

υπεραστικός αυτός κόμβος βρίσκεται στον Δήμο Ρεθύμνου και αποτελεί τμήμα του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.). Ο κόμβος αυτός αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα σημεία του Β.Ο.Α.Κ. για τους οδηγούς και ιδιαίτερα για όσους από αυτούς τον χρησιμοποιούν για πρώτη φορά (όπως οι επισκέπτες της πόλης) και δεν είναι εξοικειωμένοι με την κατάσταση που επικρατεί. Επισημαίνεται ότι σχεδόν αμέσως μετά την παράδοση του κόμβου στην κυκλοφορία διαπιστώθηκαν δυσλειτουργίες, κυρίως του ισόπεδου τμήματός του, καθώς σε αυτό συμβάλλουν έξι κλάδοι που εξυπηρετούν τις διάφορες κινήσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή.

Εν κατακλείδι λόγω του ότι έως τη στιγμή συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν έχει αναπτυχθεί λογισμικό που να αυτοματοποιεί τον σχεδιασμό ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου, η δημιουργία του λογισμικού που παρουσιάζεται εδώ θα αυτοματοποιούσε τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου και θα παρείχε την απαραίτητη βοήθεια στον μηχανικό ώστε να εξετάσει περισσότερες λύσεις και να βρει τη βέλτιστη χάραξη για έναν κόμβο. Παράλληλα όμως υπάρχουν προφανώς πολλά ακόμη που οφείλουν να διερευνηθούν σχετικά με το λογισμικό αυτό ώστε να γίνει περισσότερο φιλικό προς τον χρήστη και να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία του.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας.....	2
1.3 Δομή	3
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	4
2.1 Κυκλοφοριακοί κόμβοι	4
2.2 Θεμελιώδεις αρχές διαμόρφωσης κόμβων.....	4
2.3 Είδη κόμβων.....	4
2.3.1 Ισόπεδος κόμβος.....	5
2.3.2 Ανισόπεδος κόμβος	6
2.3.3 Ελιγμοί και σημεία εμπλοκής.....	7
2.4 Κυκλικοί κόμβοι.....	9
2.4.1 Ορισμός	9
2.4.2 Ιστορική αναδρομή.....	11
2.4.3 Διάκριση Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους.....	14
2.4.4 Είδη κυκλικών κόμβων	17
2.4.4.1 Ανισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabout Interchanges)	17
2.4.4.2 Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabouts)	18
2.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ισόπεδων κυκλικών κόμβων	19
2.4.5.1 Ασφάλεια.....	19
2.4.5.2 Κυκλοφοριακή Ικανότητα και Καθυστερήσεις	23
2.4.5.3 Αποδεκτό κόστος κατασκευής και λειτουργίας	23
2.4.5.4 Ικανοποιητική προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο	24
2.4.5.5 Παρατηρήσεις	24
3. Ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι	25
3.1 Τυπικοί κυκλικοί κόμβοι	25
3.1.1 Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts)	25
3.1.2 Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας (Single-Lane Roundabouts)	28
3.1.3 Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων (Two-Lane Roundabouts)	31
3.2 Ειδικές Μορφές Κυκλικών Κόμβων	37
3.2.1 Κυκλικοί Κόμβοι με Αποκλειστικές Λωρίδες Δεξιών Στροφών ή Κυκλικοί Κόμβοι τύπου «Άνθος» (Flower Roundabout).....	37

3.2.2 «Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος (Magic Roundabout)	39
3.2.3 Σπειροειδείς Κυκλικοί Κόμβοι (Turbo Roundabouts)	40
3.2.3.1 Γεωμετρικός σχεδιασμός.....	48
3.2.3.2 Κυκλοφοριακή Σήμανση.....	51
4. Αναλυτικές σχέσεις για τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου.....	53
4.1 Γενικά	53
4.2 Σχεδιασμός της κυκλοτερούς επιφάνειας και των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο	53
4.3 Κατευθυντήριες διαχωριστικές νησίδες	58
4.3.1 Διαγραμμισμένη περιοχή κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας	58
4.3.2 Υπερυψωμένη μη βατή περιοχή της κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας.....	61
4.4 Οριογραμμές εισόδου και εξόδου.....	66
4.4.1 Οριογραμμές εισόδου.....	66
4.4.2 Οριογραμμές εξόδου	70
5. Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου	75
5.1 Γενικά.....	75
5.2 Ανασκόπηση υπάρχοντος λογισμικού ειδικευμένου στον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων	75
5.3 Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό σπειροειδούς κυκλικού κόμβου	79
5.4 Παράδειγμα σχεδιασμού Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου	81
5.4.1 Παρουσίαση υπάρχουσας κατάστασης στην περιοχή	81
5.4.2 Συλλογή στοιχείων για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου.....	83
5.4.3 Επιλογή αριθμητικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού του Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου	85
6. Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	91
6.1 Συμπεράσματα.....	91
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	92
Βιβλιογραφία	93

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι κυκλοφοριακοί κόμβοι, ισόπεδοι και ανισόπεδοι, αποτελούν κρίσιμα σημεία του οδικού δικτύου, καθώς αποτελούν τα σημεία εκείνα όπου οι οδηγοί επιλέγουν διαδρομές ούτως ώστε να πραγματοποιούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί προελεύσεων-προορισμών κάνοντας χρήση του ελάχιστου δυνατού οδικού δικτύου. Καθώς οι οδηγοί προσεγγίζουν τους κόμβους μειώνουν ή και μηδενίζουν την ταχύτητα που είχαν αποκτήσει, συνεπώς οι κόμβοι αποτελούν κρίσιμα σημεία του οδικού δικτύου από άποψη: α) ικανότητας, β) επιπέδου εξυπηρέτησης και γ) ασφάλειας. Επίσης ο σχεδιασμός των κόμβων πρέπει να είναι προσαρμοσμένος στις ανάγκες των χρηστών της οδού που είτε δεν είναι εξοικειωμένοι με την περιοχή, είτε δε διαθέτουν μεγάλη εμπειρία στην οδήγηση, είτε είναι ηλικιωμένοι, είτε όλα τα παραπάνω.

Οι σύγχρονοι κυκλικοί κόμβοι αποτελούν μια μορφή ισόπεδων κυκλοφοριακών κόμβων και αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια να εξαλειφθούν τα κυκλοφοριακά προβλήματα που παρουσιάστηκαν από την χρήση παλαιότερων κυκλοφοριακών κύκλων τις περασμένες δεκαετίες. Τα κυκλοφοριακά προβλήματα που προέκυψαν οφείλονταν κυρίως στην αύξηση του αριθμού των οχημάτων και των ταχυτήτων τους καθώς προκλήθηκε μείωση της κυκλοφοριακής ικανότητας των διασταυρώσεων και αύξηση του αριθμού των ατυχημάτων που λάμβαναν χώρα σε τέτοιου είδους διασταυρώσεις. Στην Ελλάδα η χρήση των σύγχρονων κυκλικών κόμβων είναι ιδιαίτερα περιορισμένη και αντί αυτών υφίστανται ακόμα παλιότερου τύπου κυκλικές διασταυρώσεις οι οποίες γενικά ονομάζονται πλέον κυκλοφοριακοί κύκλοι και διαφέρουν τόσο στη λειτουργία όσο και στον σχεδιασμό τους σε σχέση με τους σύγχρονους κυκλικούς κόμβους. Η κατασκευή κυκλικών κόμβων στην Ελλάδα στη θέση σηματοδοτημένων διασταυρώσεων θα συνεπικουρούσε στη μείωση του αριθμού αλλά και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων που εμφανίζονται ιδιαίτερα συχνά στις διασταυρώσεις οπότε θα αυξανόταν το επίπεδο ασφάλειας στους κόμβους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από τέτοια οδικά ατυχήματα.

1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία θέτει ως στόχο την αποσαφήνιση των χαρακτηριστικών στοιχείων των σύγχρονων ισόπεδων κυκλικών κόμβων και τις διαφορές σε επίπεδο λειτουργίας και σχεδιασμού που αυτοί διαθέτουν έναντι άλλων ισόπεδων διαμορφώσεων, ιδιαίτερα σε επίπεδο ασφάλειας, λειτουργικότητας, ικανότητας και εξυπηρέτησης της κυκλοφορίας. Επιπρόσθετος στόχος αποτελεί η παρουσίαση και όσο το δυνατόν λεπτομερέστερη ανάλυση των χαρακτηριστικών στοιχείων μιας ειδικής μορφής ισόπεδου κυκλικού κόμβου, του σπειροειδούς (Turbo Roundabout), η ιδέα της οποίας αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 με σκοπό την απαλοιφή των κυκλοφοριακών προβλημάτων που είχαν προκληθεί από τη χρήση κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων με παράλληλη διατήρηση της αυξημένης χωρητικότητας που οι τελευταίοι διέθεταν.

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας όμως είναι επίσης η δημιουργία λογισμικού ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο θα είναι φιλικό προς τον χρήστη και θα συντελέσει στην προσπάθεια αυτοματοποίησης του σχεδιασμού του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Γίνεται συνεπώς η προσπάθεια, έστω και στα στενά χρονικά περιθώρια μιας διπλωματικής εργασίας, να δημιουργηθεί ένα λογισμικό το οποίο θα αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για τον μελετητή μηχανικό ο οποίος επιθυμεί να σχεδιάσει έναν σπειροειδή κυκλικό κόμβο.

1.3 Δομή

Η δομή της παρούσας διπλωματικής θα είναι:

- Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται οι βασικές έννοιες των ισόπεδων και ανισόπεδων κυκλοφοριακών κόμβων και ορίζεται ο σύγχρονος ισόπεδος κυκλικός κυκλοφοριακός κόμβος. Γίνεται αναφορά στις διαφορές μεταξύ των παλαιότερων κυκλικών διαμορφώσεων και των σύγχρονων κυκλικών κόμβων.
- Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα είδη των τυπικών ισόπεδων κυκλικών κόμβων ανάλογα με τη χωρητικότητά τους και την κυκλοφοριακή τους ικανότητα. Αναφέρονται επίσης κάποιες ιδιαίτερες μορφές ισόπεδων κυκλικών κόμβων και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον τύπο των σπειροειδών κυκλικών κόμβων (turbo roundabouts). Ορίζεται ο σπειροειδής κυκλικός κόμβος, παρουσιάζονται οι αρχές σχεδιασμού που τον διέπουν καθώς επίσης και τα αντίστοιχα γεωμετρικά στοιχεία.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναλυτικές σχέσεις βάσει των οποίων προκύπτουν τα γεωμετρικά στοιχεία που αποτελούν τον σπειροειδή κυκλικό κόμβο και θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του αντίστοιχου λογισμικού.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση του λογισμικού που αναπτύχθηκε, σύμφωνα με τους κανονισμούς, για τον σχεδιασμό ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το ισόπεδο τμήμα του κόμβου Ατσιποπούλου στην περιοχή του Ρεθύμνου (B.O.A.K.), όπως επίσης και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι χρήστες του τμήματος του συγκεκριμένου κόμβου. Προτείνεται η εφαρμογή της λύσης του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου στο τμήμα αυτό, σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν όπως κυκλοφοριακοί φόρτοι, τοπογραφικός χάρτης της περιοχής κ.α.
- Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και προτείνονται κατευθύνσεις για περαιτέρω διερεύνηση στο λογισμικό σχεδιασμού των σπειροειδών κυκλικών κόμβων.
- Στη βιβλιογραφία παρουσιάζονται όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές της διπλωματικής εργασίας.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Κυκλοφοριακοί κόμβοι

Για την κάλυψη των αναγκών μετακίνησης προσώπων και αγαθών απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλου συστήματος μεταφορών, του οποίου βασικό στοιχείο αποτελεί το οδικό δίκτυο. Το οδικό δίκτυο συντίθεται από οδικούς άξονες (οδούς) και κυκλοφοριακούς κόμβους. Οι κυκλοφοριακοί κόμβοι αποτελούν κρίσιμα στοιχεία του οδικού δικτύου ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές και δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι σε αυτούς παρατηρούνται τα περισσότερα ατυχήματα και δημιουργούνται τα μεγαλύτερα προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Οι **κυκλοφοριακοί κόμβοι** δημιουργούνται καθώς οι οδοί συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματιστεί το οδικό δίκτυο. Όταν μια οδός απολήγει σε άλλη δημιουργείται συμβολή, ενώ όταν διασταυρώνονται προκύπτει διασταύρωση. Κάθε οδός που ξεκινά ακτινοειδώς από τον κόμβο και αποτελεί μέρος του καλείται κλάδος του κόμβου. Το είδος του κόμβου καθορίζεται κυρίως από τον κυκλοφοριακό φόρτο και την ενσωμάτωση του κόμβου στο υπόλοιπο οδικό δίκτυο.

2.2 Θεμελιώδεις αρχές διαμόρφωσης κόμβων

Οι κόμβοι, όπως προαναφέρθηκε, κατέχουν σημαντικό ρόλο στο οδικό δίκτυο αφού από την ποιότητα λειτουργίας τους, επηρεάζονται η ασφάλεια, η ταχύτητα, το κόστος λειτουργίας και η κυκλοφοριακή ικανότητα. Επομένως, κατά τη διαμόρφωση των κόμβων πρέπει να εξασφαλίζονται τα παρακάτω:

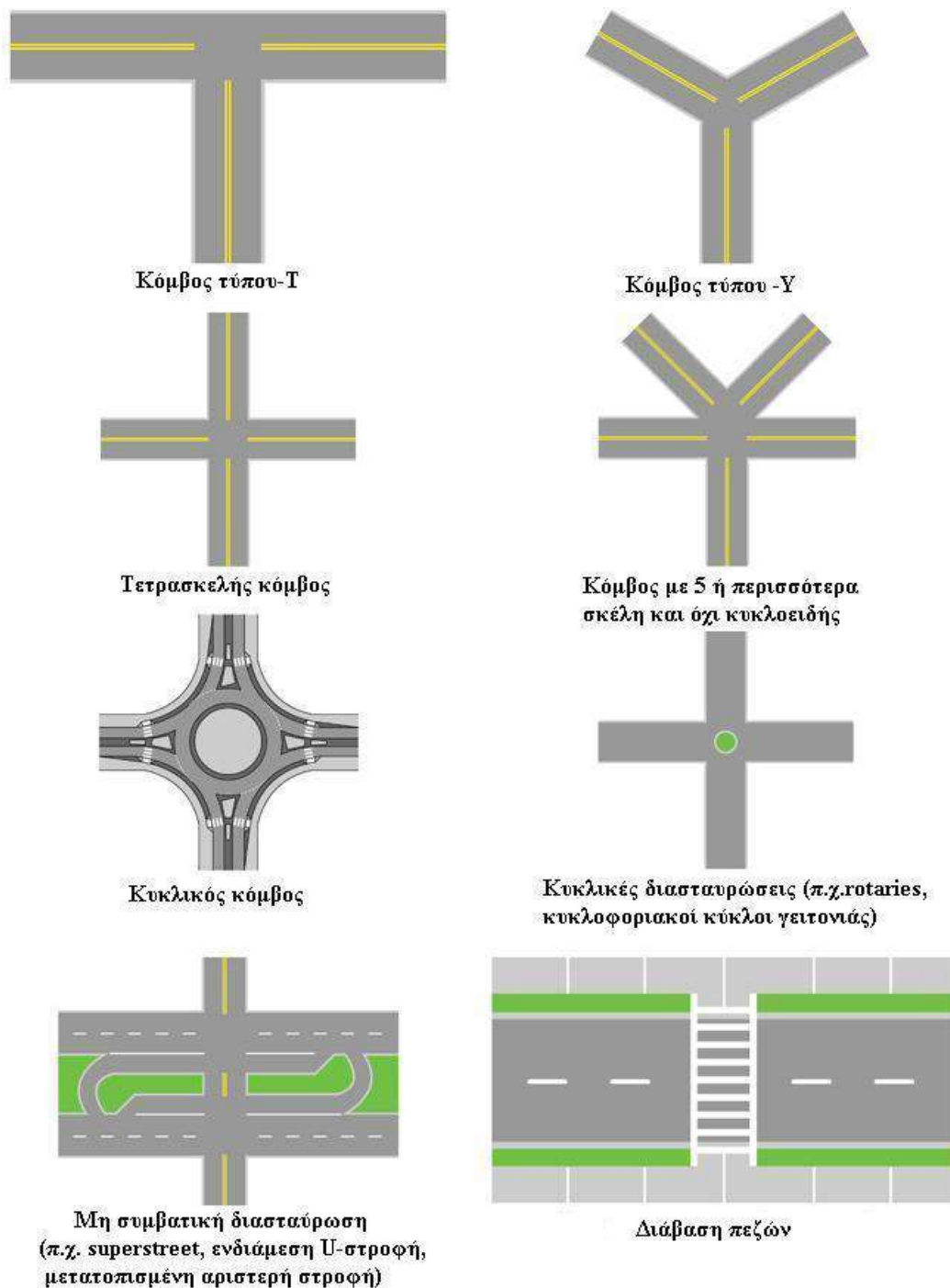
- ασφάλεια της κυκλοφορίας
- επαρκής κυκλοφοριακή ικανότητα
- αποδεκτό κόστος κατασκευής και λειτουργίας
- ικανοποιητική προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο

2.3 Είδη κόμβων

Η διάκριση των κόμβων γίνεται σε δύο κατηγορίες, τους **ισόπεδους** και τους **ανισόπεδους**.

2.3.1 Ισόπεδος κόμβος

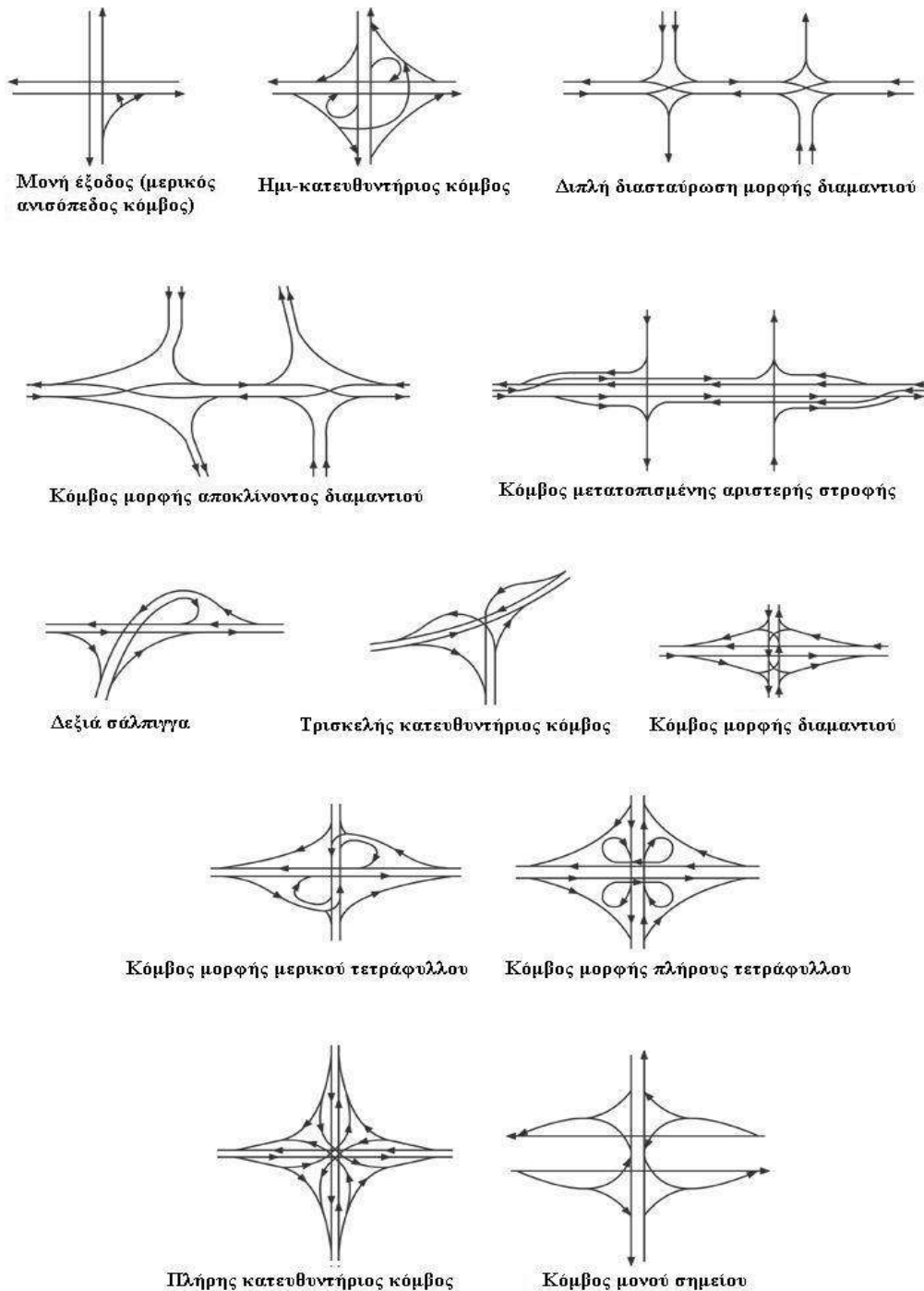
Ισόπεδος κόμβος (at grade intersection) είναι η περιοχή όπου συνδέονται ισόπεδα δύο ή περισσότερες οδοί συμπεριλαμβανομένων των διαμορφώσεων – εξοπλισμού των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας.



Εικόνα 2. 1 Χαρακτηριστικές μορφές ισόπεδων κόμβων

2.3.2 Ανισόπεδος κόμβος

Ανισόπεδος κόμβος (interchange) είναι η περιοχή όπου συνδέονται ανισόπεδα δύο ή περισσότερες οδοί συμπεριλαμβανομένων των έργων υψομετρικού διαχωρισμού, των οδικών κλάδων σύνδεσης (ράμπες) και των διαμορφώσεων – εξοπλισμού των οδών και του παρόδιου χώρου για την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας. Επισημαίνεται ότι η απλή ανισόπεδη διασταύρωση (π.χ. κάτω διάβαση) δεν είναι ανισόπεδος κόμβος.

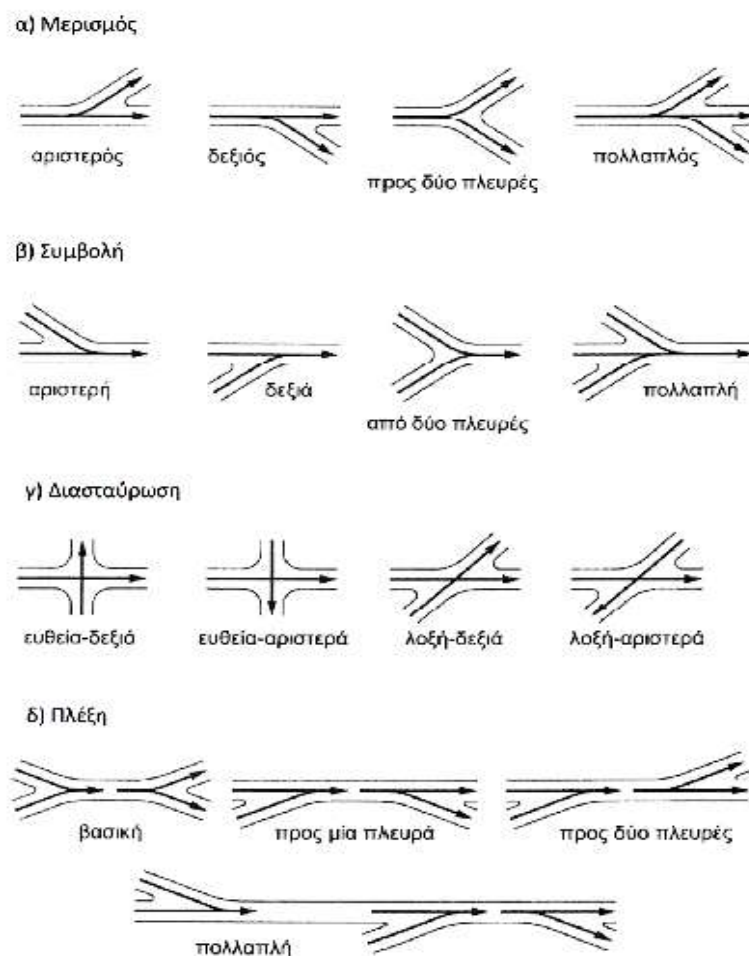


Εικόνα 2. 2 Λειτουργικά σκαριφήματα ανισόπεδων κόμβων

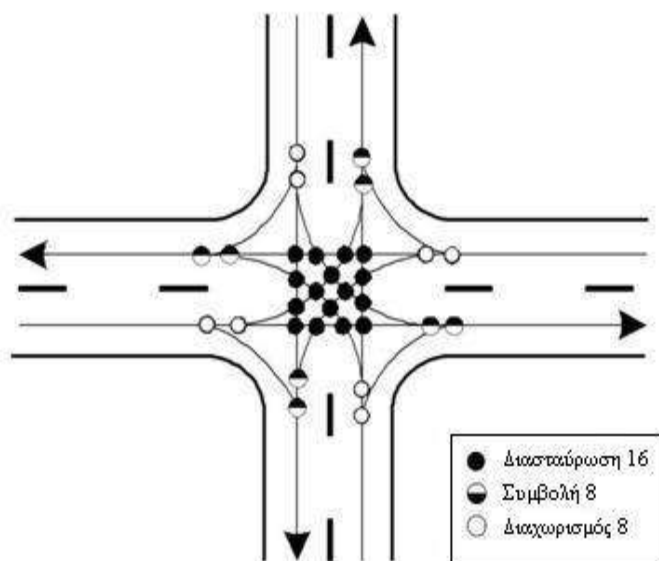
2.3.3 Ελιγμοί και σημεία εμπλοκής

Κάθε κόμβος εξυπηρετεί ελιγμούς διερχόμενης ή διασταυρούμενης κυκλοφορίας επί μίας ή περισσότερων οδών και ελιγμούς αλλαγής επιπέδου ή στροφών μεταξύ αυτών. Στα σημεία συνάντησης (εμπλοκής) των κυκλοφοριακών ρευμάτων στους ισόπεδους κόμβους διακρίνονται τρεις τύποι ελιγμών: (α) **χωρισμός**, (β) **συμβολή** και (γ) **διασταύρωση**. Οι ελιγμοί ονομάζονται **στοιχειώδεις** όταν συναντώνται μόνο δύο κυκλοφοριακά ρεύματα μιας λωρίδας και μιας κατεύθυνσης ή **πολλαπλοί** όταν συναντώνται περισσότερα ρεύματα μιας λωρίδας και μιας κατεύθυνσης. Όταν ένας ελιγμός συμβολής δύο ρευμάτων ακολουθείται σε μικρή απόσταση από έναν ελιγμό διαχωρισμού δημιουργείται ένας σύνθετος ελιγμός που ονομάζεται **πλέξη**.

