

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΕ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ  
(TURBO ROUNDABOUTS)**

υπό

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΞΥΠΟΛΙΑ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2019

© 2019 Κωνσταντίνος Ξυπολιάς

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

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

Πρώτος Εξεταστής    Δρ.Ηλιού Νικόλαος  
(Επιβλέπων)        Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής    Καλιαμπέτσος Γεώργιος,Επιστημονικός Συνεργάτης

Τρίτος Εξεταστής     Κοπελιάς Παντελεήμων, Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **Ευχαριστίες**

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας , Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ηλιού Νικόλαο, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καλιαμπέτσο Γεώργιο για τις πολύτιμες υποδείξεις του.

Τέλος αφιερώνω τη διπλωματική αυτή εργασία στην οικογένειά μου και όλους όσους στάθηκαν στο πλευρό μου κατά την διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών .

Κωνσταντίνος Ξυπολιάς

# **ΚΥΚΛΙΚΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΜΕ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (TURBO ROUNDABOUTS)**

Κωνσταντίνος Ξυπολιάς

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2019

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλιού Νικόλαος, Καθηγητής Οδοποιίας και Διευθυντής του  
Εργαστηρίου Οδοποιίας, Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **Περίληψη**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν αντικείμενο να παρουσιάσει και να εξερευνήσει λεπτομερώς τους κυκλικούς κόμβους με διαχωρισμό κυκλοφορίας (turbo roundabouts).

Κεφάλαιο 1 : Γίνεται εισαγωγή και δίνονται οι ορισμοί των turbo κυκλικών κόμβων ακολουθούμενοι από μια ιστορική αναδρομή ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται μια ανάλυση πάνω στους διάφορους τύπους turbo κυκλικών κόμβων και τα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, δίνεται η παρούσα κατάσταση και χρήση τους στην Ευρώπη και την Ελλάδα, παρουσιάζονται οι συνθήκες εγκατάστασης και τοποθέτησής τους και τα πλεονεκτήματά τους.

Κεφάλαιο 2 : Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση των κριτηρίων των κυκλικών κόμβων τύπου turbo δίνεται η διαδικασία σχεδιασμού τους μέσω του διαγράμματος ροής. Επιπλέον, το παρόν κεφάλαιο αναλύει τη γεωμετρία τους, τη χωρητικότητά τους, την επιδράση στους πεζούς και γίνεται υπολογισμός των μηκών ουρών και των καθυστερήσεων. Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση της ασφάλειας αναλύοντας διάφορους τύπους ατυχημάτων και τέλος υπολογίζεται η ταχύτητα συστομότερης διαδρομής.

Κεφάλαιο 3 : Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση των κυκλικών κόμβων turbo και παράλληλα συγκρίνονται με τους συμβατούς κόμβους διπλής λωρίδας. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην άποψη των οδηγών για τη χρήση turbo κυκλικών κόμβων και μια σύνοψη της οδηγικής τους συμπεριφοράς σε αυτούς. Τέλος, μελετάται η εγκατάστασή τους εντός και εκτός αστικού περιβάλλοντος.

Κεφάλαιο 4 : Παρουσιάζεται ο αναγκαίος εξοπλισμός, η σήμανση, οι πινακίδες κυκλοφορίας, η διαγράμμιση του οδοστρώματος και ο φωτισμός των turbo κυκλικών κόμβων. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στη νησίδα διαχωρισμού, την κεντρική νησίδα, τους ποδηλατόδρομους και τις διαβάσεις πεζών. Τελειώνοντας, γίνεται μελέτη των σημείων προσεγγίσεων, των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδας και της παρακαμπτήριας οδού (bypass).

Κεφάλαιο 5 : στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε άλλους δείκτες αποδοτικότητας όπως η περιβαλλοντική ευαισθησία, υπολογίζονται οι αέριοι ρύποι, γίνεται μελέτη των επιπτώσεων της χρήσης φωτεινών σηματοδοτών, και τέλος εστιάζει στη σιβαρότητα και την κίνηση μεγάλων οχημάτων στον turbo κυκλικό κόμβο.

Κεφάλαιο 6 : Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που βγήκαν από την εργασία.

## Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 . Εισαγωγή - Ορισμοί.....	9
Γενικά.....	9
1.1 Ορισμός.....	10
1.2 Ιστορική αναδρομή .....	15
1.3 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo .....	19
1.4 Χρήση των turbo κόμβων στην Ευρώπη και τον κόσμο.....	23
1.5 Χρήση στην Ελλάδα.....	24
1.6 Συνθήκες κατάλληλης εγκατάστασης .....	24
1.7 Πλεονεκτήματα κυκλικών κόμβων τύπου turbo .....	25
Κεφάλαιο 2. Ανάλυση των κυκλικών κόμβων turbo .....	27
2.1 Σχεδιασμός κυκλικών κόμβων turbo.....	27
2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo .....	29
2.3 Υπολογισμός της χωρητικότητας.....	34
2.4 Επίδραση των πεζών στην κυκλοφοριακή κίνηση του κόμβου .....	40
2.5 Υπολογισμός των καθυστερήσεων και του επιπέδου εξυπηρέτησης.....	42
2.6 Υπολογισμός του μήκους ουρών .....	45
2.7 Η ασφάλεια των turbo κυκλικών κόμβων και η βελτίωσή της .....	46
2.7.1 Ατυχήματα .....	48
2.8 Υπολογισμός της ταχύτητας κατά τη συντομότερη πορεία του οχήματος .....	52
Κεφάλαιο 3: Θεωρητική προσέγγιση και μελέτη των κυκλικών κόμβων turbo.....	55
3.1 Συμπεριφορά των οδηγών μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο.....	55
3.2 Χρήση turbo κυκλικών κόμβων εντός και εκτός αστικής περιοχής .....	56
3.3 Σύγκριση turbo κυκλικών κόμβων με συμβατούς κυκλικούς κόμβους διπλής λωρίδας ....	57
Κεφάλαιο 4: Σήμανση, εξοπλισμός και άλλα στοιχεία των turbo κυκλικών κόμβων.....	60
4.1 Πινακίδες οδικής κυκλοφορίας .....	61
4.1.1 Συμβατικές πινακίδες κυκλικών κόμβων turbo .....	63

4.1.2 Διαγράμμιση οδού .....	72
4.2 Νυχτερινός φωτισμός.....	73
4.3 Κεντρική νησίδα.....	76
4.4 Διαχωριστική νησίδα κυκλοφορίας.....	78
4.5 Υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας.....	81
4.6 Διαβάσεις πεζών και ποδηλατόδρομοι.....	85
4.7 Σημεία προσεγγίσεων.....	88
4.8 Παρακαμπτήριες οδοί (Bypass) .....	90
Κεφάλαιο 5: Επιπρόσθετοι δείκτες αποδοτικότητας του κόμβου .....	92
5.1 Περιβαλλοντική ευαισθησία .....	93
5.1.1 Αέριοι ρύποι και υπολογισμός των εκπομπών τους.....	94
5.1.2 Οπτική όχληση .....	96
5.2 Φωτεινοί σηματοδότες στους κόμβους και οι επιπτώσεις χρήσης τους .....	96
5.3 Χρήση του κυκλικού κόμβου από μεγάλα οχήματα .....	98
5.4 Στιβαρότητα .....	100
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	104



## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Υπόδειγμα διάταξης σπειροειδούς δακτυλίου κυκλοφορίας (turbo-Κυκλικός κόμβος)

Σχήμα 1.2 Βασική διάταξη (turbo-Κυκλικού κόμβου)(α),Σπειροειδής διάταξη (turbo-Κυκλικού κόμβου) (b)

Σχήμα 1.3 Πιθανός συνδυασμός εισόδων και εξόδων ενός κυκλικού κόμβου turbo

Σχήμα 1.4 Χαρακτηριστικά κυκλικών κόμβων turbo

Σχήμα 1.5 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortujin 2009)

Σχήμα 1.5.1 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortujin 2009)

Σχήμα 1.5.2 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortujin 2009)

Σχήμα 1.6 Σύγκριση σημείων εμπλοκής κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και κυκλικού κόμβου τύπου turbo

Σχήμα 2.1 Διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου.

Σχήμα 2.2 Γεωμετρικός σχεδιασμός κυκλικού κόμβου turbo

Σχήμα 2.3 Το σπινάλι του Αρχιμήδη

Σχήμα 2.4 Διάγραμμα χωρητικότητας λωρίδας

Σχήμα 2.5 Σύγκριση μεταξύ των μοντέλων χωρητικότητας για λωρίδες εισόδου και των τιμών δείκτη μείωσης χωρητικότητας

Σχήμα 2.6 Χωρητικότητα εισόδου και μέση καθυστέρηση σε σχέση με τις ροές εισόδων και τις ροές πεζών.

Σχήμα 2.7 Πορεία σε α) συμβατό κόμβο διπλής λωρίδας και β) κυκλικό κόμβο τύπου turbo

Σχήμα 2.8 Σύγκριση δεικτών κόστους ατυχήματος σε υπεραστικό σπειροειδή κόμβο κοντά στην πόλη Baden-Baden της Γερμανίας (Brilon 2011)

Σχήμα 2.9 Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λανθασμένης επιλογής λωρίδας από την έναρξη εισόδου στον δακτύλιο

Σχήμα 2.10 Σύγκρουση εντός του δακτυλίου λόγω λανθασμένης επιλογής λωρίδας

Σχήμα 2.11 Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λανθασμένης επιλογής λωρίδας

Σχήμα 2.11 Σημεία εμπλοκής πεζών-οχημάτων

Σχήμα 4.1 Παραδείγματα πινακίδων πριν την είσοδο στον κόμβο πολλαπλών λωρίδων

- Σχήμα 4.2 Πινακίδα πληροφόρησης παρουσίας κόμβου
- Σχήμα 4.3 Παράδειγμα διαγραμματικής πινακίδας καθοδήγησης
- Σχήμα 4.4 Πινακίδα στάνταρντ(αριστερά) και τύπου αγκίστρι(δεξιά)
- Σχήμα 4.5 Πινακίδα προτεραιότητας
- Σχήμα 4.6 Πινακίδα διάβασης πεζών
- Σχήμα 4.7 Πινακίδα πεζοδιάβασης και ποδηλατόδρομου
- Σχήμα 4.8 Πινακίδα παραμονής στην δεξιά λωρίδα
- Σχήμα 4.9 Πινακίδα κεντρικής νησίδας
- Σχήμα 4.10 Βέλη σήμανσης οδοστρώματος στις λωρίδες εισόδου του κόμβου
- Σχήμα 4.11 Εελάχιστες διαστάσεις της νησίδας διαχωρισμού ενός κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας
- Σχήμα 4.12 Ειδικά σχεδιασμένο υλικό που χρησιμοποιείται στην αρχή των διαχωριστικών
- Σχήμα 4.13 Εικονική αναπαράσταση τύπων παρακαμπτήριας οδού (bypass)

#### Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 1.1 Σημεία εμπλοκής για τα διάφορα είδη κόμβων ( Giuffrè et al. 2009)
- Πίνακας 2.1 Τυποποιημένα μεγέθη των ακτινών (R1, R2, R3, R4, R5, R6) για μικρούς, Standard, μεσαίους και μεγάλους κυκλικούς κόμβους
- Πίνακας 2.2 Επίπεδο εξυπηρέτησης
- Πίνακας 5.1 Παραδείγματα διαστάσεων turbo κυκλικών κόμβων

#### Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1.1 Υπόδειγμα διαγράμμισης σπειροειδούς δακτυλίου κυκλοφορίας (turbo-Κυκλικός κόμβος)
- Εικόνα 1.2 Υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία
- Εικόνα 4.1 Πινακίδα κεντρικής νησίδας

Εικόνα 4.2 Πινακίδες εξόδου

Εικόνα 4.3 Φωτισμός εδάφους

Εικόνα 4.4 Διασχιζόμενη επιφάνεια στην κεντρική νησίδα κυκλικού κόμβου τύπου turbo (Αμστερνταμ)

Εικόνα 4.5 Διαχωριστική νησίδα σε turbo κυκλικό κόμβο με ύπαρξη πρασίνου

Εικόνα 4.6 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας στην είσοδο του κόμβου

Εικόνα 4.7 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας στην έξοδο του κόμβου

Εικόνα 4.8 Ποδηλατοδρόμος σε κυκλικό κόμβο τύπου turbo

Εικόνα 4.9 Παρακαμπτήρια οδός (bypass) σε κυκλικό κόμβο

Εικόνα 5.1 Χρήση κυκλικού κόμβου turbo από μεγάλο όχημα

## **Κεφάλαιο 1 . Εισαγωγή - Ορισμοί**

### **Γενικά**

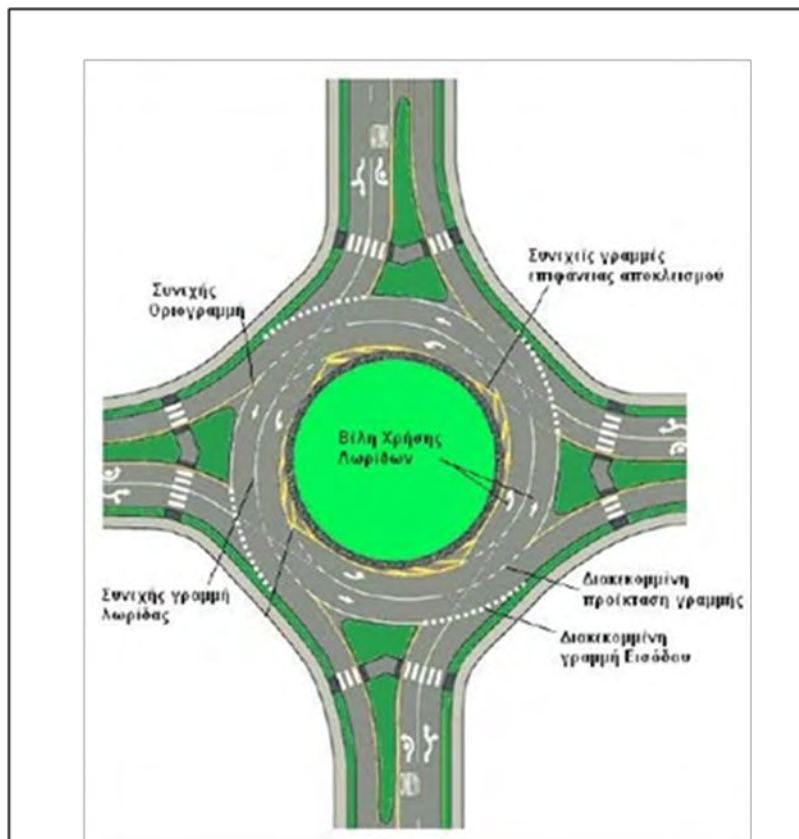
Η χρήση των κυκλικών κόμβων είναι τόσο παλιά, όσο και αυτή των σηματοδοτούμενων κόμβων. Η ιδέα του σχεδιασμού του πρώτου κυκλικού κόμβου εισήχθηκε για πρώτη φορά το 1877 από τον Γάλλο αρχιτέκτονα Eugene Henard . Ήταν αυτός που το 1903 πρότεινε ότι ο σχεδιασμός ενός κυκλικού κόμβου διευκολύνει την κυκλοφορία των οχημάτων στα σημεία συμβολής δύο ή περισσότερων οδών. Οι πρώτες κατευθύνσεις για το γεωμετρικό σχεδιασμό των κυκλικών κόμβων εκδόθηκαν στη Μεγάλη Βρετανία, ενώ η ιδέα του σχεδιασμού των σύγχρονων κυκλικών κόμβων εισήχθη για πρώτη φορά το 1963 από τη Βρετανική κυβέρνηση η οποία υιοθέτησε την απόδοση προτεραιότητας στα οχήματα που βρίσκονται μέσα στον κυκλικό κόμβο[14].

## 1.1 Ορισμός

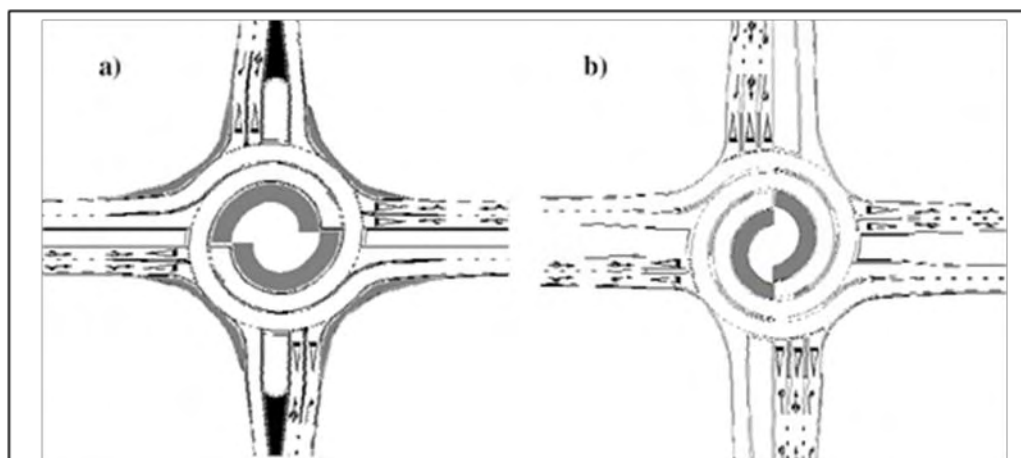
Οι Turbo κυκλικοί κόμβοι είναι ένα ιδιαίτερο είδος κυκλικού κόμβου, όπου οι λωρίδες κυκλοφορίας οριοθετούνται από πινακίδες κυκλοφορίας και κράσπεδα τα οποία έχουν εγκατασταθεί τόσο στην είσοδο όσο και στις λωρίδες κυκλοφορίας. Οι Turbo-κυκλικοί κόμβοι έχουν επίσης ένα πολύ ιδιαίτερο οβάλ σχήμα προκειμένου να επιτευχθεί η διάσπαση των ρευμάτων κυκλοφορίας, με σκοπό την αποφυγή της πλέξης της κυκλοφορίας. Τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την ειδική διαμόρφωση σπειροειδούς κυκλικού κόμβου ( Σχήμα 1.1) ώστε να εξαλείφθούν οι αλλαγές λωρίδας επί του δακτυλίου κυκλοφορίας, καθώς κάθε λωρίδα εισόδου δίνει κατεύθυνση σε συγκεκριμένη λωρίδα εξόδου. Οι επιφάνειες αποκλεισμού, που χρησιμοποιούνται κατά τη δημιουργία μιας νέας λωρίδας του δακτυλίου, θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μην προκαλείται διακοπή στην πορεία των οχημάτων, τα οποία εισέρχονται από την εσωτερική λωρίδα της αμέσως προηγούμενης πρόσβασης. Ο φυσικός διαχωρισμός των λωρίδων

διακόπτεται μόνο μέσα σε τμήματα εισόδου στο εσωτερικό του κόμβου και διαμορφώνεται από ειδικά υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία που εμποδίζουν την αλλαγή λωρίδας. (εικόνα 1.2)

Συνεπώς, ο οδηγός πρέπει να αποφασίσει για την κατεύθυνση εξόδου του πριν από την είσοδο του στον κόμβο. Έτσι αφού αποφασιστεί η λωρίδα εξόδου ύστερα δεν μπορεί να γίνει αλλαγή της απόφασης αφού ο turbo κυκλικός κόμβος απαγορεύει ρητά τις αλλαγές των λωρίδων κίνησης στον κυκλοφοριακό δακτύλιο . Με την απαγόρευση της αλλαγής λωρίδας μέσα στο δακτυλίο, που ρυθμίζεται με κατάλληλη οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση μειώνεται ο αριθμός των σημείων κυκλοφοριακής εμπλοκής . Επιπλέον, οι όποιες πιθανές κατευθύνσεις μέσα στον κόμβο αλλά και οι πιθανοί έξοδοι από αυτόν καθορίζονται από πινακίδες στην είσοδο και οι οδηγοί πρέπει να καθοδηγούνται από ευανάγνωστες πινακίδες και διαγραμμίσεις.( Σχήμα 1.1, Εικόνα 1.1) Ο βασικός turbo κυκλικός κόμβος συνίσταται ως ιδανικός για διασταυρώσεις μεταξύ κύριων και δευτερεύουσων οδών με μικρότερο φόρτο κυκλοφορίας. Οι κυκλικοί κόμβοι τύπου turbo αναπτύχθηκαν κυρίως για καταστάσεις που είναι χαρακτηριστικές στις επαρχιακές οδούς , όπως για παράδειγμα ένας σημαντικός περιφερειακός δρόμος με μεγάλο όγκο κυκλοφορίας που διασταυρώνεται με οδούς χαμηλότερου κυκλοφοριακού φόρτου.



Σχήμα 1.1 Υπόδειγμα διάταξης σπειροειδούς δακτυλίου κυκλοφορίας (turbo-Κυκλικός κόμβος)



Σχήμα 1.2 Βασική διάταξη (turbo-Κυκλικού κόμβου)(α),Σπειροειδής διάταξη (turbo-Κυκλικού κόμβου) (b)

Στοιχεία κυκλικών κόμβων με διαχωρισμό κυκλοφορίας (Turbo roundabouts):

1)Κεντρική νησίδα κόμβου turbo κυκλικής κίνησης, είναι μια υπερυψωμένη κυκλική σπιράλ επιφάνεια στο κέντρο του κόμβου γύρω από την οποία διεξάγεται η κυκλοφορία.

2)Σκέλη κόμβου, αποτελούν τα οδικά τμήματα που συμβάλλουν στον κόμβο, τα οποία μπορεί να είναι συνήθως τρία ή τέσσερα και μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις περισσότερα.

3)Νησίδα διαχωρισμού, προβλέπεται σε κάθε πρόσβαση και είναι μία επιφάνεια υπερυψωμένη με κράσπεδα ή τουλάχιστον στην επιφάνεια του οδοστρώματος, με οριζόντια διαγράμμιση ως επιφάνεια αποκλεισμού. Σκοπός της είναι ο διαχωρισμός την εισερχόμενη από την εξερχόμενη κυκλοφορία, η διοχέτευση και η επιβράδυνση της εισερχόμενη κυκλοφορίας και η δημιουργία δύο σημείων χώρου αναμονής για τους πεζούς, που διασχίζουν κάθετα την οδό πρόσβασης.

4)Δακτύλιος κυκλοφορίας, είναι η επιφάνεια του οδοστρώματος πάνω στην οποία κινούνται τα οχήματα γύρω από την κεντρική κυκλική νησίδα του κόμβου με αριστερόστροφη φορά.

5)Υπερβατή ζώνη κεντρικής νησίδας, κατασκευάζεται στην περίμετρο της κεντρικής νησίδας μόνο αν υπάρχει απαίτηση για χρήση του κόμβου από βαρέα οχήματα.. Αυτή η διαμόρφωση δεν επιβάλλεται για όλους τους κυκλικούς κόμβους, αλλά εξαρτάται με το μέγεθος της ακτίνας της κυκλικής κεντρικής νησίδας και τον κυκλοφοριακό σχεδιασμό.

6)Γραμμή εισόδου, είναι η οριζόντια σήμανση κάθετα προς το μήκος του οδοστρώματος της πρόσβασης που χρησιμοποιείται για να οριστεί το σημείο εισόδου από μια πρόσβαση στο δακτύλιο κυκλοφορίας. Η τοποθέτησή της γίνεται στην εξωτερική περίμετρο του δακτυλίου και σε αυτό το σημείο αναμένονται τα σημεία εμπλοκής μεταξύ των οχημάτων που εισέρχονται στον δακτύλιο κυκλοφορίας και αυτών που ήδη κινούνται μέσα σε αυτόν. Γενικά



προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που κινούνται εντός του κόμβου, εκτός αν υπάρχει σήμανση που ορίζει το αντίθετο.

7)Εγκάρσιες πεζοδιαβάσεις, είναι απαραίτητες σε αστικό περιβάλλον, ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση και διέλευση του κόμβου σε ΑΜΕΑ. Η προβλεπόμενη χρήση τους γίνεται εγκάρσια στη νησίδα διαχωρισμού, όπου προστατεύονται οι πεζοί ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα ενδιάμεσης στάσης πριν αυτοί διασχίσουν το οδόστρωμα της αντίθετης κατεύθυνσης της οδού.

8)Διαμορφώσεις για ποδήλατα. Οι κυκλικοί κόμβοι πρέπει να προσφέρουν τη δυνατότητα στους ποδηλάτες να κινηθούν μέσα στον κόμβο ως οχήματα κυκλοφορίας, ή γύρω από αυτόν ως πεζοί χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες πεζοδιαβάσεις.

9)Διαμόρφωση τοπίου. Όταν ο κόμβος βρίσκεται εντός αστικού περιβάλλοντος θα πρέπει συνήθως να παρεμβάλλεται μια ζώνη χαμηλού πράσινου μεταξύ του περιφερειακού πεζοδρομίου και του δακτυλίου κυκλοφορίας. Αυτή διαχωρίζει τους πεζούς από τα οχήματα, ενώ τους κατευθύνει κατάλληλα ώστε να χρησιμοποιήσουν τις προβλεπόμενες πεζοδιαβάσεις. Η αισθητική της συνεισφορά είναι σημαντική, ενώ επιπλέον θα πρέπει να διασφαλιστεί και το απαιτούμενο ελεύθερο πεδίο ορατότητας στον κόμβο.

