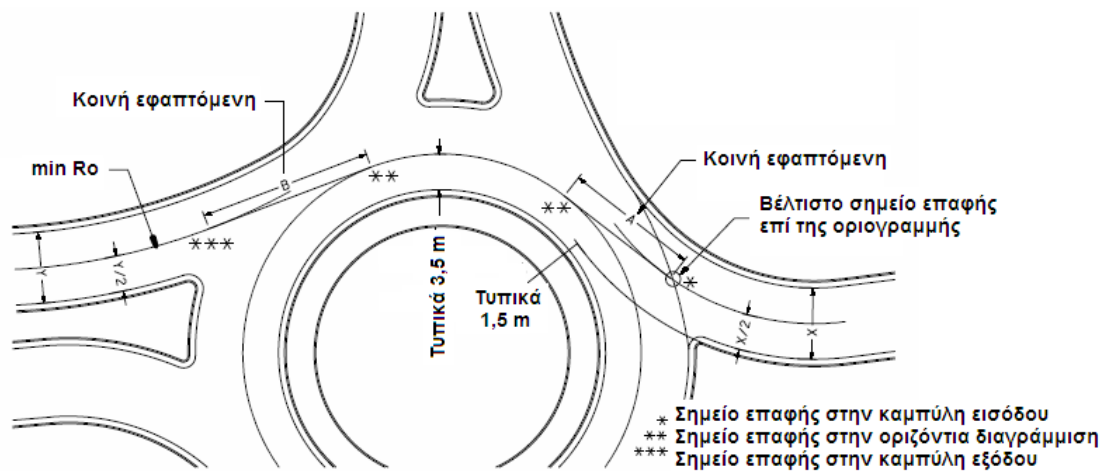
Το συνολικό μήκος επιτάχυνσης και απομείωσης του πλάτους της λωρίδας (taper) ορίζεται ανάλογα με τους αναμενόμενους φόρτους από 120 έως 175 m, με αντίστοιχο μήκος taper από 40 έως 60 m.

**Σχήμα 3.2.9-2** Παρακαμπτήριο κλάδος δεξιάς στροφής, με λωρίδα επιτάχυνσης (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

### 3.3 Έλεγχοι Επίδοσης του $K^3$

#### 3.3.1 Έλεγχος επικάλυψης πορείας

Μία καλά γεωμετρικά διαμορφωμένη είσοδος 2 ή περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας κατευθύνει τα οχήματα στις κατάλληλες λωρίδες εντός του δακτυλίου κυκλοφορίας. Ομοίως και ο γεωμετρικός σχεδιασμός των εξόδων θα πρέπει να δίνουν την δυνατότητα κατάλληλης διεύθεσης της πορείας των οχημάτων και μίας ομαλής συνέχειας της διαγραφόμενης καμπύλης κίνησης, εντός των προβλεπόμενων λωρίδων, με στόχο να αποφεύγονται οι επικαλύψεις και οι αλλαγές λωρίδων. Ωστόσο η κατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση των εισόδων συχνά είναι ανταγωνιστική με το στόχο της διατήρησης χαμηλών ταχυτήτων εισόδου (ταχύτερη/συντομότερη διαδρομή). Ο έλεγχος για την αποφυγή της επικάλυψης της πορείας εισόδου και εξόδου γίνεται με βάση το επόμενο σχήμα.



Διάσταση	Ελάχιστη (m)	Επιθυμητή
A	8,0	12,0-15,0
B	8,0	$\geq 12,0$

Σχήμα 3.2.3-1 Μέθοδος ελέγχου επικάλυψης πορείας (ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011)

#### 3.3.2 Ταχύτητα Σχεδιασμού & Συντομότερη διαδρομή (Fastest Path)

Ο βασικότερος στόχος του γεωμετρικού σχεδιασμού κυκλικών κόμβων είναι η επίτευξη της κατάλληλης ταχύτητας σχεδιασμού, διότι έχει μεγάλες επιπτώσεις στο επίπεδο οδικής ασφάλειας του κόμβου. Πιο συγκεκριμένα, η συχνότητα των ατυχημάτων σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό των οχημάτων, ενώ αντίθετα η σοβαρότητά τους εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα κίνησής τους. Ένας σωστός σχεδιασμός εκτρέπει επαρκώς τα οχήματα σύμφωνα με μία καμπύλη πορεία, μειώνοντας τις ταχύτητες των ρευμάτων της κυκλοφορίας που έρχονται σε επαφή.



Η επιβράδυνση των οχημάτων που προσεγγίζουν τον κόμβο θα πρέπει να πραγματοποιείται σε ορισμένη απόσταση από την είσοδο σε αυτόν, ενώ εντός αυτού η ταχύτητα κίνησης θα πρέπει να παραμένει σταθερή. Οποιαδήποτε αύξηση της καμπύλης διαδρομής κίνησης επί του κόμβου συνεπάγεται μείωση των ταχυτήτων κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των συγκρούσεων μεταξύ εισερχόμενης ή εξερχόμενης και ήδη κινούμενης επί του κόμβου κυκλοφορίας. Ωστόσο, σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας, η παραπάνω αύξηση δημιουργεί μεγαλύτερες πιθανότητες πλευρικής σύγκρουσης ανάμεσα σε παρακείμενα ρεύματα κυκλοφορίας, καθώς παρατηρείται επικίνδυνη εναλλαγή λωρίδων.

Η ταχύτητα σχεδιασμού του κυκλικού κόμβου καθορίζεται από τη συντομότερη διαδρομή που επιτρέπεται από τη γεωμετρία του. Η διαδρομή αυτή αποτελεί θεωρητικά την πιο ομαλή δυνατή πορεία που μπορεί να ακολουθήσει ένα όχημα από την είσοδο, επί του κυκλικού καταστρώματος και κατά την έξοδο, δεδομένης της απουσίας άλλων οχημάτων και αγνοώντας οποιαδήποτε οριζόντια σήμανση για την ύπαρξη των λωρίδων κυκλοφορίας. Η συντομότερη δυνατή διαδρομή συνήθως είναι η ευθεία πορεία, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι και η δεξιόστροφη κίνηση.

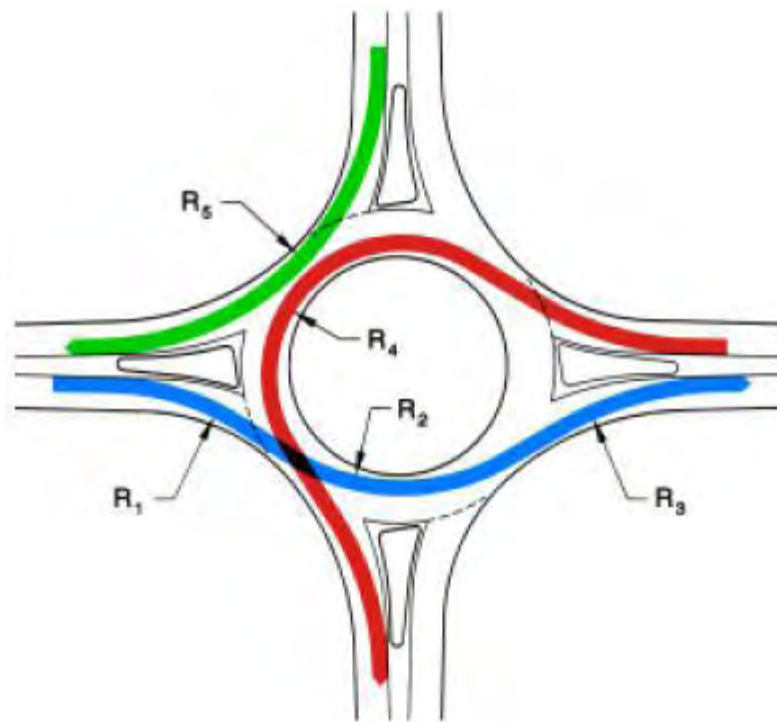
Η συντομότερη διαδρομή περιλαμβάνει μία σειρά από διαδοχικές αντίστροφες καμπύλες, ξεκινώντας με μία καμπύλη προς τα δεξιά μετά την είσοδο, ακολουθούμενη από δεύτερη καμπύλη προς τα αριστερά εντός του κυκλικού καταστρώματος και γύρω από την κεντρική νησίδα και αυτή με τη σειρά της ακολουθούμενη από τρίτη καμπύλη και πάλι προς τα δεξιά για την έξοδο. Οι καμπύλες αυτές ενώνονται μεταξύ τους με ένα μικρό εφαπτομενικό τμήμα, το οποίο καλύπτει το χρόνο που χρειάζεται ένας οδηγός για να στρίψει το τιμόνι του οχήματός του. Τέλος, η συντομότερη διαδρομή θα πρέπει να σχεδιάζεται για κάθε έναν από τους κλάδους προσέγγισης στον κυκλικό κόμβο. Εφόσον η διαδρομή αυτή προσδιοριστεί, η μικρότερη ακτίνα που θα εφαρμοστεί κατά μήκος αυτής θα καθορίσει και την ταχύτητα σχεδιασμού. Η μικρότερη ακτίνα συνήθως εφαρμόζεται στο τμήμα της διαδρομής κυκλικής κίνησης επί του κόμβου.

Για κάθε κλάδο προσέγγισης, λοιπόν, προσδιορίζονται πέντε βασικές ακτίνες διαδρομών και υπολογίζεται η ταχύτητα που αναπτύσσεται σε κάθε μία από αυτές. Βάσει των ακτίνων αυτών σχεδιάζεται η συντομότερη διαδρομή και ελέγχεται η καταλληλότητα της γεωμετρίας του κόμβου, έτσι ώστε η διαφορά των διαδοχικών ταχυτήτων κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής να μην ξεπερνά τα 20 χλμ./ώρα. Στις ακτίνες αυτές περιλαμβάνονται:

- ✓ Η ακτίνα της διαδρομής εισόδου (entry path radius - R1): Είναι η ελάχιστη ακτίνα της συντομότερης διαδρομής πριν τη γραμμή εισόδου στον κόμβο.
- ✓ Η ακτίνα της διαδρομής κυκλικής κίνησης επί του κόμβου (circulating path radius - R2): Είναι η ελάχιστη ακτίνα της συντομότερης διαδρομής γύρω από την κεντρική νησίδα.

- ✓ Η ακτίνα της διαδρομής εξόδου (exit path radius - R3): Είναι η ελάχιστη ακτίνα της συντομότερης διαδρομής κατά την έξοδο από τον κόμβο.
- ✓ Η ακτίνα της αριστερόστροφης διαδρομής (left-turn path radius - R4): Είναι η ελάχιστη ακτίνα της συντομότερης διαδρομής της αριστερόστροφης κίνησης.
- ✓ Η ακτίνα της δεξιόστροφης διαδρομής (right-turn path radius - R5): Είναι η ελάχιστη ακτίνα της συντομότερης διαδρομής της δεξιόστροφης κίνησης.

Αξίζει να τονιστεί ότι οι ακτίνες αυτές δε θα πρέπει να συγχέονται με τις ακτίνες καμπυλών. Οι ακτίνες διαδρομών ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν την πορεία του άξονα του οχήματος σχεδιασμού, κατά τη διέλευσή του από τον κυκλικό κόμβο με βάση τη συντομότερη διαδρομή.



**Σχήμα 3.3.2-1** Ακτίνες διαδρομών οχήματος (Federal Highway Administration, 2000)

Όσον αφορά στα παραπάνω, η ακτίνα R1 προτείνεται να είναι μικρότερη από την R2 και αυτή με τη σειρά της μικρότερη από την R3. Έτσι εξασφαλίζονται χαμηλές ταχύτητες κατά την είσοδο στον κόμβο, μειώνεται η διαφορά ταχυτήτων μεταξύ εισερχόμενης και ήδη κινούμενης κυκλοφορίας και κατ' επέκταση μειώνονται οι πιθανότητες συγκρούσεων λόγω απώλειας ελέγχου του οχήματος. Σε περιπτώσεις όπου η R1 δεν είναι εφικτό, λόγω διαφόρων περιορισμών, να είναι μικρότερη από την R2, γίνεται αποδεκτή μεγαλύτερη τιμή, υπό την προϋπόθεση η διαφορά των αντίστοιχων ταχυτήτων να μην υπερβαίνει τα 20 χλμ./ώρα. Σε κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυκλοφορίας, η μείωση της R1 μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μείωση της ακτίνας του κρασπέδου στην είσοδο είτε με μετατόπιση του κλάδου προσέγγισης προς τα αριστερά, επιτυγχάνοντας χαμηλότερη ταχύτητα εισόδου (αλλά και πιθανή υψηλότερη

ταχύτητα εξόδου, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια των πεζών). Σε κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας η κατάσταση περιπλέκεται, καθώς οι μικρές ακτίνες κρασπέδου μπορεί να οδηγήσουν σε επικάλυψη πορείας από οχήματα παρακείμενων λωρίδων, μειώνοντας την κυκλοφοριακή ικανότητα και αυξάνοντας τον κίνδυνο εμπλοκής.

Η ακτίνα R3, όπως προαναφέρθηκε, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις R1 και R2, ώστε να αποφευχθούν οι συγκρούσεις λόγω απώλειας ελέγχου του οχήματος. Σε κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας κυκλοφορίας και με υψηλή παρουσία πεζών, η R3 μπορεί να είναι μικρή (ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την R2), ώστε να ελαχιστοποιήσει την ταχύτητα εξόδου. Ωστόσο, σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων κυκλοφορίας θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μειώνονται οι πιθανότητες επικάλυψης της πορείας εξόδου. Προτείνονται, δηλαδή, μεγάλες ακτίνες εξόδου, υπό την προϋπόθεση της απουσίας πεζών.

Η ακτίνα R4 θα πρέπει να εκτιμάται έτσι, ώστε η διαφορά ταχυτήτων μεταξύ εισερχόμενης και ήδη κινούμενης κυκλοφορίας να μην υπερβαίνει τα 20 χλμ./ώρα. Η αριστερόστροφη κίνηση περιλαμβάνει το βασικότερο ρεύμα κυκλοφορίας, διότι έχει τη μικρότερη ταχύτητα. Μεγάλες διαφοροποιήσεις ταχυτήτων οδηγούν σε αύξηση των προσκρούσεων των οχημάτων, λόγω απώλειας ελέγχου. Τέλος, η ακτίνα R5 περιλαμβάνει ταχύτητα σχεδιασμού ίση ή μικρότερη από τη μέγιστη ταχύτητα σχεδιασμού του κυκλικού κόμβου και μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της ακτίνας R4, με μέγιστη διαφορά τα 20 χλμ./ώρα.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, παράλληλα με την κατάλληλη ταχύτητα σχεδιασμού για τις γρηγορότερες κινήσεις, ο γεωμετρικός σχεδιασμός στοχεύει στο να επιτύχει σταθερές ταχύτητες για όλες τις κινήσεις. Όπως η μείωση, έτσι και η σταθερότητα των ταχυτήτων ελαχιστοποιεί τη συχνότητα και σοβαρότητα των συγκρούσεων της κυκλοφορίας, διευκολύνει τη διείσδυση στην ήδη κινούμενη κυκλοφορία και αυξάνει την κυκλοφοριακή ικανότητα. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται:

- ✓ Ελαχιστοποίηση της διαφοράς ταχυτήτων μεταξύ διαδοχικών γεωμετρικών στοιχείων.
- ✓ Ελαχιστοποίηση της διαφοράς ταχυτήτων μεταξύ των παρακείμενων ρευμάτων κυκλοφορίας.

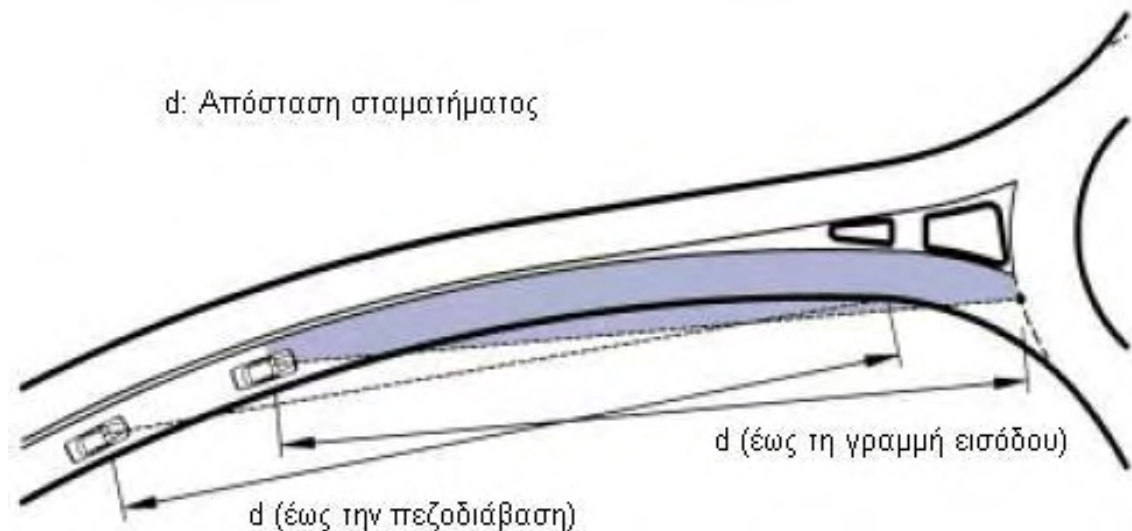
### 3.3.3 Ορατότητα

Η επαρκής ορατότητα σε έναν κυκλικό κόμβο σχετίζεται με την απόσταση σταματήματος, δηλαδή την απόσταση που απαιτείται ώστε ένας οδηγός να αντιδράσει και να ακινητοποιήσει πλήρως το όχημά του, αντιλαμβανόμενος την ύπαρξη κάποιου εμποδίου που έπεται της πορείας του. Η απόσταση αυτή θεωρητικά υπολογίζεται για κάθε σημείο του κόμβου και σε κάθε κλάδο

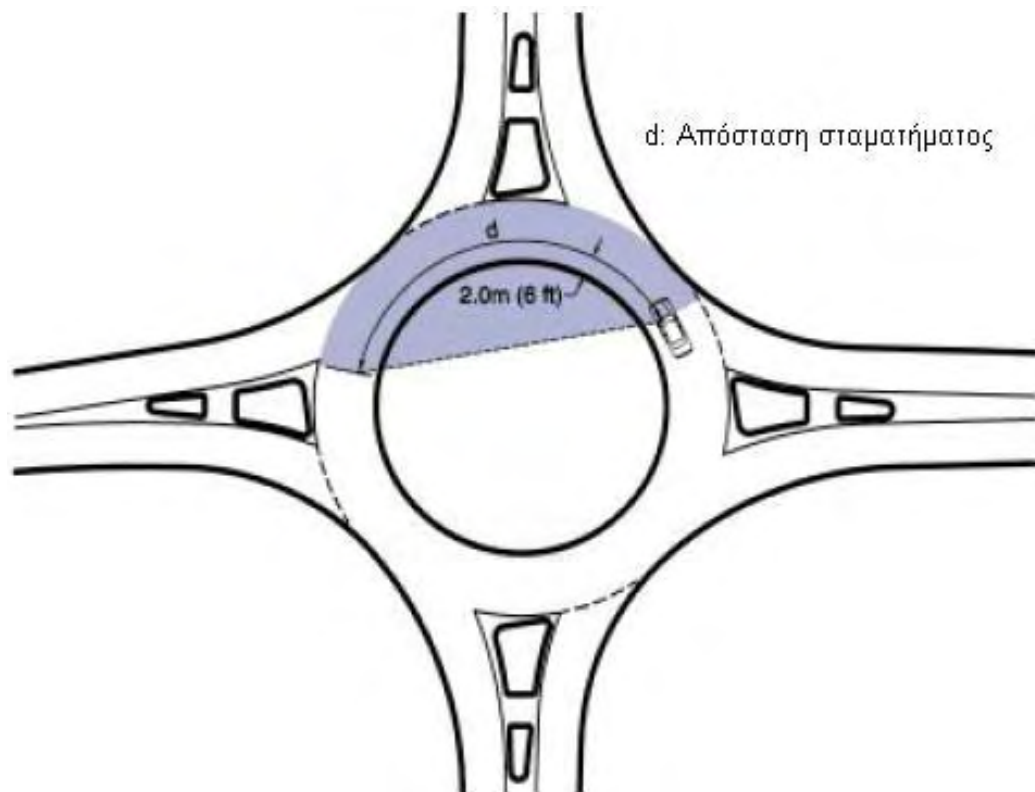
προσέγγισης και εξόδου, κυρίως, όμως, συνίσταται να προσδιορίζεται τουλάχιστον στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- ✓ Για στάση από εμπόδιο κατά την προσέγγιση.
- ✓ Για στάση από εμπόδιο επί του κυκλικού καταστρώματος.
- ✓ Για στάση από εμπόδιο επί της πεζοδιάβασης εξόδου.