Όσο αυξάνεται ο αριθμός των σκελών ενός κόμβου, αυξάνεται ο αριθμός των σημείων εμπλοκής των κυκλοφοριακών ρευμάτων, ιδιαίτερα όταν ορισμένα ή όλα τα σκέλη είναι διπλής κατεύθυνσης ή/ και έχουν περισσότερες από μία λωρίδες.



Εικόνα 2. 3 Τύποι ελιγμών στους κόμβους



Εικόνα 2. 4 Διάγραμμα ελιγμών σε ισόπεδο τετρασκελή κόμβο

2.4 Κυκλικοί κόμβοι

2.4.1 Ορισμός

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

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

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

- **Περιστροφικές Κυκλοφοριακές Διαμορφώσεις (Rotaries):** Πρόκειται για παλαιές κυκλικές διαμορφώσεις με συχνή εφαρμογή ιδιαίτερα στις Η.Π.Α. μέχρι τη δεκαετία του 1960, αλλά και σε ευρωπαϊκές πόλεις. Χαρακτηριστικό τους αποτελεί η πολύ μεγάλη διάμετρός τους σε κάποιες περιπτώσεις μεγαλύτερη ακόμη και των 100m, γεγονός που επέτρεπε τη διατήρηση υψηλών ταχυτήτων (>50km/h), ενώ συχνό φαινόμενο αποτελούσαν οι προσπεράσεις οχημάτων, αφού η κίνηση εντός του κυκλικού δακτυλίου πραγματοποιούνταν σε δύο ή περισσότερες λωρίδες. Συχνά ήταν και τα οδικά ατυχήματα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό οφείλονταν και στο ότι οι περισσότερες περιστροφικές διασταυρώσεις λειτουργούσαν σύμφωνα με τον κανόνα της **Δεξιάς Προτεραιότητας (yield to the right)**, δηλαδή τα οχήματα που κινούνταν εντός της διασταύρωσης, στον κυκλικό δακτύλιο, έπρεπε να

διακόπτουν την κίνησή τους και να παραχωρούν την προτεραιότητα της κυκλοφορίας στα οχήματα που εισέρχονται στην κυκλική οδό, γεγονός που είχε ως άμεσες συνέπειες αφ' ενός υψηλές ταχύτητες εισόδου των οχημάτων και αφ' ετέρου τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης στον κυκλικό δακτύλιο και κατ' επέκταση στις προσβάσεις, υποβαθμίζοντας τη στάθμη εξυπηρέτησης και τη λειτουργικότητα της διασταύρωσης. Στην πλειοψηφία των διασταυρώσεων αυτού του είδους, στην κεντρική νησίδα υπήρχαν μνημεία ή ακόμα και κτήρια (πχ. μικρά καταστήματα). Οι περιστροφικές διασταυρώσεις εγκαταλείφθηκαν κυρίως λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης που προκαλούσαν, της περιορισμένης κυκλοφοριακής ικανότητάς τους, αλλά και λόγω των υψηλών δεικτών ατυχημάτων (NCHRP & FHWA, 2010).

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

Ειδικότερα στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί στο παρελθόν πολλοί **Κυκλοφοριακοί Κύκλοι Γειτονιάς** με όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που τους καθιστούν αναποτελεσματικούς ως προς τη διαχείριση της κυκλοφορίας και κυρίως ως προς την ασφάλεια τόσο των επιβαινόντων σε οχήματα όσο και των πεζών και των ποδηλατών που κυκλοφορούν στην περιοχή του κόμβου και επιθυμούν να διασχίζουν εγκάρσια τις προσβάσεις του. Παρατηρείται το φαινόμενο λοιπόν της προτεραιότητας της δεξιάς κίνησης, δηλαδή τα οχήματα που κυκλοφορούν στον κυκλικό δακτύλιο υποχρεούνται να διακόπτουν την πορεία τους και να σταματούν όποτε κάποιο όχημα προσεγγίζει τη γραμμή εισόδου και επιθυμεί να εισέλθει στον κυκλικό δακτύλιο, παραχωρώντας του την προτεραιότητα. Οι πεζοί δεν διαθέτουν προτεραιότητα κίνησης και είναι αναγκασμένοι να αναμένουν μέχρι να δημιουργηθεί επαρκές χρονικό κενό στην κυκλοφορία της οδού που επιθυμούν να διαβούν και τότε να το πράξουν. Οι διαβάσεις δε, είναι τοποθετημένες ακριβώς στην είσοδο και όχι σε κάποια απόσταση από αυτή. Ένα επίσης επισφαλές για την κυκλοφορία φαινόμενο είναι αυτό της στάθμευσης οχημάτων εντός του κυκλικού δακτυλίου, καθώς υπάρχουν και πολλά εμπορικά καταστήματα περιφερειακά αυτού, τα οποία

πέραν της αυξημένης κυκλοφορίας πεζών που προκαλούν στη στενή περιοχή του κόμβου αποκόπτουν τα απαιτούμενα πεδία ορατότητας για τους οδηγούς των οχημάτων.

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

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

2.4.2 Ιστορική αναδρομή

Κυκλικές διασταυρώσεις προϋπήρχαν των κυκλικών κόμβων, συμπεριλαμβανομένων των: “Circus”, στην αγγλική πόλη Batha που αποτελεί μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς ολοκληρωμένο το 1768, “Place de l’Étoile” που περιβάλλει την Αψίδα του Θριάμβου (Arc de Triomphe) και κατασκευάστηκε στο Παρίσι το 1907, “Columbus Circle” (Κύκλος του Κολόμβου) στη Νέα Υόρκη κατασκευασμένος το 1904 και αρκετών άλλων κυκλοφοριακών κύκλων στην

Ουάσινγκτον. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και εισόδου αυτών των κύκλων διαφέρουν σημαντικά από τους σύγχρονους κυκλικούς κόμβους.

Ακολούθως κατασκευάστηκαν και άλλες κυκλικές διασταυρώσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, αν και αρκετές ήταν μεγάλης διαμέτρου περιστροφικές κυκλικές διαμορφώσεις (rotaries) που επέτρεπαν ελιγμούς συμβολής και πλέξης υψηλών ταχυτήτων. Η παραχώρηση προτεραιότητας στα εισερχόμενα στον κόμβο οχήματα σήμαινε ότι κυκλοφορούσαν στον κυκλικό δακτύλιο περισσότερα οχήματα από αυτά που μπορούσε να εξυπηρετήσει, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης η οποία μπορούσε να εξομαλυνθεί μόνο με παρέμβαση της τροχαίας. Η συνολική εμπειρία από τη χρήση κυκλοφοριακών κύκλων στις Η.Π.Α. ήταν σχεδόν εξ' ολοκλήρου αρνητική, αφού χαρακτηρίζονταν από υψηλούς δείκτες ατυχημάτων και σημαντικά προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Συνεπώς, μέχρι τα μέσα του 1950 η κατασκευή κυκλοφοριακών κύκλων είχε εκλείψει ολοκληρωτικά τόσο στις Η.Π.Α. όσο και σε άλλες χώρες που παρουσίαζαν αντίστοιχα προβλήματα, μέχρι την ανάπτυξη του σύγχρονου κυκλικού κόμβου στο Ηνωμένο Βασίλειο τη δεκαετία του 1970.



Εικόνα 2.5 Ο «Κύκλος του Κολόμβου» στη Νέα Υόρκη (<http://en.wikipedia.org>)



Εικόνα 2.6 Κυκλικός κόμβος περιμετρικά της Αψίδας του Θριάμβου στο Παρίσι
(<http://www.roumanie-france.ro>)

Ο κυκλικός κόμβος (roundabout) στη σύγχρονη μορφή του αναπτύχθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο με σκοπό την αποκατάσταση των προβλημάτων που ανέκυψαν από τη χρήση των κυκλοφοριακών κύκλων (traffic circles). Το 1966 η χώρα υιοθέτησε και εφάρμοσε σε όλες τις κυκλικές διασταυρώσεις έναν υποχρεωτικό κανόνα που υπαγόρευε στο εισερχόμενο κυκλοφοριακό ρεύμα να παραχωρεί προτεραιότητα κίνησης στα οχήματα που κινούνταν εντός του κυκλικού δακτυλίου της διασταύρωσης. Ο κανόνας αυτός απέτρεπε τη δημιουργία συμφόρησης εντός της κυκλικής διασταύρωσης αφού τα οχήματα δεν επιτρέπεται να εισέλθουν στη διασταύρωση μέχρι να υπάρχει επαρκής χρονικός διαχωρισμός στην κυκλοφορία εντός αυτής (Issue Brief- Institute of Transportation Engineers, 2004). Επιπλέον, προτάθηκε ο σχεδιασμός κυκλικών διασταυρώσεων μικρότερης διαμέτρου με κατάλληλη γεωμετρία ούτως ώστε να επιτευχθούν μικρότερες ταχύτητες εισόδου και κυκλοφορίας εντός αυτών (Roundabouts: An Informational Guide, FHWA, 2000).

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 διαφέρουν σημαντικά από τους παλαιότερους κυκλοφοριακούς κύκλους όσον αφορά στη λειτουργικότητά τους αλλά και στον σχεδιασμό τους. Το γεγονός ότι οι κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν ουσιαστική βελτίωση σε επίπεδο λειτουργικότητας και ασφάλειας σε σχέση με τους κυκλοφοριακούς κύκλους οδήγησε πολλές χώρες να τους υιοθετήσουν ως διαδεδομένη μορφή διασταύρωσης και αρκετές έχουν αναπτύξει εκτενείς οδηγίες σχεδιασμού και μεθόδους αξιολόγησης της λειτουργικής απόδοσης τους.

2.4.3 Διάκριση Κυκλικών Κόμβων από παλαιότερους Κυκλοφοριακούς Κύκλους

Είναι σημαντικό να γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ των κυκλικών κόμβων και των κυκλοφοριακών κύκλων. Συνήθως οι διαφορές αυτές δεν είναι εμφανείς και είναι πιθανόν οι κυκλοφοριακοί κύκλοι να χαρακτηριστούν εκ παραδρομής ως κυκλικοί κόμβοι. Για το λόγο αυτό στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαφορές μεταξύ κυκλοφοριακών κύκλων και κυκλικών κόμβων.

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

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

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

Υπάρχουν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά στοιχεία που υιοθετούνται κατά τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων αποσκοπώντας στην αύξηση της ασφάλειας ή/και της κυκλοφοριακής ικανότητας του κόμβου. Ωστόσο η απουσία τους δεν αποκλείει απαραίτητα ότι η διασταύρωση δε λειτουργεί ως κυκλικός κόμβος. Τα πρόσθετα αυτά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εκτροπή τροχιάς εισόδου (entry path deflection): Η χάραξη των καμπύλων εισόδου πραγματοποιείται με τόξα κατάλληλης (μικρής) ακτίνας ώστε να μειώνεται η ταχύτητα προσέγγισης και εισόδου των οχημάτων, προς την ασφάλεια φυσικά των χρηστών.

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

Τα **λειτουργικά χαρακτηριστικά** που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό κυκλικών κόμβων ενδεικτικά είναι:

- Ταχύτητα Μελέτης: Είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των ταχυτήτων μελέτης και μάλιστα διαφορετικών στα διάφορα τμήματα του κόμβου.
- Κυκλοφοριακές Ικανότητες Στοιχείων του Κόμβου: Ο υπολογισμός της Κυκλοφοριακής Ικανότητας στοιχείων του κόμβου (π.χ. σε περιοχές πλέξης, στα διάφορα σκέλη κτλ.) βάσει των Οδικών, Κυκλοφοριακών και Λειτουργικών Συνθηκών είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό και την τελική διαμόρφωση του κόμβου.
- Μήκη ορατότητας: Τα μήκη αυτά κρίνονται μείζονος σημασίας προκειμένου να καθοριστούν ακολούθως συγκεκριμένες γεωμετρικές παράμετροι.

- Όχημα Σχεδιασμού: Ιδιαίτερα σε κόμβους οδών, των οποίων η σύνθεση κυκλοφορίας περιλαμβάνει σε σημαντικό ποσοστό βαρέα οχήματα, θα πρέπει ο σχεδιασμός να είναι τέτοιος ώστε ο κόμβος να δύναται να εξυπηρετήσει ανεμπόδιστα τη ροή τέτοιων οχημάτων. Επιλέγεται λοιπόν ένα όχημα με χαρακτηριστικά τέτοια ώστε όταν χρειαστεί να εξυπηρετηθεί επί παραδείγματι ένα φορτηγό τεσσάρων αξόνων αυτό να καταστεί δυνατό ακόμα κι αν σημαίνει πως το όχημα θα πρέπει να χρησιμοποιήσει επιπλέον της διαθέσιμης επιφάνειας οδοστρώματος μία ελαφρώς υπερυψωμένη ζώνη με κράσπεδο (curb) ελάχιστου ύψους περί τα 3cm και μέγιστου 7cm, που εκτείνεται περιμετρικά της κεντρικής νησίδας και ονομάζεται περιμετρική ζώνη – ποδιά (apron).

2.4.4 Είδη κυκλικών κόμβων

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

2.4.4.1 Ανισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabout Interchanges)

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

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

(δεύτερο) ή στο χαμηλότερο (πρώτο). Το κόστος της εξαρχής κατασκευής δεν είναι υπερβολικό και συγκρίνεται με αυτό άλλων, ίδιας λειτουργίας κόμβων (The Highways Agency et al., 2007).

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

2.4.4.2 Ισόπεδοι Κυκλικοί Κόμβοι (Roundabouts)

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

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

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

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

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

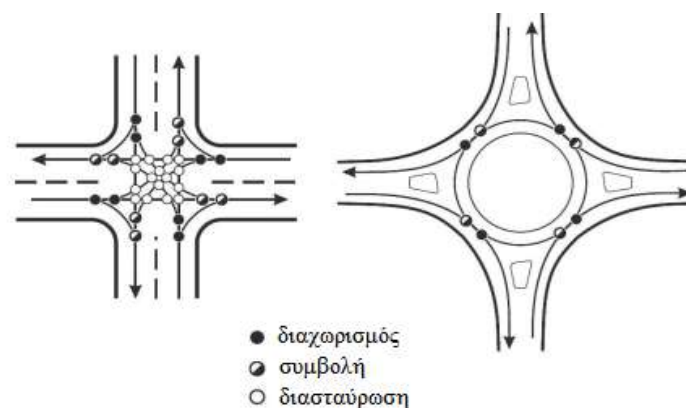
2.4.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ισόπεδων κυκλικών κόμβων

Όπως προαναφέρθηκε οι θεμελιώδεις αρχές που διέπουν το σχεδιασμό ενός κόμβου είναι η ασφάλεια της κυκλοφορίας, η επαρκής κυκλοφοριακή ικανότητα, το αποδεκτό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και η ικανοποιητική προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο. Προτιμήθηκε να ταξινομηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κυκλικών κόμβων σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά ώστε να είναι πιο εύκολη η σύγκρισή τους με τα άλλα είδη κόμβων.

2.4.5.1 Ασφάλεια

Ασφάλεια της κυκλοφορίας

Οποιαδήποτε σχετική έρευνα σε Ευρώπη και Αμερική επαληθεύει και ενισχύει το ήδη γνωστό επιχείρημα των κυκλικών κόμβων ως της ασφαλέστερης μορφής ισόπεδου κόμβου. Αρκεί να παρατηρήσουμε την εικόνα 2.7, από την οποία προκύπτει η μείωση των σημείων εμπλοκής μεταξύ οχημάτων, από 32 σε έναν τυπικό τετρασκελή ισόπεδο κόμβο, σε 8 σε έναν αντίστοιχο κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας.

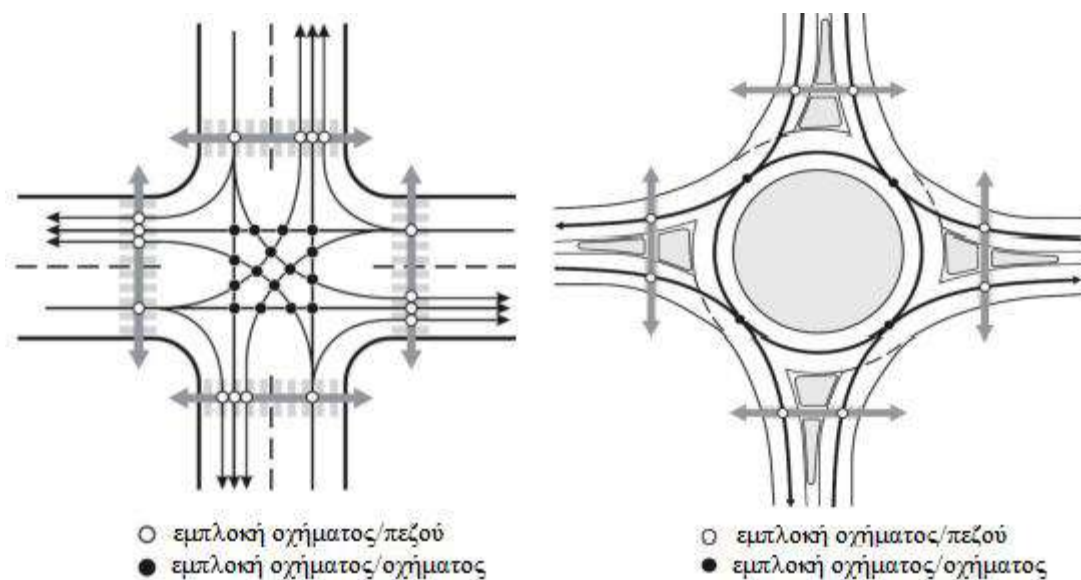


Εικόνα 2.7 Σημεία Εμπλοκής Οχημάτων σε τυπικό 4σκελή και σε αντίστοιχο κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).

Επιπρόσθετα, εξαλείφεται η εμπλοκή της διασταύρωσης οπότε αποτρέπονται οι κάθετες πλαγιομετωπικές συγκρούσεις και γενικά οι συγκρούσεις υπό μεγάλη γωνία, καθώς οι οδηγοί υποχρεώνονται σε κοινής φοράς τροχιά κίνησης, ενώ εξαιτίας της γεωμετρίας της χάραξης διατηρούνται χαμηλές λειτουργικές ταχύτητες. Απόρροια όλων των παραπάνω είναι η αισθητή μείωση τόσο του αριθμού όσο και της σοβαρότητας των οδικών ατυχημάτων σε έναν κυκλικό κόμβο, καθώς η σοβαρότητα όσων ατυχημάτων συμβαίνουν περιορίζεται σε υλικές ζημιές. Επίσης, αισθητά μειωμένη είναι η εμφάνιση της περίπτωσης νωτομετωπικών συγκρούσεων που συναντάται σε σηματοδοτημένους κόμβους, καθώς παύει να υφίσταται το κίνητρο της επιτάχυνσης κατά την εμφάνιση του πράσινου σηματοδότη ή της επιβράδυνσης – ακινητοποίησης αντίστοιχα κατά την εμφάνιση του κόκκινου.

Ασφάλεια πεζών

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



Εικόνα 2.8 Σημεία Εμπλοκής Οχημάτων με Πεζούς σε τυπικό 4σκελή και σε αντίστοιχο κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).

Ενδεικτική είναι, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.8, η μείωση των σημείων εμπλοκής πεζού με όχημα σε κάθε πρόσβαση ενός κόμβου, από τέσσερα (δεκαέξι συνολικά) σε έναν τυπικό τετρασκελή κόμβο, σε δύο (οκτώ συνολικά) σε έναν αντίστοιχο κυκλικό.

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

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

Ασφάλεια ποδηλατών

Οι ποδηλάτες συνιστούν μία ιδιόζουσα κατηγορία χρηστών τόσο των οδών και των κόμβων γενικότερα, όσο και των κυκλικών κόμβων συγκεκριμένα. Σε αστικό κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας, αν η Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (Μ.Η.Κ.) δεν ξεπερνά τα 15000 οχήματα είναι αποδεκτό οι ποδηλάτες να εντάσσονται στην κυκλοφορία των οχημάτων στην κυκλική διαδρομή, ενώ αν η Μ.Η.Κ. είναι μεγαλύτερη, απαιτείται η κατασκευή ποδηλατοδρόμου (Brilon, 2011). Σε υπεραστικούς κυκλικούς κόμβους μίας λωρίδας, ανεξαρτήτως Μ.Η.Κ., η κατασκευή ποδηλατοδρόμου είναι απαραίτητη, όπως φυσικά και σε κυκλικούς κόμβους δύο λωρίδων είτε πρόκειται για αστικούς, είτε για υπεραστικούς. Δύο είναι οι βασικές αρχές που είναι αναγκαίο να διέπουν την κατασκευή και τη λειτουργία ποδηλατοδρόμου: α) προτεραιότητα εντός του αστικού ιστού διαθέτουν οι ποδηλάτες, β) εκτός αυτού, προτεραιότητα διαθέτουν τα οχήματα. Βέβαια, είναι φανερό πως η προτεραιότητα των ποδηλατών εντός του πολεοδομικού ιστού είναι θέμα το οποίο εγείρει πολλαπλές δυσκολίες κατά την εφαρμογή του και συχνά τελικά δεν εφαρμόζεται στην πραγματικότητα. Έρευνα του Ινστιτούτου Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Συγκοινωνιακών Υποδομών (CROW) της Ολλανδίας, αναφέρει πως οι ποδηλάτες βρίσκονται σε μειονεκτική θέση, με τους οδηγούς αυτοκινήτων και μοτοσυκλετών να μην επιδεικνύουν την ορθή συμπεριφορά και να μην παραχωρούν προτεραιότητα στους ποδηλάτες (SWOV, 2012).

Ο σχεδιασμός του ποδηλατοδρόμου πρέπει να είναι κατάλληλος ώστε να εξασφαλίζεται πρωτίστως η ασφάλεια των χρηστών και έπειτα η κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου. Σε κάθε περίπτωση ο ποδηλατοδρόμος κατασκευάζεται σε απόσταση περίπου 5m από την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού δακτυλίου και ποτέ εντός αυτού, πράγμα που έχει αποδειχθεί εξαιρετικά επικίνδυνο (Brilon, 2011).



Εικόνα 2.9 Αστικός κυκλικός κόμβος με ποδηλατοδρόμο (<http://www.roundaboutsusa.com>)



Εικόνα 2.10 Αποφεύγεται η κατασκευή ποδηλατοδρόμου εντός του κυκλικού κόμβου (Brilon, 2011)

2.4.5.2 Κυκλοφοριακή Ικανότητα και Καθυστερήσεις

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

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

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

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

2.4.5.3 Αποδεκτό κόστος κατασκευής και λειτουργίας

Μια διασταύρωση με φωτεινούς σηματοδότες απαιτεί περίπου \$3000 ετησίως για ηλεκτρισμό και συντήρηση, ενώ οι σηματοδότες χρειάζονται συχνή αντικατάσταση. Σε μεγαλύτερες διασταυρώσεις το κόστος αυτό αυξάνεται σημαντικά. Στους κυκλικούς κόμβους το μόνο κόστος συντήρησης είναι αυτό για την επιμέλεια του τοπίου και περιστασιακά για την αλλαγή των σημάτων. Η κατασκευή μεγάλων κυκλικών κόμβων μπορεί να κοστίζει περισσότερο ή εξίσου με σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις, όμως μακροχρόνια το συνολικό κόστος είναι μικρότερο λόγω του μικρού κόστους συντήρησης και λειτουργίας.

Ενδεικτικά, το εκτιμώμενο κόστος μετατροπής μιας διασταύρωσης σε κυκλικό κόμβο μίας λωρίδας κυμαίνεται περί τις 400.000€. Βέβαια το κόστος εξαρτάται προφανώς και από το μέγεθος του κόμβου. Έτσι, το κόστος κατασκευής ενός κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων εκτιμάται περίπου στις 600.000€ (SWOV, 2012).

2.4.5.4 Ικανοποιητική προσαρμογή στον περιβάλλοντα χώρο

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

Λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, οι κυκλικοί κόμβοι επιφέρουν μείωση στις εκπομπές αερίων ρύπων (διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα, νιτρικό οξείδιο κτλ.) αλλά και στη στάθμη της ηχορρύπανσης καθώς πρακτικά έχει παρατηρηθεί πτώση κατά τρεις (3) έως πέντε (5) ποσοστιαίες μονάδες στα επίπεδα παραγόμενου θορύβου σε σχέση με έναν αντίστοιχο κόμβο με φωτεινή σηματοδότηση.