10)Turbo μπλοκ. Το γεωμετρικό σχήμα της σπειροειδούς τροχιάς προκύπτει από την ταυτόχρονη ανάπτυξη δύο ένθετων σπειρών, κάθε μία με τρία τμήματα κυκλικών τόξων με συνεχόμενες μεγαλύτερες ακτίνες και με τα κέντρα τους 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 ώστε η σπείρα να παραμένει συνεχής. Το διάγραμμα στο οποίο

συγκεντρώνονται όλες οι σπείρες αυτές πάνω στο τμήμα του άξονα μετάθεσης λέγεται Σπειροειδές τετράγωνο (Turbo block).

## **1.2 Ιστορική αναδρομή**

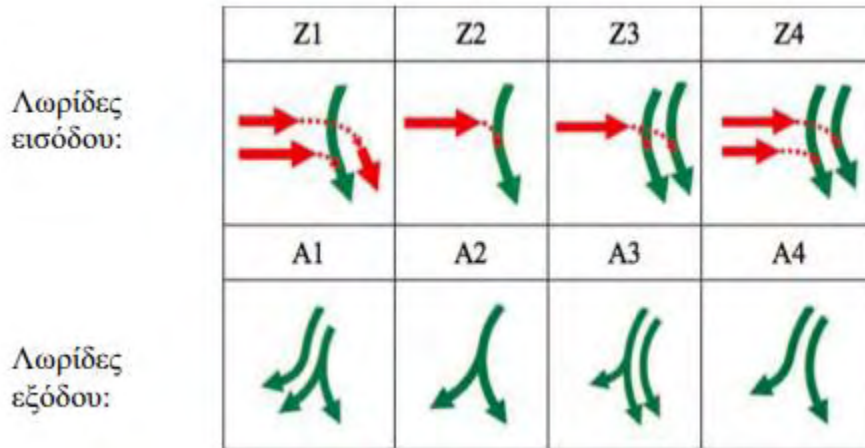
Η ιδέα του πρώτου κυκλικού κόμβου turbo αναπτύχθηκε το 1996 στην Ολλανδία από τον ερευνητή Bertus Fortuijn του πανεπιστημίου του Delft που είχε ως στόχο την επίλυση των προβλημάτων των συμβατών κυκλικών κόμβων. Η μεγάλη πρόκληση που είχε να αντιμετωπίσει ήταν η ανάπτυξη ενός τύπου κυκλικού κόμβου που να μπορεί να φέρει την ίδια ή και μεγαλύτερη χωρητικότητα από αυτήν των συμβατών κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας διατηρώντας ίδια όλα τα χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως οι κυκλικοί κόμβοι μονής λωρίδας. Ο πρώτος κυκλικός κόμβος turbo κατασκευάστηκε το 2000 στην Ολλανδία, ενώ μέχρι το 2007 είχαν ήδη τεθεί σε λειτουργία 70. Σε άλλες χώρες της Ευρώπης όπως η Πολωνία, η Γερμανία, η Τσεχία, η Ουγγαρία, το Βέλγιο και η Σλοβενία έχουν εφαρμοστεί οι συγκεκριμένοι τύποι κυκλικού κόμβου. Η Ολλανδία έχει υλοποιήσει πάνω από 190 έργα κυκλικών κόμβων turbo , ενώ παραλληλα αποφάσισε να σταματήσει την κατασκευή συμβατών κόμβων και υιοθέτησε τους κυκλικούς κόμβους turbo σαν μόνιμη κατασκευαστική πρακτική.



Εικόνα 1.1 Υπόδειγμα διαγράμμισης σπειροειδούς δακτυλίου κυκλοφορίας (turbo-Κυκλικός κόμβος)



Εικόνα 1.2 Υπερυψωμένα διαχωριστικά στοιχεία



Σχήμα 1.3 Πιθανός συνδυασμός εισόδων και εξόδων ενός κυκλικού κόμβου turbo[6].

Χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός τυπικού κυκλικού κόμβου turbo είναι τα εξής:

- 1) Σε τουλάχιστον μία είσοδο στον δακτύλιο του κόμβου υπεισέρχεται μία επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας
- 2) Οι οδηγοί που εισέρχονται στον κόμβο παραχωρούν προτεραιότητα το πολύ σε δύο λωρίδες κυκλοφορίας.
- 3) Η ομαλή ροή κυκλοφορίας είναι απόρροια της χρήσης σπειροειδούς διάταξης .
- 4) Τα υπερυψωμένα διαμήκη διαχωριστικά στοιχεία αποτρέπουν τους οδηγούς από την απότομη αλλαγής λωρίδας μέσα στον κόμβο.

- 5) Σε κάθε τμήμα του σπειροειδούς κόμβου υπάρχει μία λωρίδα η είτε στην έξοδο από τον κυκλικό κόμβο είτε στην ευθεία κίνηση εντός αυτού .
- 6) Οι έξοδοι τουλάχιστον δύο σκελών ωφείλουν να διαθέτουν δύο λωρίδες.
- 7) Η δημιουργία βέλτιστης καμπυλότητας των τροχιών κίνησης των οχημάτων επιτυγχάνεται μέσω της διατήρησης μικρής διαμέτρου του κόμβου.
- 8) Τα σκέλη προσεγγίσεως είναι πάντα σε ορθή γωνία με τον κυκλικό κόμβο.
- 9) Οι πινακίδες που βρίσκονται επάνω στην κεντρική νησίδα τραβούν την προσοχή των οδηγών.
- 10) Οι ειδικά διαμορφωμένες ζώνες περιμετρικά της κεντρικής νησίδας (aprons) προσφέρουν επαρκές εύρος χώρου στα βαρέα οχήματα που θα χρησιμοποιήσουν τον κυκλικό κόμβο.



Σχήμα 1.4 Χαρακτηριστικά κυκλικών κόμβων turbo

### 1.3 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυκλικών κόμβων turbo που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον αριθμό λωρίδων στην είσοδο και έξοδο τους σε τρισκελής και τετρασκελής κόμβοι. Σε καταστάσεις χαμηλής έντασης ταχύτητας και κυκλοφοριακού φόρτου η χρήση δύο λωρίδων (εισόδου-εξόδου) δεν εφαρμόζεται. Το γεγονός αυτό για την ασφάλεια του ποδηλάτη είναι προτιμότερο να γίνει στο πιο μικρό σκέλος ως μονή λωρίδα. Αυτή αποτέλεσε την πρώτη μορφή κυκλικών κόμβων turbo που αναπτύχθηκε ονομάστηκε κυκλικός κόμβος τύπου αυγού. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα του συγκεκριμένου τύπου είναι ότι ο αριθμός των λωρίδων στην πλευρά των σκελών διαφέρει από αυτόν του κυκλικού κόμβου, συνεπώς συγκαταλέγεται στην κατηγορία των κύριων τύπων κυκλικών κόμβων turbo που έχουν ευρεία χρήση. Άρα εκτός από τον τύπο 'αυγό', όλοι οι άλλοι τύποι κόμβων έχουν τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά όπου ο αριθμός των λωρίδων στα σκέλη ανταποκρίνεται στον αριθμό των εκάστοτε κυκλικών κόμβων.[\[13\]](#). Συμπερασματικά οι διάφοροι τύποι των κυκλικών κόμβων turbo είναι οι εξής :

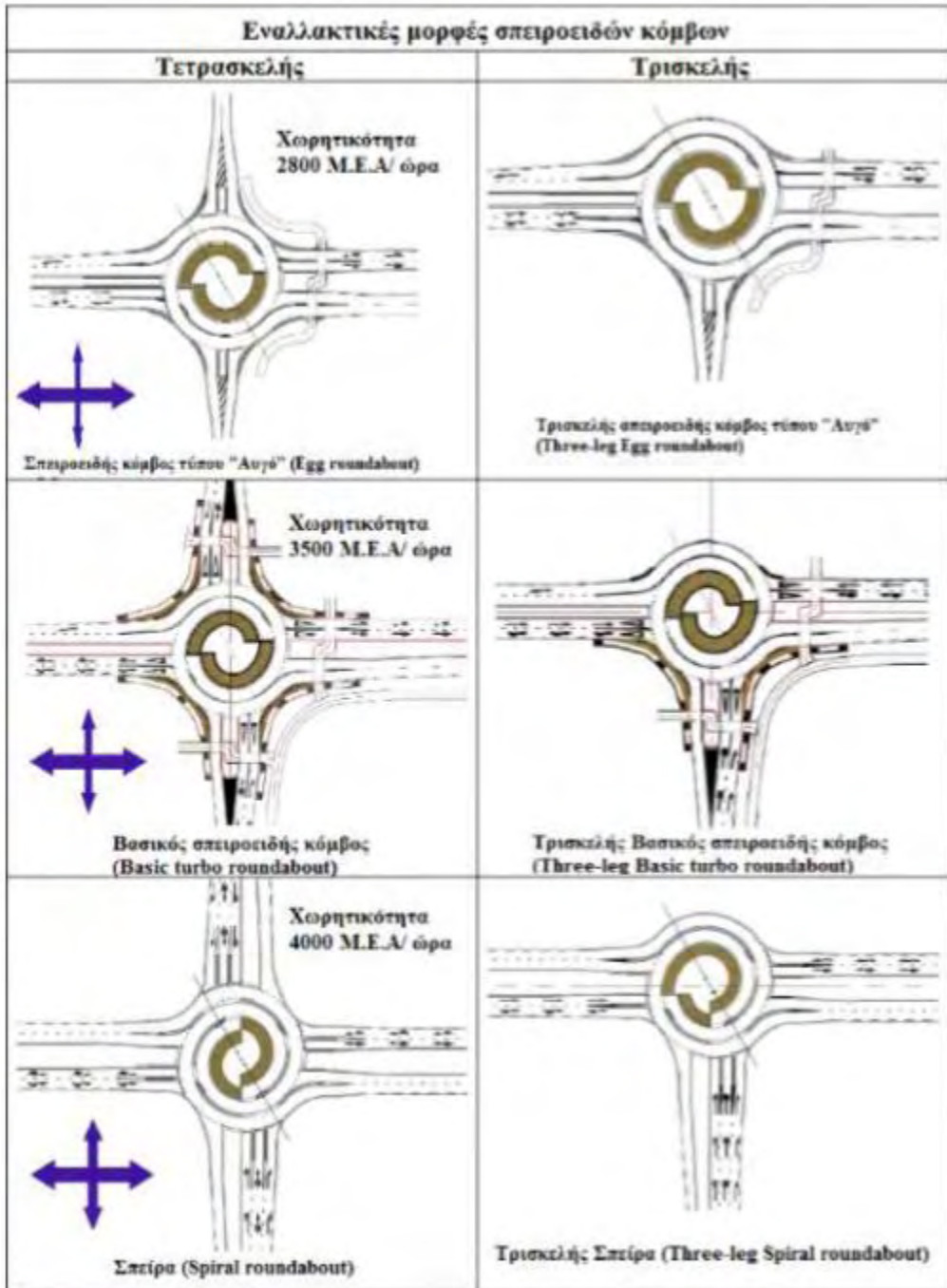
Με τρία ή τέσσερα σκέλη

- 1) Κυκλικός κόμβος τύπου 'αυγού'
- 2) Βασικός κυκλικός κόμβος turbo
- 3 Κυκλικός κόμβος τύπου 'γόνατο'
- 4) Κυκλικός κόμβος τύπου 'σπιράλ'
- 5) Κυκλικός κόμβος τύπου 'ρότορα'

Με τρία σκέλη μόνο

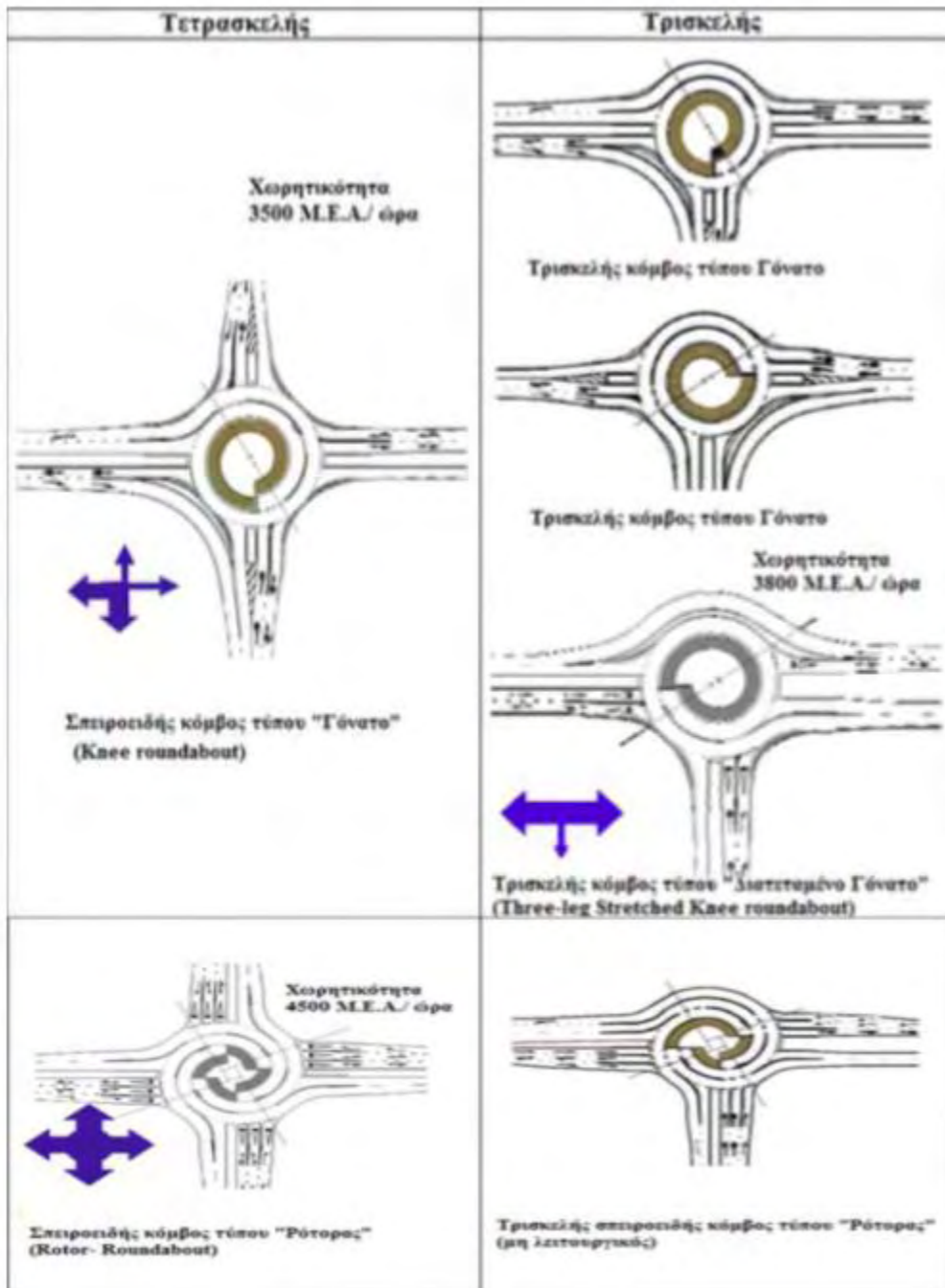
- 1) Κυκλικός κόμβος τύπου 'διατεταμένο γόνατο'
- 2) Κυκλικός κόμβος τύπου 'Αστέρι'

Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται η χωρητικότητα και τα σχήματα των διαφόρων ειδών κυκλικών κόμβων turbo :

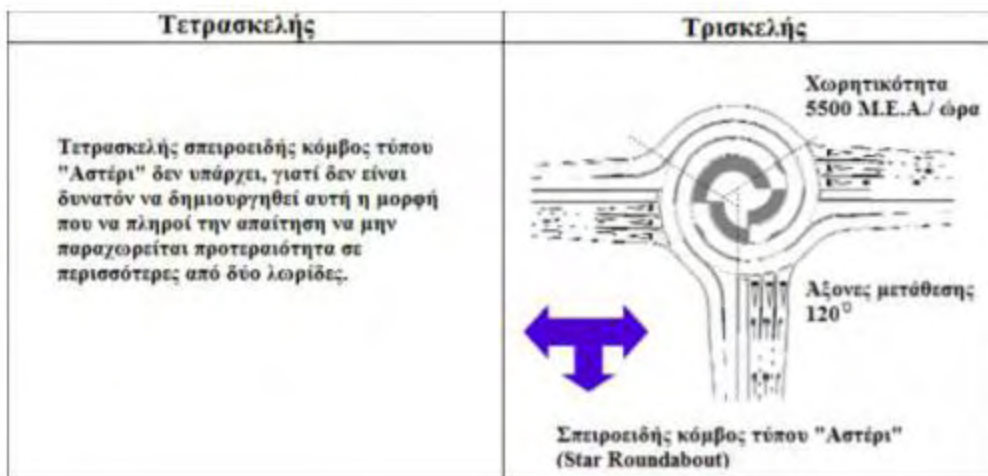


Σχήμα 1.5 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortuijn 2009)





Σχήμα 1.5.1 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortujin 2009)



Σχήμα 1.5.2 Τύποι κυκλικών κόμβων turbo (Fortuijn 2009)

## 1.4 Χρήση των turbo κόμβων στην Ευρώπη και τον κόσμο

Οι κυκλικοί κόμβοι turbo έχουν ευρεία χρήση σε χώρες της Ευρώπης, στη βόρεια και νότια Αμερική και Νότια Αφρική. Οι περισσότεροι από αυτούς συναντώνται στην Ολλανδία όπου είναι και η χώρα που ο συγκεκριμένος τύπος κυκλικού κόμβου αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε. Επιπλέον χώρες με αξιοσημείωτη εφαρμογή κυκλικών κόμβων turbo είναι η Πολωνία, η Γερμανία, η Σλοβενία, η Τσεχία και η Ουγγαρία. Η Σλοβακία, επιπλέον, έχει αρχίσει την ευρεία χρήση του τύπου αυτού κόμβων. Παρότι όλες αυτές οι χώρες χρησιμοποιούν τους turbo κυκλικούς κόμβους υπάρχουν διαφορές στα πρότυπα που εφαρμόζει η κάθε μία. Πιο συγκεκριμένα, η Γερμανία σε αντίθεση με τις προδιαγραφές της Ολλανδίας, δεν προτιμά τη χρήση υπερυψωμένων διαχωριστικών νησίδων τύπου curb από σκληρό καουτσούκ στις λωρίδες εντός του κόμβου αλλά την απλή διαγράμμιση ιδιαιτέρως για την διευκόλυνση των

εκχιονιστικών μηχανημάτων.

## **1.5 Χρήση στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα δεν είναι διαδεδομένη η χρήση του κυκλικού κόμβου turbo, παρόλα αυτά υπάρχουν σε θεωρητικό επίπεδο διάφορες μελέτες. Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και την αύξηση των κοινωνικών απαιτήσεων για καλύτερευση του βιωτικού επιπέδου η Ελλάδα θα αναπτυχθεί στον τομέα αυτόν ώστε να βελτιωθεί η οδική ασφάλεια, η κυκλοφοριακή ικανότητα και η περιβαλλοντολογική προσαρμογή.

## **1.6 Συνθήκες κατάλληλης εγκατάστασης**

Ο κυκλικός κόμβος turbo είναι αφενός η ιδανική λύση για περιοχές εκτός αστικών κέντρων όταν υπάρχει ένας κύριος και ένας πλευρικός δρόμος από άποψη έντασης της κυκλοφοριακής ροής και αφετέρου είναι κατάλληλος σε αστικές περιοχές όσων αφορά τους κόμβους με δύο εισόδους και δύο εξόδους στους οποίους θα πρέπει να λυθεί πρώτα το πρόβλημα της ασφαλούς κίνησης των μη οδηγών[40]. Συνεπώς ο κυκλικός κόμβος turbo είναι μία λύση στις εξής παρακάτω περιπτώσεις :

1) Σε περίπτωση υφιστάμενων κυκλοφοριακών συμφορήσεων μίας λωρίδας κυκλικού κόμβου που μας επιτρέπει την εφαρμογή μίας πρόσθετης κυκλοφοριακής λωρίδας προς τα μέσα η οποία και αποτελεί την καλύτερη επιλογή ή στην περίπτωση που υπάρχει χώρος που να επιτρέπει την

εφαρμογή κάποιας άλλης κυκλοφοριακής λωρίδας προς τα έξω ,η οποία όμως έχει λιγότερη εφαρμογή και αποτελεί και μια πιο ακριβή λύση.

2) Σε υπάρχουσες κυκλοφοριακές συμφορήσεις ενός κυκλικού κόμβου διπλής λωρίδας.

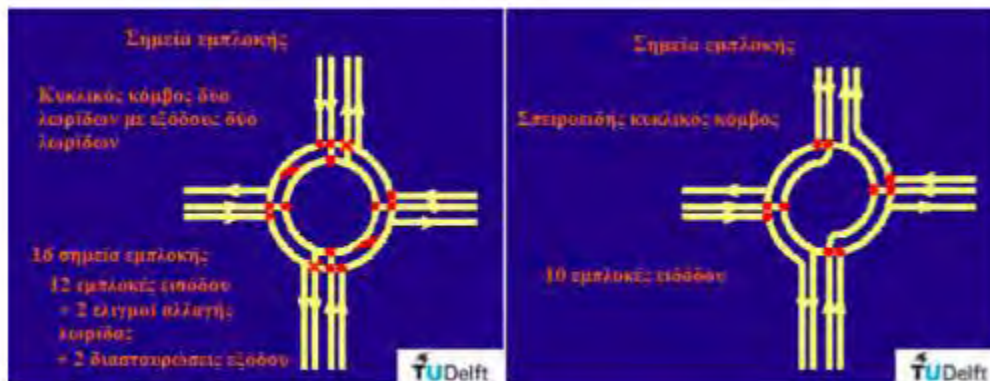
3) Σε περιπτώσεις ανακατασκευών μιας τυπικής διασταύρωσης η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση.

## 1.7 Πλεονεκτήματα κυκλικών κόμβων τύπου turbo

Οι κυκλικοί κόμβοι τύπου turbo έχουν ευρεία χρήση σήμερα και χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα είδη μοντέρνων κυκλικών κόμβων:

1) Μείωση της ταχύτητας στην είσοδο του κόμβου, μέσα σε αυτόν αλλά και στην έξοδο του.Αυτός είναι ένας παράγοντας μέγιστης σημασίας στην γεωμετρία του κυκλικού κόμβου καθώς και στην ασφάλεια της κυκλοφορίας.[\[20\]](#).

2) Μείωση των σημείων εμπλοκής.Για παράδειγμα ,τα 16 σημεία εμπλοκής ενός κλασικού ομόκεντρου κόμβου δύο λωρίδων μειώνονται σε 10 για τον βασικό κυκλικό κόμβο turbo αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την προστασία των πεζών. (Σχήμα 1.6 , Πίνακας 1.1)



Σχήμα 1.6 Σύγκριση σημείων εμπλοκής κυκλικού κόμβου δύο λωρίδων και κυκλικού κόμβου τύπου turbo

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

Πίνακας 1.1 Σημεία εμπλοκής για τα διάφορα είδη κόμβων ( Giuffrè et al. 2009)

- 3) Μειωμένο ρίσκο πλευρικής σύγκρουσης (ποσοστό μείωσης της τάξης του 80%) δεδομένου της ύπαρξης υπερυψωμένων διαχωριστικών τα οποία χωρίζουν την κίνηση των οχημάτων σε διαφορετικές λωρίδες.
- 4) Αύξηση κατά 25% έως 35% της χωρητικότητας των κυκλικών κόμβων turbo σε σχέση με τους κυκλικούς κόμβους διπλής λωρίδας.
- 5) Ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων, εφόσον η χωρητικότητα των κυκλικών κόμβων turbo είναι υψηλότερη σε σύγκριση με τη χωρητικότητα των συμβατών κυκλικών κόμβων (Cambell 2012).
- 6) Χαμηλότερα κόστη κύκλου ζωής και συντήρησης σε σχέση με τα αντίστοιχα κόστη ενός συμβατικού κυκλικού κόμβου. Να τονιστεί πως στον αντίποδα τα κόστη κατασκευής είναι πιο ψηλά, της τάξης του 10% με 15% .