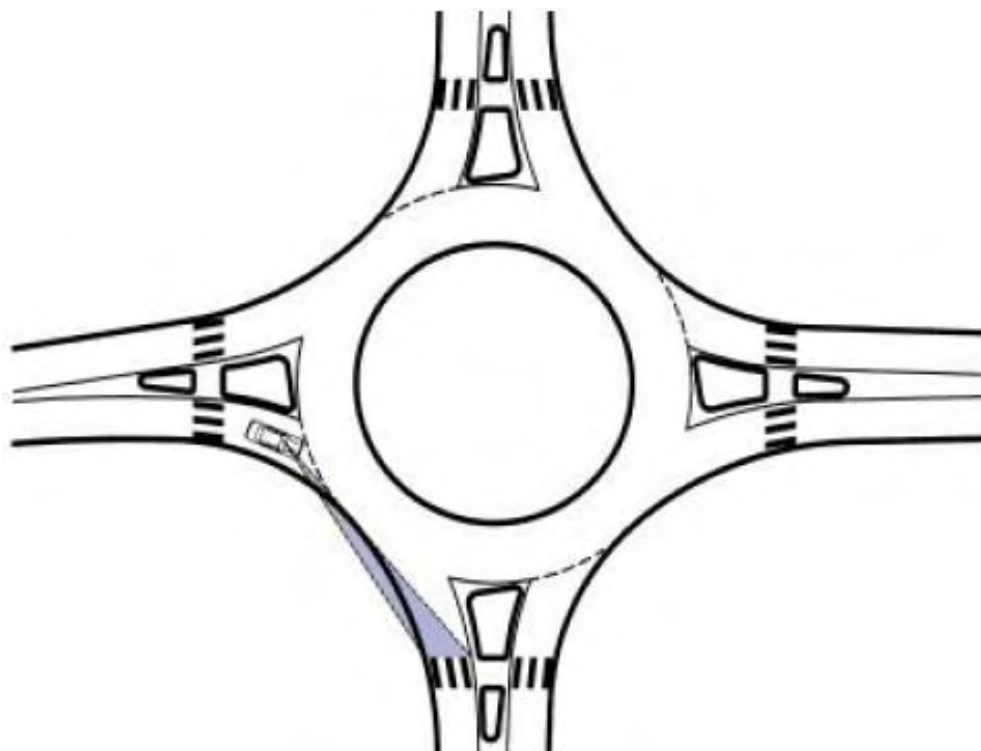
Στις εισόδους των κυκλικών κόμβων, απαιτείται επιπλέον υπολογισμός του μήκους ορατότητας για την περίπτωση διασταύρωσης του εισερχόμενου οχήματος είτε με τα εισερχόμενα από τον αμέσως προηγούμενο κλάδο οχήματα είτε με τα κινούμενα επί του κόμβου οχήματα είτε με πεζούς και ποδηλατιστές. Μετά τον υπολογισμό αυτό προσδιορίζεται το λεγόμενο «τρίγωνο ορατότητας», το οποίο περιλαμβάνει την ελεύθερη από οπτικά εμπόδια επιφάνεια αριστερά του εισερχόμενου οχήματος και σχηματίζεται με βάση τα μήκη της πορείας των αντικρουόμενων οχημάτων ανά δύο κλάδους προσέγγισης. Ωστόσο, προτείνεται να παρέχεται το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας, διότι σε διαφορετική περίπτωση ευνοείται η ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων που μειώνουν την ασφάλεια του κόμβου για όλους τους χρήστες του.



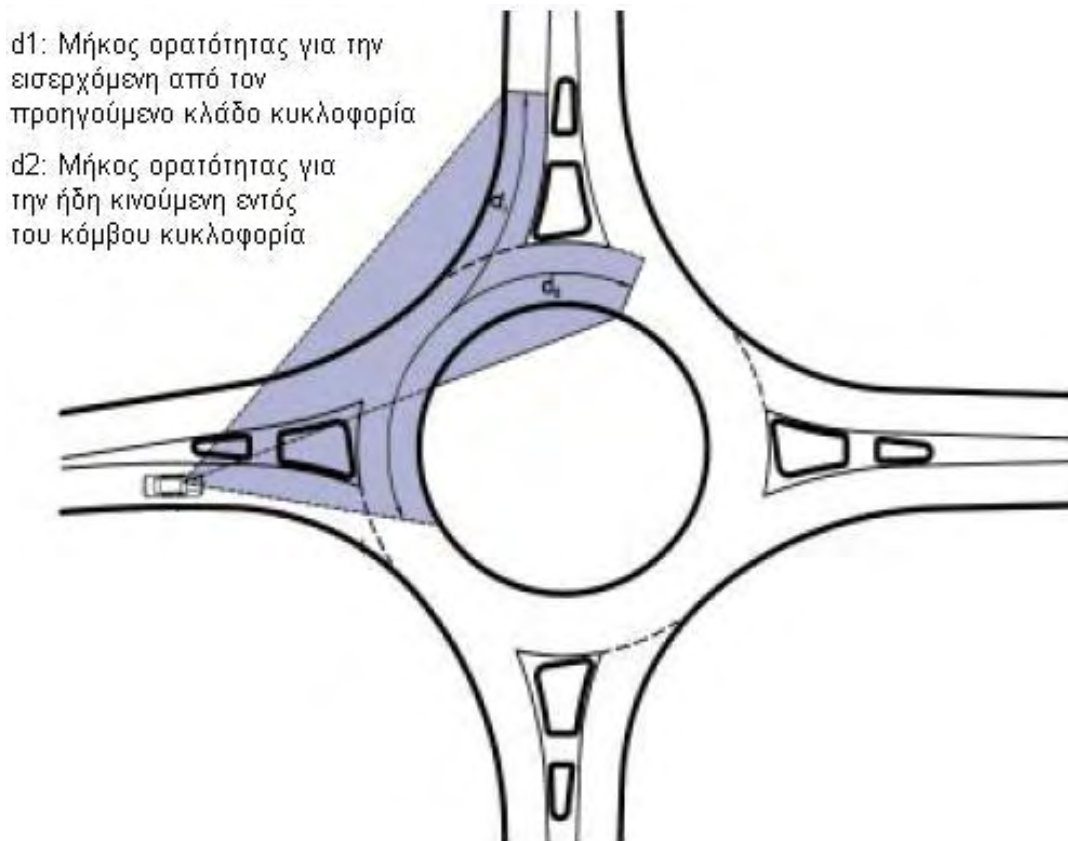
**Σχήμα 3.3.3-1** Μήκος ορατότητας για στάση κατά την προσέγγιση (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)



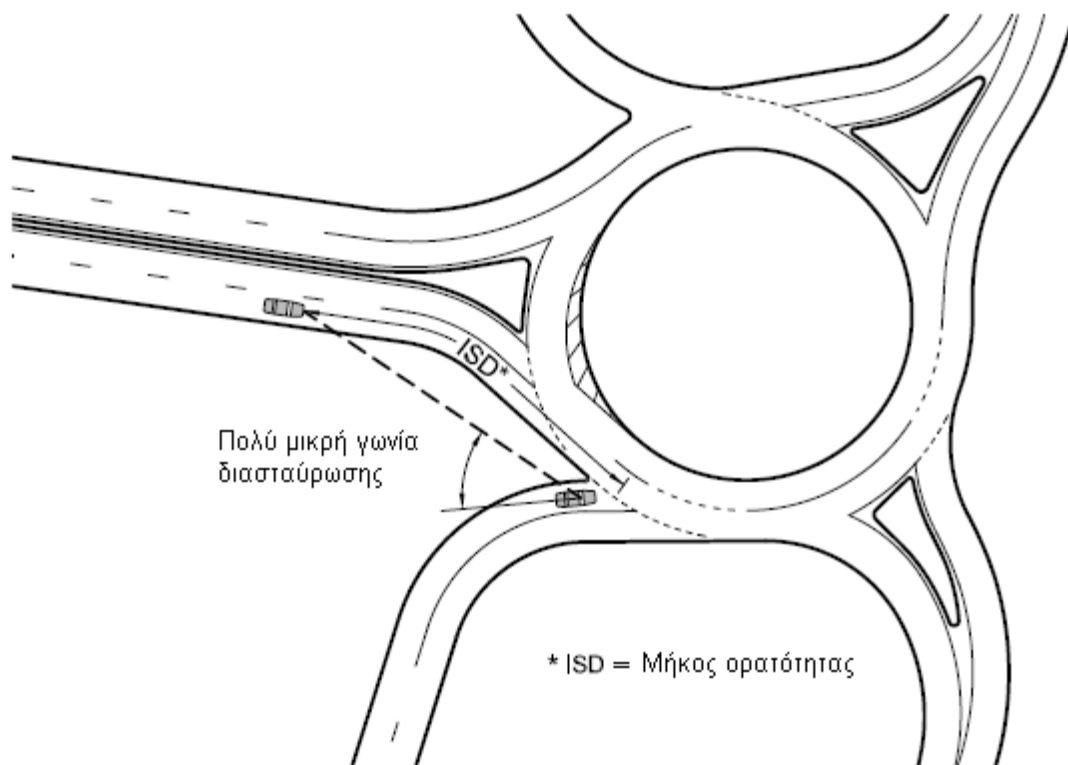
**Σχήμα 3.3.3-2** Μήκος ορατότητας για στάση επί του κυκλικού καταστρώματος (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)



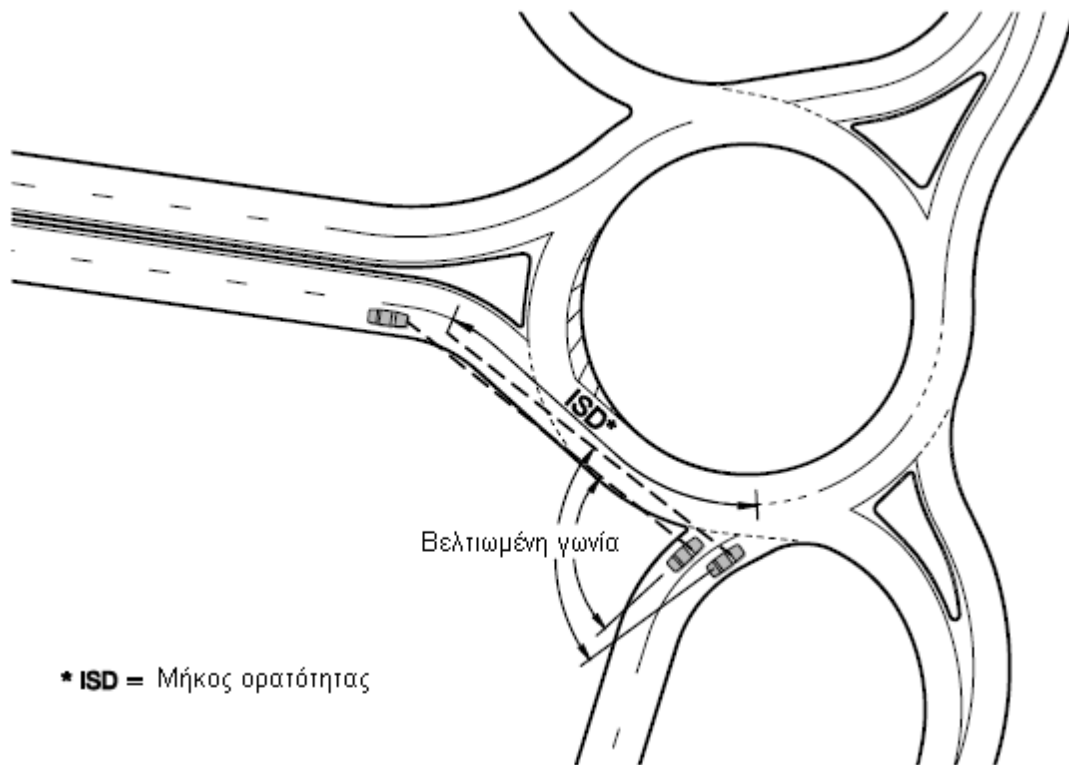
**Σχήμα 3.3.3-3** Μήκος ορατότητας για στάση πριν από την πεζοδιάβαση εξόδου (Federal Highway Administration, 2000)



**Σχήμα 3.3.3-4** Τρίγωνο ορατότητας κατά την είσοδο (Federal Highway Administration, 2000 και ίδια επεξεργασία)



**Σχήμα 3.3.3-5** Παράδειγμα σχεδιασμού με πολύ μικρή γωνία ορατότητας προς τα αριστερά (<75°), Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία



**Σχήμα 3.3.3-6** Παράδειγμα σχεδιασμού με βελτιωμένη γωνία ορατότητας προς τα αριστερά (>75°), Πηγή: National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία

### 3.3.4 Όχημα Σχεδιασμού

Βασικό στόχο για το σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου αποτελεί η εξυπηρέτηση του μεγαλύτερου μηχανοκίνητου οχήματος (αρθρωτό φορτηγό όχημα) που είναι πιθανό να διέλθει από τον κόμβο. Οι ανάγκες ελιγμών του συγκεκριμένου οχήματος, το οποίο ονομάζεται «όχημα σχεδιασμού», καθορίζουν πολλές από τις γεωμετρικές διαστάσεις των κυκλικών κόμβων, ιδιαίτερα αυτών που περιλαμβάνουν μία λωρίδα κυκλοφορίας.

Η επιλογή του οχήματος σχεδιασμού εξαρτάται από τη λειτουργική κατηγορία των οδικών τμημάτων που συμβάλλουν στον κόμβο, τα χαρακτηριστικά των χρήσεων γης της ευρύτερης περιοχής, τη σύνθεση της κυκλοφορίας και τον κυκλοφοριακό φόρτο που εξυπηρετεί ο κόμβος. Στα οχήματα σχεδιασμού περιλαμβάνονται τα οχήματα που κινούνται σε συλλεκτήριες οδούς και αρτηρίες, τα μεγαλύτερα φορτηγά οχήματα, ενώ επιλέγονται και μικρότερα οχήματα σχεδιασμού τα οποία κινούνται σε κόμβους τοπικών οδών. Για τον καθορισμό του οχήματος σχεδιασμού σε αστικές περιοχές, λαμβάνεται υπόψη η κυκλοφορία οχημάτων έκτακτης ανάγκης και των μέσων μαζικής μεταφοράς και επιδιώκεται τα συγκεκριμένα οχήματα να μπορούν να κινηθούν χωρίς τη χρήση υπερβατής περιμετρικής ζώνης. Σε υπεραστικό περιβάλλον, μελετώνται οι περιπτώσεις οχημάτων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες ή σε μονάδες ορυχείων, καθώς και μεγάλα φορτηγά που συναντώνται κοντά σε βιομηχανικές περιοχές. Παρόλα αυτά, οι κυκλικοί κόμβοι

δε θα πρέπει να σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας ως όχημα σχεδιασμού ένα πολύ μεγάλο φορτηγό, διότι κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε υπερβολικά μεγάλες διαστάσεις και υψηλές ταχύτητες για όλους τους χρήστες του κόμβου.

Γενικά, η εξυπηρέτηση μεγάλων οχημάτων επιτυγχάνεται με την κατασκευή μεγάλων κυκλικών κόμβων, που συνεπάγεται μεγαλύτερες διαμέτρους εγγεγραμμένων κύκλων και μεγαλύτερες ακτίνες εισόδου και εξόδου, ενώ παράλληλα επιδιώκεται η διατήρηση χαμηλών ταχυτήτων για τα επιβατικά οχήματα. Ωστόσο, λόγω περιορισμών της περιοχής, η δυνατότητα εξυπηρέτησης μεγάλων οχημάτων μπορεί να είναι περιορισμένη, ενώ εξασφαλίζεται επαρκής εκτροπή της πορείας των μικρότερων οχημάτων. Σε αυτή την περίπτωση, συνίσταται η κατασκευή υπερβατής περιμετρικής ζώνης για τη διευκόλυνση των μεγαλύτερων οχημάτων, η οποία παράλληλα μειώνει το πλάτος του κυκλικού καταστρώματος και έτσι διατηρεί χαμηλές τις ταχύτητες των επιβατικών οχημάτων. Ωστόσο, η ζώνη αυτή προτείνεται να διαθέτει υπερυψωμένο εξωτερικό κράσπεδο, ώστε να μη χρησιμοποιείται από επιβατικά οχήματα. Τέλος, τα λεωφορεία που πιθανόν να διέρχονται από τον κόμβο θα πρέπει να εξυπηρετούνται αποκλειστικά και μόνο από το πλάτος του κυκλικού καταστρώματος και να μην απαιτείται η χρήση της υπερβατής περιμετρικής ζώνης, ώστε να μην ενοχλούνται οι επιβάτες από τη διακοπή της ομαλής πορείας του λεωφορείου.



**Εικόνα 3.3.4-1** Παράδειγμα κυκλικού κόμβου σχεδιασμένου για μεγάλα φορτηγά (National Cooperative Highway Research Program, 2010)



### 3.4 Λεπτομέρειες σχεδιασμού $K^3$ και κατασκευαστικά ζητήματα

#### 3.4.1 Πεζοδιαβάσεις & Πεζοδρόμια

**Οι πεζοδιαβάσεις** που διαμορφώνονται στους κυκλικούς κόμβους θα πρέπει να εξασφαλίζουν ταυτόχρονα την άνετη διέλευση των πεζών, την ασφάλειά τους και τη λειτουργικότητα των κόμβων:

- ✓ Άνετη διέλευση πεζών: Από την πλευρά των πεζών, υπάρχει η ανάγκη τοποθέτησης της διάβασης όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο διασταύρωσης, ώστε να μη βγαίνουν εκτός πορείας. Σε περίπτωση τοποθέτησης, λοιπόν, σε μεγάλη απόσταση, οι πεζοί θα επιλέξουν μία συντομότερη διαδρομή, διασχίζοντας τους κλάδους του κόμβου εκτός των πεζοδιαβάσεων και θέτοντας την ασφάλειά τους σε κίνδυνο.
- ✓ Ασφάλεια πεζών: Βασική προτεραιότητα αποτελούν η θέση και το μήκος της πεζοδιάβασης. Η διάβαση θα πρέπει να έχει το κατάλληλο μήκος, ώστε να διασφαλίζεται ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος διέλευσής της από τους πεζούς, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες έκθεσης και σύγκρουσής τους με τη μηχανοκίνητη κυκλοφορία. Επίσης, λανθασμένη θεωρείται η τοποθέτηση της πεζοδιάβασης πολύ κοντά στη γραμμή εισόδου του κόμβου, καθώς από τη μία πλευρά, αποσπάται η προσοχή των εισερχόμενων οδηγών, οι οποίοι στρεφόμενοι προς τα αριστερά αναζητούν την κατάλληλη στιγμή για να εισέλθουν στον κόμβο και από την άλλη, υπάρχει πιθανότητα κατάληψης της διάβασης από όχημα, κατά τη διάρκεια αναμονής του για την είσοδό του στον κόμβο (βέλτιστη απόσταση από τη γραμμή εισόδου όσο το μήκος ενός οχήματος σχεδιασμού). Ακόμη, οι πεζοδιαβάσεις θα πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επωφελούνται από τις διαχωριστικές νησίδες, οι οποίες παρέχουν χώρο αναμονής για τους πεζούς. Σε περίπτωση τοποθέτησης των διαβάσεων σε αρκετή απόσταση από τη γραμμή εισόδου, θα πρέπει να υπάρχει μέριμνα για επιμήκυνση της διαχωριστικής νησίδας.
- ✓ Λειτουργικότητα κόμβου: Οι πεζοδιαβάσεις που τοποθετούνται στις εξόδους των κυκλικών κόμβων θα πρέπει να απέχουν κατάλληλη απόσταση από τη νοητή γραμμή εξόδου, ώστε να μη δημιουργούνται ουρές οχημάτων εντός του κυκλικού καταστρώματος κατά τη διάρκεια αναμονής τους για τη διέλευση των πεζών (βέλτιστη απόσταση από τη νοητή γραμμή εξόδου πολλαπλάσια του μήκους ενός οχήματος σχεδιασμού). Επιπλέον, οι πεζοί, λόγω επαρκούς απόστασης, θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τα εξερχόμενα οχήματα από αυτά που πρόκειται να συνεχίσουν την πορεία τους μέσα στον κυκλικό κόμβο.



**Σχήμα 3.4.1-1** Πεζοδιαβάσεις κάθετες στις οριογραμμές των κλάδων εισόδου και ευθυγραμμισμένες με τη ροή της κυκλοφορίας (προτιμώμενη διάταξη) (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

Το πλάτος της διάβασης θα πρέπει να επιτρέπει την άνετη διέλευση τόσο από πεζούς όσο και από άλλους ευαίσθητους χρήστες, όπως από άτομα σε αναπηρικά αμαξίδια ή από πεζούς που περπατούν με ποδήλατο. Ακόμη, η πεζοδιάβαση είναι προτιμότερο να κατασκευάζεται στο επίπεδο της οδού και όχι σε αυτό της διαχωριστικής νησίδας. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατασκευή ραμπών στις διαχωριστικές νησίδες, διευκολύνοντας τη διέλευση ατόμων με αναπηρικά αμαξίδια. Ράμπες συνίσταται να κατασκευάζονται στο τέλος κάθε πεζοδιάβασης, ώστε να τη συνδέουν με τις υπόλοιπες πεζοδιαβάσεις του κόμβου και με το δίκτυο πεζοδρομίων. Όσον αφορά στη διαχωριστική νησίδα, θα πρέπει να διακόπτεται, προκειμένου να δημιουργηθεί χώρος αναμονής των πεζών στο επίπεδο της διάβασης και ο χώρος αυτός να αποτελείται από εύκολα ανιχνεύσιμη προειδοποιητική επιφάνεια, κατασκευασμένη με κατάλληλα υλικά και υφή.