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

2.4.5.5 Παρατηρήσεις

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

3. Ισόπεδοι κυκλικοί κόμβοι

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

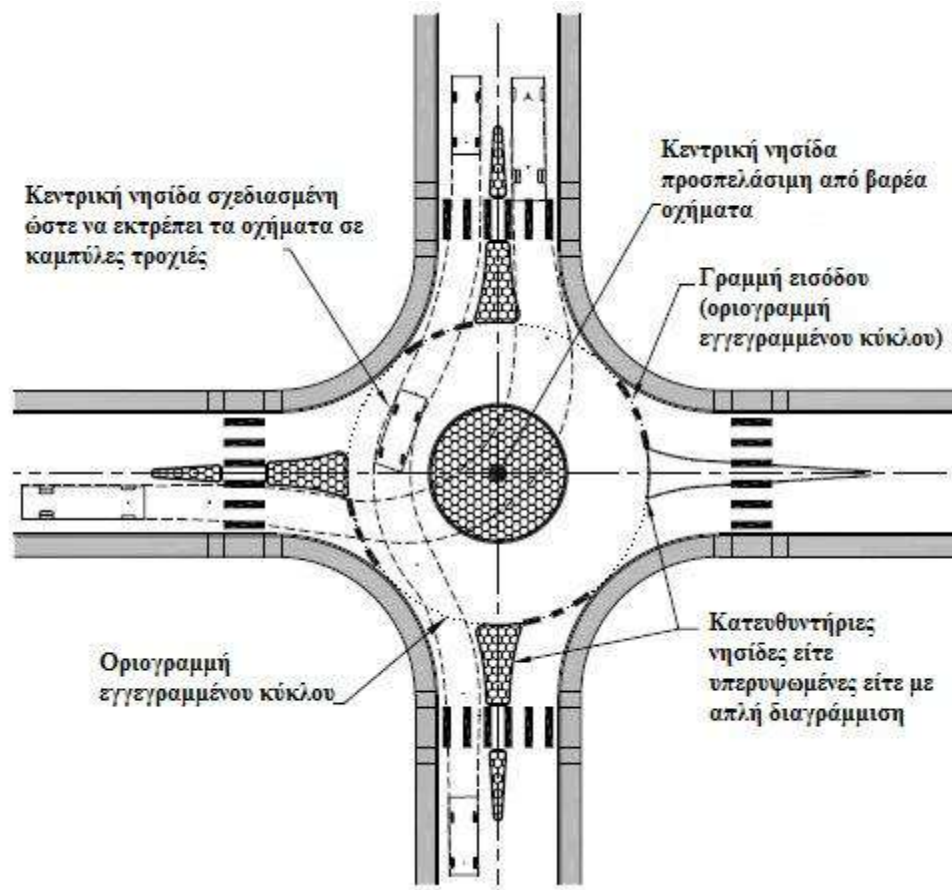
Η μελέτη και ο σχεδιασμός κυκλικών κόμβων είναι σύνθετα ζητήματα για έναν Μελετητή Μηχανικό και η επίλυσή τους απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη διάφορα λειτουργικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, με γνώμονα πάντα την ασφάλεια των χρηστών, την εξυπηρέτηση της κυκλοφορίας των οχημάτων, το ελάχιστο δυνατό κόστος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

3.1 Τυπικοί κυκλικοί κόμβοι

3.1.1 Κυκλικοί Κόμβοι Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts)

Ο όρος Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabout) εισήχθηκε από τον Frank Blackmore στη Μ. Βρετανία περί τα 1968-1969, ενώ ο πρώτος Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου κατασκευάστηκε το 1970 και το εγκεκριμένο σχέδιό του υιοθετήθηκε το 1975. Πρόκειται για μικρού μεγέθους κυκλικούς κόμβους με κύριο χαρακτηριστικό στοιχείο την πλήρως προσπελάσιμη κεντρική κυκλική νησίδα (για τα βαρέα οχήματα) χωρίς προστατευτικό έρεισμα. Κατασκευάζονται κυρίως σε θέσεις του αστικού ιστού, στις οποίες η μέση λειτουργική ταχύτητα των οδών δεν ξεπερνά τα 50km/h. Δεν προτείνεται η εφαρμογή τους στο υπεραστικό οδικό δίκτυο. Ο εξοπλισμός του κόμβου είναι δυνατό είτε να περιλαμβάνει κατευθυντήριες νησίδες, υπερυψωμένες με προστατευτικό έρεισμα ή απλά διαγραμμισμένες επιφάνειες, είτε όχι. Διαθέτουν μία λωρίδα εισόδου και εξόδου και μία λωρίδα στον κυκλικό δακτύλιο. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους και των χαμηλών ταχυτήτων που επιτρέπουν τυγχάνουν αποδοχής από το κοινωνικό περιβάλλον και δη τους πεζούς. Η κεντρική νησίδα είναι προσπελάσιμη για τα βαρέα οχήματα, προκειμένου να

διευκολυνθεί η κίνησή τους, όχι όμως για τα υπόλοιπα οχήματα. Το κόστος κατασκευής τους είναι μικρό, καθώς ο εξοπλισμός και οι διαμορφώσεις μπορεί να περιοριστούν σε απλές διαγραμμίσεις και μικροεπεμβάσεις στη διαμόρφωση των γωνιακών ερεισμάτων στις οδούς χωρίς διαπλατύνσεις οδοστρωμάτων κτλ., και αποτελούν μία απόλυτα οικονομική λύση για τη διαχείριση μικρής αστικής κυκλοφορίας σε μία θέση ισόπεδης σύνδεσης οδών (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 3.1 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Εξοπλισμού Κυκλικών Κόμβων Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabouts) (NCHRP & FHWA, 2010).

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

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

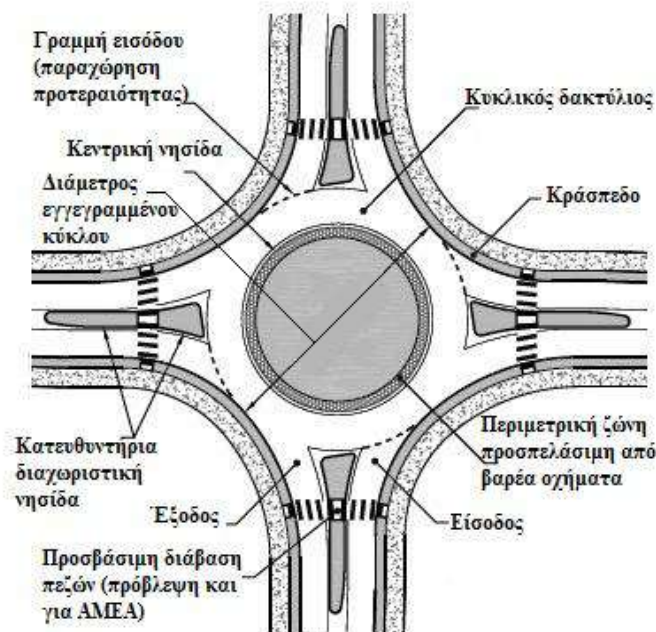
Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Μικρής Διαμέτρου (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 3.2 Κυκλικός Κόμβος Μικρής Διαμέτρου (Mini Roundabout) στο Ηνωμένο Βασίλειο (<http://www.midi-roundabout.co.uk>).

3.1.2 Κυκλικοί Κόμβοι Μίας Λωρίδας (Single-Lane Roundabouts)

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



Εικόνα 3.3 Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 3.4 Αστικός κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας (διαθέτει κατάλληλα διαμορφωμένη περιμετρική ζώνη για φορτηγά) (<http://www.roundaboutsusa.com>).

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

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

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Μίας Λωρίδας (NCHRP & FHWA, 2010).

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



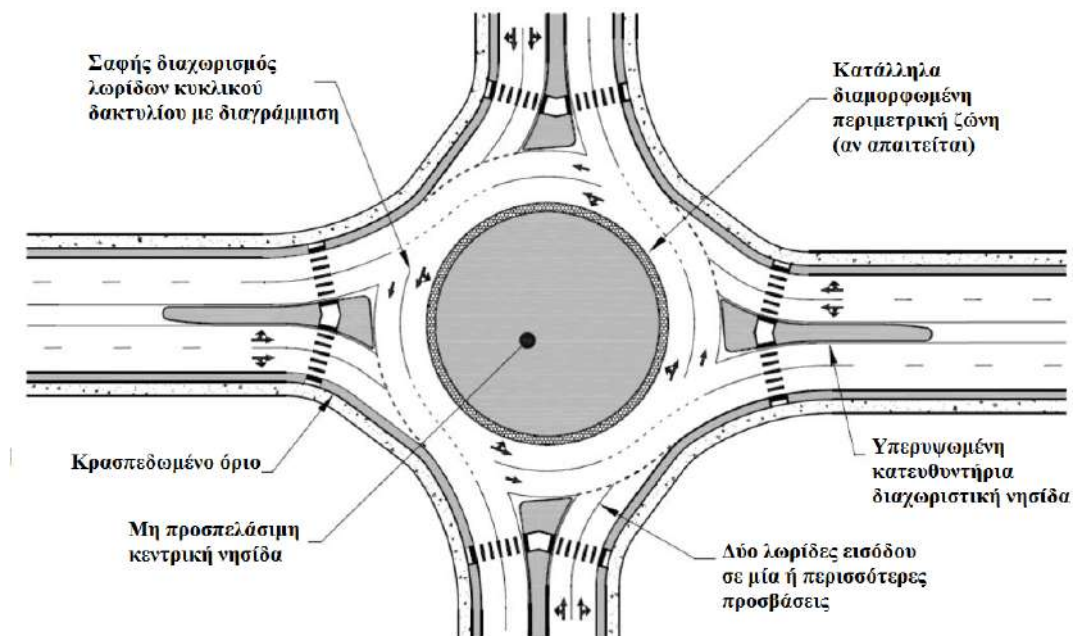
Εικόνα 3.5 Τρισκελής υπεραστικός κυκλικός κόμβος μίας λωρίδας με δύο παρακαμπτήριες λωρίδες (<http://greatergreaterwashington.org>).

3.1.3 Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων (Two-Lane Roundabouts)

Οι Κυκλικοί Κόμβοι Δύο Λωρίδων διαθέτουν κυκλικό δακτύλιο με δύο λωρίδες κυκλοφορίας, ενώ οι προσβάσεις τους είναι δυνατό να φέρουν εισόδους και εξόδους με μία ή δύο λωρίδες. Προφανώς ο αριθμός των λωρίδων μιας πρόσβασης είναι πιθανό να διαφέρει από αυτόν μιας άλλης ανάλογα με τους κυκλοφοριακούς φόρτους που αναλαμβάνει έκαστη. Η διάμετρος του εγγεγραμμένου κύκλου έχει μήκος 46m – 67m. Ο κυκλικός δακτύλιος καταλαμβάνει πλάτος 8.60m – 9.80m (4.30m – 4.90m για κάθε λωρίδα). Οι επιτρεπόμενες λειτουργικές ταχύτητες κυμαίνονται μεταξύ 40km/h και 50km/h. Η χωρητικότητα ενός τέτοιου κυκλικού κόμβου αγγίζει τα 45000 οχήματα ημερησίως (NCHRP & FHWA, 2010).

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

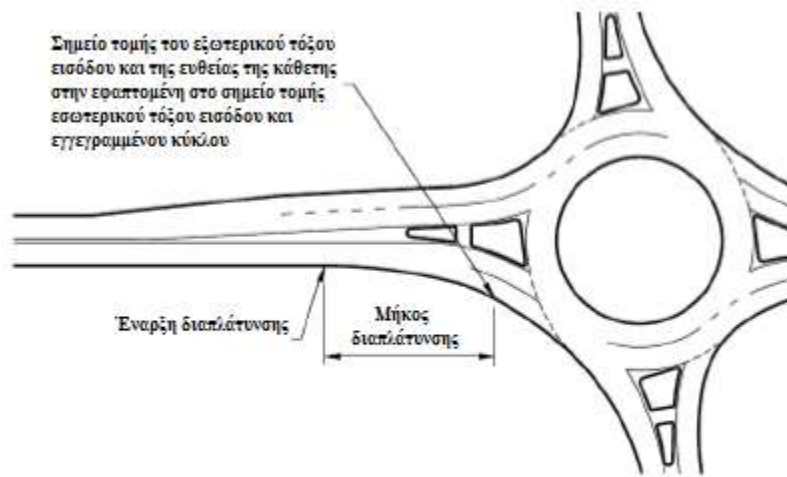
Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά Στοιχεία Κυκλικών Κόμβων Δύο Λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).



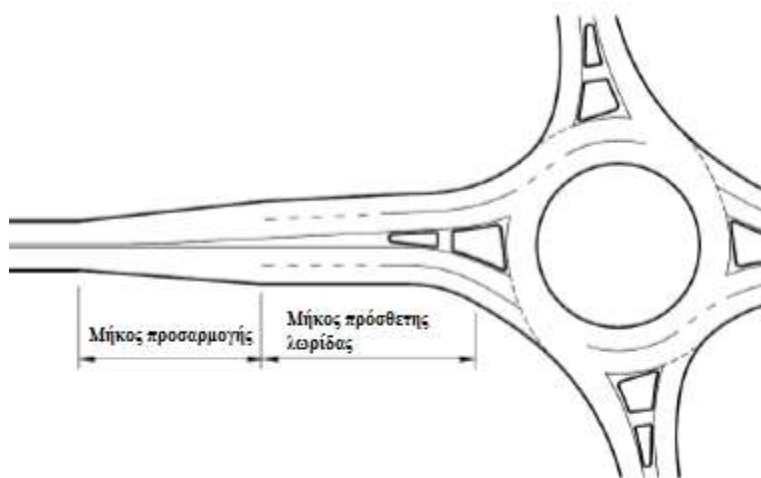
Εικόνα 3.6 Βασικά στοιχεία τυπικού κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

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

πραγματοποιείται κατά την προσέγγιση σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων, διαπλάτυνση (flaring) του οδοστρώματος και δημιουργία πρόσθετου χώρου στην είσοδο (βλ. εικ. 3.7) ή ακόμα και δημιουργία πρόσθετης λωρίδας (βλ. εικ. 3.8) για την κατεύθυνση εισόδου στον κυκλικό κόμβο (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 3.7 Διαπλάτυνση (flaring) λωρίδας εισόδου σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).



Εικόνα 3.8 Δημιουργία πρόσθετης λωρίδας εισόδου σε κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων (NCHRP & FHWA, 2010).

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

Αν θέλουμε να κατατάξουμε με σειρά αύξουσας χωρητικότητας τους προαναφερθέντες ισόπεδους κυκλικούς κόμβους καταλήγουμε στην παρακάτω κατάταξη:

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

(Brillon, 2011)

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



Εικόνα 3.9 Τετρασκελής κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων με τέσσερις παρακαμπτήριες λωρίδες (<http://www.roundaboutsusa.com>).

Κρίνεται απαραίτητο στο σημείο αυτό να επισημανθεί πως ανά τον κόσμο υιοθετούνται σχεδιαστικές λογικές τα πρότυπα των οποίων είναι δυνατό να διαφέρουν λίγο έως πολύ. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στη Γερμανία τα τελευταία χρόνια αντί των κυκλικών κόμβων δύο λωρίδων (two-lane roundabouts) προτιμώνται και κατασκευάζονται οι μικροί κυκλικοί κόμβοι δύο λωρίδων (compact or semi-two-lane roundabout) (βλ. εικ. 3.10). Η διαφορά από τους πρώτους είναι πως οι λωρίδες στον κυκλικό δακτύλιο δεν ορίζονται μέσω διαγράμμισης αλλά αφήνεται να χρησιμοποιηθεί όλο το πλάτος της οδού, ενώ οι έξοδοι διαθέτουν αποκλειστικά μία λωρίδα. Αυτό συμβαίνει σε αντιπαράθεση με τη λογική πολλών άλλων μηχανικών, π.χ. των Αμερικανών και των Γάλλων, οι οποίοι θεωρούν πως οι τροχιές των οχημάτων εμπλέκονται. Οι Γερμανοί θεωρούν πως δεν υφίσταται «φυσική τροχιά» (natural trajectory) των οχημάτων και πως η γεωμετρία της οδού πρέπει να παρέχει χώρο σε όλα τα οχήματα στον κόμβο, ενώ όταν δύο οδηγοί διεκδικούν ένα χώρο θα πρέπει να διευθετούν οι ίδιοι την κατάσταση (Brilon, 2011). Επιπροσθέτως, όταν ένα βαρύ όχημα εισέρχεται στον κυκλικό δακτύλιο χρησιμοποιεί όλο το πλάτος της για να κινηθεί κυκλικά και τα υπόλοιπα οχήματα θα πρέπει να αποφεύγουν εμπλοκή μαζί του (Brilon, 2011). Διευκρινίζεται ότι κάθε μελετητής σχεδιάζει έναν κόμβο με κύριο μέλημά του την ασφάλεια των χρηστών και είναι αρμοδιότητά του η προσαρμογή στις εκάστοτε συνθήκες.



Εικόνα 3.10 Αστικός Μικρός Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων στη Γερμανία. Απουσία διαγράμμισης και αποκλειστικά μία λωρίδα εξόδου (Brilon, 2005).



Εικόνα 3.11 Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων στις Η.Π.Α. (<http://www.roundaboutsusa.com>)



Εικόνα 3.12 Κυκλικός Κόμβος Δύο Λωρίδων στις Η.Π.Α (<http://www.kittelson.com>)

Έχουν παρατηρηθεί και περιπτώσεις κυκλικών κόμβων που διαθέτουν μεγαλύτερες διαμέτρους και κυκλικό δακτύλιο με περισσότερες από δύο λωρίδες (multi-lane roundabouts) (βλ. εικ. 3.13). Ο κύριος λόγος που οι κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων δε χρησιμοποιούνται πλέον έγκειται στο ότι οι οδηγοί συχνά ακολουθούν απρόοπτες τροχιές με αποτέλεσμα την ύπαρξη ελιγμών πλέξης και συγκρούσεων μεταξύ των οχημάτων κατά την έξοδο. Για τον ίδιο λόγο οι κυκλικοί κόμβοι πολλαπλών λωρίδων χαρακτηρίζονται από μειωμένη χωρητικότητα, καθώς η εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας χρησιμοποιείται ελάχιστα προς αποφυγή των συγκρούσεων που σχετίζονται με την αποχώρηση των οχημάτων από την εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας. (<http://wiki.coe.neu.edu>, 2011)



Εικόνα 3.13 Κυκλικός Κόμβος Τριών Λωρίδων (Multi-Lane Roundabout) (<http://k53.gavinhoole.ws>).

3.2 Ειδικές Μορφές Κυκλικών Κόμβων

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

Η έννοια του κυκλικού κόμβου τύπου «Άνθος» εισήχθηκε από τον Σλοβένο Tomaz Tollazzi το 2010 σε μία προσπάθεια αντιμετώπισης των «πιο επικίνδυνων» σημείων εμπλοκής, των διασταυρώσεων, στους σπειροειδείς κόμβους αλλά παράλληλα διατήρησης της χωρητικότητάς τους. Το αποτέλεσμα βάσει της λογικής του σπειροειδούς κόμβου, η οποία επιτάσσει σαφή διαχωρισμό των εσωτερικών λωρίδων κυκλοφορίας του κόμβου, ήταν η δημιουργία ενός υβριδίου με μία λωρίδα κυκλοφορίας και «τέσσερις παρακαμπτήριες» λωρίδες εντός του κόμβου (Tollazzi et al., 2011).

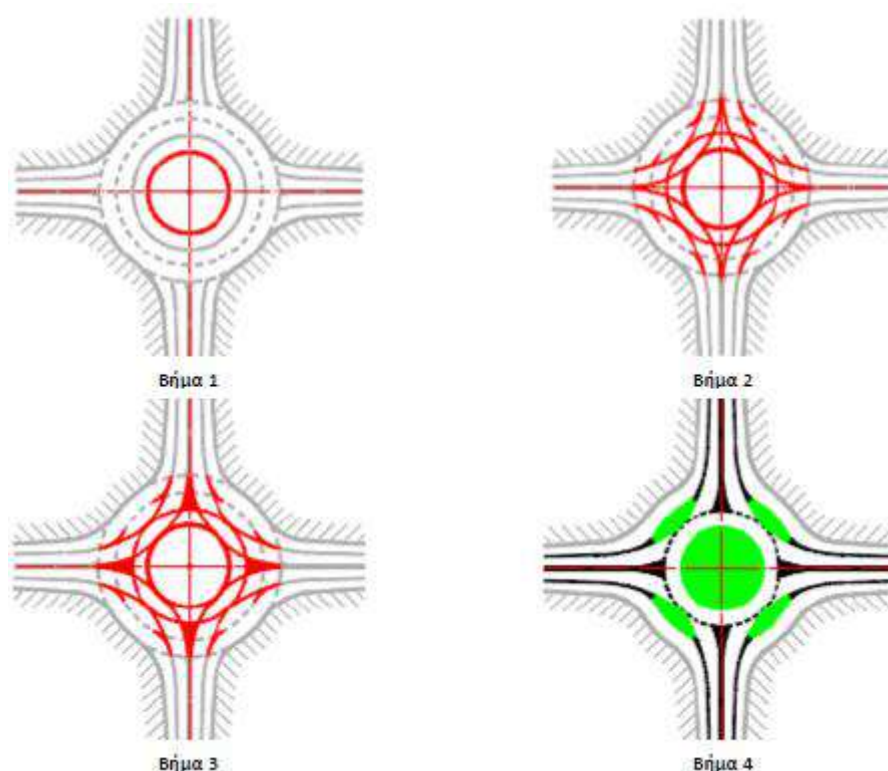


Εικόνα 3.14 Εμπλοκή διασταύρωσης κατά την είσοδο οχημάτων στον σπειροειδή κυκλικό κόμβο. Έχει προκύψει από σχετική έρευνα πως προκαλείται αίσθηση ανασφάλειας στους οδηγούς (Tollazzi et al., 2011).



Εικόνα 3.15 Κυκλικός Κόμβος τύπου «Άνθος» (Tollazzi et al., 2011).

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



Εικόνα 3.16 Μετατροπή υφιστάμενου κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων σε κυκλικό κόμβο τύπου «Άνθος» με αποκλειστικές λωρίδες δεξιών στροφών (Tollazzi et al., 2011).

3.2.2 «Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος (Magic Roundabout)

Αναφέρεται για καθαρά ιστορικούς λόγους καθώς αποτελεί παράδειγμα προς αποφυγή, ενώ συχνά στο παρελθόν έχει χαρακτηριστεί ως ο πιο επικίνδυνος κυκλικός κόμβος στη Μεγάλη Βρετανία. Εισήχθηκε, όπως και ο κυκλικός κόμβος μικρής διαμέτρου (Mini-Roundabout), από τον Βρετανό Frank Blackmore και έχει κατασκευαστεί περιορισμένος αριθμός «μαγικών» κόμβων σε βρετανικές πόλεις όπως το Swindon και το Hemel Hempstead. Ο πρώτος στο Swindon, κατασκευάστηκε το 1972. Ουσιαστικά αποτελείται από πέντε κυκλικούς κόμβους μικρής διαμέτρου σε κυκλική διάταξη περιμετρικά μίας κεντρικής κυκλικής νησίδας συνδεδεμένους με σύντομες οδούς. Έχει κερδίσει τη δυσαρέσκεια των χρηστών, καθώς προκαλεί τεράστια σύγχυση ιδιαίτερα σε οδηγούς που τον χρησιμοποιούν για πρώτη φορά, ενώ επίσημα έχει αποσπάσει τον τίτλο του πιο « εχθρικού » κόμβου στη Μ. Βρετανία αρκετές φορές τα τελευταία έτη.



Εικόνα 3.17 «Μαγικός» Κυκλικός Κόμβος (Magic Roundabout) στο Swindon
(<http://www.swindonweb.com>)

3.2.3 Σπειροειδείς Κυκλικοί Κόμβοι (Turbo Roundabouts)

Η έννοια του Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου (Turbo Roundabout) αναπτύχθηκε στην Ολλανδία τα τέλη του 1990 από τον Lambertus G.H. Fortuijn ώστε να επιλυθούν προβλήματα σχετικά με τους ελιγμούς πλέξης που ανέκυπταν στους κυκλικούς κόμβους πολλαπλών λωρίδων κατά την είσοδο και κατά την έξοδο των οχημάτων. Αυτή η έννοια είναι πρόσφατη και οι επιστημονικές μελέτες που σχετίζονται με αυτήν είναι ακόμη πολύ περιορισμένες. Η νέα αυτή λύση βασίζεται στις ακόλουθες υποθέσεις: α) καμία αλλαγή λωρίδας μέσα στον κυκλικό κόμβο και κοντά στην είσοδο και στην έξοδο και, β) χαμηλές λειτουργικές ταχύτητες κοντά και εντός του κυκλικού κόμβου εξαιτίας των υπερυψωμένων διαχωριστικών των λωρίδων.

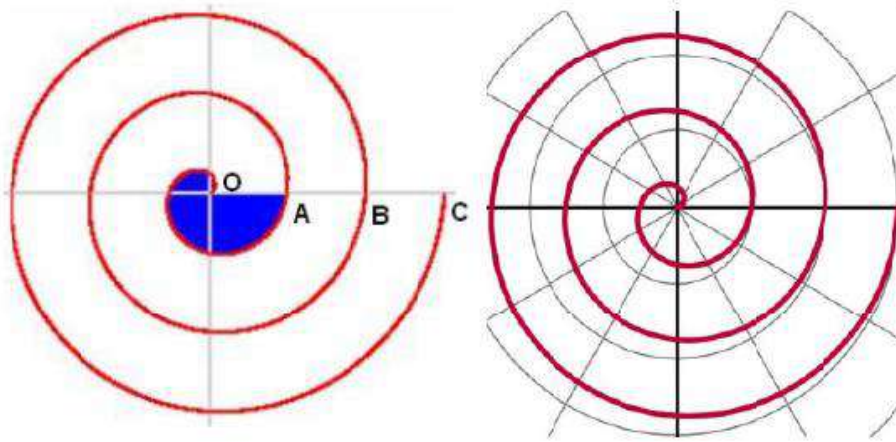
Αυτή η ρύθμιση οδικής συμπεριφοράς είναι συνέπεια των φυσικών στοιχείων που διαχωρίζουν τις κυκλοφοριακές λωρίδες κοντά στις εισόδους, την κυκλοτερή διαδρομή και τις ζώνες εξόδου ορίζοντας σπειροειδείς και συνεχείς τροχιές μεταξύ της εισόδου και της επιθυμητής εξόδου. Εξαλείφοντας τις συνήθεις εμπλοκές των συμβατικών κυκλικών κόμβων, το επίπεδο ασφάλειας αυξάνεται σημαντικά.

Την τελευταία δεκαετία έχουν κατασκευαστεί αρκετοί σπειροειδείς κυκλικοί κόμβοι με ικανοποιητικά αποτελέσματα, κυρίως σε χώρες της βόρειας Ευρώπης. Αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν διαφορετικές διατάξεις σπειροειδών κυκλικών κόμβων ανάλογα με τις τοπικές ανάγκες και προδιαγραφές. Συγκριτικά με τον παραδοσιακό κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων, η διεθνής βιβλιογραφία αναφέρει τρία σημαντικά πλεονεκτήματα των σπειροειδών κυκλικών κόμβων: α) χαμηλότερος αριθμός πιθανών σημείων εμπλοκής κατά τη διαδρομή μέσα στον κυκλικό κόμβο, β) χαμηλότερες λειτουργικές ταχύτητες πριν, κατά μήκος και μετά τον σπειροειδή κυκλικό κόμβο, και γ) χαμηλού κινδύνου οδικά ατυχήματα. (Bastos Silva et al, 2013)

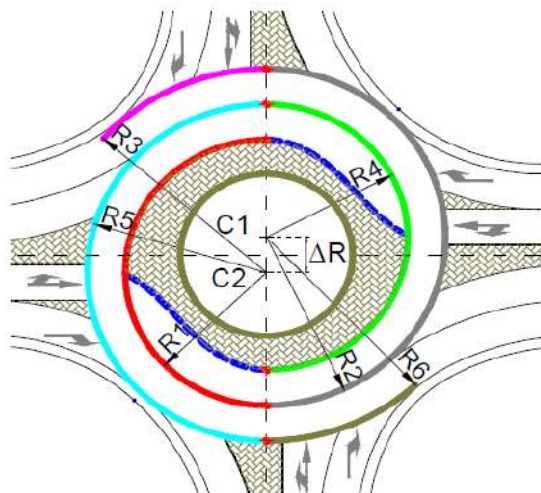


Εικόνα 3.18 Σπειροειδής Κόμβος (Turbo Roundabout) (<http://vnet.verkeersnet1.netdna-cdn.com>)

Στον σπειροειδή κυκλικό κόμβο οι λωρίδες κυκλοφορίας οριοθετούνται από ειδική σήμανση κατά την είσοδο στον κυκλικό κόμβο και μη βατά κράσπεδα στις λωρίδες κυκλοφορίας του κόμβου. Οι σπειροειδείς κυκλικοί κόμβοι διαθέτουν επίσης μία ιδιαίτερη μορφή με στόχο τον διαχωρισμό των κυκλοφοριακών ρευμάτων, ούτως ώστε να αποτραπούν ελιγμοί πλέξης. Τα διαχωριστικά των λωρίδων στους σπειροειδείς κυκλικούς κόμβους εξαναγκάζουν τις κυκλοφοριακές ροές σε σπειροειδείς καμπύλες τροχιάς και κατά αυτόν τον τρόπο κάθε εισερχόμενη λωρίδα εξειδικεύεται σε συγκεκριμένους μόνο ελιγμούς στροφής και οι οδηγοί οφείλουν να επιλέξουν την ορθή λωρίδα κυκλοφορίας ανάλογα με τον επιθυμητό προορισμό τους πριν εισέλθουν στον κόμβο. Τέλος, ο σπειροειδής κυκλικός κόμβος δεν επιτρέπει ελιγμούς αναστροφής. (Giuffrè et al., 2009)



Εικόνα 3.19 Αρχιμήδεια Σπείρα (βάση του γεωμετρικού σχεδιασμού του Σπειροειδούς Κόμβου) (Giuffrè et al., 2009)



Εικόνα 3.20 Γεωμετρικός Σχεδιασμός σπειροειδούς Κόμβου (Giuffrè et al., 2009)

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

Για τους πεζούς κατασκευάζονται διαβάσεις που περιλαμβάνουν εγκάρσια διαγράμμιση στο οδόστρωμα και κατάλληλη διαμόρφωση των κατευθυντήριων νησίδων (ισχύει και στην περίπτωση των σπειροειδών κόμβων πως σε αστικές περιοχές οι πεζοί πρέπει να διαθέτουν προτεραιότητα έναντι των μηχανοκίνητων οχημάτων, αλλά σε υπεραστικές όχι). Για τους ποδηλάτες απαγορεύεται ρητά η κίνησή τους να συγχωνεύεται με την κυκλοφορία των μηχανοκίνητων οχημάτων εντός του κόμβου και αν κρίνεται αναγκαίο κατασκευάζεται ποδηλατοδρόμος με τις ανάλογες διαμορφώσεις και ποτέ εντός της κυκλοτερούς διαδρομής του κόμβου (ισχύει επίσης ότι πρέπει οι ποδηλάτες να διατηρούν προτεραιότητα εντός αστικών περιοχών, ενώ εκτός αυτών να την παραχωρούν στα μηχανοκίνητα οχήματα). Διαβάσεις πεζών και ποδηλατοδρόμος κατασκευάζονται πάντα σε απόσταση ενός οχήματος ή 5m από τη γραμμή εισόδου στον κυκλοτερή δακτύλιο. Γενικά, πρέπει να επισημανθεί, πως όταν οι σπειροειδείς κόμβοι επιλέγονται για υπεραστική κυρίως χρήση, αποφεύγεται η εμπλοκή πεζών και ποδηλάτων, καταφεύγοντας σε κατασκευαστικές λύσεις όπως γέφυρες (πεζογέφυρες, ποδηλατογέφυρες) ή υπόγειες διαβάσεις (Brilon, 2011).