## **Κεφάλαιο 2. Ανάλυση των κυκλικών κόμβων turbo**

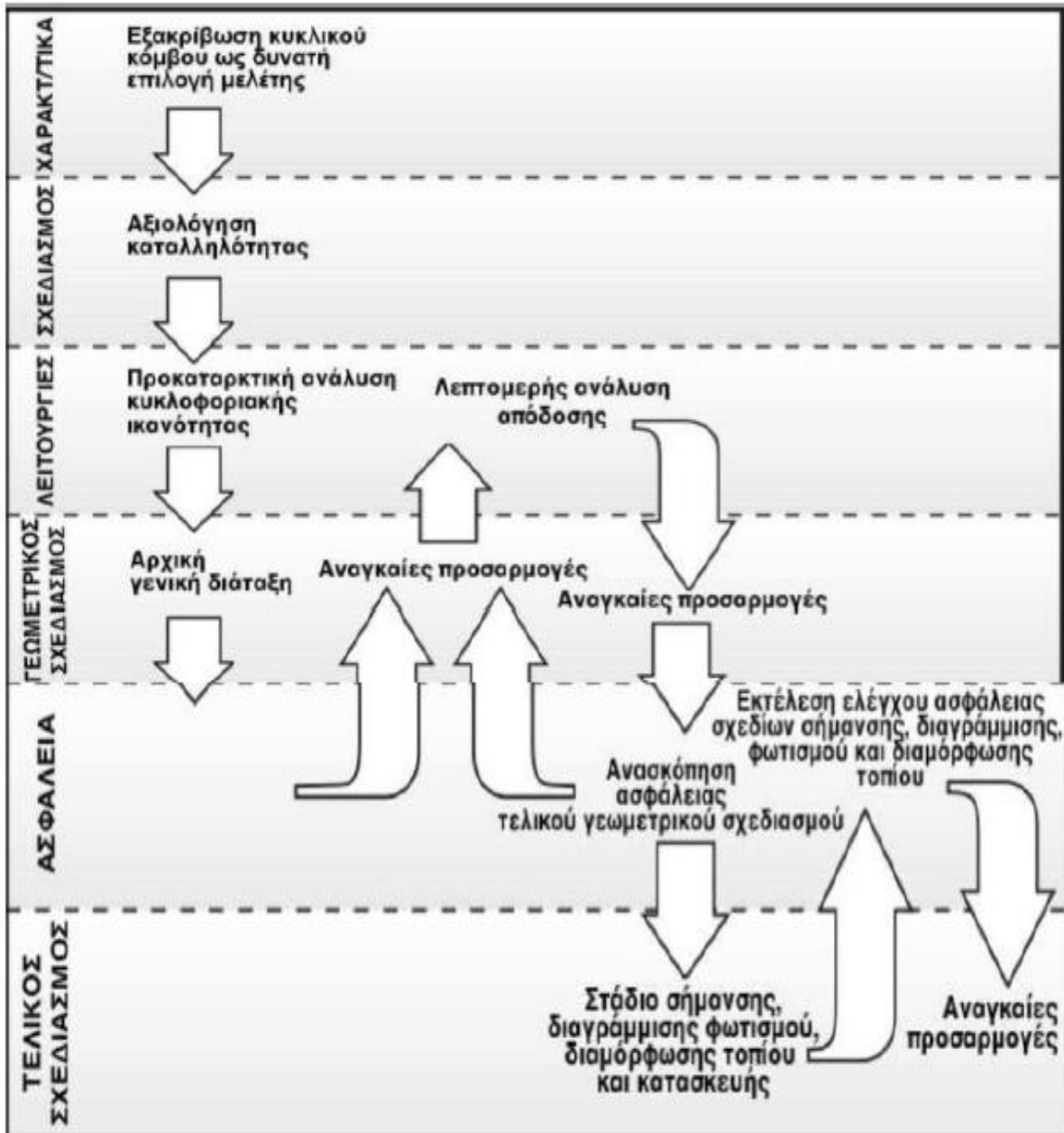
### **2.1 Σχεδιασμός κυκλικών κόμβων turbo**

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το σχεδιασμό ενός κυκλικού κόμβου turbo. Η διαδικασία σχεδιασμού έχει ως βασικά απαιτούμενα τις ευρείες προσεγγίσεις στους τομείς της ανάλυσης, της γεωμετρίας και της ασφάλειας. Ο μελετητής πρέπει να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες και πιθανές αλλαγές, να βελτιώνει αλλά και να αυξάνει την κυκλοφοριακή ικανότητα του κόμβου που μελετά και σχεδιάζει. Η διαδικασία σχεδιασμού ενός τέτοιου κόμβου παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής Σχήμα 2.1 που ακολουθεί παρακάτω.

Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και μικρές αλλαγές στην γεωμετρία του κόμβου μπορούν να επιφέρουν καταστροφικά αποτελέσματα στη λειτουργική απόδοση αλλά κυρίως στην ασφάλειά του. Συνεπώς προτιμάται η μελέτη των γεωμετρικών στοιχείων ξεχωριστά έτσι ώστε να τειρούνται οι προδιαγραφές οι οποίες έχουν ορισθεί.

Για το αρχικό στάδιο μελέτης θα μπορούσαμε να ορίσουμε τρεις βασικές αρχές που τη διέπουν και οι οποίες είναι:

- 1) Το βέλτιστο μέγεθος του κυκλικού κόμβου.
- 2) Η βέλτιστη ευθυγράμμιση και διάταξη των σκελών πρόσβασης στον κόμβο.
- 3) Και τέλος η βέλτιστη θέση του.



Σχήμα 2.1 Διαδικασία σχεδιασμού ενός κυκλικού κόμβου

## 2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κυκλικών κόμβων turbo

Το χαρακτηριστικό σχήμα της κεντρικής νησίδας είναι σχεδιασμένο μέσω του τόξου της περιμέτρου του κύκλου με διαφορετικά κέντρα και ακτίνες (Σχήμα 2.2) [40]. Ο γεωμετρικός σχεδιασμός της ακολουθεί τα εξής βήματα:

- 1) Διαχωρίζεται το κέντρο της διασταύρωσης (ή το σημείο της διασταύρωσης ανάμεσα στους δρόμους).
- 2) Επιλέγεται το πλάτος λωρίδας και της νησίδας ασφαλείας ανάμεσα στις λωρίδες ώστε το άθροισμα να ανταποκρίνεται στην απόσταση από το C1 έως το C2:

$$\overline{C1 \cdot C2} = \overline{\Delta R}$$

(1)

- 3) Τοποθετούνται τα δύο κέντρα C1 και C2 συμμετρικά όπως γίνεται με το σημείο διασταύρωσης ανάμεσα στους άξονες των δρόμων.
- 4) Προσδιορίζεται η τιμή της πρώτης ακτίνας και στη συνέχεια παίρνουμε  $R1=R4$ . Οι υπόλοιπες τιμές για τις ακτίνες προσδιορίζονται από τις σχέσεις:

$$R_i = R_{i-1} + \Delta R$$

$$R_2 = R_1 + \Delta R$$

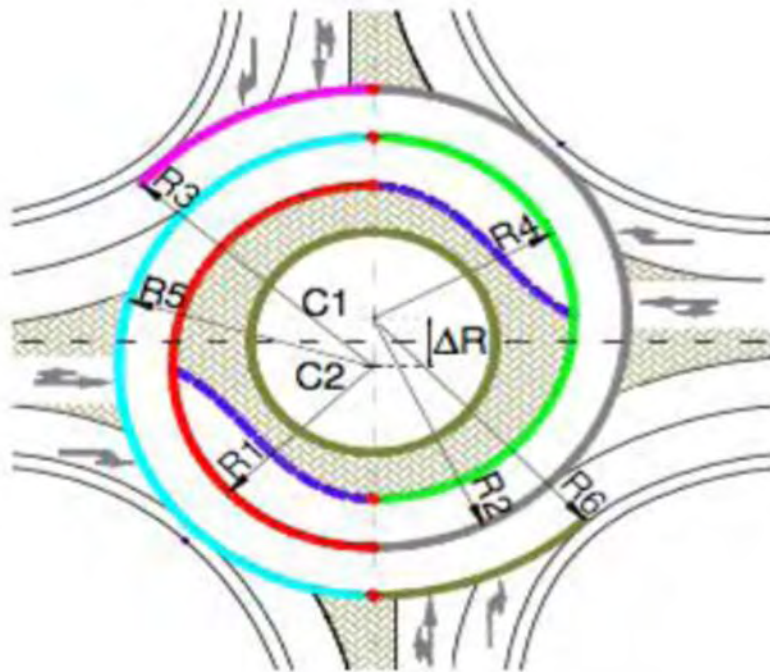
$$R_3 = R_2 + \Delta R \quad (2)$$

$$R_5 = R_4 + \Delta R$$

$$R_6 = R_5 + \Delta R$$



Πρέπει να επιλέγουμε τις εκάστοτε τιμές των ακτινών ενός κυκλικού κόμβου turbo καθώς και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα των οχημάτων μέσα στον κόμβο να μην είναι μεγαλύτερη των 40 km/h.



Σχήμα 2.2 Γεωμετρικός σχεδιασμός κυκλικού κόμβου turbo[1].

Ο πίνακας 2.1 δείχνει τυποποιημένα μεγέθη των ακτινών (R1, R2, R3, R4, R5, R6) για μικρούς, Standard, μεσαίους και μεγάλους κυκλικούς κόμβους.

Ακτίνες	Μικροί	Standard	Μεσαίοι	Μεγάλοι
ΔR=4.20 m (πλάτος λωρίδας =3.50 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R2 (m)	14.70	16.20	19.20	24.20
R3 (m)	18.90	20.40	23.40	28.40
R4 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R5 (m)	14.70	16.20	19.20	24.20
R6 (m)	18.90	20.40	23.40	28.40
ΔR=4.45 m (πλάτος λωρίδας =3.75 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R2 (m)	14.95	16.45	19.45	24.45
R3 (m)	19.40	20.90	23.90	28.90
R4 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R5 (m)	14.95	16.45	19.45	24.45
R6 (m)	19.40	20.90	23.90	28.90
ΔR=4.70 m (πλάτος λωρίδας =4.00 m)				
R1 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R2 (m)	15.20	16.70	19.70	24.70
R3 (m)	19.90	21.40	24.40	29.40
R4 (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R5 (m)	15.20	16.70	19.70	24.70
R6 (m)	19.90	21.40	24.40	29.40

Πίνακας 2.1 Τυποποιημένα μεγέθη των ακτινών (R1, R2, R3, R4, R5, R6) για μικρούς, Standard, μεσαίους και μεγάλους κυκλικούς κόμβους [40]

Το πλάτος των λωρίδων κυκλοφορίας πρέπει να παραμένει σταθερό καθ' όλο το μήκος τους και για αυτό το λόγο η καμπύλη πρέπει να έχει σταθερό βήμα ίσο με την εγκάρσια απόσταση μεταξύ των λωρίδων. Η εξίσωση που χαρακτηρίζει αυτή τη διαδικασία είναι γνωστή και ως σπирάλ του Αρχιμήδη [40] και η εξίσωση είναι η εξής :

$$R = a\theta \quad (3)$$

Όπου:  $a$  = παράμετρος καμπύλης

$\theta$  = πολική γωνία

και  $R$  = ακτινική απόσταση



Σχήμα 2.3 Το σπирάλ του Αρχιμήδη

Στο σχήμα 2.3 φαίνεται το σπирάλ του Αρχιμήδη το οποίο δείχνει την τροχιά ενός σημείου P κινούμενο με σταθερή ταχύτητα πάνω σε μία ευθεία που περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα στο σημείο O ( όπου O η αρχή των αξόνων σε καρτεσιανό επίπεδο). Οποιαδήποτε γραμμή διέρχεται από την αρχή των αξόνων O έχει σαν αποτέλεσμα να χωρίζει σε ίσια τμήματα το σπирάλ του Αρχιμήδη.

Συνεπώς έχουμε :

$$\overline{OA} = \overline{AB} = \overline{BC} \quad (4)$$

Από τις εξισώσεις του σπιδάλ του Αρχιμήδη έχουμε:

$$x = R \cdot \cos \theta = \alpha \cdot \cos \theta \quad (5)$$

$$y = R \cdot \sin \theta = \alpha \cdot \sin \theta \quad (6)$$

Για τον υπολογισμό του βήματος σπιδάλ  $K$ , θέτουμε το  $n$  ως έναν φυσικό αριθμό ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ) και συνεπώς οι ακόλουθες συνθήκες θα έχουν ως εξής :

$$R_n = \alpha \cdot \theta_n \quad (7)$$

$$R_{(n+1)} = \alpha \cdot \theta_{n+1} \quad (8)$$

$$K = R_{(n+1)} - R_n = \alpha \cdot (\theta_{n+1} - \theta_n) = 2\pi\alpha \quad (9)$$

Θεωρώντας ως γνωστό το βήμα  $K$  του σπιδάλ από τις παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της παραμέτρου  $\alpha$  :

$$\alpha = \frac{\kappa}{2\pi} \quad (10)$$

Και το συνολικό μήκος  $L$  του σπιδάλ μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot [\theta \cdot \sqrt{1 + \theta^2} + \ln(\theta + \sqrt{1 + \theta^2})] \quad (11)$$

Ο υπολογισμός των ακτινών εισόδου και εξόδου στον turbo κυκλικό κόμβο μπορεί να γίνει από τις μέσες τιμές, όμοια με στους συμβατούς κυκλικούς κόμβους, όπου η ελάχιστη τιμή της ακτίνας εισόδου είναι  $R_{e,min} = 12.00$  m και η ελάχιστη τιμή της ακτίνας εξόδου είναι  $R_{u,min} = 15.00$  m. Επιπροσθέτως οι λωρίδες ωφείλουν να έχουν πλάτος 4.00 m για την ικανοποίηση των ελιγμών εισόδου και 4.50 m για την ικανοποίηση των ελιγμών εξόδου.

### 2.3 Υπολογισμός της χωρητικότητας

Ο υπολογισμός της χωρητικότητας ενός turbo κυκλικού κόμβου γίνεται με σχέσεις που στηρίζονται στην εμπειρία και οι οποίες είναι βασισμένες σε μετρήσεις κυκλικών κόμβων που ήδη υπάρχουν. Τέτοια πειραματικά μοντέλα είναι του Fortujin, του Hagring και τέλος των Giuffre, Guerrieri και Grana. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση όλων των μοντέλων αυτών.

#### 1) Μοντέλο Fortujin

Στο μοντέλο αυτό έχουμε τον υπολογισμό της χωρητικότητας στις λωρίδες εισαγωγής ξεχωριστά, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της ψευδο-εμπλοκής, χωρίς να υπολογίζεται η απλά χωρητικότητα. [36] Ο υπολογισμός της χωρητικότητας της δεξιόστροφης λωρίδας CE<sub>r</sub> και της αριστερόστροφης λωρίδας CE<sub>l</sub> γίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις αντίστοιχα

$$C_{El} = C_0 - b_{min} \cdot Q_{Rmin} - b_{max} \cdot Q_{Rmax} - \alpha_i \cdot Q_S \quad (12)$$

$$C_{Er} = C_0 - b_u \cdot Q_{Ru} - \alpha_r \cdot Q_S \quad (13)$$

Όπου :

$C_0$  είναι η χωρητικότητα χωρίς κυκλοφοριακή ροή (pcu/h)

QR η ένταση της κυκλοφοριακής ροής (pcu/h)

QS η ένταση της κυκλοφοριακής εξόδου (pcu/h)

Και  $a_i$   $a_r$   $b_u$   $b_{max}$   $b_{min}$  είναι συντελεστές που εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διασταύρωσης.

Για τους δείκτες  $l$ ,  $r$ ,  $I$ ,  $U$ ,  $R_{min}$ ,  $R_{max}$  έχουμε:

$l$  είναι η αριστερόστροφη λωρίδα

$r$  η δεξιόστροφη λωρίδα

$I$  η εσωτερική λωρίδα κυκλικού κόμβου

$U$  η εξωτερική λωρίδα κυκλικού κόμβου

$R_{min}$  είναι η λωρίδα δακτυλίου με την χαμηλότερη κυκλοφοριακή ένταση

και  $R_{max}$  η λωρίδα δακτυλίου με την υψηλότερη κυκλοφοριακή ένταση

## 2) Μοντέλο Hagring

Το μοντέλο του Hagring [39] απεικονίζει μια πιο γενική εξίσωση για την εύρεση της χωρητικότητας, παίρνοντας υπόψη τις παραμέτρους συμπεριφοράς και ροής κίνησης. Ο υπολογισμός της χωρητικότητας εισόδου γίνεται όπως η χωρητικότητα μικρότερων λωρίδων οι οποίες διασταυρώνονται με μεγάλες ροές και με την κάθε μια να ακολουθεί την κατανομή Cowan M3 όπως φαίνεται παρακάτω:

$$C_E = 3600 \sum_j \frac{\varphi_j Q_{c,j}}{3600 - \Delta_j Q_{c,j}} \prod_k \left( \frac{3600 - \Delta_k Q_{c,k}}{3600} \right) \frac{\exp \left[ - \sum_j \frac{\varphi_j Q_{c,j}}{3600 - \Delta_j Q_{c,j}} (T_{c,j} - \Delta_j) \right]}{1 - \exp \left( - \sum_m \frac{\varphi_m Q_{c,m}}{3600 - \Delta_m Q_{c,m}} T_{f,m} \right)} \quad (14)$$

Όπου :

$C_E$  είναι η χωρητικότητα λωρίδας εισόδου

$\varphi$  η παράμετρος Cowan M3 που αντιπροσωπεύει την αναλογία της ελεύθερης κίνησης μέσα στην κύρια λωρίδα

$Q_c$  η Ροή εμπλεκόμενης κίνησης (pcu/h)

$T_c$  το κρίσιμο διάκενο της κυκλοφοριακής λωρίδας

$T_f$  ο χρόνος συνέχισης (s)

$\Delta$  η συντομότερη μετακίνηση της κυκλοφορίας

Και τα  $j, k, i, m$  αποτελούν τους δείκτες εμπλεκόμενων λωρίδων

### 3) Μοντέλο Giuffre – Guerrieri – Granà

Ο υπολογισμός την χωρητικότητα βόρειας και νότιας κατεύθυνσης απαιτεί τη χρήση των εξισώσεων χωρητικότητας δεξιόστροφης λωρίδας  $CE,R$  και χωρητικότητας αριστερόστροφης λωρίδας  $CE,TLT$ . [11] Οι δύο αυτές τιμές υπολογίζονται χωριστά όπως παρουσιάζεται παρακάτω :

$$CE,R = 3600 \cdot \left(1 - \frac{T_{min} \cdot Q_{C,E}}{3600}\right) \cdot \frac{1}{T_f} \cdot e^{-\frac{Q_{C,E}}{3600} \left(T_g - \frac{T_f}{2} - T_{min}\right)} \quad (15)$$

$$CE,TLT = 3600 \cdot \left[1 - \frac{T_{min} \cdot (Q_{C,E} + Q_{C,i})}{3600}\right] \cdot \frac{1}{T_f} \cdot e^{-\frac{Q_{C,E} + Q_{C,i}}{3600} \left(T_g' - \frac{T_f'}{2} - T_{min}\right)}$$

(16)

Όπου:

$CE,R$  είναι η χωρητικότητα δεξιόστροφης λωρίδας στην είσοδο E (όχημα/h)

$CE,TLT$  η χωρητικότητα διά μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας στην είσοδο E (όχημα/h)



$Q_{C,e}$  η κυκλοφοριακή ροή κίνησης στον εξωτερικό δακτύλιο έναντι της εισόδου E (όχημα/h)

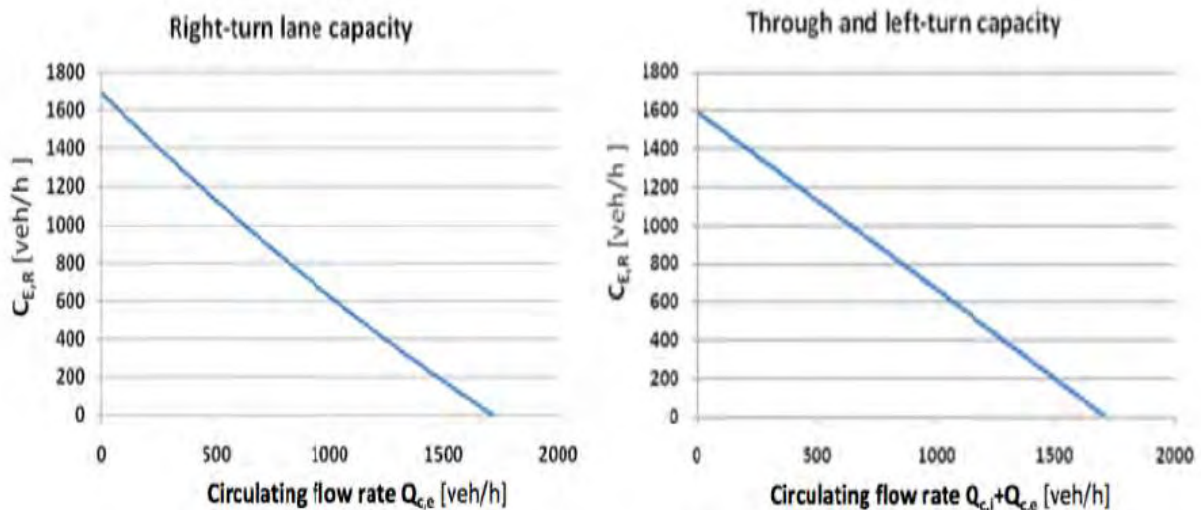
$Q_{C,I}$  η κυκλοφοριακή ροή κίνησης στον εσωτερικό δακτύλιο έναντι της εισόδου E (όχημα/h)

$T_g, T_g'$  το κρίσιμο διάκενο (s) (διαφορετικές τιμές για διπλές λωρίδες εισόδου)

$T_f, T_f'$  ο χρόνος συνέχισης (s) (διαφορετικές τιμές για διπλές λωρίδες εισόδου)

Και  $T_{min}$  ο συντομότερος χρόνος μεταξύ των κινούμενων οχημάτων που κινούνται στις λωρίδες κυκλοφορίας (s).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η απεικόνιση της σχέσης χωρητικότητας και κινούμενων οχημάτων διπλής λωρίδας (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Διάγραμμα χωρητικότητας λωρίδας

Ο Fortuijn [11] από στατιστικά δεδομένα και λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους συμπεριφοράς συνέταξε μελέτη η οποία συνδιαζόμενη με τους ήδη υπάρχοντες turbo κυκλικούς

κόμβους έδωσε για δεξιόστροφα οχήματα τις τιμές  $T_g = 3.6$  s,  $T_f = 2.13$  s,  $T_{min} = 2.1$  s, και για δια μέσου και αριστερόστροφα οχήματα τις τιμές  $T_{gp}' = 3.2$  s,  $T_f' = 2.25$  s,  $T_{min} = 2.1$  s.

Επιπλέον, πέραν της διαφορετικής τιμής χωρητικότητας ( $C_i$ ) που χαρακτηρίζει την κάθε λωρίδα εισόδου σε έναν κυκλικό κόμβο τύπου turbo ,διαφορετική τιμή έχει και ο δείκτης ροής ( $Q_i$ ) όπου έχει σαν αποτέλεσμα τον βαθμό κορεσμού  $X_i$ .

$$\text{Όπου :} \quad X_i = \frac{Q_i}{C_i} \quad (17)$$

Ο βαθμός κορεσμού ενδέχεται να είναι διαφορετικός μεταξύ των λωρίδων της ίδιας εισόδου κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα η ολική χωρητικότητα εισόδου να μην αποτελείται απλά από το άθροισμα των χωρητικοτήτων των μονών λωρίδων. Συνεπώς η χωρητικότητα εισόδου  $C_E$  δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$X = \max\left(\frac{Q_i}{C_i}\right) = \max(X_i) \text{ όπου } i = 1, 2, 3 \dots \quad (18)$$

$$\rho_i = \frac{x_i}{x} \quad (19)$$

$$C_E = \sum_{i=1}^n \rho_i C_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{X} = \frac{Q_{E,R} + Q_{E,TLL}}{\max\left[\frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}}, \frac{Q_{E,TLL}}{C_{E,TLL}}\right]} \quad (20)$$

Όπου :

$x_i$  είναι ο βαθμός κορεσμού μιας λωρίδας  $i$

X ο βαθμός κορεσμού της κρίσιμης λωρίδας

$\rho_i$  ο λόγος χρήσης της λωρίδας  $i$

$Q_{E,R}$  ο απαιτούμενος δείκτης ροής δεξιόστροφης λωρίδας στην είσοδο E

$Q_{E,TLT}$  ο απαιτούμενος δείκτης ροής δια μέσου και αριστερόστροφης λωρίδας στην είσοδο E

## 2.4 Επίδραση των πεζών στην κυκλοφοριακή κίνηση του κόμβου

Οι πεζοί επιδρούν στην κυκλοφοριακή κίνηση και αυτό συμβαίνει περισσότερο στα αστικά κέντρα και πάντα η μελέτη γίνεται όταν οι πεζοί έχουν προτεραιότητα εισόδου στον κόμβο έναντι των οχημάτων.[\[29\]](#) Παρότι δεδομένα από πειράματα σχετικά με την επίδραση των πεζών στους turbo κυκλικούς κόμβους δεν υπάρχουν, έχει αναπτυχθεί ένα μοντέλο για τον υπολογισμό της χωρητικότητας  $M$ .