**Τα πεζοδρόμια** θα πρέπει να κατασκευάζονται πίσω από την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού καταστρώματος, έτσι ώστε να αποθαρρύνουν τους πεζούς να διασχίσουν το οδόστρωμα κατευθυνόμενοι προς την κεντρική νησίδα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου υπάρχει υπερβατή περιμετρική ζώνη στην οποία μπορούν να κινηθούν ή κάποιο μνημείο επί της κεντρικής νησίδας που θα επιλέξουν να επισκεφθούν. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η ζώνη ανάμεσα στο πεζοδρόμιο και την οριογραμμή του οδοστρώματος συνίσταται να διαμορφώνεται με φύτευση χαμηλού πρασίνου. Επίσης, ο σχεδιασμός των πεζοδρομίων οφείλει να βοηθά τους πεζούς και κυρίως αυτούς με προβλήματα όρασης να αντιληφθούν την ύπαρξη των πεζοδιαβάσεων και να μην επιχειρήσουν διέλευση του οδοστρώματος από οποιοδήποτε άλλο σημείο.



**Εικόνα 3.4.1-1** Παράδειγμα κατασκευής πεζοδρομίου με ενδιάμεση ζώνη τοπιοτεχνίας πριν το οδόστρωμα - Overland Park, Kansas (National Cooperative Highway Research Program, 2010)

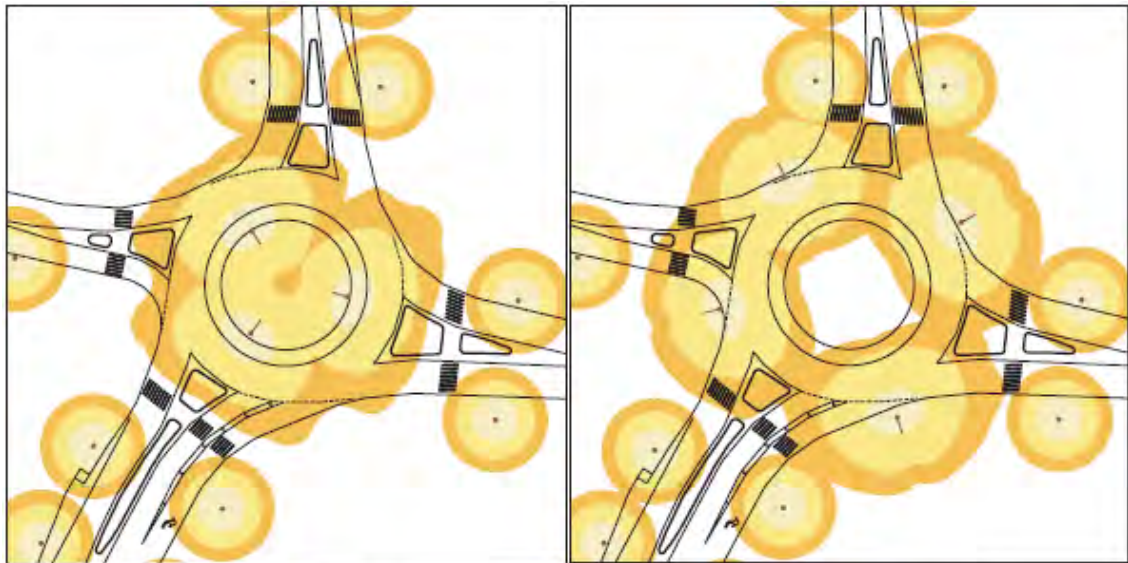
### 3.4.2 Οδοφωτισμός

Προκειμένου να λειτουργήσει αποτελεσματικά και με ασφάλεια ένας κυκλικός κόμβος, είναι απαραίτητο να παρέχει τον απαραίτητο φωτισμό για την ικανοποιητική διέλευση των οχημάτων και των ευαίσθητων χρηστών, ιδιαίτερα κατά τις βραδινές ώρες, καθώς μόνο οι προβολείς των οχημάτων δεν επαρκούν. Οι ανάγκες φωτισμού των κόμβων μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή.

Σε γενικές γραμμές, ο συνολικός φωτισμός του κόμβου θα πρέπει να βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με αυτόν των οδικών τμημάτων που διασταυρώνονται. Επίσης, θα πρέπει να είναι επαρκής κυρίως στα σημεία όπου ενώνονται η εισερχόμενη με την ήδη κινούμενη επί του κόμβου κυκλοφορία και όπου διαχωρίζεται η εξερχόμενη κυκλοφορία από το υπόλοιπο ρεύμα. Τέλος, θα πρέπει να παρέχεται οπωσδήποτε σε πεζοδιαβάσεις και ποδηλατοδρόμους, ενώ επιβάλλεται να μη δημιουργούνται προβλήματα ορατότητας από στύλους που εμποδίζουν τους χρήστες, καθώς και να μην ενοχλούνται οι γεινιάζουσες ιδιοκτησίες.

Ο φωτισμός του κυκλικού κόμβου επιτυγχάνεται με τοποθέτηση των στύλων φωτισμού είτε εντός της κεντρικής νησίδας είτε περιμετρικά του κόμβου. Συνήθως επιλέγεται ο φωτισμός περιμετρικά του κόμβου, καθώς εξασφαλίζει τη βέλτιστη ορατότητα, ιδιαίτερα σε κρίσιμα σημεία, όπως οι πεζοδιαβάσεις, τα σημεία πιθανών συγκρούσεων των ρευμάτων της κυκλοφορίας, τα σημεία ύπαρξης πινακίδων και τα κράσπεδα. Στην περίπτωση αυτή, είναι πιθανό να απαιτούνται περισσότεροι στύλοι φωτισμού για το επιθυμητό αποτέλεσμα, ειδικά εντός της κεντρικής νησίδας. Γενικότερα, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται

όσο το δυνατόν λιγότεροι ιστοί, ώστε να περιορίζονται τα σταθερά εμπόδια. Για το λόγο αυτό, τοποθετούνται στύλοι μεγάλου ύψους και φωτιστικά τύπου Cobra, διότι έχουν μεγάλη ισχύ.



Κεντρικός φωτισμός

Περιμετρικός φωτισμός

**Σχήμα 3.4.2-1** Απεικόνιση φωτιζόμενων επιφανειών γύρω από τους στύλους οδοφωτισμού (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)

Σε αστικό περιβάλλον, ένας κυκλικός κόμβος θα πρέπει να παρέχει τον κατάλληλο φωτισμό ώστε να εξασφαλίζει την απαραίτητη ορατότητα. Σε περιαστικές περιοχές, η ανάγκη φωτισμού ενισχύεται από περιπτώσεις όπου πιθανόν μία περιοχή κοντά στον κόμβο να είναι αρκετά φωτισμένη ώστε να εμποδίζει την ορατότητα του οδηγού ή όπου αναμένεται μεγάλος όγκος κυκλοφορίας, κυρίως στο αντίθετο ρεύμα και πάντα με αναφορά στις βραδινές ώρες. Ακόμη, θεωρείται επικίνδυνος ο φωτισμός ενός ή περισσότερων αλλά όχι όλων των κλάδων προσέγγισης, καθώς υπάρχει κίνδυνος οι εισερχόμενοι οδηγοί να κατευθυνθούν προς τα φωτισμένα σημεία και να μην αντιληφθούν την ύπαρξη του κόμβου. Σε υπεραστικές περιοχές ο φωτισμός είναι επιθυμητός αλλά όχι υποχρεωτικός. Σε περιπτώσεις όπου είναι εφικτός, θα πρέπει να παρέχεται σταδιακά, έτσι ώστε οι οδηγοί να συνηθίζουν ευκολότερα σε συνθήκες άνευ φωτισμού κατά την έξοδό τους από τον κόμβο.

### 3.4.3 Τοπιοτεχνία και αισθητική

Οι ζώνες τοπιοτεχνίας συμβάλλουν καθοριστικά στην οδική ασφάλεια και την αισθητική αναβάθμιση της γύρω περιοχής.

Στην κεντρική νησίδα, η ζώνη τοπιοτεχνίας περιλαμβάνει φύτευση χαμηλού πρασίνου, ώστε να διατηρεί την απαραίτητη ορατότητα και να ενισχύει την ασφάλεια, ενώ θα πρέπει να αποφεύγονται μεγάλα δέντρα και σταθερά αντικείμενα, όπως κομμάτια αρχιτεκτονικής, παγκάκια ή μνημεία, που θα

προσέλκυαν τους πεζούς στην κεντρική νησίδα. Επίσης, δε συνίσταται η φύτευση βλάστησης που απαιτεί τακτική παροχή νερού, ώστε να μη δημιουργείται υγρό και ολισθηρό πεζοδρόμιο.

Στις διαχωριστικές νησίδες, δε συνίσταται να υπάρχουν δέντρα ή στύλοι φωτισμού, εκτός εάν πρόκειται για νησίδες μεγάλου μεγέθους. Ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να παρέχεται ώστε να μην εμποδίζεται η ορατότητα, καθώς οι νησίδες αυτές βρίσκονται εντός των κρίσιμων τριγώνων ορατότητας. Ωστόσο, η χαμηλή φύτευση συμβάλλει στη μείωση των ταχυτήτων προσέγγισης, στη βελτίωση της ασφάλειας, στη διακοπή της θάμβωσης μεταξύ των οχημάτων αντίθετων κατευθύνσεων και φυσικά στην αισθητική και οπτική βελτίωση. Όμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και λόγω της φύτευσης στο χώρο δεξιά του κλάδου προσέγγισης και παράλληλα με το κράσπεδο, με επιπρόσθετη καθοδήγηση των πεζών προς τις πεζοδιαβάσεις και αποθάρρυνσή τους από τη διέλευση επί του οδοστρώματος εκτός αυτών.



**Εικόνα 3.4.3-1** Παράδειγμα ζώνης τοπιοτεχνίας - Coralville, Iowa  
(National Cooperative Highway Research Program, 2010)

#### 3.4.4 Υψομετρική διαμόρφωση και αποχέτευση καταστρώματος

Όσον αφορά στην υψομετρική διαμόρφωση του κυκλικού κόμβου, όταν αυτός αναπτύσσεται σε οριζόντιο έδαφος, η κεντρική νησίδα διαμορφώνεται με κατάλληλη επίκλιση, ώστε να εξασφαλίζεται η απορροή των όμβριων υδάτων προς συγκεκριμένη θέση φυσικού ή τεχνητού αποδέκτη. Το κυκλικό κατάστρωμα κατασκευάζεται με εγκάρσια κλίση αμέσως μετά την κεντρική νησίδα και προς την εξωτερική περίμετρό του, για λόγους απορροής και ασφάλειας, λόγω υπερύψωσης της κεντρικής νησίδας, ενώ σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων η επίκλιση μπορεί να αλλάζει σε κάποιο σημείο του πλάτους του και το οδόστρωμα να γίνεται δικλινές. Η υπερβατή περιμετρική ζώνη, όπου υπάρχει, κατασκευάζεται και αυτή με κατάλληλη επίκλιση. Επίσης, η κλίση του κόμβου θα πρέπει να

διασφαλίζει τον αυτοκαθαρισμό των πλευρικών ρείθρων από φερτά υλικά, μέσω της αναπτυσσόμενης ταχύτητας ροής των όμβριων υδάτων εντός αυτών.

Δεδομένου ότι η επίκλιση του κυκλικού καταστρώματος του κόμβου οδηγεί τα όμβρια ύδατα προς την εξωτερική οριογραμμή του, τα φρεάτια υδροσυλλογής τοποθετούνται συνήθως παρακείμενα της εξωτερικής πλευράς των κρασπέδων και κατά μήκος των τυχόν πλευρικών ρείθρων. Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου ο κόμβος κατασκευάζεται σε επίπεδη επιφάνεια, είναι πιθανό να τοποθετηθούν επιπλέον φρεάτια και κατά μήκος της κεντρικής νησίδας. Τέλος, σε κάθε κόμβο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε τα φρεάτια να μην τοποθετούνται σε ακατάλληλα σημεία, περιορίζοντας τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του κόμβου (π.χ. τοποθέτηση επί των πεζοδιαβάσεων).

### 3.4.5 Υλικά Κατασκευής Οδοστρώματος Και Κρασπέδων Κυκλικών Κόμβων

Για την κατασκευή του κυκλικού καταστρώματος ενός κυκλικού κόμβου συνήθως χρησιμοποιείται ασφαλτικό σκυρόδεμα ή σκυρόδεμα από τσιμέντο. Η επιλογή του υλικού εξαρτάται κυρίως από τις τοπικές προτιμήσεις και το υλικό του οδοστρώματος των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο. Το σκυρόδεμα από τσιμέντο έχει γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε συνθήκες έντονης κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων, χωρίς όμως να σημειώνονται ιδιαίτερα προβλήματα από τη χρήση του ασφαλτικού σκυροδέματος. Τυπικά, η χρήση ασφαλτικού σκυροδέματος θεωρείται ευκολότερη στην κατασκευή του κυκλικού καταστρώματος, καθώς σε περίπτωση χρήσης σκυροδέματος από τσιμέντο, οι ενδιάμεσοι αρμοί θα πρέπει να είναι ακτινωτοί προς το κυκλικό κατάστρωμα εντός του κόμβου και να μη συμπίπτουν με την οριζόντια σήμανση. Επίσης, έχουν παρατηρηθεί ρωγμές επί του οδοστρώματος που κατασκευάζεται με σκυρόδεμα από τσιμέντο, κυρίως κατά μήκος της εξωτερικής οριογραμμής του κυκλικού καταστρώματος, κοντά στα κράσπεδα και τις διαχωριστικές νησίδες.

Τα στρώματα που αποτελούν το οδόστρωμα συνήθως είναι τα παρακάτω, με τη σειρά που παρουσιάζονται:

- ✓ **Υπόβαση:** Είναι η πρώτη στρώση χωματοουργικών και αποτελείται από σχετικά χοντρό χαλίκι.
- ✓ **Βάση:** Είναι η δεύτερη στρώση χωματοουργικών και αποτελείται από λεπτό χαλίκι.
- ✓ **Ασφαλτική Προεπάλειψη Βάσης:** Χρησιμοποιείται ώστε να κολλήσει η στρώση της βάσης με την πρώτη ασφαλτική στρώση.
- ✓ **Ασφαλτική Στρώση Βάσης:** Είναι η πρώτη στρώση των ασφαλτικών.
- ✓ **Ασφαλτική Συγκολλητική Επάλειψη:** Χρησιμοποιείται για να συγκολλήσει την πρώτη ασφαλτική στρώση με τη δεύτερη και τη δεύτερη με την τρίτη.
- ✓ **Ασφαλτική Στρώση Κυκλοφορίας:** Είναι η στρώση πάνω στην οποία πραγματοποιείται η κυκλοφορία των οχημάτων.

- ✓ **Ασφαλτική Αντιολισθηρή Στρώση Κυκλοφορίας:** Είναι η στρώση που χρησιμοποιείται για καλύτερα αποτελέσματα αντιολισθηρότητας.

Η υπερβατή περιμετρική ζώνη γύρω από την κεντρική νησίδα κατασκευάζεται συνήθως από σκυρόδεμα και επιστρώνεται με κυβόλιθους κόκκινου χρώματος ή δύο χρωμάτων, ενός ανοιχτόχρωμου και ενός σκουρόχρωμου (κόκκινου ή μαύρου), με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζονται βέλη που υποδεικνύουν την κατεύθυνση κυκλοφορίας. Σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζεται επίστρωση με πέτρες ενσωματωμένες σε σκυρόδεμα, αν και η λύση αυτή δε θεωρείται ιδιαίτερα βολική για την άνετη διέλευση μικρών οχημάτων και πεζών. Σε κάθε περίπτωση, το υλικό που επιλέγεται για τη ζώνη αυτή δε θα πρέπει να την συγχέει με το πεζοδρόμιο και θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από την απαιτούμενη αντοχή. Με την ίδια λογική, το υλικό, το χρώμα και η υφή που επιλέγεται για την κατασκευή των κρασπέδων θα πρέπει να τα διαφοροποιεί ευκρινώς από το πεζοδρόμιο, για την καλύτερη αναγνώριση από τους επερχόμενους οδηγούς.

## 4. Οριζόντια και Κατακόρυφη Σήμανση

### 4.1 Οριζόντια Σήμανση - Διαγράμμιση

Η οριζόντια σήμανση των κυκλικών κόμβων αφορά στην οριοθέτηση των εισόδων, των εξόδων και του κυκλικού καταστρώματος του κόμβου, καθοδηγώντας πεζούς και κινούμενα οχήματα. Πιο συγκεκριμένα, η οριζόντια σήμανση περιλαμβάνει τις γραμμές εισόδων, τις γραμμές λωρίδων, τις οριογραμμές, βέλη, γράμματα, σύμβολα και σήμανση στις πεζοδιαβάσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο συχνά συναντώμενα στοιχεία οριζόντιας σήμανσης σε έναν κυκλικό κόμβο.

Οι γραμμές εισόδου χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τον κλάδο εισόδου από το κυκλικό κατάστρωμα και τοποθετούνται κατά μήκος του εγγεγραμμένου στον κόμβο κύκλου, ενώ δε χρησιμοποιούνται αντίστοιχες γραμμές για να διαχωρίσουν το κυκλικό κατάστρωμα από τις εξόδους. Στην απλούστερη μορφή της η γραμμή εισόδου αποτελεί μία λευκή διακεκομμένη γραμμή, ενώ σε πολλές χώρες απαρτίζεται από μία σειρά από λευκά ισοσκελή τρίγωνα.

Η γραμμή εισόδου ενισχύεται κάποιες φορές από λέξεις που υποδηλώνουν την υποχρέωση για παραχώρηση προτεραιότητας (YIELD), σχεδιασμένες πριν τη γραμμή εισόδου και σε ορισμένες περιπτώσεις σε κάποιο σημείο του κλάδου προσέγγισης, προειδοποιώντας ότι ακολουθεί σήμανση για παραχώρηση προτεραιότητας (YIELD AHEAD), ή από αντίστοιχα σύμβολα, αμέσως μετά τη γραμμή. Ακόμη, σε λωρίδες που χρησιμοποιούνται μόνο για μία κίνηση, τα αντίστοιχα βέλη χρήσης λωρίδας συνοδεύονται από λέξη που τονίζει τη δυνατότητα της συγκεκριμένης μόνο κίνησης (ONLY).



**Εικόνα 4.1-1** Διακεκομμένη γραμμή εισόδου (Federal Highway Administration, 2000)





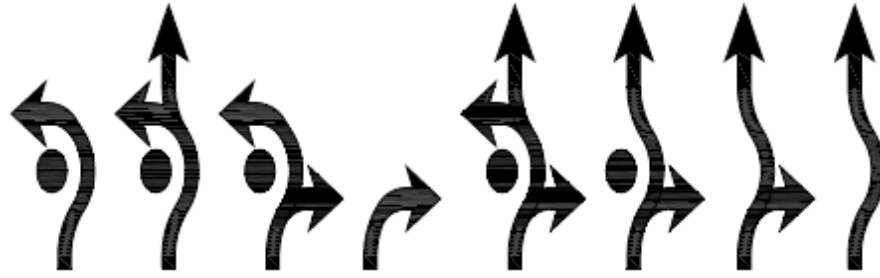
**Εικόνα 4.1-2** Γραμμή εισόδου με λευκά ισοσκελή τρίγωνα (Federal Highway Administration, 2000)

Η επισήμανση των λωρίδων κυκλοφορίας με συνεχείς γραμμές λευκού χρώματος είναι απαραίτητη στους κλάδους προσέγγισης και αποχώρησης, καθώς και εντός του κυκλικού καταστρώματος, για το διαχωρισμό των επιμέρους ρευμάτων που χρησιμοποιούν το οδόστρωμα και την αποφυγή επικίνδυνης αλλαγής λωρίδας, κυρίως σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων. Η διαγράμμιση των λωρίδων στο κυκλικό κατάστρωμα περιλαμβάνει συνήθως συνεχείς γραμμές μπροστά από τις διαχωριστικές νησίδες και τα κράσπεδα, οι οποίες γίνονται διακεκομμένες μπροστά από τα σημεία εισόδου. Βέβαια η πρακτική αυτή δημιουργεί διαφωνίες, καθώς το διακεκομμένο τμήμα των λωρίδων δίνει συχνά τη λανθασμένη εντύπωση ότι υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής λωρίδας.

Η αριστερή οριογραμμή του κλάδου προσέγγισης και αποχώρησης επισημαίνεται τυπικά με κίτρινο χρώμα κατά μήκος της διαχωριστικής νησίδα. Στο ενιαίο για τα δύο ρεύματα τμήμα πριν από τη διαχωριστική νησίδα, χρησιμοποιείται διπλή κίτρινη γραμμή για να δηλώσει την ύπαρξη δύο κατευθύνσεων και σχηματίζεται έτσι μία ζώνη από δύο διπλές γραμμές, στην οποία δεν επιτρέπεται η κυκλοφορία. Στην περίπτωση των μικρών κυκλικών κόμβων όπου η διαχωριστική νησίδα δεν είναι υπερυψωμένη, χρησιμοποιείται μόνο διαγράμμιση με διπλές κίτρινες γραμμές ή χρωματίζεται ολόκληρη με κίτρινο χρώμα. Η δεξιά οριογραμμή των κλάδων προσέγγισης και αποχώρησης κατά μήκος των κρασπέδων επισημαίνεται με λευκό χρώμα. Η εσωτερική οριογραμμή του κυκλικού καταστρώματος επισημαίνεται επίσης με κίτρινο χρώμα γύρω από την κεντρική νησίδα, ενώ η εξωτερική με λευκό και μάλιστα γίνεται διακεκομμένη στα σημεία εισόδου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Στους μικρούς κυκλικούς κόμβους, όπου η κεντρική νησίδα είναι πλήρως υπερβατή, χρησιμοποιείται κίτρινη διαγράμμιση σε όλη την επιφάνειά της.