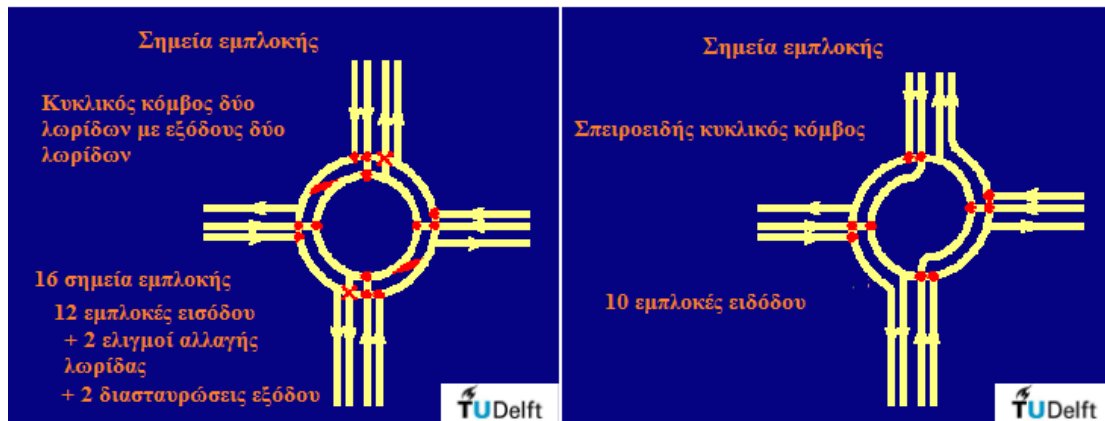


Εικόνα 3.21 Τετρασκελής σπειροειδής κυκλικός κόμβος και βατά υπερυψωμένα διαχωριστικά νησίδων (Fortuijn, 2011)

Αριθμός σκελών	Μη σηματοδοτημένη διασταύρωση	Κυκλικός κόμβος δύο λωρίδων	Σπειροειδής κόμβος
3	9	12	7
4	32	16	10

Πίνακας 3.5 Πλήθος σημείων εμπλοκής σε διάφορα είδη κόμβων (Giuffrè et al., 2009)

Από τον πίνακα 3.5 γίνεται φανερή η υπεροχή όσον αφορά το επίπεδο ασφάλειας του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου έναντι του κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και της μη σηματοδοτημένης διασταύρωσης. Συγκεκριμένα σε έναν τετρασκελή κυκλικό κόμβο δύο λωρίδων με δύο λωρίδες εξόδου παρατηρούνται 16 σημεία εμπλοκής (12 εμπλοκές εισόδου, 2 ελιγμοί αλλαγής λωρίδας και 2 διασταυρώσεις εξόδου), εν αντιθέσει με τον σπειροειδή κυκλικό κόμβο όπου εντοπίζονται 10 σημεία εμπλοκής κατά την είσοδο. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η σύγκριση αυτή:



Εικόνα 3.22 Σύγκριση σημείων εμπλοκής μεταξύ κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και σπειροειδούς κυκλικού κόμβου (Fortuijn, 2011)

Η εφαρμογή στο σχεδιασμό σπειροειδών κυκλικών κόμβων των χαρακτηριστικών που αυξάνουν τη χωρητικότητα του κόμβου πραγματοποιείται μέσω των παρακάτω πρακτικών:

- Χρησιμοποιώντας εισόδους δύο λωρίδων και εξόδους δύο λωρίδων στην κύρια οδό επιτυγχάνεται αυξημένη χωρητικότητα.
- Μη ύπαρξη ελιγμών αλλαγής λωρίδας στον κυκλικό κόμβο με συνέπεια την καλύτερη χρήση της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας.
- Προσφέροντας στους οδηγούς την επιλογή λωρίδας καθίσταται δυνατή η ανάληψη κυκλοφοριακών φόρτων διαφόρων απαιτήσεων.

Από το 2000 έχουν κατασκευαστεί 160 σπειροειδείς κυκλικοί κόμβοι στην Ολλανδία με τους 107 από αυτούς να βρίσκονται σε μη κατοικημένες περιοχές και 44 σε κατοικημένες. (Υφιστάμενη κατάσταση μέχρι την 10^η Ιουνίου 2011.)

(Fortuijn, 2011)

Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του τυπικού σπειροειδούς κυκλικού κόμβου:

- Η λογική της λειτουργίας του στηρίζεται στην αρχή της αύξησης της χωρητικότητας των κυκλικών κόμβων, χωρίς να αυξάνεται το μέγεθος του (διάμετρος), και της διατήρησης της ασφάλειας σε υψηλό επίπεδο.
- Σε τουλάχιστον μία είσοδο εισάγεται μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας στον κυκλοτερή δακτύλιο του κόμβου (χαρακτηριστικό χωρητικότητας – ικανότητας).
- Οι εισερχόμενοι οδηγοί παραχωρούν προτεραιότητα το πολύ σε δύο λωρίδες κυκλοφορίας (χαρακτηριστικό ασφάλειας).
- Ομαλή ροή κυκλοφορίας αποτέλεσμα της άρτιας εφαρμογής σπειροειδούς διάταξης (χαρακτηριστικό άνεσης).
- Υπερυψωμένα διαμήκη διαχωριστικά στοιχεία (curbs) αντί αντίστοιχης διαγράμμισης μεταξύ των λωρίδων που αποτρέπουν τους ανυπόμονους

οδηγούς να εισέλθουν αιφνιδίως στον κυκλικό κόμβο, ώστε να αποφεύγονται ελιγμοί αλλαγής λωρίδας και διασταυρώσεις εξόδου. (χαρακτηριστικό ασφάλειας)

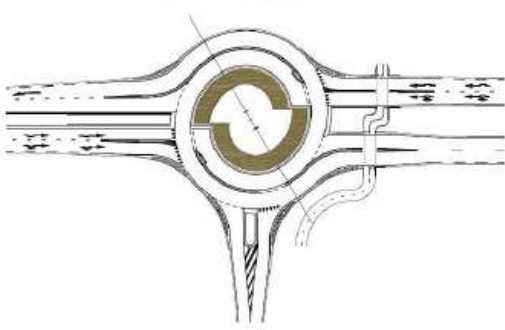
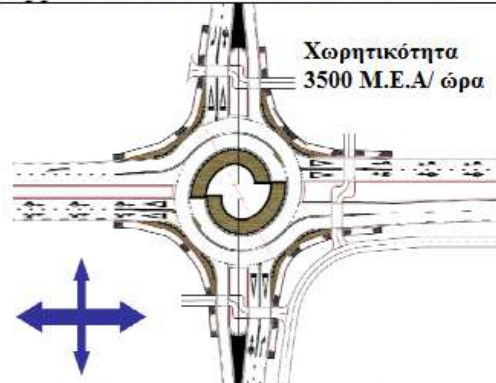
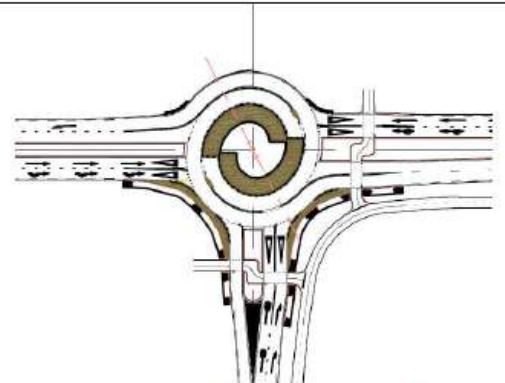
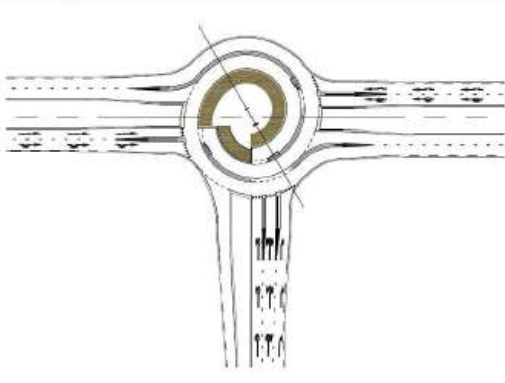
- Κάθε τομέας του σπειροειδούς κόμβου περιλαμβάνει μία λωρίδα, η κυκλοφορία της οποίας δύναται να επιλέγει αν θα εξέλθει ή θα συνεχίσει την κυκλοτερή κίνηση.
- Σε ανταπόκριση στο προηγούμενο, επιβάλλεται οι εξοδοί τουλάχιστον δύο σκελών να διαθέτουν δύο λωρίδες (χαρακτηριστικό χωρητικότητας – ικανότητας).
- Η διάμετρος του κόμβου διατηρείται μικρή δημιουργώντας βέλτιστης καμπυλότητας τροχιές κίνησης των οχημάτων (χαρακτηριστικό ασφάλειας).

Παράλληλα διατηρούνται τα παρακάτω χαρακτηριστικά του Ολλανδικού κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας:

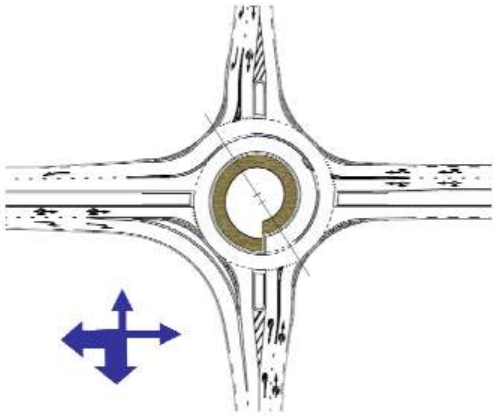
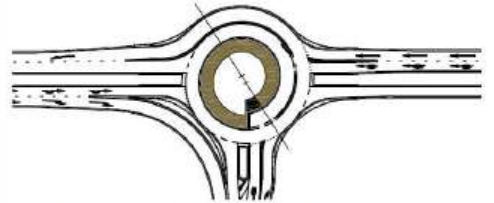
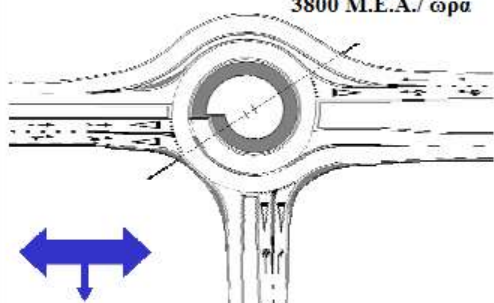
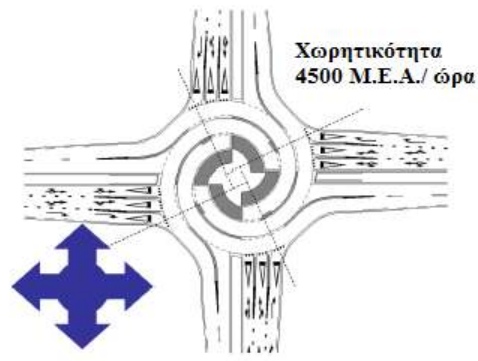
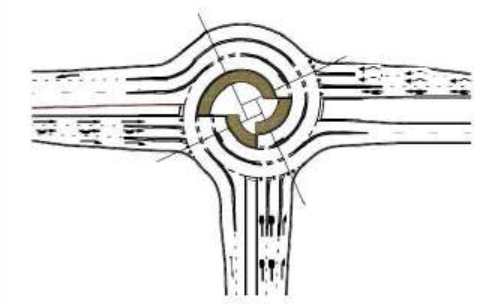
- Οι κλάδοι προσέγγισης είναι σε ορθή γωνία με τον κυκλικό κόμβο.
- Βατές ειδικά διαμορφωμένες ζώνες περιμετρικά της κεντρικής νησίδας (aprons) παρέχουν επαρκές εύρος για τα βαρέα οχήματα που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τον κυκλικό κόμβο.

(Fortuijn, 2011)

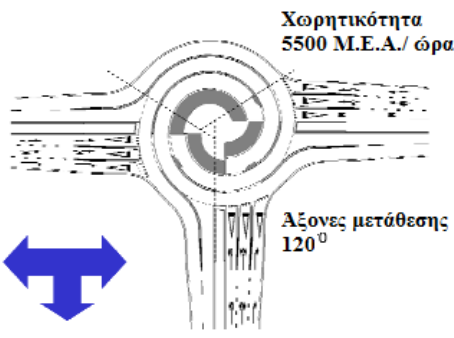
Οι κλάδοι ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου είναι δυνατό να διαθέτουν διαφορετικό πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας, το οποίο συνεπάγεται διαφορετικούς τύπους σπειροειδών κυκλικών κόμβων. Παρόλα αυτά, για όλους αυτούς τους τύπους ισχύουν τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού που προαναφέρθηκαν. (Fortuijn, 2011) Παρακάτω αναφέρονται οι διάφορες μορφές σπειροειδών κυκλικών κόμβων:

Εναλλακτικές μορφές σπειροειδών κόμβων	
Τετρασκελής	Τρισκελής
 Χωρητικότητα 2800 Μ.Ε.Α/ ώρα Σπειροειδής κόμβος τύπου "Αυγό" (Egg roundabout)	 Τρισκελής σπειροειδής κόμβος τύπου "Αυγό" (Three-leg Egg roundabout)
 Χωρητικότητα 3500 Μ.Ε.Α/ ώρα Βασικός σπειροειδής κόμβος (Basic turbo roundabout)	 Τρισκελής Βασικός σπειροειδής κόμβος (Three-leg Basic turbo roundabout)
 Χωρητικότητα 4000 Μ.Ε.Α/ ώρα Σπείρα (Spiral roundabout)	 Τρισκελής Σπείρα (Three-leg Spiral roundabout)

Εικόνα 3.23.1 Τύποι σπειροειδών κυκλικών κόμβων (Fortuijn, 2009)

Τετρασκελής	Τρισκελής
Χωρητικότητα 3500 Μ.Ε.Α./ ώρα  Σπειροειδής κόμβος τύπου "Γόνατο" (Knee roundabout)	 Τρισκελής κόμβος τύπου Γόνατο  Τρισκελής κόμβος τύπου Γόνατο Χωρητικότητα 3800 Μ.Ε.Α./ ώρα  Τρισκελής κόμβος τύπου "Διατεταμένο Γόνατο" (Three-leg Stretched Knee roundabout)
 Σπειροειδής κόμβος τύπου "Ρότορας" (Rotor- Roundabout) Χωρητικότητα 4500 Μ.Ε.Α./ ώρα	 Τρισκελής σπειροειδής κόμβος τύπου "Ρότορας" (μη λειτουργικός)

Εικόνα 3.23.2 Τύποι σπειροειδών κυκλικών κόμβων (Fortuijn, 2009)

Τετρασκελής	Τρισκελής
Τετρασκελής σπειροειδής κόμβος τύπου "Αστέρι" δεν υπάρχει, γιατί δεν είναι δυνατόν να δημιουργηθεί αυτή η μορφή που να πληροί την απαίτηση να μην παραχωρείται προτεραιότητα σε περισσότερες από δύο λωρίδες.	 Χωρητικότητα 5500 Μ.Ε.Α./ώρα Άξονες μετάθεσης 120° Σπειροειδής κόμβος τύπου "Αστέρι" (Star Roundabout)

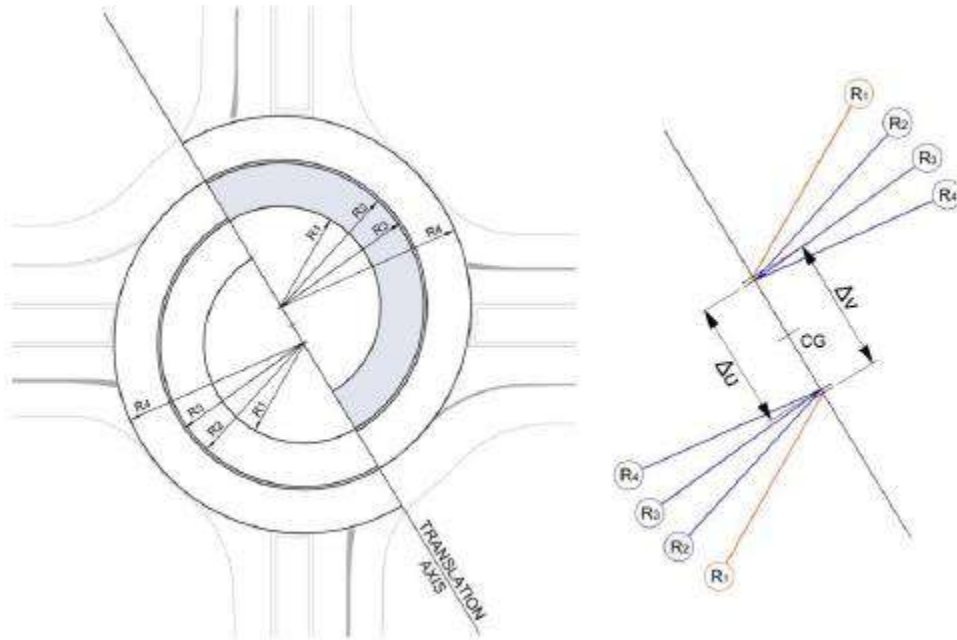
Εικόνα 3.23.3 Τύποι σπειροειδών κυκλικών κόμβων (Fortuijn, 2009)

3.2.3.1 Γεωμετρικός σχεδιασμός

Το γεωμετρικό σχήμα της σπειροειδούς τροχιάς που εμφανίζεται στην κυκλοτερή διαδρομή προκύπτει από την ταυτόχρονη ανάπτυξη δύο ένθετων σπειρών, κάθε μία με τρία τμήματα κυκλικών τόξων με συνεχόμενα μεγαλύτερες ακτίνες και με τα κέντρα τους αντίστοιχα στα αριστερά και στα δεξιά από το γεωμετρικό κέντρο του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Κάθε απόκλιση μέσα στην ακτίνα πρέπει να αντιστοιχίζεται με μετατόπιση του κέντρου της πάνω σε μία ευθεία που ονομάζεται **Άξονας Μετάθεσης** (Translation Axis), σε τέτοια απόσταση που να εξασφαλίζεται ότι η σπείρα παραμένει συνεχής. Το διάγραμμα που συγκεντρώνει τις σπείρες αυτές πάνω στο τμήμα του άξονα μετάθεσης ονομάζεται **Σπειροειδές Τετράγωνο** (Turbo-Block), το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο στον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου, καθώς αναπαριστά τα όρια των λωρίδων κυκλοφορίας.

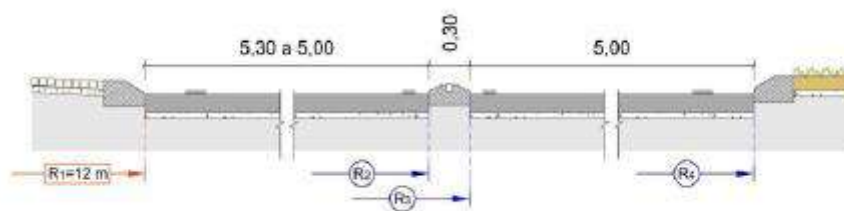
Οι διαστάσεις του σπειροειδούς τετραγώνου οφείλουν πάντα να διασφαλίζουν ότι η λειτουργική ταχύτητα δεν υπερβαίνει τα 40 km/h, και ότι ταυτόχρονα μπορεί να εξυπηρετήσει την ημικυκλική τροχιά του οχήματος σχεδιασμού, κάτι που απαιτεί κατάλληλη επιλογή των ακτίνων και των πλατών των λωρίδων. Εξαιτίας του ότι όλες οι ημικυκλικές κινήσεις είναι πλατύτερες, όταν η ακτίνα είναι μικρότερη, προκύπτει η ανάγκη εισαγωγής ενός επιπλέον πλάτους στην εσωτερική λωρίδα που θα μειώνεται καθώς θα εκτυλίσσεται η σπείρα. Ο υπολογισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω υπολογιστικών εργαλείων τα οποία σχεδιάζουν την ημικυκλική κίνηση του οχήματος σχεδιασμού καθώς αυτό κινείται στο κυκλοτερές οδόστρωμα, αποφεύγοντας να διασχίσει τόσο την κεντρική νησίδα όσο και τα υπερυψωμένα διαχωριστικά των λωρίδων. Για την επίτευξη αυτού του επιπρόσθετου πλάτους, αντί να υπάρχουν δύο κεντρικά σημεία θα πρέπει να υπάρχουν τέσσερα κεντρικά σημεία: δύο σημεία στη δεξιά πλευρά του άξονα μετάθεσης και δύο στην αριστερή πλευρά. Η απόσταση μεταξύ των εξωτερικών σημείων ορίζεται ως Δv και η αντίστοιχη απόσταση των εσωτερικών σημείων ορίζεται ως Δu . Τα εξωτερικά σημεία χρησιμοποιούνται για τα ενδότερα κυκλικά τόξα (R_1), αναπαριστώντας το εξωτερικό όριο της κεντρικής

νησίδας (ή το εσωτερικό όριο της εσωτερικής λωρίδας). Τα υπόλοιπα κυκλικά τόξα (R_2, R_3, R_4) δημιουργούνται μέσω των εσωτερικών σημείων (Δu). Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα σπειροειδές τετράγωνο κατάλληλο για σπειροειδείς κυκλικούς κόμβους «Βασικής» μορφής και μορφής «Αυγού». (Bastos Silva et al., 2013)



Εικόνα 3.24 Λεπτομέρεια σπειροειδούς τετραγώνου (Turbo-block) (Bastos Silva et al., 2013)

Η διαδικασία του γεωμετρικού σχεδιασμού ξεκινά με τον ορισμό των βασικών διαστάσεων, όπως η εσωτερική ακτίνα της εσωτερικής λωρίδας (R_1), το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας (L_i and L_e) και το πλάτος του διαχωριστικού λωρίδων (L_s) (βλ. εικ. 3.15). (Bastos Silva et al., 2013)



Εικόνα 3.25 Τομή κυκλοτερούς οδοστρώματος (παράδειγμα) (Bastos Silva et al., 2013)

Για το προηγούμενο παράδειγμα ο πίνακας 3.6 παρουσιάζει τη μαθηματική διαδικασία που απαιτείται για τον προσδιορισμό των υπόλοιπων διαστάσεων στους συνήθεις τύπους σπειροειδών κυκλικών κόμβων. (Bastos Silva et al., 2013)

Στοιχείο	Πλάτος (m)	
R ₁	12.00	
R ₂	12.00+5.15=17.15	R ₂ = R ₁ +L _i
R ₃	17.15+0.30=17.45	R ₃ = R ₂ +L _s
R ₄	17.45+5.00=22.45	R ₄ = R ₃ +L _e

Πίνακας 3.6 Υπολογισμός ακτινών λωρίδων (Bastos Silva et al., 2013)

Κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό αποτελεί συνήθη διαδικασία να υιοθετούνται συγκεκριμένες κλάσεις διαστάσεων κάθε μία με προκαθορισμένες διαστάσεις. Για τον λόγο αυτό, για κάθε βασική μορφή σπειροειδούς κόμβου έχουν καθιερωθεί τέσσερις τυπικές λύσεις, αναφερόμενες στην αριθμητική τιμή της εσωτερικής ακτίνας του κυκλοτερούς οδοστρώματος (R₁) και τις υπολειπόμενες γεωμετρικές παραμέτρους που βασίζονται σε αυτή τη διάσταση. Οι κλάσεις διαστάσεων είναι:

- R₁ = 10.50 m
- R₁ = 12.00 m
- R₁ = 15.00 m
- R₁ = 20.00 m

Σύμφωνα με (CROW, 2008) κάθε σχεδιασμός οφείλει να ξεκινά με την κλάση που ελαχιστοποιεί τη λειτουργική ταχύτητα (R₁ = 12.00 m) και οι ανώτερες κλάσεις να χρησιμοποιούνται μόνο εφόσον τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά το απαιτούν. Η κλάση R₁ = 10.50 m μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατ' εξαίρεση σε τοποθεσίες όπου περιορισμοί χώρου δεν επιτρέπουν την υιοθέτηση άλλων λύσεων. Η διαδικασία του γεωμετρικού σχεδιασμού που περιγράφηκε προηγουμένως μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε κλάση διαστάσεων. Στον πίνακα 3.7 συνοψίζονται οι διαστάσεις που επιτυγχάνονται από τη διαδικασία υπολογισμού που προαναφέρθηκε. (Bastos Silva et al., 2013)

Στοιχείο			Διάσταση (m)			
Εσωτερική λωρίδα	Εσωτερική ακτίνα	R ₁	10.50	12.00	15.00	20.00
	Εξωτερική ακτίνα	R ₂	15.85	17.15	20.00	24.90
Εξωτερική λωρίδα	Εσωτερική ακτίνα	R ₃	16.15	17.45	20.30	25.20
	Εξωτερική ακτίνα	R ₄	21.15	22.45	25.20	29.90
Εσωτερική λωρίδα	Πλάτος αρχής	L _i	5.70	5.30	5.10	5.10
	Πλάτος τέλους	L _i	5.00	5.00	4.90	4.70
	Μέσο πλάτος	L _i	5.35	5.15	5.00	4.90
Πλάτος εξωτερικής λωρίδας		L _e	5.00	5.00	4.90	4.70
Πλάτος διαχωριστικού λωρίδων		L _s	0.30			

Πίνακας 3.7 Τυποποιημένες διαστάσεις σε βασικό σπειροειδή κυκλικό κόμβο (Bastos Silva et al., 2013)

3.2.3.2 Κυκλοφοριακή Σήμανση

Η αποτελεσματική χρήση του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου απαιτεί ότι οποιαδήποτε απόφαση σχετική με τον επιθυμητό προορισμό πρέπει να ληφθεί προτού ο οδηγός εισέλθει στο κυκλοτερές οδόστρωμα. Υπό αυτήν την έννοια, η χρήση αποτελεσματικής κυκλοφοριακής σήμανσης σχετίζεται άμεσα, ώστε να παρέχεται ξεκάθαρη και έγκαιρη πληροφόρηση στους οδηγούς αναφορικά με τις πολλαπλές διαδρομές και τον τρόπο αντιμετώπισης της προσέγγισης στον κυκλικό κόμβο μέσω των πολλαπλών λωρίδων. Ως εκ τούτου, η επιλογή και τοποθέτηση των ορθών διαδρομών στις λωρίδες εισόδου είναι ιδιαίζουσες σημασίες, καθώς τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού της σπειροειδούς τροχιάς δεν επιτρέπουν στον οδηγό την εναλλαγή λωρίδων κυκλοφορίας όταν βρίσκεται μέσα στο κυκλοτερές οδόστρωμα, καθιστώντας δύσκολη την οδήγηση ολόκληρου του κύκλου, ώστε να επιδιορθωθεί μια ενδεχομένως λανθασμένη απόφαση.