Ο δείκτης μείωσης για είσοδο σε μονή λωρίδα δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$M = \frac{1119.5 - 0.715 \cdot q_k - 0.644 \cdot Q_{ped} + 0.00073 \cdot q_k \cdot Q_{ped}}{1069 - 0.65 \cdot q_k} \quad (21)$$

όπου

$q_k$  είναι ο δείκτης εμπλεκόμενης κίνησης

και  $Q_{ped}$  η ροή των πεζών ανά ώρα (πεζοί/h)

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτουν :

$$M_{E,R} = \frac{11195.5 - 0.71 \cdot Q_{C,E} - 0.644 \cdot Q_{ped} + 0.00073 \cdot Q_{C,E} \cdot Q_{ped}}{1069 - 0.65 \cdot Q} \quad (22)$$

$$M_{E,TLT} = \frac{11195.5 - 0.715 \cdot (Q_{C,E} + Q_{C,i}) - 0.644 \cdot Q_{ped} + 0.00073 \cdot (Q_{C,E} + Q_{C,i}) \cdot Q_{ped}}{[1069 - 0.65 \cdot (Q_{C,E} - Q_{C,i})]} \quad (23)$$

$$C_{E,R}^{Ped} = C_{E,R} \times M_{E,R}$$

(24)

$$C_{E,TLT}^{Ped} = C_{E,TLT} \cdot M_{E,TLT}$$

(25)

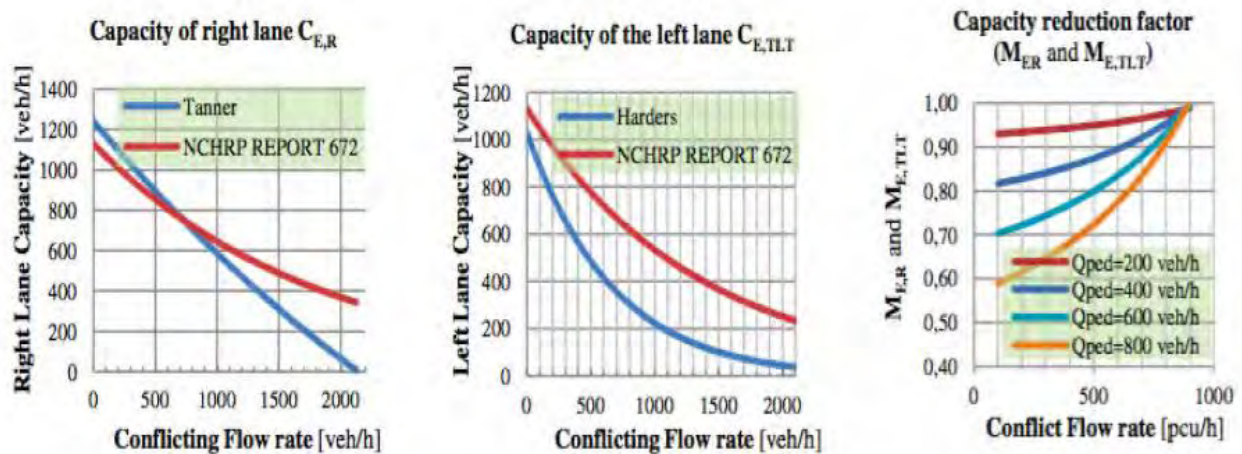
Όπου:

$C_{E,Rped}$  είναι η χωρητικότητα οχήματος για δεξιόστροφη λωρίδα έχοντας υπόψη μας την επίδραση των πεζών (όχημα/h)

$C_{E,TLTPed}$  η χωρητικότητα οχήματος για δια μέσου και αριστερόστροφη λωρίδα παίρνοντας υπόψη μας την επίδραση των πεζών (όχημα/h)

$C_{E,R}$  η χωρητικότητα οχήματος για δεξιόστροφη λωρίδα χωρίς διαβάσεις πεζών

$C_{E,TLT}$  η χωρητικότητα οχήματος για δια μέσου και αριστερόστροφη λωρίδα χωρίς διαβάσεις πεζών.



Σχήμα 2.5 Σύγκριση μεταξύ των μοντέλων χωρητικότητας για λωρίδες εισόδου και των τιμών δείκτη μείωσης χωρητικότητας

## 2.5 Υπολογισμός των καθυστερήσεων και του επιπέδου εξυπηρέτησης

Η μέση καθυστέρηση μπορεί να υπολογιστεί μόνο εφόσον έχουμε βρει πρώτα τη χωρητικότητα και την επίδραση των πεζών στην κυκλοφοριακή κίνηση. Γενικά θα υπάρχουν διαφορετικές καθυστερήσεις για τις δύο λωρίδες εισόδου και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το επίπεδο εξυπηρέτησης για την δεξιόστροφη λωρίδα να διαφέρει απ' το επίπεδο εξυπηρέτησης για την δια μέσου και αριστερόστροφη λωρίδα. Έχουμε λοιπόν τους παρακάτω τύπους :

$$D_{E,R}^{Ped} = \frac{3600}{C_{E,R}} + 900T \cdot \left[ \frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}^{Ped}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}} - 1 \right)^2 + \frac{\left( \frac{3600}{C_{E,R}^{Ped}} \right) \cdot \left( \frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \min \left[ \frac{Q_{E,R}}{C_{E,R}^{Ped}}, 1 \right]$$

(26)

$$D_{E,TLT}^{Ped} = \frac{3600}{C_{E,TLT}} + 900T \cdot \left[ \frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}^{Ped}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}} - 1 \right)^2 + \frac{\left( \frac{3600}{C_{E,TLT}^{Ped}} \right) \cdot \left( \frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \min \left[ \frac{Q_{E,TLT}}{C_{E,TLT}^{Ped}}, 1 \right] \quad (27)$$

Όπου:

$D_{E,R}^{Ped}$  είναι η μέση καθυστέρηση για δεξιόστροφη λωρίδα (s/veh)

$D_{E,TLT}^{Ped}$  η μέση καθυστέρηση για δια μέσου και αριστερόστροφη λωρίδα (s/veh)

T είναι ο ορόνος αναφοράς ,όπου ορίζουμε ως T=1 για 1 ώρα ανάλυσης και T=0.25 για 15 λεπτά ανάλυσης.

Επιπλέον, ο υπολογισμός της μέσης καθυστέρησης στις εισόδους γίνεται μέσω του τύπου :

$$D_{E}^{Ped} = \frac{D_{E,R}^{Ped} \cdot Q_{E,R} + D_{E,TLT}^{Ped} \cdot Q_{E,TLT}}{Q_{E,R} + Q_{E,TLT}}$$

(28)

Όπου:

$D_{E,R Ped}$  και  $D_{E,TLT Ped}$  είναι οι καθυστερήσεις στις δύο λωρίδες εισόδου E

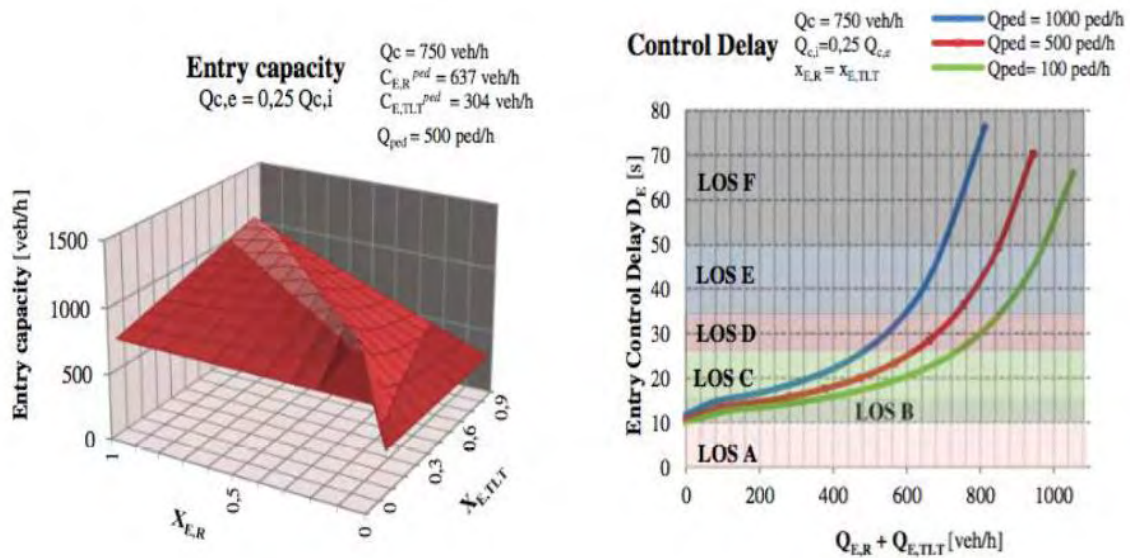
$Q_{E,R}$  και  $Q_{E,TLT}$  δείκτης ροής για τις δύο λωρίδες εισόδου E

Στη συνέχεια, ο προσδιορισμός του επιπέδου εξυπηρέτησης για κάθε μία λωρίδα μπορεί να δοθεί από την αναφορά NCHRP 672 [\[46\]](#) και ειδικότερα από τον πίνακα ελέγχου καθυστέρησης και επιπέδου εξυπηρέτησης που ακολουθεί .

Έλεγχος μέσης καθυστέρησης $D_E$ (sec/veh)	Επίπεδο εξυπηρέτησης
0 - 10	A
10 - 15	B
15 - 25	C
25 - 35	D
35 - 45	E
> 50	F

Πίνακας 2.2 Επίπεδο εξυπηρέτησης

Οι τιμές των καθυστερήσεων  $D_E$  και των επιπέδων εξυπηρέτησης σε συνάρτηση με τις ροές εισόδων ( $Q_{E,R}$  ,  $Q_{E,TLT}$ ), τις ροές πεζών  $Q_{PED}$  ,τους βαθμούς κορεσμού των λωρίδων και κυκλοφοριακής ροής στον δακτύλιο  $q_k=Q_{C,E}+ Q_{C,I}$  δίνονται από τα γραφήματα παρακάτω :



Σχήμα 2.6 Χωρητικότητα εισόδου και μέση καθυστέρηση σε σχέση με τις ροές εισόδων και τις ροές πεζών.

## 2.6 Υπολογισμός του μήκους ουρών

Για την εύρεση των αναμενόμενων ουρών γίνεται χρήση των ίδιων δεδομένων με την περίπτωση των υπολογισμών των καθυστερήσεων  $D_E$ . Η ουρά μετράται σε οχήματα και για το 95% των περιπτώσεων υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$Q_{95E,R} = 900 \cdot T \left[ X_{E,R} - 1 + \sqrt{(1 - x_{E,R})^2 + \frac{(\frac{3600}{C_{E,R}^{ped}}) \cdot X_{E,R}}{150T}} \right] \cdot \frac{C_{E,R}^{ped}}{3600} \quad (29)$$

$$Q_{95E,TLT} = 900 \cdot T \left[ X_{E,TLT} - 1 + \sqrt{(1 - x_{E,TLT})^2 + \frac{(\frac{3600}{C_{E,TLT}^{ped}}) \cdot X_{E,TLT}}{150T}} \right] \cdot \frac{C_{E,TLT}^{ped}}{3600} \quad (30)$$



Όπου:

$Q_{95E,R}$  είναι η ουρά για το 95% των περιπτώσεων για την δεξιόστροφη λωρίδα,

$Q_{95E,TLT}$  η ουρά για το 95% των περιπτώσεων για την αριστερόστροφη λωρίδα,

$X_{E,R}$  ο βαθμός κορεσμού ,ο οποίος είναι ο λόγος του δείκτη ροής δεξιόστροφης κίνησης δια της χωρητικότητας,

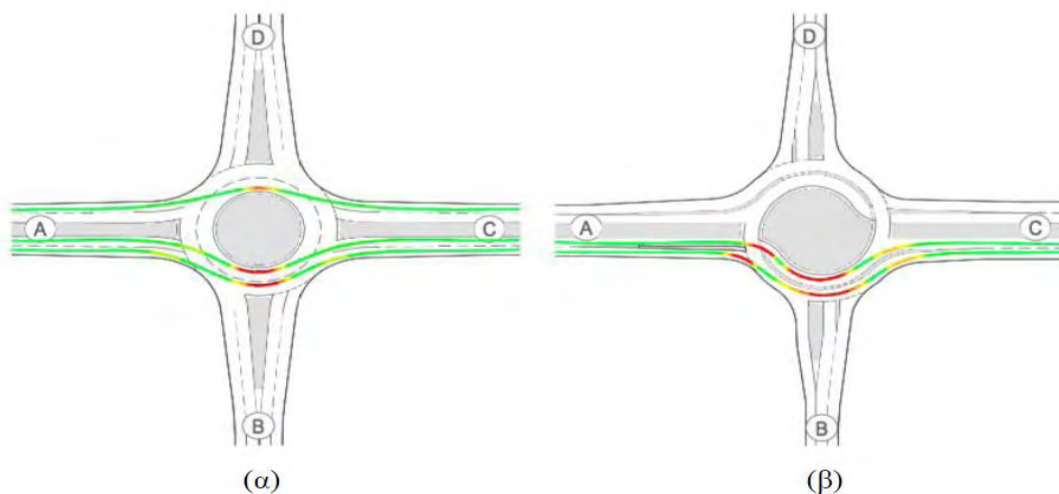
$X_{E,TLT}$  ο βαθμός κορεσμού , ο οποίος είναι ο λόγος του δείκτη ροής αριστερόστροφης κίνησης δια της χωρητικότητας,

$T$  η χρονική περίοδος ανάλυσης ,οπου ορίζουμε ως  $T=1$  για 1 ώρα ανάλυσης και  $T=0.25$  για 15 λεπτά ανάλυσης.

## **2.7 Η ασφάλεια των turbo κυκλικών κόμβων και η βελτίωσή της**

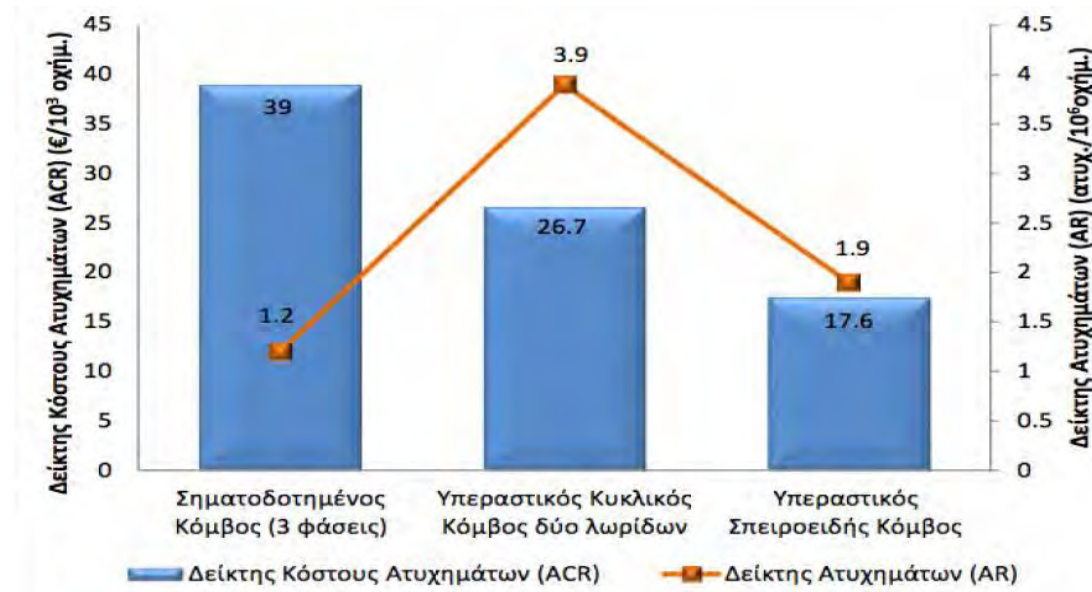
Τα δύο βασικά και θεμελιώδη στοιχεία των κυκλικών κόμβων τύπου turbo έναντι των συμβατικών κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας, βασιζόμενοι στον φυσικό διαχωρισμό των λωρίδων , είναι πρώτων η μείωση του αριθμού των σημείων εμπλοκής και στη συνέχεια η μείωση της ταχύτητας κατά την είσοδο, μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο αλλά και κατά την έξοδο από αυτόν. Πολλές μελέτες έχουν δείξει μείωση κατά 70% του ρίσκου σύγκρουσης όταν γίνεται μετατροπή του συμβατού κυκλικού κόμβου διπλής λωρίδας σε turbo κυκλικό κόμβο (Fortujin 2009). Παράλληλα, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του δείκτη ατυχημάτων κατά 40% με 50% σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν βασιζόμενες στην ανάλυση της τεχνικής σύρραξης (Mauro, Cottoni 2010). Ενώ σε μελέτη του Fortujin το 2007 η οποία βασίστηκε στην

μικροπροσομοίωση (micro-simulation) φάνηκε πως η χρήση της εξωτερικής λωρίδας των κυκλικών κόμβων turbo από τους οδηγούς είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας οδήγησης από 48km/h που ήταν στους συμβατούς κόμβους διπλής λωρίδας σε 38 km/h. Η διαφορά αυτή είναι λογική εφόσον έχουμε στους turbo κυκλικούς κόμβους έχομε άλλη καμπυλότητα σε σχέση με τους συμβατικούς κυκλικούς κόμβους,η οποία αποτελεί βασικό συντελεστή καθορισμού της ταχύτητας. Αυτό συμβαίνει γιατί η οδική ακαταλληλότητα παρουσιάζει αύξηση με την κεντρομόλο επιτάχυνση.Οι οδηγοί λόγω της ύπαρξης των υπερυψωμένων διαχωριστικών στους κυκλικούς κόμβους turbo δεν μπορούν να αλλάξουν λωρίδα εντός του δακτυλίου ενώ παράλληλα αναγκάζονται να ακολουθήσουν την κατεύθυνση με τη μικρότερη ακτίνα σε χαμηλότερη ταχύτητα. Συνεπώς όλοι οι οδηγοί διατηρώντας την ταχύτητα προσέγγισης σταθερή και έχοντας καθορισμένη επιλογή λωρίδας δημιουργούν μια ομοιογένεια στην κίνηση η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή ταχύτητα.Το σχήμα 2.7 παρακάτω παρουσιάζει απλοϊκά και κατανοητά την διαφορετική κίνηση στα δύο ήδη κόμβων .



Σχήμα 2.7 Πορεία σε α) συμβατό κόμβο διπλής λωρίδας και β) κυκλικό κόμβο τύπου turbo

Εν τέλει, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι turbo κυκλικόι κόμβοι σε σχέση με τους κλασσικούς κόμβους δύο λωρίδων υπερτερούν από πλευρά ασφάλειας αλλά και κόστους, κάτι το οποίο φαίνεται και στο σχήμα 2.8 παρακάτω (Brilon 2011).



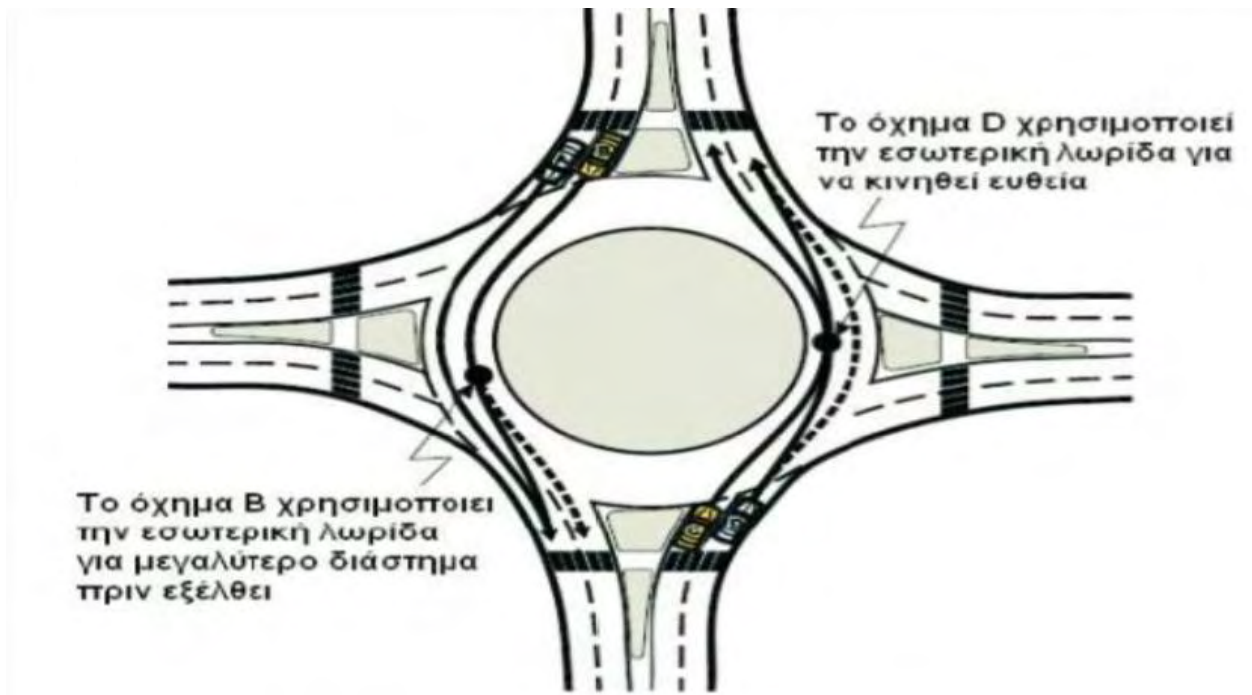
Σχήμα 2.8 Σύγκριση δεικτών κόστους ατυχήματος σε υπεραστικό σπειροειδή κόμβο κοντά στην πόλη Baden-Baden της Γερμανίας (Brilon 2011)

### 2.7.1 Ατυχήματα

Η αποφυγή ατυχημάτων είναι από τα πιο ουσιώδη κομμάτια του σχεδιασμού και υλοποίησης ενός κόμβου. Για τους turbo κυκλικούς κόμβους ύψιστης σημασίας αποτελεί η επιλογή της σωστής λωρίδας κίνησης. Μια λάθος επιλογή λωρίδας μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια εμπολοκή η οποία μπορεί να έχει σοβαρές αρνητικές συνέπειες. Τέτοιες προβλεπόμενες συγκρούσεις από λανθασμένη επιλογής λωρίδας παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 2.9 Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λανθασμένης επιλογή λωρίδας από την έναρξη εισόδου στον δακτύλιο

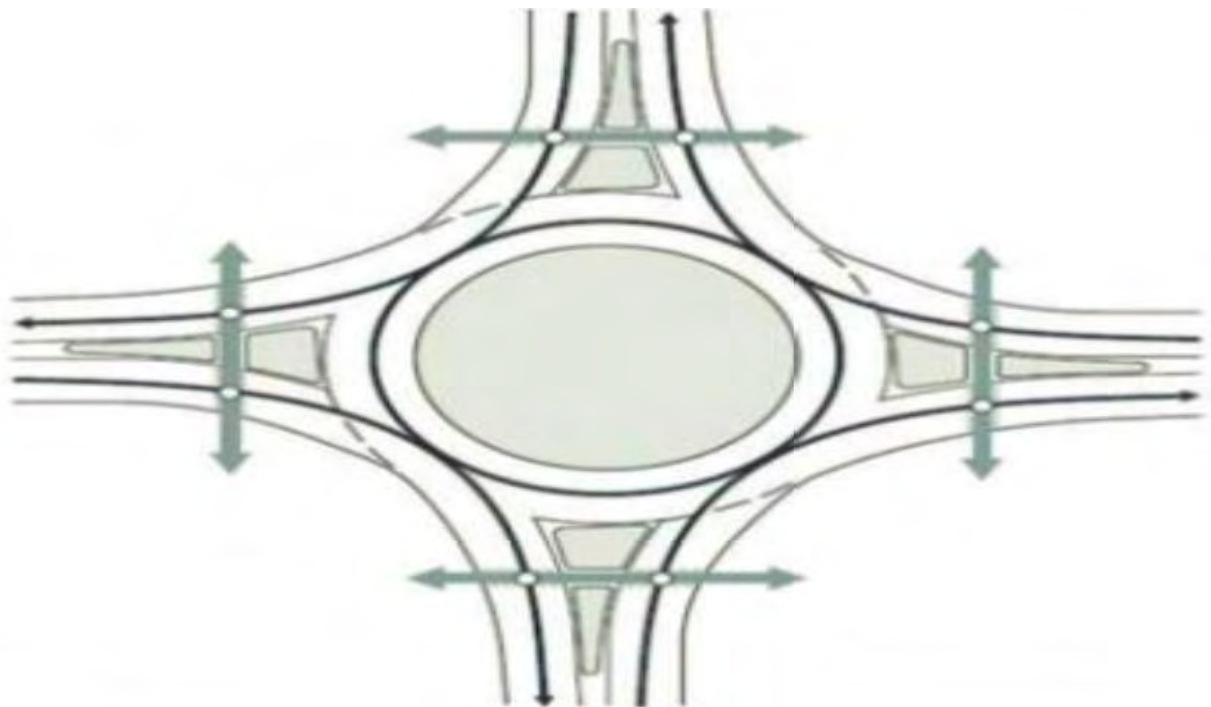


Σχήμα 2.10 Σύγκρουση εντός του δακτυλίου λόγω λανθασμένης επιλογής λωρίδας



Σχήμα 2.11 Σύγκρουση κατά την έξοδο λόγω λανθασμένης επιλογής λωρίδας

Μέχρι στιγμής έγινε αναφορά σε πιθανές εμπλοκές μεταξύ οχημάτων. Εμπλοκές μπορεί να υπάρξουν και με πεζούς οι οποίες μπορούν να λάβουν χώρα πάνω στις πεζοδιαβάσεις ή όταν η κίνηση των πεζών γίνεται σε μη προβλεπόμενα για αυτούς τμήματα του κόμβου . Τέτοια σημεία διασταύρωσης οχημάτων με πεζούς παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 2.11 Σημεία εμπλοκής πεζών-οχημάτων

Συμπερασματικά ,τα ατυχήματα σε έναν turbo κυκλικό κόμβο προκαλούνται από εμπλοκές μεταξύ οχημάτων, πεζών και ποδηλάτων και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής :

- 1) Σύγκρουση κατά την είσοδο λόγω παραβίασης προτεραιότητας.
- 2) Σύγκρουση κατά την έξοδο με άλλο όχημα που ήδη κινείται στον δακτύλιο κυκλοφορίας.
- 3) Σύγκρουση εισερχόμενου οχήματος με εξερχόμενο
- 4) Σύγκρουση νωτομετωπική επί του δακτυλίου κυκλοφορίας.