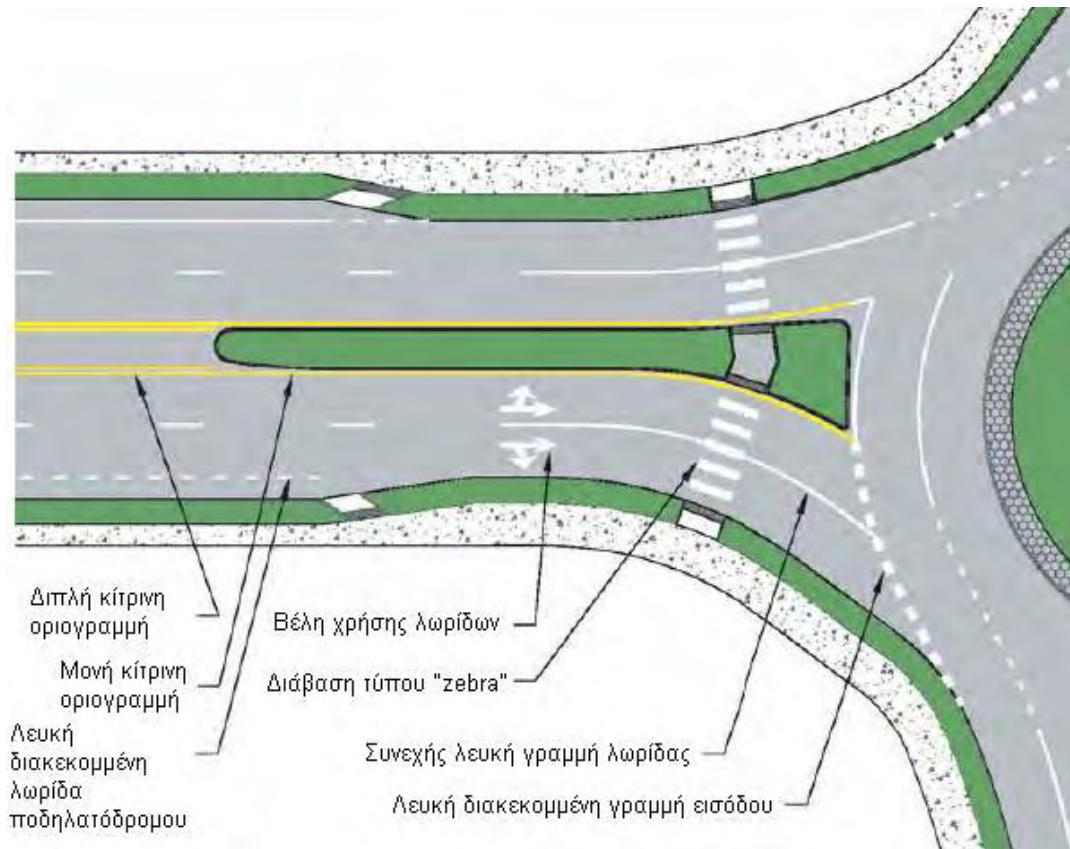
Η σήμανση των πεζοδιαβάσεων είναι εξίσου σημαντική, καθώς καθοδηγεί τους πεζούς ώστε να διασχίσουν τον κόμβο και προειδοποιεί τους οδηγούς για τα σημεία πιθανής διέλευσης πεζών. Συνήθως, χρησιμοποιείται η διάβαση τύπου «zebra», η οποία αποτελείται από λευκές παράλληλες γραμμές επί της διεύθυνσης της ροής της κυκλοφορίας.

Βέλη χρησιμοποιούνται εντός των λωρίδων κυκλοφορίας στους κλάδους προσέγγισης και αποχώρησης, καθώς και εντός του κυκλικού καταστρώματος, για να επισημάνουν τις δυνατότητες κίνησης, στροφών και εξόδων που παρέχει η κάθε λωρίδα, όπως επίσης και για να τονίσουν την κυκλική πορεία, ιδιαίτερα σε κόμβους πολλαπλών λωρίδων. Στους κλάδους προσέγγισης, τα βέλη αυτά τοποθετούνται σε κατάλληλη απόσταση από τη γραμμή εισόδου, ώστε να παρέχουν στους οδηγούς τον απαραίτητο χρόνο να αποφασίσουν ποια λωρίδα θα επιλέξουν με βάση την επιθυμητή έξοδο.

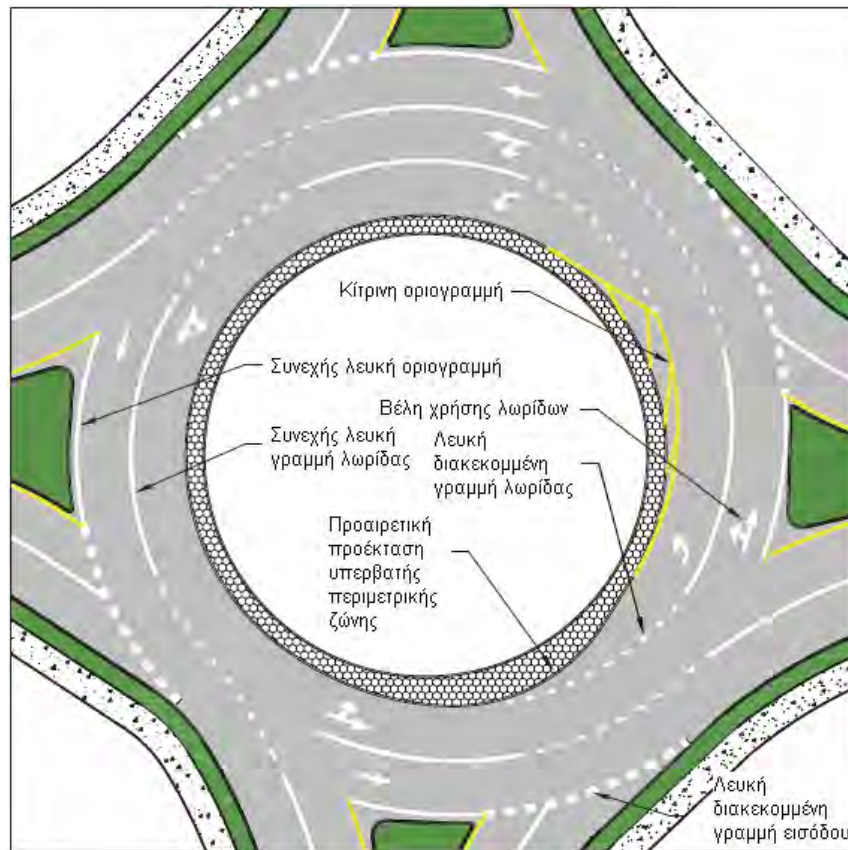


**Σχήμα 4.1-1** Σήμανση με βέλη για τη χρήση λωρίδων (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

Τέλος, συνίσταται η κατάλληλη διαγράμμιση των ποδηλατοδρόμων με συνεχείς γραμμές επί των κλάδων προσέγγισης και αποχώρησης, για τη διαφοροποίησή τους από τον υπόλοιπο χώρο. Παρόλα αυτά, η σήμανση των ποδηλατοδρόμων αποφεύγεται εντός του κυκλικού καταστρώματος, καθώς παροτρύνει τους οδηγούς να αναπτύξουν ταχύτητα, σκεπτόμενοι ότι παρέχεται επαρκής ασφάλεια των χρηστών ποδηλάτων λόγω του διαμορφωμένου χώρου, με αποτέλεσμα την αύξηση των μεταξύ τους συγκρούσεων. Η διαγράμμιση των συγκεκριμένων λωρίδων αποκτά διακεκομμένη μορφή λίγο πριν την είσοδο και λίγο μετά την έξοδο από το κυκλικό κατάστρωμα, για να τονίσει την αλλαγή στην ύπαρξη αποκλειστικής λωρίδας για ποδήλατα.



**Σχήμα 4.1-1** Οριζόντια σήμανση στους κλάδους προσέγγισης και αποχώρησης (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)



**Σχήμα 4.1-2:** Οριζόντια σήμανση επί του κυκλικού καταστρώματος (National Cooperative Highway Research Program, 2010 και ίδια επεξεργασία)

## 4.2 Κατακόρυφη Σήμανση

Η κατακόρυφη σήμανση αποσκοπεί στη ρύθμιση της κυκλοφορίας, την έγκαιρη προειδοποίηση και την καθοδήγηση των οδηγών, κατά τη διέλευσή τους από τον κυκλικό κόμβο. Οι πινακίδες κατακόρυφης σήμανσης θα πρέπει να τοποθετούνται σε εμφανή σημεία, χωρίς ταυτόχρονα να εμποδίζουν πεζούς, ποδηλατιστές και άλλους ευαίσθητους χρήστες. Η κατακόρυφη σήμανση διαφέρει, επίσης, ανάλογα με την ευρύτερη περιοχή και την κατηγορία του κυκλικού κόμβου.

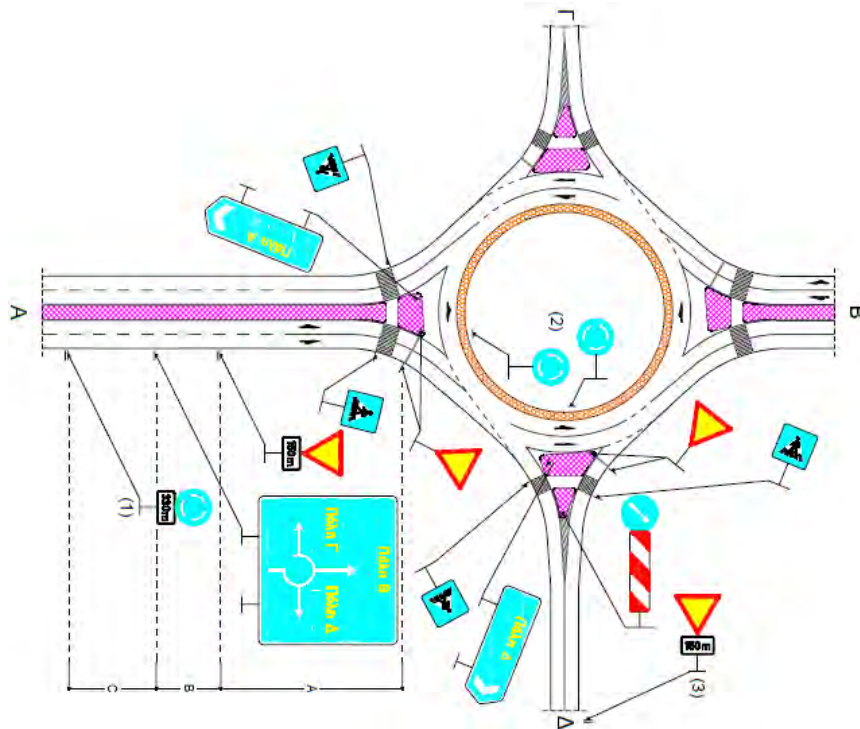
Οι πινακίδες κατακόρυφης σήμανσης διακρίνονται κατά βάση σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ✓ **Ρυθμιστικές πινακίδες:** Περιλαμβάνουν κυρίως τις πινακίδες παραχώρησης προτεραιότητας, που τοποθετούνται δεξιά του κλάδου εισόδου και αριστερά, όταν υπάρχουν περισσότερες από μία λωρίδες κυκλοφορίας, τις πινακίδες κατευθυντήριων τόξων ή μονόδρομης κίνησης, που τοποθετούνται στην κεντρική νησίδα για να τονίσουν την κυκλική πορεία επί του κόμβου, καθώς και τις πινακίδες κυκλικής πορείας, που τοποθετούνται κάτω από τις πινακίδες παραχώρησης προτεραιότητας στην περίπτωση μικρών κυκλικών κόμβων (λόγω υπερβατικής κεντρικής νησίδας), τις πινακίδες από δεξιά κίνησης, που τοποθετούνται στις διαχωριστικές νησίδες για να δηλώσουν το ρεύμα κυκλοφορίας και τις

πινακίδες χρήσης λωρίδων, που προτείνονται μόνο σε κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων και για λόγους κυκλοφοριακής ικανότητας, όταν ο αριθμός των λωρίδων είναι διαφορετικός στους κλάδους και εντός του κυκλικού καταστρώματος ή όταν ο αριθμός των στρεφουσών κινήσεων είναι μεγάλος.

- ✓ Προειδοποιητικές πινακίδες: Περιλαμβάνουν κυρίως τις πινακίδες κυκλικής διασταύρωσης, που τοποθετούνται στους κλάδους προσέγγισης για να δηλώσουν την ύπαρξη του κόμβου, τις πινακίδες ταχύτητας, που ενημερώνουν για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα, τις πινακίδες προειδοποίησης για ακολουθούμενη πινακίδα παραχώρησης προτεραιότητας, τις πινακίδες κατεύθυνσης επί των κεντρικών νησίδων, σε αντικατάσταση των ρυθμιστικών πινακίδων μονόδρομης κίνησης, τις πινακίδες ενίσχυσης της κυκλικής πορείας και τις πινακίδες ύπαρξης πεζοδιαβάσεων στις εισόδους και εξόδους του κόμβου.
- ✓ Πληροφοριακές πινακίδες: Περιλαμβάνουν κυρίως τις πινακίδες προορισμών, με κατάλληλο κείμενο ή βέλη κατεύθυνσης, τις πινακίδες εξόδου, που υποδεικνύουν την κατεύθυνση των εξόδων του κυκλικού κόμβου και τις πινακίδες διαδρομών, που τοποθετούνται μετά τις εξόδους του κόμβου για λόγους επιβεβαίωσης της επιλεχθείσας πορείας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στους μικρούς κυκλικούς κόμβους αποτρέπεται η τοποθέτηση πολλών από τις παραπάνω πινακίδες, όπως αυτές που προορίζονται για την κεντρική και τις διαχωριστικές νησίδες, καθώς αυτές συνήθως είναι πλήρως υπερβατές από τα οχήματα. Για το λόγο αυτό, η χρήση των πινακίδων κατακόρυφης σήμανσης αντικαθίσταται από κατάλληλη οριζόντια σήμανση, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο.



Σχήμα 4.2-1 Κατακόρυφη σήμανση σε κυκλικό κόμβο 1 ή 2 λωρίδων (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

## 5. Λειτουργική Ανάλυση

### 5.1 Γενικά

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που προσφέρουν οι κυκλικοί κόμβοι ως προς το επίπεδο εξυπηρέτησης και το οποίο γίνεται αντιληπτό κυρίως σε περιόδους μη αιχμής, είναι ότι η κυκλοφορία δε σταματά υποχρεωτικά σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν κινούμενα οχήματα επί του κυκλικού κόμβου, κάτι το οποίο δε συμβαίνει σε σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις. Ακόμη και όταν δημιουργούνται ουρές οχημάτων κατά την είσοδο λόγω συμφόρησης, η κυκλοφορία συνήθως δεν παραμένει απόλυτα σταματημένη. Αντίθετα, εξακολουθεί να προχωράει, έστω και με πολύ μικρές ταχύτητες, γεγονός που είναι περισσότερο ανεκτό από την πλευρά των οδηγών.

Επιπλέον, οι χαμηλές ταχύτητες που εφαρμόζονται στους κυκλικούς κόμβους συμβάλλουν σε μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ικανότητα, καθώς όσο πιο γρήγορα κινούνται τα οχήματα μέσα στον κόμβο, τόσο πιο δύσκολο και χρονοβόρο είναι για τα εισερχόμενα οχήματα να εισέλθουν την κατάλληλη στιγμή, χωρίς να εμποδίσουν την ήδη κινούμενη κυκλοφορία και έχοντας στη διάθεσή τους αρκετό χρόνο ώστε να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες. Μία τέτοια κατάσταση, λοιπόν, θα οδηγούσε σε επιπρόσθετες καθυστερήσεις, από τα οχήματα που θα σταματούσαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη γραμμή εισόδου, προτού εισέλθουν ομαλά στον κυκλικό κόμβο.

Αξίζει να σημειωθεί, βέβαια, ότι οι κυκλοφοριακές ρυθμίσεις που σχετίζονται με την παραχώρηση προτεραιότητας στον κυκλικό κόμβο, πιθανόν να προκαλούν ανεπιθύμητες καθυστερήσεις σε κεντρικές αρτηρίες, οι οποίες υπό διαφορετικές συνθήκες θα είχαν προτεραιότητα. Το γεγονός αυτό εντείνεται και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, όπου ακόμη και οι μικρές καθυστερήσεις δημιουργούν σοβαρά προβλήματα.

### 5.2 Λειτουργικός σχεδιασμός

Η λειτουργική απόδοση ενός κυκλικού κόμβου είναι μία διαδικασία σχετικά απλή, παρόλο που οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται μπορεί να γίνουν αρκετά σύνθετες. Η λειτουργική αξιολόγηση βασίζεται τόσο στο σχεδιασμό όσο και στη μοντελοποίηση του κόμβου. Ο λειτουργικός σχεδιασμός και η ανάλυση ενός κυκλικού κόμβου, συνδέεται άμεσα με τα γεωμετρικά του στοιχεία όσο και με τη χρήση του. Η λειτουργική ανάλυση βασίζεται σε δύο είδη εκτιμήσεων:

1. Τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε κυκλοφοριακής λωρίδας.
2. Το επίπεδο της στάθμης εξυπηρέτησης του κόμβου, σύμφωνα με παράγοντες όπως οι καθυστερήσεις ή οι ουρές.

Η ανάλυση χωρητικότητας, καθυστερήσεων και ταχυτήτων μπορεί να γίνει μέσω ειδικών λογισμικών πακέτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που εκτελεί προσομοίωση σε μικροσκοπικό επίπεδο, με τη χρήση σχέσεων αλληλεπίδρασης οχημάτων. Βέβαια τα αναλυτικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται σε διεθνές επίπεδο, εξαρτώνται περισσότερο από μαθηματικές σχέσεις και λιγότερο από παρατηρήσεις συμπεριφοράς των οδηγών.

Συνολικά η λειτουργική ανάλυση του συστήματος περιλαμβάνει τους παρακάτω παράγοντες:

- α) Συλλογή δεδομένων
- β) Ανάλυση χωρητικότητας
- γ) Ανάλυση Ταχυτήτων (βλέπε παρ. 3.3.2)
- δ) Ανάλυση καθυστερήσεων
- ε) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει ενδεικτικές περιπτώσεις εφαρμογών και εργαλείων ανάλυσης.

**Πίνακας 5.2-1** Εφαρμογές, απαιτούμενοι τύποι και εργαλεία ανάλυσης (ΟΜΟΕ Κ<sup>3</sup>, 2011)

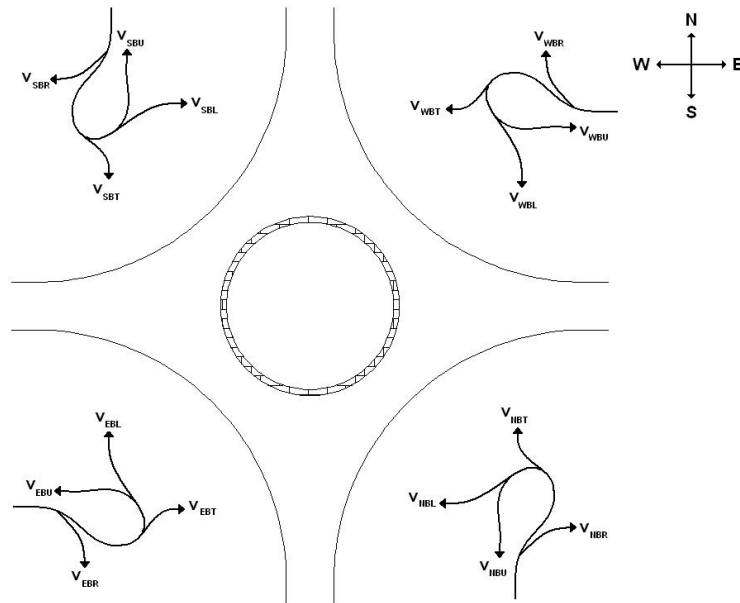
Εφαρμογή	Αποτέλεσμα	Δεδομένα Εισαγωγής	Εργαλείο Ανάλυσης
Προκαταρκτική μελέτη	Αριθμός λωρίδων	Κυκλοφοριακοί φόρτοι	Μέθοδος HCM, λογισμικό ντετερμινιστικής ανάλυσης
Προμελέτη σε Κ <sup>3</sup> με 1 ή 2 λωρίδες	Λεπτομερής διαμόρφωση λωρίδων	Κυκλοφοριακοί φόρτοι, γεωμετρία	Μέθοδος HCM, λογισμικό ντετερμινιστικής ανάλυσης
Προμελέτη σε Κ <sup>3</sup> με 3 λωρίδες	Λεπτομερής διαμόρφωση λωρίδων	Κυκλοφοριακοί φόρτοι, γεωμετρία	Λογισμικό ντετερμινιστικής ανάλυσης
Ανάλυση πεζοδιαβάσεων	Καθυστερήσεις οχημάτων, ουρές οχημάτων, ουρές μεταξύ διασταυρώσεων	Φόρτοι οχημάτων και πεζών, σχεδίαση πεζοδιαβάσεων	Μέθοδος HCM, λογισμικό ντετερμινιστικής ανάλυσης, λογισμικό προσομοίωσης
Ανάλυση Συστήματος	Χρόνοι διαδρομής, καθυστερήσεις και ουρές μεταξύ διασταυρώσεων	Κυκλοφοριακοί φόρτοι, γεωμετρία	Μέθοδος HCM, λογισμικό προσομοίωσης
Δημόσια παρουσίαση	Απεικόνιση συνθηκών χωρίς την κατασκευή και προτεινόμενων εναλλακτικών	Κυκλοφοριακοί φόρτοι, γεωμετρία	Λογισμικό προσομοίωσης

### 5.3 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων για Κ<sup>3</sup> γίνεται με παρόμοιο τρόπο με την περίπτωση ενός τυπικού ισόπεδου κόμβου. Συλλέγονται δεδομένα φόρτων στρεφουσών κινήσεων ανά κλάδο πρόσβασης και μετατρέπονται σε μονάδες επιβατηγών αυτοκινήτων, ανάλογα το ποσοστό βαρέων οχημάτων και του Συντελεστή Ωρας Αιχμής (ΣΩΑ).