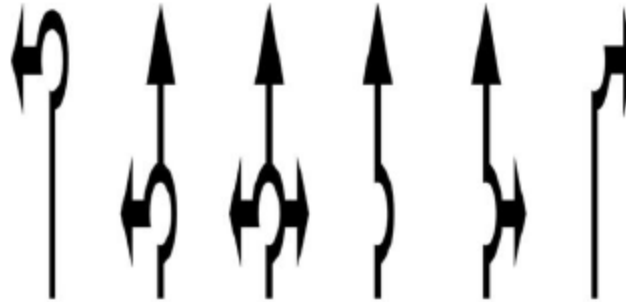
Στο πεδίο της σήμανσης στις προσβάσεις δύο λωρίδων είναι άξιοι αναφοράς οι προ-διασταύρωσης πίνακες. Η σήμανση αυτού του τύπου, ελέγχοντας τη χρήση της λωρίδας κυκλοφορίας, υιοθετεί ένα γράφημα με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά, το οποίο « μεταφράζει » το γεωμετρικό σχέδιο της γεωμετρικής επίλυσης και εμπεριέχει τόσο τους προορισμούς για κάθε μία κατεύθυνση, όσο και την αναγνώριση των αντίστοιχων οδών. Αυτές οι πινακίδες του κυκλικού κόμβου πρέπει να τοποθετούνται είτε πάνω από κάθε πρόσβαση είτε προτιμότερα στο όριο πριν από κάθε πρόσβαση. Στη συνέχεια, η πληροφορία συνήθως παρουσιάζεται σε μονή πινακίδα τοποθετημένη στη δεξιά πλευρά της πρόσβασης ή διαχωρίζεται σε δύο ανεξάρτητες πινακίδες χρησιμοποιώντας τη διαχωριστική νησίδα για την τοποθέτηση της πληροφορίας που σχετίζεται με την αριστερή λωρίδα κυκλοφορίας της πρόσβασης. (Bastos Silva et al., 2013)



Εικόνα 3.26 Θέση σήμανσης στην πρόσβαση σπειροειδούς κυκλικού κόμβου κοντά στην πόλη του Delft (Bastos Silva et al., 2013)

Κατά τον ίδιο τρόπο όπως η σήμανση μέσω πινακίδων, έτσι και η διαγράμμιση του οδοστρώματος αποτελεί κρίσιμο χαρακτηριστικό ούτως ώστε να διασφαλίζεται η ορθή κατανόηση των διαθέσιμων διαδρομών. Αναφορικά με αυτό (Fortuijn, 2011) θεωρείται απαραίτητη, παράλληλα με τους προ-διασταύρωσης πίνακες, η χρήση επεξηγήσεων μορφής βέλους που αναπαριστούν την πληροφορία που αναφέρεται τους πίνακες. Αυτά τα βέλη, επίσης γνωστά ως « αγκίστρι » (fish-hook), πρέπει να

τοποθετούνται σε κάθε μία λωρίδα εισόδου, να διαθέτουν διαστάσεις συμβατές με την ταχύτητα των 50 km/h και να ταξινομούνται σε ομάδες τουλάχιστον τεσσάρων διαδοχικών μονάδων (CROW, 2005). Η χρήση αυτού του είδους της διαγράμμισης εντός του κυκλοτερούς οδοστρώματος θεωρείται περιττή όταν εισάγεται σε φυσικά οριοθετημένες σπειροειδείς τροχιές, και συνεπώς δεν προτείνεται. (Bastos Silva et al., 2013)



Εικόνα 3.27 Βέλη σήμανσης που χρησιμοποιούνται στις λωρίδες εισόδου (Bastos Silva et al., 2013)

4. Αναλυτικές σχέσεις για τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου

4.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται οι αναλυτικές σχέσεις βάσει των οποίων προκύπτουν τα γεωμετρικά στοιχεία που αποτελούν τον σπειροειδή κυκλικό κόμβο. Οι αναλυτικές αυτές σχέσεις βασίζονται στις αναλυτικές σχέσεις που αναπτύχθηκαν για τον σχεδιασμό του κυκλικού κόμβου μίας λωρίδας κυκλοφορίας στη διπλωματική εργασία του Χ. Αλεξάκη (« ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ », 2007) τροποποιημένες αναλόγως για την περίπτωση του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Η παρουσίαση των αναλυτικών σχέσεων ακολουθεί τη σειρά που εκτελούνται από το πρόγραμμα. Έτσι διαχωρίζονται σε τρία τμήματα:

- Στον σχεδιασμό της κυκλοτερούς επιφάνειας και των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο.
- Στις κατευθυντήριες διαχωριστικές νησίδες.
- Στις οριογραμμές εισόδου – εξόδου.

4.2 Σχεδιασμός της κυκλικής επιφάνειας και των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο

Προτού ξεκινήσει οποιαδήποτε διαδικασία πρέπει να γίνει η εξής παραδοχή:

Οι άξονες όλων των κλάδων διέρχονται από ένα κοινό σημείο. Αυτό το σημείο τομής όλων των αξόνων θα θεωρείται ως αρχή ενός συστήματος συντεταγμένων x,y (δηλαδή το σημείο $(0,0)$). Το σημείο αυτό θα θεωρείται το Γεωμετρικό Κέντρο (Geometric Centre) του σπειροειδούς τετραγώνου (turbo-block) και κατ' επέκταση του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Δεξιά και αριστερά του γεωμετρικού κέντρου σε απόσταση $\Delta u/2$ (βλ. ενότητα 3.2.3.1) τοποθετούνται τα κέντρα των ένθετων σπειρών η ταυτόχρονη ανάπτυξη των οποίων δημιουργεί το γεωμετρικό σχήμα της σπειροειδούς τροχιάς που εμφανίζεται στην κυκλοτερή διαδρομή του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου.

Η διαδικασία σχεδιασμού ξεκινά με τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Για τον σχεδιασμό του υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ δύο τρόπων, είτε σχεδιάζοντας πρώτα την κεντρική νησίδα και εν συνεχεία το οδόστρωμα

κυκλοφορίας (δηλαδή ο σχεδιασμός να ξεκινά από το μικρότερης ακτίνας τόξο προς το αντίστοιχο μεγαλύτερης ακτίνας), είτε χαράσσοντας αρχικά την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος και εν συνεχεία τις λωρίδες κυκλοφορίας (δηλαδή από το τόξο μεγαλύτερης ακτίνας προς το αντίστοιχο μικρότερης ακτίνας). Επαφίεται στην κρίση του μελετητή η επιλογή της διαδικασίας που θα ακολουθηθεί λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα, τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς που επιβάλλονται σε κάθε διασταύρωση. Εδώ θα εξεταστεί η πρώτη περίπτωση καθώς είναι αυτή που αναπτύχθηκε στο λογισμικό σχεδιασμού. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι στις παρακάτω αναλυτικές σχέσεις επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν ακτίνες αντί για διαμέτρους προς απλοποίηση των σχέσεων.

1. Εύρεση γεωμετρικού κέντρου (GC) του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου

Οι συντεταγμένες του γεωμετρικού κέντρου του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου προκύπτουν από τον μέσο όρο των συντεταγμένων των σημείων τομής των διαδοχικών αξόνων των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο.

$$\left. \begin{array}{l} (\varepsilon_i) \quad y = \alpha_i \cdot x + \beta_i \\ (\varepsilon_{i+1}) \quad y = \alpha_{i+1} \cdot x + \beta_{i+1} \end{array} \right\} \Rightarrow x_{i,i+1} = \frac{\beta_{i+1} - \beta_i}{\alpha_i - \alpha_{i+1}}, \quad y_{i,i+1} = \alpha_i \cdot \frac{\beta_{i+1} - \beta_i}{\alpha_i - \alpha_{i+1}} + \beta_i$$

Σημείο τομής των αξόνων των κλάδων $(\varepsilon_i), (\varepsilon_{i+1}) : (x_{i,i+1}, y_{i,i+1})$.

Συντεταγμένες γεωμετρικού κέντρου (x_{GC}, y_{GC}) :

$$x_{GC} = \frac{x_{i,i+1} + x_{i+1,i+2} + \dots + x_{j,i}}{j}, \quad y_{GC} = \frac{y_{i,i+1} + y_{i+1,i+2} + \dots + y_{j,i}}{j},$$

όπου j το πλήθος των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο.

- 2. Σχεδιάζεται ο άξονας μετάθεσης που διέρχεται από το γεωμετρικό κέντρο (GC) και έχει συντελεστή διεύθυνσης (λ) που επιλέγεται από το μελετητή. Στον άξονα αυτό τοποθετούνται δεξιά και αριστερά του GC και σε απόσταση $\Delta u/2$ τα κέντρα των ένθετων σπειρών (K_1, K_2).**

Η εξίσωση ευθείας του άξονα μετάθεσης είναι:

$$y = \lambda_i \cdot x \quad \text{ευθεία } (\varepsilon_i)$$

- 3. Σχεδιάζεται η κεντρική νησίδα που προκύπτει από τα κυκλικά τόξα των ένθετων σπειρών με κέντρα K_1 , K_2 και ακτίνα R_1 , η οποία επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κόμβου. Η ακτίνα R_1 αποτελεί την εσωτερική ακτίνα της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας.**

Οι εξισώσεις των κύκλων από τους οποίους προκύπτουν τα ζητούμενα κυκλικά τόξα είναι:

$$(x - x_{K_1})^2 + (y - y_{K_1})^2 = R_1^2 \quad \text{κύκλος } (C_{1_1})$$

$$(x - x_{K_2})^2 + (y - y_{K_2})^2 = R_1^2 \quad \text{κύκλος } (C_{1_2})$$

- 4. Σχεδιάζονται τα κυκλικά τόξα των ένθετων σπειρών με κέντρα K_1 , K_2 και ακτίνα $R_2=R_1+L_i$ που αποτελούν το εξωτερικό όριο της εσωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας.**

Οι εξισώσεις των κύκλων από τους οποίους προκύπτουν τα ζητούμενα κυκλικά τόξα είναι:

$$(x - x_{K_1})^2 + (y - y_{K_1})^2 = R_2^2 \quad \text{κύκλος } (C_{2_1})$$

$$(x - x_{K_2})^2 + (y - y_{K_2})^2 = R_2^2 \quad \text{κύκλος } (C_{2_2})$$

- 5. Σχεδιάζονται τα κυκλικά τόξα των ένθετων σπειρών με κέντρα K_1 , K_2 και ακτίνα $R_3=R_2+L_s$ που αποτελούν το εσωτερικό όριο της εξωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας.**

Οι εξισώσεις των κύκλων από τους οποίους προκύπτουν τα ζητούμενα κυκλικά τόξα είναι:

$$(x - x_{K_1})^2 + (y - y_{K_1})^2 = R_3^2 \quad \text{κύκλος } (C_{3_1})$$

$$(x - x_{K_2})^2 + (y - y_{K_2})^2 = R_3^2 \quad \text{κύκλος } (C_{3_2})$$

- 6. Σχεδιάζονται τα κυκλικά τόξα των ένθετων σπειρών με κέντρα K_1 , K_2 και ακτίνα $R_4=R_3+L_e$ που αποτελούν το εξωτερικό όριο της εξωτερικής λωρίδας κυκλοφορίας.**

Οι εξισώσεις των κύκλων από τους οποίους προκύπτουν τα ζητούμενα κυκλικά τόξα είναι:

$$(x - x_{K_1})^2 + (y - y_{K_1})^2 = R_4^2 \quad \text{κύκλος } (C_{4_1})$$

$$(x - x_{K_2})^2 + (y - y_{K_2})^2 = R_4^2 \quad \text{κύκλος } (C_{4_2})$$

7. Χαράσσεται ο άξονας κάθε κλάδου που συμβάλλει στον κόμβο.

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα παραδοχή, όλοι οι άξονες των κλάδων διέρχονται από το γεωμετρικό κέντρο (δηλαδή το σημείο $(0,0)$). Αρκεί να είναι γνωστό ακόμη ένα σημείο πάνω στον άξονα κάθε κλάδου για να μπορέσουμε να ορίσουμε την εξίσωση της ευθείας του.

Για την περίπτωση ενός κόμβου, όπου συμβάλλουν σε αυτόν j κλάδοι, δίνοντας τις συντεταγμένες ενός σημείου του άξονα του κλάδου ορίζεται η εξίσωση της ευθείας του άξονα. Δίνοντας τις συντεταγμένες των σημείων (x_j, y_j) , ο συντελεστής διεύθυνσης που προκύπτει εάν ενωθεί το γεωμετρικό κέντρο με κάθε ένα από τα σημεία (x_j, y_j) των αξόνων θα είναι:

$$\lambda_j = \frac{y_j}{x_j}.$$

8. Χαράσσονται παράλληλες ευθείες προς τον άξονα της οδού που αντιστοιχούν στις οριογραμμές κάθε κλάδου.

Για να σχεδιαστούν οι παράλληλες ευθείες πρέπει να είναι γνωστά τα πλάτη των λωρίδων ανά κατεύθυνση. Το πλάτος της δεξιάς και της αριστερής λωρίδας είναι $w_{\text{δεξ}}$, $w_{\text{αρ}}$ αντίστοιχα.

Για το σωστό ορισμό των οριογραμμών των κλάδων πρέπει να ληφθεί υπόψη και το πλήθος των λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, ανάλογα δηλαδή εάν ο κλάδος αποτελεί είσοδο στον κόμβο ή έξοδο από αυτόν ή συγκεντρώνει και τις δύο λειτουργίες. Κάθε κλάδος εισόδου στον κόμβο οφείλει να διαθέτει δύο λωρίδες κυκλοφορίας και επίσης θα πρέπει τουλάχιστον δύο από τους κλάδους εξόδου να διαθέτουν δύο λωρίδες κυκλοφορίας. (βλ. ενότητα 3.2.3)

Γενικά ορίζεται ότι η απόσταση d δύο παράλληλων ευθειών (δ_1) , (δ_2) είναι (<http://users.sch.gr>) :

$$d(\delta_1, \delta_2) = \frac{|\beta_1 - \beta_2|}{\sqrt{1 + \lambda^2}},$$

όπου $(\delta_1) : y = \lambda \cdot x + \beta_1$ και $y = \lambda \cdot x + \beta_2$ στη γενική τους μορφή.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι εάν γνωρίζουμε την εξίσωση ευθείας του άξονα της οδού (δηλαδή β_1 γνωστό, αν θεωρήσουμε ότι (δ_1) η εξίσωση της ευθείας του άξονα) και με δεδομένο το πλάτος έκαστης λωρίδας, αρκεί να γνωρίζουμε ένα ακόμη σημείο της παράλληλης ευθείας στον άξονα της οδού για να ορίσουμε την οριογραμμή του κλάδου. Τότε θα ισχύει:

$$\beta_2 = \beta_1 \mp \left(d(\delta_1, \delta_2) \cdot \sqrt{1 + \lambda^2} \right),$$

δηλαδή προκύπτουν δύο ρίζες για το β_2 , από τις οποίες η μία αντιστοιχεί στην αριστερή οριογραμμή του κλάδου και η άλλη στη δεξιά οριογραμμή κατά περίπτωση.

9. Υπολογίζονται τα σημεία (x_{oj}, y_{oj}) . Είναι τα σημεία όπου η εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού οδοστρώματος τέμνει τον άξονα κάθε κλάδου.

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \quad \text{κύκλος } (C_{4_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x \quad \text{άξονας κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (-2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_j^2, \quad \beta = -2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \quad \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{oj1,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{oj1} = \lambda_j \cdot x_{oj1}, \quad y_{oj2} = \lambda_j \cdot x_{oj2}$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες των σημείων (x_{oj}, y_{oj}) .

4.3 Κατευθυντήριες διαχωριστικές νησίδες

Μετά το σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου και των κλάδων που συμβάλλουν σε αυτόν σχεδιάζονται οι κατευθυντήριες διαχωριστικές νησίδες.

4.3.1 Διαγραμμισμένη περιοχή κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας

Αρχικά παρουσιάζονται οι σχέσεις που αφορούν τη διαγραμμισμένη περιοχή της κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας.

1. **Χαράσσεται κυκλικό τόξο που προκύπτει από κύκλο C_{π_i} ακτίνας $\pi_i/2$ και έχει κέντρο το σημείο (x_{oj}, y_{oj}) που υπολογίστηκε στην ενότητα 4.2. Όπου π_i είναι το πλάτος της νησίδας.**

Ο κύκλος αυτός θα έχει εξίσωση:

$$(x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 = \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 \text{ κύκλος } (C_{\pi_i})$$

2. **Υπολογίζονται τα σημεία τομής του παραπάνω κυκλικού τόξου με το κυκλικό τόξο της εξωτερικής οριογραμμής του κυκλοτερούς οδοστρώματος. Τα σημεία αυτά είναι τα (x_{k1}, y_{k1}) , (x_{k2}, y_{k2}) .**

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 \text{ κύκλος } (C_{\pi_i}) \\ (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \text{ κύκλος } (C_{4_i}), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}) \cdot x + (2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}) \cdot y + \left[\left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 \right) - \left(x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2 \right) \right] = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = -2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}, \beta = 2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}, \gamma = \left[\left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 \right) - \left(x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2 \right) \right]$$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\epsilon) \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο (Cπ_i)

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa) \cdot x + \left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda \right) = 0$$

$$\text{Θέτω } \zeta = \kappa^2 + 1, \eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa, \theta = x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2}\right)^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda$$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k1,2} = \frac{-\eta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{k1} = \kappa \cdot x_{k1} + \lambda, \quad y_{k2} = \kappa \cdot x_{k2} + \lambda$$

- 3. Σχεδιάζεται κυκλικό τόξο που προκύπτει από κύκλο με ακτίνα $R_3' = R_4 + L_{\delta i}$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$ και $L_{\delta i}$ το μήκος διαπλάτυνσης.**

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_3'^2 \quad \text{κύκλος } (C'_{3_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

- 4. Υπολογίζεται το σημείο τομής του κυκλικού τόξου ακτίνας R_3' με τον άξονα του κλάδου, το οποίο έχει συντεταγμένες (x_{k3}, y_{k3}).**

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_3'^2 \quad \text{κύκλος } (C'_{3_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x \quad \text{άξονας κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (-2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_3'^2) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_j^2, \beta = -2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_3'^2$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k3_{1,2}} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{k3_1} = \lambda_j \cdot x_{k3_1}, \quad y_{k3_2} = \lambda_j \cdot x_{k3_2}$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{k3}, y_{k3}).

- 5. Χαράσσεται η ευθεία (k_1) που συνδέει το σημείο με συντεταγμένες (x_{k1}, y_{k1}) με το σημείο που έχει συντεταγμένες (x_{k3}, y_{k3}) και αντιστοίχως η ευθεία (k_2) μεταξύ του (x_{k2}, y_{k2}) και του (x_{k3}, y_{k3}).**

Οι συντελεστές διεύθυνσης των ευθειών αυτών είναι:

$$\lambda_{k1} = \frac{y_{k3} - y_{k1}}{x_{k3} - x_{k1}}, \lambda_{k2} = \frac{y_{k3} - y_{k2}}{x_{k3} - x_{k2}}$$

Οι εξισώσεις των ευθειών αυτών είναι:

$$y = \lambda_{k1} \cdot x + (y_{k3} - \lambda_{k1} \cdot x_{k3}) \text{ ευθεία (k1)}$$

$$y = \lambda_{k2} \cdot x + (y_{k3} - \lambda_{k2} \cdot x_{k3}) \text{ ευθεία (k2)}$$

Καμπύλο τμήμα νησίδας κατά την είσοδο στον κόμβο (εσωτερική οριογραμμή εισόδου)

6. Αρχικά υπολογίζεται το κέντρο του κύκλου που θα εφάπτεται στην ευθεία (k1) και την κεντρική νησίδα. Θα πρέπει πρώτα να σχεδιαστεί κύκλος με ακτίνα $R_{11}=R_1+1,5 \cdot R_{\epsilon\iota\sigma\iota}$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$ και $R_{\epsilon\iota\sigma\iota}$ η ακτίνα εισόδου.

Ο κύκλος C_{11} έχει εξίσωση:

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_{11}^2 \text{ κύκλος } (C_{11_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

7. Χαράσσεται ευθεία (k1') παράλληλη στην ευθεία (k1) σε απόσταση $1,5 \cdot R_{\epsilon\iota\sigma\iota}$.

Η ευθεία (k1') έχει εξίσωση:

$$y = \lambda_{k1} \cdot x + (y_{k1} - \lambda_{k1} \cdot x_{k1}) + (1,5 \cdot R_{\epsilon\iota\sigma\iota} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{k1}^2}) \text{ ευθεία } (k'_1)$$

8. Υπολογίζεται το σημείο τομής της ευθείας (k1') και του κύκλου C_{11} που έχει συντεταγμένες (x_{k10}, y_{k10}) .

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_{11}^2 \text{ κύκλος } (C_{11_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_{k1} \cdot x + (y_{k1} - \lambda_{k1} \cdot x_{k1}) + (1,5 \cdot R_{\epsilon\iota\sigma\iota} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{k1}^2}) \text{ ευθεία } (k'_1) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Theta\acute{\epsilon}\tau\omega \kappa = (y_{k1} - \lambda_{k1} \cdot x_{k1}) + (1,5 \cdot R_{\epsilon\iota\sigma\iota} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{k1}^2})$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{k1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{k1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_{11}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa) = 0$$

$$\Theta\acute{\epsilon}\tau\omega \alpha = 1 + \lambda_{k1}^2, \beta = 2 \cdot \lambda_{k1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_{11}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa$$

$$\text{Προκύπτει τριώνυμο: } \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0 \text{ με διακρίνουσα } \Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k10_{1,2}} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{k10_1} = \lambda_j \cdot x_{k10_1}, y_{k10_2} = \lambda_j \cdot x_{k10_2}$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{k10}, y_{k10}) .

- 9. Με κέντρο το σημείο (x_{k10}, y_{k10}) και ακτίνα $1,5 \cdot R_{εισί}$ σχεδιάζεται ένας κύκλος C_{12} , ο οποίος θα εφάπτεται στην ευθεία (k_1) και την κεντρική νησίδα.**

Η εξίσωση του κύκλου C_{12} θα είναι:

$$(x - x_{k10})^2 + (y - y_{k10})^2 = R_{12}^2 \quad \text{κύκλος } (C_{12})$$

- 10. Υπολογίζεται το σημείο τομής του κύκλου C_{12} με την ευθεία (k_1) που θα έχει συντεταγμένες (x_{k13}, y_{k13}) .**

Θέτω

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{k10})^2 + (y - y_{k10})^2 &= R_{12}^2 \quad \text{κύκλος } (C_{12}) \\ y &= \lambda_{k1} \cdot x + (y_{k3} - \lambda_{k1} \cdot x_{k3}) \quad \text{ευθεία } (k_1) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\text{Θέτω } \kappa = (y_{k3} - \lambda_{k1} \cdot x_{k3})$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{k1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{k1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{k10} - 2 \cdot \lambda_{k1} \cdot y_{k10}) + (x_{k10}^2 + y_{k10}^2 - R_{12}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{k10} \cdot \kappa) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_{k1}^2, \beta = 2 \cdot \lambda_{k1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{k10} - 2 \cdot \lambda_{k1} \cdot y_{k10}, \gamma = x_{k10}^2 + y_{k10}^2 - R_{12}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{k10} \cdot \kappa$$

$$\text{Προκύπτει τριώνυμο: } \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0 \text{ με διακρίνουσα } \Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$$

Πρέπει $\Delta = 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 1 διπλή ρίζα και ο κύκλος (C_{12})

να εφάπτεται στην ευθεία (k_1) .

$$x_{k13} = \frac{-\beta}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{k13} = \lambda_{k1} \cdot x_{k13}$$

4.3.2 Υπερυψωμένη μη βατή περιοχή της κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας

- 1. Σχεδιάζεται κύκλος με ακτίνα $(\pi/2 - 0,4)$ και κέντρο το σημείο τομής του άξονα της οδού με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος (x_{oj}, y_{oj}) , τμήμα του οποίου θα αποτελεί το υπερυψωμένο τμήμα της νησίδας.**

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 = \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2$$

- 2. Υπολογίζονται τα σημεία τομής (x_{k4}, y_{k4}) , (x_{k5}, y_{k5}) του παραπάνω κύκλου με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλικού οδοστρώματος.**

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 \\ (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \text{ κύκλος } (C_{4_i}), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}) \cdot x + (2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}) \cdot y + \left[\left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 \right) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right] = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = -2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}, \beta = 2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}, \gamma = \left[\left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 \right) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right]$$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\varepsilon) \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa) \cdot x + \left(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda \right) = 0$$

$$\text{Θέτω } \zeta = \kappa^2 + 1, \eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa, \theta = x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - \left(\frac{\pi_i}{2} - 0.4\right)^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda$$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k4,5} = \frac{-\eta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{k4} = \kappa \cdot x_{k4} + \lambda, \quad y_{k5} = \kappa \cdot x_{k5} + \lambda$$

- 3. Στη συνέχεια σχεδιάζεται κύκλος με ακτίνα $R_4' = R_4 + \mu$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$ και μ προκύπτει από τη σχέση που δίνεται παρακάτω:**

$$\mu = \frac{(\pi_i - 0.4) \cdot (l_i - r_i)}{\pi_i - 0.4 - 2 \cdot r_i},$$

όπου π_i το πλάτος της νησίδας, l_i το μήκος της νησίδας και r_i η ακτίνα του τόξου στρογγύλευσης μεταξύ των δύο ευθειών της νησίδας.