- 5) Σύγκρουση νωτομετωπική κατά την έξοδο.
- 6) Σύγκρουση οχήματος με πεζό στις πεζοδιαβάσεις
- 7) Σύγκρουση με πεζό επί του δακτυλίου.
- 8) Σύγκρουση με πεζό εκτός δακτυλίου.
- 9) Προσπέραση ποδηλάτου στην είσοδο.
- 10) Προσπέραση ποδηλάτου στην έξοδο.
- 11) Κίνηση με αντίθετη ροή επί του δακτυλίου.
- 12) Πλαγιομετωπική κατά την πλέξη επί του δακτυλίου.
- 13) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την είσοδο
- 14) Απώλεια ελέγχου οχήματος κατά την έξοδο.
- 15) Εκτροπή οχήματος εκτός του δακτυλίου κυκλοφορίας.
- 16) Σύγκρουση νωτο-μετωπική κατά την είσοδο.

## **2.8 Υπολογισμός της ταχύτητας κατά τη συντομότερη πορεία του οχήματος**

Ως ταχύτητα της συντομότερης διαδρομής ενός οχήματος ορίζεται η ταχύτητα εκείνη που έχει το όχημα όταν παίρνει την πιο πιθανή ευθεία διαδρομή κατά την κίνησή του μέσα στον κόμβο εν απουσία άλλων οχημάτων και μη σεβόμενο τις διαγραμμίσεις των λωρίδων. Στους κυκλικούς κόμβους turbo τα υπερυψωμένα διαχωριστικά των λωρίδων έχουν σαν αποτέλεσμα η συντομότερη διαδρομή ενός οχήματος μέσα στον κόμβο να έχει μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση

με τη συντομότερη διαδρομή ενός οχήματος σε έναν συμβατικό κυκλικό κόμβο.Σαν συνέπεια αυτού οι ταχύτητες στους turbo κυκλικούς κόμβους να είναι εμφανώς χαμηλότερες από των συμβατικών κυκλικών κόμβων.

Σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες (Ολλανδία, Σλοβενία, Κροατία, Σερβία) παρέχονται ακριβώς οι ίδιοι τροποί ανάλυσης της ταχύτητας της συντομότερης πορείας κίνησης μέσα σε έναν κυκλικό κόμβο τύπου turbo. Οι κινήσεις που αναλύονται είναι οι δεξιόστροφες απ' την εξωτερική λωρίδα εισόδου και οι δεξιόστροφες απ' την εσωτερική λωρίδα εισόδου. Οι ταχύτητες των συντομότερων διαδρομών είναι βασιζόμενες πάντα στα πιθανά σημεία αλληλεπίδρασης τα οποία τοποθετούνται πάντα σε απόσταση ενός μέτρου (1m) απ' αυτά. Οι αρμόδιοι φορείς της Ολλανδίας μετά από μια ανάλυση πορείας ενός κανονικού οχήματος που πραγματοποίησαν σε έναν turbo κυκλικό κόμβο έφτασαν στα συμπεράσματα πως ο χώρος του ενός μετρου (1m) δεν μπορεί παντα να διασφαλίσει ανεμπόδιστα περάσματα των οχημάτων και αυτό γιατί όταν ένα όχημα κινείται σε ευθεία μέσα στον κόμβο το όχημα αυτό βρίσκεται πάνω από τις άκρες του δρόμου. Κανονισμοί άλλων χωρών (Σερβία και ΗΠΑ) συνιστούν την αύξηση του ελαχίστου χώρου ,ο οποίος από την εξωτερική άκρη του δρόμου να φτάνει μέχρι το 1.5 μέτρο, από την άκρη της κεντρικής νησίδας ανέρχεται στα 2 μέτρα, από την διαγράμμιση του δρόμου της διαχωριστικής νησίδας μέχρι και το 1 μέτρο,ενώ από την εξωτερική άκρη του δρόμου και την άκρη της κεντρικής νησίδας μέχρι και το 1.5 μέτρο. Σαν επισφράγισμα της έρευνας αυτής έχουμε το γεγονός ότι τα 2 μέτρα χώρου οδηγούν σε μεγιστοποίηση της καμπυλότητα περάσματος του οχήματος. Άρα ,σύμφωνα με τα παραπάνω η βέλτιστη τιμή για τον ελάχιστο χώρο φτάνει το 1.5 μέτρο. Η εξίσωση που μας δίνει την ταχύτητα της συντομότερης πορείας ενός οχήματος που κινείται μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο είναι η εξής:



$$V = 7.4 \cdot \sqrt{R}$$

(31)

Όπου:

V είναι η ταχύτητα της συντομότερης πορείας του οχήματος

και R η ακτίνα της συντομότερης πορείας.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι ολλανδικές οδηγίες συνηστούν για την ταχύτητα συντομότερης πορείας του κινούμενου οχήματος μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο την τιμή από 37 km/h έως 40 km/h ,ενώ παράλληλα οι κροατικές οδηγίες, το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού και οι σλοβένικες τεχνικές προδιαγραφές, ορίζουν την τιμή της ταχύτητας συντομότερης πορείας από 35 km/h έως 37 km/h.

## **Κεφάλαιο 3: Θεωρητική προσέγγιση και μελέτη των κυκλικών κόμβων turbo**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια θεωρητική προσέγγιση των turbo κυκλικών κόμβων και πιο συγκεκριμένα μελετάται η συμπεριφορά των οδηγών και η άποψή τους για τη χρήση και το βαθμό ευκολίας οδήγησης μέσα σε έναν turbo κυκλικό κόμβο ,στη συνέχεια μελετάται η εγκαταστασή τους εντός ή εκτός αστικής περιοχής και τέλος γίνεται σύγκριση των κυκλικών κόμβων turbo με τους συμβατούς κυκλικούς κόμβους διπλής λωρίδας.

### **3.1 Συμπεριφορά των οδηγών μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο**

Η συμπεριφορά των οδηγών μέσα στον turbo κυκλικό κόμβο, ύστερα από μελέτη που διεξήχθει στην Πολωνία [\[18\]](#) , έδειξε πως παρά τα ποικίλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που παρουσίαζαν οι τοποθεσίες εφαρμογής της έρευνας η οργάνωση της κίνησης μέσα στον κόμβο παρουσίαζε ομοιομορφία. Οι εξεταζόμενοι κόμβοι ήταν σχεδιασμένοι με βάση τις ολλανδικές οδηγίες κατασκευής turbo κόμβων ,είχαν παρόλα αυτά διαφορετικά χαρακτηριστικά

γνωρίσματα ,όπως για παράδειγμα άλλο τρόπο διαχωρισμού λωρίδων στην οδό του κόμβου ( κάποιοι υψηλά κράσπεδα με σταθερές γραμμές ενώ άλλοι μονάχα οριζόντια σήμανση) , διαφορετικό τύπο λωρίδων στην οδό του κόμβου ( κάποιοι ακολουθούσαν έλλειψη ,ενώ άλλοι το Σπирάλ του Αρχιμήδη) , διαφορετικό πλάτος των λωρίδων του κόμβου(5m ή 5.5m), διαφορετικό μήκος της εσωτερικής και εξωτερικής διαμέτρου και διαφορές στις αποκλήσεις της εσωτερικής και εξωτερικής τροχιάς. Κατά βάση στην πλειονότητα των κόμβων η έξοδος στα αριστερά γίνεται από την εσωτερική λωρίδα, η έξοδος στα δεξιά μονάχα από την εξωτερική λωρίδα και για τη δια μέσου κίνηση γίνεται χρήση και των δύο λωρίδων.

Οι οδηγοί από τη μεριά τους θεωρούν τους κυκλικούς κόμβους turbo ασφαλέστερους σε σχέση με τους συμβατούς κόμβους. Σε αυτήν την αίσθηση ασφάλειας συντελεί το γεγονός πως κατά την κίνηση στον turbo κυκλικό κόμβο ο οδηγός έχει καθόλη την πορεία την δική του λωρίδα και δεν δίνεται περιθώριο ελιγμών μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Επιπλέον, οι χαμηλές ταχύτητες (συγκριτικά με τους συμβατούς κόμβους) και το γεγονός πως είναι εμφανές ποιός έχει προτεραιότητα κατά την κίνηση στον κόμβο προσδίδουν αίσθημα ασφάλειας,σιγουριάς κατά τη χρήση του κόμβου και εξαλείφουν πιθανές αμφιβολίες ως προς την οδήγηση μέσα σε αυτόν.Τέλος οι οδηγοί θεωρούν πως με τη χρήση φωτεινών σηματοδοτών η οδήγηση γίνεται ακόμα πιο ασφαλής ,καθώς θεωρείται απίθανο να υπάρξει οποιαδήποτε εμπλοκή.

### **3.2 Χρήση turbo κυκλικών κόμβων εντός και εκτός αστικής περιοχής**

Οι κυκλικοί κόμβοι γενικότερα και κυρίως οι turbo κυκλικοί κόμβοι διακρίνονται σε αυτούς εντός αστικής περιοχής και εκτός αστικής περιοχής. Ο διαχωρισμός αυτός είναι ουσιαστικός για τη μελέτη και το σχεδιασμό τους δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος εξ αυτών είναι η χρήση των κυκλικών κόμβων από πεζούς και ποδηλάτες μέσα σε αστικές περιοχές ,οι οποίοι

χαρακτηρίζονται από αργές κυκλοφοριακές ροές.[35] Συνεπώς , είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση των ροών αυτών στη μελέτη των κόμβων που βρίσκονται στο εσωτερικό ενός αστικού περιβάλλοντος. Αντίστοιχα ,εκτός αστικών περιοχών δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη των κόμβων οι αργές κυκλοφοριακές ροές. Ο δεύτερος λόγος έχει να κάνει με την ολλανδική πρακτική που ακολουθείται και έχει να κάνει με την πρευρική διαγράμμιση των κυκλικών κόμβων που βρίσκονται εντός αστικής περιοχής , κάτι το οποίο δε συμβαίνει για τους κυκλικούς κόμβους εκτός αστικής ζώνης. Η χρήση πλευρικών διαγραμμίσεων επιφέρει αλλαγές στο σχεδιασμό των turbo κυκλικών κόμβων ,καθώς συνεπάγεται αλλαγή στο πλάτος και τη διάμετρο του κόμβου. Αυτή η διαφορά της διαμέτρου έχει άμεση επιρροή σε ένα βασικό στοιχείο του κόμβου που είναι ο απαιτούμενος χώρος της διασταύρωσης.

Η χρήση φωτεινών σηματοδοτών έχει ως συνέπεια την αλλαγή της βασικής κυκλοφοριακής ροής στον κόμβο καθώς δίνεται προτεραιότητα κίνησης στη λωρίδα που είναι πράσινος ο σηματοδότης, επηρεάζοντας ουσιαστικά τη χωρητικότητα. Αξίζει να σημειωθεί πως και οι αργές κυκλοφοριακές ροές επιφέρουν διαφοροποιήσεις στη χωρητικότητα. Τέλος ,σύμφωνα με τις ολλανδικές οδηγίες η χρήση ποδηλατοδρόμου μονού επιπέδου και πεζοδιαβάσεων στους κυκλικούς κόμβους τύπου turbo πρέπει να αποφεύγονται, κύριως σε περιπτώσεις κυκλικών κόμβων τύπου ρότορα ή αστέρι οι οποίοι έχουν τρεις λωρίδες για ένα σκέλος εισόδου.Σε τέτοιους κόμβους η επικινδυνότητα διάσχισης απο πεζούς ή ποδηλάτες τριών λωρίδων με τη μία είναι πολύ μεγάλη.

### **3.3 Σύγκριση turbo κυκλικών κόμβων με συμβατούς κυκλικούς κόμβους διπλής λωρίδας**

Η έρευνα που μελετά τη σύγκριση των δύο ειδών κόμβων είχε ως βάση την προσέγγιση των Mauro και Branco οι οποίοι προσπάθησαν να αποτυπώσουν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν

οι turbo κυκλικοί κόμβοι σε σχέση με τους συμβατικούς κόμβους διπλής λωρίδας.[2] Η μελέτη αυτή βασίστηκε σε παραδοχές και πειραματικές εκτιμήσεις και είχε πολλές διαφορετικές παραμέτρους όπως οι διάφορες γεωμετρικές διατάξεις, οι διαφορετικές υποθέσεις για τις εμπλεκόμενες ροές, η χρήση διαφορετικών μοντέλων χωρητικότητας καθώς και ο έλεγχος αργοπορίας ανάλογα με τον εκάστοτε σχηματισμό του κόμβου.

Ένα από τα συμπεράσματα της μελέτης αυτής έχει να κάνει με τις κυκλοφοριακές καταστάσεις στις οποίες ο αριθμός οχημάτων προέλευσης και προορισμού είναι σε ισορροπία αποδοτικότερος φαίνεται να είναι ο κόμβος διπλής λωρίδας. Αυτό κυρίως σε περιπτώσεις εισαγόμενων υψηλών ροών κυκλοφορίας στο δακτύλιο από την κύρια οδό και χαμηλών ροών κυκλοφορίας από τη μικρότερη οδό. Επιπλέον, οι συμβατοί κόμβοι διπλής λωρίδας παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση όταν υπάρχει εισερχόμενη κυκλοφοριακή ροή από την κύρια οδό και αυτή κυμαίνεται εντός μεσαίων τιμών. Όσον αφορά την εισερχόμενη κίνηση που κυμαίνεται από χαμηλές έως μεσαίες τιμές τα δύο είδη κόμβων παρουσιάζουν την ίδια απόδοση.

Από την άλλη μεριά, οι κυκλικοί κόμβοι turbo έχουν καλύτερη απόδοση σε περιπτώσεις κυκλοφοριακών καταστάσεων των οποίων οι κινήσεις που οδεύουν στην κύρια οδό επικρατούν των άλλων κινήσεων και για τον ίδιο βαθμό εισερχόμενης κίνησης δίνουν πιο ευνοϊκές λειτουργικές συνθήκες σε σύγκριση με τους συμβατούς κυκλικούς κόμβους. Κατά την περίπτωση αυτή παρατηρείται μείωση των καθυστερήσεων στους turbo κυκλικούς κόμβους για μεγάλες εισαγόμενες ροές κυκλοφορίας από τις κύριες οδούς και μικρές εισαγόμενες ροές από τις μικρές οδούς. Οι turbo κυκλικοί κόμβοι παρουσιάζουν επίσης μεγαλύτερη απόδοση σε περιπτώσεις αύξησης της εισερχόμενης ροής από την μικρή οδό εφόσον η ροή αυτή διέρχεται από την κύρια οδό στην οποία έχουμε μεσαίες τιμές. Και τα δύο είδη κόμβων αποδίδουν

ισοδύναμα στην περίπτωση εισερχόμενων κυκλοφοριακών ροών οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρές ή μεσαίες.

Συμπερασματικά , είναι εμφανές το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής επηρεάζονται σημαντικά από τις παραδοχές που έγιναν αρχικά για τους turbo κυκλικούς κόμβους , οι οποίες βασίζονται μονάχα σε δεδομένα πειραμάτων που έχουν γίνει. Αυτό όμως δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τη θεωρητική μελέτη και σύγκριση των κυκλικών κόμβων τύπου turbo έναντι των συμβατών κόμβων διπλής λωρίδας ,όταν η μελέτη αυτή μας αποφέρει αποτελεσματικές πληροφορίες για τη σωστή επιλογή του τύπου που συνίσταται να χρησιμοποιήσουμε.

## **Κεφάλαιο 4: Σήμανση, εξοπλισμός και άλλα στοιχεία των turbo κυκλικών κόμβων**

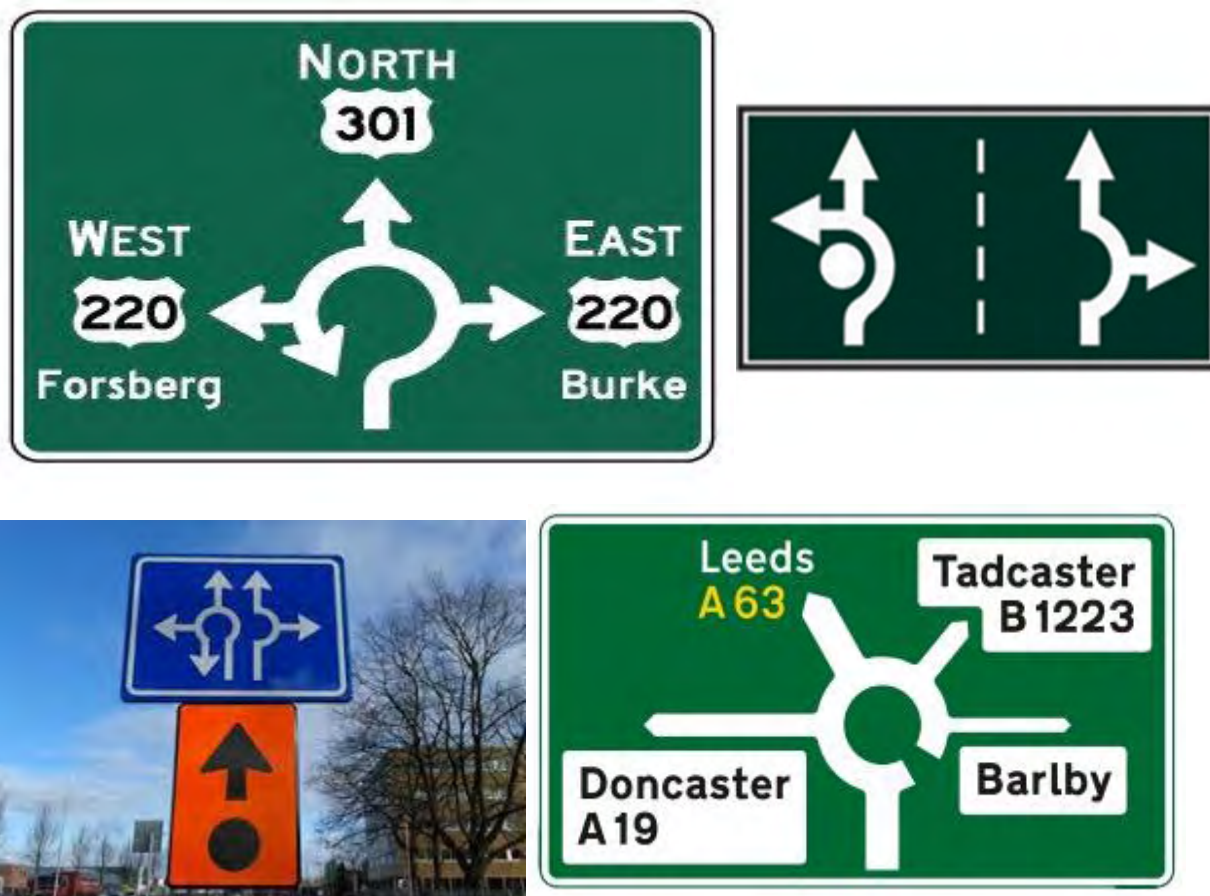
Ο κατάλληλος εξοπλισμός ενός turbo κυκλικού κόμβου αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία και απόδοσή του. Ο εξοπλισμός ενός κόμβου στηρίζεται στην ίδια λογική με αυτή που συναντάμε στις διασταυρώσεις και τα επιμέρους στοιχεία που τον αποτελούν έχουν σαν βασικό στόχο τη βελτιστοποίηση της ασφάλεια, την έγκαιρη και σωστή ενημέρωση και καθοδήγηση των οδηγών και τη βελτίωση του λειτουργικού επιπέδου του κόμβου. Για αυτό το λόγο απαιτείται η σωστή και κατάλληλη τοποθέτησή του ώστε να προσφέρει τη ζητούμενη ασφάλεια αλλά και την οδική άνεση που επιζητούν οι οδηγοί κατά την κίνησή τους μέσα στον κόμβο[21]. Στην καλύτερευση των συνθηκών ασφαλείας συμβάλει ο συνεχής εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος εξοπλισμού ,ενώ πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η συντήρησή του και η γρήγορη επιδιόρθωση τυχών φθορών.

Συνεπώς , γίνεται κατανοητό πως ο κατάλληλος εξοπλισμός ενός κόμβου είναι ύψιστης σημασίας καθώς έχει άμεση επιρροή στους χρήστες (οδηγούς , πεζούς ,ποδηλάτες ) από την μεριά της κυκλοφορίας αλλά και της ασφάλειας. Παράλληλα, συνδέει τους χρήστες με το οδικό δίκτυο και την οδική ασφάλεια και δημιουργεί σχέσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Πριν από κάθε κυκλικό κόμβο υπάρχει η απαραίτητη σήμανση που καθοδηγεί τους χρήστες της οδού στην κατάλληλη πορεία και στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά σε αυτήν ,αλλά και σε άλλα στοιχεία ενός turbo κυκλικού κόμβου όπως οι πεζοδιαβάσεις ,οι ποδηλατόδρομοι και οι διαχωριστικές νησίδες.

#### **4.1 Πινακίδες οδικής κυκλοφορίας**

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των turbo κυκλικών κόμβων είναι η απαγόρευση αλλαγής λωρίδας μέσα σε αυτούς , συνεπώς η αρχική επιλογή λωρίδας εισόδου καθορίζει και την κίνηση μέσα στον κόμβο. Κατά συνέπεια , ο οδηγός πρέπει να ενημερωθεί εγκαίρως για την κατάλληλη λωρίδα εισόδου που ωφείλει να ακολουθήσει και αυτό γίνεται με κατακόρυφη και οριζόντια σήμανση που βρίσκεται πριν τον κόμβο , η οποία παρέχει την κατάλληλη πληροφόρηση και καθοδήγηση. Σαν αποτέλεσμα αυτού έχουμε τη χρήση προειδοποιητικών πινακίδων στις εισόδους των κόμβων πολλαπλών λωρίδων και ανάλογα με τον τύπο του κόμβου υπάρχουν και διαφορετικές παραλλαγές αυτών. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως οι διαφορετικοί τύποι πινακίδων ανάλογα με τον τύπο του κόμβου πληροφορούν και για τον αριθμό και προορισμό της κυκλοφοριακής λωρίδας.





Σχήμα 4.1 Παραδείγματα πινακίδων πριν την είσοδο στον κόμβο πολλαπλών λωρίδων

Στους κυκλικούς κόμβους turbo χρησιμοποιούνται οι συμβατικές κάθετες και οριζόντιες πινακίδες. Στις κάθετες πινακίδες συμπεριλαμβάνονται οι κυκλικές κυκλοφοριακές πινακίδες (C-12), οι πινακίδες προτεραιότητας (A-7), οι πινακίδες ενημέρωσης πεζών, οι πινακίδες επί της νησίδας διαχωρισμού και τέλος οι πινακίδες πριν τους κόμβους. Επιπροσθέτως, υπάρχουν περιπτώσεις εισόδων σε turbo κυκλικούς κόμβους με πινακίδες που δείχνουν τις κατευθύνσεις των λωρίδων (F-10). Υπάρχουν επίσης κόμβοι που δεν έχουν κάθετες πινακίδες που να

δείχνουν την κατεύθυνση αλλά αυτές είναι τοποθετημένες σε κολώνες ή σε πλαίσια πάνω από τις λωρίδες.

Βασικό ρόλο στη μορφολογία του κόμβου παίζει και η οριζόντια σήμανση, όπως για παράδειγμα τα βέλη στο οδόστρωμα που δείχνουν τη επιτρεπόμενη διεύθυνση οδήγησης και ο οδηγός ωφείλει να ακολουθήσει αυτή και μόνο αυτή .

Η πολυπλοκότητα και οι συγκεκριμένες απαιτήσεις των κυκλικών κόμβων τύπου turbo οδηγούν συχνά τους μηχανικούς που μελετούν και σχεδιάζουν τέτοια είδη κόμβων σε κάποια ερωτήματα σχετικά με τη σήμανση. Τέτοια ερωτήματα αφορούν το αν οι πινακίδες είναι επαρκείς ,αν υπάρχει συνοχή μεταξύ των πινακίδων ώστε να είναι σαφώς κατανοητές από τους οδηγούς κατά την προσέγγιση τους στον κόμβο, αν η τοποθέτηση των προειδοποιητικών πινακίδων έχει γίνει στην κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους αλλά και σε σχέση με τον κόμβο, αν το διαμορφωθέν τοπίο παρεμποδίζει την εύκολη ανάγνωση των πινακίδων και συνεπώς δεν είναι αντιληπτές από επαρκή απόσταση και τέλος αν οι πινακίδες ανταποκρίνονται στην ταχύτητα σχεδιασμού.

#### **4.1.1 Συμβατικές πινακίδες κυκλικών κόμβων turbo**

Παρακάτω παρουσιάζονται οκτώ διαφορετικοί τύποι συμβατικών πινακίδων που συναντώνται στους κυκλικούς κόμβους.

##### **1) Πινακίδα ενημέρωσης παρουσίας κόμβου**

Αυτή η πινακίδα βρίσκεται πριν από τον κόμβο και σε μεγαλύτερη απόσταση από τον κόμβο σε σχέση με τις υπόλοιπες πινακίδες και είναι στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος

κυκλοφορίας.(σχήμα 4.2). Ο ρόλος των πινακίδων αυτών είναι να πληροφορούν για την ύπαρξη του κόμβου χωρίς να δίνουν πληροφορίες για το είδος ή τη διαμόρφωσή του.Μπορεί να συνοδεύονται από συμβουλευτικές πινακίδες ταχύτητας.



Σχήμα 4.2 Πινακίδα πληροφόρησης παρουσίας κόμβου

## 2) Πινακίδες καθοδήγησης

Οι πινακίδες καθοδήγησης παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον προορισμό των οχημάτων μετά τη χρήση του κόμβου ,αλλά βρικόσονται 150 -200 μέτρα πριν απο την είσοδο στον κόμβο και επί της ουσίας ενημερώνουν σχετικά με την είσοδο σε αυτόν (σχήμα 4.3) . Συναντώνται τρία

(3) είδη πινακίδων καθοδήγησης : οι συμβατικές (conventional), οι διαγραμματικές

(diagrammatic) και το τελευταίο είδος είναι οι συνδιαστικές ,όπου συνδιάζονται οι πληροφορίες για τον προορισμό και τη χρήση λωρίδας.Η πιο συχνά συναντώμενη μορφή είναι οι διαγραμματικές πινακίδες.