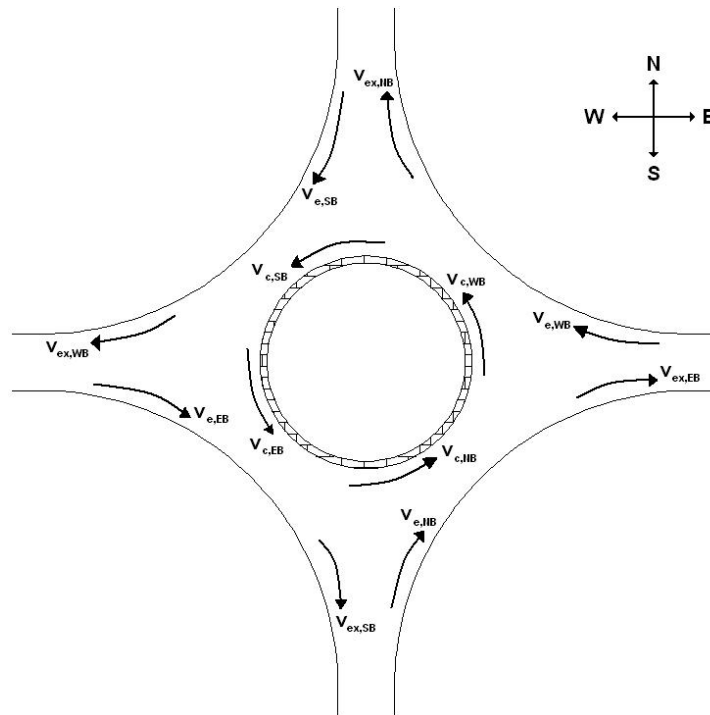
Για τη λειτουργική ανάλυση του Κ<sup>3</sup> είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι φόρτοι στις εισόδους και εξόδους, καθώς και επί του δακτυλίου κυκλοφορίας. Η

συλλογή δεδομένων γίνεται ανά πρόσβαση και προορισμό. Οι κινήσεις που εκτελούνται σε ένα τυπικό  $K^3$ , με 4 προσβάσεις φαίνονται στο επόμενο σχήμα.



**Σχήμα 5.3-1** Φόρτοι κινήσεων ανά κλάδο εισόδου και κατεύθυνση

Οι φόρτοι που ενδιαφέρουν τη λειτουργική ανάλυση φαίνονται στο Σχήμα 5.3-2, που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.3-2** Φόρτοι κινήσεων εισόδου, εξόδου και δακτυλίου κυκλοφορίας

Μετά τη συλλογή των δεδομένων ακολουθεί η ανάλυσή τους, με διάφορες μεθόδους, ανάλογα με το σκοπό και το μέγεθος της απαιτούμενης διαδικασίας.

## 5.4 Ανάλυση Χωρητικότητας

Η χωρητικότητα του  $K^3$  ανά πρόσβαση εξαρτάται από τους διασταυρούμενους φόρτους, την επιθετικότητα των οδηγών και τη γεωμετρία του κόμβου.

Με την προϋπόθεση ότι ισχύει η προτεραιότητα των κινούμενων εντός του δακτυλίου κυκλοφορίας, μπορεί να υπολογισθούν πιο συγκεκριμένα χωρητικότητες ανά λωρίδα, για κάθε περίπτωση συνδυασμού αριθμού λωρίδων στην πρόσβαση και στον δακτύλιο, ενώ συνήθως η κυκλοφοριακή ικανότητα της αριστερής λωρίδας πρόσβασης είναι μικρότερη από αυτή της δεξιάς.

Αν υπάρχουν αποκλειστικές λωρίδες δεξιάς στροφής, αντιμετωπίζονται με ξεχωριστή ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κίνηση με την οποία αναμένεται εμπλοκή είναι αυτή της εξόδου του επόμενου κλάδου.

Τέλος, ο λόγος φόρτου προς χωρητικότητα ( $v/c$ ) χρησιμοποιείται ως μέσο για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του κόμβου κυκλικής κίνησης. Ένας λόγος μέχρι 0,85 θεωρείται ικανοποιητικός και δεν αναμένονται σημαντικά προβλήματα λειτουργίας. Για τιμές άνω του 0,85 συνιστάται να εκτελεστεί ανάλυση ευαισθησίας για την επίπτωση μικρών αλλαγών στις καθυστερήσεις και το σχηματισμό ουρών.

Σε περίπτωση που είναι σκόπιμο να συμπεριληφθεί η επίδραση της παρουσίας πεζών στη χωρητικότητα, θα πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις στους υπολογισμούς της χωρητικότητας όπως υποδεικνύουν οι ΟΜΟΕ  $K^3$ , 2011.

## 5.5 Ανάλυση Καθυστερήσεων

Οι καθυστερήσεις κατά τη διέλευση από ένα κόμβο κυκλικής κίνησης είναι από τα σημαντικότερα μεγέθη αξιολόγησης της απόδοσης της διάταξης.

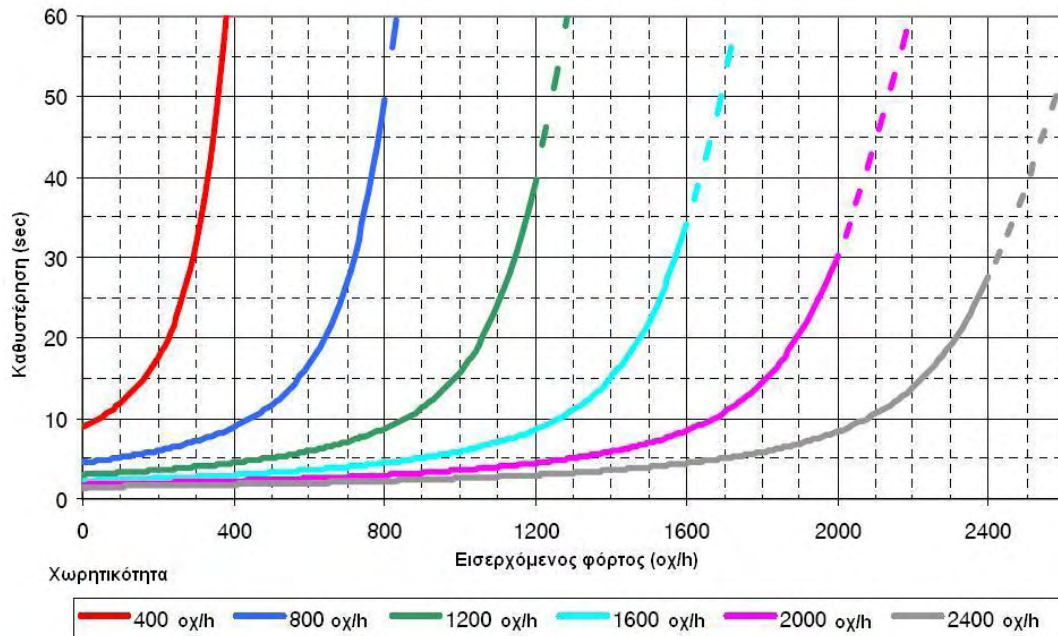
Η καθυστέρηση που ενδιαφέρει είναι η ολική καθυστέρηση, λόγω της παρουσίας κανόνων προτεραιότητας και συγκεκριμένης γεωμετρίας. Σ' αυτό το χρόνο περιλαμβάνεται το άθροισμα των επιπλέον χρόνων σε σχέση με συνθήκες ελεύθερης ροής, ώστε το όχημα να επιβραδύνει για την αναμονή στην ουρά, να αναμένει ένα αποδεκτό διάκενο αποδοχής για είσοδο στη νέα λωρίδα και να επιταχύνει μετά τη συγχώνευση.

Σε περίπτωση που ο λόγος φόρτου προς χωρητικότητα είναι κοντά στη μονάδα (άνω του 0,90) τα αποτελέσματα της εξίσωσης υπολογισμού της μέσης ολικής καθυστέρησης (ΟΜΟΕ  $K^3$ , §4.3) δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και η ακρίβεια επηρεάζεται πολύ από τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης. Γενικά, συνιστάται η περίοδος ανάλυσης να είναι 15 min.



Η καθυστέρηση ανά πρόσβαση υπολογίζεται ως σταθμισμένος μέσος των καθυστερήσεων των λωρίδων της, με βάση τους φόρτους τους. Περιλαμβάνεται και η καθυστέρηση της λωρίδας για δεξιά στροφή.

Οι καθυστερήσεις που αναμένονται ανάλογα με τον εισερχόμενο φόρτο και τη χωρητικότητα απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα



**Σχήμα 5.5-1** Καθυστερήσεις σε σχέση με εισερχόμενο φόρτο και χωρητικότητα (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>,2011)

Αν ο λόγος φόρτου προς χωρητικότητα δεν υπερβαίνει τη μονάδα, η συνολική καθυστέρηση χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης.

Η αντιστοίχιση καθυστερήσεων κι επιπέδου εξυπηρέτησης φαίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί.

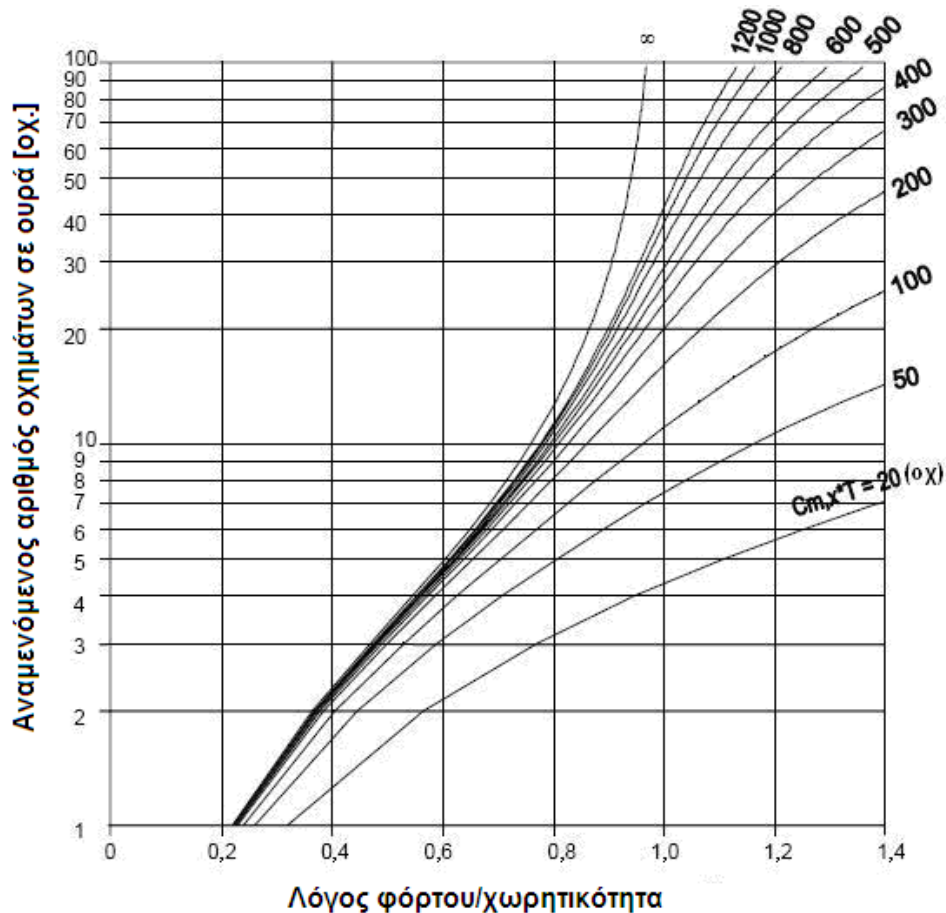
**Πίνακας 5.5-1:** Επίπεδο εξυπηρέτησης ανάλογα με τη συνολική καθυστέρηση (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>,2011)

Συνολική Καθυστερέση [s/οχή]	Επίπεδο εξυπηρέτησης	
	$v/c \leq 1,0$	$v/c > 1,0$
>0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Για την εκτίμηση των ουρών που αναμένεται να σχηματιστούν χρησιμοποιούνται τα ίδια δεδομένα με αυτά που χρειάζεται η εξίσωση για τις καθυστερήσεις.

Το μέγεθος της αναμενόμενης ουράς είναι βοηθητικό και χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό των σκελών πρόσβασης του κόμβου, αναδεικνύοντας κυρίως τις περιπτώσεις που προκαλείται πρόβλημα με τις γειτονικές διασταυρώσεις και την ανάγκη ή όχι δημιουργίας αποκλειστικής λωρίδας για δεξιά στροφή.

Το μήκος ουράς που αναμένεται ανάλογα με τη χωρητικότητα και το λόγο φόρτου/χωρητικότητα απεικονίζεται στο επόμενο Σχήμα. Οι καμπύλες ορίζονται ανά διαστήματα με βάση το γινόμενο χωρητικότητας επί την περίοδο ανάλυσης.



**Σχήμα 5.5-2** Καθυστερήσεις σε σχέση με τη χωρητικότητα, το λόγο φόρτου/χωρητικότητα και το γινόμενο χωρητικότητας επί την περίοδο ανάλυσης (ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>,2011)

## 6. Οδική Ασφάλεια

### 6.1 Γενικά

Ένας από τους συνηθέστερους λόγους επιλογής των κυκλικών κόμβων έναντι των άλλων συμβατικής μορφής ισόπεδων κόμβων είναι η προσφερόμενη βελτιωμένη οδική ασφάλεια. Όπως έχει προαναφερθεί, οι κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν λιγότερα σημεία πιθανών συγκρούσεων, απαλείφοντας μάλιστα, τις εμπλοκές τύπου διασταύρωσης (πλαγιομετωπικές συγκρούσεις). Επιπλέον η ιδιαίτερη γεωμετρία που έχουν, ρυθμίζει τις ταχύτητες των οχημάτων, με αποτέλεσμα τα οχήματα να κινούνται σε χαμηλές και ομοιόμορφες ταχύτητες, προσφέροντας μεγαλύτερο περιθώριο για αντίδραση, αλλά και ηπιότερες επιπτώσεις σε συγκρούσεις.

Πολλές έρευνες έχουν αποδείξει ότι η κατασκευή ενός κυκλικού κόμβου οποιουδήποτε τύπου, αυξάνει το επίπεδο της οδικής ασφάλειας. Οι λόγοι που συμβάλουν στο αυξημένο αυτό επίπεδο ασφάλειας είναι:

- Οι κυκλικοί κόμβοι έχουν λιγότερα σημεία εμπλοκής οχημάτων, σε σύγκριση με οποιαδήποτε άλλη συμβατική διασταύρωση. Σοβαρές εμπλοκές όπως αυτές των αριστερών στροφών, μειώνονται δραστικά στους κυκλικούς κόμβους.
- Οι χαμηλότερες ταχύτητες που αναπτύσσονται γενικά στους κυκλικούς κόμβους, βοηθούν τους οδηγούς να αντιδράσουν καλλίτερα, στις εν δυνάμει εμπλοκές. Επίσης οι χαμηλές ταχύτητες μειώνουν τη σφοδρότητα των ατυχημάτων.
- Οι χαμηλές ταχύτητες εισόδου στον κόμβο ισχύουν και για τους δυικυκλιστές προσφέροντας το ίδιο επίπεδο οδικής ασφάλειας με αυτό των οδηγών οχημάτων.
- Τα σημεία εμπλοκών μεταξύ πεζών και οχημάτων μειώνονται και αυτά, αφού οι πεζοί διασχίζουν με τη βοήθεια της ειδικά διαμορφωμένης διαχωριστικής νησίδας, ένα μόνο ρεύμα κυκλοφορίας τη φορά.

Η επίγνωση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών ενός κόμβου, αλλά και των συμπερασμάτων που μπορούν να προκύψουν από αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά σε συνδιασμό με ένα πλήθος άλλων παραμέτρων, μπορούν να προσφέρουν πολλά και να συμβάλουν σημαντικά στο σχεδιασμό είτε αστικών, είτε υπεραστικών κόμβων.

Σύμφωνα με την έκθεση Technical Committee on Road Safety, πολλοί οδηγούν μηχανικά και όταν αντιμετωπίζουν δυσκολίες αντιδρούν βασισμένοι στην εμπειρία τους. Άνθρωποι που κάθε μέρα κάνουν την ίδια διαδρομή έχουν

τόσο πολύ εξοικιωθεί με τον περιβάλλοντα χώρο, ώστε δεν παρατηρούν ουσιώδης διαφορές στις διαμορφώσεις των κόμβων κατά μήκος της διαδρομής. Οδηγοί που για πρώτη φορά οδηγούν σε μία περιχή ξαφνιάζονται από την έλλειψη ομοιομορφίας στην αντιμετώπιση π.χ. ύπαρξη λωρίδας αριστερής στροφής. Τα περισσότερα λάθη των οδηγών ξεκινούν από συνδυασμό παραγόντων που κάνουν περίπλοκες τις υποχρεώσεις του οδηγού όπως:

- Έλεγχος αυτοκινήτου
- Οδήγηση και αναγνώριση πορείας

## 6.2 Οι κυκλικοί κόμβοι ως μέτρο ασφάλειας

Οι κόμβοι αποτελούν κρίσιμα σημεία του οδικού δικτύου. Είναι τα σημεία, όπου οι οδηγοί επιλέγουν διαδρομές ώστε να πραγματοποιούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί προελεύσεων-προορισμών με το ελάχιστο δυνατό δίκτυο.

Όλοι οι κόμβοι χαρακτηρίζονται από το υψηλότερο ποσοστό ατυχημάτων σε σχέση με άλλα οδικά τμήματα λόγω του μεγαλύτερου αριθμού εν δυνάμει σημείων σύγκρουσης. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, συνήθως προτείνεται ο σχεδιασμός ανισόπεδων κόμβων. Πολλές φορές όμως η κατασκευή τους, για διάφορους λόγους δεν είναι εφικτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, σε πολλά κράτη μέλη τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να δίνεται βάρος στην κατασκευή κυκλικών κόμβων με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν στραφεί στην υιοθέτηση του παραπάνω μέτρου. Συγκεκριμένα από το 1986 πάνω από 2000 κυκλικοί κόμβοι κατασκευάστηκαν στην Ολλανδία, ενώ στη Σουηδία που στις αρχές της δεκαετίας του '80 είχε μόνο 150 κυκλικούς κόμβους, σήμερα ο αριθμός τους ανέρχεται σε 2000. Χαρακτηριστικό στοιχείο των κυκλικών κόμβων είναι η μείωση της ταχύτητας κατά την είσοδο στον κόμβο, καθώς και η μείωση της πιθανότητας ατυχημάτων λόγω μετωπικών και άλλων συγκρούσεων.

Μία ακόμη δυνατότητα των κυκλικών κόμβων αποτελεί η διευθέτηση και η διοχέτευση μεγαλύτερου αριθμού οχημάτων, συγκριτικά με την απλή διάταξη παραχώρησης προτεραιότητας ή τους σηματοδοτούμενους κόμβους. Θεωρητικά, ένας οδηγός που προσεγγίζει κυκλικό κόμβο είναι αναγκασμένος να μειώσει περισσότερο την ταχύτητά του απ' ό,τι θα έκανε σε έναν τυπικό κόμβο. Αυτό αμέσως μειώνει και τη σφοδρότητα της σύγκρουσης σε περίπτωση ατυχήματος.

Η πολιτική που εφαρμόζεται στις οικιστικές περιοχές, όπου έχουμε αισθητή παρουσία πεζών και ποδηλατών, είναι η επιβολή χαμηλών ταχυτήτων με διαμόρφωση φυσικών εμποδίων, όπως η μείωση του πλάτους της οδού.

Σχετικές μελέτες που έχουν γίνει στη Μ. Βρετανία, έδειξαν ότι με τους ίδιους φόρτους έχουμε λιγότερα ατυχήματα σε κυκλικούς κόμβους απ' ό τι σε σηματοδοτούμενους. Έρευνα του Brillon το 1991 επιβεβαίωσε αυτή την τάση για μεσαίους κυκλικούς κόμβους (διάμετρος <40μ.) βασισμένη σε διαφορετικό δείκτη (αριθμός ατυχημάτων-φόρτος προσέγγισης). Για παλαιότερους κυκλικούς κόμβους (μεγάλη διάμετρος), ο αριθμός των ατυχημάτων είναι μεγαλύτερος από ό τι στους σηματοδοτούμενους κόμβους, η σοβαρότητά όμως αυτών είναι μικρότερη.