Η εξίσωση του κύκλου (C_4') είναι:

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_4'^2 \quad \text{κύκλος } (C_4'), \text{ όπου } i=1,2$$

- 4. Προσδιορίζεται το σημείο τομής (x_{k6}, y_{k6}) του παραπάνω κύκλου με τον άξονα του κλάδου.**

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4'^2 \quad \text{κύκλος } (C_4'), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x \quad \text{άξονας κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (-2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4'^2) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_j^2, \beta = -2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4'^2$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k6_{1,2}} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{k6_1} = \lambda_j \cdot x_{k6_1}, \quad y_{k6_2} = \lambda_j \cdot x_{k6_2}$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{k6}, y_{k6}).

- 5. Ενώνονται τα σημεία (x_{k4}, y_{k4}), (x_{k6}, y_{k6}) και τα (x_{k5}, y_{k5}), (x_{k6}, y_{k6}) με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο ευθειών ($k3$) και ($k4$) αντίστοιχα.**

Οι συντελεστές διεύθυνσης των ευθειών αυτών είναι:

$$\lambda_{k3} = \frac{y_{k6} - y_{k4}}{x_{k6} - x_{k4}}, \quad \lambda_{k4} = \frac{y_{k6} - y_{k5}}{x_{k6} - x_{k5}}$$

Οι εξισώσεις των ευθειών αυτών είναι:

$$y = \lambda_{k3} \cdot x + (y_{k6} - \lambda_{k3} \cdot x_{k6}) \quad \text{ευθεία } (k3)$$

$$y = \lambda_{k4} \cdot x + (y_{k6} - \lambda_{k4} \cdot x_{k6}) \quad \text{ευθεία } (k4)$$

- 6. Σχεδιάζεται κύκλος με ακτίνα $R_5 = R_4 + (0.63 \cdot l_i - r_i)$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$.**

Η εξίσωση του κύκλου είναι:

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_5^2 \quad \text{κύκλος } (C_5), \text{ όπου } i=1,2$$

7. Υπολογίζουμε το σημείο τομής (x_{k7}, y_{k7}) του παραπάνω κύκλου με τον άξονα του κλάδου.

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_5^2 \quad \text{κύκλος } (C_{5_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x \quad \text{άξονας κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (-2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_5^2) = 0$$

$$\Theta \acute{\epsilon} \tau \omega \alpha = 1 + \lambda_j^2, \quad \beta = -2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \quad \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_5^2$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{k7_{1,2}} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{k7_1} = \lambda_j \cdot x_{k7_1}, \quad y_{k7_2} = \lambda_j \cdot x_{k7_2}$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{k7}, y_{k7}).

8. Σχεδιάζεται κύκλος με κέντρο το σημείο (x_{k7}, y_{k7}) και ακτίνα r_i που θα αποτελεί το τόξο στρογγύλευσης στην αιχμή της κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας. Ο κύκλος αυτός θα είναι εφαπτόμενος στις ευθείες (k_3) και (k_4).

Η εξίσωση του κύκλου είναι:

$$(x - x_{k7})^2 + (y - y_{k7})^2 = r_i^2$$

9. Στη συνέχεια βρίσκουμε τα σημεία τομής του παραπάνω κύκλου με τις ευθείες (k_3) και (k_4). Θα υπάρχει ένα σημείο τομής με κάθε ευθεία, αφού ο κύκλος είναι εφαπτόμενος στις δυο ευθείες.

Σημείο τομής ευθείας (k_3) με τον παραπάνω κύκλο (x_{k8}, y_{k8}):

$$x_{k8} = \frac{-\beta}{2\alpha}$$

$$y_{k8} = \lambda_{k3} \cdot \left(\frac{-\beta}{2 \cdot \alpha} \right) + (y_{k6} - \lambda_{k3} \cdot x_{k6})$$

$$\alpha = 1 + \lambda_{k3}^2$$

$$\text{όπου } \beta = 2\lambda_{k3}(y_{k6} - \lambda_{k3}x_{k6}) - 2x_{k7} - 2y_{k7}$$

Σημείο τομής ευθείας (k₄) με τον παραπάνω κύκλο (x_{k9},y_{k9}):

$$x_{k9} = \frac{-\beta}{2 \cdot \alpha}$$

$$y_{k9} = \lambda_{k4} \left(\frac{-\beta}{2 \cdot \alpha} \right) + (y_{k6} - \lambda_{k4} \cdot x_{k6})'$$

$$\alpha = 1 + \lambda_{k4}^2$$

$$\text{όπου } \beta = 2 \cdot \lambda_{k4} (y_{k6} - \lambda_{k4} \cdot x_{k6}) - 2 \cdot x_{k7} - 2 \cdot y_{k7}$$

4.4 Οριογραμμές εισόδου και εξόδου

4.4.1 Οριογραμμές εισόδου

Η διαδικασία σχεδιασμού συνεχίζεται με το σχεδιασμό των εισόδων στον κόμβο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλυτικές σχέσεις που περιλαμβάνουν και διαπλάτυνση της οδού κατά την είσοδο.

1. Επιλέγεται το πλάτος εισόδου $w_{\text{εισ}i}$ και σχεδιάζεται κυκλικό τόξο με ακτίνα $R_6 = \pi/2 + w_{\text{εισ}i}$ και κέντρο το σημείο τομής του άξονα της οδού με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος (x_{oj}, y_{oj}) .

Η εξίσωση του κύκλου (C_6) είναι:

$$(x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 = R_6^2 \text{ κύκλος } (C_6)$$

2. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κυκλικού τόξου με το κυκλικό τόξο της εξωτερικής οριογραμμής του κυκλοτερούς οδοστρώματος. Το σημείο αυτό είναι (x_{e1}, y_{e1}) .

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= R_6^2 \text{ κύκλος } (C_6) \\ (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \text{ κύκλος } (C_{4_i}), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}) \cdot x + (2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}) \cdot y + \left[(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_6^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right] = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = -2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{K_i}, \beta = 2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{K_i}, \gamma = \left[(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_6^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right]$$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\varepsilon) \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο (C₆)

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= R_6^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa) \cdot x + (x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_6^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda) = 0$$

Θέτω $\zeta = \kappa^2 + 1$, $\eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa$, $\theta = x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_6^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{\varepsilon 1,2} = \frac{-\eta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{\varepsilon 1} = \kappa \cdot x_{\varepsilon 1} + \lambda, \quad y_{\varepsilon 2} = \kappa \cdot x_{\varepsilon 2} + \lambda$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{ε1}, y_{ε1}).

- 3. Σχεδιάζεται κυκλικό τόξο που προκύπτει από κύκλο με ακτίνα R₃' και κέντρο K_i, όπου i=1,2.**

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_3'^2 \quad \text{κύκλος } (C'_{3_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

- 4. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με τη δεξιά οριογραμμή του κλάδου. Το σημείο αυτό είναι (x_{ε2}, y_{ε2}).**

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_3'^2 \quad \text{κύκλος } (C'_{3_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x + (0.75 + 2 \cdot w_{\varepsilon i \sigma i}) \cdot \sqrt{1 + \lambda_j^2} \quad \text{δεξιά οριογραμμή κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

Θέτω $\kappa = [(0.75 + 2 \cdot w_{\varepsilon i \sigma i}) \cdot \sqrt{1 + \lambda_j^2}]$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_j \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_3'^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa) = 0$$

Θέτω $\alpha = 1 + \lambda_j^2$, $\beta = 2 \cdot \lambda_j \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}$, $\gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_3'^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{\varepsilon 2,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{\varepsilon 2_1} = \lambda_j \cdot x_{\varepsilon 2_1} + \kappa, \quad y_{\varepsilon 2_2} = \lambda_j \cdot x_{\varepsilon 2_2} + \kappa$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{ε2}, y_{ε2}).

- 5. Ενώνοντας τα σημεία $(x_{ε1}, y_{ε1})$, $(x_{ε2}, y_{ε2})$ προκύπτει η εξίσωση της ευθείας $(ε_1)$ η οποία αποτελεί πλέον την εξωτερική οριογραμμή του κλάδου.**

Ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας $(ε_1)$ είναι:

$$\lambda_{ε1} = \frac{y_{ε2} - y_{ε1}}{x_{ε2} - x_{ε1}}$$

και η εξίσωση της είναι: $y = \lambda_{ε1}x + (y_{ε2} - \lambda_{ε1}x_{ε2})$ ευθεία $(ε_1)$

- 6. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση της δεξιάς οριογραμμής με τον κόμβο. Επιλέγεται η ακτίνα εισόδου $R_{εισι}$ και σχεδιάζεται πρώτα κύκλος (C_7) με ακτίνα $R_7 = R_4 + R_{εισι}$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$.**

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_7^2 \quad \text{κύκλος } (C_{7_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

- 7. Χαράσσεται ευθεία $(ε'_1)$ παράλληλη στην ευθεία $(ε_1)$ σε απόσταση $R_{εισι}$ που έχει εξίσωση:**

$$y = \lambda_{ε1} \cdot x + (y_{ε1} - \lambda_{ε1} \cdot x_{ε1}) + R_{εισι} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{ε1}^2} \quad \text{ευθεία } (ε'_1)$$

- 8. Υπολογίζεται το σημείο τομής του κύκλου (C_7) με την ευθεία $(ε'_1)$ με συντεταγμένες $(x_{ε3}, y_{ε3})$.**

Τομή της ευθείας $(ε'_1)$ με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_7^2 \quad \text{κύκλος } (C_{7_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_{ε1} \cdot x + (y_{ε1} - \lambda_{ε1} \cdot x_{ε1}) + R_{εισι} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{ε1}^2} \quad \text{ευθεία } (ε'_1) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\text{Θέτω } \kappa = \left[(y_{ε1} - \lambda_{ε1} \cdot x_{ε1}) + R_{εισι} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{ε1}^2} \right]$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{ε1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{ε1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_{ε1} \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_7^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_{ε1}^2, \quad \beta = 2 \cdot \lambda_{ε1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_{ε1} \cdot y_{K_i}, \quad \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_7^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{ε3_{1,2}} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{ε3_1} = \lambda_{ε1} \cdot x_{ε2_1} + \kappa, \quad y_{ε3_2} = \lambda_{ε1} \cdot x_{ε2_2} + \kappa$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες $(x_{ε3}, y_{ε3})$.

9. Με κέντρο το $(x_{\varepsilon 3}, y_{\varepsilon 3})$ και ακτίνα $R_{\varepsilon i \sigma i}$ σχεδιάζουμε κύκλο που εφάπτεται στη δεξιά οριογραμμή του κλάδου και στην εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος.

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{\varepsilon 3})^2 + (y - y_{\varepsilon 3})^2 = R_{\varepsilon i \sigma i}^2$$

10. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος με συντεταγμένες $(x_{\varepsilon 4}, y_{\varepsilon 4})$.

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{\varepsilon 3})^2 + (y - y_{\varepsilon 3})^2 &= R_{\varepsilon i \sigma i}^2 \\ (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \quad \text{κύκλος } (C_4), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{\varepsilon 3} + 2 \cdot x_{K_i}) \cdot x + (2 \cdot y_{\varepsilon 3} + 2 \cdot y_{K_i}) \cdot y + \left[(x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right] = 0$$

Θέτω $\alpha = -2 \cdot x_{\varepsilon 3} + 2 \cdot x_{K_i}$, $\beta = 2 \cdot y_{\varepsilon 3} + 2 \cdot y_{K_i}$, $\gamma = \left[(x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right]$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\varepsilon) \quad \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \quad \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{\varepsilon 3})^2 + (y - y_{\varepsilon 3})^2 &= R_{\varepsilon i \sigma i}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{\varepsilon 3} - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \kappa) \cdot x + (x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \lambda) = 0$$

Θέτω $\zeta = \kappa^2 + 1$, $\eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{\varepsilon 3} - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \kappa$, $\theta = x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \lambda$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta = 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 1 διπλή ρίζα και ο κύκλος να εφάπτεται στον κύκλο (C_4) .

$$x_{\varepsilon 4} = \frac{-\eta}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{\varepsilon 4} = \kappa \cdot x_{\varepsilon 4} + \lambda$$

11. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με τη δεξιά οριογραμμή του κλάδου με συντεταγμένες $(x_{ε5}, y_{ε5})$.

Τομή της ευθείας (ε_1) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{\varepsilon 3})^2 + (y - y_{\varepsilon 3})^2 &= R_{\varepsilon i \sigma i}^2 \\ y &= \lambda_{\varepsilon 1} x + (y_{\varepsilon 2} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{\varepsilon 2}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\text{Θέτω } \kappa = y_{\varepsilon 2} - \lambda_{\varepsilon 1} x_{\varepsilon 2}$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{\varepsilon 1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{\varepsilon 1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{\varepsilon 3} - 2 \cdot \lambda_{\varepsilon 1} \cdot y_{\varepsilon 3}) + (x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \kappa) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_{\varepsilon 1}^2, \beta = 2 \cdot \lambda_{\varepsilon 1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{\varepsilon 3} - 2 \cdot \lambda_{\varepsilon 1} \cdot y_{\varepsilon 3}, \gamma = x_{\varepsilon 3}^2 + y_{\varepsilon 3}^2 - R_{\varepsilon i \sigma i}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{\varepsilon 3} \cdot \kappa$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta = 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 1 διπλή ρίζα και ο κύκλος να εφάπτεται στην ευθεία (ε_1) .

$$x_{\varepsilon 5} = \frac{-\beta}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{\varepsilon 5} = \lambda_{\varepsilon 1} \cdot x_{\varepsilon 5} + \kappa$$

4.4.2 Οριογραμμές εξόδου

Το επόμενο και τελικό στάδιο του σχεδιασμού του κόμβου είναι η διαμόρφωση της εξόδου από το σπειροειδή κυκλικό κόμβο.

1. Για τον σχεδιασμό της αριστερής οριογραμμής του κλάδου που θα αποτελεί την έξοδο από τον κόμβο πρέπει να επιλεγεί το πλάτος εξόδου $w_{\varepsilon \xi i}$ και η ακτίνα εξόδου $R_{\varepsilon \xi i}$. Σχεδιάζεται κύκλος με ακτίνα $R_8 = \pi_i / 2 + w_{\varepsilon \xi i}$ και κέντρο το σημείο τομής του άξονα του κλάδου με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος.

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 = R_8^2 \text{ κύκλος } (C_8)$$

2. Υπολογίζεται το σημείο τομής του κύκλου C_8 με το κυκλικό τόξο της εξωτερικής οριογραμμής του κυκλοτερούς οδοστρώματος. Το σημείο αυτό είναι (x_{z1}, y_{z1}) .

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= R_8^2 \text{ κύκλος } (C_8) \\ (x - x_{Ki})^2 + (y - y_{Ki})^2 &= R_4^2 \text{ κύκλος } (C_{4_i}), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{Ki}) \cdot x + (2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{Ki}) \cdot y + \left[(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_8^2) - (x_{Ki}^2 + y_{Ki}^2 - R_4^2) \right] = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = -2 \cdot x_{oj} + 2 \cdot x_{Ki}, \beta = 2 \cdot y_{oj} + 2 \cdot y_{Ki}, \gamma = \left[(x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_8^2) - (x_{Ki}^2 + y_{Ki}^2 - R_4^2) \right]$$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\varepsilon) \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο (C_8)

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{oj})^2 + (y - y_{oj})^2 &= R_8^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa) \cdot x + (x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_8^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda) = 0$$

$$\text{Θέτω } \zeta = \kappa^2 + 1, \eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{oj} - 2 \cdot y_{oj} \cdot \kappa, \theta = x_{oj}^2 + y_{oj}^2 - R_8^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{oj} \cdot \lambda$$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{z1,2} = \frac{-\eta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{z1} = \kappa \cdot x_{z1} + \lambda, y_{z2} = \kappa \cdot x_{z2} + \lambda$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{z1}, y_{z1}) .

3. Σχεδιάζεται κυκλικό τόξο που προκύπτει από κύκλο με ακτίνα $R_9 = R_4 + L_{\delta i}$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$ και $L_{\delta i}$ μήκος διαπλάτυνσης.

Η εξίσωση του κύκλου είναι:

$$(x - x_{Ki})^2 + (y - y_{Ki})^2 = R_9^2 \text{ κύκλος } (C_{9_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

4. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με την αριστερή οριογραμμή του κλάδου με συντεταγμένες (x_{z2}, y_{z2}) .

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_9^2 \quad \text{κύκλος } (C_{9_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_j \cdot x - (0.75 + 2 \cdot w_{\varepsilon \xi i}) \cdot \sqrt{1 + \lambda_j^2} \quad \text{αριστερή οριογραμμή κλάδου } j \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Theta \acute{\epsilon}\tau\omega \kappa = \left[-(0.75 + 2 \cdot w_{\varepsilon \xi i}) \cdot \sqrt{1 + \lambda_j^2} \right]$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_j^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_j \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_9^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa) = 0$$

$$\Theta \acute{\epsilon}\tau\omega \alpha = 1 + \lambda_j^2, \beta = 2 \cdot \lambda_j \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_j \cdot y_{K_i}, \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_9^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{z2,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{z2_1} = \lambda_j \cdot x_{z2_1} + \kappa, \quad y_{z2_2} = \lambda_j \cdot x_{z2_2} + \kappa$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{z2}, y_{z2}) .

5. Ενώνοντας τα σημεία (x_{z1}, y_{z1}) , (x_{z2}, y_{z2}) προκύπτει η εξίσωση της ευθείας (z_1) η οποία αποτελεί πλέον την εξωτερική οριογραμμή του κλάδου.

Ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας (z_1) είναι:

$$\lambda_{z1} = \frac{y_{z2} - y_{z1}}{x_{z2} - x_{z1}}$$

και η εξίσωση της είναι: $y = \lambda_{z1}x + (y_{z2} - \lambda_{z1}x_{z2})$ ευθεία (z_1)

6. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση της αριστερής οριογραμμής με τον κόμβο. Επιλέγεται η ακτίνα εξόδου $R_{\varepsilon \xi i}$ και σχεδιάζεται πρώτα κύκλος (C_{10}) με ακτίνα $R_{10} = R_4 + R_{\varepsilon \xi i}$ και κέντρο K_i , όπου $i=1,2$.

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 = R_{10}^2 \quad \text{κύκλος } (C_{10_i}), \text{ όπου } i=1,2$$

7. Χαράσσεται ευθεία (z'_1) παράλληλη στην ευθεία (z_1) σε απόσταση $R_{\varepsilon \xi i}$ που έχει εξίσωση:

$$y = \lambda_{z1} \cdot x + (y_{z2} - \lambda_{z1} \cdot x_{z2}) + R_{\varepsilon \xi i} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{z1}^2} \text{ ευθεία } (z'_1)$$

8. Υπολογίζεται το σημείο τομής του κύκλου (C_{10}) με την ευθεία (z'_1) με συντεταγμένες (x_{z3}, y_{z3}).

Τομή της ευθείας (z'_1) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_{10}^2 \text{ κύκλος } (C_{10_i}), \text{ όπου } i=1,2 \\ y &= \lambda_{z1} \cdot x + (y_{z2} - \lambda_{z1} \cdot x_{z2}) + R_{\varepsilon \xi i} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{z1}^2} \text{ ευθεία } (z'_1) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Theta \acute{\epsilon} \tau \omega \kappa = \left[(y_{z2} - \lambda_{z1} \cdot x_{z2}) + R_{\varepsilon \xi i} \cdot \sqrt{1 + \lambda_{z1}^2} \right]$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{z1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{z1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot y_{K_i}) + (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_{10}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa) = 0$$

$$\Theta \acute{\epsilon} \tau \omega \alpha = 1 + \lambda_{z1}^2, \beta = 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{K_i} - 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot y_{K_i}, \gamma = x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_{10}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{K_i} \cdot \kappa$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta > 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 2 ρίζες

$$x_{z3,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{z3_1} = \lambda_{z1} \cdot x_{z2_1} + \kappa, y_{z3_2} = \lambda_{z1} \cdot x_{z2_2} + \kappa$$

Επιλέγεται η κατάλληλη από τις 2 ρίζες ανάλογα την περίπτωση και προκύπτουν οι συντεταγμένες (x_{z3}, y_{z3}).

9. Με κέντρο το (x_{z3}, y_{z3}) και ακτίνα $R_{\varepsilon \xi i}$ σχεδιάζουμε κύκλο που εφάπτεται στη δεξιά οριογραμμή του κλάδου και στην εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος.

Η εξίσωση του κύκλου αυτού είναι:

$$(x - x_{z3})^2 + (y - y_{z3})^2 = R_{\varepsilon \xi i}^2$$

10. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με την εξωτερική οριογραμμή του κυκλοτερούς οδοστρώματος με συντεταγμένες (x_{z4}, y_{z4}).

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{z3})^2 + (y - y_{z3})^2 &= R_{\varepsilon \xi i}^2 \\ (x - x_{K_i})^2 + (y - y_{K_i})^2 &= R_4^2 \text{ κύκλος } (C_4), \text{ όπου } i=1,2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(-2 \cdot x_{z3} + 2 \cdot x_{K_i}) \cdot x + (2 \cdot y_{z3} + 2 \cdot y_{K_i}) \cdot y + \left[(x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right] = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = -2 \cdot x_{z3} + 2 \cdot x_{K_i}, \beta = 2 \cdot y_{z3} + 2 \cdot y_{K_i}, \gamma = \left[(x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2) - (x_{K_i}^2 + y_{K_i}^2 - R_4^2) \right]$$

Προκύπτει η εξίσωση της κοινής χορδής των δύο κυκλικών τόξων

$$(\varepsilon) \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma = 0 \Rightarrow y = \kappa \cdot x + \lambda \left(\kappa = -\frac{\alpha}{\beta}, \lambda = -\frac{\gamma}{\beta} \right)$$

Τομή της ευθείας (ε) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} y &= \kappa \cdot x + \lambda \\ (x - x_{z3})^2 + (y - y_{z3})^2 &= R_{\varepsilon \xi i}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$(\kappa^2 + 1) \cdot x^2 + (2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{z3} - 2 \cdot y_{z3} \cdot \kappa) \cdot x + (x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{z3} \cdot \lambda) = 0$$

$$\text{Θέτω } \zeta = \kappa^2 + 1, \eta = 2 \cdot \kappa \cdot \lambda - 2 \cdot x_{z3} - 2 \cdot y_{z3} \cdot \kappa, \theta = x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2 + \lambda^2 - 2 \cdot y_{z3} \cdot \lambda$$

Προκύπτει τριώνυμο $\zeta \cdot x^2 + \eta \cdot x + \theta = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \eta^2 - 4 \cdot \zeta \cdot \theta$

Πρέπει $\Delta = 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 1 διπλή ρίζα και ο κύκλος να εφάπτεται στον κύκλο (C_4).

$$x_{z4} = \frac{-\eta}{2 \cdot \zeta} \Rightarrow y_{z4} = \kappa \cdot x_{z4} + \lambda$$

11. Υπολογίζεται το σημείο τομής του παραπάνω κύκλου με την αριστερή οριογραμμή του κλάδου με συντεταγμένες (x_{z5}, y_{z5}).

Τομή της ευθείας (ε_1) με κύκλο

$$\left. \begin{aligned} (x - x_{z3})^2 + (y - y_{z3})^2 &= R_{\varepsilon \xi i}^2 \\ y &= \lambda_{z1} x + (y_{z2} - \lambda_{z1} x_{z2}) \text{ ευθεία } (z_1) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\text{Θέτω } \kappa = y_{z2} - \lambda_{z1} x_{z2}$$

$$x^2 \cdot (1 + \lambda_{z1}^2) + x \cdot (2 \cdot \lambda_{z1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{z3} - 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot y_{z3}) + (x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{z3} \cdot \kappa) = 0$$

$$\text{Θέτω } \alpha = 1 + \lambda_{z1}^2, \beta = 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot \kappa - 2 \cdot x_{z3} - 2 \cdot \lambda_{z1} \cdot y_{z3}, \gamma = x_{z3}^2 + y_{z3}^2 - R_{\varepsilon \xi i}^2 + \kappa^2 - 2 \cdot y_{z3} \cdot \kappa$$

Προκύπτει τριώνυμο: $\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \gamma = 0$ με διακρίνουσα $\Delta = \beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \gamma$

Πρέπει $\Delta = 0$ ώστε να το τριώνυμο να έχει 1 διπλή ρίζα και ο κύκλος να εφάπτεται στην ευθεία (ε_1).

$$x_{z5} = \frac{-\beta}{2 \cdot \alpha} \Rightarrow y_{z5} = \lambda_{z1} \cdot x_{z5} + \kappa$$

5. Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

5.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται αναφορά στο υφιστάμενο λογισμικό που έχει δημιουργηθεί για τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων και στη συνέχεια παρουσιάζεται το πρόγραμμα H/Y που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για τον σχεδιασμό σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται στο τέλος του κεφαλαίου στην προσπάθεια να επιλυθεί μία προβληματική κατάσταση που αντιμετωπίζουν τα τελευταία έτη οι οδηγοί που διέρχονται από έναν υπεραστικό κόμβο στην περιοχή του Δήμου Ρεθύμνου.