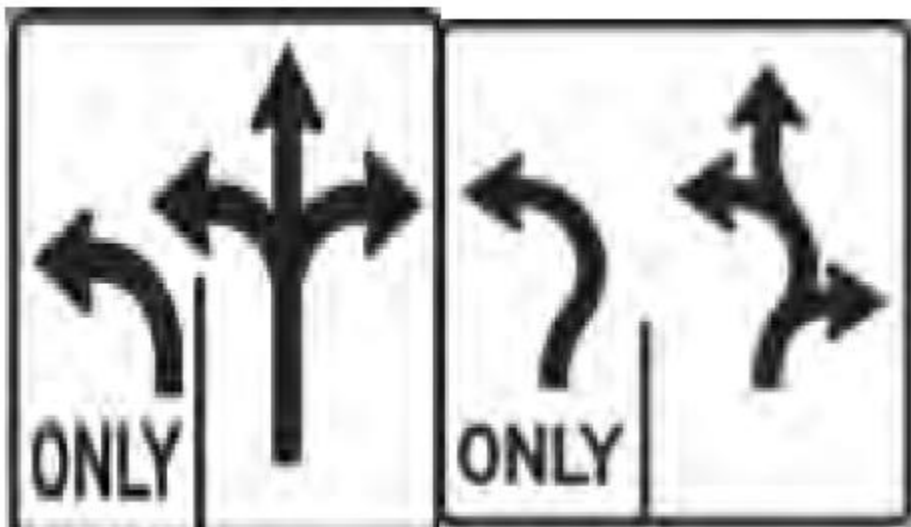


Σχήμα 4.3 Παράδειγμα διαγραμματικής πινακίδας καθοδήγησης

### 3) Πινακίδες ελέγχου χρήσης λωρίδας

Η χρήση των πινακίδων αυτών έχει να κάνει με την παρουσίαση επιλογής εισόδου στην κατάλληλη λωρίδα κυκλοφορίας του κόμβου. Υπάρχουν δύο είδη : οι στάνταρντ πινακίδες και οι πινακίδες τύπου αγκίστρι. Παρακάτω παρατίθενται και τα δύο είδη (σχήμα 4.4). Η ανάπτυξη του

δεύτερου είδους (τύπου αγκίστρι) έγινε στην Αμερική και χρησιμοποιούνται πριν τον κόμβο για να δίνουν στους οδηγούς τη δυνατότητα να κάνουν σωστή επιλογή λωρίδας.



Σχήμα 4.4 Πινακίδα στάνταρντ(αριστερά) και τύπου αγκίστρι(δεξιά)

#### 4) Πινακίδες προτεραιότητας

Αποτελούν μια πολύ σημαντική κατηγορία πινακίδων για τους κυκλικούς κόμβους . Είναι αυτές που δίνουν πληροφορίες στους οδηγούς για την προτεραιότητας στην κυκλοφοριακή κίνηση του κόμβου. Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται μια τέτοια πινακίδα. Στις περιπτώσεις που είναι αναγκαία η χρήση δύο πινακίδων πρέπει αυτές να τοποθετούνται σε κάθε είσοδο ,ειδικά στους κόμβους πολλαπλών λωρίδων. Έχει παρατηρηθεί πως η αριστερή πινακίδα είναι πιο ευδιάκριτη από τους οδηγούς ,αφού όταν εισέρχονται στον κόμβο κοιτάνε συνήθως προς τα αριστερά.



Σχήμα 4.5 Πινακίδα προτεραιότητας

#### 5) Πινακίδες προειδοποίησης πεζών

Οι πινακίδες αυτές χρησιμοποιούνται στα σημεία που υπάρχουν διαβάσεις πεζών. Σε ορισμένες περιοχές-χώρες τοποθετούνται πριν τις πεζοδιαβάσεις κατά την είσοδο και έξοδο του κυκλικού κόμβου. Μια τέτοια πινακίδα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6 . Σε περιπτώσεις που υπάρχει και



ποδηλατόδρομος παράλληλα με την διάβαση πεζών χρησιμοποιείται και το σχημα 4.7 .

Σχήμα 4.6 Πινακίδα διάβασης πεζών



Σχήμα 4.7 Πινακίδα πεζοδιάβασης και ποδηλατόδρομου

6) Πινακίδες παραμονής στην δεξιά λωρίδα

Τέτοιες πινακίδες συναντώνται στο τέλος της διαχωριστικής νησίδας και στόχος τους είναι η ενημερωση των οδηγών για την πορεία των οχημάτων. Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται μια τέτοια



πινακίδα.

Σχήμα 4.8 Πινακίδα παραμονής στην δεξιά λωρίδα

### 7) Πινακίδες κεντρικής νησίδας

Οι πινακίδες που βρίσκονται στην κεντρική νησίδα αποτελούνται από βέλη που δείχνουν την κατεύθυνση της κίνησης μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο ,όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.9



και στην εικόνα 4.1 παρακάτω.

Σχήμα 4.9 Πινακίδα κεντρικής νησίδας





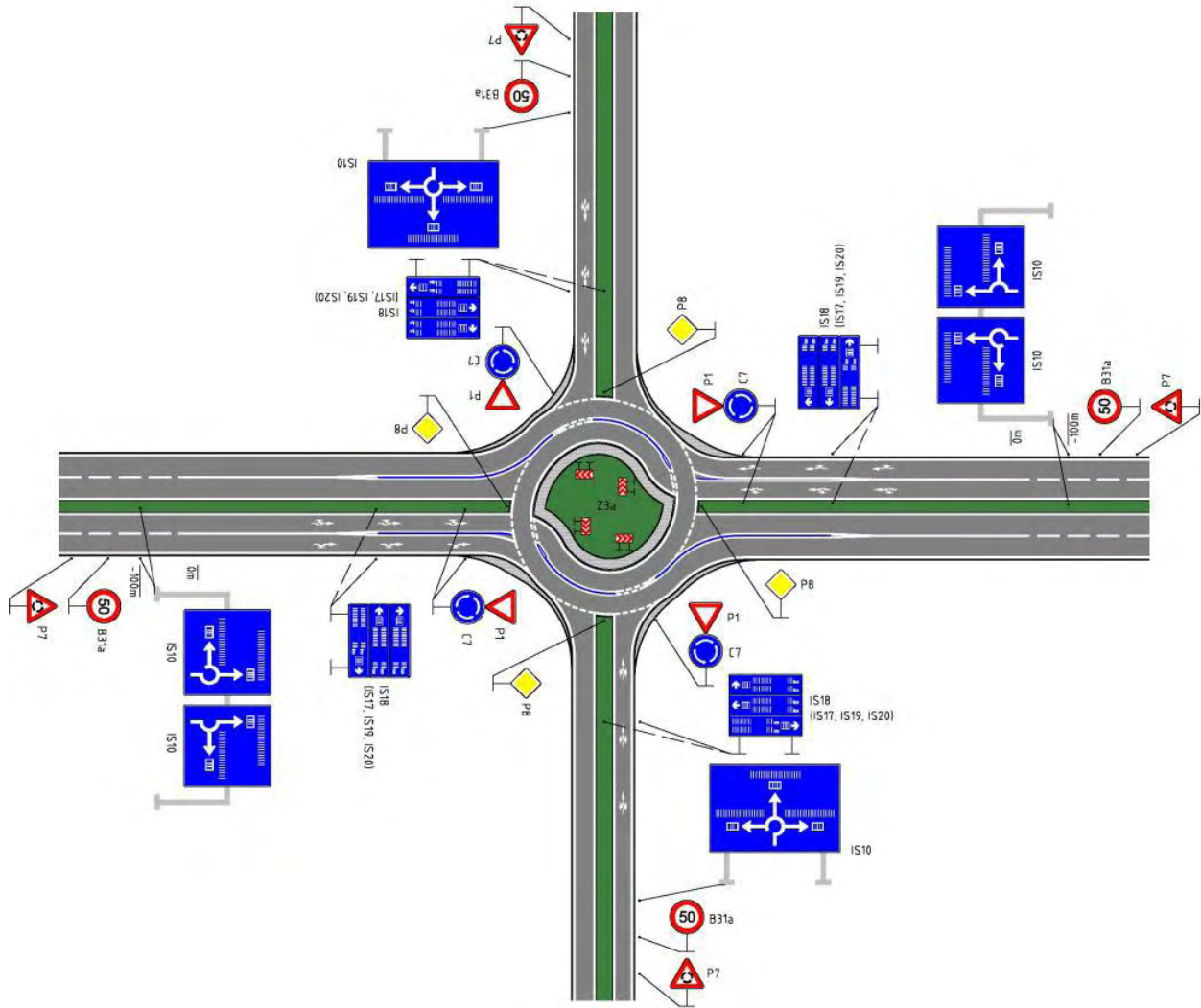
Εικόνα 4.1 Πινακίδα κεντρικής νησίδας

#### 8) Πινακίδες εξόδου

Αυτού του είδους οι πινακίδες δείχνουν την έξοδο από τον κόμβο και συναντώνται κατά βάση στις διαχωριστικές νησίδες ενώ σπανιότερα παράπλευρα της οδού (εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.2 Πινακίδες εξόδου

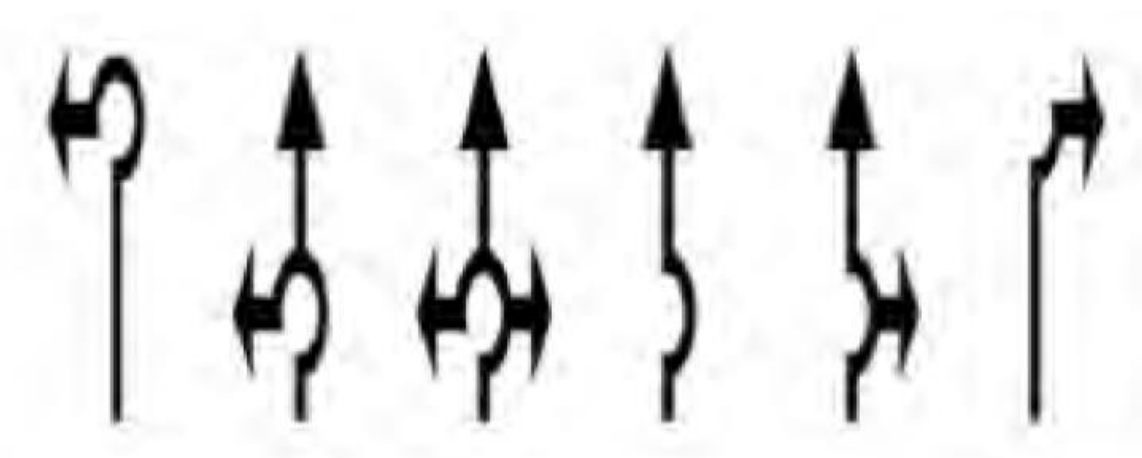


Σχήμα 4.9.1 Γενική διάταξη πινακίδων σε turbo κυκλικό κόμβο

#### 4.1.2 Διαγράμμιση οδού

Μέσω της διαγράμμισης του οδοστρώματος γίνεται σαφής και κατανοητή η διαθεσιμότητα των λωρίδων του κόμβου. Θεωρήθηκε αναγκαία η χρήση επεξηγηματικών βελών στο

οδόστρωμα[22] που σε συνδιασμό με τις πινακίδες που βρίσκονται πριν από τον κόμβο τονίζουν περισσότερο την πληροφορία που ήδη παρέχεται από αυτές στους οδηγούς ( Fortuijn 2011) . Η τοποθέτηση των επεξηγηματικών αυτών βελών που είναι τύπου αγκίστρι γίνεται σε κάθε μία λωρίδα εισόδου, διαχωρίζονται σε ομάδες τουλάχιστον τεσσάρων (4) διαδοχικών μονάδων και οι διαστάσεις τους είναι τέτοιες ώστε να συμβαδίζουν και να είναι εύκολα αντιληπτά με την ταχύτητα των 50 km/h (CROW 2005). Φυσικά τέτοιου είδους διαγράμμιση είναι χρήσιμη μονάχα εκτός του κυκλικού δακτυλίου και προτείνεται η χρήση της μόνο εκεί. Το κάτωθι σχήμα (σχήμα 4.10) παρουσιάζει τέτοια βέλη οδοστρώματος .



Σχήμα 4.10 Βέλη σήμανσης οδοστρώματος στις λωρίδες εισόδου του κόμβου

## 4.2 Νυχτερινός φωτισμός

Η χρήση φωτισμού στους turbo κυκλικούς κόμβους είναι απαραίτητη καθώς η κεντρική νησίδα διακόπτει την ομαλή κίνηση του δρόμου (δηλαδή λειτουργεί σαν εμπόδιο στην κίνηση ) και συνεπώς πρέπει να γίνεται ορατή από μια ασφαλή απόσταση,ώστε οι οδηγοί να έχουν το χρόνο να αντιδράσουν στις αλλαγές της μορφολογίας της οδού.Η μη χρήση φωτισμού έχει σαν αποτέλεσμα να μην λειτουργεί ικανοποιητικά ο κόμβος και να τα εισερχόμενα οχήματα να μην κινούνται με ασφάλεια και αποδοτικότητα. Για την επίτευξη αυτής της αποδοτικής και

ασφαλούς κίνησης εντός του κόμβου ο οδηγός πρέπει να έχει προλάβει να κατανοήσει την γενική διάταξη του κόμβου και τον τρόπο λειτουργίας του ώστε να προβεί στις αντίστοιχες κινήσεις . Αυτό κατά τις νυχτερινές ώρες επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο φωτισμό που κάνει τον κόμβο ευδιάκριτο και αντιληπτό από τους οδηγούς όπως θα συνέβαινε κατά τις ώρες της ημέρας.Ο οδηγός πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει τον κόμβο από μακριά και για αυτό το λόγο είναι καλύτερο να τοποθετείται φωτισμός και στον δρόμο πριν τον κόμβο . Υπάρχει γενικά η προτίμηση να υπάρχει φωτισμός έξω από τον κυκλικό κόμβο για να αποφεύγεται η σύγκριση του οδηγού και να είναι πιο ευδιάκριτος ο γενικός σχεδιασμός του κόμβου [37]. Στο σημείο αυτό θα ήταν αναγκαία η αναφορά κάποιων επιπλέον συστάσεων σχετικά με το νυχτερινό φωτισμό των κόμβων.

1) Εκτός κατοικήσιμων περιοχών οι δρόμοι που συνδέονται με τον κόμβο πρέπει να έχουν φωτισμό για μια απόσταση τουλάχιστον 80 με 100 μέτρα πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από τον κόμβο ,όπου αυτό σημαίνει περίπου τρεις (3) κολώνες φωτισμού. Με τον τρόπο αυτό οι οδηγοί που εξέρχονται από τον κόμβο προσαρμόζονται πιο εύκολα στην αλλαγή από το φωτινό στο σκοτεινό περιβάλλον της οδού έξω από τον κόμβο. Επιπλέον,απαιτείται η συνεχόμενη παρουσία φωτισμού καθόλη την απόσταση μεταξύ δυό κοντινών, συνεχόμενων φωτεινών περιοχών, ώστε να αποφεύγεται η σύγκριση από την συνεχή και γρήγορη εναλλαγή φωτινών και σκοτεινών περιοχών.

2)Για την επίτευξη ενός καλά φωτισμένου και ευδιάκριτου κόμβου κάτω από κανονικές συνθήκες , θεωρείται απαραίτητη η χρήση οκτώ στήλων φωτισμού.

3)Η χρήση καλού και επαρκή φωτισμού είναι αναγκαία σε όλα τα σημεία εισόδου και εξόδου του κόμβου



4) Σημαντική και ιδιαίτερη είναι η χρήση φωτισμού στις διαβάσεις πεζών και στους ποδηλατοδρόμους .

5) Σημαντική βελτίωση στην ορατότητα του κυκλικού κόμβου έχει η χρήση φωτισμού εδάφους στην κεντρική νησίδα (εικόνα 4.3)



Εικόνα 4.3 Φωτισμός εδάφους

6) Η χρήση φωτεινών πινακίδων για την κεντρική νησίδα δίνει το πλεονέκτημα της γρήγορης και σαφής αναγνώρισής της από τους οδηγούς.

### 4.3 Κεντρική νησίδα

Το υπερυψωμένο κεντρικό τμήμα του turbo κυκλικού κόμβου που περιβάλλεται από τον κυκλοφοριακό δακτύλιο και η κυκλοφορία δεν μπορεί να το διασχίσει ονομάζεται κεντρική νησίδα. Παρότι γενικά η κυκλοφορία δεν διασχίζει την κεντρική νησίδα, υπάρχει περίπτωση να υπάρχει τμήμα της επιφάνειάς της στην οποία επιτρέπεται η κυκλοφορία μεγάλων και βαρέων οχημάτων. Η διαμόρφωση της κεντρικής νησίδας γίνεται κυρίως για λόγους αισθητικής, αλλά και για να είναι ευδιάκριτη από τους οδηγούς κατά την άφιξή τους στον κόμβο. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι πως είναι πάντοτε υπερυψωμένες ώστε να είναι εύκολα αντιληπτές από τους χρήστες του κόμβου.

Ουσιαστικό ρόλο στο φόρτο των οχημάτων που εμπλέκονται στον κόμβο παίζει το μέγεθος της κεντρικής νησίδας και η διάμετρός της εξαρτάται από το πλάτος του δακτυλίου του κόμβου και γενικά ο σχεδιασμός της μπορεί να πραγματοποιηθεί αν είναι γνώστα το πλάτος, η διάμετρος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εισόδου.

Σε περιπτώσεις που η ταχύτητα συντομότερης διαδρομής υπερβαίνει την ταχύτητα σχεδιασμού είναι απαραίτητη η αύξηση της κεντρικής νησίδας μέσω της αύξησης της διαμέτρου της. Η αλλαγή διαμέτρου δεν είναι όμως ο μόνος τρόπος. Η μείωση του πλάτους εισόδου ή της ακτίνας εισόδου ρυθμίζει τη γραμμή προσέγγισης στα αριστερά και συμβάλει στην εξισορρόπηση της διαφοράς μεταξύ ταχύτητας συντομότερης διαδρομής και ταχύτητας σχεδιασμού. Οι τελευταίες αυτές δύο μέθοδοι μπορεί να έχουν όμως σαν αποτέλεσμα την ανικανότητα προσαρμογής των οχημάτων. Συνεπώς σε καταστάσεις τοπογραφικών δυσκολιών, προτεραιότητας και άλλων περιορισμών οι οποίοι δεν επιτρέπουν την αύξηση της διαμέτρου, υπάρχει η δυνατότητα

προσθήκης μιας ανατρήσιμης επιφάνειας στο εξωτερικό όριο της κεντρικής νησίδας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μεγάλα οχήματα. Στην εικόνα 4.4 έχουμε μια τέτοια περίπτωση.



Εικόνα 4.4 Διασχιζόμενη επιφάνεια στην κεντρική νησίδα κυκλικού κόμβου τύπου turbo  
(Άμστερνταμ)

Ο σχεδιασμός της διασχιζόμενης επιφάνειας στην κεντρική νησίδα ωφείλει να ενθαρρύνει τη χρήση της από μεγάλα οχήματα αλλά να αποτρέπει τους οδηγούς μικρών οχημάτων να τη χρησιμοποιούν. Έτσι η κατασκευή της γίνεται ως εξής : υπερυψώνεται η εξωτερική της άκρη κατά 30 mm ενώ το πλάτος της είναι από 1m έως 4m.



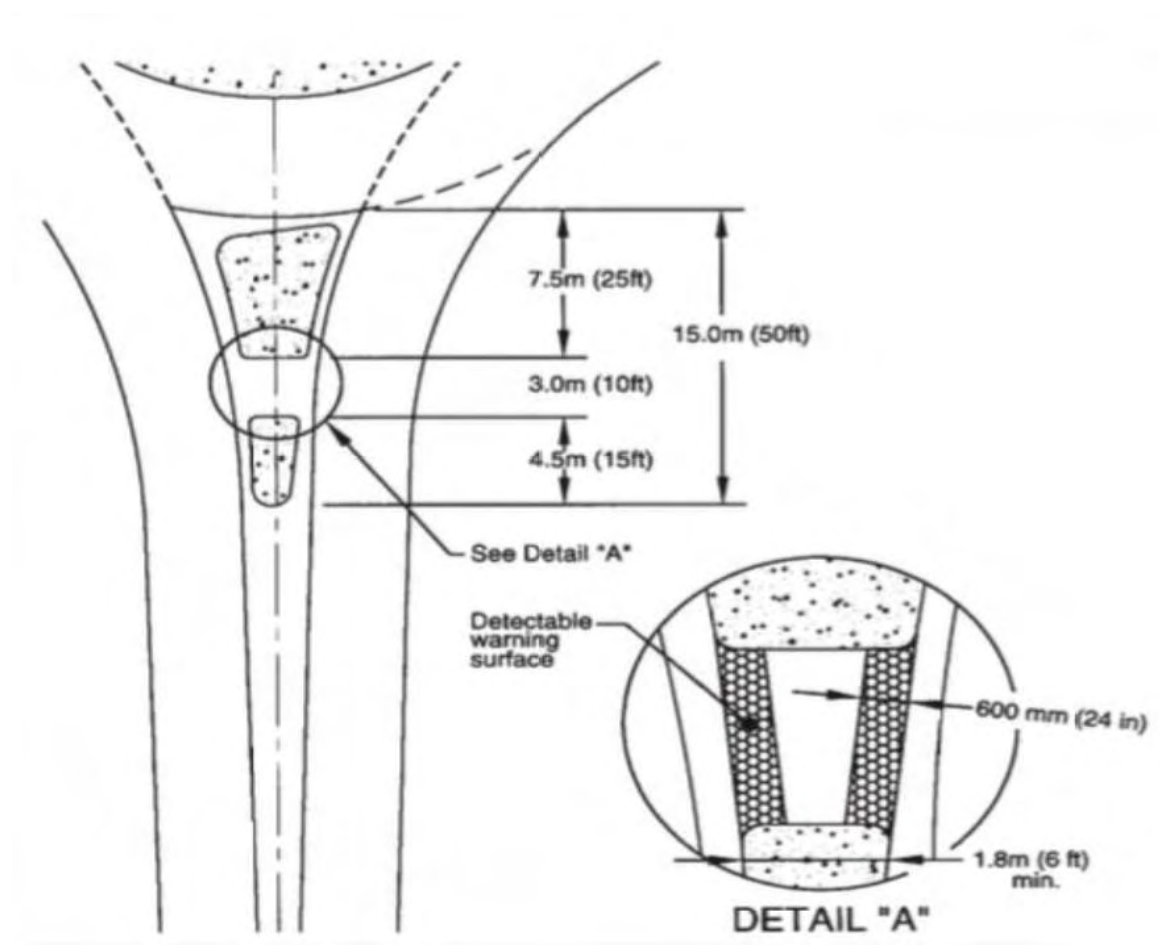
Σε γενικές γραμμές οι turbo κυκλικοί κόμβοι που βρίσκονται εκτός αστικού περιβάλλοντος χρήζουν μεγαλύτερων κεντρικών νησίδων σε σχέση με τους αντίστοιχους κόμβους που είναι εντός αστικού περιβάλλοντος ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη ορατότητα των οδηγών που τους προσεγγίζουν ,αλλά και για να καταστεί πιο καλός ο σχεδιασμός της γεωμετρίας των προσβάσεών τους.

#### **4.4 Διαχωριστική νησίδα κυκλοφορίας**

Η διαχωριστική νησίδα βρίσκεται σε όλους τους turbo κυκλικούς κόμβους , εξεχουμένων των περιπτώσεων κόμβων με αρκετά μικρή διάμετρο. Στόχος της νησίδας διαχωρισμού είναι να παρέχει καταφύγιο στους πεζούς , στα αναπηρικά αμαξίδια και στους ποδηλάτες που διασχίζουν κάθετα την οδό. Επιπλέον, συμβάλει στη ρύθμιση της ταχύτητας, καθοδηγεί τα οχήματα μέσα στον κόμβο, διαχωρίζει με σαφή και φυσικό τρόπο τη ροή εισόδου και εξόδου στον κόμβο, Συμβάλει στη αποφυγή λανθασμένων κινήσεων από τους οδηγούς και τέλος αποτελεί και περιοχή τοποθέτησης και στήριξης κατακόρυφης σήμανσης.

Για να προσφέρει προστασία στους πεζούς και να τους ειδοποιεί για την επικείμενη προσέγγισή τους στον κόμβο, πρέπει το ολικό μήκος της διαχωριστικής νησίδας να είναι το λιγότερο 15m. Ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό της είναι η επέκτασή της μετά το τέλος της καμπύλης εξόδου ώστε να αποφεύγεται η έξοδος των οχημάτων από τυχαία διέλευση στην πορεία της πλησιέστερης κίνησης. Στο σχήμα παρακάτω (σχήμα 4.11) φαίνονται οι ελάχιστες διαστάσεις της νησίδας διαχωρισμού ενός κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας μαζί με τις διαβάσεις πεζών.