Σύμφωνα με την έκθεση Technical Committee on Road Safety, η επικινδυνότητα στους κυκλικούς κόμβους είναι μικρή. Οι τραυματισμοί είναι λιγότεροι από ό τι σε άλλους τύπους κόμβων όταν η κίνηση στο δευτερεύοντα δρόμο του κόμβου είναι:

- 5% της κίνησης του πρωτεύοντος δρόμου σε τετρασκελή κόμβο
- 10% της κίνησης του πρωτεύοντος δρόμου σε τρισκελή κόμβο.

Τα θανατηφόρα ατυχήματα είναι πολύ λιγότερα απ ό τι στους άλλους τύπους, αφού η σφοδρότητα αυτών μειώνεται. Παρ' όλα αυτά πρέπει να δοθεί προσοχή στο σχεδιασμό:

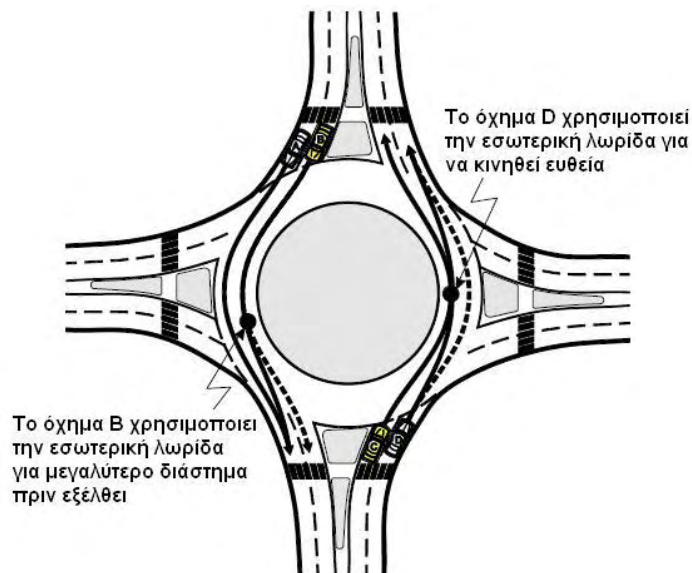
- στις καμπύλες εισόδου για τα εισερχόμενα οχήματα
- στο μέγεθος των κεντρικών νησίδων. Οι μεγάλες κεντρικές νησίδες είναι λιγότερο ασφαλείς (διάμετρος > 30μ)
- στη διαμόρφωση ασφαλών πορειών κίνησης πεζών και ποδηλατιστών

Φαίνεται λοιπόν σκόπιμη για λόγους ασφάλειας η μετατροπή κόμβων υψηλών φόρτων σε κυκλικούς ή τουλάχιστον σε σηματοδοτούμενους. Για τους ίδιους λόγους θα πρέπει να γίνονται κυκλικοί οι κύριοι κόμβοι των κατοικημένων περιοχών. Για μικρότερης σημασίας κόμβους, η από δεξιά προτεραιότητα επαρκεί γιατί οι οδηγοί αυξάνουν την προσοχή τους και μειώνουν ταχύτητα. Ακόμη σημαντικό ρόλο παίζουν στον προσδιορισμό της προτεραιότητας. Στους κυκλικούς κόμβους διεθνώς έχουν προτεραιότητα οι κινούμενοι στον κόμβο έναντι των εισερχόμενων. Περισσότερα σκέλη (μέχρι 6) μπορούν να εξυπηρετηθούν και η σοβαρότητα των ατυχημάτων είναι πολύ μικρότερη από ό τι στους συμβατικούς κόμβους. Γενικά πάντως, έχει γίνει αντιληπτό, πως η μείωση της ταχύτητας των οχημάτων είναι η μεταβλητή που καθορίζει πλέον σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια στους κόμβους και συνεπώς και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά.

Ο σωστός σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το επίπεδο ασφάλειας και άνεσης ακόμη και των μετακινούμενων πεζών, χωρίς πρόσθετες απαιτήσεις σε χώρο ή επεμβάσεις μεγάλου κόστους.

### 6.3 Τύποι και περιπτώσεις ατυχημάτων

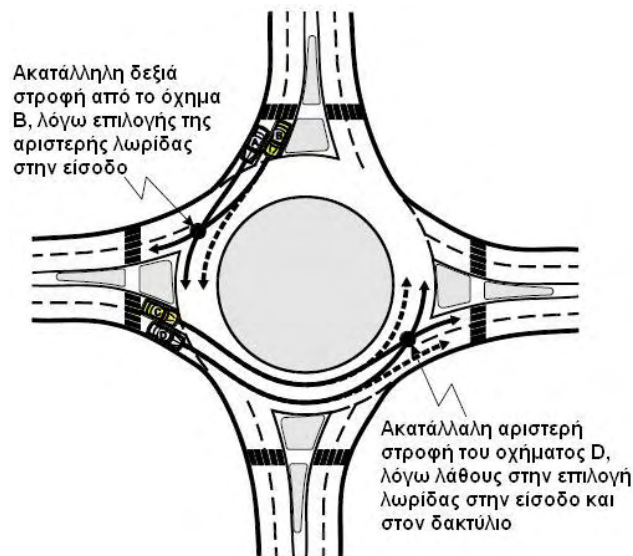
Τα σημεία και οι τύποι εμπλοκής δεν αποκαλύπτουν όλες τις πιθανές περιπτώσεις συγκρούσεων. Ειδικά σε περιπτώσεις κόμβων πολλαπλών λωρίδων, η επιλογή της λωρίδας και πορείας από τους οδηγούς είναι κρίσιμης σημασίας. Ορισμένες λανθασμένες επιλογές των οδηγών και οι σχετικές προβλεπόμενες συγκρούσεις απεικονίζονται στα επόμενα σχήματα.



**Σχήμα 6.3-1** Συγκρούσεις εντός του δακτυλίου λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδων για ευθεία πορεία

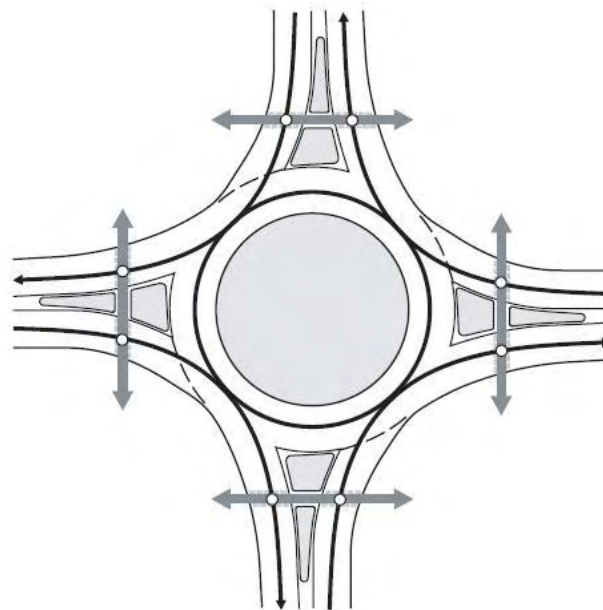


**Σχήμα 6.3-2** Συγκρούσεις κατά την έξοδο λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας του κινούμενου επί του δακτυλίου



**Σχήμα 6.3-3** Συγκρούσεις κατά την έξοδο λόγω λάθους στην επιλογή λωρίδας από την έναρξη της εισόδου στο δακτύλιο

Οι εμπλοκές με πεζούς γίνονται, κατά κανόνα, πάνω στις πεζοδιαβάσεις, εκτός αν οι πεζοί κινούνται σε χώρο που δεν προβλέπεται γι' αυτούς. Τα σημεία διασταύρωσης της πορείας του οχήματος με πεζό απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.

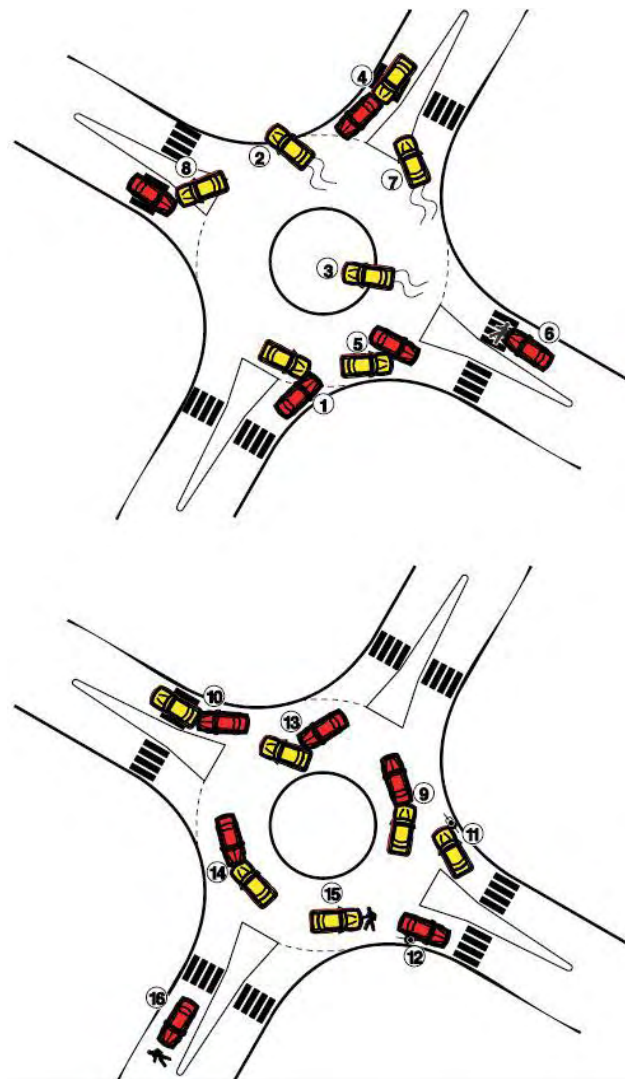


**Σχήμα 6.3-4** Σημεία σύγκρουσης οχημάτων και πεζών

Τα ατυχήματα που συμβαίνουν στην περιοχή ενός Κ3 μπορεί να προκύπτουν από τις συνηθισμένες εμπλοκές μεταξύ οχημάτων, μεταξύ οχημάτων και πεζών ή ποδηλατών, αλλά και από λανθασμένους χειρισμούς ή ολίσθηση των οχημάτων. Οι τύποι ατυχημάτων που παρατηρούνται (βλ. Σχήμα 6.3-5) είναι:

(1) Σύγκρουση κατά την είσοδο λόγω παραβίασης προτεραιότητας

- (2) Εκτροπή οχήματος εκτός δακτυλίου κυκλοφορίας
- (3) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την είσοδο
- (4) Πρόσκρουση νωτο-μετωπική κατά την είσοδο
- (5) Σύγκρουση εξερχόμενου οχήματος με όχημα που κινείται στο δακτύλιο κυκλοφορίας
- (6) Σύγκρουση με πεζό στην πεζοδιάβαση
- (7) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την έξοδο
- (8) Σύγκρουση εισερχόμενου οχήματος με εξερχόμενο όχημα
- (9) Σύγκρουση νωτο-μετωπική επί του δακτυλίου κυκλοφορίας
- (10) Σύγκρουση νωτο-μετωπική κατά την έξοδο
- (11) Προσπέραση ποδηλάτου στην είσοδο
- (12) Προσπέραση ποδηλάτου στην έξοδο
- (13) Πλαγιομετωπική κατά την πλέξη επί του δακτυλίου κυκλοφορίας
- (14) Κίνηση με αντίθετη ροή επί του δακτυλίου κυκλοφορίας
- (15) Σύγκρουση με πεζό επί του δακτυλίου κυκλοφορίας
- (16) Σύγκρουση με πεζό εκτός πεζοδιάβασης επί του κλάδου



Σχήμα 6.3-5 Τύποι ατυχημάτων



## 7. Λογισμικό για το Γεωμετρικό Σχεδιασμό Ισόπεδου Κυκλικού Κόμβου

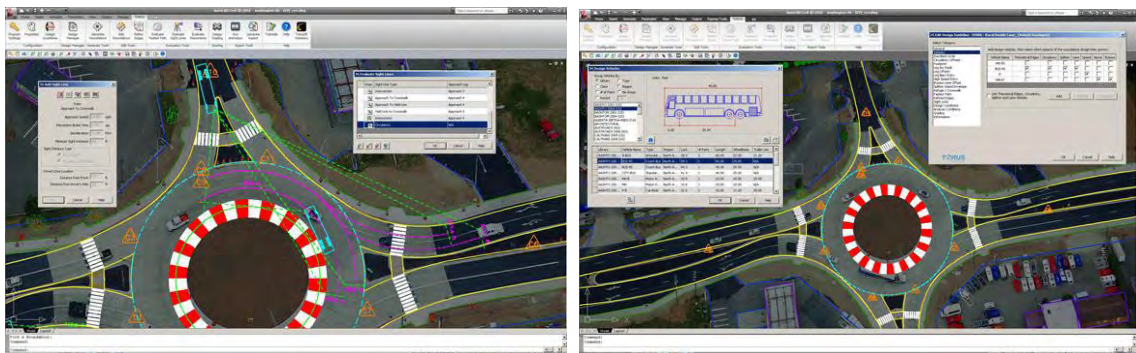
### 7.1 Γενικά

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 TORUS Roundabouts, RODEL, SIDRA να επικρατούν και να υπερτερούν σε καίρια σημεία τόσο όσον αφορά το περιβάλλον και τη συμβατότητά τους με άλλα δημοφιλή προγράμματα συναφούς αντικείμενου όσο και για τη δυνατότητα προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο στις απαιτήσεις του σχεδιαστή – μελετητή μηχανικού.

### 7.2 Σχεδιασμός $K^3$ με τη Βοήθεια του TORUS Roundabouts v.5.0.

#### 7.2.1 Επισκόπηση του προγράμματος

Το TORUS Roundabouts είναι ένα προηγμένο σχεδιαστικό (CAD - based) πρόγραμμα (κυκλοφορεί στην πέμπτη 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.



Εικόνα 7.2-1 Εικόνες από το περιβάλλον σχεδίασης του TORUS.

## 7.2.2 Ελάχιστες Απαιτήσεις του Λογισμικού

### Ελάχιστες απαιτήσεις συστήματος

- **Windows® Server:**  
2000/2003/2008  
Windows® XP / Windows®  
Vista / Windows® 7
- **Workstation/Standalone:**  
Windows® XP / Windows®  
Vista / Windows® 7

### Ελάχιστες απαιτήσεις της πλατφόρμας CAD

- **AutoCAD®:** 2007
- **AutoCAD®, Civil 3D® :** 2010
- **MicroStation®:** V8 XM


## 7.2.3. Επισκόπηση του Menu


Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η γραμμή εργαλείων του λογισμικού η οποία εμφανίζεται στο επάνω μέρος της σχεδιαστικής πλατφόρμας. Παράλληλα γίνεται μία συνοπτική περιγραφή των βασικών εργαλείων του λογισμικού.




Εικόνα 7.2.3 Γραμμή Εργαλείων TORUS (TORUS ToolBar/Ribbon)

### Εργαλεία Διαμόρφωσης/Αρχικών Ρυθμίσεων (Configuration Tools)

 **Program Settings:** Ο χρήστης μπορεί να ορίσει διάφορες γενικές ρυθμίσεις του προγράμματος και επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει κάποιες βασικές σχεδιαστικές παραμέτρους, να αναβαθμίσει την άδεια χρήσης καθώς και να ανακαλέσει ανά πάσα στιγμή πληροφορίες γι' αυτή και για τον τρόπο επικοινωνίας με την εταιρεία.

 **Properties:** Με το συγκεκριμένο εργαλείο, ο χρήστης ρυθμίζει τις διάφορες ιδιότητες που καθορίζουν το πώς τα σύμβολα σχεδίασης, τα στοιχεία του κυκλικού κόμβου, οι κινήσεις, η συντομότερη διαδρομή, τα μήκη ορατότητας, τα άκρα του κόμβου, οι ειδοποιήσεις και το 3D υφομετρικό μοντέλο του κυκλικού κόμβου θα σχεδιάζονται και θα εμφανίζονται στην οθόνη. Η αναβαθμισμένη αυτή λειτουργία επιτρέπει την ήδη υπάρχουσα γεωμετρία και τη γεωμετρία που έχει δημιουργηθεί από το TORUS να ενημερωθεί ανά πάσα στιγμή σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη και τις απαιτήσεις του σχεδιασμού.

 **Design Guidelines:** Επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία νέων προδιαγραφών σχεδιασμού, την επεξεργασία, μετονομασία ή διαγραφή των υφιστάμενων προδιαγραφών.

**Εργαλείο Διαχείρισης Σχεδίων** (Design Manager Tool)

**Design Manager:** Επιτρέπει στο χρήστη να σώζει και να ανακαλεί πολλαπλές παραλλαγές ενός σχεδίου κυκλικού κόμβου. Κάθε παραλλαγή συνδέεται με ένα συγκεκριμένο σχεδιαστικό σύμβολο. Επίσης κάθε παραλλαγή μπορεί να έχει το δικό της σύμβολο και ένα σετ ανεξάρτητων παραλλαγών.

**Εργαλεία Σχεδιασμού / Παραγωγής Σχεδίων** (Generate Tools)

**Roundabout Wizard:** Επιτρέπει το σχεδιασμό κυκλικών κόμβων οι οποίοι βασίζονται σε πρότυπα τα οποία είτε έχουν παραχθεί από το χρήστη είτε είναι έτοιμα template του λογισμικού. Τα πρότυπα αυτά μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας τα εργαλεία Generate roundabouts και Edit Roundabout που θα δούμε παρακάτω



**Generate Roundabout:** Παρέχει πρόσβαση στα κύρια σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του κυκλικού κόμβου: τις προδιαγραφές σχεδιασμού, και το μέγεθος της κεντρικής νησίδας, τη δημιουργία προσβάσεων και την επεξεργασία αυτών, την εκτίμηση των ταχυτήτων που μπορούν να αναπτύσσονται κατά την είσοδο, έξοδο και επί του κόμβου. Αυτό το εργαλείο αυτοματοποιεί τη διαδικασία σχεδιασμού τόσο σε προκαταρκτικό όσο και σε ένα προχωρημένο στάδιο σχεδιασμού.

**Εργαλεία Επεξεργασίας** (Edit Tools)

**Edit Roundabout:** Επιτρέπει την περαιτέρω επεξεργασία του κόμβου.



**Refine Edges:** Επιτρέπει την τελική επεξεργασία των οριογραμμών του κόμβου.

**Εργαλεία Ελέγχου και Εκτίμησης** (Evaluate Tools)

**Evaluate Fastest Path:** Επιτρέπει το σχεδιασμό της γρηγορότερης διαδρομής βάσει της οποίας γίνεται ο υπολογισμός των μέγιστων ταχυτήτων που αναπτύσσονται ανά τμήμα του κόμβου (είσοδος, έξοδος κυκλικός δακτύλιος κλπ).



**Evaluate Sight Lines:** Σχεδιάζει τα απαραίτητα μήκη και γωνίες ορατότητας επί του κόμβου και κατά την προσέγγιση αυτού.



**Evaluate Movements:** Επιτρέπει την εισαγωγή και προσομοίωση της κίνησης του οχήματος σχεδιασμού καθώς και την επεξεργασία αυτής αλλά και τη διαγραφή της εάν κριθεί απαραίτητο.

**Εργαλεία για την υψομετρική διαμόρφωση του κόμβου** (Grading Tools)



**Design Grading:** Επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώσει υψομετρικά τον κυκλικό κόμβο με τις κατάλληλες επικλίσεις και κατά μήκος κλίσεις, ουσιαστικά δηλαδή να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο μοντέλο του κόμβου.

**Εργαλεία Αναφορών/Απολογισμού** (Report Tools)

**Run Animation:** Αναπαραγάγει με τη μορφή κινούμενης εικόνας μία συγκεκριμένη κίνηση του οχήματος σχεδιασμού έτσι ώστε ο χρήστης να έχει καλύτερη εποπτεία.



**Generate Report:** Επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία αρχείου αναφοράς για τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά του κόμβου.

Επιπλέον στην γραμμή εργαλείων του TORUS υπάρχουν εργαλεία τεχνικής υποστήριξης (Tutorials , Help ) τα οποία παρέχουν οδηγίες για τη χρήση του λογισμικού και βήμα-βήμα παραδείγματα σχεδιασμού και ελέγχου επίδοσης και επιπέδου ασφάλειας του υπο μελέτη κυκλικού κόμβου.

## 8. Τεχνική Έκθεση: Διαμόρφωση Κόμβου Κυκλικής Κίνησης (Κ<sup>3</sup>) στη διασταύρωση των οδών Φυτόκου & Περιφερειακής οδού Βόλου

### 8.1 Συνοπτική Περιγραφή της Μελέτης

Η παρούσα μελέτη αφορά στην οριζοντιογραφική διαμόρφωση ισόπεδου κυκλικού κόμβου, αρχικά, στη διασταύρωση των οδών Φυτόκου και της περιφερειακής οδού της πόλης του Βόλου, η διάταξη του οποίου συναρμόζεται ομαλά με τη γεωμετρία των υφιστάμενων συμβαλλουσών οδών. Κατά την εκπόνηση της μελέτης κρίθηκε σκόπιμη η διαμόρφωση και ενός μικρότερου συνεργαζόμενου ισόπεδου κυκλικού κόμβου βόρεια της κύριας διασταύρωσης, σε δευτερεύουσα συμβατική σηματοδοτούμενη διασταύρωση όπου συμβάλουν η οδός Φυτόκου και η τοπική οδός Αγίου Ευστρατίου.