5.2 Ανασκόπηση υπάρχοντος λογισμικού ειδικευμένου στον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων

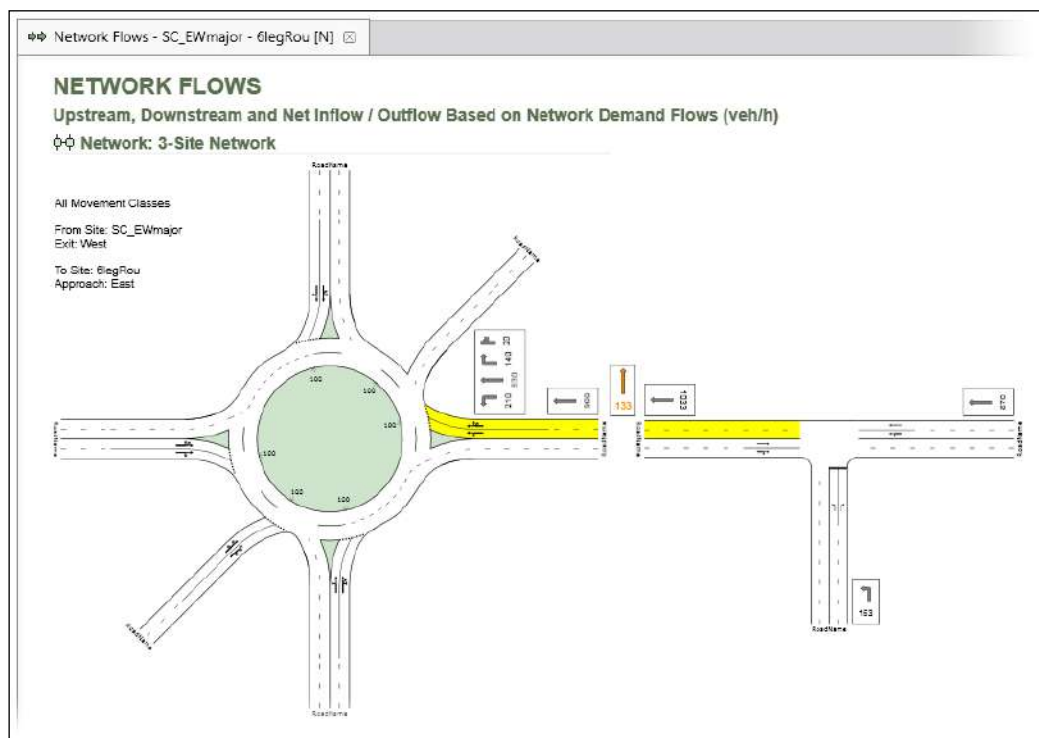
Η ραγδαία ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αλλά και του λογισμικού αυτών τις τελευταίες δεκαετίες, έδωσε τη δυνατότητα της μέγιστης δυνατής αυτοματοποίησης εργασιών που ήταν χρονοβόρες στο παρελθόν. Ειδικότερα στον χώρο της οδοποιίας, όπου δεδομένης της ύπαρξης πολυπλοκότητας λύσεων, εντός των πλαισίων των κανονισμών που διέπουν τον σχεδιασμό οδών, η αυτοματοποίηση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή αποτελεί σημαντικό εργαλείο σχεδιασμού. Κατά συνέπεια στην οδοποιία υπάρχει συνεχής εξέλιξη νέου λογισμικού, με το οποίο πραγματοποιούνται όλο και περισσότερες διεργασίες και παράλληλα διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων σε επίπεδο βελτιστοποίησης.

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

SIDRA

Το πρόγραμμα SIDRA (Signalized & unsignalized Intersection Design and Research Aid) είναι το πιο δημοφιλές λογισμικό για τον σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων (πολλαπλών λωρίδων και μίας λωρίδας) καθώς επίσης και άλλων διασταυρώσεων στις Η.Π.Α., τον Καναδά, την Αυστραλία και σε άλλες χώρες ανά τον κόσμο. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει στο χρήστη να συγκρίνει τον σχεδιασμό του κυκλικού κόμβου με σηματοδοτημένες διασταυρώσεις κάνοντας χρήση συνεπούς μεθοδολογίας. Ο χρήστης του προγράμματος μπορεί να υπολογίσει ετήσιες σύνολα διαφόρων μεταβλητών όπως λειτουργικό κόστος, κατανάλωση καυσίμων, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων, καθυστερήσεις, ουρές κ.ά..

Επιπροσθέτως, δίνεται η δυνατότητα στον μελετητή μέσω αυτού του προγράμματος να πραγματοποιήσει ικανοποιητικές εκτιμήσεις για τις τιμές τόσο των σχετικών ακτινών, ταχυτήτων και αποστάσεων, όσο και των χρόνων επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Αυτές οι κυκλοφοριακές μεταβλητές αποτελούν σημαντικούς παράγοντες τόσο για λόγους ασφάλειας όσο και λειτουργικότητας.

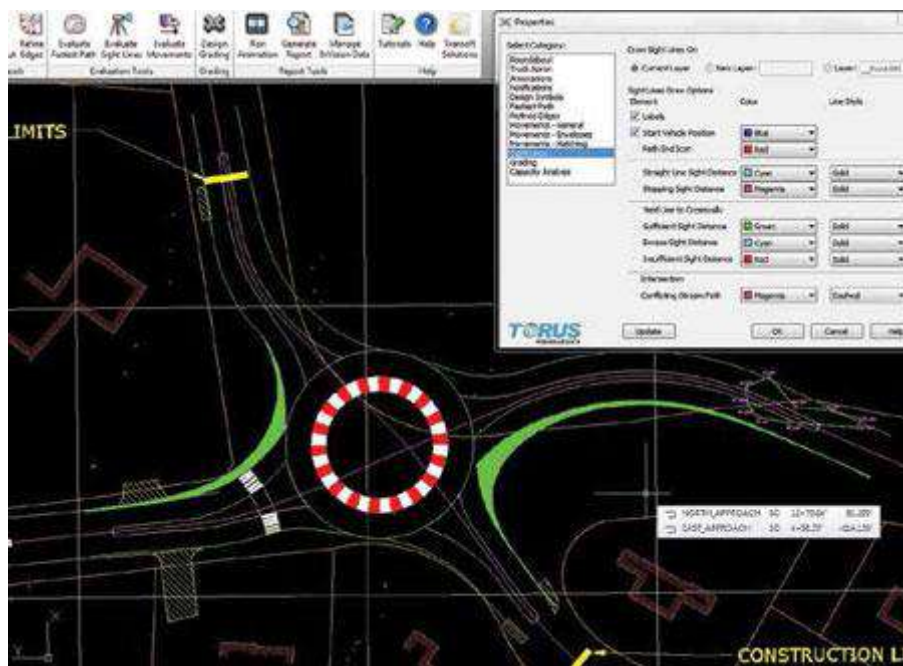


Εικόνα 5.1 Εικόνα από το περιβάλλον σχεδίασης του λογισμικού SIDRA
(<http://www.sidrasolutions.com>)

TORUS

Πρόκειται για ένα προηγμένο σχεδιαστικό (CAD - based) λογισμικό το οποίο προορίζεται αποκλειστικά για τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων. Με το λογισμικό αυτό διευκολύνεται ο σχεδιασμός κυκλικών κόμβων μίας λωρίδας αλλά και πολλαπλών λωρίδων παρέχοντας στον χρήστη του προγράμματος τον πλήρη έλεγχο και τις απαραίτητες πληροφορίες σε όλα τα στάδια σχεδιασμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία βέλτιστων κυκλικών κόμβων που ικανοποιούν τα κριτήρια κυκλοφορίας και ασφάλειας.

Το λογισμικό αυτό παρέχει την επιλογή « οδήγησης » των οχημάτων διαμέσου του κόμβου (εφαρμόζοντας τις οδηγίες σχεδιασμού για κάθε καίριο γεωμετρικό στοιχείο) λαμβάνοντας υπόψη ως κριτήρια σχεδιασμού τις τροχιές που ακολουθούν τα οχήματα μέσα στον κόμβο αλλά και τις λειτουργικές ταχύτητες που αναπτύσσουν. Η επιλογή αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς έρχεται σε αντίθεση με συμβατικές μεθόδους κατά τις οποίες πρώτα γίνεται ο σχεδιασμός του κυκλικού κόμβου και έπειτα ελέγχεται η λειτουργία του μέσω πρότυπων οχημάτων. Επιπροσθέτως, οποιαδήποτε αλλαγή πραγματοποιεί ο χρήστης του προγράμματος ανανεώνεται αυτόματα και εφαρμόζεται σε ολόκληρο τον κυκλικό κόμβο. Όλα τα παραπάνω παρέχουν στον μηχανικό την ικανότητα να σχεδιάσει βέλτιστους κυκλικούς κόμβους με τρόπο αποτελεσματικότερο αλλά και πιο αξιόπιστο.



Εικόνα 5.2 Λεπτομέρεια από το περιβάλλον σχεδίασης του λογισμικού TORUS (<http://cenews.com>)

RODEL

Το RODEL (ROundabouts DELay) είναι ένα λογισμικό προορισμένο για μελετητές κυκλικών κόμβων που τους βοηθά να βελτιώσουν την ποιότητα σχεδιασμού των κυκλικών κόμβων και να μειώσουν σημαντικά τόσο τον χρόνο όσο και το κόστος έκτασης γης και των υπηρεσιών που απαιτούνται για τον σχεδιασμό τους. Με το λογισμικό αυτό καθίσταται δυνατή η διερεύνηση ποικίλων επιλογών που αφορούν τον γεωμετρικό σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων αλλά ταυτόχρονα έχοντας κύριο γνώμονα τις απαιτήσεις ασφάλειας. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει τη βέλτιστη λύση σχεδιασμού του κυκλικού κόμβου ικανοποιώντας αντικρουόμενους περιορισμούς που αφορούν το κόστος, τις καθυστερήσεις και το επίπεδο ασφάλειας.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του προγράμματος αυτού είναι ότι αντί απλά να ελέγχει τα σχέδια των κυκλικών κόμβων αφού έχουν δημιουργηθεί, λαμβάνει υπόψη τις γεωμετρικές απαιτήσεις προτού σχεδιαστούν. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η απώλεια πολύτιμου χρόνου που απαιτείται για την επαναλαμβανόμενη διαδικασία σχεδιασμού και ελέγχου λειτουργίας των σχεδίων που προκύπτουν. Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα εργαλείο σχεδιασμού μεγάλης ακρίβειας και αποτελεσματικότητας σχεδιασμένο να παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να κατανοήσει τα αποτελέσματα στη λειτουργία των διαφόρων γεωμετρικών επιλογών και τις επιπτώσεις που αυτές έχουν στην απόδοση των κυκλικών κόμβων. Τέλος με το πρόγραμμα αυτό παρέχονται ακριβή δεδομένα ανάλυσης της χωρητικότητας και των καθυστερήσεων ώστε να είναι σε θέση ο μελετητής να επιτύχει μια διεξοδική επίλυση για ένα δεδομένο ζήτημα.

The screenshot displays the RODEL software interface with the following sections:

- Project:** Project Name, Date, Delays, Time slice, Mode, Pk Peak, LHD.
- Approach Geometry:** Table with columns: Leg Name, Bearing, G, V, n.
- Entry Geometry:** Table with columns: E, ne, L, R, Φ, D, C, nc, nx, Vx.
- Exit Geom:** Table with columns: E, ne, L, R, Φ, D, C, nc, nx, Vx.
- Capacity Modifiers (veh/hr):** Table with columns: Cap, ConfLevel, JwalkFact, Intersect, SlopeFact.
- Flow Modifiers:** Table with columns: %Truck, Factor, Bypass SQ, Entry SQ.
- Arrival Turning Flows (veh/hr):** Table with columns: Bypass, Exit-1, Exit-2, Exit-3, U-Turn.
- Arrival Flow Profile:** Table with columns: Ratio1, Ratio2, Ratio3, Time1, Time2, Time3, PHF.
- ROUNDABOUT ENTRY RESULTS:** Table with columns: Active Flow, Opp Flow, Capacity, Ave VCR, Max VCR, Ave Del, Max Del, Max Q, 95% Max Q, LOS A/F.

Εικόνα 5.3 Εικόνα από το περιβάλλον σχεδίασης του λογισμικού RODEL (<http://rodel-interactive.com>)

5.3 Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό σπειροειδούς κυκλικού κόμβου

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα, ο αλγόριθμος του οποίου είναι γραμμένος σε γλώσσα Fortran, το οποίο θα « διαβάζει » τις προκαθορισμένες από τον χρήστη αριθμητικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού (βλ. πίν. 5.1) και θα «παράγει» τη διαμορφούμενη κάτοψη ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου σε περιβάλλον AutoCAD (Autodesk). Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για τον γεωμετρικό σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου βασίστηκε στις αναλυτικές σχέσεις που διατυπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και οι οποίες είναι σύμφωνες με τους αγγλικούς και τους αμερικανικούς κανονισμούς καθώς επίσης και στις οδηγίες σχεδιασμού που αναπτύχθηκαν από τον L.G.H. Fortuijn, καθηγητή στο πανεπιστήμιο του Delft και εμπνευστή της μορφής του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου.

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

Κεφάλαιο 5- Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα μεγέθη των οποίων οι αριθμητικές τιμές πρέπει να προσδιοριστούν από τον χρήστη – υπεύθυνο σχεδιασμού ώστε να προκύψει ο σπειροειδής κυκλικός κόμβος.

Σπειροειδής Κυκλικός Κόμβος						
a/a Κλάδου	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Καρτεσιανές συντεταγμένες δύο τυχαίων σημείων άξονα κλάδου	(X1i, Y1i)					
	(X2i, Y2i)					
Συντελεστής διεύθυνσης άξονα κλάδου λi						
Σπειροειδές τετράγωνο (Turbo-block)						
Καρτεσιανές συντεταγμένες Γεωμετρικού Κέντρου κόμβου	(X _{GC} , Y _{GC})					
Διεύθυνση άξονα μετάθεσης Translation Axis	θ (deg)					
Απόσταση εξωτερικών σημείων σπείρας	Δ _v (m)					
Απόσταση εσωτερικών σημείων σπείρας	Δ _u (m)					
Εσωτερική ακτίνα εσωτερικής λωρίδας	R ₁ (m)					
Εξωτερική ακτίνα εσωτερικής λωρίδας	R ₂ (m)					
Εσωτερική ακτίνα εξωτερικής λωρίδας	R ₃ (m)					
Εξωτερική ακτίνα εξωτερικής λωρίδας	R ₄ (m)					
Μέσο πλάτος εσωτερικής λωρίδας	L _i (m)					
Πλάτος εξωτερικής λωρίδας	L _e (m)					
Πλάτος διαχωριστικού λωρίδων	L _s (m)					
Οριογραμμές κλάδων εισόδου						
Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας						
Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας d (m)						
Οριογραμμές κλάδων εξόδου						
Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας						
Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας d (m)						
Κατευθυντήρια Διαχωριστική Νησίδα						
Διαγραμμασμένη περιοχή κατευθυντήρια διαχωριστικής νησίδας						
Πλάτος διαχωριστικής νησίδας π _i (m)						
Ακτίνα r _{ai} (m)						
Μήκος διαπλάτυνσης L _{ai} (m)						
Ακτίνα R _{3'} (r _{3i}) (m)						
Εσωτερική Οριογραμμή Εισόδου						
Ακτίνα εισόδου R _{εισi} (r _e) (m)						
Ακτίνα R ₁₁ (r ₁₁) (m)						
Ακτίνα R ₁₂ (r ₁₂) (m)						
Μη βατή περιοχή νησίδας						
Ακτίνα r _v (m)						
Μήκος νησίδας l _v (m)						
Στρογγύλευση π _i (m)						
Συντελεστής μ _i (am)						
Ακτίνα R _{4'} (r _{4i}) (m)						
Ακτίνα R ₅ (r ₅) (m)						
Οριογραμμές εισόδου						
Πλάτος εισόδου w _{εισi} (w _{ent}) (m)						
Ακτίνα R ₆ (r ₆) (m)						
Ακτίνα R ₇ (r ₇) (m)						
Οριογραμμές εξόδου						
Πλάτος εξόδου w _{εξi} (w _{exit}) (m)						
Ακτίνα R ₈ (r ₈) (m)						
Ακτίνα R _{8d} (r _{8d}) (m)						
Ακτίνα εξόδου R _{εξi} (r _{exit}) (m)						
Ακτίνα R ₉ (r ₉) (m)						
Ακτίνα R ₁₀ (r ₁₀) (m)						

Πίνακας 5.1 Παρουσίαση παραμέτρων σχεδιασμού του σπειροειδούς κόμβου

5.4 Παράδειγμα σχεδιασμού Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του λογισμικού που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε αυτό να χρησιμοποιηθεί για την πιθανή μετατροπή του ισόπεδου τμήματος ενός υφιστάμενου κόμβου σε σπειροειδή κυκλικό κόμβο. Ο υπεραστικός αυτός κόμβος βρίσκεται στην περιοχή του Δήμου Ρεθύμνου και αποτελεί τμήμα του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.).

5.4.1 Παρουσίαση υπάρχουσας κατάστασης στην περιοχή

Λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της Βόρειας Κρήτης, η οποία δημιουργεί συνεχώς αυξανόμενους κυκλοφοριακούς φόρτους, έχει προκύψει η ανάγκη αναβάθμισης του Βόρειο Οδικού Άξονα Κρήτης. Συγκεκριμένα στην Κρήτη, οι ιδιωτικές επενδύσεις και ειδικά στον τουριστικό τομέα συμβαίνουν με πολύ πιο εντατικούς ρυθμούς ανάπτυξης από ότι οι δημόσιες υποδομές και είναι επίσης γεγονός ότι ο Β.Ο.Α.Κ. αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της ανάπτυξης στη Βόρεια Κρήτη. Εξαιτίας του έντονου και ραγδαία αναπτυσσόμενου τουριστικού χαρακτήρα της Βόρειας Κρήτης παρατηρείται στον Β.Ο.Α.Κ. μεγάλος κυκλοφοριακός φόρτος που συνεχώς αυξάνεται σε σχέση με τη γεωμετρία του, δηλαδή τη διατομή και την οριζοντιογραφία του. Αυτός ο συνεχώς αυξανόμενος κυκλοφοριακός φόρτος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους λόγους της αύξησης των τροχαίων ατυχημάτων τα οποία δεν περιορίζονται σε υλικές ζημιές μόνο, αλλά παρατηρείται επίσης μια σταθερή τάση αύξησης του αριθμού των θυμάτων. Έχει διατυπωθεί και σε μελέτη που εκπόνησε το Παρατηρητήριο της Οδικής Ασφάλειας του Τ.Ε.Ε. ότι « το πλήθος των δυστυχημάτων και ατυχημάτων που έχουν σημειωθεί κατά μήκος του Β.Ο.Α.Κ. επαναφέρει κατά τρόπο επιτακτικό, το μείζον πρόβλημα του οδικού άξονα, ο οποίος είναι ο μόνος από τους έξι βασικούς οδικούς άξονες της χώρας, χωρίς ορατό χρονοδιάγραμμα μετατροπής του σε Αυτοκινητόδρομο ».

Στην περιοχή του Ρεθύμνου όπου τον Αύγουστο του 2005 παραδόθηκε στην κυκλοφορία ο ανισόπεδος κόμβος Ατσιπόπουλου, ο οποίος βρίσκεται στη δυτική είσοδο της πόλης, η κατάσταση αναφορικά με την καταγραφή τροχαίων ατυχημάτων δε διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με το γενικό πρόβλημα που επικρατεί κατά μήκος του Β.Ο.Α.Κ. και περιγράφηκε συνοπτικά παραπάνω. Σχεδόν αμέσως μετά την παράδοση του κόμβου στην κυκλοφορία διαπιστώθηκαν δυσλειτουργίες κυρίως του ισόπεδου τμήματος του κόμβου καθώς σε αυτό συμβάλλουν έξι κλάδοι που εξυπηρετούν τις διάφορες κινήσεις που πραγματοποιούνται στην περιοχή. Ο κόμβος αυτός αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα σημεία του Β.Ο.Α.Κ. για τους οδηγούς και ιδιαίτερα για όσους από αυτούς τον χρησιμοποιούν για πρώτη φορά (όπως οι επισκέπτες της πόλης) και δεν είναι εξοικειωμένοι με την κατάσταση που επικρατεί. Η εγκατάσταση φωτεινών σηματοδοτών που προέβλεπε η μελέτη η οποία εκπονήθηκε για την κατασκευή του κόμβου δημιούργησε επιπρόσθετο πρόβλημα καθώς δημιουργούνταν μεγάλες ουρές από οχήματα κυρίως σε ώρες αιχμής με αποτέλεσμα να λειτουργήσουν μόνο για δύο ημέρες και έπειτα από εισήγηση του τμήματος της Τροχαίας Ρεθύμνου προς το τότε ΥΠΕΧΩΔΕ να τεθούν εκτός

λειτουργίας. Οι οδηγοί λοιπόν που χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο τμήμα του κόμβου οφείλουν να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί και να έρχονται σε συνεννόηση με τους υπόλοιπους χρήστες του κόμβου για την ασφαλή διέλευσή τους από το σημείο αυτό.



Εικόνα 5.4 Όψη του ισόπεδου τμήματος του κόμβου Ατσιπόπουλου (<http://rethemnosnews.gr>)



Εικόνα 5.5 Κάτοψη του ανισόπεδου κόμβου Ατσιπόπουλου (<https://maps.google.com>)

5.4.2 Συλλογή στοιχείων για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

Σύμφωνα με τα παραπάνω καθίσταται σαφές το έντονο πρόβλημα ασφάλειας που αντιμετωπίζουν οι οδηγοί κατά τη διέλευσή τους από το ισόπεδο τμήμα του κόμβου Ατσιπόπουλου. Στην προσπάθεια να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα προτείνεται η λύση κατασκευής σπειροειδούς κυκλικού κόμβου στο ισόπεδο τμήμα του συγκεκριμένου κόμβου. Για τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου κρίνεται απαραίτητη η συλλογή στοιχείων σχετικών με τους κυκλοφοριακούς φόρτους που παρατηρούνται στους κλάδους που συμβάλλουν στο ισόπεδο τμήμα του κόμβου, καθώς επίσης είναι απαραίτητη και η απόκτηση τοπογραφικού χάρτη της περιοχής του κόμβου.

Κυκλοφοριακοί Φόρτοι

Από επί τόπου μετρήσεις στην περιοχή του ισόπεδου τμήματος του κόμβου Ατσιπόπουλου προέκυψαν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Ημερομηνία μέτρησης	14/8/2014	Επιβατικά Ι.Χ.	Λεωφορεία	Φορτηγά	Ημιφορτηγά & Τρίτροχα	Δίτροχα	Σύνολο οχημάτων	Σύνολο Μ.Ε.Α.
Ωρα μέτρησης	10.00-11.00							
Ισοδύναμες ΜΕΑ		1,00	2,00	1,50	1,00	0,33		
Ρεύματα κυκλοφορίας								
Είσοδος προς Ρέθυμνο		168	7	18	20	16	229	234,28
Έξοδος από Ρέθυμνο		175	14	5	9	19	222	225,77
Έξοδος προς Χανιά		104	4	4	2	8	122	122,64
Είσοδος προς Ατσιπόπουλο		158	2	1	13	33	207	187,39
Έξοδος από Ατσιπόπουλο		289	1	4	13	60	367	329,8
Έξοδος προς Ηράκλειο		162	7	6	17	8	200	204,64
Γενικό σύνολο		1056	35	38	74	144	1347	1304,52

Πίνακας 5.2 Κυκλοφοριακοί φόρτοι των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο

Συνοπτικά από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι η χωρητικότητα στο ισόπεδο τμήμα του κόμβου Ατσιπόπουλου μεταφράζεται σε 1304,52 Μ.Ε.Α. (Μονάδες Επιβατικών Αυτοκινήτων). Ακόμη από την παρατήρηση των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον κόμβο επιλέγεται ως όχημα σχεδιασμού το Φορτηγό (Ρυμουλκό) με φορτίο WB-20 με διαστάσεις που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

5.4.3 Επιλογή αριθμητικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού του Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

Αφού συλλέχθηκαν τα απαιτούμενα στοιχεία και σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές σχεδιασμού που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια συμπληρώνεται ο πίνακας 5.1 με τις αριθμητικές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου.

Σπειροειδής Κυκλικός Κόμβος							
α/α Κλάδου		#1	#2	#3	#4	#5	#6
Καρτεσιανές συντεταγμένες δύο τυχαίων σημείων άξονα κλάδου	(X1i,Y1i)						
	(X2i,Y2i)						
Συντελεστής διεύθυνσης άξονα κλάδου λi		0,6293	-0,9231	-0,1307	1,3611	-1,0542	-0,5239
Σπειροειδές τετράγωνο (Turbo-block)							
Καρτεσιανές συντεταγμένες Γεωμετρικού Κέντρου κόμβου	(XGC,YGC)	(540213,2481 , 3913026,2691)					
Διεύθυνση άξονα μετάθεσης Translation Axis	θ (deg)	61,00					
Απόσταση εξωτερικών σημείων σπείρας	Δν (m)	5,05					
Απόσταση εσωτερικών σημείων σπείρας	Δμ (m)	5,35					
Εσωτερική ακτίνα εσωτερικής λωρίδας	R1 (m)	12,00					
Εξωτερική ακτίνα εσωτερικής λωρίδας	R2 (m)	17,15					
Εσωτερική ακτίνα εξωτερικής λωρίδας	R3 (m)	17,45					
Εξωτερική ακτίνα εξωτερικής λωρίδας	R4 (m)	22,45					
Μέσο πλάτος εσωτερικής λωρίδας	Li (m)	5,15					
Πλάτος εξωτερικής λωρίδας	Le (m)	5,00					
Πλάτος διαχωριστικού λωρίδων	Ls (m)	0,30					
Οριογραμμές κλάδων εισόδου							
Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας		2	-	2	2	-	2
Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας d (m)		3,50	-	3,50	3,50	-	3,50
Οριογραμμές κλάδων εξόδου							
Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας		2	1	-	2	1	-
Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας d (m)		3,50	3,50	-	3,50	3,50	-
Κατευθυντήρια Διαχωριστική Νησίδα							
Διαγραμμισμένη περιοχή κατευθυντήρια διαχωριστικής νησίδας							
Πλάτος διαχωριστικής νησίδας πι (m)		2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Ακτίνα Rπi (m)		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Μήκος διαπλάτυνσης Lπi (m)		50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Ακτίνα R3' (r3t) (m)		72,45	72,45	72,45	72,45	72,45	72,45
Εσωτερική Οριογραμμή Εισόδου							
Ακτίνα εισόδου Rεπι (re) (m)		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Ακτίνα R11 (r11) (m)		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Ακτίνα R12 (r12) (m)		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Μη βατή περιοχή νησίδας							
Ακτίνα rv (m)		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Μήκος νησίδας li (m)		15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Στρογγύλευση n (m)		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Συντελεστής μ (am)		36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
Ακτίνα R4' (r4t) (m)		58,45	58,45	58,45	58,45	58,45	58,45
Ακτίνα R5 (r5) (m)		31,30	31,30	31,30	31,30	31,30	31,30
Οριογραμμές εισόδου							
Πλάτος εισόδου Wεπι (Wexit) (m)		4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Ακτίνα R6 (r6) (m)		10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20
Ακτίνα R7 (r7) (m)		34,45	34,45	34,45	34,45	34,45	34,45
Οριογραμμές εξόδου							
Πλάτος εξόδου wεπι (Wexit) (m)		3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Ακτίνα R8 (r8) (m)		4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
Ακτίνα R8d (r8d) (m)		8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20
Ακτίνα εξόδου Rεπι (Rexit) (m)		15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Ακτίνα R9 (r9) (m)		72,45	72,45	72,45	72,45	72,45	72,45
Ακτίνα R10 (r10) (m)		37,45	37,45	37,45	37,45	37,45	37,45

Πίνακας 5.3 Αριθμητικές τιμές παραμέτρων σχεδιασμού του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου

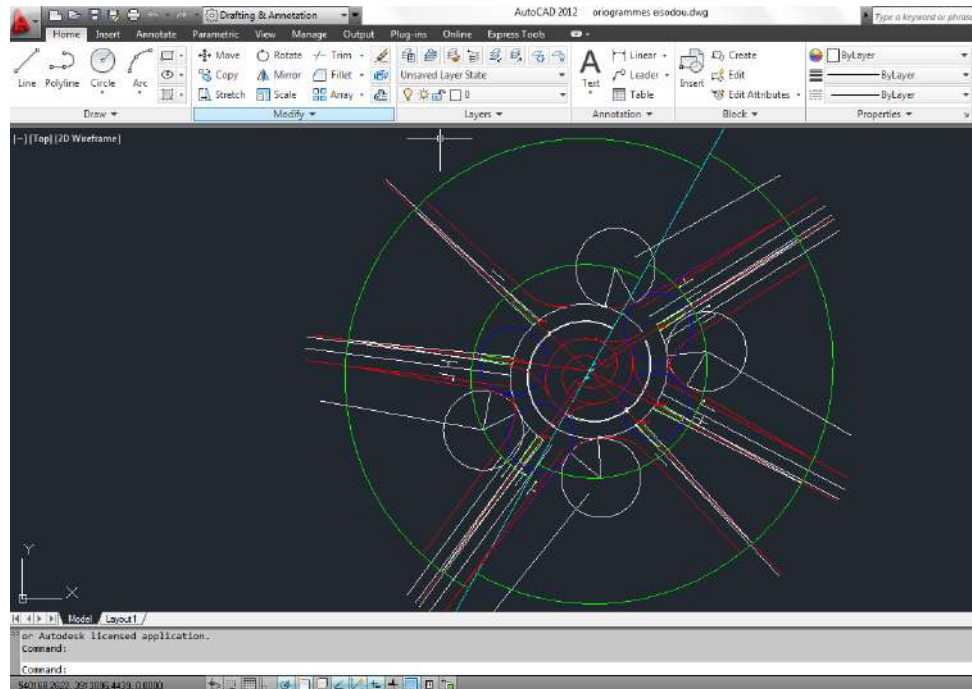
Για λόγους ευκρίνειας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι συντεταγμένες δύο τυχαίων σημείων του άξονα κάθε κλάδου.

Συντεταγμένες α/α Κλάδου	X1i	Y1i	X2i	Y2i
#1	540219,7020	3913018,9178	540250,6125	3913043,7580
#2	540205,2129	3913029,0192	540185,2614	3913049,1485
#3	540222,6044	3913032,6277	540187,3355	3913037,1220
#4	540218,0450	3913038,7473	540197,3026	3913008,2772
#5	540207,0960	3913032,6770	540243,8341	3912993,9908
#6	540210,3375	3913025,7538	540250,9224	3913005,5496

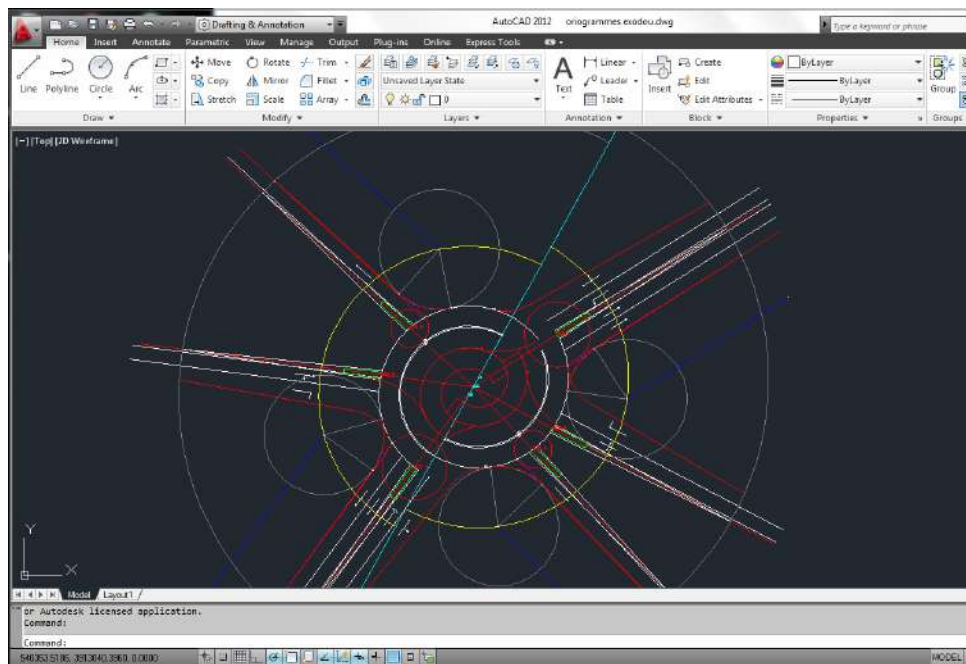
Πίνακας 5.4 Καρτεσιανές συντεταγμένες δύο τυχαίων σημείων του άξονα κάθε κλάδου

Σημειώνεται ότι με βάση τους κυκλοφοριακούς φόρτους που παρατηρήθηκαν και τη μορφή των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο επιλέχθηκε η μορφή του Βασικού Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου που χαρακτηρίζεται από χωρητικότητα 3500 Μ.Ε.Α. (βλ. ενότητα 3.2.3).

Βοηθητικά σχήματα σχεδιασμού

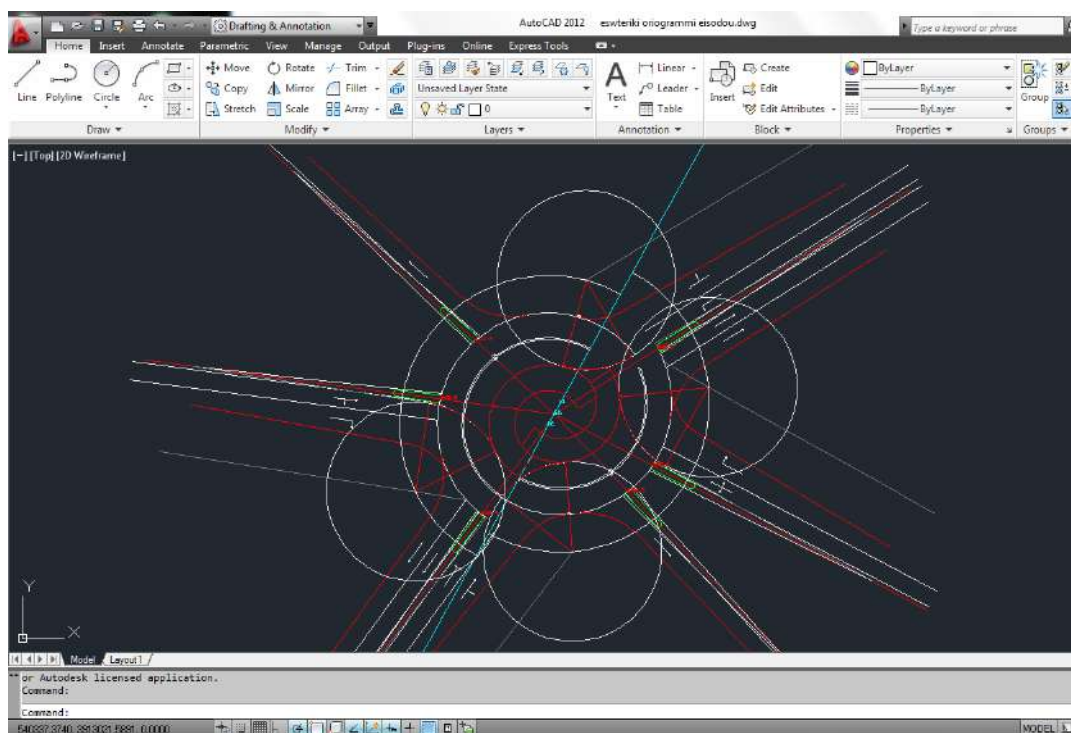


Εικόνα 5.8 Βοηθητικές γραμμές (ευθείες, κύκλοι, τόξα) οριογραμμών εισόδου

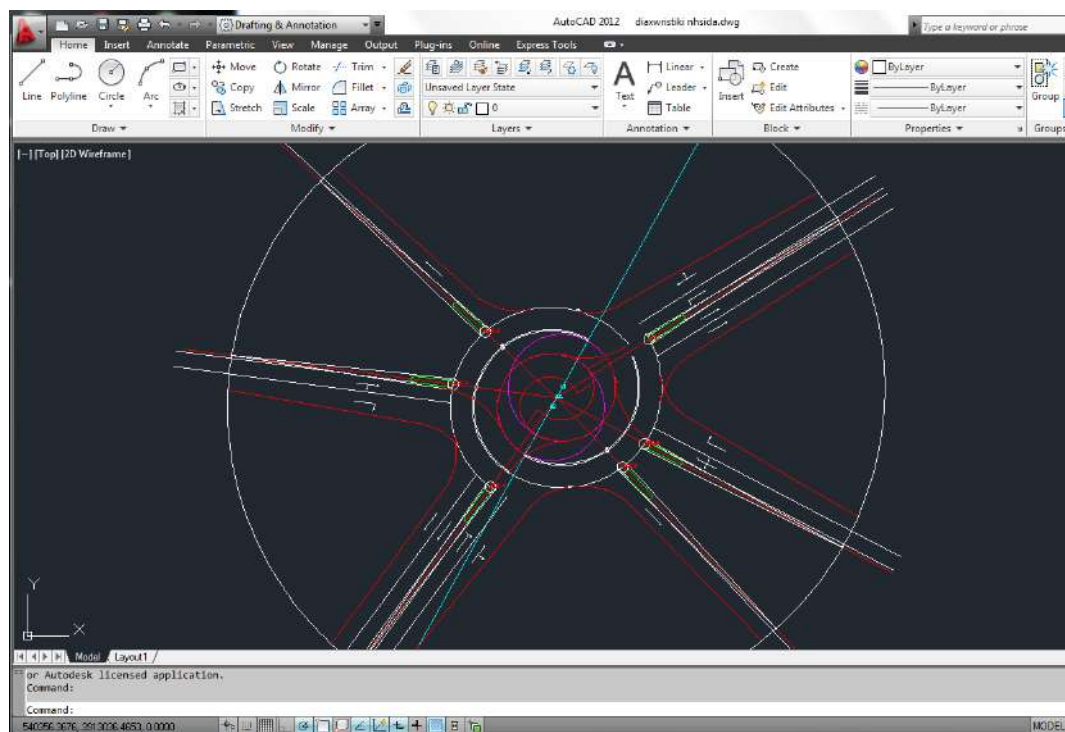


Εικόνα 5.9 Βοηθητικές γραμμές (ευθείες, κύκλοι, τόξα) οριογραμμών εξόδου

Κεφάλαιο 5- Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

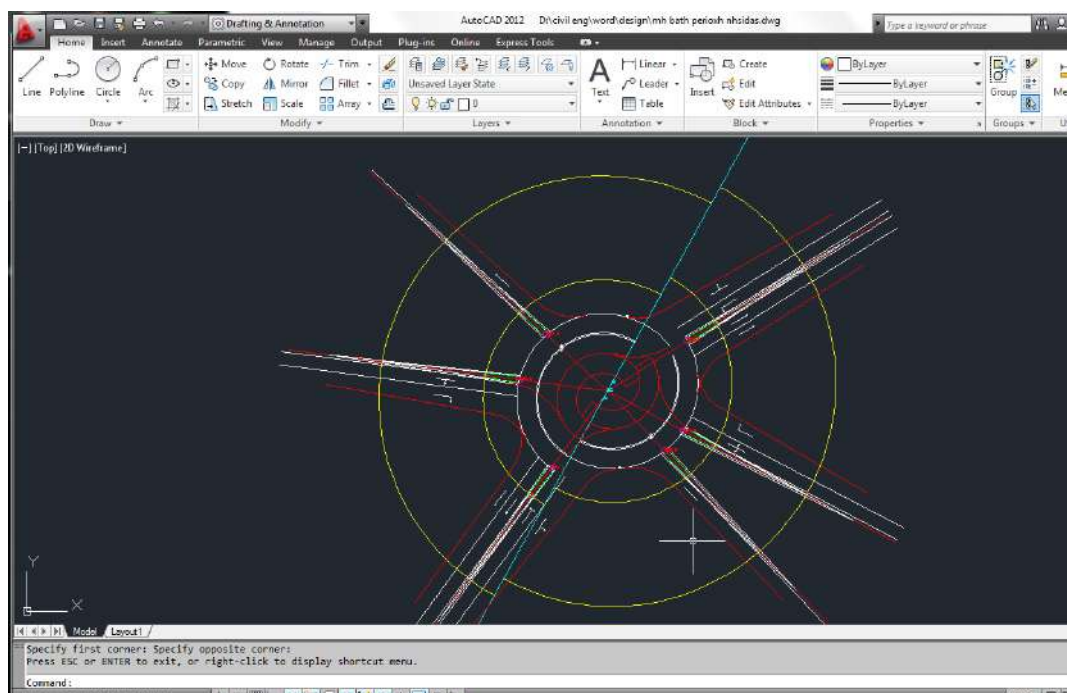


Εικόνα 5.10 Βοηθητικές γραμμές (ευθείες, κύκλοι, τόξα) εσωτερικής οριογραμμής εισόδου

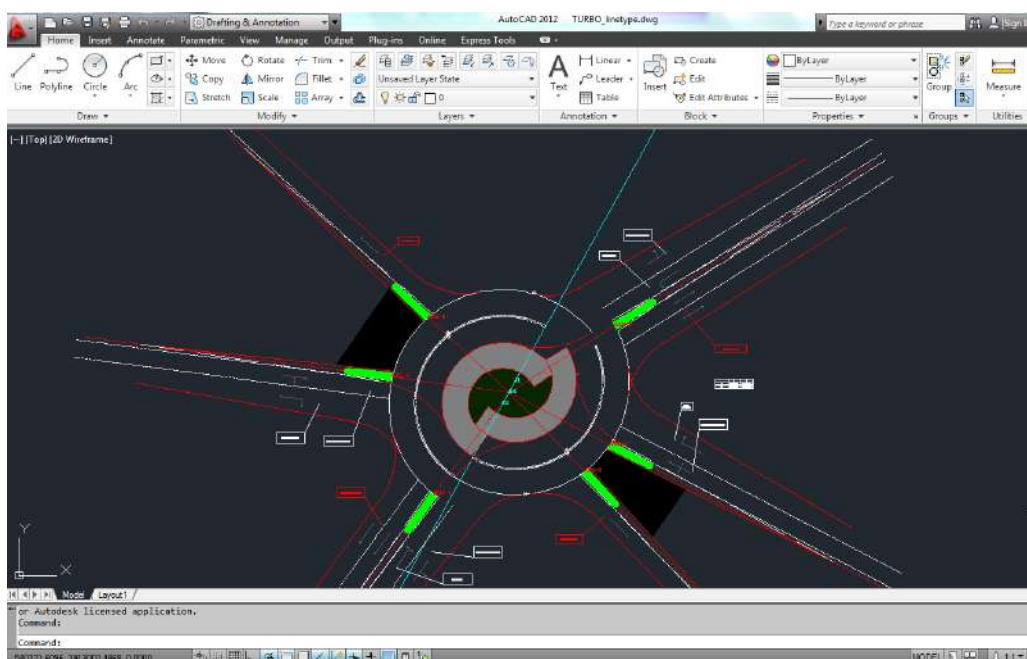


Εικόνα 5.11 Βοηθητικές γραμμές (ευθείες, κύκλοι, τόξα) κατευθυντήριας διαχωριστικής νησίδας

Κεφάλαιο 5- Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου

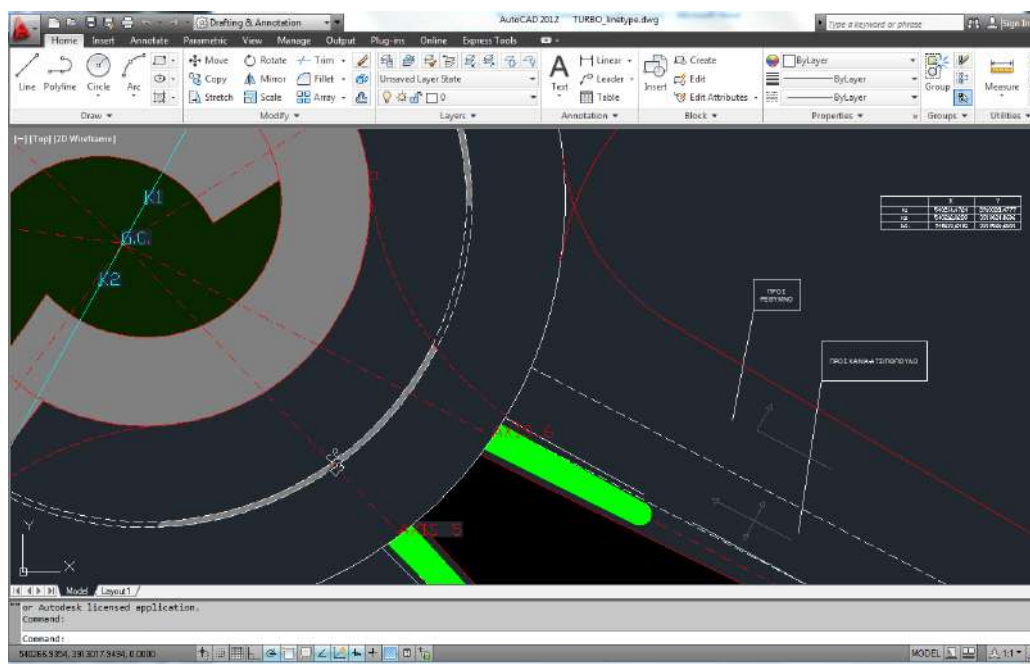


Εικόνα 5.12 Βοηθητικές γραμμές (ευθείες, κύκλοι, τόξα) μη βαθιάς περιοχής της νησίδας



Εικόνα 5.13 Διαμορφωμένη τελική χάραξη

Κεφάλαιο 5- Ανάπτυξη λογισμικού για τον σχεδιασμό Σπειροειδούς Κυκλικού Κόμβου



Εικόνα 5.14 Λεπτομέρεια διαμορφωμένης τελικής χάραξης

6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Ο σχεδιασμός ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου απαιτεί έναν σημαντικό αριθμό επαναλήψεων στις επιλογές των γεωμετρικών στοιχείων του κόμβου ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός ασφάλειας και κυκλοφοριακής ικανότητας. Επομένως η δημιουργία του λογισμικού της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα αυτοματοποιούσε τον σχεδιασμό του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου και θα παρείχε την απαραίτητη βοήθεια στον μηχανικό ώστε να εξετάσει περισσότερες λύσεις και να βρει τη βέλτιστη χάραξη για έναν κόμβο. Οι σπειροειδείς κυκλικοί κόμβοι δεν είναι τυποποιημένοι όπως άλλες μορφές ισόπεδων κόμβων επομένως η διαμόρφωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών είναι πιο ελεύθερη σε σύγκριση με άλλους κόμβους.

Το συγκεκριμένο λογισμικό ακολουθώντας τις υποδείξεις των κανονισμών, και μέσα από απλές μαθηματικές σχέσεις, παρέχει την ευελιξία στον μηχανικό να μεταβάλλει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου σύμφωνα με τις ανάγκες του. Έτσι ο χρήστης καλείται μόνος του να εισάγει τα όρια που επιθυμεί. Όμως εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ευθύνη των αποφάσεων του μηχανικού σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη (σε σύγκριση με τους τυποποιημένους κόμβους) αφού θα πρέπει να γνωρίζει τις συνέπειες των επιλογών του.

Συν τις άλλους, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έως τη στιγμή συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν έχει αναπτυχθεί λογισμικό που να αυτοματοποιεί τον σχεδιασμό ενός σπειροειδούς κυκλικού κόμβου. Κατά συνέπεια ένα λογισμικό με τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα αποτελούσε ένα χρήσιμο εργαλείο για τον μηχανικό.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε η προσπάθεια να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία σχεδιασμού των σπειροειδών κυκλικών κόμβων δίχως να υφίσταται στην αγορά κάποιο αντίστοιχο λογισμικό για τον συγκεκριμένο τύπο κυκλικών κόμβων. Το γεγονός αυτό από μόνο του υποδεικνύει ότι υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω έρευνα για τη βελτιστοποίηση του παρόντος λογισμικού καθώς η διαδικασία σχεδιασμού με το παρόν λογισμικό για τη συγκεκριμένη μορφή κυκλικών κόμβων αποδείχτηκε ιδιαίτερα χρονοβόρα και περίπλοκη, ιδιαίτερα όσον αφορά τη χάραξη των κυκλικών τόξων που αποτελούν σημαντικό τμήμα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του σπειροειδούς κυκλικού κόμβου.

Επιπροσθέτως συμπληρωματική διερεύνηση απαιτεί και η αυτοματοποίηση της ιδιάζουσας μορφής σήμανσης μέσω βελών που επιβάλλεται να εφαρμόζεται στα οδοστρώματα των κλάδων που συμβάλλουν στον κόμβο, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας που οφείλει να παρέχει ο σπειροειδής κυκλικός κόμβος δίνοντας τη δυνατότητα στους οδηγούς να επιλέγουν έγκαιρα και ορθά τη λωρίδα κυκλοφορίας που θα τους οδηγεί στην επιθυμητή για εκείνους έξοδο. Για την περαιτέρω αυτοματοποίηση του προγράμματος θα μπορούσε να ερευνηθεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης στο πρόγραμμα οχήματος σχεδιασμού καθώς επίσης και η παράμετρος της λειτουργικής ταχύτητας. Εν κατακλείδι θα μπορούσαν να γίνουν προσθήκες στο πρόγραμμα ώστε να μπορούν να σχεδιαστούν οι μηκοτομές του κόμβου (οριογραμμές, άξονας της οδού, κυκλικό οδόστρωμα) καθώς επίσης να καταστεί δυνατή και η σχεδίαση ισοπεδωτικού διαγράμματος.

Βιβλιογραφία

Κανελλαΐδης Γ., Μαλέρδος Γ., Καλτσούνης Α., Γλαρός Γ., **«Σημειώσεις για τον Γεωμετρικό Σχεδιασμό των Οδών»**, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2006.

Κανελλαΐδης Γ., Μαλέρδος Γ., Καλτσούνης Α., Γλαρός Γ., Δραγομάνοβιτς Α., **«Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας – Στοιχεία Ισόπεδων και Ανισόπεδων Κόμβων»**, Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα, 2008.

Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γιαννόπουλος Γ.Α., **«Σχεδιασμός των Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική»**, Εκδόσεις Επίκεντρο, Θεσσαλονίκη, 1986.

Φραντζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., **«Οδική Ασφάλεια»**, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1994.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Federal Highway Administration, **“Roundabouts in the United States”**, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2007.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), **“A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”** (“AASHTO’s Green Book”), 2004.

Brilon W., **“Turbo – Roundabouts: An Experience from Germany”**, TRB National Roundabout Conference, Kansas City, 2008.

Brilon W., Ruhr University, Institute of Transportation and Traffic Engineering (Germany), **“Experiences with Modern Roundabouts in Germany – a state-of-the-art report”**, Seminar on Recent European Developments of Roundabout Design, Athens, 2011.

Brilon W., **“Roundabouts: A State of the Art in Germany”**, Ruhr University, Institute of Transportation and Traffic Engineering (Germany), Bochum, 2011.

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

Bulla L., Castro W., **“Analysis and Comparison between Two-lane Roundabouts and Turbo Roundabouts based on a road safety audit methodology and microsimulation”**, 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, 2011.

Corriere F., Guerrieri M., **“Performance Analysis of Basic Turbo-Roundabouts in Urban Context”**, Palermo, 2011.

Fortuijn L.G.H., **“Roundabouts in the Netherlands, Development and Experience”**, International Roundabout Design and Capacity Seminar in connection with the TRB 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011.

Fortuijn L.G.H., **“Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance”**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (TRR Journal), 2009.

Giuffre O., Guerrieri M., Grana A., **“Conversion of Existing Roundabouts into Turbo-Roundabouts: Case studies from Real World”**, Palermo, 2012.

Giuffre O., Guerrieri M., Grana A., **“Turbo – Roundabout General Design Criteria and Functional Principles”**, Palermo, 2009.

Hoek R., **“Signalized Turbo Roundabouts”**, Master Thesis, Delft 2013.

Murphy T., **“The Turbo Roundabout A First in Canada”**, TAC Road Safety Standing Committee, Winnipeg, 2013.

Silva A., Vasconcelos L., Santos S., **“Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts”**, Coimbra, 2013.

SWOV Institute for Road Safety Research fact sheet **“Roundabouts”**, Leidschendam (NL), 2010.

SWOV Institute for Road Safety Research fact sheet **“Roundabouts”**, Leidschendam (NL), 2012.

Tollazzi T., **“Planning and Designing of the Turbo Roundabouts”**, Split, 2012.

Tollazzi T., Turnsek S., Rencelj M., **“Slovenian Experiences with Turbo-Roundabouts”**, University of Maribor, 2012.

Tollazzi T., Rencelj M., Turnsek S., **“Roundabout with Depressed Lanes for Right Turning – “Flower Roundabout”**, University of Maribor, 2011.

Trueblood M., **“Retrofitting closely spaced intersections using the peanut-turbo Roundabout concept”**, Texas, 2011.

Van der Wijk W., **“Turbo roundabouts a safe solution for Hungary?”**, Royal Haskoning Hungarian Road Society, Budapest, 2009.

Vasconcelos A., Silva A., Seco A., **“Capacity of normal ant turbo-roundabouts: Comparative analysis”**, Coimbra, 2012.

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, **“Modern Roundabouts: An**

Informational Guide, 2nd edition”, Transportation Research Board (TRB) of the National Academies, Washington D.C., 2010.

Wisconsin Department of Transportation, **“Roundabout Guide”**, State of Wisconsin, 2008.

Αλεξάκης Χ., «**Ανάπτυξη λογισμικού Η/Υ για τον σχεδιασμό κυκλικών κόμβων**», διπλωματική εργασία στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2007.

Νίκου Δ., «**Γεωμετρικός Σχεδιασμός Ισόπεδων Κυκλικών Κόμβων**», διπλωματική εργασία στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2012.

<http://en.wikipedia.org>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.fhwa.dot.gov/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<https://maps.google.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://rethemnosnews.gr>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://rodel-interactive.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://roundabouts.pbworks.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.roundaboutsusa.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://safety.fhwa.dot.gov>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.sidrasolutions.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://sustainabletransportationholland.org>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.teachamerica.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.teetak.gr>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.transoftsolutions.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.trb.org>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://users.sch.gr>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://vnet.verkeersnet1.netdna-cdn.com>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://wiki.coe.neu.edu>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.

<http://www.wordreference.com/>, επίσημος ιστότοπος στο διαδίκτυο, τελευταία επίσκεψη: 18/10/2014.