Η αύξηση του πλάτους της νησίδας διαχωρίζει καλύτερα την εισερχόμενη και εξερχόμενη κυκλοφοριακή ροή του ίδιου σκέλους ενώ παράλληλα δίνει περισσότερο χρόνο στους οδηγούς να αντιληφθούν και να δουν τα οχήματα που εξέρχονται από τον κόμβο. Συνεπώς, η χρήση μεγαλύτερων διαχωριστικών νησίδων συμβάλει στην μείωση της σύγχυσης των εισερχόμενων οδηγών. Ύστερα από μελέτη που πραγματοποίησε το τμήμα κύριων δρόμων του Κουίνσλαντ έγινε εμφανές πως η μεγιστοποίηση του πλάτους της διαχωριστικής νησίδας έχει ελαχιστοποιεί το δείκτη ατυχημάτων μεταξύ των οχημάτων που εισέρχονται και αυτών που ήδη κινούνται μέσα στον κόμβο. Όμως η αύξηση του πλάτους της διαχωριστικής νησίδας συνεπάγεται αύξηση της εγγεγραμμένης διαμέτρου κύκλου. Εξισσορόπηση των προνομίων αυτών ασφαλείας μπορεί να επιτευχθεί με υψηλότερα κατασκευαστικά κόστη και μεγαλύτερη επίδραση εδάφους. Η κατασκευή της διαχωριστικής νησίδας πρέπει να ακολουθεί τις οδηγίες με τα στάνταρντ ASSHTO. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η χρήση μεγαλύτερων ακτινών στις γωνίες προσέγγισης για να επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της ορατότητας της νησίδας και να γίνεται αντιστάθμιση των κρασπέδων στο πέρας της προσέγγισης ώστε να έχουμε τη δημιουργία μιας εικόνας τούνελ.



Σχήμα 4.11 Ελάχιστες διαστάσεις της νησίδας διαχωρισμού ενός κυκλικού κόμβου μονής λωρίδας



Εικόνα 4.5 Διαχωριστική νησιδα σε turbo κυκλικό κόμβο με ύπαρξη πρασίνου

#### **4.5 Υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδας**

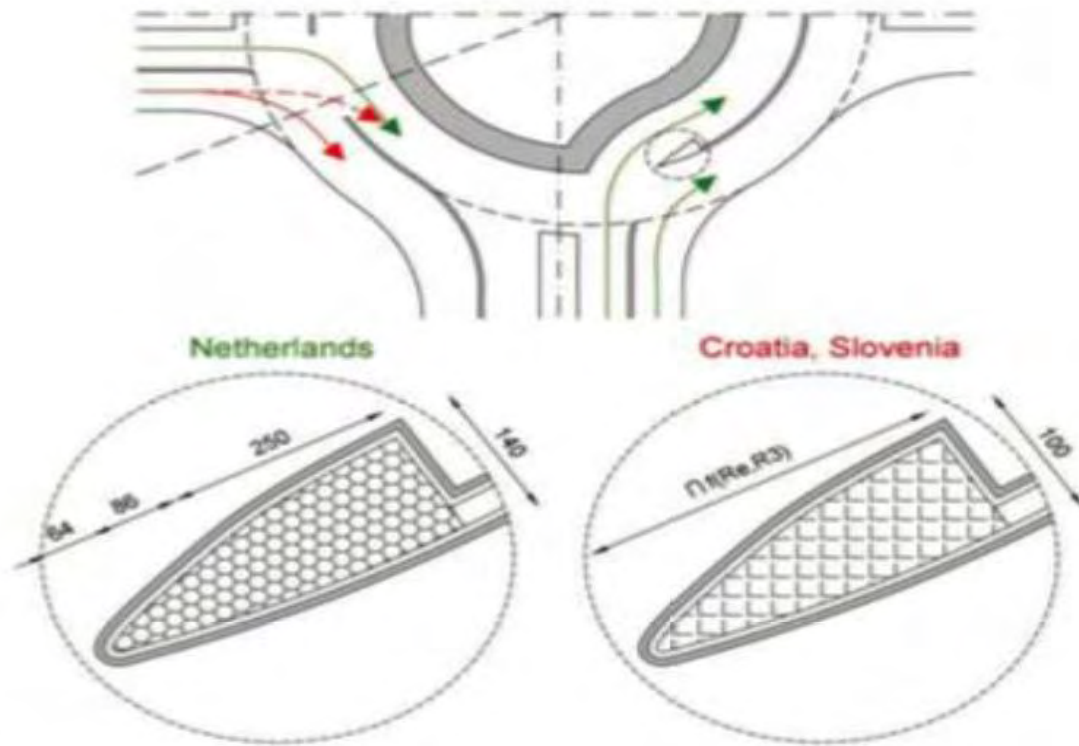
Οι χώρες που χρησιμοποιούν turbo κυκλικούς κόμβους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδας, σε αυτές που τα χρησιμοποιούν και σε αυτές που δεν τα χρησιμοποιούν. Στις χώρες της δεύτερης κατηγορίας, δηλαδή της μη χρήσης των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδας παρουσιάζονται λιγότερο ικανοποιητικές εμπειρίες όσον αφορά τους turbo κυκλικούς κόμβους διότι η παρουσία σήμανσης στο δρόμο δεν είναι αρκετή για την αποφυγή α αλλαγής λωρίδας. Από την άλλη μεριά, σύμφωνα με γερμανικούς ισχυρισμούς τα υπερυψωμένα διαχωριστικά λωρίδων μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ασφάλεια των μοτοσικλετιστών και στη διαδικασία συντήρησης της οδού (κύριως κατά τους

χειμερινούς μήνες). Γενικότερα , οι Γερμανοί θεωρούν πως η έλλειψη των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδας στους turbo κυκλικούς κόμβους δεν επιφέρει μεγάλες διαφοροποιήσεις στην κίνηση, τη χωρητικότητα αλλά και την ασφάλεια του κόμβου.[4]

Στον αντίποδα , Οι κροατικές και οι ολλανδικές οδηγίες, το σέρβικο εγχειρίδιο σχεδιασμού και οι σλοβένικες τεχνικές προδιαγραφές προτείνουν την χρήση των υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδων. Ο Fortuijn τόνισε πως ο σχεδιασμός τους πρέπει να ακολουθεί τη φιλοσοφία της αποτροπής οδήγησης πάνω από αυτά ,χωρίς όμως τη δημιουργία ζημιών στο όχημα ακόμα και αν ο χρήστης οδηγήσει πάνω τους, δίνοντας όμως ένα αίσθημα ενόχλησης και δυσφορίας στον οδηγό και τους επιβάτες ώστε να αποθαρύνεται τέτοια συμπεριφορά οδήγησης. Ύστερα από μελέτη που διεξήγαγε ο ίδιος τα διαχωριστικά ύψους 7 cm και πλάτους 30 cm αποτελούν την καλύτερη δυνατή λύση.

Στους κυκλικούς κόμβους turbo που βρίσκονται εκτός αστικού περιβάλλοντος προτείνεται η τοποθέτηση ειδικά σχεδιασμένου διασχιζόμενου υλικού στην αρχή των διαχωριστικών λωρίδων. Με τη χρήση αυτού αποφεύγονται οι ελιγμοί μέσα στο δακτύλιο,ενώ παράλληλα γίνεται ευκολότερη η πρόσβαση μεγάλων οχημάτων στον κόμβο. Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται ένα τέτοιο ειδικά σχεδιασμένο υλικό που χρησιμοποιείται στην αρχή των διαχωριστικών, ενώ φέρονται και οι διαστάσεις του . Με βάση τις ολλανδικές οδηγίες τα 4m αποτελούν ένα πρότυπο μήκος για το διασχίσιμο υλικό στα διαχωριστικά λωρίδας. Για το μήκος αυτό οι σλοβένικες και κροατικές οδηγίες δεν δίνουν κάποιο νούμερο ,αναφέρουν μόνο το γεγονός πως η καμπυλότητά του εξαρτάται από τις εφαρμοσμένες ακτίνες καμπύλης εισόδου και την ακτίνα εξωτερικής κυκλοφοριακής λωρίδας. Το προσεγγιστικό αυτό πλάνο θεωρείται πιο αποδοτικό ,καθώς ο σχεδιαστής είναι σε θέση να διαλέξει ένα τυχαίο μήκος μέσα στο οποίο θα χωρέσει την διαδρομή κυκλικής κίνησης και παράλληλα θα αποφευχθούν οι ελιγμοί εντός του δακτυλίου.

Στις εικόνες 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται παραδείγματα χρήσης υπερυψωμένων διαχωριστικών λωρίδας κατά την είσοδο και την έξοδο από το δακτύλιο.



Σχήμα 4.12 Ειδικά σχεδιασμένο υλικό που χρησιμοποιείται στην αρχή των διαχωριστικών



Εικόνα 4.6 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας στην είσοδο του κόμβου





Εικόνα 4.7 Υπερυψωμένο διαχωριστικό λωρίδας στην έξοδο του κόμβου

#### **4.6 Διαβάσεις πεζών και ποδηλατόδρομοι**

Σύμφωνα με τις ολλανδικές οδηγίες [3] η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του κυκλοφοριακού δακτυλίου και του ποδηλατοδρόμου σε έναν κόμβο είναι της τάξης των 5m. Σε γενικές γραμμές είναι προτιμότερο να δίνεται προτεραιότητα στους αναβάτες ποδηλάτου, αλλά σε περιπτώσεις που αυτό δε συμβαίνει η απόσταση ανάμεσα στον δακτύλιο και τον ποδηλατόδρομο υπολογίζεται υποθετικά από τους σχεδιαστές με βάση τη λογική. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να γίνει σαφές πως ο ποδηλατόδρομος δεν αποτελεί μέρος του δρόμου όπως είναι ο κύριος κυκλοφοριακός δακτύλιος. Στην Ολλανδία αυτό είναι συμπίπτει με το σημείο που η εξωτερική ακτίνα του κόμβου συναντά την πλευρά εξόδου της λωρίδας και η απόσταση αυτή



είναι της τάξης των 6m. Οι κανόνες της χώρας προτείνουν την απόσταση των 10m ανάμεσα στον ποδηλατόδρομο και τον κυκλοφοριακό δακτύλιο.

Όσον αφορά τις διαβάσεις πεζών βρίσκονται δίπλα στον ποδηλατόδρομο και πάντα σε πιο μεγάλη απόσταση από τον κυκλικό κόμβο. Στις περιπτώσεις που οι ποδηλάτες έχουν προτεραιότητα κίνησης, υπάρχει η κλασική διαγράμμιση του οδοστώματος τύπου ζέβρας και παραχωρεί στους πεζούς προτεραιότητα κίνησης έναντι των οχημάτων. Εκτός κατοικημένων περιοχών οι πεζοί πρέπει να παραχωρούν προτεραιότητα στα κινούμενα οχήματα .

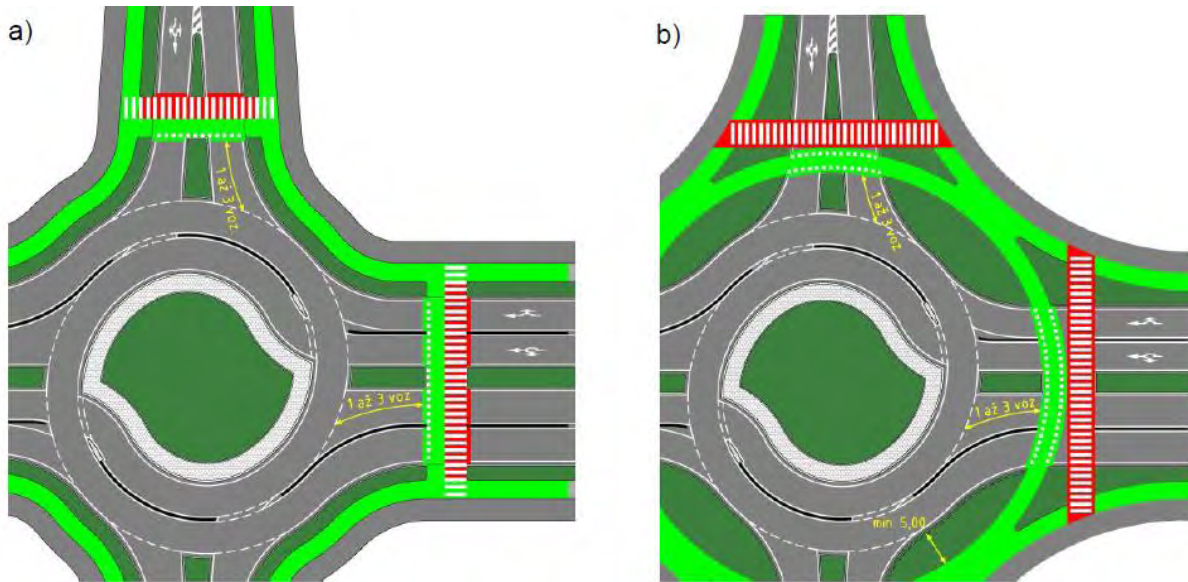
Σε περιπτώσεις ύπαρξης περισσότερων από μια λωρίδες κυκλοφορίας είναι συνετό οι ποδηλάτες να έχουν πρόσβαση σε διαφορετικά επίπεδα. Σύμφωνα με την έκδοση CROW 126 μια λύση για βελτιστοποίηση της ασφάλειας των ποδηλατών είναι να διασχίζουν δύο λωρίδες προσέγγισης και μία λωρίδα εξόδου. Το ερώτημα που γεννάται πλέον είναι αν οι ποδηλάτες διέσχισαν δύο λωρίδες εξόδου,θα υπήρχε ουσιαστική διαφοροποίηση του επιπέδου ασφάλειας; Με βάση την προαναφερθείσα έκδοση η απάντηση στο ερώτημα είναι πως θα υπήρχε διαφορά ,αν και κάτι τέτοιο δεν φαίνεται από τις στατιστικές μελέτες ατυχημάτων.Δεδομένου πως ο ποδηλατόδρομος βρίσκεται σε αποδεκτή απόσταση από τον κυκλικό δακτύλιο ,η διάσχιση διπλής λωρίδας θα μπορούσε σε κάποιες περιπτώσεις να είναι πιο επικίνδυνη, όμως η στατιστική ατυχημάτων δεν παρέχει αποδείξεις ότι η έξοδος είναι πιο επικίνδυνη από ότι η πρόσβαση για τους ποδηλάτες που δίνουν προτεραιότητα.

Το απολύτως λογικό είναι πως οι ποδηλάτες που διασχίζουν διπλή λωριδα είναι εκτεθειμένοι σε μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με αυτούς που διασχίζουν μονή και συνεπώς αποτρέπεται η κατασκευή ποδηλατόδρομων εντός των κόμβων. Ο χρόνος παρατήρησης ,απόφασης και δράσης του ποδηλάτη μεταξύ των δύο περασμάτων είναι ύψιστης σημασίας και θεωρείται πως είναι λίγο πάνω από 2 δευτερόλεπτα ,ενώ παράλληλα οταν ο αναβάτης είναι στο δεύτερο πέρασμα

βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση όσον αφορά την αντίληψη για την εικόνα κίνησης των οχημάτων του κόμβου. [37] Πρακάτω υπάρχει εικονική αναπαράσταση ποδηλατοδρόμου που διασχίζει την διαχωριστική νησίδα (εικόνα 4.8) .



Εικόνα 4.8 Ποδηλατοδρόμος σε κυκλικό κόμβο τύπου turbo



Σχήμα 4.12.1 Γενική διάταξη πεζοδιαβάσεων και ποδηλατόδρομων σε turbo κυκλικό κόμβο

#### 4.7 Σημεία προσεγγίσεων

Οι ολλανδικές οδηγίες αναφέρουν πως η προσέγγιση σε έναν turbo κυκλικό κόμβο πρέπει να ευθυγραμμίζεται σε σωστή γωνία με τον κόμβο και επειδή γίνεται χρήση του κόμβου και από μεγάλα και βαρέα οχήματα οι γωνίες αυτές πρέπει να είναι της τάξης των 90 μοιρών. Σημαντική

σημείωση είναι το γεγονός πως οι προσεγγίσεις της τάξης των 90 μοιρών δύσκολα προγραμματίζονται ,πόσο μάλλον σε περιπτώσεις κυκλικών κόμβων διπλής λωρίδας που χρήζουν ανακατασκευής και βρίσκονται σε περιοχές με περιορισμούς χώρου. Επιπροσθέτως , ο σχεδιασμός των προσεγγίσεων πρέπει να συνάβει με την ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή της ταχύτητας και συνεπώς τα οχήματα που κάνουν χρήση του κόμβου να μην την ξεπερερωούν. Οι σλοβενικές προδιαγραφές [\[25\]](#) ,το σέρβικο εγχειρίδιο και οι κροατικές οδηγίες δεν παρουσιάζουν με λεπτομέρεια οδηγίες για την θέση των προσεγγίσεων στους κόμβους.

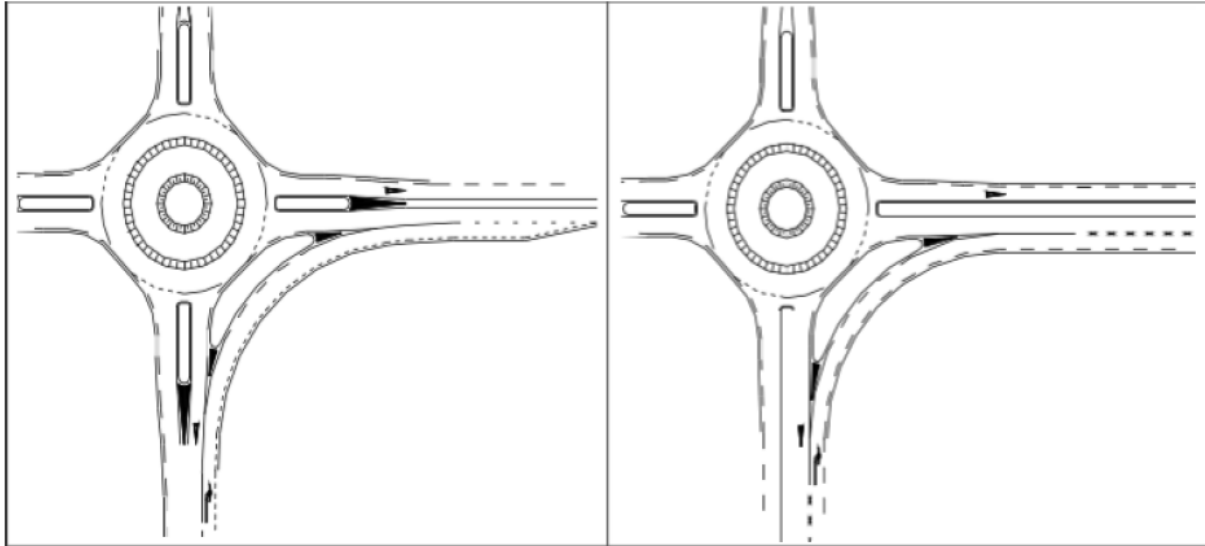
Οι άξονες των προσεγγίσεων με βάση ένα γερμανικό έγγραφο ωφείλουν να διασταυρώνονται με το γεωμετρικό κέντρο του κόμβου , χωρίς να αναφέρονται οι γωνίες υπό τις οποίες πρέπει να γίνει αυτό. Οι βασικές παράμετροι καθορισμού των προσεγγίσεων των turbo κυκλικών κόμβων αποτελούν τα πλάτη της λωρίδας εισόδου,της λωρίδας εξόδου και της διαχωριστικής νησίδας και οι ακτίνες εισόδου και εξόδου και η επιλογή των παραμέτρων αυτών πρέπει να γίνεται βασιζόμενη στο μέγεθος του κόμβου. Το γερμανικό εγχειρίδιο ορίζει τα πλάτη λωρίδων εισόδου και εξόδου με τον παρακάτω τρόπο: στην περίπτωση κόμβου μονής λωρίδας ,οι λωρίδες εισόδου έχουν πλάτος 4m και οι λωρίδες εξόδου έχουν πλάτος 4.5m, ενώ για διπλή λωρίδα ,οι λωρίδες εισόδου είναι πλάτους 3.5m και οι λωρίδες εξόδου 4m.

Οι ολλανδικές οδηγίες αναφέρουν πως το ελάχιστο πλάτος της νησίδας διαχωρισμού φτάνει τα 2.5m ενώ οι ελάχιστες ακτίνες καμπυλών εισόδου και εξόδου τα 10m. Οι αντίστοιχες σέρβικες ,σλοβενικές και κροατικές οδηγίες ορίζουν το πλάτος της νησίδας διαχωρισμού στα 2m, τις ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας εισόδου στα 12m και τις ελάχιστες ακτίνες καμπυλότητας εξόδου στα 15m .Τέλος οι γερμανικές οδηγίες δίνουν για τις ακτίνες καμπυλότητας εισόδου το εύρος τιμών 14m έως 16m ,ενώ για τις ακτίνες καμπυλότητας εξόδου 16m έως 20m.

## 4.8 Παρακαμπτήριες οδοί (Bypass)

Η παρακαμπτήρια οδός (ή bypass) χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της χωρητικότητας της λωρίδας που αναμένεται να έχει μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο [35]. Τοποθετείται πλευρικά του κόμβου και συνδέει άμεσα δύο δρόμους. Στο σχήμα 4.13 γίνεται εικονική αναπαράσταση μιας παρακαμπτήριας οδού . Στο παράδειγμα του σχήματος 4.13 η παρακαμπτήρια οδός αποκτά σημασία ύπαρξης μονάχα αν παρουσιάζεται μεγάλη ροή δεξιόστροφης κίνησης. Μέσω της παρακαμπτήριας οδού η δεξιόστροφη κυκλοφορία του κόμβου παρακάμπτεται και αυτό συνεπάγεται αύξηση της χωρητικότητας μέσα στον ίδιο τον κόμβο. Η απόφαση της τοποθέτησης μιας παρακαμπτήριας οδού παίρνεται αφού έχουν προηγηθεί οι κατάλληλοι υπολογισμοί της χωρητικότητας και των καθυστερήσεων.

Η χρήση της οδού bypass δημιουργεί πιο πολλά πιθανά σημεία εμπλοκής σε περιπτώσεις ύπαρξης παράλληλων εγκαταστάσεων ,όπως ποδηλατοδρομοι,πεζόδρομοι και παράδρομοι ,ενώ το γεγονός πως οι ταχύτητες σε αυτήν είναι πιο υψηλές περιορίζει την χρήση της σε αστικές περιοχές όπου υπάρχει έντονη κινητικότητα πεζών και ποδηλάτων.



Σχήμα 4.13 Εικονική αναπαράσταση τύπων παρακαμπτήριας οδού (bypass)

Στο γεωμετρικό κομμάτι ,η ακτίνα της δεξιόστροφης παρακαμπτήριας οδού δεν πρέπει να υπερβαίνει κατά πολύ την ακτίνα εισόδου που παρέχεται από τον κόμβο. Με αυτόν τον περιορισμό διασφαλίζεται το γεγονός πως η ταχύτητα στην παρακαμπτήρια οδό είναι σχετικά ίδια με αυτήν το κόμβου και συνεπώς αυξάνεται η ασφάλεια του οδικό σύστημα κόμβος-bypass. Επιπλέον η ύπαρξη μικρής ακτίνας προσφέρει ασφάλεια στους πεζούς που διασχίζουν την παρακαμπτήρια λωρίδα. Εν τέλη, η παρακαμπτήρια οδός πρέπει να είναι πάντοτε φυσικά διαχωρισμένη από τον κυκλοφοριακό δακτύλιο,όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9 παρακάτω.



Εικόνα 4.9 Παρακαμπτήρια οδός (bypass) σε κυκλικό κόμβο

## **Κεφάλαιο 5: Επιπρόσθετοι δείκτες αποδοτικότητας του κόμβου**



Στα προηγούμενα κεφάλαια οι δείκτες αποδοτικότητας των turbo κυκλικών κόμβων βασίζονταν κυρίως στο χρόνο καθυστέρησης και στη χωρητικότητα του κόμβου. Στο κεφάλαιο αυτό θα ακολουθηθεί μια πιο γενική προσέγγιση και θα εξετασθούν δείκτες όπως η περιβαλλοντική ευαισθησία, η οπτική όχληση, οι αέριοι ρύποι, η κίνηση μεγάλων οχημάτων και οι επιπτώσεις τους, καθώς και τα αποτελέσματα της χρήσης φωτεινών σηματοδοτών.

## **5.1 Περιβαλλοντική ευαισθησία**

Μιλώντας για περιβαλλοντική ευαισθησία των turbo κυκλικών κόμβων τα οφέλη εστιάζονται σε δύο τομείς, πρώτων την χαμηλότερη ατμοσφαιρική επιβάρυνση ρύπων και δεύτερων την αισθητική. Όσον αφορά το πρώτο, η χρήση των turbo κυκλικών κόμβων έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή λιγότερων αέριων ρύπων CO<sub>2</sub>, CO και NO<sub>x</sub> σε σύγκριση με τις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις. Σύμφωνα με τον Fortuijn στις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις τα οχήματα πραγματοποιούν περισσότερες στάσεις και παρατηρούνται μεγαλύτερες διακυμάνσεις της ταχύτητάς τους σε σχέση με τους μη σηματοδοτούμενους κόμβους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συχνή επιτάχυνση και επιβράδυνση των οχημάτων στις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις, ενώ αντίθετα την πιο ομαλή κίνηση και τη μικρότερη διακύμανση ταχυτήτων στους μη σηματοδοτούμενους κόμβους. Έτσι στους δεύτερους έχουμε χαμηλότερη εκπομπή ρύπων, αλλά και μείωση του θορύβου. Σε γενικές γραμμές, οι μη σηματοδοτούμενοι κόμβοι, άρα και οι turbo κυκλικοί κόμβοι, αποδίδουν καλύτερα σε σχέση με τις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις. Επιπλέον, από αισθητικής πλευράς οι κυκλικοί κόμβοι τύπου turbo προσφέρουν περισσότερα, καθώς η δυνατότητα τοποθέτησης πρασίνου και διαμόρφωσης της κεντρικής νησίδας τους κάνουν πιο ελκυστικούς και ευχάριστους οπτικά.