Η διαμόρφωση και των δύο κυκλικών κόμβων έγινε σύμφωνα με τις εθνικές προδιαγραφές ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup> με στόχο την αύξηση του επιπέδου ασφάλειας κυρίως, της σηματοδοτούμενης με φωτεινούς σηματοδότες, συμβατικής διασταύρωσης Φυτόκου και περιφερειακής Βόλου αλλά και τη βελτίωση της λειτουργικής της επίδοσης.

Η παρούσα μελέτη καταλήγει στην οριζοντιογραφική διαμόρφωση δύο σύγχρονων συνεργαζόμενων κυκλικών κόμβων με:

- Κεντρική νησίδα,
- Υπερβατή ζώνη και νησίδες διαχωρισμού,
- Κατάλληλη γεωμετρία εισόδου και εξόδου με στόχο τον έλεγχο των ταχυτήτων που αναπτύσσονται κυρίως στην διασταύρωση των οδών Φυτόκου και περιφερειακής Βόλου,
- Απευθείας δεξιές στροφές για την καλύτερη εξυπηρέτηση των οχημάτων και τη μείωση των καθυστερήσεων,
- Διαμόρφωση πεζοδιαβάσεων και πεζοδρομίων επαρκούς πλάτους στην εξωτερική οριογραμμή των δύο κόμβων ώστε η εξυπηρέτηση των πεζών να γίνεται απρόσκοπτα και με ασφάλεια.

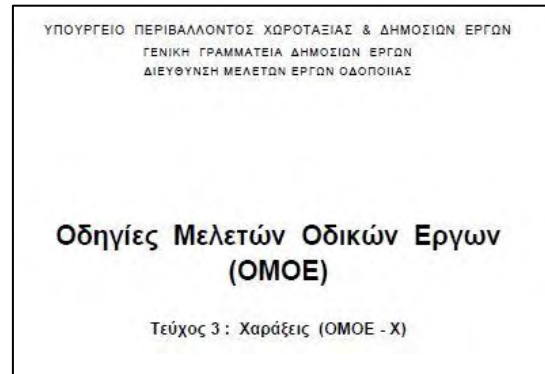
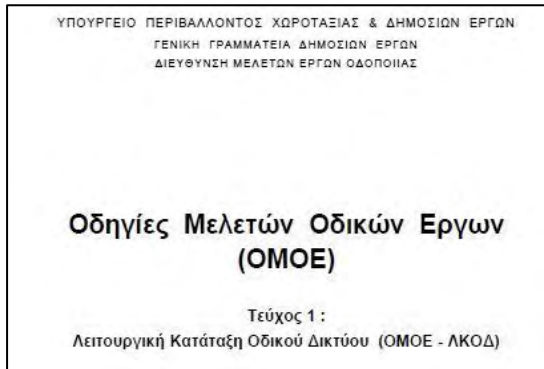
Άλλα στοιχεία που λήφθηκαν σοβαρά υπόψιν όπως:

- Η κίνηση βαρέων οχημάτων στην κύρια διασταύρωση και η κίνηση αστικού λεωφορείου από και προς τη Γεωπονική Σχολή,
- Οι παρόδιες ιδιοκτησίες και τα όρια απαλλοτρίωσης
- Τέλος, όλα τα παραπάνω στο πλαίσιο των λιγότερων δυνατών παρεμβάσεων και του χαμηλότερου δυνατού κόστους κατασκευής των δύο κυκλικών κόμβων.

## 8.2 Ισχύοντες Κανονισμοί και Προδιαγραφές

Οι Κανονισμοί και Οδηγίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

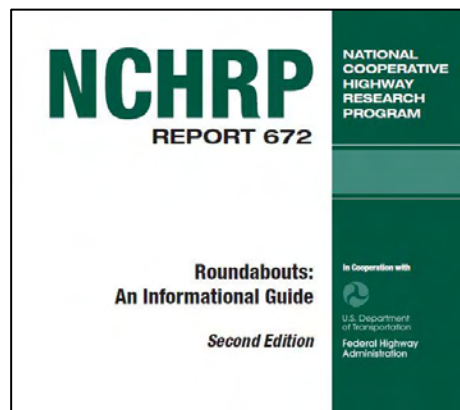
- ΟΜΟΕ-Χ και ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ της ΓΓΔΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ:



- Χρησιμοποιήθηκαν τα σχέδια ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup> και ΟΜΟΕ-ΙΚ:



- Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν οι αμερικάνικες προδιαγραφές (“Roundabouts: An informational Guide, Second Edition”, NCHRP Report 672, TRB, Washington D.C., 2010):



### 8.3 Ισόπεδοι Κόμβοι – Υφιστάμενη Κατάσταση

Ο υπό μελέτη κόμβος βρίσκεται στην Περιφερειακή οδό Βόλου στη συμβολή με την οδό Φυτόκου όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Η υφιστάμενη διασταύρωση είναι συμβατικού τύπου, σηματοδοτούμενη με φωτεινούς σηματοδότες. Η λειτουργική κατάταξη των συμβαλλουσών οδών είναι η εξής σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ:

- **Περιφερειακή οδός Βόλου:** Κατηγορία και Χαρακτηρισμός οδού: **BII**
- **Οδός Φυτόκου:** Κατηγορία και Χαρακτηρισμός οδού: **ΓIII**

Ενώ η Οδός Αγίου Ευστρατίου είναι μικρότερης κατηγορίας (ΔV, τοπική οδός με βασική λειτουργία την πρόσβαση).

Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε την ευρύτερη περιοχή διαμόρφωσης των κυκλικών κόμβων. Σε κοντινή απόσταση από την υπό μελέτη διασταύρωση βρίσκεται η Σχολή Γεωπονικών επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το οποίο συνεπάγεται έντονη παρουσία πεζών καθόλη τη διάρκεια της ημέρας και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες ώρες (έναρξη-λήξη του ωραρίου Σχολής).



Εικόνα 8.3-1 Ευρύτερη Περιοχή Διαμόρφωσης των Κόμβων



Εικόνα 8.3-2 Διασταύρωση οδού Φυτόκου με Περιφερειακή οδό Βόλου και εγγύτερη περιοχή



Εικόνα 8.3-3 Περιοχή Κόμβου (Φυτόκου & Περιφερειακή Βόλου)



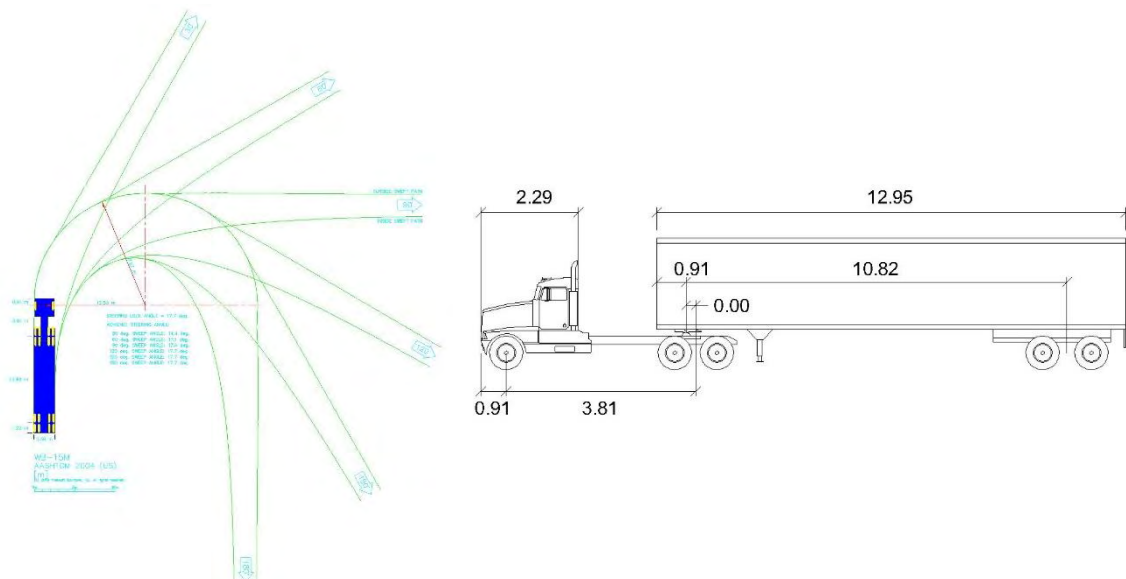


**Εικόνα 8.3-4** Περιοχή Κομβιδίου (Φυτόκου & Αγίου Ευστρατίου)

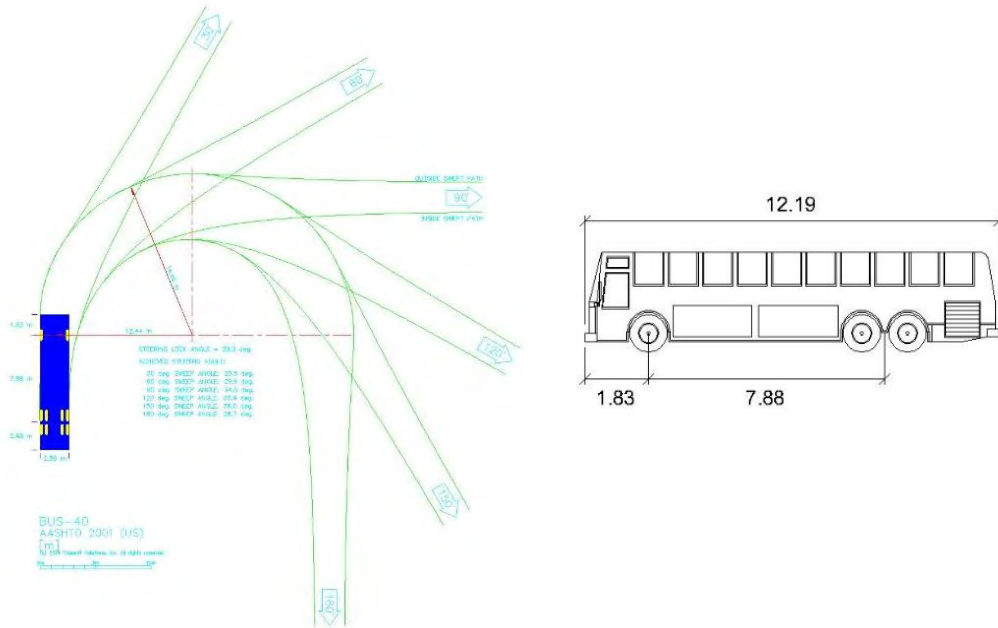
Η αναγκαιότητα κυκλοφοριακής διαμόρφωσης κρίνεται απαραίτητη δεδομένου ότι θα συνεισφέρει κυρίως στην οδική ασφάλεια δεδομένου του υψηλού ποσοστού ατυχημάτων στην υπό μελέτη διασταύρωση (Φυτόκου & Περιφερειακή οδός Βόλου) και δευτερευόντως στην κυκλοφοριακή ικανότητα της υποδομής. Παράλληλα θα αναβαθμίσει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

#### 8.4 Όχημα σχεδιασμού

Το όχημα σχεδιασμού επιλέχθηκε με βάσει τα οριζόμενα από τις εθνικές προδιαγραφές για αστικούς κόμβους δύο λωρίδων με διάμετρο από 35m έως 70m, στην προκειμένη περίπτωση επικαθήμενο φορτηγό μήκους 16,76m (WB-15, AASHTO US (2004)). Για το κομβίδιο επιλέχθηκε σαν όχημα σχεδιασμού το λεωφορείο μήκους 12,19 m (BUS-40, AASHTO US (2001)) σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>.



**Εικόνα 8.4-1** Τυπικό Όχημα Μελέτης (WB-15)



Εικόνα 8.4-2 Τυπικό Όχημα Μελέτης (BUS-40)

## 8.5 Διαστάσεις Κυκλικών Κόμβων

Στο γεωμετρικό σχεδιασμό των κόμβων επελέγησαν τα παρακάτω γεωμετρικά χαρακτηριστικά βάσει του σχήματος 2.2-1, σελ. 32, των ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup> (βλέπε και ενότητα 3.2.3, Πλάτος δακτυλίου κυκλοφορίας της παρούσας εργασίας)

### Επιλεγθείσες Διαστάσεις:

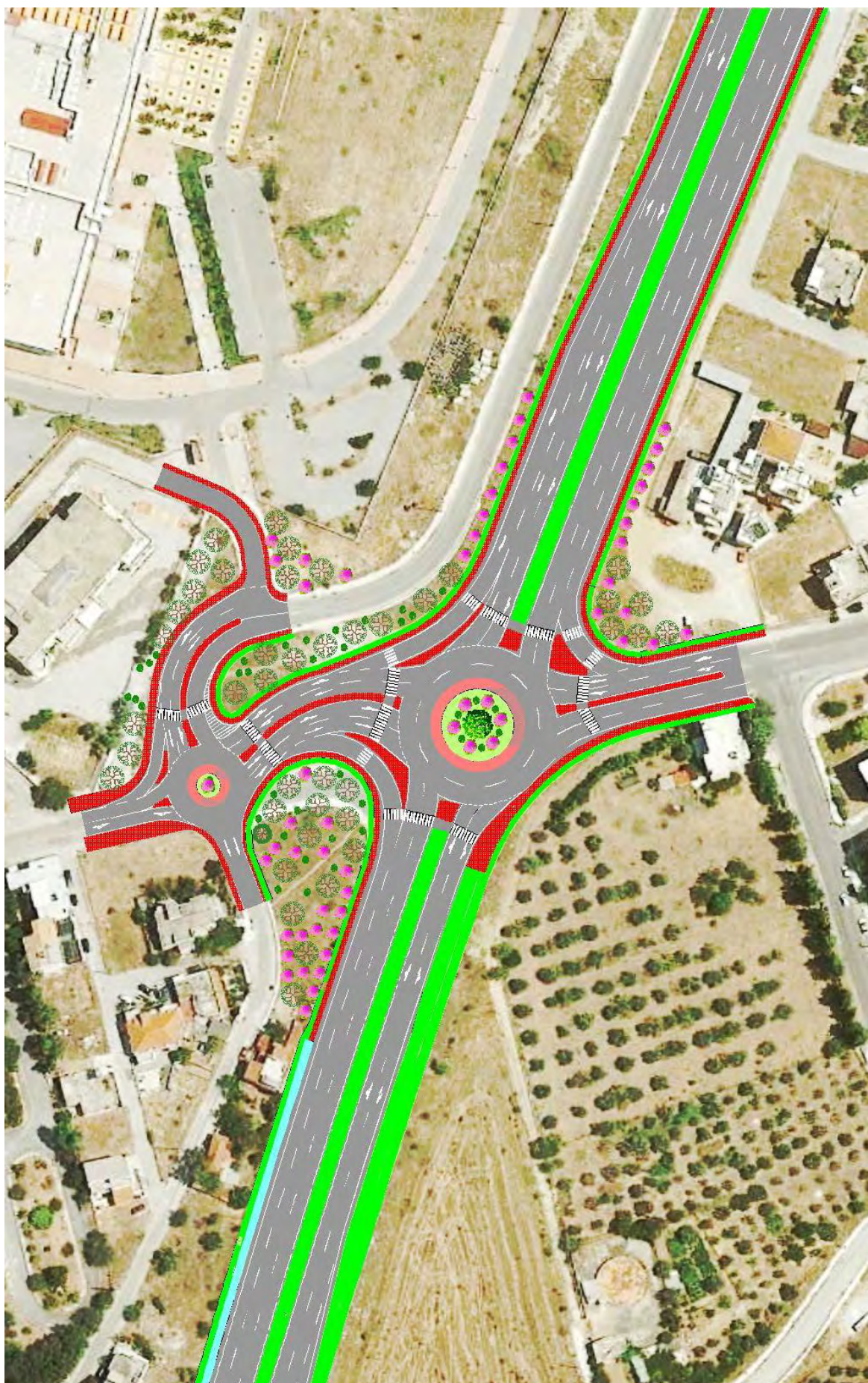
	<b>Κυκλικός Κόμβος</b> (Φυτόκου & Περ. Βόλου)	<b>Κομβίδιο</b> (Φυτόκου & Αγ.Ευστρατίου)
<b>Διάμετρος Εγγεγραμμένου Κύκλου</b>	46,00 m	24,00 m
<b>Διάμετρος Κεντρικής Νησίδας</b>	21,00 m	7,00 m
<b>Πλάτος Κυκλοφορίας</b>	8,50 m	5,50 m
<b>Πλάτος υπερβατής ζώνης κεντρικής νησίδας</b>	3,00 m	2,50 m

## 8.6 Περιγραφή της Νέας Διαμόρφωσης του Κόμβου

Η μορφή του κόμβου που επελέγη είναι εκείνη του τυπικού ισόπεδου κυκλικού κόμβου όπως όπως αποτυπώνεται οριζοντιογραφικά στην Εικόνα 7.6-1, παρακάτω.

Η λογική που διαμορφώθηκε ο κόμβος βασίζεται στους παρακάτω άξονες:

- Ο κυκλικός κόμβος έπρεπε να διαμορφωθεί σε υψομετρικό επίπεδο ανάλογο με τις συμβάλλουσες οδούς προς αποφυγή περιπτώσεων χωματισμών.
- Η κατασκευή ενός μεσαίου μεγέθους κυκλικού κόμβου θα συμβάλει τα μέγιστα στην αναβάθμιση της κυκλοφοριακής ικανότητας και της οδικής ασφάλειας της περιοχής.
- Η διαμόρφωση παρακαμπτήριων κλάδων άμεσης δεξιάς στροφής στις τρεις από τις τέσσερις προσβάσεις (κλάδους) του κόμβου, διευκολύνει την κίνηση των βαρέων οχημάτων που στρίβουν δεξιά. Η διαμόρφωση αυτή απαιτεί περισσότερο χώρο και έχει υψηλότερο κόστος κατασκευής, ωστόσο βελτιώνει εξαιρετικά την οδική ασφάλεια.
- Η κατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση στις εισόδους και εξόδους του κόμβου συμβάλει στην καλύτερη δυνατή ρύθμιση των ταχυτήτων που αναπτύσσονται από τα συμβατικά Ι.Χ.
- Η διάταξη των σκελών του  $K^3$  είναι η καλύτερη δυνατή δεδομένου των παρόδων ιδιοκτησιών, των ορίων απαλλοτρίωσης και γενικότερα της υφιστάμενης κατάστασης της τοποθεσίας. Η προτεινόμενη διάταξη  $K^3$  μειώνει τις εμπλοκές σε κατάσταση σύγκρουσης και την επικινδυνότητα τους, διευκολύνει τη ροή των οχημάτων ενώ το επίπεδο ορατότητας και γωνιών εισόδου είναι εντός των συνιστώμενων ορίων (βλέπε παρ. 8.7.2).
- Η προτεινόμενη διαμόρφωση οδηγεί στην αποφυγή της επικάλυψης της πορείας των οχημάτων κατά την είσοδο, την κυκλική πορεία και κατά την έξοδο από τον κόμβο (βλέπε παρ. 8.7.3)
- Τέλος, η προτεινόμενη διαμόρφωση πεζοδιαβάσεων και διακοπτόμενων νησίδων διαχωρισμού θα συμβάλει στην άνετη και ασφαλή μετακίνηση πεζών και ποδηλατιστών.



Εικόνα 8.6-1 Γενική Διαμόρφωση Κόμβων (Διαστ. οδ. Φυτόκου & Περ. Βόλου)

## 8.7 Έλεγχοι Επίδοσης και Ασφάλειας της νέας διαμόρφωσης

Η προτεινόμενη διαμόρφωση του μεγάλου κυκλικού κόμβου (επί του περιφερειακού Βόλου) ελέγχθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού TORUS v5.0, για την επίδοσή της και για το επίπεδο ασφάλειας της σύμφωνα με τα όσα ορίζονται στις ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup> με στόχο τον ποιοτικότερο δυνατό σχεδιασμό του κυκλικού κόμβου.

### 8.7.1 Έλεγχος Ταχυτήτων – Συντομότερη Διαδρομή

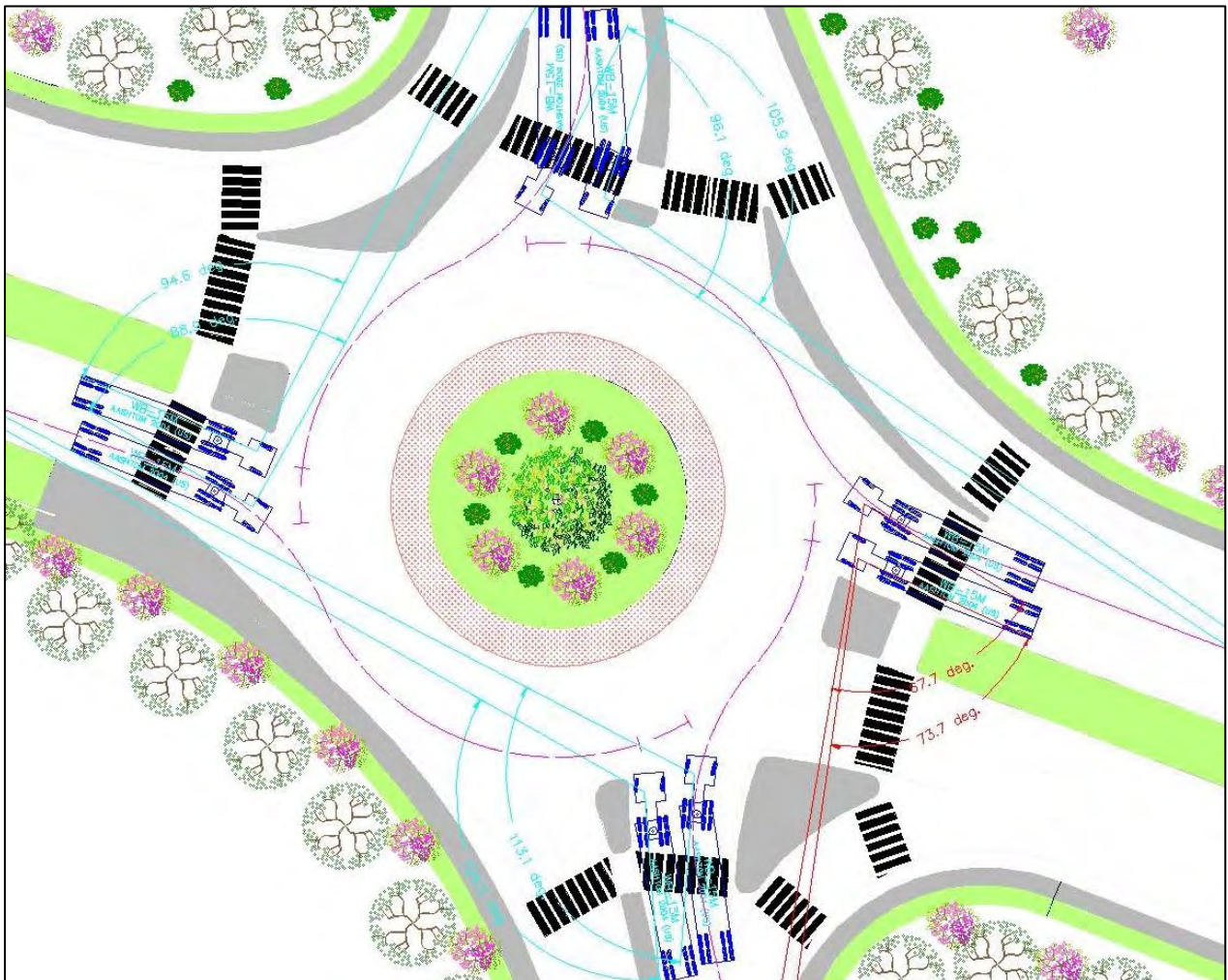
Κατά των έλεγχου Ταχυτήτων που αναπτύσσονται βάση της συντομότερης διαδρομής, διαπιστώθηκε ότι οι ταχύτητες εισόδου των συμβατικών Ι.Χ. δεν ξεπερνούν τα 50km/h ενώ οι ταχύτητες εξόδου δεν ξεπερνούν τα 55km/h. Επιπλέον η αλληλουχία των καμπών στον κλάδο εισόδου – κυκλικής πορείας – εξόδου δεν οδηγούν σε διαφορές ταχυτήτων μεγαλύτερες των 20km/h.



**Διάγραμμα 8.7.1-1** Πορείες οχημάτων κατά την εκτέλεση της συντομότερης διαδρομής για την εκτίμηση των ταχυτήτων που αναπτύσσονται στον κόμβο.

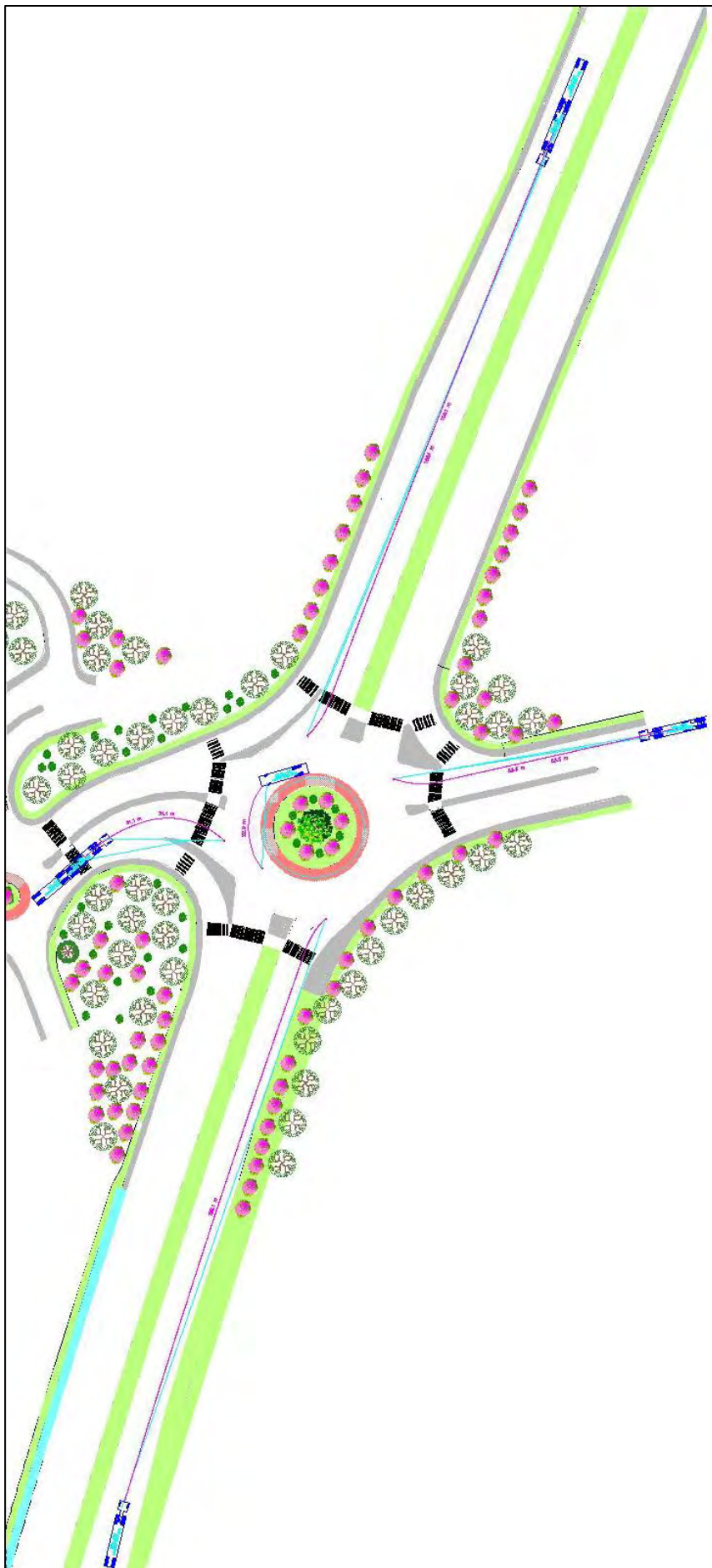
### 8.7.2 Ορατότητα

Το επίπεδο ορατότητας της προτεινόμενης οριζοντιογραφικής διαμόρφωσης του μεγάλου κυκλικού κόμβου είναι υψηλό. Οι αποστάσεις ορατότητας όπως αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού TORUS δεν υπολείπονται των συνιστώμενων αποστάσεων ορατότητας των ΟΜΟΕ-Κ<sup>3</sup>. Για την ταχύτητα κίνησης του οχήματος με βάση την οποία υπολογίστηκαν οι αποστάσεις ορατότητας, λήφθηκαν υπόψιν οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται τα οχήματα επί του περιφερειακού (περίπου 90-100km/h) και όχι με βάση το επιθυμητό όριο ταχύτητας που ενδεχομένως θα επιβληθεί μέσω ρυθμιστικών πινακίδων κυκλοφορίας. Για την ταχύτητα της επερχόμενης κυκλοφορίας χρησιμοποιήθηκαν οι ταχύτητες εισόδου (35 – 50km/h) και κυκλικής πορείας (30 - 36 km/h) όπως αυτές εκτιμήθηκαν στο πλαίσιο της παραγράφου 8.7.1.



**Διάγραμμα 8.7.2-1 Γωνίες Ορατότητας**

Οι γωνίες ορατότητας κυμαίνονται από 68° έως 113° όπως μπορούμε να δούμε στο παραπάνω διάγραμμα.



**Διάγραμμα 8.7.2-2** Μήκη Ορατότητας για στάση κατά την προσέγγιση του κόμβου (μέχρι την είσοδο και μέχρι την πεζοδιάβαση) και για στάση επί του δακτυλίου κυκλοφορίας



**Διάγραμμα 8.7.2-3** Μήκη Ορατότητας κατά την είσοδο

Τέλος, με τη σύνθεση των επιφανειών ορατότητας, δεσμεύονται και διατηρούνται επιφάνειες στην περιοχή του κόμβου ελεύθερες από στοιχεία που εμποδίζουν την ορατότητα, ενώ οι επιφάνειες εκτός των επιφανειών ορατότητας μπορούν να φυτευτούν με υψηλή βλάστηση έτσι ώστε η ορατότητα να περιορίζεται στην ελάχιστη απαιτούμενη (Βλέπε και Εικόνα 8.6-1) αποτρέποντας έτσι τους οδηγούς να αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες.

### 8.7.3 Έλεγχος Επικάλυψης Πορειών Εισόδου/Εξόδου

Ο έλεγχος για την αποφυγή της επικάλυψης της πορείας εισόδου και εξόδου του μεγάλου κυκλικού κόμβου έγινε με βάση του Σχήματος 3.2.3-1 της παρούσας εργασίας και με τη βοήθεια του λογισμικού TORUS v5.0. Οι διαστάσεις



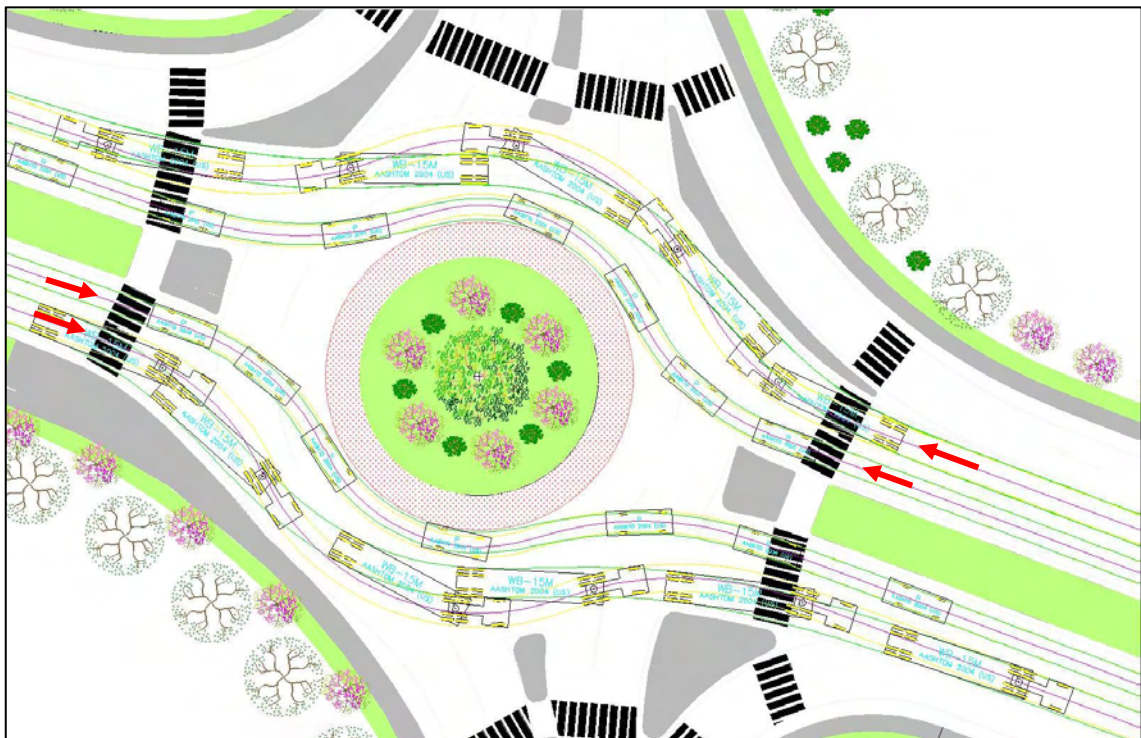
Α και Β των κοινών εφαπτόμενων μεγαλύτερες από την ελάχιστη (8,0m) και πολύ κοντά στις επιθυμητές ( $\geq 12m$ ).

**Πίνακας 8.7.3-1 Έλεγχος επικάλυψης Πορείας (μεγάλος κυκλικός κόμβος)**

	<b>A (m)</b>	<b>B (m)</b>
<b>Κλάδος 1</b>	11,53	11,56
<b>Κλάδος 2</b>	11,55	13,00
<b>Κλάδος 3</b>	11,56	13,00
<b>Κλάδος 4</b>	11,56	11,56

#### 8.7.4 Εκτίμηση Κινήσεων – Εξυπηρέτηση Οχήματος Σχεδιασμού

Τέλος, η προτεινόμενη οριζοντιογραφική διαμόρφωση των δύο συνεργαζόμενων κυκλικών κόμβων σχεδιάστηκε με βάση την εξυπηρέτηση του οχήματος σχεδιασμού και την απρόσκοπτη διέλευσή του μέσω των δύο κόμβων. Τα οχήματα επιλέχθηκαν με βάση το μεγαλύτερο όχημα που διέρχεται από τον έναν και τον άλλο κόμβο και σύμφωνα με τις εθνικές προδιαγραφές (βλ. ενότητα 8.4). Τα παρακάτω διαγράμματα αποδεικνύουν ότι το όχημα σχεδιασμού εξυπηρετείται επαρκώς και απρόσκοπτα.



**Διάγραμμα 8.7.4 – 1 Κίνηση Ανατολή – Δύση και Δύση Ανατολή του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) παράλληλα με Ι.Χ. (μεγάλος κυκλικός κόμβος)**



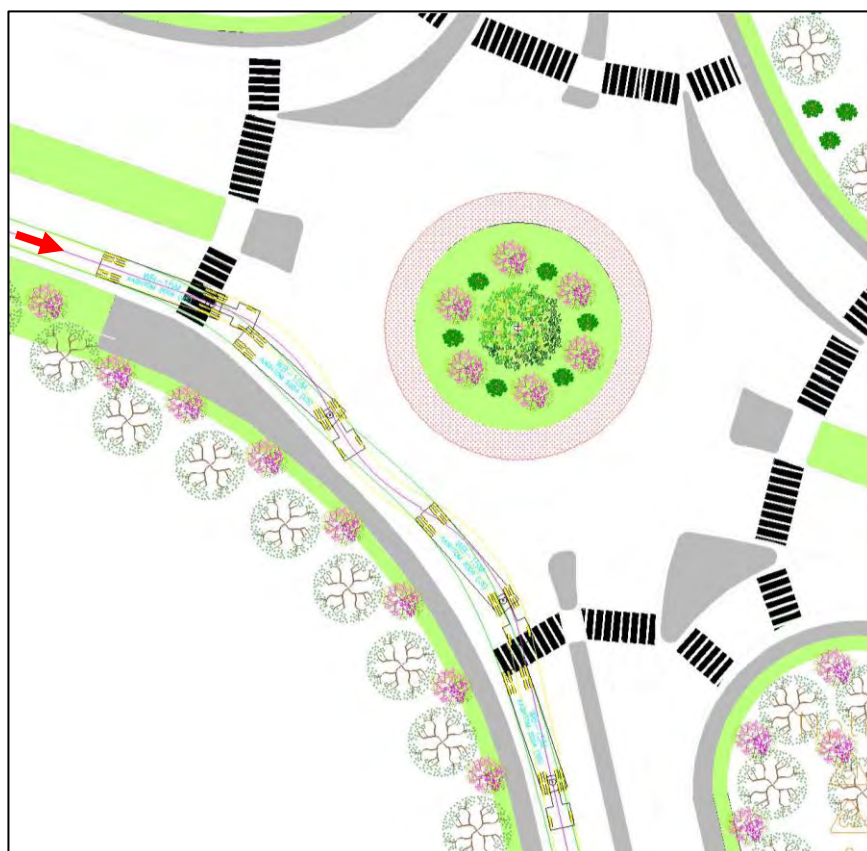
**Διάγραμμα 8.7.4 – 2** Κίνηση Ανατολή – Νότος του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) παράλληλα με Ι.Χ. (μεγάλος κυκλικός κόμβος)



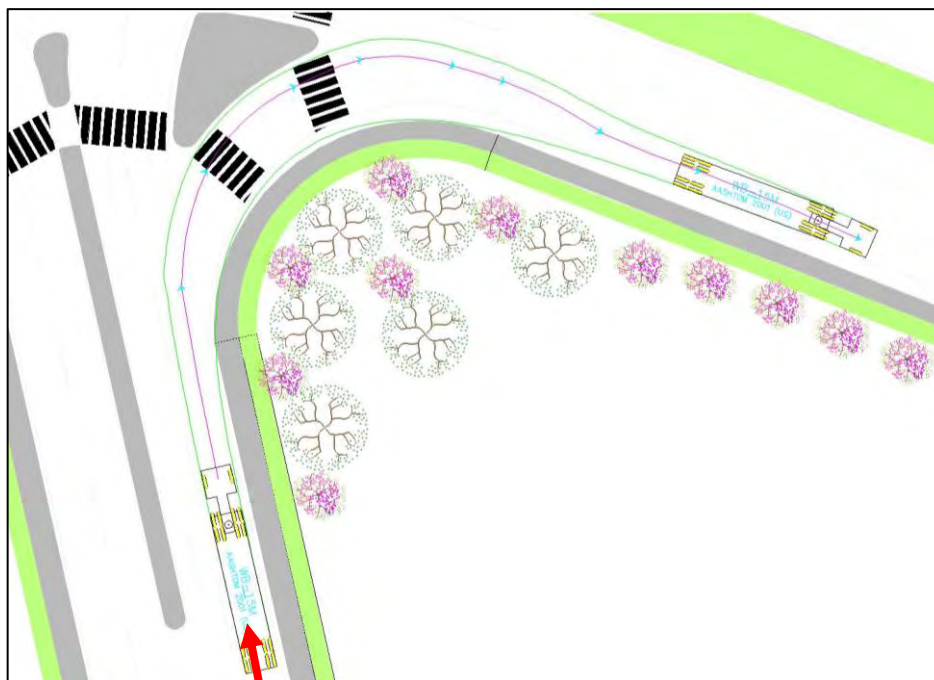
**Διάγραμμα 8.7.4 – 3** Κίνηση Ανατολή – Βορράς και Βορράς - Δύση του οχήματος σχεδιασμού (WB-15) (μεγάλος κυκλικός κόμβος)



**Διάγραμμα 8.7.4 – 4** Κίνηση Δύση – Βορράς του οχήματος σχεδιασμού (WB-15)  
(μεγάλος κυκλικός κόμβος)



**Διάγραμμα 8.7.4 – 5** Κίνηση Δύση – Νότος του οχήματος σχεδιασμού (WB-15)  
(μεγάλος κυκλικός κόμβος)



**Διάγραμμα 8.7.4 – 6** Κίνηση Νότος - Ανατολή του οχήματος σχεδιασμού (WB-15)  
(μεγάλος κυκλικός κόμβος)



**Διάγραμμα 8.7.4 – 7** Δυσχερέστερες κινήσεις του οχήματος σχεδιασμού (BUS-40) στο κομβίδιο

## Βιβλιογραφία

- [1] ΥΠΥΜΕΔΙ - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2011). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 10 Μέρος 2: **Κόμβοι Κυκλικής Κίνησης (ΟΜΟΕ - Κ3)**, Σύμβουλος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ, (Σχέδιο), Έκδοση 2011
- [2] ΥΠΕΧΩΔΕ - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχη: **Λειτουργική Κατάταξη Οδών - Διατομές - Χαράξεις Οδών (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ)**, Σύμβουλος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ, Έκδοση 2001
- [3] ΥΠΥΜΕΔΙ - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2011). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 10 Μέρος 1: **Ισόπεδοι Κόμβοι (ΟΜΟΕ - ΙΚ)**, Σύμβουλος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ, (Σχέδιο), Έκδοση 2011
- [4] ΥΠΕΧΩΔΕ - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 3 : **Χαράξεις (ΟΜΟΕ - Χ)**, Σύμβουλος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ, Έκδοση 2001
- [5] ΥΠΕΧΩΔΕ - Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 2 : **Διατομές (ΟΜΟΕ - Δ)**, Σύμβουλος: NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ, Έκδοση 2001
- [6] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Modern Roundabouts: **An Informational Guide, 2nd edition, Report 672**, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2010.
- [7] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP): **Roundabouts in the United States Report 572**, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2007.

[8] National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) **Roundabout Practices, Synthesis 488**, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2016.

[9] <http://www.transoftsolutions.com/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 21/05/2016.

[10] <https://www.youtube.com/channel/UC8rHIQ9gUZ-XM2v3IhxG6qW>, επίσημο κανάλι στο διαδικτυακό τόπο YouTube, τελευταία επίσκεψη: 21/05/2016.