### 5.1.1 Αέριοι ρύποι και υπολογισμός των εκπομπών τους

Οι ρυπογόνες ουσίες στην ατμόσφαιρα οι οποίες συναντώνται σε μεγάλη συγκέντρωση, για αρκετό χρονικό διάστημα και υπό ορισμένες συνθήκες μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών ,ενώ παράλληλα προξενούν περιβαλλοντική καταστροφή ονομάζονται αέρια ρύπανση.Αποτελέσματα αυτής είναι η πρόκληση αιθαλομίχλης, όξινης βροχής και καταστροφή του στρώματος του όζοντος της ατμόσφαιρας.

Ο άνθρωπος είναι ο κύριος υπαίτιος της πρόκλησης αέριας ρύπανσης και οι βασικοί ρύποι που δημιουργεί μέσω της κυκλοφορίας οχημάτων είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>),το οξείδιο του αζώτου (Nox), οι υδρογονάνθρακες, η αιθάλη και άλλα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω της κυκλοφορίας οχημάτων είναι αποτέλεσμα παραγόντων όπως του μεγέθους του κυκλοφοριακού φόρτου,των ειδών των οχημάτων, της μηχανολογικής κατάστασής τους, της οδηγικής συμπεριφοράς των χρηστών των οδών, της ποιότητας των καυσίμων που καταναλώνονται και της σκόνης που δημιουργείται από την κίνηση των οχημάτων.

Συνεπώς για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να ακολουθηθούν κάποιες μέθοδοι ,όπως η αποφυγή ύπαρξης πολλών σημείων αλλαγής ταχύτητας (φρεναρίσματα,μανούβρες και σημεία αναμονής),η βελτίωση των κυκλοφορικών συνθηκών, η κατανάλωση καλύτερης ποιότητας και πιο αποδοτικών καυσίμων (για παράδειγμα φυσικό αέριο) , ο συνεχής και ενδελεχής έλεγχος των ρυπογόνων πηγών και η εκπαίδευση και ενημέρωση του των οδηγών και γενικότερα των πολιτών πάνω στα θέματα αυτά.

Ο υπολογισμός των ρυπογόνων αέριων εκπομπών γίνεται μέσω της μεθόδου της ειδικής ισχύς οχήματος ή vehicle specific power. Μέσω του μοντέλου αυτού μας δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού των στιγμιαίων ρύπων του οχήματος, βασιζόμενοι στην δυναμική του. Υπάρχουν δεκατέσσερις (14) κλίμακες κατηγοριοποίησης των τιμών της ειδικής ισχύς ενός οχήματος και με τη χρήση ενός συντελεστή εκπομπών ρύπων για κάθε κλίμακα βρίσκονται οι εκπομπές, 1 συντελεστής εκπομπών για κάθε κλιμάκιο χρησιμοποιείται για να βρεθούν οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), του οξειδίου του αζώτου (Nox), του διοξειδίου του άνθρακα (CO2) και των υδρογονανθράκων (HC). Η εξίσωση υπολογισμού των εκπομπών είναι:

$$VSP = v \cdot [1.1 \cdot \alpha + 9.81 \sin(\arctan(\text{grade})) + 0.132] + 0.000302 \cdot v^3 \quad (32)$$

Όπου έχουμε:

VSP είναι η ειδική ισχύ οχήματος (kW/ton)

v η στιγμιαία ταχύτητα οχήματος (m/s)

α η στιγμιαία επιτάχυνση (ή επιβράδυνση) του οχήματος (m/s<sup>2</sup>)

και grade είναι η κλίση του εδάφους.

Επιπλέον, η ωριαία εκπομπή αερίων ρύπων των εισερχόμενων οχημάτων του κόμβου βρίσκεται από τον τύπο :

$$E_{TR} = Q_{in} \cdot (E_i P_i + E_{ii} P_{ii} + E_{lic} i_a) \quad (33)$$

Όπου έχουμε :

$ETR$  είναι οι ωριαίες εκπομπές μέσα στον κυκλικό κόμβο turbo

$Q_{in}$  είναι ο δείκτης ροής εισόδου στον κόμβο

$E_i$  είναι η εκπομπή ανά όχημα το οποίο συνδέεται με τα αντίστοιχα προφίλ I, II και III

και  $P_i$  είναι το ποσοστό των οχημάτων με το υφιστάμενο προφίλ I, II και III.

### 5.1.2 Οπτική όχληση

Οι turbo κυκλικοί κόμβοι πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται σαν ένα σύστημα που ωφείλει να είναι σε αρμονία με το αστικό αλλά και φυσικό περιβάλλον που βρίσκονται. Συνεπώς πρέπει οπτικά να βρίσκεται σε ισορροπία και να ταιριάζει με το τοπίο και το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο κατασκευάζεται. Η μελέτη και κατανόηση των διαφόρων αισθητικών παραγόντων που επηρεάζουν το περιβάλλον του κόμβου πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν από το αρχικό ακόμα στάδιο σχεδίασης. Έτσι η μείωση της οπτικής όχλησης μπορεί να επιτευχθεί με τον εναρμονισμό του κόμβου στο υπάρχον περιβάλλον, την τοποθέτηση μικρών πινακίδων, τη δομική συμφωνία των διαφόρων στοιχείων του κόμβου, την τήρηση των προβλεπόμενων μηκών ορατότητας (κατάλληλη χρήση βλάστησης) και την σωστή πολεοδομική διαμόρφωση των κόμβων [27].

## 5.2 Φωτεινοί σηματοδότες στους κόμβους και οι επιπτώσεις χρήσης τους

Παρά το γεγονός πως στους turbo κυκλικούς κόμβους δε χρησιμοποιούνται φωτεινοί σηματοδότες ,ο Fortuijn πρότεινε τη εγκατάστασή τους[37]. Η πρότασή του είχε δύο πιθανές επιλογές σηματοδότησης, πρώτων μερικής σηματοδότησης ,δηλαδή μόνο στο ένα σκέλος και δεύτερων σηματοδότηση όλων των σκελών (ολική).Η χρήση τους δεν επιφέρει αλλαγές του αριθμού των σημείων εμπλοκής ,αλλάζει όμως τη φύση τους. Όταν δεν υπάρχει προστατευόμενη εμπλοκή η πλειοψηφία των οδηγών δίνουν προσοχή στη ροή εμπλοκής ,σε αντίθεση με την περίπτωση προστατευόμενης εμπλοκής κατά την οποία οι περισσότεροι οδηγοί στηρίζονται και ακολουθούν μόνο τα σήματα κυκλοφορίας και δεν δίνουν την απαιτούμενη προσοχή στη ροή εμπλοκής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί ο κυκλοφοριακός φόρτος και η ασφάλεια του κόμβου.

Στην περίπτωση των φωτεινών σημάτων κυκλοφορίας οι οδηγοί επικεντρώνονται στη λωρίδα επιλογής παράλληλα με την προσοχή τους στους σηματοδότες και δεν χρειάζεται να συγκεντρώσουν την προσοχή τους στη ροή εμπλοκής. Όμως στην περίπτωση του πορτοκαλί φωτεινού σηματοδότη ή της έλλειψης σημάτων δημιουργείται σύγκυση στον οδηγό ,καθώς πρέπει να στέψει την προσοχή του στη λωρίδα επιλογής αλλά και στην εμπλεκόμενη.

Η πιο συνηθισμένη αιτία σύγκρουσης σε διασταυρώσεις με ύπαρξη φωτεινής σηματοδότησης είναι η παραβίαση του κόκκινου σήματος από τους οδηγούς. Οι οδηγοί που πλησιάζουν τη διασταύρωση όταν ο σηματοδότης γίνεται από πράσινο πορτοκαλί καλούνται να λάβουν μία γρήγορη απόφαση για το αν θα συνεχίσουν στον κόμβο ή θα σταματήσουν στο φανάρι. Στην περίπτωση αυτή υπάρχουν δύο πιθανές καταστάσεις εμπλοκής. Η πρώτη έχει να κάνει με την απόφαση του οδηγού να επιταχύνει όταν δει το πορτοκαλί φανάρι και κατά μεγάλη πιθανότητα να περάσει τελικά με κόκκινο και να εισέλθει στον κόμβο με αρκετή ταχύτητα και με κίνδυνο να δημιουργηθεί ατύχημα ,καθότι ο χρόνος αντίδρασης δεν είναι αρκετός. Η άλλη πιθανότητα έχει

να κάνει με την επιλογή του οδηγού να σταματήσει απότομα στην θέαση του πορτοκαλί σήματος ,αλλά ο οδηγός που τον ακολουθεί να μην έχει πιθανότατα τον ίδιο τρόπο και χρόνο αντίδρασης και να δημιουργηθεί εμπλοκή.

Πέραν των εμπλοκών όμως ,οι φωτεινοί σηματοδότες επιφέρουν και αλλαγές στην ταχύτητα οδήγησης στον κόμβο.Η οδηγική συμπεριφορά της πρώτης περίπτωσης παραπάνω ,δηλαδή του οδηγού που θα επιταχύνει για να περάσει τον πορτοκαλί σηματοδότη ,επιφέρει αύξηση της ταχύτητας στον κόμβο που αυτό συνεπάγεται μεγιστοποίηση της πιθανότητας ατυχήματος. Μια τέτοια πιθανότητα εμπλοκής πρέπει να ληφθεί υπόψη και δεν πρέπει να αμεληθεί ,γιατί ο οδηγός εισέρχεται στον κόμβο πιθανότατα ένα ή και περισσότερα δευτερόλεπτα μετά το πέρας του πορτοκαλί σήματος (δηλαδή περνάει με κόκκινο). Με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις οι μελετητές οδηγήθηκαν στην δημιουργία κάποιων υποθέσεων, όπως ότι οι μη σηματοδοτούμενοι κυκλικοί κόμβοι είναι έμφυτα πιο ασφαλείς από τους αντίστοιχους σηματοδοτούμενους,η οδική εργασία είναι πιο πολυσύνθετη στους μη σηματοδοτούμενους κυκλικούς κόμβους σε σχέση με τους σηματοδοτούμενους, η προσοχή των οδηγών που πλησιάζουν έναν μη σηματοδοτούμενο κόμβο εστιάζεται στην κίνησή του, η παραβίαση του κόκκινου σηματοδότη στους σηματοδοτούμενους κυκλικούς κόμβους έχει περισσότερες και μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ασφάλεια κυκλοφορίας,οι συγκρούσεις ακολουθούμενων οχημάτων (μούρη – ουρά) σε σηματοδοτούμενους κυκλικούς κόμβους έχουν σαν απόρροια τη μείωση της κυκλοφοριακής ασφάλειας και τέλος παρατηρούνται πιο υψηλές μέσες και μέγιστες ταχύτητες στους σηματοδοτούμενους κόμβους σε σχέση με τους μη σηματοδοτούμενους.

### **5.3 Χρήση του κυκλικού κόμβου από μεγάλα οχήματα**

Η επιλογή του κατάλληλου πλάτους λωρίδων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των μελετητών και σχεδιαστών κυκλικών κόμβων. Οι απαιτούμενες ανάγκες ασφάλειας τείνουν στη χρήση στενών λωρίδων ,αναγκάζοντας τους οδηγούς σε μείωση ταχύτητας κατά την παραμονή τους στον κόμβο ,ενώ από την άλλη μεριά τα ογκώδη οχήματα χρειάζονται μεγάλο χώρο. Συνεπώς , εμφανίζεται μια ανάγκη για συμβιβασμό των απαιτήσεων . Η λύση βρίσκεται σε κάποια στοιχεία τα όποια πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό του κόμβου. Τέτοια είναι η χρήση γωνίας 90 μοιρών ανάμεσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο και το σκέλος προσέγγισης, η δυνατότητα κεντρικών ελιγμών και προσβασιμότητας των μεγάλων οχημάτων στην εσωτερική λωρίδα δίνοντάς τους επιπλέον χώρο κίνησης,ο περιορισμός του πλάτους του κυκλοφοριακού δακτυλίου και η δυνατότητα περισσότερου χώρου ελιγμού στα σημεία μεταξύ εισόδου – κυκλικού κόμβου και εξόδου – κυκλικού κόμβου μέσω της χρήσης της εξωτερικής λωρίδας.

Ο γεωμετρικός σχεδιασμός και η κατασκευαστική λεπτομέρεια του χώρου ελιγμού είναι εξίσου σημαντικές ενέργειες. Επιπλέον, ο χώρος ελιγμού της κεντρικής νησίδας κατασκευαστικά δεν πρέπει να είναι πολύ απότομος και η κορυφή ωφείλει να είναι χαμηλότερα από αυτή του δρόμου για να μειώνονται οι δυνάμεις για τα βαρέα οχήματα και παράλληλα να επιτυγχάνεται μείωση της επιτάχυνση. Επίσης, η υψομετρική διαφορά μεταξύ του περυψωμένου διαχωριστικού και του δρόμου πρέπει να είναι 7 cm ,αποτρέποντας έτσι τους οδηγούς των κοινών οχημάτων σε απότομη αλλαγή λωρίδας ,χωρίς να συμβαίνει το ίδιο για τα μεγάλα οχήματα. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται η κίνηση ενός μεγάλου και βαρέος οχήματος σε έναν turbo κυκλικό κόμβο.



Εικόνα 5.1 Χρήση κυκλικού κόμβου turbo από μεγάλο όχημα

## 5.4 Στιβαρότητα

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των turbo κυκλικών κόμβων είναι το γεγονός πως κάθε τομέας του σπειροειδή κόμβου έχει μια λωρίδα κυκλοφορίας στην οποία ο οδηγός έχει την επιλογή εξόδου ή συνέχισης της κυκλικής κίνησης . Αυτό το χαρακτηριστικό αποτέλεσε τη βάση για τη κατασκευή και σχεδιασμό των turbo κυκλικών κόμβων οι οποίοι έχουν αφ'ενός μεγαλύτερη χωρητικότητα από έναν κλασσικό κυκλικό κόμβο μονής λωρίδας και παράλληλα είναι αρκετά στιβαροί ώστε να διαχειριστούν τις μεταβολές του κυκλοφοριακού φόρτου.

Με τη χρήση δύο εξόδων σε δύο λωρίδες ο κόμβος μπορεί να διαχειριστεί επιθυμητή χωρητικότητα, η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με την επιλογή κατεύθυνσης στο εκάστοτε τμήμα του. Όμως στον αντίποδα, λιγότερες λωρίδες στα σκέλη εξόδου διευκόλυνση του περάσματος πιθανών αργά κινούμενων οχημάτων. Μετά από μελέτη πάνω στις δύο αυτές αντικρουόμενες συνθήκες έχει οριστεί πως ο ελάχιστος αριθμός λωρίδων πρέπει να ισσούτε με δύο (2).

Εν κατακλείδι, τα δύο προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, δηλαδή 1) το γεγονός πως κάθε τομέας του σπειροειδή κόμβου έχει μια λωρίδα κυκλοφορίας στην οποία ο οδηγός έχει την επιλογή εξόδου ή συνέχισης της κυκλικής κίνησης και 2) ότι με τη χρήση δύο εξόδων σε δύο λωρίδες ο κόμβος μπορεί να διαχειριστεί επιθυμητή χωρητικότητα, η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με την επιλογή κατεύθυνσης στο εκάστοτε τμήμα του, δεν αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των turbo κυκλικών κόμβων καθώς η δημοσίευση CROW 257 (CROW 2008) [\[45\]](#) έχει τον τίτλο του εν μέρει κυκλικού κόμβου τύπου turbo. Στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 5.1) παρουσιάζονται παραδείγματα διαστάσεων ενός βασικού turbo κυκλικού κόμβου.



Διαστάσεις	Standard (m)	Μεσαίος (m)
Πλάτος εσωτερικής λωρίδας στην αρχή	5.30	5.15
Πλάτος εσωτερικής λωρίδας στο τέλος	5.00	4.90
Πλάτος εξωτερικής λωρίδας	5.00	4.90
Διαφορά μεταξύ πλάτους λωρίδας και πλάτους μεταξύ σήμανσης λωρίδας	0.65	0.65
Διαχωριστικό πλάτους λωρίδας	0.30	0.30
Απόσταση μεταξύ κεντρικού σημείου για εσωτερική λωρίδα μεταφοράς	5.35	5.15
Απόσταση μεταξύ κεντρικού σημείου για εξωτερική λωρίδα μεταφοράς	5.05	4.95
Η μεγαλύτερη χαραγμένη διάμετρος	49.95	55.35
Η μικρότερη χαραγμένη διάμετρος	45.18	50.64
Ακτίνα εισόδου και εξόδου	10.00	10.00
Ακτίνα εισόδου διαχωριστικού λωρίδας	12.00	12.00
Ακτίνα εξόδου διαχωριστικού λωρίδας	15.00	15.00
Πλάτος κεντρικής επιφάνειας (για οχήματα πάνω από 22 μέτρα)	5.00	5.00
Πλάτος αναρτήσιμης επιφάνειας	1.50 ÷ 3.00	1.50 ÷ 3.00
Πλάτος αναρτήσιμης επιφάνειας (για οχήματα πάνω από 22 μέτρα)	5.00	5.00
Ταχύτητα οχημάτων σε (km/h)	37 ÷ 39	38 ÷ 39

Πίνακας 5.1 Παραδείγματα διαστάσεων turbo κυκλικών κόμβων [41]

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Οι κυκλικοί κόμβοι τύπου turbo υπερτερούν από άποψη ασφάλειας σε σχέση με τους συμβατικούς κυκλικούς κόμβους λόγω του σχήματος της κεντρικής νησίδας, των κυκλοφοριακών λωρίδων και φυσικού διαχωρισμού των λωρίδων στις εισόδους και μέσα στον κυκλοφοριακό δακτύλιο. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των turbo κυκλικών κόμβων είναι η μείωση των σημείων εμπλοκής και η εμφανής βελτίωση της οδικής ασφάλειας οδηγών, επιβατών, ποδηλατών και πεζών. Επιπλέον, μελέτες έδειξαν πως εκτός από βελτίωση της ασφάλειας τέτοιου είδους κόμβοι έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σχέση με τους κλασσικούς κυκλικούς κόμβους.

Τέλος, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να αναφερθεί πως οι turbo κυκλικοί κόμβοι προσφέρουν υψηλό επίπεδο κυκλοφοριακής εξυπηρέτησης για οδηγούς και πεζούς, συμβάλουν στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της οδού και την διαχείριση της ταχύτητας σε αυτή και παίζουν ουσιαστικό ρόλο στη κατανάλωση λιγότερων ποσοτήτων καυσίμων και συνεπώς σε χαμηλότερη παραγωγή ρυπογόνων ουσιών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1].Giuffrè Orazio full professor, Marco Guerrieri postdoctoral researcher, Anna Granà assistant professor Palermo university Turbo-roundabout general design criteria and functional principles:case studies from real world

[2]. Giuffrè Orazio, Anna Granà, Sergio Marino, university of Palermo Comparing performances of turbo-roundabouts and double-lane roundabouts ,modern applied science, volume 6, no 10, 2012

[3].Werner Brilon, professor, Ruhr university Turbo-roundabouts- an experience from Netherlands and Germany , 2011

[4].Werner Brilon, professor, Ruhr university Roundabouts: a State of the Art in Germany

[5]. Lambertus G.H. Fortuijn Turbo-roundabouts: Design principles and safety performance , TRB paper # 09-2476

[6]. Tamara Džambas, Saša Ahac, Vesna Dragčević Geometric design of turbo roundabouts , 2017

[7] P. Fernandes, S.R. Pereira, J.M. Bandeira, L. Vasconcelos, A. Bastos Silva, M.C. Coelho Driving around turbo-roundabouts vs conventional roundabouts. Are there advantages regarding pollutant emissions? , April 2016

[8]. Stanek, D and Milam, RT, 2004. High-capacity roundabout intersection analysis: going around in circles

[9]. Steven Chan, Robert Livingston Design vehicle's influence to the geometric design of turbo – roundabouts , April 2014

[10]. Massimiliano Gastaldi, Claudio Meneguzer, Ricardo Rossi, Luca della Lucia, Gregorio Gechele, university of Padova Evaluation of air pollution, impacts of a signal control to roundabout conversion using microsimulation , July 2014

[11]. Tomaž Tollazzi, full professor, Split university, Planning and designing of the turbo roundabouts

[12]. Tomaž Tollazzi Alternative types of roundabouts: An information guide , 2014

[13]. Καλογεράκη Μαριάννα Ανάπτυξη λογισμικού Η/Υ για τον σχεδιασμό σπειροειδούς κόμβου , διπλωματική εργασία, Μετσόβιο Πολυτεχνείο

[14]. Δημήτρης Νίκου Γεωμετρικός σχεδιασμός ισόπεδων κυκλικών κόμβων Μετσόβιο πολυτεχνείο, Ιούλιο 2012

[15]. US department of transportation, Roundabouts: An information guide

[16]. Luis Vasconcelos, Anna Bastos Silva, Alvaro Maia Seco, Paulo Fernandes, Margarida Coelho Turbo- roundabouts: Multicriterion assessment on intersection capacity, safety and emissions , January 2014

[17]. Rogier R.M. Hoek, Signalized turbo roundabouts A study into the applicability of traffic signals on turbo roundabouts , TU Delft, July 2013 [16]. Florida department of transportation Florida intersection design guide 2015

<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:02336af2-6a7c-4600-b8d4-ec410eceabac?collection=education#>

[18]. Jasunz Chodur, Radoslaw Bak, Cracow university Study of driver behavior at turbo-roundabouts , archives of transport volume 38, issue 2, 2016

[19]. Ζήσης Γρηγόρης, Καρκανιάς Χρήστος, Κουκουνάφης Γιώργος Σύγκριση διεθνών προδιαγραφών για κυκλικούς κόμβους

[20].O. Giuffrè, A. Granà, S. Marino Turbo-roundabouts vs roundabout performance level , 2012

[21]. Philip Weber, Roundabout signs , paper June 2008

[22]. E. Macioszek , Turbo roundabouts signing and marking – current situation in Poland , volume 6, issue 1, February 2013

[23]. Mark Lenters, Safety auditing roundabouts , September 2004

[24]. Ευτέρπη Δαμασκού , Κυκλικοί κόμβοι Διαμόρφωση διαδικασίας αξιολόγησης σχεδιασμού κυκλικών κόμβων , διπλωματική εργασία Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο

[25]. Tomaž Tollazzi, Sašo Turnsek, Marko Renčelj Slovenian experiences with turbo-roundabouts , 2012

[26]. Ana Bastos Silva, Silvia Santos, Marco Gaspar, university of Coimbra Turboroundabout use and design

[27]. Ferdinando Corriere, Marco Guerrieri, Performance analysis of basic turboroundabouts in urban context , 2012

- [28]. Tim Murphy The turbo roundabout A first in north America , 2015
- [29]. Elisha Jackson Wanvogene, Western Michigan university Virtual analysis and evaluation of roundabout safety and operational features , 2014
- [30].Royal Haskoning, Roundabouts- Application and design A practical manual , June 2009
- [31]. Department of main road, road planning and design manual chapter 14 roundabouts, January 2006
- [32]. Elizabeta Macioszek The road safety at turbo roundabout in Poland , volume 33, issue 1, 2015
- [33]. Tomaž Tollazzi, Rafaele Mauro, Marco Guerrieri, Marko Rencelj, Comparative analysis of 4 new alternative types of roundabouts: Turbo, flower, target and four-flyover roundabouts , 2015
- [34]. M. Guerrieri, D. Ticali, F. Corriere Turbo roundabouts: geometric designs and parameters analysis , volume 2,number 1, April 2012
- [35]. J.C. Engelsman, M. Uken Turbo roundabouts as an alternative to two lane roundabouts , July 2007
- [36]Fortuijn, LGH, 2005, Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooksrotondes, Province of South Holland, The Netherlands
- [37]Fortuijn, LGH, 2003, Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety, Delft University of Technology, The Netherlands
- [38]Fortuijn, LGH and Carton, PJ, 2000, Turbo Circuits: A Well-tried Concept in a New Guise, Province of South Holland, The Netherlands

[39] HCM 2000, Highway Capacity Manual. Transportation Research Board, special Report 209, edition 2000.

[40] GSTF Journal on Computing (JoC) Vol.2 No.1, April 2012 ,Turbo roundabouts: geometric design parameters and performance analysis, M. Guerrieri - Faculty of Engineering, University of Perugia, Italy, D. Ticali - Faculty of Engineering, University of Enna “Kore”, Italy , F. Corriere - Faculty of Engineering, University of Palermo, Italy

[41] TECHNICKÉ PODMIENKY PROJEKTOVANIE TURBO-OKRUŽNÝCH KRIŽOVATIEK, Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií, 2015

[42] Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board

<https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2096-03>

[43] de Baan, D. (2014). Verkeer—Verkeersveiligheid—Vorm, Turborotondes—locaties. Accessed April 7 2014 from <http://www.dirkdebaan.nl/locaties.html>

[44] Tomaz Tollazzi, Alternative Types of Roundabouts, Springer Tracts on Transportation and Traffic STTT An Informational Guide, Series editor Roger P. Roess, New York, USA  
<https://www.springer.com/series/11059>

[45] <https://www.crow.nl/>

[46] NCHRP Report 672 – Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition

